JOURNAL OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY
34: 35~40, 2001

한반도 상공 고층대기의 중간 자외선 대기광 모델
A MODEL FOR MUV AIRGLOW FROM THE UPPER ATOMOSPHERE ABOVE THE KOREAN PENINSULA

문봉곤[1], 김용하[1], 이유[1], 김준[2]
BONG-KON MOON, YONG HA KIM, YU YI, AND JHOON KIM
[1]충남대학교 천문우주과학과, [2]한국항공우주연구원
[1]Department of Astronomy & Space Science, Chungnam National University
[2]Korea Aerospace Research Institute
(Received Dec. 7, 2000; Accepted Jan. 10, 2001)

ABSTRACT

For the planned experiments of Korea Sounding Rocket-III (KSR-III), we have constructed a model of MUV dayglow in the mid-latitude. The model computes relative intensities of individual emission lines in the Vegard-Kaplan and 2PG band systems of N_2 in the wavelength range of 2500-3500 Å. In addition to the emission lines, solar scattered continuum was computed by an extended LOWTRAN7 code, in which we have included solar scattering in altitudes higher than 100 km by using MSIS90 thermosphere model. Ratios among vibrational bands of VK and 2PG system, were computed from the observed MUV dayglow spectra of Cleary et al. (1995). The model provides MUV dayglow intensitiy profiles with a wavelength resolution of 3.13 Å as a function of altitude. The computed intensity profiles have been utilized in designing the KSR-III airglow photometers.

Keywords: mid-ultraviolet – airglow – emission spectrum – rocket experiment

I. 서 론

고층대기는 우주공간과 인접해 있어 외부로부터의 영향, 즉 태양의 자외선, X-선, 태양풍, 우주선, 자기권 활동 등에 의한 영향을 직접적으로 받는다. 뿐만 아니라, 저층대기로부터 분자 및 와류확산, 중량파(gravity wave) 등의 영향을 받는다. 더욱이 밀도가 희박한 고층대기는 이러한 영향들에 대해 저층대기보다 더욱 민감한 반응을 보이게 된다. 한 예로 이온층은 태양활동에 따라 이온과 전자의 밀도가 큰 폭으로 변화함은 잘 알려진 사실이다. 그러나 이런 여러 가지 영향들이 구체적으로 어떻게 고층대기의 구조 및 화학적 구성에 변화를 초래하는지에 대해 아직까지도 잘 밝혀지지 않고 있다(cf. 김용하 등 1998).

일반적으로 고층대기 측정 방법으로는 크게 두 가지 방식이 있다. 첫 번째는 현장 측정 방식(in-situ measurements)으로 로켓이나 위성이 고층대기 입자를 직접 채취하여 분석하는 방법으로 질량분석기가 대표적 예이다. 두 번째는 원격 탐사 방식으로 고층대기에서 나오는 빛을 측정하여 대기의 성분과 온도를 구하는 방법이다. 이런 방식들은 로켓을 통하여 고층대기를 연구하기 시작한 50년대부터 지속적으로 사용되었다.

로켓을 이용한 고층대기 탐사는 1960년대부터 본격적으로 미국과 소련에서 수행되었다. 초기에는 주로 위성 운용 환경을 알기 위한 기초적인 대기 물리량을 측정하였다. 즉 온도, 중성대기밀도, 이온밀도, 중성분자구성, 중성원자구성, 이온 성분, 전기장, 바람 속도 등이 측정되었다. 70년대에는 자외선 대기광이 많이 측정되어 O, O^+, NO, N^+ 등 화학적으로 활성이 강한 성분의 2000 Å 이하 방출선들이 발견되었다. 80년대 이후에는 로켓은 주로 위성기기 시험목적을 겸하게 되어 탑재체 회수가 필수화되었다. 위성탐사가 활발해진 80년대와 90년대에는 로켓을 이용한 고층대기 연구는 점차 부차적인 수단으로 수행되었다. 그러나 아직도 흥미로운 사례 연구의 기회로 활용되고 있으며, 특히 개발도상국가에서 우주기술 축적을 위해 로켓 이용 고층대기 연구가 활발하게 진행되고 있다. 여기서 두 가지 예를 들어 외국의 연구 동향을 소개하겠다.

브라질의 경우 1985, 1986, 1991, 1992년에 걸쳐 대기광 측정을 수행했다(Takahashi et al. 1996). 이중 1992년 측정의 경우, 최대고도가 282 km이고 2750, 5577, 5780, 5893, 7242, 7620, 6300, 7130, 7240 Å의 측광기를 탑재하여 중간권과 열권 하부의 산소 분자, 산소 원자, 나트륨 원자, OH, 등을 측정하였다. 이 대기광 대부분이 가시광선 영역에 속해 있어 태양빛이 없는 야간에 발사하여 측정했다. 나트륨 원자의 경우 약 90 km에 얇은 층을 이루고 있는데, 이를 측정하기 위해서는 새벽이나 저녁에 측

정하여야 했다. 여기서 실시한 여러 파장의 대기광 동시 측정은 자료의 해석에 사용되는 이론 모델을 잘 제한해주기 때문에 과학적으로 매우 가치 있다.

미국의 경우 로켓 이용 고층대기 측정은 매년 수회에 걸쳐 실시되고 있다. 발사장은 버지니아주 해변가의 Wallops Island나 뉴멕시코 사막의 Sanders 기지에 위치한다. 수많은 로켓 이용 고층대기 탐사가 이루어졌으나, 여기서는 한 예로 버클리 대학의 자외선 대기광 분광측정(BEARS: Berkeley EUV Airg-low Rocket Spectrometer)을 들겠다. 이 자외선 대기광 측정 장치는 980-1040 Å, 1300–1360 Å 파장영역의 대기광을 1.5 Å 해상도로 측정하였다. 이로부터 고층대기의 산소 원자 분포와 여기 상태, 그리고 비열적 산소 원자의 존재 등을 알아내는데 성공했다. 분광기는 회절 격자와 Micro-channel Plate를 사용한 자외선 측정기를 사용했다. 이 자외선 측정기는 고가이기 때문에 탑재체를 회수하지 않는 과학 로켓에는 적절하지 않다.

국내의 경우를 보면 로켓을 이용한 연구는 여러 가지 제약으로 인해 오존을 비롯한 가장 용이한 측정에 국한되어 있었으며, 측정 고도 역시 성층권까지로 제한되어 있었다. 현재 국내에서 로켓을 이용하여 고층대기의 대기광을 측정하는 기술은 초보 상태에 있으며 특히 협대역 자외선 측광 관측은 수행된 적이 없다.

고층대기 중 특히 중간권부터 열권하부 (고도 약 50 km~ 300 km) 지역은 위성으로 측정하기에는 고도가 낮고 기구를 이용해 측정하기에는 너무 높은 고도이므로 로켓을 이용해서 측정하는 것이 가장 의미있다. 또한 로켓은 위성보다 비용이 적게 드는 장점이 있다. 이러한 이유와 더불어 로켓을 통한 연구가 직접적으로 위성에 응용되기 때문에 선진국에서는 정부기관과 대학사이의 활발한 연구를 통해서 로켓을 이용한 관측을 계속하고 있다. 1998년도에 NASA의 sounding rocket program 만해도 23건이 있다. 그러나 많은 요인들에 의해서 변화 무쌍한 고층대기를 이해하는데는 로켓 실험으로는 역부족이다. 2001년 12월에 발사될 TIMED (Thermosphere Ionosphere Mesospheric Energetics and Dynamics) 위성은 MLTI (Mesosphere and Lower Thermosphere/Ionosphere) 영역의 온도, 밀도, 바람의 구조, 태양빛에 의한 MLTI 영역의 원자 및 분자의 화학적 · 물리학적 변화 등을 종합적으로 측정할 예정이다.

본 연구는 2002년 10월 경에 발사예정인 3단 로켓(Korea Sounding Rocket-III, KSR-III)의 탑재체 중 하나인 대기광도계(Airglow Photometer) 실험을 준비하는 과정으로 수행되었다. KSR-III 대기광도계는 고층대기에 존재하는 원자나 분자가 복사 전이 과정을 거쳐 방출되는 대기광(airglow) 중 중간자외선 영역의 OI 2972 Å, N_2 2PG 3157 Å, N_2 VK band(0,7) 2938 Å의 3개의 방출선과 배경 복사 3073 Å을 측정하여 고층대기의 상태를 탐구할 것이다. 이를 위해 각각의 방출선과 선택된 파장 영역 만을 통과할 수 있는 필터를 장착한 4개의 측광기를 개발할 것이다. 여기서 N_2 2PG 3157 Å은 광전자(photoelectron)에 의한 N_2 (C-B) 여기 과정이므로, 광전자의 플럭스를 알게 하고, N_2 VK band(0,7) 은 OI 2972 Å를 내는 $O(^1S)$ 상태와 source를 공유하며, 배경 복사 3073 Å은 산란광이나 로켓의 glow 현상에 의해 중간 자외선 영역의 배경 밝기가 얼마인지 결정하게 해준다. 이러한 4개의 측광기로 얻어진 고도별 대기광 자료를 모델과 비교함으로서 O와 N_2의 밀도를 구할 수 있다. N_2와 O가 고층대기의 주요 구성성분이므로, 이들의 고도에 따른 변화율로부터 고층대기의 온도를 구할 수 있다.

본 논문에서는 KSR-III 대기광도계가 관측하고자하는 파장 중에서 질소 분자의 방출선 및 배경 산란광을 고도별로 계산을 하였다. 대기 방출선 모델은 기존의 로켓 관측 자료를 근거로 KSR-III 대기광도계의 측정 예상 광도를 계산하였다. 중간 자외선 영역의 대기광은 태양 산란광과 분자형광 방출선들로 이루어져 있는데, 태양 산란광은 표준대기모델인 LOWTRAN 7의 확대 프로그램으로 이미 계산된 자료를 사용하였다(이현경 2000).

II. 중간 자외선 영역의 N_2 방출선 물리

질소 분자는 지구 대기 구성 원소의 78%를 차지하는 주요한 중성 원소이다. 질소는 지상에서 다른 어떤 분자보다도 더 큰 혼합 비율을 가지고 있지만, 열권에서 고도가 높아짐에 따라 이 비는 감소한다. 고도 200 km 이상에서는 산소 원자가 질소 분자보다 더 많아지게 된다. 질소 분자는 낮은 고도에서는 화학적으로 안정되어 있을지라도 고도 약 100 km이상에서는 자외선 광자들이나 전자들에 의해 들뜬 상태가 되거나 해리된다.

N_2분자의 삼중항 상태(triplet state)들은 그림 1에서와 같이 $A^3\Sigma_u^+$, B^3II_g, $W^3\Delta_u$, C^3II_u, $E^3\Sigma_g^+$, $D^3\Sigma_u^+$ 상태들이 있다. N_2분자의 들뜬 상태는 주로 삼중항 상태들인데, 바닥상태가 단일항 상태(singlet state)이므로 쌍극자 복사전이는 파울리 원리에 의해 금지되어 있다. 그러나 전자 충돌에 의한 이 삼중항 상태로의 전이는 가능하다. 이 삼중항 상태들은 또한 더 높은 상태로부터 연속전이(cascade transition)에 의해 채워질 수 있다. 전자 전이 이외에도 특정 전자 상태 내에서 진동에너지 준위들의 여기가 일어난다. N_2 분자는 동일핵을 가지므로(homonuclear) 전자 쌍극자 모멘트를 가지고 있지 않아 이 진동에너지 준위 간에 복사 전이가 금지된다(cf. Karplus & Porter 1970). 하지만, 전자 충돌 과정이 진동에너지 준위 간의 전이를 야기시킬 수 있다.

지구 고층대기에서 MUV 영역의 질소 분자의 대기광은 주로 Vegard-Kaplan (VK), Second Positive(2PG) band이다 (Huffman, 1992). N_2 Vegard-Kaplan ($A^3\Sigma_u^+ - X^1\Sigma_g^+$) 밴드는 광 이온화 과정에서 나온 2차 전자가 N_2 바닥 상태인 $X^1\Sigma_g^+$를 삼중항 상태인 $A^3\Sigma_u^+$로 들뜨게 하여 생긴다.

$$N_2(X^1\Sigma_g^+) + e \rightarrow N_2(A^3\Sigma_u^+) + e \qquad (1)$$

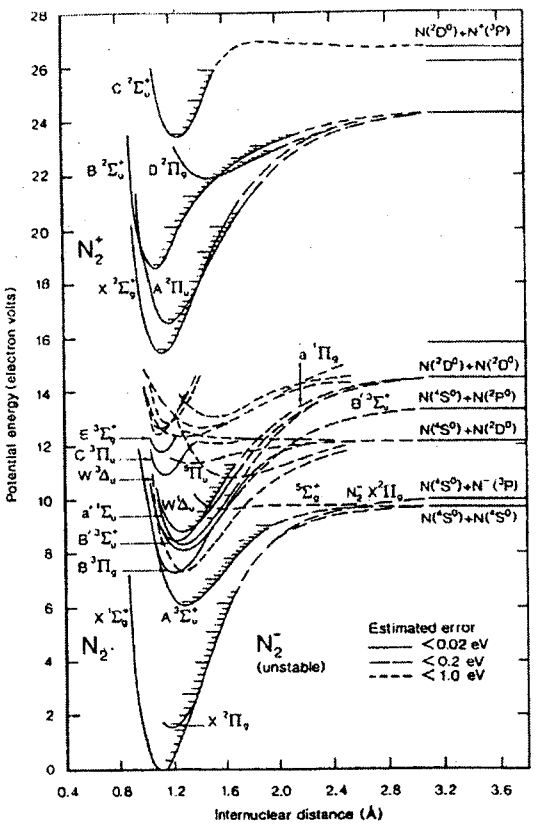

그림 1. Potential energy diagram for N_2, N_2^+ and N_2^- (Rees, 1989).

앞에서 언급했듯이 이런 전이는 스핀 상태가 단일항에서 삼중항으로 바뀌므로 쌍극자 전이가 금지되어 태양 자외선의 흡수로는 일어나지 않는다. 그러나 이 방출선은 광이온화에 따른 이차전자에 의한 전이이므로 대기 분자를 이온화시키는 태양의 극자외선(EUV)의 양과는 밀접한 관계가 있다. 이렇게 생성된 $N_2(A^3\Sigma_u^+)$는 MUV 대기광 방출선을 내기 전에 산소 원자와의 충돌에 의해 에너지를 잃을 수 있으나(quenching), 고도가 170 km 이상에서는 그 효과가 미미한 것으로 알려져 있다. 더 낮은 고도, 약 120 km 이하에서는 산소 분자에 의해 에너지를 잃을 수 있다.

N_2 2PG 밴드는 $C^3\Pi_u^+$ 상태에서 $B^3\Pi_g$ 상태로 전이될 때 나오는 방출 밴드로서 3000 Å~5000 Å 영역에서 가장 밝은 방출선이다. 이 방출 밴드는 최초로 Vegard and Kvifte (1945)에 의해 보고된 이래 대기 연구에 매우 중요한 역할을 해왔다. 왜냐하면 $C^3\Pi_u$ 상태의 들뜸(excitation)에 대한 전자 충돌 단면적(electron impact cross section)이 N_2의 다른 삼중항 상태들보다도 가장 잘 알려져 있기 때문이다. 2PG 밴드의 구조는 Buttenbender and Herzberg(1935)에 의해 조사 되었다.

참고로 OI 2972 Å 방출선은 $O(^1S)$ 상태에서 기저 상태인 $O(^3P)$로 전이될 때 방출하는 빛이다. $O(^1S)$는 여러 경로로 생길 수 있으나 앞에서 언급한 산소 원자가 $N_2(A^3\Sigma_u^+)$를 소멸(quenching) 하면서 생성된다.

$$N_2(A^3\Sigma_u^+) + O(^3P) \rightarrow N_2(X^1\Sigma_g^+) + O^*(^1S) \quad (2)$$

생성된 $O^*(^1S)$ 는 직접 기저 상태로 전이하지 않을 경우, 유명한 가시광선 대기광 O 5577 Å를 방출하기도 한다. 주간에 가시 광선 대기광을 관측하는 것은 불가능하므로, OI 2972 Å는 여기된 산소 원자를 측정하는 중요한 수단이 된다. 언급한데로 OI 2972 Å와 N_2 VK 방출선은 서로 상보적인 관계(하나가 커지면 다른 하나는 작아지는)가 있으므로 열권 전고도에 걸쳐 중요한 정보를 주게 된다.

III. 분자 방출선 모델 및 결과

2원자 분자인 N_2는 자유도가 제한되어 비교적 간단한 방출선계를 가진다. 분자의 고유상태(eigenstate)는 파동함수의 회전적, 진동적, 전자적 성질을 설명하는 양자수를 부여하여 기술된다. 임의의 상태들 사이의 전이확률(transition prabability)은 양자수들간의 관계를 지배하는 선택 규칙(selection rule)에 달려 있다. 이들 전이확률은 분자 방출선 밴드의 구조와 밝기를 결정한다. 스펙트럼 분석에서 방출선들의 세기(intensity)를 결정하기 위해서는 분자 방출선 밴드에 대한 회전구조(rotational structure)를 알아야 한다. 이 연구에서는 Bucsela(1994) 논문의 코드를 참조로 하여 N_2의 VK 밴드, 2PG 밴드에 대한 회전구조를 계산하였다. 이 밴드에서 사용된 MUV 영역의 방출선들은 VK(0,5), VK(5,9), VK(0,6), VK(1,7), VK(5,10), VK (0,7), 2PG(2,0),VK(1,8), 2PG(2,1), 2PG(1,0), VK(1,9), 2PG (2,2), 2PG(0,0)이다. 괄호 안의 숫자는 각각 상위와 하위 전자 상태의 진동양자수이다.

이 코드는 FORTRAN으로 프로그래밍되었으며, 코드에서 분자밴드들의 각각의 방출선들은 전체 세기가 1로 규격화되어 있다.

회전에너지 준위(rotational level)의 에너지는 다음과 같은 세 가지 구성요소의 합으로 표현된다.

$$E = T_e + G(v) + F(J) \quad (3)$$

여기서, T_e는 전자 상태와 관련된 에너지, $G(v)$는 진동양자수 v를 가지는 진동에너지, $F(J)$는 회전양자수 J를 가지는 회전에너지이다.

진동에너지 $G(v)$는 다음과 같이 다시 쓰여질 수 있다.

$$G(v) = w_e\left[\left(v+\frac{1}{2}\right) - x_e\left(v+\frac{1}{2}\right)^2 + y_e\left(v+\frac{1}{2}\right)^3 + z_e\left(v+\frac{1}{2}\right)^3\right] \quad (4)$$

여기서 w_e, x_e, y_e, z_e는 전자 상태에 관한 상수들이다. 이 상수들은 전자 상태의 위치 에너지 함수의 비대칭적인 모양을 맞추기 위해 사용된다(그림 1 참조).

최종적으로 회전선(rotational line)의 세기는 다음식으로 표현된다.

$$I = N_{n'v'J'}\frac{64\pi^4}{3h\lambda^3}R_e^2 q_{v'v''}\frac{S_{J'J''}}{2J'+1} \quad (5)$$

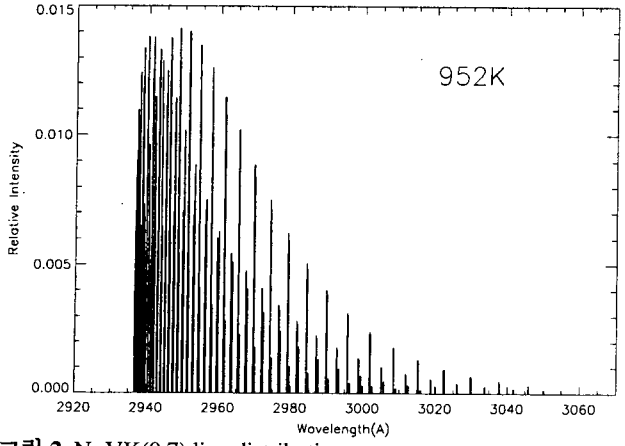

그림 2. N_2 VK(0,7) line distribution.

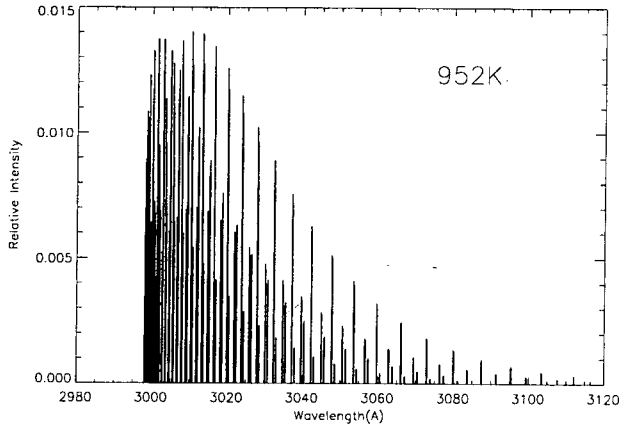

그림 3. N_2 VK(1,8) line distribution.

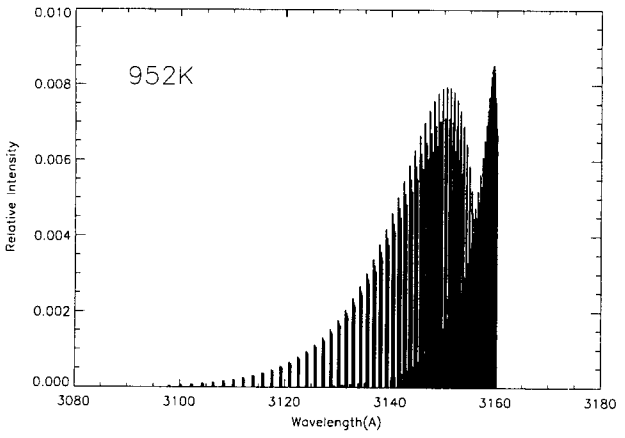

그림 4. N_2 2PG(1,0) line distribution.

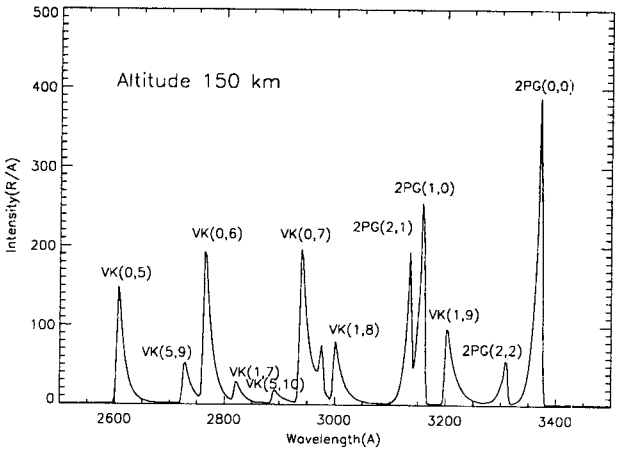

그림 5. The MUV spectra of N_2 dayglow at 150 km, OZA=90°.

여기서, $N_{n'v'J'}$은 상위 회전에너지 준위의 입자수(population)를 나타내고, $R_e^2 q_{v'v''}$은 두 상태 사이의 전이확률에 관한 양이며, $S_{J'J''}$은 회전의 기여도를 나타내는 Hönl-London factor이다. 그리고, $N_{n'v'J'}$은 $(2J'+1)\exp[-\beta F_\Sigma(J')]$의 양에 비례한다. 여기서 $(2J'+1)$은 상위 레벨의 통계적 가중치(statistical weight), $\beta = hc/kT$ (T는 절대 온도), $F_\Sigma(J') = J'(J'+1)B_e'$은 회전 상수)이다.

계산 코드는 방출선에 관계한 두 전자 상태에 대한 기본적인 자료를 데이터 베이스를 통해 입력하며, 메인 프로그램에서 회전온도(rotational temperature)를 입력한다. 우리는 여기서 회전온도에 대해 MSIS 90의 고도별 온도를 사용하였다. 우리가 관측하는 장소가 한반도이고 로켓 발사 예정에 의하면 2002년도인 점을 감안하여, 중간정도의 지자기 활동 계수 Ap 19.5, 중간 정도 태양활동 지수 F10.7 157을 MSIS 90에 입력하였다. 그리고 봄, 여름, 가을, 겨울 계절별로 나누어 지방시 오전 9시, 정오 12시, 오후 3시에 대해서 각각의 고도에 따른 회전온도를 구하였다. 그림 2, 그림 3, 그림 4는 온도 952 K(봄철 09시의 약 195 km 고도)에서의 VK(0,7), VK(1,8), 2PG(1,0)의 회전선 구조(rotational line structure)를 보여 주고 있다.

전체 스펙트럼 구성을 위해 위의 그림과 같은 회전선 구조들은 각 진동밴드 상대적 세기에 따라 가중치를 주어 더해야 한다. 이는 진동에너지 준위에 따라 전이확률이 다르기 때문이다. 각 진동밴드의 가중치는 Cleary et al.(1995)의 실제 중위도 지방 로켓관측 스펙트럼을 기준으로 추정하였다. Cleary et al.의 관측 장소는 한반도와 비슷한 중위도 지역으로서, 위도(북위 32.4도), 경도(서경 106.3도), 지방시(09시)이며, 관측당시의 F10.7지수, Ap지수를 동일하게 입력하였을 때 나온 MSIS 90의 고도에 따른 온도는 한반도에서 가을철(추분) 오전 9시에 계산한 온도와 거의 비슷하다. 따라서 우리는 한반도 가을철(추분) 오전 9시에 해당하는 MSIS 90의 고도별 온도 데이터를 적용하여 회전구조를 구하였다. 그리고, 고도 195 km의 Cleary et al. 관측 스펙트럼에서 각 방출선간의 상대적 비를 이용하여 가중치를 구하였다. 이 가중치를 이용하여 195 km 고도에서 상대적 세기 스펙트럼을 관측 스펙트럼과 동일모양으로 구하였다. 이 때 사용한 파장 해상도는 Cleary et al. 관측 스펙트럼과 같은 3.13Å을 적용하였으며, 관측 천정각은 90°일 경우이다. 이 가중치를 사용하여 계산한 상대적 세기 스펙트럼을 고도 195 km에서의 Cleary et al. 관측 스펙트럼 절대값과 비교하여 이들과의 비례상수를 구하였다.

다른 고도에서의 스펙트럼은 Bucsela et al. (1998)에 의

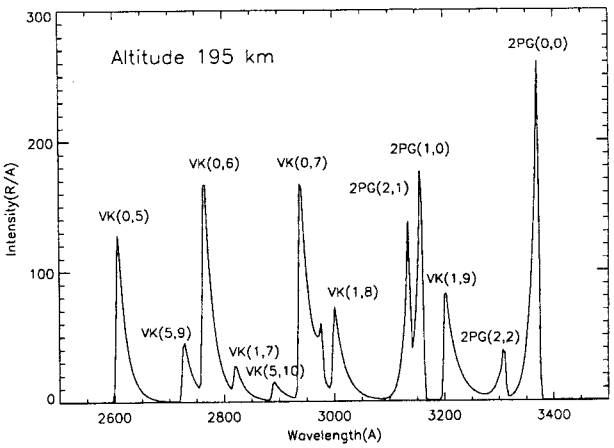

그림 6. The MUV spectra of N_2 dayglow at 195 km, OZA=90°.

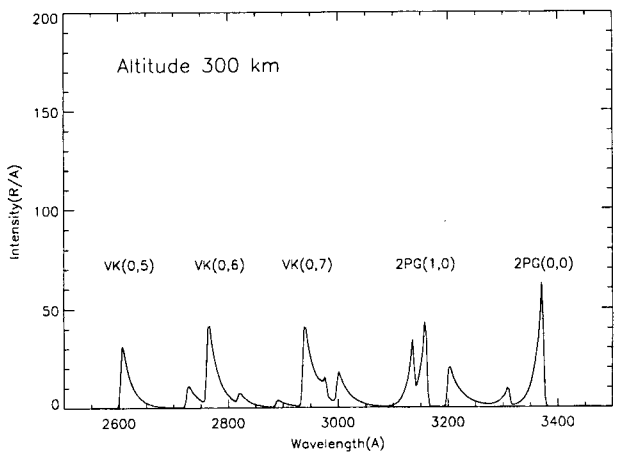

그림 7. The MUV spectra of N_2 dayglow at 300 km, OZA=90°.

해 계산된 이론 모델인 VK, 2PG의 고도에 따른 방출율을 사용하여 계산하였다. 이때 진동밴드 상호간의 상대적 가중치는 고도에 따라 변하지 않는다고 가정했다. 최종적으로 방출 밴드 VK, 2PG 스펙트럼에 LOWTRAN 7의 태양 산란광 스펙트럼을 더하여 각 고도별 스펙트럼을 계산하였다. 또한 이러한 계산을 계절별로 각각 다른 지방시에 대해서 반복 계산하였다. 단, 이 모든 경우에 대해 Bucsela et al. 모델이 없기 때문에 VK, 2PG의 고도에 따른 방출율을 다음의 Chapman 함수로 가정하였다(Chamberlain & Hunten 1987).

$$q(\mu, Z) = q_M \exp\left(1 - \frac{Z - Z_M}{H} - \frac{1}{\mu} e^{-(Z-Z_M)/H}\right) \qquad (6)$$

여기서, Z은 고도, Z_M은 q가 최대인 고도, q_M은 Z_M일 때의 방출량, $H=kT(Z)/M(Z)g$으로써 고도별 scale height, μ는 태양 천정각에 해당하는 $cos(\theta)$이다. 동일 계절의 하루에 대해서도 태양 천정각은 지방시(Local Time)에 따라 변하게 되고, 고도별 열권의 온도도 변하게 되므로 q 값은 μ, Z의 함수이다.

그림 5, 그림 6, 그림 7은 봄철 오전 9시 150 km, 195 km, 300 km 고도에서 VK, 2PG 밴드의 MUV 대기광의

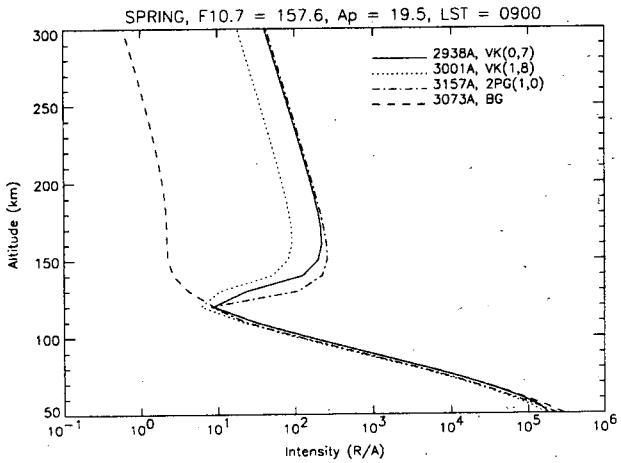

그림 8. 봄철 지방시 09시, 관측 파장에서 고도에 따른 대기광.

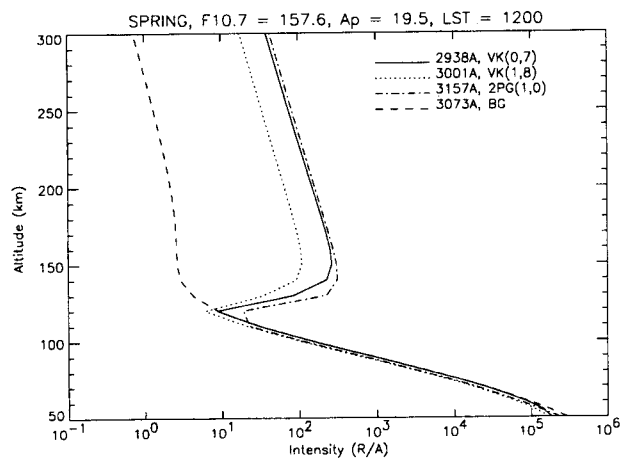

그림 9. 봄철 지방시 12시, 관측 파장에서 고도에 따른 대기광.

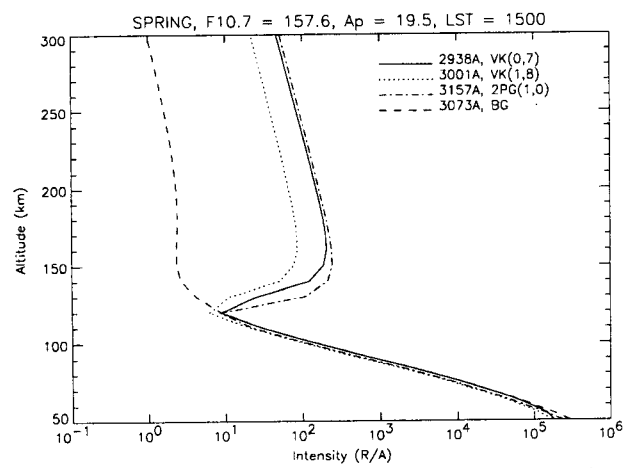

그림 10. 봄철 지방시 15시, 관측 파장에서 고도에 따른 대기광.

모습을 보여준다. 스펙트럼 세기(intensity) 단위 R/Å는 1 Å의 파장구간당 10^6개의 광자가 전 방향으로 방출함을 뜻한다. 이 스펙트럼에서 볼 수 있는 사실은 고도 증가에 따라 방출선 양이 줄어들고 있다는 사실이다. 이러한 계산을 통해 계절별로 나온 스펙트럼을 분석해 본 결과 계절에 따른 N_2 관측 파장의 세기는 비슷하게 나타났으며,

한 계절에서 오전보다는 오후에 더 방출선의 양이 커지는 변화를 볼 수 있었다. 이를 분명하게 보여주기 위해 우리가 실제 관측하고자 하는 파장에서의 고도별 세기를 봄철의 경우에 대해서만 그림 8, 그림 9, 그림 10에 보였다. 이 그림에서 50 km에서 100 km까지는 태양 산란광이 거의 대부분을 차지하고 있으며, 100 km 이상에서는 우리가 측정하는 N_2 방출선이 두드러지게 나타나고 있음을 알 수 있다. 100 km 이상의 고도에서 3073 Å의 배경 복사 산란광은 0.6-9 R/Å 정도로 N_2 방출선 세기에 비해 매우 작음을 알 수 있다. 100 km 이상의 고도에서 N_2 방출선의 절대적 세기를 보면, VK(0,7) 2938 Å은 8-263 R/Å, VK(1,8) 3001 Å은 6-108 R/Å, 2PG(1,0) 3157 Å은 8-309 R/Å으로 나타난다. 이런 정도의 세기는 우리가 개발하는 KSR-III 대기광도계가 측정할 수 있음을 확인하였다.

IV. 결 론

한반도 상공의 고층대기 연구는 학문적인 면과 실용적인 면에서 모두 중요하다. 이 연구는 KSR-III 과학로켓 탑재체인 대기광도계(Airglow Photometer)의 설계에 필요한 대기광의 세기 예측을 위해 수행되었다. 그동안 있어왔던 외국의 고층대기 연구 결과를 바탕으로 특별히 중위도 지역의 계절적 배경을 고려하여 한반도 고층대기의 MUV영역 대기광을 고도별로 계산하였다. 이 계산에는 LOWTRAN 7 표준 대기 복사 모형과 MSIS 90 표준 열권 모델이 사용되었다. 여기서는 N_2 방출선 대기광을 계산하였으며 그 결과 우리가 관측하고자하는 파장 영역에서 이 대기광은 계절과 지방시에 따라 다소 다르지만 최대 수백 R/Å 정도의 세기(intensity)가 될 것으로 예상되었다. 이렇게 계산으로 예측한 대기광의 양은 KSR-III 대기광도계의 측정범위 설계에 반영되었다. KSR-III 대기광 측정 연구는 고층대기 및 우주 환경 연구의 활성화에 도움을 줄 것으로 기대된다. 또한 이러한 자외선 측정 기술의 축적은 향후 국내 우주기술 개발에 일조가 될 것으로 생각한다.

본 연구는 한국항공우주연구소의 3단 과학로켓 KSR-III (Korea Sounding Rocket-III)의 일부로 수행되었다. 본 연구의 일부는 한국과학재단의 특정기초연구(1999-1-113-001-5) 지원으로 수행되었다.

참고문헌

김용하 등 1998, 우주과학의 제문제(대우학술총서)
이현경 2000, 석사학위논문, 충남대학교
Bucsela, E. J. 1994, Ph. D thesis, The university of Michigan, Two daytime observations of atomic nitrogen emission in the thermosphere
Bucsela, E. J., Cleary, D. D., Dymond, K. F., & McCoy, R. P. 1998, J. Geophys. Res., Vol. 103, 29215
Buttenbender, G., & Herzberg, G., 1935, Ann. Physik, Vol. 21, 577
Chamberlain, J. W., & Hunten, D. M. 1987, Theory of planetary atomospheres, Second Ed., Academic press
Cleary, D. D., Gnanalingam, S., McCoy, R. P., Dymond, K. F., & Eparvier, F. G. 1995, J. Geophys. Res., Vol. 100, 9729
Huffman, R. E. 1992, Atomospheric Ultraviolet remote sensing, Academic press
Karplus, M., & Porter, R. N. 1970, Atoms and molecules : An introduction for students of physical chemistry, Benjamin-cummings press
Takahashi, H., Clemesha, B. R., Simonich, D. M., Melo, M. L., Teixeira, N. R., Eras, A., Stegman, J., & Witt, G. 1996, J. Atomos. Terr. Phys., Vol. 58, 1943
Vegard, L., & Kvifte, G. 1945, Geophys., Vol. 16, 3