

ISSN 1598-5601

# 한국우주과학회보

Bulletin of The Korean Space Science Society

제26권 1호

2017년 4월



사단법인 한국우주과학회  
The Korean Space Science Society

# 한국우주과학회

회 장: 한원용 (천문연, 042-865-3219, whan@kasi.re.kr)  
부 회 장: 김용기 (충북대, 043-261-3202, ykkm153@chungbuk.ac.kr)  
박재우 (ETRI, 042-860-5634, pjw@etri.re.kr)  
최기혁 (항우연, 042-860-2217, gchoi@kari.re.kr)  
총무이사: 최영준 (천문연, 042-865-3266, yjchoi@kasi.re.kr)  
학술이사: 이 유 (충남대, 042-821-5468, euyiyu@cnu.ac.kr)  
재무이사: 이병선 (ETRI, 042-860-4903, lbs@etri.re.kr)

## 이 사

경제만 (천문연, 042-865-3253, jman@kasi.re.kr)  
곽영실 (천문연, 042-865-2039, yskwak@kasi.re.kr)  
김영수 (천문연, 042-865-3247, ykim@kasi.re.kr)  
김용하 (충남대, 042-821-5467, yhkim@cnu.ac.kr)  
김호일 (천문연, 042-865-3254, hikim@kasi.re.kr)  
문홍규 (천문연, 042-865-3251, fullmoon@kasi.re.kr)  
박상영 (연세대, 02-2123-5687, spark@galaxy.yonsei.ac.kr)  
박장현 (천문연, 042-865-3222, jhpark@kasi.re.kr)  
심은섭 (항우연, 042-860-2470, esim@kari.re.kr)  
유광선 (과기원, 042-350-8619, kwangsun@kaist.ac.kr)  
윤태석 (경북대, 053-950-6365, yoonts@knu.ac.kr)  
이대영 (충북대, 043-261-2316, dylee@chungbuk.ac.kr)  
이동훈 (경희대, 031-201-2449, dhlee@khu.ac.kr)  
이재우 (천문연, 042-865-3264, jwlee@kasi.re.kr)  
조경석 (천문연, 042-865-3257, kscho@kasi.re.kr)  
조중현 (천문연, 042-865-3238, jhjo39@kasi.re.kr)  
지건화 (극지연, 032-760-5306, ghjee@kopri.re.kr)  
진 호 (경희대, 031-201-3865, benho@khu.ac.kr)

## 감 사

강영운 (세종대, 02-3408-3234, kangyw@sejong.ac.kr)  
양종만 (이화여대, 02-3277-2330, jyang@ewha.ac.kr)

## 편집위원회

### 위원장

이유 (충남대, 042-821-5468, euyiyu@cnu.ac.kr)

### 부위원장

이은상 (경희대, 031-201-2047, eslee@khu.ac.kr)

### 편집실장

김숙경 (학회, 042-865-3351, cosmos@ksss.or.kr)

### 위 원

김방엽 (항우연, 042-860-2144, kby@kari.re.kr)  
나자경 (천문연, 042-865-2055, jknah@kasi.re.kr)  
박찬덕 (연세대, 02-2123-5692, park.chandeok@yonsei.ac.kr)  
이기원 (가톨릭대, 053-850-2573, leekw@cu.ac.kr)  
이대희 (천문연, 042-865-3370, dhlee@kasi.re.kr)  
이병선 (ETRI, 042-860-4903, lbs@etri.re.kr)  
이수창 (충남대, 042-821-5470, screy@cnu.ac.kr)  
이재진 (천문연, 042-865-3248, jilee@kasi.re.kr)  
이주희 (항우연, 042-860-2378, jhl@kari.re.kr)

지건화 (극지연, 032-260-6132, ghjee@kopri.re.kr)  
최영준 (천문연, 042-865-3266, yjchoi@kasi.re.kr)  
Chung Yue Hui (Chungnam National University, Daejeon Korea)  
Xinlin Li (University of Colorado, Boulder USA)  
Tapas Kumar Das (Harish-Chandra Research Institute, Calcutta India)  
Edward F. Guinan (Villanova University, Pennsylvania USA)  
Boonrucksar Soonthornthum (Chiang Mai University, Chiang Mai Thailand)  
Paul A. Evenson (University of Delaware, Newark USA)  
David Ruffolo (Mahidol University, Bangkok Thailand)  
Jeongwoo Lee (New Jersey Institute of Technology, Newark USA)  
Eunhwa Kim (Princeton Plasma Physics Laboratory, Princeton USA)  
Ivan L. Andronov (Odessa National Maritime University, Ukraine)  
Lee-Anne Mckinnell (South African National Space Agency, South Africa)  
Lin-Ni Hau (National Central University, Taiwan (R.O.C.))  
Vitaly P. Kim (Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Russia)  
Jiuhou Lei (University of Science and Technology of China, China)  
Charles Lin (National Cheng Kung University, Taiwan (R.O.C.))  
Huixin Liu (Kyushu University, Japan)  
Valery Nakariakov (University of Warwick, United Kingdom)  
Yuichi Otsuka (Nagoya, University)  
Ilya Usoskin (University of Oulu, Finland)  
Chao Xiong (GFZ German Research Centre for Geosciences, Germany)  
Sungpil Yoon (NOAA, NOS, MD USA)

## 포상위원회

### 위원장

김용기 (충북대, 043-261-3202, ykkm153@chungbuk.ac.kr)

### 위 원

최영준 (천문연, 042-865-3266, yjchoi@kasi.re.kr)  
윤태석 (경북대, 053-950-6365, yoonts@knu.ac.kr)  
이 유 (충남대, 042-821-5468, euyiyu@cnu.ac.kr)  
손영종 (연세대, 02-2123-5688, sohnyj@yonsei.ac.kr)

## 학술대회준비위원회위원장

이대영 (충북대, 043-261-2316, dylee@chungbuk.ac.kr)

### 위 원

김록순 (천문연, 042-865-2018, rskim@kasi.re.kr)  
변용익 (연세대, 02-2123-2693, ybyun@yonsei.ac.kr)  
이재우 (천문연, 042-865-3264, jwlee@kasi.re.kr)  
이주희 (항우연, 042-860-2378, jhl@kari.re.kr)  
지건화 (극지연, 032-760-5306, ghjee@kopri.re.kr)  
진 호 (경희대, 031-201-3865, benho@khu.ac.kr)

## 사무국

사무과장: 고미희 (학회, 042-865-3391, ksss@ksss.or.kr)  
사단법인 한국우주과학회  
34055 대전광역시 유성구 대덕대로 776 한국천문연구원 내  
Tel: (042) 865-3391 Fax: (042) 865-3392  
Homepage: <http://ksss.or.kr> E-mail: ksss@ksss.or.kr

ISSN 1598-5601

# 한국우주과학회보

Bulletin of The Korean Space Science Society

제26권 1호

2017년 4월



사단법인 한국우주과학회  
The Korean Space Science Society



# 차 례

등록 및 교통 안내 .....	8
2017년 봄 학술대회 일정표 요약(CONFERENCE PROGRAM) .....	9
구두발표 논문제목 및 시간표(PAPER PROGRAM) .....	13
포스터발표 논문제목 및 시간표(POSTER TITLES) .....	20
구두발표논문 초록(ABSTRACTS) .....	26
포스터발표논문 초록(ABSTRACTS-POSTER) .....	44
프로시딩(PROCEEDINGS) .....	65
학회 및 관련기관 소식 .....	85
연구홍보 / 광고 .....	117

## <사단법인 한국우주과학회 입회 안내>

사단법인 한국우주과학회는 천문.우주과학 및 관련분야에 종사하는 여러분의 입회를 환영합니다. 우리 학회에 입회를 희망하시는 분은 입회원서 양식에 인적사항을 기재하시어 학회로 보내 주시거나 홈페이지에서 가입하시고 입회비와 연회비는 학회 은행계좌로 송금하시기 바랍니다.

**■ 보낼곳:** 한국우주과학회  
 34055 대전광역시 유성구 대덕대로 776  
 한국천문연구원 내  
 전화 042-865-3391  
 팩스 042-865-3392

**■ 은행계좌:**  
 국민은행 012-01-0603-888  
 우리은행 126-435843-01-001  
 예 금 주 한국우주과학회

**■ 회비납부안내**

회원구분	입회비	연회비
학생회원(학부생)	10,000원	-
정회원	10,000원	50,000원
회장,부회장,	-	100,000원
이사,감사	-	100,000원

※ 회원의 구분은 정관 제6조에 의거하며, 변경된 연회비는 학회운영에 대한 규정 제2조에 의거한 사항입니다.

※ 뒷면의 입회원서를 복사하여 사용해 주십시오.

### [표지사진 설명]

근적외선 영상분광기 NISS는 0.95 ~ 2.5 $\mu$ m 파장대에서 저분산 (R~20)으로 가까운 은하들, 은하단, 별생성 영역 및 저배경원 지역들에 대해 영상분광 탐사를 수행할 예정이다. 최종 비행모델 제작이 완료되어 정밀 검교정 수행 후 2017년 말에 발사될 예정이다. 발사 이후에는 2년여 동안 관측 운영될 계획이다.



# 한국우주과학회

## 2017년 봄 학술대회 일정표

일 시 : 2017. 4. 27.(목) 13:40 - 28.(금) 16:30

장 소 : 변산 대명리조트

발표논문 : 초청강연 3편, 구두발표 63편, 포스터발표 88편 총 154편

발표시간 : 초청강연(30분), 연구발표(15분~20분) 3세션 동시 진행

포스터 집중 발표 : 2017. 4. 27.(목) 17:30 - 18:30

사단법인 한국우주과학회

# 등록 및 교통 안내

## 1. 등록

정회원의 등록비는 130,000원이며, 학생회원과 정회원 중 석.박사과정(전일제) 학생은 70,000원입니다. 사전등록을 하신 회원은 등록자 명부에 서명 후 학회보, 명찰, 등록비 영수증(계산서)을 수령하시기 바랍니다.

## 2. 회원 가입

회원가입을 원하시는 분은 학회 홈페이지에서 회원가입신청 후 입회원서를 인쇄하여 추천인(2인) 서명을 받아 학회 사무국으로 송부하여 주시고 입회비와 연회비는 학회계좌로 송금하여 주시기 바랍니다.

입회비: 10,000원, 연회비: 50,000원

(학부학생회원은 입회비 10,000원, 연회비 면제)입니다.

학회계좌: 국민은행 012-01-0603-888

우리은행 126-435843-01-001

예금주 한국우주과학회

## 3. 발표자료 준비

구두발표: 발표자료는 파워포인트 파일로 준비하시기 바랍니다.  
 포스터발표: 회원들이 시간적 여유를 가지고 포스터를 관람할 수 있도록 4월 27일(목) 14시까지 지정된 장소에 게시하여 주시고, 28일(금) 14시에 수거하여 주시기 바랍니다. 집중발표 시간에 발표자는 자신의 포스터 앞에서 회원들의 질문에 답할 수 있도록 준비해 주시기 바랍니다. 포스터를 부착하지 않거나 학회 종료 후 수거하지 않은 회원은 추후 학회발표가 제한될 수 있습니다(2006년 3차 이사회 결정).

## 4. 발표장

발표형식	구분	분과명
구두발표	1발표장 (가야금)	태양 폭발 현상, 태양 코로나 관측 우주환경, 태양풍 및 자기권
	2발표장 (거문고)	고층대기 I, II 달탐사 특별세션 I, II
	3발표장 (휴플레이스)	우주천문 및 우주기술 I, II, III
포스터 발표	휴플레이스& 로비	우주기술, 우주응용, 우주천문, 태양 및 우주환경, 태양계 및 우주탐사, 기타

## 5. 교통

가. 주소

전라북도 부안군 변산면 변산해변로 51 T. 1588-4888

나. 찾아오시는 길

▶자가용 이용

-서울 : 약 3시간 소요

-대전 : 약 1시간 30분 소요

▶시외, 고속버스 이용

-서울(경부) <-> 부안 버스터미널(3시간 10분 소요)

- 동서울 <-> 부안 버스터미널(3시간 30분 소요)

▶부안 시내버스 이용

- 부안터미널 -> 격포터미널 : 40여분 소요

▶자세한 내용은 리조트 홈페이지 참조

[http://www.daemyungresort.com/daemyung.front.saupjang.byeonsan.resort\\_way\\_map.ds/dmparse.dm?menuNo=03](http://www.daemyungresort.com/daemyung.front.saupjang.byeonsan.resort_way_map.ds/dmparse.dm?menuNo=03)

## 2017년 봄 학술대회 일정표

### 세션별 발표장

발표일	구분	시간	제1발표장 (가야금)	제2발표장 (거문고)	제3발표장 (휴플레이스1)	포스터발표장 (휴플레이스3)
4월 27일 (목)	초청강연 I	13:50~14:20	IS-1			집중발표 17:30~18:30
	세션 I	14:30~16:00	태양 폭발 현상	고층대기 I	우주천문 및 우주기술 I	
	초청강연 II	16:20~16:50	IS-2			
4월 28일 (금)	세션 II	09:30~11:05	태양 코로나 관측	달탐사 특별세션 I	우주천문 및 우주기술 II	
	초청강연 III	11:20~11:50	IS-3			
	세션 III	13:00~14:45	우주환경 일반	고층대기 II	우주천문 및 우주기술 III	
	세션 IV	15:00~16:15	태양풍 및 자기권	달탐사 특별세션 II		

### 구두발표

#### 첫째 날 4월 27일 (목요일)

시간	구분					
11:30~	등록	로비				
12:00~13:40	점심					
13:40~13:50	개회식	제1발표장 (가야금)				
13:50~14:20	초청강연 I	장소 : 제1발표장 (가야금)      좌장: 박필호(천문연) 최기혁(KARI) / 한국의 우주탐사/우주과학 전략 · 미국의 우주탐사 전략 참고				
14:20~14:30	휴식					
		제1발표장 (가야금)	제2발표장 (거문고)	제3발표장 (휴플레이스1)		
		태양 폭발 현상 좌장: 문용재(경희대)	고층대기 I 좌장: 유광선(KAIST)	우주천문 및 우주기술 I 좌장: 김방엽(항우연)		
14:30~14:45	I-1-1	김연한	I-2-1	곽영실	I-3-1	박성민
14:45~15:00	I-1-2	이겨레	I-2-2	조은별	I-3-2	송인웅
15:00~15:15	I-1-3	전성경	I-2-3	이창섭	I-3-3	신범준
15:15~15:30	I-1-4	장수정	I-2-4	홍준석	I-3-4	오대현
15:30~15:45	I-1-5	이하림	I-2-5	이재욱	I-3-5	이병선
15:45~16:00	I-1-6	박진혜			I-3-6	이승욱
16:00~16:20	단체 사진 촬영					
16:20~16:50	초청강연 II	장소 : 제1발표장(가야금)      좌장: 곽영실(천문연) 김용하(충남대) / Bridging the gap between space science and atmospheric science				
16:50~17:30	태양우주환경분과 정기총회	장소 : 가야금				
17:30~18:30	포스터 집중 발표					
18:30~20:30	만찬					

**둘째 날 4월 28일 (금요일)**

시간	제1발표장 (가야금)		제2발표장 (거문고)		제3발표장 (휴플레이스1)	
	태양 코로나 관측 좌장: 채종철(서울대)		달탐사 특별세션 I 좌장: 김주현(항우연)		우주천문 및 우주기술 II 좌장: 이대희(천문연)	
09:30~09:45	II-1-1	이재욱	II-2-1	김은혁	II-3-1	이종우
09:45~10:00	II-1-2	이진이	II-2-2	최영준	II-3-2	윤희중
10:00~10:15	II-1-3	조일현	II-2-3	김경자1	II-3-3	이혜영
10:15~10:30	II-1-4	봉수찬	II-2-4	김경자2	II-3-4	이성환
10:30~10:45	II-1-5	강주형	II-2-5	정민섭	II-3-5	이재원
10:45~11:05	II-1-6	Nakariakov (Inv.)			II-3-6	황정아
11:05~11:20	휴 식					
11:20~11:50	초청강연 III      장소 : 제1발표장(가야금)      좌장: 강영운(세종대) 정웅섭 (KASI) / Infrared Space Missions for Cosmic Infrared Background Study in Korea					
11:50~13:00	점심 식사					
	우주환경 일반 좌장: 김연한(천문연)		고층대기 II 좌장: 지건화(극지연)		우주천문 및 우주기술 III 좌장: 김천휘(충북대)	
13:00~13:15	III-1-1	성숙경	III-2-1	지건화	III-3-1	이대희
13:15~13:30	III-1-2	Miyashita Yukinaga	III-2-2	김은솔	III-3-2	김민빈
13:30~13:45	III-1-3	채종철	III-2-3	감호식	III-3-3	정수민
13:45~14:00	III-1-4	임다예	III-2-4	김관혁	III-3-4	Vikas Agaradahalli Gurumurthy
14:00~14:15	III-1-5	이강우	III-2-5	권혁진	III-3-5	표정현
14:15~14:30	III-1-6	신슬기	III-2-6	권종우	III-3-6	홍진주
14:30~14:45					III-3-7	권오혁
14:45~15:00	휴 식					
	태양풍 및 자기권 좌장: 이대영(충북대)		달탐사 특별세션 II 좌장: 심채경(경희대)			
15:00~15:15	IV-1-1	최정림1	IV-2-1	서행자		
15:15~15:30	IV-1-2	최정림2	IV-2-2	백슬민		
15:30~15:45	IV-1-3	서정준	IV-2-3	선창완		
15:45~16:00	IV-1-4	김명준	IV-2-4	이응석		
16:00~16:15	IV-1-5	장재진	IV-2-5	서민교		

**포스터 발표**  
**집중 발표 시간 : 2017. 4. 27.(목) 17:30~18:30**

번호	분야	발표자	소속	번호	분야	발표자	소속
P-1	우주기술	구인회	항우연	P-27	우주기술	임정흠1	항우연
P-2	우주기술	김영윤1	항우연	P-28	우주기술	임정흠2	항우연
P-3	우주기술	김영윤2	항우연	P-29	우주기술	임현수	항우연
P-4	우주기술	김형완	항우연	P-30	우주기술	장경덕	항우연
P-5	우주기술	김희경	항우연	P-31	우주기술	장성수1	항우연
P-6	우주기술	박봉규	항우연	P-32	우주기술	장성수2	항우연
P-7	우주기술	박응식	항우연	P-33	우주기술	장재웅	항우연
P-8	우주기술	박종석	항우연	P-34	우주기술	전문진1	항우연
P-9	우주기술	박종오1	항우연	P-35	우주기술	전문진2	항우연
P-10	우주기술	박종오2	항우연	P-36	우주기술	전현진	항우연
P-11	우주기술	박주호	항우연	P-37	우주기술	조승원	항우연
P-12	우주기술	박진형	항우연	P-38	우주기술	조창권	항우연
P-13	우주기술	방수완	항우연	P-39	우주기술	천이진	항우연
P-14	우주기술	신재민1	항우연	P-40	우주기술	허윤구	항우연
P-15	우주기술	신재민2	항우연	P-41	우주기술	한상혁	항우연
P-16	우주기술	신현규	항우연	P-42	우주응용	명환춘	항우연
P-17	우주기술	연정흠	항우연	P-43	우주응용	박종억1	항우연
P-18	우주기술	윤용식1	항우연	P-44	우주응용	박종억2	항우연
P-19	우주기술	윤용식2	항우연	P-45	우주응용	신상윤	항우연
P-20	우주기술	이상록	항우연	P-46	우주응용	이도경	항우연
P-21	우주기술	이상택1	항우연	P-47	우주응용	이종원	항우연
P-22	우주기술	이상택2	항우연	P-48	우주응용	이종태	항우연
P-23	우주기술	이선호	항우연	P-49	우주천문	문봉곤	천문연
P-24	우주기술	이원범	항우연	P-50	우주천문	박종엽	천문연
P-25	우주기술	이주훈1	항우연	P-51	우주천문	박형민	국립고흥청소년우주체험센터
P-26	우주기술	이주훈2	항우연	P-52	태양 및 우주환경	김수진	천문연

번호	분야	발표자	소속	번호	분야	발표자	소속
P-53	태양 및 우주환경	김지은	극지연	P-71	태양계 및 우주탐사	배종희	항우연
P-54	태양 및 우주환경	김진현	경희대	P-72	태양계 및 우주탐사	손승희	항우연
P-55	태양 및 우주환경	노성준	충북대	P-73	태양계 및 우주탐사	송영주	항우연
P-56	태양 및 우주환경	문병하	전남대	P-74	태양계 및 우주탐사	송호섭	충남대
P-57	태양 및 우주환경	박은수	경희대	P-75	태양계 및 우주탐사	이만규	경희대
P-58	태양 및 우주환경	서정준	천문연	P-76	태양계 및 우주탐사	이승아	경희대
P-59	태양 및 우주환경	신재혁	경희대	P-77	태양계 및 우주탐사	이정규	경희대
P-60	태양 및 우주환경	오수연	전남대	P-78	태양계 및 우주탐사	이주희	항우연
P-61	태양 및 우주환경	이원형	국가기상 위성센터	P-79	태양계 및 우주탐사	이호정	경희대
P-62	태양 및 우주환경	이정우	서울대	P-80	태양계 및 우주탐사	이희재	충북대
P-63	태양 및 우주환경	정종일	충남대	P-81	태양계 및 우주탐사	임조령	항우연
P-64	태양 및 우주환경	조영준	항우연	P-82	태양계 및 우주탐사	정다운	항우연
P-65	태양 및 우주환경	최화진	극지연	P-83	태양계 및 우주탐사	조경복	충남대
P-66	태양 및 우주환경	함영배	극지연	P-84	태양계 및 우주탐사	최이레	한국지질 자원연구원
P-67	태양계 및 우주탐사	김연규	항우연	P-85	태양계 및 우주탐사	홍익선	충남대
P-68	태양계 및 우주탐사	김영록	항우연	P-86	기타	강철	항우연
P-69	태양계 및 우주탐사	김주현	항우연	P-87	기타	이창은	항우연
P-70	태양계 및 우주탐사	김형규	공주대	P-88	기타	이훈희	항우연

## 구두발표 논문제목 및 시간표

4월 27일(목)

제1발표장 (가야금)

## ■ 초청강연 I

좌장: 박필호 (천문연)

13:50 [I-1-I]

한국의 우주탐사/우주과학 전략 - 미국의 우주탐사 전략 참고

최기혁

한국항공우주연구원

제1발표장 (가야금)

## ■ I-1 태양 폭발 현상

좌장: 문용재 (경희대)

14:30 [I-1-1]

Loop eruption observed in He I D3 line associated with B-class brightening on 2016 May 30

Yeon-Han Kim<sup>1,2</sup>, Su-Chan Bong<sup>1,2</sup>, Eun-Kyung Lim<sup>1</sup>, Heesu Yang<sup>1</sup>, Be-Ho Jang<sup>1</sup>, Young-Deuk Park<sup>1</sup><sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>University of Science and Technology

14:45 [I-1-2]

Period Change Caused by Shock Merging in the Chromosphere of Sunspots

Kyeo-Re Lee, Jongchul Chae

Astronomy Program, Department of Physics and Astronomy, Seoul National University

15:00 [I-1-3]

Classification of the kinematics of coronal mass ejections

Seong-Gyeong Jeon, Kangwoo Yi, Yong-Jae Moon

School of Space Research, Kyung Hee University

15:15 [I-1-4]

Two distinct types of CME-flare relationships using SOHO and STEREO

Soojeong Jang<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Rok-Soon Kim<sup>2</sup>, Sujin Kim<sup>2</sup>, Jae-Ok Lee<sup>2</sup><sup>1</sup>Kyung Hee University<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

15:30 [I-1-5]

Statistical study on the radial and azimuthal wave modes of 25 Halo CMEs using multi spacecrafts

Harim Lee<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, V. M. Nakariakov<sup>1,2</sup><sup>1</sup>School of Space Research, Kyung Hee University<sup>2</sup>Centre for Fusion, Space & Astrophysics, Physics Department, Univ. of Warwick, UK

15:45 [I-1-6]

Dependence of the peak fluxes of solar energetic particles on 3D CME parameters from STEREO and SOHO

Jinhye Park<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1,2</sup>, Harim Lee<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Astronomy & Space Science, Kyung Hee University<sup>2</sup>School of Space Research, Kyung Hee University

제2발표장 (거문고)

## ■ I-2 고층대기 I

좌장: 유광선 (KAIST)

14:30 [I-2-1]

Scientific objectives of the SNIPE mission

Young-Sil Kwak<sup>1,2</sup>, Jae-Jin Lee<sup>1,2</sup>, Junga Hwang<sup>1,2</sup>, Jaeheung Park<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>Korea University of Science and Technology

14:45 [I-2-2]

Sporadic E layer as a measure of wind shear in the mid-latitude ionosphere

Eun-Byeol Jo, Yongha Kim

Dept. Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University

15:00 [I-2-3]

Comment of the paper "Mesospheric temperatures estimated from the meteor radar observations at Mohe, China" by Liu et al. (2017)

Changsup Lee<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, In-Sun Song<sup>1</sup>, Yongha Kim<sup>2</sup><sup>1</sup>Korea Polar Research Institute<sup>2</sup>Chungnam National University

**15:15 [I-2-4]**

**Climatology of the ionospheric mid-latitude trough based on satellite observations**

Junseok Hong<sup>1,2</sup>, Yongha Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chungnam National University

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

**15:30 [I-2-5]**

**Evidence of teleconnection between low-latitude and high-latitude MLT through 16-day wave during stratospheric warmings in the southern hemisphere**

Jaewook Lee<sup>1</sup>, Sunkara Eswaraiah<sup>1</sup>, Yongha Kim<sup>1</sup>, Madineni Venkat Ratnam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University, Daejeon, Korea

<sup>2</sup>National Atmospheric Research Laboratory (NARL), Gadanki, Tirupati, India

**15:15 [I-3-4]**

**The magnetic field measurement of KSEM: I. AC clearing process**

Daehyeon Oh, Donghee Lee, Jiyoung Kim, Hyesook Lee

National Meteorological Satellite Center, Korea Meteorological Administration

**15:30 [I-3-5]**

**Current activities of the CCSDS navigation working group**

Byoung-Sun Lee<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Electronics and Telecommunications Research Institute

<sup>2</sup>University of Science and Technology

**15:45 [I-3-6]**

**우주과학 연구를 위한 고정밀도 Fluxgate형 자력계 개발 진행사항**

이승욱<sup>1</sup>, 노성준<sup>1</sup>, 최정림<sup>1</sup>, 강경인<sup>2</sup>, 류기홍<sup>3</sup>, 김지석<sup>1</sup>, 박영진<sup>1</sup>, 이대영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충북대학교, <sup>2</sup>한국과학기술원 인공위성센터, <sup>3</sup>경북대학교

**제3발표장 (휴플레이스1)**

**■ I-3 우주천문 및 우주기출 I**

**좌장: 김방엽 (항우연)**

**14:30 [I-3-1]**

**GEANT4 모의실험을 통한 우주기상 탐재체 입자 검출기의 반응 도출**

박성민<sup>1</sup>, 신유철<sup>1</sup>, 우주<sup>1</sup>, 윤지원<sup>1</sup>, 채규성<sup>1</sup>, 선종호<sup>1</sup>, 이강진<sup>2</sup>, 구분준<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>한국전자통신연구원

**14:45 [I-3-2]**

**위성 탐재용 광학 반사경의 열-진공 우주환경시험시 오차 및 성능 분석**

송인용<sup>1,2</sup>, 양호순<sup>2,3</sup>, 김학용<sup>2,3</sup>, 이회운<sup>2</sup>, 김석환<sup>1</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 천문우주학과 우주광학연구실,

<sup>2</sup>한국표준과학연구원 우주광학센터, <sup>3</sup>과학기술연합대학원대학교 측정과학과

**15:00 [I-3-3]**

**Orbit determination of GEO satellites using optical wide-field patrol network(OWL-Net) data with batch filter**

Bumjoon Shin, Sang-Young Park, Eunji Lee

Astrodynamics and Control lab., Department of Astronomy, Yonsei University

**16:00 ~ 16:20 단체사진 촬영**

**제1발표장 (가야금)**

**■ 초청강연 II**

**좌장: 박영실 (천문연)**

**16:20 [IS-II]**

**Bridging the gap between space science and atmospheric science**

Yongha Kim

Dept. Astronomy Space Science and Geology, Chungnam National University

**17:30 ~ 18:30 포스터 집중 발표**

**4월 28일 (금)****제1발표장 (가야금)**

■ II-1 태양 코로나 관측  
좌장: 채종철 (서울대)

**09:30 [II-1-1]**

**Coronal magnetic field distributions inferred from CME-driven shock signatures and polarized brightness measurements by LASCO-C2 coronagraph**

Jae-Ok Lee<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>2</sup>, Kyung-Suk Cho<sup>1</sup><sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*<sup>2</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University***09:45 [II-1-2]**

**Heating of an erupting prominence associated with a coronal mass ejection on 2012 January 27**

Jin-Yi Lee<sup>1</sup>, John C. Raymond<sup>2</sup>, Katharine K. Reeves<sup>2</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Kap-Sung Kim<sup>1</sup><sup>1</sup>*Kyung Hee University*<sup>2</sup>*Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics***10:00 [II-1-3]**

**Determination of 2D solar wind speeds derived from LASCO/C3 observations by using the phase velocity decomposition method**

Il-Hyun Cho<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1,2</sup>, Jin-Yi Lee<sup>1</sup><sup>1</sup>*Department of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University*<sup>2</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University***10:15 [II-1-4]**

**2017 total solar eclipse expedition of KASI**

Su-Chan Bong<sup>1,2</sup>, Seonghwan Choi<sup>1</sup>, Jihun Kim<sup>1</sup>, Jongyeob Park<sup>1</sup>, Bi-Ho Jang<sup>1</sup>, Young-Deuk Park<sup>1</sup>, Kyung-Suk Cho<sup>1,2</sup><sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*<sup>2</sup>*University of Science and Technology***10:30 [II-1-5]**

**Coelostat design of Seoul national university**

Juhyeong Kang, Jongchul Chae, Kyeore Lee

*Seoul National University***10:45 [II-1-6]**

**Decayless kink oscillations of solar coronal loops**

Nakariakov, V. M.

*School of Space Research, Kyung Hee University***제2발표장 (거문고)**

■ II-2 달탐사 특별세션 I  
좌장: 김주현 (항우연)

**09:30 [II-2-1]**

**Science goals for Korea pathfinder lunar orbiter science instruments**

Eunhyeuk Kim

*Korea Aerospace Research Institute***09:45 [II-2-2]**

**Preliminary system design of core instruments for the future Korea lunar exploration**

Young-Jun Choi<sup>1,2</sup>, Mihyun Kim<sup>1</sup>, Seung Kwan Kim<sup>3</sup>, Seong Je Park<sup>4</sup>, Geon-Hee Kim<sup>5</sup>, Khyungin Kang<sup>6</sup><sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*<sup>2</sup>*University of Science and Technology*<sup>3</sup>*Korea Research Institute of Standards and Science*<sup>4</sup>*Korea Institute of Machinery and Materials*<sup>5</sup>*Korea Basic Science Institute*<sup>6</sup>*Satellite Technology Research Center, KAIST***10:00 [II-2-3]**

**Report on development of the gamma-ray spectrometer for the Korea pathfinder lunar orbiter**

Kyeong Ja Kim<sup>1,2</sup>, Yire Choi<sup>1,2</sup>, Junghun Park<sup>1</sup>, Eung Seok Yi<sup>3</sup>, Sungsoon Lee<sup>1</sup>, Young-Kwang Yeon<sup>1</sup>, Chang Wan Sun<sup>2</sup>, K. B. Lee<sup>4</sup>, Yong-Kwon Kim<sup>5</sup>, Kyoung Wook Min<sup>6</sup>, Kyungin Kang<sup>6</sup>, Jin Yeon Cho<sup>7</sup>, Jeong-Hun Cha<sup>9</sup>, Yeon Cheol Kang<sup>7</sup>, Nobuyuki Hasebe<sup>8</sup>, Richard Elphic<sup>9</sup>, KGRS science Team<sup>1</sup>*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*<sup>2</sup>*University of Science and Technology*<sup>3</sup>*Chungnam National University*<sup>4</sup>*Korea Research Institute of Standards and Science*<sup>5</sup>*Nucare*<sup>6</sup>*Korea Advanced Institute of Science and Technology*<sup>7</sup>*Inha University*<sup>8</sup>*Waseda University*<sup>9</sup>*NASA Ames Research Center*

10:15 [II-2-4]

**Introduction to a gamma-ray and neutron spectrometer suite for future planetary surface investigation in the solar system**

Kyeong Ja Kim<sup>1,2</sup>, Junghun Park<sup>1</sup>, Yire Choi<sup>1,2</sup>, Eung Seok Yi<sup>1,3</sup>, Chang Wan Sun<sup>1,2</sup>, Sungsoon Lee<sup>1</sup>, Young-Kwang Yeon<sup>1</sup>, K. B. Lee<sup>4</sup>, Nobuyuki Hasebe<sup>5</sup>, Won-Kee Park<sup>6</sup>, Bongkon Moon<sup>6</sup>, Kyungin Kang<sup>7</sup>, Young-Jun Choi<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources  
<sup>2</sup>University of Science and Technology  
<sup>3</sup>Chungnam National University  
<sup>4</sup>Korea Research Institute of Standards and Science  
<sup>5</sup>Waseda University  
<sup>6</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute  
<sup>7</sup>Korea Advanced Institute of Science and Technology

10:30 [II-2-5]

**Preliminary design of wide-angle polarimetric camera for Korean pathfinder lunar orbiter (KPLO)**

Minsup Jeong<sup>1</sup>, Young-Jun Choi<sup>1,4</sup>, Sungsoo S. Kim<sup>2</sup>, Kyung-In Kang<sup>3</sup>, Chae Kyung Sim<sup>2</sup>, Il-Hoon Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute  
<sup>2</sup>Kyung Hee University  
<sup>3</sup>Korea Advanced Institute of Science and Technology  
<sup>4</sup>University of Science and Technology

**제3발표장 (휴플레이스1)**

■ II-3 우주천문 및 우주기술 II  
좌장: 이대희 (천문연)

09:30 [II-3-1]

**Laser-based spacecraft relative navigation with intermittent observation data**

Jongwoo Lee, Dae-Eun Kang, Sang-Young Park, Youngro Lee, Pureum Kim

Department of Astronomy, Yonsei University

09:45 [II-3-2]

**Dynamic vectorial platform for the polarization mode trains realized with Jones vectors in Mathematica**

Hee-Joong Yun

Korea Institute of Science and Technology Information

10:00 [II-3-3]

**Development of 64-channel silicon photomultiplier sensor and low light camera using the sensor**

H. Y. Lee<sup>1</sup>, Jin-A Jeon<sup>1</sup>, Il H. Park<sup>1,2</sup>, Jik Lee<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Science and Technology in Space, Sungkyunkwan

University

<sup>2</sup>Department of Physics, Sungkyunkwan University

10:15 [II-3-4]

**국내외 큐브위성 개발현황 및 동향 분석**

이성환<sup>1,2</sup>, 진호<sup>1,3</sup>, 이정규<sup>1</sup>, 이효정<sup>1</sup>, 신재혁<sup>1</sup>, 이만규<sup>1</sup>, 이승아<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>인투물류, <sup>3</sup>경희대학교 우주과학과

10:30 [II-3-5]

**조도정보를 활용한 주·야간 자동 전천관측기술 개발 연구**

이재원<sup>1</sup>, 기균도<sup>1</sup>, 박인춘<sup>2</sup>, 김영철<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국방정보본부 지형기상정책과, <sup>2</sup>나고야대학교 우주지구환경연구소, <sup>3</sup>한서대학교 항공운항학과

10:45 [II-3-6]

**Small scale magnetospheric and ionospheric plasma experiments; SNIPE mission**

Junga Hwang, Jaejin Lee, Jongdae Shon, Jaeheung Park, Young-Sil Kwak, Uk-Won Nam, Won-Kee Park

Korea Astronomy and Space Science Institute

**제1발표장 (가야금)**

■ 초청강연 III  
좌장: 강영운 (세종대)

11:20 [IS-III]

**Infrared space missions for cosmic infrared background study in Korea**

Woong-Seob Jeong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute  
<sup>2</sup>University of Science and Technology

**제1발표장 (가야금)**

■ III-1 우주환경 일반  
좌장: 김연한 (천문연)

13:00 [III-1-1]

**Consistency between magnetic field orientations in solar corona and near the Earth using 60 CME-ICME pairs**

Suk-Kyung Sung<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Space Research, Kyung Hee University  
<sup>2</sup>Department of Space Science, Kyung Hee University

13:15 [III-1-2]

**Near-Earth magnetotail and auroral arc development associated with substorm onset: A new interpretation of substorm triggering**

Yukinaga Miyashita<sup>1</sup>, Yasutaka Hiraki<sup>2</sup>, Vassilis Angelopoulos<sup>3</sup>, Akimasa Ieda<sup>4</sup>, Shinobu Machida<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*Advanced Knowledge Laboratory, Inc.*

<sup>3</sup>*University of California Los Angeles*

<sup>4</sup>*Nagoya University*

13:30 [III-1-3]

**Performance of the autoregressive method in long-term prediction of sunspot number**

Jongchul Chae<sup>1</sup>, Yeonhan Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Seoul National University*

<sup>2</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

13:45 [III-1-4]

**Major flare occurrence rate depending on magnetic field parameters**

Daye Lim<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Jongyeob Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

14:00 [III-1-5]

**Application of convolution neural network to flare forecasting**

Kangwoo Yi, Eunsu Park, Seulki Shin, Yong-Jae Moon

*School of Space Research, Kyung Hee University*

14:15 [III-1-6]

**Application of a deep-learning method to the forecast of daily solar flare occurrence using convolution neural network**

Seulki Shin<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Hyoungseok Chu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*Software Policy & Research Institute*

**제2발표장 (거문고)**

**III-2 고층대기 II**

**좌장: 지건화 (극지연)**

13:00 [III-2-1]

**New radar for monitoring polar ionosphere at Jang Bogo station, Antarctica**

Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Young-Bae Ham<sup>1</sup>, Hyuck-Jin Kwon<sup>1</sup>, Eunsol Kim<sup>2</sup>, Yongha Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Polar Research Institute*

<sup>2</sup>*Chungnam National University*

13:15 [III-2-2]

**Climatology of the electron density profiles in the polar ionosphere using long-term incoherent scatter radar observations**

Eunsol Kim<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>2</sup>, Yongha Kim<sup>1</sup>, Youngsil Kwak<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Chungnam National University*

<sup>2</sup>*Korea Polar Research Institute*

<sup>3</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

13:30 [III-2-3]

**Derived temperature from meteor radars in Northern and Southern high-latitude regions**

Hosik Kam<sup>1</sup>, Yongha Kim<sup>1</sup>, Nicholas Mitchell<sup>2</sup>, Jeong-Han Kim<sup>3</sup>, Changsup Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Chungnam National University*

<sup>2</sup>*University of Bath*

<sup>3</sup>*Korea Polar Research Institute*

13:45 [III-2-4]

**SC-associated electric field variations in the magnetosphere and ionosphere**

Khan-Hyuk Kim<sup>1</sup>, Su-In Kim<sup>1</sup>, Hyuck-Jin Kwon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*Division of Polar Climate Sciences, Polar Research Institute*

14:00 [III-2-5]

**Solar wind-driven Pc5 waves at Jang Bogo station, Antarctica**

Hyuck-Jin Kwon<sup>1</sup>, Khan-Hyuk Kim<sup>2</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Division of Polar Climate Sciences, Korea Polar Research Institute*

<sup>2</sup>*School of Space Research, Kyung-Hee University*

14:15 [III-2-6]

**Statistical analysis of EMIC Pc1-Pc2 waves observed at the subauroral-latitude Athabasca (L ~ 4.6) ground station and estimation of EMIC wave source region**

Jong-Woo Kwon, Khan-Hyuk Kim, Ho Jin

*School of Space Research, Kyung Hee University*

제3발표장 (휴플레이스1)

III-3 우주천문 및 우주기술 III  
좌장: 김천휘 (충북대)

13:00 [III-3-1]  
한국형 우주망원경 융합연구사업 가능성 연구

이대희<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교

13:15 [III-3-2]  
High-resolution camera for Earth observation and astronomy: design, adjustment and space-suitability tests

Min Bin Kim<sup>1</sup>, Mariia Tumarina<sup>1</sup>, Mikhail Ryazanskiy<sup>2</sup>, I.H. Park<sup>1</sup>, Gihan Hong<sup>1</sup>, Nikolay Vedenkin<sup>2</sup>, Aleksander Milov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sungkyunkwan University

<sup>2</sup>SatByul Co.

<sup>3</sup>Dauria Aerospace

13:30 [III-3-3]  
On-orbit calibration of UFFO/Lomonosov for detecting the early photons from GRBs

S. Jeong<sup>1,2</sup>, I. H. Park<sup>1</sup>, on behalf of the UFFO collaboration

<sup>1</sup>SungKyunKwan University, Institute for Space Technology and Science, Suwon, Korea

<sup>2</sup>Instituto de Astronomica en Andalucia-CSIC, Granada, Spain

13:45 [III-3-4]  
The performance of Slewign mirror telescope on orbit, problem of faulty encoder and it's solution

Agaradahalli Gurumurthy Vikas, Gaikov Georgii, Jeong Soomin, Jeong Hyomin, Kim Minbin, Lee Jik, I. H. Park

Department of Physics, Sungkyunkwan University

14:00 [III-3-5]  
Status of the MIRIS data reduction and analysis

Jeonghyun Pyo<sup>1</sup>, Il-Joong Kim<sup>1</sup>, Woong-Seob Jeong<sup>1,2</sup>, Dae-Hee Lee<sup>1,2</sup>, Bongkon Moon<sup>1</sup>, Youngsik Park<sup>1</sup>, Sung-Joon Park<sup>1</sup>, Won-Kee Park<sup>1</sup>, Duk-Hang Lee<sup>1</sup>, Uk-Won Nam<sup>1</sup>, Wonyong Han<sup>1,2</sup>, Kwang-Il Seon<sup>1,2</sup>, Toshio Matsumoto<sup>3</sup>, Min Gyu Kim<sup>4</sup>, Hyung Mok Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>2</sup>University of Science and Technology

<sup>3</sup>ISAS/JAXA, Japan

<sup>4</sup>Seoul National University

14:15 [III-3-6]  
A new catalog of AGB stars based on AKARI PSC

Jinju Hong, Kyung-Won Suh

Chungbuk National University

14:30 [III-3-7]  
마이컬슨·몰리실험, 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 재해석

권오혁

부경대학교 지질환경연구소

제1발표장 (가야금)

IV-1 태양풍 및 자기권  
좌장: 이대영 (충북대)

15:00 [IV-1-1]  
The kinetic Alfvén solitary wave in resistive tearing instability

최정림<sup>1</sup>, 우민호<sup>2</sup>, 이대영<sup>1</sup>, 박경선<sup>1</sup>, P. Yoon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 천문우주학과, <sup>2</sup>국가핵융합연구소, <sup>3</sup>Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland

15:15 [IV-1-2]  
Particle diffusion by obliquely propagating kinetic Alfvén wave

최정림<sup>1</sup>, 우민호<sup>2</sup>, 독고경환<sup>3</sup>, 이대영<sup>1</sup>, P. Yoon<sup>4</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 천문우주학과, <sup>2</sup>국가핵융합연구소, <sup>3</sup>한국과학기술원 물리학과, <sup>4</sup>Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland

15:30 [IV-1-3]  
Whistler waves in the solar wind: unidirectional or bidirectional propagation?

Jungjoon Seough

Korea Astronomy and Space Science Institute

15:45 [IV-1-4]  
The study of interplanetary small-scale magnetic flux rope by ACE observations and global MHD simulation

Myeong Joon Kim<sup>1</sup>, Kyung Sun Park<sup>1</sup>, Dae-Young Lee<sup>1</sup>, Rok Soon Kim<sup>2</sup>, Kyungsuk Cho<sup>2</sup>, Gyu Cheol Choi<sup>3</sup>, Jaehoon Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>3</sup>Space Environment Laboratory

<sup>4</sup>The Korean Space Weather Center of the National Radio Research Agency

16:00 [IV-1-5]

**Effects of conductance asymmetry and source characteristics on quarter-wave modes**

Jae-Jin Jang, Dong-Hun Lee

*Kyung Hee University*

**제2발표장 (거문고)**

**■ IV-2 달탐사 특별세션 II**

**좌장: 심채경 (경희대)**

15:00 [IV-2-1]

**Analysis of lunar spectral features for near-IR**

Haingja Seo<sup>1</sup>, Eunjin Cho<sup>1,2</sup>, Ikseon Hong<sup>1,2</sup>, Minsup Jeong<sup>1</sup>, Young-Jun Choi<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University*

<sup>3</sup>*University of Science and Technology*

15:15 [IV-2-2]

**Statistical analysis of ULF waves observed by Lunar Prospector at the Moon**

Seul-Min Baek, Khan-Hyuk Kim, Ho Jin

*School of Space Research, Kyung Hee University*

15:30 [IV-2-3]

**Cross correlation을 이용한 Kaguya lunar radar sounder (LRS) 궤도 데이터 정밀 보정**

선창완<sup>1,2</sup>, 고바야시 타카오<sup>1</sup>, 김경자<sup>1,2</sup>, 최영준<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 국토지질연구본부 지질연구센터,

<sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 물리탐사공학과, <sup>3</sup>한국천문연구원 우주과학본부 행성과학그룹

15:45 [IV-2-4]

**분광분석을 이용한 알프스 협곡 지역의 화산쇄설물 후보조사**

이응석<sup>1,2</sup>, 최이레<sup>2,3</sup>, 선창완<sup>2,3</sup>, 김경자<sup>2</sup>, 김용하<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 우주지질학과 우주과학실험실, <sup>2</sup>한국지질자원연구원 국토지질연구본부 지질연구센터, <sup>3</sup>한국과학기술대학원대학교(UST)

16:00 [IV-2-5]

**달탐사 로버 이동 기구부의 안정성, 주행 성능 증진을 위한 월면 환경 고려요소**

서민교<sup>1</sup>, 이우섭<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술연구원 로봇미디어 연구소, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 KIST 캠퍼스 HCI 및 로봇응용공학

## 포스터발표 논문제목

집중발표시간: 4월 28일(목) 17:30~18:30

### ■ 우주기술

#### [P-1] 대용량 위성영상을 위한 k-means clustering의 병렬처리

구인회<sup>1</sup>, 한수희<sup>2</sup>, 이선구<sup>1</sup>, 정대원<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원, <sup>2</sup>경일대학교 공간정보공학과

#### [P-2] Development of the equipment for the power line interface check between avionics of satellite

Young-Yun Kim, Dong-Chul Choi, Joo-Ho Park, Guee-Won Moon

*Korea Aerospace Research Institute*

#### [P-3] Interfaces check between avionics test set and engineering test bed

Young-Yun Kim, Jin-Young Ryu, Seung-Won Cho, Yun-Gu Huh, Guee-Won Moon

*Korea Aerospace Research Institute*

#### [P-4] 설계 프로세스 개선을 위한 순차적인 반복 (sequential iteration) 모델 연구

김형완, 최정수, 박종석

한국항공우주연구원

#### [P-5] Considerations on thermal environments of lunar lander on lunar surface

Hui-Kyung Kim<sup>1,2</sup>, Dong-Young Rew<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Korea Aerospace Research Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

#### [P-6] GEO-KOMPSAT-2B SLR (satellite laser ranging) time slot analysis

Bong-Kyu Park, Jae-Dong Choi

*Korea Aerospace Research Institute*

#### [P-7] 정지궤도 위성 액체원지점엔진 고장시 임무수명 분석

박응식<sup>1</sup>, 채중원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 정지궤도복합위성사업단, <sup>2</sup>한국항공우주연구원 위성기계팀

#### [P-8] 정지궤도복합위성의 별추적기 지지구조물 설계

박종석<sup>1</sup>, 최정수<sup>1</sup>, 김창호<sup>2</sup>, 최재동<sup>1</sup>, 이상률<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 정지궤도복합위성사업단, <sup>2</sup>한국항공우주연구원 위성기술연구단

#### [P-9] 중형위성 전기지상시험장치 개발 방안

박종오<sup>1</sup>, 전현진<sup>1</sup>, 김경수<sup>2</sup>, 배진곤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 위성연구본부 차세대중형위성체계팀, <sup>2</sup>한국항공우주산업 위성시스템팀

#### [P-10] 중형위성 전기지상시험장치 시험 계획

박종오<sup>1</sup>, 전현진<sup>1</sup>, 김경수<sup>2</sup>, 배진곤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 위성연구본부 차세대중형위성체계팀, <sup>2</sup>한국항공우주산업 위성시스템팀

#### [P-11] Solar array simulator design and test preparation

Joo-Ho Park, Dong-Chul Chae, Yun-Goo Huh, Young-Yun Kim, Seung-Won Cho, Su-Wan Bang, Guee-Won Moon

*Korea Aerospace Research Institute*

#### [P-12] Scan angle measurement and analysis for detecting image loss of AMI

Jinhyung Park, Chiho Kang

*Korea Aerospace Research Institute*

#### [P-13] 저궤도 위성의 ITOS (integrated test of system) 설계 방안

방수완, 허윤구, 조승원, 박주호, 문귀원

한국항공우주연구원

#### [P-14] Understandings of design difficulty on a future wide bandwidth SAR system

Jae-Min Shin

*Korea Aerospace Research Institute*

#### [P-15] Design of point-target RCS for SAR calibration activities

Jae-Min Shin

*Korea Aerospace Research Institute*

#### [P-16] Design and implementation of SDL parser

Hyun-Kyu Shin

*Korea Aerospace Research Institute*

**[P-17] 정지궤도 미래형 전자광학탐재체 광구조부 개념설계**

연정흠<sup>1</sup>, 이원범<sup>1</sup>, 김성희<sup>1</sup>, 이덕규<sup>1</sup>, 이승훈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 탐재체광학팀, <sup>2</sup>한국항공우주연구원 위성탐재체연구단

**[P-18] CFRP 기계 특성 시험을 통한 우주비행체 활용성 연구**

윤용식, 최익현

한국항공우주연구원 융합기술연구센터 항공우주응용재료팀

**[P-19] 우주 방사선 노출 및 기계 특성 시험을 통한 CFRP의 우주비행체 활용 가능성 연구**

윤용식, 정지연

한국항공우주연구원 융합기술연구센터 항공우주응용재료팀

**[P-20] 인공위성 태양전지판 온도센서 Return의 태양전지판 구동기 Slip Ring 공유 영향성 분석**

이상록, 전문진, 김창균, 임성빈

한국항공우주연구원 달탐사체계팀

**[P-21] 우주개발품에 발생 가능한 주요 고장 및 검토**

이상택, 이해선, 백명진

한국항공우주연구원

**[P-22] 우주급 부품 인증제도에 대한 검토**

이상택, 이우준, 백명진

한국항공우주연구원

**[P-23] 영상레이더 위성의 InSAR 도플러 중심주파수 최소화를 위한 시스템 운영 방안**

이선호

한국항공우주연구원

**[P-24] 신소재 대구경 고안정 광구조체 지상검증모델 설계**

이원범, 연정흠, 김성희, 정대준, 이덕규, 이승훈

한국항공우주연구원

**[P-25] 아리랑위성 구조 개선 연구**

이주훈<sup>1</sup>, 김선원<sup>1</sup>, 김경원<sup>1</sup>, 윤길원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원, <sup>2</sup>대한항공

**[P-26] 위성 Optical Bench 설계**

이주훈<sup>1</sup>, 김선원<sup>1</sup>, 김경원<sup>1</sup>, 권상룡<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원, <sup>2</sup>대한항공

**[P-27] Propellant budget analysis for orbit maintenance of two out-of-plane low earth orbit satellites**

Jeong-Heum Im<sup>1</sup>, Ji-Marn Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Korea Aerospace Industries, Ltd.

**[P-28] Mission orbit selection study for the second medium-sized low earth orbit satellite**

Jeong-Heum Im<sup>1</sup>, Ji-Marn Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Korea Aerospace Industries, Ltd.

**[P-29] Design and implementation of maintenance and supporting subsystem for GK2A satellite operations center**

Hyun-Su Lim, Wooyeol Choi

Ground System Development Team, Satellite Operation Division, Satellite Information Research Laboratory, Korea Aerospace Research Institute

**[P-30] 중형위성의 자기장 영향 검증 기법 연구**

장경덕, 김태윤, 장재용, 이창은

한국항공우주연구원

**[P-31] 정지궤도복합위성 탐재체의 전원특성을 고려한 보호회로 설계**

장성수, 이나영, 유재남

한국항공우주연구원

**[P-32] 전기추력기 전원장치의 개발동향과 개발개념 소개**

장성수, 최재동, 이상률

한국항공우주연구원

**[P-33] EMC safety margin analysis of AOCs units in multi-purpose satellite**

Jaewoong Jang, Taeyoun Kim, Kyoungduk Jang, Changeun Lee

Korea Aerospace Research Institute

**[P-34] 시험용 달 궤도선의 전력 분석**

전문진, 이상록, 김창균, 임성빈

한국항공우주연구원 달탐사체계팀

**[P-35] 시험용 달 궤도선의 태양전지판 운용**

전문진, 이상록, 김창균, 임성빈

한국항공우주연구원 달탐사체계팀

**[P-36] 인공위성 전력 시스템 효율성 제고를 위한 반작용 휠의 실제 소모전력 계산**

전현진, 박중오

한국항공우주연구원

**[P-37] 기저대역 전기지상지원장비 검증 장치 설계**

조승원, 방수완, 박주호, 문귀원

한국항공우주연구원

**[P-38] 모델기반 시스템 엔지니어링을 이용한 위성의 결합관리 설계 방안 제안**

조창권

한국항공우주연구원

**[P-39] A scenario-driven and behavior-based satellite telemetry simulation system**

Yee-Jin Cheon

Korea Aerospace Research Institute

**[P-40] 저궤도 위성 개발 단계별 통합시험 · 운영시스템 (ITOS: integrated test and operation system) 활용 범위**

허윤구, 방수완, 류진영, 문귀원

한국항공우주연구원

**[P-41] 한국의 큐브위성 개발 현황**

한상혁, 최연주, 공현철

한국항공우주연구원

■ 우주응용

**[P-42] FCI/ABI/AHI의 최신 동향 소개**

명환춘, 양군호

한국항공우주연구원

**[P-43] The design concept analysis of the electronic module for the high resolution GEO-satellite electro-optic camera system**

Jong-Euk Park<sup>1,2</sup>, SeungHoon Lee<sup>1</sup>, Kijun Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Chungnam National University, Department of Electronics Engineering

**[P-44] The preliminary design analysis of the lunar exploration electro-optic payload control module**

Jong-Euk Park<sup>1,2</sup>, Haeng-Pal Heo<sup>1</sup>, Kijun Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Chungnam National University, Department of Electronics Engineering

**[P-45] The advanced satellite data interface for the payload system**

Sangyoun Shin<sup>1,2</sup>, HyoungHo Ko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Chungnam National University, Department of Electronics Engineering

**[P-46] Acceleration process for sensor reliability improvement in the LUTI program**

Do Kyoung Lee, Gmsil Kang, Sang Youn Shin, Hang Pal Heo, SeungHoon Lee

Korea Aerospace Research Institute

**[P-47] 마이크로중력 환경 활용 액적 (droplet) 연소실험을 위한 연소 챔버의 성능시험**

이종원, 김연규, 이주희

한국항공우주연구원 융합기술연구센터 항공우주응용재료팀

**[P-48] The feasibility study on 2 dimensional space image data transmission**

Jong Tae Lee<sup>1</sup>, Seung Hoon Lee<sup>1</sup>, Ki Jun Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Chungnam National University

■ 우주천문

**[P-49] Preliminary mechanical design of lunar infrared spectrometer (LIRS)**

Bongkon Moon<sup>1</sup>, Sung-Joon Park<sup>1</sup>, Dukhang Lee<sup>1</sup>, Kyeongyeon Ko<sup>1</sup>, Woong-Seob Jeong<sup>1,2</sup>, Dae-Hee Lee<sup>1,2</sup>, Youngsik Park<sup>1</sup>, Jeonghyun Pyo<sup>1</sup>, Il-Joong Kim<sup>1</sup>, Won-Kee Park<sup>1</sup>, Haingja Seo<sup>1</sup>, Minsup Jeong<sup>1</sup>, Mihyun Kim<sup>1</sup>, Seung Kwan Kim<sup>3</sup>, Seong Je Park<sup>4</sup>, Geon-Hee Kim<sup>5</sup>, Khyungin Kang<sup>6</sup>, Young-Jun Choi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

<sup>3</sup>*Korea Research Institute of Standards and Science*

<sup>4</sup>*Korea Institute of Machinery and Materials*

<sup>5</sup>*Korea Basic Science Institute*

<sup>6</sup>*Satellite Technology Research Center, KAIST*

**[P-50] An operating software design of a prototype coronagraph for the total solar eclipse in 2017**

Jongyeob Park, Seonghwan Choi, Ji-Hye Baek, Jihun Kim, Heesu Yang, Su-Chan Bong, Young-Deuk Park, Kyung-Suk Cho

*Korea Astronomy and Space Science Institute*

**[P-51] Introduction of solar observation system in national youth space center**

Hyungmin Park, Gwangwon Choi, Sun-Gill Kwon, Sanggak Lee

*National Youth Space Center*

■ 태양 및 우주환경

**[P-52] Solar cycle variation of microwave polar brightening and EUV coronal hole observed by Nobeyama radioheliograph and SDO/AIA**

Sujin Kim<sup>1,2</sup>, Jong-Yeop Park<sup>1,3</sup>, Yeon-Han Kim<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

<sup>3</sup>*Kyung Hee University*

**[P-53] The instrumentation and analysis technique for SATI**

Ji Eun Kim, Geonhwa Jee, Jeong-Han Kim, Changsup Lee

*Division of Climate Change, Korea Polar Research Institute*

**[P-54] Relative contribution of solar/geomagnetic activities and CO<sub>2</sub> variation to global temperature anomaly from 1859 to 2015**

Jinhyun Kim<sup>1,2</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Roksoon Kim<sup>2</sup>, Junga Hwang<sup>2</sup>, Jae-Ok Lee<sup>2</sup>, Soojeong Jang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

**[P-55] Effect of heat treatment on hysteresis loop of the core material Metglas 2714A for fluxgate magnetometer**

Sung-Jun Noh<sup>1</sup>, Seunguk Lee<sup>1</sup>, Gi-Hong Rue<sup>2</sup>, Cheong-Rim Choi<sup>1</sup>, Dae-Young Lee<sup>1</sup>, Ji-Seok Kim<sup>1</sup>, Young-Jin Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Chungbuk National University*

<sup>2</sup>*Kyungpook National University*

**[P-56] The variation of solar limb darkening coefficient analyzed from solar images**

Byeongha Moon, Suyeon Oh

*Chonnam National University*

**[P-57] Comparison between empirical magnetopause location models with geosynchronous satellite observations for solar cycle 23**

Eunsu Park, Yong-Jae Moon

*School of Space Research, Kyung Hee University*

**[P-58] Effect of the core-halo relative drift velocity on the strahl formation in the solar wind electron: particle-in-cell simulation**

Jungjoon Seough

*Korea Astronomy and Space Science Institute*

**[P-59] Initial operational results of the ground-based search-coil magnetometer at the Jang Bogo antarctic research station (JBS)**

Jehyuck Shin<sup>1</sup>, Khan-Hyuck Kim<sup>1,2</sup>, Ho Jin<sup>1,2</sup>, Hyomin Kim<sup>3</sup>, Jongwoo Kwon<sup>1</sup>, Seungah Lee<sup>1</sup>, Jung-Kyu Lee<sup>1</sup>, Seongwhan Lee<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>4</sup> and Marc R. Lessard<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University, Korea*

<sup>2</sup>*Department of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University, Korea*

<sup>3</sup>*Center for Solar-Terrestrial Research, New Jersey Institute of Technology, USA*

<sup>4</sup>*Korea Polar Research Institute, Korea*

<sup>5</sup>*Space Science Center, University of New Hampshire, USA*

**[P-60] Periodicity of cosmic ray flux at the solar minimum year of 2008**

Suyeon Oh

*Chonnam National University*

**[P-61] Validation of the estimated local K index for operational use in Korea**

Wonhyeong Yi, Jiyoung Kim, Gun-Il Jang  
*National Meteorological Satellite Center / Korea Meteorological Administration*

**[P-62] Thermal and nonthermal flare emissions revealed by microwave maps and EUV differential emission measures**

Jeongwoo Lee  
*Nagoya University*

**[P-63] An analysis on diurnal variation of cosmic ray flux at Jang Bogo neutron monitor**

Jongil Jung<sup>1</sup>, Suyeon Oh<sup>2</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>, Paul Evenson<sup>3</sup>, Roger Pyle<sup>3</sup>, Jeong-Han Kim<sup>4</sup>, Changsup Lee<sup>4</sup>, Geonhwa Jee<sup>4</sup>, Kwang Won Jang<sup>1</sup>, Suyeon Kim<sup>1</sup>, End Ji Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chungnam National University  
<sup>2</sup>Chonnam National University  
<sup>3</sup>University of Delaware  
<sup>4</sup>Korea Polar Research Institute

**[P-64] 달궤도 위성개발을 위한 달궤도 우주방사선 환경 분석**

조영준, 장진백  
한국항공우주연구원 위성전자팀

**[P-65] Role of gravity waves in the upper atmospheric temperature changes in association with sudden stratospheric warming**

Hwajin Choi, In-sun Song, Changsup Lee, Jeong-Han Kim, Geonhwa Jee  
*Korea Polar Research Institute*

**[P-66] Vertical incidence pulsed ionospheric radar (VIPIR) at Jang Bogo station, Antarctica**

Young-bae Ham<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>, Hyuck-Jin Kwon<sup>1</sup>, Terence Bullett<sup>2</sup>, Justin Mabbie<sup>2</sup>, Robert Livingston<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea  
<sup>2</sup>Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Boulder, USA  
<sup>3</sup>Scion Associates, Port Townsend, USA

■ 태양계 및 우주탐사

**[P-67] 달 및 화성탐사 로버 시스템의 성능비교를 통한 달 탐사 로버 서브 시스템의 아키텍처 연구**

김연규, 이주희  
한국항공우주연구원

**[P-68] Effect of measurement acquisition condition on lunar orbiter orbit determination**

Young-Rok Kim, Young-Joo Song, Jonghee Bae, Bang-Yeop Kim  
*Korea Aerospace Research Institute*

**[P-69] 달 탐사 과학자로 관리와 공개를 위한 KPDS를 포함하는 과학자로관리 서브시스템의 기능과 개발계획**

김주현<sup>1</sup>, 최연주<sup>2</sup>, 김방엽<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한국항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터 달탐사항행운영팀,  
<sup>2</sup>한국항공우주연구원 융합기술연구센터 미래항공우주기술팀

**[P-70] 달의 충돌구에서의 자화방향 결정**

김형규, 김형래  
공주대학교 지구물리 위성탐사 연구실

**[P-71] Preliminary analysis of lunar orbit insertion burn delay of lunar orbiter**

Jonghee Bae, Young-Joo Song, Young-Rok Kim, Bang-Yeop Kim  
*Korea Aerospace Research Institute*

**[P-72] Study of data product and its science outcome with lunar exploration missions**

Seunghee Son<sup>1</sup>, Haingja Seo<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute  
<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

**[P-73] Optimal delta-Vs to release a lunar cubesat impactor at the mother-ship's entry of lunar sphere of influence**

Young-Joo Song<sup>1</sup>, Ho Jin<sup>2</sup>, Bang-Yeop Kim<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute  
<sup>2</sup>Kyung Hee University

**[P-74] Infrared imaging spectrometer for detection of form, abundance, and temporal variability of lunar water**

Ho-Sub Song, Ik-Seon Hong, Yu Yi  
*Chungnam National University*

**[P-75] 달 궤도 자기장 측정기 예비설계 모델의 구조 설계 및 해석**

이만규<sup>1</sup>, 이성환<sup>1,2</sup>, 문봉곤<sup>3</sup>, 이덕행<sup>3</sup>, 권성철<sup>4</sup>, 채봉건<sup>4</sup>, 진호<sup>1,5</sup>  
<sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>인투물, <sup>3</sup>한국천문연구원 기계구조팀,  
<sup>4</sup>조선대학교 항공우주공학과 우주기술융합연구실, <sup>5</sup>경희대학교 우주과학과

**[P-76] Electrical system design for KPLO magnetometer (KMAG)**

Seungah Lee<sup>1</sup>, Hyojeong Lee<sup>1</sup>, Jung-Kyu Lee<sup>1</sup>, Sihyung Lee<sup>2</sup>, Ho Jin<sup>1,2</sup>, Khan-Hyuk Kim<sup>1,2</sup>, Yu-Sung Jang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Space Research, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Department of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University

<sup>3</sup>Industry-Academic Cooperation Foundation, Kyung Hee University

**[P-77] Lunar Prospector의 고 분해능 자력계 데이터를 활용한 octopus 지역의 달 자기이상현상 연구**

이정규<sup>1</sup>, Omid Ghassemi<sup>2</sup>, 백슬민<sup>1</sup>, Rachel Maxwell<sup>2</sup>, Ian Garrick-Bethell<sup>1,2</sup>, 진호<sup>1</sup>, 이효정<sup>1</sup>, 김관혁<sup>1</sup>, Cecile Cournede<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>Earth and Planetary Science, University of California, Santa Cruz

**[P-78] 달 탐사 2단계 로버 착륙 후보 지역 사례 분석**

이주희<sup>1</sup>, 김연규<sup>1</sup>, 이종원<sup>1</sup>, 류동영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 항공우주응용재료팀, <sup>2</sup>한국항공우주연구원 달탐사선행입부팀

**[P-79] 한국형 시험용 달 궤도선의 자기장 측정기 개발**

이효정<sup>1</sup>, 진호<sup>1,2</sup>, 이정규<sup>1</sup>, 이성환<sup>1,3</sup>, 이만규<sup>1</sup>, 신재혁<sup>1</sup>, 이승아<sup>1</sup>, 이시형<sup>2</sup>, 김관혁<sup>1</sup>, 장유성<sup>4</sup>, 손대락<sup>5</sup>, 김은애<sup>5</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>경희대학교 우주과학과, <sup>3</sup>인투를, <sup>4</sup>경희대학교 산학협력단, <sup>5</sup>센서피아

**[P-80] Photometric Study of NPA Rotator (5247) Krylov**

Hee-Jae Lee<sup>1,2</sup>, Josef Ďurech<sup>3</sup>, Hong-Kyu Moon<sup>2</sup>, Myung-Jin Kim<sup>2</sup>, Chun-Hwey Kim<sup>1</sup>, Young-Jun Choi<sup>2</sup>, Young-Seok Oh<sup>2,4</sup>, Jintae Park<sup>2</sup>, Dong-Goo Roh<sup>2</sup>, Hong-Suh Yim<sup>2</sup>, the DEEP-South Team

<sup>1</sup>Chungbuk National University, Korea

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute, Korea

<sup>3</sup>Charles University, Czech

<sup>4</sup>Kyung Hee University, Korea

**[P-81] KPLO 탑재체 관측 데이터 처리를 위한 SPICE Kernels 활용 가능성 검토**

임조령, 최연주, 김방엽

한국항공우주연구원

**[P-82] Real-time Hapke illumination simulation of the moon**

Dawoon Jung, Seunghye Son

Korea Aerospace Research Institute

**[P-83] Crustal field's effects on the ion composition of Mars upper atmosphere during ICME events**

Gyeongbok Jo<sup>1,2</sup>, Junga Hwang<sup>2,3</sup>, Roksoon Kim<sup>2,3</sup>, Soojeong Jang<sup>2,4</sup>, Kyungsuk Cho<sup>2,3</sup>, Jaejin Lee<sup>2,3</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chungnam National University

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>3</sup>Korea University of Science and Technology

<sup>4</sup>Kyung Hee University

**[P-84] Comparative analysis in timing resolution of pulse shaping for gamma-ray spectrometer**

Yire Choi<sup>1,2</sup>, K. B. Lee<sup>3</sup>, Kyeong Ja Kim<sup>2</sup>, Eung Seok Yi<sup>2</sup>, Chang Wan Sun<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>University of Science and Technology, Korea

<sup>2</sup>Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

<sup>3</sup>Korea Institute of Standards & Science

**[P-85] Scheduling algorithm for lunar terrain imager (LUTI) on Korea pathfinder lunar orbiter (KPLO)**

Ik-Seon Hong<sup>1,2</sup>, Young-Jun Choi<sup>2,3</sup>, Hong-Kyu Moon<sup>2</sup>, Myung-Jin Kim<sup>2</sup>, Gmsil Kang<sup>4</sup>, HaengPal Heo<sup>4</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chungnam National University

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>3</sup>University of Science and Technology

<sup>4</sup>Korea Aerospace Research Institute

■ 기 타

**[P-86] 인공위성 형상관리를 위한 형상 기준 및 식별에 관한 연구**

강철

한국항공우주연구원

**[P-87] Improved electromagnetic compatibility of power control and distribution unit for satellite**

Chang-Eun Lee, Jae-Woong Jang, Kyung-Duk Jang, Tae-Youn Kim

Korea Aerospace Research Institute

**[P-88] Introduction to feature extraction for region based lunar terrain detection on rough terrain**

Hoonhee Lee

Korea Aerospace Research Institute

## 구두발표논문 초록

4월 27일(목)

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute  
<sup>2</sup>University of Science and Technology

### 제1발표장 (가야금)

#### ■ 초청강연 I

좌장: 박필호 (천문연)

13:50 [IS-I]

#### 한국의 우주탐사/우주과학 전략 - 미국의 우주탐사 전략 참고

최기혁, 이주희, 김혜동

한국항공우주연구원

이 논문에서 우리의 우주탐사와 우주과학 전략을 미국의 우주탐사 전략을 참고하여 분석하였다. 한국은 20년대 달탐사 30년대 화성탐사를 기본계획으로 하고 있다. 국내 위성개발 능력은 선진국 수준에 달하고 있고 국산 발사체도 2020년경 완성될 예정이다. 미국 NASA는 2030년대 유인화성탐사를 국가적 목표로 정하였고 글로벌한 협력체계 구축을 추진하고 있다. 또한 대한민국은 북한의 핵과 미사일에 지속적으로 위협을 받고 있는 상황이다. 우리의 우주탐사와 우주과학 전략은 이러한 국내외 환경을 고려해야만 실현가능성과 지속가능성이 있을 것이다. 즉 한국형 발사체를 사용하여 달과 화성탐사를 우주탐사/우주과학의 기본목표로 삼고, 탐사선의 탑재체 개발과 관련된 우주과학 연구를 수행하도록 하고 미국 NASA와의 국제협력도 이러한 틀에서 이루어지도록 해야 할 것이다. 국가안보를 간접적으로 지원하기 위한 연구도 필요한데, 고체파라미터와 우주파편 감시용 지상 장거리 레이더 개발이 필요하다. 전략적인 탑재체로서 SAR 레이더, 레이저 분광계와 적외선 센서를 개발해야 한다. 선진국의 사례에서 보면 순수 천문학 기술이 의외로 국방안보 기술과 밀접한 관계에 있는 것으로 알려져 있다. 이렇듯 국내 우주탐사와 우주과학도 국가적인 우주기술의 발전과 국가 안보에 기여하도록 하고 미국을 중심으로 하는 글로벌한 우주탐사에 동참해야지만 실현가능성과 지속가능성이 커질 것이다.

The He I D3 line has a unique response to a flare impact on the low solar atmosphere and can be a powerful diagnostic tool for energy transport processes. We would like to obtain comprehensive data sets for studying solar flare activities in D3 spectral line. Thus, we performed observations for several days using the 1.6m New Solar Telescope of Big Bear Solar Observatory (BBSO) in 2015 and 2016, equipped with the He I D3 filter, the photospheric broadband filter, and Near IR imaging spectrograph (NIRIS). On 2016 May 30, we got some meaningful data during the observing period from 16:00 UT to 18:00 UT. We observed loop eruptions in He I D3 images associated with B class brightenings in a small active region and dynamic variations of photospheric features in G-band images. In this presentation, we will give the observation results and the interpretation.

14:45 [I-1-2]

#### Period change caused by shock merging in the chromosphere of sunspots

Kyeo-Re Lee, Jongchul Chae

*Astronomy Program, Department of Physics and Astronomy, Seoul National University*

We obtain  $H\alpha$  imaging spectral data of 8 sunspots using Fast Imaging Solar Spectrograph of the 1.6m New Solar Telescope at the Big Bear Solar Observatory. By deriving Doppler velocity from  $H\alpha$  core with the lambda-meter method, we investigate propagation of shocks in the chromosphere of sunspots. At 6 out of 8 sunspots, nonlinear phenomena that a shock often overtakes the preceding shock are found. We mark 197 shock merging at one sunspot data with stable 84min observation. Shock merging occurred at the entire part of the inner sunspot and slightly concentrated at the umbra-penumbral boundaries. We suggest shock merging as a bridge of period difference between umbral 3min oscillations and penumbral 5min oscillations. Period change inferred from shock merging can explain twice period increase from center to outer sunspots. It also show similar trend with period measured by the wavelet method.

### 제1발표장 (가야금)

#### ■ I-1 태양 폭발 현상

좌장: 문용재 (경희대)

14:30 [I-1-1]

#### Loop eruption observed in He I D3 line associated with B-class brightening on 2016 May 30

Yeon-Han Kim<sup>1,2</sup>, Su-Chan Bong<sup>1,2</sup>, Eun-Kyung Lim<sup>1</sup>, Heesu Yang<sup>1</sup>, Be-Ho Jang<sup>1</sup>, Young-Deuk Park<sup>1</sup>

15:00 [I-1-3]

#### Classification of the kinematics of coronal mass ejections

Seong-Gyeong Jeon, Kangwoo Yi, Yong-Jae Moon  
*School of Space Research, Kyung Hee University*

In this study we investigate the classification of the kinematics of coronal mass ejections (CMEs) using about 4,000 LASCO CMEs from 1996 to 2015. We use SOHO/LASCO C3 data and exclude all poor events. Using the constant acceleration model, we classify these CMEs into three groups: Acceleration group, Constant Velocity group, and Deceleration group. For classification we adopt four different methods: Acceleration method, Velocity Variation method, Height Contribution method,

and Visual Inspection method. Our major results are as follows. First, the fractions of three groups depend on the method used. Second, the results of the Height Contribution method are most consistent with those of the Visual Inspection method, which is thought to be most promising. Third, the fractions of different kinematic groups for the Height contribution method are: Acceleration (34.6%), Constant speed (47.4%), and Deceleration (18%). Fourth, the fractions also depend on CME speed; the fraction of Deceleration increase with speed.

### 15:15 [I-1-4]

#### Two distinct types of CME-flare relationships using SOHO and STEREO

Soojeong Jang<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Rok-Soon Kim<sup>2</sup>, Sujin Kim<sup>2</sup>, Jae-Ok Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

In this paper, we present two distinct types of CME-flare relationships according to their observing time differences. We compare CME 3D parameters (speed, width, and kinetic energy) using multi-spacecraft data (SOHO and STEREO A&B) and their associated flare ones (fluence, duration, and emission measure). For this, we consider 107 flare-associated halo CMEs from 2010 to 2013. We divide them into two types depending on their observing time difference,  $\Delta T$ , defined as flare peak time minus CME first appearance time at STEREO COR1 field-of-view. There are 41 events for group A ( $T < 0$ ) which first appear after the flare peak times and 66 events for group B ( $T \geq 0$ ). Our main results are as follows: (1) a correlation coefficient between flare fluence and CME 3D speed ( $cc=0.59$ ) for group B is much higher than that ( $cc=0.32$ ) of group A; (2) there is a possible correlation between are fluence and CME 3D width for group B ( $cc=0.51$ ) and little correlation for group A; (3) a CME 3D kinetic energy for group B is well correlated with a flare fluence with a correlation value of 0.67, which is much stronger than that ( $cc=0.32$ ) for group A; (4) all the events belonging to group A have short flare durations less than 1 hour with the mean value of 21 mins, while the events for group B have long durations up to about 4 hours with the mean value of 81 mins; and (5) the CME 3D speed is correlated with a square root of emission measure ( $\sqrt{EM}$ ) based on GOES for group B ( $cc=0.56$ ). A closer comparison between CME speed and GOES X-ray flux profiles for two representative examples shows that the temporal evolutions of two profiles for group B are consistent with each other for a longer time than those for group A, indicating a close relationship between plasma motions in CMEs and magnetic reconnection process in flares.

### 15:30 [I-1-5]

#### Statistical study on the radial and azimuthal wave modes of 25 Halo CMEs using multi spacecrafts

Harim Lee<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, V. M. Nakariakov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*Centre for Fusion, Space & Astrophysics, Physics Department,*

*Univ. of Warwick, UK*

We have made a statistical investigation on the radial and azimuthal wave modes of full halo coronal mass ejections (HCMEs). For this, we consider 25 HCMEs which are simultaneously observed by SOHO and STEREO A & B from August 2010 to August 2012 when they were roughly in quadrature. Using the SOHO/LASCO C3 and STEREO COR2 A & B running difference images, we estimate the instantaneous apparent speeds of the HCMEs at 24 different position angles. Major results from this study are as follows. First, there are quasi-periodic variations of the instantaneous radial velocity with the periods ranging from 24 to 48 mins. Second, amplitudes of the instant speed variations reach about a half of the projected speeds. Third, the amplitudes are found to anti-correlate with period and to correlate with speed. Our preliminary identification from SOHO observations shows that there are several distinct radial and azimuthal wave modes:  $m=0$  (radial) for five events,  $m=1$  for eight events,  $m=2$  for eight events, and unclear for the other events.

### 15:45 [I-1-6]

#### Dependence of the peak fluxes of solar energetic particles on 3D CME parameters from STEREO and SOHO

Jinhye Park<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1,2</sup>, Harim Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Astronomy & Space Science, Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University*

We investigate the relationships between the peak fluxes of 18 solar energetic particle (SEP) events and associated coronal mass ejection (CME) 3D parameters (speed, angular width, and separation angle) obtained from SOHO, STEREO-A and/or B for the period from 2010 August to 2013 June. We apply the STEREO CME Analysis Tool (StereoCAT) to the SEP-associated CMEs to obtain 3D speeds and 3D angular widths. The separation angles are determined as the longitudinal angle between flaring regions and magnetic footpoints of the spacecraft, which are calculated by the assumption of Parker spiral field. The main results are as follows. 1) We find that the dependence of the SEP peak fluxes on CME 3D speed from multi-spacecraft is similar to that on 2D CME speed. 2) There is a positive correlation between SEP peak flux and 3D angular width from multi-spacecraft, which is much more evident than the relationship between SEP peak flux and 2D angular width. 3) There is a noticeable anti-correlation ( $r=-0.62$ ) between SEP peak flux and separation angle. 4) The multiple regression method between SEP peak fluxes and CME parameters shows that the longitudinal separation angle is the most important parameter, and the CME 3D speed is secondary on SEP peak flux.

**제2발표장 (거문고)**

**■ I-2 고층대기 I**  
**좌장: 유광선 (KAIST)**

**14:30 [I-2-1]**  
**Scientific objectives of the SNIPE mission**

Young-Sil Kwak<sup>1,2</sup>, Jae-Jin Lee<sup>1,2</sup>, Junga Hwang<sup>1,2</sup>,  
Jaeheung Park<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*  
<sup>2</sup>*Korea University of Science and Technology*

The SNIPE (Small scale magNetospheric and Ionospheric Plasma Experiments mission) consists of 4 nano-satellites in a Low-Earth-Orbit (LEO), and will be launched in 2020. Two pairs of satellites will be deployed on orbit and the distances between each satellite will be from 10 to 100 km controlled by a formation flying algorithm. The SNIPE mission aims to elucidate microscale (100 m - 10 km) structures in the topside ionosphere (below altitude of 1000 km), especially the fine-scale morphology of high-energy electron precipitation, cold plasma density/temperature, field-aligned currents, and electromagnetic waves. Hence, the mission will observe microscale structures of the following phenomena in geospace: high-latitude irregularities, such as polar-cap patches; field-aligned currents in the auroral oval; electro-magnetic ion cyclotron (EMIC) waves; hundreds of keV electron precipitations, such as electron microbursts; subauroral plasma density troughs; and low-latitude plasma irregularities, such as ionospheric blobs and bubbles. In this presentation we address the scientific objectives of the SNIPE mission.

**14:45 [I-2-2]**  
**Sporadic E layer as a measure of wind shear in the mid-latitude ionosphere**

Eun-Byeol Jo, Yongha Kim

*Dept. Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University*

We investigated seasonal and diurnal variations of occurrence rate, critical frequency and height of sporadic E (Es) layer in the mid-latitude ionosphere. The data of the Es were obtained from ionosondes at Icheon (127.54 ° E, 37.14 ° N) and Jeju (126.30 ° E, 33.43 ° N) with an auto scaling program (ARTIST-5) during 2010 - 2016. The occurrence rate and the critical frequency of Es show a maximum value in summer, whereas the Es layer raises to a maximum altitude as high as 120 km in equinox months. The occurrence and the frequency of the Es maximize around local noon time, as solar ionizing flux does. Diurnal variation of the Es height displays two distinctive peaks, one in early morning and the other in late afternoon. In both seasonal and diurnal variations of the Es height, we found that the Es height roughly matches with the altitude at which zonal wind shear is maximized according to Horizontal Wind model (HWM) 14. The formation of Es in the mid-latitude ionosphere has been accounted for by wind shear theory and meteor influx. If conditions of meteor influx and solar flux are

known, the critical frequency and height of the Es may provide information on a local wind profile. We will discuss the possibility of estimating a local wind profile in the ionospheric E-region from the occurrence, frequency and height of the Es from ionosondes.

**15:00 [I-2-3]**  
**Comment of the paper “Mesospheric temperatures estimated from the meteor radar observations at Mohe, China” by Liu et al. (2017)**

Changsup Lee<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, In-Sun Song<sup>1</sup>, Yongha Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Polar Research Institute*  
<sup>2</sup>*Chungnam National University*

In a recent paper, Liu et al. [2017] report the mesospheric temperatures derived from meteor radar observations. They correctly provide a comprehensive investigation of the mesospheric temperature by comparing with the kinetic temperature measurement of Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry (SABER) on board the Thermosphere, Ionosphere, Mesosphere, Energetics, and Dynamics satellite for the period of 2011-2016. Unfortunately, not all aspects of estimating temperature from meteor radar are represented correctly. They proposed that the proportionality constant between the full width at half maximum (FWHM) of the meteor height profile and SABER temperature at 90 km height can be changed with characteristics of meteor radar based on a weak theoretical support. In this comment, we suggest a correct form of the equation describing the time-invariant linear relationship between the FWHM and temperature near the meteor detection region derived from both the fundamental theory and observations.

**15:15 [I-2-4]**  
**Climatology of the ionospheric mid-latitude trough based on satellite observations**

Junseok Hong<sup>1,2</sup>, Yongha Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Chungnam National University*  
<sup>2</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

The ionospheric mid-latitude trough (IMT) is the electron density depletion phenomena during nighttime and has been known for decades. It has been suggested that the IMT is the results of complex plasma processes coupled to the magnetosphere. In order to investigate the characteristics of IMT, we utilize topside sounding data from Alouette and ISIS satellites in 1960s and 1970s. The data provide electron density profiles from 1000 km (satellite orbit) to F2 peak during solar minimum in 1963-1965 and solar maximum in 1969-1972. The IMT features in altitude-latitude maps appear more clearly and wider in solar minimum condition than in solar maximum condition. The electron density profiles near the boundary of IMT during the 1960 solar minimum show sharper variation with latitude than those of extreme solar minimum condition in 2008. We also calculated transition heights at which the densities of oxygen ions and

hydrogen/helium ions are equal. Transition heights at mid-latitude region show general features that decrease in daytime and increase in nighttime, implying diffusion transport of ions between the ionosphere and plasmasphere. However, transition heights in IMT do not differ significantly from those in other regions, despite of strong reduction in electron density in IMT. This may mean that plasma in the IMT is depleted very efficiently by other mechanism than diffusion transport.

### 15:30 [I-2-5]

#### Evidence of teleconnection between low-latitude and high-latitude MLT through 16-day wave during stratospheric warmings in the southern hemisphere

Jaewook Lee<sup>1</sup>, Sunkara Eswaraiah<sup>1</sup>, Yongha Kim<sup>1</sup>, Madineni Venkat Ratnam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University, Daejeon, Korea

<sup>2</sup>National Atmospheric Research Laboratory (NARL), Gadanki, Tirupati, India

The teleconnection between low-latitude and high-latitude MLT region in the southern hemisphere (SH) during 2002 major and 2010 minor sudden stratospheric warmings (SSWs) is investigated. The difference in variation of Equatorial and Polar mesosphere temperature and stratosphere temperature during SSWs indicating the possibility of dynamical coupling between the two regions through the amplification and propagation of 16-day planetary wave (PW) activity. We also noticed the variations zonal winds in SSW years and in non-SSW years is observed. Eastward winds are prominent at high-latitudes and westward winds at low latitudes with zero wind line separation in major SSW year, this feature is not apparent in non-SSW year. The propagation of 16-day planetary waves from equator to south pole is evident during SSW years. The 16-day wave starts at tropical region ever since 100 days prior to the associated SSW and reaches the 60oS just prior to the on the set of SSW. The warming in polar stratosphere and cooling in tropical stratosphere is observed. Similarly, the cooling in polar mesosphere and warming in tropical mesosphere is evident in both 2002 major SSW and 2010 minor SSW. This in turn proves the coupling between low-latitude and high latitudes through 16-day wave propagation. This is the first and very new study on this issue over SH.

## 제3발표장 (휴플레이스1)

### ■ I-3 우주천문 및 우주기술 I

좌장: 김방엽 (항우연)

### 14:30 [I-3-1]

#### GEANT4 모의실험을 통한 우주기상 탐재체 입자 검출기의 반응 도출

박성민<sup>1</sup>, 신유철<sup>1</sup>, 우주<sup>1</sup>, 윤지원<sup>1</sup>, 채규성<sup>1</sup>, 선종호<sup>1</sup>, 이강진<sup>2</sup>, 구분준<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>한국전자통신연구원

정지케도 복합위성(GEO-KOMPSAT-2A)에 탑재되는 우주기상 탐재체 입자 검출기의 목적은 우주기상의 주 관심사인 고 에너지 입자의 검출이며, 이를 위해 100 keV에서 2 MeV의 양성자 및 전자 에너지 분포를 측정한다. 입자 검출기는 세 개의 센서와 센서에서 검출된 신호를 처리하는 신호처리 전단부로 구성되어 있으며, 센서의 시야각은 약  $20^\circ \times 20^\circ$  이다. 입자 검출기의 각 센서는 양방향에서 입사하는 입자를 관측하며, 한 쪽에는 알루미늄 포일이, 다른 쪽에는 영구자석 필터가 위치하고 있어 양성자와 전자를 분리 검출한다. 본 연구에서는 GEANT4(GEometry ANd Tracking)를 이용하여 일반적인 경우의 선속에 대한 입자 검출기의 반응을 도출하였다. 모의실험은 검출기 시준기(Collimator)의 최외각 부분과 입자 검출기를 둘러싸는 구에서 각각 입자의 위치와 방향을 무작위로 생성하여 진행하였다. 이 결과물을 이용하여 케도상에서 입자 검출기를 운영할 때 발생하는 자료인 검출 계수를 선속으로 변환한 뒤, 2 MeV 이하에서 발생한 임의의 입자 선속과 비교하는 것으로 연구의 신뢰성을 검증하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 우주기상 탐재체 센서 자료를 선속으로 변환할 수 있으며, 이 물리량을 토대로 센서 출력물의 이상 유무를 파악할 수 있을 것으로 보인다. 나아가 검출기 포화 등에 따른 자료 이상이 있는 경우 해당 자료를 검보정하는 과정에 본 연구 결과를 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

### 14:45 [I-3-2]

#### 위성 탑재용 광학 반사경의 열-진공 우주환경시험시 오차 및 성능 분석

송인웅<sup>1,2</sup>, 양호순<sup>2,3</sup>, 김학용<sup>2,3</sup>, 이회윤<sup>2</sup>, 김석환<sup>1</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 천문우주학과 우주광학연구실,

<sup>2</sup>한국표준과학연구원 우주광학센터, <sup>3</sup>과학기술연합대학원대학교 측정과학과

위성 광학 반사경은 발사 이전 우주 환경 내 운용 성능을 지상에서 확인하기 위해 복사열 시스템과 진공 챔버를 이용한 열-진공 우주환경시험을 실시한다. 열-진공 우주환경시험시 광학계는 진공 챔버 내 고정 치구에 의해 고정되어 있으며, 챔버 윈도우를 투과하여 성능을 측정하게 된다. 이 경우, 간섭계로 측정된 파면은 챔버 내부에 위치한 반사경의 성능 파면과 진공 챔버 윈도우 및 고정 치구 등에 의한 시험 오차 파면을 구분할 수 없게 된다. 본 연구에서는 열-진공 환경에 따른 광학계 성능변화와 챔버 윈도우 및 고정 치구 등에 의한 오차 파면을 사전에 분석하고 광선 추적 시뮬레이션을 수행하여 열-진공 우주환경시험의 오차와 성능변

화상을 분석하였다. 챔버 윈도우에 의한 파면 변화는 광축 대비 정렬 위치에 따른 민감도 분석을 실시하여 초(°)단위의 정렬 각도에 따른 Zernike항 변화를 분석 하였다. 고정 치구에 의한 파면변화는 유한 요소 해석을 통하여 파면 변화를 구하였고, 600 mm 대상 반사경의 경우 약 RMS 3nm 의 변화를 계산하였다. 향후 챔버 윈도우에 의한 파면 변화와 고정 치구에 의한 파면 변화를 파면 오차 측정값에서 제거하여 열-진공 환경 내 광학 반사경의 성능변화량을 얻어낼 예정이다.

**15:00 [I-3-3]**

**Orbit determination of GEO satellites using optical wide-field patrol network(OWL-Net) data with batch filter**

Bumjoon Shin, Sang-Young Park, Eunji Lee

*Astrodynamic and Control lab., Department of Astronomy, Yonsei University*

Orbits of satellites can be determined by only angular data such as topocentric right ascension and declination. In this study, we have developed and verified a batch least square estimator for optical observation data. Using artificial angle data, we have analyzed characteristics of angle-only orbit determination for geostationary satellites. The analysis has included effects of clock error, noise, initial covariance matrix, observation time length, etc. The clock-offset error is according to the geostationary satellite velocity magnitude and clock-mismatch error causes a large error term in the observed data. The clock-mismatch error is usually larger than the clock-offset error. The results showed that the error of estimated states is proportional to the noise of angle data. It is shown that level of residuals has the same order as the level of noise of angle data. The developed batch filter was utilized to determine the orbit of COMS in geostationary orbit. Real observation angle data were used with which Owl-net of KASI provided. To check the accuracy of the orbit determination, the results are compared with those in TLE(Two Line Elements). The results showed that error in semi-major axis occurs at the level of several tens km, and errors in eccentricity and inclination are relatively larger. It is confirmed that Owl-net observed data has a few arcsec error for geostationary orbit because the residual of converged orbit has a number of arcsec. In order to analyze precision orbit determination performance of the OWL-NET system, further study is needed by using more observation data of geostationary satellites.

**15:15 [I-3-4]**

**The magnetic field measurement of KSEM: I. AC clearing process**

Daehyeon Oh, Donghee Lee, Jiyoung Kim, Hyesook Lee

*National Meteorological Satellite Center, Korea Meteorological Administration*

Continuous monitoring of geostationary magnetic field is one of the essential observations for studying and forecasting a space weather. However, at present, magnetometers of NOAA's geostationary satellites GOES series only cover the western hemisphere. A geomagnetic field is well known to have asymmetric dynamics. Thus observing the magnetic field of eastern hemisphere is a

critical task to improve local space weather forecast reliability, and understanding on global dynamics of the magnetic field. KSEM (the Korea Space wEather Monitor) will be loaded on the next geostationary satellite of KMA (Korea Meteorological Administration), and will provide the first reliable magnetic field measurement at the geostationary orbit of the eastern hemisphere. Spacecraft-based magnetometers have several issues to be solved, and one of them is clearing the offset (DC noise), and the magnetic field of the spacecraft itself (AC noise). KSEM will handle this issue by adopting the advanced magnetometer SOSMAG (Service Oriented Space Magnetometer) and clearing methods. In this presentation, we will introduce KSEM, SOSMAG, and AC clearing process of SOSMAG system.

**15:30 [I-3-5]**

**Current activities of the CCSDS navigation working group**

Byoung-Sun Lee<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Electronics and Telecommunications Research Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

The Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) develops international standards related to space data systems. The CCSDS consists of 6 service areas including Systems Engineering, Spacecraft Onboard Interface Service, Space Link Service, Space Internetworking Service, Mission Operations and Information Management Service (MOIMS), and Cross Support Service. The Navigation Working Group is under the MOIMS area and to produce recommendations related to the formatting and exchange of flight dynamics data. Current work items of MOIMS-NAV are Attitude Data Messages (ADM), Navigation Data - Definitions and Conventions, Navigation H/W Message (NHM), Tracking Data Message (TDM), Orbit Data Messages (ODM), Pointing Request Message (PRM), and Spacecraft Maneuver Messages (SMM). As a most recent Recommended Standard, the Conjunction Data Message (CDM) which defines the common format to notify satellite operators that another satellite is approaching to their satellite was approved in June, 2013 (CCSDS 508.0-B-1). In this paper, MOIMS-NAV WG activities and documentation status for the CCSDS Spring Meetings 2017 will be presented. And the application of the recommended standard to Korean space flight dynamics area will be discussed.

**15:45 [I-3-6]**

**우주과학 연구를 위한 고정밀도 Fluxgate형 자력계 개발 진행사항**

이승욱<sup>1</sup>, 노성준<sup>1</sup>, 최정림<sup>1</sup>, 강경인<sup>2</sup>, 류기홍<sup>3</sup>, 김지석<sup>1</sup>, 박영진<sup>1</sup>, 이대영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충북대학교, <sup>2</sup>한국과학기술원 인공위성센터, <sup>3</sup>경북대학교

충북대학교에서 개발 중인 Fluxgate형 자력계는 근 지구 우주공간 탐사 및 고급 수준의 우주과학 연구를 위해 개발 중이다. 본 연구 1차년도 산출물로 센서코어와 전자 시험 보드를 제작했다. 센서코어는 비정질물질(Amorphous)과 세라믹을 이용해 Ring-core형태의 코어를 개발 하였다. 전자 시험 보드는 ADC(Analog/Digital Converter)를 제외한 아

날로그 파트까지 제작되었으며 노이즈의 영향을 배제하기 위하여 PSD(Phase Sensitive Detector)를 중심으로 개발하였다. 또 코어 성능을 평가하기 위해 자기 이력 그래프를 그릴 수 있는 방법을 고안하고 이를 이용해 자기 이력 그래프로 코어의 특성을 분석하였다. 또한 지구자기장의 영향을 받지 않는 자기장 발생장치를 개발했다. 이를 이용해 코어의 선형성 시험을 완료하였다.

ionosphere in real-time base. Utilizing the tomographic algorithm and other techniques, I will also discuss the plan of developing a data-assimilation model for a regional ionosphere.

17:30~18:30 포스터 집중 발표

16:00~16:20 단체사진 촬영

## 제1발표장 (가야금)

### ■ 초청강연 II

좌장: 박영실 (천문연)

### 16:20 [IS-II]

#### Bridging the gap between space science and atmospheric science

Yongha Kim

*Dept. Astronomy Space Science and Geology, Chungnam National University*

Nature does not have borders, but only men divide it for their egoistic interest. Space science has traditionally studied processes and phenomena in the thermosphere/ionosphere upward, whereas atmospheric scientist has limited their curiosity mainly to troposphere and stratosphere. Mesosphere and lower thermosphere (MLT) (~50 - ~200 km) fall in-between, regarded as bordering region that has not been focused by both science communities until recently. In the past decade, it began to be recognized that many phenomena in thermosphere/ionosphere are closely related to the lower atmosphere. One of the most prominent example is the discovery of wavenumber 4 modulation in equatorial ionospheric anomaly, which was quickly attributed to non-migrating tides from the lower atmosphere. Many disturbances in the ionosphere are suggested to be caused or seeded by gravity waves propagated from low altitudes. Interestingly, thermospheric warming and mesospheric cooling have recently been detected during sudden stratospheric warming (SSW) events at high latitudes. In this context, our group, in collaboration with Korea Polar Research Institute (KOPRI), has devoted to study MLT region with various observational methods, including a meteor radar at King Sejong Station (KSS), Antarctica. I will present our studies on waves and tidal phenomena in the MLT region mainly observed at KSS. For ionospheric researches, I will also present tomographic analysis of medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTID) using a dense TEC dataset from GEONET, which contains more than 1000 GPS receivers in Japan. The vertical structure of MSTID has been derived for the first time from our analysis. In order to study the regional ionosphere, we also applied the tomography algorithm to a GPS TEC dataset that was measured by ~80 receivers in Korea. The tomographic results has been verified with those from ionosondes at Icheon and Jeju. The tomographic algorithm is proved to have capability for monitoring the

4월 28일 (금)

## 제1발표장 (가야금)

## ■ II-1 태양 코로나 관측

좌장: 채종철 (서울대)

09:30 [II-1-1]

**Coronal magnetic field distributions inferred from CME-driven shock signatures and polarized brightness measurements by LASCO-C2 coronagraph**Jae-Ok Lee<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>2</sup>, Kyung-Suk Cho<sup>1</sup><sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>School of Space Research, Kyung Hee University

It is generally accepted that fast coronal mass ejections (CMEs) whose speeds exceed fast-mode magnetosonic speeds can generate their associated shocks, which are characterized by faint structures ahead of CMEs in white-light coronagraph images. In this study, we determine coronal magnetic field distributions (CMFDs) by analyzing CME-driven shocks with the simple assumption that their speeds are the fast-mode speeds in the LASCO-C2 field of view. Among 535 SOHO/LASCO CMEs (from 1996 to 2015) with speeds greater than 1000 km/s and angular widths wider than 60°, we select 21 limb CMEs whose the shock structures ahead of the CMEs are well identified. By estimating plasma density distributions from polarized brightness measurements of LASCO-C2, we determine CMFDs of 21 events. We also estimate CMFDs by using the piston-shock relationship with observational CME stand-off distance ratios defined as the CME stand-off distance divided by its radius. From this study, we find that the estimated CMFDs from 3 to 5 solar radii ( $R_s$ ) are in the range 75 ~ 683 mG, which are significantly larger than those (16 ~ 141 mG and 8 ~ 72 mG) from the relationship with specific heat ratio ( $\gamma$ ) = 4/3 and 5/3.

09:45 [II-1-2]

**Heating of an erupting prominence associated with a coronal mass ejection on 2012 January 27**Jin-Yi Lee<sup>1</sup>, John C. Raymond<sup>2</sup>, Katharine K. Reeves<sup>2</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Kap-Sung Kim<sup>1</sup><sup>1</sup>Kyung Hee University<sup>2</sup>Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics

We investigate the heating of an erupting prominence and loops associated with a coronal mass ejection and X-class flare. The prominence is seen in absorption in EUV at the beginning of its eruption. Later the prominence changes to emission, which indicates heating of the erupting plasma. We find the densities of the erupting prominence using the absorption properties of hydrogen and helium in different passbands. We estimate the temperatures and densities of the erupting prominence and loops seen as emission features using the differential emission measure method, which uses

both EUV and X-ray observations. We consider spectra using both photospheric and coronal abundances in these calculations. We verify the methods for the estimation of temperatures and densities for the erupting plasmas. Then we estimate the thermal, kinetic, radiative loss, thermal conduction, and heating energies of the erupting prominence and loops. We find that the heating of the erupting prominence and loop occurs strongly at early times in the eruption. This event shows a writhing motion of the erupting prominence, which may indicate a hot flux rope heated by thermal energy release during magnetic reconnection.

10:00 [II-1-3]

**Determination of 2D solar wind speeds derived from LASCO/C3 observations by using the phase velocity decomposition method**Il-Hyun Cho<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1,2</sup>, Jin-Yi Lee<sup>1</sup><sup>1</sup>Department of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University<sup>2</sup>School of Space Research, Kyung Hee University

The solar wind speed near the Sun is traditionally determined by measuring the speed of slow CMEs and streamer blobs. Time delay of maximum cross-correlation of white-light intensities at two different heights also provides solar wind speeds at the locations with high correlations. For the first time, we obtain two dimensional (2D) solar wind speeds with a high spatial resolution using LASCO/C3 data for three days by applying the phase velocity decomposition method. For this, we perform the inverse Fourier transform for the filtered Fourier spectrum of the time-height map at a given position angle. The filter ranges from -1000 to 1000 km/s with the bin size of 10 km/s. In other words, we decompose the 3D intensity data ( $r$ , PA,  $t$ ) into the 4D one ( $r$ , PA,  $t$ ,  $v$ ). From this, we take the median absolute deviation of intensity time series and weighted mean speed for a given position. Thus, we obtain 2D solar wind speeds as a function of height and position angle. We compare the speeds obtained from our study with the radial speed of moving intensity segments (blobs) in coronal streamers. It is found that the latter mostly converges into the former, which is consistent with the scenario that the speed of moving intensity features such as blobs and CMEs is governed by the background solar wind.

10:15 [II-1-4]

**2017 total solar eclipse expedition of KASI**Su-Chan Bong<sup>1,2</sup>, Seonghwan Choi<sup>1</sup>, Jihun Kim<sup>1</sup>, Jongyeob Park<sup>1</sup>, Bi-Ho Jang<sup>1</sup>, Young-Deuk Park<sup>1</sup>, Kyung-Suk Cho<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute<sup>2</sup>University of Science and Technology

Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) plans to develop a coronagraph to measure the coronal electron density, temperature, and speed using four different filters around 400 nm, where strong Fraunhofer lines from the photosphere are scattered by coronal electrons. During the total solar eclipse occurring on August 21 across USA, KASI will organize an expedition team to demonstrate the coronagraph measurement

scheme and the instrumental technology. The observation site is in Jackson Hole, Wyoming, USA. We plan to build two coronagraphs without occulter to verify the optimum wavelengths for temperature and speed measurement. In addition, images of white light corona, wide field background, and all sky are planned to be taken with DSLR cameras.

**10:30 [II-1-5]**

### Coelostat design of Seoul national university

Juhyeong Kang, Jongchul Chae, Kyeore Lee  
*Seoul National University*

The coelostat is the one of the mostly used solar telescope in research institutes and colleges with non-rotating solar image. To test the instruments and give lectures on solar observation, we plan to construct the coelostat at Seoul National University. We design the slope-type coelostat with 40 cm primary mirror and 36 cm secondary mirror. The slope-type coelostat takes up less space maintaining the short distance between primary mirror and secondary mirror every day. Optimally minimizing the movements of two mirrors, we simplify the coelostat and reduce costs. By constructing the coelostat, we will acquire the technologies for development of observational instrument, also contribute to the growth of solar physics.

**10:45 [II-1-6]**

### Decayless kink oscillations of solar coronal loops

Nakariakov, V. M.  
*School of Space Research, Kyung Hee University*

Standing transverse oscillations of coronal loops are observed to operate in two regimes: rapidly decaying, large amplitude oscillations and undamped small amplitude oscillations. In the latter regime the damping should be compensated by energy supply, which allows the loop to perform almost monochromatic oscillations with almost constant amplitude and phase. Different loops oscillate with different periods that scale with the oscillating loop length. The oscillation amplitude does not show dependence on the loop length or the oscillation period. We developed a low-dimensional model explaining the undamped kink oscillations as a self-oscillatory process caused by the effect of negative friction, which is analogous to producing a tune by moving a bow across a violin string. The source of energy is an external quasi-steady flow, for example, supergranulation motions near the loop footpoints or external flows in the corona. We demonstrate that the interaction of a quasi-steady flow with a loop can be described by a Rayleigh oscillator equation. Small-amplitude self-oscillatory solutions to the Rayleigh oscillator equation are harmonic signals of constant amplitude, which is consistent with the observed properties of decayless kink oscillations. The period of self-oscillations is determined by the frequency of the kink mode. The damping by dissipation and mode conversion is compensated by the continuous energy deposition at the frequency of the natural oscillation. The ubiquity of decayless kink oscillations makes them an excellent tool for MHD seismology, in particular, for the determination of the magnetic field and electric currents in active regions.

## 제2발표장 (거문고)

### ■ II-2 달탐사 특별세션 I

좌장: 김주현 (항우연)

**09:30 [II-2-1]**

### Science goals for Korea pathfinder lunar orbiter science instruments

Eunhyeuk Kim  
*Korea Aerospace Research Institute*

2016년부터 시작된 시험용 달 궤도선 (Korea Pathfinder Lunar Orbiter, KPLO) 개발 사업은 2016년 12월 시스템 디자인 검토회의 (System Design Review, SDR)를 성공적으로 마치며 초기 단계를 넘어 본격적인 개발이 시작되었다. KPLO에는 고해상도카메라 (Lunar Terrain Imager, LUTI) 를 포함하여 4종의 한국 개발의 과학탑재체, 우주인터넷 시험을 위한 기술 검증 탑재체 (Disruption Tolerance Networking Payload)와 더불어 미국 NASA 개발의 과학탑재체 1~2종이 탑재될 예정이다. 대한민국에서 개발 예정인 탑재체는 2016년 4월 선정 이후 본격적인 개발이 진행중이며 NASA 탑재체는 2017년 3월 선정될 것으로 예상되며 한국의 과학탑재체들이 다루지 못하는 달 과학내용 연구에 사용될 예정이다. 연구발표에서는 한국 개발 과학탑재체의 개발 진행 현황과 더불어 NASA 개발 탑재체의 간단한 소개가 이루어질 예정이다.

**09:45 [II-2-2]**

### Preliminary system design of core instruments for the future Korea lunar exploration

Young-Jun Choi<sup>1,2</sup>, Mihyun Kim<sup>1</sup>, Seung Kwan Kim<sup>3</sup>, Seong Je Park<sup>4</sup>, Geon-Hee Kim<sup>5</sup>, Khyungin Kang<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

<sup>3</sup>*Korea Research Institute of Standards and Science*

<sup>4</sup>*Korea Institute of Machinery and Materials*

<sup>5</sup>*Korea Basic Science Institute*

<sup>6</sup>*Satellite Technology Research Center, KAIST*

Six national funded research institutes have been developing 3 core instruments of a Lunar Infrared Spectrometer(LIRS), Gamma-ray Spectrometer(GRS) and Neutron Spectrometer(NS), as a space-core technology project for future lunar exploration. Scientific goals of them are to detect hydroxyl and/or water ice on lunar surface, to detect element distribution and to fast/thermal/epithermal neutron distribution from subsurface of the Moon, respectively. We completed the system requirement review, at April 2016, and the system design review, at January 2017, for the 3 instruments. We assumed that the spacecraft and interface requirements are to be Korea Pathfinder Lunar Orbiter(KPLO). We will present the preliminary system design of them.

10:00 [II-2-3]

**Report on development of the gamma-ray spectrometer for the Korea pathfinder lunar orbiter**

Kyeong Ja Kim<sup>1,2</sup>, Yire Choi<sup>1,2</sup>, Junghun Park<sup>1</sup>, Eung Seok Yi<sup>3</sup>, Sungsoo Lee<sup>1</sup>, Young-Kwang Yeon<sup>1</sup>, Chang Wan Sun<sup>2</sup>, K. B. Lee<sup>4</sup>, Yong-Kwon Kim<sup>5</sup>, Kyoung Wook Min<sup>6</sup>, Kyungin Kang<sup>6</sup>, Jin Yeon Cho<sup>7</sup>, Jeong-Hun Cha<sup>9</sup>, Yeon Cheol Kang<sup>7</sup>, Nobuyuki Hasebe<sup>8</sup>, Richard Elphic<sup>9</sup>, KGRS science Team

<sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

<sup>2</sup>University of Science and Technology

<sup>3</sup>Chungnam National University

<sup>4</sup>Korea Research Institute of Standards and Science

<sup>5</sup>NuCare

<sup>6</sup>Korea Advanced Institute of Science and Technology

<sup>7</sup>Inha University

<sup>8</sup>Waseda University

<sup>9</sup>NASA Ames Research Center

The gamma-ray detector for the Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO) is being developed and the completion of the development is due on 2018. The KPLO GRS (KGRS) is a compact low-weight instrument for the chemical analysis of lunar surface materials within a gamma-ray energy range from 10s keV to 10 MeV. The KGRS will collect low energy gamma-ray signals in order to detect elements by either X-ray fluorescence or by natural radioactive decay in the low energy regions of spectrum, in addition to the higher-energy gamma rays due to neutron capture or inelastic scatter. The main objective of KGRS is to determine the elemental compositions of the near surface of the Moon for investigation of the lunar geology and resources. KGRS consists of two gamma-ray detectors: the main LaBr<sub>3</sub> detector of KGRS is surrounded by an anti-coincidence counting module of a 5% boron-loaded plastic scintillator to reduce both low energy gamma-ray background from the spacecraft and housing materials and high energy gamma-ray background from cosmic rays. The mass of KGRS is set to be 5 kg with gamma-ray energy channel numbers of 8192, the targeted energy resolution is about 3% at 661 keV. Both high and low gain gamma-ray spectra will be obtained for their gamma-ray energy ranges up to 2.5 and 10 MeV, respectively. This presentation introduces the details of KGRS operation during the targeted mission period and current development of the instrument including detailed plans associated with KGRS data analysis.

10:15 [II-2-4]

**Introduction to a gamma-ray and neutron spectrometer suite for future planetary surface investigation in the solar system**

Kyeong Ja Kim<sup>1,2</sup>, Junghun Park<sup>1</sup>, Yire Choi<sup>1,2</sup>, Eung Seok Yi<sup>1,3</sup>, Chang Wan Sun<sup>1,2</sup>, Sungsoo Lee<sup>1</sup>, Young-Kwang Yeon<sup>1</sup>, K. B. Lee<sup>4</sup>, Nobuyuki Hasebe<sup>5</sup>, Won-Kee Park<sup>6</sup>, Bongkon Moon<sup>6</sup>, Kyungin Kang<sup>7</sup>, Young-Jun Choi<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

<sup>2</sup>University of Science and Technology

<sup>3</sup>Chungnam National University

<sup>4</sup>Korea Research Institute of Standards and Science

<sup>5</sup>Waseda University

<sup>6</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>7</sup>Korea Advanced Institute of Science and Technology

Nowadays an importance of planetary surface investigation for unraveling geology has been greatly increased along with planetary surface exploration because of future manned mission planned to Mars and Moon in the near future, 2030s. Korea is currently planning a series of science payload developments for both geological and resource explorations in coming years. Korea has two lunar explorations planned in 2020s. The first one is called the Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO) and the second one is to be launched with a Korean rocket. For these missions, lunar geological investigation and resources exploration will be few of major important tasks for current and future interests associated with prospective lunar activities by human. The Gamma-ray Spectrometer (GRS) measures the elemental abundance of major constituents of the lunar surface and natural radioactive elements as well as any minor elements that can be measurable such as volatiles and rare earth elements. The Neutron Spectrometer (NS) measures the water presence of lunar surface soils using epithermal neutron flux variations. Results of a Gamma-ray spectrometer (GRS) on the lunar surface will be used to unravel geological surface evolution and elemental distributions of potential lunar resources. For the second lunar orbiter both a gamma-ray spectrometer and neutron spectrometer as a suite is needed to be developed by 2018 as engineering models. This presentation introduce both the development status of these payload and data analysis.

10:30 [II-2-5]

**Preliminary design of wide-angle polarimetric camera for Korean pathfinder lunar orbiter (KPLO)**

Minsup Jeong<sup>1</sup>, Young-Jun Choi<sup>1,4</sup>, Sungsoo S. Kim<sup>2</sup>, Kyung-In Kang<sup>3</sup>, Chae Kyung Sim<sup>2</sup>, Il-Hoon Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>2</sup>Kyung Hee University

<sup>3</sup>Korea Advanced Institute of Science and Technology

<sup>4</sup>University of Science and Technology

We are developing Wide-Angle Polarimetric Camera (PolCam) for Korean Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO). The polarimetry by PolCam will be the world's first observation toward lunar surface on a lunar orbit. PolCam will give the information such as the median grain size, roughness, maturity and mineralogy of lunar surface. PolCam has been designed to meet the requirements of its objectives that are to construct maps of polarization and reflectance ratio. The observations will be performed at wavelengths of 320, 430, and 750 nm. To obtain wide ranges of phase angle, PolCam is plan to perform 45° oblique observations from a nadir point. The spatial resolution of PolCam on the orbit is about 85 m. We will present the system design of PolCam.

## 제3발표장 (휴플레이스1)

## ■ II-3 우주천문 및 우주기술 II

좌장: 이대희 (천문연)

09:30 [II-3-1]

**Laser-based spacecraft relative navigation with intermittent observation data**Jongwoo Lee, Dae-Eun Kang, Sang-Young Park,  
Youngro Lee, Pureum Kim

Department of Astronomy, Yonsei University

This study presents a laser-based precise relative navigation algorithm using a batch filter recursively when observation data are intermittently obtained. After obtaining observation data via laser during a certain period of time, the proposed algorithm initiates a batch filter to determine the relative orbit at epoch which is best fitted with observation data. The proposed algorithm propagates the determined relative orbit at epoch to determine the relative orbit at the moments when observation data are obtained. The determined relative orbit is a nominal relative orbit for the next step. When observation data are intermittently obtained, a relative navigation algorithm represented by Extended Kalman Filter(EKF) is not able to maintain an accuracy of relative navigation solution as the time interval of intermittent observation increases. However, applying post-processing to the observation data, the batch filter-based proposed algorithm is able to provide an accurate solution. As a result, numerical simulations demonstrate that the accuracy of the proposed algorithm becomes more superior to that of the algorithms using EKF as the time interval of intermittent observation increases.

09:45 [II-3-2]

**Dynamic vectorial platform for the polarization mode trains realized with Jones vectors in Mathematica**

Hee-Joong Yun

Korea Institute of Science and Technology Information

Fundamental concept in physics of polarization propagation of electromagnetic waves is newly understood to be a cardinal keyword in quantum cryptography transport technology, astrophysics and the Standard Model. Polarization is an important phenomena especially in astronomy. The polarization of the cosmic microwave background(CMB) or gravitational wave from the binary black hole merger is being used to study the physics of the early universe. Recently, interactive visualization of the propagation mechanism of polarized electromagnetic waves in a medium with its helicity has received attention from scientists in the age of information and communication. We present a new dynamic polarization platform jdpmp4t with four lined up optical elements for more effective manipulation of polarization modes simulation with Jones vector in Mathematica. The platform simulates the polarization process of the  $E$  vector field together with that of the  $B$  vector field by using the Arrow function of Mathematica so that the platform might

animate a transverse EM wave satisfying Maxwell's wave equations exactly every point on the advancing axes of the  $\vec{S}$  Poynting vector. Consequently, the vectors  $E$ ,  $B$ , and  $\vec{S}$  form a right-hand orthogonal set of field vectors. The platform can be manipulated one of four train modes interactively to advance the polarized mode with its helicity while the user select one of modes at panel of platform. In addition, we shall demonstrate other vectorial Mathematica platforms such as EM field propagation, Coriolis force and Whiskbroom pattern in Minkowski space.

10:00 [II-3-3]

**Development of 64-channel silicon photomultiplier sensor and low light camera using the sensor**H. Y. Lee<sup>1</sup>, Jin-A Jeon<sup>1</sup>, Il H. Park<sup>1,2</sup>, Jik Lee<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Institute of Science and Technology in Space, Sungkyunkwan University<sup>2</sup>Department of Physics, Sungkyunkwan University

Silicon photomultiplier (SiPM) is a photo sensor consists of multi micro-pixels which are operated with Geiger mode. SiPM has various preferable characteristics such as operating with low voltage, small size and light-weighted shape, robust and insensitive to magnetic fields as well as enables counting single photons thanks to the high gain of 10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup> like conventional Photomultiplier tubes (PMT).

In this study, we have simulated and designed the PN junction with high electric field into epitaxial layer on p type substrate for working at low operating voltage. Finally we have fabricated the 64 channels of SiPMs as a first step to use multichannel sensors. And we have made the camera using the sensors for low light measurement. We will present also the result of it.

10:15 [II-3-4]

**국내외 큐브위성 개발현황 및 동향 분석**이성환<sup>1,2</sup>, 진호<sup>1,3</sup>, 이정규<sup>1</sup>, 이효정<sup>1</sup>, 신재혁<sup>1</sup>, 이만규<sup>1</sup>, 이승아<sup>1</sup><sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>인투블루, <sup>3</sup>경희대학교 우주과학과

큐브위성은 1 kg 단위의 플랫폼화 된 초소형위성의 한 종류로서 Commercial Off-the-Shelf(COTS)를 통해 빠르고 저렴하며 쉽게 개발할 수 있다는 장점이 있다. 이로 인해 신속한 기술검증이 요구되는 임무와 소형화 된 탑재체 운용에 적합하여 2000년대에 들어 전 세계적으로 큐브위성의 발사가 크게 증가하였고 현재까지는 약 600 기의 큐브위성이 발사되었다. 한편 국내에서는 2013년에 경희대학교에서 TRIO-CINEMA 발사에 성공하였고 이후 한국항공우주연구원에서 주최하는 큐브위성 경연대회를 통해 국내 6개 대학의 큐브위성 개발이 완료되어 현재 발사대기 중에 있다. 초기의 큐브위성은 학생들의 개발경험 및 역량강화가 주된 목적이었지만 큐브위성의 신뢰성 증가로 인해 활용범위가 다양하게 확대되고 있으며 짧은 재방문 주기를 이용한 집단운용, 기술검증 그리고 지구관측으로 그 활용이 변화하고 있다. 본 논문에서는 이러한 세계적인 변화의 흐름과 개발동향을 분석하여 큐브위성의 발전 및 활용 가능성에 대하여 논하였다.

**10:30 [II-3-5]**

**조도정보를 활용한 주·야간 자동 전천관측기술 개발 연구**

이재원<sup>1</sup>, 기균도<sup>1</sup>, 박인춘<sup>2</sup>, 김영철<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국방정보본부 지형기상정책과, <sup>2</sup>나고야대학교 우주지구환경연구소,

<sup>3</sup>한서대학교 항공운항학과

전천(All-Sky) 관측기술은 하늘이나 구름상태를 감시하기 위한 단순 광학계를 적용한 기술부터 관련 장비를 복합적으로 결합한 기술까지 다양한 분야에서 활용되고 있다. 본 연구에서는 조도(Illumination) 변화를 감지할 수 있는 정밀조도계(Lightmeter)를 기반으로 하여 주·야간 전천을 안정적으로 자동 관측하는 기술을 소개하고자 한다. 이러한 기술개발을 위해 IYA(International Year of Astronomy) 2009 에서 인공 광공해(light pollution)의 영향 분석 목적으로 개발한 정밀조도계와 전천 촬영에 널리 사용되는 어안(Fish eye)렌즈가 장착된 DSLR카메라를 결합하였고, 사물인터넷 기술을 통하여 직접적으로 제어하는 방식의 비교적 간단한 기술을 적용하였다. 또한 개발된 장비에서 관측된 전천자료의 분석을 기반으로 초기 설정된 전천관측 제어모델을 보정하였다.

**10:45 [II-3-6]**

**Small scale magnetospheric and ionospheric plasma experiments; SNIPE mission**

Junga Hwang, Jaemin Lee, Jongdae Shon, Jaeheung Park, Young-Sil Kwak, Uk-Won Nam, Won-Kee Park

*Korea Astronomy and Space Science Institute*

The observation of particles and waves using a single satellite inherently suffers from space-time ambiguity. Recently, such ambiguity has often been resolved by multi-satellite observations; however, the inter-satellite distances were generally larger than 100 km. Hence, the ambiguity could be resolved only for large-scale (> 100 km) structures while numerous microscale phenomena have been observed at low altitude satellite orbits. In order to resolve those spatial and temporal variations of the microscale plasma structures on the topside ionosphere, SNIPE mission consisted of four nanosatellites (~10 kg) will be launched into a polar orbit at an altitude of 600 km. Two pairs of satellites will be deployed on orbit and the distances between each satellite will be from 10 to 100 km controlled by a formation flying algorithm. The SNIPE mission is equipped with scientific payloads which can measure the following geophysical parameters: density/temperature of cold ionospheric electrons, energetic (~100 keV) electron flux, and magnetic field vectors. All the payloads will have high temporal resolution (~ 10 Hz). This mission is planned to launch in 2020. The SNIPE mission aims to elucidate microscale (100 m-10 km) structures in the topside ionosphere (below altitude of 1,000 km), especially the fine-scale morphology of high-energy electron precipitation, cold plasma density/temperature, field-aligned currents, and electromagnetic waves. Hence, the mission will observe microscale structures of the following phenomena in geospace: high-latitude irregularities, such as polar-cap patches; field-aligned currents in the auroral oval; electro-magnetic ion cyclotron (EMIC) waves; hundreds keV electrons' precipitations,

such as electron microbursts; subauroral plasma density troughs; and low-latitude plasma irregularities, such as ionospheric blobs and bubbles. We will develop a 6U nanosatellite bus system as the basic platform. Three basic plasma instruments shall be installed on all of each spacecraft, Particle Detector (PD), Langmuir Probe (LP), and Scientific MAGnetometer (SMAG). In addition we now discuss with NASA and JAXA to collaborate with the other payload opportunities into SNIPE mission.

**제1발표장 (가야금)**

**초청강연 III**

**좌장: 강영운 (세종대)**

**11:20 [IS-III]**

**Infrared space missions for cosmic infrared background study in Korea**

Woong-Seob Jeong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

The unknown excess emission in the near-infrared is thought to be related to the early epoch of Universe. Due to its very faint brightness, it can be observed only in space. Many infrared space missions have been tried to trace the origin of the Cosmic Infrared Background (CIB) through the measurement of its absolute brightness and its large-scale fluctuation. I will overview the Korean infrared space missions for the observations of the CIB. I will also introduce our effort to reveal possible origins contributing to the CIB.

**제1발표장 (가야금)**

**III-1 우주환경 일반 Consistency between magnetic**

**좌장: 김연한 (천문연)**

**13:00 [III-1-1]**

**Consistency between magnetic field orientations in solar corona and near the Earth using 60 CME-ICME pairs**

Suk-Kyung Sung<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*Department of Space Science, Kyung Hee University*

In this study, we compare all possible magnetic field directions (northward and southward) of solar source regions and near Earth environment. Based on the Richardson & Cane's interplanetary coronal mass ejection (ICME) list, we consider 60 CME-ICME pairs from 1996 to 2014, which have source region data (X-ray and magnetogram images) and magnetic cloud (MC) data. We determine three possible magnetic field directions near the source regions: (1) coronal flux ropes based on the coronal flux rope model (CFR) using X-ray sigmoid data, (2) overlying fields on active regions according to the potential field model using full-disk magnetogram data, and (3) dipole fields based on polar magnetic polarities

using full-disk magnetogram data. Three magnetic field directions in the near Earth environment are also considered. (1) the magnetic cloud leading field, (2) the sheath region between IMF shock and magnetic cloud, and (3) the upstream region for 3-hours before the shock. We investigate the accordance among the field directions and calculate their accuracies. Among all possible pairs, we find four meaningful consistency: (1) the magnetic field orientations of coronal flux ropes are consistent with those of overlying fields and solar dipole fields with the accuracies of 0.78 and 0.69, respectively, (2) the MC leading field directions are mainly determined by the coronal flux rope configurations of the solar source regions with the accuracy of 0.63, (3) the sheath field directions are mainly determined by the overlying field directions of the solar source regions with the accuracy of 0.63, and (4) the sheath field directions correspond to the MC leading field directions with the accuracy of 0.7.

### 13:15 [III-1-2]

#### Near-Earth magnetotail and auroral arc development associated with substorm onset: a new interpretation of substorm triggering

Yukinaga Miyashita<sup>1</sup>, Yasutaka Hiraki<sup>2</sup>, Vassilis Angelopoulos<sup>3</sup>, Akimasa Ieda<sup>4</sup>, Shinobu Machida<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>2</sup>Advanced Knowledge Laboratory, Inc.

<sup>3</sup>University of California Los Angeles

<sup>4</sup>Nagoya University

Using data from the Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms (THEMIS) spacecraft and ground-based observatories at high temporal and spatial resolutions, we studied the time sequence of near-Earth magnetotail and auroral arc development associated with a substorm onset. We discussed the four steps of auroral development (auroral fading, initial brightening of an auroral onset arc, enhancement of the arc's wave-like structure, and poleward expansion) and linked them to magnetotail changes. A case study showed that near-Earth magnetic reconnection began at  $X \sim -17$  Re at least  $\sim 1$  min before auroral fading and  $\sim 2$  min before initial auroral brightening. Large-scale ionospheric convection was also enhanced just before auroral fading and before initial auroral brightening. Low-frequency waves were then amplified in the plasma sheet at  $X \sim -10$  Re, with the pressure increase likely due to the arrival of an earthward flow from the near-Earth reconnection site  $\sim 5$  min after initial auroral brightening and nearly simultaneously with enhancement of the wave-like auroral structure. Dipolarization began  $\sim 8.5$  min after initial auroral brightening and  $\sim 30$  s before auroral poleward expansion. On the basis of these observations, we suggest a possible interpretation that near-Earth magnetic reconnection plays two roles in substorm triggering. First, it generates a fast earthward flow and Alfvén waves. When the Alfvén waves, which propagate much faster than the fast flow, reach the ionosphere, large-scale ionospheric convection is enhanced, leading to auroral fading, initial brightening, and gradual growth of the wave-like auroral structure. Second, when the reconnection-initiated fast flow reaches the near-Earth magnetotail, it promotes rapid growth of an instability, such as a ballooning instability, and the wave-like auroral structure is further enhanced. When the instability has

grown sufficiently, dipolarization and auroral poleward expansion are initiated.

### 13:30 [III-1-3]

#### Performance of the autoregressive method in long-term prediction of sunspot number

Jongchul Chae<sup>1</sup>, Yeonhan Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Seoul National University

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

The autoregressive method provides a univariate procedure to predict the future sunspot number (SSN) based on the past record. The strength of this method lies in the possibility that it yields the SSN in the future as a function of time from the past data. On the other hand, its major limitation comes from the intrinsic complexity of the solar magnetic activity that may deviate from the linear stationary process assumption that is the basis of the autoregressive model. From the error analysis of the method, we have obtained the following results: (1) the optimal duration of the past time for the forecast is found to be 8.5 years; (2) the standard error increases with prediction horizon and the errors are mostly systematic ones resulting from the incompleteness of the autoregressive model; (3) there is a tendency that the predicted value is underestimated in the activity rising phase, while it is overestimated in the declining phase; (4) the model prediction of a new Solar Cycle is fairly good when it is similar to the previous one, but is bad when the new cycle is much different from the previous one; (5) a reasonably good prediction of a new cycle can be made using the AR model 1.5 years after the start of the cycle. In addition, we predict the next cycle (Solar Cycle 25) will reach the peak in 2024 at the activity level similar to the current cycle.

### 13:45 [III-1-4]

#### Major flare occurrence rate depending on magnetic field parameters

Daye Lim<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Jongyeob Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Space Research, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

In this study, we investigate the relationship between magnetic field parameters and solar flare occurrence rate to predict solar flares. For this we use Space-weather HMI Active Region Patches (SHARP) vector magnetic field data from May 2010 to December 2016 and major solar flares (M and X-class) except for limb data whose longitude is larger than 60 degrees. We consider four SHARP magnetic parameters (the total unsigned current helicity, the total photospheric magnetic free energy density, the total unsigned vertical current, and the absolute value of the net current helicity) with high F-scores as useful predictors of flaring activity from Bobra *et al.* (2015). All magnetic parameters are divided into 40 groups to estimate the corresponding flare occurrence rates. The flare identification is determined by using LMSAL flare locations, giving more numbers of flares than the NGDC flare list. 70% of the data are used for setting up a flare model, and the other for test. Major results are as follows. First, flare occurrence rates (X-class and M & X-class) are well correlated with four magnetic parameters. Second, the occurrence rate ranges

from 0.01 to 1 for M and X-class flares. Third, the test shows that the total photospheric magnetic free energy density gives the minimum RMS error between actual flare rate and predicted one.

**14:00 [III-1-5]**

**Application of convolution neural network to flare forecasting**

Kangwoo Yi, Eunsu Park, Seulki Shin, Yong-Jae Moon  
*School of Space Research, Kyung Hee University*

In this study we apply Convolution Neural Network(CNN) to flare forecasting models with various parameter options. We are developing two sets of daily flare forecast models using the 00:00 UT MDI images from 1996 to 2010 (total 4962 images). One is a flare class prediction model and the other is a flare occurrence prediction model. We assume that only X, M and C class flares correspond to "flare occurrence" and the others to "non-flare". To look for the best options for the models, we have made many attempts with two CNN models(AlexNet and GoogLeNet), by modifying training images and changing hyper parameters. Our major results from this study are as follows. First, the flare occurrence predictions are relatively good with about 80 % accuracies but the flare class predictions are not so good. Second, both flare prediction models based on AlexNet and GoogLeNet have similar results but AlexNet is faster than GoogLeNet. Third, modifying the training images to reduce the projection effect is not effective.

**14:15 [III-1-6]**

**Application of a deep-learning method to the forecast of daily solar flare occurrence using Convolution Neural Network**

Seulki Shin<sup>1</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Hyoungseok Chu<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University*  
<sup>2</sup>*Software Policy & Research Institute*

As the application of deep-learning methods has been succeeded in various fields, they have a high potential to be applied to space weather forecasting. Convolutional neural network (ConvNet), one of deep learning methods, is specialized in image recognition. In this study, we apply the AlexNet architecture, the winner in ImageNet Challenge (ILSVRC) 2012, to the forecast of daily solar flare occurrence using the MatConvNet software of MATLAB. Our input images are SOHO/MDI and EIT 195 Å from January 1996 to December 2010, and output ones are yes or no of flare occurrence. We randomly select training, validation, and testing dataset with the ratio 8/10, 1/10, and 1/10, respectively. The same numbers of flaring and non-flaring events are used for all data sets. Our model successfully forecasts the flare occurrence with about 81% accuracy for common flares (C-, M-, and X-class) and 90% accuracy for major flares (M- and X-class). We present several statistical parameters such as critical success index (CSI) and true skill statistics (TSS). We will set up a flare occurrence model using more sets of data. Our model can immediately be applied to automatic forecasting service when image data are available.

**제2발표장 (거문고)**

**■ III-2 고층대기 II**

**좌장: 지건화 (극지연)**

**13:00 [III-2-1]**

**New radar for monitoring polar ionosphere at Jang Bogo station, Antarctica**

Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>,  
Young-Bae Ham<sup>1</sup>, Hyuck-Jin Kwon<sup>1</sup>, Eunsol Kim<sup>2</sup>,  
Yongha Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Polar Research Institute*  
<sup>2</sup>*Chungnam National University*

Vertical Incident Pulses Ionospheric Radar (VIPIR) has been operating at Jang Bogo Antarctic Station since March 2015 for routine monitoring of the ionosphere in the auroral and/or polar cap region. Individual ionospheric echoes reflected from the ionosphere can be used to extract essential parameters such as ion drift velocity, ionospheric tilt information as well as the electron density profile below the ionospheric peak for the polar ionospheric study. After several repairs and improvements in antenna mechanics and electronics due to harsh environment in Antarctica, VIPIR has begun to routinely monitor the state of the ionosphere. In this presentation, we introduce a brief introduction of VIPIR in comparison with conventional digisonde observations and show initial results of the observations.

**13:15 [III-2-2]**

**Climatology of the electron density profiles in the polar ionosphere using long-term incoherent scatter radar observations**

Eunsol Kim<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>2</sup>, Yongha Kim<sup>1</sup>, Youngsil Kwak<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Chungnam National University*  
<sup>2</sup>*Korea Polar Research Institute*  
<sup>3</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

We investigate the climatological characteristics of the polar ionosphere in comparison with the mid-latitude ionosphere using incoherent scatter radars (ISR) observations from Svalbard (78.15N, 16.05E), Tromso (69.59N, 19.23E), and Millstone Hill (42.6N, 288.5E) during a period of 1995 - 2015. Diurnal variations of electron density profiles from 100 to 500 km are compared among the three radar stations during equinox, summer and winter solstice for different solar and geomagnetic activities. In the polar ionosphere, the diurnal variation is overall much weaker in summer than that in other seasons. In winter, there are two peaks in the polar cap region (Svalbard) and a distinct daytime peak with secondary peak near midnight in the auroral region (Tromso), which is dramatically different from the mid-latitude ionosphere (Millstone Hill). There are also differences in the seasonal variabilities. The winter anomaly is apparent at Millstone Hill, while it is not evident at Svalbard. At Tromso, the winter anomaly is seen only during high solar activity. The semiannual anomaly occurs at Tromso but it appears only during

high solar activity at Svalbard. As for the electron density peak height in the polar ionosphere, the correlations between the peak height and geophysical indices (F10.7, Kp, and AE) are investigated.

### 13:30 [III-2-3]

#### Derived temperature from meteor radars in Northern and Southern high-latitude regions

Hosik Kam<sup>1</sup>, Yongha Kim<sup>1</sup>, Nicholas Mitchell<sup>2</sup>, Jeong-Han Kim<sup>3</sup>, Changsup Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chungnam National University

<sup>2</sup>University of Bath

<sup>3</sup>Korea Polar Research Institute

Meteor echoes detected by a meteor radar (MR) can provide information on winds and temperatures in the mesosphere and lower thermosphere (MLT) region. In this study, we present the mesospheric temperatures estimated from meteor radars at Kiruna (67° 57'N, 20° 13'E) and King Sejong Station (KSS; 62° 13'S, 58° 47'E) with two different methods. One method of temperature estimation utilizes the temperature gradient at meteor peak height and the slope of decay time height profile. Another method uses the full width half maximum (FWHM) of a daily meteor height distribution. We compare two estimated temperatures with those from FTS (Fourier Transform Spectrometer) and Aura/MLS measurements for each location. The comparison results can allow us to evaluate the credibility of MR temperatures from two methods. We also discuss about the long term trend of the estimated temperatures during the periods of about 10 years from 2003 - 2014 for Esrange and from 2007 - 2016 for KSS.

### 13:45 [III-2-4]

#### SC-associated electric field variations in the magnetosphere and ionosphere

Khan-Hyuk Kim<sup>1</sup>, Su-In Kim<sup>1</sup>, Hyuck-Jin Kwon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Space Research, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Division of Polar Climate Sciences, Polar Research Institute

We examine magnetic and electric field perturbations associated with a sudden commencement (SC), caused by an interplanetary shock passing over the Earth's magnetosphere on 16 February 2013. The SC was identified with sudden changes in magnetic and electric fields measured at THEMIS-E (MLT = 12.4, L = 6.3), Van Allen Probe-A (VAP-A: MLT = 3.2, L = 5.1), and Van Allen Probe-B (VAP-B: MLT = 0.2, L = 4.9) in the magnetosphere. During the SC interval, THEMIS-E near the noon observed a dawnward-then-duskward perturbation in  $E_y$ . This  $E_y$  perturbations tend to be proportional to the change of background magnetic field intensity, implying that the  $E_y$  is inductive. VAP-B near the midnight observed a duskward E-field perturbation. Near the postmidnight sector, VAP-A observed a dawnward-then-duskward E-field perturbation, but the duration time of the dawnward E-perturbation is much shorter than that at THEMIS-E. By comparing SuperDARN data, we confirm that the ionospheric motions during the SC are mainly due to the E-field variations observed in space. This indicates that the SC-associated E-fields in

space are directly penetrated into the ionosphere.

### 14:00 [III-2-5]

#### Solar wind-driven Pc5 waves at Jang Bogo Station, Antarctica

Hyuck-Jin Kwon<sup>1</sup>, Khan-Hyuk Kim<sup>2</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Polar Climate Sciences, Korea Polar Research Institute

<sup>2</sup>School of Space Research, Kyung-Hee University

Search-soil magnetometer (SCM) was installed at Jang Bogo Station (JBS), Antarctica in the late of 2016 to measure magnetic field variations in the polar cap and/or cusp region. In this talk, we will introduce briefly the installation of SCM and the initial observations of JBS-SCM. In particular, we focus on the ULF waves in the Pc5 band during continuous high speed stream solar wind intervals. The amplitude of Pc5 pulsations shows local time dependence, they observed the strong ULF waves in the dayside. We also used solar wind measurements by DSCOVR in order to calculate correlation between solar wind parameters (density, velocity, dynamic pressure, and IMF) and ground Pc5 amplitude. The correlation relation is also largest in the dayside and the solar wind velocity represents dominant effects on ground Pc5 pulsations. These result means that the Pc5 ULF waves in the cusp or polar cap region have different characteristics with magnetospheric ULF waves.

### 14:15 [III-2-6]

#### Statistical analysis of EMIC Pc1-Pc2 waves observed at the subauroral-latitude Athabasca (L ~ 4.6) ground station and estimation of EMIC wave source region

Jong-Woo Kwon, Khan-Hyuk Kim, Ho Jin

School of Space Research, Kyung Hee University, Yongin, South Korea

We have statistically studied spectral properties of EMIC Pc1-Pc2 waves observed at subauroral latitude Athabasca station (magnetic latitude: 62°, L ~ 4.6), using an induction magnetometer during the period of 2007-2008 in solar minimum year. The important statistical results are as follows: (1) Most of events appear in the helium band. (2) The waves show a longitudinal frequency variation, high frequencies in the postmidnight-to-dawn sector (MLT~0-6) and low frequencies in the noon-to-dusk sector (MLT~10-18). (3) Under moderate and disturbed conditions ( $K_p \geq 2$ ), the wave peak frequencies in the morning sector (MLT~6-12) are higher than quiet conditions ( $K_p \leq 1$ ). (4) The high occurrence region (occurrence rate  $\geq 4\%$ ) of ground EMIC waves is morning-to-afternoon sector (MLT~7-15) with a peak near noon (MLT~12) for  $K_p \geq 2$ . Under quiet geomagnetic conditions ( $K_p \leq 1$ ), however, a peak occurrence appears in the morning (MLT~9). (5) About 54% of Athabasca events are observed at GOES11 simultaneously, and local time distribution of occurrences is almost same shape with total Athabasca case, even though GOES11 case have two peak at MLT ~ 1 and MLT ~ 21. (6) The waves are left-handed polarized in the postmidnight sector

(MLT~2-3), while linearly polarized in the remainder of MLT. (7) By using wave frequency observed at Athabasca can estimate B field magnitude of wave source region. From that B, we can calculate L value of source region roughly. And then, we can see estimated L values have a dawn-dusk asymmetry.

**제3발표장 (휴플레이스1)**

**III-3 우주천문 및 우주기술 III  
좌장: 김천휘 (충북대)**

**13:00 [III-3-1]  
한국형 우주망원경 융합연구사업 가능성 연구**

이대희<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교

인류의 궁극적 질문인 우주의 탄생과 진화 규명 연구에서 현재는 우주망원경 선진국의 관측 자료를 활용할 수 밖에 없어 기초자연과학 분야의 추격자로서의 한계가 상존한다. 만일 국내 주도 우주망원경 개발을 통해 독창적, 독자적 우주 관측을 수행한다면 천문우주과학 분야의 세계적 선도 입지를 개척할 수 있다. 한국형 우주망원경은 자외선에서 적외선까지의 광대역 파장 (0.2~2.5 um)에서 26 등급 이상의 어두운 우주를 천천 영상/분광 관측이 가능한 우주망원경으로 은하 진화 및 형성, 우주 거대 구조 등 천문우주분야에서의 글로벌 대형 성과 창출이 가능하다. 또한, 우주망원경은 첨단 우주기술의 총아로서 광학, 전자, 기계 등 융복합 기술의 결정체이므로 국내 우주기술의 자립화, 산업화는 물론 우주 빅데이터를 처리하는 4차 산업혁명의 대응이 가능하다.

**13:15 [III-3-2]  
High-resolution camera for earth observation and astronomy: design, adjustment and space-suitability tests**

Min Bin Kim<sup>1</sup>, Mariia Tumarina<sup>1</sup>, Mikhail Ryazanskiy<sup>2</sup>, I.H. Park<sup>1</sup>, Gihan Hong<sup>1</sup>, Nikolay Vedenkin<sup>2</sup>, Aleksander Milov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sungkyunkwan University

<sup>2</sup>SatByul Co.

<sup>3</sup>Dauria Aerospace

Cameras with extremely high resolution and field of view (FOV) are the key point for the success of new micro-satellites for Earth observation and astronomical tasks. This cameras have very strong size, mass and budget limitations, and must be operational at wide temperature range (-40 ~ +60°C) and after strong vibration loads. We are involved in the development of several such systems. One of this telescopes (for 16U CubeSat) has 3° flat FOV and arcsecond level resolution, F/# 3.5, 241mm equivalent aperture, dimensions 230×230×330mm<sup>3</sup>, mass 6kg, working at -50~+60°C. This resolution means 2.5m pixels at 25km wide Earth images from 600km orbit, or 14 star magnitude at 2.5×2.5° FOV. Catadioptric all- spherical design consists of the Mangin primary mirror, secondary mirror, one front corrector lens

and two field corrector lenses. Opto-mechanical design realize several non-standard decisions to hold 5um dimension stability at 100° temperature range and vibration and 40G shocks during launch. The design of optics and opto-mechanics of this system, adjustment and testing procedures and results of vibration and thermal-vacuum tests will be presented.

**13:30 [III-3-3]  
On-orbit calibration of UFFO/Lomonosov for detecting the early photons from GRBs**

S. Jeong<sup>1,2</sup>, I. H. Park<sup>1</sup>, on behalf of the UFFO collaboration

<sup>1</sup>SungKyunKwan University, Institute for Space Technology and Science, Suwon, Korea

<sup>2</sup>Instituto de Astronomica en Andalucia-CSIC, Granada, Spain

UFFO/Lomonosov was developed to study the early optical photons from Gamma-ray bursts, and launched successfully on April 28, 2016 aboard Lomonosov. UFFO/Lomonosov has total 25 kg of weight and 400 (w) x 950 (L) x 365 (H) mm<sup>3</sup> in size. The payload is equipped with two telescope. One is X-ray trigger and imaging telescope, called UFFO Burst Alert and Trigger telescope (UBAT), which is composed of 36 modules of Yttrium Oxyorthosilicate (YSO) crystals, each pixelated into 8×8 pixels read out by 64-ch Multi-Anode Photomultiplier tubes (MAPMTs). The UBAT is based on a coded aperture mask technique to localize GRB sources with its half code FOV of +- 35 degree. The other is Slewing Mirror Telescope (SMT) which has 10 cm aperture of Ritchey-Chretien telescope, ICCD and slewing mirror. It redirects in a second the optical beam from GRB to on-axis of the ICCD. We use a few Field Programmable Gate Array chips to make a fast trigger calculation, imaging and optical tracking to meet the requirement of low power and mass budget. The UFFO/Lomonosov has been gone through a variety instrument check-ups and calibrations for last six months to understand X-ray backgrounds, finally to set the meaningful trigger thresholds for X-ray telescope and to be ready SMT, for fast slewing toward the trigger direction by UBAT. We will report the status of UFFO/Lomonosov in the orbit including problems solving and calibration of the instrument.

**13:45 [III-3-4]  
The performance of Slewing mirror telescope on orbit, problem of faulty encoder and its solution**

Agaradahalli Gurumurthy Vikas, Gaikov Georgii, Jeong Soomin, Jeong Hyomin, Kim Minbin, Lee Jik, I. H. Park

Department of Physics, Sungkyunkwan University

The Slewing Mirror Telescope (SMT) is a key component of the UFFO-P designed for observation of sub-second UV/optical photons emitted by the GRB after glows. A Ritchey - Chretien telescope, motorized slewing mirror, ICCD and FPGA based electronics are the sub-components of SMT. The optical path of the telescope is changed by rotating a motorized slewing mirror which enables fast settling to the target (within ~1s). The control of the motors is through feedback mechanism using position encoders. One of the encoders

was corrupted post launch causing inaccurate targeting of SMT. Several solutions were implemented to overcome the problem which were partial. A comprehensive solution was found by replicating the behavior of malfunctioning encoder on the laboratory model, which along with the performance of other components of SMT will be discussed in detail.

#### 14:00 [III-3-5]

##### Status of the MIRIS data reduction and analysis

Jeonghyun Pyo<sup>1</sup>, Il-Joong Kim<sup>1</sup>, Woong-Seob Jeong<sup>1,2</sup>, Dae-Hee Lee<sup>1,2</sup>, Bongkon Moon<sup>1</sup>, Youngsik Park<sup>1</sup>, Sung-Joon Park<sup>1</sup>, Won-Kee Park<sup>1</sup>, Duk-Hang Lee<sup>1</sup>, Uk-Won Nam<sup>1</sup>, Wonyong Han<sup>1,2</sup>, Kwang-Il Seon<sup>1,2</sup>, Toshio Matsumoto<sup>3</sup>, Min Gyu Kim<sup>4</sup>, Hyung Mok Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>2</sup>University of Science and Technology

<sup>3</sup>ISAS/JAXA, Japan

<sup>4</sup>Seoul National University

MIRIS (Multi-purpose InfraRed Imaging System) is a compact near-infrared space telescope launched in 2013 November as the main payload of STSAT-3 (Science and Technology Satellite 3). MIRIS completed its three scientific missions (the Pa $\alpha$  line survey along the Galactic plane, the large area surveys of three pole regions, and the monitoring observations toward the north ecliptic pole) through about 2,300 observations from 2014 March to 2015 May. We are under the analysis and the reduction of observation data to achieve the quality satisfactory for scientific studies. The processed data are planned to be released to public in the 1<sup>st</sup> half of this year. In this talk, we introduce the recent improvements in the data analysis and reduction and the scientific results.

#### 14:15 [III-3-6]

##### A new catalog of AGB stars based on AKARI PSC

Jinju Hong, Kyung-Won Suh

Chungbuk National University

We present a new catalog of AGB stars based on AKARI PSC. Considering previous catalogs based on IRAS PSC, we identify and verify more exact AKARI counterparts. Using various IR two-color diagrams and known properties of the pulsations and spectra, we present a list of new candidate objects for AGB stars.

#### 14:30 [III-3-7]

##### 마이컬슨·물리실험, 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 재해석

권오혁

부경대학교 지질환경연구소

본 연구는 다양한 사고실험을 통해 마이컬슨·물리실험 결과와 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식을 새로운 관점에서 해석한다. 특히 이러한 사고실험 결과들이 아인슈타인의 상

대성 원리와 상충한다는 사실을 논증하려 하는바, 이 연구 결과에 의하면 상대성이론의 방정식이 상대성 원리와 모순된다. 더하여 아인슈타인의 상대성 원리를 배제하고 뉴턴의 절대공간 관점에서 이 연구 성과들이 서로 상합될 수 있음을 밝힐 것이다. 이 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 본 연구에서 바라보는 우주와 공간, 시간에 대한 기본 가설을 제안한다. 그리고 이러한 관점을 지지하는 다양한 사고실험을 통해 논거를 제시한다. 이 연구는 마이컬슨·물리실험 결과를 아인슈타인의 동시성 실험과 결합하여 재해석하고 이외에도 다양한 사고실험들을 제안하고 분석한다. 더하여 상대성이론을 검증하는 측정 및 실험결과들을 검토한다.

#### 제1발표장 (가야금)

##### ■ IV-1 태양풍 및 자기권

##### 좌장: 이대영 (충북대)

#### 15:00 [IV-1-1]

##### The kinetic Alfvén solitary wave in resistive tearing instability

최정림<sup>1</sup>, 우민호<sup>2</sup>, 이대영<sup>1</sup>, 박경선<sup>1</sup>, P. Yoon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 천문우주학과, <sup>2</sup>국가핵융합연구소, <sup>3</sup>Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland

Hasegawa가 kinetic Alfvén solitary wave의 존재성을 보고한 이래, Cattell 등 여러 연구자들이 geomagnetic tail에서 magnetic reconnection이 일어날 때, electron hall의 존재를 위성관측과 simulation으로 확인했다는 보고가 있었다. 본 연구에서는 이것을 resistive tearing instability에서 이론적으로 접근하였으며, reconnection에 의한 magnetic island의 size와 growth rate을 이론적으로 계산하였다.

#### 15:15 [IV-1-2]

##### Particle diffusion by obliquely propagating kinetic Alfvén wave

최정림<sup>1</sup>, 우민호<sup>2</sup>, 독고경환<sup>3</sup>, 이대영<sup>1</sup>, P. Yoon<sup>4</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 천문우주학과, <sup>2</sup>국가핵융합연구소, <sup>3</sup>한국과학기술원 물리학과,

<sup>4</sup>Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland

많은 연구자들이 태양풍 플라즈마에서 이온입자들의 temperature anisotropy에 관한 연구를 많이 해 왔다. 본 연구에서는 배경 자기장이 일정할 때, 배경 자기장과 비스듬히 진행되는 kinetic Alfvén wave에 의한 플라즈마 입자들의 diffusion을 연구하였다. Kinetic Alfvén wave에 의해 확산되는 입자들의 diffusion coefficient와 kinetic temperature anisotropy를 연구하였다. kinetic Alfvén 파동의 진파 각도별로 확산계수를 계산하였으며, 입자들의 속도를 수치해석으로 계산한 결과와도 비교하였다.

**15:30 [IV-1-3]**

**Whistler waves in the solar wind: unidirectional or bidirectional propagation?**

Jungjoon Seough

*Korea Astronomy and Space Science Institute*

A narrow-band, right-handed circularly polarized whistler fluctuations with wave vector quasi-parallel to the local mean magnetic field have frequently been observed in various space environments including the solar wind. It is interesting to note that the measured whistler modes propagates nearly unidirectionally in a free solar wind region; the propagation angle with respect to the local mean magnetic field is less than  $20^\circ$ . The purpose of this study is to show that the whistler waves with these properties are naturally generated in situ by electron core temperature anisotropy-driven whistler instability when one takes into account the core-halo relative drift velocity in the proton rest frame. Both Linear Vlasov analysis and one-dimensional electromagnetic particle-in-cell simulation are employed to demonstrate the property of unidirectionally propagating whistler waves observed in the solar wind.

**15:45 [IV-1-4]**

**The study of interplanetary small-scale magnetic flux rope by ACE observations and global MHD simulation**

Myeong Joon Kim<sup>1</sup>, Kyung Sun Park<sup>1</sup>, Dae-Young Lee<sup>1</sup>, Rok Soon Kim<sup>2</sup>, Kyungsuk Cho<sup>2</sup>, Gyu Cheol Choi<sup>3</sup>, Jaehoon Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University*

<sup>2</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>3</sup>*Space Environment Laboratory*

<sup>4</sup>*The Korean Space Weather Center of the National Radio Research Agency*

We have studied the characteristics of interplanetary small-scale magnetic flux rope (ISMFR) during 1998 - 2015 using ACE observations of magnetic field and solar wind data. The selected duration time of ISMFR is from 30 min up to 12 hours. From the results ISMFR show that the mean value of core field strength is about 7.5 nT with an average solar wind speed of about 440 km/s. Also, we need understand the response of the Earth's magnetosphere and ionosphere by ISMFR. We have performed a three-dimensional global MHD simulation of interaction between the two cases of ISMFR and the Earth's magnetosphere and ionosphere. (1) the case of +Z axis of magnetic flux rope, the IMF is northward with a dawn to dusk  $B_y$  components as right-handed, (2) the case of +Y axis of magnetic flux rope, the IMF is north to southward with a duskward  $B_y$  and right-handed and solar wind dynamic pressure is normal (1.3 nPa). The simulation results show that the bow shock is located at about  $14.6 R_E$  and the magnetopause is located at about  $10.24 R_E$  in both cases. However, ionospheric phenomena show the different feature for two cases.

**16:00 [IV-1-5]**

**Effects of conductance asymmetry and source characteristics on quarter-wave modes**

Jae-Jin Jang, Dong-Hun Lee

*Kyung Hee University*

Quarter modes (QM) are standing shear Alfvén waves along the geomagnetic field lines, which are excited when the northern and southern ionospheres have different conductivities. They are often described in a one-dimensional system in the sense that field line resonances (FLRs) with the open boundary condition at one end are similar to QM. By adopting both perturbation theory and numerical MHD model, we investigate how QM are affected by north-south conductance asymmetry. We also examine the effects of source characteristics such as location and size. Our analytic and numerical results have been compared to each other, both of which may explain important aspects such as what can be favorable conditions for generation of QM. In addition, our results show how transition from QM to HM (or from HM to QM) can be significantly differentiated at dawn and dusk, respectively.

**제2발표장 (거문고)**

**■ IV-2 달탐사 특별세션 II**

**좌장: 심채경 (경희대)**

**15:00 [IV-2-1]**

**Analysis of lunar spectral features for near-IR**

Haingja Seo<sup>1</sup>, Eunjin Cho<sup>1,2</sup>, Ikseon Hong<sup>1,2</sup>, Minsup Jeong<sup>1</sup>, Young-Jun Choi<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University*

<sup>3</sup>*University of Science and Technology*

Reflectance spectrum gives valuable information about the volatile species and minerals on the lunar surface. It is interesting that the surface minerals interact with environment near the surface. In lunar reflectance spectrum between 2.0 and 4.0 micron, there are two prominent features at 2.8 and 3.1 micron, known as hydroxyl and water ice, respectively. They are called diagnostic absorption in mineral, because the peak positions of absorption features are different according which minerals they are adsorbed on. Recently, we search for the specification of mineral and its production environment using the 2.8 and 3.1 features with the data obtained from M3, HRI-IR, and VIMS, and the reference data of minerals from USGS.

**15:15 [IV-2-2]**

**Statistical analysis of ULF waves observed by lunar prospector at the Moon**

Seul-Min Baek, Khan-Hyuk Kim, Ho Jin

*School of Space Research, Kyung Hee University*

We investigated ultra low frequency (ULF) waves detected by Lunar Prospector magnetometer. The magnetic field

data were obtained at 100-km altitude from the lunar surface during the period from 16 January 1998 to 31 November 1998. The dominant frequency was ~20-50 mHz (period = ~20-50 s). To avoid ULF waves generated by Earth's bow shock, we used data obtained when the Moon was in the solar wind far upstream of the Earth's bow shock and found a pronounced dawn-dusk asymmetry in the wave detection rate. In this study, we discuss source mechanisms of ULF waves and what causes the asymmetry of ULF wave occurrence.

### 15:30 [IV-2-3]

#### Cross correlation을 이용한 Kaguya lunar radar sounder (LRS) 궤도 데이터 정밀 보정

선창완<sup>1,2</sup>, 고바야시 타카오<sup>1</sup>, 김정자<sup>1,2</sup>, 최영준<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 국토지질연구본부 지질연구센터, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 물리탐사공학과, <sup>3</sup>한국천문연구원 우주과학본부 행성과학그룹

Lunar Radar Sounder (LRS)는 레인지 분해능이 진공에서 150 m이므로 얇은 지하에 있는 달 용암 동굴에서 반사된 전자파 펄스와 달 표면에서 반사된 전자파 펄스를 분리·식별할 수 없다. 하지만 두 반사파는 서로 간섭하며 그 영향이 LRS의 표면 레인지 수치에 반영되므로 이를 이용하여 달 용암 동굴의 검출이 가능하다. 이러한 표면 레인지의 변화는 크지 않으며 달 표면에 의해서도 나타나므로 달 용암 동굴의 위치를 조사하는데 혼란을 야기 할 수 있다. 이에 더하여 LRS 표면 레인지 데이터와 달 표면 이미지 데이터의 비교 분석을 통해 LRS 표면 레인지 궤도 데이터의 오류가 확인되었고 이는 Kaguya의 궤도 데이터에 존재하는 미량의 잔류 오차가 원인인 것으로 밝혀졌다. Kaguya 궤도 데이터의 잔류 오차는 데이터의 정확도보다 낮지만 표면 레인지를 이용한 달 용암 동굴의 위치 결정에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 Kaguya 궤도 데이터의 잔류 오차를 보정하기 위해 Cross Correlation 방법을 응용하여 LRS 표면 레인지 궤도 데이터의 정확도를 개선했다.

### 15:45 [IV-2-4]

#### 분광분석을 이용한 알프스 협곡 지역의 화산쇄설물 후보조사

이응석<sup>1,2</sup>, 최이레<sup>2,3</sup>, 선창완<sup>2,3</sup>, 김정자<sup>2</sup>, 김용하<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 우주지질학과 우주과학실험실, <sup>2</sup>한국지질자원연구원 국토지질연구본부 지질연구센터, <sup>3</sup>한국과학기술대학원대학교 (UST)

화산쇄설물은 충돌로 인하여 내부로부터 솟아오른 물질이 충돌체의 바닥이나 고원지역에 쌓인 것으로 어두운 물질(dark mantling deposits)을 일컬어 말한다. 분광학적 자료를 이용하여 발견된 화산쇄설물의 분포는 대부분 달의 앞면에 위치해 있는 것을 확인할 수 있다. 화산쇄설물의 분포는 단층이 분포된 곳에서 발견되기도 하는데, 이는 충돌로 인한 단층이 발생한 뒤 내부의 물질이 표면으로 상승했기 때문이다. 본 연구에서는 찬드라얀-1호에 탑재된 Moon Mineral Mapper (M3)의 데이터를 이용하여 비의 바다(Mare Imbrium) 북동쪽에 위치한 알프스 협곡 근처의 화산쇄설물 후보지역을 분광학적으로 조사할 예정이다. 이를 통해, 달 표면에서 충돌로 인한 화산활동이 있었다는 증거를 제시하고자 한다. (이것은 달 표면의 화산활동이 있었다

는 증거를 제시할 것이다)

### 16:00 [IV-2-5]

#### 달탐사 로버 이동 기구부의 안정성, 주행 성능 증진을 위한 월면 환경 고려요소

서민교<sup>1</sup>, 이우섭<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술연구원 로봇미디어 연구소, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 KIST 캠퍼스 HCI 및 로봇응용공학

본 논문은 한국형 달탐사 로버 개발에 고려되는 요소의 정리 및 검토를 목표로 한다. 로버의 주요 임무를 수행에 필요한 이동 기구부 개발에 있어 고려되는 요소로는 크게 주행 성능과 시스템 안정성이 있다. 먼저, 달 표면은 저중력 상태이며 불균일하고 연약한 지형으로 이루어져 있으며, 로버는 이러한 환경에서 일정 이상의 주행성능을 보장하여야 한다. 다음으로, 임무 수행에 있어 로버는 극심한 방사선에 노출되어 있으며 큰 일교차와 같은 월면의 극한 환경에 강인하며, 안정적으로 동작하여야 한다. 이러한 환경 요인을 고려하여, 본 논문은 달탐사 로버 개발에 관련하여 바퀴 구성, 서스펜션, 조향 방법, 구동부 배치의 4가지 설계 요소를 분석하였다. 본 논문에서는 상기의 설계 요소에 관련한 기구의 장단점을 분석하고, 본 달탐사 프로그램에 적용될 수 있는 로버 이동 기구부를 제안하고자 한다.

## 포스터발표논문 초록

4.28(목) 17:30~18:30

### ■ 우주기술

#### [P-1] 대용량 위성영상을 위한 k-means clustering의 병렬처리

구인회<sup>1</sup>, 한수희<sup>2</sup>, 이선구<sup>1</sup>, 정대원<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원, <sup>2</sup>경일대학교 공간정보공학과

최근 위성 센서와 위성통신기술의 발달로 위성영상의 크기가 급속도로 증가하고 있어 대용량 위성영상을 효율적으로 처리하기 위한 연구의 필요성이 증가하고 있다. 한편 무감독분류는 대상지역에 대한 사전 지식이 없거나 감독분류의 정확도를 높이기 위해 전처리 단계로 사용되는 영상 분석방법으로서, 대표적인 방법으로는 k-means clustering 알고리즘을 들 수 있다. 본 연구에서는 대용량 위성영상의 무감독분류를 위하여 k-means clustering 알고리즘을 병렬처리로 수행하였다. k-means clustering 알고리즘의 병렬처리는 다음과 같이 두 단계로 수행하였다. 첫 번째는 공유메모리 멀티코어 CPU에서 OpenMP를 기반으로 수행하는 것이며, 다음으로는 분산메모리 PC-cluster에서 MPI 기반으로 수행하는 것이다. 두 단계의 병렬화를 통해 대용량 위성영상의 k-means clustering 속도를 크게 향상시킬 수 있었다.

#### [P-2] Development of the equipment for the power line interface check between avionics of satellite

Young-Yun Kim, Dong-Chul Choi, Joo-Ho Park, Guee-Won Moon

*Korea Aerospace Research Institute*

KARI (Korea Aerospace Research Institute) have been developing equipment for the power interface check between avionics of satellite. The power interface check is the basic step and the initial step on overall satellite integration and test period. Normally after the power interface check all harness are connected. A traditional power interface check was conducted by conductor manually using multi-meter, etc. This method requires at least more than two people and relative big test-equipment making test environment complex to conduct this test. We here report the conceptual and initial design of the equipment for the power line interface check between avionics of satellite. The interface check will be conducted by this equipment automatically through remote commanding and verification on controller. This automatic conduction will minimize the time required for the test and save costs.

#### [P-3] Interfaces check between avionics test set and engineering test bed

Young-Yun Kim, Jin-Young Ryu, Seung-Won Cho, Yun-Gu Huh, Guee-Won Moon

*Korea Aerospace Research Institute*

Test equipment should be checked for the application on the flight model. Especially its interfaces check should be done before use on electrical and mechanical point of view. Its end interface for S/C side has the right interface mechanically. It functions well when the electrical interface is correct. We report the test configuration, test items, test method and test results. Avionics test set was validated its own validation unit. And all related EGSE cables are connected to engineering test bed. all test was conducted remotely. All related commands and its telemetries were sent and verified through Integrated Test and Operation System. Several test equipment problems were occurred and corrected during test. Engineering test bed problems was also discovered through this test. Test results showed interfaces are adequate to engineering test bed. Interfaces and functions verified on test bed has been using on flight model test.

#### [P-4] 설계 프로세스 개선을 위한 순차적인 반복 (sequential iteration) 모델 연구

김형완, 최정수, 박종석

한국항공우주연구원

복잡한 시스템 개발 프로젝트에서 개발 프로세스에서 설계의 완성도를 높이기 위한 반복(iteration) 작업은 기본적인 특징이다. 설계프로세스의 반복성을 설명하기 위해 몇 개의 분석적인 모델들이 연구개발 되어왔다. 이러한 모델들에는 순차적인 반복 모델(Sequential Iteration Model), 병렬 반복모델(Parallel Iteration Model), 오버랩 반복모델(Overlap Iteration Model)들이 포함된다. 본 논문은 순차적 반복 설계에 대한 모델을 소개 한다. 각 작업들은 확률적인 규칙에 의해 순차적으로 반복된다고 가정할 때, 반복 확률과 작업 기간 산정을 위해 DSM(Design Structure Matrix)을 이용해 프로세스를 구조화 한다. 매트릭스 형태로 구조화된 프로세스는 마코브체인(Markov Chain)에 기초한 수학적 분석 모델로 개발 되었다. 이러한 순차적인 반복 모델은 동적인 반복 확률과 학습효과를 고려해 모델을 확장할 수 있다. 본 순차적 반복모델에 대한 연구는 위성개발 프로젝트의 설계 프로세스 개선을 위한 연구에 활용 될 수 있을 것이다.

#### [P-5] Considerations on thermal environments of lunar lander on lunar surface

Hui-Kyung Kim<sup>1,2</sup>, Dong-Young Rew<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Korea Aerospace Research Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

A lunar lander would experience severe thermal environments on the lunar surface after landing. The

thermal environments of a lunar surface are a direct solar heating, an Albedo, and a lunar IR radiation. Of these, the lunar IR radiation originated from the temperature of the lunar landing surface affects the lunar lander directly and the most. The lunar Albedo is a very low level due to a black-body like surface, that is, the incident solar heating is nearly absorbed on the lunar surface. Also, the moon have no atmosphere and relatively a long rotation of 27-day period. From these conditions, the surface temperature rises up to about 120 degree C during lunar daylight and drops to nearly -170 degree C during lunar night; the typical temperatures on the lunar surface according to latitude and longitude can be calculated analytically and the actual temperature map of the lunar surface is available from the measured science data of the previous successful lunar exploration projects. Therefore, the thermal environments of the lunar lander for each pre-specified landing site would be predicted by the lunar surface conditions and the solar heat rate and these could be used in thermal conditions for thermal analysis of the lunar lander. In this study, the various thermal environments and characteristics of the lunar surfaces are investigated for lunar lander's thermal analysis afterward.

**[P-6] GEO-KOMPSAT-2B SLR (satellite laser ranging) time slot analysis**

Bong-Kyu Park, Jae-Dong Choi  
Korea Aerospace Research Institute

GEO-KOMPSAT-2A and GEO-KOMPSAT-2B under development by KARI will be launched in 2018 and 2019 respectively to replace the COMS mission. To achieve high precision orbit determination and validation of RF based ranging system, GK2B accommodates LRA(Laser Retro-reflector Assembly). SLR(Satellite Laser Ranging) system located in Geochang-gun established by KASI will be used to collect GK2B high precision ranging data. Laser ranging is allowed only when GK2B payload shutters are all closed in order not to disturb payload operation and in order to avoid any possible hazardous influence on the payloads. In addition to this constraint, SLR ranging is allowed when GK2A and GK2B satellites are sufficiently separated. Basically the required minimum separation angle is 0.013 degree from Geochang ranging system location. When LOS separation distance is less than 0.013 degree, laser beam may give some impact on GK2A image quality. In this paper, SLR ranging time slot has been analyzed in GK2A and GK2B line of sight separation distance point of view. This analysis considers collocated GK2A and GK2B configuration in 128.2 degree. Satellite collocation is implemented with east/west and north/south station-keeping maneuvers in 7 day cycle. Analysis is performed based on over a year of station collocation simulation.

**[P-7] 정지궤도위성 액체원지점엔진 고장시 임무수명 분석**

박응식<sup>1</sup>, 채종원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 정지궤도복합위성사업단, <sup>2</sup>한국항공우주연구원 위성기체팀

정지궤도위성은 위성발사 후 임무궤도인 정지궤도에 진입하

기 위한 추진시스템을 위성체 내에 장착하고 있다. 이러한 궤도전이는 액체원지점엔진(LAE)을 사용하며 전체 탑재 추진제량의 60 % 이상을 사용할 만큼 매우 중요한 과정이다. 하지만 액체원지점엔진(LAE)은 위성에 하나만 장착되는 부분품으로 다른 위성부분품에 비해 여유 부분품(Redundancy)이 존재하지 않는다. 이러한 사유로 만약 액체원지점엔진이 어떠한 사유로 작동하지 않을 경우에는 동일한 위성면에 장착된 추력기(RCT)를 사용하여 그 역할을 대신할 수 있으나 액체원지점엔진에 비해 낮은 비추력 등으로 더 많은 추진제를 소모하게 된다. 본 논문에서는 정지궤도복합위성의 액체원지점엔진이 고장날 경우 대체방안과 이 경우의 추가적인 위성추진제량 소모량을 확인하고 임무 및 수명에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

**[P-8] 정지궤도복합위성의 별추적기 지지구조물 설계**

박종석<sup>1</sup>, 최정수<sup>1</sup>, 김창호<sup>2</sup>, 최재동<sup>1</sup>, 이상률<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 정지궤도복합위성사업단, <sup>2</sup>한국항공우주연구원 위성기술연구단

기존의 기상 및 해양관측임무를 수행하는 천리안위성 1호에 비해 상대적으로 고해상도의 관측용 광학탑재체를 탑재되는 정지궤도복합위성은 고정밀의 안정한 위성체 플랫폼을 필요로 하게 되었다. 이로 인해 지구센서 보다 정밀한 관측 대상의 기준 위치 정보 제공이나 위성체 자세 기준 정보를 제공할 목적으로 별추적기가 적용되었다. 원활한 시야각 확보와 탑재체 센서부와의 병렬 장착을 통한 시선 오차를 최소화 하기 위해 별추적기 광학부는 위성체 지구면상에 탑재체 센서에 근접하도록 위치된다. 별추적기와 관측탑재체사이에 발생하는 지향오차는, 정지궤도위성의 경우 지구로 부터의 거리를 감안하면 시선각 차이로 지구상 관측 지점 사이의 오차가 배가되는 어려움이 있다. 따라서 이러한 지향오차를 최소화 하는 것이 별추적기 지지구조물 설계의 주요 요건이며 이를 위해 일반적으로 궤도상에서의 온도변화에도 기하학적 안정성을 최대한 보장할 수 있는 복합체 구조물 사용이 요구된다. 본 논문에서는 별추적기를 위성체내에 수용하기 위해 사용된 지지구조물의 설계 개념을 제시하고자 한다. 이를 위해 설계과정에서 고려된 요구사항을 기술하고 설계 전반의 내용을 설명할 것이다.

**[P-9] 중형위성 전기지상시험장치 개발 방안**

박종오<sup>1</sup>, 전현진<sup>1</sup>, 김경수<sup>2</sup>, 배진권<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 위성연구본부 차세대중형위성체계팀, <sup>2</sup>한국항공우주산업 위성시스템팀

본 논문에서 국가 재난재해 및 국토관측을 목적으로 개발되는 500 kg급 중형위성은 개발하고 있으며, 다수의 탑재체 요구조건을 만족하는 표준플랫폼 개발을 목표로 하고 있다. 표준플랫폼이란 기본구성의 설계 변경 없이 복제 가능한 플랫폼 또는 최소한의 변경만으로 활용 가능한 플랫폼을 의미한다. 본 논문에서는 표준플랫폼의 전기지상시험장치(ETB, Engineering Test Bed) 개발 방안을 소개하고자 한다.

**[P-10] 중형위성 전기지상시험장치 시험 계획**

박종오<sup>1</sup>, 전현진<sup>1</sup>, 김경수<sup>2</sup>, 배진곤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 위성연구본부 차세대중형위성체계팀, <sup>2</sup>한국항공우주산업 위성시스템팀

본 논문에서 국가 재난재해 및 국토관측을 목적으로 개발되는 500 kg급 중형위성은 개발하고 있으며, 다수의 탑재체 요구조건을 만족하는 표준플랫폼 개발을 목표로 하고 있다. 표준플랫폼이란 기본구성의 설계 변경 없이 복제 가능한 플랫폼 또는 최소한의 변경만으로 활용 가능한 플랫폼을 의미한다. 본 논문에서는 표준플랫폼의 전기지상시험장치(ETB, Engineering Test Bed) 시험 항목, 시험 방법을 포함한 시험 계획을 소개하고자 한다.

**[P-11] Solar array simulator design and test preparation**

Joo-Ho Park, Dong-Chul Chae, Yun-Goo Huh, Young-Yun Kim, Seung-Won Cho, Su-Wan Bang, Guee-Won Moon

*Korea Aerospace Research Institute*

A lot of test and inspection must be carried out to increase the reliability before new product and technology come out. However, despite all these efforts, unexpected problems or faults are founded frequently. In industry field, it is partially allowable because there is opportunities to fix or modify them. Even though the product is already released, it can be retrieved called RECALL. On the contrary, space field has some constraints. For example, it is impossible to fix or modify them after launch. Therefore, space industry has more test period and high cost for the high reliability. At this point of view, ground test is very important for mission success. To describe mission case in the space, many different kinds of equipments are used. Among them, I will introduce electrical and functional test equipment, especially, Solar Array Simulator (SAS). SAS is one of Electrical Ground Support Equipment (EGSE). It mimics satellite's solar array in ground test environment. I will present the design concept of SAS briefly.

**[P-12] Scan angle measurement and analysis for detecting image loss of AMI**

Jinhyung Park, Chiho Kang

*Korea Aerospace Research Institute*

Image reconstruction may fail for various reasons when receiving satellite data. This is due to packet loss caused by radio interference or by the sensor protection function of the payload itself. In the AMI(Advanced Meteorological Imager) of the GEO-KOMPSAT-2A, scheduled to be launched in 2018, the scan mirror is moved to perform observation. It has ability to protect the sensor by avoiding bright object. In order to verify at the ground station, the scan mirror angle must be calculated and compared with the planned one. In this paper, we measure and analyze the scan mirror angle of simulated data for the meteorological payload AMI. The results will be used to detect image loss in ground system.

**[P-13] 저궤도 위성의 ITOS (Integrated test of system) 설계 방안**

방수완, 허윤구, 조승원, 박주호, 문귀원

한국항공우주연구원

저궤도 위성에서는 ITOS(Integrated Test of System)와 연동되는 EGSE(Electrical Ground Support Equipment)로부터 특정 위성 CMD(Command)의 전송 요청을 받고 이를 승인 후 보낼 수 있게 하는 새로운 기능 등이 추가 구현되어야 하고, 기존에는 다른 EGSE에서 담당한 암호화 관련 장비와의 직접 연동도 고려되어야 한다. 또한 CMD/TLM(Telemetry) format에 변경 사항도 존재하며, 위성 행법을 위한 dump format 등도 여러 변경사항이 존재한다. 기존 ITOS에서는 TLM를 파싱하기 위해 위성으로부터 수신 받는 data packet의 source가 한곳으로 가정하여 구현되어 있지만 향후 다른 미션을 위해서 위성으로부터 수신 받는 data packet의 source 개수에 대해서 제한이 없도록 설계된다. 즉 여러 통로를 통해서 위성으로부터 수신 받은 TLM들을 실시간으로 파싱하거나, 후처리할 수 있도록 UDPM(Universal Data Processing Module)을 이용하여 기존 ITOS의 모든 기능들이 정상 동작할 수 있다. 마찬가지로 ITOS와 연동되는 EGSE의 개수도 기존 다목적실용위성에서는 2~3개였지만 향후 다른 미션을 위해서도 연동되는 EGSE의 개수도 제한이 없도록 ITOS를 설계 및 구현해야 한다. ITOS와 연동되는 모든 EGSE에 대해서, EGSE TLM를 수신하고 파싱해서 실시간으로 화면에 시현하고 EGSE CMD를 ITOS가 UDPM을 이용하여 생성하여 보낼 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 ITOS가 여러 장비와 연동될 수 있는 방법에 대해 간략히 제시된다.

**[P-14] Understandings of design difficulty on a future wide bandwidth SAR system**

Jae-Min Shin

*Korea Aerospace Research Institute*

SAR satellite can be considered as a pathfinder in the field of remote sensing. The general tendency of remote sensing is to use a satellite with an optical instrument. However, in cases of various weather conditions including night time, optical satellite cannot acquire any information. It gives critical limitations to many remote sensing parts. Because of that, SAR and also IR (infra-red), satellites have been studied and developed. SAR, which is different from Radar, provides a image with good resolution. Its resolution is equal to optic's nowadays. Not only sub-meter resolution but also centimeter resolution can be required for various fields. In order to realize those capabilities, bandwidth for transmitting signals shall be higher and wider than frequency regulations of Radio-communication Sector in ITU (International Telecommunication Union). Frequency bandwidth for EESS (Earth Exploration-Satellite Service) in ITU will be adjusted for requests of SAR satellite users. In the future, more than 1.2 GHz bandwidth for SAR will be applied. Due to that, it cannot be negligible that SAR antenna characteristics is dependent on a instantaneous frequency. The dependency gives an impact to the antenna performance even though TTDL (true time delay line) is applied to SAR antenna design in order to reduce frequency effects. Therefore, for the future SAR satellite

system with high resolution performance, design difficulty on a wide bandwidth system shall be analyzed and solved with new approaches.

### [P-15] Design of point-target RCS for SAR calibration activities

Jae-Min Shin

*Korea Aerospace Research Institute*

SAR calibrations in geometric, polarimetric, and absolute radiometric parts require special objects in order to analyze system characteristics through their responses. Special objects are normally a point target, which can be designed as corner reflectors for a passive type, and/or transponder for an active type. Responses of point targets shall be distinguished clearly from background clutter. Therefore first of all, their responses shall be detected, recognized, and finally identified from backgrounds. In case of ambiguous and/or interfered responses, unnecessary information, which is not related to point targets, disturbs analysis of system characteristics. Therefore the lower responses of background scatterers, the better understandings of the SAR system. It can be controlled by a value of SCR (signal to clutter ratio), which shall be considered on point-target design. Additionally, responses of point targets are also designed within the dynamic range of SAR system in order to be prevented from saturation. In case of saturated responses, information to understand system characteristics is damaged. Inevitably analyzed results from SAR calibration activities are ambiguous for discrimination values of criteria to decide calibration factor. RCS (radar cross section) of point targets must be designed according to the level of a SAR system dynamic range. Consequently for SAR calibration activities, SCR and RCS of point targets shall be designed under the consideration of the dynamic range of a SAR system and the backscattering level of environment.

### [P-16] Design and implementation of SDL parser

Hyun-Kyu Shin

*Korea Aerospace Research Institute*

SDL (Satellite Data Logger) was proposed to provide a method of more flexible data collection for the operation of satellite compared with MCS (Minor Cycle Sampling). SDL accepts various size of data and user can specify data collection time such as period and offset. While MCS downlinks its data to ground simultaneously without storage, SDL packs data on the designated storage according to user commands. SDL data can be downloaded to ground by dump command at any time before next SDL operation. This feature enables data collection without any blocking on normal telemetry downlinking. Once SDL data downlinked, user has to parse its data. To do this, KARI FSW has designed and implemented SDL Parser. SDL Parser performs data analysis from memory dump file which contains SDL data. SDL Parser imports Address List for processing data and representation of its result. This paper introduces the design and implementation of SDL Parser.

### [P-17] 정지궤도 미래형 전자광학탐재체 광구조부 개념설계

연정흙<sup>1</sup>, 이원범<sup>1</sup>, 김성희<sup>1</sup>, 이덕규<sup>1</sup>, 이승훈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 탑재체광학팀, <sup>2</sup>한국항공우주연구원 위성탑재체연구단

저궤도에서 고해상도 관측을 수행하는 전자광학탐재체는 비약적인 발전을 거듭해 왔으며, 최근에서 정지궤도의 장점을 활용한 고해상도 카메라에 대한 연구가 소수의 우주선진국을 중심으로 진행되고 있다. 정지궤도는 관측고도가 높기 때문에 고해상도 성능을 위하여 대구경 광학계가 필요하게 된다는 단점이 있는 반면, 정지된 위성체에서 지상을 관측하므로 2차원 연속관측이 가능하고, 응시관측을 통하여 신호대 잡음비를 높일 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 정지궤도 고해상도 카메라에 필요한 광구조부 개념설계에 대해 소개한다. 광구조부는 대구경 경량화를 위하여 광학부에서 제안하는 대형 박막렌즈와 보정렌즈 및 반사경들을 지지하는 구조이다. 궤도상 운영조건에서 대구경을 유지하고, 발사시 발사체와의 수용성을 때문에 접이식 구조를 가지게 된다. 광구조부는 접이식 박막렌즈 어셈블리, 접이식 돔 구조체, 보정렌즈 어셈블리로 구성된다. 각 부분에 사용되는 핵심기술 및 개념설계에 대한 내용을 소개한다.

### [P-18] CFRP 기계 특성 시험을 통한 우주비행체 활용성 연구

윤용식, 최익현

한국항공우주연구원 융합기술연구센터 항공우주응용재료팀

우주비행체는  $10^{-6}$  bar의 우주에서  $-150^{\circ}\text{C} \sim +200^{\circ}\text{C}$ 의 극한 온도 변화와 우주방사선, 원자 산소 등의 영향을 받고 있고, 이것은 우주 비행체의 성능과 수명 등에 많은 영향을 주고 있다. 최근 우주 비행체에 사용되는 탄소섬유 복합소재의 경우 이러한 극한 환경에서도 변형이나 손상없이 설계된 목적에 따라 기능을 수행하고 있다. 그러나 국내에서 활발하게 연구 개발 및 생산되고 있는 탄소섬유 복합소재는 우주환경에 대한 물성에 대한 기초 데이터가 없어 우주 비행체 등에 활용하지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 국산 탄소섬유 복합소재가 우주 비행체에 적용 가능한지를 확인하기 위해 ASTM의 표준 개발 규격에 따라  $-120^{\circ}\text{C}$ ,  $-54^{\circ}\text{C}$ , 상온,  $82^{\circ}\text{C}$ ,  $120^{\circ}\text{C}$ 에서 인장 시험, 압축시험, 전단시험, 충격시험 및 충격 후 압축 시험 등 기계적 특성 시험을 수행하였다. 본 연구를 통하여 국산 탄소섬유 복합소재의 우주 비행체 적용을 위한 기계적 특성에 대한 기초 자료를 획득하여 탄소섬유 복합재의 활용성을 높이고자 하였다.

### [P-19] 우주 방사선 노출 및 기계 특성 시험을 통한 CFRP의 우주비행체 활용 가능성 연구

윤용식, 정지연

한국항공우주연구원 융합기술연구센터 항공우주응용재료팀

탄소섬유 복합소재는 금속재와 비교하여 동일한 강도에서도 복잡한 가공 및 무게 절감 효과가 커 항공우주 분야에서 다양하게 활용되고 있다. 그러나 국산 탄소섬유 복합소재의 경우 항공우주 환경에 대한 물성이 확인되지 않아 사용이 저조한 실정이다, 특히 우주용 국산 탄소섬유 복합소재는

우주방사선과 그에 따른 기계적 특성에 대한 확인 및 검증이 절실한 실정이다. 이에 따라 우주용 부품소재에 많은 영향을 미치는 자외선, 감마선 및 양성자에 국산 탄소섬유 복합소재를 노출시키고, 인장 시험, 압축시험, 전단시험, 충격 시험 및 충격 후 압축 시험 등 기계적 특성 시험을 수행하였다. 본 논문에서는 국산 탄소섬유 복합소재를 상온에서 우주방사선에 노출시킨 후 기계적 특성 시험 및 그에 대한 결과를 소개하고자 한다.

**[P-20] 인공위성 태양전지판 온도센서 Return의 태양전지판 구동기 Slip Ring 공유 영향성 분석**

이상록, 전문진, 김창균, 임성빈

한국항공우주연구원 달탐사체계팀

인공위성의 태양 전지판 구동기(Solar Array Drive Assembly, SADA)는 낮 기간 동안 태양 전지판이 위성 자세에 의한 영향을 적게 받으며 태양을 보다 정확하게 지향하게 한다. 결과적으로 효율적인 전력 생성을 가능하게 한다. SADA 탑재시 전력 및 신호는 SADA 내 Slip Ring을 통해 위성체로 전달된다. Slip Ring의 경우 SADA 모델에 따라 채널의 수가 유동적이나 위성 규모에 보다 적합한 모델 선택을 위해서는 Slip Ring을 최대한 활용하기 위한 방안에 대한 검토가 필요하다. Slip Ring을 통해 전달되는 신호는 Sun Sensor와 Thermistor(온도 센서)가 있는데 본 논문에서는 Slip Ring의 효율적인 활용을 위해 Thermistor Return을 공유하는 경우에 대한 영향성 분석을 수행한다. 이를 위해 Thermistor 관련 회로의 동작 Mechanism에 대한 분석과 함께 온도 측정 경로 모델링을 수행한다. 최종적으로는 Return 공유에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 제시한다.

**[P-21] 우주개발품에 발생 가능한 주요 고장 및 검토**

이상택, 이혜선, 백명진

한국항공우주연구원

인공위성은 궤도환경에서 주어진 임무수행 기간 동안 정상 동작을 수행 하여야 한다. 특히 고장 발생 시에 이를 확인/분리/회복이 어려운 점 고려하면 사전에 발생 가능한 고장의 원인을 제거하고 이를 검증할 필요가 있다. 본 논문에서는 우주개발품에서 발생 가능한 주요 고장 사례를 살펴보고 이에 대한 원인 및 사전 검증 방법을 검토해 보았다.

**[P-22] 우주급 부품 인증제도에 대한 검토**

이상택, 이우준, 백명진

한국항공우주연구원

우주급 부품은 우주개발사업에 사용되는 전장품을 개발하는데 있어서 중요한 요소이다. 따라서 우주개발사업의 국산화 추진에 있어서 경제적인 측면을 고려하면 우주급 부품을 필연적으로 국산화 할 필요가 있다. 그러나 우주급 부품의 확보를 위하여 설계 및 개발, 검증, 우주사용이력 등 다양한 문제가 존재하고 이를 해결할 필요가 있다. 논문에서는 현재 국외 우주급 부품제도 현황을 살펴보고 이를 바탕으로

국내 현황을 고려하여 우주급 부품 인증제도를 추진하기 위한 필요성과 방향을 검토 해보고자 한다.

**[P-23] 영상레이더 위성의 InSAR 도플러 중심주파수 최소화를 위한 시스템 운영 방안**

이선호

한국항공우주연구원

영상레이더 (Synthetic Aperture Radar)는 거리측정이 가능하며 마이크로파의 위상정보를 이용할 수 있는 장점이 있다. InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)는 이와 같은 영상레이더의 관측특성에 의해서 서로 다른 입사각에서 획득된 동일지역 2개 이상 영상의 위상 차이를 이용하여 지표면에 대한 3차원 지리 정보를 얻을 수 있는 영상레이더 응용기법이다. InSAR의 성능은 위성 궤도정확도와 밀접한 관계가 있으며 특히 고해상도 모드(Spotlight)와 광대역 모드 (TOPS)의 경우 영상 획득중 방위시선각이 시간적으로 변화하기 때문에 영상 간의 방위시선각 차이에 의한 도플러 중심주파수를 최소화 하는 것이 무엇보다 중요하다. 이에 본 연구는 영상레이더 위성의 InSAR 도플러 중심주파수 최소화를 위해서 궤도상 동일지역에 대한 2개 영상을 획득을 위한 상호 방위시선각 동기화 기법을 소개하고 위성본체, 탑재체, 그리고 지상국간의 운영 방안을 제시한다.

**[P-24] 신소재 대구경 고안정 광구조체 지상검증모델 설계**

이원범, 연정흠, 김성희, 정대준, 이덕규, 이승훈

한국항공우주연구원

대구경 광학카메라는 크기가 커지면서 반사경의 무게가 무거워지므로 기존 Zerodur 소재와 비교하여 열팽창계수는 상대적으로 크기만 다른 금속들에 비하여 작고, 밀도도 작으며, 비강성이 좋은 SiC를 사용하여 미려 제작을 고려하고 있으며, 이를 지지하기 위한 고안정 광구조체 또한, 같은 소재를 사용하여 전체적으로 같은 열팽창계수로 온도변화하에서 같이 팽창, 수축이 되도록 설계하고자 한다. 고안정 광구조체는 반사경 및 영상 검출기 등을 지지하고 발사 시 야기되는 동력학적 하중 및 우주 궤도상에서 운용 시 극한의 반복적 열하중 하에서도 수 마이크로 범위내로 치수안정성을 유지하여 광학계의 성능을 보존하는 핵심 부품이다. 본 논문에서는 신소재를 이용한 광구조체의 지상검증모델을 제작하기에 앞서 소재 제작 및 특성시험 그리고 고안정 광구조체 설계에 대해 기술한다.

**[P-25] 아리랑위성 구조 개선 연구**

이주훈<sup>1</sup>, 김선원<sup>1</sup>, 김경원<sup>1</sup>, 윤길원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원, <sup>2</sup>대한항공

다목적실용위성 구조체의 기본 형상은 육각형으로 이루어져 있다. 구조체에는 경량화를 위하여 기본적으로 알루미늄합금이 사용되며, 측면패널 및 플랫폼은 알루미늄 하니콤 샌드위치로 설계된다. 다목적실용위성의 구조체는 론저론

(Longeron) 및 레일(Rail)을 기본 골격으로, 레일 위에 플랫폼이 놓여지며, 측면패널이 론저론과 레일을 감싼다. 탑재 및 전자 장비의 하중은 론저론 및 레일로 전달되어, 위성체 어댑터(Spacecraft Adapter)를 통하여 발사체로 전달된다. 주요 탑재장비(다목적실용위성 1/2/3호: 고해상도 카메라, 다목적실용위성 5호: 영상 레이더)와 추진제 탱크의 지지에는 스트럿(Strut)이 추가로 설계된다. 다목적실용위성 1호(1999년도 발사)의 구조체는 미국의 TRW사(현재, Northrop Grumman사)와 공동으로 개발되었으며, 다목적실용위성 2호(2006년도 발사)의 구조체는 다목적실용위성 1호의 설계 개념을 그대로 유지하였다. 그러나, 다목적실용위성 3(2012년도 발사)/5(2013년도 발사)호의 구조체는 최적설계를 활용하여, 론저론, 레일 및 추진제탱크지지(위성체 어댑터 포함) 설계를 개선하였으며, 다목적실용위성 1/2호 대비, 구조체의 제작 및 조립이 크게 수월하여 졌다.

### [P-26] 위성 Optical Bench 설계

이주훈<sup>1</sup>, 김선원<sup>1</sup>, 김경원<sup>1</sup>, 권상룡<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원, <sup>2</sup>대한항공

고해상도용 초정밀 카메라 및 자세제어 센서를 장착할 수 있는 Optical Bench는 위성 본체에서 발생하는 미소진동 및 우주환경 하의 열응력 등으로부터 카메라의 정밀도를 보장하는 역할을 한다. 다목적실용위성 2(2006년도 발사)/3(2012년도 발사)호에는 이미 Optical Bench 개념이 적용되었다. Optical Bench는 스티프너(Stiffner)를 포함한 플랫폼과 블레이드(Blade), 블레이드 서포트(Blade Support)로 구성되며, 주로, 플랫폼은 샌드위치 구조로 심재(Honeycomb Core)는 알루미늄, 면재(Facesheet) 및 스티프너는 경량/고강도이면서 열 안정성이 우수한 복합재료/탄소섬유(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic)로 설계된다. 블레이드 및 블레이드 서포트는 알루미늄합금으로, 플랫폼 내부에 내장되는 피팅(Fitting)은 플랫폼의 열안정성을 위해 열팽창계수가 탄소섬유와 알루미늄의 중간값을 갖는 티타늄(Titanium)으로 설계된다. 본 논문에서는 다목적실용위성 2/3호 및 타 위성의 Optical Bench를 연구하였다.

### [P-27] Propellant budget analysis for orbit maintenance of two out-of-plane low earth orbit satellites

Jeong-Heum Im<sup>1</sup>, Ji-Marn Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Korea Aerospace Industries, Ltd.

Satellites shall be loaded propellant to support various operation during its mission lifetime. Launch vehicle delivers the satellite into desired orbit with injection error. The satellite will spend propellant to achieve its mission orbit from injected orbit. During its mission life time, propellant will be required to maintain mission orbit. Sometimes, additional propellant is required to support attitude maneuver. This paper described an propellant budget analysis for two out-of-plane low earth orbit satellites. It was assumed that additional propellant would be required to maintain two out of plane satellites when two satellites are operating in the form of constellation

comparing to when each satellite is operating independently. Two satellites start operation from their own orbit. As time goes by, due to various perturbation as like drag and solar flux, each orbit drifts from its initial orbit. To keep them in their initial orbit, each local time at ascending node shall be maintained. One solution is to apply for out-of-plane inclination adjustment. However, this technique requires quite an amount of propellant to keep the orbits. The other possible solution could be adjust altitude to keep the reference ground track at ascending node rather than inclination. This in-plane orbit adjustment will consume less propellant than inclination adjustment.

### [P-28] Mission orbit selection study for the second medium-sized low earth orbit satellite

Jeong-Heum Im<sup>1</sup>, Ji-Marn Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Korea Aerospace Industries, Ltd.

When more than one satellite are operating together to achieve specific mission objectives, not only its individual performance but combined one shall be considered together also. This paper described how to select mission orbit for the second satellite in case that of the first one is already fixed. Simply we can consider an orbit where the second satellite is placed on the same orbital plane with phase difference. Depending on the phase difference, their combined performance will vary. Second option could be to place the second satellite on a different orbital plane with the first one. As performance index, revisit time is the most frequently used one. Revisit time is a key parameter to assess the performance of a satellite and a constellation of satellites. The second index we used is stereo image acquisition performance. And to assure their designed mission lifetime, fuel consumption was included as one of performance index. Last but not least, ground operation availability including uplink/downlink frequency management was also considered as a key index. Each index can be comparable by numerical figures based on calculation and simulation.

### [P-29] Design and implementation of maintenance and supporting subsystem for GK2A satellite operations center

Hyun-Su Lim, Wooyeol Choi

Ground System Development Team, Satellite Operation Division, Satellite Information Research Laboratory, Korea Aerospace Research Institute

The SOC(Satellite Operations Center) for controlling the GK2A(Geostationary KOMPSAT-2A) satellite which is planned to be launched in 2018 is in preparation at KARI site. According to the SOC's roles, the SOC will be composed of various systems such as RF/MODEM/BB equipment, satellite operations systems, image data pre-processing systems, and a central monitoring system which is enable to display all SOC system's operational status at one screen. The central monitoring system for the GK2A SOC is called MSS(Maintenance and Supporting Subsystem) and it has powerful functions for ground systems' central monitoring and ground systems' maintenance supporting. It also enables 3D display of three satellites' position and attitude(GK2A/2B satellites in col-located orbit and COMS). The MSS development

phase is currently being implementation as part of the GK2A ground systems. In this paper, main analysis items and prototyping results of the MSS in the design/implementation phase are presented.

**[P-30] 중형위성의 자기장 영향 검증 기법 연구**

장경덕, 김태윤, 장재웅, 이창은

한국항공우주연구원

위성 내부의 전류 흐름이나 자성 물질 등에 의해 발생하는 자기 모멘트는 궤도에서 지구 자기장과 상호작용하여 원하지 않는 토크를 만들어내기 내며, 또한 위성 내 자기장 센서가 있을 경우 위성내부에서 만들어지는 자기장이 센서에 영향을 주어 측정값에 영향을 줄 수 있다. 따라서 위성의 자기장 영향을 정확하게 파악하여 그 영향을 상쇄하거나 센서의 정확한 측정이 가능하도록 하기 위하여 자기장 영향 검증과정이 필요하다. 위성의 자기장 영향은 각 유닛의 전류소모량, 하우징 크기로부터 유닛에서 생성되는 자기장 모멘트를 계산하고, 자기장 센서와 각 유닛의 거리 및 각도를 이용하여 센서위치에서의 자기장 세기를 계산함으로써 검증할 수 있다. 본 논문에서는 중형위성의 각 유닛들로부터 발생하는 자기장 모멘트 및 센서에서의 자기장 세기를 계산하여 그 영향을 검증해 보았다.

**[P-31] 정지궤도복합위성 탑재체의 전원특성을 고려한 보호회로 설계**

장성수, 이나영, 유재남

한국항공우주연구원

본 논문은 정지궤도복합위성 탑재체의 전원특성을 분석하여 고려된 위성버스의 전원보호 설계내용을 기술하였다. 일반적으로 위성의 전원시스템을 보호하기 위하여 전류제한 보호회로를 사용하고 있으나, 정지궤도복합위성의 경우 재래식 방법으로 퓨즈와 기계적 스위치인 릴레이를 이용하여 구현하였다. 퓨즈는 위성부하의 단락이 발생하였을 경우, 위성버스의 전원시스템을 보호하도록 고장난 위성부하의 전원선을 물리적으로 분리한다. 정지궤도복합위성의 퓨즈설계는 위성부하에 단락이 발생할 경우 위성 전원시스템의 영향이 최소화될 수 있도록 적절한 용량을 갖도록 설계된다. 퓨즈는 위성부하의 전원특성을 고려하여, 정상상태에서 위성부하 전력과 위성부하의 스위칭 과정에서 발생할 수 있는 순시전원 특성을 바탕으로 분석된다. 본 논문은 정지궤도복합위성의 주요 탑재체인 기상탑재체와 우주기상탑재체의 전력특성과 순시 전원특성을 고려하여 퓨즈용량 설계결과를 기술하였으며, 특히 우주기상탑재체는 위성체의 발사이 후, 우주환경하에서 우주기상센서의 봄 전개특성에 따른 전원특성을 고려하여 분석된 퓨즈용량 설계내용을 요약하였다.

**[P-32] 전기추력기 전원장치의 개발동향과 개발개념 소개**

장성수, 최재동, 이상률

한국항공우주연구원

현재 정지궤도복합위성은 기상/해양/환경관측 임무를 수행

할 수 있도록 개발되고 있고, 향후 정지궤도위성은 통신/위성항법 등 보다 다양한 임무를 수행할 수 있도록 개발될 것으로 예상된다. 정지궤도위성은 다양한 임무를 보다 정밀하게 수행할 수 있도록 정지궤도위성의 위성버스와 탑재체는 점차적으로 고기능/고성능의 성능을 갖추도록 요구받고 있으며, 위성버스와 탑재체의 무게는 상대적으로 증가할 것으로 예상된다. 그러나 위성체의 무게 증가는 발사체의 탑재용량 부담과 발사비용의 증가로 인하여 위성체 개발에 큰 영향을 미칠 수 있다. 위성체의 화학 추진제 용량은 위성체의 무게버짓에 큰 영향을 줄 수 있어, 화학 추진제의 용량이 줄이면 상대적으로 위성체의 무게를 크게 감소시킬 수 있다. 그리고 발사체의 선정 및 탑재체의 탑재능력을 증가시킬 수 있다. 기존 화학추진계의 대용으로 전기추력기를 적용할 경우, 상대적으로 위성체의 무게를 감소시킬 수 있다. 본 논문은 전기추력기 개발을 위해 국내외적으로 개발되고 있는 전기추력기 전원장치를 검토하고, 향후 국내 전기추력기의 개발을 위한 전원장치의 개발개념 설계에 대해 요약하였다.

**[P-33] EMC safety margin analysis of AOCs units in multi-purpose satellite**

Jaewoong Jang, Taeyoun Kim, Kyoungduk Jang, Changeun Lee

Korea Aerospace Research Institute

There are many RF payloads including SAR radar, Data Link, GPS receiver, TC&R system, AIS receiver in Multi-Purpose Satellite. Because RF receivers equipped in satellite demodulates very low signal transferred in a long distance, they can be affected by even small noise from units inside satellite. RF receivers have broad spectrum from VHF band to X-band and low sensitivity. Therefore effectiveness from unit noise should be strictly validated, Moreover AOCs units emit big EMI noise, as they consume much power. This paper shows EMC safety margin analysis results for EMI noise from STA(Star Tracker Assembly) and RWA(Reaction Wheel Assembly).

**[P-34] 시험용 달 궤도선의 전력 분석**

전문진, 이상록, 김창균, 임성빈

한국항공우주연구원 달탐사체계팀

본 논문에서는 시험용 달 궤도선의 전력을 분석하였다. 달 궤도선의 임무 운영 단계는 발사, 전이 궤도 단계, 달 궤도 진입 단계, 달 궤도 정상 운영 단계 등으로 구분된다. 각 단계에서 안전한 궤도선 운용을 보장하기 위해 각 단계에서 전력이 부족하지 않도록 설계해야 한다. 또한 임무 운영 단계에서는 달에 의한 식 기간이 연 중 2회 발생할 수 있고, 약 5시간까지 전력 충전을 못할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 다양한 상황에 대한 시뮬레이션을 통해 전력 분석 결과를 보인다. 태양 베타 각에 따른 낮/밤 시간, 태양전지판 온도 예측 정보를 이용해 생성 전력을 예측하였다. 시험용 달 궤도선에 탑재되는 다양한 장치의 운용 개념에 따라 모드 별, 운용 단계 별 장치 On/Off 형상을 도출하였다. 이러한 운용 개념에 따른 소모 전력을 계산하고 다양한 운용 단계에서의 전력 시뮬레이션을 수행하였다. 리튬이온 배터리의 충/방전 특성을 모사하고 전력 조절기의 운용 모드를 모사한 전력 시뮬레이터를 개발하여 다양한 시뮬레이션을 효

을적으로 수행하였다. 본 논문의 전력 분석 결과는 시험용 달 궤도선의 배터리 선정, 태양전지판 형상 설계, 임무 운영 시의 전력 예측 등의 다양한 용도로 활용될 예정이다.

### [P-35] 시험용 달 궤도선의 태양전지판 운용

전문진, 이상록, 김창균, 임성빈

한국항공우주연구원 달탐사체계팀

본 논문에서는 시험용 달 궤도선의 태양전지판 운용 방법에 대해 제안하였다. 달 궤도선은 궤도 특성 상 태양 동기를 유지할 수 없으며, 지속적으로 태양과 궤도 평면 사이의 각도(태양 베타각)가 변화하게 된다. 궤도선의 궤도가 관성좌표계에서 큰 변화 없이 유지된다면 지구의 공전에 따라 궤도선의 태양 베타각이 변화하게 된다. 태양 베타각이 0도일 때 낮 기간이 가장 짧고, 태양 베타각이 90도에 가까울수록 낮 기간이 점차 길어진다. 태양전지판이 대칭형의 두 개의 판 및 1축 회전형상으로 구성되고 궤도선이 임무 수행을 위해 달 중심을 지동하는 자세를 유지하는 경우 태양 베타각이 클수록 태양 입사각이 커지게 되어 전력 충전에 불리하게 된다. 이러한 약점을 극복하기 위한 방안으로 임무 대기 상태에서는 태양 지향 자세를, 임무 수행 시에는 달 중심 지향 자세로 기동하는 방법이 있다. 다른 방법으로는 달 중심 지향 자세를 유지하며 요축으로 궤도선을 회전시켜 태양 입사각이 0도가 될 수 있도록 운용하는 방법이 있다. 또 다른 방법으로는 궤도선을 요축으로 특정 각도 회전시킨 형상으로 임무 자세를 고정하고, 탑재체를 이 자세를 고려해 배치하는 방법이 있다. 이 3가지 방법은 각기 장단점을 갖고 있으며, 판단 기준의 중요도에 따라 각 방법의 우선 순위가 달라질 수 있다. 본 논문에서는 태양전지판의 궤도 운용 특성을 설명하고, 태양 베타각 변화에 따른 생성 전력 추이를 분석하였다. 본 논문의 분석 결과는 시험용 달 궤도선의 태양전지판 형상 결정을 위한 판단 근거로 활용될 예정이다.

### [P-36] 인공위성 전력 시스템 효율성 제고를 위한 반작용 휠의 실제 소모전력 계산

전현진, 박종오

한국항공우주연구원

인공위성의 자세를 정밀하게 제어하기 위해서는 일반적으로 반작용 휠을 사용한다. 반작용 휠은 Redundancy를 고려해서 보통 4개를 장착하는데 개당 소비전력이 상당히 크기에 전체 4개의 휠의 전력소비는 매우 크다고 할 수 있다. 반작용 휠이 태양전지판 출력에 직접 연결되어 있으면, 위성을 기동하기 위해 잠깐 동안 휠을 구동시켜 전력 소비량이 급격히 올라간다 하더라도 큰 문제가 되지 않는다. 왜냐하면, 배터리와 태양전지판이 에너지원으로 동작하므로 순간적인 전력 소비량 증가는 큰 의미가 없으며, 또한, 길지 않은 시간동안 휠이 기동하므로 전체 평균 소비전력에 미치는 영향이 작으므로 에너지 밸런스 측면에서도 영향이 미미하기 때문이다. 하지만, 반작용 휠이 태양전지판 출력에 바로 연결되지 않고 레귤레이터를 거쳐서 연결이 된다면 순간적인 소비전력이 중요해진다. 왜냐하면 레귤레이터의 출력 용량이 정해져 있기에 휠이 순간적으로 높은 소비전력을 요구하면 레귤레이터의 출력 한계 용량을 초과할 수 있기 때문이다. 따라서, 이러한 경우에는 단순히 휠의 최대 소비전력

을 휠 개수만큼 곱한 전력을 고려하기 보다는 휠의 실제 최대 소비전력을 계산하여 레귤레이터의 전체 출력 용량의 얼마 정도를 차지하는지 고려해야 효율적인 전력 시스템을 설계할 수 있게 된다. 본 논문에서는 4개의 반작용 휠의 동작 특성을 현실에 맞게 고려하고 반작용 휠 속도에 따른 소비 전력 패턴을 고려해서 실제 휠의 소모전력을 계산하는 방법에 대해 논하였다. 본 논문의 내용은 향후 인공위성 전력 시스템 설계에 적절한 가이드라인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

### [P-37] 기저대역 전기지상지원장비 검증 장치 설계

조승원, 방수완, 박주호, 문귀원

한국항공우주연구원

저궤도 위성 및 정지궤도 위성의 기저대역 전기지상지원장비는 조립 및 시험 (AI&T, Assembly Integration & Test) 기간 동안 투입되어 위성의 통신 기능 검증을 수행한다. 기저대역 전기지상지원장비는 위성과 중앙통제장치 사이 기저대역 링크 처리를 수행하며 Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) 규격에 맞춰 커맨드 및 텔레메트리를 처리할 수 있도록 구현되었다. 또한 중앙통제장치에서 제어가 용이하도록 설계되었고 위성의 각종 시험 플러그를 지원한다. 이와 더불어 RF 통신을 위하여 RF 전기지상지원장비와 연동될 수 있도록 개발되었다. 기저대역 전기지상지원장비를 검증하기 위하여 위성 인터페이스를 모사하고 기저대역 전기지상지원장비의 출력을 측정할 수 있는 특성의 장비가 요구된다. 검증장치는 우선 커맨드 및 텔레메트리 전체 인터페이스를 검증할 수 있어야 한다. 또한 발사 중단 인터페이스도 검증 가능하여야 한다. 추가적으로 비행 모니터 모드 제어, 온보드 컴퓨터 리셋 제어, 위치독, 롬/램 접근 모드 제어 등 시험용 플러그 신호에 대한 검증도 가능하도록 설계하였다. 본 논문에서는 기저대역 전기지상지원장비 검증장치의 설계 내용이 간략히 제시된다.

### [P-38] 모델기반 시스템 엔지니어링을 이용한 위성의 결함관리 설계 방안 제안

조창권

한국항공우주연구원

위성은 개발단계에서 가능한 위성의 발사환경 및 운영환경을 모사하여 관련 기능 및 성능 시험을 수행한다. 그러나 위성은 발사체와 분리된 이후 수리가 불가능하다. 또한 위성의 전자장치들은 복합 임무수행을 위해 각 부품간 더욱더 많은 인터페이스를 가지고 있고 있다. 이런 이유로 위성 임무 수행에 영향을 주지 않도록 고장(Failure)을 감지하고 분리하고 복구함으로써 고장을 관리할 필요성이 더욱더 높아지고 있다. 모사한 환경에서 위성에 발생 가능한 고장들을 미리 예측하고 관리하는 결함관리(Fault Management)는 위성의 개발 초기단계에 정의되는 기본적인 요구사항들이 있다. 이 요구사항을 만족하도록 결함관리는 관리레벨에 따라 온보드(On-board) 설계되어 엔지니어링 하드웨어 모델을 같이 이용하여 결함관리 설계를 검증하게 된다. 본 논문에서는 시스템 관점에서 위성의 초기운영 결함관리를 설

계함에 있어 시스템 엔지니어링 모델링을 이용하여 좀 더 체계적으로 접근할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

**[P-39] A scenario-driven and behavior-based satellite telemetry simulation system**

Yee-Jin Cheon  
Korea Aerospace Research Institute

Generally, a simulator is utilized for operators' training or operation rehearsals large and complex system such as satellite operation systems including satellite itself. However, the simulator development of such a system has to include complex dynamics of system itself and complex environment where the system runs. In addition, the simulator shall be capable of including various and complex operational scenario for operators' training or operation rehearsals. Due to these reasons, the simulator development requires too much cost for system modeling and verification. In this study, a method and architecture of scenario-driven and behavior-base satellite telemetry simulation is proposed. In the proposed simulation system, the Instead of modeling the whole complex and large system, the user or operator interface to the system is only implemented. In other words, the simulation system responds to a command received based on operational procedure and generate corresponding satellite telemetry. For an easier event injection in the scenario, a command not only includes satellite command, but also includes event control command. Since the proposed method has no relation with system dynamics and environment but user interface and system behavior, it can be applicable other large and complex system such as power station or automobile.

**[P-40] 저궤도 위성 개발 단계별 통합시험 • 운영시스템 (ITOS: integrated test and operation system) 활용 범위**

허윤구, 방수완, 류진영, 문귀원  
한국항공우주연구원

한국항공우주연구원에서 개발 중인 여러 저궤도 위성들의 발사 전 지상에서 위성체 총조립 및 시험(AIT - Assembly, Integration & Test)과 발사 후 지상국의 위성 운영에 두루 사용되고 있거나 사용될 예정인 통합시험•운영시스템 (ITOS: Integrated Test and Operation System)은 각 위성 임무별 특이 사항들을 설계에 지속적으로 반영하여 다양한 위성 사업의 임무를 수용하려고 한다. 현재 여러 저궤도 위성들의 개발에 사용되고 있는 통합시험•운영시스템은 위성 개발 단계별로 활용되고 는 범위가 다양하다. 즉 위성 개발 단계별로 통합시험•운영시스템을 활용하는 용도가 다양하기 때문에 용도에 맞는 기능들을 위성 개발 단계별로 순차적으로 구현할 필요가 있고 실제로도 단계별로 필요한 기능들에 우선순위를 두고 통합시험•운영시스템을 점진적으로 구현하여 위성 개발 단계 후반부에는 최종적으로 모든 기능들을 통합하게 된다. 실제 위성 개발 단계 후반부에는 통합시험•운영시스템의 기능들이 모두 설계 및 구현 완료되어 위성 발사후 지상국에서 위성 운영에서도 활용할 수 있게 된다.

**[P-41] 한국의 큐브위성 개발 현황**

한상혁, 최연주, 공현철  
한국항공우주연구원

큐브위성 규격이 1999년 발표된 이래로, 큐브위성은 단순한 교육용 및 기술 검증용 수준에서 벗어나 다양한 지구관측이나 상업적 목적으로 사용될 만큼 괄목할 만한 성장을 이루어왔다. 최근에는 큐브위성의 크기도 기존 3U에서 6U 이상으로 커지고, 임무의 다양성도 증가되고 있다. 국내에서도 대학교 및 연구소를 중심으로 2000년 초부터 현재까지 약 15기의 큐브위성의 개발완료 또는 개발 중에 있다. 2000년 초에 경희대, 항공대 등 일부 대학교에서 큐브위성 개발 및 발사를 하였으며, 2012년부터 미래창조과학부 주최, 한국항공우주연구원 주관으로 큐브위성 경연대회를 격년으로 개최하여 왔으며, 2012년, 2013년, 2015년 경연대회에 선정된 9팀이 큐브위성을 개발함으로써, 우주기술 개발 역량을 확보해 가고 있다. 2012년, 2013년 선정팀의 6기 큐브위성은 올해 상반기에 발사되어 운영될 예정이다. 또한, 한국항공우주연구원에서 6U급 큐브위성 표준 모델 개발을 진행하는 등 앞으로 더욱 연구 개발이 진행될 것이다. 본 논문에서는 국내에서 현재까지 개발된 약 15기의 큐브위성의 개발 현황 및 발전방향에 대해 살펴본다.

**■ 우주응용**

**[P-42] FCI/ABI/AHI의 최신 동향 소개**

명환춘, 양군호  
한국항공우주연구원

2016년 11월에 미국의 기상위성 GOES-16이 성공적으로 발사되었고, 이것으로써 기존에 발사되었던 두 대의 AHI에 이어서 세 번째 ABI계열 기상탑재체가 정지궤도에 안착하였다. 또한, 현재 유럽의 차세대 기상탑재체인 FCI도 2021년을 목표로 지상개발에 박차를 가하고 있다. 본 논문에서는 정지궤도 기상탑재체들의 최신 기술 동향을 FCI, ABI, AHI의 관점에서 살펴본다. 각각의 탑재체들은 서로 다른 개발 및 운용 단계로 인하여 부분품 개발, 지상 성능 시험 및 초기 궤도 운영 시험, 최종 궤도 성능 등의 관점으로 최신 개발 상황들을 분리하여 개별적으로 설명한다. 먼저, FCI는 다른 ABI 계열의 탑재체들과 마찬가지로 능동냉각 방식으로 설계되었는데, 사용되는 냉각기의 특징과 ABI 계열 냉각기 성능과의 비교를 간략히 소개하고, FCI의 stray light 관련 성능 분석 결과를 추가적으로 설명한다. 현재 궤도상에서 초기 운영 시험을 진행 중인 ABI의 경우에는 궤도상에서 현재 진행되고 있는 탑재체 성능 시험 항목과 방법들을 제시하고, 이와 함께 향후 순차적으로 발사될 ABI 계열 탑재체들의 채널별 주파수 대역 성능의 지상 시험 비교결과를 살펴본다. 마지막으로, 발사된 이후 1년이 경과한 AHI와 관련하여는 현재 공개되고 있는 다양한 성능관련 결과들을 바탕으로, stray light/navigation/calibration 등의 성능 관련 결과들을 정리하여 제시한다.

### [P-43] The design concept analysis of the electronic module for the high resolution GEO-satellite electro-optic camera system

Jong-Euk Park<sup>1,2</sup>, SeungHoon Lee<sup>1</sup>, Kijun Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Chungnam National University, Department of Electronics Engineering

To fill the gap of the LEO(Low Earth Orbit) electro-optic payload system which has the high resolution image acquisition with the limitation of contact time and power consumption, the GEO(Geostationary Orbit) electro-optic payload system shall be researched and studied for using the orbit advantage by the space advanced countries. The focal plane electronic of GEO high resolution electro-optic payload shall support large scale focal plane for the large image acquisition. At present the image sensor size has the limit due to the semiconductor technology, so the image sensor module shall be used for the organization of the large focal plane. The camera controller shall control the several sensor modules with the high accuracy, reliability, and stability. In this paper, the design concept of the Electronic Module for the High Resolution GEO-Satellite Electro Optic Camera System should be described for the advanced research of the development model. Also, the next generation GEO optic payload will be based on this design concept for the additional research.

### [P-44] The preliminary design analysis of the lunar exploration electro-optic payload control module

Jong-Euk Park<sup>1,2</sup>, Haeng-Pal Heo<sup>1</sup>, Kijun Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Chungnam National University, Department of Electronics Engineering

The lunar exploration payload camera system including the hardware which has the image acquisition mission on the lunar orbit will be developed in the light of the lunar environment. Compare to the low orbit payload of the earth which will make an acquisition of high resolution image, the lunar payload shall be designed and manufactured by quite simple method because of the limited environment conditions which are the weight, the volume, and the power consumption. The structure and the electro-optical components shall have the simple image sensor and control module. Due to the limitation of the data transmission resource, the acquisition image data must be compressed effectively. The payload operation system and the design concept shall have the high reliability and the brief construction with radiation hard component for the mission operation against the solar and space radiation. In this paper, the preliminary design analysis of the lunar exploration electro-optic payload control system shall be described for the development of the preliminary engineering model. Also, the preparation of the flight model design might be suggested.

### [P-45] The advanced satellite data interface for the payload system

Sangyoun Shin<sup>1,2</sup>, HyoungHo Ko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Chungnam National University, Department of Electronics Engineering

The mission of the payload based the orbit satellite is provision of the high-resolution data for many purpose. The orbit satellite has the payload on the satellite consist of EOS(electro-optical subsystem) and PDTs(Payload Data Transmission Sub-system). The light energy by the optical module is converted into the digital image signal data by the CEU(Camera electronic Unit) and the data is compressed and encrypted by the IDHU(Instrument Data Handling Unit). As the data resolution becomes higher, the data traffic rates and the signal interference becomes worse between the subsystems. In this paper, the optical fiber link interface is investigated and compared to the previous interface. And the suitability for the satellite mission operation in the payload system is evaluated considering of the space environment, the communication speed and the stability during the life time.

### [P-46] Acceleration process for sensor reliability improvement in the LUTI program

Do Kyoung Lee, Gmsil Kang, Sang Youn Shin, Hang Pal Heo, SeungHoon Lee

Korea Aerospace Research Institute

The LUTI (Lunar Terrain Imager) payload is one of the payload of the KPLO(Korea Pathfinder Lunar Orbiter) which is first Lunar program in Korea. To accomplish mission, proper qualification will be performed on sensor level. In this paper, qualification process of sensor is presented to acquire mission reliability to perform 1.2 year mission. Acceleration process will be performed on Mechanical, Thermal, Aging aspect based on arrehnius model.

### [P-47] 마이크로중력 환경 활용 액적 (droplet) 연소실험을 위한 연소 챔버의 성능시험

이종원, 김연규, 이주희

한국항공우주연구원 융합기술연구센터 항공우주응용재료팀

본 논문은 마이크로중력 환경 활용 액적(droplet) 연소실험을 위한 연소실험 챔버의 성능시험에 관한 내용으로써 챔버 내부 대기 조건(산소 농도, 압력 등)의 환경 변화에 따른 연료의 연소특성을 파악하는 실험이다. 이러한 실험을 통해 마이크로중력 환경에서의 화염의 점화, 형상, 전파 및 소멸 특성을 이해하고 이를 수치해석에 적용함으로써 향후 연소기의 효율 향상 및 공해 물질 저감 등에 기여 할 수 있다. 액적 연소실험을 위해서는 연소실험용 챔버와 연소실험 모듈, 연소실험 관측모듈 등이 구축되어야 하며, 본 논문에서는 현재까지 개발된 연소실험용 챔버에 대한 최대 압력, 안전성, 기밀유지 등의 성능 시험을 수행하고 검증하였다. 향후에는 연소실험 모듈과 연소실험 관측모듈을 개발할 계획이다.

**[P-48] The feasibility study on 2 dimensional space image data transmission**

Jong Tae Lee<sup>1</sup>, Seung Hoon Lee<sup>1</sup>, Ki Jun Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Aerospace Research Institute*

<sup>2</sup>*Chungnam National University*

So far, many Korea satellites have been launched for broadcasting, communication, earth observation, weather observation, atmospheric environment survey and technology verification purposes and most them was observation satellite especially for image data acquisition by optical or microwave payload. Most of Korean high resolution optical space-born images were obtained by line CCD (Charge-Coupled Device) detector on LEO(Low Earth Orbit) satellites. 2 dimensional CMOS detector also is used on geostationary satellite. Japan satellite 'Kaguya' sent lunar images of moon with HDTV camera. As the sensor technology evolves and the demand for fast cycle observations increases, the interest in real-time space video emerged. On this paper, we examine the feasibility of real-time video data in the storage and transmission environments.

■ 우주천문

**[P-49] Preliminary mechanical design of lunar infrared spectrometer (LIRS)**

Bongkon Moon<sup>1</sup>, Sung-Joon Park<sup>1</sup>, Dukhang Lee<sup>1</sup>, Kyeongyeon Ko<sup>1</sup>, Woong-Seob Jeong<sup>1,2</sup>, Dae-Hee Lee<sup>1,2</sup>, Youngsik Park<sup>1</sup>, Jeonghyun Pyo<sup>1</sup>, Il-Joong Kim<sup>1</sup>, Won-Kee Park<sup>1</sup>, Haingja Seo<sup>1</sup>, Minsup Jeong<sup>1</sup>, Mihyun Kim<sup>1</sup>, Seung Kwan Kim<sup>3</sup>, Seong Je Park<sup>4</sup>, Geon-Hee Kim<sup>5</sup>, Khyungin Kang<sup>6</sup>, Young-Jun Choi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

<sup>3</sup>*Korea Research Institute of Standards and Science*

<sup>4</sup>*Korea Institute of Machinery and Materials*

<sup>5</sup>*Korea Basic Science Institute*

<sup>6</sup>*Satellite Technology Research Center, KAIST*

KASI has been developing a Lunar Infrared Spectrometer (LIRS) as a space-core technology project for future lunar exploration. The LIRS is a mid-resolution spectrometer that covers the wavelength range of 2.0~4.0um with a spectral resolution of around 100. The field of view is 14 degrees, which corresponds to a swath width of 24km on a lunar orbit of 100km altitude. The LIRS main components consist of an 640x512 pixel IR array with pixel pitch of 15um, the IR optical lens module, the slit module, the prism module, the Dewar module, the micro cooler module, and the electronic control box. Lunar orbiter will be exposed to more severe thermal fluctuation between day and night and worse radiation dose before mission starting than the satellites on earth orbit. Optomechanical design of LIRS requires consideration for these different conditions as well as launching vibrations. We present the preliminary mechanical design of the LIRS payload which keeps the optical performance in the extreme environments.

**[P-50] An operating software design of a prototype coronagraph for the total solar eclipse in 2017**

Jongyeob Park, Seonghwan Choi, Ji-Hye Baek, Jihun Kim, Heesu Yang, Su-Chan Bong, Young-Deuk Park, Kyung-Suk Cho

*Korea Astronomy and Space Science Institute*

We plan to develop the coronagraph to measure the coronal electron density, temperature, and speed by observing the linearly polarized brightness of solar corona with four different wavelengths. Through the total solar eclipse in 2017, we will test the operating software which works with three sub-systems of two motorized filter wheels, a CCD camera, and a robotic telescope mount on a portable embedded computer. The core Flight System (cFS) is a reusable software framework and set of reusable software applications which take advantage of a rich heritage of successful space mission of NASA. Using the cFS, the operating software can be designed to control the three sub-systems asynchronously in observation scenario, and to communicate with the remote computer about commands, housekeeping data, and observed images through Ethernet. We expect that the operating software can run to observe the total solar eclipse, also it can be continuously extended for other sub-systems.

**[P-51] Introduction of solar observation system in national youth space center**

Hyungmin Park, Gwangwon Choi, Sun-Gill Kwon, Sanggak Lee

*National Youth Space Center*

We developed Solar Observation System in National Youth Space Center(NYSC). The system consists of 1)Real-time Solar Monitoring System from SDO, BBSO and SOHO and 2)Solar Observation System in Deukheung Observatory in NYSC. To monitor the real-time solar condition, we developed the web page which can watch real-time solar images and movies. By using the system, we check the interesting phenomenon on the Sun and decide whether it will observe or not. In Deokheung Observatory, we have used the refractor telescope, neutral density filter, CaIIH filter, CCD, Aperture Stop made by 3D printer, and so on. Here we introduce the solar observation system and preliminary results.

■ 태양 및 우주환경

**[P-52] Solar cycle variation of microwave polar brightening and EUV coronal hole observed by Nobeyama radioheliograph and SDO/AIA**

Sujin Kim<sup>1,2</sup>, Jong-Yeop Park<sup>1,3</sup>, Yeon-Han Kim<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

<sup>2</sup>*University of Science and Technology*

<sup>3</sup>*Kyung Hee University*

We present solar cycle variation of microwave and EUV intensity in latitude. This work is aimed at comparing

microwave polar brightening(PB) with EUV polar coronal holes(CHs) which have appeared during solar minimum. For this study, we used full-sun images in 17 GHz observed by Nobeyama Radioheliograph and two EUV channels of SDO/AIA 193 and 171, which obtained from 2011 January to 2016 November. As a result, we found the CHs in two EUV channels and PB start to be seen in north pole almost at the same time. On the other hand, in south pole, the appearance of CHs in AIA 193 preceded PB by around three months, while it in AIA 171 followed PB six months later. Even though such differences, it is certain that the PB and CHs are intimately associated with each other. Based on the result, we discuss the source of the microwave enhancement in polar CH.

### [P-53] The instrumentation and analysis technique for SATI

Ji Eun Kim, Geonhwa Jee, Jeong-Han Kim, Changsup Lee

*Division of Climate Change, Korea Polar Research Institute*

A Spectral Airglow Temperature Imager (SATI) is developed to investigate atmospheric dynamics of the mesosphere and low thermosphere (MLT) region. It is a spatial scanning Fabry-Perot spectrometer producing the temperature data in dark sky condition according to the solar and lunar zenith angles. In February 2002, the SATI was installed at King Sejong Station and has been continually operated since then and observed the fringe images of O<sub>2</sub> and OH airglow emissions centered at about 94 and 87 km altitudes, respectively. The measurements can be used to infer the rotational temperature from the line ratios. In this presentation, we presents the instrumentation with discussion of SATI configuration and instrument errors, and then the analysis algorithm and temperature and emission rate retrievals are described.

### [P-54] Relative contribution of solar/geomagnetic activities and CO<sub>2</sub> variation to global temperature anomaly from 1859 to 2015

Jinhyun Kim<sup>1,2</sup>, Yong-Jae Moon<sup>1</sup>, Roksoon Kim<sup>2</sup>, Junga Hwang<sup>2</sup>, Jae-Ok Lee<sup>2</sup>, Soojeong Jang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Kyung Hee University*

<sup>2</sup>*Korea Astronomy and Space Science Institute*

We have investigated the correlation between global temperature anomaly(Ta) and two kinds of factors: greenhouse gas CO<sub>2</sub> and solar/geomagnetic activities (sunspot number, total solar irradiance, aa index, and kp index). Ta was taken from HADCRUT4. In order to minimize the effect of solar 11-year cycle, all data from 1859 to 2015 are running-averaged with 11 years. We have estimated the relative contribution of space weather (aa index) and human effect (CO<sub>2</sub>) to Ta as a function of year by using the multiple linear regression method. Main results of this study are as follows: (1) The CO<sub>2</sub> have much higher correlation coefficients (cc) with Ta than the other solar/geomagnetic parameters. (2) All correlations between Ta and solar/geomagnetic parameters have positive values until around 1985 and then have anti-correlations. The aa index has the best

correlation with Ta among solar/geomagnetic parameters. (3) From the multiple linear regression method, we find that the effect of CO<sub>2</sub> continuously increases since 1985 and become dominant over aa index as times go. For the total period, the relative contribution of CO<sub>2</sub> to aa index is 3.5:1. Our simple analysis supports an idea that the greenhouse effect on global warming becomes more important than the solar/geomagnetic effects, at least for recent years since 1985.

### [P-55] Effect of heat treatment on hysteresis loop of the core material Metglas 2714A for fluxgate magnetometer

Sung-Jun Noh<sup>1</sup>, Seunguk Lee<sup>1</sup>, Gi-Hong Rue<sup>2</sup>, Cheong-Rim Choi<sup>1</sup>, Dae-Young Lee<sup>1</sup>, Ji-Seok Kim<sup>1</sup>, Young-Jin Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Chungbuk National University*

<sup>2</sup>*Kyungpook National University*

Fluxgate magnetometer is an active instrument that measures the amplitude of the low frequency magnetic field. A typical fluxgate magnetometer consists of a ferromagnetic core, drive-coil, pick-up coil and electronic parts which controls the signals. Magnetic characteristics of the ferromagnetic core affects sensitivity of the magnetometer and other sensor parts, and thus the affects design of the electronic parts. The magnetic characteristics can be examined by hysteresis loop. Hysteresis characteristics depends on their chemical composition and physical structure and can be improved by heat treatment. Thus, chemical composition of ferromagnetic material, structure and heat treatment should be carefully determined to secure an appropriate hysteresis loop that meets the design requirements of the sensor. In this research, we measure the hysteresis loops of Metglas 2714A, Co-Ni amorphous, by varying several key factors including frequency and amplitude of the input signal and core structure. We also compare the hysteresis loops among three cases, namely, as cast, normal heat treatment and heat treatment with magnetic field, to test the effect of heat treatment.

### [P-56] The variation of solar limb darkening coefficient analyzed from solar images

Byeongha Moon, Suyeon Oh

*Chonnam National University*

The sun is not equally bright over whole sphere, but darkened towards the limb. This effect is well known to limb darkening. The limb darkening coefficient is defined by the ratio of center intensity and limb intensity. In this study, we calculate the limb darkening coefficient using the photospheric intensity analyzed from solar images taken by SOHO and SDO. The data of photospheric intensity cover almost two solar cycles from May 1996 to December 2016. We expect that the variation of limb darkening coefficients is similar to variation of photospheric intensity. We present the variation of limb darkening coefficient and explain the relationship between photospheric intensity and limb darkening coefficient.

**[P-57] Comparison between empirical magnetopause location models with geosynchronous satellite observations for solar cycle 23**

Eunsu Park, Yong-Jae Moon

*School of Space Research, Kyung Hee University*

In this study, we identify 123 geosynchronous magnetopause crossings using geosynchronous satellite observation data from 1996 to 2010 as well as make an observational test of magnetopause location models using the identified events. For this, we consider three models: Petrinec and Russell (1996), Shue et al. (1998), and Lin et al. (2010). To evaluate the models, we estimate a probability of detection (PoD) and a critical success index (CSI) as a function of year. To examine the effect of solar cycle phase, we consider three different time periods: (1) ascending phase (1996-1999), (2) maximum phase (2000-2002), and (3) descending phase (2003-2008). Major results from this study are as follows. First, the PoD values of all models range from 0.4 to 0.8 for the most of years. Second, the PoD values of Lin et al. (2010) are noticeably higher than those of the other models. Third, the CSI values of all models range from 0.1 to 0.3, and those of Shue et al. (1998) are slightly higher than those of the other models. Fourth, the predicted magnetopause radii based on Lin et al. (2010) well match the observed ones within 1 Earth radius, while those on Shue et al. (1998) overestimate the observed ones by about 2 Earth radii. Fifth, the PoD and critical success index (CSI) values of all the models are better for the solar maximum phase than those for the other phases, implying that the models are more optimized for the phase.

**[P-58] Effect of the core-halo relative drift velocity on the strahl formation in the solar wind electron: particle-in-cell simulation**

Jungjoon Seough

*Korea Astronomy and Space Science Institute*

The most prominent feature in the solar wind electron velocity distribution functions is the presence of the strahl component which appears as a magnetic field-aligned beam typically moving anti-sunward direction. Recently, a new scenario associated with the strahl formation has proposed that the strahl and suprathermal halo electrons are originally one and the same, except that the strahl is directly formed from the drifting halo through pitch angle scattering by the whistler waves. According to the particle-in-cell (PIC) simulation model, the key parameter was the relative core-halo drift velocity, resulting in an asymmetric pitch angle scattering of the halo electrons. In the present work, a parametric study is carried out, through one-dimensional electromagnetic PIC simulations, to investigate how the relative drift velocity between the core and halo affects the strahl formation. It is found that the relatively large core-halo drift, up to a few tens of the local Alfvén velocity, is necessary to effectively develop the core-halo-strahl feature observed in the solar wind. The property of linear Vlasov dispersion theory for the whistler instability under a collisionless solar wind plasma will be also discussed.

**[P-59] Initial operational results of the ground-based search-coil magnetometer at the Jang Bogo antarctic research station (JBS)**

Jehyuck Shin<sup>1</sup>, Khan-Hyuck Kim<sup>1,2</sup>, Ho Jin<sup>1,2</sup>, Hyomin Kim<sup>3</sup>, Jongwoo Kwon<sup>1</sup>, Seungah Lee<sup>1</sup>, Jung-Kyu Lee<sup>1</sup>, Seongwhan Lee<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>4</sup> and Marc R. Lessard<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*School of Space Research, Kyung Hee University, Korea*

<sup>2</sup>*Department of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University, Korea*

<sup>3</sup>*Center for Solar-Terrestrial Research, New Jersey Institute of Technology, USA*

<sup>4</sup>*Korea Polar Research Institute, Korea*

<sup>5</sup>*Space Science Center, University of New Hampshire, USA*

A bi-axial Search-Coil Magnetometer (SCM) designed to observe time-varying magnetic fields associated with magnetosphere-ionosphere coupling is developed as ground-based instrument. It measures the Ultra Low Frequency wave activity which is well known to play an important role in energy transport and loss in geospace. The system resolution of the SCM is  $0.1 pT/\sqrt{Hz}$  at 0.5, 1 Hz and data sampling rate is 10 samples/sec/axis. This instrument is successfully deployed at the JBS on December 2016. The sensor had been installed under the ground approximately 300 m away from the space weather observation center of the JBS and oriented along the geomagnetic north-south, east-west direction. This installation site had been determined through noise analysis based on three field test. Background noise has been checked as  $< 10^{-3} nT^2/Hz$  and Continuous pulsations (Pc) 3-5 (2 to 100 mHz) has been observed periodically. In this paper, we present installation work of the SCM and show an initial operation data on the JBS.

**[P-60] Periodicity of cosmic ray flux at the solar minimum year of 2008**

Suyeon Oh

*Chonnam National University*

Forbush (1954) found that the cosmic ray flux is anti-correlated with sunspot number. The maximum flux of cosmic ray occurs approximately at solar minimum. This study examines the periodicity of cosmic ray flux at 2008 specifically focusing on the period of solar rotation. We examine cosmic ray data from 43 neutron monitors at solar minimum year of 2008. We expect that the influence of solar wind structure on cosmic ray fluxes can explain the periodicity of cosmic ray particles at the solar rotation period. We present the analysis of the power at 27 days and the relationship with location and cutoff rigidity.

**[P-61] Validation of the estimated local K index for operational use in Korea**

Wonhyeong Yi, Jiyoung Kim, Gun-Il Jang

*National Meteorological Satellite Center / Korea Meteorological Administration*

K index is one of the indicators to represent geomagnetic disturbance. In the 1990s, Finnish Meteorological Institute developed an algorithm to calculate K index using digitalized record of the geomagnetic field. Although the

algorithm derives K index as well as the hand-scaled method using analog record, it is not useful for real-time operation. In this study we investigated geomagnetic field at the Cheongyang (CYG) to calculate the estimated local K index in near real-time. Geomagnetic field record of CYG and Fredericksburg (FRD) were collected from International Real-time Magnetic Observatory Network. The method to calculate near real-time estimated local K index is based on the method of Takahashi et al. (2001). To validate the estimated local K index, local K index using FMI method is also calculated by the program supported by International Service of Geomagnetic Indices. The results show that the correlation between local K index and near real-time estimated local K index at CYG is about 0.78 and correlations for local K indices of CYG and FRD with planetary K (Kp) index is about 0.87 and 0.76, respectively. Near real-time estimation of local K index at CYG is needed because Kp index can't represent geomagnetic disturbance at mid-latitude rather than higher latitude such as FRD. In this poster, we will present that how we have calculated local K index and estimated local K index with the comparison results with Kp index.

### [P-62] Thermal and nonthermal flare emissions revealed by microwave maps and EUV differential emission measures

Jeongwoo Lee

*Nagoya University*

I will present a study carried out during my visit to ISEE at Nagoya University, which includes the analysis of the Nobeyama Radioheliograph (NoRH) data of a composite flare SOL2015-06-21T01:36 (GOES class: M2.0 and M2.6) along with the hard X-ray data from the Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) and the magnetograms and EUV images from the Solar Dynamics Observatory (SDO). It turns out that a combination of the nonlinear force-free magnetic field model constructed from the SDO/HMI vectormagnetogram and the differential emission measure (DEM) from the SDO/AIA EUV lines provides a powerful tool for separating thermal and nonthermal components on the NoRH microwave maps. This method allows us to identify: (1) a magnetically confined structure with high thermal plasma density good for the impulsive nonthermal emission, (2) another magnetically confined region with density depletion suitable for extended nonthermal emission, and (3) a hot and dense region serving as a thermal reservoir. A new aspect of this study is that the EUV DEM is utilized for not only calculation of the free-free opacity but also that of the lifetime of high-energy electrons under Coulomb collisions. Our result may help understanding why some regions are good for thermal heating while others are good for nonthermal particle acceleration.

### [P-63] An analysis on diurnal variation of cosmic ray flux at Jang Bogo neutron monitor

Jongil Jung<sup>1</sup>, Suyeon Oh<sup>2</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>, Paul Evenson<sup>3</sup>, Roger Pyle<sup>3</sup>, Jeong-Han Kim<sup>4</sup>, Changsup Lee<sup>4</sup>, Geonhwa Jee<sup>4</sup>, Kwang Won Jang<sup>1</sup>, Suyeon Kim<sup>1</sup>, End Ji Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chungnam National University

<sup>2</sup>Chonnam National University

<sup>3</sup>University of Delaware

<sup>4</sup>Korea Polar Research Institute

The cosmic ray coming into the Earth can be measured by neutron monitor on the ground. The cosmic ray flux shows the diurnal variation, which has the sinusoidal pattern with 1-2 % amplitude. In previous studies, we compared the diurnal variation at Jang Bogo and McMurdo neutron monitors. Because of the proximity of two neutron monitors, their diurnal variations were expected to be similar local time of maximum cosmic ray intensity. Nevertheless, there was a difference of approximately 5 hours owing to short-period data. In this study, we examine the diurnal variation at two neutron monitors again using the longer data. We also apply different the analysis methods such as, harmonic analysis and pile-up method (Oh et al., 2010). As the result, the diurnal variations at two neutron monitors are same with the 1 hour difference of local time for maximum cosmic ray intensity. From this result, we can confirm that Jang Bogo neutron monitor can produce the good quality data as the successor of McMurdo neutron monitor.

### [P-64] 달궤도 위성개발을 위한 달궤도 우주방사선 환경 분석

조영준, 장진백

한국항공우주연구원 위성전자팀

본 논문에서는 달 궤도 위성을 개발하기 위한 방사선 설계 요구조건을 도출하고자 달 궤도에서의 우주방사선 환경을 분석한 결과를 소개하고자 한다. 달 궤도까지의 천이궤도 시나리오를 포함한 달 궤도에서의 임무 방사선 규격을 각 입자별 스펙트럼으로 제시 하였다. 여기에는 누적 Ionizing 및 Non-ionizing dose 량과 중이온 Flux 량이 포함된다. 또한 임무기간 및 궤도에 따른 분석 결과를 비교 제시 하였다. 분석조건은 위성 전장품의 개발을 위한 환경 규격을 타겟으로 보수적인 시나리오 및 조건이 적용되었다.

### [P-65] Role of gravity waves in the upper atmospheric temperature changes in association with sudden stratospheric warming

Hwajin Choi, In-sun Song, Changsup Lee, Jeong-Han Kim, Geonhwa Jee

*Korea Polar Research Institute*

Fourier Transform Spectrometers (FTSs) at the Esrange space center (67°53' N, 21°04' E), Kiruna, Sweden and at the Dasan Korean Arctic station (78°55' N, 11°56' E), Svalbard, Norway have observed mesospheric temperature from OH airglow emissions near 87 km height since November 2002. The FTS observations have provided simultaneous mesospheric temperature at the two different latitudes in association with elevated stratopause (ES) after major sudden stratospheric warming (SSW) events. ES and relevant warming have been simulated using global circulation models such as the whole-atmosphere community climate model (WACCM), but the model prediction showed much weaker mesospheric warming compared with the FTS and satellite observations especially in polar region such as the Dasan station. Considering that gravity waves (GWs) have substantial impacts on the temperature and wind in

the upper atmosphere, the discrepancy between observation and model is probably attributed to common issues in GW parameterizations: Uncertainty in GW spectra and unrealistic assumption in GW propagation (i.e., columnar propagation). In this study, we investigate effects of the horizontal propagation and refraction of GWs on mesospheric warming associated with the ES after major SSW events using a ray-tracing model with specified GW spectra. Preliminary results for steady background flows show that the horizontal propagation and refraction increase westward GW momentum forcing near  $z = 100$  km in the NH high latitudes that can induce downward motions and adiabatic warming in the NH polar regions below  $z = 100$  km. Results are extended for time-varying background flows and different GW spectra to consider tidal effects and improve robustness of results, respectively.

**[P-66] Vertical incidence pulsed ionospheric radar (VIPIR) at Jang Bogo station, antarctica**

Young-bae Ham<sup>1</sup>, Geonhwa Jee<sup>1</sup>, Jeong-Han Kim<sup>1</sup>, Changsup Lee<sup>1</sup>, Hyuck-Jin Kwon<sup>1</sup>, Terence Bullett<sup>2</sup>, Justin Mabie<sup>2</sup>, Robert Livingston<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea  
<sup>2</sup>Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Boulder, USA  
<sup>3</sup>Scion Associates, Port Townsend, USA

Vertical Incidence Pulsed Ionospheric Radar (VIPIR) was installed at Jang Bogo Station (JBS), Antarctica in March 2015 in order to monitor the ionosphere in the polar region. The VIPIR system consists of an inverted log periodic antenna (LPA) designed by CIRES, University of Colorado, HF radar developed by Scion Associates, and Dynasonde analysis software. With this powerful and sophisticated ionosonde system, we will continually monitor the ionosphere not only for the traditional ionospheric parameters including the electron density profile and ion drifts, but the ionospheric tilts can also be constructed by inverting the measured data. The observed data from VIPIR will be utilized to study the ionosphere and thermosphere and their couplings in the auroral and/or polar cap regions over JBS, Antarctica, in combination with the observations for the thermosphere by Fabry-Perot Interferometer (FPI) simultaneously operated at JBS. In this study, we will report the current status of the radar system and its preliminary observations for the ionosphere.

**■ 태양계 및 우주탐사**

**[P-67] 달 및 화성탐사 로버 시스템의 성능비교를 통한 달 탐사 로버 서브 시스템의 아키텍처 연구**

김연규, 이주희

한국항공우주연구원

본 연구에서는 향후 국내 달 표면 탐사를 위한 로버 시스템의 재원과 성능을 고려하기 위하여 해외에서 수행한 달 및 화성탐사 무인 로버의 서브시스템별로 성능과 재원을 조사 검토한 것이다. 현재까지 달에서 임무를 수행한 무인로버는 Lunokhod(구소련), Yutu(중국)가 있었고 향후에는 Chandrayaan2(인도), 일본 등에서 로버를 이용한 탐사 임

무를 수행할 계획이다. 화성에서는 미국 NASA의 Sojourner, MER, Curiosity가 임무를 수행했었고, 향후 NASA, ESA, 중국, 일본 등에서 지속적인 관심을 갖고 있다. 로버는 일반적으로 메인제어시스템, 전력시스템, 통신시스템, 열 제어 시스템, 주행시스템, 통신시스템, GNC (Guidance, Navigation, and Control) 시스템, 구조시스템, 과학탐재체로 구성된다. 이에 각 서브시스템별로 현재까지 달 및 화성탐사에 임무 수행한 로버 및 향후 계획에 있는 로버의 성능과 재원을 세부적으로 조사 비교하고 각 로버별로 로버의 질량과 임무를 고려한 성능과 재원을 분석하였다. 본 연구의 결과는 향후 달 탐사 로버를 설계함에 있어 로버에 주어진 재원 내에 최적의 성능을 도출하기 위한 설계방향을 판단하는데 활용할 것이다.

**[P-68] Effect of measurement acquisition condition on lunar orbiter orbit determination**

Young-Rok Kim, Young-Joo Song, Jonghee Bae, Bang-Yeop Kim

Korea Aerospace Research Institute

Measurement acquisition condition by ground stations plays a key role in spacecraft orbit determination (OD) around the Moon. For better orbit accuracy and reliable mission operation, it is more advantageous to gather tracking measurements as much as possible. However, in real situation, available ground stations and their tracking pass duration are limited by operational constraints. In this study, OD analysis for lunar orbiter locating at 100 km altitude is performed by using various measurements acquisition condition for Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO) nominal mission. First, orbit ephemeris of lunar orbiter, which has 100 km altitude lunar polar orbit is generated by STK/Astrogator. NASA's orbit ephemeris of Lunar Prospector is used for initial orbit information. Next, sequential range and Doppler measurements of lunar orbiter by 3 Deep Space Network (DSN) and 1 Korea Deep Space Antenna (KDSA) are simulated by Orbit Determination Tool Kit (ODTK) based on STK ephemeris regarded as a true orbit. For investigation of measurement acquisition condition, ground station number and pass duration time per orbital period of measurement simulation are changed. Finally, OD results during 24 hour for various measurement acquisition condition are investigated and assessed by covariance analysis using position uncertainty and external orbit comparison using STK ephemeris. In conclusion, stable and accurate OD performance is observed in measurement acquisition condition which has passes more than 30 min/per orbit by three stations. This study gives useful guideline for measurement acquisition plan of KPLO during nominal mission.

**[P-69] 달 탐사 과학자로 관리와 공개를 위한 KPDS를 포함하는 과학자관리 서브시스템의 기능과 개발계획**

김주현<sup>1</sup>, 최연주<sup>2</sup>, 김방엽<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터 달탐사항행운영팀,  
<sup>2</sup>한국항공우주연구원 융합기술연구센터 미래항공우주기술팀

한국항공우주연구원은 우리나라 최초의 달 탐사선인 KPLO에 탑재되는 국내 개발 과학탐재체의 관측자료, 즉, 과학자료를 저장, 배포 등 관리를 수행할 과학자료를관리 서비스

템(Science Data Management Subsystem)을 개발하고 있다. 또한 과학자료관리 서브시스템의 한 모듈로써 달 과학 연구자 뿐만 아니라 일반 사용자들도 쉽고 효율적으로 자료를 검색하고 획득하여 사용할 수 있는 기능을 갖춘 KPDS(KARI Planetary Data System)도 함께 개발하고 있다. 일반 사용자가 과학자료에 손쉽게 접근할 수 있도록 KPDS는 웹 기반의 사용자 환경을 제공할 것이다. 또한 연구자와 일반인 모두가 다양한 의견을 개진하고 논의할 수 있는 사용자 피드백 기능도 제공하여 우주탐사 과학임무와 연구에 관한 긍정적 요구를 이끌어내는 기반을 마련할 것이다. 이러한 과학자료의 공개와 피드백 기능은 전문 연구자들뿐만 아니라 비전문가인 일반인들도 직접 달 탐사 과학 자료를 활용하고 연구에 참여하고, 의견을 제시할 수 있도록 하여, 향후 우리나라의 우주탐사와 우주과학에 관한 관심을 더욱 높이는 기회가 될 것으로 기대된다.

### [P-70] 달의 충돌구에서의 자화방향 결정

김형규, 김형래

공주대학교 지구물리 위성탐사 연구실

1959년 소련이 루나 1호를 시작을 현재까지 미국, 인도, 중국, 일본이 탐사선 발사에 성공하여 달에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 특히, 미국의 Lunar prospector(LP)와 일본의 Kaguya 인공위성의 자력자료를 통해 달에도 미약하지만 자기장의 존재와 몇몇 충돌구 중심부에서는 지구의 충돌구 중심부와 같은 잔류 자와 특징이 나타나는 것을 알게 되었다. 이를 통해 과거 달의 자기 역사를 알아내기 위한 연구들이 수행되었으며 본 연구에서도 자력자료를 통한 달의 자기 역사를 알아내기 위한 방법을 제시하고자 한다. 기존의 위성자력자료를 통한 역산(inversion) 및 forwarding 방법들은 자력자료의 비유일성(non-uniqueness)에 의해 보다 객관적인 잔류자화의 특징을 정의 내리기 어려운 부분이 있다. 따라서 본 연구에서는 Prism 모델 및 수직 Cylinder 모델을 이용해서 충돌구에서 나타나는 잔류자기 이상 값을 통해 자화방향을 파악하는 방법을 제시하고자 한다.

### [P-71] Preliminary analysis of lunar orbit insertion burn delay of lunar orbiter

Jonghee Bae, Young-Joo Song, Young-Rok Kim, Bang-Yeop Kim

Korea Aerospace Research Institute

In this study, the preliminary analysis of the lunar orbit insertion (LOI) burn delay is performed for the lunar orbiter. The lunar orbiter is derived to the low Earth orbit, and will be injected into the trans-lunar trajectory by the launch vehicle. Throughout the trans-lunar trajectory, the lunar orbiter will enter into the lunar gravitational field, and be captured into the desired lunar orbit by the LOI maneuver. During the operation of the lunar orbiter, the planned LOI burn will be executed at the specific LOI epoch; however, the lunar orbiter can have a LOI burn delay due to the hardware limitation, the telemetry delay, and so on. According to the delayed LOI burn, the lunar orbiter will insert the captured lunar orbit at the delayed LOI maneuver epoch, and then the orbital elements will differ from the desired states. Therefore, it is necessary to analyze the captured lunar orbit with respect to the

LOI burn delay. In this study, the burn delay time is given within ranges of  $-10 \sim 10$  minutes from the planned LOI epoch, and it is assumed that the perilune altitude, inclination, and orbital period of the captured lunar orbit are 300 km, 90 degrees, and 12 hours. For each delay time, numerical simulation is performed for the sensitivity analysis. From the simulation results, the targeting parameters including perilune altitude, inclination, and orbital period are analyzed according to the LOI delay time. It is found that these three parameters are significantly changed as the LOI burn delay time increases from 0 to 10 minutes; the orbital period becomes more than 15 hours the perilune altitude changes more than 320 km, when the LOI burn delay time is 10 minutes. Thus, it is required that the lunar orbiter should execute the LOI burn near the planned LOI epoch considering the tolerance of the targeting parameters.

### [P-72] Study of data product and its science outcome with lunar exploration missions

Seunghee Son<sup>1</sup>, Haingja Seo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

Except the apollo era, most of findings about the Moon has been collected by remote sensing instruments on orbiters, landers and even rovers. Recently US, China, Japan and India have sent orbiters and landers to explore the Moon. Also Korea is about to join moon-rush to be presented in lunar exploration. In this study, we investigate the existing scientific instruments and their data products from overseas lunar explorations. This study will provide the applicable science topics and its limitation and will help for domestic researchers to prepare for utilizing the KPLO science data.

### [P-73] Optimal delta-Vs to release a lunar cubesat impactor at the mother-ship's entry of lunar sphere of influence

Young-Joo Song<sup>1</sup>, Ho Jin<sup>2</sup>, Bang-Yeop Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Kyung Hee University

Minimum delta-V requirement to deploy a lunar CubeSat impactor at the mother-ship's entry of lunar Sphere of Influence (SOI) is analyzed. It is assumed that a lunar CubeSat impactor is released from the mother-ship at the moment of mother-ship's entry of lunar SOI, and relevant trajectory optimization problem is formulated using two-body equations of motion. Performance index is given to minimize overall deploy delta-V magnitude, and the final equality constraints are given as CubeSat impactor to hit a lunar surface. Mother-ship's diverse periapsis approach conditions such as different approach altitude and velocity are considered during the analysis. As a result, it is discovered that higher periapsis altitude as well as faster approach velocity of the mother-ship required more deploy delta-V to make a deployed CubeSat to hit a lunar surface. For example, if the mother-ship is assumed as to approach the Moon with a periapsis altitude of 100 km with a 2.4 km/s of velocity, then about 2.04 m/s of deploy delta-V successfully impacted the CubeSat with a terminal condition of very

low flight path angle. It is also discovered that 10 m/s increment of periapsis approach velocity of the mother-ship resulted of about 0.02 m/s increment of optimal deployment delta-V. For a different conditions of the mother-ship's approach altitudes, increased as 200, 300, 400 and 500 km with having 2.4 km/s of velocity, then, minimum deployment delta-Vs are found to be increased as 4.28, 6.72, 9.29 and 11.98 m/s, respectively.

**[P-74] Infrared imaging spectrometer for detection of form, abundance, and temporal variability of lunar water**

Ho-Sub Song, Ik-Seon Hong, Yu Yi

Chungnam National University

Water is valuable as resources, and essential for manned space exploration. Accordingly, some plans are establishing such as exploration for lunar water. Among lots of exploration method, Infrared spectroscopy observation is the best on detection for water feature. We are interested in infrared imaging spectrometer for detecting water, and gladly propose about infrared spectrometer on this presentation. The requirements of this instrument are 20 nm spectral resolution at 1.85~3.5  $\mu$ m spectral range, higher signal-to-noise ratio (SNR) than Moon Mineralogy Mapper (M3), and 100 m spatial resolution at an altitude of 100 km. Main observation region is high latitudes or Permanently Shadowed Region (PSR), because low amount of solar illumination causes low temperature, so water may be existed in a solid state. Therefore we are sure of an existence of water by infrared spectroscopy observation on polar regions of the moon.

**[P-75] 달 궤도 자기장 측정기 예비설계 모델의 구조 설계 및 해석**

이만규<sup>1</sup>, 이성환<sup>1,2</sup>, 문봉곤<sup>3</sup>, 이덕행<sup>3</sup>, 권성철<sup>4</sup>, 채봉건<sup>4</sup>, 진호<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>인투물, <sup>3</sup>한국천문연구원 기계구조팀, <sup>4</sup>조선대학교 항공우주공학과 우주기술융합연구소, <sup>5</sup>경희대학교 우주과학과

KMAG은 한국형 달 탐사 계획으로 개발되는 시험용 달 탐사선의 탑재체로서 플럭스게이트 자기장 측정기를 활용하여 달의 자기장 정보를 획득하는 것이 그 임무이다. 일반적으로 위성에 사용되는 과학임무 목적의 자기장 측정기는 위성 본체의 자기 간섭(Electro-Magnetic Interference) 영향을 최소화하기 위해 위성 본체로부터 가능한 멀리 위치하도록 설계한다. 이에 허용된 무게와 부피를 고려하여 KMAG는 1.2 m의 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)재질의 붐 구조물을 이용한 설계를 진행하였다. 초기설계 단계에서 붐 구조물은 전개식과 고정식 두 가지의 경우로 나누어 진행하였으며 KMAG 제어장치인 FCE(Fluxgate magnetometer Control Electronics)의 전장박스는 경량화에 중점을 두고 설계하였다. 설계된 붐 구조물의 해석은 모드해석을 통해 고유진동수 258.3 Hz의 결과와 모드형상을 확인하였다. FCE 전장박스는 모드해석과 준정적 해석을 실시하여 423.09 Hz의 고유진동수와 88.6 g의 설계하중이 결과로 나타났다. 위와 같은 결과는 발사체의 요구조건을 만족하는 것으로, KMAG의 구조건전성을 확인하였다.

**[P-76] Electrical system design for KPLO magnetometer (KMAG)**

Seungah Lee<sup>1</sup>, Hyojeong Lee<sup>1</sup>, Jung-Kyu Lee<sup>1</sup>, Sihyung Lee<sup>2</sup>, Ho Jin<sup>1,2</sup>, Khan-Hyuk Kim<sup>1,2</sup>, Yu-Sung Jang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Space Research, Kyung Hee University  
<sup>2</sup>Department of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University  
<sup>3</sup>Industry-Academic Cooperation Foundation, Kyung Hee University

The KPLO MAGnetometer (KMAG) on the Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO) mission is the fluxgate magnetometer instrument with its sensors mounted on a 1.2-m-long boom. The scientific objective of KMAG is to measure the DC and low frequency fluctuations of the magnetic field in space and of the Moon. KMAG consists of the three triaxial sensors, the boom and the Fluxgate magnetometer Control Electronics (FCE) with four-stacked boards. FCE is composed of analog board, digital board, On-Board Computer (OBC), and Low Voltage Power Supply (LVPS), which filters and digitizes the data from the sensors at a sampling rate of 10 Hz. OBC not only saves the data but sends telemetry, and receives commands and power from spacecraft. The LVPS converts the +28V main power which is provided by the spacecraft into various voltage then distributes the power. In this paper, we describe the architecture and design of the KMAG electrical system.

**[P-77] Lunar Prospector의 고 분해능 자력계 데이터를 활용한 octopus 지역의 달 자기이상현상 연구**

이정규<sup>1</sup>, Omid Ghassemi<sup>2</sup>, 백슬민<sup>1</sup>, Rachel Maxwell<sup>2</sup>, Ian Garrick-Bethell<sup>1,2</sup>, 진호<sup>1</sup>, 이효정<sup>1</sup>, 김관혁<sup>1</sup>, Cecile Cournede<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>Earth and Planetary Science, University of California, Santa Cruz

LP (Lunar Prospector)는 1998년 1월 8일부터 1999년 7월 31일까지 달에서 자기장 데이터를 수집하였다. LP MAG(Magnetometer)는 달 자기장 데이터를 9 Hz로 수집하였으나, PDS(Planetary Data System)에는 0.2 Hz로 배포되었다. 이는 LP의 자세제어 회전주기에 맞추어 그 값을 보정하였기 때문이다. 하지만 달 자기이상현상의 크기가 작은 지역에서는 0.2 Hz의 분해능으로는 그 현상을 판단하는데 어려움이 있다. 따라서 높은 표본추출 비율로 수집된 고 분해능 데이터를 활용하여 연구할 필요가 있다. Octopus swirls (1.0°S, 298.6°E)지역은 Oceanus Procellarum의 남서쪽에 위치하며 그 크기는 10 km x 20 km 이며, 광학적 밝기 특징도 나타난다. 고 분해능 데이터를 활용하여 조사한 Octopus 지역에서의 자기장 세기는 5.3 nT이며, 각 성분의 자기장 값을 활용하여 자기 모델을 예측하였다. 자기 모델은 편각(declination), 복각(inclination), 모멘트의 깊이, 자기모멘트의 세기, 오차를 계산하여 고 분해능 자기장 데이터와 비교하였다. 본 논문에서는 자기 모델을 활용하여 Octopus 지역의 자기이상현상을 분석하고 형성원인에 대하여 논한다.

**[P-78] 달 탐사 2단계 로버 착륙 후보 지역 사례 분석**이주희<sup>1</sup>, 김연규<sup>1</sup>, 이종원<sup>1</sup>, 류동영<sup>2</sup><sup>1</sup>한국항공우주연구원 항공우주응용재료팀, <sup>2</sup>한국항공우주연구원 달탐사선행입무팀

착륙선과 로버의 달 표면 착륙을 통한 달 탐사에 있어서 착륙지를 선정하는 것은 달 탐사의 과학적 목적에 있어 매우 중요하며, 착륙지는 착륙선 및 로버의 기술적 성능 허용 사항과도 매우 밀접하게 연관되어 있다.

본 논문에서 향후 달 탐사 2단계에서 추진하게 될 착륙선 및 로버의 착륙지 선정에 필요한 과학적 의미와 기술적 제한 사항에 대하여 인도의 찬드라얀-2의 개발 과정을 통하여 분석하였다. 인도의 찬드라얀-2는 궤도선, 착륙선, 로버로 구성되며 2018년 발사할 계획이다. 찬드라얀-2의 경우는 우리가 개발하고자 하는 달 탐사 2단계와 상당히 유사한 면이 있으며, 본 논문에서는 향후 우리의 달 탐사 2단계 착륙지 후보 지역 선정에 참고할 만한 내용을 분석하여 소개하고자 한다.

**[P-79] 한국형 시험용 달 궤도선의 자기장 측정기 개발**이효정<sup>1</sup>, 진호<sup>1,2</sup>, 이정규<sup>1</sup>, 이성환<sup>1,3</sup>, 이만규<sup>1</sup>, 신재혁<sup>1</sup>, 이승아<sup>1</sup>, 이시형<sup>2</sup>, 김관혁<sup>1</sup>, 장유성<sup>4</sup>, 손대락<sup>5</sup>, 김은애<sup>5</sup><sup>1</sup>경희대학교 우주탐사학과, <sup>2</sup>경희대학교 우주과학과, <sup>3</sup>인투물, <sup>4</sup>경희대학교 산학협력단, <sup>5</sup>센서피아

KPLO (Korea Pathfinder Lunar Orbiter)는 한국형 달 탐사 사업의 첫 단계로 개발 중인 시험용 달 궤도선으로, 총 4개의 탑재체를 한국에서 개발하고 있다. 과학 탑재체 중 하나인 KMAG (KPLO MAGnetometer)의 임무는 달 표면 및 주변 환경의 자기장 측정이다. KMAG 탑재체는 세 개의 Fluxgate magnetometer sensor와 Boom, 그리고 FCE (Fluxgate magnetometer Control Electronics)로 구성되어 있다. Boom의 길이는 1.2 m로 짧지만 내부에 3개의 센서를 사용하는 다중 센서 기반 기술을 적용하여 각각 다른 위치에서 측정할 세 개의 자기장 관측 자료로 위성체에 의한 자기장 간섭을 보정하는 방법을 사용한다. KMAG는 달 궤도에 진입한 이후부터 위성이 달 표면에 충돌하여 임무가 종료되기 전까지 지속적으로 자기장 관측 자료를 수집한다. 본 논문에서는 개발 중인 KMAG 시스템에 대해 소개하고, 운영 및 관측자료 처리에 대해 나타내었다.

**[P-80] Photometric Study of NPA Rotator (5247) Krylov**Hee-Jae Lee<sup>1,2</sup>, Josef Ďurech<sup>3</sup>, Hong-Kyu Moon<sup>2</sup>, Myung-Jin Kim<sup>2</sup>, Chun-Hwey Kim<sup>1</sup>, Young-Jun Choi<sup>2</sup>, Young-Seok Oh<sup>2,4</sup>, Jintae Park<sup>2</sup>, Dong-Goo Roh<sup>2</sup>, Hong-Suh Yim<sup>2</sup>, the DEEP-South Team<sup>1</sup>Chungbuk National University, Korea<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute, Korea<sup>3</sup>Charles University, Czech<sup>4</sup>Kyung Hee University, Korea

The study on the spin states of asteroids is important in order to understand their physical properties and dynamical evolution. The spin state is classified into two

separate groups based on the relation between rotational angular momentum and principal axis of an asteroid; Principal Axis (PA) rotation and Non-Principal Axis (NPA) rotation. The NPA rotation provides clues to their evolutionary processes because their excited states of rotation result from either internal- or external- forces acting on the bodies. We selected (5247) Krylov as the target of observation taking into account its Principal Axis Rotation (PAR) code (Warner et al., 2009) and visibility. The observation of (5247) Krylov was conducted with DEEP-South (Deep Ecliptic Patrol of the Southern sky) Target of Opportunity (TO) mode using KMTNet (Korea Microlensing Telescope Network) 1.6 m wide-field optical telescope and 18K X 18K mosaic CCD with 9K X 9K e2v chips at three sites: CTIO, SSO, and SAAO. We carried out Cousins R-band time series photometry between Jan- and Apr- 2016. At the same time, Johnson-Cousins BVRI multi-band photometry was conducted for taxonomic classification purposes, in Feb-2016. We obtained the color index of this asteroid from multi-band photometry and determined its taxonomic type as S-type based on Dandy's result (Dandy et al., 2003). Complex rotation was detected by period analysis with R-band light curve (P1 = 82.188 hr and P2 = 67.13 hr). We will present the analysis of its light curves and a preliminary convex shape model using the light curve inversion method (Kaasainen et al., 2001 & Kaasainen, 2001). We will also briefly discuss the probable cause of its complex rotational state.

**[P-81] KPLO 탑재체 관측 데이터 처리를 위한 SPICE Kernels 활용 가능성 검토**

임조형, 최연주, 김방엽

한국항공우주연구원

한국항공우주연구원에서는 우리나라 최초의 달 탐사선인 Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO)를 개발하고 있다. KPLO에는 최대 6개의 국내외 개발 탑재체가 실릴 예정으로 각 탑재체들의 관측 자료 처리를 위한 보조 데이터 (Ancillary Data) 제공 방안이 대해 협의 중이다. SPICE Kernels는 NASA의 항행 및 보조자료 담당 기관 (NAIF)에서 탑재체 관측 및 보조 자료의 효과적인 처리를 위해 제공하는 표준화 틀인 SPICE Toolkit에 사용되는 입력 자료로 kernel은 SPICE data set을 가리킨다. 이들 파일은 특징에 따라 위성 및 천체의 천체력 정보를 제공하는 SPK, 탑재체 등에 관한 설계 정보를 포함하는 IK, 위성의 자세정보를 포함하는 CK 등 여러 kernel 들로 나뉘며, 각각의 파일은 해당 탑재체의 임무 특징에 따라 자료 소스 및 제공 방법이 다르게 적용된다. 본 논문에서는 KPLO의 과학자료 처리를 위한 SPICE kernel 생성 방법을 조사하고 그 활용 가능성을 살펴보고자 한다.

**[P-82] Real-time Hapke illumination simulation of the moon**

Dawoon Jung, Seunghee Son

Korea Aerospace Research Institute

The reflectance of dusty surfaces such as the Moon have been described by the Hapke radiative transfer model. The Hapke model predicts several key features such as disc flattening and backscatter that depart from

Lambertian, or uniformly diffuse reflectance. Modeling these photometric features increases our understanding of the underlying physical properties, and allows us to produce realistic synthetic imagery of lunar terrain. The ability to arbitrarily produce a wide range of correctly-lit synthetic lunar imagery is important for studies such as Monte Carlo validation of image processing and recognition algorithms for future orbiters and landers. Traditionally, the Hapke model with nine free parameters has been computationally expensive to evaluate. However, recent research has allowed us to collapse the parameter space in half by considering mathematically coupled parameters. We wrote a graphics processing unit (GPU) shader to apply the Hapke lighting function in real-time to terrain generated from Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) data.

**[P-83] Crustal field's effects on the ion composition of Mars upper atmosphere during ICME events**

Gyeongbok Jo<sup>1,2</sup>, Junga Hwang<sup>2,3</sup>, Roksoon Kim<sup>2,3</sup>, Soojeong Jang<sup>2,4</sup>, Kyungsuk Cho<sup>2,3</sup>, Jaejin Lee<sup>2,3</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chungnam National University

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>3</sup>Korea University of Science and Technology

<sup>4</sup>Kyung Hee University

The Mars Atmosphere and Volatile(MAVEN) mission was developed to understand a loss of atmospheric particles since 2014. The Neutral Gass and Ion Mass Spectrometer (NGIMS), one of science payloads onboard MAVEN, is developed to analyze the composition of the Martian upper atmospheric neutrals and ions. We used this data to investigate altitudinal variation trends of upper atmospheric ion density during ICME events. As we known, the Mars has weak global magnetic field, so upper atmosphere of Mars has been strongly affected by solar activity such as ICME and HSS. Meanwhile, strong crustal field exists on local surface of Mars, so they also have an influence on Mar's upper atmosphere. Usually they influence up to 200km altitude, but on some strong field region, especially east longitude at 180° and latitude at -50°, they influence much higher over 1400km altitude. So we investigated which one is dominant effect for each region between the crustal field effect and the ICME effect. At 400km altitude, ion density over the strong crustal field region did not show significant variation despite strong ICME event occurred. However, over the other areas, the variation associated with ICME event appeared notably.

**[P-84] Comparative analysis in timing resolution of pulse shaping for gamma-ray spectrometer**

Yire Choi<sup>1,2</sup>, K. B. Lee<sup>3</sup>, Kyeong Ja Kim<sup>2</sup>, Eung Seok Yi<sup>2</sup>, Chang Wan Sun<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>University of Science and Technology, Korea

<sup>2</sup>Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

<sup>3</sup>Korea Institute of Standards & Science

Gamma-Ray Spectrometer (GRS) system has been widely utilized to understand the surface composition and evolution of planetary surfaces. GRS system for the Korea Lunar mission is currently being developed such as

scintillation based detector. In connection with the development of GRS signal processing circuit, this study has done a comparative analysis in timing resolution of between unipolar and bipolar pulse shaping using BGO and Plastic scintillator (PS). The results of the study can help confirm the possibility of application to bipolar pulse shaping in a harsh space environment. The characteristics and preliminary results of the pulse shaping will be presented.

**[P-85] Scheduling algorithm for lunar terrain imager (LUTI) on Korea pathfinder lunar orbiter (KPLO)**

Ik-Seon Hong<sup>1,2</sup>, Young-Jun Choi<sup>2,3</sup>, Hong-Kyu Moon<sup>2</sup>, Myung-Jin Kim<sup>2</sup>, Gmsil Kang<sup>4</sup>, HaengPal Heo<sup>4</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chungnam National University

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>3</sup>University of Science and Technology

<sup>4</sup>Korea Aerospace Research Institute

We are developing a scheduling algorithm for imaging plan of Lunar Terrain Imager (LUTI), the main payload of Korea Pathfinder Lunar Orbiter (KPLO). The imaging plan is an essential part to be established for the effective operation of the mission. It is possible to derive a imaging plan according to the priority order of the selected imaging candidates (landing site candidates) in consideration of the KPLO's orbit information, the communication data with the ground station, the LUTI requirement and the optical specification, etc.. The final output of the scheduler to be obtained is the time when the image to be taken and the number of pictures to cover whole area of each candidate. In addition, we plan to include the radiance information of the lunar surface expected at the time of imaging. In this presentation, we will briefly introduce current progress of the development.

■ 기타

**[P-86] 인공위성 형상관리를 위한 형상 기준 및 식별에 관한 연구**

강철

한국항공우주연구원

형상 기준 및 식별은 형상 관리의 가장 기본이 되는 관리 프로세스 중 하나이다. 형상 기준 및 식별을 위해서는 형상 관리 대상이 되는 품목 선정이 선행되어야 하며, 형상품목 선정은 개발 계획에 따라 개개의 기능적, 물리적 그리고 인터페이스의 특성을 통해 정의된다. 정의된 형상 품목은 서 유일하게 식별될 수 있도록 코드화 하여 항목별로 구분이 되며, 일련번호는 유일하며, 연속적이고, 복제되지 않으며, 한 번 지정된 번호는 변경되어지지 않는다. 형상식별을 통해 구분된 형상항목은 각각 문서화 하여 정의되며, 사업 전반에 걸쳐 개발기준으로 정의되어 형상관리의 대상이 된다. 다목적실용위성개발 및 정지궤도복합위성 개발에서 정의된 형상 기준 및 식별 방법을 통해 차세대 위성 형상관리를 위한 새로운 형상 기준 및 식별 방법을 알아보고, 관리 시스템을 통한 관리 방법을 제시하였다.

**[P-87] Improved electromagnetic compatibility of power control and distribution unit for satellite**

Chang-Eun Lee, Jae-Woong Jang, Kyung-Duk Jang,  
Tae-Youn Kim

*Korea Aerospace Research Institute*

Satellite electronic devices have close relationships for each other. The electromagnetic links would be a bad influence as the radiated or conductive noise on the devices. The noise can cause significant damage to the satellite system. Therefore, if there are electromagnetic issue linking for every part, the devices should be verified before those devices are merged to the system. In this paper, conductive electric field environments were analyzed through Electromagnetic Compatibility test of PCDU (Power Control and Distribution Unit) for satellite. We observed that the units are normally operated when applying sine wave of 1Vrms on the output cable of those. An uncommon response of the units was evaluated during the test. We also examine the units with sine wave of 1Vrms when the capacitor is added to decrease the injection noise.

**[P-88] Introduction to feature extraction for region based lunar terrain detection on rough terrain**

Hoonhee Lee

*Korea Aerospace Research Institute*

KARI has been developing KPLO(Korea Lunar Pathfinder Orbiter) which is the first lunar probe in Korea. Around the moon without GPS satellites, a lunar probe needs to be able to obtain its location or speed information itself. Typically, planetary landers were designed to acquire images and to figure out their flight movement while landing. However the algorithms for recognizing a shape of terrain are not robust in a uneven terrain where there are many shadows with a variety of shapes. Therefore a good feature selection for recognition is important to apply the algorithm using partially visible terrain images. This paper describes an algorithm based on the image region information as the one of candidate features.



Vol.26 No.1

# **The Proceedings of The Korean Space Science Society 2017 Spring Meeting**

**Editor in Chief**

Yu Yi (Chungnam National University)

**Manuscript Editor**

Suk-Gyeong Kim (KSSS)

April 27-28, 2017



## 차 례

마이컬슨·몰리실험, 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 재해석 .....	68
단속적인 관측 정보를 사용하는 레이저 기반 위성 간 상대 궤도 결정 .....	78

마이컬슨·몰리실험, 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 재해석

권오혁

부경대학교 지질환경연구소

Reinterpretation of the Michelson & Morley experiment, the lorentz transformation and the theory of relativity.

<sup>1</sup>Ohyeok Kwon

<sup>1</sup>Research Institute of Geology and Environment, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea

요약

본 연구는 아인슈타인이 제시한 동시성 실험을 재구성하는 등 다양한 사고실험을 통해 마이컬슨·몰리실험 결과와 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식을 재해석한다. 특히 이러한 사고실험들을 통해 마이컬슨·몰리실험 결과와 상대성이론의 방정식이 상대성 원리와 상충됨을 밝히려 한다. 더하여 뉴턴의 절대공간 관점에서 절대공간에서의 빛의 비관성 운동이라는 가설을 제시하고 그러한 가설이 마이컬슨·몰리실험 결과, 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식 등과 서로 상합될 수 있음을 논증할 것이다. 이 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 본 연구에서 바라보는 우주와 공간, 시간에 대한 기본 가설을 제안한다. 그리고 이러한 관점을 지지하는 다양한 사고실험을 통해 가설의 논거를 제시한다.

Abstract

This study is of an attempt to re-interpret the Michelson & Morley experiment, the Lorentz transformation and the theory of relativity. The result of this study suggests a different interpretation from the current one. This study proposes six hypothesis. 1. The universe is a three-dimensional absolute space. 2. Light travels in the speed of C inside the absolute space and moves in a non inertial motion regardless to the movement of matters. 3. Matters with mass move in inertial motion inside the absolute space. 4. Matter contracts in the direction that is moving inside the absolute space. 5. The speed of matter influences on the vibration of matters and causes time lag. 6. The length contraction, time dilation and the mass increase caused by the movement and gravity inside the absolute space is in accord with Lorentz transformation and the theory of relativity. The reason why speed of light is always measured is a combined effect of all these principles. This study criticizes the relative-space concept and the principle of relativity, and proposes to understand the time dilation, length contraction and mass increase in the perspective from absolute space. To confirm the validity of these hypotheses, the equations of Michelson & Morley experiment and the theory of relativity is revisited and various thought experiments are proposed.

Key words: Michelson & Morley experiment, Lorentz transformation, Theory of relativity, Absolute space, Principle of relativity

1. 서론

본 연구는 다양한 사고실험을 통해 마이컬슨·몰리실험 결과와 로렌츠변환, 상대성이론의 방정식을 새로운 관점에서 해석하고자 한다. 특히 뉴턴의 절대공간 관점에서 세 가지 연구 성과, 즉 빛의 속도가 항상 일정하다는 마이컬슨·몰리실험과 로렌츠변환 그리고 상대성이론의 방

정식이 서로 상합될 수 있음을 밝힐 것이다. 나아가 새로운 사고실험과 그간의 관측결과들이 아인슈타인의 상대성 원리와 상충한다는 사실을 논증하려 하는바, 이 연구결과에 의하면 상대성이론의 방정식은 상대성 원리와 모순된다.

이 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 본 연구에서

바라보는 우주와 공간, 시간에 대한 기본 가설을 제안한다. 그리고 이러한 관점을 지지하는 논거를 제시한다. 이 연구는 마이컬슨·몰리실험 결과를 아인슈타인의 동시성 실험과 결합하여 재해석하고 이외에도 다양한 사고실험들을 제안하고 분석한다. 더하여 상대성이론을 검증하는 측정 및 실험결과들을 검토한다.

**2. 주요 가설 : 우주·공간·시간에 대한 본연구의 관점**

본 연구는 우주가 기본적으로 절대공간과 물질 및 에너지로 구성되어 있다고 판단한다.

이때 절대공간은 뉴턴이 회전하는 물통실험을 통해 입증한 절대좌표계로서 절대공간이다. 절대공간은 단순히 비어있는 무의 존재가 아니라 매우 특징적인 성질을 가진 실체이며 이에 관해서는 뉴턴이 이미 설명한 바 있다.

그리고 물질과 에너지는 이 절대공간에 들어 있는 또 다른 실체이다.

시간은 모든 물질에 대해 동일하게 진행되는 뉴턴의 절대시간이 아니다. 시간은 물질이 가지는 기본 진동(예컨대 원자의 진동)과정이며 물질의 진동은 물질의 운동 상태나 중력의 영향을 받는다. 이런 점에서 공간과 시간은 상호 독립적이며 시간은 공간과 연속되어 있지 않고 물질에 의존한다. 우리는 이러한 본 연구의 관점을 다음과 같이 가설로서 정리할 수 있을 것이다.

- 가설 1. 우주 공간은 (3차원의) 절대공간이다.
- 가설 2. 빛(전자기파)은 절대공간에 대해  $c$ 의 속도로 운동하며 물질의 운동에 대해 관성을 갖지 않는다.
- 가설 3. 질량을 가진 물질(이하 물질)은 절대공간에 대해 관성운동을 한다.
- 가설 4. 물질은 절대공간 상에서의 운동속도와 중력에 따라서 운동 및 중력 방향으로 길이가 수축된다.
- 가설 5. 물질은 절대공간 상에서의 운동속도와 중력에 따라서 자체 진동이 느려지며, 그에 따라 시간지연이 발생한다.
- 가설 6. 물질은 절대공간 상에서의 운동속도와 중력에 따라서 질량이 증가한다.
- 가설 7. 절대공간 상에서의 운동속력 및 중력에 따른 물질의 길이수축, 시간지연 그리고 질량증가의 비율은 로렌츠 변환식과 일반상대성 이론의 방정식과 일치한다.

**3. 가설의 검증**

**3.1 상대성원리(상대공간 개념)의 모순과 절대공간의 타당성**

상대성 원리는 현대물리학의 우주에 대한 인식의 토대를 구성하고 있을 뿐 아니라 현대 사회가 우주공간을 보는 기본 관점이 되었다. 오늘날 상대성원리 가정은 마치 공

리처럼 받아들여지고 있지만 또한 적지 않은 의문점을 내포하고 있다고 할 것이다.

달리는 기차와 그 외부세계 중 어느 쪽이 진짜로 운동하는지 구분할 수 없다는 아인슈타인의 주장은 기존 공간 개념을 완전히 뒤집어 놓았지만 무언가 경험적으로나 상식적 관점에 부합하지 않는다. 기차에 타고 있는 사람이 자신이 움직이는지 외부세계가 움직이는지 분간하기 어렵다고 해서 실제로 기차가 운동하는지 외부세계가 반대 방향으로 이동하는지 판단할 아무런 기준도 없는 것일까? 기차 1대가 달려가는 것이 우주 전체가 반대 방향으로 운동하는 것과 동일하다고 할 수 있을까?

우리는 먼저, 아인슈타인의 동시성 실험과 관련하여 2가지의 사고실험을 제시한다. 그것은 광속에 가까운 속도로 달리는 기차에 타고 있는 사람이 스스로 자신이 운동하는지 반대편의 외부 세계가 운동하는지를 확인하는 방법에 관한 것이다. 만약 기차에 타고 있는 사람이 자신의 운동을 스스로 확인할 수 있다면 상대성 원리는 설득력을 잃을 것이다. 그리고 장롱 속에 들어가 있던 뉴턴의 절대공간론을 재고할 필요가 있을 것이다.

**사고실험 1-1 : 광속 기차의 시계 비교(1)**

아인슈타인의 동시성 실험과 거의 동일한 조건을 활용한 사고실험 방법이다. 기차 맨 앞과 뒤에 각각 시계 A, B를 서로 마주보게 부착한다. 그리고 기차의 중앙에 전등(혹은 레이저장치)을 설치한다. 기차가 정지해 있을 때 기차의 한 가운데 위치한 전등을 켜서 전등 빛이 시계에 닿으면 시계가 작동한다. 그리고 기차의 속력이 광속의 절반(의 등속운동)에 이르렀을 때 전등불을 꺼서 시계를 정지시킨다. 이제 시계 A, B를 한 곳으로 모은다. 2개의 시계가 가리키는 시간이 일치하지 비교해 보자. 아인슈타인의 동시성 실험에 의하면 두 시계의 시간은 각기 다를 것이다. 뒤쪽 시계(B)가 멈춘 시간이 더 빠르고 앞쪽 시계(A)는 나중에 멈추어 시간이 늦을 것이다. (필자는 이를 빛이 기차와 함께 관성운동을 하지 않기 때문에 일어난 현상으로 본다.)

이는 기차에 타고 있는 사람이 기차 외부 세계가 아니라 기차 자체가 운동한 것을 확인할 수 있는 간단한 방법이다. 기차가 운동하지 않고 외부세계가 반대로 이동했다면 기차 안의 시계들 간에 이러한 시간 차이가 일어날 수 없기 때문이다.

그리고 두 시계 간의 시간 차이를 보면 기차가 어느 방향으로 달리고 있는지 그리고 그 속력이 얼마인지를 알 수 있다. 만약 기차의 길이(두 시계간 거리)가 2광초이고 두 시계가 1초의 차이를 보인다면, 이 기차는 시간이 늦은 시계 방향으로 광속의 1/2로 운동하고 있었다고 판단할 수 있다. 이는 마지막 전등 불빛이 앞 시계 A에 닿는

시간  $3/2$ 초( $1$ 광초  $\times \sqrt{3}/2 \times 2 \times \sqrt{3}/2$ )에서 뒤 시계 B에 닿은 시간  $1/2$ 초( $1$ 광초  $\times \sqrt{3}/2 \times 2/3 \times \sqrt{3}/2$ )를 뺀 값이다. (여기서  $1$ 광초는 전등에서 시계까지 거리이며, 첫 번째  $\sqrt{3}/2$ 은 기차의 길이수축 효과이다. 다음의  $2$  혹은  $2/3$ 은 빛과 기차가 운동함에 따라 빛과 시계가 서로 만나는 시간의, 전등과 시계 사이 거리에 대한 비율이다. 마지막  $\sqrt{3}/2$ 은 시간지연 효과를 나타낸다.)

사고실험 1-2 : 광속 기차의 시계 비교(2)

사고실험 1과 비슷한 사고실험이다. 이번에는 기차가 광속의 절반으로 등속 운동을 하고 있을 때 기차의 중앙에서 전등불을 켜다. 전등 불빛이 기차 앞뒤 편에 설치된 시계 A, B에 닿으면 광전효과에 의해 시계가 작동을 시작한다. 이제 기차를 정거장에 멈춘 후 두 시계를 가운데로 가져온다. 어느 시계의 시간이 더 많이 지나갔을까? 이번에도 기차의 뒤편에 있는 시계 B가 조금 더 지나갔을 것이다. 왜냐하면 빛이 기차 뒤편 시계 B에 먼저 닿기 때문이다.

이는 기차에 타고 있는 사람이 자신이 탄 기차가 어느 방향으로 운동했는지 알 수 있는 또 하나의 간단한 (그러나 실제로 측정하기는 어려운) 방법이다. 아인슈타인의 상대성원리는 물체가 관성운동을 할 경우 자신의 관성계가 운동하는지, 외부 세계(반대편 관성계)가 반대방향으로 운동하는지 알 수 없다고 전제하지만, (단순 관찰만으로 명확히 구분하기 어렵다 하더라도) 이와 같은 확인 가능한 방법이 실재하는 것이다.

이 경우에도 두 시계의 시간 차이를 보면 기차가 어느 방향으로 달리고 있는지 그리고 그 속력이 얼마인지 파악할 수 있다. 만약 기차의 길이(두 시계간 거리)가  $2$ 광초이고 두 시계가  $1$ 초의 차이가 난다면, 전등을 켜 때 기차는 시간이 늦은 시계 방향으로 광속의  $1/2$ 로 달리고 있었다고 할 것이다. 그것은 빛이 앞 거울 A에 닿는 시간  $3/2$ 초에서 뒤 거울 B에 닿은 시간  $1/2$ 초를 뺀 값이다. 구체적인 계산방법은 사고실험 1-1의 경우와 대략 동일하다.

사고실험 1-3 : 광속 기차의 천정 거울에 레이저 쏘기  
 광속에 가까운 속도로 달리는 기차 안에서 천정을 향해 레이저 빛을 쏘는 경우를 생각해 보자. 만약 기차가 멈춰 있다면, 기차 내 실험자는 기차의 수직 천정을 향해 레이저 빛을 쏘면 천정에 부착된 거울에 빛이 반사되어 원점으로 돌아올 것이다. 하지만 기차의 속력이 빨라져서 광속에 가깝게 되면, 천정에 부착된 거울에 빛을 반사시키기 위해서는 수직 위 방향이 아니라 앞쪽 방향으로 비스듬히 레이저 빛을 쏘아야 한다.  
 예컨대 광속의  $1/2$  속력으로 달리는 기차에서는 지면에

대해 전방  $60^\circ$  방향으로 쏘아야 하며 기차의 속력이 빠르면 빠를수록 더 낮은 각도로 레이저 빛을 쏘아야 수직 천정에 있는 거울을 맞출 수 있고 빛이 다시 원점으로 돌아올 수 있다. (말하자면, 기차 안에 있는 사람은 전방  $60^\circ$ 로 빛을 쏘아야 빛이 수직 상승 하강 운동을 한 것으로 보게 된다.)

이는 광속에 가까운 속도로 운동하고 있는 사람이 외부 세계가 아니라 자신의 우주선이 앞쪽으로 운동하고 있음을 확인할 수 있는 방법이다. 왜냐하면 기차 밖 외부세계에 있는 사람들에게는 그런 일이 일어날 수 없으며 또한 외부세계가 이동할 경우에는 기차 안에서 일어날 수 없는 현상이기 때문이다.

사고실험 1-4 : 광속 기차에서의 마이컬슨-몰리실험

마이컬슨-몰리실험은 지구라는 우주선에 실린 마이컬슨-몰리간섭계를 활용한 실험이다. 이제 아인슈타인의 동시성 실험 기차에 마이컬슨-몰리실험 장치를 실어보자. 마이컬슨-몰리실험 장치를 기차의 전후방향과 상하방향으로, 한글의  $\perp$ 자 형태로 고정시킨다.

기차가 정지해 있을 때 광원에서 빛을 쏘면 빛의 절반은 반투명 유리판을 통과하여 직진한 후 전방 거울에 반사되어 되돌아 올 것이고 빛의 절반은  $90^\circ$ 로 꺾여서 수직으로 날아갔다가 상부 거울에 반사되어 유리판으로 돌아 올 것이다. 이때 유리판은 광원으로부터 빛이 진행되는 방향에  $45^\circ$ 로 설치한다.

이제 기차의 속력을 높인 후 같은 실험을 해보자. 앞의 사고실험에서와 같이 기차의 속력이 빨라지면, 마이컬슨-몰리실험 장치의 수직 상부에 설치된 거울에 빛을 반사시키기 위해서는 반투명 유리판의 각도를 조정해야 한다. 광원을 떠나 반투명 유리에서 반사된 빛이 수직 위 방향이 아니라 앞쪽 방향으로 비스듬히 날아가야 마이컬슨-몰리 실험장치의 상부 거울에 닿을 수 있고 반투명 유리판으로 되돌아올 수 있는 것이다.

그렇다면 반투명 유리판의 설치방향을 반사각에 맞추어야 할 것이다. 기차가 정지해 있을 때는  $45^\circ$ 로 설치했지만, 기차의 속도에 따라 반투명 유리판의 설치 각도를 조금씩 변화시켜야 하는 것이다. 기차가 광속의  $1/2$ 로 달리는 경우에는 광원으로부터의 빛의 진행방향에 대해  $30^\circ$ 로 반투명 유리판을 조정해야 빛이 전방  $60^\circ$  방향으로 꺾여서 상부 유리에 반사될 수 있다. 이제 광원에서 빛을 쏘면 빛의 일부는 유리판을 통과한 후 직진할 것이고 나머지 빛은 지면에 대해 전방  $60^\circ$  방향으로 꺾여서 올라갈 것이다. 이때 직진한 빛은 전방 거울에 반사되어 되돌아 올 것이고  $60^\circ$ 로 꺾여서 올라간 빛은 상부 거울에 반사되어 유리판과 다시 만날 것이다. 물론, 기차 안에 있는 사람에게 빛은 수직 왕복한 것으로 보인다.

이 사고실험은 아인슈타인이 제안한 동시성 실험과 마이컬슨-몰리실험을 혼합한 것인데, 여기서 놓치지 말아야 할 중요한 사실이 있다. 이러한 실험과정에서 기차 안에 있는 사람이 자신의 운동 상태를 알 수 있다는 것이다. 기차 안에서 빛의 경로가 수직 상승 하강한 것으로 보일 지라도 마이컬슨-몰리 실험장치(특히 유리판의 각도)를 조정하는 과정에서 외부세계가 아니라 자신과 자신이 탄 기차가 운동하고 있다는 사실을 확인할 수 있는 것이다. 더하여 반투명 유리판의 반사 각도에 따라 기차의 운동 속도도 가능할 수 있을 것이다.

사고실험 1-5 : 달리는 기차에서 본 시계

기차가 A역을 출발하여 B역을 향해 달려간다고 가정해보자. A역과 B역 사이 거리는 1광초(light second)이며 선로는 직선이다. A역과 B역에 각각 시계 A, B를 마주 보게 배치하고 양역의 가운데 지점에 전등을 설치한다. 그리고 양역의 가운데 지점에서 선로에 수직선을 그어 양 역간 거리의 3.600배 거리(즉 3.600광초 거리)에 시계 C를 설치한다.

이제 전등이 켜지면 이 전등 불빛을 받는 순간부터 세 시계가 작동을 시작한다. 전등 빛이 켜지고 0.5초 후에 양쪽 역의 시계 A, B가 작동을 시작하고 1시간 후에는 시계 C가 움직이기 시작할 것이다. A역에서 보면 시계 B는 시계 A보다 1초 늦은 것으로 보이며 시계 C는 1시간 59분 59.000085초 늦은 것으로 보인다. 하지만 어디에서 보나 이 시계들의 진행속도는 모두 동일하다.

모든 시계가 작동한 것을 확인한 후 시계 A가 2시를 가리킬 때 기차를 출발시켜 보자. A역에서 볼 때 시계 B는 1시 59분 59초를 가리키며 시계 C는 0시 0분 0.000015초를 가리킬 것이다. 기차가 출발할 때 기차 안에서 본 3개 시계의 시간은 A역에 있는 사람이 (기차 밖에서) 본 시간과 당연히 같다.

이제, 기차가 A역에서 B역으로 등속(예컨대 광속의 1/2)으로 달려간다. (기차가 가속운동을 하더라도 달라질 것은 없지만 설명의 편의를 위해 일단 등속운동을 하는 것으로 가정한다.) 특수상대성 이론에 의하면 기차 외부에서 기차를 보면 기차의 길이가  $\sqrt{3}/2$ 만큼 수축하고 기차 내 시계의 진행속도도  $\sqrt{3}/2$ 만큼 느리게 가는 것으로 보인다. (이 점은 이미 과학적으로 입증된 것이다.) 기차가 종착역에 닿은 후 기차에 탄 사람이 자신의 시계를 보면 2초가 아니라  $\sqrt{3}$ 초가 흘러갔을 것이다.

이때 기차 안에서 외부의 시계들(A, B, C)을 보면 어떻게 보일까? 상대성 원리에 따르면 기차가 달리고 있을 때 기차 안에서 밖을 보면 기차 바깥의 시계 A, B, C가 느려진 것으로 보인다고 한다. 과연 그럴 것인가?

기차가 빛의 1/2 속력으로 달릴 때 기차 안에서 기차역의 시계 A를 보면 시계 A가 기차 내 시계보다 느리게

가는 것으로 보일 것이다. 이 기차가 시계 A로부터 광속의 1/2로 멀어지고 있어서 시계 A의 빛이 기차에 닿는 시간이 점점 늦어지기 때문이다. 이 기차가 B역에 도착하여 출발역 시계 A를 보면 2시 0분 1초를 가리킬 것이다. 즉 1초만 흐른 것으로 보인다.

하지만 달리는 기차에서 시계 B를 보면 시계 B는 기차 내 시계보다 빨리 가는 것으로 보인다. A역에서 기차가 출발할 때 시계 B는 1시 59분 59초를 가리키고 있었는데 B역에 도착해서 시계 B를 보면 2시 2초가 되어 있을 것이다. 출발역에서 시계 A를 볼 때부터 3초가 지난 것이다.

이 기차의 승객은 잠시 어리둥절하겠지만 곧 모든 상황을 알아차리게 될 것이다. 자신이 1광초의 거리를 광속의 1/2 속력으로 달려왔으며, A, B 두 시계의 시간경과를 평균하면 2초가 되는 것이다. 2초의 시간은 기차가 실제로 달려간 시간과 동일한 것인데, 이를 통해 우리는 기차 밖에서는 시간 지연효과가 나타나지 않았음을 알 수 있다.

그러면 기차 승객에게 시계 C는 어떻게 보일까. 우선 기차 밖에서 시계를 볼 경우를 생각해 보자. 시계 C는 A역과 B역으로부터 동일한 거리에 위치함으로 A역에서 보든지 B역에서 보든지 시간이 일치한다. 그리고 시계의 시간 흐름도 어느 시계와 다를 바 없이 동일하게 관측된다.

그런데 이 점은 기차 안에서도 다르지 않다. 기차가 A역을 출발할 때 시계 C를 보면 0시 0분 0.499965초를 가리킬 것이다. 이제 B역에 도착하면서 시계 C를 보면 0시 0분 2.499965초가 된다. 기차가 A역에서 B역에 도착하기까지 시계 C는 총 2초가 경과한 것이다.

결국, 기차 안에서 볼 때 기차 밖의 시계 C는 느려지지 않는다. 기차 내 시계가 총  $\sqrt{3}$ 초가 걸린다면 기차 밖의 시간은 기차 안보다 빠르게 흐르는 것이다. (물론 기차가 A, B 역의 가운데 지점에 이를 때까지 시계 C가 극히 미세하나마 조금 더 빨리 가다가 이후에는 조금 느려질 것이다. 그러나 이는 거의 무시할 정도이며 결국 상쇄되어 버린다.) 종합해보면, 달리는 기차 안에서 본 외부의 시계 A, B, C의 평균적 시간 경과 2초이며 기차 밖의 시계가 느려지는 일은 일어나지 않는다.

이 사고실험 결과는 상대성 원리에 대한 직접적인 비판이자 반증이 된다. 시간지연은 운동하는 물체에서만 일어나며, 운동하는 물체의 외부 세계 전체가 반대편으로 운동하거나 그로 인해 시간지연 효과가 발생하지 않는 것이다. 결국, 기차가 달려간다고 하더라도 기차 밖 외부의 시계들이 느려지는 일은 없다. 지구상에는 수많은 기차가 있고 다른 교통수단들과 움직이는 물체들이 존재하는데 그 모든 것들에 대응하여 지구상의 시계들이 늦어

지거나 빨라질 수는 없는 일이다. 그렇다면, 이 가정에 기초한 상대성 원리, 상대공간 개념은 당연히 부정된다.

이상의 사고실험들은 거의 광속에 가까운 운동을 전제했지만 여하튼 등속운동하고 있는 사람이 외부세계가 아니라 자신이 운동한다는 사실을 확인할 방법이 있음을 말해준다. 그리고 시계와 각도계가 보다 정밀해지면 보다 낮은 속도에서도 실험과 측정이 가능해질 것이다. 실제로 최근 미국에서는 30억년에 1초만 달라지는 시계를 활용하여 자전거가 시간지연을 일으키는지를 확인한바 있다. 위의 사고실험 1-1과 1-2(동시성 실험)는 멀지 않아서 제트기나 우주선에서 실험과 측정이 가능한 모델이 될 것이다.

그리고 위의 사고실험들은 모든 운동하는 관성계는 서로 상대적이며 절대적인 운동 기준이 존재하지 않는다는 상대성 원리를 부정하는 것으로 볼 수 있다. 이는 상대성 이론이나 상대성 이론의 방정식을 부정하는 것이 아니다. 오히려 상대성 이론이나 방정식이 상대성 원리를 토대로 해야 할 필요가 없으며 오히려 그것과 상충됨을 지적한다. 그리고 상대공간 개념을 대체할 뉴턴의 절대공간론에 대해 재고하게 한다.

**3.2 길이 수축 : 공간수축 vs 물체수축**

운동하는 물체에 있어서 길이수축은 물체의 길이가 수축하는 것일까 아니면 공간이 수축하는 것일까? 아인슈타인은 운동하는 좌표계가 수축한다고 전제함으로 물체와 공간이 함께 수축하는 것이라고 설명한다.

특수상대성 이론의 방정식은 실제로 관성계 전체가 수축되는 인상을 갖게 한다. 특히 상대성 원리 혹은 상대공간을 가정하게 되면, 움직이는 물체의 입장에서는 나머지 전체 우주가 수축되거나 시간이 지연되는 것으로 보이게 된다. 그렇다면 물질과 함께 공간도 수축되는 것이다. 그러나 마이컬슨·몰리실험과 특수상대성 이론의 방정식을 결합해보면 움직이는 물체에 있어서 수축되는 것은 공간이 아니라 물체 자체임을 알 수 있다.

**사고실험 2-1 : 우주선에서의 마이컬슨·몰리실험(1)**

사고실험 1-4에서와 같이 마이컬슨·몰리의 실험장치를 우주선에 싣었다고 해 보자. 이 장치의 한쪽은 우주선의 앞 방향을 향하고 다른 쪽은 우주선의 수직 위쪽을 향한다. 이 실험장치는 양쪽으로 1광초(light second)의 길이를 가지고 있다.

우주선이 정지해 있을 때 레이저 빛을 쏘면 빛은 반투명 유리판을 통과하거나 반사되어 양편으로 날아간 후 다시 돌아올 것이다. 빛이 반투명 유리판으로 돌아왔을 때 빛의 운동거리와 시간은 동일하며 각각 2초가 걸린다.

이번에는 우주선의 속력이 광속의 1/2에 이르렀을 때 레이저 빛을 쏜다고 해보자. 이때, 사고실험 1-4에서와 같이 마이컬슨·몰리 실험장치의 반투명 유리판은 광원으로 부터 빛의 진행방향에 대해 30°로 설치한다. 빛은 유리판에서 분할되어 우주선의 앞 방향과 전방 60° 방향으로 날아갈 것이다.

우주선의 외부에서 볼 때, 우주선의 앞 방향으로 날아간 빛은 우주선이 정지해 있을 때보다 먼 거리를 운동한 후 돌아오게 된다. 우주선의 길이수축 효과를 감안하지 않는다면 빛은 우주선 앞에 있는 거울에 닿는데 2초가 걸릴 것이며 반사되어 돌아오는데 2/3초가 소요된다. 즉, 총 8/3초가 걸린다. 그런데 로렌츠변환과 특수상대성 이론에 의하면 광속의 1/2로 운동하는 물체(혹은 좌표계)는 길이가 전후방으로  $\sqrt{3}/2$ 만큼 수축된다. 따라서  $8/3 \text{ 초} \times \sqrt{3}/2 = 4/\sqrt{3}$ , 총  $4/\sqrt{3}$ 초의 시간이 걸리게 된다. 이는 우주선이 정지해 있을 때 빛이 왕복 운동하는 시간 2초 보다  $2/\sqrt{3}$ 배만큼 늘어난 것이다.

하지만 우주선에 타고 있는 사람에게 두 빛은 모두 2초 만에 돌아온 것으로 관측된다. 이는 우주선 내에서는 시간 팽창이  $2/\sqrt{3}$  만큼 일어나기 때문이다. 즉,  $4/\sqrt{3} \times \sqrt{3}/2 = 2$  가 되는 것이다.

이번에는 마이컬슨·몰리 간섭계에 있어서 상부 거울을 향해 날아간 빛의 운동을 생각해 보자. 전방 60° 방향으로 날아간 빛의 왕복 운동거리는 우주선이 정지해 있을 때 상하로 왕복한 거리보다 당연히 길다. 우주선의 운동 속도가  $1/2c$ 라면 빛의 왕복 운동거리는  $4/\sqrt{3}$ 가 될 것이다. 그것은 우주선이 정지해 있을 때보다  $2/\sqrt{3}$ 배 길어진 것이다.

물론, 이는 외부에서 관찰할 때 나타나는 현상이고, 우주선 내부에서는 빛의 왕복시간이 다르게 측정된다. 우주선 내에서 빛의 왕복시간은 2초가 되는데, 그것은 우주선 내 시간지연 효과로 설명이 가능하다. 우주선이  $1/2c$ 의 속도로 날아간다면 우주선 내에서는 시간 팽창이  $2/\sqrt{3}$ 배 만큼 일어나고  $4/\sqrt{3} \times \sqrt{3}/2 = 2$  가 되는 것이다. 결국 우주선 내 마이컬슨·몰리 간섭계에서는 양방향의 빛이 동시에, 그것도 마이컬슨·몰리 간섭계가 정지해 있을 때와 같은 속도(c)로 돌아오게 되는 것이다. 그것은 우주선의 속도를 더 높이거나 낮추더라도 항상 동일하다.

그런데 이 두 빛의 운동을 설명하는데 있어서 중요한 차이가 있다. 전자의 경우에는 길이수축과 시간지연 효과를 적용한 반면 후자는 시간지연 효과만 적용하고 길이수축 효과는 적용하지 않은 것이다. 여기서 우리가 갖게 되는 의문은 왜 전자의 경우에만 시간지연과 함께 길이수축 효과가 동시에 작용하고 후자에 대해서는 시간지연만 작용하느냐는 것이다.

전자(빛의 전후방 왕복운동)의 경우 두 가지 가능성을 생각해 볼 수 있다. 우주선이라는 물체만 진행방향으로 수축되거나 우주선 및 우주선 내의 공간을 포함하는 관성계(혹은 좌표계)가 진행방향으로 수축된 경우가 그것이다. 그런데 이 둘 중 어떤 경우라도 광원과 거울 간의 거리가 줄어들어 빛의 왕복 운동 거리가 단축된다. 결국, 빛의 왕복시간에 동일한 영향을 미치게 된다.

이제 빛이 전방 60° 방향으로 운동하여 반사되어 돌아오는 후자의 경우를 생각해 보자. 전방 60°로 날아가는 빛은 마이컬슨-몰리 간섭계의 상부에 부착된 거울에 반사된 후 다시 하강하여 반투명 유리판과 만나게 된다. 이 때, 빛의 이동경로는 수직 방향만이 아니며 전방으로의 운동도 포함되어 있다. 그렇다면 이 경우에도 우주선의 진행방향으로의 길이수축 효과가 적용되어야 할 것이다.

길이수축을 보는 관점을 운동하는 물체의 수축과 운동하는 좌표계(관성계) 수축으로 구분해 본다면, 우주선이라는 물체만 진행방향으로 수축되는 상황에서는 우주선의 길이수축은 빛의 이동경로에 어떤 영향도 미치지 않을 것이다. 빛의 운동이 우주선의 길이수축과 관계없이 진행될 것이기 때문이다. 고속으로 날아가는 우주선 내에서 시간지연 효과만이 영향을 미치고 길이수축 효과는 작용하지 않는다면, 마이컬슨-몰리간섭계의 실험결과와 일치한다.

이에 대해 우주선 및 우주선 내의 공간을 포함하는 좌표계(관성계)가 진행방향으로 수축된다면 상황이 달라진다. 이는 아인슈타인의 상대성 원리가 상정하는 것인데, 빛이 공간을 따라서 이동한다면 - 아인슈타인에 의하면 빛은 공간을 따라 운동하며 공간이 휘거나 구부러지면 빛의 경로로 휘거나 구부러진다 - 공간을 포함한 좌표계의 수축은 빛의 이동경로에 영향을 미칠 것이다. <그림>에서 보듯이 우주선의 길이수축은 물체만의 수축이 아니며 우주선 내 공간의 수축을 포함한다. 그렇다면 빛은 수축된 공간을 따라서 우주선 진행방향에 대해 60°보다 큰 각도(약 67°)로 운동할 것이며 결과적으로 빛의 왕복운동 거리가 단축될 것이다. 그렇다면 빛의 왕복운동 시간도 단축될 것인데, 여기에 시간지연 효과를 적용하면 2초보다 짧아진다. 즉, 우주선 내에 있는 사람에게 빛의 속도가 c를 초과하는 것으로 관측되어야 한다. 또한, 마이컬슨-몰리간섭계 상에서 양쪽으로부터 빛이 돌아온 시간이 일치하지 않게 될 것이다.

이러한 결과는 명백히 마이컬슨-몰리실험 결과에 배치되는 것이다. 즉, 마이컬슨-몰리실험 결과는 운동하는 물체에 있어서 길이수축이 물체 자체에서 발생하는 것이며, 좌표계 자체의 수축이나 좌표계 내의 공간 수축을 의미하지 않음을 보여준다.

사고실험 2-2 : 우주선에서의 마이컬슨-몰리실험(2)

이번에는 마이컬슨-몰리 실험장치를 우주선에 비스듬히 실었다고 가정해 보자. 이 장치의 한 쪽은 우주선의 진행방향에 대해 30°로, 다른 쪽은 우주선의 진행방향에 대해 60°를 향하게 설치한다. 여기서도 이 실험장치는 양쪽으로 1광초의 길이를 가지고 있다.

우주선이 정지해 있을 때 레이저 빛을 쏘면 빛은 반투명 유리를 통과하거나 반사되어 양편으로 날아가고 후 거울에 반사되어 2초 만에 돌아올 것이다. 빛이 반투명 유리로 돌아왔을 때 양쪽 빛의 운동거리와 시간은 동일하다.

이제 우주선의 속력이 광속의 1/2에 이르렀을 때 레이저 빛을 쏜다고 가정해 보자. 이번에는 마이컬슨-몰리장치의 양편에 붙어있는 거울을 향해 날아가는 빛이 정확히 반사되게 하기 위해서는 반투명 유리판만으로는 부족하다. 왜냐하면 빛의 방향을 양쪽 모두 바꾸어 주어야 하기 때문이다. 그래서 반투명 유리판을 삼각기둥 모양의 양면 거울(이하 삼각기둥 거울)로 대체한다. 이 거울의 각도는 적이 조정해야 하며 이때 광원의 위치도 바꿀 필요가 있다. 기차 바닥에서부터 광원과 거울의 높이를 일치시키고 광원에서 레이저 빛을 거울을 향해 우주선의 진행방향으로 쏜다면, 거울은 수평방향에 대해 각각 약 31.6°와 약 -16.8°로 조정한다. (물론 훨씬 더 정밀한 값을 구해서 장치를 해야 할 것이다.)

준비를 완료한 후 광원에서 레이저 빛을 쏘면 삼각기둥 거울에서 반사되어 각기 마이컬슨-몰리장치의 양편 끝에 부착된 거울로 날아가는 것이다. 그리고 두 거울에 반사되어 삼각기둥 거울로 다시 모이게 된다.

우주선의 외부에서 볼 때, 양 방향으로 날아가는 빛은 우주선이 정지해 있을 때보다 먼 거리를 운동한 후 돌아온다. 그것은 사고실험 2-1로부터 쉽게 유추될 것이다. 이제, 빛의 이동거리를 계산해 보자. 먼저 우주선과 마이컬슨-몰리 실험장치의 길이수축 효과를 적용해야 할 것인데 이 실험장치는 우주선과 함께 전후 방향으로  $\sqrt{3}/2$ 만큼 길이가 수축된다. 그에 따라서 우주선의 진행방향에 대해 60°로 설치된 '빛 통로'는 약 63.3°의 각도를 가지게 되고 우주선의 진행방향에 대해 30°로 배치된 '빛 통로'는 약 33.7°의 각도가 된다. 삼각기둥 거울로부터 양편 거울까지 수평방향 거리는 각각  $\sqrt{3}/4$ 과  $3/4$ 으로 축소된다.

60° 방향으로 설치된 빛 통로에 있어서의 빛의 운동을 먼저 분석해 보면, 삼각기둥 거울로부터 날아가는 빛은  $5/2\sqrt{3}$ 초 후에 상부 거울에 닿게 된다. 이 빛은 거울에 반사된 후 수직으로  $\sqrt{3}/2$  광초를 낙하하여 다시 삼각기둥 거울과 만난다. 빛의 총 운동시간은  $4/\sqrt{3}$ 초이다. (물론, 우주선 내에 있는 사람은 빛이 2초 만에 돌아온 것으로 보게 되는데 로렌츠변환에 의해  $2/\sqrt{3}$ 만큼 시간

팽창이 일어나기 때문이다. 즉,  $4/\sqrt{3} \times \sqrt{3}/2 = 2$  이다.)

우주선의 진행방향에 대해 30°로 방향으로 설치된 빛 통로로 날아간 빛은 어떻게 될까? 이 빛 역시 삼각기둥 거울을 출발하여 전후방향으로  $\sqrt{3}/2$ 배 수축된 '빛 통로'를 거쳐  $1/2 + 2/\sqrt{3}$  초 만에 반사 거울까지 날아간다. 그 후  $2/\sqrt{3} - 1/2$  초간 삼각기둥 거울로 되돌아온다. 빛의 운동시간은 총  $4/\sqrt{3}$ 초이다. (이 경우에도 우주선 내에 있는 사람은 시간지연 효과에 의해 빛이 2초 만에 돌아온 것으로 보인다.)

이 사고실험 결과는 길이수축의 본질과 관련하여 아주 중요한 함의를 가지고 있다. 이 사고실험에서 실험장치의 길이수축, 즉 물체의 전후방 길이수축만 적용하면 광속의 항상성, 그리고 동시성 문제가 완전히 해결되기 때문이다. 여기에서 우주선 내의 좌표계(공간)수축 효과를 적용하거나 좌표계 수축에 따른 빛의 운동경로 조정 등을 고려할 경우, 광속의 항상성이 유지되지 않으며 마이컬슨-몰리 실험 및 동시성 실험 결과와도 상치하게 된다. 결국 우주선의 운동은 우주선과 우주선 내부 물체의 길이수축을 가져올 뿐 좌표계나 공간의 길이수축을 수반하지 않음을 알 수 있다.

사고실험 2-3 : 앞뒤 동체가 체인으로 연결된 우주선 우주공간을 등속으로 날아가는 우주선의 앞뒤 부분이 체인으로 연결된 경우를 가상해 보자. 이 체인은 상당히 길며 우주선의 앞 동체와 뒤 동체를 튼튼하게 연결해준다. 우주선을 '이동하는 좌표계'라는 관점에서 본다면 이 우주선 전체가 하나의 '이동하는 좌표계'가 될 것이다. 상대성 원리에 의하면 이 좌표계는 나머지 우주에 대해 상대운동을 하고 있다.

만약 이 우주선이 광속에 가깝게 운동한다면 우주선 전체의 길이는 수축될 것이다. 우주선 앞 동체부분, 체인, 뒤 동체부분 모두 길이수축이 일어날 것이다. 이제, 우주선의 앞 동체가 속도를 줄인다고 생각해 보자. 우주선의 앞뒤 동체를 연결하는 체인이 앞에서부터 구부러질 것이다. 앞 동체의 속도변화가 체인으로 전달되는 과정은 점진적으로 진행될 것인데, 이 과정에서 체인의 개별 고리들은 운동방향과 속도가 모두 달라질 것이며 제각기 혼란스러운 운동을 하게 된다. 그리고 이는 마침내 뒤 동체에까지 전달될 것이다.

이제 혼란스럽게 움직이는 체인고리들의 운동 상태와 길이수축을 생각해 보자. 그것들은 각기 다른 방향과 속력으로 운동을 하고 있으므로 각각이 운동방향으로 길이수축을 일으킬 것이다. 이러한 길이수축을 체인고리라는 개별 물체의 수축으로 보면 그다지 문제될 것이 없다. 그러나 상대성원리의 관점에서 보면 이 체인고리들은 각

기 '이동하는 좌표계'로 간주되며 이 경우 문제가 전혀 달라진다. 각각의 체인고리가 별개의 좌표계라면 체인고리들이 서로 엉켜서 운동함으로써 좌표계의 영역을 구분하기가 곤란해지는 것이다. 더구나 체인고리들이 서로 부딪히면서 각기 조금씩 비틀리거나 진동을 하고 있다고 해보자. 좌표계는 어떻게 되며 좌표계의 길이수축에 따른 체인고리의 길이수축은 어떻게 될까?

이 문제를 조금 더 극단화시켜 보자. 이번에는 우주선의 앞뒤 동체를 철선으로 연결했다고 가정한다. 앞에서와 같이 등속운동을 하던 우주선의 앞 동체가 속도를 조금 줄인다. 그 힘은 철선의 앞부분으로 전달될 것이며 철선의 앞부분이 휘기 시작할 것이다. 그리고 마침내 철선 전체에 이 힘이 작용하여 철선 전체가 구부러지고 요동을 칠 것이다.

이 상황에서 철선의 모든 부분(원자)은 각기 다른 방향과 속력으로 운동을 할 것이며, 그에 따라 모든 부분(원자)들이 제각각 운동방향으로 길이가 수축될 것이다. 이러한 길이수축 현상을 물질(원자)의 길이수축으로 이해하면 과히 문제될 것이 없다. 각각의 원자들의 길이가 운동방향으로 수축되며 운동방향과 속도가 바뀔 때 따라 수축방향과 수축 정도가 달라진다고 볼 수 있다.

그러나 상대성원리의 관점에서 보면 문제는 매우 복잡하고 난해해진다. 이 관점에서는 철선의 모든 개별 원자들의 운동속도와 방향이 조금씩 다르기 때문에 개별 원자들을 각기 '이동하는 좌표계'로 간주하지 않을 수 없게 된다. 각각의 원자들이 각기 좌표계가 되어 길이가 수축될 뿐 아니라, 운동방향과 속도가 달라짐에 따라 계속해서 수많은 좌표계가 수축방향과 수축 정도가 달라져야 하는 것이다.

이때 관성계가 공간을 포함하는 것이라면 공간이 소규모로 나뉘어져서 어지럽게 요동치고 있다는 결과가 된다. 물체의 운동이 관성계를 가진다는 개념은 물체가 공간을 내재한다는 의미로 전환될 수 있는데, 개별 원자의 운동이 각기 다른 상황에서는 수많은 좌표계와 공간이 춤추듯 움직인다는 비현실적인 결론에 이르게 된다.

사고실험 2-4 : 앞뒤 동체가 쇠막대로 연결된 우주선 우주공간을 날아가는 우주선의 앞뒤 동체가 긴 쇠막대로 연결된 경우를 가정해 보자. 상대성 원리가 상정하듯이 우주선을 '이동하는 좌표계(혹은 관성계)'라고 본다면 우주선 전체를 '이동하는 좌표계'로 볼 수 있을 것이다. 이 좌표계는 나머지 우주에 대해 상대운동을 하는 것으로 간주된다.

우주선이 우주 공간을 날아가면 우주선 앞 동체와 쇠막대 그리고 뒤 동체 모두 길이가 수축될 것이다. 이제, 우주선의 동체와 그것을 연결하는 쇠막대의 앞뒤 연결 편

을 제거해 보자. 겹보기와 관계없이 우주선은 실제로 3부분으로 분리될 것이다. 이렇듯 분리된 우주선은 하나의 좌표계(관성계)라고 할 수 있을까? 상대성 원리 관점에서 본다면, 이들이 모두 같은 방향과 속도로 운동한다면 하나의 관성계(좌표계)가 아니라고 할 수 없을 것이다.

이제 우주선의 세 부분에서 모두 속도를 높여 보자. 참고로, 쇠막대에도 앞뒤에 동력장치가 있어 속도를 높일 수 있다고 가정한다. 그러면 우주선의 세 부분에서 조금씩 더 길이수축이 일어날 것이다. 문제는 이러한 길이수축 결과 우주선의 3부분이 서로 거리를 두고 분리될 것인가 하는 점이다. 운동에 의한 길이수축을 물체의 길이수축으로 보는 관점에서는 당연히 우주선의 3부분이 각기 수축되어 그것들 사이에 거리가 생기게 된다. 하지만 상대성 원리 관점에서는 좌표계 자체가 수축됨으로 우주선의 3부분이 사실상 연결된 것처럼 보일 것이다. 일단 후자와 같은 현상이 일어난다고 간주하고 사고실험을 진행시켜보자.

우주선 앞뒤 동체 사이의 쇠막대의 동력장치를 가동하여 쇠막대가 옆으로 빠져나오게 한다. 우주선의 앞뒤 동체가 일정 거리를 두고 떨어져 있어서 완전히 분리된 것으로 보일 것이다. 하지만 상대성 원리에 의하면 앞뒤 동체가 동일 방향과 속도를 유지한다면 하나의 관성계를 유지하고 있다고 할 것이며, 이는 앞뒤 동체 뿐 아니라 그 사이의 공간(좌표계)이 수축되어 있다는 것이다.

이제, 앞뒤 동체 사이 수축된 공간에 우연히 소행성이 등속으로 지나가는 경우를 생각해보자. 동체 사이 수축된 공간을 통과하는 소행성(과 그 관성계)은 어떤 방향으로 수축될 것인가. 본래 날아가는 방향으로 소행성의 관성계가 수축되어 있었을 텐데, 수축된 좌표계(공간)에 들어감으로써 다른 방향의 길이수축이 동시에 발생할까? 소행성의 일부만이 이 수축된 좌표계(공간)에 들어가고 나머지 부분은 그 바깥쪽을 통과하고 있다면 그 일부만 수축될 것인가?

물체들의 운동으로 인해 수축된 공간(좌표계)에 들어감으로써 물체나 좌표계가 수축되는 것은 현실적으로 타당하지 않지만 상대성이론에도 부합하지 않는다. 물체 두 개가 우주공간 상에서 같은 방향으로 같은 속도로 날아가고 그 사이 공간이 함께 수축한다면, 우주의 양끝에서 미세한 먼지나 소행성이 우연히 동일한 방향과 속도로 운동할 때 그 사이에 들어가는 모든 것들이 수축되어야 할 것이다. 특히 그것이 좌표계의 수축이라면 그 사이에 있는 천체와 물질들도 한꺼번에 일정 비율로 수축되어야 한다. 물론 이런 일은 일어나지 않고 일어날 수도 없다. 이 사고실험이 의미하는 바는 우주공간상의 운동에 따른 길이수축은 물체(물질)의 길이수축이며 공간의 수축 혹은

좌표계의 길이수축이 아니라는 사실이다.

### 3.3 시간 지연 : 시공간은 연속적인가?

아인슈타인이 제안한 상대성 원리(라는 가정)는 절대공간을 부정한다. 그는 상대공간에서는 시간 지연 현상이 어떤 방향으로 움직이는 관성계나 반대방향으로 움직이는 관성계에서 모두 일어날 수 있다고 말한다. 결국 어느 관성계에서 실제로 시간 지연이 일어날지 알 수 없다는 것이다.

그러나 브라이언 그린은 ‘우주의 구조: 공간과 시간, 그 근원을 찾아서’에서 아인슈타인의 특수상대성이론이나 일반상대성이론이 상정하는 공간은 절대시공간이라고 말한다. 아이슈타인 자신은 일반상대성이론의 공간이 마흐의 상대공간과 일치할 것이라고 기대했지만 일반상대성이론의 공간 역시 절대시공간이라는 것이다. 뉴턴의 회전하는 물통은 절대시공간에 대해 회전하며 우주공간에 물질이 전혀 없더라도 회전하는 물통에 담긴 물은 가운데가 오목해진다. 물통과 물은 절대시공간에 대해 회전하고 있다는 것이다.

그렇다면 우리는 뉴턴의 물통실험을 응용하여 이런 사고실험들을 해볼 수 있을 것이다.

#### 사고실험 3-1 : 회전하는 물통에 부착된 시계(1)

무중력 공간에 커다란 빈 물통이 하나 있다. 물통의 상부에 막대를 설치하여 그 한 가운데와 가장자리에다 시계를 부착한다. 그리고 두 시계의 가운데 지점에 전등을 설치한다. 전등이 켜지면 두 시계는 작동을 시작한다. 이제 전등을 켜 후 시계가 작동하면 물통을 회전시킨다. 물통을 점점 더 빠른 속도로 회전시켜 물통의 회전속도가 고속에 이르게 한다. 그리고 나서 회전 속도를 낮추어 완전히 멈춘 후 두 시계를 전등이 있는 위치로 가져와서 비교해 본다.

물통의 가운데에 부착한 시계는 운동하지 않았고 어떤 힘도 받지 않았으므로 시계가 느려지지 않았을 것이다. 이에 대해 물통의 가장자리에 부착한 시계는 물통이 회전함에 따라 전방을 향한 관성운동과 함께 바깥쪽을 향한 원심력을 받았을 것이다. 특수.일반상대성이론에 따르면 그것은 모두 시계의 진행을 지연시킬 것이다.

이는 무엇을 의미하는가? 공간상에서의 물질의 운동이 단순히 상대적이지 않다는 것이다. 만약 우주공간에서의 물질의 운동이 단순히 상대운동이라면 시계의 시간지연 효과는 간단하지 않다. 물통이 회전하지 않고 우주가 반대방향으로 회전했다면 물통의 시계는 둘 다 시간지연이 일어나지 않아야 한다. 그리고 물통이 회전 운동을 한다고 하더라도 그 중심점을 물통의 가운데 잡지 않거나 물통 외곽의 시계를 운동의 중심으로 잡는 것도 가능하다.

이 경우 물통에 부착된 시계 중 어느 것이 얼마나 느려질지 단정할 수 없다. 하지만 그런 일은 일어나지 않는다. 실제로 우주의 무중력 공간에서 팽이 형태의 우주 실험실을 회전시키면 바깥쪽으로 갈수록 원심력이 커지며 중력과 동일한 가속력이 작용한다.

사고실험 3-2 : 회전하는 물통에 부착된 시계(2)

회전하는 물통실험을 조금 더 변형하여 이번에는 물통에 긴 막대를 가로 질러보자. 막대는 물통을 가로질러 양편으로 길게 뻗어 있으며 한쪽 끝에 시계 A를 부착한다. 물통의 회전이 안정된 상태라면 물통과 막대, 시계의 궤적은 일정할 것이다. 이때 시계가 회전하는 궤적의 특정 지점을 잡아서 시계 B를 설치한다. 이 시계는 물통이 회전하여 막대가 돌아오면 시계 A와 부딪히겠지만 그 전까지는 한곳에 고정되어 있다.

이제 물통을 회전시켜 보자. 막대와 시계 A가 시계 B에 다가오기까지, 시계 B는 무중력 상태에서 고정되어 있기 때문에 아무런 시간지연 효과도 없이 작동하고 있을 것이다. 즉, 시계 B가 차지하고 있는 공간에서는 시간지연이 일어나지 않는다.

시계 A가 시계 B에 부딪히려는 순간 시계 B를 제거한다. (예컨대 물통의 하단 방향으로 살짝 이동시킨다.) 그 직후 시계 A가 시계 B의 위치를 차지하게 될 것이다. 시계 A는 관성운동과 원심력을 받음으로 시계의 흐름이 느려져 있다. 말하자면, 시계 B가 있던 위치(공간)는 순간적으로 시간 흐름이 늦어진 것이다. 그리고 이 막대가 지나가면 시간 흐름이 원래 상태로 돌아온다.

이 사고실험은 시계의 시간지연 효과는 공간이 아니라 물질에 의존하고 있음을 보여준다. 만약 시간이 시공간에 의존하거나 시간과 공간이 서로 연속되어 있다면 시계 A가 시계 B의 위치(공간)에 이르는 순간 시계 A의 시간 흐름이 시계 B의 그것에 맞추어졌어야 할 것이다. 그러나 실제로는 시계 B가 설치되어 있던 공간은 시계 A가 다가오기 전까지는 시간지연이 나타나지 않았지만 시계 A가 그 자리를 차지하는 순간 시간 흐름이 늦어진다. 그리고 시계 A가 지나가는 순간 원래의 상태로 돌아오는 것이다. 이는 공간이 아닌 물체(물질) 혹은 물체의 운동이 시간을 결정하고 있음을 의미한다.

물론, 이 문제에 대해 상대성 원리의 관점에서 반론이 있을 것이다. 시계 A가 하나의 좌표계를 형성하고 있으며 이 좌표계가 이동하고 있다는 주장이다. 그리고 이 좌표계는 물체 뿐 아니라 공간도 포함한다는 것이다. 그러나 이러한 논리는 두 가지 점에서 동의하기 어렵다. 먼저, 회전하는 막대는 물통 중심으로부터의 거리에 따라 속력이 모두 다르기 때문에 하나의 관성계나 좌표계를 형성하지 못한다는 것이다. 막대 끝에 달린 소형 시

계(B)도 시계의 모든 부분(원자들)의 속력이 다 다를 것이다. 어디서 어디까지가 하나의 좌표계일까?

그리고 운동하는 물체가 그 내부 공간과 함께 운동한다는 논리도 이해하기 힘든 부분이다. 우주의 모든 물체(물질)들은 공간상에서 조금씩이라도 운동하고 있다고 할 것인데, 물체가 내부공간과 함께 운동을 한다면 물체가 이동하고 난 곳은 공간이 비게 될 것이다. 그리고 물체가 새로 들어온 공간은 물체가 가진 공간과 기존 공간이 중첩되는 문제가 발생한다. 현대물리학, 특히 상대성이론은 공간을 단순히 비어있는 부재의 상태(라이프니츠 관점)로 보지 않고 물질의 운동을 규정하는 등 고유한 특성을 가진 실체로 파악한다. 이 문제에 대해 상대공간론(상대성 원리)은 어떤 대답을 할 수 있을까?

사고실험 3-3 : 소행성이나 운석에 부착된 시계

태양계에는 무수히 많은 행성, 소행성, 혜성, 먼지들이 떠돌아다니고 있다. 지구도 이 중 하나로 간주할 수도 있을 것이다. 지구에서의 시계 속도와 지구 공전 궤도상의 무중력 공간에서의 시간 흐름은 분명히 차이가 있다. 이는 인공위성의 시계를 통해서도 확인된다.

예를 들어 지구 궤도상의 특정 지점에 지구라는 물체가 들어서는 순간을 생각해보자. 이 공간은 지구가 들어서기 전에는 무중력 공간으로서 시간지연을 거의 가지지 않았을 것이다. 그런데 지구가 들어서는 순간 시간 흐름이 급격히 바뀌어 시간지연 효과가 나타난다. 물론, 지구가 지나가면 다시 원래의 상태로 돌아갈 것이다. 여기에 지구의 중력효과까지 감안하면 지구가 이 공간을 지나가는 동안에도 시간흐름은 계속해서 변하게 된다. 이는 무엇을 의미하는 것일까? 시간지연의 독립변수가 어떤 위치의 공간이 아니라 물질 자체라는 사실이다. 지구상에서 시간지연효과는 일관성 있게 진행되지만 지구 궤도의 특정 공간에서는 시간 지연이 돌연히 발생하였다가 사라지는 것이다.

이번에는 태양계를 떠도는 소행성이나 운석에 작은 시계가 부착되어 있다고 가정해 보자. 이 시계는 이 물체들의 운동속도에 따라 시간 흐름이 거의 일정하게 유지될 것이다. 이에 대해 특정 위치의 공간은 그곳에 어떤 물체가 얼마의 속력으로 들어오느냐에 따라 시간 흐름이 달라질 것이다. 말하자면 소행성의 시계는 소행성이라는 물체와 연속적인 시간흐름을 가지는 반면 소행성이 지나간 경로의 공간과는 단절적인 시간 흐름을 보인다는 것이다.

이러한 사실은 공간이 아니라 물질 및 물질의 운동 및 중력 상태가 시간흐름과 직접 연관되어 있음을 말해준다. 적어도 시계의 작동을 중심으로 관측되는 시간 흐름은 물질에 의존한다. 물질의 공간상 운동과 물질의 중력

작용이 시계의 움직임을 지배하는 것이다. 시계의 진행 속도가 그것을 구성하는 물질들의 기본진동에 의해 결정된다고 한다면 물질의 기본 진동은 물질 자체의 상태로 부터 직접적으로 영향을 받는 것이다.

종합컨대, 이 사고실험들은 시간과 공간 그리고 물질 간의 관계에 대해 명확한 함의를 제공한다. 시간이 느려지는 것은 (시계를 포함한) 물질 자체가 가지는 특성에 기인하며 시간과 공간 사이에 직접적인 관련성이 없다는 것이다.

만약 시간과 공간이 직접적으로 연계되어 있고 상호 연속적이라면 길이수축과 시간지연 간에 상호작용이 존재해야 할 것이다. 그러나 운동하는 물체는 시간지연을 일으키지만 시간지연은 물질이 속한 관성계(공간을 포함하는 좌표계)나 그 반대편 관성계와 관계가 없다. 더구나, 앞의 사고실험들에서 살펴본바 물질의 운동은 물질 자체의 길이를 수축시킬 뿐 공간(을 포함하는 좌표계)에 어떠한 영향도 미치지 못한다. 공간은 물질의 운동에 반응하지 않는다. 결국 시간과 공간은 상호 작용하지 않으며 시간지연과 길이수축은 각기 물체(물질)의 상태 변화에 대한 현상적 표현에 불과한 것이다.

#### 4. 결론

이 연구는 마이컬슨·몰리 실험결과와 로렌츠변환 그리고 아인슈타인의 상대성이론의 재해석을 시도한 것이다. 마이컬슨·몰리실험은 우주공간의 어디에서든 빛의 운동속도가 일정하다는 놀라운 결과를 보여주었으며, 이에 로렌츠와 아인슈타인이 물체의 운동에 따른 시간, 길이, 질량의 변화를 수학적으로 정리하여 이 난문을 해명한 것이다. 그런데 아인슈타인은 자신의 상대성이론을 설명하는 과정에서 상대성 원리(상대공간)라는 혁명적인 가정을 도입하였다. 그것은 우주에는 절대 좌표계가 없으며 모든 운동은 상대적이라는 것이다. 그리고 이 아이디어는 지난 100여년간 현대 과학을 지배해 왔다.

이에 대해 본 연구는 다양한 사고실험을 통해 상대성원리(혹은 상대공간 개념)가 없이도 상대성이론이나 마이컬슨·몰리 실험결과가 설명될 수 있으며 오히려 상대성이론의 방정식과 상대성원리가 모순된다고 주장한다. 이 논문은 뉴턴이 주장한 절대공간론의 관점을 토대로 공간, 시간, 물질의 관계에 대한 7가지 가설을 제시하였으며 사고실험 등을 통해 그것의 타당성으로 논증하였다.

필자가 이 연구를 본격적으로 진행할 수 있었던 것은 브라이언 그린의 저서 우주의 구조로부터 중요한 시사점과 도움을 얻었기 때문이다. 브라이언 그린은 현대 물리학의 관점에서 뉴턴의 회전하는 물통실험이 아인슈타인의 상대성 모델에서도 타당하다고 지적하였다. 나아가 그것은 특수상대성이론이나 일반상대성이론 모두에 적용된다는 것이다. 브라이언 그린은 다소 모호하긴 하지만, 뉴턴의 물통은 상대공간이 아니라 절대시공간에 대해 회전한다는 것이다. 현대물리학이 상대공간 혹은 상대성 원리를 반쯤 부정한 것이다.

그런 점에서 이 연구는 현대 물리학의 성취 위에서 진행된 것이다. 하지만 이 논문의 주요 아이디어는 아인슈타인 이전 여러 물리학자들의 제안에 닿아 있다. 특히, 피츠제럴드, 로렌츠의 관점과 상당 정도로 유사하다. 다만 본 연구는 빛의 속성에 관한 아인슈타인의 발견에 따라서 빛의 전달물질로서 에테르를 부정한다. 그리고 로렌츠가 공간, 시간, 물질의 관계를 명확히 설정하지 못했다면 현대 과학의 입장에서 그것들을 재정립하려 하였다.

본 연구 결과는 뉴턴의 시공간론과 아인슈타인의 시공간론의 전향적 통합이라고 할 수 있다. 그것은 양자의 단순한 혼합이라기보다는 뉴턴의 절대공간을 기반으로 하여 운동하는 물질의 변형성, 시간의 물질 의존성 등을 재구성한 새로운 시공간 모델이다.

이 연구의 가설에 의하면 우주는 비교적 간명하며 이해하기 어렵지 않다. 아인슈타인은 평소에 '우주는 단순한 원리에 의해 구성되어 있을 것'이라고 했는데 그러한 기대에 부합하는 것이다.

#### 참고문헌

이열, 시간공간의 물리학, 서울: 홍릉과학출판사 (2003).  
 차동우, 상대성이론, 서울: 북스힐 (2003).  
 브라이언 그린, 박병철 역, 우주의 구조: 공간과 시간, 그 근원을 찾아서, 서울: 승산 (2004).  
 Carroll SM. Spacetime and geometry: an introduction to general relativity, Addison-Wesley (2003).  
 French AE, Special Relativity, New York: Norton (1968).  
 Resnick R. Introduction to Special Relativity, New York: Wiley (1968).  
 Rindler W, Special relativity: kinematics. Scholarpedia, 6(2), 8520 (2011). doi:10.4249/scholarpedia.8520.  
 Rindler W, Special relativity: mechanics. Scholarpedia, 7(1), 10905 (2012).  
 Taler EF, Wheeler JA, Space time Physics, New York: Freeman (1992).

## 단속적인 관측 정보를 사용하는 레이저 기반 위성 간 상대 궤도 결정

이중우, 강대은, 박상영†, 이영로, 김푸름  
연세대학교 천문우주학과

### Laser-based Spacecraft Relative Navigation with Intermittent Observation Data

Jongwoo Lee, Dae-Eun Kang, Sang-Young Park†, Youngro Lee, Pureum Kim  
Department of Astronomy, Yonsei University, Seoul, 03722, Korea

#### 요약

본 연구는 위성 간 상대 궤도 관측 정보를 단속적으로 획득하는 상황에서도 높은 상대 궤도 결정 정밀도를 확보하는 것을 목표로 하며, 배치 필터를 재귀적으로 사용하는 레이저 기반의 정밀 상대 궤도 결정 기법을 제시한다. 제시된 알고리즘은 일정한 시간 동안 상대 궤도 관측 정보를 획득한 후, 배치 필터를 수행하여 사전에 알려진 기준 궤도로부터 일정 시간 동안 획득한 관측 정보를 가장 잘 모사하는 기점 시각에서의 상대 궤도(relative orbit at epoch)를 결정한다. 이후 결정된 기점 시각에서의 상대 궤도를 전파하여, 관측 정보를 획득한 시점들에서의 상대 궤도를 결정한다. 마지막 관측 정보를 획득한 시점에서의 결정된 상대 궤도는 다음 상대 궤도 결정 단계의 기준 궤도(nominal relative orbit at epoch)로 설정된다. 확장 칼만 필터로 대표되는 상대 궤도 결정 기법은 관측 정보를 지속적으로 획득할 수 없는 상황에서 관측 간격이 길어짐에 따라 상대 궤도 결정 정밀도가 저하되는 단점이 있는 반면, 배치 필터 기반의 제시된 알고리즘은 획득한 관측 정보를 후처리(post-processing)함으로써 정밀한 항법 해를 산출할 수 있다. 본 연구 결과는 관측 정보를 단속적으로 획득할 수 있는 시간 간격이 증가할수록 제시된 알고리즘이 확장 칼만 필터를 사용하는 타 알고리즘에 비해 더 정밀한 상대 궤도 결정을 할 수 있음을 보여준다.

#### Abstract

This study presents a laser-based precise relative navigation algorithm using a batch filter recursively when observation data are intermittently obtained. After obtaining observation data via laser during a certain period of time, the proposed algorithm initiates a batch filter to determine the relative orbit at epoch which is best fitted with observation data. The proposed algorithm propagates the determined relative orbit at epoch to determine the relative orbit at the moments when observation data are obtained. The determined relative orbit at the time when the last observation data are obtained is a nominal relative orbit at epoch for the next step. When observation data are intermittently obtained, a relative navigation algorithm represented by Extended Kalman Filter(EKF) is not able to maintain an accuracy of relative navigation solution as the time interval of intermittent observation increases. However, applying post-processing to the observation data, the batch filter-based proposed algorithm is able to provide an accurate solution. As a result, numerical simulations demonstrate that the accuracy of the proposed algorithm becomes more superior to that of the algorithms using EKF as the time interval of intermittent observation increases.

Keywords: Formation Flying, Intermittent Observation Data, Laser Measurement, Relative Orbit Determination

#### 1. 서론

여러 대의 위성이 대형을 이루는 위성 편대 비행 운용에 있어 상대 궤도 결정 알고리즘은 핵심 기술이며, 정밀한 상대 궤도 결정에 대한 연구가 다양하게 진행되어

왔다. 최근에는 상대 항법 해의 정밀도를 높여주는 차세대 관측 기기로 정밀한 거리 정보를 제공하는 레이저가 주목받고 있다(Shaddock 2008; Sheard et al. 2012; Flechtner et al. 2012).

상대 궤도 결정의 정밀도를 높이기 위해 확장 칼만 필터를 활용한 레이저 기반 실시간 궤도 결정 시뮬레이션이 수행된 바가 있다(Wang et al. 2011; Jung et al. 2013). 레이저를 사용하여 위성 간 상대 거리를 측정할 때 레이저는 상대 위성을 지속적으로 지향해야 한다. 하지만 위성 간 상대 거리가 충분히 멀 경우, 상대 위성에 대한 레이저의 지향 정밀도가 낮아 지속적인 관측 정보를 얻을 수 없는 경우가 있다. 관측 정보를 지속적으로 획득할 수 없는 상황에서 관측 간격이 길어짐에 따라 동역학 모델 기반의 예측된 상태벡터의 정밀도가 저하되면서 확장 칼만 필터를 활용한 상대 궤도 결정의 정밀도가 저하되는 단점이 있다.

본 연구는 배치 필터를 재귀적으로 사용하여 위성 간 상대 궤도 관측 정보를 단속적으로 획득하는 상황에서도 높은 상대 궤도 결정 정밀도를 확보하는 레이저 기반 상대 궤도 결정 알고리즘을 제시한다. 제시된 알고리즘은 일정한 시간 내 관측 정보를 획득할 수 있는 시점들에서 모은 관측 정보를 후처리(post-processing)함으로써 상대 궤도를 결정하기 때문에 관측 정보를 단속적으로 획득하는 상황에서도 높은 정밀도를 확보할 수 있다. 이 결과, 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 증가할수록 확장 칼만 필터 기반의 상대 궤도 결정 알고리즘보다 정밀도가 더 높은 항법 해를 산출할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 배치 필터를 재귀적으로 사용하는 레이저 기반 상대 궤도 결정 알고리즘을 설명한다. 3장에서는 제시된 알고리즘을 적용한 상대 궤도 결정 시뮬레이션을 수행하고 확장 칼만 필터를 단독으로 활용하는 알고리즘(Jung et al. 2013)의 결과와 비교하여 성능을 분석한다. 마지막으로, 4장에서는 결론을 제시한다.

## 2. 배치필터 기반 상대 궤도 결정 알고리즘

### 2.1 구면 좌표계에서의 레이저 관측 정보

레이저 관측 기기를 활용하는 편대 비행의 주 위성에 대한 부 위성들의 상대 궤도는 일반적으로 레이저 관측 기기 및 관측 정보의 특성을 잘 반영하는 구면좌표계에서 표현한다(Lee et al. 2015). 상대 궤도 결정 알고리즘에서 부 위성들의 상태 벡터  $\mathbf{X}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{X} = [\rho \ \theta \ \phi \ \dot{\rho} \ \dot{\theta} \ \dot{\phi}]^T \quad (1)$$

식 (1)에서  $\rho$ 는 주 위성과 부 위성 간의 상대 거리이며,  $\theta$ 와  $\phi$ 는 각각 고도각과 방위각으로 상대 위치를 나타낸

다(그림 1). 주 위성을 중심으로 운동하는 부 위성들의 상대 운동을 표현하고자 할 때, 구면 좌표계와 직교 좌표계  $x, y, z$ 의 관계는 식 (2)로 정의된다.

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \theta \cos \phi \\ y &= \rho \sin \theta \cos \phi \\ z &= \rho \sin \phi \end{aligned} \quad (2)$$

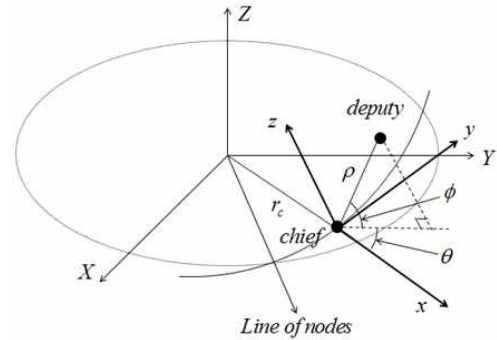


그림1. ECI 좌표계와 상대 운동 좌표계

### 2.2 펨토초 레이저 관측 기기 모사 소프트웨어

실제 위성 간 상대 거리 관측 값을 모사하기 위해 기존에 개발한 레이저 상대 거리 측정 장치 모사 소프트웨어를 사용하였다(Jung et al. 2012; Jang et al. 2014). 이 소프트웨어는 한국과학기술원에서 제작한 펨토초 레이저(Femtosecond Laser)의 합성파 간섭계를 이용한 상대 거리 측정 장치를 모사하며, 거리에 따라  $\mu\text{m}\sim\text{cm}$  수준의 오차를 가지는 관측 값을 생성한다. 또한, 레이저 하드웨어를 구성하는 모듈 중 간섭계부와 광원부의 특성을 반영하고 있으며, 소자부와 회로부의 하드웨어 특성을 반영하기 위해  $10^{-5}$  m의 오차를 고려하였다(Kang et al. 2016). 레이저로 상대 거리를 관측할 수 있는 경우, 관측 정보는 10 Hz로 획득 가능하다.

### 2.3 배치필터를 재귀적으로 사용하는 상대 궤도 결정 알고리즘

본 연구는 배치 필터를 재귀적으로 사용하는 상대 궤도 결정 알고리즘을 제시하고 있으며, 그 과정은 다음과 같다. 먼저, 일정 시간 동안 관측 정보를 획득한다. 이후, 사전에 알려진 기준 상태 벡터(nominal state at epoch)를 동역학 모델을 통해 전파하여 관측 정보를 획득한 시각에서의 상태 벡터를 생성하고, 관측 모델을 전파된 상태 벡터에 적용하여 계산된 관측 정보를 구한다.

레이저를 활용하여 위성 간 상대 궤도를 추정하는 경우, 관측 정보는  $\vec{z}_k = [\rho \ \theta \ \phi]^T$ 로 제공된다. 상대 거리는 레이저로 관측되고 고도 및 방위각에 대한 관측 정보

는 레이저 관측 기기가 장착된 주 위성의 자세 정보로부터 산출된다. 따라서 관측 모델  $H$ 는 식 (3)으로 정의된다 (Jung et al. 2012).

$$[\rho, \theta, \phi]_{computed}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & s & f & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{X} = H\mathbf{X} \quad (3)$$

구면 좌표계에서 기술되는 상태 벡터  $\mathbf{X}$ 을 관측 모델  $H$ 에 곱하여 계산된 관측 정보  $\rho, \theta, \phi$ 를 구한다. 이때,  $s, f$ 는 상대 거리 변화율에 의한 상대 거리 변화를 나타내는 변환 지수이다.

계산된 관측 정보와 실제 관측 정보의 차를 계산하여 잔차 행렬(residual matrix)  $\mathbf{b}$ 를 구하고, 중앙 차분 기법(central differencing)을 이용해 편미분 행렬(partial-derivative matrix)  $A$ 을 구한다.  $A$ 와  $\mathbf{b}$ 를 아래의 배치 필터에서의 정규 방정식(normal equation)에 대입하여 기준 상태 벡터  $\mathbf{X}_{nominal}$ 를 갱신한다 (식 4, 5).

$$\delta\mathbf{X} = (A^T W A)^{-1} A^T W \tilde{\mathbf{b}} \quad (4)$$

$$\mathbf{X}_{nominal, updated} = \mathbf{X}_{nominal} + \delta\mathbf{X} \quad (5)$$

식 (4)의  $W$ 는 가중치 행렬로, 행렬 요소들은 관측 기기의 정밀도에 의존한다.

수렴 조건을 만족할 때까지 배치 필터의 갱신 과정을 반복하여 일정 시간 동안 획득한 관측 정보를 가장 잘 묘사하는 기점 시각에서의 상태 벡터(state at epoch)를 결정한다. 이후, 동역학 모델을 통해 결정된 상태 벡터를 전파하여 관측 정보를 획득한 시점들에서의 상태 벡터를 결정한다. 마지막 관측 정보를 획득한 시점에서의 결정된 상태 벡터는 다음 상태 벡터 결정 단계의 기준 상태 벡터로 활용된다. 제시된 알고리즘은 시뮬레이션 시간동안 일정 시간 간격, 즉 상태 벡터 결정 시간 간격으로 위 과정을 반복해 상태 벡터를 결정한다.

상태 벡터 전파 시 궤도 동역학 모델의 다양한 섭동항을 반영하기 위해, 주 위성 및 부 위성들의 상태 벡터를 지구 중심 관성 좌표계(ECI 좌표계)에서 전파한다 (Jung et al. 2012).

### 3. 시뮬레이션 결과

제시된 상대 궤도 결정 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여, 고도 약 700km에서 운동하는 주 위성을 중심으로 반지름 50 km의 PCO(Projected Circular Orbit) 궤도상에서 운동하는 부 위성에 대한 상대 궤도 결정 시

물레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 수행 시간은 3000초이다. ECI 좌표계에서 두 위성의 초기 상태를 적분하여 참값을 얻었으며, 동역학 모델은 2체 문제에 지구 비구형 중력 포텐셜(degree:20,order:20), 태양과 달의 중력, 지구 대기 그리고 태양 복사압에 의한 섭동들을 추가한

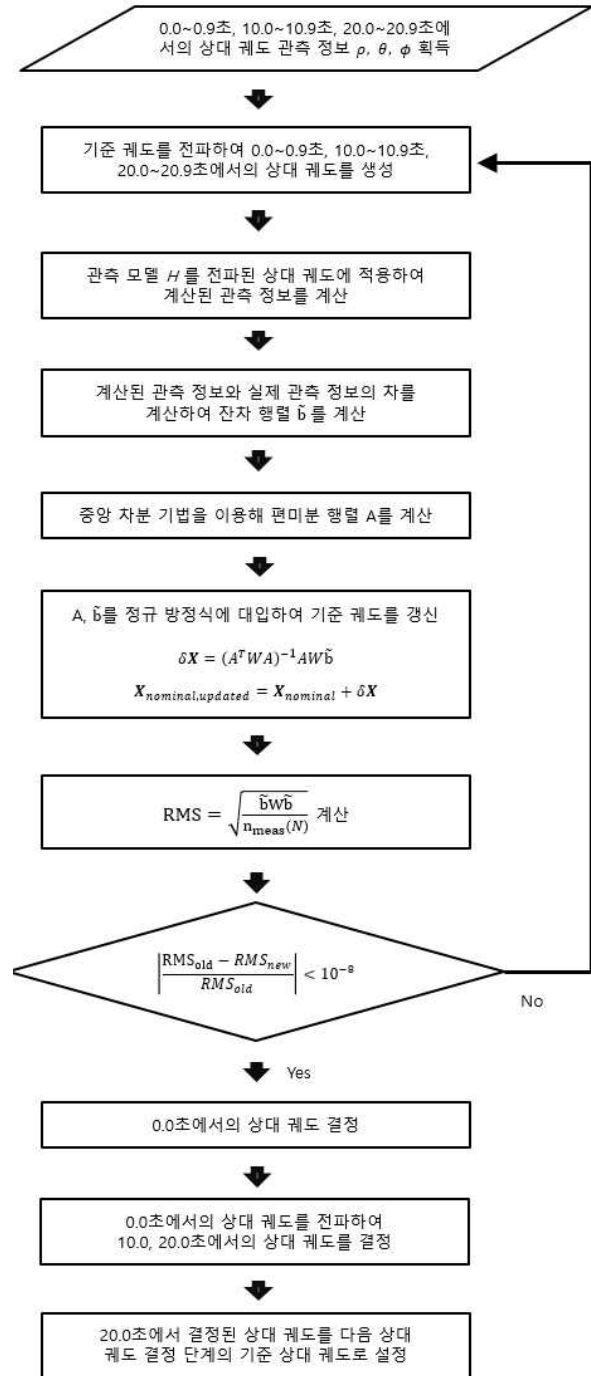


그림 2. 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 10초일 때의 제시된 알고리즘의 흐름도

모델을 사용하였다. 궤도 결정을 위한 동역학 모델은 계산량을 고려하여 J2 섭동만을 추가하였다. 구면 좌표계의 상대 거리, 고도, 방위각으로 이루어진 주 위성 중심의 상대 궤도 관측 정보를 10 Hz로 획득한다. 자세 결정 알고리즘은 본 연구에 포함하지 않았으며, 참값에 주위성의 자세 결정 오차의 크기인  $10^{-5}$  rad을 표준편차로 가지는 정규분포 오차를 더해 상대 고도/방위각 관측 정보로 사용하였다(Jung et al. 2012). 주 위성의 절대 위치는 GPS 신호를 이용한 궤도 결정 알고리즘을 사용하여 구하였다. GPS 항법 신호는 Spirent Communications사의 GSS 6560 시뮬레이터를 사용해 신호를 모사하여 생성하였으며, 이를 Septentrio Inc.사의 AsterX1 PRO GPS 수신기를 이용하여 얻었다(Lee et al. 2015).

상대 궤도 관측 정보를 단속적으로 획득하는 상황에서 제시된 상대 궤도 결정 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격을 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 충분한 양의 관측 정보를 획득하기 위하여 상대 궤도 결정 시간 간격은 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격의 2배로 설정하였다. 예를 들어 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 10초라면, 상대 궤도 결정은 20초에 한 번씩 이루어지며 0.1초 간격으로 0.0~0.9초, 10.0~10.9초, 20.0~20.9초의 10 Hz의 관측 정보를 활용해 10.0초와 20.0초에서의 상대 궤도를 결정한다. 마지막 관측 정보를 획득한 시점인 20.0초에서의 상대 궤도는 다음 상태 벡터 결정 단계의 기준 상태 벡터로 활용된다(그림 2).

제시된 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 같은 환경에서 확장 칼만 필터를 활용한 기존의 상대 궤도 결정 알고리즘(이하 '기존 알고리즘')을 이용해 상대거리 결정 시뮬레이션을 수행하였다(Jung et al. 2012). 기존 알고리즘의 경우, 관측 정보를 획득할 수 없는 시점에서는 동역학적으로 예측된 상대 궤도(predicted state)를 결정된 상대 궤도(estimated state)로 설정하였다. 두 알고리즘의 필터링 성능을 비교하기 위하여, 관측 정보를 획득한 시각에서의 궤도 결정 오차를 비교하였다.

그림 3는 두 알고리즘의 상대 궤도 결정 결과를 직교 좌표계에서의 참값에 대한 3차원 오차 제곱평균제곱근(Root Mean Square, RMS)으로 보여주고 있다. 관측 정보를 획득할 수 있는 각각의 시간 간격에 대해 시뮬레이션을 충분히 여러 번 실행하여 계산한 상대 궤도 결정 오차의 평균값을 표준 편차와 함께 나타내었다. 점선은 기존 알고리즘의 상대 궤도 결정 오차를 나타내며, 실선은 제시된 알고리즘의 상대 궤도 결정 오차를 나타낸다. x축의 'Time interval of intermittent observation'은

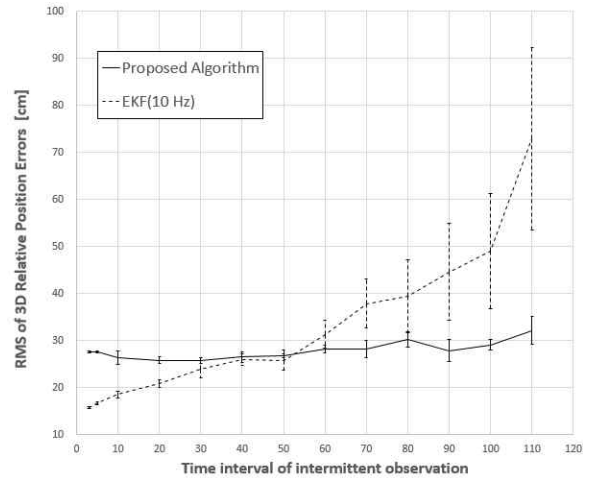


그림 3. 직교 좌표계에서의 상대 궤도 결정 3차원 오차

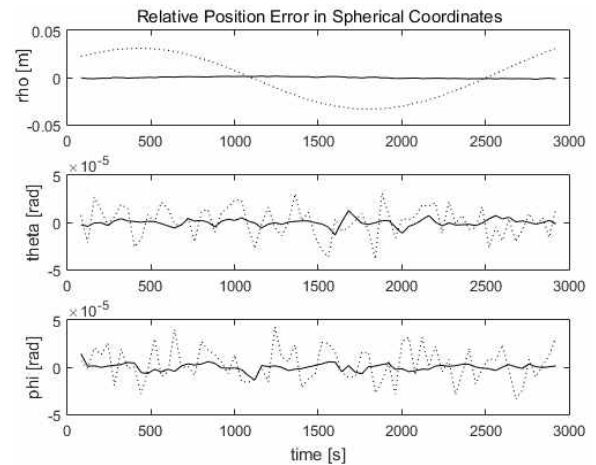


그림 4. 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 40초 일 때, 제시된 알고리즘의 상대 궤도 결정 결과 (구면 좌표계)

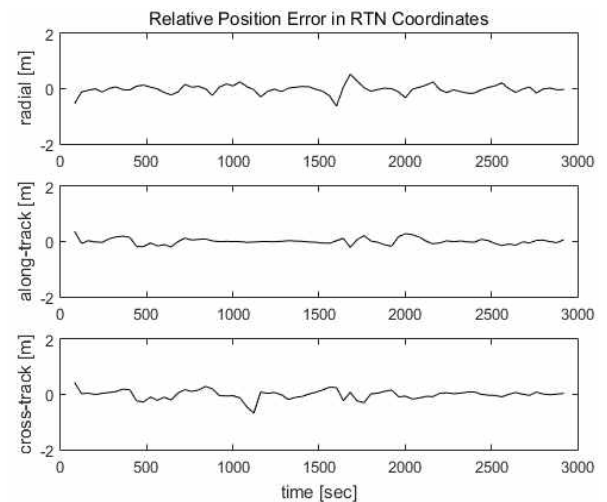


그림 5. 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 40초 일 때, 제시된 알고리즘의 상대 궤도 결정 결과 (직교 좌표계)

관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격을 의미한다. 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 약 50초보다 짧을 때는 기존 알고리즘의 결과가 더 정밀하지만, 그 이후의 시간에 대해서는 제시된 알고리즘의 결과가 더 정밀함을 보여주고 있다.

이러한 결과는 두 알고리즘의 특성에 의한 것이다. 확장 칼만 필터는 칼만 이득(Kalman gain)의 개념을 도입하여 필터링 시점에서의 관측 정보를 활용해 동역학적으로 예측된 상태 벡터를 보정한다. 이때, 확장 칼만 필터는 선형화 기반의 필터링 기법이므로 비선형적 동역학 모델 하에서는 전파 시간이 길수록 예측된 상태 벡터와 공분산 행렬의 정밀도가 감소한다. 따라서, 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 증가할수록 상대 궤도 결정의 정밀도가 감소한다. 배치 필터 기반의 제시된 알고리즘의 경우 상대 궤도 결정 시, 세 시점에서 획득한 총 90개의 관측 정보를 후처리함으로써 일정 시간 동안의 관측 정보를 가장 잘 모사하는 기점 시각에서의 상대 궤도(relative orbit at epoch)를 결정한 후, 이를 전파하여 관측 정보를 획득한 시점들에서의 상대 궤도를 결정한다. 그 결과, 제시된 알고리즘은 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격의 변화에 영향을 적게 받으며, 시간 간격이 증가할수록 기존 알고리즘과 비교했을 때 더 정밀한 상대 궤도 결정 결과를 산출할 수 있다.

그림 4, 5는 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 40초 일 때의 제시된 알고리즘의 상대 궤도 결정 결과를 구면 좌표계와 직교(RTN) 좌표계에서 보여주고 있다. 각각의 결과에서 검은 선은 상대 궤도 결정 오차를 나타내며, 구면 좌표계에서의 결과에서 점선은 레이저 관측으로 얻어진 상대 거리 오차와 상대 고도/방위각 오차를 나타낸다. 구면 좌표계와 직교 좌표계에서 상대 궤도 결정 오차가 모두 잘 수렴하는 모습을 보여주고 있다.

#### 4. 결론

본 논문은 위성 간 상대 궤도 관측 정보를 단속적으로 획득하는 상황에서의 정밀 상대 궤도 결정을 위한 항법 알고리즘을 제시하였다. 배치 필터 기반의 제시된 알고리즘은 일정 시간동안 획득한 관측 정보를 활용해 후처리로 상대 궤도를 추정한다. 배치 필터 기반의 제시된 알고리즘은 일정한 시간 내 관측 정보를 획득할 수 있는 시점들에서 모은 관측 정보를 활용해 후처리로 상대 궤도를 결정하기 때문에 관측 정보를 단속적으로 획득하는 상황에서도 높은 정밀도를 확보할 수 있다. 본 연구 결과는 관측 정보를 획득할 수 있는 시간 간격이 약 50초보다 길 때, 제시된 알고리즘이 확장 칼만 필터를 활용한 기존의 상대 궤도 결정 알고리즘의 결과보다 더 정밀함을 보여주고 있다.

상대 궤도 결정 시 반복 추정을 거쳐 계산 시간이 길다는 단점을 고려할 때, 시뮬레이션 결과는 제시된 본 알고리즘이 미래의 컴퓨터 성능이 발전함에 따라 관측 정보를 단속적으로 획득하는 상황에서 효과적으로 활용될 수 있음을 보여주고 있다. 추후 보다 많은 시뮬레이션을 통해 제시된 알고리즘의 활용이 적절한 상황을 분석할 예정이며, 결과의 정밀도를 높일 수 있는 개선 방법을 연구할 예정이다.

#### 감사의 글

본 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로, 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- Flechtner F, Morton P, Watkins M, Webb F, Status of the GRACE Follow-On Mission, Gravity, Geoid and Height Systems: Proceedings of the IAG Symposium GGHS2012, Springer International Publishing, 117-121 (2012).
- Jang YS, Lee K, Han S, Lee J, Kim YJ, et al., Absolute distance measurement with extension of nonambiguity range using the frequency comb of a femtosecond laser, Optical Engineering, 53(12), 122403 (2014).
- Jung S, Park YS, Park HE, Park C, Kim SW, Jang YS, Real-Time Determination of Relative Position Between Satellites Using Laser Ranging, Journal of Astronomy and Space Science, 29(4), 351-362 (2012).
- Kang DE, Lee K, Lee Y, Lee J, Park SY, Phased Integration of Femtosecond Laser-Based Distance Meter and Satellite Navigation Test Bed, Proceeding of the 2016 KSAS Fall Conference, 399-400 (2016).
- Lee K, Oh H, Park HE, Park SY, Park C, Laser-based Relative Navigation Using GPS Measurements for Spacecraft Formation Flying, Journal of Astronomy and Space Science, 32(4), 387-393 (2015).
- Shaddock DA, Space-based gravitational wave detection with LISA, Classical and Quantum Gravity, 25(11), 114012 (2008).

- Sheard BS, Heinzl G, Danzmann K, Shaddock DA, Klipstein WM, Folkner WM, Intersatellite laser ranging instrument for the GRACE follow-on mission, *Journal of Geodesy*, 86(12), 1083-1095 (2012).
- Wang X, Gong D, Xu L, Shao X, Duan D, Laser radar based relative navigation using improved adaptive Huber filter, *Acta Astronautica*, 68(11), 1872-1880 (2011).



## 학회 및 관련기관 소식

한국우주과학회 .....	86
경북대학교 천문대기과학과 .....	87
경희대학교 우주과학과 및 우주탐사학과 .....	87
서울대학교 물리·천문학부 천문학 전공 .....	92
세종대학교 천문우주학과 .....	99
연세대학교 천문우주학과 .....	102
충남대학교 천문우주과학과 .....	107
충북대학교 천문대 .....	108
충북대학교 천문우주학과 .....	110
한국천문연구원 .....	112

■ 한국우주과학회

1. 학회지 발간

2016년 학술지 발간 실적은 33권1호 8편, 2호 9편, 3호 11편, 4호 13편으로 총 41편의 논문이 발행되었으며, 과총의 국제학술지 지원금을 받아 발행되었다. 학회에서는 지속적인 학술지국제화를 위한 노력을 하고 있으며 2016년도에도 SCIE등재를 목표로 하고 있다.

2. 학술대회 개최

2016년도 봄 학술대회는 2016년 4월 28일(목)~29(금)까지 강릉 라카이샌드파인리조트에서 개최하였다. 등록인원은 226명이며 논문발표는 초청강연 4편, 구두발표 80편, 포스터발표 92편 총 176편을 발표하였다. 가을학술대회는 제4회 ASOWA워크숍 공동 개최로 10월 24일(월)~28일(금)까지 제주 해비치호텔&리조트에서 개최하였다. 등록인원은 237명이며 논문발표는 초청강연 3편, 구두 80편, 포스터발표 125편 총 208편을 발표하였다.

3. 회의 개최

-이사회

2016년도 이사회 1차 회의는 대전시(2016.02.18.), 2차 회의는 강릉 라카이샌드파인리조트(2016.04.28.), 3차 회의는 제주 해비치호텔&리조트(2016.10.27.)에서 개최 하였다.

1차 회의에서는 포상위원회 구성 승인, 학술대회준비위원회 구성 승인, 편집위원회 구성 승인, 학회발전기획위원회 설치 승인, 학회활동 역량강화 위원회 설치 승인, 대외협력위원회 설치 승인, 2016년 가을 학술대회 개최, 학회 운영에 대한 규정 변경 승인 등이 결의되었다. 2차 회의에서는 신입회원 승인, 학술대회 학생 등록비 지원 승인, 학술대회준비위원회 위원 추가 승인, 태양/우주환경 분과회 승인 등이 결의되었다. 3차 회의에서는 2016년 결산안 승인, 2017년 예산안 승인, 신입회원 인준, 학술대회 학생 등록비 지원 승인, 2017년 학술대회 개최 결정, 2017년 사업계획(안) 승인 등이 결의되었다.

-정기총회

제34차 정기총회가 2016년 10월 27일(목) 16:30에 제주 해비치호텔&리조트에서 개최되었다. 보고사항으로는 사업보고, 학술대회준비위원회보고, 학술보고, 포상위원회보고, 대외협력 위원회 보고, 감사보고가 있었으며 안건으로는 2016년 결산 심의, 2017년도 예산 심의가 결의되었다.

4. 2016년 수상

- 에스이랩상

2016년 봄, 최 진 회원(천문연)  
2016년 가을, 정종일 회원(충남대)

- 한국우주과학회 학술상

2016년 학술상 민경욱 회원(과기원)

- 두진 젊은 우주과학자상

송영주 회원(항우연)

- 한국과학기술단체총연합회 제26회 과학기술우수논문상

이 유 회원(충남대)

5. 위원회

-편집위원회

Journal of Astronomy and Space Sciences(JASS)  
편집위원회는 편집위원장으로 이유(충남대), 부편집위원장으로 이은상(경희대), 위원으로는 Ivan L. Andronov, Tapas Kumar Das, Paul A. Evenson, Edward F. Guinan, Lin-Ni Hau, Vitaly P. Kim, Juhou Lei, Xinlin Li, Charles Lin, Huixin Liu, Lee-Anne Mckinnell, Valery Nakariakov, Yuichi Otsuka, David Ruffolo, Boonrucksar Soonthornthum, Ilya Usoskin, Chao Xiong, Sungpil Yoon, Eun-Hwa Kim, Jeongwoo Lee, 김방엽(항우연), 나자경(천문연), 박찬덕(연세대), 이기원(가톨릭대), 이대희(천문연), 이병선(전자연), 이수창(충남대), 이재진(천문연), 이주희(항우연), 지건화(극지연), 최영준(천문연), 허종우(충남대) 회원으로 구성되었다.

-포상위원회

포상위원회는 위원장으로 김용기(충북대), 위원으로는 최영준(천문연), 윤태석(경북대), 이유(충남대), 손영종(연세대)회원으로 구성되었다.

-학술대회준비위원회

학술대회준비위원회는 위원장으로 이대영(충북대), 위원으로 김록순(천문연), 변용익(연세대), 이재우(천문연), 이주희(항우연), 지건화(극지연), 진호(경희대) 회원으로 구성되었다.

6. 회원 현황

2016년 신입회원 인준 현황은 정회원 50명, 학생회원 2명이 승인되었다. 정관 제6조에 따라 연회비 3년 미납자 72명은 준회원으로 회원등급을 조정하였다. 2016년 12월 31일 현재 회원 수는 1402명(최근 3년간 회비납부 및 활동 실적이 있는 회원 669명, 3년 이상 비활동 및 해외체류회원 716명, 명예회원 13명)이며 기관회원 수는 4곳이다.

7. 학회 사무국

대표메일: ksss@ksss.or.kr

홈페이지: http://ksss.or.kr

대전사무국 : 대전시 유성구 대덕대로 776 한국천문연구원 내

Tel: 042-865-3391, Fax: 042-865-3392/ 사무과장 고미희

**■ 경북대학교 천문대기과학과**

**1. 인적사항**

본 학과의 천문학 전공 교수는 박명구, 윤태석, 장현영, 황재찬 회원 네 명이다. 동교 사범대학 지구과학교육과의 심현진 회원도 대학원생 논문지도를 맡고 있다.

본 학과 학부과정은 지구시스템학부 소속 천문대기과학전공이며 대학원과정은 천문대기과학과 천문학전공이다. 2017년 3월에는 90명의 신입생이 수시 및 정시모집으로 지구시스템과학부에 입학하였고, 24명의 학생들이 2학년으로 올라가며 천문대기과학전공을 선택하였으며, 1명이 2학년으로 학사편입 하였다. 천문대기과학전공 학생은 천문학과 대기과학을 자유롭게 선택하여 공부할 수 있다. 대학원에는 2017년 3월에 1명의 석사과정 학생과 2명의 박사과정 학생이 입학하여 현재 8명의 석사과정 학생과 7명의 박사과정 학생이 재학 중이다. 조동환 회원이 박사 후 연수과정으로 2016년 10월까지 근무하였다. 2016년 8월 최정용 회원이 'Mars-Crossing Asteroid 2078 Nanking의 측광 관측을 통한 자전특성과 모양 연구'라는 제목으로, 2017년 2월 김동현 회원이 'Gravitational Lensing by an Elliptical Mass Distribution with a Black Hole'이라는 제목으로, 신지혜 회원이 'Clustering of Extremely Red Objects in Subaru GTO2deg2 field'라는 제목으로, 이현욱 회원이 'Study of the Characteristics of Open Clusters with Blue Stragglers'라는 제목으로, 정소윤 회원이 '외계행성의 특성에 관한 연구: 통계학적 접근 및 측광관측 분석'이라는 제목으로, 조윤아 회원이 'The Luminosity/Spectral Lag Relations of the Short GRBs with Extended Emission'이라는 제목으로 석사 학위를 받았다.

**2. 연구 및 학술활동**

박명구 회원은 2016년 3월부터 2017년 2월까지 Stanford 대학의 Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology에서 블랙홀의 성장 과정에 대한 연구를 수행하였다. 또한 박사과정 방태양 회원, 천문연구원 외계행성 연구팀과는 거성 및 쌍성 주위의 외계행성 탐색 연구, 박사과정 한두환 회원과는 블랙홀의 부착현상, 박사과정 이윤희 회원 및 부산대학교 안홍배 회원과는 막대은하에 대한 연구, 석사과정 김동현 회원과는 퀘이사 중력렌즈에서 블랙홀의 영향에 대한 연구를 수행하였다.

윤태석 회원은 석사과정 오형일 회원과는 FU Ori 형 별에 대한 분광학적 및 측광학적 관측 연구를, 석사과정 최정용 회원과는 태양계 소행성에 대한 측광 관측 연구를, 석사과정 최범규 회원과는 외계행성에 대한 역학적 수치모형계산 연구를, 석사과정 정소윤 회원과는 외계행성에 대한 통계학적 분석 연구를 진행 중이다. 이 연구들은 타 기관 회원들과 함께 공동으로 추진하고 있다. 새로 입학한 박사과정 김수현 회원과는 근접쌍성 및 변광성에 대한 분광 관측 연구를 수행할 계획이다. 또한, 이상각(국립고흥청소년우주체험센터), 성현일(천문연구원), 박수중(경희대), 이정은(경희대), 박원기(천문연구원), 조동환(경북대), 강원석(국립고흥청소년우주체험센터), 박근홍(서울대), 배경민(경희대), 박

선경(경희대), 백기선(경희대), 윤성용(경희대) 회원 등과 FU Ori 형 별에 대한 광학 및 근적외선 관측 연구를, 이형목(서울대), 이상각(국립고흥청소년우주체험센터), 박근홍(서울대) 회원과는 IGRINS 근적외선 분광기를 이용한 외계행성 대기 특성 탐구 연구를 수행하고 있다. 그리고, 국제공동 연구과제인 한-일 외계행성 탐색 관측 연구(Korean-Japanese Planet Search Program)에 일본 측 팀(이주미우라 박사, 사토 교수, 오미야 박사 등), 천문연구원 측 팀(한인우, 김강민, 이병철 회원 등)과 함께 참여하고 있다.

장현영 회원은 태양 흑점의 위도별 공간 분포에 대한 연구를 수행하여 태양 자기장 생성에 관한 관측적 연구를 계속 수행하고 있고, 태양 진동학을 기반으로 하는 우주 기상 예보 모형을 개발 중이다. 최철성 회원(천문연구원)과 Zhibin Zhang(중국, Guizhou 대학) 교수와는 확장된 방사를 갖는 감마선 폭발체에 대한 연구를 한중 공동 연구의 형태로 진행하고 있다.

황재찬 회원은 우주구조의 상대론적 비선형진화 그리고 전자기장이 포함된 특수상대성이론이 중력과 결합된 상황에 적용할 수 있는 이론을 연구하고 있다.

2016년 3월 이후 학과 세미나에 연사로 오신 분은 박현배 박사(한국천문연구원), 서경원 교수(충북대학교), 정웅섭 박사(한국천문연구원), 김태현 박사(한국천문연구원), 변상규 박사(취리히대학교), 김명진 박사(한국천문연구원), 송현미 박사(KIAS), 박석재 연구위원(한국천문연구원)이다.

본 학과는 시민과 학생들을 위해 학기마다 4차례 일반인을 위한 공개관측과 공개강연행사인 "밤하늘 이야기"를 열고 있다.

**3. 연구시설**

본 학과는 계산 및 관측자료 처리를 위해 Intel server/cluster 및 다수의 워크스테이션과 고성능 PC를 운용하고 있다. 천체 관측 실험을 위한 31-cm 뉴턴식 반사망원경(본교 기초과학연구소 보유)이 있으며 2016년 옥상 돔을 교체하였다. 그밖에 Coronado SolarMax 70, Coronado Personal Solar Telescope CaK 등 다수의 소형 반사 및 굴절 망원경 그리고 Fujinon 25×150, 2.5" 대형쌍안경 등을, 천체 교육용으로 이동식 천체투영시스템을 보유하고 있다.

**■ 경희대학교 우주과학과 및 우주탐사학과**

**1. 인적사항 및 주요동향**

1985년에 창립되어 2017년이 32주년이 되는 경희대학교 우주과학과는 현재 응용과학대학에 소속되어 있고 학사과정과 함께 대학원에 석사, 박사, 석박사 통합과정을 두고 있다. 2009년 WCU(세계수준의 연구중심대학) 사업의 일환으로 대학원에 신설된 우주탐사학과는 석사, 박사, 석박사 통합과정을 두고 있다. 경희대학교 우주과학과와 우주탐사학과에는 2017년 3월 현재 총 15 명의 교수(김갑성, 이동훈, 김상준, 장민환, 김성수, 박수

중, 최광선, 문용재, 김관혁, 선종호, 진호, Tetsuya Magara, 이은상, 이정은)와 2017년 3월부터 신규 임용된 최윤영 교수가 강의와 연구를 수행하고 있다. 아울러 독일 막스플랑크 연구소의 Sami K. Solanki, 미국 메릴랜드 대학의 Peter H. Yoon, 미국 UC Santa Cruz의 Ian Garrick-Bethell 교수 그리고 영국 Warwick 대학의 Valery M. Nakariakov 교수가 International Scholar로서 연구와 교육에 힘을 보태고 있다. 현재 우주과학과장은 선종호 회원이며, 우주탐사학과장은 이정은 회원이 맡고 있다.

우주과학과는 경희전문대와 함께 매년 다수의 공개 관측회를 개최하여 본교 학생들뿐만 아니라 일반인들에게도 천문현상을 접할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 매년 하계방학 중, 우주과학과 학생회는 학과 및 천문대의 지원으로 중고생을 위한 우주과학캠프를 개최하여 청소년들에게 천문학 및 우주과학에 대한 체험의 기회를 부여하고 있다.

우주과학과 학부는 올해 42명의 신입생을 맞이했으며 약 185명이 재학 중에 있다. 대학원 우주탐사학과에는 석사과정에 11명, 박사과정에 36명, 석박사 통합과정에 41명의 학생(총 88명)이 재학 또는 수료 상태로 있다. 양과 대학원에서 2016년 8월 이후 학위를 받은 학생은 다음과 같다.

**\* 석사 졸업 - 3명**

- 김진현 (17년 2월, 우주과학과, 지도교수 문용재) -  
논문제목: Contribution of solar/geomagnetic activities and CO2 variation to global temperature anomaly
- 신재혁 (17년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 진호) -  
논문제목: 근지구 우주공간 연구를 위한 지상용 서치코일 자력계의 개발 (Development of Ground-Based Search-Coil Magnetometer for Near-Earth Space Research)
- 정선영 (17년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 진호) -  
논문제목: 초소형 과학위성 SIGMA의 통신 시스템 성능 시험 및 분석 (The Performance Test for the SIGMA Communication System)

**\* 박사 졸업 - 6명.**

- 강지혜 (17년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 Tetsuya Magara) -  
논문제목: Investigation into Force-Freeness of a Solar Active Region and Application of Force-Free Modeling to a Flare-Producing Active Region
- 김상혁 (16년 8월, 우주탐사학과, 지도교수 Sami Khan Solanki) - 논문제목: Development of infrared wide field off-axis telescope
- 김선정 (16년 8월, 우주탐사학과, 지도교수 최광선) -  
논문제목: Steady-State Model of Solar Wind Electrons with Spontaneously Emitted Electromagnetic Fluctuations

- 이재욱 (17년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 문용재) -  
논문제목: Observation studies of CME-driven shocks and their associated DH type II radio bursts using multi-spacecraft data

- 정민섭 (17년 2월, 우주탐사학과, 지도교수 김성수) -  
논문제목: 달 표면 편광관측을 통한 표도 특성연구 (월면 전반적 특성과 세부지형 특성)

- 최성환 (17년 2월, 우주과학과, 지도교수 문용재) -  
논문제목: Development of Space Weather Data System and the Application of SVM to CME Geo-effectiveness

**2. 연구 및 학술 활동**

**BK21플러스 사업**

우주탐사학과가 주도하는 '달-지구 우주탐사'사업 (연구책임자: 문용재 회원)이 교육부에서 시행하는 BK(두뇌한국)21플러스 사업 글로벌 인재양성형에 선정되어 2013년 9월 이후부터 2020년 8년 8월 31일까지 매년 9.1 억 원, 총 약 60억 원의 연구비 지원을 받고 있다. 2009학년도 2학기에 우주탐사학과가 대학원에 신설되어 현재 총 39명(박사과정 11명, 석박통합 20명, 석사과정 8명)의 대학원생(재학/수료)이 BK21 플러스 사업에 참여하고 있다. BK21 플러스 사업의 수행을 위해 현재 Sanjay Kumar, Navin Chandra Joshi, 홍석범박사가 학술연구교수로, 홍진희, 나고은, 최윤희 박사가 연구박사로 재직하고 있다.

과거 '달궤도 우주탐사' WCU 사업을 통해 수행된 연구들을 이어 받아, 본 BK21플러스 사업단에서 수행하는 연구는 천문우주 연구뿐만 아니라 달 및 근지구 공간에서 우리가 개발한 초소형 위성을 이용하여 우주탐사에 활용 하는 계획을 가지고 있다. 초소형인공위성으로 달 표면에 충돌하기까지 달 표면의 자기장 이상 지역 (특히 국소 자기장이 강한 지역)을 처음으로 근접 측정하여 그 구조 및 원인을 규명하려는 구체적인 과학목적을 가지고 있다. 또한 한국형 달탐사 시험용 궤도선 사업에 달 과학 탑재체 2개 과제를 수행하고 있다. 본 사업에서 추진하는 달 탐사 임무는 과학기술적 측면에서 획기적인 의미와 결과가 기대되며 이러한 활동이 학문적 발전뿐만 아니라 대한민국 우주개발에서 모범적인 연구 개발 사례로 남게 될 것으로 기대 한다.

**태양물리연구실**

김갑성 회원이 이끌고 있는 태양물리 연구실은 크게 태양물리, 천체역학, 태양관측 시스템 그리고 우주기상예보 분야의 연구를 수행하고 있다. 태양물리 부분에서는 이진이, 김일훈, 이청우 회원이 태양활동 영역의 구조, 진화에 대한 이론적 연구 및 관측으로부터 얻어진 자료의 분석을 통한 연구를 진행하고 있다. 본 연구실의 김일훈 회원은 SDO(Solar Dynamic Observatory)의 AIA 데이터를 이용하여 EUV 코로나젝트의 형태에 따른 물리적 특징을 분석하고 있으며 이청우 회원은 Big Bear 관측소의 Ha 관측 데

이터를 이용하여 필라멘트 형성에 대한 연구를 수행하고 있다. 김현남 회원은 Hinode SOT로 관측된 흑점의 물리량을 Spectropolarimetry라는 도구를 이용하여 자기장 구조와 속도분포를 연구하고 있다.

태양관측시스템 연구를 위해 교내에 태양 H-alpha 관측 시스템과 태양 분광관측 시스템을 운영하고 있으며 이 관측 시스템은 네트워크를 통한 원격 관측이 가능하도록 구축되어 있다. 또한 Heliostat과 grating을 이용하여 분광 관측 시스템을 구축하여 관측을 수행하고 있다. 본 태양 관측 시스템은 학부생들의 태양 관측 실습에 활용되고 있다. 마지막으로 우주기상예보 연구에서는 국내외의 우주환경 사이트의 관련 데이터를 수집하고 모니터링 하기 위한 근 실시간 모니터링 시스템을 구축하였다. 본 연구에서는 SDIP(Solar Data Image Processing) 소프트웨어를 자체적으로 개발하여 운영하고 있다. SDIP 소프트웨어는 Borland C++를 이용해서 개발 되었으며, 모니터링 시스템은 SDIP를 이용해서 각각의 FTP 사이트에서 근실시간으로 태양 데이터를 획득하고, 모니터링하기 위한 것이다.

**행성천문연구실**

김상준 회원이 지도하고 있는 행성천문연구실은 Keck, Gemini Observatory등의 분광 관측 자료와 Cassini, JUNO 탐사선의 관측 자료를 분석하여 목성, 토성, 타이탄 등의 대기 및 혜성 등의 각종 라디칼 및 분자선의 생성, 그리고 이들 천체의 대기조성과 광화학적 반응에 관한 모델연구를 수행하고 있다.

김상준, 심재경 회원은 Gemini관측소의 고분산 분광자료를 사용하여 목성 극지방 고층대기에서 나오는 3-마이크론 메탄 emission을 분석한 결과 아주 고온 (500-800K) 임을 발견하고 그 결과를 Icarus에 2015년 발표하였다. 또한 김상준 회원은 수십 년 동안 목성 북극 지방에서 움직이지 않고 빛나는 10-마이크론 거대반점의 원인을 일시적이지만 초고에너지 오로라일 가능성을 제의한 논문을 Icarus에 2016년 발표하였다. 현재 김상준 회원은 파리천문대 Courtin 박사와 Leicester 대학 Stallard 박사와 공동연구로 Cassini데이터를 사용한 토성 극지방 적외선 오로라와 연무의 진화과정을 연구하고 있다.

한편 이동욱, 김상준 회원은 Monte-Carlo시뮬레이션을 이용한 달 대기모델을 계속 업그레이드 하고 있다. 이와 병행하여 NASA Goddard 센터의 Killen 박사와 공동연구로 애리조나에 있는 Robotic 달 coronagraph를 사용하여 많은 데이터를 중장기적으로 입수하고 있다. 이 coronagraph는 현재 달 주위를 돌면서 관측하고 있는 LADEE 탐사를 지원하기 위해 최근 설립된 기기로서 LADEE에서 관측 되는 국지적 관측 결과와 이 coronagraph에서 관측되는 달 전체의 대기 현상을 융합하여 일관된 과학적 결과를 도출해 내는 것을 그 주된 목적으로 하고 있다.

**천체물리연구실**

김성수 회원이 이끄는 천체물리연구실에서는 은하 중심부에서의 별 생성, 은하중심부로의 가스 물질 유입, 우주론 시뮬레이션을

이용한 구상성단계 및 왜소위성은하계의 생성 및 진화 연구 등의 분야에서 다양한 연구를 진행 중에 있다. 김성수 회원은 2013년 7월부터는 다과장 편광관측을 통한 달 표면층 입자의 크기와 성질을 연구하는 과제를 수행 중에 있으며, 2014년 12월부터는 우주론 시뮬레이션을 이용한 은하형성 기본단위의 생성 과정을 연구하는 과제도 수행 중에 있다. 이지원 회원은 천문연구원의 손봉원 회원과 이상성 회원의 지도 아래 KVN을 이용한 연구에 참여하고 있다. 김은빈 회원은 SDSS 자료를 이용하여 은하 중심팽대부의 비축대칭적 모양과 은하핵에서의 별탄생 사이의 관계를 통계학적으로 연구하고 있다. 천경원 회원은 고등과학원의 신지혜, 김주한 회원과 함께 우주거대구조 진화 수치실험으로부터 은하형성 기본단위를 생성하는 수치실험 기법을 개발하였고 이를 이용하여 왜소위성은하들의 특성을 연구하고 있다. 김민배 회원은 최윤영 회원의 지도 아래 SDSS 자료를 이용하여 별탄생 은하와 활동성은하핵의 특성에 대한 통계적 연구를 수행 중에 있다. 이주원 회원은 우리은하 중앙팽대부에 있는 HI 원반을 유체역학 수치실험을 통해 연구하고 있으며, 박소명 회원은 영국 Sheffield 대학의 Simon Goodwin 교수와 함께 프랙탈 구조의 초기 분포를 이용하여 성단의 생성 및 초기 진화를 연구하고 있다. Hannah Morgan 회원은 우리 은하 중심부의 200pc 영역에서 5pc 영역으로 가스 물질이 떨어지는 현상을 수치적으로 연구하고 있으며, 김일훈, 백길호, 김진규 회원은 달 표면의 편광 특성과 충돌분화구의 특성에 대해 연구하고 있다. 연구교수인 심재경 박사는 우주 풍화가 달 표면 성숙도에 미치는 영향을 연구 중에 있으며, 최근 홍석범 박사가 달 표면 연구에 합류하였다.

**적외선실험실**

박수중 회원이 지도하는 적외선실험실은 광학/적외선천문기기의 제작과 천체관측 연구를 한다. 2016년 2월에 Huynh Anh N. Le 회원이 “Medium and high resolution spectroscopy in near-infrared bands” 연구로 박사 학위를 받았고, 박우진 회원은 “Photometric transformation from RGB Bayer filter system to Johnson-Cousins BVR filter system” 연구로 석사학위를 받았고, 정병준 회원은 “적외선 우주망원경용 알루미늄 자유곡면 반사경의 형상오차 보상” 연구로 석사학위를 받았다. 2016년 8월에는 김상혁 회원이 “Development of Infrared Wide-Field Off-Axis Telescope” 연구로 박사 학위를 받았다. Huynh Anh N. Le 회원은 경희대학교 BK21 사업단의 박사후 연구원 과정을 2016년 3월부터 7월까지 수행했고, 2016년 8월 부터는 서울대학교로 옮겨서 우중학 교수님의 지도로 박사후 과정을 시작했다. 박우진 회원은 2016년 3월 경희대학교 대학원 박사과정에 진학하였고, 정병준 회원은 2016년 9월부터 한국기초과학지원연구원에 취업하여 병역특례 과정을 병행하고 있다. 현재 적외선 실험실 박사과정에는 김재영, 이혜인, 박우진 회원이 있고, 석사과정에는 2015년 3월에 입학한 김현중 회원, 석사통합과정에는 2016년 3월에 입학한 지태근 회원이 있다. 그리고 우주과학과 학부 4학년 박정하 회원과 이선우 회원, 학부 3학년 김용환 회원이 학부 연구생으로 실험과 연구를 보조하고 있다.

본 적외선실험실은 미국 텍사스 주립대학교, 한국천문연구원과 공동으로 GMT의 제 1세대 관측기기로 고분산 적외선 분광기 GMTNIRS의 개발에 참여하고 있다. 그리고 비슷한 구조의 고분산 적외선 분광기 IGRINS의 소프트웨어 개발 연구를 한국천문연구원과의 산학연 위탁연구로 2010년부터 2014년 3월까지 수행하였다. 그리고 미국 텍사스 A&M 대학교 공동으로 GMT의 제 1세대 관측기인 GMACS 프로젝트에 참여하여 소프트웨어 개발을 담당하고 있다. GMACS의 개념설계(Conceptual Design Review) 연구는 2017년 3월 13일에 kickoff meeting을 하고 본격적인 연구를 시작하였다.

그리고 서울대학교 초기우주천체연구단과 20개의 필터를 장착하여 천체의 SED를 측정할 수 있는 SQUEAN (SED camera for QUasars in EARly uNiverse)을 제작을 완료했다. 2015년 2월과 6월에 맥도날드 천문대 2.1m 망원경에 장착하여 성능테스트를 성공적으로 마쳤다. SQUEAN은 기존의 CQUEAN을 대신하여 다양한 관측 연구를 수행하고 있다.

2014년 6월부터는 미래창조과학부의 우주핵심기술개발사업으로 “우주 적외선 관측을 위한 알루미늄 비축 반사망원경의 시험모델 개발” 연구를 시작하였다. 2015년에는 자유곡면 반사경의 DTM (Diamond Turning Machine) 제작 연구를 진행하였고, 2016-2017년에는 비축 반사망원경의 성능 테스트를 수행하고 있다. 본 연구에서 개발한 시험모델은 향후 소형 광시야 적외선 우주망원경으로 제안하는 것이 목표다.

### 태양권플라즈마연구실

최광선 회원이 이끄는 태양권플라즈마연구실(Heliospheric Plasma Physics Laboratory)은 태양으로부터 태양권계면(heliopause)까지 이르는 전 태양권 공간에 존재하는 플라즈마의 전자기적, 역학적 성질을 탐구하기 위해 설립되었다. 작년부터는 태양권 밖의 천체에서 일어나는 플라즈마 물리 과정으로 연구 영역을 확대하였다. 이 연구실에서 다루는 주제들은 태양물리연구실과 공간물리연구실의 연구주제들과 밀접한 관련이 있기 때문에 이들 연구실과 연구 협력이 이루어지고 있다. 본 연구실에서는 플라즈마의 거시적 기술인 자기유체역학으로부터 미시적 기술인 입자운동론적 기술(kinetic theory)까지 다양한 방법을 사용하고 있다. 입자운동론적 연구에 있어서는 University of Maryland의 Peter H. Yoon 교수와 긴밀한 협력이 이루어지고 있으며 자기유체역학적 연구에 있어서는 Max Planck Institute for Solar System Research의 Joerg Buechner 교수 및 Sami Solanki 교수와 협력하고 있다.

본 연구실의 이시백 회원(석박 10기)은 새로운 태양코로나 자기장 구성 방법을 개발하여 이에 입각한 전산코드를 제작하였다. 현재 시험가동 중인 이 코드의 성능은 정확도에 있어 세계 최고 수준이다. 김선정 회원(박사과정)은 Peter Yoon 교수와 협력하여, 태양풍 속도분포함수의 코어(core), 헤일로(halo), 슈퍼헤일로(superhalo) 세 성분을 설명할 수 있는 입자운동론적 이론을 정립하였으며, 2016년 8월에 박사학위를 취득하고 현재 독일 Bochum 대학에서 postdoc으로 재직 중이다. 이준기 회원(석박 수료)은 다차원(2, 3차원) 플라즈마 입자 시뮬레이션 코드를 독

자적으로 개발하였으며, 이를 collisionless magnetic reconnection에 적용하여 microscopic scale에서만 나타날 수 있는 dynamo 현상을 연구 중이다. 이준기 회원은 현재 한국천문연구원 전문연구요원으로 근무 중이다. 석사 3기인 송인혁 회원은 천체의 shear flow와 연계된 thermal instability를 해석적 방법으로 연구 중이다. 이는 다양한 천체에서 나타나는 filament 구조의 생성 기작에 대한 새로운 이론을 제시할 것으로 기대된다. 셰트랙아이에 재직 중인 박근석 회원(박사 수료)은 달과 같은 자기장이 없는 천체와 태양풍의 상호 작용을 3차원 자기유체역학적 시뮬레이션을 통해 연구 중이다. 전홍달 회원(박사 수료)은 태양과 자기권 등에서 발생하는 ballooning instability에 대한 연구를 수행 중이다. 최광선 회원, 장민환 회원, 홍순학 회원(전과연)은 Univ. Colorado의 T. N. Woods와 협력하여, magnetic flux의 수평이동과 관련된 활동들이 태양극대기보다는 그 이후에 더 활발하다는 것을 발견하여 이를 논문으로 발표하였다. 최근 학부 4년차인 최창대 학생이 본 연구실에 합류하여 다양한 plasma wave가 phase space에서 ordered orbit로부터 chaotic orbit으로 전환되는 과정을 연구하고 있다.

### 태양우주기상연구실

문용재 회원이 이끄는 태양우주기상연구실(Solar and Space Weather Laboratory)은 태양활동에 대한 관측적인 연구 및 이들이 지구 주변에 미치는 영향을 연구하고 있다. 2017년 2월에 최성환, 이재욱 회원이 박사학위를 취득하였으며, 김진현 회원이 석사학위를 취득하였다. 2017년 3월 현재 연구교수 3인(신준호 박사, 이진이 박사, 성숙경 박사), 박사후 3인(박진혜 박사, 조일현 박사, 강지혜 박사), 박사과정 12인(박종엽, 나현욱, 이강진, 장수정, 이어진, 신슬기, 이하림, 김태현, 임다예, 이강우, 박은수, 김진현) 및 석사과정 1인(전성경)이 연구를 함께 하고 있다. 신준호 회원은 ‘우주기상 예보시스템 개발 연구’, 이진이 회원은 ‘태양 분출 플라즈마의 질량 및 에너지 연구’, 성숙경 회원은 ‘태양과 행성간 공간의 자기장 비교 연구’, 박진혜 회원은 ‘태양 고에너지 입자의 특성 및 예보에 관한 연구’, 조일현 회원은 ‘태양풍 속도 결정 연구’, 강지혜 회원은 ‘관측기반 시뮬레이션 모델을 통한 플레어/코로나 질량 방출 기작 연구’, 박종엽 회원은 ‘우주기상 예보 평가 방법에 대한 연구’, 나현욱 회원은 ‘CME 콘 모형의 관측적 검증 연구’, 이강진 회원은 ‘플레어/CME 예보 모델의 검증 연구’, 장수정 회원은 ‘CME 3차원 인자와 플레어의 관련성 연구’, 이어진 회원은 ‘태양 활동 영역의 인자와 플레어 관련성 연구’, 임다예 회원은 ‘활동 지역의 벡터 자기장 자료를 활용한 태양활동 예보 연구’, 이하림 회원은 ‘CME 3차원 진동 특성 연구’, 신슬기 회원, 이강우 회원, 박은수 회원은 ‘딥러닝을 활용한 태양 활동 예보 연구’, 김진현 회원은 ‘태양 코로나그래프 광학설계 및 검증 연구’ 수행 중에 있다. 그리고 문용재 회원은 현재 (1) 태양 분출 현상에 대한 관측 연구, (2) 다양한 방법을 활용한 우주기상 예보 모델 연구를 여러 공동 연구자들과 함께 수행하고 있으며, BK 1유형 과제책임자를 담당하고 있다.

**Solar Dynamics Laboratory Group**

Our group aims to reveal the dynamical nature of solar plasmas producing various kinds of active phenomena observed in the Sun, such as solar cycle, solar flares, jets, sunspots, solar winds and coronal mass ejections. We investigate these phenomena by combining numerical modeling based on computer simulation with ground-based and space observation data. The members of our group are Dr. Tetsuya Magara (leader), Jun Mo An and Hwanhee Lee in an MS-PhD combined course. Currently we are studying the recycling process of a magnetic field in a deep interior of the Sun, transporting process of a magnetic field through the solar convection zone where magnetoconvection operates, emergence process of a magnetic field into the solar atmosphere, dissipation process of a magnetic field in the solar atmosphere which causes the heating of the solar corona and the generation of a solar wind, and eruption process of a magnetic field into the interplanetary space observed as a coronal mass ejection. We also collaborate with the space weather group at NICT (National Institute of Information and Communications Technology) in Japan in order to develop a state-of-art three-dimensional unstructured grid-based simulation model for the Sun-Earth system.

**별탄생연구실**

이정은 회원이 이끄는 별탄생 연구실은 현재 2명의 박사 후 연구원, 2명의 박사과정 학생과 5명의 석박통합 학생, 별생성 영역들에 대한 물리적 화학적 상태에 대한 다양한 연구를 진행 중에 있다.

이정은 회원은 ALMA Cycle 2 관측결과를 바탕으로 turbulent fragmentation에 의해 wide binary formation 일어나는 과정을 포착하여 논문을 제출하였으며, Cycle 4 시간도 확보하였다. 이정은 회원은 충남대학교 유현주 학생과 함께 JCMT Large Program을 통해 한 Class I 원시성의 폭발을 포착하여 분석중이며, 또한 SMA와 JCMT 후속 관측제안도 하였다. 이석호 회원은 통합적인 원시행성계원반의 모델 코드를 구축하고 있다. 최윤희 회원은 TMC 1이라 불리우는 필라멘트 구조의 분자운에서 화학 진화의 양상을 연구하여 ApJS에서 논문게제승인을 받았으며, 현재는 L1251B의 Spitzer/IRS, Herschel/PACS, SPIRE, HiFi 관측 데이터를 분석하고 있다. 박선경 회원은 IGRINS legacy program인 Spectral Library에 관한 논문을 제출하여 심사 중이며, 다양한 폭발 원시성인 FUOrs를 BOES와 IGRINS를 이용하여 관측하고 분석하고 있다. 윤성용 회원은 원시행성계원반을 연구하는 또 다른 IGRINS legacy program에서 Class I 천체들을 분석하고 있다. 이희원 회원은 JCMT Large program에 참여하여, Orion 영역에 있는 Planck Galactic Cold Clumps를 SCUBA2와 KVN으로 관측하여 별의 형성과 주변 환경의 관계를 연구하고

있다. 윤형식 회원은 TRAO의 Key Science Program을 통하여, Orion과 Ophiuchus 영역을 다양한 분자선으로 관측하고 있으며, 이를 바탕으로 두 영역에서의 난류의 성격을 연구하고 있다. 백기선 회원은 매우 초기단계에 있는 원시성인 L1527-IRS의 Herschel/PACS 연속스펙트럼을 설명하는 envelope 밀도구조를 continuum radiative transfer modeling을 통해 연구하여 논문을 작성하고 있으며, 두 개의 massive protostar의 ALMA 분자선 관측결과를 분석하여 화학적 상태를 비교하는 연구를 수행하고 있다.

**3. 연구시설**

**경희천문대**

경희대학교 천문대는 1992년 10월 돔형 건물의 완공과 76cm 반사망원경의 설치를 기점으로 개관하여 1995년 9월 민영기 교수가 초대 천문대장으로 부임하였다. 1999년 1월에 김상준 교수가 제 2대 천문대장으로 부임한 후, 2001년 3월에 인공위성 추적 관측을 위한 관측소를 설치하였다. 2003년 2월에 장민환 교수가 제 3대 천문대장으로 부임하였고, 2010년 3월부터는 박수종 교수가 제 4대 천문대장직을 수행하였다. 2012년 3월에 진호 교수가 제 5대 천문대장직에 부임한 후, 2013년 10월에 공식 명칭을 '우주과학교육관'에서 '경희대학교 천문대'로 변경하였고, 새롭게 홈페이지를 개선하였다. 2015년 2월부터는 최광선 교수가 제 6대 천문대장직을 수행하였고 2017년 3월부터 김관혁 교수가 제 7대 천문대장직을 수행하고 있다. 경희대학교 천문대는 연구 및 교육 활동 외에 천문우주과학 대중화 사업을 적극적으로 진행해 오고 있다. 행정직원으로는 전홍달 회원이 행정 및 연구실장으로 근무하고 있다.

본 천문대는 2009년에 리모텔링 공사를 통하여 각종 연구시설을 정비하였고, 76cm 반사망원경의 TCS를 교체하여 보다 효율적이고 정확한 관측이 가능하도록 하였다. 또한 2010년에는 Meade사의 16인치 리치크레티앙식 망원경과 Paramount ME 마운트를 도입하여 위성 추적 및 천체 관측 실습용으로 사용 중에 있으며, 2011년과 2012년에는 FLI 4K CCD와 FLI 1K CCD를 각각 도입하여 관측에 활용하고 있다. 2013년에는 대구경 쌍안경을 도입하여 과학문화 대중화에 활용하고 있다. 2012년 4월에는 기존의 전시장 공간에 연구실을 신설하는 공사와 영상실 조성 공사가 완료되었다. 2015년 2월과 2016년 2월에는 천체관측지원을 위하여 주망원경 돔을 보수하였다.

2015년 10월에는 일반인 및 경희가족을 대상으로 한 공개 관측회가 개최되었다. 다양한 체험학습 프로그램과 과학문화 대중화를 위한, 천문 및 우주과학을 주제로 하는 교육프로그램을 상시 진행하고 있다. 초중고 학생들 및 일반인을 대상으로 하는 교육 프로그램은 주 4회씩 진행되고 있다. 이를 통해 천문·우주과학에 대한 일반의 관심을 향상시키고, 중고생들에게 전공 진로 방향을 제시하는 등, 경희대학교 천문대는 지역사회 및 일반 천문동호인들에게 중요한 교육 및 체험 현장으로서 새로운 위상을 정립하고 있다.

경희대학교 천문대에는 천문우주과학 관측기기 및 인공위성의

개발과 관련된 다수의 실험실들이 설치되어 있다. 실험 시설로는 전자장비 개발 및 시험 시설, 기계구조부 제작 및 시험 시설, 청정실 등이 있으며, 경희대학교 인공위성 지상국도 현재 천문대에 설치되어 운용되고 있다.

**■ 서울대학교 물리·천문학부 천문학 전공**

**1. 인적사항**

서울대학교 물리·천문학부 천문학전공에서는 구분철, 이형목, 이명균, 박용선, 채종철, 임명신, 김웅태, 이정훈, 우중학, Masateru Ishiguro, 윤성철, Sascha Trippe 등 12명의 교수가 교육과 연구를 담당하고 있다. 이정우 교수는 2016년 3월까지 BK21플러스 연구교수로 재직하다 나고야 대학으로 자리를 옮겼고, 미국 Alabama 대학에서 온 James Irwin 교수는 2016년 9월부터 이듬해 5월까지 객원부교수로 부임하여 연구년을 지내고 있다.

2016년 1학기에는 박용선, 이정훈 교수, 2학기에는 이형목, 채종철 교수가 연구년을 보냈다. 천문전공 주임은 김웅태 교수가 맡고 있으며, 임명신 교수는 창의연구 초기천체우주연구단 단장, 우중학 교수는 BK21 운영위원을 맡고 있다.

임명신 교수는 한국과학기술단체총연합회에서 주관하는 '제26회 과학기술우수논문상' 수상자로 선정되었으며, 이형목 교수는 중력과 발견에 대한 공로로 미국의 Breakthrough 재단이 수여하는 'Breakthrough Prize in Fundamental Physics'와 Gruber 재단이 수여하는 'Gruber Prize in Cosmology'를 LIGO 회원들과 함께 공동으로 수상하였다.

박사 후 연구원으로는 김동훈, 김정리, 김영민, 천상현, 오희영, Le Huynh Anh 박사가 신규임용 되었으며, 김재우, 김정리, 전이슬, Marios Karouzos 박사가 근무를 마쳤다.

2016년 1학기에는 석박통합과정 6명, 2학기에는 석박통합과정 4명이 입학하였다.

2016년 1학기에는 박사 5명, 석사 2명, 학사 1명을 배출하였으며, 2학기에는 박사 2명, 석사 1명, 학사 7명을 배출하였다. 학위를 받은 학생은 아래와 같다.

**《 2016년 8월 학위 취득 》**

- 박사

김창희 (지도교수: 박용선) A Simultaneous 22 GHz Water and 44 / 95 GHz Methanol maser Surveys toward Massive Star-forming Regions

배영복 (지도교수: 이형목) General Relativistic simulations of Gravitational Radiation Capture of Black Holes

송동욱 (지도교수: 채종철) Fine-scale Magnetic Structures and Chromospheric Activities in Sunspots

양희수 (지도교수: 채종철) Ellerman Bombs and Surges in Solar Active Regions

장인성 (지도교수: 이명균) The Tip of the Red Giant Branch Distances to Type Ia Supernova Host Galaxies and the Hubble Constant

- 석사

곽성원 (지도교수: 김웅태) Origin of Non-Axisymmetric Features of dEs in Virgo Cluster

조국섭 (지도교수: 우중학) Black Hole Mass Scaling Relations of 10 Pseudo-Bulge Galaxies

- 학사

문상혁

**《 2017년 2월 학위 취득 》**

- 박사

김민규 (지도교수: 이형목) Observations of the Near-Infrared Extragalactic Background Light

조완기 (지도교수: 구분철) Statistical Analysis on the Turbulent Multi-scale Interstellar Medium

- 석사

계창우 (지도교수: 윤성철) The Effect of Convective Mixing on the Nucleosynthesis of Massive Population III Stars

- 학사

김다나, 공찬웅, 신나은, 이혜진, 정재웅, 조완진, 조호진

**2. 학술 및 연구 활동**

구분철 회원은 2월 말까지 고등과학원을 방문하여 박창범 교수와 같이 공동 연구를 수행하였으며, Springer 출판사에서 발간한 "Handbook of Supernovae"에 포함될 "Supernova Remnant Cassiopeia A" 단원을 함께 저술하였다. 10월에는 제 10차 East Asian Meeting on Astronomy(EAMA)를 주관하였다. 서울대에서 개최된 이번 모임에는 15개국에서 150명의 참가자가 참석하였으며, 4일간 동아시아 지역의 천문 활동 및 연구 관련 110편의 구두 및 포스터 논문이 발표되었다. 특히 특별 세션인 동아시아천문대(East Asian Observatory)의 운영에 관한 토의 세션과 동아시아 여성천문학자들의 친교를 도모하기 위한 Women in Astronomy 세션이 참가자들의 큰 호응을 얻었다. 지도학생 박금숙 회원은 은하의 바깥쪽에서 고속 성간운의 충돌로 생성된 것으로 추정되는 거대한 중성수소 수퍼셀을 발견하였다. 발견된 고속 성간운-수퍼셀 시스템은 수퍼셀이 초신성 폭발 이외에 고속 성간운의 충돌로도 생성될 수 있음을 보여주며, 한편으로는 고속 성간운이 은하의 헤일로를 통과하여 은하 원반에 충돌함으로써 은하 기체에 에너지를 공급할 수 있다는 것을 보여주는 예로서 수퍼셀과 고속 성간운 연구에 중요한 천체가 될 것으로 기대한다. Astrophysical Journal Letter 8월호에 게재된 연구논문은 AAS(American Astronomical Society) Nova에 주목할 만한 논문으로 소개되었으며, 해외 과학전문 잡지 New Scientist 및 대중 천문 잡지 Sky and Telescope 등에 소개되었다.

김웅태 회원은 공동 연구자들과 함께 은하 원반에 있는 성간 물질의 역학적 진화 및 항성 원반의 비축대칭 구조물의 형성에 대한 연구를 계속하고 있다. 김웅태 회원은 김정규 회원(박사과정)과 Ostriker 교수(Princeton)와 함께 구대칭 1차원 모형을 통

하여 전리수소역의 팽창에 의한 분자운의 파괴현상을 연구했다. 이들은 무거운 성간운을 파괴하기 위해서는 별탄생 효율이 상당히 높아야하며 전리수소영역의 팽창은 주로 먼지에 작용하는 복사압에 의해 발생함을 보였다. 김웅태 회원은 문상혁 회원(석박통합과정) 회전하는 등은 고리의 중력불안정성의 선형해석을 통해 고리의 중심밀도가 클수록 또는 회전각속도가 느릴수록 더 불안해짐을 보였다. 김웅태 회원은 또한 박성원(천문연구원), 이수창(충남대), 김석(천문연구원) 회원과 함께 '원반형 왜소 타원은하'가 갖고 있는 막대의 기원에 대한 연구를 수행하였다. 김웅태 회원은 현재, 김정규 회원과 별 형성 및 전리수소영역의 진화를 계산할 수 있는 복사유체역학 코드를 개발하여 성간운의 별탄생 효율 계산하여 사용하고 있으며, 서우영 회원과 함께 핵고리에서 일어나는 별 형성 및 퇴적에 대한 3차원 연구를 수행하고 있다. 또한, 문상혁 회원과 함께 원통형 좌계에서 적용 가능한 자체중력해자를 개발하고 있으며, 양승원 회원과 함께 원시행성원반의 역학적 진화에 대한 연구를 수행하고 있다.

박용선 회원은 유형준 회원과 프레벨 렌즈를 대물렌즈로 쓰는 경량 망원경의 광학계를 연구하고 있다. 기하광학적으로 광선을 추적하는 방법과 회절효과를 고려하여 수차를 계산하는 프로그램을 개발하여 광학계를 설계하고 있다. 광대역으로 회절 한계에 가깝게 동작하는 망원경을 설계하기가 매우 어려워 대역폭을 좁히고 십여개의 렌즈를 조합하여 광학계를 설계하고 있다. 박용선 회원은 또한 KVN 망원경으로 AGN과 지구 사이의 성간구름을 분자흡수선으로 관측하여 어떤 크기의 초미세 구조가 있는지를 연구하였다. 밀도변화보다는 분자 함량이 분자마다 작은 규모로 다를 수 있음을 제안하였다. 서울대학교 전파천문대는 냉각기 등의 고장으로 2016년은 가동하지 못했다.

우종학 회원은 3명의 석박사 학생과 2 명의 박사후 연구원과 함께 (1) 캘리포니아 대학과 MOU를 맺어 Lick망원경을 이용한 3년 장기 관측 프로그램을 진행 중이며 미시간 대학의 MDM 2.4미터와 1.3미터 망원경 및 레몬산망원경을 사용하여 분광 및 측광으로 빛의 메아리 효과를 이용한 블랙홀 질량 및 우주론 연구를 진행 중이다. (2) Gemini, VLT, Magellan 등에서 관측한 IFU자료를 이용하여 가스분출과 AGN 피드백에 관한 연구를 진행 중이다. (3) biconical outflow 모델 과 MC 시뮬레이션 및 SDSS자료를 이용한 통계적 연구를 진행 중이다. (4) 엑스선 찬드라 자료를 이용한 엑스선 공동에 관한 연구를 진행 중이다.

윤성철 회원은 1명의 포스트닥 연구원과 5명의 대학원 학생을 지도하고 있다. 2016년도에는 한국천문연구원의 지원으로 쌍성계에서 발생하는 초신성을 탐색하는 한칠레 협력 연구를 시작하였다. 이 연구는 쌍성계의 진화 과정이 초신성의 다양성에 미치는 영향을 살피는 것이 주 목적이며 1차 년도에는 준비과정으로 IIb/II형 초신성의 모체성과 연관된 무거운 별의 쌍성계, 그리고 Ia형 초신성과 연관된 백색왜성 쌍성계 진화의 모형계산을 주로 수행하였고 그에 따른 초신성 폭발의 복사전달 계산 등을 국제적으로 공동연구 하였다. 4월에는 KGMT 사업의 일환으로, GEMINI의 GRACES 고분산 관측을 수행하였다. 알파 원소의 함

량이 특이하게 높은 별의 스펙트럼을 분석함으로써 짝불안정 초신성이 남겨놓은 중원소 패턴의 흔적을 찾는 것이 주목적으로서 현재 데이터 분석 과정에 있다. 아울러, 이헌철 회원과 함께 Population III별의 형성 과정에서 질량을 강착하는 원시성의 진화에 회전 및 에딩턴 한계가 미치는 영향을 살피는 연구가 완결되었고, 기존의 예측과는 달리, 초기 우주에서 질량강착을 통해 태양의 수백배에서 수천배의 질량에 이르는 거대 별의 형성이 매우 어렵다는 사실을 보였다.

이명균 회원은 장인성 회원과 함께 전형적인 타원 은하인 M105에 대한 날별 측광을 수행하고 이 은하의 화학적 진화를 연구하였다. 장인성 회원과 함께 코마 은하단에서 가장 밝은 나선 은하인 NGC 4921의 구상성단계에 대한 측광 연구를 수행하였다. 장인성 회원과 함께 Abell 2744 은하단에 있는 구상성단, ultracompact dwarf galaxies, 왜소은하에 대한 측광 연구를 수행하였다. 김태현 회원, Gadotti, D.A., Sheth, K., Athanassoula, E., Bosma, A. 등과 함께 막대나선의 적외선 관측 자료를 분석하여 나선은하 원반의 진화에 대한 연구를 수행하였다. 손주비, 황호성 회원, Geller M., Zahid, H. 등과 함께 SDSS자료를 이용하여 밀집은하군의 목록을 작성하여 발표하였다. 장인성 회원, Beaton, R., Madore, B., Freedman, W. 등과 함께 허블우주망원경을 이용하여 Carnegie-Chicago Hubble Program 연구를 수행하였다. 권유나, 이시구로 회원 등과 함께 목성계열혜성인 17P/Holmes 혜성에 대한 Monitoring 연구를 수행하였다. 이시구로, 김윤영, 권유나 회원 등과 함께 목성계열혜성인 15P/Finlay 혜성의 multiple outbursts에 대한 관측 연구를 수행하였다.

이정훈 회원은 2016년 동안 단독저자 논문 한 편과 제1저자이자 교신저자인 논문 한 편을 *Astrophysical Journal*에 발표하였다. 첫번째 논문에서 이정훈 교수는 은하군 바운드 영역에 존재하는 은하들의 특이속도 프로파일의 보편성을 수치자료를 분석하여 검증하였다. 두 번째 논문은 스페인의 Gustavo Yepes 교수와의 공동 연구를 통해 은하단의 회전반경의 우주웹 환경 의존성을 처음으로 규명한 결과를 담고 있다. 또한 2016년 동안 이정훈 교수는 오스트리아, 호주, 미국에서 열린 우주론 워크숍에 참석하여 구두 발표를 하였다.

이형목 회원은 한국 중력과 연구진인 KGWG의 대표 역할을 수행하고 있으며 자료처리 분야의 다양한 연구를 수행하고 있다. KGWG는 LIGO Scientific Collaboration(LSC)의 공식 회원으로 서울대, 한양대, 부산대, 인제대, 국가수리과학연구소(NIMS), 한국과학기술정보연구원(KISTI) 등이 참여하고 있다. 2015년 9월 가동을 시작한 직후 최초의 중력과 직접 검출에 성공한데 이어 2015년 12월 26일에 또 하나의 블랙홀 충돌에 의한 중력과 검출이 이루어졌고 2015년 10월 12일에는 비록 신호가 약하기는 하지만 중력파에 의한 것으로 추측되는 후보가 연달아 발견되었다. 이들 결과는 2016년에 연달아 LIGO 협력단의 공동 논문으로 발표되었다. 한국에서는 이형목 회원을 비롯한 KGWG에 속한 14명이 중력과 발견 논문에 저자로 참여하였고 동반 논문 13

개에도 참여하고 있다. 이형목 회원은 박다우(박사과정), 김정리(천문연구원)와 공동으로 구상 성단 내 블랙홀의 질량함수가 성단의 역학적 진화와 장기적인 블랙홀의 유지 여부에 관한 상관관계를 연구하였다. 이형목 회원은 2016년 9월 1일부터 10월 30일까지 호주의 University of Western Australia (UWA)에 머물면서 1차례의 대중 강연과 1차례의 콜로퀴움 강연을 하였고 UWA 중력그룹을 대상으로 2차례의 특강을 실시하였다. 이형목 회원은 2016년 5월 6일 - 5월 8일 사이에 중국 베이징의 카블리 이론물리연구소에서 개최하는 'The Next Detectors for Gravitational Wave Astronomy'의 International Advisory Committee 멤버와 초청 연사로, 2015년 6월 21-26일 사이에 개최되는 제 11차 에도아르도 아말디 컨퍼런스의 조직위원장과 초청 연사로 활동하였다. 이형목 회원은 2016년 8월 22-26일 사이에 KIAS의 지원을 받아 "Gravitational Wave Astronomy with Present and Future Detectors"라는 제목으로 국내외 전문가를 초청하여 KIAS Research Station을 주관하였다. 이형목 회원은 2016년 9월 29일 - 10월 2일 사이에 홍콩 중문대학 (Chinese University of Hong Kong)에서 중력과 검출의 선구적 역할을 한 Kip Thorne (Caltech)과 Rainer Weiss (MIT)가 Shaw Prize를 받은 것을 기념하기 위해 개최한 'Asia-Pacific Gravitational Wave Workshop'에서 블랙홀 쌍성의 기원에 대한 초청 강연을 하였다. 이형목 회원은 김민규(서울대 박사과정) 회원, 천문연구원, 일본의 ISAS/JAXA, 미국의 JPL 등 여러 연구기관에 속한 연구자들과 공동으로 CIBER 데이터에 나타난 별의 스펙트럼을 분석하였고, 0.96-1.65  $\mu\text{m}$  사이의 은하의 퍼진 복사 스펙트럼을 측정함으로써 은하의 근적외선 복사가 주로 크기가 큰 성간 티끌이 별빛을 산란시켜 만들어내는 모형과 잘 일치함을 보였다. 이형목 회원은 중력과 발견에 대한 공로로 미국의 Breakthrough 재단이 수여하는 'Breakthrough Prize in Fundamental Physics'와 Gruber 재단이 수여하는 'Gruber Prize in Cosmology'를 LIGO 회원들과 함께 공동으로 2016년 12월에 수상하였다.

임명신 회원은 한국연구재단 리더연구자사업(창의적 연구) 지원을 받고 있는 초기우주천체연구단을 이끌면서 퀘이사, 원시은하단, 타원은하, 감마선 폭발, 초신성 등 다양한 주제에 대한 연구를 수행하였다. 연구단에서 수행 중인 Infrared Medium-deep Survey 자료를 바탕으로 김재우, 이성국, 현민희 회원 등과 함께 원시은하단 및 초은하단 후보들을, 전이슬, 김용정 회원과 함께 초기우주 퀘이사 후보들에 대한 선별 및 분광관측 확인 연구를 진행하였다. 이들 후보천체들에 대한 후속관측에는 칠레 Magellan 6.5m 망원경의 다천체 분광기 IMACS와 근적외선 분광기 FIRE, 그리고 맥도날드 천문대 2.1m 망원경의 CQUEAN을 이용하였다. 그 결과  $z=0.91$ 에 있는 초은하단과  $z=6$  초기우주에 있는 보통밝기 퀘이사를 세계 3번째로 발견하였다. 그리고 전현성 회원, 김도형 회원 등과 함께 NASA IRTF 망원경을 이용하여 가장 무거운 블랙홀의 질량 측정의 신뢰성을 연구하여, 질량이 매우 크게 측정된 퀘이사의 경우(태양 질량의 약 1백억 배), 질량 측정치의 신뢰성이 떨어질 수 있음을 알아냈다. 김도형 회원과 함께 은하진화를 규명하기 위한 고리역할을 하는 red quasar

에 대한 연구를 진행하고 있다. 특히 근적외선에서 나타나는 수소 Paschen line을 사용하여 red quasar의 accretion rate이 보통 퀘이사보다 크다는 점을 알아냈음은 물론, line ratio 분석을 통해 red quasar의 색깔은 dust extinction 때문이라는 사실도 밝혀냈는데 이는 붉은 quasar가 보통 quasar와 별형성 중인 은하의 징검다리를 하는 단계라는 scenario를 지지하는 흥미로운 결과이다. 또한 윤용민 회원과 가까운 우주에 있는 매우 무거운 타원은하의 질량-크기 관계가 주변 환경에 의해 영향 받는다는 사실을 최초로 규명하였는데, 이는 그 동안 LCDM 모델이 예측한 바를 뒷받침하는 결과이다. 임명신 회원은 김준호 회원, Karouzos 회원과 함께, KMTNet을 이용한 AGN의 시계열 관측 연구를, 이상운 회원과 함께 GRB폭발 직후의 근적외선 스펙트럼의 변화를 이용하여 extremely long GRB의 afterglow와 prompt emission에 대한 연구를 수행하고 있다. 탁운찬 회원과 함께 중력렌즈 천체에 대한 모델링 연구를 진행하고 있으며, SQUEAN을 이용한 medium-band reverberation mapping 연구도 시작하였다. 경희대학교 박수중 회원 등과 함께 고적색편이 퀘이사 관측을 위한 적외선 관측기기인 SQUEAN을 사용하여  $z=5$ 에 있는 희미한 퀘이사들에 대한 저분산 분광관측과 photometric reverberation mapping 연구를 수행 중이다. 임명신 회원은 최창수 회원과 함께 호주 Siding Spring 천문대에 위치한 0.43m 반사망원경 Lee Sang Gak 망원경(LSGT)에 SNUCAM-II라는 고감도 CCD camera를 새로이 설치하였다. LSGT의 SNUCAM-II, 미국의 0.8m 망원경, 레몬산 1m 망원경, 우리나라 소백산 천문대, 덕홍천문대, 우즈베키스탄 1.5m 망원경 등을 이용하여 최창수 회원, 임구 회원, 이상운 회원, 박근우 회원 등과 함께 가까운 은하의 monitoring 관측 연구를 수행하였으며, 임구 회원은 이 자료를 이용하여 가까운 별형성 은하에 나타나는 은하합병 흔적을 연구 중에 있다. 그리고 임명신 회원은 준공 후 약 40년이 지난 서울대학교 제1광학천문대의 재건축위원회 위원장으로 천문대의 재건축을 진행하고 있다.

채종철 회원이 이끄는 태양천문학 그룹에서 2016년 8월 송동욱 회원과 양희수 회원이 박사 학위를 취득했다. 송동욱 박사는 2017년 3월 현재 일본국립천문대(NAOJ)에서 박사후 연수연구원으로 일하고 있으며, 양희수 박사는 현재 서울대학교 박사후 연수연구원으로 일하고 있으며, 2017년 4월부터는 한국천문연구원에서 계약 연구원으로 일할 예정이다. 2017년 3월 현재 그룹에 있는 학생회원은 3인의 박사과정 회원(조규현, 광한나, 이겨레), 2인의 석사과정 회원(서민주, 강주형)이다. 2016년 9월부터 6개월간 일본 나고야 대학을 방문하여 연구했던 이정우 박사가 2017년 4월부터 객원교수로 그룹에 다시 합류할 예정이다. 태양천문학 그룹은 미국 빅베이 태양 천문대의 1.6미터 태양 망원경(NST)의 고속영상태양분광기(FISS)를 이용한 관측 연구에 집중하고 있다. 이 관측 기기는 채종철 회원이 이끄는 서울대 태양 천문학 그룹과 한국 천문 연구원 태양 우주 환경 그룹이 공동 제작한 것이다. 2016년도에 서울대 그룹에서 주저자 논문으로 주요 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 태양 흑점 상부에서 발생하는 강한 하강류 사건이 태양 흑점 채층에 3분 진동을 유발함을 발견하였다 (Kwak et al. 2016). 둘째, 엘러만 폭탄이 소규

모 상승 자기력선 또는 이동 자기구조에 의해 유발되는 자기계 연결의 결과임을 뒷받침하는 관측 증거를 확보했다 (Yang et al. 2016), 셋째, 플레어 발생 전에 일어난 H 알파선에서 매우 큰 청색 이동과 선폭 증대를 발견했다 (Cho et al. 2016).

Masateru Ishiguro 회원은 서울대학교에서 태양계 내의 소행성과 혜성을 연구하여 태양계의 진화 양태와 천체들의 물리적 특성을 밝히는 연구를 진행하고 있다. 2016년에는 해당 그룹에서 4개의 SCI 논문 (주저자/책임저자 논문 3개 포함)을 발표했는데, 주요 내용은 다음과 같다.

(1) Masateru Ishiguro, 권유나, 김윤영 및 이명균 회원이 주도한 연구로 2014년 12월에 있었던 혜성 15P/Finlay의 폭발현상 이후 2015년 1월에 또 다른 폭발이 있었음이 알려졌다(Ishiguro et al., 2016a). 또한 먼지 방출을 모형화한 수치모형을 통해 최대 약 570 km/s의 속도로 10만 톤의 먼지가 이 폭발로 방출되었음을 보였다. 이 논문에서 또한 15P/Finlay와 같은 폭발은 대략 연간 1.5회 정도 발생하며, 이러한 폭발들이 평균적으로 초당 10kg이상의 입자를 행성간 공간으로 주입시킨다는 것이 유추되었다. 상술한 수치모형으로부터 이 천체에서 방출된 먼지는 다공질의 어두운 입자들임이 알려졌고, 이는 그러한 입자가 혜성 내부에 존재하며 폭발 시에 방출될 수 있음을 시사한다.

(2) 권유나 회원과 Masateru Ishiguro, 김윤영 및 이명균 회원의 주도로 목성계 혜성인 17P/Holmes가 2014년 근일점을 지나던 시기의 관측연구 결과가 출판되었다 (Kwon et al., 2016). 해당 논문은 지난 2007년 근일점을 통과하며 하루만에 100만 배 가량 밝아졌던 17P/Holmes 혜성이 그 이후 처음으로 근일점을 통과하는 동안 먼지 방출률(생성률)이 어떻게 변화하는지를 관측하고 이론적으로 모형화했다. 이 연구로 근일점에 가까워지고 멀어지는 동안 먼지의 생성률이 비대칭적으로 변하며, 지난 2007년 근접시에 비해 먼지 생성률이 10만 배가량 작아졌음을 보였다. 이는 혜성 표면에서 먼지를 방출하는 영역의 넓이가 100배 정도 줄었음을 의미하며, 논문에서는 이론적 계산을 통해 열적 포피 깊이가 7년 만에 급격하게 깊어졌음을 보였고, 현재 약 5cm 이상의 먼지층이 표면을 덮어버렸음을 보였다.

(3) Masateru Ishiguro 회원과 김윤영, 권유나 회원 등은 상술한 17P/Holmes가 2007년 보였던 대규모 폭발 현상에 대한 조사를 실시했다 (Ishiguro et al., 2016b). 이 논문에서는 17P/Holmes의 혜성구조가 단순한 구조가 아니라 최소 2개 층위의 구조 (핵에 가까운 먼지구름과 좀 더 길게 퍼져있는 구조)로 이루어졌음을 앞서와 같은 수치 모형을 통해 알아내었다. 동시에 먼지층은 약 1-10mm크기의 먼지입자로 구성되어 있으며, 초기에 50 m/s 이상의 속도로 방출되었고, 이는 혜성 표피에 있던 얼음 성분의 급작스런 승화에 의한 것임을 주장하였다. 방출된 질량은 약 4~8억 톤 규모로 추정되었다.

(4) Masateru Ishiguro 회원이 참여한 공동연구에서 쪼개진 혜성인 332P/Ikeya-Murakami의 운동학에 대한 연구가 실시되어 출판되었다 (Jewitt et al., 2016). 해당 연구에서는 332P/Ikeya-Murakami가 기존에 알려진 것 보다 매우 작은 약 275m 미만의 반경을 가지며, 따라서 최소 약 300배 가벼운 천체였음이 밝혀졌다. 또한 혜성의 질량이 작기 때문에 혜성의 자

전 불안정성이 과거의 모체로부터 파편을 날리는 데 주요한 역할을 했을 것이라는 점이 제안되었다.

Sascha Trippe's group focused mainly on the physics of the central parsecs of active galactic nuclei (AGN). They conducted interferometric observations using the Korean VLBI Network (KVN) and the KVN and VERA Array (KaVA) within the frame of the Plasma-physics of Active Galactic Nuclei (PAGaN) project which is aimed at understanding the formation, collimation, and propagation of AGN jets. Their group is part of the AGN Working Group of the Korean-Japanese KaVA Science Group, the East-Asian AGN working group, and the East-Asian VLBI Network (EAVN) collaboration. They were awarded a 3-year KASI-University Cooperation Grant for exploring a new approach to optical interferometry. Additional research projects were targeted at the dynamics of early-type galaxies and the polarization of cosmic microwave background radiation. Notable science results were (a) the discovery of a relation between the time scale of AGN variability and accretion rate, (b) the finding that oscillations of electric charges caused by gravitational waves might contribute to the polarization of the cosmic microwave background, and (c) the discovery that systematic deviations from the virial relation observed for early-type galaxies are caused by a scaling of ellipticity with galaxy mass. Two group members were awarded research prizes: Junghwan Oh received the KAS Rising Star Award, Sascha Trippe received the JKAS Award.

### 3. 발표논문

Aasi, J.; Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Lee, H. M. and 910 coauthors, 2016, "Search of the Orion spur for continuous gravitational waves using a loosely coherent algorithm on data from LIGO interferometers", PHYSICAL REVIEW D, vol. 93, Issue 4

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 1002 coauthors, 2016, "Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger", PHYSICAL REVIEW LETTERS, vol. 116, Issue 6

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 1563 coauthors, 2016, "Supplement: "Localization and Broadband Follow-up of the Gravitational-wave Transient GW150914" (2016, ApJL, 826,

L13)", *ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES*, vol. 225, Issue 1

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 927 coauthors, 2016, "All-sky search for long-duration gravitational wave transients with initial LIGO", *PHYSICAL REVIEW D*, vol. 93, Issue 4

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 935 coauthors, 2016, "Prospects for observing and localizing gravitational wave", *LIVING REVIEWS IN RELATIVITY*, vol. 19, Issue 1, pp. 1–39

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 948 coauthors, 2016, "GW150914: Implications for the Stochastic Gravitational-Wave Background from Binary Black Holes", *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, vol. 116, Issue 13

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 950 coauthors, 2016, "GW150914: The Advanced LIGO Detectors in the Era of First Discoveries", *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, vol. 116, Issue 13

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 951 coauthors, 2016, "Comprehensive all-sky search for periodic gravitational waves in the sixth science run LIGO data", *PHYSICAL REVIEW D*, vol. 94, Issue 4

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 954 coauthors, 2016, "Astrophysical Implications of the Binary Black-hole Merger GW150914", *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 818, Issue 2

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 959 coauthors, 2016, "Observing gravitational-wave transient GW150914 with minimal assumptions", *PHYSICAL REVIEW D*, vol. 93, Issue 12

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 964 coauthors, 2016, "Binary Black Hole Mergers in the First Advanced LIGO Observing Run", *PHYSICAL REVIEW X*, vol. 6, Issue 4

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 968 coauthors, 2016, "GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence", *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, vol. 116, Issue 24

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 971 coauthors, 2016, "GW150914: First results from the search for binary black hole coalescence with Advanced LIGO", *PHYSICAL REVIEW D*, vol. 93, Issue 12

Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy, M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X.; Lee, H. M. and 971 coauthors, 2016, "Tests of General Relativity with GW150914", *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, vol. 116, Issue 22

Bae, Hyun-Jin; Woo, Jong-Hak, 2016, "The Prevalence of Gas Outflows in Type 2 AGNs. II. 3D Biconical Outflow Models", *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 828, Issue 2

Beaton, Rachael L.; Freedman, Wendy L.; Madore, Barry F.; Bono, Giuseppe; Carlson, Erika K.; Clementini, Gisella; Durbin, Meredith J.; Garofalo, Alessia; Hatt, Dylan; Jang, In Sung; Lee, Myung Gyoon and 7 coauthors, 2016, "The Carnegie-Chicago Hubble Program I. An Independent Approach to the Extragalactic Distance Scale Using Only Population II Distance Indicators", *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 832, Issue 2, pp. 210

Cho, Kyuhyun; Chae, Jongchul; Lim, Eun-kyung; Cho, Kyung-suk; Bong, Su-Chan; Yang, Heesu, 2016, "A New Method to Determine Temperature of CMES Using a Coronagraph Filter System", *JOURNAL OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY*, vol. 49, Issue 1, pp. 45–51

Dessart, Luc; Hillier, D. John; Woosley, Stan; Livne, Eli; Waldman, Roni; Yoon, Sung-Chul; Langer, Norbert, 2016, "Inferring supernova IIb/IIc ejecta properties from light curves and spectra: correlations from radiative-transfer models", *MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL*

- ASTRONOMICAL SOCIETY, vol. 458, Issue 2, pp. 1618–1635
- Fausnaugh, M. M.; Denney, K. D.; Barth, A. J.; Bentz, M. C.; Bottorff, M. C.; Carini, M. T.; Croxall, K. V.; De Rosa, G.; Goad, M. R.; Horne, Keith; Woo, Jong-Hak and 86 coauthors, 2016, “Space Telescope and Optical Reverberation Mapping Project. III. Optical Continuum Emission and Broadband Time Delays in NGC 5548”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 821, Issue 1
- García-Segura, G.; Villaver, E.; Manchado, A.; Langer, N.; Yoon, S.-C., 2016, “Rotating Stars and the Formation of Bipolar Planetary Nebulae. II. Tidal Spin-up”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 823, Issue 2
- Goad, M. R.; Korista, K. T.; De Rosa, G.; Kriss, G. A.; Edelson, R.; Barth, A. J.; Ferland, G. J.; Kochanek, C. S.; Netzer, H.; Peterson, B. M.; Woo, J. H. and 90 coauthors, 2016, “Space Telescope and Optical Reverberation Mapping Project. IV. Anomalous Behavior of the Broad Ultraviolet Emission Lines in NGC 5548”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 824, Issue 1
- Husemann, B.; Bennert, V. N.; Scharwächter, J.; Woo, J.-H.; Choudhury, O. S., 2016, “The MUSE view of QSO PG 1307+085: an elliptical galaxy on the M–BH–sigma(\*) relation interacting with its group environment”, *MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY*, vol. 455, Issue 2, pp. 1905–1918
- Husemann, B.; Scharwächter, J.; Bennert, V. N.; Mainieri, V.; Woo, J.-H.; Kakkad, D., 2016, “Large-scale outflows in luminous QSOs revisited. The impact of beam smearing on AGN feedback efficiencies”, *Astronomy and Astrophysics*
- Ishiguro, Masateru; Kuroda, Daisuke; Hanayama, Hidekazu; Kwon, Yuna Grace; Kim, Yoonyoung; Lee, Myung Gyoon; Watanabe, Makoto; Akitaya, Hiroshi; Kawabata, Koji; Itoh, Ryosuke; and 14 coauthors, 2016, “2014–2015 MULTIPLE OUTBURSTS OF 15P/FINLAY”, *ASTRONOMICAL JOURNAL*, vol. 152, Issue 6
- Ishiguro, Masateru; Sarugaku, Yuki; Kuroda, Daisuke; Hanayama, Hidekazu; Kim, Yoonyoung; Kwon, Yuna G.; Maehara, Hiroyuki; Takahashi, Jun; Terai, Tsuyoshi; Usui, Fumihiko; and 4 coauthors, 2016, “Detection of Remnant Dust Cloud Associated with the 2007 Outburst of 17P/Holmes”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 817, Issue 1
- Jeon, Yiseul; Im, Myungshin; Pak, Soojong; Hyun, Minhee; Kim, Sanghyuk; Kim, Yongjung; Lee, Hye-In; Park, Woojin, 2016, “The Infrared Medium–Deep Survey. V. A New Selection Strategy for Quasars at  $z > 5$  Based on Medium-Band Observations with SQUEAN”, *JOURNAL OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY*, vol. 49, Issue 1, pp. 25–35
- Jewitt, David; Mutchler, Max; Weaver, Harold; Hui, Man-To; Agarwal, Jessica; Ishiguro, Masateru; Kleyna, Jan; Li, Jing; Meech, Karen; Micheli, Marco; Wainscoat, Richard; Weryk, Robert, 2016, “Fragmentation Kinematics in Comet 332P/Ikeya–Murakami”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS*, vol. 829, Issue 1
- Karouzos, Marios; Woo, Jong-Hak; Bae, Hyun-Jin, 2016, “Unravelling the Complex Structure of AGN-driven Outflows. II. Photoionization and Energetics”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 833, Issue 2
- Karouzos, Marios; Woo, Jong-Hak; Bae, Hyun-Jin, 2016, “Unraveling the Complex Structure of AGN-driven Outflows. I. Kinematics and Sizes”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 819, Issue 2
- Kim, Jae-Woo; Im, Myungshin; Lee, Seong-Kook; Edge, Alastair C.; Hyun, Minhee; Kim, Dohyeong; Choi, Changsu; Hong, Jueun; Jeon, Yiseul; Jun, Hyunsung David; and 7 coauthors, 2016, “Discovery of a Supercluster at  $z \sim 0.91$  and Testing the LambdaCDM Cosmological Model”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS*, vol. 821, Issue 1
- Kim, Jeong-Gyu; Kim, Woong-Tae; Ostriker, Eve C., 2016, “Disruption of Molecular Clouds by Expansion of Dusty H II Regions”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 819, Issue 2
- Kim, Sanghyuk; Jeon, Yiseul; Lee, Hye-In; Park, Woojin; Ji, Tae-Geun; Hyun, Minhee; Choi, Changsu; Im, Myungshin; Pak, Soojong, 2016, “Development of SED Camera for Quasars in Early Universe (SQUEAN)”, *PUBLICATIONS OF THE ASTRONOMICAL SOCIETY OF THE PACIFIC*, vol. 128, Issue 969
- Kim, Taehyun; Gadotti, Dimitri A.; Athanassoula, E.; Bosma, Albert; Sheth, Kartik; Lee, Myung Gyoon, 2016, “Evidence of bar-induced secular evolution in the inner regions of stellar discs in galaxies: what shapes disc galaxies?”, *MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY*, vol. 462, Issue 4, pp. 3430–3440
- Kim, Woong-Tae; Moon, Sanghyuk, 2016, “Equilibrium

- Sequences and Gravitational Instability of Rotating Isothermal Rings”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 829, Issue 1
- Kim, Dong-Hoon; Trippe, Sascha, 2016, “Primordial Gravitational Waves and Rescattered Electromagnetic Radiation in the Cosmic Microwave Background”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 830, Issue 2
- Koo, Bon-Chul; Raymond, John C.; Kim, Hyun-Jeong, 2016, “Infrared [Fe II] Emission Lines from Radiative Atomic Shocks”, *JOURNAL OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY*
- Koo, Bon-Chul; Yeon Seok, Ji; Lee, Jae-Joon; Jeong, Il-Gyo; Kim, Hyun-Jeong, 2016, “Infrared supernova remnants and their infrared to X-ray flux ratios”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 821, Issue 1
- Kwak, Hannah; Chae, Jongchul; Song, Donguk; Kim, Yeon-Han; Lim, Eun-Kyung; Madjarska, Maria S., 2016, “Oscillatory Response of the Solar Chromosphere to a Strong Downflow Event above a Sunspot”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 821, Issue 2
- Kwon, Yuna Grace; Ishiguro, Masateru; Hanayama, Hidekazu; Kuroda, Daisuke; Honda, Satoshi; Takahashi, Jun; Kim, Yoonyoung; Lee, Myung Gyoon; Choi, Young-Jun; Kim, Myung-Jin; and 8 coauthors, 2016, “Monitoring Observations of the Jupiter-Family Comet 17P/Holmes During Its 2014 Perihelion Passage”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 818, Issue 1
- Lee, Hunchul; Yoon, Sung-Chul, 2016, “On the Role of the OmegaGamma Limit in the Formation of Population III Massive Stars”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 820, Issue 2
- Lee, Jeongwoo; Liu, Chang; Jing, Ju; Chae, Jongchul, 2016, “Solar Eruption and Local Magnetic Parameters”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 831, Issue 2
- Lee, Jeongwoo; Liu, Chang; Jing, Ju; Chae, Jongchul, 2016, “Solar Multiple Eruptions from a Confined Magnetic Structure”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 829, Issue 1
- Lee, Jounghun, 2016, “On the Universality of the Bound Zone Peculiar Velocity Profile”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 832, Issue 2
- Lee, Jounghun; Yepes, Gustavo, 2016, “Turning Around along the Cosmic Web”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 832, Issue 2
- Lee, Myung Gyoon; Jang, In Sung, 2016, “Dual Stellar Halos in the Standard Elliptical Galaxy M105 and Formation of Massive Early-type Galaxies”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 822, Issue 2
- Lee, Myung Gyoon; Jang, In Sung, 2016, “Globular Clusters and Spur Clusters in NGC 4921, the Brightest Spiral Galaxy in the Coma Cluster”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 819, Issue 1
- Lee, Myung Gyoon; Jang, In Sung, 2016, “Globular Clusters, Ultracompact Dwarfs, and Dwarf Galaxies in Abell 2744 at a Redshift of 0.308”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 831, Issue 1
- Levan, Andrew; Crowther, Paul; de Grijs, Richard; Langer, Norbert; Xu, Dong; Yoon, Sung-Chul, 2016, “Gamma-Ray Burst Progenitors”, *SPACE SCIENCE REVIEWS*, vol. 202, Issue 1-4, pp. 33-78
- Lim, Eun-Kyung; Yurchyshyn, Vasyli; Park, Sung-Hong; Kim, Sujin; Cho, Kyung-Suk; Kumar, Pankaj; Chae, Jongchul; Yang, Heesu; Cho, Kyuhyun; Song, Donguk; Kim, Yeon-Han, 2016, “Observations of a Series of Flares and Associated Jet-like Eruptions Driven by the Emergence of Twisted Magnetic Fields”, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 817, Issue 1
- Neunteufel, P.; Yoon, S.-C.; Langer, N., 2016, “Models for the evolution of close binaries with He-star and white dwarf components towards Type Ia supernova explosions”, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 589
- Paik, Ho Jung; Griggs, Cornelius E.; Vol Moody, M.; Venkateswara, Krishna; Lee, Hyung Mok; Nielsen, Alex B.; Majorana, Ettore; Harms, Jan, 2016, “Low-frequency terrestrial tensor gravitational-wave detector”, *CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY*, vol. 33, Issue 7
- Park, Changbom; Yoon, Sung-Chul; Koo, Bon-Chul, 2016, “The Korean 1592-1593 Record of a Guest Star: An 'Impostor' of the Cassiopeia A Supernova?”, *JOURNAL OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY*, vol. 49, Issue 6, pp. 233-238
- Park, Geumsook; Koo, Bon-Chul; Kang, Ji-hyun; Gibson, Steven J.; Peek, J. E. G.; Douglas, Kevin A.; Korpela, Eric

J.; Heiles, Carl E., 2016, "A High-velocity Cloud Impact Forming a Supershell in the Milky Way", *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 827, Issue 2, pp. 27-32

Park, Woojin; Pak, Soojong; Shim, Hyunjin; Le, Huynh Anh N.; Im, Myungshin; Chang, Seunghyuk; Yu, Joonkyu, 2016, "Photometric transformation from RGB Bayer filter system to Johnson-Cousins BVR filter system", *ADVANCES IN SPACE RESEARCH*, vol. 57, Issue 1, pp. 509- 518

Sakon, Itsuki; Sako, Shigeyuki; Onaka, Takashi; Nozawa, Takaya; Kimura, Yuki; Fujiyoshi, Takuya; Shimonishi, Takashi; Usui, Fumihiko; Takahashi, Hidenori; Ohsawa, Ryou; Arai, Akira; Uemura, Makoto; Nagayama, Takahiro; Koo, Bon-Chul; Kozasa, Takashi, 2016, "Concurrent Formation of Carbon and Silicate Dust in Nova V1280 Sco", *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 817, Issue 2

Shin, Jaejin; Woo, Jong-Hak; Mulchaey, John S., 2016, "A Systematic Search for X-Ray Cavities in Galaxy Clusters, Groups, and Elliptical Galaxies", *ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES*

Sohn, Jubee; Geller, Margaret J.; Hwang, Ho Seong; Zahid, H. Jabran; Lee, Myung Gyoon, 2016, "Catalogs of Compact Groups of Galaxies from the Enhanced SDSS DR12", *ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES*, vol. 225, Issue 2

Toma, Kenji; Yoon, Sung-Chul; Bromm, Volker, 2016, "Gamma-Ray Bursts and Population III Stars", *SPACE SCIENCE REVIEWS*, vol. 202, Issue 1-4, pp. 159-180

Trippe, Sascha, 2016, "The Virial Relation and Intrinsic Shape of Early-Type Galaxies", *JOURNAL OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY*, vol. 49, Issue 5, pp. 193-198

Woo, Jong-Hak; Bae, Hyun-Jin; Son, Donghoon; Karouzos, Marios, 2016, "The Prevalence of Gas Outflows in Type 2 AGNs", *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 817, Issue 2

Xu, Yan; Cao, Wenda; Ding, Mingde; Kleint, Lucia; Su, Jiangtao; Liu, Chang; Ji, Haisheng; Chae, Jongchul; Jing, Ju; Cho, Kyuhyoun; Cho, Kyungsuk; Gary, Dale; Wang, Haimin, 2016, "Ultra-narrow Negative Flare Front Observed in Helium-10830 Å Using the 1.6 m New Solar Telescope", *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 819, Issue 2

Yang, Heesu; Chae, Jongchul; Lim, Eun-Kyung; Song, Donguk; Cho, Kyuhyoun; Kwak, Hannah; Yurchyshyn, Vasyl

B.; Kim, Yeon-Han, 2016, "Fine-scale Photospheric Connections of Ellerman Bombs", *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, vol. 829, Issue 2

## ■ 세종대학교 천문우주학과

### 1. 인적 사항

세종대학교 천문우주학과에는 강영운, 이희원, 성환경, 이재우, 채규현, 김성은, M. van Putten, G. Rossi 총 8명의 전임교원이 재직하고 있으며, 연구교수로 A. Yuschenko 박사가 재직하고 있다. 천문우주학과와 물리학과와의 통합으로 2015년도부터 학부 신입생의 모집단위가 천문우주학과에서 물리천문학부로 변경되어 되었다. 2019년 2월까지 천문우주학과와 물리천문학부가 함께 존재하는 2원 체제가 유지될 것이다.

2016년 8월과 2017년 2월에 각각 이대섭, 김도일 회원이 석사 학위를 받았다. 박사과정에는 P. Rittipruk, 공인택, 윤소영, 석박 통합과정에는 허정은, 최두현, 장석준, 이영민, 석사과정에는 김형준, 조완수, 홍채린, 김기용, 이소라, 이영배가 재학하고 있다.

### 2. 연구 및 학술활동

강영운 회원은 대·소마젤란은하에 있는 식쌍성의 물리량을 연구하고 있다. 측광자료를 이용한 마젤란은하 내 식쌍성의 장축운동과 분광자료를 이용한 쌍성의 화학 조성을 연구하고 있다.

이희원 회원은 공생별과 어린 행성상성운에서 질량 손실 및 질량 이동 과정과 활동성은하핵에서 복사 전달을 연구하고 있다. 이희원 회원은 2015년 6월부터 칠레 Gemini-South Observatory에 재직 중인 Rodolfo Angeloni 박사, Las Campanas Observatory에 재직 중인 Francesco Di Mille 박사, Universidad de Catolica에 재직 중인 Tali Palma 박사와 함께 한국-칠레 협력 연구 사업을 추진하고 있다. 공생별과 행성상성운의 고분산 분광 및 고속 측광 연구 분야에서 협력 연구를 수행 중에 있으며, 석박사 통합 과정에 있는 허정은 회원, 장석준, 이영민 학생이 연구 활동에 참여하고 있다. 허정은 회원과 대마젤란 은하에 있는 공생별 후보인 Sanduleak's star의 oVI 라만산란선 선운곽 분석을 수행하여 wind accretion과 bipolar structure를 연구하였고 이영민 회원과 라만산란선의 형성 효율을 연구하여 적외선의 성질에 따른 공생별의 분류에 따라 형성 효율이 다르게 나타난다는 사실을 밝혔다. 장석준 회원과 활하핵의 통일 모형에서 라이먼 알파선의 복사전달을 한국천문연구원, 양유진 박사와 함께 연구하고 있으며 수소 원자의 정확한 산란단면적 계산을 적용하여 초기 우주의 재이온화 과정과 관련된 복사 전달 연구를 수행하고 있다. 허정은 회원은 2016년 2월부터 12월 까지 한-칠레 협력 연구 사업의 지원을 받아 Gemini-South 천문대에서 방문 연구를 수행하였으며 2016년 12월 4일-7일에 한-칠레 공생별 국제학술회 "Accretion Processes in Symbiotic Stars and Related Objects" 를 Gemini South Observatory와

공동 개최하였다.

성환경 회원은 2009년부터 학회의 이사로, 또 2016년부터는 광학분과위원장으로 활동을 하고 있다. 광학분과위원회 활동의 일환으로 광학천문관련 연구자 및 천문연구원의 대형망원경 사업단과 공동으로 중·대형 망원경위원회 (위원장: 서울대 우종학 회원) 보고서 “거대마젤란망원경(GMT) 시대를 준비하는 한국천문학계의 선택: ‘중대형 광학망원경’”을 완성하여, 천문연구원에 제출을 하고 가을 학술회 기간 중 학회회원들에게 배포하였다. 그리고 2016년 11월부터 IAUGA 2021 조직위원회 재정위원장으로 활동을 시작하였다.

2016년 전반기 동안은 연구년으로, 한국천문연구원에서 체류하며 카시오페이아자리에 있는 젊은 산개성단 IC 1805에 대한 거리, 나이, 초기질량함수 및 별 생성의 역사 등에 대한 연구를 수행하고, 그 결과를 ApJ Supp. Ser.에 투고를 하였다. 한국연구재단의 지원으로 수행하고 있는 “남반구 젊은 산개성단의 전천탐사관측”을 위해 2016년 4월 5일부터 1주일간 CTIO 0.9m 망원경을 사용하여 천문연구원의 임범두 박사와 함께 남반구 젊은 산개성단의 탐사관측을 수행하였다. 임범두 박사와 함께 젊은 산개성단 NGC 2264에 있는 전주계열성의 Li 함량을 연구하여 산개성단의 형성 소요시간에 대한 연구를 수행하여 미국천체물리학회지에 게재하였다. 박사후 연구원으로 근무하던 허현오 회원은 2016년 6월 국립 대구과학관 연구원으로 임용이 되어 자리를 옮겼다. 현재 재학생인 대학원생은 없으며, 학부생인 김슬기가 연구실에 입실하여 실험기자재 관리 및 대학원 진학을 준비하고 있다.

이재우 회원은 지난 10년간 칠레의 세로토롤로 미국립천문대 망원경을 이용한 확장 스트림그렌 협대역 측광 관측을 수행하여 구상성단의 다중종족을 연구하고 있다. 이재우회원의 측광자료는 Call H&K와 스트림그렌 측광계 이외에 이재우회원이 새로 고안한 CN38의 흡수선 세기를 측정하기 위한 JW39측광계를 포함하며, 중금속 함량과 CN분자선의 세기를 동시에 측정할 수 있어 구상성단 다중종족의 형성과정등을 해결할 수 있는 포괄적인 모형을 제시할 것으로 기대한다. 이와 더불어 G-band를 측정할 수 있는 JW43 협대역 측광계를 세계 최초로 개발하여 CN 이외에 CH 분자선의 세기를 측광학적으로 측정할 수 있는 기반을 마련하였으며, 2017년 시작될 북반구 전천탐사에 사용할 예정이다. 이재우회원은 구상성단의 적색거성에 대한 새로운 분광학적 분석법에 대한 연구를 수행하였다. Local thermodynamic equilibrium을 가정한 항성 분광학 연구에서 천체의 표면중력을 체계적으로 결정하는 방법을 고안하여 M22의 다중종족에 대한 중금속함량을 재결정하였으며, 이 연구결과는 Astrophysical Journal Supplement에 발표되었다. 2016년 7월에는 그리스 아테네에서 개최된 European Week of Astronomy and Space Science학회에서 “The Curious Case of M22” 논문을 발표하였으며, 이태리 세스토에서 개최된 Multiple Populations in Globular Clusters “Where do we stand?” 학회에서는 “Sejong Ca-CN Survey of Southern Globular Clusters” 논문을 발표하였다. 김형준, 조완수 회원은 이재우회원이 CTIO 4M Hydra

Multi-fiber spectrograph를 사용하여 획득한 구상성단 M22와 NGC104의 적색거성의 고분산 분광자료를 분석하고 있다.

김성은 회원은 NGC7753, NGC 7752, CGCG 468-002, NGC 7770, NGC7771 등과 같은 다양한 은하들의 물리화학적 특성을 연구 중이며, 2016년 6월 개최된 제 228회 American Astronomical Society Meeting에서 Attribution of halo merger ratio and star formation rate density에 관한 연구 결과를 발표하였다. 국제 공동연구자들과 함께 서브밀리미터 은하들의 수밀도 분포에 대한 연구를 수행하였고, 이에 대한 연구결과를 국제 SCI 학술지에 제출하였다. 한편, 천문우주학 전공 박사과정 윤소영 회원과 함께 우주 내 다양한 은하들의 측광 적색편이에 관한 연구를 수행 중이다.

M. Van Putten's research group includes two new graduate students with a focus on (i) searches for broadband extended gravitational wave emission from nearby core-collapse supernovae; (ii) weak gravity in cosmology and galactic dynamics; and (iii) searches for moons around exoplanets with the upcoming James Webb Telescope (JWST). He is a member of the KAGRA gravitational wave detector in Japan, a newly established CRC Center for High Energy Astrophysics (CHEA), UNIST, and frequently collaborates with Pr. M. Della Valle (Director of the Observatory of Naples, Italy) and Pr. A. Levinson (Tel Aviv University). His research is supported by an individual NRF grant (50 MWon/year) and CHEA (1.5 BWon/year). His research on strong and weak gravitation was recently presented in an invited colloquium at the University of Western Australia (UWA), Perth, Australia, and has been featured by two Press Releases (Sejong University and INAF, Italy). For deep searches of GW-waves, he developed a new butterfly filter implemented on a newly constructed heterogeneous 44 teraflop GPU-CPU platform under OpenCL. It operates at 80% efficiency normalized to cFFFT. At 26 million template second performance, it defines the most sensitive search algorithm for gravitational waves ever for the high frequency regime of 350-2000 Hz relevant to core-collapse SNe. He developed a theory of weak gravity with explicit expressions for dynamical dark energy and Milgrom's law (equivalent to the baryonic Tully-Fisher relation) in terms of the Hubble and deceleration parameter of three-flat Friedmann-Robertson-Walker universes. It explains a remarkably sharp transition recently identified in high resolution galaxy rotation data. Continuing work on strong and weak gravity aims at a deep search for GW bursts in all of LIGO S6 on an extended 128 teraflop GPU-CPU system; a confrontation of weak gravity with recent data on the Hubble parameter and Manga data on galaxy rotation curves; and the development of methods to

search for moons around exoplanets with JWST. In a separate development, he co-developed a theory of exponential growth in anthropogenic earthquakes and statistical analysis of risk based on a running  $b$ -value. With no priors, the proposed new method is fundamentally different from the commonly used Gutenberg-Richter  $b$ -value that is based on a somewhat arbitrary choice of cut-off in distributions of magnitude. A specific prediction relevant to the Groningen earthquakes in The Netherlands (over 120 events per year in 2016) is an exponential increase to about one event per day in 2025. It predicts an adverse outlook on fractures, from high frequency more so

than high magnitude events. His teaching on mathematical astronomy has been accepted for publication by SpringerNature, in "Introduction to Methods of Approximation in Physics and Astronomy", April 2017, to appear.

G. Rossi has been working on several cosmological aspects related to the SDSS-IV survey, with a focus on the Lyman-Alpha forest and on massive and sterile neutrinos. In particular, he has developed a new suite of hydrodynamical simulations that will be useful for studying the impact of these particles on cosmological structures; the simulations were produced using the KISTI supercomputer Tachyon2 under allocation KSC-2016-G2-0004. In January 2016, he became the co-leader of the newly formed SDSS-IV eBOSS simulations working group, and took over on the management of the National Energy Research Scientific Computing Center (NERSC) computational facilities (Cori and Edison) for the collaboration. During 2016, G. Rossi has also expanded his cosmology group with the addition of new students - all actively involved in the SDSS-IV - and invited and hosted several visitors, among which Prof. Suto from the University of Tokyo. In collaboration with the Italian Embassy, G. Rossi has organized the '1st Korea-Italy Symposium on Cosmic Microwave Background Science and Cosmology' at Sejong University, along with two institutional visits to KASI and the IBS headquarter by an Italian delegation - with the goal of bringing for the first time CMB science in Korea, a scientific field in which Italy detains a strong leadership especially in connection with the Planck satellite. The meeting was also pivotal for initiating the planning of the Busan 2021 XXXI International Astronomical Union (IAU) General Assembly, as the IAU General Secretary, Professor Piero Benvenuti, visited BEXCO and interacted with the top leaders of the Korean IAU and KAS. The meeting led to join the planned Stage-IV CMB experiment CORE, and G. Rossi also received an Italian Bilateral Scientific Cooperation Award Nomination by the Italian

Ministry of Foreign Affairs for a significant contribution to the advancement of science and technology, thus improving Italy's S&T relations with foreign countries. Since last January 2016, he has presented results of his research in several national and international conferences and meetings (12), and gave a total of 19 invited colloquia and seminar talks, along with a public talk at the Italian Embassy. During the Summer 2016, he was also a CAASTRO research scholar at the University of Queensland in Brisbane, Australia.

### 3. 연구 및 교육시설

세종대학교가 보유하고 있는 가장 중요한 관측시설은 76cm 반사망원경이다. 소백산 국립천문대에서 곤지암 노곡리 세종대 부지로 이전·설치한 2012년 이후 망원경의 구동부 등에 이상이 있어 사용하지 못하였다. ㈜에스엘랩에 의뢰하여 2015년부터 망원경의 구동, 제어부와 부경을 수리하여 정상화를 달성하였다. 76cm 반사망원경은 학부생들의 관측실습 및 공개 행사 등에 사용될 예정이다. 곤지암 추곡리 관측소에는 40cm 반사망원경이 설치되어 있지만 지난 수년간 사용을 하지 못하였는데, 작동상태를 면밀히 검토하였으며 수리계획을 수립하여 정상화를 이루고자 노력하고 있다. 40cm 망원경 또한 학부생들의 관측실습 및 공개 행사 등에 사용될 것이다.

학부학생들의 관측실습은 교내 영실관 옥탑의 간이관측소에 설치되어 있는 11인치 반사망원경 및 다수의 소형 굴절망원경을 이용하고 있다. 또 SRT 소형 전파망원경으로 사용하여 전파관측실습을 하고 있다. 학생들의 컴퓨터 교육을 위해 천문계산실에 총 18대의 PC를 구비하고 있으며, Linux/Windows 운영환경을 제공하고 있다. 학부생의 취미 및 장래 진로를 위해 학과 내에 천문관측동아리 AJA와 컴퓨터 프로그래밍 동아리 ASC가 학생들의 자발적인 활동으로 활발하게 유지·운영이 되고 있으며, 졸업생의 취업에 많은 기여를 하고 있다.

### 4. 연구논문

Seok-Jun Chang, Hee-Won Lee, Yujin Yang, 2017, MNRAS, 464, 5018, "Polarization of Rayleigh scattered Ly $\alpha$  in active galactic nuclei"

Young-Min Lee, Dae-Sub Lee, Seok-Jun Chang, Jeong-Eun Heo, Hee-Won Lee, Narae Hwang, Byeong-Gon Park, and Ho-Gyu Lee., 2016, ApJ, 833, 75, "A Monte Carlo Study of Flux Ratios of Raman Scattered O VI Features at 6825 and 7082 Å in Symbiotic Stars"

Heo, Jeong-Eun; Angeloni, Rodolfo; Di Mille, Francesco; Palma, Tali; Lee, Hee-Won Lee, 2016, ApJ, 833, 286, "A Profile Analysis of Raman-scattered O VI Bands at 6825 Å and 7082 Å in Sanduleak's Star"

Lim, B., Sung, H., Kim, J. S., Bessell, M. S., Hwang, N. & Park, B.-G. 2016, ApJ, 831, 116 "A Constraint on the Formation Timescale of the Young Open Cluster NGC 2264: Lithium Abundance of Pre-Main Sequence Stars"

Lee, J.-W. 2016, ApJS, 226, 16, "On the metallicity distribution of the peculiar globular cluster M22"

Lee, J.-W. 2016, JKAS, 49, 6, "Long-term variation of the shutter delay time of Y4KCam of the CTIO 1.0M telescope"

Kim, S., Jo, J.W., Hwang, J.H. et al. 2016, AAS meeting 228th, 20, "Attribution of halo merger ratio and star formation rate density"

Heo, J.-E., Yoon, S., Lee, D.-S. Kong I.-K., Lee, S.-H., van Putten, M.H.P.M., & Della Valle, M., 2016, NewA, 42, 24, "Proposed searches for candidate sources of gravitational waves in a nearby core-collapse supernova survey"

van Putten, M.H.P.M., 2016, ApJ, 819, 169, Directed searches for broadband extended gravitational wave emission in nearby core-collapse supernovae"

van Putten, M.H.P.M., 2016, ApJ, 824, 43, "A new estimator of the deceleration parameter from galaxy rotation curves"

Spallicci, A.D.A.M., & van Putten, M.H.P.M., 2016, IJGMMP, 13, 1630014, Gauge dependence and self-force from Galilean to Einsteinian free fall, compact stars falling into black holes, Hawking radiation and the Pisa tower at the general relativity centennial"

van Putten, M.H.P.M., van Putten, A.F.P., van Putten, M.J.A.M., 2016, Earthquakes and Structures, 11, 861 On the origin of exponential growth in induced earthquakes in Groningen"

van Putten, M.H.P.M., A new estimator of the deceleration parameter from galaxy rotation curves, 7th KIAS Workshop on Structure Formation and Cosmology, Oct. 30–Nov. 4, 2016, KIAS, Seoul

Croft, R. A.C., Miralda-Escude, J., Zheng, Z...Rossi, G. et al. (2016), MNRAS, 457, 3541, "Large-scale clustering of Lyman-Alpha emission intensity from SDSS/BOSS"

Dawson, K.S., Kneib, J.P., Percival, W.KJ...Rossi, G. et al. (2016), ApJ, 151, 44, "The extended Baryon Oscillation

Spectroscopic Survey: overview and early data"

Laurent, P., Burtin, E., LeGoff, J.M. ..Rossi, G.et al. (2016), JCAP, 11, 060, "A study of cosmic homogeneity using BOSS DR12 quasar sample"

Palanque-Delabrouille, N., Magneville, Ch., Yeche, Ch...Rossi, G. et al. (2016), Astronomy & Astrophysics, 587, A41, "The extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: variability selection and quasar luminosity function"

Rossi, G. (2016), IAUS 308 "The Zeldovich Universe: Genesis and Growth of the Cosmic Web", Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Volume 308, pp. 57–60, "The peak/dip picture of the cosmic web"

Rossi, G. (2016), Proceedings of the 51st Rencontres de Moriond, "2016 Electroweak Interactions and Unified Theories", 483–491, "Neutrino Mass from Cosmology"

Rossi, G. (2016), Proceedings of the 51st Rencontres de Moriond, "2016 Cosmology", 134–138, "Constraining Neff with the Lyman-Alpha Forest"

Rossi, G., Yeche, Ch., Palanque-Delabrouille, N., Lesgourgues, J. (2016), Proceedings of the "28th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics", "Joint constraints on neutrino mass and number of effective neutrino species from cosmology"

Zhao, G.B., Wang, Y., Ross, A.J., et al...Rossi, G. (2016), MNRAS, 457, 2377, "The extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: a cosmological forecast"

## ■ 연세대학교 천문우주학과

### 1. 인적사항

본 학과는 2016년 3월 현재, 교수진 11 명(이영욱, 변용익, 김용철, 김석환, 박상영, 손영중, 이석영, 윤석진, 정애리, 박찬덕, 지명국)과 명예교수진 3명(나일성, 천문석, 최규홍), 그리고 연세-KASI 학연협력 객원교수진 3명(조세형, 손봉원, 변도영)으로 구성되어 있다. 학과 및 천문대 소속의 박사 후 전문 연구원 7명, 대학원 석박사 통합과정 20 명, 박사과정 21 명, 석사과정 20 명, 그리고, 학부생 150 여 명으로 구성되어 있다. 3년 전부터 연세대학교 차원에서 진행되고 있는 정책으로, 학부 1학년 신입생들은 모두 인천 국제캠퍼스에서 1년간 기숙사 생활을 하면서 Residential College 교육을 받고 있다.

학과 교수진의 활동을 요약하면 다음과 같다. 손영중 회원은 2015년 3월 부로 2년 임기의 학과장직을 수행하며 학과를 이끌고 있다. 이영욱 회원은 한국연구재단 선도연구센터육성사업(SRC)의 지원으로 연세대 교책연구소로 설립된 은하진화연구센터의 센터장을 역임하고 있다. 박상영 회원은 2015년 3월 부터 연세대학교 천문대장을 역임하고 한국우주과학회의 이사로 활동하고 있다. 이석영 회원은 BK21 Plus 지구-천문-대기 사업단장 및 대학원 주임교수로 봉사하고 있으며 천문학회지와 천문학 논총의 편집위원으로 활동하고 있다. 정애리 회원은 한국천문학회 학술위원회 위원으로 활동하고 있다. 박찬덕 회원은 2014년 1월 부터 한국우주과학회에서 발행하는 학술지 Journal of Astronomy and Space Science (JASS)의 편집위원으로 활동하고 있다.

본 학과는 역량있는 천문우주학 전공의 박사들을 배출해내는 교육기관으로서의 책임을 다하고 있으며, 2015년 8월에는 이재현 회원(지도교수 이석영)이, 2016년 2월에는 김성우 회원(지도교수 박상영), 그리고 임동욱 회원(지도교수 이영욱)이 박사학위를 받았다. 또한 본 학과에는 학과 및 천문대 소속의 7명의 박사후 연구원(박기훈, 정철, Mario Pasquato, 김학섭, 김수영, 장서원, Rory Smith)들이 활발한 연구 활동을 펼치고 있다.

## 2. 연구 및 학술 활동

이영욱 회원은 주석주(천문연), 정철 회원과 함께 우리은하 별지의 double red clump 현상과 X-shape 구조에 대한 새로운 다중항성종족 모델을 제시하여 국제학계에 큰 반향을 일으키고 있고, 한상일(천문연), 임동욱, 홍승수 회원과는 특히 구상성단과 우리은하 별지의 du Pont 2.5m 협대역 측광 및 저해상도 분광 관측 연구, 장소희 회원과는 우리은하 구상성단계와 Local Group 왜소은하들의 오랜 난제인 오스터호프 이분법의 기원과 RR Lyrae 변광성을 이용한 거리측정 연구를, 조혜전 회원과는 coma 은하단 내 조기형은하의 구상성단계 연구, 그리고 강이정, 김영로 회원과는 암흑에너지의 발견에 결정적 역할을 하는 Ia형 초신성의 광도에 은하 내 항성종족의 진화가 미치는 영향을 분석하기 위해 du Pont 2.5m 및 MMT 6.5m를 이용한 호스트 은하의 분광관측 및 광도곡선 분석 연구를 수행하고 있다. 또한 최근 연구팀에 합류한 김재연, 한다니엘 회원과 함께 우리은하 별지와 조기형은하의 화학적 진화 및 종족합성모델링 연구를 새롭게 착수하였다.

변용익 회원은 대만 및 미국의 협력연구자들과 함께, 카이퍼벨트 천체들의 분포를 알아내기 위한 성식 관측연구의 2단계 사업으로 초고속 대형카메라를 장착한 1.3미터 광시야망원경 3기를 멕시코 SPM 관측소에 건설 중이다. 장서원 회원과 함께 높은 정밀도의 시계열 자료 분석을 통한 저 질량 항성들의 변광 특성을 연구하고 있으며, 소행성 및 혜성체의 광도변화와 소행성 종족 분포에 대한 김명진 및 이한 회원과의 연구도 지속하고 있다. 또한 한국천문연구원 우주감시센터와 협력하여 우주위협대응체계 구축을 위해 노력하고 있다.

김용철 회원은 생성 초기 항성의 내부구조와 활동성 연구, 항성 표면 복사유체 수치모사연구, 그리고 등연령곡선 제작 등의 3가지 연구를 진행하고 있다. 항성에서 관측되는 활동성(activity)의 관측 자료와 상세한 내부구조의 이론적 모형을 함께 연구하여 항성구조와 항성 자기 활동성의 인과관계를 체계적으로 이해하고자 하는 것이 활동성 연구의 궁극적 목표이다. 복사와 유체의 상호 작용을 고려한 항성표면 수치모사를 통해 항성대기와 분광 스펙트럼합성을 수행하고, 이로 부터 분광 자료 분석의 이론적 체계를 정립하는 것이 연구의 목표이다. 그리고 등연령곡선 연구는 최근 여러 연구에서 제안되고 있는 다양한 개별원소의 함량에 대하여 등연령곡선 만들고 이로 부터 개별 원소의 영향이 성단 색 등급도에 어떻게 나타나는지를 체계적으로 설명하는 연구이다.

김석환 회원이 운영하는 우주광학연구실은 University of Arizona(USA)의 교수 및 연구진들, 그리고 국제적인 광 해석 기업인 Breault Research Organization 과 함께 위성 광학시스템 및 대구경 광학 시스템의 성능 해석, 가공 제작, 조립, 정렬, 성능 측정과 3차원 지구 광학모델과 통합적 광선추적 기법을 사용한 외계행성관측 분야에서 다양한 공동연구들을 수행 중에 있다. 그 밖에도 국내외 여러 대학 및 연구소와 함께 다양한 기간산업 분야에 필요한 핵심 광학 성능 모델링 기법과 생산 결합 정렬 기술들을 개발하고 있다. 이와 같은 국제적 수준의 연구 활동을 통해 다수의 졸업생들이 해외 우수 대학으로 유학, 국내외 국책 연구소 및 대기업 연구소 등으로 활발히 진출하여 나가고 있다.

박상영 회원이 지도하는 우주비행제어 연구실(Astrodynamics and Control Lab)은 편대비행 위성의 궤도 결정 및 제어, 자세 결정 및 제어, 위성 자세제어 하드웨어 시뮬레이터, 편대비행 설계 및 최적화, 상대우주항법에 관한 연구를 꾸준히 수행하고 있으며, 편대위성들의 우주항법을 검증하기 위한 하드웨어 시스템도 개발하고 발전시키고 있다. 특히, 차세대 분리형 우주망원경의 기술검증을 위하여 두기의 큐브위성을 개발하여 2016년 여름에 발사될 예정이다. 국방광역 감시센터의 연구일환으로서 레이저를 이용하여 위성 간 상대거리를 정밀하게 측정하는 연구를 수행중이며, 광학망원경을 이용한 우주감시를 위한 궤도분석을 하고 있다. 또한 한국형 달 탐사를 위한 지상국 시스템에 필요한 소프트웨어를 개발하고 있으며, 달 탐사 큐브위성의 활용을 위한 임무설계를 하고 있다.

손영중 회원의 관측천문학연구실(YOAL)에서는 정두석 회원, 천상현 회원 (현재 호주국립대학 Post-doc)과 함께 항성 종족의 측광학적 특성으로부터 은하 내에서의 별들의 생성 시기와 은하의 진화에 대한 연구를 진행하고 있다. 이 연구를 위한 주 자료는 UKIRT 망원경을 이용해 근적외선 관측으로 항성의 분해가 가능한 거리인 15Mpc 이내에 있는 10개의 은하들과 안드로메다 은하 시스템, 그리고 Leo Triplet 은하 시스템내의 항성 종족에 대한 근적외선 측광자료이다. 특히 이 은하들은 과거 병합을 겪었거나 현재 병합을 하고 있는 은하들로, 항성 및 항성 종족의 특성으로부터 은하 진화에 병합의 영향을 추가적으로 연구 중이

다. 또한 이 은하들 중에는 전파 관측 및 가시광선 영역의 측광 자료와 동시 분석이 가능한 대상도 있어, 다과장 영역에서 항성 종족의 에너지 복사 특성을 종합적으로 연구할 수 있다. 이를 바탕으로 은하 내 Red Supergiant, AGB stars와 같은 질량이 큰 항성 종족들의 측광학적 특성과 항성진화에 대한 분석을 하고 있다. 또한 대중을 위한 천문학 교양서적인 '우주 레시피'를 2015년 9월 발간했으며, 한국형 온라인 공개강좌(K-MOOC)에 '우주의 이해'라는 강좌를 개설해 천문학의 대중화를 위해 힘쓰고 있다.

이석영 회원이 이끄는 은하진화연구실(GEM)에서는 시뮬레이션 및 관측 자료를 활용하여 다양한 환경에서 은하의 형성과 진화에 대해 연구하고 있다. 은하형성 이론 연구로 GEM은 준해석적 은하형성 이론 코드를 개발하고 있다. 복잡한 비선형적 현상의 이해를 위해서는 슈퍼컴퓨터를 사용한 모의실험을 수행하고 있다. GEM은 주로 이론적 연구에 주력하고 있지만, 은하단 규모에 대한 깊은 광학관측 또한 수행하여 이론모형을 검증하는 노력도 기울이고 있다. AGN 연구로는, Broad Line Region AGN과 환경효과, 그리고 통일이론의 검증을 중점적으로 연구하고 있다.

윤석진 회원은 김학섭 회원, 김수영 회원, 이상운 회원과 함께 Subaru 8m 및 CTIO 4m 망원경을 이용한 은하 및 성단의 측광과 분광 관측 연구를, 정철 회원, 이상운 회원과 함께 항성진화 종족합성 이론을 이용한 Yonsei Evolutionary Population Synthesis (YEPS) 모델 개발 연구와 외부은하 성단계의 '색분포 양분이론'을 이용한 초기우주 은하형성 연대기 규명 연구를, 배현진 회원, 문준성 회원, 지웅배 회원과 함께 GALEX 우주망원경 관측자료 및 SDSS 관측자료를 이용한 은하의 Recent Star Formation History 연구와 이웃은하의 영향에 대한 연구를, Mario Pasquato 박사, 윤기운 회원, 안성호 회원, 서성우 회원과 함께 N-body 및 Hydro Simulation을 이용한 은하군 및 은하단 역학 연구 및 Disk Warp 현상에 대한 연구를, 김진아 회원, 서성우 회원과 함께 은하들 간의 중력적 상호작용이 은하의 Star Formation Rate과 Scaling Relations에 미치는 영향에 관한 연구를, 김동진 회원과 함께 전파관측 자료를 이용한 만기형 항성 대기의 성질 및 질량손실에 관한 연구를 수행하고 있다. 연구실의 윤기운 회원은 대만의 Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics (ASIAA)에 파견되어 연구를 수행하고 귀국하였다.

정애리 회원은 윤혜인, 김묘진, 이범현, 백준현, 및 노현욱 회원과 함께 다양한 적색편이에서 나타나는 환경에 따른 은하진화효과를 연구 중이다. 윤혜인 회원은 처녀자리 은하단 주변의 만기형 은하들의 WSRT, GMRT 및 JVLA 중성수소 관측을 통해 은하단에 연결된 필라멘트에서 은하들이 변형되는 과정을 연구 중이다. 이범현 회원은 SMA, IRAM 자료를 이용하여 은하 간 물질이 은하 내 존재하는 분자형 성간물질의 성질과 별 형성에 미치는 영향을 연구하고 있다. 김묘진 회원은 EVLA, CFHT 자료를 이용하여 근거리에서 있는 사자자리 은하그룹 내에서 발견된 왜소은하들의 성질로부터 그룹 내에 존재하는 거대 가스구조 및 은하

들의 기원을 연구 중이다. 백준현 회원은 KVN 관측을 통해 다양한 은하단 중심에 위치한 은하들의 AGN 활동과 은하단의 역학상태의 상관관계에 대해 연구하고 있다. 노현욱 회원은 전파 간섭망 자료를 이용하여 활동성 은하핵의 모니터링 관측으로부터 제트의 형성 원리 및 진화를 연구하고 있다. 그 밖에 Columbia 대학, UMass, IfA, INAF 그리고 NAOJ 소속 천문학자들과 함께 deep HI imaging을 통해 다양한 적색편이와 환경에 위치한 은하들의 중성수소 형태와 역학을 연구 중이다.

박찬덕 회원은 우주비행체의 궤도/자세와 관련한 동역학/항법/유도/제어 분야의 연구를 수행하고 있다. 현재 국방광역감시 특화 연구센터에 소속되어 다수 위성의 재배치/대형유지, 우주자산의 근접조사/자율도킹 등의 연구를 수행하고 있으며, 국방위성항법 특화연구센터에 소속되어 한국형위성항법시스템의 정밀궤도결정 연구를 수행하고 있다. 또한, 비선형/강건 제어기법을 이용한 우주비행체의 정밀 제어, 소형/비대칭 소형성 탐사를 위한 궤적설계 및 항법/유도/제어 기법 개발 등의 연구를 수행하고 있다.

지명국 회원은 Yonsei Observable UNiverse Group (YOUNG)을 운영하고 있다. 현재 1. 암흑물질의 정체를 규명하기 위한 충돌 은하단 연구, 2. 초기은하단의 질량함수 결정을 위한 중력렌즈 연구, 3. 우주론 파라미터를 정밀하게 결정하기 위한 Cosmic Shear연구, 4. Large Synoptic Survey Telescope (LSST)의 자료처리 알고리즘 연구를 수행하고 있다.

### 3. 교육 및 연구 시설

천문우주학 교육 시설로서, 천문대 소속의 일산 관측소 61cm 반사 망원경, 교내 관측소 40cm 반사 망원경, 그리고 4대의 10인치 미드 망원경 및 다수의 소형 망원경들을 확보하고 있으며, 학생들의 CCD 측광 실습에 적극 활용하고 있다. 신촌 캠퍼스 내에 설치되어 있는 KVN 전파망원경은 전문 연구자들의 관측 뿐 아니라, 학부 및 대학원 학생들의 교육에도 크게 기여하고 있다. 정밀 연구를 위한 해외 대형 망원경을 적극 활용하고 있으며, 특별히 이영욱 회원이 이끄는 은하진화연구센터는 가시광 영역의 측광 및 분광관측을 위해 카네기 천문대의 du Pont 2.5m 망원경과 MMT 6.5m 망원경을 각각 년 3주 및 3일 임차해서 사용하며, 연구에 적극 활용하고 있다.

한편, 우주비행체연구실은 차세대 분리형 우주망원경의 기술을 우주공간에서 직접 실험/검증하기 위한 2기의 큐브위성과 우주비행체의 편대비행을 위한 항법/제어 기법을 지상에서 실험/검증하기 위한 실험장치를 제작하고 있다. 한국형위성항법시스템의 궤도결정을 모사하는 시뮬레이터 또한 개발 중이다. 그리고, 우주광학연구실은 광학 시스템 개발을 위한 다수의 설계 및 해석 S/W, 정렬 및 조립 성능 평가를 위한 각종 간섭계 및 광학 측정장비를 운영하며, 연구 및 프로젝트 형 교육기법에 활용하고 있다.

#### 4. 국내외 연구논문

Miocchi, P., Pasquato, M., Lanzoni, B., Ferraro, F.-R., Dalessandro, E., Vesperini, E., Alessandrini, E. & Lee, Y.-W. 2015, *ApJ*, 799, 44, "Probing the Role of Dynamical Friction in Shaping the BSS Radial Distribution. I. Semi-analytical Models and Preliminary N-body Simulations"

Lim, D., Han, S.-I., Lee, Y.-W., Roh, D.-G., Sohn, Y.-J., Chun, S.-H., Lee, J.-W. & Johnson, C.-I., 2015, *ApJS*, 216, 19, "Low-resolution Spectroscopy for the Globular Clusters with Signs of Supernova Enrichment: M22, NGC 1851, and NGC 288"

Jang, S. and Lee, Y.-W., 2015, *ApJS*, 218, 31, "Star Formation History of the Milky Way Halo Traced by the Oosterhoff Dichotomy Among Globular Clusters"

Han, S.-I., Lim, D., Seo, H. & Lee, Y.-W., 2015, *ApJ*, 813, 43, "Evidence for Enrichment by Supernovae in the Globular Cluster NGC 6273"

Lee, Y.-W., Joo, S.-J. & Chung, C., 2015, *MNRAS*, 453, 3906, "The Milky Way without X: an alternative interpretation of the double red clump in the Galactic bulge"

Lim, D., Han, S.-I., Roh, D.-G. & Lee, Y.-W., 2015, *PKAS*, 30, 255, "Low-Resolution Spectroscopic Studies of Globular Clusters with Multiple Populations"

Jang, S., Lee, Y.-W., Joo, S.-J. & Na, C., 2015, *PKAS*, 30, 267, "The Oosterhoff Period Groups and Multiple Populations in Globular Clusters"

Kim, Y.-L., Kang, Y. & Lee, Y.-W., 2015, *PKAS*, 30, 485, "Yonsei Nearby Supernova Evolution Investigation (yonsei) Supernova Catalogue"

Kang, Y., Kim, Y.-L., Lee, Y.-W., Lim, D., Chung, C. & Sung, E.-C., 2015, *PKAS*, 30, 487, "The Luminosity of Type IA Supernova and the Properties of Their Early-Type Host Galaxies"

Chung, C., Yoon, S.-J., Lee, S.-Y. & Lee, Y.-W., 2015, *PKAS*, 30, 489, "Is Calcium II Triplet a Good Metallicity Indicator of Globular Clusters in Early-Type Galaxies?"

Chung, C., Yoon, S.-J., Lee, S.-Y. & Lee, Y.-W., 2016, *ApJ*, 818, 201, "Nonlinear Color--Metallicity Relations of Globular Clusters. VI. On Calcium II Triplet Based

Metallicities of Globular Clusters in Early-type Galaxies"

Chung, C., Lee, Y.-W. & Pasquato, M., 2016, *MNRAS*, 456, 1, "On the use of the number count of blue horizontal branch stars to infer the dominant building blocks of the Milky Way halo",

Kimura, M., Isogai, K., 60 authors including Byun, Y.-I., 2016, *Nature*, 529, 54, "Repetitive patterns in rapid optical variations in the nearby black-hole binary V404 Cygni"

Chang, S.-W., Byun, Y.-I., & Hartman, J. D., 2015, *ApJ*, 814, 35, "Photometric Study on Stellar Magnetic Activity. I. Flare Variability of Red Dwarf Stars in the Open Cluster M37"

Chang, S.-W., Byun, Y.-I., & Hartman, J. D., 2015, *AJ*, 150, 27, "A New Catalog of Variable Stars in the Field of the Open Cluster M37"

Chang, S.-W., Byun, Y.-I., & Hartman, J. D., 2015, *AJ*, 149, 135, "A New Method For Robust High-Precision Time-Series Photometry From Well-Sampled Images: Application to Archival MMT/Megacam Observations of the Open Cluster M37"

Choi, J. N., Ryu, D., Kim, S. -W., Kim, D. W., Su, P., Huang, R., Kim, Y.-S., and Yang, H.-S., 2015, *Advances in Space Research*, Vol. 56, pp. 2483-2494, "IRT simulation of the SCOTS surface measurement test for the GMT Fast Steering Mirror Prototype"

Choi, J. N., Ryu, D., Kim, S. -W., Graves, L., Su, P., Huang, R., and Kim, D. W., 2015, *Proc. SPIE 9575, Optical Manufacturing and Testing XI*, 957513, "Integrated Ray Tracing (IRT) simulation of SCOTS measurement of GMT fast steering mirror surface"

Seo, H., Han, J.-Y., Kim, S. -W., Seong, S., Yoon, S., Lee, K., and Lee, H., 2015, *Proc. SPIE 9575, Optical Manufacturing and Testing XI*, 95750N, "Material removal characteristics of orthogonal velocity polishing tool for efficient fabrication of CVD SiC mirror surfaces"

Kang, H., Oh, E., and Kim, S. -W., 2015, *Proc. SPIE9582, Optical System Alignment, Tolerancing, and Verification IX*, "Alignment performance comparison between MFR and MDCO for a TMA optical system"

Kim, Y., Park and S.-Y., 2015, *Journal of Guidance*,

- Control, and Dynamics, Vol 38, Issue 9, pp1690-1698, "Perturbative Analysis on Orbital Kinematics of Flybys and Applications to Doppler Observation"
- Song, Y.-J. and Park, S.-Y., 2015, Aerospace Science and Technology, Vol. 43, Issue 1, pp. 165-175, "Estimation of necessary laser power to deflect near-Earth asteroid using conceptual variable-laser-power ablation"
- Okasha, M., Park, C., and Park, S.-Y., 2015, Aerospace Science and Technology, Vol. 41, pp. 289-302, "Guidance and Control for Satellite in-Orbit-Self-Assembly Proximity Operations"
- Kim, S.-W., Park, S.-Y., and Park, C., 2016, Advances in Space Research, Vol 57, Issue 1, pp. 137-152, "Spacecraft attitude control using neuro-fuzzy approximation of the optimal controllers"
- Lee, K., Oh, H., Park, H.-E., Park, S.-Y. and Park, C., 2015, J. Astron. Space Sci. 32(4), 387-393, "Laser-based Relative Navigation Using GPS Measurements for Spacecraft Formation Flying"
- Kim, K.-H., Park, C. and Park, S.-Y., 2015, J. Astron. Space Sci. 32(4), 379-386, "Fuel-Optimal Altitude Maintenance of Low-Earth-Orbit Spacecrafts by Combined Direct/Indirect Optimization"
- Chun, S.-H., Jung, M. Y., Kang, M., Kim, J.-W., and Sohn, Y.-J., 2015, A&A, 578, A51, "Near-infrared photometric properties of asymptotic giant branch stars in the dwarf irregular galaxy IC 1613"
- Chun, S.-H., Jung, M. Y., Kang, M., Kim, J.-W., Jung, D. and Sohn, Y.-J., 2015, ASP Conference Series, Vol. 497, 481, "Stellar Properties of Asymptotic Giant Branch Stars in the Dwarf Irregular Galaxy IC 1613"
- Pacifici, C., da Cunha, E., Charlot, S., Rix, H.-W., Fumagalli, M., Wel, A. v. d., Franx, M., Maseda, M. V., van Dokkum, P. G., Brammer, G. B., Momcheva, I., Skelton, R. E., Whitaker, K., Leja, J., Lundgren, B., Kassin, S. A. & Yi, S. K., 2015, MNRAS, 447, 786P, "On the importance of using appropriate spectral models to derive physical properties of galaxies at  $0.7 < z < 2.8$ "
- Oh, K., Yi, S. K., Schawinski, K., Koss, M., Trakhtenbrot, B. & Soto, K., 2015, ApJS, 219, 10, "A New Catalog of Type 1 AGNs, its Implications on the AGN Unified Model"
- Park, J., Jeong, H. & Yi, S. K., 2015, ApJ, 809, 91P, "Outflows in Sodium Excess Objects"
- Knebe, A., Pearce, F. R., Thomas, P. A., Benson, A., Blaizot, J., Bower, R., Carretero, J., Castander, F. J., Cattaneo, A., Cora, S. A., Croton, D. J., Cui, W., Cunnama, D., De Lucia, G., Devriendt, J. E., Elahi, P. J., Font, A., Fontanot, F., Garcia-Bellido, J., Gargiulo, I. D., Gonzalez-Perez, V., Helly, J., Henriques, B., Hirschmann, M., Lee, J., Mamon, G. A., Monaco, P., Onions, J., Padilla, N. D., Power, C., Pujol, A., Skibba, R. A., Somerville, R. S., Srisawat, C., Vega-Martinez, C. A. & Yi, S. K., 2015, MNRAS, 451, 4029K, "nIFTy cosmology: comparison of galaxy formation models"
- Khim, H.-g., Park, J., Seo, S.-W., Lee, J., Smith, R. & Yi, S. K., 2015, ApJS, 220, 3K, "Demographics of Isolated Galaxies along the Hubble Sequence"
- Kim, J. & Yi, S. K., 2015, PKAS, 30, 451K, "Local Environmental Effects on AGN Activities"
- Lee, J. & Yi, S. K., 2015, PKAS, 30, 473L, "Sussing Merger Trees: the Impact of Halo Merger Trees on Galaxy Properties in a Semi-Analytic Model"
- Oh, S. & Yi, S. K., 2015, PKAS, 30, 529O, "Progress Report: Investigation of the Morphology of Cluster Galaxies"
- Pacifici, C., da Cunha, E., Charlot, S. & Yi, S. K., 2015, PKAS, 30, 535P, "On the Importance of Using Appropriate Spectral Models to Derive Physical Properties of Galaxies"
- Smith, R., Sanchez-Janssen, R., Beasley, M. A., Candlish, G. N., Gibson, B. K., Puzia, T. H., Janz, J., Knebe, A., Aguerri, J. A. L., Lisker, T., Hensler, G., Fellhauer, M., Ferrarese, L. & Yi, S. K., 2015, MNRAS, 454, 2502S, "The sensitivity of harassment to orbit: mass loss from early-type dwarfs in galaxy clusters"
- Smith, R., Duc, P. A., Bournaud, F. & Yi, S. K., 2016, ApJ, 818, 11S, "A Formation Scenario for the Disk of Satellites: Accretion of Satellites during Mergers"
- Moraghan, A., Kim, J., and Yoon, S.-J., 2015, MNRAS, 450, 360, "Power spectra of outflow-driven turbulence"
- Jeong, Y., Sohn, B. W., Chung, A., Park, S., and Park, P. 2016, AN, 337, 130, "Identifying High Frequency Peakers using the Korean VLBI Network"

Baek, J., Chung, A., Sohn, B. W., Jung, T., and Ro, H. 2016, AN, 337, 82, "High-frequency radio properties of central AGNs in cluster environments"

Tremou, E., Jung, T., Chung, A., and Sohn, B. W. 2015 AdSpR, 56, 2654, "Demonstration of KVN phase referencing capability"

Kim, M. J., Chung, A., Lee, J. C., Lim, S., Kim, M., Ko, J., Lee, J. H., Yang, S.-C., and Lee, H.-R. 2015, PKAS, 30, 517, "A Study of Dwarf Galaxies Embedded in a Large-Scale HI Ring in the Leo I Group"

Kim, J., Sung, E.-C., Chung, A., and Staveley-Smith, L. 2015, PKAS, 30, 513, "A Study of a Tidally Interacting BCD Pair: ESO 435-IG20 and ESO435-IG16"

Yoon, H., Chung, A., Sengupta, C., Wong, O. I., Bureau, M., Rey, S.-C., and van Gorkom, J. H. 2015, PKAS, 30, 495, "Pre-Processing of Galaxies in the Filaments around the Virgo Cluster"

Lee, B., and Chung, A. 2015, PKAS, 30, 491 "Molecular Gas Properties Under ICM Pressure in the Cluster Environment"

Tremou, E., Jung, T., Chung, A., and Sohn, B. W. 2015, PKAS, 30, 477 "KVN Phase Referencing Observations of the Virgo Cluster"

Mo, W. Gonzalez, A., Jee, M. J., Massey, R., Rhodes, J., Brodwin, M., Eisenhardt, P., Marrone, D. P., Stanford, S. A., and Zeimann, G. R. 2016, ApJ, 818, 25, "IDCS J1426.5+3508: Weak Lensing Analysis of a Massive Galaxy Cluster at  $z = 1.75$ "

Jee, M. J., Dawson, W. A., Stroe, A., Wittman, D., van Weeren, R. J., Brüggen, M., Bradač, M. and Röttgering, H. 2016, ApJ, 817, 179, "MC2: Mapping the Dark Matter Distribution of the "Toothbrush" Cluster RX J0603.3+4214 with Hubble Space Telescope and Subaru Weak Lensing"

Dawson, W. A., Schneider, M. D., Tyson, J. A., and Jee, M. J. 2016, ApJ, 816, 11, "The Ellipticity Distribution of Ambiguously Blended Objects"

Ng, K. Y., Dawson, W. A., Wittman, D., Jee, M. J., Hughes, J. P., Menanteau, F., and Sifón, C., 2015, MNRAS, 453, 1531, "The return of the merging galaxy subclusters of El Gordo?"

■ 충남대학교 천문우주과학과

1. 인적사항

본 학과(학과장 이유)는 현재 8명의 전임교수(외국인 전임 교원 1명 포함), 및 조교 1인(김기남)을 중심으로 교육과 연구에 임하고 있다.

2017년도에는 학부과정에 32명이 입학하였다. 그리고 2명의 석사가 배출되었으며, 박사과정에 3명, 그리고 석사과정에 6명이 입학하였다. 한편, 외국인 박사후 연구원 2명이 연구를 수행하고 있다. 2017년 현재 학부 약 160명, 대학원 석박사 과정 약 20명으로 지방국립대 중 최대 규모의 천문우주과학 관련 학과를 운영하고 교육과 연구에 전념하고 있다. 한편, 2014년에 BK21 플러스사업의 일환으로 대학원 과정의 경우 천문우주과학과와 지질환경과학과를 통합한 우주지질학과를 설립하여, 천문우주와 지질학의 융합 교육 및 연구를 펴하고 있다.

2. 연구 및 학술활동

김광태 회원은 충남대학교 e-learning 강좌로 고천문학, 인간과 우주, 우주의 역사, 천문학의 지혜 교양과목들을 성황리에 운영하고 있으며, 천문학의 대중화를 도모할 수 있는 효과적인 천문학 강좌 개발에 관여하고 있다. 고천문학 연구에도 진보를 보여서 지난 2015년부터 충남과학지에 구석기시대 천문학 연구 결과를 발표하고 있다.

오갑수 회원은 현재 태양풍 물리량의 변화에 따른 지자기폭풍의 세기를 예측하는 방법을 연구하고 있으며 최근에는 자기장의 재결합에 관한 연구를 하고 있다.

김용하 회원은 과학재단 특정기초 연구과제의 일환으로 2007년 2월 남극 세종기지에 설치한 유성 레이더를 지속 운영중에 있다. 2012년 이 레이더의 송출력을 12KW로 증대하여 현재 일일 평균 약 30000 개 이상의 유성을 측정하고 있으며, 이를 이용해 유성 진입 고도 70 - 110 km 구간의 고층 대기 상태도 측정하고 있다. 또한 김용하 회원은 2015년과 2016년에 극지연구소 북극 다산기지와 키루나기지를 방문하여 고층대기광 분광관측기인 Fabry-Perot 간섭계를 극지연구소 고층대기 팀과 함께 설치하고 현재 운영 중에 있다. 2017년 2월에는 극지연구소 남극 세종기지에 동종의 간섭계가 설치됨으로서, 남북극 지역 모두 4곳(세종, 장보고, 다산, 키루나)에서 고도 90 - 300 km 구간의 바람 속도에 대한 측정 자료를 확보할 수 있게 되어 우주과학 연구의 활성화를 기대하고 있다.

이유 회원은 전남대 오수연 교수와 함께 Neutron Monitor 관측소를 현재 표준연구원 내에 완성하여 관측을 시작하였고, 오는 2015년 11월부터 두 해 겨울(남반구 여름) 기간에 걸쳐 남극대륙 내의 장보고 기지에 추가 관측소 건립 중에 있다. 이와 더불어 전 세계 관측소들의 자료를 사용하여 관측되는 우주선 강도

의 감소현상 (Forbush Decrease)을 태양과 지구간의 행성간 자기권을 물리적 변화로 설명하려는 연구를 하고 있다. 그리고 향후 달탐사를 위한 기초연구로서 LRO/CRaTER science team에 참여하여 달 궤도에서의 우주선 환경변화를 연구하고 있으며, 달에서 인류가 주거 가능한 전초 기지가 될 수 있는 달의 용암동굴을 찾기 위한 연구를 진행하고 있다. 또한, 자연을 연구하는 과학자로서 지구 기후변화 역사와 원인에 대한 깊은 관심을 갖고 연구 중이다.

조정연 회원은 MHD 난류의 성질 및 천문학적인 응용에 대해 연구하고 있으며, 성간 먼지의 정렬현상 및 이에 의해 야기되는 적외선 편광에 대해 연구하고 있다. 또한 외부은하의 내부소광과 CMB foregrounds의 효과적 제거 방법에 대해 연구하고 있다. 현재 관측을 통한 난류의 물리량을 구하는 방법을 연구하고 있으며 블랙홀이나 중성자성의 자기권에서 발생하는 난류에 관한 연구를 하고 있다.

이수창 회원은 독일 하이델베르크 대학 및 호주국립대학연구팀과 공동으로 SDSS 자료를 이용하여 구축한 Virgo 은하단에 있는 은하들의 새로운 목록인 Extended Virgo Cluster Catalog (EVCC)를 활용하여 은하단 및 은하단내 은하들의 진화 연구를 환경효과와 관련하여 수행하고 있다. 또한, SDSS 자료를 이용하여 Virgo 은하단 주위에 존재하는 filament 및 sheet 구조를 새롭게 정의하고 이 구조에 분포하는 은하들의 특성 및 진화 연구를 수행하고 있다. 한편, 은하그룹, 필드 (field), 필라멘트 등 다양한 환경에 있는 은하들의 특성에 대한 비교연구를 수행하고 있다.

Prof. Hui conveys extensive studies of a wide range of high energy phenomena of compact objects and their environment. These astrophysical systems enable us to probe the laws of physics in the most extreme physical conditions which cannot be attained in any terrestrial laboratories. For multi-wavelength investigations, the state-of-art space and ground-based telescopes around the world, including XMM-Newton, Chandra, Suzaku, Swift, Gemini, Hubble Space Telescope, Australian Telescope Compact Array, VLA, Fermi Gamma-ray Space telescope, are utilized. Prof. Hui is also one of the founders of Fermi Asian Network (FAN) which leads a series of long-term internationally collaborative projects. Very recently, Prof. Hui has joined the project, which is led by the International Space Science Institute, for conceiving new approaches to investigate the active processes in the central regions of galaxies.

이영선 회원은 Sloan Digital Sky Survey (SDSS), SEGUE (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration), BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopy Survey), 그리고 현재 중국에서 진행 중인 LAMOST (Large Sky Area

Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) 등에서 관측한 별의 스펙트럼을 처리하여 별들의 온도, 중력, 금속 함량비, 알파원소 함량비와 탄소 함량비를 결정하는 일괄처리 프로그램들을 개발하는 연구를 수행하고 있다. 일괄처리 프로그램을 통하여 결정된 별의 물리량과 화학원소 함량비를 이용하여 우리은하의 원반 (disk)과 헤일로 (halo)에 있는 별들의 운동학적, 화학적 특성과 분포를 조사하여 원반과 헤일로의 기원과 화학적 진화에 대하여 연구도 수행하고 있다.

충남대 천문우주과학과는 지난 8년간 2단계 BK21 사업에 이어 지질환경과학과와 공동으로 2013년에 BK21 플러스의 지구과학 분야 사업단에 선정되어 운영되고 있다. 또한 2015년 중간평가를 거쳐 4차년도 협약이 확정되었다. 미래 우주지질 탐사 사업단 (단장 - 김용하, 참여교수 - 이유, 이수창, 조정연, C. Y. Hui, 이영선)은 우주/지질 분야에서 다양한 과학적 현안들을 해결하고 미래 성장에 능동적으로 기여할 수 있는 핵심인재 양성 및 관련 분야에서 국제적인 수준의 기초연구를 수행하고 있다. 또한 2016년 9월부터 3년간 지방대학 특성화 사업(CK사업)의 일환으로 지질환경과학과, 해양환경과학과와 함께 지구/우주 국가전략기술인재양성사업단에 참여하여 연간 4억의 사업비를 지원받아 창의적 융복합 인재를 양성하고 있다. 천문우주과학과는 천문우주 연구 및 우주탐사의 세부 분야를 담당하고 있다. 특히, 국제적 수준의 차세대 우주탐사 연구인력을 양성하여, 정부의 대형 국책 연구사업에 필요한 전문 인력 공급을 목표로 하여 사업을 운영하고 있다. 천문우주 탐사, 우주환경 관측 및 시뮬레이션, 그리고 우주현상 시뮬레이션 분야에서 교육 시스템 및 연구 수준을 국제적 수준으로 끌어 올려 국책연구소에서 필요로 하는 양질의 석박사를 배출하는 것을 주요 목표로 하고 있다.

### 3. 연구시설

연구 시설로는 다수의 워크스테이션 서버와 고성능 PC가 갖추어진 천문전산실, 광학실험장치, Photodensitometer, 인공위성 추적시스템이 갖추어져 있는 광학실험실이 있다. 그리고 천문대 및 Planetarium 상영을 위한 천문전시실이 있으며, 시뮬레이션실, 천문도서실 등이 학부 학생들의 교육을 위한 실험실습실로 이용되고 있다. 천문대에는 16인치 슈미트-카세그레인 반사망원경이 4m 돔에 설치되어 있고, 14, 12, 10인치 슈미트-카세그레인 망원경, 7인치 반사망원경, 6, 5인치 초저분산 굴절망원경, 6인치 쌍안경, 분광기, 그리고 다수의 냉각 CCD 카메라가 있다. 그리고 대전 시민천문대의 10인치 굴절망원경의 원격제어 시스템을 완성해 시민천문대가 운영을 마친 11시 이후에 이를 활용하여 관측수업을 진행 중이다.

#### ■ 충북대학교 천문대

충북대학교 천문대는 진천관측소가 2008년 개관 이래 약 5년이 지난 현재까지 천문관측을 계속 수행하고 있으며, 천문대를 건설하면서 축적하였던 다양한 천문 기술을 국내 천문대에 보급하고 있다. 천문대 구성인원은 대장(김천휘 교수)과 소장(윤요라

주무관), 그리고 5명의 관측요원으로 이루어져 있다. 보유 장비는 진천관측소에 소재한 국내 대학 최대 구경인 1m RC 망원경, 인공위성 추적 감시 망원경인 60cm 광시야 망원경(2010년 설치)이 있으며, 또한, 대학 교내 35cm와 40cm 망원경을 운용하고 있다. 이 4대의 망원경의 관측 대상은 주로 변광성이며, 때때로 행성 transit 측광관측 및 한국천문연구원과의 협력으로 인공위성과 소행성 등을 병행 관측하고 있다.

최근 몇 년 동안 진천관측소에서 이루어진 일은 천문대의 날씨 상황, 관측 진행상황, 그리고 관측 현황 등을 실시간으로 알려주는 시스템을 개발하여 web에 공지하고 있다 (<http://210.125.158.21/weather/>), 이와 더불어 관측된 변광성의 위상에 따른 광도곡선도 web 상에 보여줌으로서 관측자에게 편의를 주고 있다.

충북대학교 천문우주학과가 전국에 산재되어 있는 각종 천문기관이나 시설(과학관, 과학박물관, 시민천문대 등)에 걸 맞는 전문인력 양성을 목적으로 2008년 3월부터 대학원에 신설한 '대중천문과학' 전공을 실질적으로 활성화하고 기술적으로 뒷받침하기 위하여 천문대는 다양한 천문관측과 실습 프로그램을 개발하여 학생들에게 관측실습의 장을 제공하고 있다.

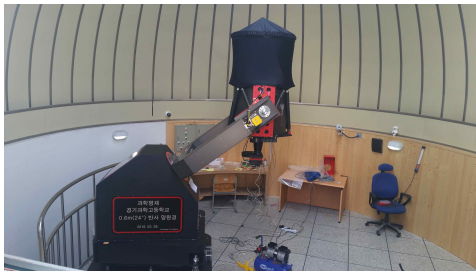


그림1 . 과학영재 경기과학고등학교 0.6m 반사망원경. Antalece 6.0.

2014년부터 충북대학교 천문대는 대중천문 보급 및 자구적 예산확보 차원에서 천문을 테마로한 오토캠핑장을 추진하고 있다. 총 18기의 텐트 사이트로 1년에 1억원 이상의 수익을 목표로 각종 편의 시설 건물을 신축했다. 천문대의 넓은 천연 잔디 운동장과 망원경 및 천문학 전공 학생들의 천문강의와 체험학습을 테마로 천문오토캠프를 진행하고 있다. 오토캠핑장이 활성화 되면 지역 이동센터 및 다문화 가정을 위한 무료 천문캠프를 진행해 지역사회에 대중천문을 접할 수 있는 기회의 장을 마련하고 있다.

지속적인 천문기기 개발을 수행하고 있는 충북대학교 천문대는 다양한 기술력으로 국내 망원경 및 관측기기 수리 용역을 수행하고 있다. 2014년에는 제주별빛누리 공원의 주망원경인 60cm 망원경의 주경 미러셀과 스피어더 부경 미러셀을 다시 제작하는 연구과제를 수행 완료하였고, 2015년은 국립 부산과학관 350mm 굴절 망원경 구동 시스템 개발을 완료 하였으며, 이와 더불어 과학영재 경기과학고등학교 0.6m 반사 망원경, 대전 동신과학고등학교 0.5m 반사망원경을 메타스페이스와 협력하여 Antalece 6.0과 5.0의 새로운 망원경을 개발하여 납품하였다. 또한 충북대학교 천문대에서 운영중인 AWS 및 구름모니터링 시스템

은 다양한 기관에서 설치를 의뢰하고 있으며, 2014년에 국립 과학천문과학관 과학영재 한국영재학교에 개발을 완료해 납품하였다.

2016년 10월 한국천문연구원의 SLR(Satellite Laser Ranging) 그룹의 거창 감악산 사이트에 8.5m 고속 회전 자동 제어 돔 개발을 완료하였으며, 이 돔은 최고 속도 18°/sec, 지향 정밀도 ±30arcsec의 정밀도를 가지고 있다. 2017년 시험관측을 거쳐 본격적인 인공위성 관측을 시작할 계획이다.

0.6m 광시야 망원경은 72'×72'넓은 시야를 가진 4K CCD를 사용함으로써 한 CCD 화면에 수많은 별들이 동정되고, 따라서 새로운 변광성들이 많이 발견되기 때문에 자료처리 방식을 새롭게 수정하는 S/W를 개발하였으며, 이와 더불어 이제까지 관측된 변광성들을 정리하여 논문화하는 작업을 수행되고 있다.

최근에 넓은 시야를 이용한 외계행성 탐사 관측은 매우 높은 관측 정밀도를 나타내고 있으며, 지속적인 관측으로 국내 학회지 및 SCI급 논문이 기대되고 있다.

2015년 10월에는 광시야 0.6m 망원경 전용 완전개폐형 돔을 설계 제작하여 기존 슬라이딩 돔 철거와 함께 더욱 쾌적한 천문 체험학교 환경을 조성하였으며, 새로 개발한 완전개폐형 돔은 관측 시야가 고도 15° 이상 확보되고 망원경의 구동에 간섭이 전혀 없어 광시야 0.6m 망원경의 구동 안전성을 확보하였고, 9시간 연속 시계열 관측을 할 수 있는 환경을 조성하였다.



그림2 . 충북대학교 천문대 0.6미터 광시야 망원경 완전 개폐형 돔.



그림3. 국립부산과학관 350mm 굴절 망원경.



그림4. 한국천문연구원 거창 감악산 SLR 사이트 8.5미터 자동 제어 돔.

■ **충북대학교 천문우주학과**

**1. 기본사항**

충북대학교 천문우주학과에는 서경원, 김천휘, 김용기, 이대영, 하야사키, 안홍준 회원 등 명의 전임 교수가 194명의 학부생과 35명의 대학원생의 교육과 연구를 맡고 있다. 2016년 9월 1일부터 스탠포드 대학에서 연구해 온 안홍준 회원이 신입교원으로 부임하였다. 국내 대학 중 유일한 대학본부 부속기관인 충북대학교 천문대는 2017년 3월부터 김천휘 교수가 천문대장직을 수행하고 있으며 윤요라 회원이 업무를 담당하고 있다. 학과 행정업무는 2017년부터 이민희 회원이 조교로 근무하고 있다.

**2. 연구 및 학습활동**

서경원 교수는 진화된 항성 주변 먼지층의 특성과 진화에 대한 연구를 수행하고 있다. 이를 위하여 만기형항성의 목록을 개선하고 체계화하며 관련된 적외선 및 전파 관측 자료들을 수집하여 분석하고 있다. 또한 만기형항성과 행성상성운의 구조와 진화에 따른 주변 먼지입자의 특성에 대한 이론적 모형의 개발과 적용을 위한 연구도 함께 진행 중이다. 서경원 교수의 지도하에 홍진주, 주재민 회원이 석사과정에서 논문을 준비하고 있다.

김천휘 교수는 2017년부터 천문대장직을 맡고 있으며, 근접쌍성계의 측, 분광학적 성질 및 주기변화를 기반으로한 역학적 성질을 연구하고 있다. 그 일환으로 폴란드의 크라코우 교육대학의 J. M. Kreiner 교수와 공동으로 근접점 운동을 하는 근접쌍성계의 카탈로그를 작성하고 있다. 이를 기반으로 항성내부구조 이론과 조석과 자전에 의한 동주기 자전 및 원형화 이론의 검증 연구를 수행하고 있다. 이를 위해 소백산, 레몬산, 충북대 천문대에서 여러 별에 대한 측광 관측을 수행하고 있다. 김천휘 교수의 지도하에 박장호, 송미화, 정민지, 임진선, 우수완 회원이 박사과정을 이수하고 있으며, 2017년부터 이희재, 김혜영 회원이 박사과정을, 김재영 회원이 석사과정을 진행하고 있다. 박마루 회원은 "OWL 네트워크의 최적 관측점 수 결정"이란 제목의 논문으로 석사 학위를 취득하고 현재 한국천문연구원에서 근무하고 있

다. 이와 더불어 김천휘 회원은 충북대학교 기초과학연구원장으로 봉사하고 있다.

김용기 교수는 대학원 대중천문학과정을 담당하고 있다. 자기격변광성의 관측 및 관측자료 처리에 대한 연구를 하고 있으며 우크라이나 ONMU 대학의 Andronov교수와 자기격변광성에 대한 공동연구를 하고 있다. 또한 충북대학교 망원경 자동관측시스템을 이용한 자기격변광성 모니터링관측, 그리고 망원경 자동관측시스템을 이용한 과학대중화사업에의 연계연구에도 관심을 갖고 부산과학관, 경기과학고의 망원경 및 관측시스템 개발에 참여한 바 있다. 김용기 교수는 한양대학교 오준영 교수와 함께 과학의 본성을 이용한 대중천문 교육에 대한 연구를 하고 있으며, 천문도서 번역에도 기여하였다. 현재 김동훈, 박지원, 김태우 회원이 박사과정, 송성현 회원이 석사과정을 이수하고 있으며, 설아침 회원이 통합과정에, 이상민, 김동현 회원이 천문우주학 석사과정에, 이종원 회원이 대중천문과학 석사과정에서 2017년부터 김용기 교수의 지도를 받고 있다. 2014년 1월부터 한국우주과학회 부회장으로 봉사하고 있으며, 2014년 1월부터 2015년 12월까지 한국천문학회 교육홍보위원장을 맡은 바 있다.

이대영 교수는 현재 8명의 석·박사 과정 대학원생들과 2인의 연구교수로 구성된 우주물리/우주환경 연구 그룹을 이끌고 있다. 주로 plasma instabilities, radiation belt electron dynamics, wave-particle interactions, substorm, magnetic storm 등의 주제를 중점 연구하고 있다. 최근까지 한국연구재단의 NSL 과제를 통해, 우주 방사선 입자 환경을 재현 및 예측하는 자료동화모델 개발에 연구력을 집중하였다. 이와 관련하여 THEMIS 위성이 관측한 방사선 벨트 자료와 최근에 발사된 Living With a Star Program 위성인 Van Allen Probes 자료를 집중 분석해오고 있다. 충북대 우주물리/우주환경 그룹은 국외에서는 UCLA 및 대만 중앙대학 그룹과, 국내에서는 천문연구원 태양-우주환경 그룹과 상시 공동연구 체계를 갖추고 있다.

하야사키 키마타케 교수는 black hole 천문학 및 천체물리학에 대한 연구를 수행하고 있다. 현재 merging process of binary supermassive black holes in the context of disk-binary interaction에 관하여 연구하고 있다. 쌍성 블랙홀 병합 중 중력과 검출(GW 150914)의 최근 발견은 그 어느 때보다도 이 분야에 많은 동기를 부여하고 있다. 또한 the tidal disruption of stars by supermassive black holes에 대해 연구하고 있으며, 최근 tidal disruption events가 급격하게 관측되면서 관측과 이론적 관심이 증가하고 있는 주제이다. 현재 학부생들로 구성된 연구 그룹을 이끌고 있으며, black hole 천문학 및 천체물리학에 새로운 통찰력을 제공하고자 교육하고 있다.

안홍준 교수는 현재 국제 협력 연구단인 Fermi 연구단에 참여하고 있으며, X선 및 감마선 관측을 통하여 고에너지 천체현상을 연구하고 있다. 고에너지 방사는 우리 은하뿐만 아니라 외계 은하에 존재하는 밀집성에서 나타나는데, 주로 중성자 별 및 그 성운, 거대 블랙홀 등이 연구대상이다. 이런 물체에서 발생하는 고에너지 현상을 통하여 그 물체들의 특성을 추정하는데, 중성자

별 연구는 최종적으로 그 질량을 추정하여 현재의 물리학적 지식을 기반으로 유도한 상태방정식을 검증함으로써 초 고밀도하에 존재하는 물질의 상태를 추정하는 것을 목표로 한다. 중성자별 성운이나 거대 블랙홀 주변에서 입자들이 초고에너지로 가속되는 현상이 발생하여 X선 및 감마선이 방출되는 것으로 추정하는데, 관측 및 이론적 모형을 통하여 플라스마 물질의 가속현상들 이해하는 것을 목표로 하여 연구하고 있다. 현재 두 명의 대학원생과 함께 연구를 진행하고 있다.

### 3. 연구시설

각 교수의 연구실 및 실험실에는 최신 PC 및 관련 주변 기기, 그리고 워크스테이션이 구비되어 있으며, 또한 교내 35cm 반자동 천체망원경, 40cm 자동 천체망원경 및 3m 태양 망원경, 5m 위성 전파수신기, 그리고 최근 자체 제작한 2.8Ghz 전파 수신기 등 천문우주 교육에 필요한 다수의 장비를 갖추고 있다. 이와 더불어 대학 본부 부속기관인 충북대학교 천문대(충북 진천군 소재)가 2008년 4월 개관이후 시험 관측을 거쳐 현재 활발히 천문 관측을 수행하고 있다. 충북대학교 천문대는 국내 대학 규모로는 최대인 1m 반사 망원경을 보유하고 있고 60cm 광시야 망원경을 이용하여 천문 교육과 연구에 활용될 뿐만 아니라 지역사회에 개방되어 천문지식 보급에도 크게 기여하고 있다.

### 4. 국내외 연구 논문(2015-2016)

Suh, Kyung-Won, 2016, A model for the dust envelope of the silicate carbon star IRAS 09425-6040, *The Astrophysical Journal*, 819, 61

Suh, Kyung-Won, 2016, Optical properties of amorphous alumina dust in the envelopes around O-rich AGB stars, *Journal of the Korean Astronomical Society*, vol.49, no.4, 127

Suh, Kyung-Won, 2016, Dust Disks Around Young Stellar Objects, *Journal of Astronomy and Space Science*, vol. 33, no. 2, 119

Suh, Kyung-Won, 2015, Infrared Two-Color Diagrams for AGB stars, post-AGB stars, and Planetary Nebulae, *The Astrophysical Journal*, 808, 165

Maru Park, Jung Hyun Jo, Sungki Cho, Jin Choi, Chun-Hwey Kim, Jang-Hyun Park et al. 2015, Minimum Number of Observation Points for LEO Satellite Orbit Estimation by OWL Network, *JASS*, 32, 357

Wonyong Han, Min-Ji Jeong, Joh-Na Yoon, Hyoun-Woo Kim, Yonggii Kim, Chun-Hwey Kim, 2015, Apsidal Motion Study of Close Binary System CW Cephei, *JASS*, 32, 341

Tobias C. Hinse, Wonyong Han, Joh-Na Yoon, Chung-Uk Lee, Yong-Gi Kim, Chun-Hwey Kim, 2015, Photometric defocus observations of transiting extrasolar planets, *JASS*, 32, 21

김용기 외, 2015, 우주의 본질 시그마프레스 (번역)

Ivan L. Andronov, Yonggi Kim, Young-Hee Kim, Joh-Na Yoon, Lidia L. Chinarova, Mariia G. Tkachenko 2015, Phenomenological Modeling of Newly Discovered Eclipsing Binary 2MASS J18024395 + 4003309 = VSX J180243.9+400331, *JASS*, 32(2) 127

K. Petrik, V. V. Breus, I. L. Andronov, M. Csatoryova, J. Drga, T. Hegedus, S. Zola, L. L. Chinarova, Young Hee Kim, Jiwon Park, Joh-Na Yoon, P. Dubovsky, S. V. Kolesnikov and, K. A. Antonyuk 2015, Spin Period Study of the Intermediate Polars MU Cam, V2306 Cyg and V1323 Her, *ASP Conf.* 496, 252

Wonyong Han, Min-Ji Jeong, Joh-Na Yoon, Hyoun-Woo Kim, Yonggii Kim, Chun-Hwey Kim, 2015, Apsidal Motion Study of Close Binary System CW Cephei, *JASS*, 32, 341

Tobias C. Hinse, Wonyong Han, Joh-Na Yoon, Chung-Uk Lee, Yong-Gi Kim, Chun-Hwey Kim, 2015, Photometric defocus observations of transiting extrasolar planets, *JASS*, 32, 21

J.H. Cho, D.-Y. Lee, J.H. Kim, D.K. Shin, K.C. Kim, and D. Turner, 2015, New model fit functions of the plasmopause location determined using THEMIS observations during the ascending phase of Solar Cycle 24, *Journal of Geophysical Research - Space Physics*

J. H. Kim, D.-Y. Lee, J. H. Cho, D.K. Shin, K.C. Kim, Wen Li, and T. Kim, 2015, A prediction model for the global distribution of whistler chorus wave amplitude developed separately for two latitudinal zones, 2015, *Journal of Geophysical Research - Space Physics*

K.C. Kim, D.-Y. Lee, and Y. Shprits, 2015, Dependence of Plasmaspheric Hiss on Solar Wind Parameters and Geomagnetic Activity and Modeling of Its Global Distribution, *Journal of Geophysical Research - Space Physics*

Hwang, J., E.-J. Choi, J.-S. Park, M.-C. Fok, D.-Y. Lee, K.-C. Kim, D.-K. Shin, M. E. Usanova, and G. D. Reeves, 2015, Comprehensive analysis of the flux dropout during 7-8 November 2008 storm using multisatellite observations and

RBE model, J. Geophys. Res. Space Physics,

K.S. Park, D.-Y. Lee, T. Ogino, D.-H. Lee, 2015, MHD simulations using average solar wind conditions for substorms observed under northward IMF conditions, Journal of Geophysical Research – Space Physics

C.-R. Choi, M.-H. Woo, K. Dokgo, E.-J. Choi, K.-W. Min, J. Hwang, Y.-D. Park, and D.-Y. Lee, 2015, Pitch-angle diffusion of electrons through growing and propagating along a magnetic field electromagnetic wave in Earth's radiation belts, Physics of Plasmas

J. Hwangbo, S.-C. Bong, S.-H. Park, D.-Y. Lee, K.-S. Cho, J.J. Lee, and Y.D. Park, 2015, Burst locating capability of the Korean Solar Radio Burst Locator (KSRBL), J. Astron. Space Sci.

K. Hayasaki, B-W. Sohn, A T. Okazaki, T. Jung, G. Zhao, and T. Naito, "Warping and tearing of misaligned circumbinary disks around eccentric supermassive black hole binaries", Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 2015, Issue 07, 005, (18pp)

Yang, C., ..., An, H., et al. "NuSTAR Observations of Magnetar 1E 1048.1-5937", ApJ, 2016, 831, 80

Ackermann, M., Ajello, M., An, H., et al. "Contemporaneous Broadband Observations of Three High-redshift BL LAC Objects", ApJ, 2016, 820, 72

Chen, G., An, H., et al. "NuSTAR Observations of the Young, Energetic Radio Pulsar PSR B1509-58", ApJ, 2016, 817, 93

Lopez, L. A., ..., An, H., et al. "A Spatially Resolved Study of the Synchrotron Emission and Titanium in Tycho's Supernova Remnant Using NuSTAR", ApJ, 2015, 814, 132

Madsen, K. K., ..., An, H., et al. "Calibration of the NuSTAR High-energy Focusing X-ray Telescope", ApJS, 2015, 220, 8

Tendulkar, S. P., ..., An, H., et al. "Phase-resolved NuSTAR and Swift-XRT Observations of Magnetar 4U 0142+61", ApJ, 2015, 808, 32

An, H., et al. "Deep NuSTAR and Swift Monitoring Observations of the Magnetar 1E 1841-045", 2015, ApJ, 807, 93

An, H., et al., "Broadband X-Ray Properties of the Gamma-Ray Binary 1FGL J1018.6-5856", 2015, ApJ, 806, 166

Boggs, S. E., ..., An, H., et al. "44Ti gamma-ray emission lines from SN1987A reveal an asymmetric explosion", 2015, Science, 348, 670

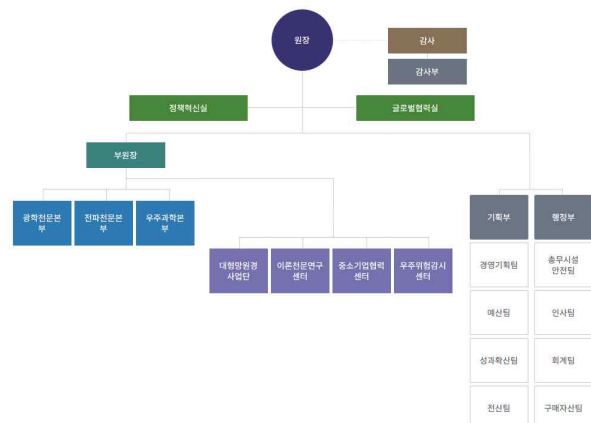
Madsen, K. K., ..., An, H., et al. "Broadband X-ray Imaging and Spectroscopy of the Crab Nebula and Pulsar with NuSTAR", 2015, ApJ, 801, 66

Zoglauer, A., Reynolds, S., An, H., et al. "The Hard X-Ray View of the Young Supernova Remnant G1.9+0.3", 2015, ApJ, 798, 98

■ 한국천문연구원

1. 기관 현황

한국천문연구원은 우리나라 천문 연구의 정통성을 계승한 대한민국의 대표 천문연구기관으로서 1974년 국립천문대로 출범하여 현재에 이르기까지 중·대형 관측 장비의 구축과 운영을 통해 국가 천문 연구를 수행하며 과학 발전의 토대를 마련하고 있다. 국내 유일의 천문우주과학 정부출연연구기관으로서 광학, 전파, 이론, 관측 천문학 및 우주과학 연구를 통해 21세기 천문우주 핵심과제를 규명하고, 천문우주 관측시스템 구축 및 핵심 기술 개발을 통해 우주시대를 선도하는 일류 선진연구기관으로 도약하고 있다.



**가. 주요 보직자 현황**

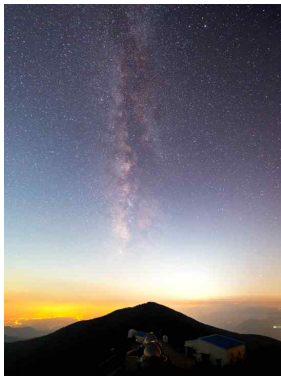
제6대 원장 한인우  
 감사 배규한  
 감사부장 김웅중  
 부원장 한원용

광학천문본부장 경제만  
 전파천문본부장 김현구  
 우주과학본부장 조경석  
 대형망원경사업단장 박병곤  
 기획부장 서규열  
 행정부장 박우근  
 글로벌협력실장 이서구  
 정책혁신실장 김경호  
 우주위험감시센터장 조중현  
 중소기업협력센터장 남옥원  
 이론천문연구센터장 류동수

**나. 주요 연구본부 소개**

**1) 광학천문본부**

광학천문본부는 은하진화그룹, 변광천체그룹, 보현산천문대, 소백산천문대의 4개 그룹으로 구성되어 별과 우주의 시작과 변화를 과학적으로 분석하고 있다. 은하진화그룹은 광학/적외선을 비롯한 다양한 파장의 자료를 이용하여 우리은하와 외부은하의 형성과 진화를 연구하고 있으며, 변광천체그룹은 고정밀 측광 및 고분산 분광 관측 자료를 활용하여 변광성과 외계행성의 물리적 특성을 연구하고 있다.



이러한 연구를 위하여 광학천문본부는 보현산천문대, 소백산천문대, 레몬산천문대, 외계행성 탐색시스템(KMTNet) 등의 관측시설을 운영하고 있다. 외계행성 탐색시스템은 2015년 10월에 칠레, 호주, 남아프리카공화국의 남반구 3개 관측소를 완공하고, 광시야 망원경과 모자이크 CCD 카메라를 사용하여 외계행성, 변광성, 초신성, 소행성, 외부은하 등 본격적인 연구관측을 시작해 성과를 창출하고 있다.

**2) 전파천문본부**

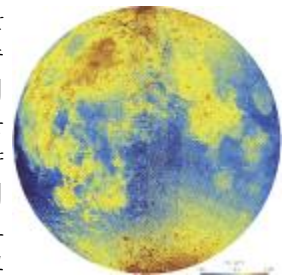
전파천문본부는 전파천문연구그룹, 대덕전파천문대, 전파기술개발그룹, ALMA(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)그룹 및 KVN(Korean VLBI Network, 한국우주전파관측망)의 5개 그룹을 운영하고 있다. KVN 등의 대형 관측장비를 활용하여 별 탄생 영역과 활동성 은하 영역에 대한 선진연구를 수행하고, ALMA, KaVA(KVN and VERA Array) 등을 통해 국제 공동 관측 프로그램을

을 진행하고 있다. 또 핵심 관측장비의 성능 향상을 위한 시스템 개발을 하며 우수 연구결과를 창출하고 있다.



**3) 우주과학본부**

우주과학본부는 태양 및 근지구 우주환경 연구, 달 및 행성 과학, 그리고 레이저 기술을 이용한 고정밀 우주물체 추적연구를 통해 우주에 대한 인류의 지식 확대 및 활동영역 확장, 그리고 자연재해, 우주 폐기물 문제 등 범지구적 문제해결에 기여하고 있다. 또한 우주측지기술을 활용한 지구 변화 정밀 분석과 태양 활동에 의한 지구영향 예측, 우주에서의 관측천문연구에 주력하고 있으며 대한민국 공식 역서를 발간하고 있다.



**4) 우주위험감시센터**

우주위험감시센터는 인공위성, 소행성 등 우주물체의 지상추락과 충돌과 같은 우주위험을 감시하고 분석하는 연구와 우주환경 감시기관의 기술정책 및 국제협력 지원 등의 사무국 업무를 수행하고 있다. 국가과학기술연구회 국가현안해결형사업인 우주물체 전자광학감시 시스템(Optical Wide-field patrol; OWL-Net) 개발 사업을 통해 지난해 국내외의 5개 곳에 직경 0.5m급 우주물체 추적 광학망원경을 설치 완료했으며, 우리나라 국적위성, 한반도 정지궤도 영역을 독자적으로 감시하고 있다. 이 네트워크는 광시야 광학망원경, 고속 마운트, 효과적인 스케줄링을 채용하여 빠르게 움직이는 인공위성이나 소행성의 추적감시가 가능하며, 세계 최초로 관측 계획부터 데이터 분석까지 전 과정을 천문연구원에서 무인원격으로 관리할 수 있다.



**5) 대형망원경사업단**

대형망원경사업단은 대형광학망원경의 국제공동건설 및 공동활용, 대형망원경용 관측기기 개발 등의 업무를 수행하고 있다.

주요사업으로는 거대마젤란망원경(GMT) 국제공동 건설 지분 10% 확보를 골자로 하는 대형망원경개발사업과 8m급 중대형망원경 국제공동 활용, 광학 및 적외선 관측기기 개발, GMT용 관측기기 및 부경 국제공동개발 등을 들 수 있다.

특히 GMT 시대를 대비한 연구역량의 개발과 인력 양성을 위하여 천문학계를 위한 중대형망원경 관측시간 지원, 대학원생 및 박사후연수원을 대상으로 하는 계절학교 운영, 해외 GMT 참여 기관과 공동연구 및 펠로우십 프로그램 운영, 천문학 분야 국제공동연구 참여 등 다양한 업무를 수행하고 있다. 2016년도에는 GMT의 건설에 직접 참여하는 기술 중 적외선고분산분광기(IGRINS)를 구경 4.3m의 Discovery Channel Telescope(DCT) 망원경으로 이전 설치하는 작업을 성공적으로 완료하고 과학 연구 관측을 개시하였다.



**6) 이론천문연구센터**

이론천문연구센터에는 고천문학(역사천문학), 우주론, 천체물리 분야의 연구자들이 참여하고 있다. 고천문학은 고대 천문기록과 의기복원 그리고 천문학사 관련 연구를 수행하고 있다. 우주론 및 천체물리 분야는 우주거대구조 이론과 관측 연구를 통해 우주초기조건, 암흑물질 및 암흑에너지에 관한 연구를 수행하고 있으며, DESI 등 주요 국제관측사업에 참여하고 있다. 천체물리 연구자들은 시뮬레이션을 통한 천체물리 연구 및 시뮬레이션코드 개발 등을 수행하며, 한국과학기술정보연구원, 국가수리과학 연구소와 공동으로 중력과 융합연구도 활발하게 진행 중이다.

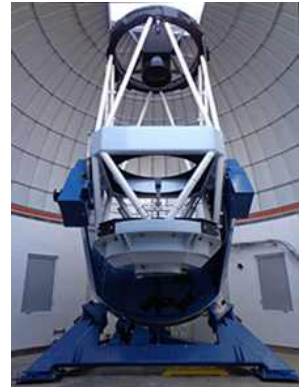
**7) 중소기업협력센터**

2013년 4월 새롭게 출범한 중소기업기술협력센터는 그 동안 연구원의 각 부서별로 분산 운영되어왔던 천문우주과학 관련 기술의 산업체 공유를 위한 협력 업무를 담당하고 있다. 현재 중소기업지원 인력은 센터장을 포함한 연구인력 3인, 전문위원 1인, 등 중소기업협력 전담인력과 19명의 KASI-테크노닥터들로 구성되어 있다. 천문광학, 천문전파 및 천문우주 분야별 9개의 패밀리기업과 함께, 기업의 수요에 부응하는 원천기술 확보 및 기술이전을 추진하고 있다. 이러한 노력을 통해 기업수요형 R&D개발을 통해 원천기술 확보 및 기술이전을 추진하고, 실질적 기술이전 로드맵을 통해 적극적인 기술 사업화 및 육성사업 확대를 위해 노력하고 있다. 또한 KASI-테크노닥터와 지속적인 기업의 애로기술 해결과 실질적인 기술교류를 통해 한국천문연구원 미래기술의 원천기술 확보 및 기업 동반성장을 위한 상생협력을 도모하고, 진정한 오픈 이노베이션(open innovation)을 구현을 위해 노력하고 있다.

**2. 한국천문연구원 주요 연구 및 개발 성과**

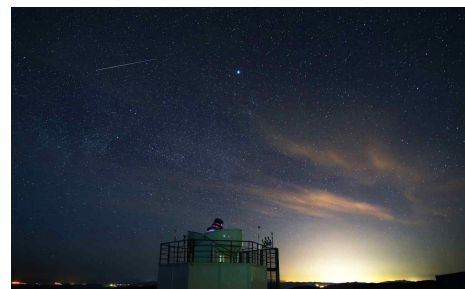
**가. 외계행성 탐색시스템(KMTNet) 활용해 외계행성 2개 연속 발견**

한국천문연구원은 지구와 비슷한 환경을 갖춘 외계행성을 발견하기 위해 지난 2009년부터 중력렌즈 현상을 이용해 외계행성을 탐색할 수 있는 KMTNet시스템을 개발해 2015년 10월에 공식적으로 연구 관측을 시작했다. 2016년에는 첫 번째 성과로 외계행성 2개를 발견하여 SCI 학술지에 각각 게재하였다. 이로써 별이 지지 않는 세계 유일의 24시간 연속 탐색 관측을 통한 외계행성 연구의 시작을 알렸으며, 앞으로 이 시스템을 이용하여 매년 100여 개의 외계행성을 발견할 것으로 기대하고 있다.



**나. 우주물체 전자광학 감시시스템(OWL-Net) 구축**

지난 2010년 12월부터 국가과학기술연구회의 국가 현안 해결형 사업으로 시작된 우주물체 전자 광학 감시 시스템(Optical Wide-field patrol; 'OWL-Net') 개발 사업이 2016년 마무리됐다. OWL-Net은 인공위성 등 우주물체를 광학적인 방법으로 추적 감시하는 기술 개발을 목표로 시작한 프로젝트다. 0.5m급 광시야 광학망원경을 갖춘 감시 관측소를 북반구 5곳(몽골, 모로코, 이스라엘, 미국, 보현산)에 구축하여 우리나라 위성에 대한 독자적인 궤도력 유지 임무를 수행하는 국내 유일의 우주감시 전용 관측 장비로서 우주감시 국제공동 대응에도 기여할 예정이다.



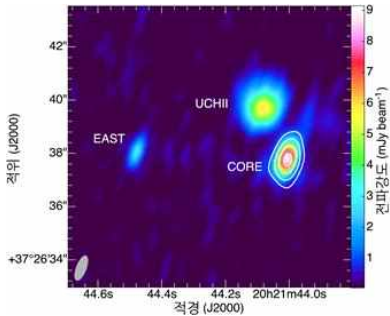
**다. 중력과 융합연구 본격적으로 시작**

한국천문연구원은 한국과학기술정보연구원, 국가수리과학연구소와 함께 중력과 융합연구를 본격적으로 시작했다. 한국천문연구원은 중력과 천문학 및 천체물리학 연구를 담당하며 우수한 연구 성과 창출을 위한 상호 발전 및 우호 증진에 필요한 연구와 협력 등을 계속적으로 진행해나갈 예정이다. 이를 통해 세계적인 수준의 중력과 연구를 수행하며, 우주와 천체의 기원과 진화를 이해할 수 있는 창의적 융합연구가 가능하리라 기대하고 있다.



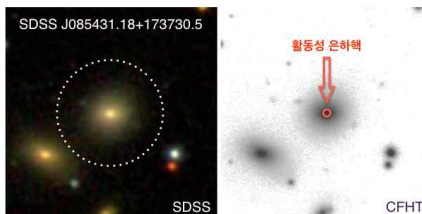
**라. 무거운 별 탄생의 비밀 풀어줄 일산화규소 메이저원의 새로운 두 천체 발견**

한국우주전파관측망(이하 KVN)의 단일 망원경을 활용해 무거운 별이 탄생 과정에서 방출하는 메이저를 검출하고, 이를 아타카마 전파간섭계(이하 ALMA)로 확인했다. 거대한 분자구름 핵에서 많은 물질을 분출하며 탄생하는 무거운 별 주변에는 일산화탄소(CO), 물(H<sub>2</sub>O), 일산화규소(SiO) 등 여러 분자들이 함께 존재한다. 이들은 메이저를 방출하는데, 별이 탄생하는 영역에서 물(H<sub>2</sub>O) 메이저는 천 개 이상의 천체에서 많이 발견됐으나 일산화규소(SiO) 메이저는 지금까지 다섯 개 천체에서만 관측됐다. 이번에 관측한 일산화규소 메이저 방출원인 'G19.61-0.23'와 'G75.78+0.34'는 각각 여섯 번째와 일곱 번째 일산화규소 메이저 방출 천체로 확정됐다.



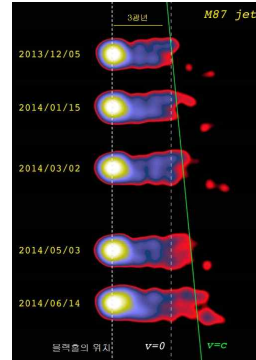
**마. 활동성 은하핵을 품은 '미니타원은하' 최초 발견**

일반적으로 거대타원은하에서만 발견되던 거대 질량 블랙홀의 활동성 은하핵 현상이 우리은하보다 작은 미니타원은하에서 처음으로 발견됐다. 한국천문연구원 은 슬론 전천 탐사 관측 자료와 하와이에 위치한 CFHT 3.6미터 망원경을 이용한 광학관측 자료를 이용해 우리은하의 질량보다 약 40배 작은 미니타원은하(SDSS J085431.18+173730.5)의 중심부에서 활동성 은하핵 현상을 발견했다. 이는 은하중심부 거대 질량 블랙홀의 특성을 이용해 왜소은하의 진화 과정을 규명하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.



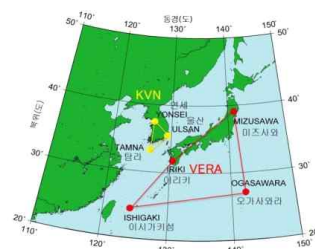
**바. 블랙홀 제트방출의 원리를 규명할 새로운 관측**

거대은하인 M87의 중심에 있는 초거대 블랙홀이 내뿜는 제트 현상을 관측해 기존 관측과 달리 블랙홀에 가까운 지점에서 이미 광속에 가까운 속도로 분출되는 현상을 밝혔다. 한국천문연구원은 한국의 KVN과 일본의 VERA를 연결한 KaVA 관측시설을 이용해 관측했고, M87은하 중심의 블랙홀 제트의 속도가 기존에 알려진 것보다 훨씬 가까운 5광년 거리에서 이미 광속의 80% 속도로 가속돼 있는 것을 알게 됐다.



**사. 만기형별 주변 일산화규소 메이저선의 고정밀 영상관측 성공**

태양 질량의 1~8배 질량을 가진 별이 늙어서 사멸단계로 접어들면 별 바깥부분의 물질을 서서히 우주로 날려버린다. 한일 공동 우주전파관측망 KaVA가 이 부분의 고정밀 관측에 성공해 별의 마지막 진화 과정에 대한 구체적인 증거를 찾게 됐다. 한국천문연구원은 만기형별 'WX Psc' 주변에서 발생하는 일산화규소(SiO) 분자가 내는 메이저의 고정밀 영상관측에 성공했다. 두 일산화규소 메이저가 물리적으로 서로 밀접하게 연관되어 있다는 기존의 학설을 보다 명확히 검증한 연구결과다. 빛으로 볼 수 없는 만기형별 광구 가까이의 복잡한 물리적 현상과 일산화규소 메이저의 발생 원리를 연구하는 데 중요한 단서가 된다.



---

---

한국우주과학회보	발행인	한원용
제26권 1호 2017년 4월	편집인	최영준 · 고미희 / 이 유 · 김숙경
전화 042-865-3391 (FAX: 042-865-3392)	발행	사단법인 한국우주과학회
학회 홈페이지 <a href="http://ksss.or.kr">http://ksss.or.kr</a>	인쇄	연이프린텍(02-322-2700)

---

---

학회 소재지      대전시 유성구 대덕대로 776 한국천문연구원 내  
전화: 042-865-3391 / 팩스: 042-865-3392  
학회대표메일: [ksss@ksss.or.k](mailto:ksss@ksss.or.k)