


(뒷면)

(앞면)

<div data-bbox="183 1317 391 1429" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>주 의 (편집순서 8)</p> </div> <div data-bbox="175 1624 422 1653" style="margin-top: 200px;"> <p>(15 포인트 고딕체열)</p> </div> <div data-bbox="279 1680 327 1780" style="margin-top: 20px;"> <p>↑ 6cm ↓</p> </div>	<p>과 제 번 호</p> <p>C M E</p> <p>및</p> <p>고 속 태 양 풍 의</p> <p>근 지 구</p> <p>영 향</p> <p>과</p> <p>정</p> <p>규 명</p> <p>연 구</p> <p>한 국 천 문 연 구 원</p> <p>↑ 3cm ↓</p>	<div data-bbox="571 324 1257 358" style="margin-bottom: 10px;"> <p>보안과제(), 일반과제(O) 과제번호 2010120000</p> </div> <div data-bbox="917 358 965 481" style="text-align: center; margin-bottom: 20px;"> <p>↑ 5cm ↓</p> </div> <div data-bbox="582 548 1428 884" style="text-align: center;"> <h2 style="margin: 0;">CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 규명 연구</h2> <h3 style="margin: 0;">(Study on Effects of CME and High Speed Solar Wind on Near Earth Space)</h3> </div> <div data-bbox="861 1153 1141 1198" style="text-align: center; margin-top: 100px;"> <p>2010. 12. 31</p> </div> <div data-bbox="813 1668 1189 1758" style="text-align: center; margin-top: 100px;">  <p>한국천문연구원 Korea Astronomy & Space Science Institute</p> </div> <div data-bbox="981 1825 1029 1926" style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>↑ 5cm ↓</p> </div>
--	--	--

제 출 문

한국천문연구원장 귀하

이 보고서를 "2010년 CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 규명 연구"과제 보고서로 제출합니다.

2010. 12.

총괄연구책임자	: 조 경 석
참여연구원	: 곽 영 실
“	: 김 연 한
“	: 이 재 진
“	: 김 수 진
“	: 파니쿠머
“	: 카지피로즈
“	: 말 리 니
“	: 박 성 흥
“	: 조 일 현
“	: 박 형 민
“	: 황보정은

보고서 요약서

과제고유번호		해당 단계 연구 기간	2010.1.1~ 2010.12.31	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단계)
연구 사업 명	중 사업 명	기관고유사업 (선도연구)			
	세부사업명				
연구 과제 명	대 과제 명				
	세부과제명	CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 연구			
연구 책임자	조정석	해당단계 참여 연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부 : 천원 기업 : 천원 계 : 천원
		총연구기간 참여 연구원수	총 : 12 명 내부 : 4 명 외부 : 8 명	총연구비	정부 : 200,000천원 기업 : 천원 계 : 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국천문연구원 우주과학연구본부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 : 미국 상대국명 : 독일 상대국명 : 일본	상대국연구기관명 : 뉴저지대학교 상대국연구기관명 : GFZ 상대국연구기관명 : 나고야대학교			
위탁연구	연구기관명 :	연구책임자 :			
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	26
<p>CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 태양활동 (플레어, CME, 홍염, 충격파, 고속태양풍) 연구 <ul style="list-style-type: none"> - CME 발생 및 가속 원인 연구 - CME의 지구영향 인자 연구 - NST를 이용한 태양미세구조 연구 ○ 우주환경 변화에 의한 근지구 우주공간 물리량 변화 연구 <ul style="list-style-type: none"> - CME/고속태양풍에 의한 자기권 전/자기장 변화 연구 - 격변 우주환경변화에 의한 물리량 전과과정 이해 ○ 우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구 <ul style="list-style-type: none"> - CME/고속태양풍이 전리층/고층대기에 미치는 영향 연구 ○ 연구논문 발표 <ul style="list-style-type: none"> - SCI 논문 10편 - 국내 논문 3편 - 국내외 학술발표 22편 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	코로나질량방출, 근지구 우주공간, 자기권, 고속태양풍, 전리층			
	영 어	Coronal Mass Ejection, Near-Earth Space, Magnetosphere, High-speed Solar Wind, Ionosphere			

요약문

I. 제 목

CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 규명 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 태양활동 (플레어, CME, 홍염, 충격파, 고속태양풍) 연구
 - CME의 운동학적 특성 연구
 - 태양미세구조 연구
2. 우주환경 변화에 의한 근지구 우주공간 물리량 변화 연구
 - CME/고속태양풍에 의한 자기권 전/자기장 변화 연구
 - 격변 우주환경변화에 의한 물리량 전파과정 이해
3. 우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구
 - CME/고속태양풍이 전리층/고층대기에 미치는 영향 연구

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 태양활동(플레어, CME, 홍염, 충격파, 고속태양풍) 연구
 - CME 발생 및 가속 원인 연구
 - CME의 지구영향 인자 연구
 - NST를 이용한 태양미세구조 연구
2. 우주환경 변화에 의한 근지구 우주공간 물리량 변화 연구
 - 우주환경 변화에 의한 자기장, 고에너지 입자의 변화 연구
3. 우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구
 - 행성간 자기장에 의한 전리층/고층대기의 밀도 변화
 - 우주환경변화에 의한 전리층 불균일 발생 연구

IV. 연구개발결과

1. 태양활동(플레어, CME, 홍염, 충격파, 고속태양풍) 연구

- CME 운동학적 특성 및 태양의 미세구조 연구(SCI 논문: 5편, SCI 논문: 1편 게재승인)

2. 우주환경 변화에 의한 근지구 우주공간 물리량 변화 연구

- CME 고속태양풍이 자기권 전/자기장 변화 연구 (SCI 논문: 3편, SCI논문: 2편 게재승인, 2편 제출)

3. 우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구

- CME/고속태양풍이 지구 전리층/고층대기 변화 연구 (SCI 논문: 2편, 비SCI 논문: 3편, SCI 논문: 1편 게재승인, 4편 제출)

V. 연구개발결과의 활용계획

- 태양활동 및 우주환경 연구 발전에 기여
- 태양활동 및 우주환경에 대한 정보의 웹 서비스 제공
- 우주환경에 영향을 주는 격변 태양활동 이해를 통해 우주환경예보 모형 개발에 적극 활용
- 근지구 우주공간 물리량 변화에 대한 이해를 통해 우주환경예보 모형 개발과 보완에 활용

S U M M A R Y

I. Title

Study on Effects of CME and High Speed Solar Wind on Near Earth

II. Project Goals and Necessities

1. Study on solar activity

- To understand kinematic characteristics of CME
- To investigate the solar fine structure

2. Study on near-Earth space physical parameter variations associated with space environment's changes

- To understand magnetospheric electric/magnetic fields variations associated with CME/high speed solar wind stream
- To understand the propagation process of physical parameters by rapid space environmental changes

3. Study on ionospheric/upper atmospheric variations associated with near-Earth space environmental change

- To understand ionospheric/upper atmospheric variations associated with CME/high speed solar wind stream

III. Science and Technological Implementation and Its Scope

1. Study on solar activity

- CME initiation and acceleration process
- Geoeffective parameter of CME
- High resolution study of the sun using NST

2. Study on near-Earth space physical parameter changes

- Examination of magnetic field and energetic particles associated with changes in space environment

3. Study on ionospheric/upper atmospheric variations associated with changes in space environment
 - Effect of interplanetary magnetic field on ionospheric/ thermospheric density variations
 - Study on ionospheric irregularities using the ground-based instruments

IV. Results

1. Study on solar activity
 - CME kinematic characteristics and solar fine structure study (SCI: 5, SCI: 1 accepted)
2. Study on near-Earth space physical parameter variations associated with space environmental changes
 - Magnetospheric electric/magnetic fields variations associated with CME/high speed solar wind stream (SCI: 3, SCI: 2 accepted, 2 submitted)
3. Study on ionospheric/upper atmospheric variations associated with near-Earth space environmental changes
 - Ionospheric/upper atmospheric variations associated with CME/high speed solar wind stream (SCI: 2, Non-SCI: 3, SCI: 1 accepted, 4 submitted)

V. The Application of the Products and Results

- Contribution to the research field for solar activity and space environment
- Provide web service for the information of solar activity and space environment
- Practical application of the results to space weather prediction model development by understanding a causal relationship between solar

activities and near-earth space environment changes

- Practical application of the results to space weather prediction model development using physical parameters of space environment near the Earth

C O N T E N T S

Chapter 1	Introduction	1
Chapter 2	Study of Sun and Space Environment	2
Section 1	Study on Solar Activity	2
Section 2	Study on near-Earth space physical parameter changes	4
Section 3	Study on ionospheric/upper atmospheric variations	6
Chapter 3	Research and Development Results	10
Section 1	Main Results	10
Section 2	Collaborations and Results	18
Section 3	Scientific Activities	19
Chapter 4	Summary and Conclusion	24
Appendix(attached file): The Paper Published		

목 차

제 1 장 서 론	1
제 2 장 CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 규명 연구	2
제 1 절 태양활동 연구	2
제 2 절 우주환경 변화에 의한 근지구 우주공간 물리량 변화 연구	4
제 3 절 우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구	6
제 3 장 연구 결과 및 성과	10
제 1 절 주요 연구 결과	10
제 2 절 공동 연구 및 협력 실적	18
제 3 절 학술 활동 실적	19
제 4 장 요약 및 결론	24
부록(첨부파일): 발표논문 전문	

제 1 장 서 론

인류의 사회 경제적인 활동 무대가 우주공간으로 넓혀짐에 따라 위성상주 공간인 근지구 우주환경에 대한 인식 및 중요도가 확산되고 있다. 근지구 우주공간에 포함되는 지구자기권 및 전리층/고층대기는 공간적 규모와 구조 그리고 주요 물리량들의 종류가 다르나 각 영역에서의 주요 물리적 변화 현상은 태양으로부터 방출되어진 에너지와 물질들의 직·간접적인 영향 때문이다. 따라서 “태양-지구자기권-전리층/고층대기” 영역 전체는 연동된 시스템으로 이해하는 것이 필요 하다. 이를 위해 “태양물리”, “우주공간물리”, “전리층/고층대기물리” 분야의 통합적 연구 수행이 절실히 요구되어진다.

한국천문연구원 우주과학연구본부 태양우주환경연구그룹에서는 태양활동에 의한 “지구자기권-전리층/고층대기”변화 즉 근지구 우주환경 변화의 시공간적인 인과관계/상관관계를 명확하게 규명하기 위하여 “CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 규명 연구”를 선도연구 사업으로 진행하고 있다. 본 사업은 태양활동의 대표적 현상인 코로나 물질 방출(CME) 및 태양표면변화를 중점 연구하고, CME/고속태양풍이 지구 자기권 및 전리층/고층대기에 미치는 영향을 연구하여 각 영역에서 발생하는 기본적 물리현상 이해 및 각 영역에서 발생한 제 물리현상들의 연동된 변화의 종합적 이해를 목표로 하고 있다. 이를 통하여 “CME 및 고속태양풍의 근지구 우주환경 영향 과정 규명 연구” 분야의 국제적 선도그룹을 육성하고자 한다.

“태양-지구자기권-전리층/고층대기”의 시공간적인 인과관계 및 상관관계의 비교 분석을 위해 본 사업에서는 크게 세 영역의 연구를 수행하였다. 1) 우주환경 변화의 원인을 제공하는 “태양활동 연구”로서 플레어, CME, 홍염, 충격파, 고속태양풍 등을 연구 하였다. 이들 현상들은 우주환경 변화에 가장 크게 영향을 미치는 태양활동 인자이다. 고분해능 태양관측용 위성 및 지상 자료를 이용하여 태양의 미세구조 연구, CME의 운동학적 특성 연구, 플레어와 관련된 전파방출 및 자기나선도 변화 연구 등을 수행하였다. 2) 태양에서 불어오는 태양풍과 자기장 변화에 의한 “근지구 우주공간 물리량 변화 연구”로서 우주환경 변화에 의한 고에너지 입자 변화 연구, CME 속도와 태양풍 동압력 상관관계 규명 연구, CME 인자를 이용한 지자기폭풍의 경험 예보모델 연구를 수행하였다. 3) “지구자기권-전리층/고층대기의 연동 연구”로서 과학위성 1호 자료를 이용한 오로라의 분광학적 분석 연구, 위성 및 지상 전리층 자료 및 모델링을 이용한 격변우주환경변화에 의한 전리층/열권의 밀도 변화 연구를 수행하였다.

제 2 장 CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 규명 연구

제 1 절 태양활동 연구

1. Hinode/SOT를 통해 관측한 매우 작은 새끼흑점 연구 (ApJ, 723, 440)

태양의 활동은 태양표면에 검게 보이는 흑점의 변화와 깊은 연관성이 있다. 최근 일본 Hinode 위성을 통한 고분해 태양관측이 활발해 지면서 태양미세구조에 관한 연구가 주목을 받고 있다. 태양미세구조 중에 암부와 반암부로 구성된 흑점과는 달리 암부만으로 구성된 가장 자기장 지역이 있는데 이를 새끼흑점 (Pore)라고 부른다. 새끼흑점은 진화하면서 일반적인 흑점이 될 수 있지만 많은 경우에 소멸하여 사라지는 데 그 지속시간이 수일 정도이다. 새끼흑점의 연구는 수직성분의 태양자기장 성분만을 가진 간단한 구조이기 때문에 쌀알무늬라고 하는 태양광구의 대류 운동과 태양자기장이 어떻게 상호작용하는지를 이해하는데 유용한 관측대상이다. 본 연구에서는 일본 Hinode 위성에서 관측한 직경이 2" 이하의 아주 작은 Pore에 영상 및 분광관측을 수행하였다. Pore 주변의 물질흐름의 흐름을 추적하기 위해 SOT(Solar Optical Telescope)의 G-밴드 영상에 비선형 알펜속도측정법을 적용하였으면 SP(Solar Polarimeter) 관측자료로부터 태양자기장과 시선방향 속도장을 구하기 위해 COG(Center of gravity) 방법을 적용하였다. 그 결과 우리는 Pore의 어두운 정도가 일반적인 흑점과 같이 자기장 세기에 비례함을 알아냈고 Pore와 그 주변에 항상 하강류가 존재하며 하강류의 속도와 Pore의 어두운 정도는 역비례하며 Pore는 강한 하강류에 둘러싸여 있음을 밝혀냈다. 무엇보다도 Pore의 성장과 쇠퇴가 Pore 주변의 물질흐름과 수렴과 발산과 깊은 연관이 있을 보임으로서 Pore의 성장 쇠퇴의 단초를 제공하게 되었다. 이러한 결과는 지구대기에 영향을 받는 지상관측자료가 아닌 우주관측 자료에서 나온 결과이므로 학계에서는 더 신뢰할 수 있는 결과로 받아들여지고 있다.

2. Masuda 형태의 태양 플레어(solar flare)에서 발생하는 전파 방출에 대한 연구 (Solar Physics, 266, 323)

우리는 Masuda 형태의 플레어가 발생하는 지역에서의 경 X선(hard X-ray) 방출 특성을 잘 설명해주는 여러 개의 서로 다른 모델들이 동일한 가속 전자 분포에도 불구하고 독특한 전파 방출 특성에 의해서 서로 명확히 구분될지도 모른다는 생각을 하게 되었다. 그리고 그러한 생각을 확인하기 위해서 우리는 3가지의 유력한 Masuda 형태의 플레어 모델들, 즉 자기장 트래핑 모델(magnetic trapping model), 난류 트래핑 모델(turbulent trapping model), 충돌에 의한 트래핑 모델(collisional trapping model), 이들 각각에 대한 전파 방출 스펙트럼을 계산하였다. 그리고 비록 불충분하지만 현재 유용한 Masuda 타입의 플레어 이벤트들의 전파 방출 관측 자료들 (1992년 1월 13일의 전형적인 Masuda 타입의 플레어와 2007년 12월 31일에 Krucker

et al.에 의해서 분석된 Masuda-like 타입의 플레어 이벤트)과 3가지 모델들에서 방출될 것이라 추정되는 전파 스펙트럼을 각각 비교 및 평가해 보았다. 우리는 앞으로의 고분해능 X선 및 전파 영상 스펙트럼 관측 자료들과 함께 이번 연구가 Masuda 타입의 플레어 모델들 중에서 어떤 모델이 가장 그럴듯한 모델인지를 판단하는데 도움을 줄 수 있을 것이라 생각한다.

3. 태양 플레어가 발생한 태양활동영역(solar active region) NOAA 10930의 코로나 지역에서 자기나선도의 시간에 따른 변화 연구 (ApJ, 723, 229)

2006년 12월 13일에 태양활동영역 NOAA 10930에서 X3.4 등급의 태양 플레어가 발생했다. 우리는 그 플레어와 관련된 활동영역의 3차원 자기장 구조의 장기간 변화를 조사하기 위해서 코로나 지역의 자기나선도 변화를 12월 8일에서 14일까지의 시간동안 살펴보았다. 코로나 지역에서의 자기나선도는 Wiegmann (2004)이 개발한 가중된 최적화 방법 (weighted optimization method)에 의해서 결정된 3차원 비선형(nonlinear) force-free 자기장 데이터로부터 계산되었고, 그 양은 같은 활동영역의 광구표면을 통해서 유입된 자기나선도의 양과 비교되었다. 광구표면을 통한 자기나선도 유입량은 SOHO/MDI 자기장 데이터를 사용해서 Parlat et al. (2005)에 의해서 개발된 방법으로 계산되었다. 이번 연구의 주요한 발견은 다음과 같다. (1) 코로나 지역에서 자기나선도의 시간에 따른 변화 양상은 광구 표면을 통해서 유입된 자기나선도의 축적된 양의 변화 양상과 비슷하다는 것을 발견했다. (2) X3.4 등급의 플레어가 발생하기 바로 전에 활동영역의 코로나 지역에서 자기나선도의 양은 $-4.3 \times 10^{43} \text{Mx}^2$ 으로 추정되었다. (3) 플레어가 발생하기 약 1.5일 전부터 코로나 지역에서 왼쪽으로 꼬인 자기나선도가 $-3.2 \times 10^{43} \text{Mx}^2$ 만큼 급격히 증가했고, 또한 자기장 채널구조(magnetic channel structure)가 나타났던 자기극성역전지역(magnetic polarity inversion line) 주변에서 채널구조의 발달 시간대에 상당량의 오른쪽으로 꼬인 자기나선도 유입이 있었다는 사실이 밝혀졌다. 이를 바탕으로 우리는 X3.4 등급의 플레어가 코로나 지역에 존재하고 있었던 왼쪽으로 꼬인 자기나선도를 가진 시스템과 광구 밑에서부터 새롭게 유입된 오른쪽으로 꼬인 자기나선도를 가진 시스템 사이의 상호작용에 의해서 발생했을 것이라고 추정한다.

4. LASCO 코로나질량방출 속도의 준주기성 진동 (ApJ, 708, 450)

중심거리 2-30 태양반경 범위 안에 있는 코로나질량방출(CME)의 속도 윤곽에서 준주기성 진동을 연구하였다. 2005년 1-3월 사이에 광각분광코로나그래프(Large Angle and Spectrometric Coronagraph, LASCO)로 기록된 307개 CME의 높이-시간 자료를 고려하였다. 이 중 CME의 속도-거리 윤곽을 연구하기 위해서, LASCO 시야 안에서 적어도 10번 이상 높이-시간 측정이 이루어진 116개 사례만 사용하였다. 순간 CME 속도는 높이-시간 자료점의 쌍으로부터 유추하였고, 속도-거리 윤곽을 구하였다. 적어도 15개 이상의 속도-거리 윤곽에서 속도진폭이 속도오차보다 큰 준주기적 형태를 볼 수 있었다. 이들에 대하여 속도진폭과 진동주기를 구하였다. 준주기성 진동의 주기는 48-240분 범위 안에 있었으며 높이에 따라 증가하는 경향이 있었다. 이 진동들은 Krall 등이 선속다발의 측면에서 해석해 보고한 사례들과 비슷한 특

성을 보였다. CME 운동과 진동의 요인이 되는 힘의 성질에 대해 논하였다.

5. 태양 플레어의 전자온도에 따른 Fe 대 Fe-Ni 라인형태의 플럭스비의 소멸 증거 (J. Astrophys. Astr., 31, 155)

본 연구는 Phillips (2004)에 의해 이론적으로 예측된 태양플레어의 플라즈마 전자 온도에 따른 Fe 대 Fe-i 플럭스비의 소멸에 대한 관측적인 증거를 보고한다. 본 연구는 태양 X선 분광기 (SOXS) - 저에너지 측정기 (SLD)로 관측된 14개 플레어의 스펙트럼 분석 연구를 보여 준다. 탑재체 SLD는 최신의 솔리드스테이트 측정기 즉 Si PIN과 CZT 장치를 사용한다. Si PIN의 sub-keV 에너지 분해능은 훨씬 더 세밀한 각각 6.7과 8 keV에서의 Fe 라인과 Fe-i 라인 형상을 연구하게 해 준다. 고안된 4~25 keV 에너지 범위에서 한 시점에서의 전체 스펙트럼을 best-fit 하기 위해서 우리는 Gaussian-line, multi-thermal power-law 및 broken power-law 함수를 고려했다. Fe 대 Fe-i 플럭스비는 역3차 다항식의 점근식으로 플레어 전자 온도에 따라 소멸한다는 것을 확인하였다. 상대적인 플럭스비는 온도 20MK에서는 ~30, 20MK에서는 ~15 그리고 더 높은 온도에서는 점점 감소해서 ~50MK에서는 ~8에 도달한다. 하지만 주어진 플레어 플라즈마 온도에서의 플럭스비와 온도에 따른 감소는 이론적으로 예측된 것 보다 훨씬 더 낮다. 우리는 그 차이는 Phillips (2004)의 이론적인 모델에서 Fe 및 Fe-i 라인의 더 높은 밀도를 고려한데서 기인한다고 제안한다. 우리는 코로나의 수정된 Fe 및 Fe-i 라인 밀도를 제안한다. 플럭스비의 소멸은 온도에 따른 이들 라인 형태의 등가폭과 최대에너지의 변화를 설명해 준다.

제 2 절 우주환경 변화에 의한 근지구 우주공간 물리량 변화 연구

1.. 태양코로나물질방출의 속도와 태양풍 동압력과 상관성 연구 (JGR, 115, A10111, doi:1029/2009JA015139)

지구근처의 우주환경의 변화를 일으키는 주요원인으로 코로나물질방출(CME)이 알려져 왔다. 지구방향으로 CME가 진행하여 와 지구에 도착하게 되면 지구자기장을 순간적으로 압축시키게 된다. 이때 지구자기권의 압축정도를 지상에서 설치된 자력계의 측정량, 즉 지구자기장의 평균수평성분 증가(Symmetric H)로 정량화 할 수 있다. 지구근처의 지구자기권의 압축은 태양풍의 속도 증가와 깊은 연관성을 갖는다. 지구자기권이 압축되게 되면 정지궤도 위성의 경우 태양풍 공간에 노출되게 되어 그 궤도의 이상이나 고에너지입자에 피폭될 가능성이 높게되어 정지궤도까지 지구자기권의 압축이 발생하는지 예보하는 것은 우주환경예보에 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 본 연구는 태양풍 속도 및 자기장의 급격한 증가 원인이 되는 코로나물질방출(CME)의 물리적 특성을 조사하고 지구자기권 압축과의 상관성을 연구하였다. 이를 위해 CME와 유형 II 전파폭발이 동시에 일어나서 지구자기권의 급격한 증가가 발생한 26개의 이벤트를 선정하여 태양근처의 CME의 세 가지 주요 물리량(운동에너지, 지구방향인자, 속도)과 지구근처의 태양풍압력과 자기장 증가량간의 상관성을 조사하였다. 그 결과 우리는 CME의 태양근처에서의 속도가 운동량이나 지구방향인자 보다는 지구자기장 증가와 깊은 상관성이 있음을 알아냈다. 그리고 태양풍 압력과 지구자기장의 평균 수평성분 증가량 (Symmetric H 증가량)과의 경험관계식을 이용하여 태양근처 CME 속도와 지구근처 태양풍압력과의 경험식을 제시하였다. 이 경험식은 정지궤도위성의 태양풍 공간 노출을 2-3일 전에 태양근처 CME의 속도 관측을 통해 예보할 수 있다는 점에서 매우 유용하다. 본 연구에서 초속 1600km 이상의 속도를 가진 CME의 경우 정지궤도위성의 지구자기권 밖 태양풍 공간 노출을 일으킬 수 있음을 지적하였다.

2. 태양에서 관측된 CME 인자를 이용한 지자기폭풍의 경험 예보모델 (JGR, 115, A12108, doi:10.1029/2010JA15322)

속도 (V), 지구방향인자 (D), 경도 (L), 그리고 자기장방향 (M)과 같은 코로나물질방출의 관측인자와 관련된 지자기폭풍의 일반적인 형태를 논의한다. 이를 위하여 M과 X급의 플레어와 관련이 있으며 태양면에서 발생위치를 정확히 알 수 있는 1997년부터 2003년까지 발생한 66개의 헤일로 CME를 선정하였다. 각각의 CME 인자와 지자기폭풍과의 관계를 조사한 결과, 다음과 같은 사실들을 알 수 있다: (1) 지구방향인자 D가 지자기폭풍 세기의 척도인 Dst 지수와 가장 좋은 관계를 보인다; (2) 지구에 영향을 주는 CME 중 다수가 태양의 서경 15도 부근에서 발생하며 이로부터 멀어질수록 약한 지자기폭풍을 일으킨다; (3) CME 인자와 Dst 지수는 자기장의 방향에 따라 남쪽방향과 북쪽방향으로 나누어 볼 때 더 좋은 관계를 보인다. 이와

같은 관측결과를 이용하여 CME를 두 그룹으로 나누어 Dst 지수가 L, V, 그리고 D의 항으로 표현되는 두 개의 경험식을 제안한다. 이것은 CME 관측만을 이용하여 지자기폭풍의 발생 뿐만 아니라 지자기폭풍의 세기까지 예측하는 새로운 시도이다.

3. 우주선의 지상 측정치 증가(Ground-level enhancement, GLE)와 연관된 태양 플레어(solar flare), 코로나 질량 방출(coronal mass ejection), 그리고 태양 방출 고에너지 입자(solar energetic particles)의 특성 연구 (JGR, 115, 9105, DOI: 10.1029/2009JA015023)

GLE는 중성자 모니터(neutron monitor)에 의해서 측정된 우주선 세기(cosmic ray intensity)가 짧은 시간 동안에 갑작스럽게 그리고 급격하게 증가하는 현상이다. 이러한 현상은 일반적으로 강력한 태양 분출 현상(solar eruption)이 발생할 때 일어난다고 알려져 있다. 이번 연구에서는 1979년 1월부터 2009년 7월까지 Oulu 중성자 모니터에 의해서 측정된 우주선 세기 자료가 사용되었는데 우리는 이기간 동안에 발생한 32개의 GLE 이벤트들에 대해서 우주선 세기 변화율을 결정하였다. 또한 이들 GLE 이벤트들과 관련된 태양 플레어, 코로나 질량 방출, 그리고 태양 방출 고에너지 입자의 이벤트들을 조사하였다. 그 결과 모든 32개의 GLE 이벤트들이 위의 태양 분출 현상들과 관련이 있다는 것이 밝혀졌다. 또한 약 82%의 GLE 이벤트들이 X 등급의 플레어 이벤트들과 연관되어 있었고, 이들 플레어 이벤트들의 대부분이 태양 전면의 남서쪽 반구 (southwest hemisphere)에 위치한 활동영역 (active region)에서 발생하였음을 확인할 수 있었다. GLE 이벤트들과 관련된 코로나 질량 방출 이벤트들의 평균 속도는 1726.17km/s였고, 이는 GLE 이벤트들과 관련이 없는 코로나 질량 방출 이벤트들의 평균 속도인 423.39km/s보다 훨씬 빠르다는 것을 알 수 있었다. 하지만 비록 GLE 이벤트가 빠른 속도의 코로나 질량 방출 이벤트와 종종 관련이 있을지라도 빠른 속도의 코로나 질량 방출이 반드시 GLE 이벤트를 발생시키지는 않았다. 참고로 뚜렷한 광학적 특징을 보여주는 태양 플레어 이벤트들이 종종 GLE 이벤트들과 연관되어 있었다. 또한 태양 방출 고에너지 입자 이벤트들의 플럭스 변화가 GLE 이벤트들의 우주선 세기 변화와 좋은 상관관계를 나타낸다는 것으로부터 우리는 GLE 이벤트의 발생이 태양 방출 고에너지 입자 이벤트와도 관련이 있을 것이라고 추정한다.

제 3 절 우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구

1. 극지역 FUV 오로라의 분광학적인 관측과 'inverted-V' 전자 침투의 상호 비교 (JGR, 115, A09223, doi:10.1029/2009JA015071)

극지방 오로라는 지구로 침투하는 대전입자가 대기과 충돌하면서 발생한다. 자기력선을 따라 지구로 침투하는 전자들은 'Inverted-V'라고 일컬어지는 구조를 갖는데, 이러한 구조는 수 km의 스케일을 갖고 있기 때문에 실제 오로라 밝기와 지구로 침투하는 전자 플럭스 사이에 어떠한 관계가 있는지 잘 알려져 있지 않다. 본 논문에서는 국내개발 위성인 '과학위성1호 (STSAT-1)'를 이용하여 지구로 침투하는 전자와 자외선 오로라를 최초로 동시 관측하는데 성공한 자료를 분석하고 있다. 과학위성1호에 탑재된 원자외선영상분광기(FIMS)는 ~2km x 3km 분해능으로 오로라 아크에 포함된 미세 오로라 구조를 관측하는데 성공했다. 또한 같은 위성에 탑재된 저에너지 전자 검출기(ESA)를 이용하여 지구 자기력선을 따라 지구로 침투하는 전자의 에너지 스펙트럼을 동시에 관측하였다. 관측 결과, LBH long band의 오로라 emission이 LBH short band에 비해 전자의 피크에너지에 더 민감하게 변한다는 사실을 알 수 있었다. 또한 'Inverted-V'구조를 갖는 전자의 피크에너지와 LBH long band의 irradiance를 10 km x 10 km 스케일에서 비교해 본 결과, 전자의 에너지가 2keV 이상인 영역에서 좋은 상관관계를 보임을 알 수 있었다. 그러나 동일한 비교를 70 km x 140 km의 넓은 영역에 적용하였을 때, LBH의 irradiance는 좁은 영역에 비해 전자의 피크에너지에 덜 의존한다는 사실을 발견하였다. 지금까지의 오로라 관측은 대부분 넓은 영역에서 이루어져 왔는데, 본 연구의 결과는 넓은 지역을 관측하는 것과 좁은 지역을 세밀하게 관측하는 것이 결과에 지대한 영향을 미칠 수 있으며, 오로라 연구에 있어 좋은 분해능으로 관측하는 것에 대한 필요성을 제기하였다.

2. CHAMP, KOMPSAT-1, DMSP F15 위성을 이용하여 관측한 중위도 밤지역 F-영역 전리층의 플라즈마 밀도 굴곡 (JASTP, 72, 183)

본 논문은 중위도 F-영역 플라즈마 밀도의 굴곡현상에 대해 연구하였다. 태양활동 극대기 동안, 중위도 지역 플라즈마 밀도 굴곡현상을 Champ, KOMPSAT-1, DMSP F15 위성을 이용하여 관측하였는데, 발생율은 DMSP F15의 고도보다는 KOMPSAT-1의 고도에서 더 높았다. 플라즈마 밀도 굴곡 현상은 춘추분 지역에서 적게 발생하고, 하지 때는 Asian/Oceanian 지역에서 동지 근처에는 Eastern Pacific/America 지역에서 많이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 Champ 위성의 관측 결과는 플라즈마 밀도 굴곡현상이 태양 활동과 반상관성을 보이는 것으로 나타났는데, 이것은 MSTID (Medium-scale traveling ionospheric disturbance)의 경향성과 잘 일치한다. 플라즈마 밀도 굴곡 현상은 주로 Field-aligned current (FAC)와 동반하여 발생하는 것으로 관측되었는데, 이따금씩 FAC와 별개로 발생하는 굴곡현상은 전리층의 전도율 변화에 의해 발생하는 것으로 생각된다. MSTID는 주로 350 km이하의 낮은 고도에서 발생하기 때문에 전파 등 간접적인 방법을 이용하여 관측되고 있을 뿐, 인공위성을 이용한 직접관측은 어려운 것으로 생각되어 왔다. 그러나 본 연구에서는 전리층 상층부에서 나타나는 플라즈마 밀도 굴

곡 현상이 MSTID 현상과 깊은 관련성이 있음을 보여주고 있다. 본 연구를 바탕으로 앞으로 인공위성과 지상 장비를 이용한 보다 자세한 MSTID연구가 진행될 것으로 기대된다.

3. 고위도 하부 열권 역학에 대한 Heating과 Forcing의 IMF 조건에 따른 기여(JASS, 27(3), 205)

고위도 하부 열권 역학을 유지하는 물리적인 과정을 보다 더 잘 이해하기 위하여, IMF 조건과 고도에 따른 고위도 하부 열권 바람에 대한 heating과 forcing의 상대적인 기여도를 조사하였다. 본 연구를 위하여 미대기과학연구소(NCAR)의 TIEGCM을 이용하여 여러 가지 IMF 조건에 대하여 남반구 여름기간동안의 고위도 하부 열권 바람에 대한 potential vorticity의 term analysis를 수행하였다. difference (=IMF-IMF0) potential vorticity forcing 항과 heating 항은 IMF 조건에 따라 상당히 다름이 확인되었다. difference forcing은 강한 IMF Bz 조건보다 강한 IMF By 조건에서 더 뚜렷하다. IMF By(+) 와 By(-) 두 조건에서는, 극관지역에서의 difference forcing이 오로라 지역에서보다 약 2배 정도 더 강하다. difference heating은 IMF Bz(-)인 경우에 가장 강하며, 오로라지역에서의 difference heating이 극관지역보다 약 1.5배 더 강하다. difference forcing과 heating의 강도가 저고도로 갈수록 급격하게 감소한다. 고위도 하부 열권 역학에 대한 forcing의 기여도가 heating보다 더 강함이 확인되었다. 특히, 역학에 대한 forcing의 기여도는 오로라 지역에서보다 극관지역에서 더 높으며, 저고도보다는 고고도에서 더 높다. IMF Bz(-)인 경우, forcing의 기여도는 가장 낮고 heating의 기여도는 가장 높은 것으로 확인 되었다.

4. 고위도 열권 중성대기밀도 변화의 근원 (JASS, 27(4), 329)

본 연구에서는 행성간자기장(IMF) 조건에 따른 고위도 열권 중성대기밀도 변화의 근원을 조사하였다. 본 연구목적을 위하여, 남반구 여름철 경우를 여러 IMF 조건에 대하여 NCAR-TIEGCM 시뮬레이션을 실시하였다. NCAR-TIEGCM은 고위도 열권에 대한 forcing을 포함한 새로운 경험모델과 결합되었다. 고위도 열권 중성대기밀도 차이(=IMF-IMF0)는 IMF 조건에 따라 상당히 다름을 보였다: IMF By(-)인 경우에는, 저녁영역과 자정 부근에서 강한 밀도차이 증가를 보였다. By(+)인 경우에는 새벽영역을 포함한 이른 아침시간대의 위도 70도 이상 지역에서 밀도차이의 감소를 보였다. Bz(-)인 경우에는 커스프 지역과 자정부근에서는 강한 밀도 증가를 보이는 반면 새벽영역에서는 밀도 감소를 보인다. 저녁영역에서의 밀도차이가 새벽영역보다 상대적으로 더 강하다. Bz(+)인 경우에는 밀도차이가 대체로 감소함을 보인다. IMF Bz(-)인 경우의 밀도차이가 Bz(+)인 경우보다 훨씬 더 강하다. 고위도에서의 밀도차이의 IMF에 대한 의존도는, 새벽 및 저녁 영역에서는, 플라즈마 대류와 관련 있고 IMF 방향에 따라 변하는 열권 바람의 영향으로 설명될 수 있다. 오로라 지역 및 극관지역에서는, 이온권 전류 및 하강오로라입자로 인한 열권의 heating이 IMF 조건에 따르는 밀도차이의 근원으로 설명될 수 있다.

5. 태양의 활동 정도에 따른 중위도 지방 F2층의 반년 주기 변동성 (JASS, 27(4), 319)

일본 Kokubunji의 이오노존테에서 1997~2008년 동안 관측한 foF2를 이용하여, 태양의 활동 정도에 따른 중위도 지방 F2층의 전자 밀도 변화를 살펴보았다. 그 결과 태양 활동이 활발했던 기간(2000~2002년)이 미약했던 기간(2006~2008년)에 비해 foF2의 반년 주기 변동성이 잘 나타났다. 이는 태양의 활동 정도에 따른 지자기 활동의 변화가 중위도 지방 F2층의 전자 밀도의 반년 주기 변동성에 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 그러므로 태양의 활동 정도에 따라서, foF2와 중위도 지방의 지자기 활동 정도를 나타내는 Ap 지수 그리고 지자기 활동에 영향을 줄 수 있는 IMF Bs (남쪽방향의 IMF Bz)와 태양풍의 속도, 수밀도 및 동압력의 Lomb-Scargle 주기 분석을 통해, 지자기 활동이 중위도 지방 F2층의 전자 밀도 변화에 기여하는 바를 알아보았다. 그 결과 우리는 태양 활동이 활발했던 기간이 미약했던 기간에 비해 일평균 foF2, Ap 지수 및 IMF Bs에서 반년 주기 변동성이 뚜렷이 나타남을 알 수 있었다. 이는 열권의 동역학적 효과 외에도, Russell-McPherron 효과가 반영된 지자기 활동의 반년 주기 변동성이 특히 태양 활동이 활발했던 기간의 중위도 지방 F2층의 전자 밀도가 반년 주기로 변하는데 크게 기여하고 있음을 시사한다.

제 3 장 연구 결과 및 성과

제 1 절 주요 연구 결과

1. 태양활동 연구

1. Hinode/SOT를 통해 관측한 매우 작은 새끼흑점 연구

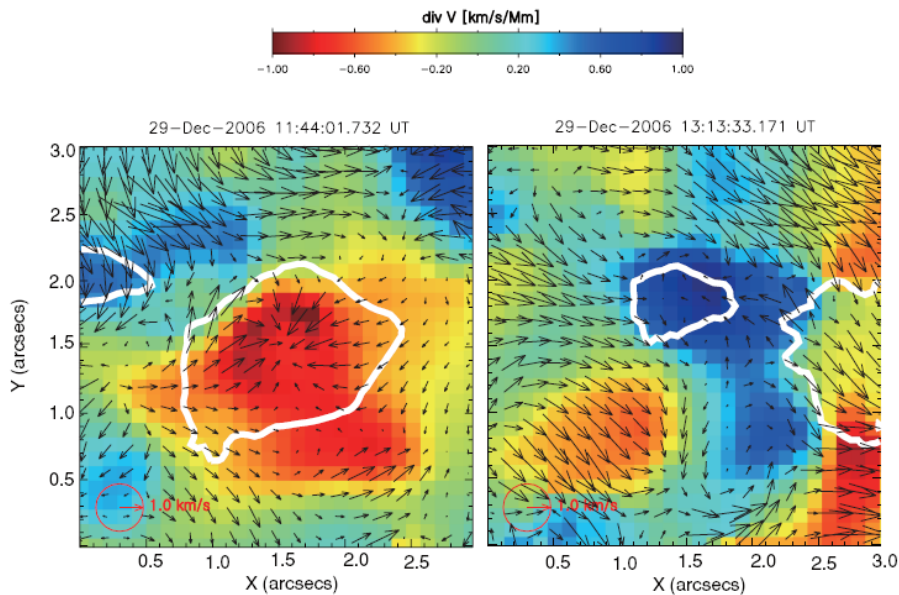


그림 1. 2006년 12월 29일 관측한 새끼 흑점과 그 주변의 수평 및 수직운동. 성장하는 새끼흑점 (좌)은 주변물질이 수렴하여 빠른 속도로 광구 아래로 하강하는 운동을 볼수 있고 쇠퇴하는 새끼 흑점(우)은 주변물질이 발산하며 광구 위로 상승하는 운동을 보임 (Cho et al., ApJ).

- 새끼흑점은 소멸하여 사라지는 데 그 지속시간이 수일 정도임
- 새끼흑점의 연구는 태양광구의 대류 운동과 태양자기장이 어떻게 상호작용하는지를 이해하는데 유용한 관측대상임
- 본 연구는 일본 Hinode 위성에서 관측한 직경이 2" 이하의 아주 작은 Pore에 영상 및 분광관측을 수행
- Pore의 어두운 정도가 일반적인 흑점과 같이 자기장 세기에 비례함
- Pore와 그 주변에 항상 하강류가 존재하며 하강류의 속도와 Pore의 어두운 정도는 역비례
- Pore는 강한 하강류에 둘러싸여 있음
- Pore의 성장과 쇠퇴가 Pore 주변의 물질흐름과 수렴과 발산과 깊은 연관이 있음
- 위 연구결과는 지구대기에 영향을 받지 않는 우주관측 자료에서 나온 결과이므로 학계에서는 더 신뢰할 수 있는 결과로 받아들여짐

2. Masuda 형태의 태양 플레어에서 발생하는 전파 방출에 대한 연구

- 현재까지 Masuda 형태의 플레어의 경 X선 방출을 잘 설명해주는 3가지의 모델들 (자기장 트래핑 모델, 난류 트래핑 모델, 충돌에 의한 트래핑 모델)이 있음
- 이러한 모델들의 전파 방출 스펙트럼을 계산하였고, 그 결과 이들이 서로 다른 전파 방출 특성을 가지고 있다는 것을 발견함
- 따라서 서로 다른 모델들에서 계산된 스펙트럼과 실제 Masuda 타입의 플레어 이벤트들의 전파 방출 관측 자료들을 서로 비교해 봄
- 그 결과 충돌에 의한 트래핑 모델과 순수(entirely) 난류 트래핑 모델은 전파 관측 자료들을 설명하기에 부족하다고 판단됨
- 하지만 보다 명확한 결론을 내리기 위해서는 앞으로 Masuda 타입의 플레어에 대한 고분해능 경 X선 및 전파 영상 스펙트럼 데이터가 필요하다고 봄

3. 태양 플레어가 발생한 태양활동영역 NOAA 10930의 코로나 지역에서 자기나선도의 시간에 따른 변화 연구

- 2006년 12월 13일 태양활동영역 NOAA 10930에서 강력한 X3.4급 플레어가 발생함
- X3.4 플레어 발생과 관련된 물리적 메커니즘을 이해하고자 NOAA 10930의 코로나 공간에 존재하는 자기나선도의 시간에 따른 변화를 살펴봄
- 그 결과 X3.4급 플레어가 발생하기 약 이틀 전부터 전반적으로 왼쪽 방향의 자기나선도가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 이는 박성홍 등(2008;2010)이 이전에 발표한 플레어 발생 전에 상당한 양의 자기나선도의 유입이 있었다는 결과와 잘 일치함
- 또한 추가적으로 발견된 사항은 플레어 발생 전에 왼쪽 방향의 자기나선도 유입과 함께 플레어가 발생한 자기극성역전지역 근처에서 상당한 양의 반대 방향 (즉, 오른쪽 방향)의 자기나선도 유입이 있었다는 것
- 이는 자기재결합이 서로 다른 방향의 자기나선도를 가진 시스템에서 더 빠르게 일어난다는 Kusano 등(2003)의 수치적인 MHD 시뮬레이션 결과를 잘 설명해줄 수 있는 관측 사례로 생각됨

4. LASCO 코로나질량방출 속도의 준주기성 진동

- 중심거리 2-30 태양반경 범위 안에 있는 코로나질량방출(CME)의 속도 윤곽에서 준주기성 진동을 연구
- 2005년 1-3월 사이에 광각분광코로나그래프(Large Angle and Spectrometric

- Coronagraph, LASCO)로 기록된 307개 CME의 높이-시간 자료를 고려
- 이 중 CME의 속도-거리 윤곽을 연구하기 위해서, LASCO 시야 안에서 적어도 10번 이상 높이-시간 측정이 이루어진 116개 사례만 사용
 - 순간 CME 속도는 높이-시간 자료점의 쌍으로부터 유추하였고, 속도-거리 윤곽을 구함
 - 적어도 15개 이상의 속도-거리 윤곽에서 속도진폭이 속도오차보다 큰 준주기적 형태를 보임
 - 이들에 대하여 속도진폭과 진동주기를 구함
 - 준주기성 진동의 주기는 48-240분 범위 안에 있었으며 높이에 따라 증가하는 경향이 있었음
 - 이 진동들은 Krall 등이 선속다발의 측면에서 해석해 보고한 사례들과 비슷한 특성을 보임
 - CME 운동과 진동의 요인이 되는 힘의 성질에 대해 논함

5. 태양 플레어의 전자온도에 따른 Fe 대 Fe-Ni 라인형태의 플럭스비의 소멸 증거

- Phillips (2004)에 의해 이론적으로 예측된 태양플레어의 플라즈마 전자 온도에 따른 Fe 대 Fe-Ni 플럭스비의 소멸에 대한 관측적 증거를 보고.
- 탑재체 SLD는 최신의 솔리드스테이트 측정기 즉 Si PIN과 CZT 장치를 사용하며. Si PIN의 sub-keV 에너지 분해능은 훨씬 더 세밀한 각각 6.7과 8 keV에서의 Fe 라인과 Fe-Ni 라인 형상을 연구하게 해줌.
- Fe 대 Fe-Ni 플럭스비는 역3차 다항식의 점근식으로 플레어 전자 온도에 따라 소멸한다는 것을 확인.
- 상대적인 플럭스비는 온도 20MK에서는 ~30, 20MK에서는 ~15 그리고 더 높은 온도에서는 점점 감소해서 ~50MK에서는 ~8에 도달하지만, 주어진 플레어 플라즈마 온도에서의 플럭스비와 온도에 따른 감소는 이론적으로 예측된 것 보다 훨씬 더 낮음.
- 그 차이는 Phillips (2004)의 이론적인 모델에서 Fe 및 Fe-i 라인의 더 높은 밀도를 고려한데서 기인한다고 제안. 코로나의 수정된 Fe 및 Fe-i 라인 밀도를 제안. 플럭스비의 소멸은 온도에 따른 이들 라인 형태의 등가폭과 최대에너지의 변화를 설명해 줌.

2. 우주환경 변화에 의한 근지구 우주공간 물리량 변화 연구

1. 태양코로나물질방출의 속도와 태양풍 동압력과의 상관성 연구

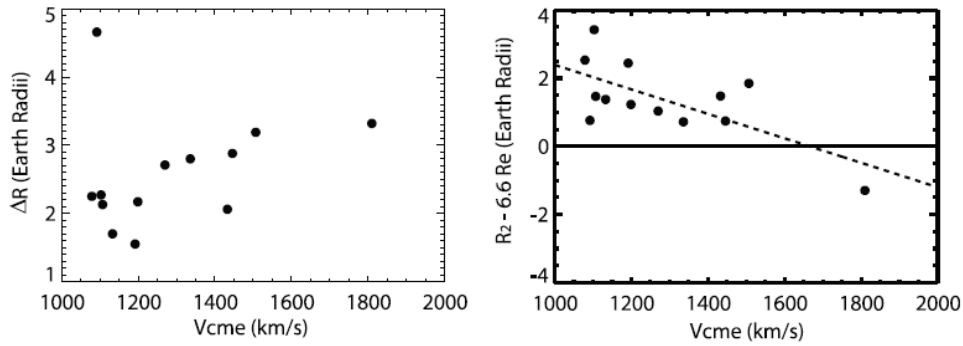


그림 2. 태양-지구 선상에 있는 지구자기권계면의 압축정도와 코로나물질방출의 초기속도와의 관계 (좌). 자기권계면이 압축되어 정지궤도위성의 궤도가 태양풍에 노출된 거리와 코로나물질방출의 초기속도와의 관계 (우). 코로나물질방출의 초기속도가 1600km/s 이상이면 정지궤도위성의 궤도는 태양풍에 노출됨을 보임 (Cho et al., JGR).

- 지구근처의 지구자기권 압축은 태양풍 속도 증가와 깊은 연관성을 갖음
- 지구자기권의 압축이 발생하는지 예보하는 것은 우주환경예보에 매우 중요한 일임
- 본 연구는 태양풍 속도 및 자기장의 급격한 증가 원인이 되는 코로나물질방출(CME)의 물리적 특성을 조사하고 지구자기권 압축과의 상관성을 연구함
- 태양근처의 CME의 세가지 주요물리량(운동에너지, 지구방향인자, 속도)과 지구근처의 태양풍압력과 자기장 증가량간의 상관성을 조사함
- CME의 태양근처에서의 속도가 운동량이나 지구방향인자 보다는 지구자기장 증가와 깊은 상관성이 있음
- 태양근처 CME 속도와 지구근처 태양풍압력과의 경험식을 제시함
- 초속 1600km 이상의 속도를 가진 CME의 경우 정지궤도위성의 지구자기권 밖 태양풍 공간 노출을 일으킬 수 있음을 지적함

2. 태양에서 관측된 CME 인자를 이용한 지자기폭풍의 경험 예보모델

- 속도 (V), 지구방향인자 (D), 경도 (L), 그리고 자기장방향 (M)과 같은 코로나물질방출의 관측인자와 관련된 지자기폭풍의 일반적인 형태를 논의.
- M과 X급의 플레어와 관련이 있으며 태양면에서 발생위치를 정확히 알 수 있는 1997년부터 2003년까지 발생한 66개의 헤일로 CME를 선정.
- 지구방향인자 D가 지자기폭풍 세기의 척도인 Dst 지수와 가장 좋은 관계를 보인다.
- 지구에 영향을 주는 CME 중 다수가 태양의 서경 15도 부근에서 발생하며 이로부터 멀어질수록 약한 지자기폭풍을 일으킨다.
- CME 인자와 Dst 지수는 자기장의 방향에 따라 남쪽방향과 북쪽방향으로 나누어 볼 때 더 좋은 관계를 보인다.
- CME를 두 그룹으로 나누어 Dst 지수가 L, V, 그리고 D의 향으로 표현되는 두 개의 경험식을 제안.

- CME 관측만을 이용하여 지자기폭풍의 발생 뿐 만 아니라 지자기폭풍의 세기까지 예측하는 새로운 시도.

3. 우주선의 지상 측정치 증가(Ground-level enhancement, GLE)와 연관된 태양 플레어, CME, 그리고 태양 방출 고에너지 입자의 특성 연구

- 1979년 1월부터 2009년 7월 사이에 발생한 32개의 GLE 이벤트들의 우주선 세기 변화율 측정
- 32개의 GLE 이벤트들과 연관된 태양 플레어, 코로나 질량 방출, 태양 방출 고에너지 입자 이벤트들을 분석
- 약 82%의 GLE 이벤트들이 X 등급의 플레어들과 연관되어 있음을 확인함
- GLE 이벤트들과 관련된 코로나 질량 방출 이벤트들의 평균 속도가 1726.17km/s로서 GLE 이벤트들과 관련되지 않은 코로나 질량 방출 이벤트들의 평균 속도보다 4배 정도 빠르다는 것을 확인함
- 태양 방출 고에너지 입자 이벤트들의 큰 플럭스 증가가 GLE 이벤트 발생과 밀접한 연관성이 있다는 것을 확인함

3. 우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구

1. 극지역 FUV 오로라의 분광학적인 관측과 'inverted-V' 전자침투의 상호 비교

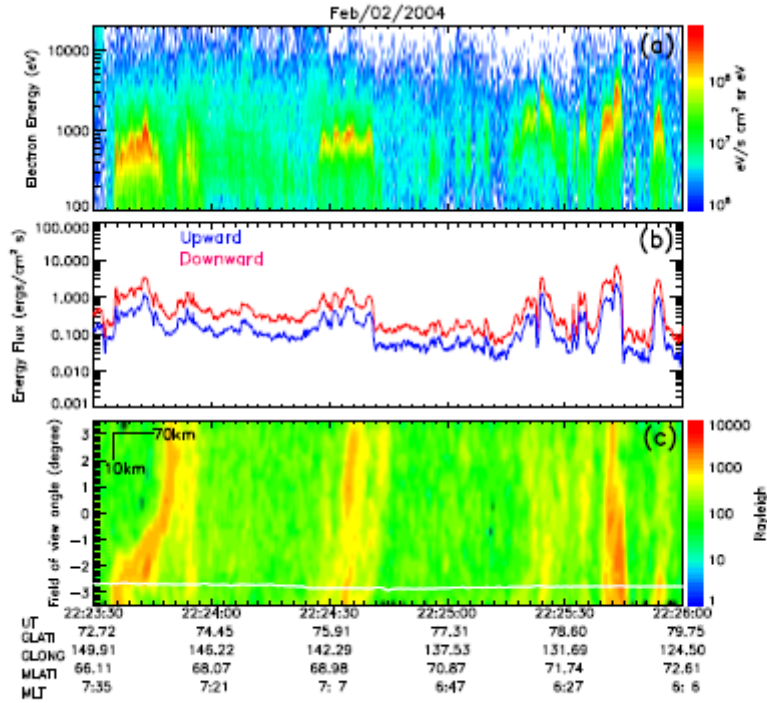


그림 3. 2004년 2월 2일에 과학기술위성 1호 (STSAT-1)에 탑재된 저에너지검출장치(ESA)를 이용하여 관측한 전자의 spectral image(a), 지구로 침투하는 전자의 에너지 플럭스(b), 원자외선영상분광기(FMIS)를 이용하여 관측한 오로라 영상(c) (Lee et al., JGR).

- 과학기술위성 1호에 탑재된 원자외선영상분광기(FIMS)를 이용하여 관측한 FUV 오로라 영상 분석
- 과학기술위성 1호에 탑재된 전자 검출기를 이용하여 FUV 오로라를 발생시켰을 것으로 생각되는 침투 전자 관측 결과 제시
- 침투 전자의 에너지 플럭스와 FUV 오로라의 밝기 비교
- 'Inverted-V'구조를 갖는 전자의 피크에너지와 LBH long band의 irradiance를 10 km x 10 km 스케일에서 비교해 본 결과, 전자의 에너지가 2keV 이상인 영역에서 좋은 상관관계를 보임
- 지금까지의 오로라 관측은 넓은 영역에서 관측한 오로라 밝기와 좁은 지역에서 관측한 전자 플럭스 사이의 관계에 대해 다루어 왔는데, 오로라를 보다 향상된 분해능을 갖는 장비로 관측한 결과, 오로라 밝기와 침투 전자의 관계식이 다르게 나타난다는 것이 밝혀짐.

2. CHAMP, KOMPSAT-1, DMSP F15 위성을 이용하여 관측한 중위도 밤지역 F-영역 전리층의 플라즈마 밀도 굴곡

- 세 개의 위성, Champ, KOMPSAT-1, DMSP F15를 이용한 전리층 상층부의 플라즈마 밀도 굴곡 현상 관측
- 플라즈마 밀도 굴곡 현상의 계절적, 지역시간 별, 경도별 분포를 분석하고, 지상 장비를 이용하여 관측한 MSTID 자료와 인공위성을 이용하여 관측한 플라즈마 밀도 굴곡 현상을 비교 분석함.
- 플라즈마 밀도 굴곡 현상의 발생율은 DMSP F15의 고도보다는 KOMPSAT-1의 고도에서 더 높게 나타남.
- 플라즈마 밀도 굴곡 현상은 춘추분 지역에서 적게 발생하고, 하지 때는 Asian/Oceanian 지역에서 동지 근처에는 Eastern Pacific/America 지역에서 많이 발생하는 것으로 나타남.
- Champ 위성의 관측 결과는 플라즈마 밀도 굴곡현상이 태양 활동과 반상관성을 보이는 것으로 나타났는데, 이것은 MSTID의 경향성과 잘 일치하는 결과임.

3. 고위도 하부 열권 역학에 대한 Heating과 Forcing의 IMF 조건에 따른 기여

- NCAR-TIEGCM을 이용하여 행성간 자기장(IMF)의 조건에 따른 고위도 하부 열권 역학에 대한 forcing과 heating의 기여도를 연구
- 고위도 하부 열권 역학에 대해 forcing이 heating보다 더 큰 기여를 하는 것으로 확인, 특히 이러한 forcing의 기여는 오로라지역 보다 극관지역에서 더 강한 것으로 확인
- IMF Bz가 남쪽방향을 향하는 경우에 forcing의 기여는 가장 낮고 heating의 기여가 가장 높은 것으로 확인

4. 고위도 열권 중성대기밀도 변화의 근원

- 행성간자기장(IMF) 조건에 따른 고위도 열권 중성대기밀도 변화의 근원을 조사
- 고위도 열권 중성대기밀도 차이(=IMF-IMF0)는 IMF 조건에 따라 상당히 다름을 보임
- IMF By(-)인 경우, 저녁영역과 자정 부근에서 강한 밀도차이 증가를 보이고, By(+)인 경우에는 새벽영역을 포함한 이른 아침시간대의 위도 70도 이상 지역에서 밀도차이의 감소를 보임
- Bz(-)인 경우에는 커스프 지역과 자정부근에서는 강한 밀도 증가를 보이는 반면 새벽영역에서는 밀도 감소를 보임. 저녁영역에서의 밀도차이가 새벽영역보다 상대적으로 더 강함. Bz(+)인 경우에는 밀도차이가 대체로 감소함을 보임
- 고위도에서의 밀도차이의 IMF에 대한 의존도는, 새벽 및 저녁 영역에서는, 플라즈마 대류와 관련 있고 IMF 방향에 따라 변하는 열권 바람의 영향으로 설명됨
- 오로라 지역 및 극관지역에서는, 이온권 전류 및 하강오로라입자로 인한

5. 태양의 활동 정도에 따른 중위도 지방 F2층의 반년 주기 변동성

- 일본 Kokubunji의 이오노존데에서 1997~2008년 동안 관측한 foF2를 이용하여, 태양의 활동 정도에 따른 중위도 지방 F2층의 전자 밀도 변화를 살펴봄
- 태양 활동이 활발했던 기간(2000~2002년)이 미약했던 기간(2006~2008년)에 비해 foF2의 반년 주기 변동성이 잘 나타남. 이는 태양의 활동 정도에 따른 지자기 활동의 변화가 중위도 지방 F2층의 전자 밀도의 반년 주기 변동성에 영향을 줄 수 있음을 시사.
- 태양 활동이 활발했던 기간이 미약했던 기간에 비해 일평균 foF2, Ap 지수 및 IMF Bs에서 반년 주기 변동성이 뚜렷이 나타남. 이는 열권의 동역학적 효과 외에도, Russell-McPherron 효과가 반영된 지자기 활동의 반년 주기 변동성이 특히 태양 활동이 활발했던 기간의 중위도 지방 F2층의 전자 밀도가 반년 주기로 변하는데 크게 기여하고 있음을 시사.

제 2 절 공동 연구 및 협력 실적

1. 부서간/산학연 공동연구 및 협력 실적

연구협력 파트너	수행형태	연구협력 내용(목표)	수행 결과
○ 문용재(경희대)	공동연구	○ CME 운동학적 특성 및 CME-지자기폭풍 관련성 연구	○ ApJ(SCI), JGR(SCI) 논문 게재
○ 채종철(서울대)	공동연구	○ 태양의 미세구조 연구	○ ApJ(SCI) 논문 게재
○ 민경욱(과기원)	공동연구	○ 극지역 FUV 오로라의 분광학적 관측과 'inverted-V' 전자침투의 상호비교 연구	○ JGR(SCI) 논문 게재

2. 국제공동연구 및 협력 실적

연구협력 파트너	수행형태	연구협력 내용(목표)	수행 결과
○ 박재홍 (GFZ, 독일)	공동연구	○ 위성관측한 중위도 밤지역 F-영역 전리층의 플라즈마 밀도 굴곡 연구	○ JASTP(SCI)에 논문 게재
○ M. Dryer (NOAA, 미국)	공동연구	○ 태양코로나물질방출의 속도와 태양풍 동압력과의 상관성 연구	○ JGR(SCI)에 논문 게재
○ A. Shanmugaraju (Arual Amandar College, 인도)	공동연구	○ LASCO 코로나질량방출 속도의 준주기성 진동	○ ApJ(SCI)에 논문 게재
○ H. Wang (NJIT, 미국)	공동연구	○ 태양 플레어가 발생한 태양활동영역 NOAA 10930의 코로나 지역에서 자기나선도의 시간에 따른 변화 연구	○ ApJ(SCI)에 논문 게재
○ Rajmal Jain (PRL, 인도)	공동연구	○ 태양 플레어 발생시 Fe/Fe-Ni선의 플럭스비의 소멸 증거 연구	○ J. Astrophys. Astr. (SCI)에 논문 게재

제 3 절 학술 활동 실적

1. 총괄표

논문게재(편)			학술발표(회)			특 허(건)							기술료 (계약/ 징수)	S/W 등록	소내 세미 나 개최
국내 (SCI)	국외 (SCI)	계	국내	국외	계	국내			국외			계			
						출 원	등 록	소 계	출 원	등 록	소 계				
3 (0)	10 (10)	13 (10)	12	10	22										26

2. 논문게재 실적

No.	제 목	학술지	발표자	저자 구분	발표일자 (00.00.)	국가명 (SCI 여부)	국제공 동여부
1	Tiny Pores Observed by HINODE/SOT	APJ	조경석, 봉수찬, 채종철, 김연한, 박영득	주저자	2010.10	미국 (o)	
2	An empirical relationship between CME initial speed and solar wind dynamic pressure	JGR	조경석, 봉수찬, 문용재, M. Dryer, S.-E. Lee, 김관혁	주저자	2010.12.	미국 (o)	
3	Empirical Model for Prediction of Geomagnetic Storms with Initially-observed CME Parameters at the Sun	JGR	김록순, 조경석, K.-H. Kim, 박영득, 문용재, 이유, M. Dryer, J. Lee, H. Wang	공동 저자	2010.12.	미국 (o)	
4	Quasi-Periodic Oscillations in Lasco Coronal Mass Ejection Speeds	APJ	A. Shanmugaraju, 문용재, 조경석, 봉수찬, Gopalswamy, AKIYAMA, YASHIRO, S. Umopathy, B. Vrsnak	공동 저자	2010.01.	미국 (o)	
5	Characteristics of ground level enhancement associated solar flare, coronal mass ejection, and solar energetic particle	JGR	K. A. Firoz, 조경석, 황정아, D.V. Phani kumar, 이재진, S.-Y. Oh, Subhash C. Kaushik, Karel Kudela, Milan Rybansky, Lev I. Dorman	주저자	2010.09.	미국 (o)	

No.	제 목	학술지	발표자	저자 구분	발표일자 (“00.00.)	국가명 (SCI 여부)	국제공 동여부
6	Time Evolution of Coronal Magnetic Helicity in the Flaring Active Region NOAA 10930	APJ	박성홍 , 채종철, Ju Jing, Changyi Tan, Haimin Wang	주저자	2010.09.	미국 (o)	
7	Radio Emission from Masuda Sources	Solar Physics	박성홍 , G. D. Fleshman	주저자	2010.10.	네덜란드 (o)	
8	Evidence of Decay of Flux Ratio of Fe to Fe-Ni Line Features with Electron Temperature in Solar Flares	J. Astro-phys. Astr.	Rajmal Jain, Malini Aggarwal , Raghunandan Sharma	공동저자	2010.09.	인도 (o)	
9	Spectral observations of FUV auroral arcs and comparison with inverted-V precipitating electrons	JGR	C. N. Lee, K. W. Min, 이재진 , G. K. Parks, M. O. Fillingim, D. Lummerzheim, 조경석 , 김관혁, 김연한, 박영득, W. Han, J.Edelstein	공동저자	2010.09	미국 (o)	
10	Plasma density undulations in the nighttime mid-latitude F-region as observed by CHAMP, KOMPSAT-1, and DMSPF15	JASTP	J.-H. Park, Hermann Luhr, 민경욱, 이재진	공동저자	2010.01.	미국 (o)	
11	Contributions of heating and forcing to the high-latitude lower thermosphere	JASS	곽영실 , Arthur Richmond, 안병호, 조경석	주저자	2010.09	한국 (x)	
12	Sources of the high-latitude thermospheric neutral mass density variations	JASS	곽영실 , Arthur Richmond, Yue Deng, 안병호, 조경석	주저자	2010.12	한국 (x)	
13	Ionospheric F2-layer semi-annual variation in middle latitude by solar activity	JASS	박윤경, 곽영실 , 안병호, 박영득, 조일현	교신저자	2010.12	한국 (x)	

3. 학술발표 실적

No.	제 목	회의명	발표자	발표일자	국가명
1	40.8 MHz Ionospheric VHF Gyeryong Radar Observations of E- and F-region Irregularities: First results and Preliminary Analysis	Regional CAWSES-II MLT Meeting	곽영실, 파니쿠머, 양태용, 박영득, 조경석	2010.03.	국외
2	Formations of Coronal Hole Associated with Halo CME	한국천문학회 봄 학술대회	김수진, S.-E. Lee, Katsuhide Marubashi, 조경석, 봉수찬, 문용재	2010.04.	국내
3	Space Weather Effects on GEO Satellite Anomalies during 1997-2009	한국천문학회 봄 학술대회	최호성, 이재진, 조경석, 조일현, 박영득	2010.04.	국내
4	Korean VHF ionospheric radar observations of E- and F-region field-aligned irregularities at mid latitude	WCU international Workshop 2010	곽영실	2010.04.	국외
5	Relationship between Space Weather and Geostationary Earth Orbit Satellite Anomalies	Space Weather Workshop	최호성, 이재진, 조경석, 조일현, 박영득	2010.04.	국외
6	VHF radar observations of E- and F-region field-aligned irregularities over Korea	Space Weather Workshop	곽영실, 양태용, 황정아, 이재진, 최성환, 박영득, 조경석, 최호성, 김연한	2010.04.	국외
7	Wintertime E- and F-region Irregularities over Korea by KASI VHF Coherent Scatter Ionospheric Radar Observations	한국우주과학회 봄 학술대회	곽영실, 양태용, 황정아, 이재진, 최성환, 조경석, 최호성, 박영득, 김연한	2010.04.	국내
8	Solar cycle variation of the annual and seasonal anomalies of the low-middle latitude ionosphere	한국우주과학회 봄 학술대회	곽영실, 길효섭, 이우경, 조경석	2010.04.	국내
9	Sea-level pressure response to the fast solar wind stream	한국우주과학회 봄 학술대회	조일현, 곽영실, Katsuhide Marubashi, 장헌영, 조경석, 김연한, 박영득, 최호성	2010.04.	국내
10	Recent international Activity of KASI for Space Weather Research	한국천문학회 봄 학술대회	조경석, 박영득, 이재진, 봉수찬, 김연한, 황정아, 최성환	2010.04.	국내

No.	제 목	회의명	발표자	발표일자	국가명
11	KSRBL operation and the first observation	한국천문학회 봄학술대회	황보정은, 봉수찬, 최성환, 백지혜, 조경석, 이대영, 박영득	2010.04.	국내
12	Monitoring System of space weather over Polar Region	Space Weather Workshop	이재진, 황정아, 최호성, 조경석, 박영득	2010.04.	국외
13	Onset time comparison of solar proton event with coronal mass ejection, metric type II radio burst, and flare	한국우주과학회 봄학술대회	조경석, 황정아, 봉수찬, 마루바시, 노수련, 박영득	2010.04	국내
14	D-region Ionosphere Dynamics as Inferred from Narrowband VLF Observations During 22 July, 2009 Total Solar Eclipse	Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2010	R. Singh, B. Veenadhari, A.K. Maurya, P. Pant, A.K. Singh, 곽영실, 박선미	2010.07.	국외
15	Simultaneous Observations of D-, E- and F-regions of the Ionosphere during the Solar Eclipse Observed on 22 July 2009	Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2010	파니쿠머, 곽영실, 박선미, 홍순학	2010.07.	국외
16	O and N2 disturbances in the F region during the 20 November 2003 storm seen from TIMED/GUVI	38th COSPAR Scientific Assembly	Hyosub Kil, Larry Paxton, 곽영실, Robert Meier , Yongliang Zhang	2010.07.	국외
17	위성 오작동과 우주기상과의 연관성에 관하여	국방과학연구소 창설 40주년 기념 종합학술대회	최호성, 이재진, 조경석, 조일현, 박영득, 이동규	2010.08.	국내
18	KSRBL early operation and statistical analysis	CESRA summer school on solar radio physics 2010	황보정은, 봉수찬, 최성환, 백지혜, 조경석, 이대영, 박영득	2010.09	국외
19	Magnetic Helicity Injection in Solar Active Regions Related to the CME Initiation and Speed	한국천문학회 가을학술대회	박성홍	2010.10	국내
20	KSRBL early operation and statistical analysis	한국천문학회 가을학술대회	황보정은, 봉수찬, 조경석, 이대영, 박영득	2010.10	국내

No.	제 목	회의명	발표자	발표일자	국가명
21	Tiny Pores Observed by HINODE/SOT	한국천문학회 가을학술대회	조경석, 봉수찬, 채종철, 김연한, 박영득	2010.10	국내
22	Seasonal, diurnal, and solar cycle variations of the longitudinal wave structure in the low-latitude thermosphere	AGU fall meeting	곽영실, 길효섭, 이우경, 조경석	2010.12	국외

제 4 장 요약 및 결론

한국천문연구원 우주과학연구본부 태양우주환경연구그룹에서 진행하는 “CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 규명 연구” 사업은 크게 세 개의 세부분야 (“태양활동 연구”, “근지구 우주공간 물리량 변화 연구”, “우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구”)로 나누어 진행하였다. 태양활동과 그로 인한 근지구 우주환경에서 물리량 변화 요소들의 인과관계, 상관관계, 그리고 물리적 연동 연구 등을 수행하였으며 다수의 연구 결과들을 논문과 학술 활동을 통해 발표하였다.

“태양활동 연구” 분야에서는 태양미세구조와 CME, 플레어, 전파폭발 등 다양한 태양활동 현상들을 다루었다. Hinode/SOT를 통해 관측한 매우 작은 새끼흑점 연구, Masuda 형태의 태양 플레어에서 발생하는 전파 방출에 대한 연구, 태양 플레어가 발생한 태양활동영역의 코로나 지역에서 자기나선도의 시간에 따른 변화 연구, LASCO CME 속도의 준주기성 진동 연구, 태양 플레어의 전자온도에 따른 Fe 대 Fe-Ni 라인형태의 플럭스비 소멸의 관측적인 증거 연구를 수행하였다. “근지구 우주공간 물리량 변화 연구” 분야에서는 태양코로나물질방출의 속도와 태양풍 동압력과의 상관성 연구, 태양에서 관측된 CME 인자를 이용한 지자기폭풍의 경험 예보모델 연구, 우주선의 지상 측정치 증가(Ground-level enhancement, GLE)와 연관된 태양 플레어, CME, 그리고 태양 방출 고에너지 입자의 특성 연구를 수행 하였다. “우주환경 변화에 의한 전리층/고층대기 변화 연구” 분야에서는 위성 및 지상 관측자료를 이용하여 태양활동 및 자기권 변화에 따른 고층대기밀도 및 전리층 전자밀도 변화 연구를 수행하였다. 극지역 FUV 오로라의 분광학적인 관측과 ‘inverted-V’ 전자침투의 상호 비교 연구, CHAMP, KOMPSAT-1, DMSP F15 위성을 이용하여 관측한 중위도 밤지역 F-영역 전리층의 플라즈마 밀도 굴곡 연구, 고위도 하부 열권 역학에 대한 Heating과 Forcing의 IMF 조건에 따른 기여 연구, 고위도 열권 중성대기밀도 변화의 근원 연구, 태양의 활동 정도에 따른 중위도 지방 F2층의 반년 주기 변동성 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 국제 경쟁력 확보를 위한 실질적인 노력의 일환으로, 태양우주환경연구분야의 주요 경쟁기관인 나고야 대학 우주환경연구소(STELab)와 함께 태양우주환경 관련 세미나를 공동 개최하였다. 양 기관이 보유한 관측기 및 모델을 활용한 지속적 연구교류를 추진하기로 하였다. 천문연구원은 관측분야에서 그리고 나고야 대학은 수치모델 분야에서 각각 강점을 가지고 있어 향후 양 기관이 협력할 경우 상생효과가 기대된다. 차세대 연구도약을 위한 기반 조성 노력의 일환으로, 최첨단 태양관측기를 이용한 우수연구성과를 창출하였다. 최대 태양위성 관측기인 일본 Hinode 위성 관측자료를 이용한 연구결과를 천문학 권위지 (ApJ)에 출간하였으며, 최대 태양지상망원경인 신태양망원경(NST)를 이용한 지속적인 관측을 수행하고 있어 향후 우수한 연구성과가 기대된다. 또한 미국 NASA와의 협력을 추진하고 있다. NASA의 최신 태양위성망원경인 SDO (Solar Dynamic Observatory) 및 지구방사선대관측위성 RBSP(Radiation

Belt Storm Probe) 관측연구를 위한 NASA-천문연간 협정서 체결하였으며, 향후 NASA 과학자들과 천문연 과학자들간의 긴밀한 연구교류가 예상된다.

최근 우주환경 및 지구환경 변화를 태양활동과 연동하여 이해하고자 세계 여러 우주선진국들이 참여하는 국제대형공동연구 (예: ILWS, CAWSES 등) 프로젝트가 추진되고 있다. 이는 지구로부터 태양까지의 넓은 우주공간을 하나의 연동된 시스템으로 취급하여 인류가 활동하는 우주공간을 포함한 인류환경의 제 물리적 현상들을 태양활동과 연계하여 이해하려 하고 있다. 따라서 본 사업의 연구 대상인 “태양환경”, “지구자기권 환경”, “지구전리층/고층대기 환경”에서의 연동된 물리량 변화 연구는 순수기초과학 연구를 넘어 국가 차원에서 추진하고 있는 실용과학으로서의 우주기술 연구와 상호 보완적인 관계에 있으므로 우주과학기술 강국이 되기 위해 지속적으로 국가 차원에서 지원해야할 중요한 연구 분야라 할 수 있다.

주 의

1. 이 보고서는 한국천문연구원에서 시행한 2010년도 기관고유사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국천문연구원에서 시행한 기관고유사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.