

TSPE16090-030-5

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “북극 4-D 대기 관측망 구축 및 고층대기와 기후변화의 상호관계 규명(부제: 극지 고층대기와 우주환경 변화 연구)” 과제의 위탁연구 “우주방사선과 극지 고층 및 저층대기와의 상호작용 규명” 과제의 최종보고서(보고서 제목: “우주방사선과 극지 고층 및 저층대기와의 상호작용 규명.pdf”)로 제출합니다.

2017. 1.

총괄연구책임자	: 지 건 화
위탁연구기관명	: 전 남 대 학 교
위탁연구책임자	: 오 수 연
위탁참여연구원	: 이 유
“	: 곽 영 실
“	: 이 영 속
“	: 정 종 일
“	: 정 동 권
“	: 문 병 하
“	: 이 해 인

보고서 초록

위탁연구과제명	우주방사선과 극지 고층 및 저층대기와의 상호작용 규명				
위탁연구책임자	오수연	해당단계 참여연구원수	8	해당단계 연구비	50,000,000원
연구기관명 및 소속부서명	전남대학교 지구과학교육과		참여기업명		
국제공동연구	상대국명: 미국		상대국연구기관명: 델라웨어대학교 바톨연구소		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	66
<p>본 연구의 최종 목표는 우주방사선과 극지 고층 및 저층대기와의 상호작용 규명</p> <p>극지방 고층대기로 유입되는 에너지는 대기 성분들과의 상호작용 및 확산을 통해 중·저위도의 고층대기로도 에너지를 전달하기 때문에, 극지방 고층대기의 동역학적 메커니즘을 규명이 필요 우주선과 같은 고에너지 입자들이 지구 대기권에 진입하여 상호작용을 통해 지구 대기의 변화를 유도</p> <p>우주선은 태양활동에 의한 우주환경 변화, 고층대기의 동역학적 메커니즘, 저층대기의 운량, 강수량 및 기온변화와 같은 기후 변화의 중요한 척도</p> <p>주요한 연구 결과로,</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 우주방사선의 주기성 분석 2. 태양주기에 따른 태양 밝기의 변화 3. 태양자기장 극성에 따른 지구 자기장 활동의 변화 4. 지구 대기 변화에 영향을 주는 고에너지 입자 (우주선, 태양고에너지양성자, 오로라 전자, 상대론적 전자)의 영향 분석 5. 남극 장보고 과학 기지에 우주선 중성자 관측기의 자료 분석 및 데이터베이스 구축 					
색인어 (각 5개 이상)	한글	우주방사선, 태양풍, 고에너지 입자, 고층 대기, 우주선 중성자 관측기 장보고 과학기지			
	영어	cosmic ray, solar wind, energetic particles, upper atmosphere, neutron monitor Jang Bogo scientific station			

요 약 문

I. 제 목

우주방사선과 극지 고층 및 저층대기와의 상호작용 규명

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 고층-저층 대기에 영향을 주는 우주선 플럭스 변화를 분석
2. 극지방 고층대기로 유입되는 에너지는 대기 성분들과의 상호작용 및 확산을 통해 중·저위도의 고층대기로도 에너지를 전달하기 때문에, 극지방 고층대기의 동역학적 메커니즘을 규명이 필요
3. 우주선은 태양활동에 의한 우주환경 변화, 운량, 강수량 및 기온변화와 같은 기후 변화의 중요한 척도
4. 우주선과 같은 고에너지 입자들이 지구 대기권에 진입하여 상호작용을 통해 지구 대기의 변화를 유도

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 극 지역에 위치한 우주방사선 및 고층대기 현상 관측 자료의 활용
2. 태양활동 변화에 따른 우주방사선 플럭스 변화 이벤트를 분석
3. 태양활동, 우주방사선과 고층 및 저층 대기의 상호작용 분석

IV. 연구개발결과

1. 우주방사선 플럭스의 주기성 분석
2. 태양주기에 따른 태양 밝기의 변화
3. 태양자기장 극성에 따른 지구자기장 활동의 변화
4. 지구 대기 변화에 영향을 주는 고에너지 입자(태양고에너지양성자, 오로라 전자, 상대론적 전자)의 영향 분석
5. 우주방사선 관측 자료 데이터베이스 구축

V. 연구개발결과의 활용계획

1. 극지 우주선 중성자 관측기의 자료 분석을 통해서 얻은 극지 우주환경 변

화에 대한 이해는 우주환경 연구에 중요한 정보 제공

2. 우주선 중성자 관측은 우주로부터 오는 입자에 대한 물리적인 특성의 이해로부터 학제 간 협동연구 및 극지 우주환경 연구를 중심으로 국제 공동연구 진행
3. 입자 검출 시스템의 원천 기술 확보로 유사한 계측 장비의 공정단계에 확보 기술을 적용
4. 우주 산업의 장기적 발전을 위한 인공위성 탑재 우주선 검출기의 관측 자료로 활용

S U M M A R Y

I. Title

Interaction between cosmic ray and upper and lower atmospheres

II. Project Goals and Necessities

1. To investigate the variation of cosmic ray flux to effect on upper-lower atmosphere
2. To investigate the dynamical mechanism of polar upper atmosphere on account of transferring the energy of polar upper atmosphere to middle-low latitude upper atmosphere by interaction and diffusion of atmospheric particles
3. Cosmic ray: Good criterion on the variation of space environment by solar activity and on climate change including cloudiness, precipitation and temperature
4. Introduction for Earth's atmospheric variation by entrance of energetic particles such as cosmic rays

III. Science and Technological Implementation and its Scope

1. Application of polar cosmic ray flux and upper atmospheric appearances
2. Analysis of cosmic ray flux event to be changed with solar activity
3. Analysis of interaction between solar activity, cosmic ray flux and upper-lower atmosphere

IV. Results

1. Investigation of periodicity in cosmic ray flux
2. Investigation of variation in solar brightness by solar activity
3. Investigation of geomagnetic activity by solar magnetic polarity
4. Investigation of energetic particles' s (solar proton event, aurora electrons, relativistic electrons) effectiveness on the variation of

Earth' s atmosphere

5. Construction of database for Jang Bogo neutron monitor

V. Application of Products and Results

1. Support the important space environment information through the understanding polar space environment by the investigation of polar neutron monitor
2. Drive the interdisciplinary research by the understanding the physical properties of cosmic particles and the international cooperative research focusing on polar space environment study
3. Application of technique for particle detection on other similar instruments
4. Application on space payload of cosmic ray detector in order to develop the space industry

C O N T E N T S

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Research Goals and Necessities	1
Section 2. Research Necessities	1
1. Cosmic ray and neutron monitor	1
2. Polar upper atmosphere	3
3. Cosmic ray and upper atmosphere	5
Chapter 2. Status of Domestic and Foreign Research	10
Section 1. Domestic Research Trends	10
Section 2. Foreign Research Trends	11
1. International network of neutron monitors	11
2. Monitoring of upper atmosphere and weather change	12
Chapter 3. Contents and Results of Research	15
Section 1. Theoretical and Experimental Approach	15
1. Integration and analysis of polar cosmic ray flux	15
2. Integration and upper atmospheric appearances	15
3. Introduction on correlation between cosmic ray flux and upper atmosphere	15
Section 2. Research Contents	15
1. Application of polar cosmic ray flux and upper atmospheric appearances	15
2. Investigation on solar parameters(solar wind and high speed streams) to effect on cosmic ray flux and upper-lower atmosphere	16
3. Investigation on interaction between solar activity, cosmic ray and upper-lower atmosphere	17
Section 3. Research Results	18
1. Investigation on periodicity of cosmic ray flux	18

2. Investigation on variation of solar brightness by solar activity	22
3. Geomagnetic activity depending on solar magnetic polarity	25
4. Effectiveness of energetic particles on the variation of atmosphere	26
5. Construction on database of Jang Bogo neutron monitor	29
Chapter 4. Achievement of Research Goals and External Contribution	36
Section 1. Achievement of Research Goals	36
1. Annual Goal	36
2. Research and development goals	36
3. Research achievement	37
Section 2. External Contribution	38
Chapter 5. Applications of Research Results	40
Section 1. Applications	40
Section 2. Expected results	40
1. Technical aspects	40
2. Economic and industrial aspects	40
3. Scientific aspects	41
Chapter 6. References	42
Appendix(Example for data of McMurdo and Jang Bogo)	48

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구개발의 목적	1
제2절 연구개발의 필요성	1
1. 우주선과 우주선 중성자 관측소	1
2. 극지 고층대기	3
3. 우주선과 고층대기	5
제2장 국내외 기술개발 현황	10
제1절 국내 연구개발 동향	10
제2절 국외 연구개발 동향	11
1. 국외 우주선 중성자 관측기	11
2. 고층 대기 및 기상 변화 감시	12
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	15
제1절 이론적, 실험적 접근방법	15
1. 북극 주변 우주방사선 자료 수집 및 분석	15
2. 고층 및 대기 현상 자료 수집	15
3. 우주방사선과 고층대기의 상관관계 도출	15
제2절 연구내용	15
1. 극 지역에 위치한 우주방사선 및 고층대기 현상 관측 자료의 활용	15
2. 우주방사선 플럭스 및 고층, 저층대기에 영향을 주는 인자에 대한 분석	16
3. 태양활동, 우주방사선과 고층 및 저층 대기의 상호작용 분석	17
제3절 연구결과	18
1. 우주방사선 플럭스의 주기성 분석	18
2. 태양주기에 따른 태양 밝기의 변화	22
3. 태양자기장 극성에 따른 지구자기장 활동	25
4. 지구 대기 변화에 영향을 주는 고에너지 입자의 영향	26

5. 우주방사선 관측 자료 데이터베이스 구축	29
제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도	36
제1절 연구개발 목표 달성도	36
1. 연차별 연구 목표	36
2. 2차년도 연구 개발 내용	36
3. 2차년도 연구 성과 - 논문 게재	37
제2절 대외기여도	38
제5장 연구개발결과의 활용계획	40
제1절 연구결과의 활용방안	40
제2절 기대성과	40
1. 기술적 측면	40
2. 경제·산업적 측면	40
3. 학문응용적 측면	41
제6장 참고문헌	42
부록(맥머도 및 장보고 관측자료 예시)	48

그림 목 차

Figure 1-1. 2차 우주선 생성과정 및 우주선 중성자 관측기의 모습	1
Figure 1-2. 우주선 플럭스의 다양한 변화(태양주기 변화[Oulu], 일변화[Daejeon], 지상 중성자 증가 현상[Oulu], Forbush decrease 현상[Daejeon])	2
Figure 1-3. 극지방 고층대기에 영향을 미치는 대기권 각 영역에서의 대표적인 현상들	4
Figure 1-4. Changes in the Earth' s cloud cover from four satellite cloud data sets(Marsh & Svensmark, 2000)	5
Figure 1-5. Cloud microphysics, general characteristics of the interaction of CRs with the atmosphere(Kirkby, 2002)	6
Figure 1-6. Potential responses of the climate system to forcing from galactic cosmic rays, assuming they influence cloud cover and droplet number concentration(Kirkby, 2007)	7
Figure 1-7. Schematic diagram of the SKY2 experiment(Svensmark et al., 2013)	7
Figure 1-8. 고에너지 입자 유입으로 인한 대기의 영향	8
Figure 1-9. Changes in polar ozone result in changes in temperatures which change wind and wave filtering	9
Figure 2-1. 대전 표준연구원 내에 설치된 우주선 중성자 관측소(Kang et al., 2012)	10
Figure 2-2. 주요나라별 우주선 중성자 관측소 설치 현황	11
Figure 2-3. Spaceship Earth의 구성 및 참여 국가	12
Figure 2-4. NASA의 홈페이지를 통해 제공되는 오존홀의 모습	14
Figure 3-1. 지구 대기과 상호작용하는 고에너지 입자(은하우주선, 태양 양성자, 고에너지 전자)(Kodera & Kuroda, 2002)	16
Figure 3-2. Period analysis of solar minimum year in 2008(north)	20
Figure 3-3. Period analysis of solar minimum year in 2008(south)	21
Figure 3-4. Distribution of power at 27days	22
Figure 3-5. Solar cyclic variation of monthly sunspot number	22
Figure 3-6. Solar cyclic variation of total solar irradiance	23
Figure 3-7. Solar cyclic variation of spectral solar irradiance at 280.5nm	23

Figure 3-8. Solar cyclic variation of spectral solar irradiance at 394.9nm	24
Figure 3-9. Solar cyclic variation of spectral solar irradiance at blue & green	24
Figure 3-10. Solar cyclic variation of spectral solar irradiance at yellow & red	25
Figure 3-11. Aa index averages in opposite solar magnetic polarities	25
Figure 3-12. Periodic analysis of Aa index	26
Figure 3-13. EEP에 의해 생성된 NOx와 HOx에 의한 O3의 파괴 (Randall et al., 2005)	28
Figure 3-14. Comparison of initial data between Jang Bogo	29
Figure 3-15. Forbush decrease on December 30 2015 at Jang Bogo and McMurdo	30
Figure 3-16. Asymptotic direction on December 20 2015 (courtesy of W. Nuntiyakul)	30
Figure 3-17. Spaceship Earth GLE Monitor (Real time monitoring, minute resolution)	31
Figure 3-18. Publication of Jang Bogo neutron monitor to NMDB	32
Figure 3-19. Chart of Jang Bogo neutron monitor at NMDB	33
Figure 3-20. Result of Query for Jang Bogo neutron monitor at NMDB	34
Figure 3-21. Map of neutron monitors at NMDB	38
Figure 4-1. 2012년 3월 8일에 우주선 중성자 관측기로부터 측정된 Forbush decrease 현상	53

표 목 차

Table 3-1. 태양과 행성간 공간의 영역별 우주기상인자가 각 대기권영역에 미치는 영향	17
Table 3-2. List of neutron monitor to analyze the periodicity	19

제 1 장 서론

제1절 연구개발의 목적

연구개발의 최종 목표는 극 지역 우주방사선 플럭스 및 고층대기 현상 관측망을 활용한 극지 고층대기와 저층대기의 상관관계 규명이다. 주요 성과 목표는 극 지역 우주방사선 및 방사능 변화 분석하여 극 지역 우주방사선 및 고층 대기 현상의 관계를 도출한다.

서로 다른 지자기 위도에 위치한 우주방사선 중성자 관측소 (neutron monitor)의 전 지구 네트워크가 있다. 국제지구물리해인 1957년 이후 약 60년 동안의 표준 우주방사선 중성자 관측기의 세계 네트워크는 0.5 20 GeV 에너지 범위의 1차 우주방사선을 측정하고 있다. 위도 60° 이상에 10개 이상의 우주선 중성자 관측기가 설치되어 있다. 또, 이 관측소들은 경도 상에서 일정한 간격을 두고 분포하고 있기 때문에 북극을 둘러싼 우주방사선 변화에 따른 고층 및 저층대기 변동을 모니터링하고 차후에 모델링하기에 좋은 조건을 갖추고 있다. 따라서 우주방사선 변화 분석을 통해서 극지역의 고층 대기 현상과의 관계를 규명하고자 한다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 우주선과 우주선 중성자 관측소

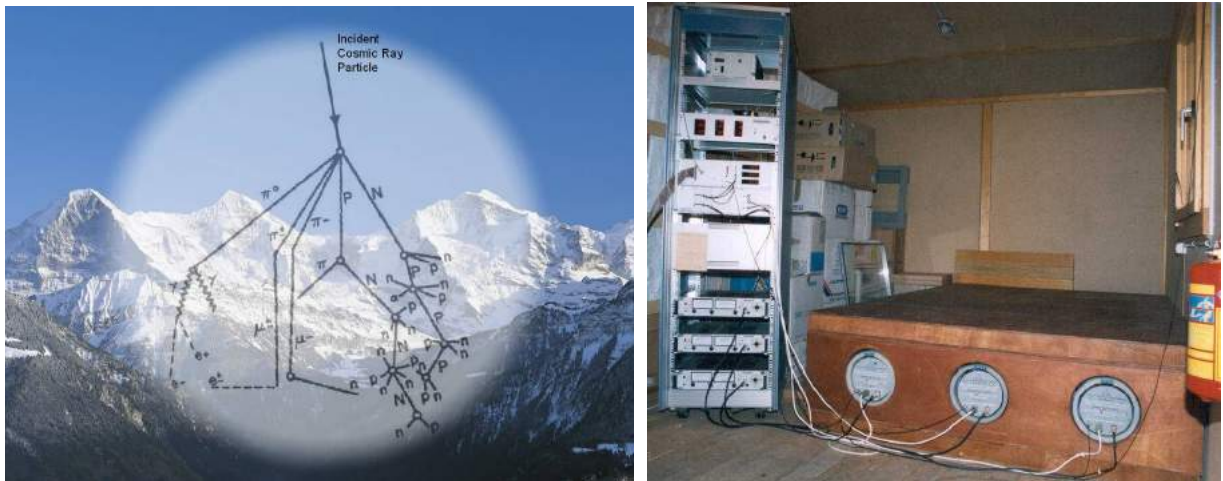


Figure 1 1. 2차 우주선 생성과정 (cosmic ray shower) 및 우주선 중성자 관측기의 모습.

20세기 초 양성자, 이온, 전자와 같은 하전입자들이 지구에 입사된다는 사실을 알게 되었다. 1912년 Hess에 의해 존재가 알려진 우주선 (cosmic ray)은 광속에 가까운 속도로 운동하는 고에너지 하전입자이며 대부분이 양성자로 구성되어 있다. 우주에서 초신성 폭발이나 활동성 은하와 함께 태양에서도 우주선들이 방출된다. 지구자기장의 영향으로 필터링되어

지구 특정 위치의 대기 상단에 도착하는 1차 우주선의 에너지 범위는 500MeV~20GeV 에너지를 갖게 되어 자기위도가 낮아질수록 큰 에너지를 갖는 우주선이 도착하게 된다.

또, 대기 상단에 도착한 1차 우주선은 누꺼운 대기를 통과하면서 대기입자들과 충돌로 인해 생성된 중성자, 뮤온 (muon), 전자의 형태인 2차 우주선으로 지상에서 검출된다 (Simpson et al., 1953). 2차 우주선인 중성자는 지상의 우주선 중성자 관측기 (neutron monitor)에 의해 관측이 되며, 중성자를 관측하여 1차 우주선의 플럭스 변화를 간접적으로 추정하는 자료로 사용한다 (Simpson, 1948; 2000; Beer, 2000). 국제지구물리해 (international geophysical year)인 1957년 표준화된 우주선 중성자 관측기 (12IGY)가 설치된 이후 50년 이상의 장기간의 관측 자료를 많은 수의 우주선 중성자 관측기에서 생산해오고 있다.

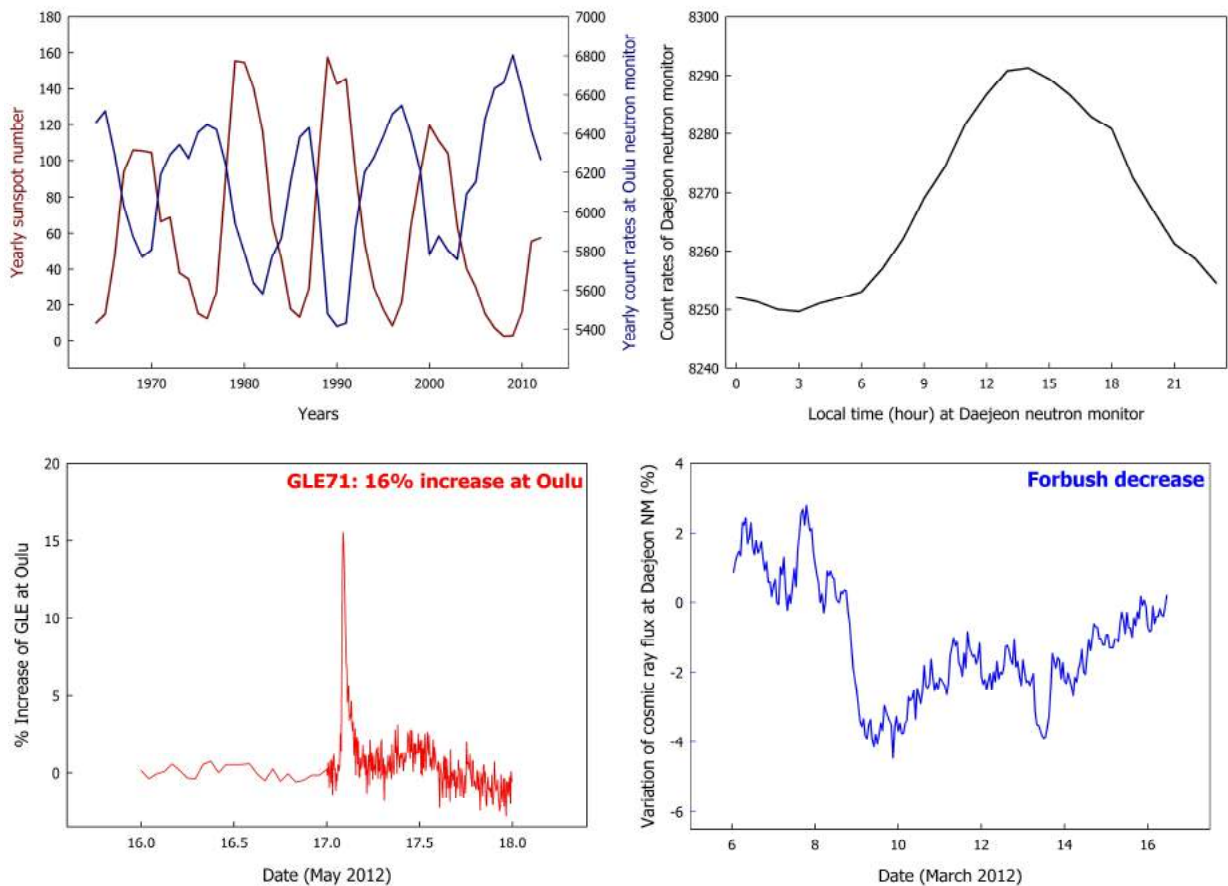


Figure 1 2. 우주선 플럭스의 다양한 변화 (태양주기 변화 [Oulu], 일변화 [Daejeon], 지상 중성자 증가 현상 [Oulu], Forbush decrease 현상 [Daejeon]).

우주선은 지구를 통과하는 행성간 물질의 요란 모니터링에 이용된다. 장기간에 걸친 우주선 관측은 은하우주선 (galactic cosmic ray) 플럭스가 태양권 내의 자기장에 의해 변화하는 것을 보여주었다. 태양 흑점수가 증가할 때 태양권 내의 자기장은 강해져서 은하우주선의 플럭스는 지구에서 감소된다. 흑점수가 감소할 때 자기장에 의한 차폐가 약해져 많은 수의 우주선은 지구에 도착하게 된다. 즉, 우주선의 플럭스는 태양활동에 따라 흑점수 변화 주기

로 그 플릭스가 11년 주기로 흑점수와 반대로 변화하는 역상관계를 가진다 (Storini et al, 1995). 또, 태양활동 주기 변화와 함께 일변화가 대표적인 주기적 변화이다 (Pomerantz & Duggal, 1971; Singh & Badruddin, 2006). 일시적으로 변화 (급작스런 증가 또는 감소)는 태양 자기장이 태양권으로 분출되는 태양 폭발에 의해서 발생된다. 특히, 우주선 중성자 관측기에 검출되는 에너지 영역의 우주선은 태양에서 나오는 물질인 태양풍 (solar wind)의 영향을 크게 받는다. 태양풍의 요란에 의해 지상 중성자 증가 (ground level enhancement) 현상 (Mathews et al., 1978)과 같이 플릭스가 갑자기 증가하거나 Forbush decrease 현상 (Forbush, 1938)처럼 플릭스가 갑자기 감소하는 현상이 발생한다. 이처럼 태양권 내에서 태양활동에 의해 지구 주위의 우주선 플릭스가 변화하기 때문에 태양활동의 영향을 연구하는 자료가 되어 (Balasubrahmanyam & Venkatesan, 1971; Gloeckler & Jokipii, 1967) 태양활동에 의한 우주환경 변화에 대한 좋은 척도가 된다 (Leerungnavarat et al., 2003).

근본적으로 우주선은 격렬하게 활동하고 있는 우주에 대한 중요하고 방대한 정보이다. 어떤 조건 하에서 하전입자들이 어떻게 가속되어 고에너지를 갖게 되는 과정이 중요한 우주선 연구 분야이다. 태양활동에 따른 태양권의 구조 변화 역시 연구될 수 있으며, 우주선의 플릭스 자료는 운량, 강수량 및 기온변화와 같은 기후 변화의 중요한 척도로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 천문학의 다양한 분야, 탄소 연대 측정, 전파 통신 등 일상생활에 널리 활용할 수 있는 정보를 제공한다. 더욱이 우주선은 지구 대기에 영향을 주는데, 대기 원자와 충돌로 2차 입자들을 생성할 때 대기원자들을 이온화시킨다. 속도가 빠른 하전 입자들은 X 선과 같은 고에너지 복사의 근원이다. 항공기 승무원들은 상층대기에서 고에너지 입자에 노출되어 있으므로, 이에 대한 모니터링이 필요하다. 우주선 중성자 관측기는 이러한 모니터링에 대한 기초적인 자료를 제공한다.

2. 극지 고층대기

지구의 고층대기는 태양으로부터 오는 에너지와 가장 먼저 상호작용 하는 지역으로서, 주로 태양 활동의 정도에 따라 그 세기가 극심하게 변하는 자외선 (UV) 및 극자외선 (EUV) 영역의 에너지에 의해 동역학 및 대기 성분 변화가 야기된다. 특히 양 극지방에서는 자외선 및 극자외선과 함께, 지구 자기장을 따라서 유입되는 고에너지 입자들에 의해서도 큰 영향을 받게 된다. 고층대기의 하부 (약 70~130 km) 영역에 해당하는 mesosphere and lower thermosphere (MLT) 지역은 대기 온도의 수직 분포에 있어서 온도가 가장 낮은 지역으로 정의되는 중간권계면 (mesopause)이 위치하는 곳으로서, 열권 하부로부터 확산에 의해 전달되는 에너지와 저층 대기로부터 주로 대기 파동 (planetary waves, gravity waves, tidal waves)의 형태로 전달되는 에너지에 의한 영향이 동시에 작용하기 때문에 매우 복잡한 메커니즘으로 동역학적 상태가 결정된다. 또한, 극지방 고층대기로 유입되는 에너지는 대기 성분들과의 상호작용 및 확산을 통해 중·저위도의 고층대기로도 에너지를 전달하기 때문에, 극지방 고층대기의 동역학적 메커니즘을 규명하는 것은 매우 중요한 연구로 인식되고 있다.

최근 들어 학계에서 이슈가 되고 있는 일부 연구들의 관측자료 분석 및 simulation 결과들에 따르면, 고위도 성층권에서 발생하는 성층권 돌연상승 (sudden stratospheric warming,

SSW)와 중간권 (mesosphere) 상부의 온도가 서로 anti correlation의 관계에 있다고 보고되고 있으며, 이 성층권 불연 상승 현상은 극지방 성층권에서의 위도에 따른 온도 경사에 의해 그 세기가 결정되는 polar vortex와 밀접한 관련이 있다 (Labitzke, 1972; Hirota & Barnett, 1977; Cho et al., 2004). 장기간 동안의 성층권 온도 변화는 자연적인 요소와 함께 인간 활동에 의한 전 지구적 기후 변화와도 매우 중요한 상관관계에 있기 때문에, 중간권 온도와 성층권 온도 사이의 동역학적 관계 및 에너지 전달/소실 메커니즘을 규명하는 연구는 기후변화에 따른 저층대기의 온도변화가 중간권 상부에 어떻게 영향을 미치는지를 이해하는데 있어서 매우 중요한 요소이다 (Thomas & Olivero, 2001; Thomas, 2003; Russell et al., 2009).

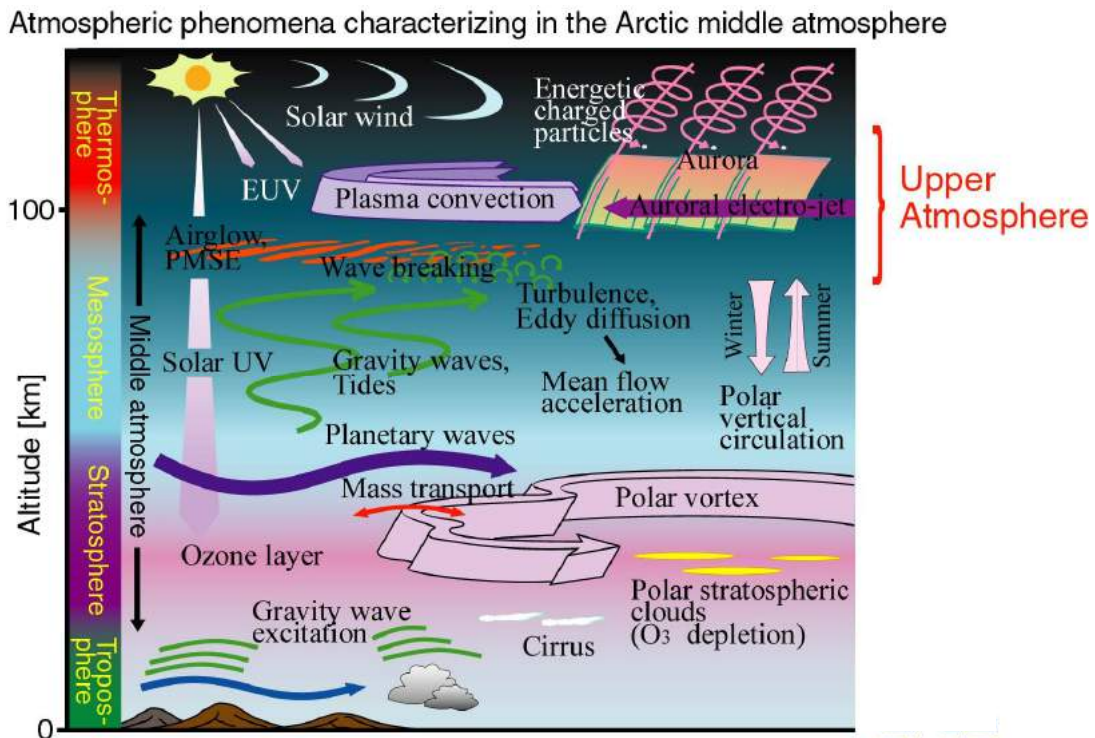


Figure 1 3. 극지방 고층대기에 영향을 미치는 대기권 각 영역에서의 대표적인 현상들.

지구 고층대기는 전기적으로 중성인 열권의 영역 내에 전자와 이온으로 분리된 하진 입자들이 플라즈마 상태로 존재하는 이온권을 포함하고 있다. 이온권은 주 이온의 종류에 따라서 D, E, F층으로 구분하는데, 고도에 있어서 D층과 E층은 중성 대기의 MLT 지역과 중첩되는 영역이다. 이온권의 플라즈마 밀도 자체는 중성 대기에 비해 매우 작지만, 지구 자기장의 영향과 고도에 따른 중성대기의 밀도 변화에 기인하는 전자 이온간 collision frequency 차이 때문에 매우 다양한 현상들이 발생하고 있으며, 여기에 태양 활동에 따라 심하게 변하는 플라즈마의 밀도 및 고도 프로파일 때문에 현상들이 더욱 복잡하게 나타난다 (Rishbeth, 1990; Zadorozhny et al., 1992; Ondraskova et al., 2003; Ondraskova, 2005; Sakanoi et al., 2009). 중성대기와 이온권의 상호작용에는 특히 중성 바람(neutral wind)이 매우 중요한 역할을 하는데, 남극 고위도 지방은 어려운 접근성 때문에 고층대기 중성 바람 자료가 지금까지 매우 제한적으로 획득되어 왔다. 그렇기 때문에 남반구의 지리적·지자기적 고위도 지역

에 위치하는 장보고 기지에서 추가적인 고층대기 중성 바람 자료 획득은 향후 상당히 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 우주선과 고층대기

가. 우주선과 구름 형성

1997년 덴마크의 Svensmark와 Fris Christensen은 우주선 플럭스와 지구상 덮는 운량이 밀접하게 관계가 있음을 발견했다. 그것도 1984년에서 1995년까지의 11년의 1 태양 주기 동안 이 좋은 상관관계는 계속되고 있었다. 이 사실은 태양의 활동이 어떤 경로를 통해서 지구의 기후에 영향을 미치고 있는가의 연결 고리를 밝히는 중요한 것이다. 이 연결 고리는 지금까지는 하나의 수수께끼였다. Figure 1 4는 지난 20여 년 전부터 인공위성에서 관측한 지구상 뒤덮고 있는 구름의 양 및 우주선 플럭스, 태양 전파 (10.7cm) 플럭스의 관계를 보여주고 있다. 우주선 플럭스가 감소하면 운량은 감소하고 태양 전파 플럭스는 증가하는 경향을 잘 보여 주고 있다.

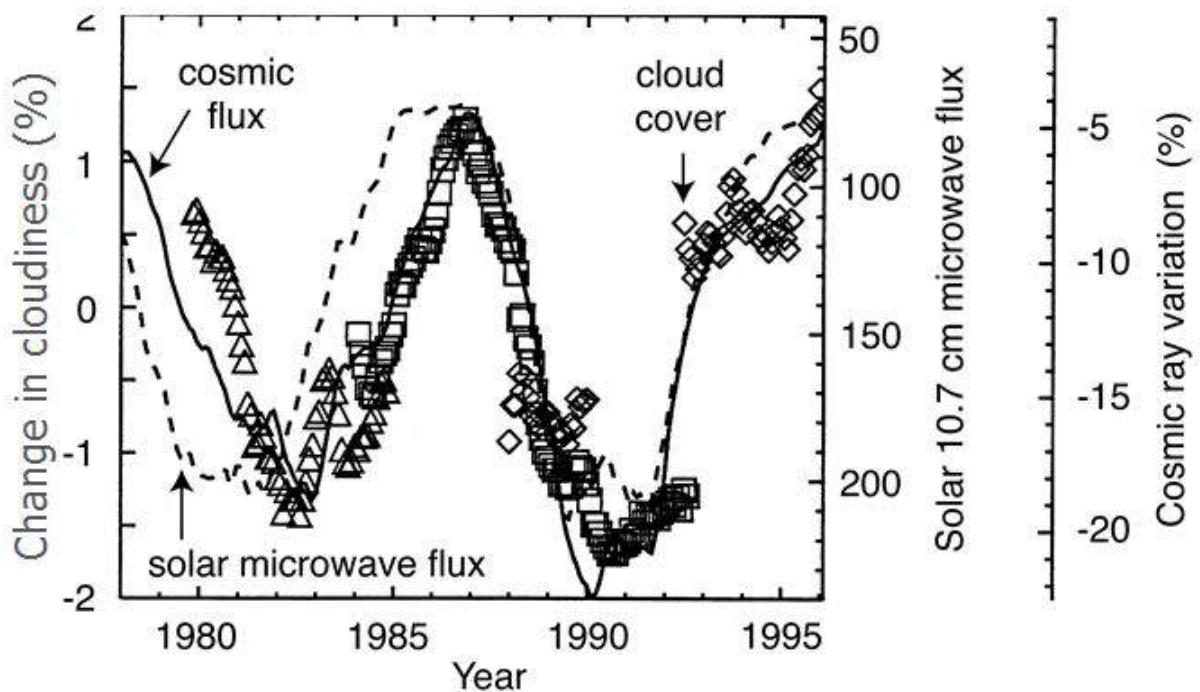


Figure 1 4. Changes in the Earth's cloud cover from four satellite cloud data sets (Marsh & Svensmark, 2000).

구름은 대기의 에너지 특성을 변화시키는 매우 중요한 요소로서 태양으로부터 오는 단파장 영역의 복사 에너지를 반사시켜 대기를 냉각시키는 효과와 지구 표면에서 외계로 방출되는 장파장 영역의 복사 에너지를 흡수하여 재방출하여 지표면을 가열시키는 상반된 두 가지 효과를 동시에 갖는다. 냉각 및 가열은 구름이 형성된 고도 그리고 구름의 투명성 (빙정, 물방울, 두께)으로 특징 지워지는 구름 자체의 특성에 따라 다르다. 일반적으로 희고 얇은 구름은 가열을, 검고 두꺼운 구름은 냉각시키는 경향이 있다. 전 세계적인 현재의 운량

은 약 17.35 W/m^2 정도의 냉각 효과가 있는 것으로 추산되고 있다.

Figure 1 5는 구름 형성 주요인자들 간의 관계를 설명한 것으로 구름 형성의 주요 인자인 에어로솔, 빙정, 구름의 전기가 태양활동에 따라 변하는 우주선 플럭스와 관련 있다. Figure 1 6은 우주선이 구름 생성과 증기 방울의 농도를 결정할 때 이루어지는 기후 개념도이며, 우주선이 태양의 일사량과 수리화적인 사이클을 변화시킨다.

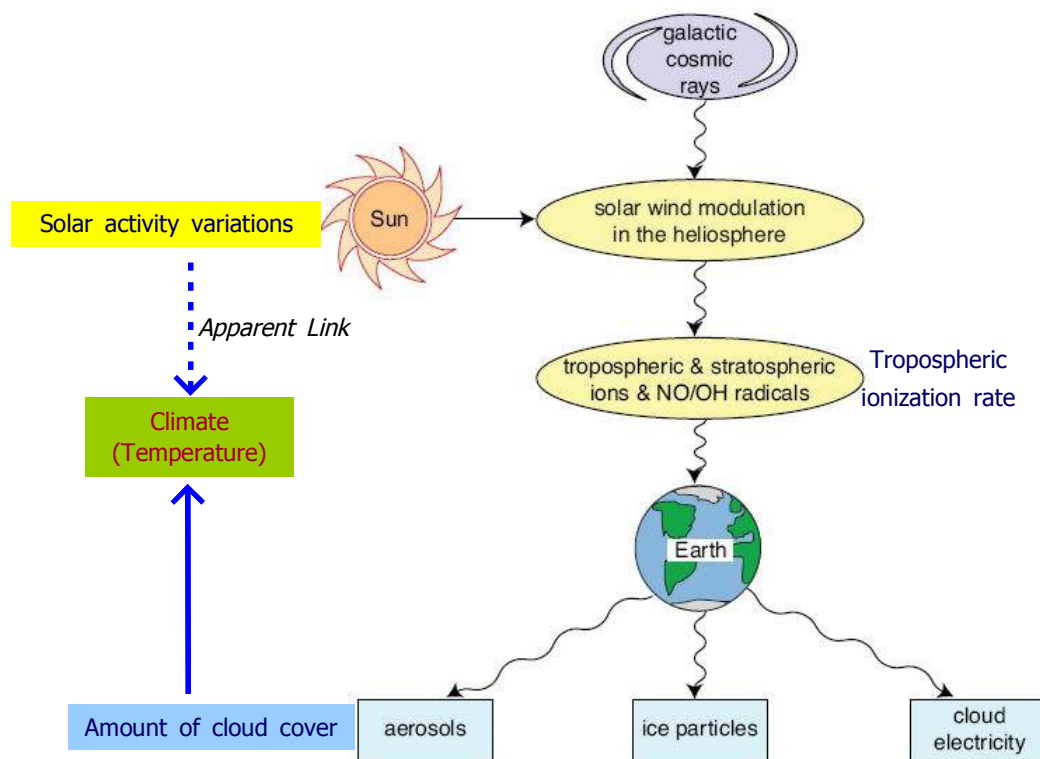


Figure 1 5. Cloud microphysics, general characteristics of the interaction of CRs with the atmosphere (Kirkby, 2002).

나. Cosmics Leaving Outdoor Droplets (CLOUD, 1998 CERN)

우주선 플럭스 변화가 지구 기후를 변화시키는 매개체로 작용하고 있다는 사실을 여러 관측 자료들로부터 확인되고 있다. Maunder Minimum으로 대표되는 기간 동안 지구 대기 기온의 강하는 흑점수의 유례없는 감소와 일치한다. 바로 이 시기 ^{14}C 의 특이한 증가는 태양활동의 저조로 우주선 플럭스의 증가로 만들어진 것이다. 우주선 플럭스의 증가로 우주선 입자가 공기 속을 통과하면서 만들어내는 이온들도 역시 증가한다. 그러면 이 이온들은 많은 구름 응축핵을 만들고 이것은 구름이 된다. 많은 구름이 뒤덮인 대기는 복사 에너지 차폐로 negative radiative forcing을 가져온다. 이 결과 지구 대기의 기온은 한랭화로 나아간다.

유럽 공동 핵물리학 연구기관 (CERN)에서는 1998년서부터 50여명의 물리학자들과 기상학자 그리고 환경 과학자들이 모여 우주선과 구름과의 관계를 연구하는 조직을 만들었다. 강력한 입자 가속기가 있기 때문에 우주선을 대신하여 높은 에너지의 기본 입자들을 사용

할 수가 있다. 이 프로젝트의 주요 도구는 월슨의 안개상자 (cloud chamber)이다.

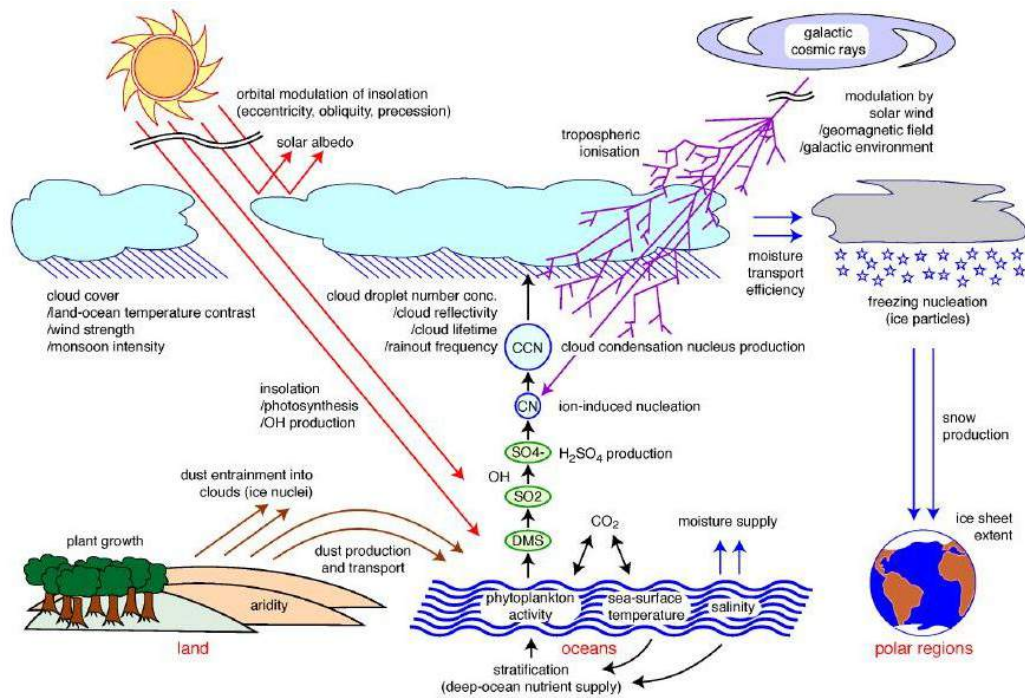


Figure 1 6. Potential responses of the climate system to forcing from galactic cosmic rays, assuming they influence cloud cover and droplet number concentration (Kirkby, 2007).

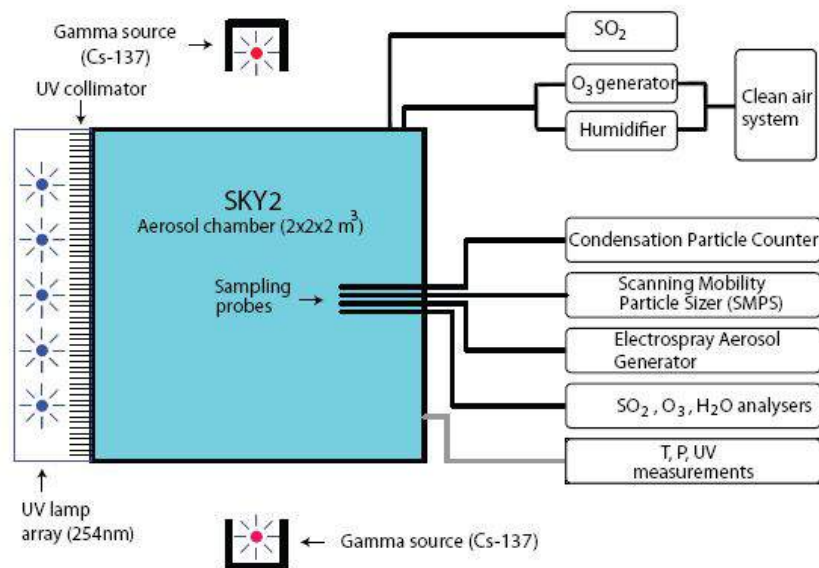


Figure 1 7. Schematic diagram of the SKY2 experiment(Svensmark et al., 2013).

Cosmics Leaving Outdoor Droplets (CLOUD, 살네에서 구름 형성을 조사한다는 의미)라는 세북의 연구 프로젝트를 수행하기하고 있다. 연구의 목표는 다음과 같다.

(1) 큰 이온들, 에어로솔 입자 그리고 얼음 결정 형성과 우주선 사이의 연결 고리 규명

- (2) 우주선이 에어로솔과 구름 입자의 특성을 어떻게 바꾸는지 물리학적 과정 규명
- (3) 대기의 조건에서 에어로솔과 구름의 특성에 우주선의 어떤 효과를 미치는지를 세현

다. 고에너지 입자가 고층대기에 미치는 영향

코로나 질량 방출 현상은 태양 활동 극대기에 지자기폭풍의 주요원인인 반면, 태양 활동의 태양 활동 감쇠기 및 극소기에 코로나 홀로부터 고속태양풍 (high speed solar winds streams, HSSs)의 발생빈도가 증가한다. 고속태양풍이 지자기 지수인 Dst 지수의 커다란 특징과 전형적으로 연관은 없지만, 여러 날 동안 지속되는 moderate 정도의 지자기 활동을 생성한다. 이와는 반대로 코로나 질량 방출 현상은 더 일시적이며 높은 지자기 활동이 1분에서 1 2 일까지 지속된다 (Richardson et al, 2000). 고속태양풍 동안 자기권에 유입되는 입자의 에너지는 코로나 질량 방출 현상 동안 자기권에 유입되는 에너지에 비교할만하거나 또는 이를 훨씬 초과하게 된다. 코로나 질량 방출 현상에 의해 유도 되는 것 보다 고속태양풍에 의해 유도되는 전자 플럭스의 상당한 증가가 발생하며 고에너지의 입자 플럭스와 자기권의 많은 전자기파 진행이 증가되어 나타난다 (Hilmer et al., 2000; Vassiliadis et al., 2007). 고에너지 입자들은 궁극적으로 자기권의 파동 (wave, 예를 들면 chorus, plasmaspheric hiss, electromagnetic ion cyclotron waves (EMIC), Pc5 micropulsations)과 상호작용하여 대기권으로 소멸된다.

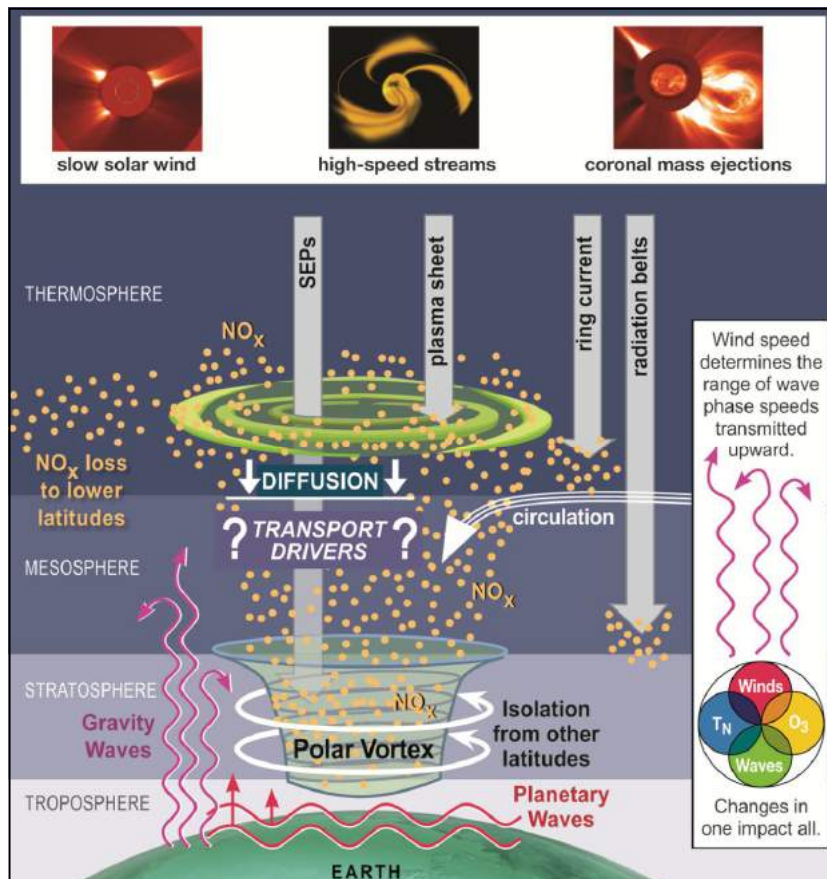


Figure 1 8. 고에너지 입자 유입으로 인한 대기의 영향. CME와 고속 태양풍에 생성되어 지구 대기권에 진입한 태양 양성자와 고에너지 전자입자에 의해 유도된 NO_x와 O₃를 파괴하

는 NO_x의 작용.

고에너지 입자들이 가지고 있던 운동량을 축적할 수 있는 고도는 에너지 대역에 따라 결정되므로 고에너지를 가진 입자일수록 더 낮은 고도까지 진입하여 에너지를 축적하고 낮은 에너지 입자일수록 높은 고도에 머물러 그곳에 에너지를 축적하게 된다 (Rees, 1989; Rodger et al., 2007). 은하 우주선, 태양 양성자 (solar proton), 고에너지 전자 (energetic electron)들과 같이 다양한 고에너지 입자들이 지구 대기권에 진입하여 상호작용을 하게 된다. 대기권의 구성 성분들과 반응하여 중성대기의 이온화를 이룬다. 이때 촉매 작용하는 NO_x와 HO_x를 생성하여 극지방 vortex로 강극적으로 오존을 파괴하기에 이른다. 즉, 은하 우주선 뿐만 아니라 지구 자기권으로부터 유입된 고에너지 전자와 양성자는 지구 대기에서 중요한 이온화의 요인이다. N₂의 이온화로 생성된 NO_x는 많은 양이 아랫방향으로 수송되어 성층권 중하부에서 오존에 영향을 주게 된다. Figure 1 9에 나타난 것처럼 고에너지 입자에 의해 생성된 NO_x가 오존을 파괴하여 극지방의 온도를 변화시켜 바람과 파동에 영향을 주게 된다.

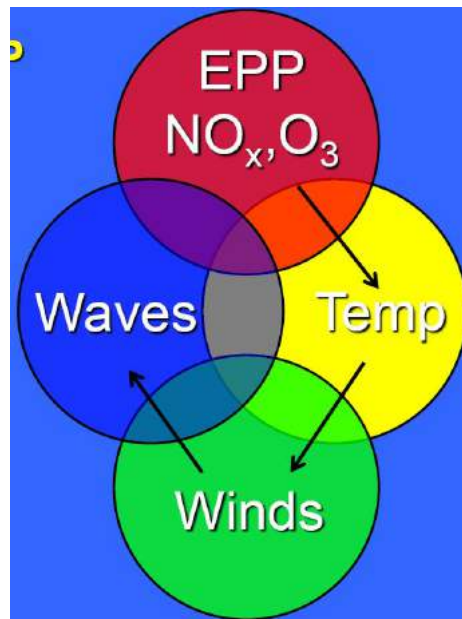


Figure 1 9. Changes in polar ozone result in changes in temperatures which change wind and wave filtering.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 연구개발 동향

Oh et al. (2008)은 태양 코로나 질량 방출 현상 (coronal mass ejection)에 의한 우주선 중성자 감소 현상인 Forbush decrease 현상의 발생 기작에 대한 새로운 모델을 제시하고 후속 연구를 통해서 (Oh & Yi, 2009; Oh & Yi, 2011) 우주선 중성자 연구 그룹을 환기시키고 국내 우주선 중성자 연구그룹을 국외에 소개하였다. 꾸준한 연구를 통해 국내에 전무하였던 우주선 중성자 관측기를 대전에 표준연구원 내에 설치하여 2011년 10월 10일에 관측 시작하였다. 이는 한양대학교와 한국원자력연구원과 공동연구를 통해 우주선 중성자 관측 설비 제작에 응용될 수 있는 다수의 방사선 계측기 원천 기술을 확보하였기에 가능하였다. 국내 우주선 중성자 관측기 및 국외 관측기 자료를 활용하여 우주선 연구 활용에 대한 기초적인 정보와 연구 방법 및 방향을 제시할 수 있게 되었다.



Figure 2 1. 대전 표준연구원 내에 설치된 우주선 중성자 관측소 (Kang et al., 2012).

이를 계기로 바틀 연구소 (Bartol Research Institute)의 세계적인 연구자와 하드웨어적 연구를 진행하였던 한양대학교 및 천문연구원 등과 우주선 중성자 연구그룹을 확장하여 활발한 연구 활동을 진행하고 있다. 또, 극지연구소와의 공동연구를 통해 McMurdo 기지의 우주선 중성자 관측기를 남극대륙의 장보고 기지로 이전을 추진함으로써 극지 우주환경 연구로의 연구 영역을 확장하였다.

제2절 국외 연구개발 동향

1. 국외 우주선 중성자 관측기

전 세계 주요 국가에서 우주선 연구의 중요성을 인지하고 100 여 개의 우주선 중성자 관측소가 서로 다른 지자기 위도에 설치하여 형성된 지구네트워크가 있다. 국제지구물리해인 1957년 이후 약 60년 동안의 표준 우주방사선 중성자 관측기의 세계 네트워크는 0.5 20 GeV 에너지 범위의 1차 우주방사선을 측정하고 있다. Figure 2 2는 전 세계에 설치된 우주 방사선 관측기 설치 현황을 나타낸다. 위도 60° 이상에 10개 이상의 우주선 중성자 관측기가 설치되어 있다. 또, 이 관측소들은 경도 상에서 일정한 간격을 두고 분포하고 있기 때문에 북극을 둘러싼 우주방사선 변화에 따른 고층 및 저층대기 변동을 모니터링하고 차후에 모델링하기에 좋은 조건을 갖추고 있다.

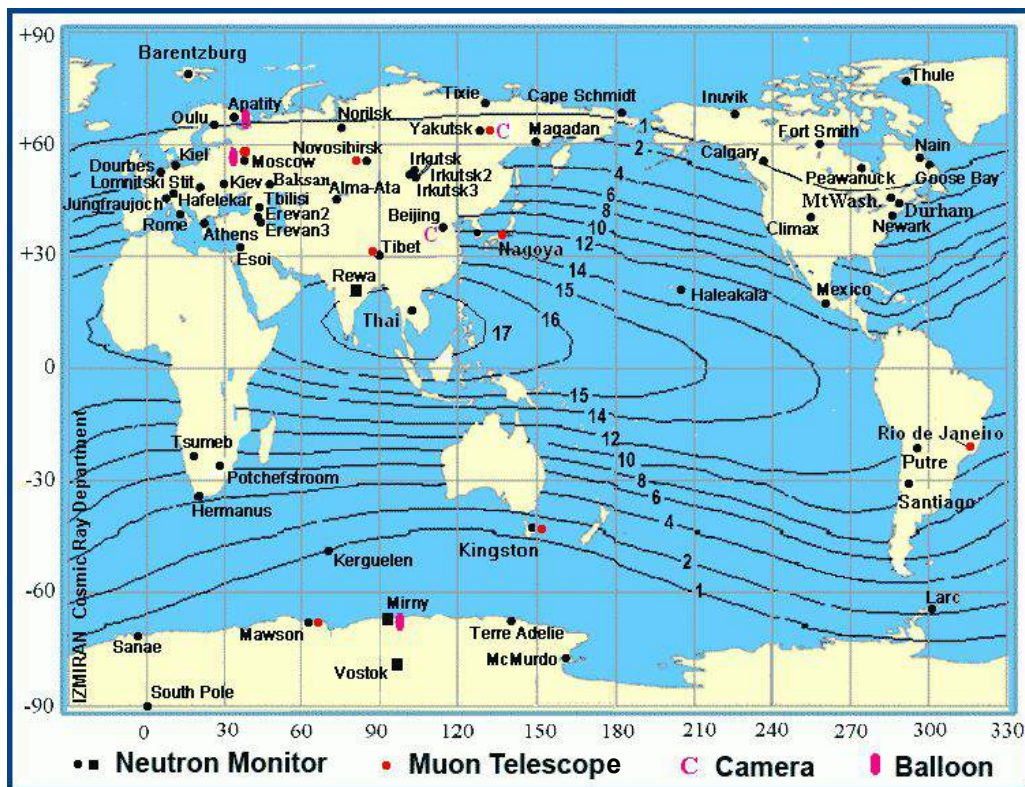


Figure 2 2. 주요나라별 우주선 중성자 관측소 설치 현황.

특히 Spaceship Earth (Figure 2 3)는 미국 델라웨어대학교의 마튼 연구소가 운영하고 있는 전 세계적 우주선 중성자 관측기의 네트워크이다. 일정한 각거리 간격으로 정확한 실시각으로 3차원 측정이 가능한 우주선 중성자 관측기의 네트워크이다. 4개 대륙에 11개의 우주선 중성자 관측기가 포함되어 있다. 미국, 러시아, 호주, 및 캐나다가 참여하고 있다. 9개 우주선 중성자 관측기는 40도 간격으로 적도면으로 따라 모니터링하고 있고, Thule와 McMurdo 관측소는 중요한 3차원 관측을 제공한다.

Spaceship Earth와 함께 유럽의 여러 우주선 중성자 관측기의 자료를 실시간으로 제공하

는 Neutron monitor database (NMDB: real time database for high resolution neutron monitor measurements)가 운영되고 있다 (<http://www.nmdb.eu>). 국제지구물리해인 1957년 이후 약 50년 동안의 표준 우주선 중성자 관측기의 세계 네트워크는 0.5 20 GeV 에너지 범위의 1차 우주선을 측정하고 있다. 측정이 에너지 범위에 따라 민감하기 때문에 더 낮은 에너지 범위의 측정은 위성에서 관측이 필요하다. 세계자료센터 (World Data Center)에서 제공되는 기본 자료 형태는 1시간 평균 자료이다. 그래서 좀 더 고분해능 측정 자료를 제공하는 database가 필요하다. NMDB는 12개 국가가 참여하고 2008년 9월에 구축된 이후 자료가 제공되고 있다.

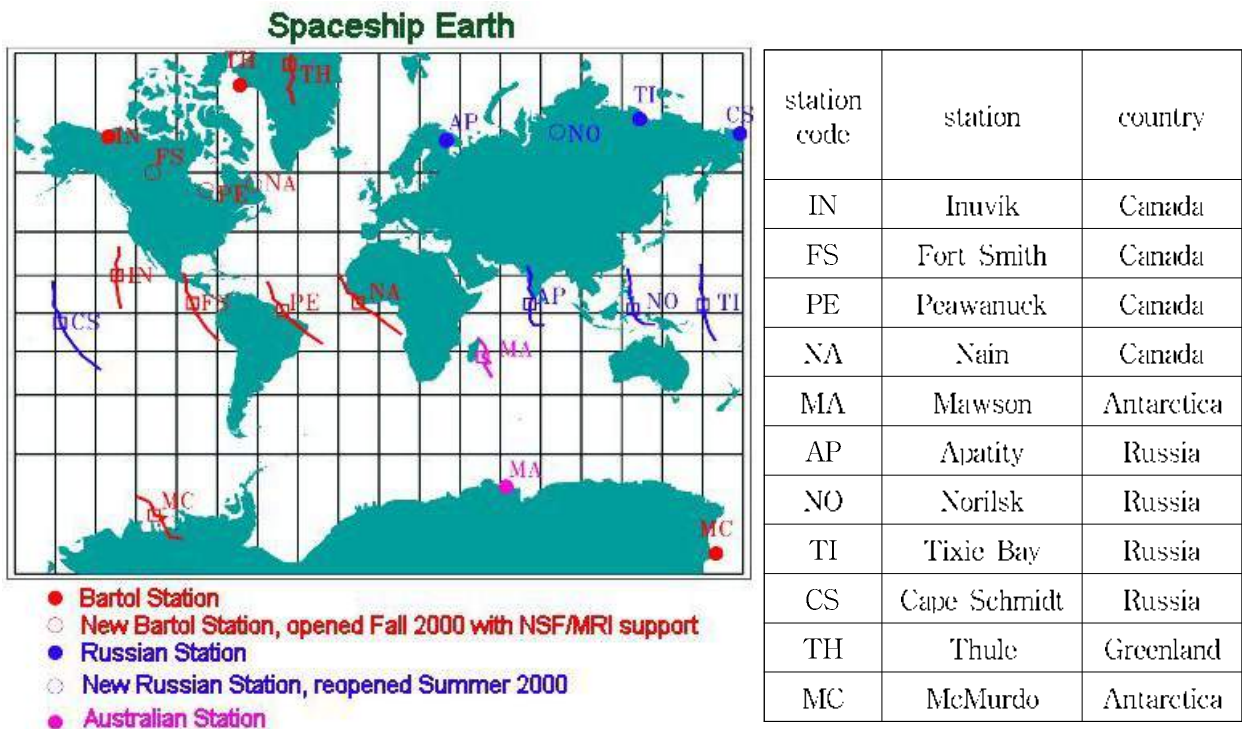


Figure 2.3. Spaceship Earth의 구성 및 참여 국가. 원은 우주선 중성자 관측기의 지리적 위치, 사각형은 viewing direction의 평균값, 선은 viewing direction의 범위를 나타낸다. 지구 자기장에 의해 입자들이 편향되기 때문에 관측소의 지리적 위치와 viewing direction이 다르다.

2. 고층 대기 및 기상 변화 감시

가. 열권 변화 관측망 및 감시

(1) 상부열권 (200 1000km): 중성 밀도, 속도, 온도 측정

490km 고도의 중성대기 밀도는 2001년부터 Challenging Mini Satellite Payload (CHAMP) 위성이, Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) 위성이 2003년부터 관측을 하고 있다.

(2) 하부열권 (90 200km): 중성대기 온도, 속도, 화학성분 관측

하부열권의 상태를 관측하기 위한 위성으로는 저궤도 위성 Upper Atmosphere Research Satellite (UARS)가 있는데, NASA에 의해 1991년부터 2005년까지 운영되었던 위성으로, O₃, NO_x, H₂O, CH₄, O₂를 측정하기 위한 Halogen Occultation Experiment (HALOE), O₃와 온도를 측정하기 위한 Microwave Limb Sounder (MLS)를 탑재하였다. Wind Imaging Interferometer (WINDII)를 이용하여 중성대기의 속도, 온도, 대기광 등을 관측하였고, High Resolution Doppler Imager (HRDI)를 이용하여 중성대기의 속도를 관측하였다.

또한 Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics (TIMED)는 역시 NASA에 의해 1994년부터 운영되고 있는 위성으로 Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry (SABER)를 이용하여 60-180km 고도의 대기화학 성분 CO₂ (14.9-15.2 μ m), O₃ (9.6 μ m), O₂(Δ) (1.7 μ m), OH (V), NO, H₂O와 온도를 측정한다. Global Ultraviolet Imager (GUVI)를 사용하여 Σ O₂/N₂ 비를 측정한다.

나. 전리권 변화 관측망 및 감시

(1) 중/상부 F층 (300-1000km): 이온속도, 이온 수밀도, 총전자밀도

NOAA에서는 1992년부터 시리즈의 Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) 위성을 잇달아 발사하여 이온속도, 이온 수밀도 등을 측정하고 있으며, CHAMP와 GRACE 위성도 총전자 수밀도 (TEC)를 측정한다. FORMOSAT 1-7은 대만의 National Space Organization (NSPO)에서 운영하는 위성으로 1999년부터 미션을 시작하여 TEC를 측정한다. 또, Communications/Navigation Outage Forecasting System (C/NOFS) 위성은 미 공군에 의해 운영되고 있으며 2008년부터 시작되어 전리권 전파교란을 탐지하는 역할을 한다. 400km에서 850km 고도에서 중성대기 속도, 이온속도, 플라즈마 밀도를 측정한다.

(2) 하부 F와 E층: 주로 오로라 관련 광학관측

UARS에 탑재된 WINDII가 파장대 OI (557.7nm), OI (630nm), OH (730nm)에서 80-300km 고도의 오로라광을 측정하며, TIMED의 GUVI는 100-180km 고도의 N₂ (LBH), OI (130.4nm), OI (135.6nm), HI (121.6nm)의 오로라광을 측정한다. NASA에 의해 1996년 발사된 Fast Auroral Snapshot Explorer (FAST)는 오로라 에너지를 관측함으로써 오로라 스냅샷을 얻는다.

다. 중간권 변화 관측망 및 감시 - PMC(or NLC) 관측, 화학성분 밀도측정

Aeronomy of ICE in the Mesosphere (AIM) 위성은 북극 야광운 (noctilucent cloud) 관측을 위해 2007년 NASA에 의해 발사되었으며, 스웨덴에서 주관하고 핀란드, 캐나다, 프랑스가 공동 참여한 Odin 미션은 Optical Spectrograph and Infrared Imager System (OSIRIS)를 이용하여 O₃, NO_x, Na, O₂를 측정한다.

라. 성층권 변화 관측망 및 감시

ESA에 의해 2002년에 발사되어 2012년까지 미션을 마친 Environment Satellite (ENVISAT)은 Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars (GOMOS)를 이용하여 고

도 20 80km 에서의 O₃, NO_x와 같은 대기의 화학성분과 온도를 관측한다. 또한 Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding (MIPAS)를 이용하여 성층권 (15 55km)의 온도와 기압, 그리고 NO₂, N₂O, CH₄, O₃, H₂O의 양을 측정한다. SCIAMACHY는 겨울철 북극성층권구름 (PSC)을 측정한다. 2004년부터 운용되고 있는 AURA는 NASA에 의해 운영되며 여러 나라의 협력을 받아 구축한 지구관측 과학용 위성으로 탑재하고 있는 MLS을 이용하여 성층권과 중간권의 온도와 O₃을 측정한다. 이러한 관측 자료들은 NASA (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>, Figure 2 4 참조)를 통하여 맵의 형태로 제공되며 매일의 오존홀의 모습을 볼 수 있다. 관측이 되지 않은 지역의 오존홀의 면적이나 최소오존량, 성층권 최저온도 등은 MERRA Modern Era (Retrospective Analysis for Research and Applications) 등의 모델을 사용하여 계산된다. NASA와 CNES (프랑스)가 공동 부자한 환경 위성 Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO)는 2006년부터 Lidar를 이용하여 겨울철 PSC를 측정한다.

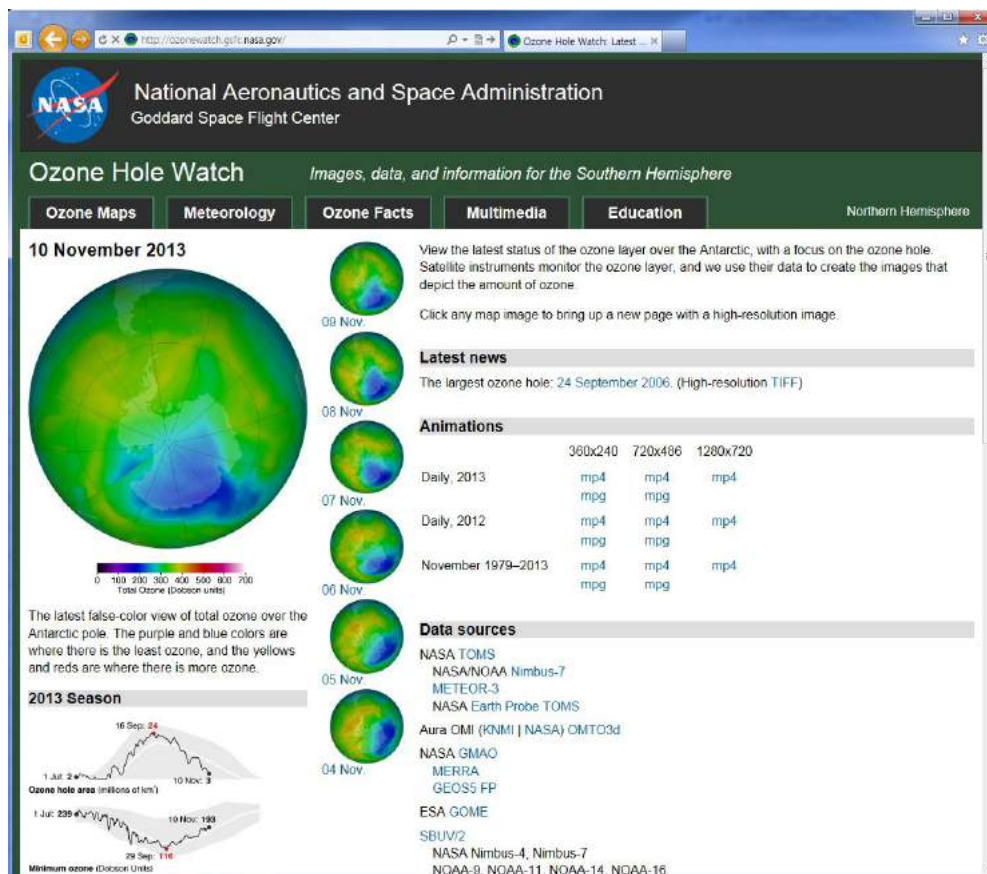


Figure 2 4. NASA의 홈페이지를 통해 제공되는 오존홀의 모습.

마. 하층 기상·기후 변화 관측망 및 감시

해수면 온도 이상 (Sea Surface Temperature Anomalies)는 영국의 East Anglia 대학 Climatic Research Unit의 웹사이트 (<http://www.cru.uca.ac.uk/cru/data/temperature/>)에서 다양한 형태로 제공한다. 또한, North Atlantic Oscillation (NAO) 지수는 <http://www.cru.uca.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>의 웹사이트에서 찾아볼 수 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 이론적, 실험적 접근방법

1. 북극 주변 우주방사선 자료 수집 및 분석

바툰 연구소가 운영하고 있는 남극의 관측소의 지난 40여 년 간의 우주선 중성자 자료 및 핀란드의 Oulu 관측소의 안정적인 우주선 중성자 관측 자료를 이용하여 고속태양풍과 관련된 북극 주변의 우주방사선 플럭스 변화 자료를 수집 및 정리하여 물리적 특성 (규모, 우주선 스펙트럼)을 분석한다. 태양의 코로나 질량방출이 지구에 진파되어 우주방사선 플럭스를 일시적으로 감소되는 Forbush decrease 현상의 동정하고 태양의 플레어와 고에너지 입자 방출현상 (solar proton event)에 의해 일시적으로 우주방사선 플럭스가 증가되는 지상중성자증가현상 (ground level enhancement)을 동정한다.

2. 고층 및 대기 현상 자료 수집

극지연구소는 극지 고층대기 관측을 위해, 북극에는 2002년과 2004년부터 다산기지 (79°N) 및 Esrange Space Center (67°N, Kiruna, Sweden)에 FT IR (Fourier Transform Infrared) 분광계를 각각 운영해 오고 있으며, 남극에는 세종과학기지 (62°S)에 2002년 설치한 Spectral Airglow Temperature Imager (SATI), 2007년 충남대학교 우주과학 실험실과 공동으로 설치한 유성레이다 (meteor radar), 그리고 2008년도엔 전천카메라 (All Sky Camera)를 설치하여 운영해 오고 있다. 지상 관측 장비 (ground based instrument)는 공간적 분해능에 한계가 있기 때문에, 남·북극 장비들로부터 획득한 자료와 함께 2000년 이후 고층대기 관측 목적으로 발사된 TIMED, AURA, AIM, MLS 등의 위성 자료를 활용한다. 고층대기 현상 (lightning)과 저층대기 현상 (구름, 기압, 온도 등)의 관측 자료 수집한다.

3. 우주방사선과 고층대기의 상관관계 도출

수집된 태양풍 인자, 우주방사선, 및 대기 현상 자료를 분석하여 태양풍 이벤트별 프로파일 작성한다. 작성된 태양풍 이벤트 (고속태양풍)의 특성에 따른 대기의 변화 형태를 분류와 상관관계를 찾아 태양풍의 인자 (고속태양풍), 우주방사선, 대기현상에 대한 특성 도출한다. 또한 우주방사선 플럭스 변화 시기의 고층대기 물리량을 분석하여 상관관계를 도출한다.

제2절 연구내용

1. 극 지역에 위치한 우주방사선 및 고층대기 현상 관측 자료의 활용

서로 다른 지자기 위도에 위치한 100 여 개의 우주방사선 중성자 관측소 (neutron monitor)의 전 지구네트워크가 있다. 국제지구물리해인 1957년 이후 약 60년 동안의 표준 우주방사선 중성자 관측기의 세계 네트워크는 0.5 20 GeV 에너지 범위의 1차 우주방사선을

측정하고 있다. 위도 60° 이상에 10개 이상의 우주선 중성자 관측기가 설치되어 있다. 또, 이 관측소들은 경도 상에서 일정한 간격을 두고 분포하고 있기 때문에 북극을 둘러싼 우주 방사선 변화에 따른 고층 및 저층대기 변동을 모니터링하고 차후에 모델링하기에 좋은 조건을 갖추고 있다.

2. 우주방사선 플럭스 및 고층 및 저층대기에 영향을 주는 태양인자 (태양풍 및 고속풍)에 대한 분석

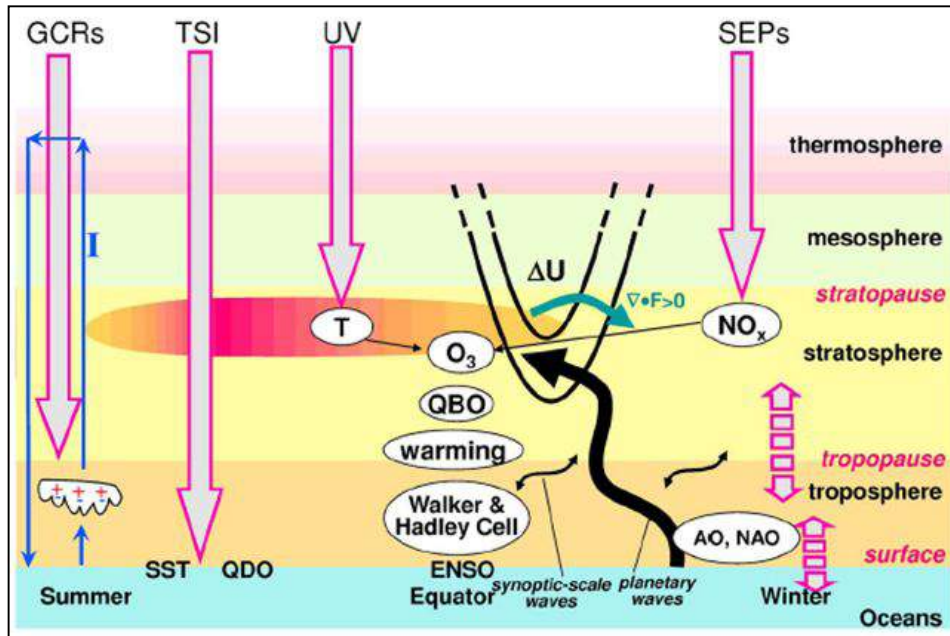


Figure 3 1. 지구 대기와 상호작용하는 고에너지 입자 (은하우주선, 태양 양성자, 고에너지 전자) (Kodera & Kuroda, 2002).

Figure 3 1은 지구 대기에 입사하여 지구 대기와 상호작용하는 입자의 종류와 대기 진입 깊이와 반응하는 고도를 표시한 것이다. 이들은 대부분 극지방에 침투하게 된다. 태양 고에너지 양성자는 간헐적으로 약 30km 높이까지 침투된다. 이에 달리 은하우주선은 지상으로부터 약 11km 높이인 대류권까지 지속적으로 입사된다. 고에너지 전자도 역시 간헐적으로 성층권 상부인 40km 높이까지 침투하여 대기와 상호작용하게 된다.

지구의 에너지 유입과 방출 (energy budget)에 있어서 대표적인 입사에너지는 총 태양복사 (total solar irradiance, TSI)이며, 그 중 자외선 (ultraviolet, UV) 복사는 대기부과율이 낮아 TSI와는 다른 고도에서 다른 입사들과 반응하므로 별도로 하나의 인자로 고려한다. 이들은 장주기의 태양활동에 따라 지속적으로 변동하고, 일시적인 태양의 폭발현상에 따라 갑자기 증가하기도 한다. 또한 일시적인 태양의 활동으로 간헐적으로 발생하는 고에너지 복사 (X 선, extreme UV, EUV 등)과 입자 (solar energetic particles, SEPs; energetic electron precipitation, EEP; relativistic electron precipitation, REP 등), 그리고 그로 인한 우주방사선 (galactic cosmic rays, GCRs) 감소현상 등이 고층대기 및 저층대기에 영향을 미치는 우

주환경인자로 볼 수 있다. 이들은 지상까지 도달해 대류권의 온도나 바람에 직접 영향을 주기도 하지만 그 이상의 고층대기에 변동을 일으켜 간접적으로 대류권까지 영향을 주기도 한다. 최근 수일에서 수개월의 짧은 시간 동안 태양-지구간의 연결에 의해 나타나는 현상으로 고속태양풍이나 행성간 자기장, 태양자기장영역구조, 그리고 지자기활동 등이 심도 있게 우주기상 인자로서 연구되고 있다. 한편, 고층대기는 이온화 상태에 따라 전리권 (D 층, E 층, 그리고 F 층)과 온도에 따라 대류권, 성층권, 중간권, 그리고 열권으로 나뉜다. 태양과 행성간 공간의 영역별 우주기상인자와 각 대기권 영역에 미치는 영향을 정리하면 아래 표와 같다.

Table 3 1. 태양과 행성간 공간의 영역별 우주기상인자가 각 대기권영역에 미치는 영향.

	영역별 우주기상인자									
	태양				행성간 공간				자기권	Cosmic Ray
	TSI	(E)UV	Flare (X-ray)	SEP	고속태양풍 시		태양풍	행성간 자기장	자기장변화 (K, Kp)	
					EEP	REP				
상부권	중성대기 밀도/온도 변화	중성대기 밀도/온도 변화	중성대기 밀도 증가; 속도 상승		중성대기 밀도 증가		중성대기 밀도/바람 변화	중성대기 밀도/바람 변화	중성대기 밀도/온도 변화	
하부권	중성대기 밀도/온도 변화	중성대기 밀도/온도 변화					중성대기 밀도/바람 변화	중성대기 밀도/바람 변화	중성대기 밀도/온도 변화	
전리권	플라즈마 밀도 변화	플라즈마 밀도 변화	플라즈마 밀도 변화		플라즈마 밀도변화; PMSE/PMC 발생		전자밀도/온도 변화	전자밀도/온도 변화	플라즈마 밀도 변화	
중간권				NOx, HOx 변화; 오존량 변화	온도/바람 변화; PMSE/PMC 발생; NOx, HOx 변화	온도/바람 변화; PMSE/PMC 발생; NOx, HOx 변화				
성층권	온도/바람 변화	온도/바람 변화; 오존변화		NOx, HOx 변화; 오존량 변화		NOx, HOx 변화; 오존량변화				
대류권	대기온도 변화					지표면 기압변화		지표면 기압변화	NAO변화; 기압변화	VAI 변화; 대기투명도 변화

3. 태양활동, 우주방사선과 고층 및 저층 대기의 상호작용 분석

장보고 과학기지는 지자기 위도가 높고, 오로라가 발생하는 오로라 오벌 (aurora oval)의 경계에 위치하기 때문에, 장보고 과학기지 상공의 고층대기는 태양 활동에 의한 영향뿐만 아니라, 지구 자기장을 따라서 유입되는 고에너지 입자들에 의해서도 직접적인 영향을 받게 될 것으로 예상된다. 태양 표면에서 여러 가지 고에너지 방출 현상들 (CME, Flare, SPE)이 발생하면, 그로부터 나오는 고에너지 입자들에 의해 지자기 폭풍이 발생하고, 극지방으로는 많은 고에너지 입자들이 유입된다. 뿐만 아니라 태양활동에 따라 변하는 우주선 플럭스의 대기 통과와 고층대기의 이온 밀도 및 에너지를 변화시키므로 우주선 플럭스 변화에 대한 추적도 필요하다. 고에너지 입자들의 극지방 유입은 극지방 고층대기를 가열하게 되는데, 그 가열의 정도에 따라 중성대기의 거대 규모 순환 구조도 변하게 된다. 고층대기에서의 기본적인 거대 규모 순환은, 여름철 반구가 가열됨에 따라 상승기류가 형성되고 이 흐름이 남북

방향 바람 (meridional wind)을 따라 이동하여 겨울철 반구의 고위도에서 하강하는 구조를 가진다. 여기에 지구 자기장을 따라 유입되는 많은 고에너지 입자가 겨울철 반구 극지방을 가열하게 되면, 거대 규모 순환을 상쇄하는 방향으로 공기의 흐름이 형성되기 때문에, 겨울철 반구 중·고위도 고층대기의 동역학적 구조에 있어서 변화를 야기하게 된다. 이 과정에서 중성대기가 이온권의 플라즈마들과 상호작용하며 변화하기 때문에, 이온권에도 직·간접적인 교란이 발생하여 불안정한 상태로 만들게 되며, 이온권의 교란은 인간 활동 (통신, GPS)에도 영향을 미치기 때문에 이러한 변화 과정에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

태양 표면상의 흑점 분포의 비대칭은 지구에 입사하는 우주방사선 플럭스의 분포에 영향을 주어 고층대기에까지 영향을 준다는 사실이 밝혀졌다. 또, 코로나질량방출에 의한 태양고에너지입자방출현상이 성층권 및 지상의 기상에게까지 영향을 줄 수 있다. 따라서 고속태양풍과 같은 태양풍 변화 (태양풍 압력 및 속도 분포)가 우주방사선과 성층권 및 지상 기상현상 (구름, 기압, 온도 등)에 주는 영향을 분석하여 그 상호작용을 규명하고자 한다. 우주방사선 플럭스 변화 시기의 고층대기 물리량을 분석하여 상관관계를 도출한다.

제3절 연구결과

1. 우주방사선 플럭스의 주기성 분석

태양 자기장의 쌍극자 극성은 태양활동 극소기에 가장 강하다. 최근 태양 활동 극소기 해인 2008년의 우주방사선 플럭스에 대해서 태양의 자전주기 27일의 주기성 강도를 분석하였다. 분석한 우주방사선 플럭스는 Table 3 2에 제시된 40개의 우주방사선 관측소의 자료를 활용하였다. 우주방사선 플럭스의 1일 평균 자료를 FFT를 이용한 주기 분석하여 27일 주기의 강도를 도출하였다. 주기의 강도의 유의미성은 95%의 유의 수준에서 9.56의 강도이다.

Figure 3 2와 3 3은 2008년의 우주방사선 플럭스의 주기성 분석 결과이다. Figure 3 2는 북반구에 위치하는 우주방사선 관측소의 결과이고 Figure 3 3은 남반구에 위치하는 우주방사선 관측소의 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이, 북반구에 위치한 우주방사선 관측소의 우주선 플럭스의 27일 주기성이 거의 유의 수준보다 커서 27일 주기성이 강하다. 그러나 남반구에 위치한 우주방사선 관측소에서의 우주선 플럭스는 27일 주기성이 약하다.

위도에 따른 우주선 플럭스 분포의 비대칭성 (asymmetry)은 아직 정확하게 설명되지 않는다. 다만 비정상적으로 태양활동이 약화된 태양활동 극소기인 2008년에는 태양자기장이 매우 약해져 표류 (drift)에 의해 우주선 플럭스 분포가 결정되었으리라 추측한다. 그러나 완벽하게 위도에 따른 비대칭성을 설명할 수 없다.

Table 3 2. List of neutron monitor to analyze the periodicity.

nm station	station code	Location					Rc (GV)	27d-periodicity	
		geographic		geomagnetic		altitude (m)		period (day)	power
		latitude	longitude	latitude	longitude				
Ahna-Ata B	AATB	43.14	76.60	34.23	152.71	3340	6.69	25.74	14.67
Apatity	APTY	67.57	33.40	63.07	125.31	181	0.65	27.04	24.08
Athens	ATHN	37.97	23.78	36.09	103.41	260	8.53	27.86	7.28
Baksan	BKSN	43.28	42.69	38.28	122.46	1700	5.6	27.44	13.29
Barentsburg	BBRG	78.06	14.22	74.91	127.04	70	0	26.98	20.37
Beijing	BELJ	39.08	116.26	29.01	-172.47	48	10	25.17	1.07
Calgary	CALG	51.08	-114.13	57.74	-52.13	1128	1.08	27.04	20.47
Cape Schmidt	CAPS	68.92	-179.47	64.10	127.73	0	0.45	27.04	9.96
ESOI	ESOI	33.30	35.80	29.56	113.71	2025	10.8	29.44	2.52
Fort Smith	FSMT	60.02	-111.93	66.73	-54.31	180	0.3	26.84	10.76
Hermanus	HRMS	-34.42	19.23	-33.90	84.67	26	4.58	25.89	16.21
Inuvik	INVK	68.36	-133.72	70.96	-87.67	21	0.3	26.45	27.39
Irkutsk	IRKT	52.47	104.03	42.32	176.89	435	3.64	26.07	8.77
Jungfraujoch	JUNG	46.55	7.98	47.15	90.81	3570	4.5	26.07	17.33
Kerguelen	KERG	-49.35	70.25	-56.61	133.61	33	1.14	26.07	10.54
Kiel	KIEL	54.30	10.10	54.25	96.21	54	2.36	27.65	21.27
Kingston	KGSN	-42.99	147.29	-50.11	-133.30	65	1.88	25.89	13.13
LARC	LARC	62.20	-58.96	72.03	20.10	40	3	26.84	20.92
Lomnický štít	LMKS	49.20	20.22	47.61	103.58	2634	3.84	25.89	13.50
Magadan	MGDN	60.04	151.05	52.04	-146.00	220	2.09	27.65	7.33
Mawson	MWSN	-67.60	62.88	-73.08	111.61	0	0.22	25.89	1.59
McMurdo	MCMU	-77.90	166.60	-79.00	-71.07	48	0.3	27.04	7.42
Mexico	MXCO	19.33	-99.18	28.03	-29.02	2274	9.53	27.86	3.01
Mirny	MIRNY	-66.55	93.02	-75.85	155.34	30	0.03	26.07	5.16
Moscow	MOSC	55.47	37.32	50.95	121.59	200	2.43	27.24	43.46
Nain	NAIN	56.55	-61.68	66.13	14.48	46	0.3	27.04	11.00
Newark	NEWK	39.68	-75.75	49.45	-4.20	50	2.4	27.24	17.12
Norilsk	NRLK	69.26	88.05	59.56	166.26	0	0.63	30.67	5.28
Novosibirsk	NOVBK	54.48	83.00	45.07	159.73	163	2.91	27.86	8.65
Oulu	OULU	65.05	25.47	61.89	116.85	15	0.8	27.04	39.70
Peawanuck	PWNK	54.98	-85.44	64.43	-17.80	0	0	27.04	12.07
Potchefstroom	POTC	-26.68	27.10	-27.71	94.22	1351	7	30.17	10.65
Princess Sirindhorn	PSNM	18.59	98.49	8.62	171.08	2560	16.8	27.44	13.34
Sanae	SANB	-71.67	-2.85	-66.2	47.19	856	0.86	26.84	7.38
Tbilisi	TBLS	41.43	44.48	36.21	123.63	510	6.73	26.26	5.79
Thule	THUL	76.50	-68.70	86.33	12.98	26	0.3	27.04	14.10
Tibet	TIBT	30.11	90.53	20.37	164.08	4300	14.1	27.44	14.23
Tixie Bay	TXBY	71.36	128.54	61.69	-166.10	0	0.48	26.07	19.39
Tsumeb	TSMB	-19.20	17.58	-18.75	86.36	1240	9.21	25.70	7.22
Yakutsk	YKTK	62.01	129.43	52.41	-163.43	105	1.65	27.44	4.77

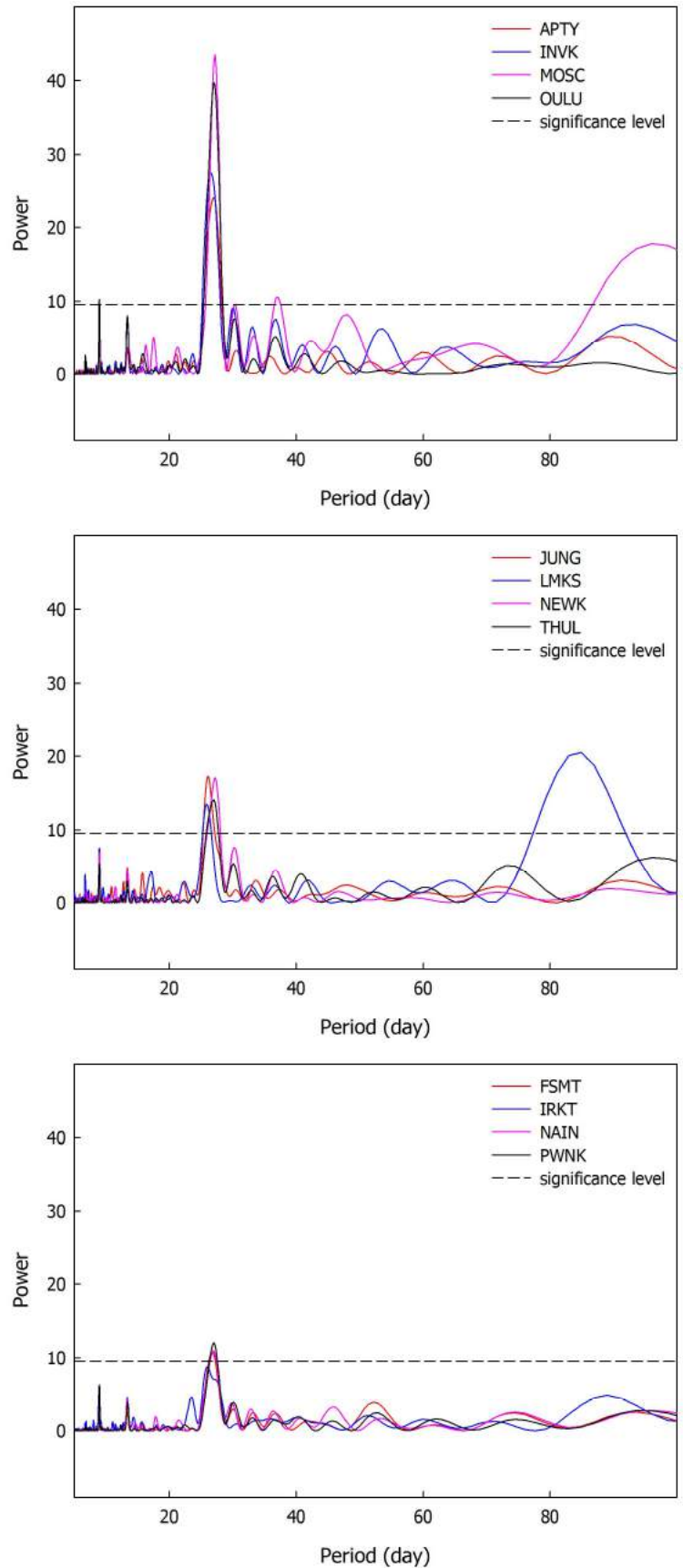


Figure 3 2. Period analysis of solar minimum year in 2008. The sequence of figures descending power of 27 day period at northern neutron monitors.

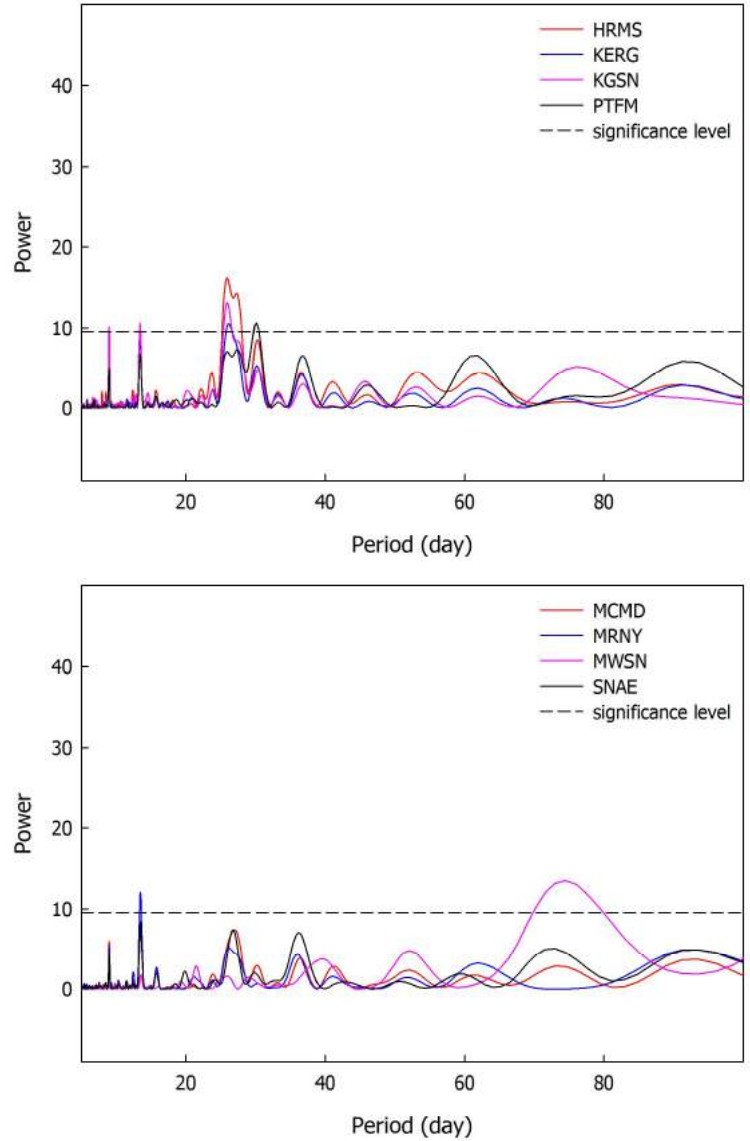


Figure 3 3. Period analysis of solar minimum year in 2008. The sequence of figures descending power of 27 day period at southern neutron monitors.

Figure 3 4는 지자기 위도 (geomagnetic latitude)에 따른 우주방사선 플럭스의 27일 주기성 분포이다. 우주방사선 플럭스의 27일 주기성은 지자기 위도에 높아짐에 따라, 즉 고위도로 갈수록 증가한다. 우주방사선 플럭스의 27일 주기성은 우주방사선 관측소의 cutoff rigidity보다 지자기 위도와 더 깊은 관련이 있는 것으로 분석된다.

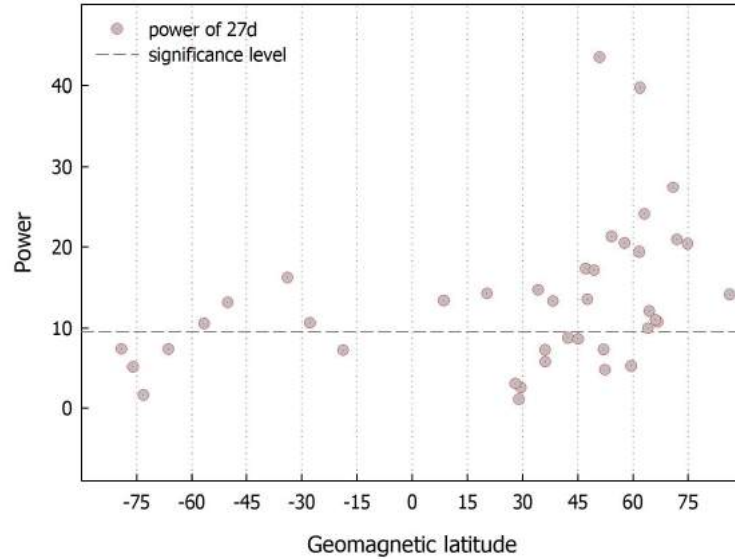


Figure 3 4. Distribution of power at 27 days in solar minimum year in 2008.

2. 태양주기에 따른 태양 밝기의 변화

태양 복사는 지구대기의 동역학적 순환 및 성분 변화에 영향을 준다. 특히 자외선과 같은 고에너지 복사는 고도에 따른 대기 성분 분포에 영향을 준다. 본 분석에서는 총 태양복사밀도 (total solar irradiance)가 태양주기에 따른 변화를 보이는 데서 출발한다. 파장에 따른 태양복사의 시계열 분석을 수행하였다. *SORCE*의 위성자료를 이용하여 파장대별 시간에 따른 변화를 분석하였다. Figure 3 5, 3 6은 흑점수 (sunspot number)와 총 태양복사밀도의 태양주기 변화를 나타낸다. Figure 3 6에 나타난 것처럼 총 태양복사밀도는 흑점수 변화와 같은 태양주기 변화를 잘 나타내고 있다.

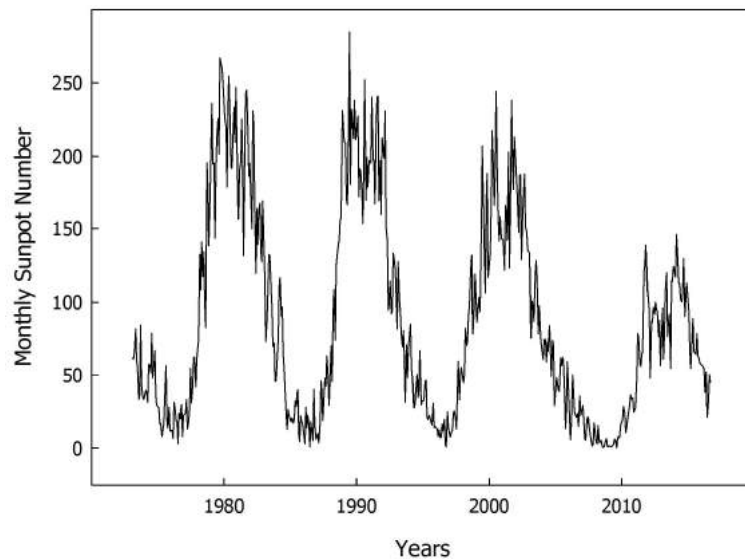


Figure 3 5. Solar cyclic variation of monthly sunspot number.

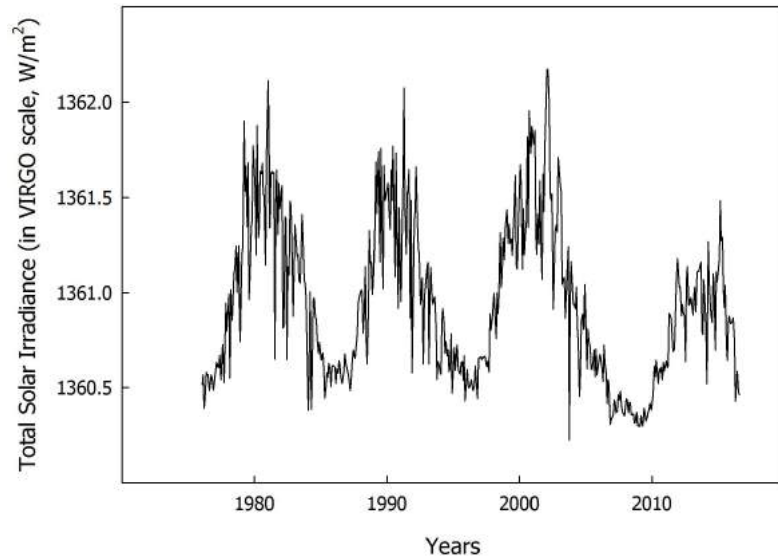


Figure 3 6. Solar cyclic variation of total solar irradiance

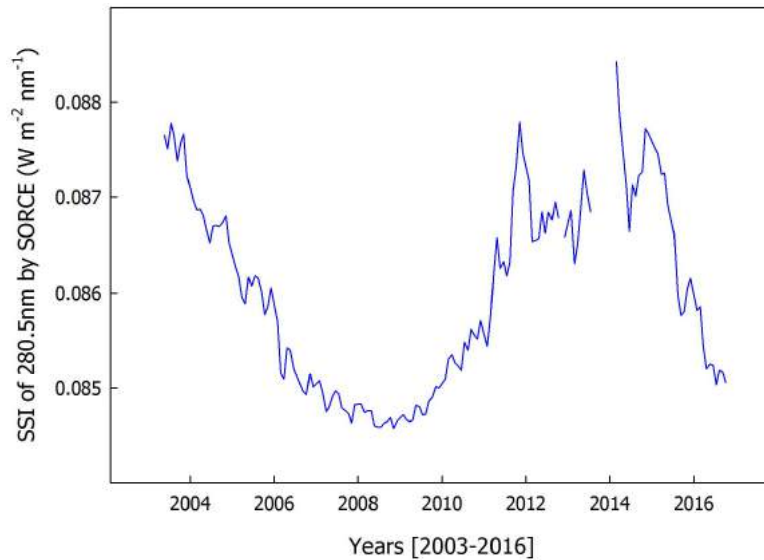


Figure 3 7. Solar cyclic variation of spectral solar irradiance at 280.5nm

Figure 3 7부터 Figure 3 9는 파장에 따른 태양 복사 (spectral solar irradiance)의 시계열 변화를 나타낸 그림이다. 파장이 짧은 280.5nm, 394.9nm에서 태양 복사는 태양주기 변화를 잘 보인다. 태양활동 극소기인 2008년 근처에서 최소를 보이다가 태양주기의 극대기인 2014년에 최대를 보인다. 그러나 가시광 영역에서 파장이 길어지면서 태양주기 변화가 사라진다. 즉 blue, green, yellow, red로 파장이 길어질수록 태양주기 변화가 사라지고 점진적으로 증가하는 형태를 보인다. 이는 주로 짧은 파장의 복사는 태양활동과 관련된 이벤트, 예를 들면, 코로나 질량방출, 플레어, 전파 폭발과 관련된 현상에서 방출되기 때문에 태양활동 극대기 때 태양 복사가 증가하고 태양활동 극소기 때 태양 복사가 감소된다. 그러나 태양활동과 크게 관련 없는 가시광의 태양 복사는 태양주기 변화를 따르지 않는 것으로 보인다.

이러한 결과는 특정 파장과 반응하는 대기 성분의 변화를 예측할 수 있게 한다. 즉, 자외선과 같은 짧은 파장과 반응하는 대기 성분은 태양주기 변화를 따를 수 있고 가시광과 반응하는 대기 성분은 태양 주기 변화를 따르지 않을 수 있다는 것을 시사한다.

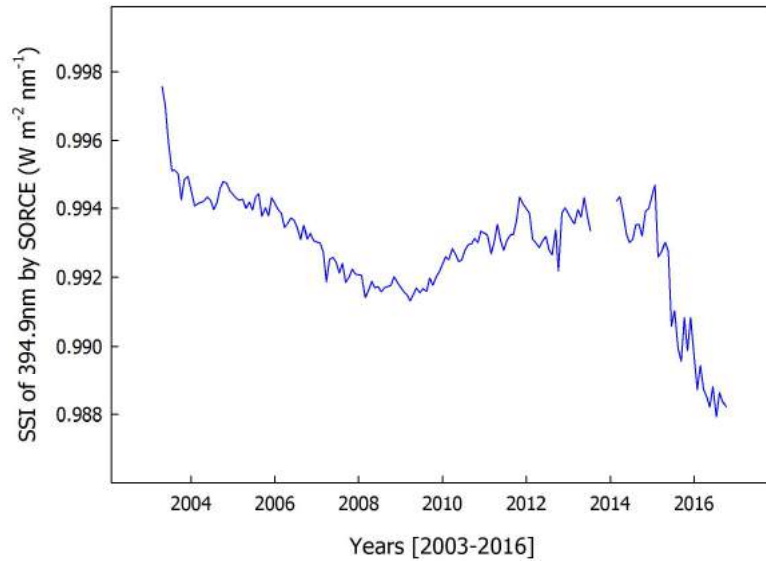


Figure 3 8. Solar cyclic variation of spectral solar irradiance at 394.9nm.

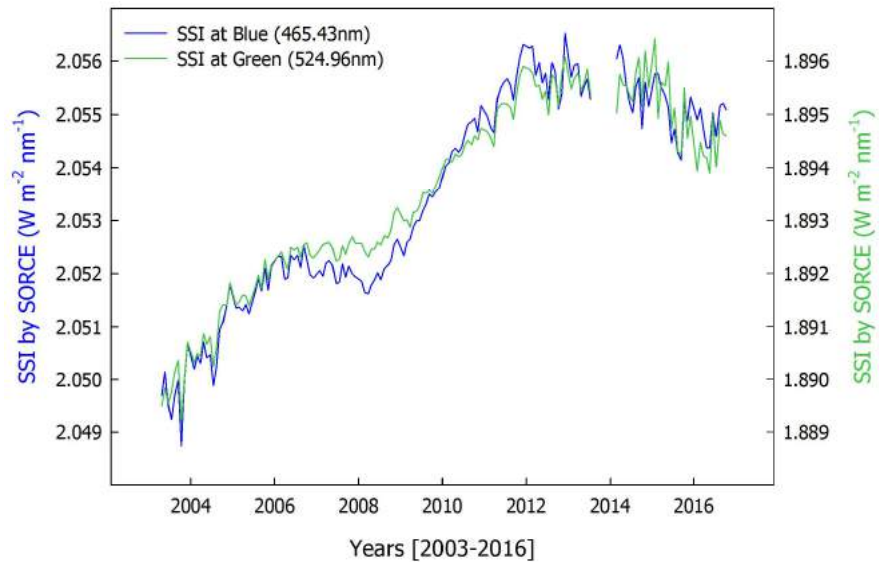


Figure 3 9. Solar cyclic variation of spectral solar irradiance at blue and green.

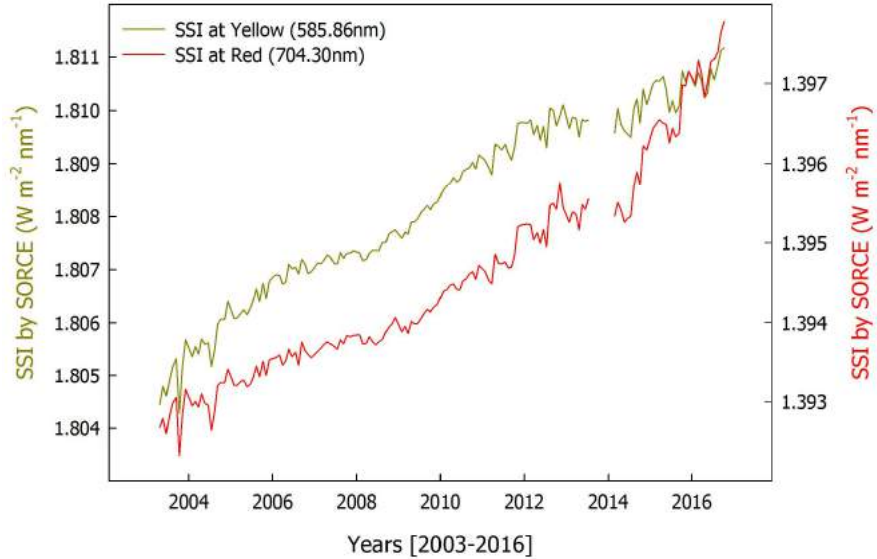


Figure 3 10. Solar cyclic variation of spectral solar irradiance at yellow and red.

3. 태양자기장 극성에 따른 지구자기장 활동

지구자기장 활동이 하지와 동지일 때보다 춘분과 추분일 때 강한 계절변화 (semiannual variation)는 잘 알려져 있다. 이 계절변화를 설명하는 가설은 axial hypothesis (Rosenberg & Coleman, 1969; Bohlin, 1977), equinoctial hypothesis (McIntosh, 1959; Svalgaard, 1977), 및 Russell McPherron effect (Russell & McPherron, 1973)이 있다. 본 분석은 춘분과 추분때 지자기 활동이 강하다는 일반적인 현상에서 더 나아가 11년 주기로 태양극성의 역전에 의해 태양자기장이 지구자기장과 평행 (parallel), 반평행 (anti parallel) 상태에 따라, 춘분 혹은 추분에서 더 강한 자기장이 강해지는 경향을 밝히고자 한다.

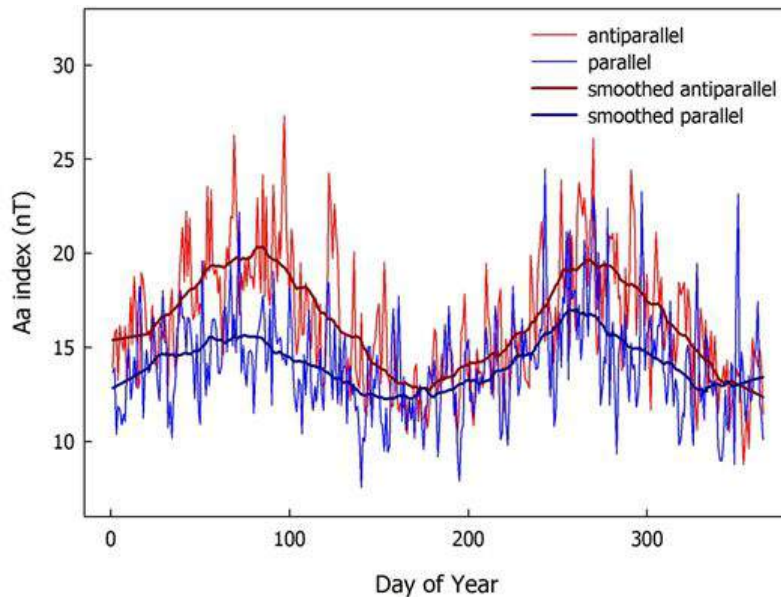


Figure 3 11. Aa index averages of three years at solar minimum years in opposite solar magnetic polarities.

가장 오랫동안 중·저위도의 자기장 활동을 나타내는 지표로서 관측되어 온 aa지수를 1일 평균값을 취한 Λa 지수를 태양활동 극소기해의 근처 3년 동안 자료를 1856년 이후로 1996년까지 총 14회의 태양주기를 분석하였다.

Figure 3 11은 태양자기장 극성에 따른 Λa 지수의 계절변화를 나타낸다. 14회의 태양주기에서 태양자기장이 지구 자기장과 평행인 7회의 태양주기 그리고 반평행인 7회의 태양주기에 대해 각각 평균을 취한 값이다. 그림에 나타난 바와 같이 태양자기장이 지구자기장과 반평행인 경우 지구자기장 활동이 강하다는 것을 알 수 있다.

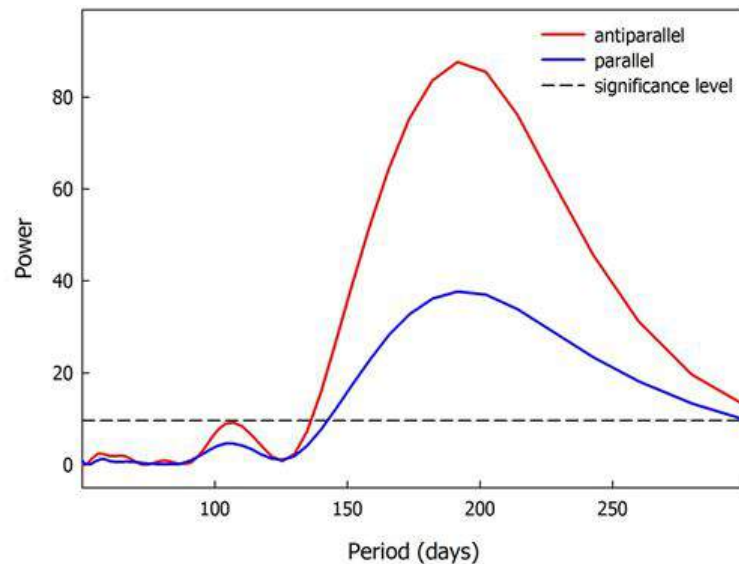


Figure 3 12. Periodic analysis of the Aa index averages of three years at solar minimum years in opposite solar magnetic polarities for the entire dataset since 1844.

Figure 3 12는 Figure 3 11과 같은 자료에 대해서 주기 분석을 한 결과이다. 약 180일 근처의 주기강도가 춘분 및 추분 때 자기장 활동이 강한 계절변화를 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 계절변화의 강도 역시 태양자기장이 지구자기장과 반평행일 때 매우 강하게 나타난다. 즉 반평행일 때 계절변화가 뚜렷하게 나타난다는 뜻이다.

4. 지구 대기 변화에 영향을 주는 고에너지 입자의 영향

가. 태양고에너지양성자 (solar proton event, SPE)의 영향

SPE는 오존을 파괴하는 NO_x 의 생성하는데 그 대표적인 예로 2003년 10월/11월 (할로윈 이벤트)에 발생한 매우 강한 SPE의 영향으로 성층권에서 오존의 밀도와 관계하는 NO_x 의 양이 증가하였다. 일반적으로 강한 SPE가 발생하면 상부 성층권의 NO_x 농도가 10배 이상 증가되기도 하는데, NO_x 는 광화학적으로 생존기간이 길기 때문에 증가된 채로 수 개월 지속되기도 한다. 이러한 경우 오존의 감소는 수 십 %에 이르게 된다 (Lopez Puertas et al., 2005). 할로윈 이벤트 기간의 SPE의 결과로 다음해 (2004년) 봄에 전혀 없이 높은 성층권의 NO_x 농도가 관측되었다 (Seppala et al., 2007b). 이것은 중간권 하부연권 지역, 즉 성층권

위에서 생성된 NO_x가 강한 polar vortex에 의해 성층권으로 내려와 직채된 것으로 간주된다 (Randall et al., 2005). 또한, 23 55km 고도에서 NO_x 농도는 Ap 지수와 좋은 상관관계가 있는 것으로 보고된 바 있다 (Siskind et al., 2000; Seppala et al., 2007a). SPE 발생 전후의 OH의 양 역시 변화가 있음을 알 수 있다 (Jackman et al., 2011).

나. 오로라 전자입자의 영향

열권의 NO 농도가 오로라 전자입자의 유입기간 동안 상당히 증가하는 것으로 알려져 있다 (Barth et al., 2001). NO는 특히 전류에 의해 유도된 이온 중성자 충돌 (= Joule heating)에 의해 하부 열권 (140 200km)에서 마닥상태의 질소와 산소분자와의 반응이 중요한 NO의 원인이 된다. 중간권 하부열권 지역, 특히 NO가 최대로 관측되는 110km에서, NO의 증가는 마닥상태의 N(⁴S)와 1차 여기된 N(²D)에서 질소원자가 상대적으로 많은 양이 생성되기 때문이다. N(²D)는 유입되는 전자 (precipitating electrons)에 의해 N₂가 분리됨과 NO⁺와 산소원자의 N₂⁺이온과 반응하여 세결합함으로써 주로 생성될 수도 있다. NO의 첫 번째 위성 관측 (Rusch and Barth, 1975)은 극지방에서 NO의 증가량을 보였다. 그 후 여러 관측연구에서, 하강하여 유입되는 오로라전자와 열권의 NO 농도 사이에 좋은 상관관계를 보여주고 있다.

다. 상대론적 전자의 하강 (relativistic electron precipitation, REP)

REP는 CME에 의한 강한 지자기 폭풍현상에 의해서 또는 고속태양풍에 의한 자기 폭풍에 의해 야기된다. 대부분의 지자기폭풍은 반 알렌 벨트에 있는 전자의 양을 변화시키는데, 자기권계면 밖으로 밀려 나가거나 (e.g., Ukhorskiy et al., 2006), 대기권 안으로 들어와 유실된다 (Clilverd et al., 2009).

REP의 마이크로 버스트 (microbursts), 즉 1초 이내의 매우 짧은 시간 동안 1MeV 이상의 에너지를 포함하는 강하현상 (precipitation events)은 지방시로 아침 시간에 지표면으로부터 L=4 6(1L=1Re=6,400 km)인 자기권 영역에서 일어나며 초장과 (very low frequency: VLF) 코러스 웨이브 (chorus waves)와 관련이 있다. 이로 인한 전자의 유실은 하루 만에 방사능대를 비울 수도 있을 만큼 강하게 일어나기도 한다. 그러므로 이는 중성 대기에 상당한 영향을 미칠 것으로 보인다. 지상기반 관측의 하나로서, Balloon borne sensor (e.g., Millan et al., 2002)와 하부 이온층 VLF 측정기 (Clilverd et al., 2006)로 보았을 때, 늦은 오후와 초저녁 지역에서 몇 분에서 몇 시간 동안 지속되는 전자하강 유입 현상이 관측되는데, 이는 L=4 7인 높이에서 일어난 것으로서, EMIC wave에 의해 야기되는 것으로 제안되고 있다.

Kavanagh et al. (2012)은 고속태양풍이 지속되는 동안 (7 9일) 라이오미터 (riometer) 관측을 통해 D/E 층에 고에너지 입자가 진입된 것을 확인하였다. 또한, Lee et al. (2013)은 D 층 (80 90km)에서 관측되는 극지방 중간권 여름철 에코현상 (polar mesospheric summer echo, PMSE)의 일일증감 주기가 고속태양풍의 주기와 거의 일치함을 보임으로써, 고속태양풍 기간에 D 층 이온화에 기여하는 고에너지 입자의 유입을 확인하였다.

라. 성층권 오존의 파괴

성층권 오존 (O_3)의 주요 유실과정 중의 하나가 촉매적 NO_x 사이클이다. 전지구적 성층권의 NO_x (NO , NO_2)의 주요 생성 원인은 대류권으로부터 위로 올라간 N_2O 의 산화작용이다. 두 번째 원인은 EPP인데, 하강 입자의 에너지가 높으면 높을수록, 에너지가 침전/축적되는 고도는 낮게 되며 (Thome, 1980), 그 빈도수가 낮아진다. 매우 높은 에너지 레벨의 전자 ($E > 300keV$)와 양성자 ($E > 30MeV$)로 인해 성층권에서 직접 NO 가 생성될 수 있다. 이는 매우 강한 지자기활동이나 SPE가 일어날 때에 제한적으로 발생한다. 오로라를 생성하는 낮은 에너지를 갖는 전자 ($< 30keV$)와 양성자 (1MeV) 들은 열권에 까지 진입하여 오로라와 NO 를 생성한다.

중간권과 열권에서 생성된 NO 가 Figure 3 13에서 보는 마와 같이 극지방 겨울동안 성층권으로 하강하여 O_3 을 파괴한다는 것이 이미 널리 받아들여지고 있다 (e.g. Callis et al., 2001; Randall et al., 1998, 2001, 2005; Siskind et al., 2000). 이는 여름 태양빛이 있는 동안에는 상부중간권이나 그 이상의 고도에서 NO_x 가 1일 또는 그 이하의 수명을 갖기 때문에 거의 불가능한 것으로 알려졌다. Rozanov et al. (2005)의 모델 실험에 따르면 EPP NO_x 로부터 증가된 O_3 손실은 고위도의 중간 성층권에서 2K 만큼의 cooling을 야기할 수 있으며, 지상에서 그 온도의 변화를 감지할 수 있을 만한 것이라고 제안하고 있다.

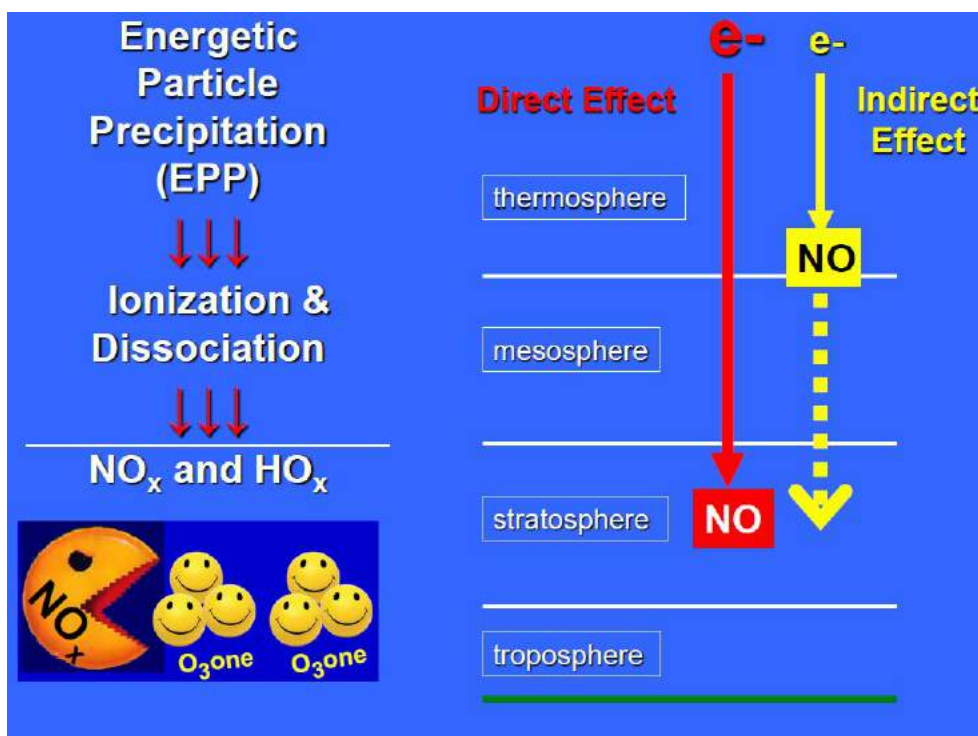


Figure 3 13. EPP에 의해 생성된 NO_x 와 HO_x 에 의한 O_3 의 파괴 (Randall et al., 2005).

5. 우주방사선 관측 자료 데이터베이스 구축

장보고 과학기지에 설치된 우주선 중성자 관측기로부터 2015년 12월 15일부터 정상적으로 관측 자료를 생산하고 있다. 우주선 중성자 관측기로부터 매일 1분 평균, 1시간 평균 관측 자료와 함께 자료의 질을 분석한 파일까지 컴퓨터에 저장하고 있다. 이 관측 파일을 원격접속을 통해 백업되고 있으며 우주방사선 플릭스의 네트워크인 NMDB에 등록되어 일반 사용자에게 배포되었다.

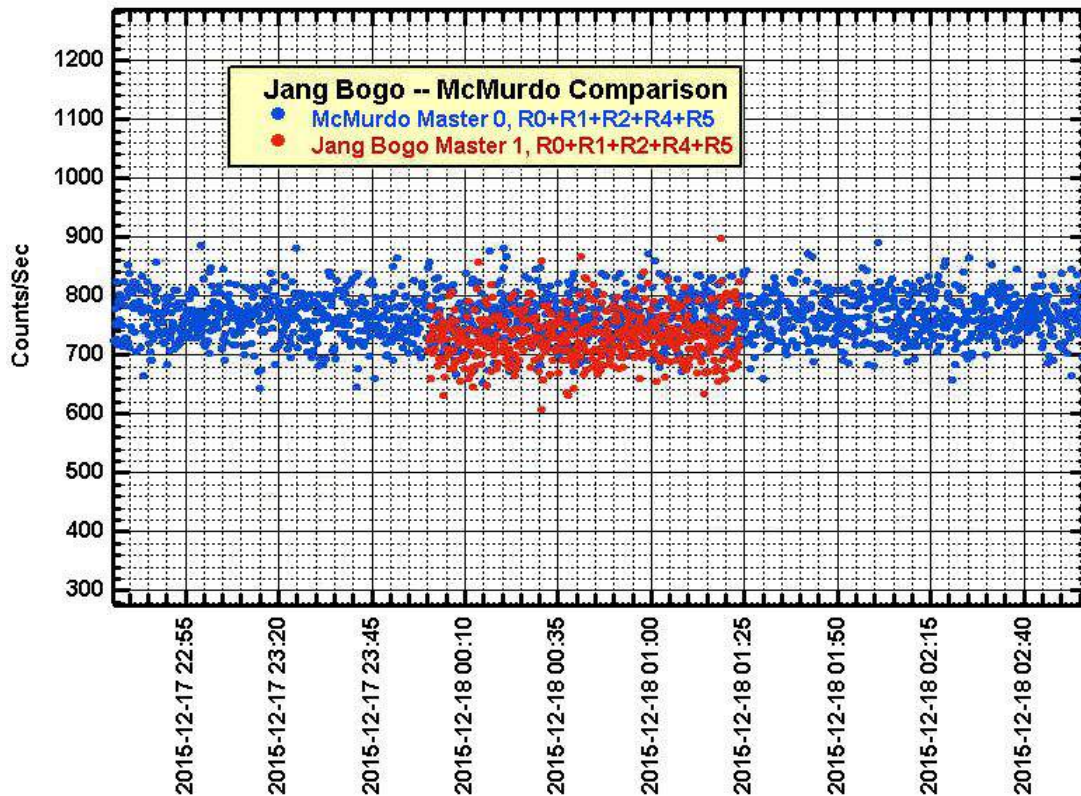


Figure 3 14. Comparison of initial data between Jang Bogo.

Figure 3 14는 장보고 과학 기지에 가까이 있는 McMurdo 기지의 우주선 중성자 관측기 자료와 비교한 결과로서 McMurdo와 Jang Bogo 우주선 중성자 관측기의 초기 관측 자료가 비슷한 수준을 보여주고 있어서 설치 후 안정화되어 있음을 알 수 있다. 또, Figure 3 15는 2015년 30일에 발생한 Forbush decrease 현상을 McMurdo와 Jang Bogo에서 동시에 관측하여 두 우주선 중성자 관측기의 동일성을 확인할 수 있다.

한편, Figure 3 16은 남극 주변의 우주선 중성자 관측소의 asymptotic direction을 나타낸 그림이다. 고도 약 30km에서부터 추적되는 우주선 입자의 궤적인 asymptotic direction이 McMurdo와 Jang Bogo에서 같은 방향임을 알 수 있다. 즉, McMurdo와 Jang Bogo는 같은 시야에서 관측되는 우주선의 플릭스를 기록하고 있다는 설명이다. 이로써 Jang Bogo 우주선 중성자 관측기가 McMurdo 우주선 중성자 관측기를 계승 가능한 것으로 보인다.



Figure 3 15. Forbush decrease on December 30 2015 at Jang Bogo and McMurdo.

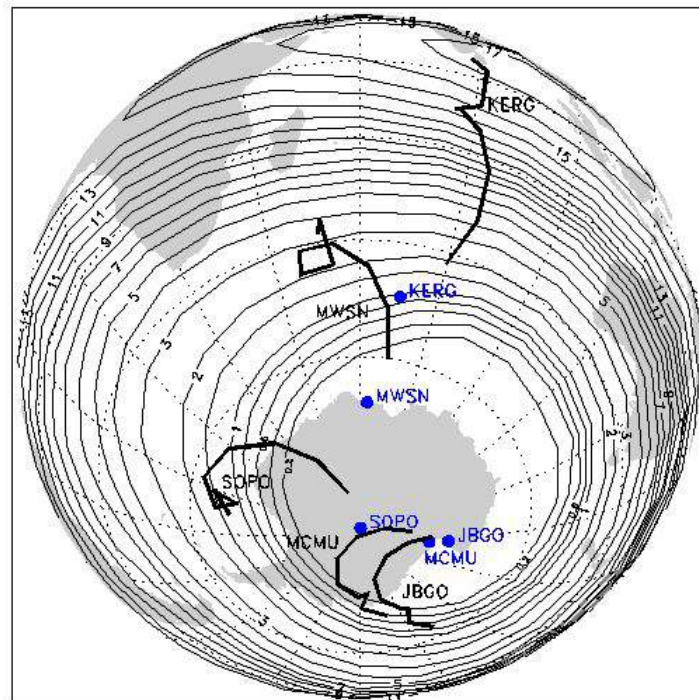


Figure 3 16. Asymptotic direction on December 20 2015 (courtesy of W. Nuntiyakul).

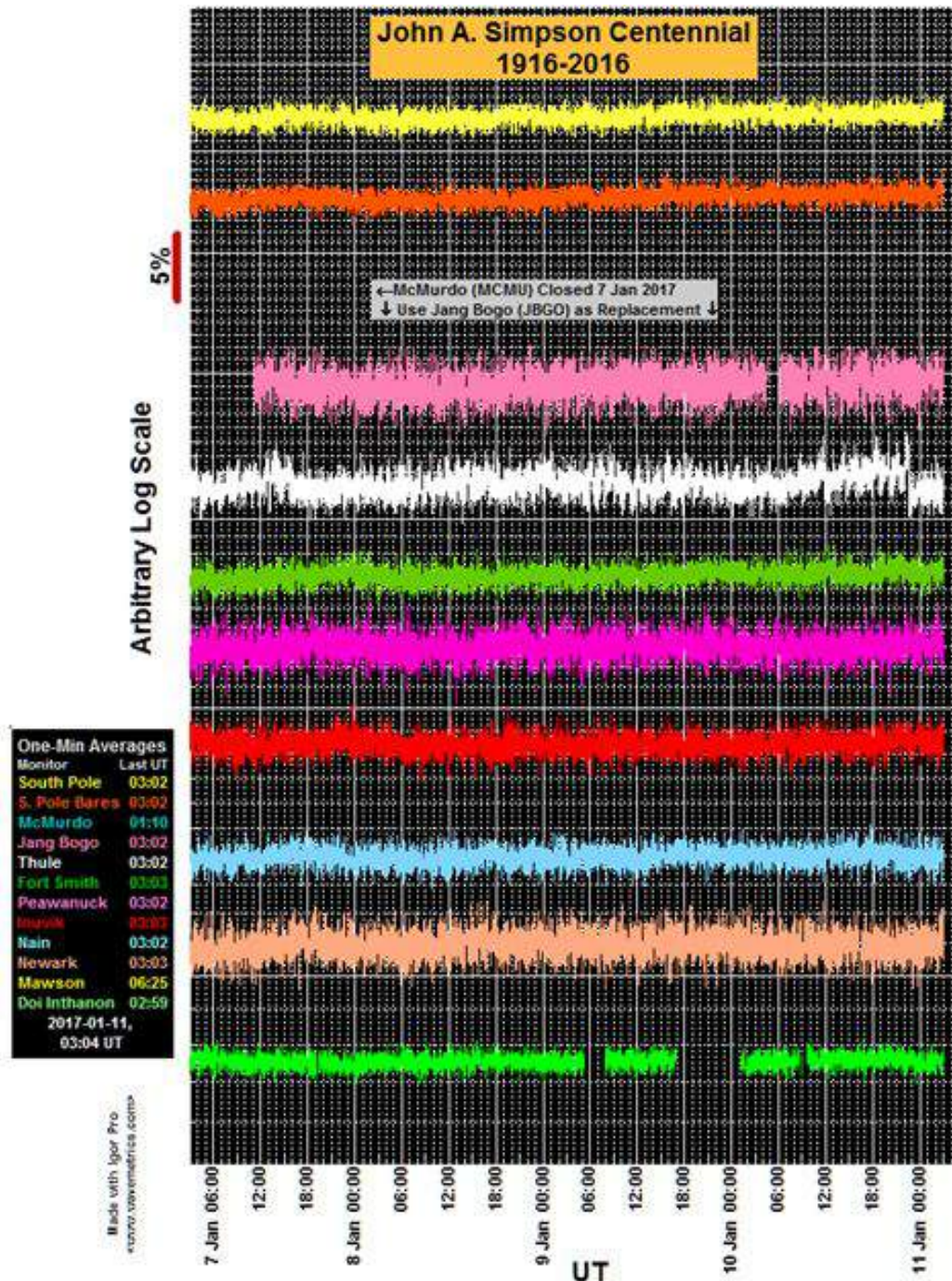


Figure 3 17. Spaceship Earth GLE Monitor (Real time monitoring, minute resolution).

Figure 3 17은 델라웨어 대학의 Bartol 연구소에 운영하고 있는 우주선 중성자 관측기의 네트워크인 Spaceship Earth에서 실시간으로 지상중성자증가 현상을 모니터링하고 있는 모습이다 (<http://neutronm.bartol.udel.edu/spaceweather/minute.html>). 1분 간격으로 우주선 플럭스 자료를 업데이트하고 있으며, 이 모니터링 시스템에 Jang Bogo 중성자 관측소도 포함되어 있다.

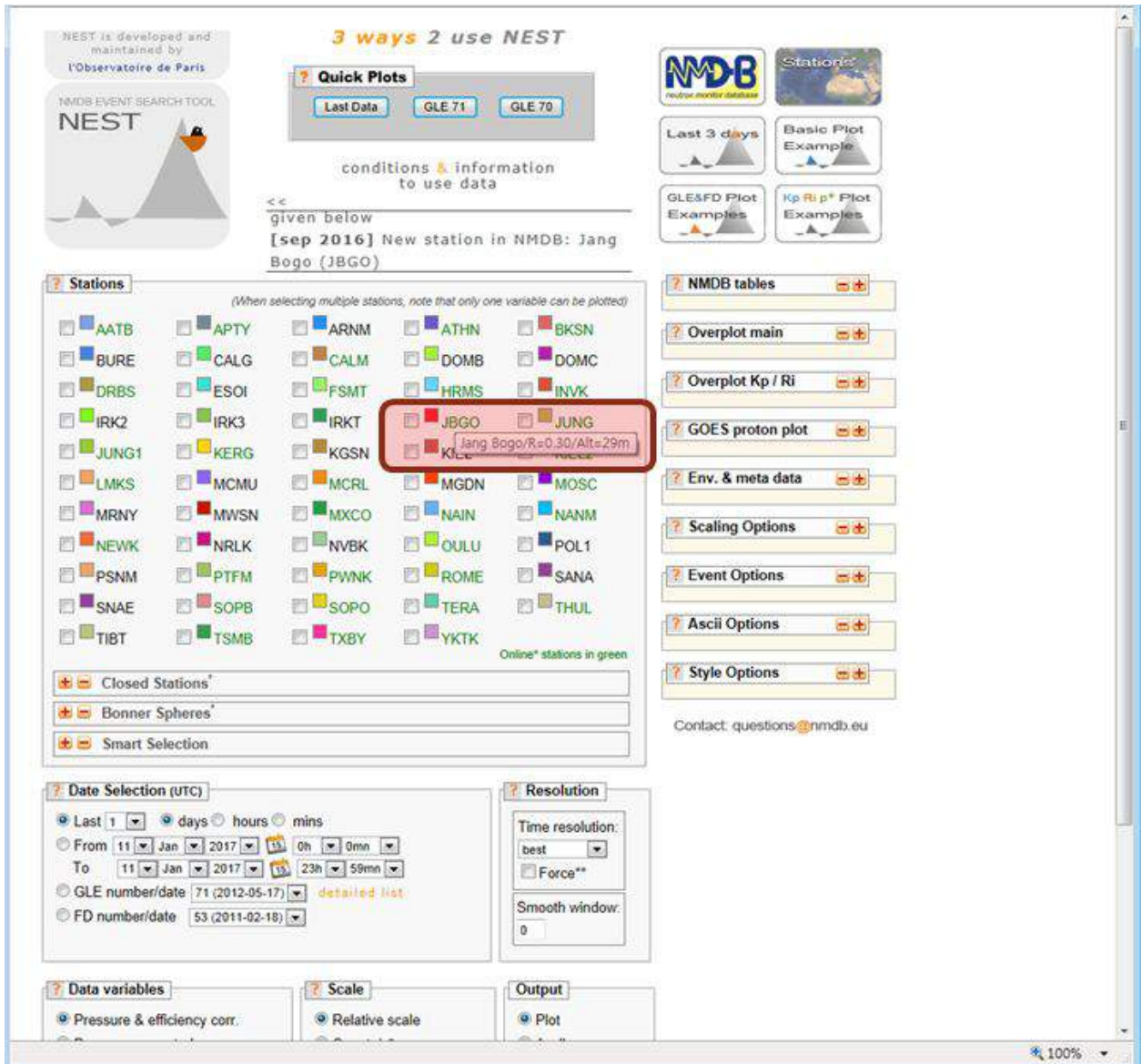


Figure 3 18. Publication of Jang Bogo neutron monitor to NMDB.

Figure 3 18은 전 세계 우주선 중성자 관측기의 네트워크인 NMDB에 Jang Bogo 관측자료가 등록된 모습이다 (<http://www.nmdb.eu/nest/search.php>). NMDB 웹사이트에서 사용자가 원하는 형식으로 선택하여 자료를 다운로드할 수 있다. 예를 들면, 우주선 플럭스의 일반 자료 또는 이벤트 자료 (지상중성자 증가현상과 Forbush decrease)를 선택할 수 있고, 2분, 5분, 1시간, 1일, 27일, 1개월, 1년 평균 자료와 같이 다양한 time resolution도 선택할 수 있다. 출력되는 자료의 형태도 ascii 파일 형태와 plot 형태로 동시에 또는 각각 다운로드할 수 있다. 특히, 관측 자료의 보정과정에서 원 자료나 기압 및 efficiency 보정을 한 자료 등을 선택할 수 있다. 사용자가 연구에 필요한 형태로 다양한 형태로 자료를 다운로드할 수 있다.

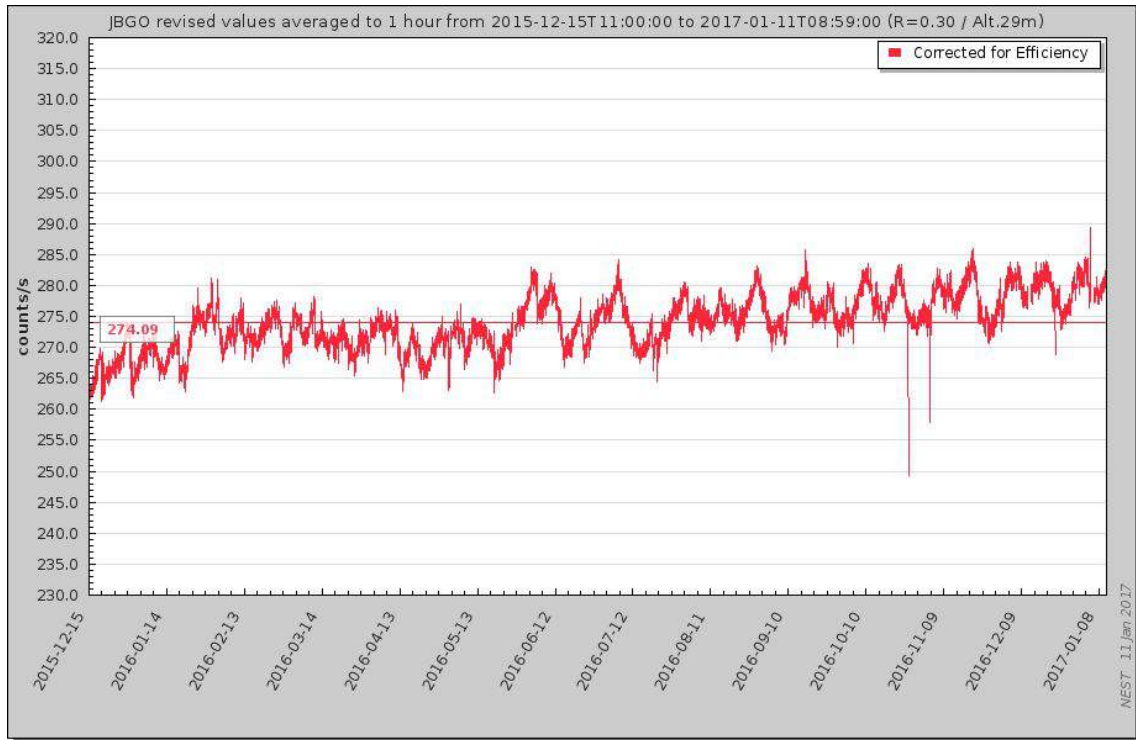


Figure 3 19. Chart of Jang Bogo neutron monitor at NMDB.

Figure 3 19와 3 20은 NMDB에서 다운로드한 Jang Bogo 관측 자료의 형태이다. Jang Bogo 관측소가 운영되기 시작한 2015년 12월 15일부터 2017년 1월 11일 현재까지 1시간 평균 자료를 기압 및 efficiency 보정하여 실제 1초당 입자수를 다운로드 한 것으로 Figure 3 19는 그림의 형태로 다운로드 한 결과이다. 그림에서 붉은 수평선은 플랫폼한 기간 동안의 평균값 (274.09)을 나타낸다. 실제 1시간 동안에 관측된 입자수는 약 986700개이다.

Figure 3 20은 Figure 3 19와 같은 조건에서 ascii파일 형태로 다운로드한 파일의 모습이다. 파일의 구성은 해당 우주선 관측소의 이름과 다운로드한 기간 및 time resolution의 정보가 제공되고 시간 (YYYY MM DD HH:MM:SS)과 플럭스 자료 (counts/s)로 구성되어 있다. Figure 3 21은 NMDB에 등록되어 있는 전 세계 우주선 중성자 관측기의 네트워크를 나타낸다.

McMurdo 기지에 있는 2 unit의 우주선 중성자 관측기는 2017년 1월에 관측이 중단될 예정이며, 2017년 2월에 뉴질랜드 크라이스트처치에 있는 NSF 창고에 보관될 예정이다. 2017년 11월에 아라온호에 의해 장보고 기지로 운반되어 2017년 12월에 장보고 기지에 완벽하게 설치될 예정이다.

McMurdo 우주선 중성자 관측기의 약 50년 이상의 자료를 Jang Bogo 우주선 중성자 관측기는 남극 주변의 고층대기 자료와 비교 분석을 통해서 극지 우주환경의 특성을 규명하여 고층대기에 주는 영향을 세밀히 분석하는 데 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 본다.

```

----- QUERY RESULTS SUMMARY -----
# STATION: JBGO
# START TIME: 2015-12-15 11:00:00 UTC
# END TIME: 2017-01-11 08:00:00 UTC
# NMDB TABLE: revised original
# REV EQ. ORI: No
# REV. VALUES: 558060
# DATA TYPE: corr_for_efficiency(RCORRLE)
# AVERAGING: Yes / 1 hour
# ORIGINAL RES: 1 min

-----

Timestamps always correspond to the beginning of the time interval

-----

| Data retrieved via NMDB are the property of the individual data providers. These data are
| free for non commercial use within the restrictions imposed by the providers. If you use
| such data for your research or applications, please acknowledge the origin by a sentence
| like " We acknowledge the NMDB database (www.nmdb.eu), founded under the European Union's
| FP7 programme (contract no. 213007) for providing data. ", and acknowledge individual
| monitors following the information given on the respective station information page.
|-----

start_date_time  RCORRLE
2015-12-16 00:00:00;261.949
2015-12-16 01:00:00;261.642
2015-12-16 02:00:00;261.965
2015-12-16 03:00:00;261.624
2015-12-16 04:00:00;263.930
2015-12-16 05:00:00;263.950
2015-12-16 06:00:00;263.816
2015-12-16 07:00:00;263.250
2015-12-16 08:00:00;262.277
2015-12-16 09:00:00;263.571
2015-12-16 10:00:00;262.192
2015-12-16 11:00:00;262.174
2015-12-16 12:00:00;262.045
2015-12-16 13:00:00;262.883
2015-12-16 14:00:00;262.606
2015-12-16 15:00:00;263.408
2015-12-16 16:00:00;263.262
2015-12-16 17:00:00;263.753
2015-12-16 18:00:00;262.343
2015-12-16 19:00:00;263.758
2015-12-16 20:00:00;263.524
2015-12-16 21:00:00;263.741
2015-12-16 22:00:00;264.098
2015-12-16 23:00:00;263.195
2015-12-17 00:00:00;265.034
2017-01-10 15:00:00;281.078
2017-01-10 16:00:00;281.707
2017-01-10 17:00:00;281.027
2017-01-10 18:00:00;280.702
2017-01-10 19:00:00;280.298
2017-01-10 20:00:00;282.276
2017-01-10 21:00:00;280.757
2017-01-10 22:00:00;280.719
2017-01-10 23:00:00;280.435
2017-01-11 00:00:00;279.646
2017-01-11 01:00:00;280.628
2017-01-11 02:00:00;281.128
2017-01-11 03:00:00;280.591
2017-01-11 04:00:00;279.650
2017-01-11 05:00:00;280.351
2017-01-11 06:00:00;280.902
2017-01-11 07:00:00;280.086
2017-01-11 08:00:00;279.810

```

Figure 3 20. Result of Query for Jang Bogo neutron monitor at NMDB



Figure 3 21. Map of neutron monitors at NMDB.

제 4장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

제1절 연구개발 목표 달성도

1. 연차별 연구 목표

구분	연도	연구개발 목표	연구개발내용	연구범위
1차년도	2015	고층-저층대기에 영향을 주는 태양 인자의 특성 도출	고층-저층 대기에 영향을 주는 태양 인자 분석	고속태양풍 발생 목록의 작성 코로나 홀의 분포 자료 수집 행성간 자기장 자료 수집
			고층-저층 대기에 영향을 주는 태양 인자의 특성	고속태양풍과 관련된 태양풍의 인자 분석 행성간 자기장의 변화 분석
2차년도	2016	극 지역 우주방사선 및 고층대기 현상의 관계 도출	우주방사선 플럭스 및 방사능 변화 분석	고속태양풍과 관련된 북극 주변 우주방사선 자료 수집 우주방사선 플럭스의 변화 경향 분석
			우주방사선 플럭스 변화에 따른 고층대기 물리량의 변화 분석	고속태양풍과 관련된 북극 주변의 고층대기 현상 자료 수집 고속태양풍과 관련된 북극 주변의 지상 기상현상 자료 수집

2. 2차년도 연구 개발 내용

연구개발 목표	2차년도 수행 세부연구내용
극 지역 우주방사선 및 고층대기 현상의 관계 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 우주방사선 플럭스 자료 수집 및 분석 - 극 지역에 위치한 우주방사선 및 고층대기 현상 관측 자료의 활용 - 우주방사선 플럭스 변화에 따른 고층대기 물리량의 변화 분석 - 우주방사선과 고층 및 저층 대기의 상호작용 분석

3. 2차년도 연구 성과 - 논문 게재

연번	제목	발표자	학술지	출판 일자
1	Forbush decreases observed by Daejeon neutron monitor	J. Kang S. Oh ^{1*} Y. Yi ¹ Y. Kim	Advances in Space Research (SCI)	2016.02.01
2	Installation of neutron monitor at the Jang Bogo station in Antarctica	J. Jung ¹ S. Oh ^{1*} Y. Yi ¹ P. Evenson R. Pyle G. Jee J. H. Kim C. Lee J. Sohn	Journal of Astronomy and Space Sciences (SCOPUS)	2016.12.01

¹은 본 위탁과제에 참여한 연구원, *은 교신저자

제2절 대외기여도

2011년 10월에 국제 표준 형태인 18 tube NM64 우주선 중성자 관측기를 대전 표준연구원 내에 설치하여 초기 시스템의 안정화 단계를 거쳐 본격적으로 2012년 1월부터 국내 우주선 중성자 관측을 시작하였다. 대전 우주선 중성자 관측기는 다른 우주선 중성자 관측기에서 획득한 자료와 비교 분석 연구를 수행할 수 있을 만큼 국제 표준 측정 시스템이다.

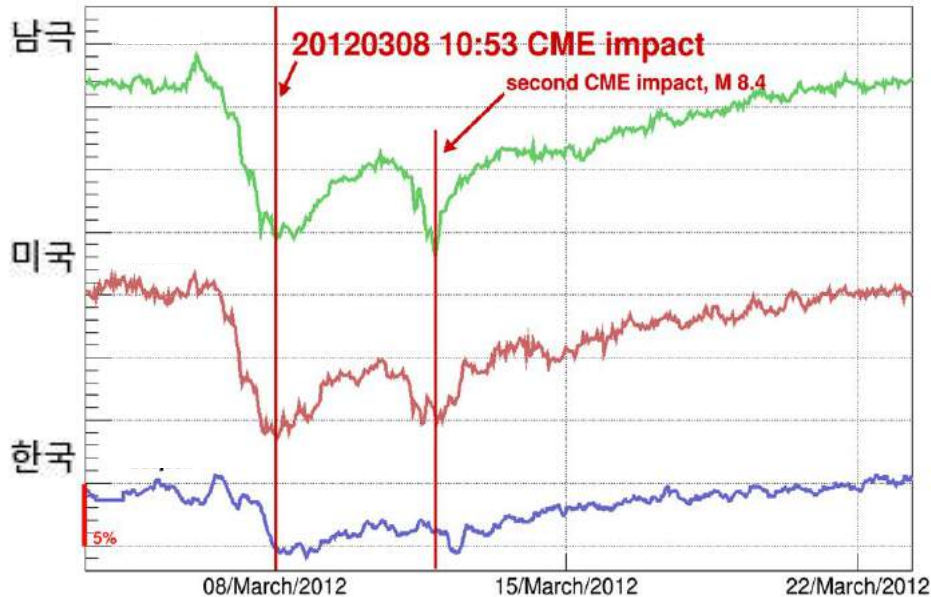


Figure 4 1. 2012년 3월 8일에 우주선 중성자 관측기로부터 측정된 Forbush decrease 현상.

Figure 4 1은 2012년 3월 8일 대전 우주선 중성자 관측기와 미국의 Newark, 남극의 McMurdo 우주선 중성자 관측기로부터 관측된 Forbush decrease 현상을 나타낸 것이다. Forbush decrease 현상은 짧은 시간 동안에 우주선 입자의 플럭스가 감소했다가 복원되는 현상으로 1936년 우주 방사선 관측 당시 태양 폭발 때 Forbush (1938)에 의해 밝혀진 이후로 우주선 중성자 관측기의 자료 신뢰도를 평가하는 지표이다. 대전 우주선 중성자 관측기로부터 중성자 관측 자료 분석을 통해 2012년 1월부터 2014년 12월까지 총 37개의 Forbush decrease 현상을 관측하여 전 세계 타기관의 우주선 중성자 관측과 비교 분석을 통해 동일 현상에 대한 이벤트를 밝히는 데 성공하였다 (이 연구 결과는 SCI급 저널에 출판되었다).

태양풍과 상호작용하여 우주기상의 중요한 정보를 제공하는 우주선에 대한 지속적이고 선도적인 연구 발표로 국내 우주선 중성자 관측기를 설치하였으며, 국내 및 해외 우주선 중성자 관측기 자료를 활용하여 우주선 연구 활용에 대한 기초적인 정보와 연구 방법 및 방향을 제시할 수 있게 되었다. 대전 우주선 중성자 관측소의 설립으로 국내 관측소의 위상과 국내 연구진의 능력이 맞물려 국내 연구 역량을 국제 학계에서 선도적인 수준으로 확립할 수 있을 것이다. 이를 계기로 우주선 연구의 리더인 델라웨어 대학교 마블 연구소의 세계적인 연구자와 공동연구를 진행하여 활발한 연구 활동을 진행하고 있다. 남극대륙의 장보고 기지에

우주선 중성자 관측기 설치할 계기로 극지 우주환경 연구로의 연구 영역을 확장하였다. 또, 국내 유관기관인 극지연구소, 천문연구원 등과 함께 우주선 중성자 연구그룹을 확장시켜, 우주선의 지구 대기와의 상호작용을 분석하여 대기에 미치는 영향을 밝혀내는 공동연구를 진행하게 되었다.

우주선 연구는 국제 우주탐사 커뮤니티와의 협력과 동참으로 현재 우리가 달, 화성 등의 행성탐사에 필요한 과학적인 연구 기반을 확립할 수 있을 것으로 본다. 이러한 참여와 활동으로 향후 우리가 행성 탐사 활동시 행성 탐사선의 지상 착륙 및 지상 로버의 탐사 활동에 필요한 우주 환경 자료를 제공 할 수 있으며, 활용할 수 있다. 달 우주환경에서 관측된 우주선 관측 자료를 활용함으로써 향후 인간이 달, 화성 등의 행성 탐사시 달에 거주 및 다른 행성으로 가는 거점으로 이용될 때 발생할 수 있는 우주선에 대한 인간의 생물학적 영향을 조사함으로써 인간이 상주 및 거점으로 이용할 때의 우주 환경의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제1절 연구결과의 활용방안

1. 극지 우주선 중성자 관측기의 자료 분석을 통해서 얻은 극지 우주환경 변화에 대한 이해는 국내 및 장보고 우주선 중성자 관측기의 효율적인 활용방안을 제시할 수 있고 국내외 우주선 연구그룹에 우주환경 변화의 이해를 위한 우주선 연구에 대한 이정표를 제시할 수 있다.
2. 우주선 중성자 관측은 우주로부터 오는 입자에 대한 물리적인 특성의 이해로부터 학제간 협동연구를 가능케 할 뿐만 아니라, 극지 우주환경 연구를 중심으로 국제 공동 연구 참여를 이끌어 낼 수 있다.
3. 우주선 중성자 관측기를 이용해 획득한 정보는 고에너지 하전 입자 검출기 개발과 같은 측정 시스템으로부터 얻은 정보를 활용할 수 있기 때문에 미래의 검출기 개발 시장을 선점할 수 있으며, 입자 검출 시스템의 원천 기술 확보로 유사한 계측 장비의 공정단계에 확보 기술을 적용하여 사용할 수 있다.
4. 우주환경에서 고에너지 우주선 입자는 위성 및 우주선체의 장기적 운용을 저해하는 요인이다. 따라서 미래 우주산업의 장기적 발전을 위해서는 우주선 관측 자료 분석 연구를 통한 우주환경 감시가 절대적으로 필요하다. 또한, 우주 자원 및 생물 탐사 시에도 우주선 측정 기술이 활용되고 있다. 우주 산업의 장기적 발전을 위한 인공위성 탑재 우주선 검출기의 관측 자료 활용에도 응용될 수 있다.

제2절 기대성과

1. 기술적 측면

가. 우주선 중성자 관측기의 자료 분석을 통한 우주 방사선 전문 인력 양성에 도움을 주고 다가오는 우주 시대의 기초 연구 자료로 활용될 것이다. 우주 시대가 도래됨에 따라 지구에 미치는 우주 방사선에 대한 연구 및 우주 방사선을 측정할 수 있는 우주선 중성자 관측기의 관측자료 분석은 향후 우주환경변화를 예측하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

나. 태양 폭발에 따른 우주선 플럭스의 변화에 대한 새로운 이론적 배경을 제공할 수 있다. 태양활동 변화에 따른 태양풍 연구 및 태양풍과 고에너지 우주선 간의 상호작용 연구, 코로나 질량 방출 현상과 같은 태양풍 격변현상의 지구까지 전과과정 모델링을 구축할 수 있다.

2. 경제·산업적 측면

가. 우주 방사선 환경에서 우주선으로부터 인류를 보호하기 위한 우주 방사선에 대한 연구

와 측정기술 개발에 기초적인 정보를 제공할 수 있고, 각 지역의 관측 자료를 통합할 수 있는 계기가 되어 네트워크 구축에 기여할 수 있을 것으로 본다.

나. 우주선 중성자 관측기의 자료 분석 연구는 우주 자원 및 생물 탐사와 같은 미래 우주산업에 적용한다면 우주 산업의 장기적인 발전에 아주 크게 기여할 것으로 예상된다.

다. 우주방사선의 플럭스 변화가 저층대기와 고층대기가 연관되고 있다는 가설을 검증하려는 국제적인 시도에 본 연구가 중요한 기여를 할 수 있다는 파급 효과를 가진다.

라. 궁극적으로 상공의 중간권과 저층 대기의 연관성을 규명하면, 지구의 대기 변화가 어떻게 우주방사선의 플럭스를 조절하는 태양활동에 의해 발생하는가를 이해할 수 있으며, 장기적인 지구 대기 변화에 대한 대처에 도움을 주는 경제적인 파급 효과를 가진다.

3. 학분융합적 측면

가. 남극 장보고 우주선 관측기 구축을 통해서 극지에서의 장기간 우주선 관측 자료를 보유하게 되며 자료에 대한 모든 권리를 양도 받을 수 있게 되었다. 극지 우주선 관측 자료를 활용한 연구를 진행함으로써 Spaceship Earth에 참가국이 되고, 실시간 우주선 자료를 웹상에서 제공할 수 있어 국내 우주환경 분야의 위상을 높일 수 있을 것이다.

나. 인공위성, 우주비행사 및 극항로 운항에 큰 영향을 주는 태양 고에너지 입자 방출 현상과 관련된 플레어나 코로나 질량 방출 현상을 예측할 수 있는 지상관측자료의 지시자로서 우주선 플럭스의 변화를 기초로 우주선에 의한 방사선량 측정 모델 등을 개발하여 주요한 우주환경 예보 요소를 제공할 수 있다.

다. 태양활동에 반응하는 우주방사선의 플럭스는 지구 대기로 입사되면서 고층 및 저층 대기의 물질과 에너지 분포에 큰 영향을 주어 대기의 물리적 상태에 변화를 일으킨다. 따라서 우주방사선의 관측 자료는 태양활동 및 고층 대기 변화의 중요한 지표로서 그 역할을 수행할 것으로 기대된다.

제 6 장 참고문헌

- Balasubrahmanyam, V. K. and D. Venkatesan (1971), 27 day recurrence and long term modulation of cosmic ray intensity, *Sol. Phys.*, 20, 186-187.
- Barth, C.A., D.N. Baker, K.D. Mankoff, and S.M. Bailey (2001), The northern auroral region as observed in nitric oxide, *Geophys. Res. Lett.*, 28, doi: 10.1029/2000GL012649.
- Beer, J. (2000), Neutron monitor records in broader historical context, *Space Sci. Rev.*, 93, 107-119.
- Bohlin, J.D. (1977), Extreme ultraviolet observations of coronal holes, *Solar Phys.* 51, 377-398.
- Callis, L.B., M. Natarajan, and J.D. Lambeth (2001), Solar atmospheric coupling by electrons (SOLACE): 3. Comparisons of simulations and observations, 1979-1997, issues and implications, *J. Geophys. Res.*, 106, 7523-7540.
- Cho, Y. M., G.G. Shepherd, Y. I. Won, S. Sargoytchev, S. Brown, and B. Solheim (2004), MLT cooling during stratospheric warming events, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L10104.
- Clilverd, M.A., A. Seppälä, C.J. Rodger, P.T. Verronen, and N.R. Thomson (2006), Ionospheric evidence of thermosphere to stratosphere descent of polar NO_x, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L19811, doi:10.1029/2006GL026727.
- Clilverd, M.A., A. Seppälä, C.J. Rodger, M.G. Mlynczak, and J.U. Kozyra (2009), Additional stratospheric NO_x production by relativistic electron precipitation during the 2004 spring NO_x descent event, *J. Geophys. Res.*, 114, A04305, doi:10.1029/2008JA013472.
- Forbush, S.E. (1938), On cosmic ray effects associated with magnetic storms, *Terr. Magn. Atmosph. Electr.*, 43, 203-218.
- Gloeckler, G. and J.R. Jokipii (1967), Solar modulation and the energy density of galactic cosmic rays, *Astrophys. J.*, 148, L41-L46.

- Hilmer, R.V., Ginet, G.P. and T.E. Cayton (2000), Enhancement of equatorial energetic electron fluxes near L=4.2 as a result of high speed solar wind streams, *J. Geophys. Res.*, 105(A10), 23311–23322.
- Hirota, I. and J.J. Barnett (1977), Planetary waves in the winter mesosphere preliminary analysis of Nimbus 6 PMR results, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 103, 487–498.
- Jackman, C.H., D.R. Marsh, F.M. Vitt, R.G. Roble, C.E. Randall, P.F. Bernath, B. Funke, M. López Puertas, S. Versick, G.P. Stiller, A.J. Tylka, and E.L. Fleming (2011), Northern Hemisphere atmospheric influence of the solar proton events and ground level enhancement in January 2005, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 6153–6166, doi:10.5194/acp 11 6153 2011.
- Kang, J., D.Y. Jang, Y. Kim, B.H. Kang, Y. K. Kim, J. Kim, H. Park, and Y. Yi (2012), Characteristics of the 18 tube NM64 type Daejeon neutron monitor in Korea, *J. Kor. Phys. Soc.*, 61(5), 720–729.
- Kavanagh, A.J., F. Honary, E.F. Donovan, T. Ulich, and M.H. Denton (2012), Key features of >30 keV electron precipitation during high speed solar wind streams: a superposed epoch analysis, *J. Geophys. Res.*, 117, A00L09, doi:10.1029/2011JA017320.
- Kirkby, J. (2002), CLOUD: A particle beam facility to investigate the influence of cosmic rays on clouds, European Organization for Nuclear Research, CERN EP/2002 019.
- Kirkby, J. (2007), Cosmic ray and climate, *Surv. Geophys.*, 28, 333–375.
- Kodera, K. and Y. Kuroda (2002), Dynamical response to the solar cycle: Winter stratopause and lower stratosphere, *J. Geophys. Res.*, 107(D24), 4749, doi:10.1029/2002JD002224.
- Labitzke, K. (1972), Temperature changes in the mesosphere and stratosphere connected with circulation changes in winter, *J. Atmos. Sci.*, 29, 756–766.
- Lee, Y. S., S. Kirkwood, G.G. Shepherd, Y. S. Kwak, and K. C. Kim (2013), Long periodic strong radar echoes in summer polar D region correlated with the oscillations of high speed solar wind streams, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1–5, doi:10.1002/grl.50821.

- Leerungnavarat, K., D. Ruffolo, and J.W. Bieber (2003), Loss cone precursors to Forbush decreases and advance warning of space weather effects, *Astrophys. J.*, 593, 587–596.
- Lopez Puertas, M., B. Funke, S. Gil Lopez, T. von Clarmann, G.P. Stiller, M. Hopfner, S. Kellman, H. Fischer, and C.H. Jackman (2005), Observation of NO_x enhancements and ozone depletion in the northern and southern hemispheres after the October–November 2003 solar proton events, *J. Geophys. Res.*, 110 (A9), doi:10.1029/2005JA011050.
- Marsh, N. and Svensmark, H. (2000), *Space Sci. Rev.*, 94, 215–230.
- Mathews, T., D. Venkatesan, and S.P. Agrawal (1978), A Comparison of Ground Level Cosmic Ray Enhancements of November 22, 1977 and February 25, 1969, *Geophys. Res. Lett.*, 5, 1063–1066.
- McIntosh, D.H. (1959), On the annual variation of magnetic disturbance, *Phil. Trans. Roy. Soc. A*, 251(1001), 525–552.
- Millan, R.M., R.P. Lin, D.M. Smith, K.R. Lorentzen, and M.P. McCarthy (2002), X ray observations of MeV electron precipitation with a balloon borne germanium spectrometer, *Geophys. Res. Lett.*, 29(24), 2194, doi:10.1029/2002GL015922.
- Oh, S.Y., Y. Yi, and Y.H. Kim (2007), Solar cycle variation of the interplanetary forward shock drivers observed at 1AU, *Sol. Phys.*, 245, 391–410.
- Oh, S.Y., Y. Yi, and Y.H. Kim (2008), Globally non simultaneous Forbush decrease events and their implication, *J. Geophys. Res.*, 113, A01103, doi:10.1029/2007JA012333.
- Oh, S.Y. and Y. Yi (2009), Statistical reality of globally nonsimultaneous Forbush decrease events, *J. Geophys. Res.*, 114, A11102, doi:10.1029/2009JA014190.
- Oh, S.Y. and Y. Yi (2011), Correction to "Statistical reality of globally nonsimultaneous Forbush decrease events", *J. Geophys. Res.*, 116, A08104, doi:10.1029/2011JA017012.
- Ondraskova, A., A. Krivolutsky, and J. Lastovicka (2003), Changes of the neutral and ionized composition in the D region after solar proton event in October 1989 (Model simulations), *Adv. Space Res.*, 31(9), 2169–2176.
- Ondraskova, A. (2005), The D region ion composition and electron density response to strong solar proton event (model simulations), *Adv. Space Res.*, 35, 440–444.

- Pomerantz, M.A. and S.P. Duggal (1971), The cosmic ray solar diurnal anisotropy, *Space Sci. Rev.*, 12, 75-130.
- Randall, C.E., D.W. Rusch, R.M. Bevilacqua, K.W. Hoppel, and J.D. Lumpe (1998), Polar Ozone and Aerosol Measurement (POAM) II stratospheric NO₂, 1993-1996, *J. Geophys. Res.*, 103, 28361-28371.
- Randall, C.E., D.E. Siskind, and R.M. Bevilacqua (2001), Stratospheric NO_x enhancements in the Southern Hemisphere vortex in winter/spring of 2000, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2385-2388.
- Randall, C.E., V.L. Harvey, G.L. Manney, Y. Orsolini, M. Codrescu, C. Sioris, S. Brohede, C.S. Haley, L.L. Gordley, J.M. Zawodny, and J.M. Russell III (2005), Stratospheric effects of energetic particle precipitation in 2003-2004, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05802, doi:10.1029/2004GL022003.
- Rees, M.H. (1989), Antarctic upper atmosphere investigations by optical methods, *Planet. Space Sci.*, 37, 955-959.
- Richardson, I.G., E.W. Cliver, and H.V. Cane (2000), Sources of geomagnetic activity over the solar cycle: Relative importance of CMEs, high speed streams, and slow solar wind, *J. Geophys. Res.*, 105, 18203-18213.
- Rishbeth, H. (1990), A greenhouse effect in the ionosphere?, *Planet. Space Sci.*, 38(7), 945-948.
- Rodger, C.J., M.A. Clilverd, D. Nunn, P.T. Verronen, J. Bortnik, and E. Turunen (2007), Storm time, short lived bursts of relativistic electron precipitation detected by subionospheric radio wave propagation, *J. Geophys. Res.*, 112(A7), A07301, doi:10.1029/2007JA012347.
- Rosenberg, R.L. and P.J. Coleman, Jr. (1969), Heliographic latitude dependence of the dominant polarity of the interplanetary magnetic field, *J. Geophys. Res.*, 74, 5611-5622.
- Rozanov, E., L. Callis, M. Schlesinger, F. Yang, N. Andronova, and V. Zubov (2005), Atmospheric response to NO_y source due to energetic electron precipitation, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L14811, doi:10.1029/2005GL023041.

- Rusch, D.W., and C.A. Barth (1975), Satellite measurements of nitric oxide in the polar region, *J. Geophys. Res.*, 80, 3719-3721.
- Russell, C.T., and R.L. McPherron (1973), Semiannual Variation of Geomagnetic Activity, *J. Geophys. Res.*, 78, 92-108.
- Russell, III, J.M., S.M. Bailey, L.L. Gordley, D.W. Rusch, M. Horanyi, M.E. Hervig, G.E. Thomas, C.E. Randall, D.E. Siskind, M.H. Stevens, M.E. Summers, M.J. Taylor, C.R. Englert, P.J. Espy, W.E. McClintock, A.W. Merkel (2009), The Aeronomy of Ice in the Mesosphere (AIM) mission: Overview and early science results, *J. Atmos. Solar Terres. Phys.*, 71, 289-299.
- Sakanoi, T., H. Fukunishi, K. Igarashi, S. Okano, and N. Nishitani (2009), Neutral ion interaction in the auroral E region obtained from coordinated Fabry Perot imager and VHF radar observations, *J. Geophys. Res.*, 114, A09305.
- Seppala, A., P.T. Verronen, M.A. Clilverd, C.E. Randall, J. Tamminen, V. Sofieva, L. Backman, E. Kyrola (2007a), Arctic and Antarctic polar winter NO_x and energetic particle precipitation in 2002-2006, *Geophys. Res. Lett.*, 34(12), L12810, doi:10.1029/2007GL029733.
- Seppala, A., M.A. Clilverd, and C.J. Rodger (2007b), NO_x enhancements in the middle atmosphere during 2003-2004 polar winter: The relative significance of Solar Proton Events and the Aurora as a source. *J. Geophys. Res.*, 112, D23303, doi:10.1029/2006JD008326.
- Simpson, J.A., W. Fonger, and S.B. Treiman (1953), Cosmic radiation intensity time variations and their origin, I. Neutron intensity variation method and meteorological factors, *Phys. Rev.*, 90, 934-950.
- Simpson, J.A. (1948), The latitude dependence of neutron densities in the atmosphere as a function of altitude, *Phys. Rev.*, 73, 1389-1391.
- Simpson, J.A. (2000), The cosmic ray nucleonic component: The invention and scientific uses of the neutron monitor, *Space Sci. Rev.*, 93, 11-32.
- Singh, M. and Badruddin (2006), Study of the cosmic ray diurnal anisotropy during different solar and magnetic conditions, *Sol. Phys.*, 233, 291-317.
- Siskind, D.E., G.E. Nedoluha, C.E. Randall, M. Fromm, and J.M. Russell (2000), An

- assessment of Southern Hemisphere stratospheric NO_x enhancements due to transport from the upper atmosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 27(3), 329–332.
- Storini, M., O. Borello Filisetti, V. Mussino, M. Parisi, and J. Sykora (1995), Aspects of the long term cosmic ray modulation. I: Solar cycle ascending phases and associated green corona features, *Sol. Phys.*, 157, 375–387.
- Svalgaard, L. (1977), Geomagnetic activity: Dependence on solar wind parameters, in *Coronal Holes and High Speed Wind Streams*, edited by J. B. Zirker, p. 371, Colorado Assoc Univ. Press, Boulder, CO.
- Svensmark, H., M.B. Enghoff, and J.O.P. Pedersen (2013), Response of cloud condensation nuclei (> 50 nm) to changes in ion nucleation, *Physics Letters A*, 377, 2343–2347.
- Thomas, G.E. and J. Olivero (2001), Noctilucent clouds as possible indicators of global change in the mesosphere, *Adv. Space Res.*, 28(7), 937–946.
- Thomas, G.E. (2003), Are noctilucent clouds harbingers of global change in the middle atmosphere?, *Adv. Space Res.*, 32(9), 1737–1746.
- Thorne, R.M. (1980), The importance of energetic particle precipitation on the chemical composition of the middle atmosphere, *Pure Appl. Geophys.*, 118, 129–151.
- Vassiliadis, D., I.R. Mann, S.F. Fung, and X. Shao (2007), Ground Pc3–Pc5 wave power distribution and response to solar wind velocity variations, *Planet. Space Sci.*, 55, 743–754.
- Ukhorskiy, A.Y., B. J. Anderson, P.C. Brandt, and N.A. Tsyganenko (2006), Storm time evolution of the outer radiation belt: Transport and losses, *J. Geophys. Res.*, 111, A11S03, doi: 10.1029/2006JA011690.
- Zadorozhny, A.M., G.A. Turchkov, V.N. Kikhtenko, J. Lastovicka, J. Boska, and A. Novak (1992), Nitric oxide and lower ionosphere quantities during solar particle events of October 1989 after rocket and ground based measurements, *J. Atmos. Solar Terres. Phys.*, 54(2), 183–192.

부록: McMurdo 및 Jang Bogo 우주선 중성자 관측기 자료 (예시: 2015.12.15, 2016.02.02.)

YEAR	MONTH	DAY	HOUR	MIN	SEC	MCMU	JBGO
2015	12	15	11	00	00	260.727	0.000
2015	12	15	12	00	00	262.549	0.000
2015	12	15	13	00	00	261.311	0.000
2015	12	15	14	00	00	261.223	0.000
2015	12	15	15	00	00	261.587	0.000
2015	12	15	16	00	00	261.765	0.000
2015	12	15	17	00	00	262.807	0.000
2015	12	15	18	00	00	262.141	0.000
2015	12	15	19	00	00	262.351	0.000
2015	12	15	20	00	00	261.989	0.000
2015	12	15	21	00	00	261.848	0.000
2015	12	15	22	00	00	261.802	0.000
2015	12	15	23	00	00	261.869	0.000
2015	12	16	00	00	00	261.867	68.414
2015	12	16	01	00	00	262.674	68.333
2015	12	16	02	00	00	262.519	68.421
2015	12	16	03	00	00	262.951	68.332
2015	12	16	04	00	00	262.794	68.934
2015	12	16	05	00	00	262.164	68.942
2015	12	16	06	00	00	262.547	68.907
2015	12	16	07	00	00	262.598	68.760
2015	12	16	08	00	00	261.077	68.505
2015	12	16	09	00	00	262.560	68.843
2015	12	16	10	00	00	261.209	68.483
2015	12	16	11	00	00	262.742	68.479
2015	12	16	12	00	00	261.600	68.448
2015	12	16	13	00	00	262.684	68.670
2015	12	16	14	00	00	263.035	68.594
2015	12	16	15	00	00	263.046	68.801
2015	12	16	16	00	00	263.176	68.762
2015	12	16	17	00	00	263.776	68.891
2015	12	16	18	00	00	263.568	68.522
2015	12	16	19	00	00	263.650	68.892
2015	12	16	20	00	00	263.804	68.831
2015	12	16	21	00	00	263.682	68.888
2015	12	16	22	00	00	262.923	68.981
2015	12	16	23	00	00	263.604	68.745
2015	12	17	00	00	00	264.469	69.225
2015	12	17	01	00	00	263.936	68.951
2015	12	17	02	00	00	264.466	69.310
2015	12	17	03	00	00	264.149	68.994
2015	12	17	04	00	00	265.235	69.214
2015	12	17	05	00	00	264.941	69.246
2015	12	17	06	00	00	264.181	68.937
2015	12	17	07	00	00	264.217	69.076
2015	12	17	08	00	00	264.154	69.291
2015	12	17	09	00	00	263.089	69.092
2015	12	17	10	00	00	263.103	69.038
2015	12	17	11	00	00	264.187	68.752
2015	12	17	12	00	00	262.992	68.870
2015	12	17	13	00	00	262.188	69.000
2015	12	17	14	00	00	264.398	68.600
2015	12	17	15	00	00	262.995	68.820
2015	12	17	16	00	00	263.056	69.146
2015	12	17	17	00	00	263.683	69.019
2015	12	17	18	00	00	263.697	69.388
2015	12	17	19	00	00	264.521	69.074
2015	12	17	20	00	00	264.797	69.212

2015	12	17	21	00	00	264.633	69.458
2015	12	17	22	00	00	264.409	69.382
2015	12	17	23	00	00	264.945	69.566
2015	12	18	00	00	00	265.048	69.501
2015	12	18	01	00	00	266.573	69.700
2015	12	18	02	00	00	266.630	69.836
2015	12	18	03	00	00	264.922	69.564
2015	12	18	04	00	00	264.747	69.342
2015	12	18	05	00	00	265.532	69.853
2015	12	18	06	00	00	266.380	69.446
2015	12	18	07	00	00	266.372	69.975
2015	12	18	08	00	00	265.845	69.746
2015	12	18	09	00	00	265.126	68.964
2015	12	18	10	00	00	265.190	69.195
2015	12	18	11	00	00	264.584	69.519
2015	12	18	12	00	00	265.000	69.478
2015	12	18	13	00	00	263.994	69.655
2015	12	18	14	00	00	265.636	69.312
2015	12	18	15	00	00	264.987	69.084
2015	12	18	16	00	00	265.785	69.185
2015	12	18	17	00	00	265.070	69.698
2015	12	18	18	00	00	265.538	69.454
2015	12	18	19	00	00	265.947	69.774
2015	12	18	20	00	00	265.670	69.215
2015	12	18	21	00	00	266.427	69.725
2015	12	18	22	00	00	265.917	69.642
2015	12	18	23	00	00	268.240	69.938
2015	12	19	00	00	00	266.950	69.841
2015	12	19	01	00	00	267.600	70.118
2015	12	19	02	00	00	267.411	69.756
2015	12	19	03	00	00	266.535	70.037
2015	12	19	04	00	00	266.496	70.037
2015	12	19	05	00	00	266.590	69.995
2015	12	19	06	00	00	265.985	69.978
2015	12	19	07	00	00	268.006	69.914
2015	12	19	08	00	00	266.386	69.758
2015	12	19	09	00	00	267.033	69.919
2015	12	19	10	00	00	267.847	70.176
2015	12	19	11	00	00	266.142	69.970
2015	12	19	12	00	00	267.259	70.013
2015	12	19	13	00	00	266.380	70.226
2015	12	19	14	00	00	267.793	70.102
2015	12	19	15	00	00	268.511	70.043
2015	12	19	16	00	00	267.480	70.462
2015	12	19	17	00	00	268.308	70.399
2015	12	19	18	00	00	269.285	69.975
2015	12	19	19	00	00	268.946	70.303
2015	12	19	20	00	00	268.514	70.314
2015	12	19	21	00	00	268.319	70.408
2015	12	19	22	00	00	268.325	69.997
2015	12	19	23	00	00	267.333	69.972
2015	12	20	00	00	00	267.019	70.155
2015	12	20	01	00	00	265.535	69.795
2015	12	20	02	00	00	263.034	69.325
2015	12	20	03	00	00	262.099	68.729
2015	12	20	04	00	00	263.031	69.122
2015	12	20	05	00	00	262.991	68.984
2015	12	20	06	00	00	262.192	68.816
2015	12	20	07	00	00	262.804	68.756
2015	12	20	08	00	00	261.306	68.567
2015	12	20	09	00	00	261.313	68.727
2015	12	20	10	00	00	261.463	68.212

2015	12	20	11	00	00	261.859	68.820
2015	12	20	12	00	00	262.309	68.870
2015	12	20	13	00	00	262.171	68.746
2015	12	20	14	00	00	262.227	68.714
2015	12	20	15	00	00	262.698	68.349
2015	12	20	16	00	00	261.413	68.465
2015	12	20	17	00	00	260.705	68.617
2015	12	20	18	00	00	262.865	68.422
2015	12	20	19	00	00	267.720	69.814
2015	12	20	20	00	00	267.095	70.284
2015	12	20	21	00	00	265.632	69.923
2015	12	20	22	00	00	265.262	69.505
2015	12	20	23	00	00	265.540	69.166
2015	12	21	00	00	00	265.977	69.659
2015	12	21	01	00	00	266.415	69.806
2015	12	21	02	00	00	266.829	69.694
2015	12	21	03	00	00	266.271	69.499
2015	12	21	04	00	00	264.977	69.528
2015	12	21	05	00	00	265.166	69.855
2015	12	21	06	00	00	266.210	69.334
2015	12	21	07	00	00	264.734	69.316
2015	12	21	08	00	00	263.232	68.538
2015	12	21	09	00	00	262.560	68.618
2015	12	21	10	00	00	261.683	68.480
2015	12	21	11	00	00	262.719	68.523
2015	12	21	12	00	00	262.684	68.940
2015	12	21	13	00	00	263.670	68.826
2015	12	21	14	00	00	263.191	69.108
2015	12	21	15	00	00	262.764	68.758
2015	12	21	16	00	00	262.804	68.954
2015	12	21	17	00	00	262.229	68.816
2015	12	21	18	00	00	262.759	68.835
2015	12	21	19	00	00	262.806	68.804
2015	12	21	20	00	00	262.747	69.029
2015	12	21	21	00	00	263.990	69.256
2015	12	21	22	00	00	263.523	69.505
2015	12	21	23	00	00	264.418	69.522
2015	12	22	00	00	00	264.634	69.204
2015	12	22	01	00	00	263.651	69.207
2015	12	22	02	00	00	263.512	69.154
2015	12	22	03	00	00	264.241	69.196
2015	12	22	04	00	00	264.031	69.524
2015	12	22	05	00	00	265.133	69.669
2015	12	22	06	00	00	263.629	69.151
2015	12	22	07	00	00	263.732	69.254
2015	12	22	08	00	00	263.802	69.425
2015	12	22	09	00	00	262.187	69.058
2015	12	22	10	00	00	264.033	68.994
2015	12	22	11	00	00	264.557	69.308
2015	12	22	12	00	00	263.094	69.517
2015	12	22	13	00	00	263.769	69.470
2015	12	22	14	00	00	263.344	69.698
2015	12	22	15	00	00	263.205	69.240
2015	12	22	16	00	00	264.811	69.444
2015	12	22	17	00	00	263.606	69.336
2015	12	22	18	00	00	263.203	69.215
2015	12	22	19	00	00	263.229	69.549
2015	12	22	20	00	00	264.903	69.469
2015	12	22	21	00	00	264.676	69.249
2015	12	22	22	00	00	264.219	69.219
2015	12	22	23	00	00	264.456	69.681
2015	12	23	00	00	00	265.595	69.933

2015	12	23	01	00	00	264.662	69.218
2015	12	23	02	00	00	264.595	69.121
2015	12	23	03	00	00	264.805	69.003
2015	12	23	04	00	00	265.419	69.570
2015	12	23	05	00	00	263.096	69.099
2015	12	23	06	00	00	264.143	69.601
2015	12	23	07	00	00	264.844	68.920
2015	12	23	08	00	00	264.468	69.109
2015	12	23	09	00	00	263.083	69.168
2015	12	23	10	00	00	264.107	69.453
2015	12	23	11	00	00	264.289	69.361
2015	12	23	12	00	00	265.480	69.360
2015	12	23	13	00	00	265.016	69.471
2015	12	23	14	00	00	264.994	69.428
2015	12	23	15	00	00	265.369	69.103
2015	12	23	16	00	00	264.708	69.460
2015	12	23	17	00	00	264.748	69.721
2015	12	23	18	00	00	265.883	69.470
2015	12	23	19	00	00	266.484	69.566
2015	12	23	20	00	00	264.791	69.459
2015	12	23	21	00	00	266.419	69.685
2015	12	23	22	00	00	264.999	69.567
2015	12	23	23	00	00	265.004	69.239
2015	12	24	00	00	00	266.535	69.477
2015	12	24	01	00	00	265.255	69.629
2015	12	24	02	00	00	265.568	69.260
2015	12	24	03	00	00	265.863	69.480
2015	12	24	04	00	00	264.963	69.574
2015	12	24	05	00	00	264.718	69.185
2015	12	24	06	00	00	264.789	69.194
2015	12	24	07	00	00	265.777	69.622
2015	12	24	08	00	00	265.783	69.723
2015	12	24	09	00	00	265.469	69.694
2015	12	24	10	00	00	265.782	69.796
2015	12	24	11	00	00	265.971	69.941
2015	12	24	12	00	00	265.875	69.935
2015	12	24	13	00	00	265.603	69.410
2015	12	24	14	00	00	265.831	69.693
2015	12	24	15	00	00	265.824	69.383
2015	12	24	16	00	00	265.381	69.561
2015	12	24	17	00	00	264.674	69.384
2015	12	24	18	00	00	265.396	69.584
2015	12	24	19	00	00	266.082	69.485
2015	12	24	20	00	00	265.246	69.667
2015	12	24	21	00	00	267.038	69.481
2015	12	24	22	00	00	265.613	69.783
2015	12	24	23	00	00	266.197	69.606
2015	12	25	00	00	00	266.519	69.820
2015	12	25	01	00	00	266.220	69.451
2015	12	25	02	00	00	265.969	69.628
2015	12	25	03	00	00	265.683	69.815
2015	12	25	04	00	00	266.480	69.670
2015	12	25	05	00	00	265.494	69.370
2015	12	25	06	00	00	265.242	69.158
2015	12	25	07	00	00	265.591	69.763
2015	12	25	08	00	00	265.846	69.812
2015	12	25	09	00	00	266.059	69.920
2015	12	25	10	00	00	267.066	69.688
2015	12	25	11	00	00	267.243	69.843
2015	12	25	12	00	00	266.809	70.181
2015	12	25	13	00	00	266.260	69.860
2015	12	25	14	00	00	266.639	70.075

2015	12	25	15	00	00	266.705	70.302
2015	12	25	16	00	00	267.985	69.659
2015	12	25	17	00	00	266.969	69.792
2015	12	25	18	00	00	266.239	69.347
2015	12	25	19	00	00	266.142	69.991
2015	12	25	20	00	00	265.989	69.876
2015	12	25	21	00	00	265.978	69.689
2015	12	25	22	00	00	265.936	69.910
2015	12	25	23	00	00	265.882	69.602
2015	12	26	00	00	00	266.034	69.723
2015	12	26	01	00	00	265.606	69.667
2015	12	26	02	00	00	263.878	69.130
2015	12	26	03	00	00	264.824	69.585
2015	12	26	04	00	00	265.790	69.427
2015	12	26	05	00	00	264.878	69.784
2015	12	26	06	00	00	266.525	69.598
2015	12	26	07	00	00	266.840	69.911
2015	12	26	08	00	00	266.979	69.708
2015	12	26	09	00	00	266.480	70.183
2015	12	26	10	00	00	267.424	70.006
2015	12	26	11	00	00	267.050	70.189
2015	12	26	12	00	00	266.435	70.101
2015	12	26	13	00	00	267.541	70.139
2015	12	26	14	00	00	266.233	69.909
2015	12	26	15	00	00	265.911	70.079
2015	12	26	16	00	00	267.864	69.352
2015	12	26	17	00	00	265.857	70.142
2015	12	26	18	00	00	265.745	69.838
2015	12	26	19	00	00	265.982	69.534
2015	12	26	20	00	00	265.185	69.637
2015	12	26	21	00	00	266.469	69.998
2015	12	26	22	00	00	265.462	69.767
2015	12	26	23	00	00	265.273	69.386
2015	12	27	00	00	00	265.724	69.682
2015	12	27	01	00	00	264.610	69.565
2015	12	27	02	00	00	266.471	69.487
2015	12	27	03	00	00	266.547	69.365
2015	12	27	04	00	00	265.521	69.727
2015	12	27	05	00	00	266.446	69.955
2015	12	27	06	00	00	266.236	69.807
2015	12	27	07	00	00	265.534	69.591
2015	12	27	08	00	00	265.993	69.730
2015	12	27	09	00	00	264.694	69.674
2015	12	27	10	00	00	265.868	69.340
2015	12	27	11	00	00	266.324	69.915
2015	12	27	12	00	00	265.950	69.460
2015	12	27	13	00	00	266.071	69.715
2015	12	27	14	00	00	266.343	70.096
2015	12	27	15	00	00	265.964	69.894
2015	12	27	16	00	00	266.365	70.007
2015	12	27	17	00	00	265.976	69.737
2015	12	27	18	00	00	266.143	69.499
2015	12	27	19	00	00	267.386	69.985
2015	12	27	20	00	00	266.498	69.750
2015	12	27	21	00	00	268.071	70.060
2015	12	27	22	00	00	266.942	69.884
2015	12	27	23	00	00	267.534	69.809
2015	12	28	00	00	00	266.561	70.233
2015	12	28	01	00	00	267.205	70.048
2015	12	28	02	00	00	266.841	70.010
2015	12	28	03	00	00	268.440	69.911
2015	12	28	04	00	00	268.162	69.886

2015	12	28	05	00	00	267.500	69.978
2015	12	28	06	00	00	268.629	69.932
2015	12	28	07	00	00	267.478	70.350
2015	12	28	08	00	00	267.654	69.873
2015	12	28	09	00	00	268.333	70.259
2015	12	28	10	00	00	267.440	70.433
2015	12	28	11	00	00	267.378	70.260
2015	12	28	12	00	00	267.916	70.177
2015	12	28	13	00	00	268.165	70.431
2015	12	28	14	00	00	268.537	70.390
2015	12	28	15	00	00	268.345	70.450
2015	12	28	16	00	00	269.080	70.393
2015	12	28	17	00	00	268.182	70.453
2015	12	28	18	00	00	269.567	70.112
2015	12	28	19	00	00	269.294	69.855
2015	12	28	20	00	00	268.719	69.587
2015	12	28	21	00	00	267.970	69.830
2015	12	28	22	00	00	268.086	69.975
2015	12	28	23	00	00	268.991	70.718
2015	12	29	00	00	00	269.365	70.039
2015	12	29	01	00	00	268.860	70.162
2015	12	29	02	00	00	269.466	70.107
2015	12	29	03	00	00	269.982	70.121
2015	12	29	04	00	00	268.418	70.323
2015	12	29	05	00	00	269.015	70.608
2015	12	29	06	00	00	269.652	70.119
2015	12	29	07	00	00	269.949	70.764
2015	12	29	08	00	00	268.894	70.124
2015	12	29	09	00	00	270.185	70.520
2015	12	29	10	00	00	269.900	70.451
2015	12	29	11	00	00	270.435	70.623
2015	12	29	12	00	00	269.728	70.886
2015	12	29	13	00	00	270.912	71.121
2015	12	29	14	00	00	270.010	70.606
2015	12	29	15	00	00	270.695	70.672
2015	12	29	16	00	00	270.995	70.883
2015	12	29	17	00	00	271.231	71.307
2015	12	29	18	00	00	270.328	70.828
2015	12	29	19	00	00	270.793	71.200
2015	12	29	20	00	00	270.512	70.779
2015	12	29	21	00	00	271.039	70.870
2015	12	29	22	00	00	271.031	71.024
2015	12	29	23	00	00	270.285	71.342
2015	12	30	00	00	00	271.859	71.449
2015	12	30	01	00	00	271.576	71.189
2015	12	30	02	00	00	270.457	71.428
2015	12	30	03	00	00	270.750	71.323
2015	12	30	04	00	00	270.745	70.868
2015	12	30	05	00	00	270.279	71.299
2015	12	30	06	00	00	270.870	71.155
2015	12	30	07	00	00	271.132	70.928
2015	12	30	08	00	00	271.314	71.461
2015	12	30	09	00	00	270.302	71.089
2015	12	30	10	00	00	270.983	71.045
2015	12	30	11	00	00	271.570	71.341
2015	12	30	12	00	00	270.469	71.315
2015	12	30	13	00	00	270.824	71.210
2015	12	30	14	00	00	271.945	71.490
2015	12	30	15	00	00	271.356	71.187
2015	12	30	16	00	00	271.596	71.232
2015	12	30	17	00	00	271.001	70.871
2015	12	30	18	00	00	271.252	71.164

2015	12	30	19	00	00	270.955	71.097
2015	12	30	20	00	00	269.934	71.200
2015	12	30	21	00	00	271.617	71.288
2015	12	30	22	00	00	271.095	71.078
2015	12	30	23	00	00	271.714	71.213
2015	12	31	00	00	00	271.334	71.178
2015	12	31	01	00	00	270.189	70.968
2015	12	31	02	00	00	268.698	70.305
2015	12	31	03	00	00	268.007	69.940
2015	12	31	04	00	00	266.382	70.290
2015	12	31	05	00	00	265.507	70.008
2015	12	31	06	00	00	264.959	69.600
2015	12	31	07	00	00	264.634	69.687
2015	12	31	08	00	00	265.232	69.823
2015	12	31	09	00	00	265.949	69.577
2015	12	31	10	00	00	265.005	69.631
2015	12	31	11	00	00	264.198	69.743
2015	12	31	12	00	00	264.798	69.301
2015	12	31	13	00	00	266.306	70.112
2015	12	31	14	00	00	266.517	70.229
2015	12	31	15	00	00	264.428	69.791
2015	12	31	16	00	00	265.790	69.715
2015	12	31	17	00	00	265.562	70.632
2015	12	31	18	00	00	266.037	70.160
2015	12	31	19	00	00	262.406	68.969
2015	12	31	20	00	00	262.924	68.644
2015	12	31	21	00	00	264.741	69.830
2015	12	31	22	00	00	264.766	69.773
2015	12	31	23	00	00	264.888	69.536
2016	01	01	00	00	00	264.164	69.253
2016	01	01	01	00	00	262.172	68.511
2016	01	01	02	00	00	264.848	69.846
2016	01	01	03	00	00	265.174	69.684
2016	01	01	04	00	00	265.506	69.588
2016	01	01	05	00	00	262.289	68.717
2016	01	01	06	00	00	260.541	68.714
2016	01	01	07	00	00	260.666	68.464
2016	01	01	08	00	00	260.904	68.416
2016	01	01	09	00	00	260.702	68.777
2016	01	01	10	00	00	261.979	68.694
2016	01	01	11	00	00	261.872	68.402
2016	01	01	12	00	00	261.092	68.498
2016	01	01	13	00	00	261.289	68.305
2016	01	01	14	00	00	262.231	68.823
2016	01	01	15	00	00	262.921	68.913
2016	01	01	16	00	00	263.316	68.901
2016	01	01	17	00	00	262.707	69.059
2016	01	01	18	00	00	262.258	69.039
2016	01	01	19	00	00	262.699	69.035
2016	01	01	20	00	00	264.189	69.216
2016	01	01	21	00	00	264.182	69.022
2016	01	01	22	00	00	263.587	68.981
2016	01	01	23	00	00	263.991	69.068
2016	01	02	00	00	00	264.291	69.300
2016	01	02	01	00	00	265.231	69.483
2016	01	02	02	00	00	265.369	69.580
2016	01	02	03	00	00	266.675	69.858
2016	01	02	04	00	00	263.801	69.430
2016	01	02	05	00	00	262.876	69.417
2016	01	02	06	00	00	262.824	69.079
2016	01	02	07	00	00	263.881	68.953
2016	01	02	08	00	00	264.110	68.908

2016	01	02	09	00	00	262.965	69.571
2016	01	02	10	00	00	264.182	69.309
2016	01	02	11	00	00	263.633	69.053
2016	01	02	12	00	00	265.167	69.007
2016	01	02	13	00	00	263.360	69.229
2016	01	02	14	00	00	264.084	69.157
2016	01	02	15	00	00	264.163	69.379
2016	01	02	16	00	00	264.387	69.206
2016	01	02	17	00	00	265.078	69.343
2016	01	02	18	00	00	264.915	69.263
2016	01	02	19	00	00	263.495	69.001
2016	01	02	20	00	00	264.684	69.497
2016	01	02	21	00	00	264.979	69.732
2016	01	02	22	00	00	264.269	69.604
2016	01	02	23	00	00	263.740	69.163
2016	01	03	00	00	00	265.390	69.625
2016	01	03	01	00	00	264.908	69.330
2016	01	03	02	00	00	263.882	69.427
2016	01	03	03	00	00	264.286	69.497
2016	01	03	04	00	00	262.100	69.190
2016	01	03	05	00	00	262.885	69.434
2016	01	03	06	00	00	262.468	69.488
2016	01	03	07	00	00	264.340	69.075
2016	01	03	08	00	00	264.137	69.530
2016	01	03	09	00	00	264.206	69.773
2016	01	03	10	00	00	264.241	69.629
2016	01	03	11	00	00	264.863	69.517
2016	01	03	12	00	00	264.268	69.670
2016	01	03	13	00	00	264.634	69.272
2016	01	03	14	00	00	265.339	69.735
2016	01	03	15	00	00	263.415	70.053
2016	01	03	16	00	00	263.783	69.083
2016	01	03	17	00	00	265.582	69.635
2016	01	03	18	00	00	264.892	69.867
2016	01	03	19	00	00	265.424	69.506
2016	01	03	20	00	00	266.090	69.363
2016	01	03	21	00	00	265.858	69.802
2016	01	03	22	00	00	266.340	69.723
2016	01	03	23	00	00	265.648	69.989
2016	01	04	00	00	00	266.129	69.915
2016	01	04	01	00	00	265.251	69.917
2016	01	04	02	00	00	265.326	70.061
2016	01	04	03	00	00	265.871	70.162
2016	01	04	04	00	00	266.249	70.012
2016	01	04	05	00	00	266.193	69.970
2016	01	04	06	00	00	266.477	69.550
2016	01	04	07	00	00	267.139	70.249
2016	01	04	08	00	00	266.514	70.047
2016	01	04	09	00	00	266.231	69.950
2016	01	04	10	00	00	266.153	70.363
2016	01	04	11	00	00	266.706	70.008
2016	01	04	12	00	00	267.045	70.155
2016	01	04	13	00	00	266.588	70.105
2016	01	04	14	00	00	267.233	70.135
2016	01	04	15	00	00	267.483	69.801
2016	01	04	16	00	00	266.944	69.771
2016	01	04	17	00	00	268.560	70.038
2016	01	04	18	00	00	268.330	70.386
2016	01	04	19	00	00	268.157	69.989
2016	01	04	20	00	00	268.353	70.125
2016	01	04	21	00	00	268.900	70.338
2016	01	04	22	00	00	269.237	69.859

2016	01	04	23	00	00	269.032	70.559
2016	01	05	00	00	00	268.255	70.227
2016	01	05	01	00	00	269.875	70.328
2016	01	05	02	00	00	267.127	70.237
2016	01	05	03	00	00	267.011	70.367
2016	01	05	04	00	00	267.637	70.353
2016	01	05	05	00	00	267.201	69.903
2016	01	05	06	00	00	266.316	69.852
2016	01	05	07	00	00	268.582	70.519
2016	01	05	08	00	00	268.453	70.133
2016	01	05	09	00	00	268.391	70.436
2016	01	05	10	00	00	268.628	70.794
2016	01	05	11	00	00	268.654	70.560
2016	01	05	12	00	00	270.630	71.083
2016	01	05	13	00	00	268.919	70.456
2016	01	05	14	00	00	269.582	70.435
2016	01	05	15	00	00	269.277	70.261
2016	01	05	16	00	00	268.589	70.766
2016	01	05	17	00	00	269.224	70.615
2016	01	05	18	00	00	268.681	70.868
2016	01	05	19	00	00	268.119	70.078
2016	01	05	20	00	00	267.355	70.126
2016	01	05	21	00	00	267.252	70.384
2016	01	05	22	00	00	266.699	70.130
2016	01	05	23	00	00	266.464	69.907
2016	01	06	00	00	00	266.841	69.492
2016	01	06	01	00	00	266.971	69.788
2016	01	06	02	00	00	266.225	69.666
2016	01	06	03	00	00	266.957	69.950
2016	01	06	04	00	00	266.359	69.966
2016	01	06	05	00	00	267.092	70.358
2016	01	06	06	00	00	266.899	70.235
2016	01	06	07	00	00	267.942	69.945
2016	01	06	08	00	00	266.652	70.126
2016	01	06	09	00	00	266.608	69.972
2016	01	06	10	00	00	267.839	70.188
2016	01	06	11	00	00	267.744	70.065
2016	01	06	12	00	00	267.608	70.607
2016	01	06	13	00	00	266.689	70.200
2016	01	06	14	00	00	267.881	70.186
2016	01	06	15	00	00	267.326	69.766
2016	01	06	16	00	00	267.351	70.205
2016	01	06	17	00	00	268.015	69.821
2016	01	06	18	00	00	265.911	70.410
2016	01	06	19	00	00	266.829	70.211
2016	01	06	20	00	00	267.485	70.073
2016	01	06	21	00	00	268.044	69.625
2016	01	06	22	00	00	267.678	70.209
2016	01	06	23	00	00	267.658	70.143
2016	01	07	00	00	00	267.427	70.386
2016	01	07	01	00	00	267.126	70.465
2016	01	07	02	00	00	267.938	70.462
2016	01	07	03	00	00	267.861	70.316
2016	01	07	04	00	00	268.066	70.417
2016	01	07	05	00	00	268.148	70.854
2016	01	07	06	00	00	268.452	70.439
2016	01	07	07	00	00	269.189	70.852
2016	01	07	08	00	00	268.915	70.548
2016	01	07	09	00	00	268.457	70.639
2016	01	07	10	00	00	269.116	70.631
2016	01	07	11	00	00	269.329	70.561
2016	01	07	12	00	00	268.617	70.682

2016	01	07	13	00	00	267.129	70.595
2016	01	07	14	00	00	269.103	70.649
2016	01	07	15	00	00	268.055	70.509
2016	01	07	16	00	00	268.526	70.451
2016	01	07	17	00	00	269.439	70.534
2016	01	07	18	00	00	268.197	70.513
2016	01	07	19	00	00	269.144	70.601
2016	01	07	20	00	00	269.623	70.147
2016	01	07	21	00	00	269.431	70.362
2016	01	07	22	00	00	267.599	70.512
2016	01	07	23	00	00	269.363	70.812
2016	01	08	00	00	00	269.336	70.417
2016	01	08	01	00	00	268.713	70.362
2016	01	08	02	00	00	269.560	70.249
2016	01	08	03	00	00	268.717	70.320
2016	01	08	04	00	00	268.231	70.205
2016	01	08	05	00	00	267.203	70.478
2016	01	08	06	00	00	268.619	70.586
2016	01	08	07	00	00	268.548	70.476
2016	01	08	08	00	00	267.866	70.087
2016	01	08	09	00	00	268.560	70.075
2016	01	08	10	00	00	269.164	70.236
2016	01	08	11	00	00	268.611	70.688
2016	01	08	12	00	00	267.822	70.749
2016	01	08	13	00	00	268.186	70.829
2016	01	08	14	00	00	269.324	70.410
2016	01	08	15	00	00	268.978	70.514
2016	01	08	16	00	00	269.159	70.588
2016	01	08	17	00	00	269.343	70.514
2016	01	08	18	00	00	270.061	70.656
2016	01	08	19	00	00	270.601	70.802
2016	01	08	20	00	00	269.517	70.746
2016	01	08	21	00	00	269.331	71.095
2016	01	08	22	00	00	269.945	70.655
2016	01	08	23	00	00	269.085	70.472
2016	01	09	00	00	00	269.735	70.856
2016	01	09	01	00	00	269.532	70.778
2016	01	09	02	00	00	269.651	70.687
2016	01	09	03	00	00	269.159	70.953
2016	01	09	04	00	00	269.436	70.916
2016	01	09	05	00	00	268.429	70.649
2016	01	09	06	00	00	268.607	70.292
2016	01	09	07	00	00	269.548	70.934
2016	01	09	08	00	00	268.259	70.221
2016	01	09	09	00	00	270.155	70.022
2016	01	09	10	00	00	269.912	69.618
2016	01	09	11	00	00	268.341	70.604
2016	01	09	12	00	00	268.398	70.219
2016	01	09	13	00	00	269.016	70.669
2016	01	09	14	00	00	268.611	70.469
2016	01	09	15	00	00	268.188	70.579
2016	01	09	16	00	00	268.290	70.822
2016	01	09	17	00	00	268.164	70.173
2016	01	09	18	00	00	269.071	70.340
2016	01	09	19	00	00	267.548	70.552
2016	01	09	20	00	00	269.670	70.555
2016	01	09	21	00	00	268.483	70.293
2016	01	09	22	00	00	268.480	70.016
2016	01	09	23	00	00	269.663	70.277
2016	01	10	00	00	00	268.170	70.296
2016	01	10	01	00	00	269.609	70.487
2016	01	10	02	00	00	269.782	70.912

2016	01	10	03	00	00	269.687	70.147
2016	01	10	04	00	00	269.181	70.394
2016	01	10	05	00	00	269.235	70.597
2016	01	10	06	00	00	269.239	70.307
2016	01	10	07	00	00	269.694	70.251
2016	01	10	08	00	00	270.352	70.029
2016	01	10	09	00	00	269.873	70.043
2016	01	10	10	00	00	268.800	70.242
2016	01	10	11	00	00	268.866	70.493
2016	01	10	12	00	00	268.021	70.468
2016	01	10	13	00	00	267.724	70.160
2016	01	10	14	00	00	267.600	69.964
2016	01	10	15	00	00	268.480	69.996
2016	01	10	16	00	00	267.621	69.845
2016	01	10	17	00	00	268.281	69.821
2016	01	10	18	00	00	267.160	70.383
2016	01	10	19	00	00	268.219	69.995
2016	01	10	20	00	00	267.865	70.002
2016	01	10	21	00	00	268.031	70.423
2016	01	10	22	00	00	268.535	69.929
2016	01	10	23	00	00	268.096	70.018
2016	01	11	00	00	00	268.145	70.091
2016	01	11	01	00	00	268.906	70.083
2016	01	11	02	00	00	266.952	70.041
2016	01	11	03	00	00	268.265	70.162
2016	01	11	04	00	00	268.705	69.551
2016	01	11	05	00	00	266.189	69.506
2016	01	11	06	00	00	266.524	69.561
2016	01	11	07	00	00	265.679	69.813
2016	01	11	08	00	00	267.713	69.578
2016	01	11	09	00	00	266.530	69.995
2016	01	11	10	00	00	266.381	69.837
2016	01	11	11	00	00	266.876	69.791
2016	01	11	12	00	00	265.612	69.551
2016	01	11	13	00	00	267.898	69.956
2016	01	11	14	00	00	267.357	69.499
2016	01	11	15	00	00	266.545	69.000
2016	01	11	16	00	00	266.180	69.652
2016	01	11	17	00	00	266.510	69.404
2016	01	11	18	00	00	266.433	69.485
2016	01	11	19	00	00	265.832	69.811
2016	01	11	20	00	00	265.425	69.734
2016	01	11	21	00	00	265.244	69.262
2016	01	11	22	00	00	265.042	69.693
2016	01	11	23	00	00	266.381	69.533
2016	01	12	00	00	00	265.864	69.669
2016	01	12	01	00	00	266.046	69.465
2016	01	12	02	00	00	267.209	69.339
2016	01	12	03	00	00	266.590	69.794
2016	01	12	04	00	00	266.759	69.589
2016	01	12	05	00	00	266.460	69.796
2016	01	12	06	00	00	266.402	69.313
2016	01	12	07	00	00	266.998	69.833
2016	01	12	08	00	00	267.076	69.717
2016	01	12	09	00	00	266.848	69.467
2016	01	12	10	00	00	266.944	70.049
2016	01	12	11	00	00	265.165	69.511
2016	01	12	12	00	00	266.811	69.807
2016	01	12	13	00	00	267.279	69.708
2016	01	12	14	00	00	266.980	69.439
2016	01	12	15	00	00	267.614	69.627
2016	01	12	16	00	00	266.670	69.390

2016	01	12	17	00	00	266.652	69.452
2016	01	12	18	00	00	265.713	69.398
2016	01	12	19	00	00	266.258	70.000
2016	01	12	20	00	00	264.951	69.393
2016	01	12	21	00	00	264.815	69.580
2016	01	12	22	00	00	265.536	69.533
2016	01	12	23	00	00	265.853	69.596
2016	01	13	00	00	00	266.753	69.387
2016	01	13	01	00	00	265.914	69.729
2016	01	13	02	00	00	264.473	69.717
2016	01	13	03	00	00	266.197	69.677
2016	01	13	04	00	00	264.980	69.296
2016	01	13	05	00	00	264.511	69.740
2016	01	13	06	00	00	265.604	69.592
2016	01	13	07	00	00	265.078	69.377
2016	01	13	08	00	00	265.101	69.405
2016	01	13	09	00	00	265.195	69.586
2016	01	13	10	00	00	265.515	69.467
2016	01	13	11	00	00	265.836	69.287
2016	01	13	12	00	00	264.596	69.353
2016	01	13	13	00	00	265.286	69.486
2016	01	13	14	00	00	265.827	69.433
2016	01	13	15	00	00	264.777	69.113
2016	01	13	16	00	00	264.769	69.186
2016	01	13	17	00	00	264.351	69.607
2016	01	13	18	00	00	264.616	69.648
2016	01	13	19	00	00	265.153	69.403
2016	01	13	20	00	00	266.308	69.522
2016	01	13	21	00	00	265.133	69.596
2016	01	13	22	00	00	266.867	69.893
2016	01	13	23	00	00	266.022	69.664
2016	01	14	00	00	00	264.982	69.321
2016	01	14	01	00	00	266.039	69.317
2016	01	14	02	00	00	266.244	69.828
2016	01	14	03	00	00	265.883	69.620
2016	01	14	04	00	00	267.206	69.918
2016	01	14	05	00	00	265.664	69.736
2016	01	14	06	00	00	265.250	69.745
2016	01	14	07	00	00	265.304	69.797
2016	01	14	08	00	00	265.657	69.449
2016	01	14	09	00	00	266.939	69.873
2016	01	14	10	00	00	265.747	70.069
2016	01	14	11	00	00	265.713	69.650
2016	01	14	12	00	00	266.362	69.756
2016	01	14	13	00	00	265.012	69.902
2016	01	14	14	00	00	267.168	69.991
2016	01	14	15	00	00	267.112	70.080
2016	01	14	16	00	00	267.061	70.038
2016	01	14	17	00	00	267.164	69.908
2016	01	14	18	00	00	267.455	70.355
2016	01	14	19	00	00	267.513	70.012
2016	01	14	20	00	00	267.245	70.342
2016	01	14	21	00	00	267.866	69.722
2016	01	14	22	00	00	267.116	70.127
2016	01	14	23	00	00	268.707	69.994
2016	01	15	00	00	00	266.444	70.108
2016	01	15	01	00	00	267.662	69.933
2016	01	15	02	00	00	269.260	70.296
2016	01	15	03	00	00	267.789	70.426
2016	01	15	04	00	00	266.637	70.174
2016	01	15	05	00	00	267.256	70.039
2016	01	15	06	00	00	267.332	69.782

2016	01	15	07	00	00	266.848	70.167
2016	01	15	08	00	00	267.215	70.346
2016	01	15	09	00	00	268.147	69.833
2016	01	15	10	00	00	269.083	70.075
2016	01	15	11	00	00	268.175	70.344
2016	01	15	12	00	00	267.708	70.088
2016	01	15	13	00	00	269.019	70.410
2016	01	15	14	00	00	268.259	70.282
2016	01	15	15	00	00	268.713	70.160
2016	01	15	16	00	00	268.739	70.011
2016	01	15	17	00	00	269.386	70.374
2016	01	15	18	00	00	268.863	70.337
2016	01	15	19	00	00	269.347	70.636
2016	01	15	20	00	00	269.719	70.360
2016	01	15	21	00	00	269.238	70.261
2016	01	15	22	00	00	267.940	70.536
2016	01	15	23	00	00	268.753	70.822
2016	01	16	00	00	00	269.670	70.924
2016	01	16	01	00	00	269.073	70.482
2016	01	16	02	00	00	269.310	70.248
2016	01	16	03	00	00	269.374	70.256
2016	01	16	04	00	00	268.377	70.222
2016	01	16	05	00	00	268.976	70.482
2016	01	16	06	00	00	268.946	70.610
2016	01	16	07	00	00	268.783	70.394
2016	01	16	08	00	00	269.402	70.261
2016	01	16	09	00	00	267.966	70.057
2016	01	16	10	00	00	268.762	70.460
2016	01	16	11	00	00	270.068	70.542
2016	01	16	12	00	00	269.374	70.837
2016	01	16	13	00	00	269.760	70.840
2016	01	16	14	00	00	269.040	70.151
2016	01	16	15	00	00	268.939	70.552
2016	01	16	16	00	00	269.526	70.583
2016	01	16	17	00	00	269.471	70.924
2016	01	16	18	00	00	270.093	70.472
2016	01	16	19	00	00	268.546	70.491
2016	01	16	20	00	00	269.954	70.050
2016	01	16	21	00	00	267.714	70.325
2016	01	16	22	00	00	268.259	70.470
2016	01	16	23	00	00	267.883	70.156
2016	01	17	00	00	00	268.741	70.364
2016	01	17	01	00	00	269.047	70.385
2016	01	17	02	00	00	268.056	70.312
2016	01	17	03	00	00	268.421	70.431
2016	01	17	04	00	00	268.630	70.093
2016	01	17	05	00	00	267.391	70.205
2016	01	17	06	00	00	267.923	70.529
2016	01	17	07	00	00	267.547	70.559
2016	01	17	08	00	00	268.641	70.503
2016	01	17	09	00	00	269.639	70.923
2016	01	17	10	00	00	269.802	70.379
2016	01	17	11	00	00	269.906	71.047
2016	01	17	12	00	00	269.807	70.836
2016	01	17	13	00	00	271.386	70.653
2016	01	17	14	00	00	269.703	70.982
2016	01	17	15	00	00	270.691	70.712
2016	01	17	16	00	00	269.039	70.672
2016	01	17	17	00	00	268.951	70.613
2016	01	17	18	00	00	269.974	70.839
2016	01	17	19	00	00	268.580	70.568
2016	01	17	20	00	00	270.496	70.890

2016	01	17	21	00	00	269.857	70.895
2016	01	17	22	00	00	270.821	71.044
2016	01	17	23	00	00	270.562	70.874
2016	01	18	00	00	00	270.183	70.820
2016	01	18	01	00	00	270.480	70.989
2016	01	18	02	00	00	271.382	70.581
2016	01	18	03	00	00	270.179	70.616
2016	01	18	04	00	00	271.037	70.504
2016	01	18	05	00	00	269.350	70.205
2016	01	18	06	00	00	269.849	70.825
2016	01	18	07	00	00	269.602	70.612
2016	01	18	08	00	00	269.330	70.595
2016	01	18	09	00	00	269.188	70.266
2016	01	18	10	00	00	269.344	70.513
2016	01	18	11	00	00	269.249	70.692
2016	01	18	12	00	00	268.939	70.218
2016	01	18	13	00	00	267.707	70.550
2016	01	18	14	00	00	268.851	70.324
2016	01	18	15	00	00	269.167	70.216
2016	01	18	16	00	00	269.274	70.932
2016	01	18	17	00	00	269.247	70.851
2016	01	18	18	00	00	269.238	71.188
2016	01	18	19	00	00	270.014	70.581
2016	01	18	20	00	00	270.506	70.907
2016	01	18	21	00	00	270.139	71.011
2016	01	18	22	00	00	270.061	71.078
2016	01	18	23	00	00	270.655	70.848
2016	01	19	00	00	00	270.260	71.003
2016	01	19	01	00	00	269.045	70.535
2016	01	19	02	00	00	270.529	71.019
2016	01	19	03	00	00	270.879	70.961
2016	01	19	04	00	00	270.040	70.801
2016	01	19	05	00	00	269.485	70.801
2016	01	19	06	00	00	268.777	70.592
2016	01	19	07	00	00	268.629	70.071
2016	01	19	08	00	00	267.027	70.097
2016	01	19	09	00	00	268.113	69.899
2016	01	19	10	00	00	266.895	69.741
2016	01	19	11	00	00	264.835	69.502
2016	01	19	12	00	00	263.363	68.994
2016	01	19	13	00	00	263.799	69.534
2016	01	19	14	00	00	263.382	69.153
2016	01	19	15	00	00	263.323	69.118
2016	01	19	16	00	00	264.491	69.179
2016	01	19	17	00	00	263.189	69.263
2016	01	19	18	00	00	264.885	69.360
2016	01	19	19	00	00	264.954	69.496
2016	01	19	20	00	00	264.320	69.731
2016	01	19	21	00	00	264.828	69.189
2016	01	19	22	00	00	264.538	69.512
2016	01	19	23	00	00	264.838	69.404
2016	01	20	00	00	00	265.092	69.546
2016	01	20	01	00	00	264.082	69.046
2016	01	20	02	00	00	264.665	69.589
2016	01	20	03	00	00	264.371	69.305
2016	01	20	04	00	00	262.845	69.140
2016	01	20	05	00	00	262.929	69.635
2016	01	20	06	00	00	264.226	69.338
2016	01	20	07	00	00	263.088	69.642
2016	01	20	08	00	00	264.217	69.202
2016	01	20	09	00	00	263.553	69.771
2016	01	20	10	00	00	264.425	69.600

2016	01	20	11	00	00	264.800	69.419
2016	01	20	12	00	00	264.716	69.488
2016	01	20	13	00	00	264.967	69.539
2016	01	20	14	00	00	265.516	69.725
2016	01	20	15	00	00	266.074	70.047
2016	01	20	16	00	00	265.423	69.538
2016	01	20	17	00	00	265.126	69.989
2016	01	20	18	00	00	265.672	69.754
2016	01	20	19	00	00	264.996	70.126
2016	01	20	20	00	00	263.988	69.906
2016	01	20	21	00	00	265.605	69.688
2016	01	20	22	00	00	265.337	69.586
2016	01	20	23	00	00	265.771	69.728
2016	01	21	00	00	00	264.273	69.821
2016	01	21	01	00	00	264.979	69.369
2016	01	21	02	00	00	265.309	69.710
2016	01	21	03	00	00	264.566	69.377
2016	01	21	04	00	00	264.089	69.285
2016	01	21	05	00	00	264.483	69.595
2016	01	21	06	00	00	263.080	69.057
2016	01	21	07	00	00	263.704	68.819
2016	01	21	08	00	00	264.855	69.262
2016	01	21	09	00	00	264.859	68.964
2016	01	21	10	00	00	263.319	69.157
2016	01	21	11	00	00	263.203	69.428
2016	01	21	12	00	00	264.821	68.663
2016	01	21	13	00	00	265.457	69.303
2016	01	21	14	00	00	265.582	69.111
2016	01	21	15	00	00	265.199	69.269
2016	01	21	16	00	00	264.139	69.248
2016	01	21	17	00	00	265.002	69.215
2016	01	21	18	00	00	264.597	69.308
2016	01	21	19	00	00	264.243	69.524
2016	01	21	20	00	00	264.857	69.861
2016	01	21	21	00	00	265.531	69.178
2016	01	21	22	00	00	265.591	69.170
2016	01	21	23	00	00	263.966	69.566
2016	01	22	00	00	00	264.503	69.229
2016	01	22	01	00	00	263.967	69.499
2016	01	22	02	00	00	264.939	69.740
2016	01	22	03	00	00	265.036	69.249
2016	01	22	04	00	00	264.501	69.667
2016	01	22	05	00	00	264.124	69.598
2016	01	22	06	00	00	265.753	69.491
2016	01	22	07	00	00	264.930	69.694
2016	01	22	08	00	00	266.004	69.472
2016	01	22	09	00	00	265.891	69.522
2016	01	22	10	00	00	266.238	69.826
2016	01	22	11	00	00	266.068	69.424
2016	01	22	12	00	00	266.142	69.926
2016	01	22	13	00	00	268.036	69.746
2016	01	22	14	00	00	266.507	69.471
2016	01	22	15	00	00	266.719	69.744
2016	01	22	16	00	00	267.176	69.881
2016	01	22	17	00	00	267.343	70.251
2016	01	22	18	00	00	266.959	70.033
2016	01	22	19	00	00	267.764	69.854
2016	01	22	20	00	00	268.932	70.062
2016	01	22	21	00	00	267.712	70.730
2016	01	22	22	00	00	268.183	70.611
2016	01	22	23	00	00	270.313	70.384
2016	01	23	00	00	00	269.297	70.241

2016	01	23	01	00	00	268.494	70.132
2016	01	23	02	00	00	268.146	70.452
2016	01	23	03	00	00	268.829	70.710
2016	01	23	04	00	00	268.121	70.482
2016	01	23	05	00	00	268.121	70.898
2016	01	23	06	00	00	267.998	70.111
2016	01	23	07	00	00	268.083	70.267
2016	01	23	08	00	00	269.335	70.342
2016	01	23	09	00	00	268.438	70.335
2016	01	23	10	00	00	268.522	70.358
2016	01	23	11	00	00	268.992	70.405
2016	01	23	12	00	00	269.393	70.656
2016	01	23	13	00	00	270.409	70.670
2016	01	23	14	00	00	270.559	70.842
2016	01	23	15	00	00	271.045	70.700
2016	01	23	16	00	00	270.186	70.701
2016	01	23	17	00	00	270.836	70.941
2016	01	23	18	00	00	270.255	71.160
2016	01	23	19	00	00	270.100	70.414
2016	01	23	20	00	00	269.555	70.524
2016	01	23	21	00	00	270.758	70.920
2016	01	23	22	00	00	269.988	70.578
2016	01	23	23	00	00	270.366	70.615
2016	01	24	00	00	00	271.520	70.846
2016	01	24	01	00	00	271.911	70.699
2016	01	24	02	00	00	272.257	71.413
2016	01	24	03	00	00	271.207	71.006
2016	01	24	04	00	00	271.345	70.494
2016	01	24	05	00	00	271.772	70.938
2016	01	24	06	00	00	271.957	71.232
2016	01	24	07	00	00	272.012	71.165
2016	01	24	08	00	00	272.276	71.166
2016	01	24	09	00	00	273.457	71.807
2016	01	24	10	00	00	273.640	71.297
2016	01	24	11	00	00	274.300	71.687
2016	01	24	12	00	00	274.637	72.069
2016	01	24	13	00	00	275.014	71.690
2016	01	24	14	00	00	273.527	72.019
2016	01	24	15	00	00	274.670	72.252
2016	01	24	16	00	00	275.503	71.665
2016	01	24	17	00	00	274.878	72.117
2016	01	24	18	00	00	274.695	71.967
2016	01	24	19	00	00	274.188	72.154
2016	01	24	20	00	00	273.797	71.647
2016	01	24	21	00	00	273.944	71.354
2016	01	24	22	00	00	273.348	71.442
2016	01	24	23	00	00	274.309	71.351
2016	01	25	00	00	00	273.905	71.019
2016	01	25	01	00	00	272.330	71.564
2016	01	25	02	00	00	273.702	71.621
2016	01	25	03	00	00	273.864	71.514
2016	01	25	04	00	00	273.634	71.703
2016	01	25	05	00	00	274.396	71.287
2016	01	25	06	00	00	274.986	71.838
2016	01	25	07	00	00	275.223	71.556
2016	01	25	08	00	00	274.326	71.556
2016	01	25	09	00	00	274.281	71.098
2016	01	25	10	00	00	274.920	71.547
2016	01	25	11	00	00	274.705	71.274
2016	01	25	12	00	00	274.605	71.527
2016	01	25	13	00	00	275.152	71.472
2016	01	25	14	00	00	275.540	71.649

2016	01	25	15	00	00	274.253	71.684
2016	01	25	16	00	00	275.412	71.457
2016	01	25	17	00	00	273.846	71.876
2016	01	25	18	00	00	275.548	72.073
2016	01	25	19	00	00	275.682	71.599
2016	01	25	20	00	00	275.770	71.263
2016	01	25	21	00	00	275.528	71.863
2016	01	25	22	00	00	275.085	71.438
2016	01	25	23	00	00	275.234	71.796
2016	01	26	00	00	00	275.749	71.779
2016	01	26	01	00	00	275.235	71.615
2016	01	26	02	00	00	275.333	72.033
2016	01	26	03	00	00	274.578	71.696
2016	01	26	04	00	00	276.400	72.146
2016	01	26	05	00	00	276.611	72.165
2016	01	26	06	00	00	277.118	72.695
2016	01	26	07	00	00	277.865	72.653
2016	01	26	08	00	00	276.113	72.963
2016	01	26	09	00	00	276.999	72.614
2016	01	26	10	00	00	277.183	72.128
2016	01	26	11	00	00	276.101	72.325
2016	01	26	12	00	00	276.778	72.277
2016	01	26	13	00	00	276.353	72.209
2016	01	26	14	00	00	275.184	71.835
2016	01	26	15	00	00	275.093	71.511
2016	01	26	16	00	00	276.235	71.903
2016	01	26	17	00	00	274.687	71.837
2016	01	26	18	00	00	274.271	71.757
2016	01	26	19	00	00	274.535	71.403
2016	01	26	20	00	00	274.685	71.724
2016	01	26	21	00	00	273.487	71.672
2016	01	26	22	00	00	274.667	71.376
2016	01	26	23	00	00	274.228	71.830
2016	01	27	00	00	00	275.303	72.206
2016	01	27	01	00	00	276.713	72.036
2016	01	27	02	00	00	276.177	71.770
2016	01	27	03	00	00	276.285	72.111
2016	01	27	04	00	00	275.811	71.916
2016	01	27	05	00	00	273.483	71.704
2016	01	27	06	00	00	274.075	71.470
2016	01	27	07	00	00	273.705	71.898
2016	01	27	08	00	00	274.751	71.458
2016	01	27	09	00	00	274.613	71.719
2016	01	27	10	00	00	274.213	71.893
2016	01	27	11	00	00	273.808	71.274
2016	01	27	12	00	00	272.749	71.184
2016	01	27	13	00	00	272.084	71.432
2016	01	27	14	00	00	274.002	71.334
2016	01	27	15	00	00	273.287	71.777
2016	01	27	16	00	00	274.401	71.782
2016	01	27	17	00	00	273.771	71.726
2016	01	27	18	00	00	273.099	71.862
2016	01	27	19	00	00	273.102	71.676
2016	01	27	20	00	00	273.347	71.579
2016	01	27	21	00	00	273.614	71.621
2016	01	27	22	00	00	273.839	71.665
2016	01	27	23	00	00	274.119	71.557
2016	01	28	00	00	00	274.083	71.605
2016	01	28	01	00	00	272.981	71.585
2016	01	28	02	00	00	273.872	71.833
2016	01	28	03	00	00	273.638	71.452
2016	01	28	04	00	00	274.329	71.924

2016	01	28	05	00	00	275.397	71.752
2016	01	28	06	00	00	273.651	71.582
2016	01	28	07	00	00	273.025	71.808
2016	01	28	08	00	00	273.340	71.339
2016	01	28	09	00	00	275.089	71.666
2016	01	28	10	00	00	274.874	71.278
2016	01	28	11	00	00	274.349	71.872
2016	01	28	12	00	00	273.862	71.484
2016	01	28	13	00	00	274.155	71.602
2016	01	28	14	00	00	274.039	71.808
2016	01	28	15	00	00	273.331	71.910
2016	01	28	16	00	00	273.630	71.582
2016	01	28	17	00	00	274.191	71.709
2016	01	28	18	00	00	273.592	71.623
2016	01	28	19	00	00	273.735	71.429
2016	01	28	20	00	00	272.418	71.596
2016	01	28	21	00	00	274.084	71.815
2016	01	28	22	00	00	273.512	71.223
2016	01	28	23	00	00	272.441	71.635
2016	01	29	00	00	00	272.587	71.450
2016	01	29	01	00	00	272.529	71.289
2016	01	29	02	00	00	272.852	70.868
2016	01	29	03	00	00	272.581	71.306
2016	01	29	04	00	00	272.951	71.175
2016	01	29	05	00	00	273.216	71.532
2016	01	29	06	00	00	272.802	71.038
2016	01	29	07	00	00	272.651	70.954
2016	01	29	08	00	00	272.544	70.931
2016	01	29	09	00	00	273.037	70.986
2016	01	29	10	00	00	273.169	71.424
2016	01	29	11	00	00	274.891	71.143
2016	01	29	12	00	00	272.085	71.318
2016	01	29	13	00	00	272.559	71.217
2016	01	29	14	00	00	272.463	71.201
2016	01	29	15	00	00	273.454	71.158
2016	01	29	16	00	00	273.095	71.018
2016	01	29	17	00	00	272.936	71.112
2016	01	29	18	00	00	273.132	71.403
2016	01	29	19	00	00	274.021	71.918
2016	01	29	20	00	00	275.344	71.553
2016	01	29	21	00	00	275.841	71.922
2016	01	29	22	00	00	275.652	71.727
2016	01	29	23	00	00	275.430	72.044
2016	01	30	00	00	00	276.334	72.082
2016	01	30	01	00	00	275.283	72.035
2016	01	30	02	00	00	275.263	72.104
2016	01	30	03	00	00	274.879	72.258
2016	01	30	04	00	00	275.353	72.051
2016	01	30	05	00	00	274.414	71.930
2016	01	30	06	00	00	274.663	72.095
2016	01	30	07	00	00	274.607	72.160
2016	01	30	08	00	00	274.059	72.166
2016	01	30	09	00	00	274.308	71.993
2016	01	30	10	00	00	275.282	71.725
2016	01	30	11	00	00	274.777	71.523
2016	01	30	12	00	00	273.791	71.635
2016	01	30	13	00	00	276.288	72.009
2016	01	30	14	00	00	275.331	72.138
2016	01	30	15	00	00	276.610	72.099
2016	01	30	16	00	00	276.181	71.835
2016	01	30	17	00	00	276.728	71.956
2016	01	30	18	00	00	276.816	72.248

2016	01	30	19	00	00	275.734	72.218
2016	01	30	20	00	00	276.494	71.826
2016	01	30	21	00	00	277.639	72.207
2016	01	30	22	00	00	276.513	72.234
2016	01	30	23	00	00	277.282	72.094
2016	01	31	00	00	00	276.085	72.297
2016	01	31	01	00	00	274.029	71.684
2016	01	31	02	00	00	276.259	71.793
2016	01	31	03	00	00	275.767	72.031
2016	01	31	04	00	00	275.005	71.724
2016	01	31	05	00	00	274.035	71.959
2016	01	31	06	00	00	274.510	71.728
2016	01	31	07	00	00	275.595	71.725
2016	01	31	08	00	00	275.127	71.886
2016	01	31	09	00	00	275.571	71.878
2016	01	31	10	00	00	275.965	72.091
2016	01	31	11	00	00	277.065	72.098
2016	01	31	12	00	00	278.199	72.223
2016	01	31	13	00	00	279.046	72.363
2016	01	31	14	00	00	279.498	72.500
2016	01	31	15	00	00	278.341	72.514
2016	01	31	16	00	00	277.802	72.332
2016	01	31	17	00	00	277.958	72.433
2016	01	31	18	00	00	277.619	72.548
2016	01	31	19	00	00	278.502	72.476
2016	01	31	20	00	00	278.960	72.768
2016	01	31	21	00	00	279.221	73.364
2016	01	31	22	00	00	279.664	72.911
2016	01	31	23	00	00	276.210	72.525
2016	02	01	00	00	00	276.747	72.067
2016	02	01	01	00	00	275.289	72.466
2016	02	01	02	00	00	275.309	72.069
2016	02	01	03	00	00	276.264	71.928
2016	02	01	04	00	00	275.338	72.196
2016	02	01	05	00	00	275.013	72.128
2016	02	01	06	00	00	275.298	72.004
2016	02	01	07	00	00	274.958	72.329
2016	02	01	08	00	00	274.254	71.495
2016	02	01	09	00	00	273.335	71.542
2016	02	01	10	00	00	274.095	71.666
2016	02	01	11	00	00	274.550	71.785
2016	02	01	12	00	00	273.309	71.352
2016	02	01	13	00	00	272.716	71.230
2016	02	01	14	00	00	273.749	71.485
2016	02	01	15	00	00	272.892	71.583
2016	02	01	16	00	00	273.075	71.160
2016	02	01	17	00	00	273.829	71.231
2016	02	01	18	00	00	273.206	71.690
2016	02	01	19	00	00	275.369	71.472
2016	02	01	20	00	00	273.605	71.275
2016	02	01	21	00	00	274.058	70.981
2016	02	01	22	00	00	273.622	71.433
2016	02	01	23	00	00	273.932	71.165

END OF DATA