

## 우주선 세기 일변화 최대 및 최소 지방시

오수연, 이유†  
충남대학교 천문우주과학과

### LOCAL TIMES OF GALACTIC COSMIC RAY INTENSITY MAXIMUM AND MINIMUM IN THE DIURNAL VARIATION

Su Yeon Oh and Yu Yi†

Dept. of Astronomy and Space Science, Chungnam University, Daejeon 305-764, Korea  
E-mail: osy1999@cnu.ac.kr, euyiyu@cnu.ac.kr

(Received March 8, 2006; Accepted April 11, 2006)

#### 요약

지상에서 우주선 측정기(NM, Neutron Monitor)로 관측되는 우주선 세기의 일변화는 일평균 값의 1~2% 정도의 진폭을 갖는 사인곡선의 형태를 보인다. 본 연구는 NM 관측소에서 우주선 일변화의 최대 및 최소 세기가 관측되는 지방시 변화의 통계적 경향 분석을 수행하였다. 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각의 분포에 영향을 주는 우주선 중성자 관측소의 위치(cut-off rigidity)와 태양활동도의 영향을 분석해 보기 위해서 저위도 지방의 Haleakala(위도: 20.72N, cut-off rigidity: 12.91GeV)와 고위도 지방의 Oulu(위도: 65.05N, cut-off rigidity: 0.81GeV) 우주선 중성자 관측소의 1996년(태양활동 극소기) 및 2000년(태양활동 극대기) 우주선 관측 자료를 분석하였다. 태양활동 극대기의 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각은 태양활동 극소기에 비해 약 2~3시간 정도 늦은 시각에 나타난다. 우주선 중성자 관측소의 위치 즉 위도별 분포(rigidity의 크기)에 따른 영향을 살펴보면, cut-off rigidity가 Haleakala보다 작은 Oulu에서 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각이 약 2~3시간 정도 늦게 나타나며, 이러한 현상은 극대기에 더욱 뚜렷하게 나타났다. 태양활동에 따른 행성간 자기장 세기의 변화와 위도에 따른 cut-off rigidity의 크기에 따라 우주선 세기 일변화 위상이 결정된다고 볼 수 있다.

#### ABSTRACT

The Diurnal variation of galactic cosmic ray (GCR) flux intensity observed by the ground Neutron Monitor (NM) shows a sinusoidal pattern with the amplitude of 1 ~ 2 % of daily mean. We carried out a statistical study on tendencies of the local times of GCR intensity daily maximum and minimum. To test the influences of the solar activity and the location (cut-off rigidity) on the distribution in the local times of maximum and minimum GCR intensity, we have examined the data of 1996 (solar minimum) and 2000 (solar maximum) at the low-latitude Haleakala (latitude: 20.72 N, cut-off rigidity: 12.91 GeV) and the high-latitude Oulu (latitude: 65.05 N, cut-off rigidity: 0.81 GeV) NM stations. The most frequent local times of the GCR intensity daily maximum and minimum come later about 2~3 hours in the solar

†corresponding author

activity maximum year 2000 than in the solar activity minimum year 1996. Oulu NM station whose cut-off rigidity is smaller has the most frequent local times of the GCR intensity maximum and minimum later by 2~3 hours from those of Haleakala station. This feature is more evident at the solar maximum. The phase of the daily variation in GCR is dependent upon the interplanetary magnetic field varying with the solar activity and the cut-off rigidity varying with the geographic latitude.

*Key words:* galactic cosmic rays, diurnal variation, solar maximum & minimum

## 1. 서 론

우주선(Cosmic Ray)은 광속에 가까운 속도로 운동하는 대부분 이온화된 원자핵으로 된 입자로 그 기원은 우주공간을 비롯해서 태양, 활동은하핵, 초신성 폭발 등 다양하다. 지구의 대기에 진입하기 전의 1차 우주선이 대기로 진입하게 되면 질소나 산소와 같은 대기 입자와 충돌하여 연속적인 2차 우주선을 만들어 낸다. 우주선은 그 기원에 따라 분류하면, 은하 우주선(GCR, Galactic Cosmic Ray), 태양 우주선(SCR, Solar Cosmic Ray), 그리고, 이상 우주선(ACR, Abnormal Cosmic Ray)으로 분류 할 수 있다. 은하 우주선은 그 근원이 외부태양계인 고에너지 입자( $E < 10^{21}$ eV)를 말하며, 태양 우주선은 대부분 태양 플레어 현상에 의해서 만들어지는 은하 우주선보다 에너지가 낮은, 일명 태양 고에너지 입자 (SEP, Solar Energetic Particles)를 가리키며, 마지막으로 이상 우주선은 태양권계면을 넘어 우주공간에서 기원하는 우주선을 뜻한다.

은하 우주선은 태양권에 진입하게 되면서 태양풍과 행성간 자기장의 영향을 많이 받게 된다. 특히, 비교적 에너지가 낮은 우주선 입자( $E > 10^9$ eV)들은 태양활동의 영향을 크게 받는다. 이러한 영향은 은하 우주선 세기와 스펙트럼의 변화로 나타나며 이런 현상을 은하 우주선의 태양 조정(modulation)이라 한다. 태양 활동 정도에 따라 결정되어 은하 우주선 세기의 11년 주기 변화에 나타나는데, 태양활동에 의해 고에너지 입자(~10GeV/nucleon)는 몇 % 이내의 세기 변화가 발생하는 반면 비교적 저에너지 입자(~300MeV/nucleon)는 약 100배의 세기 변화를 갖는다(Mursula & Usoskin 2003). 또, 지구외적 요인에 의한 우주선 세기 변화 (variation)는 11년 변화, 22년 변화, 27일 변화, 그리고 일변화 등과 같은 다양한 주기로 변화한다. 일변화는 행성간 자기력선을 따라 발생하는 확산과 태양풍의 대류에 기인한 우주선 플럭스의 비등방성에 의한 것으로 변화 크기가 수 %에 달 한다.

우주선의 일변화에 대한 연구는 일변화 진폭 및 비등방성에 대한 모델을 제시하는 연구를 중심으로 진행되고 있으며, Bieber & Chen(1991)은 일변화 비등방성의 크기 즉, 진폭은 1 흑점주기(약 11년)에 따라 변화하지만, 일변화 비등방성의 위상은 2 흑점주기(약 22년)에 따라 변화한다고 설명하였다. 이에 이어, Ananth et al.(1993)은 1965년부터 1990까지 20, 21의 태양흑점주기 동안의 장기간에 걸친 일변화 비등방성의 경향을 분석하여, 비등방성의 진폭은 고진폭, 저진폭 일의 특성과 관계가 있으며, 고진폭 일의 발생은 흑점주기와 정적 상호관련성이 있지만 저진폭 일의 발생은 흑점주기와 부적 상호관련성을 지니고 있다고 설명하였다. 또, Ananth et al.(1995)은 같은 기간동안 고진

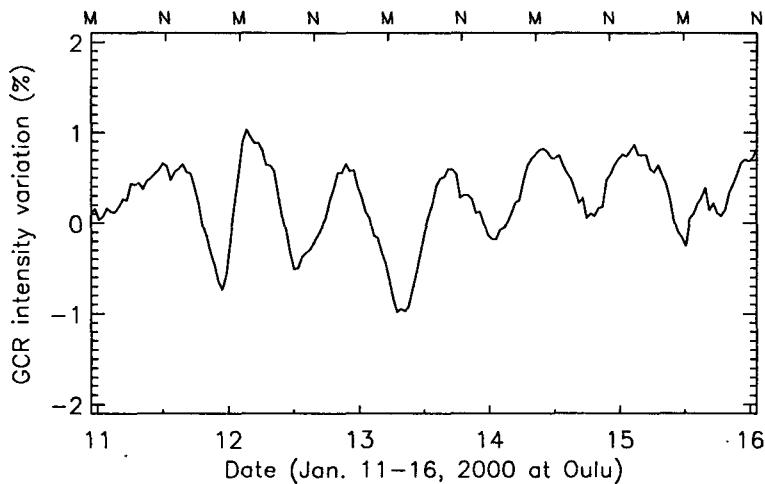


그림 1. 2000년 1월 11-16일 동안의 우주선 세기의 일변화 그래프(Oulu 우주선 중성자 관측소). 2000년 1월 11일부터 16일까지의 5일 동안 Oulu 우주선 중성자 관측소의 자료를 그래프로 나타낸 것으로 가로축의 M은 자정을 나타내고, N은 정오를 뜻한다. 평균적으로 약 1일 주기로 우주선 세기가 증가 및 감소 변화하는 사인곡선의 형태를 갖는다.

폭, 저진폭 우주선 일변화 파동에 대해 태양활동도의 함수면에서 실험한 결과 고진폭 일에서 우주선 세기 최대시각은 18시 근처로 태양활동과 무관한 방향이었지만 저진폭 일의 우주선 세기 최대시각은 15시 부근으로 태양활동과 상호관련이 높은 결과를 제시하였다.

그러나, 반세기 이상의 기간 동안 지구의 약 145여 개의 우주선 중성자 관측소에 쌓여져 온 우주선 세기의 관측자료에 대한 통계적 처리의 부재로 다양한 관점에서의 우주선 세기 변화 경향이 우주환경예보의 중요한 지표로서 역할을 수행하지 못하고 있다. 또한, 우주선 세기의 일변화에 대한 기존 연구가 발생 요인, 일변화의 진폭 및 일변화 비등방성에 중심을 두었기에, 일변화에 영향을 주는 여러 물리적 및 환경적 요소를 중심으로 한 일변화 경향의 통계적 연구가 요청된다.

본 연구는 일변화의 통계적 연구의 한 방법으로 우주선 세기의 최대 및 최소의 출현시각의 통계를 중심으로 수행되었다. 위치적 요인(우주선 중성자 관측소의 위도와 경도)에 따른 일변화 경향을 분석하기 위해 서로 위치가 다른 두 우주선 중성자 관측소 Haleakala([http://ulysses.sr.unh.edu/NeutronMonitor/neutron\\_mon.html](http://ulysses.sr.unh.edu/NeutronMonitor/neutron_mon.html))와 Oulu(<http://cosmicrays.oulu.fi/>)의 관측자료를 분석하였다. 이와 함께, 장기간에 걸친 일변화 경향을 유추해 보기 위해 장기간 동안의 Oulu 우주선 중성자 관측소 자료를 적용하는 작업으로 수행되었다. 본 연구의 일변화 경향에 대한 통계적 연구를 통해 우주선 세기의 물리적 변화가 우주환경예보를 비롯한 지구 내의 기상현상에 작동하는 일련의 효과를 연구하는데 일조할 것으로 기대된다.

## 2. 자료 분석

우주선 세기의 일변화는 주로 약 1-2% 정도의 크기를 지니는 그림 1과 같이 사인곡선과 같은 형태를 가진다. 그림 1은 2000년 1월 11일부터 16일까지의 5일 동안 Oulu 우주선 중성자 관측소의 자

표 1. Oulu 및 Haleakala 우주선 중성자 관측소의 위치 정보와 중성자 검출기 구성.

NM Station	Latitude	Longitude	Cut-off rigidity (GeV)	Monitor type	Local Time
Haleakala	20.72 N	156.28 W	12.91	12IGY	UT-10h
Oulu	65.05 N	25.47 E	0.81	9NM64	UT+2h

료를 월평균 우주선 세기값에 대한 변화율을 그래프로 나타낸 것으로 가로축의 M은 자정을 나타내고, N은 정오를 뜻한다. 평균적으로 약 1일 주기로 우주선 세기가 증가 및 감소 변화한다.

지구 자기장은 에너지가 작은 우주선 입자의 지구 진입을 막아, 이로 인해 지구 위에서 임의의 지리적 위치에 따라 관측될 수 있는 우주선 입자의 에너지의 한계가 존재하게 된다. 이를 일컬어 cut-off rigidity라 하며, 이 한계 우주선 입자의 에너지 단위를 GeV로 표시한다. cut-off rigidity 이상의 에너지를 가진 우주선 입자만 관측 가능하게 된다. cut-off rigidity의 크기는 지방의 위도에 크게 의존하며 위도가 높아질수록 그 값이 작아진다.

우선, 위치적 요인(우주선 중성자 관측소의 위도), 즉 cut-off rigidity에 따른 일변화 경향을 분석하기 위해 고위도에 위치한 Oulu와 저위도에 위치한 Haleakala 우주선 중성자 관측소를 선택하였다. 이 두 우주선 중성자 관측소에서 태양 주기 23의 극소기인 1996년, 극대기인 2000년의 우주선 세기의 일변화 최대 및 최소시각의 분포를 비교하였다. 또한, 1964년부터 2004년까지 약 41년 동안의 Oulu 우주선 중성자 관측소의 자료를 활용하여 우주선 세기의 일변화 경향의 통계적 분석의 유용성을 검증하였다.

표 1에 Haleakala와 Oulu의 우주선 중성자 관측소 위치 정보와 중성자 검출기에 대한 설명을 간단히 요약하였다. 저위도에 위치한 Haleakala 우주선 중성자 관측소는 고위도에 위치한 Oulu 우주선 중성자 관측소보다 cut-off rigidity가 커서 비교적 큰 에너지의 우주선이 입사되며 낮은 우주선 세기를 보인다.

### 3. 분석 결과

#### 3.1 1996년과 2000년의 일변화 최대 및 최소 세기 시각의 분포

그림 2는 1996년과 2000년의 Haleakala 우주선 중성자 관측소의 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포를 나타낸다. 그림 2a는 1996년의 분포, 그림 2b는 2000년의 분포이다. 흰색 막대는 일변화 최대 세기 시각을 나타내고, 회색 막대는 일변화 최소 세기 시각을 표시한다. 우주선 세기의 일변화에서 최대 세기와 최소 세기가 나타나는 각 지방시의 빈도수는 해당연도의 yearly frequency로 표시되었다. 그림 2a에서 1996년은 우주선 일변화 최대 세기는 오전 10시 전후와 자정에 분포가 밀집되어 있으며, 우주선 일변화 최소 세기는 자정 근처와 오후 2시경에 분포하고 있다. 그림 2b의 2000년은 우주선 일변화 최대 세기는 정오 무렵에 집중된 경향을 보여주며, 우주선 일변화 최소 세기는 자정 전후에 집중되어 있다.

그림 3은 Oulu 우주선 중성자 관측소의 1996년과 2000년의 우주선 일변화 최대와 최소 세기 시각 분포를 나타낸다. 그림 3a는 1996년의 분포, 그림 3b는 2000년의 분포이다. 그림 3에 적용된 기호

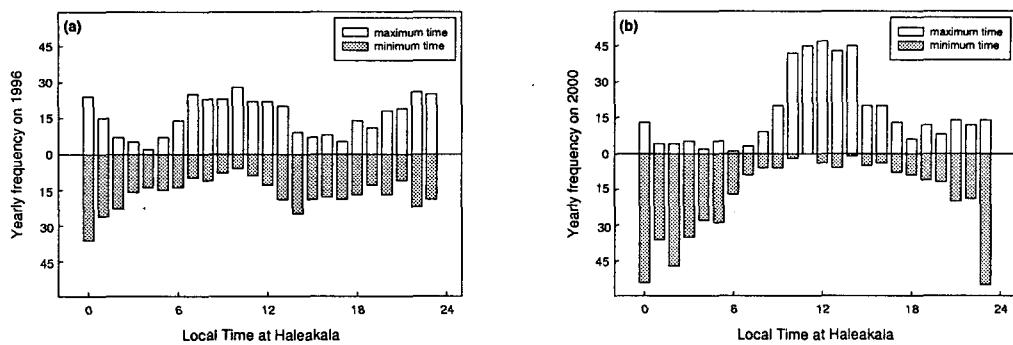


그림 2. Haleakala 우주선 중성자 관측소의 1996년과 2000년 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포. (a)는 1996년, (b)는 2000년의 분포 결과이다. 흰색 막대 그래프는 일변화 최대 세기 시각을 나타내고, 회색 막대 그래프는 일변화 최소 세기 시각을 표시한다.

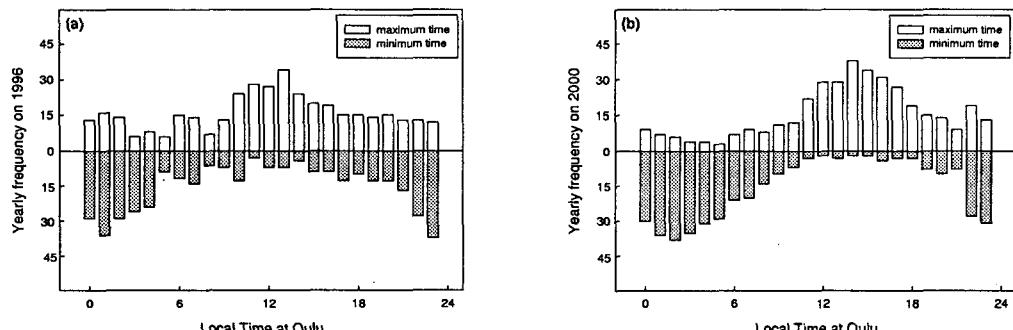


그림 3. Oulu 우주선 중성자 관측소의 1996년과 2000년 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포.

와 배열은 그림 2와 같다. 그림 3a의 1996년은 우주선 일변화 최대 세기 시각은 정오 무렵에 분포하고, 우주선 일변화 최소 세기 시각은 자정 전후에 집중되어 있다. 그림 3b의 2000년은 우주선 일변화 최대 세기는 오후 2시경에 집중되어 있으며, 우주선 일변화 최소 세기는 새벽 2-3시에 집중되어 분포한다.

### 3.2 태양활동도에 따른 일변화 최대 및 최소 세기 시각의 분포

그림 4는 태양활동도에 따른 Haleakala 우주선 중성자 관측소의 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포를 나타낸다. 그림 4a,b는 우주선 일변화 최대 세기 시각 분포를 나타내고, 그림 4c,d는 우주선 일변화 최소 세기 시각 분포를 나타낸다. 그림 4a,c는 태양활동 극소기(1996년)와 태양활동 극대기(2000년)에 실제 분석한 우주선 일변화 최대와 최소 세기 시각 분포를 나타내고, 그림 4b,d는 그림 4a,c의 실제 분포 결과를 3시간 연속 평균 통계처리를 한 결과로 우주선 세기 일변화의 위상이 최고 빈도수의 시각을 중심으로 태양활동도에 따라 이동하는 전반적인 경향을 표현해 준다. 흰색 막대와 점선은 태양활동 극소기인 1996년의 분포를 나타내고, 회색 막대와 실선은 태양활동 극대기인 2000년의 분포를 나타낸다. 그림 4a,b에서 우주선 일변화 최대 세기 시각은 극대기인 2000년은 극소기인 1996년보다 약 2-3시간 정도 늦은 시각에 나타나며, 더욱 더 집중된 분포를 보여준다. 그러나,

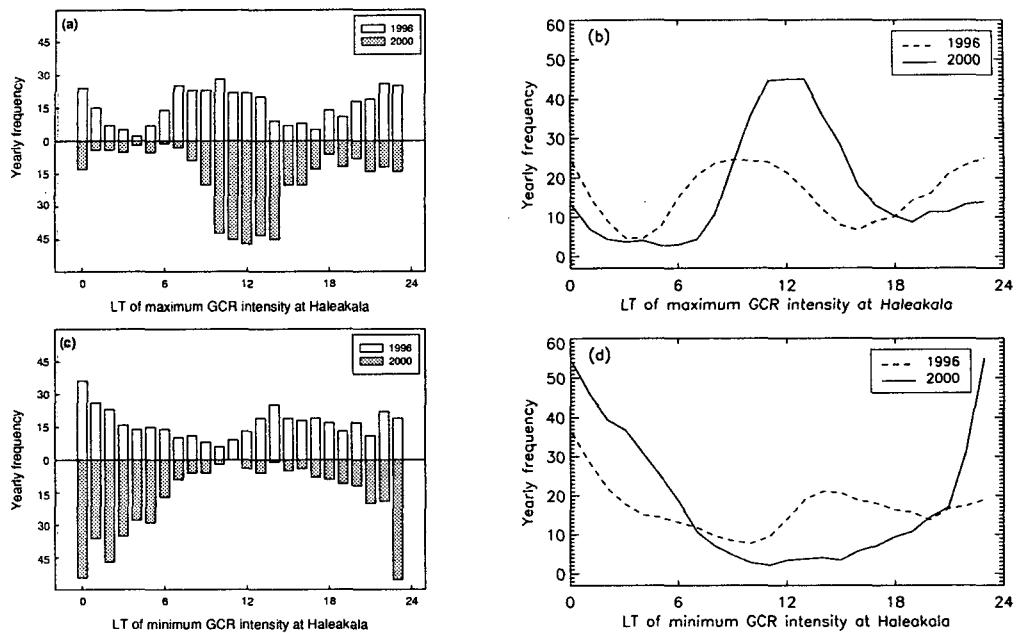


그림 4. Haleakala 우주선 중성자 관측소의 태양활동도에 따른 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포. (a)와 (c)는 태양활동 극소기(1996년)와 태양활동 극대기(2000년)에 실제 분석한 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포를 나타내고, (b)와 (d)는 (a) 및 (c)의 실제 분석 결과를 3시간 연속 평균 통계처리를 한 결과이다. 흰색 막대와 점선은 태양활동 극소기인 1996년의 분포를 나타내고, 회색 막대와 실선은 태양활동 극대기인 2000년의 분포를 나타낸다.

그림 4c,d에서 우주선 최소 세기 시각은 자정 무렵에 나타나고 다만 극대기에 극소기보다 더 높은 집중 분포를 보여준다. 극소기 해인 1996년은 일변화 최대 및 최소 세기 시각은 2회의 극대 분포를 갖고, 극대기 해인 2000년은 극소기보다 집중도가 증가되어 1회의 극대 분포를 갖는 것으로 분석되었다.

그림 5는 태양활동도에 따른 Oulu 우주선 중성자 관측소의 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포를 나타낸다. 그림 5a,b는 우주선 일변화 최대 세기 시각 분포를 나타내고, 그림 5c,d는 우주선 일변화 최소 세기 시각 분포를 나타낸다. 그림 5에 적용된 기호와 배열은 그림 4와 같다. 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각은 극대기인 2000년은 극소기인 1996년보다 약 2-3시간 정도 늦어져서, 일변화 최대 세기는 정오에서 오후 2시경으로, 일변화 최소 세기는 자정에서 새벽 2-3시로 늦게 나타난다. 극소기, 극대기에 관계없이 1회의 극대 분포를 나타내고 극대기의 분포는 극소기의 분포에서 약 2시간 정도 늦게 나타나는 현상이 뚜렷하게 나타난다.

### 3.3 위도에 따른 일변화 최대 및 최소 세기 시각의 분포

그림 6은 태양활동 극소기인 1996년의 Haleakala 및 Oulu 우주선 중성자 관측소의 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포이다. 그림 6a,b는 우주선 일변화 최대 세기 시각의 분포이고, 그림 6c,d는 우주선 일변화 최소 세기 시각의 분포를 나타낸다. 그림 4와 같이 그림 6a,c는 실제 분석한 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포를 나타내고, 그림 6b,d는 그림 6a,c의 실제 분포 결과를 3시간 연

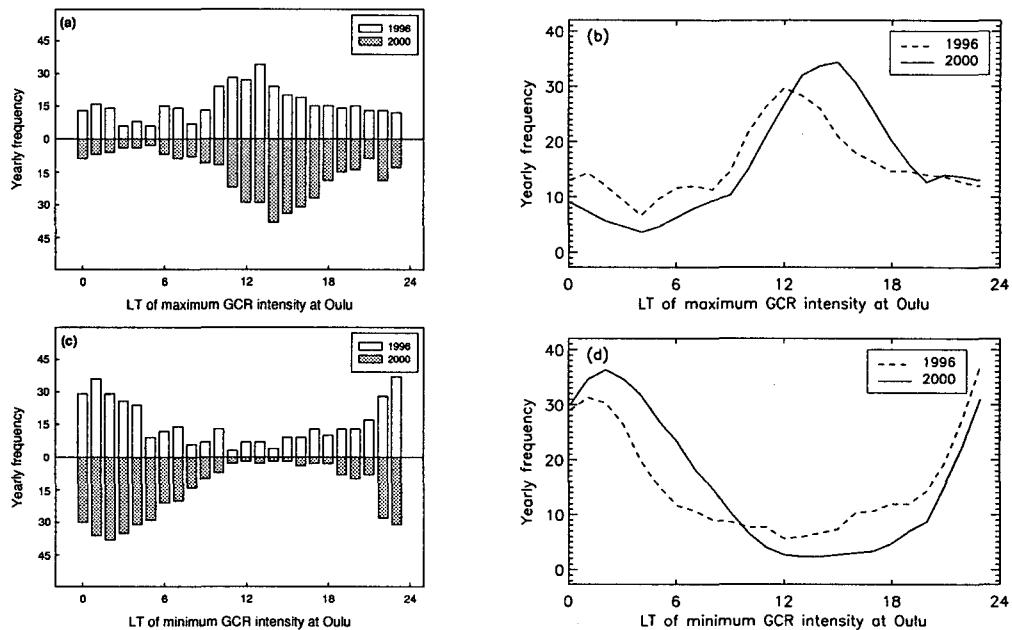


그림 5. Oulu 우주선 중성자 관측소의 태양활동도에 따른 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포.

속 평균 통계처리를 한 결과이다. 그림 6a,b에서 일변화 최대 세기는 Haleakala 우주선 중성자 관측소에서는 오전 10시경과 자정 근처, Oulu 우주선 중성자 관측소에서는 정오 무렵에 분포되어 있고, 그림 6c,d에서 일변화 최소 세기는 Haleakala 우주선 중성자 관측소에서는 자정 근처와 오후 2시를 중심으로 분포하고, Oulu 우주선 중성자 관측소에서는 자정 근처에 집중되어 있다.

그림 7은 태양활동 극대기인 2000년의 Haleakala 및 Oulu 우주선 중성자 관측소의 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포이다. 그림 7a,b는 우주선 일변화 최대 세기 시각의 분포이고, 그림 7c,d는 우주선 일변화 최소 세기 시각의 분포를 나타낸다. 그림 7에 적용된 기호와 배열은 그림 6과 같다. 그림 7a,b에서 일변화 최대 세기는 Haleakala 우주선 중성자 관측소에서는 정오 전후에, Oulu 우주선 중성자 관측소에서는 오후 2시 부근에 분포되어 있고, 그림 7c,d에서 일변화 최소 세기는 Haleakala 우주선 중성자 관측소에서는 자정 무렵에, Oulu 우주선 중성자 관측소에서는 자정이 지난 새벽 2-3시에 집중되어 있다. 그림 6과 7을 통해서 우주선 일변화 최대 세기는 고위도에 위치한 Oulu에서 저위도에 위치한 Haleakala보다 약 2시간 정도 늦게 나타난다. 우주선 일변화 최소 세기는 극대기의 경우 Oulu가 약 2시간 정도 늦게 나타난다. 분포 집중도에서는 극소기 1996년에는 Haleakala의 분포가 더 높은 집중도를 보이고, 극대기 2000년에는 Oulu의 분포가 더 높은 집중도를 갖는다.

### 3.4 4-solar cycle 자료의 일변화 최대 및 최소 세기 시각의 통계

1964년부터 2004년 약 41년 동안의 Oulu 우주선 중성자 관측소의 자료를 활용하여 우주선 세기의 일변화 최대 세기 시각과 최소 세기 시각의 분포 경향을 분석한 결과를 그림 8에 나타내었다. 실선은 일변화 최대 세기 시각을 나타내고 점선은 일변화 최소 세기 시각을 나타낸다. 이 분포 결과는 3시간 연속 평균 통계 처리를 실시하지 않은 실제 분포 결과로서 평균적으로 우주선 최대 세기 시각

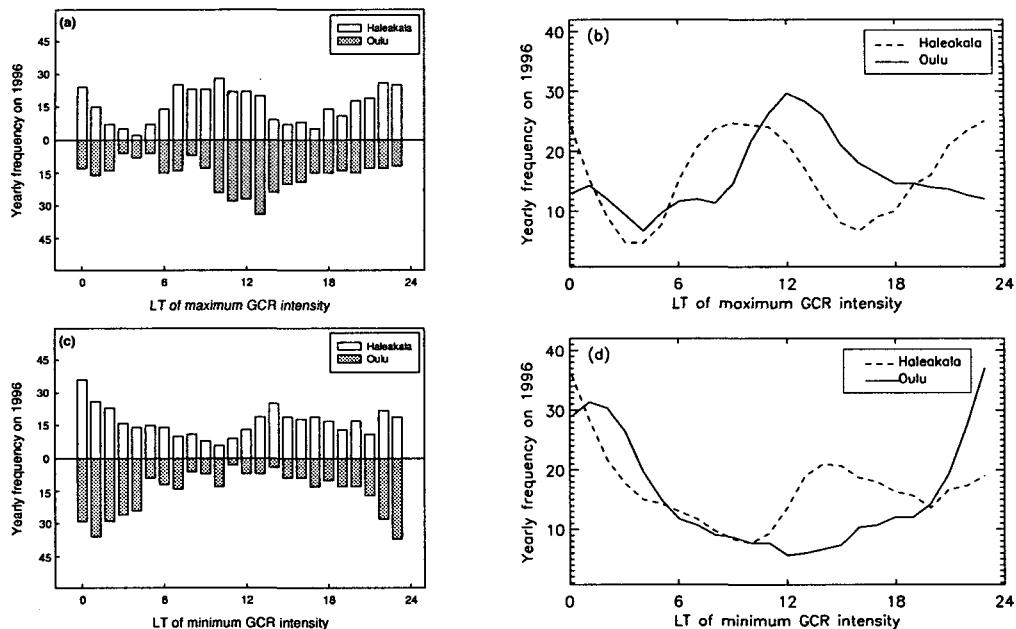


그림 6. Haleakala 및 Oulu 우주선 중성자 관측소의 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포(1996). (a)와 (b)는 우주선 일변화 최대 세기 시각의 분포이고, (c)와 (d)는 우주선 일변화 최소 세기 시각의 분포를 나타낸다. 흰색 막대와 점선은 Haleakala의 분포, 회색 막대와 실선은 Oulu의 분포를 가리킨다.

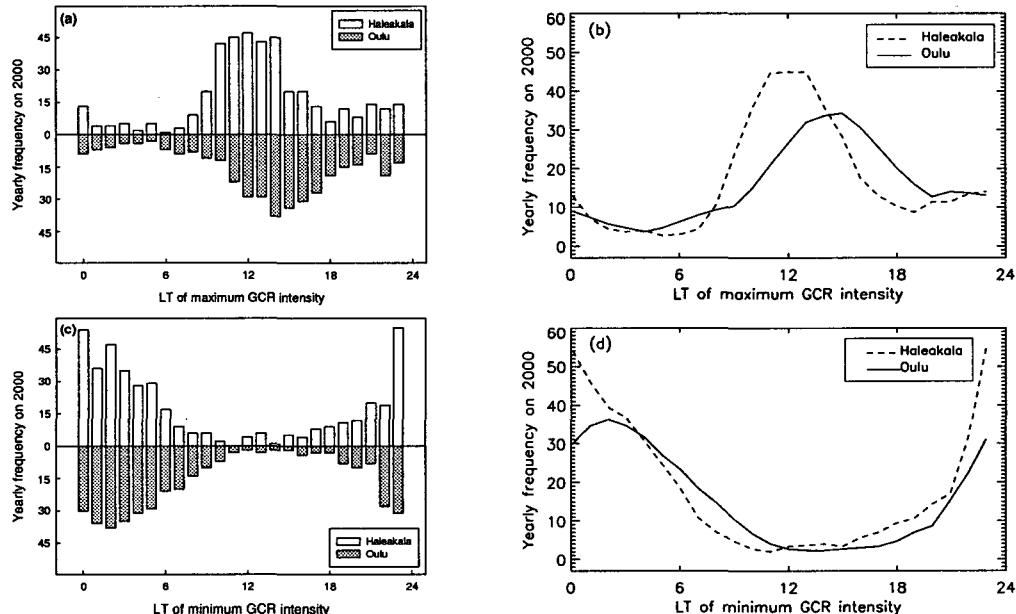


그림 7. Haleakala 및 Oulu 우주선 중성자 관측소의 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포(2000).

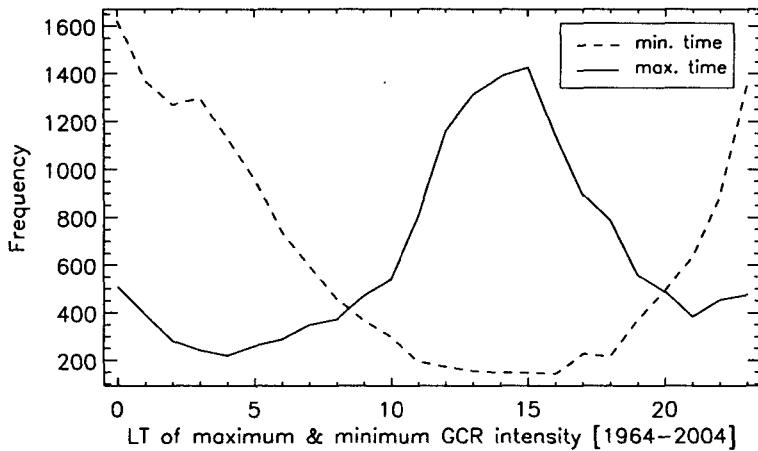


그림 8. Oulu 우주선 중성자 관측소의 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포(1964-2004).

은 오후 3시를 전후로 분포되었고, 최소 세기 시각은 자정을 전후로 한 새벽에 집중하여 분포되어 있다. 즉, 우주선 일변화 최대 세기는 극소기와 극대기에 나타나는 정오와 오후 2-3시 사이에 분포하고 있으며, 우주선 일변화 최소 세기는 자정과 새벽 2-3시 사이에 분포하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론 및 토의

본 연구에서 일변화 최대 및 최소 세기 시각을 중심으로 우주선 세기의 일변화의 경향을 분석하여 보았다. 위도가 다른 두 우주선 중성자 관측소 Haleakala와 Oulu의 분포를 비교하였고, 역시 태양활동 극소기인 1996년과 태양활동 극대기인 2000년의 자료를 분석하였다. 이와 더불어, 1964년부터 2004년까지의 41년 동안 연속적인 Oulu 우주선 중성자 관측소의 자료를 통계적 분석을 통하여 평균적인 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각을 구하였다. 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각 분포를 분석한 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 태양활동도에 따른 우주선 일변화 최대 및 최소 세기의 분포는 극소기보다 약 2-3시간 정도 늦은 시각에 극대기에 극대 분포를 보이며, 분포의 집중도도 극대기에 높아진다.
- 고위도에 위치하는 Oulu의 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 분포는 저위도에 위치하는 Haleakala의 분포보다 약 2-3시간 정도 늦게 나타나며, 이런 특성은 태양활동 극대기에 더욱 뚜렷하게 나타난다. Haleakala 우주선 중성자 관측소의 경우, 태양활동 극소기인 1996년의 우주선 세기의 최대 및 최소 세기 시각의 분포는 2회의 극대 분포를 보인다.
- Oulu의 1964년부터 2004년까지의 41년 동안 우주선 일변화 최대 및 최소 세기 시각은 극소기와 극대기의 분포 범위사이에서 비교적 안정된 경향을 보여준다. 즉, 일변화 우주선 최대 세기는 극소기의 정오 무렵과 극대기의 오후 2-3시 사이에 분포하며, 일변화 우주선 최소 세기는 극소기의 자정 부근과 극대기의 새벽 2-3시 사이에 분포하고 있다. 41년 동안 장기간에 걸친 우주선 일변화의 통계적 처리의 유용성을 재확인할 수 있다.

한편, 우주선에 관한 연구는 실험실에서 다룰 수 없는 에너지 영역의 핵물리학, 입자물리학에 있어서 중요한 정보를 제공하며, 신성 및 초신성 이론, 자기유체역학(MHD)을 포함한 다른 플라스마 이론의 중요한 연결고리를 담당하고 있다. 또한, 지구 근처에서의 우주선 입자의 가속과 에너지 영역 및 세기의 분포 형태는 태양활동의 영향으로 인한 태양과 지구 사이의 우주환경 변화의 중요한 지표가 되고 있다. 우주선 세기의 변화는 우주환경적 요인 이외에도 중성자 검출기의 경우 지구의 기상 효과 중에서 압력효과와 바람효과의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다(Dorman 2003). 즉, 압력효과는 태양활동도에 따라 위도별 기압 계수의 변화가 다르고 바람효과는 대기 중에서 기압측정에 있어서 바람이 주는 영향을 말한다.

우주선 일변화의 위상에 대한 본 연구는 우주선 중성자 관측소의 위치 및 주기적인 태양활동도와의 관련성을 연구하기 위한 기초 연구로서 그 의의를 갖는다. 본 연구를 바탕으로 하여 장기간의 우주선 세기의 자료를 분석하고, 태양풍 및 행성간 자기장이 주는 효과를 해석하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 따라서, 본 연구를 통한 우주선 세기의 일변화에 대한 통계적 분석의 수행은 첫째, 일변화에 대한 태양활동도의 영향을 통해 우주선 입자를 포함한 지구에 입사되는 여러 입자들을 제어하고 있는 태양활동(주기적인 태양 자기장의 극성 및 세기 변화)과 태양풍(행성간 자기장) 그리고 지구 자기장의 관련성을 연구할 수 있는 기초적 정보를 제공하였으며, 둘째, 일변화에 대한 우주선 중성자 관측소 위치(cut-off rigidity)의 영향은 우주선 세기의 관측에 대한 전규모적인 네트워크 시스템의 필요성을 인식할 수 있다. 덧붙여, 우주선 세기의 변화에 대한 주시는 지구를 둘러싸고 있는 우주환경예보 시스템 뿐만 아니라 지구 내의 기상요소 및 기후 변화의 예측 요소로 효율적으로 활용될 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 과거의 자료와 현재 생산되고 있는 자료를 통합하고 우주선 세기에 영향을 주는 여러 가지 요소, 예를 들면, 태양활동도, 우주선 중성자 관측소의 위치적 요소, 지구 내에서의 바람, 기압 등을 포함한 기상요소를 중심으로 지속적인 우주선 세기에 대한 통계적 처리와 분석이 요청된다.

**감사의 글:** 본 연구는 한국과학재단의 한, 일 국제공동지원사업(F01-2003-000-00186-0)의 지원을 받아 수행되었습니다. Oulu 대학의 Sodankyla Geophysical Observatory와 New Hampshire 대학의 Space Physics Data System의 우주선 관측자료를 본 연구에 적용하였으며, 두 우주선 중성자 관측소 자료 담당자인 Ilya Usoskin과 Clifford Lopate에게 감사드립니다.

### 참고문헌

- Ananth, A. G., Kudela, K., & Venkatesan, D. 1995, Solar Physics, 159, 191  
 Ananth, A. G., Venkatesan, D., & Pillai, S. 1993, Solar Physics, 143, 187  
 Bieber, J. W. & Chen, J. 1991, ApJ, 372, 301  
 Dorman, I. L. 2003, *Cosmic rays in the Earth's atmosphere and underground* (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers), p.644  
 Mursula, K. & Usoskin, I. 2003, *Heliospheric physics and cosmic rays* (Oulu: Oulu University Press), p.123