

남극 세종기지 광학 간섭계를 이용한 열권 상부 온도 관측

정 종 균 · 원 영 인 · 이 방 용

해양연구소 극지연구소센터

김 준

항공우주연구소

OBSERVATIONS OF UPPER THERMOSPHERIC TEMPERATURES USING A GROUND-BASED OPTICAL INSTRUMENT AT THE KING SEJONGSTATION, ANTARCTIC

Jong-Kyun Chung, Young-In Won, Bang Yong Lee

Polar Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute

P.O.Box 29, Ansan 425-170, Korea

e-mail: jkchung@sari.kordi.re.kr

Jhoon Kim

Space Division, Korea Aerospace Research Institute

(Received April 30, 1998; Accepted May 15, 1998)

요 약

남극 세종과학기지에 설치된 페브리-페로 간섭계를 사용하여 지구 열권의 OI 6300Å 밤대기광을 1997년 3월부터 9월까지 관측하였다. 세종기지는 지리적으로 고위도(62.22°S, 301.25°E) 이지만 지자기 위치로는 중위도(50.65°S, 7.51°E)에 위치한다. 그러므로 이러한 세종과학기지의 위치는 태양과 지자기 활동에 대해서 남반구의 열권 온도를 측정하기에 전략적인 위치에 있다. 우리는 고위도 열권에서 태양과 지자기 활동에 대한 효과를 알아보기 위해 F10.7과 Kp 지수와 상관하여 관측된 온도를 분석하였다. 관측 기간 동안 태양 활동은 저조기였다. 측정된 온도는 어느 정도의 계절적 변화를 보이면서 600 ~ 1000 K 사이에 분포하였으며 반경험 모델인 VSH과 경험 모델인 MSIS-86에 의해 예측된 값보다는 높은 결과를 나타냈다.

ABSTRACT

We measured the terrestrial nightglow of OI 6300Å in the thermosphere (~ 250km) using a ground-based Fabry-Perot interferometer at the King Sejong Station, Antarctic from March through September, 1997. The King Sejong Station is located at high latitude geographically (62.22°S, 301.25°E) but at mid-latitude geomagnetically (50.65°S, 7.51°E). It is therefore the strategic location to measure the temperatures of the thermosphere

in the Southern Hemisphere associated with both solar and geomagnetic activities. In this study, we analyzed the observed temperatures in relation to F10.7 and Kp indices to examine the effect of the solar and the geomagnetic activities on high-latitude neutral thermosphere. During the observing period, the solar activity was at its minimum. The measured temperatures are usually in the range between about 600 ~ 1000 K with some seasonal variation and are higher than those predicted by semi-empirical model, VSH (Vector Spherical Harmonics) and empirical model, MSIS (Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter)-86.

1. 서 론

열권(Thermosphere)은 지구 대기 중 최상부에(80 ~ 1000km) 위치하는 영역으로 태양 및 지자기 활동(solar and geomagnetic activities)등 우주환경(space environments)의 영향에 직접적으로 반응하는 지역이다. 저궤도 인공위성의 경우 열권 밀도 변화와 이에 따른 항력(drag)의 증가로 인한 추진기(thruster) 연료의 소모가 인공위성의 수명에 큰 영향을 미치고 있으며 이러한 이유로 열권에 대한 관심이 높아지고 있다(McCormac *et al.* 1989). 열권의 열역학/동역학적인 반응은 태양과 행성간 자기장(Interplanetary Magnetic Field, IMF) 그리고 지자기장 및 이온층의 전기장등 많은 요소들에 의해 나타나고 있으므로 이에 대한 물리적/화학적 상호 작용에 대한 연구가 현재 활발하게 진행되고 있다. 특히 다른 대기권에서는 거의 볼 수 없는 열권의 특징적 관측원인 대기광(airglow)으로부터 우리는 열권 입자들의 물리적 특성을 추론할 수가 있다. 본 논문에서는 열권에서 발생하는 많은 대기광 중에서 열권(~ 250km)의 중성 산소 원자가 방출하는 6300Å 방출선(emission line)을 관측, 도플러 선 퍼짐(Doppler line broadening)을 정밀히 측정하여 열권의 온도를 추출하였다.

열권의 온도를 지배하는 주 에너지원으로는 태양의 극자외선(Extreme Ultra-Violet, EUV)과 자외선(UV), 자기력선을 통한 고에너지 입자 유입(high energy particles precipitation), 그리고 자기권으로부터 사상(mapping)된 이온층의 전기장등이 있다. 태양의 극자외선과 자외선은 열권의 입자들에 의해 흡수되어 광해리(photodissociation) 및 광이온화(photoionization) 작용을 통한 화학적 반응에 의해 입자들의 열역학적인 온도(kinetic temperature)를 상승시킨다(Rees 1989). 고위도 열권에서는 중저위도 열권과는 달리 고에너지 입자와 이온권 플라즈마가 열권의 중성 입자와의 충돌에 의해 발생하는 마찰열(frictional heating), 즉 주울열(joule heating)이 매우 중요한 열원으로서 작용한다.

지자기 교란(geomagnetic disturbance)이 발생될 경우 고위도, 특히 극관(polar cap) 지역으로부터의 에너지 유입은 태양 복사에너지 이상으로 열권의 에너지 수지에 복합적으로 작용하게 되어 중요한 역할을 하게 된다(Killeen *et al.* 1995). 그러므로 고위도 열권의 온도는 태양의 극자외선과 자

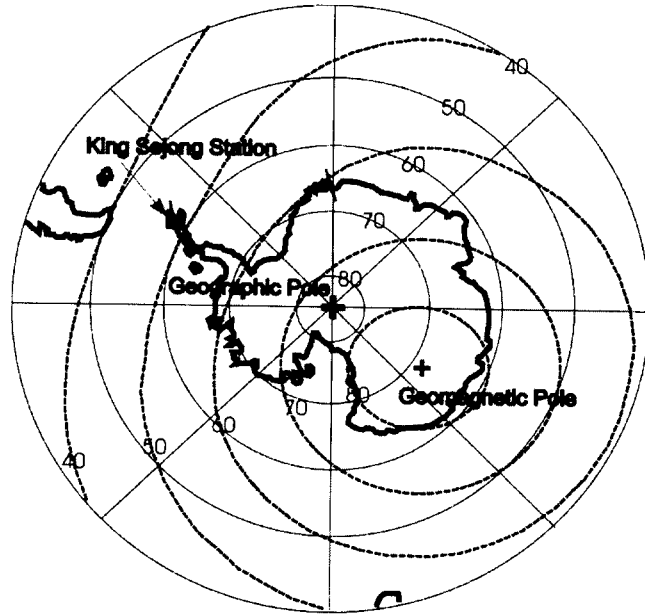


그림 1. 남극 세종과학기지 위치 (실선: 지리적 위도/경도 점선: 지자기 위도).

외선, 그리고 지자기 활동에 따른 이온층 플라즈마와의 상호작용으로 다른 저위도 지역보다 복잡한 변화 경향을 보이며 이로인해 보다 많은 연구가 진행되어 왔다.

고위도 열권에 관한 관측은 약 20년전부터 북반구를 중심으로 해서 집중적으로 관측이 수행되어 왔다. 그러나 남반구 특히 남극의 경우에는 혹독한 자연적 환경등 여러가지 제약으로 인해 최근에 이르러서야 관측이 수행되고 있다. 남극에서 열권 관측을 수행하고 있는 국가는 미국과 일본등 극소수에 국한되며 장기간에 걸쳐 지속적으로 관측된 자료도 거의 전무한 상태이다. 현재 열권을 관측하기 위한 페브리-페로 간섭계가 설치된 기지는 지리적으로나 지자기적인 위치로나 모두 고위도에 한정되어 있다. 그러나 남극의 킹조지섬(King George island)에 위치한 세종과학기지는 다른 기지와는 달리 지리적으로는 고위도(62.22°S , 301.25°E)에 위치하고 있으나 지자기 위도로는 중위도(50.65°S , 7.51°E)에 위치하고 있다. 그림 1에 세종과학기지의 위치를 지자기 및 지리적 위도에 대해 나타낸 것이다. 세종 기지의 위치는 남극 반도(Antarctic Peninsular)에 화살표로 표시되어 있다. 그림 1에서 실선은 지리적 위도 및 경도를 나타낸 것이고, 점선은 지자기적 위도를 나타낸 것이다. 그림 1에서 보듯이 십자가로 표시되어 있는 남극의 지리적 극점과 지자기적 극점은 상당히 떨어져 있다. 남반구에서 지리적 위도와 지자기 위도의 이러한 차이로 인해 세종과학기지의 지리적/지자기적 위치 또한

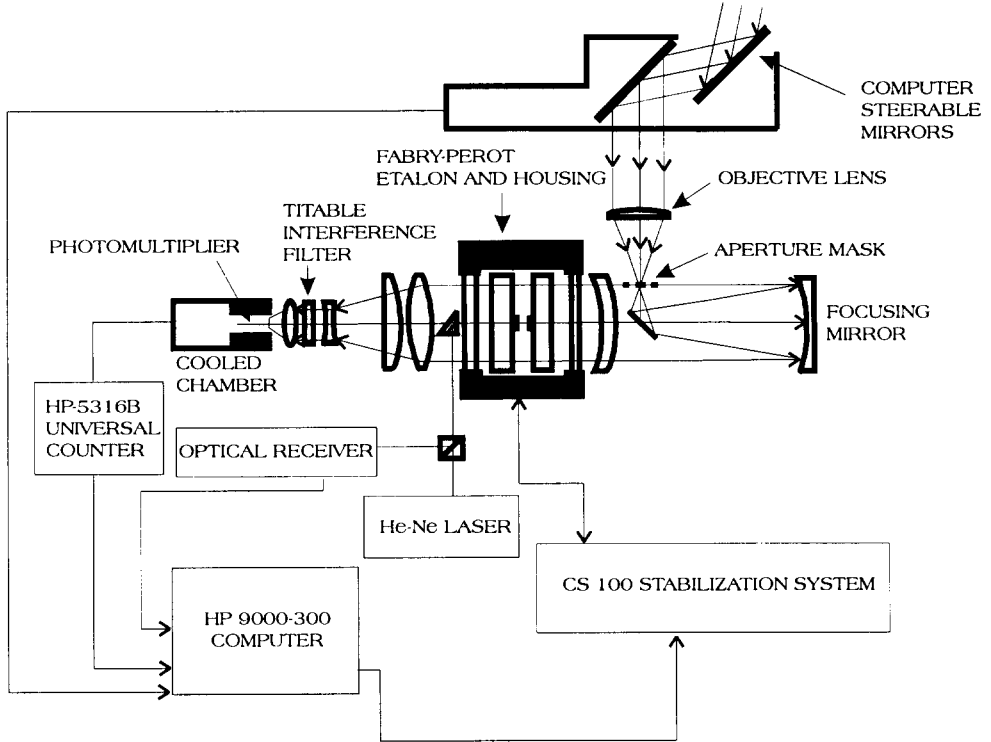


그림 2. 세종과학기지에서 운영중인 페브리-페로 광학 간섭계.

상당한 차이를 보이고 있어 세종과학기지에서도 대기광(airglow) 관측은 오로라(aurora)로 인한 오염(contamination)을 피할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 남극에 위치한 다른 페브리-페로 간섭계 관측소와의 구별된 위치 때문에 세종과학기지는 남반구의 고층대기 관측에 있어 전략적 위치에 있다고 할 수 있다(Kim et al. 1990).

본 논문에서 사용된 자료는 태양 활동이 극저기인 1997년에 남극 킹조지섬에 위치한 세종과학기지에서 관측된 열권의 온도이다. 관측 장비는 페브리-페로 광학 간섭계(Fabry-Perot optical Interferometer, FPI)이며 관측원은 중성 산소 원자에서 발생하는 6300Å 파장의 밤대기광(nightglow)이다. 관측 기간은 1997년 3월부터 9월로서 이 기간 동안의 태양 활동은 극저기로서 관측 기간 동안 거의 변화가 없었다. 그러나 지자기 활동은 상당한 변화를 보여주고 있다. 관측된 열권의 온도를 태양 활동 및 지자기 활동에 대해 분석하기 위해서 F10.7 지수와 Kp 지수를 사용하였다. F10.7 지수는 태양의

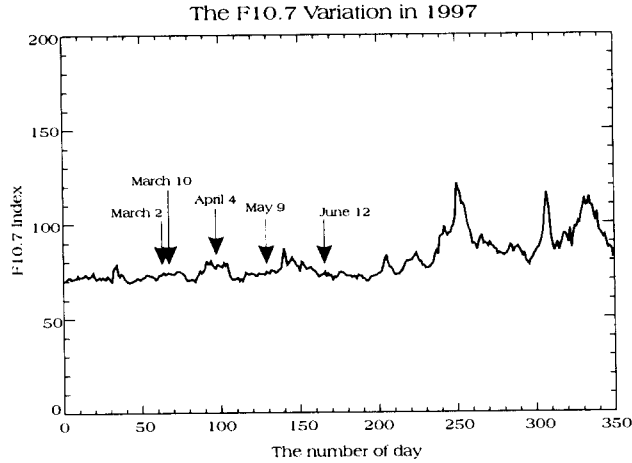


그림 3. 1997년 태양활동 지수(F10.7)의 변화.

극자외선과 자외선을 지상에서 측정하지 못하기 때문에 그것과 좋은 상관 관계를 보이는 태양의 10.7 cm 전파의 플럭스를 하루 평균한 값이다. K_p 지수는 전 세계에 걸쳐 측정된 지자기 교란 정도를 3시간 평균한 값으로서 그 동안 많은 열권에 관한 연구에서 지자기 활동을 대표하는 지수로서 보편적으로 사용되어 왔다. F10.7과 K_p 지수는 NASA Space Science Data Center(NSSDC)에서 공표된 것을 이용하였다. 우리는 이번 연구에서 남극 세종과학기지에서 관측된 열권의 온도를 태양 활동 및 지자기 활동 그리고 계절의 변화에 따라 분석하였다. 각각의 분석된 결과는 경험적 모델(empirical model)인 MSIS(Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter)-86과 반경험 모델(semi-empirical model)인 VSH(Vector Spherical Harmonic)와 비교/분석 하였다.

2. 기기 및 관측

세종과학기지의 FPI는 1989년 1월에 남극 킹조지섬에 처음으로 설치되었다. 태양 활동이 극대기인 1989년에 관측이 처음 시작된 후, 1997년 FPI에 대한 광축 조정 및 He-Ne 레이저를 비롯한 주변 기기의 교체가 완료되어 본격적인 관측이 재개되었다. 세종과학기지 FPI의 개괄적인 구조와 주변 기기와의 관계가 그림 2에 제시되어 있다.

FPI가 설치된 고층대기 관측소의 지붕에 설치된 투명 돔(dome)에 평면 거울이 설치되어 있으며, 이 평면 거울을 통해 관측 방향과 관측 고도를 결정한다. 평면 거울에 의해 반사된 빛은 막스토프 광학계(Maksutov optics) 광평행기(collimator)를 통해서 평행광이 되어 에탈론(etalon)으로 입사된다. 에탈론으로 입사된 빛은 다중 간섭(multifur interference)을 일으키며 간섭된 빛은 필터(filter)에 의해 걸러져($6300 \pm 3 \text{ \AA}$) 광증폭계(PhotoMultiplier Tube, PMT)에 의해 검출된다. 더불어 6328 \AA 안정화

된 He-Ne 레이저(stabilized He-Ne laser)를 사용하여 기기에 대한 정보를 추출하게 된다. He-Ne 레이저 측정을 통해 얻어진 기기 함수(instrumental function)는 관측된 6300Å선을 분석하는데 매우 중요한 정보를 제공하며 선(line)의 도플러 이동과 선퍼짐으로부터 중성 산소 원자에 대한 온도와 바람의 정보가 도출된다. 정확한 기기함수의 측정을 위해서 He-Ne 레이저 측정은 매 관측전에 수행하는 것을 원칙으로 하였다.

우리가 관측한 OI[6300Å] 밤대기광은 두가지 요소에 의해 관측 오차가 발생된다. 첫번째는 구름에 대한 영향이다. 만약 밤대기광의 관측기간에 구름이 덮이게 되면, 산란광에 의해 배경선 강도(background intensity)가 높아지게 되어 우리가 측정하려는 6300Å선은 불명확하게 나타난다. 이러한 구름에 의한 영향은 측정된 온도에 큰 오차를 발생케 하여 자료의 신뢰성에 많은 영향을 주게 된다. 두번째 제한 요소는 달에 의한 영향이다. 달은 태양의 빛을 반사하기 때문에 달의 분광선은 태양의 분광선과 일치한다. 달에 의해 반사된 태양의 6300Å파장의 빛은 우리가 관측하고자 하는 밤대기광과 파장대가 겹치게 되며 이렇게 반사된 빛은 미약한 대기광보다 훨씬 강하므로 관측 자료로부터 대기광을 분리해내는 것은 거의 불가능하다. 이러한 두가지 관측상의 오차를 피하기 위해서 운량이 3/8 이하인 날에 대해서만 관측을 수행하였으며, 만약 운량이 3/8 이하라고 하더라도 관측 시선 방향에 구름이 있다면 관측을 중단하였다. 달에 대한 영향은 달의 위상이 3/4 이하인 날을 선택하여 관측을 하였다. 관측상의 제한성과 혹독한 남극의 기상으로 인해 3월부터 9월까지 총 15일 정도 관측이 가능하였다. 15일동안 관측된 자료중에서 자료의 수와 온도 측정시의 측정오차가 심한 날을 제외한 5일간의 자료가 이번 연구에 선택되었다. 본 논문에서 분석된 날은 3월 2일, 10일, 4월 4일, 5월 9일, 그리고 6월 12일이다. 3월 2, 10일, 4월 4일은 가을로 5월 9일은 늦가을(초겨울)로 6월은 겨울로 분류하여 계절에 대한 온도 변화를 살펴보았다.

관측된 열권 상부의 온도를 태양 활동 및 지자기 활동에 대해 분석하기 위해서 F10.7 지수와 Kp 지수를 사용하였다. 관측된 날과 전날에 대한 F10.7 지수, Kp 지수를 표 1에 정리하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 관측된 기간중의 태양 활동은 태양 10.7 cm 선속(flux)의 값은 $70 \sim 80 \times 10^{-22} W m^{-2} Hz^{-1}$ 사이의 낮고 일정한 값을 보이는 전형적인 극저기인 상태를 보이고 있다. 또한 관측 기간 중 지자기 활동을 나타내는 Kp 값은 표 1에서 볼 수 있듯이 낮게 나타나고 있으나 3월 2일과 4월 4일에 지자기 교란이 있었음을 알 수가 있다. 특히 4월 4일의 Kp는 4에서 3.7의 값을 보이고 있어 이 날의 지자기 활동이 특히 활발했음을 알 수 있다. 그 밖의 날들은 거의 비슷하게 낮은 지자기 활동을 보이고 있다.

3. 결과 및 분석

본 연구에서는 관측된 고위도 열권의 온도를 계절에 따른 변화와 지자기 활동에 따른 변화에 대해서 살펴보았다. 관측 기간 중의 태양 활동에 대한 F10.7 값은 어느 정도 일정하고 낮은 값을 보이고 있었다. 그리고 지자기 활동에 대한 Kp 값은 4월 4일과 3월 2일에 특히 높은 값을 보인 것을 제외하면 2이하인 낮은 값에 분포되어 있다. 계절에 따른 온도 변화는 지자기 교란이 있었던 3월 2일과 4월

표 1. 관측 기간동의 Kp 지수 및 F10.7 지수.

날 자	Kp									F10.7
3월 2일	1	4-	3+	3+	2	3+	1	1+		71.1
3월 3일	1-	0+	1+	2	2-	3+	2+	2+		71.8
3월 10일	0	0	0	1-	1-	1-	1-	1+		73.8
3월 11일	2+	1	0+	1-	1	0+	0	1-		73.4
4월 4일	4	3+	3-	2	2	2-	2+	3		78.6
4월 5일	4-	3+	1	1+	0+	2	2+	4-		80.3
5월 9일	1+	1+	1+	1-	1-	0+	0+	0+		73.0
5월 10일	1+	1+	1+	1-	1+	1-	1-	1+		74.6
6월 12일	2	1	1+	1+	2-	1	1	1-		71.8
6월 13일	1-	0+	0+	0+	1	1-	0+	1-		72.3

4일을 제외한 3월 10일, 5월 9일, 그리고 6월 12일의 자료를 선택하여 비교하였다. 지자기 교란시의 온도 변화는 계절적 변화에 대한 영향을 고려하여 3월 2일, 3월 10일, 그리고 4월 4일에 관측된 온도를 분석하였다.

우리는 위의 두가지 분석에 대해서 경험적 모델인 MSIS-86과 반경험 모델인 VSH 모델을 이용, 비교/분석 하였다. MSIS 모델은 경험적인 모델로서 관측을 통해서 얻어진 자료를 이용하여 작성된 모델이다. VSH 모델은 반경험 모델로서 관측을 통해서 얻어진 자료와 TIGCM(Thermospheric and Ionospheric General Circulation Model)에 의해 계산된 결과를 이용하여 작성된 모델이다. 모델에 의한 온도 계산을 하기 위해서는 관측 위치와 고도뿐만 아니라 F10.7 값과 Ap 값등 다양한 물리 변수를 필요로 한다. Ap 지수는 Kp 지수를 선형화한 것으로서 관측일의 Kp를 Ap로 변환한 후 평균하여 입력하였다(Hedin 1987, Won 1994).

3.1 계절에 따른 온도의 변화

정확한 고위도 열권 온도의 계절적 변화를 보기 위해서 우리는 비교되는 날의 태양과 지자기 활동 지수가 비슷한 날을 선택하여 분석하였다. 고위도 열권의 경우 지자기 활동에 의한 영향이 태양에 의한 영향을 불분명하게 할 수 있으므로 보다 순수한 계절적 변화를 살펴보기 위해서 지자기 활동이 비슷한 시기의 자료만을 분석하였다. 비록 세종과학기지의 위치가 지자기 위도로 중위도에 위치하고 있지만, 지자기 활동 등에 의한 열권의 증가로 인해 지자기 고위도에서 중위도로의 열전달에 대한 가능성을 배제할 수는 없다. 3월 10일, 5월 9일, 그리고 6월 12일이 F10.7 및 Kp 지수가 비슷함을 보이고 있으며 지자기 교란도 보이고 있지 않아 선택하였다. 선택된 3일의 경우 Kp 값이 모두 2이하의 분포를 보이는 지자기 활동이 매우 낮은 날이었다.

그림 5, 7, 8은 3월 10일, 5월 9일, 그리고 6월 12일에 관측된 온도를 UT(Universal Time, UT=LT+4)에 대해 나타내었다. 오차 막대(error bar)는 관측된 6300Å선에 대한 측정 오차이다. 점선은 MSIS-86 모델에서 계산된 온도이고 채선은 VSH 모델에서 계산된 온도이다. 가을에 해당되는 3월 10일의 평균 온도는 820K이고 겨울에 해당되는 6월 12일에 측정된 평균 온도는 610K로 나타났다. 가을과 겨울

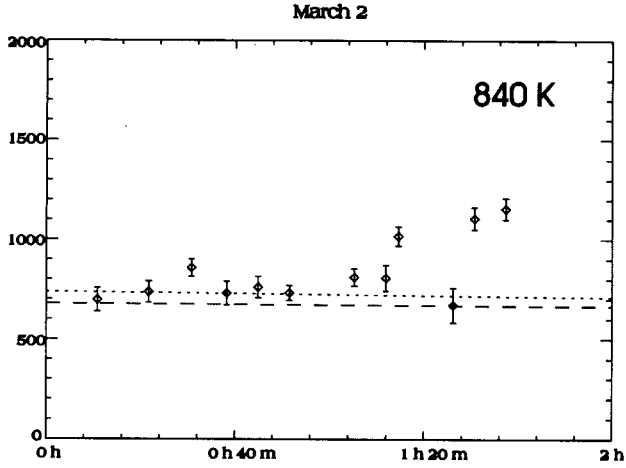


그림 4. 1997년 3월 2일 세종기지에서 관측된 열권 상부의 온도 변화(시간은 UT).

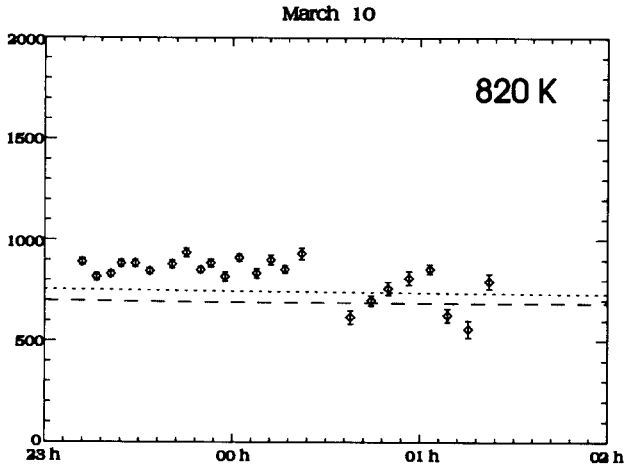


그림 5. 1997년 3월 10일 세종기지에서 관측된 열권 상부의 온도 변화(시간은 UT).

울의 중간에 위치한 5월 9일에 관측된 평균 온도는 718K이다. 이것으로부터 봄철에서 겨울철로 감에 따라 온도가 약 100 K씩 하강됨을 볼 수 있다. 이와 같은 온도 변화는 태양으로부터 입사되는 EUV와 UV의 선속이 지구에 입사되는 각도, 즉 계절적 요인에 의한 것으로 생각된다. F10.7 지수에 대한 측정은 특정 지역에서 관측한 것을 평균한 것이 아니라 모든 위치에서 관측된 것을 지수화한 것이기 때

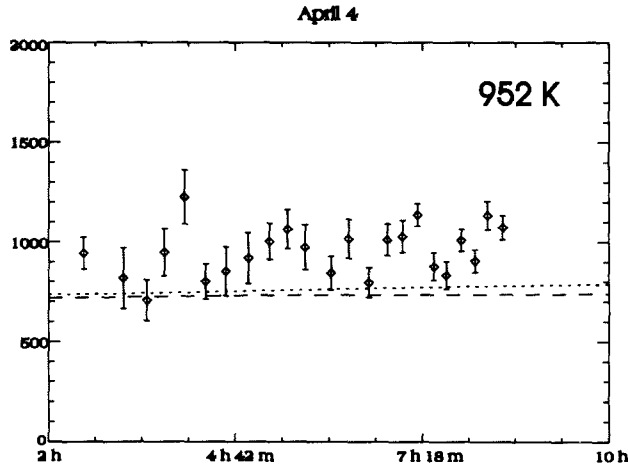


그림 6. 1997년 4월 4일 세종기지에서 관측된 열권 상부의 온도 변화(시간은 UT).

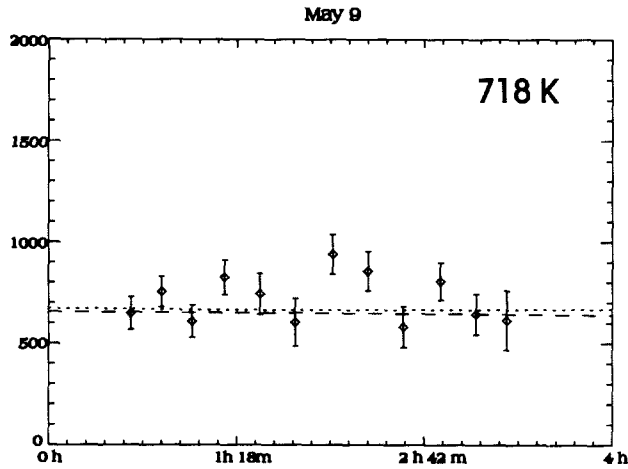


그림 7. 1997년 5월 9일 세종기지에서 관측된 열권 상부의 온도 변화(시간은 UT).

문에 지리적으로 고위도의 경우 입사각에 의한 선속 차이는 고려되지 않았다. 그러므로 계절 변화에 따라 지리적 고위도의 경우에는 실제 입사되는 EUV/UV 선속의 차이가 중저위도보다 더 클 것으로 생각된다.

모델들에 의해 계산된 온도 변화는 관측된 온도와는 달리 계절에 따라 민감하게 반응하지 못하는 것을 알 수 있다. 가을에 측정된 온도는 모델들에 의한 온도값보다 높게 나타나고 있으나 겨울에 관

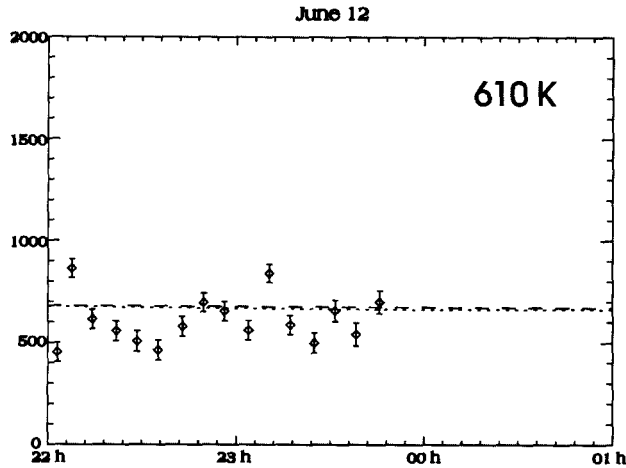


그림 8. 1997년 6월 12일 세종기지에서 관측된 열권 상부의 온도 변화(시간은 UT).

측된 온도는 반대로 모델에서 계산된 온도가 높게 나타나고 있다.

3.2 지자기 교란에 따른 온도의 변화

세종과학기지의 지리적 위치는 고위도에 속하지만 지자기적 위도로는 중위도에 위치한다. 비록 중위도에 위치하고 있지만 지자기 교란이 있을 경우 지자기 고위도에서는 고에너지 입자 및 이온층 플라즈마의 에너지 증가등으로 인해 열권 중성 입자와의 충돌시 더 많은 에너지를 전달한다. 그러므로 지자기 교란이 발생될 때 충돌된 열권 중성 입자의 온도 상승하게 된다. 고위도 열권 온도의 상승은 중위도로 전달되어 중위도 지역의 온도에 영향을 미친다고 알려져 있다(Fujiwara et al. 1996). 지자기 교란이 발생될 경우 세종과학기지 상공 열권에 어느 정도의 온도 상승이 있을 지를 알아보기 위해 몇 일의 관측 자료를 분석해 보았다. 앞에서 언급되었듯이 계절적 변화에 의한 온도 변화 경향을 배제하기 위해 같은 계절대에 있는 3월 2일, 3월 10일, 그리고 4월 4일에 관측된 온도 자료를 사용하였다.

그림 4, 5, 6은 봄철인 3월 2, 10일, 그리고 4월 4일의 온도를 나타낸 것이다. 표 1에서 4월 4일의 Kp 값을 살펴보면 다른 날보다 높은 3이상인 값을 보이고 있으며 최대 4의 값을 보이고 있다. 관측 시간인 03시부터 08시 사이에는 계속적으로 3 이상인 값을 보이고 있으며 그 전 시간에도 Kp=4의 높은 값이 분포되고 있다. 이 날의 온도는 대부분이 1000K 부근에 분포하고 있으며 평균 온도는 952K로 나타났다. 3월 2일의 지자기 활동을 살펴보면 4월 4일과 비슷한 Kp 값을 보이고 있으나 관측 시간인 00시부터 02시 사이에는 낮은 Kp값을 보이고 있다. 3월 2일의 평균 온도는 840K이다. 마지막으로 3월 10일은 Kp값이 2이하로 분포되어 있으며 평균 온도는 3일 동안 관측된 온도 중에서 가장 낮은 820K의 값을 보이고 있다. 지자기 교란이 가장 활발한 4월 4일과 지자기 활동이 가장 낮은 3월 10일의 평

균 온도차는 약 112K이다. 이상의 결과로부터 남극 세종과학기지의 지자기적 위치가 중위도이지만 지자기 교란이 발생할 경우에 약 100K 이상의 온도 상승이 있었음이 관측되었다. MSIS-86와 VSH 모델에 의해 계산된 온도와는 상당한 차이를 보이고 있다. 더군다나 4월 4일에 관측된 온도와 비교해 보면 대략적으로 300K 정도의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 지자기 활동이 활발할 경우 모델과 관측치와의 차이는 모델이 한정된 관측 자료에 의해 작성되었기 때문에 발생된 것으로 생각된다. 그러므로 정확한 모델 예측을 위해서는 다양한 지자기 활동에 대한 모델 개발이 필요하다.

4. 토론 및 요약

남극 킹조지섬에 위치한 세종과학기지는 지리적으로는 고위도이며 지자기 위도로는 중위도에 위치하여 있다. 1997년 3월부터 9월까지 페브리-페로 광학 간섭계를 이용하여 열권 상부의 중성 산소 원자에서 방출되는 6300Å 밤대기광을 관측하였다. 1997년은 태양활동이 극저기로서 F10.7 값이 $80 \times 10^{-22} Wm^{-2} Hz^{-1}$ 이하였다. 총 관측 일수는 15일였으며 본 연구에서는 3월 2일, 10일, 4월 4일, 5월 9일, 6월 12일에 관측된 자료를 선택하였다. 측정된 밤대기광의 도플러 선퍼짐으로부터 온도를 도출하여 계절 변화와 지자기 교란시의 온도를 분석하였다.

세종과학기지 열권 온도의 계절적 변화를 살펴보기 위해 지자기 활동이 약한 3월 10일과 5월 9일, 그리고 6월 12일의 온도를 분석하였다. 3월 10일의 평균 온도는 820K였으며 5월 9일은 718K, 그리고 겨울인 6월 12일은 610K의 평균 온도가 측정되었다. 이로부터 지자기 활동이 어느 정도 배제된 상황에서 열권 온도의 계절 변화가 있음을 알 수 있었다. 관측 결과 지자기 교란이 있었던 4월 4일의 평균 온도가 952K로서 같은 계절인 3월 2일과 3월 10일에 측정된 평균 온도에 비해 100K 이상 높게 나타났다. 이로부터 세종과학기지의 지자기 위치가 중위도임에도 불구하고 지자기 활동에 의한 온도 변화가 뚜렷히 나타남을 확인하였다.

우리는 관측된 온도를 MSIS-86과 VSH 모델에 의해 계산된 온도와 비교하였다. 모델에 의해 도출된 온도값에서는 관측 결과와 같은 계절적인 변화는 보이지 않았다. 지자기 교란에 의한 온도 변화에 대한 VSH 모델 온도가 상승되었으나 MSIS-86 모델은 거의 차이를 보이지 않고 있다. 대부분의 경우에는 MSIS-86 모델이 VSH 모델보다 높은 온도를 보이고 있었다. 가을철에 모델 온도값이 관측 온도보다 낮았으나 겨울에는 반대로 모델 온도값이 관측치보다 높게 나타나고 있었다. 이와 같은 모델과 관측 값과의 차이는 모델들이 한정된 관측 자료를 이용하여 작성된 것으로 그 원인을 찾아야 할 것으로 예상된다. 그러므로 더욱 정확한 모델 예측을 위해서는 다양한 태양 활동과 지자기 활동에 대한 자료의 축적과 지상에서의 장기간의 걸친 자료를 통한 통계적인 온도 변화를 살펴보는 것이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- Hedin, A. E. 1987, *J. Geophys. Res.*, 92, 4649
- Hujiwara, H., Maeda, S., Fukunishi, H., Fuller-Rowell, T. J. & Evans, D. S. 1989, *J. Geophys. Res.*, 101, 1996
- Killeen, T. L., Won, Y.-I., Niciejewski, R. J. & Burns, A. G. 1995, *J. Geophys. Res.*, 100, 21327
- Kim, J. S., Kim, Y., Murty, G. S. N. & Kim, J. W. 1990, *J. Kor. Phys. Soc.*, 23, 253
- McCormac, F. G., Killeen, T. L., Burns, A. G., Marcos, F. A. & Roble, R. G. 1989, *AAS*, 416
- Rees, M. H. 1989, *Physics and chemistry of the upper atmosphere* (Cambridge Univ. Press: Cambridge), pp.100-137
- Won, Y.-I. 1994, Ph.D Thesis (Univ. of Michigan: Ann Arbor)