

한반도 상공의 고층대기 중간 자외선 대기광 측정을 위한 KSR-III 대기광도계 제작

오태형¹, 박경춘¹, 김용하^{1†}, 이유¹, 김준²
¹충남대학교 천문우주학과
²한국항공우주연구원

PRODUCTION OF KSR-III AIRGLOW PHOTOMETERS TO MEASURE MUV AIRGLOWS OF THE UPPER ATMOSPHERE ABOVE THE KOREAN PENINSULAR

T. H. Oh¹, K. C. Park¹, Y. H. Kim^{1†}, Y. Yi¹, and J. Kim²

¹Dept. of Astronomy & Space Science, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

²Korea Aerospace Research Institute(KARI), Daejeon, 305-777, Korea

E-mail: yhkim@cnu.ac.kr

(Received November 9, 2002; Accepted November 20, 2002)

요 약

한반도 상공의 중간 자외선 대기광을 측정하기 위해 3단형 과학로켓(KSR-III)에 탑재될 대기광도계(Airglow Photometer, AGP)가 제작되었다. 대기광도계 비행 모형(FM)은 4-channel로 이루어져 100km~300km 구간의 중간 자외선 영역의 OI 2972Å, N₂ VK(0,6) 2780Å, N₂ 2PG 3150Å 대기광과 배경으로 3070Å을 지평선 방향으로 측정하게 된다. 대기광도계는 광도계 본체, 차폐경(Baffle), 전자제어부, 전원공급기로 구성되어 있다. 광도계 본체는 현대역 간섭 필터를 통해 선택된 파장의 대기광을 직경 2.5cm 렌즈로 초점면에 설치된 슬릿 slit을 통해 자외선 감지용 광전증배관으로 진입시키는 구조로 되어있다. 비행중 영점 측정을 위해 초점면 슬릿 뒤편의 회전판에 영점광원을 설치하였다. 차폐경은 저층대기로부터 산란되는 태양광이 광도계로 진입하지 못하도록 성능을 최적화하여 설계 제작되었다. 대기광도계 비행모형의 지상 테스트로서 각 광도계의 성능 테스트 및 감응도, 영점 측정 등을 실시하였다. 대기광도계가 미약한 빛을 감응하도록 제작되었기 때문에 국내에서 신뢰도를 갖고 절대 감응도를 결정할 수 없었다. 그러나 대기광도계 각 channel 간 상대 감응도 측정값은 안정되게 측정되었기 때문에, 추후 로켓 비행시 측정된 자료를 신뢰성있게 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

We have constructed two flight models of airglow photometer system (AGP) to be onboard Korea Sounding Rocket-III (KSR-III) for detection of MUV dayglow above the Korean peninsular. The AGP system is designed to detect dayglow emissions of OI 2972Å, N₂ VK (0,6) 2780Å, N₂ 2PG 3150Å and background 3070Å toward the horizon at altitudes between 100 km and 300 km. The AGP system consists of a photometer body, a baffle, an electronic control unit and a battery unit. The MUV dayglow emissions enter through a narrow band interference filter and focusing lens

[†]corresponding author

of the photometer, which contains an ultraviolet sensitive photomultiplier tube. The photometer is equipped with an in-flight calibration light source on a circular plane that will rotate at the rocket's apogee. A baffle tube is installed at the entry of the photometer in order to block strong scattering lights from the lower atmosphere. We have carried out laboratory measurements of sensitivity and in-flight calibration light source for the AGP flight models. Although absolute sensitivities of the AGP flight models could not be determined in the country, relative sensitivities among channels are well measured so that observation data during rocket flight in the future can be analyzed with confidence.

Keywords: ultraviolet airglow, photometer, thermosphere

1. 서 론

고층대기는 우주공간과 인접해 있어 외부로부터의 영향, 즉 태양의 자외선, X-선, 태양풍, 우주선, 자기권 활동 등에 의한 영향을 직접적으로 받는다. 뿐만 아니라, 저층 대기로부터 분자 및 와류 확산, 중량파(gravity wave) 등의 영향을 받는다(Rees 1989). 더욱이 밀도가 희박한 고층대기는 이러한 영향들에 대해 저층대기보다 더욱 민감한 반응을 보이게 된다. 한 예로 이온층이 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(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 질량 분석기가 대표적 예이다. 두 번째는 원격 탐사 방식으로 고층대기에서 나오는 빛을 측정하여 대기의 성분과 온도를 구하는 방법이다. 이 방식은 로켓을 통하여 고층대기를 연구하기 시작한 50년대부터 지속적으로 사용된 방법이다.

본 연구는 항공우주연구원에서 개발중인 3단형 과학로켓(KSR-III)에 탑재하여 한반도 상공 고층대기의 중간 자외선 대기광을 관측할 목적으로 시작하였다. 이를 위해 2001년에 우선 1-channel 대기광도계(AGP system) 비행모형이 제작되어 진동시험, 열 및 진공 시험, Telemetry 연계 시험, 전자파 환경 시험을 모두 성공적으로 통과하였다(김용하 2002). 이를 바탕으로 본 논문에서는 본격 관측을 위해 2-channel 과 4-channel AGP system 비행모형 2조를 제작하여 성능시험을 수행한 결과를 보고하였다.

2. 고층대기의 중간자외선 대기광

대기광(*airglow*)이란 대기중의 원자나 분자가 태양에너지에 의해서 높은 에너지 상태로 들뜬 후 다시 가라앉을 때 방출되는 복사선을 의미한다. 우리가 관측하는 대기광은 낮에도 관측할 수 있는 중간자외선(MUV) 영역으로 주 관측 고도는 100~300km 영역이다. Cleary et al.(1995)은 중간 자외선 영역을 주간에도 측정할 수 있으며, 이 자료를 Bucsel et al.(1998)이 이론 모형과 비교 분석하였다. 이

를 참조하여 우리는 중간 자외선 영역 4개의 특정 파장을 다음과 같이 선택하였다.

N_2 2938Å 대기광은 Vegard-Kaplan($A^3 \sum_u^+ - X^1 \sum_g^+$)(VK)(0,7) band로써, 광 이온화시 나온 2차 전자에 의해 N_2 기저 상태인 $X^1 \sum_g^+$ 상태에서 triplet 상태인 $A^3 \sum_u^+$ 로 들뜨게 되어 생긴다. 이런 전이는 스핀 상태가 singlet에서 triplet으로 바뀌기 때문에 금지된 전이로서 태양 자외선의 흡수로는 일어나지 않는다. 그러나 이 전이는 광이온화에 따른 2차 전자의 충돌에 의해서는 가능하다. 따라서 $N_2(A^3 \sum_u^+)$ 생성율은 대기 분자를 이온화 시키는 태양의 극자외선(EUV)의 양과는 밀접한 관계가 있다. 이렇게 생성된 $N_2(A^3 \sum_u^+)$ 는 대기광 방출선을 내기 전에 산소 원자에 의해 에너지를 잃을 수 있으나(quenching), 고도가 170km 이상에서는 그 효과가 미미한 것으로 알려져 있다. 더 낮은 고도, 약 120km 이하에서는 산소 분자에 의해 에너지를 잃을 수 있다. 이런 양을 측정하기 위해 본 연구에서는 N_2 VK 밴드 중 VK(0,6) 밴드를 선정하였다.

MUV 영역에서 강한 또 하나의 방출선은 OI 2972Å 이다. 이 방출선은 O(1S) 상태에서 기저 상태인 O(3P)로 전이될 때 방출하는 빛이다. O(1S)는 여러 경로로 생길 수 있으나, 앞에서 언급한 기저상태 산소 원자 O(3P)가 $N_2(A^3 \sum_u^+)$ 를 quenching하면서 생성된다. 생성된 O(1S)는 직접 기저 상태로 전이하지 않을 경우 유명한 가시광선 대기광 O 5577Å을 방출하기도 한다. 주간에 가시 광선 대기광을 관측하는 것은 불가능하므로, OI 2972Å은 산소 원자를 측정하는데 중요한 수단이 된다. OI 2972Å과 N_2 VK 방출선은 서로 상보적인 관계(하나가 커지면 다른 하나는 작아지는)를 가지기 때문에, 이들을 동시 측정할 경우 열권 전 고도에 걸쳐 중요한 정보를 얻게 된다. 따라서 본 연구에서 OI 2972Å을 N_2 VK(0,6)와 함께 관측할 것이다. 또한 N_2 2PG 3150Å은 VK band system과 같이 광전자에 의해 여기된 $N_2(C)$ 가 $N_2(B)$ 로 되가라앉으며 내는 방출밴드이다. 이 $N_2(X-C)$ 여기 과정에 대한 전자충돌 단면적은 잘 알려져 있기 때문에, 이 밴드를 측정하면 광전자의 플럭스를 정확히 알 수 있다.

마지막으로 순수 대기광 이외에 태양 산란광이나 로켓이 공기와 마찰에 의해 생기는 방출(glow) 현상으로 생긴 배경 연속 스펙트럼의 세기를 측정할 필요가 있다. 이런 배경 스펙트럼의 세기 측정을 위해 대기광 방출선이 없는 3070Å 파장을 선정하였다. 이렇게 선정된 4개의 파장들에 대한 고도에 따른 대기광 분포를 문봉곤 등(2001)이 모델링 연구한 바 있다. 이 모델링 연구에서 고도에 따른 대기광 측정 자료를 이론 모델과 비교하면 산소 원자(O)와 질소 분자(N_2)의 밀도를 구할 수 있음이 확인되었다. N_2 와 O가 고층대기의 주요 구성 성분이므로, 이들의 고도에 따른 변화율로부터 고층대기의 온도도 구할 수 있다.

3. 대기광도계의 구성

KSR-III의 대기광도계 비행모형은 광도계 본체, 전원 공급기, 전자 제어기로 구성된다. 대기광도계 전자회로부의 기능적 구성은 그림 1과 같다.

3.1 광도계 본체

그림 2는 광도계 본체의 내부 구조를 보여 주고 있다. 광도계 본체 내부에는 광전증배관 모듈(하), 모터(motor) 구동 장치(상우), 온도감시장치(상중), 고전압(HV) 공급 및 monitor 장치(상좌)로 구성되어 있다. 본체에 공급되는 전원은 $\pm 12V$ 이며, TTL signal, 온도, 그리고 고전압 감시 아날로그 신호를 10핀 커넥터의 단자로 출력하게 된다. 또한 로켓이 최고 고도에 도달하는 원지점(apogee) 부근

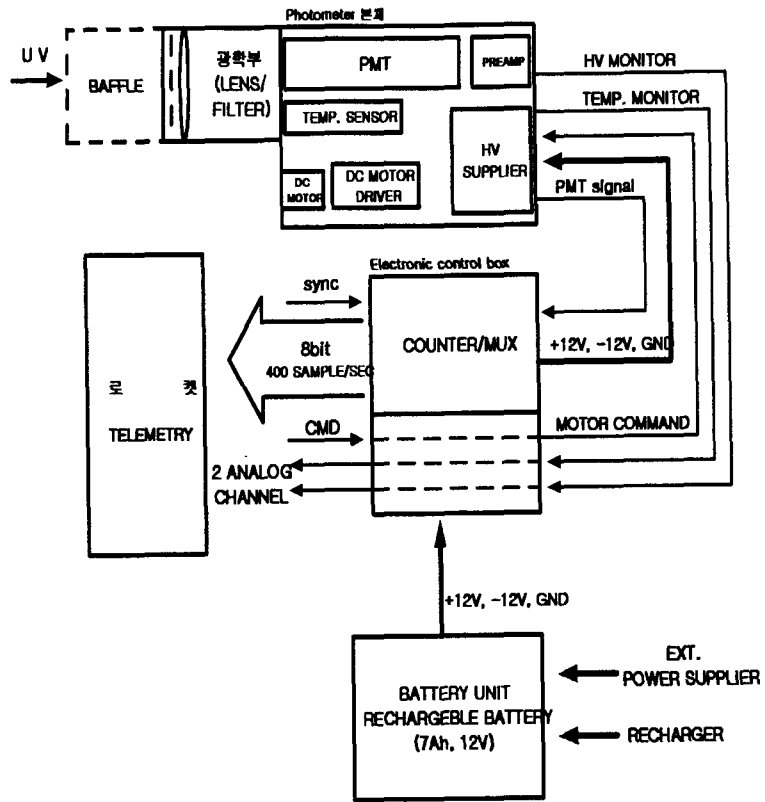


그림 1. 대기광도계 전자 회로부 구성.

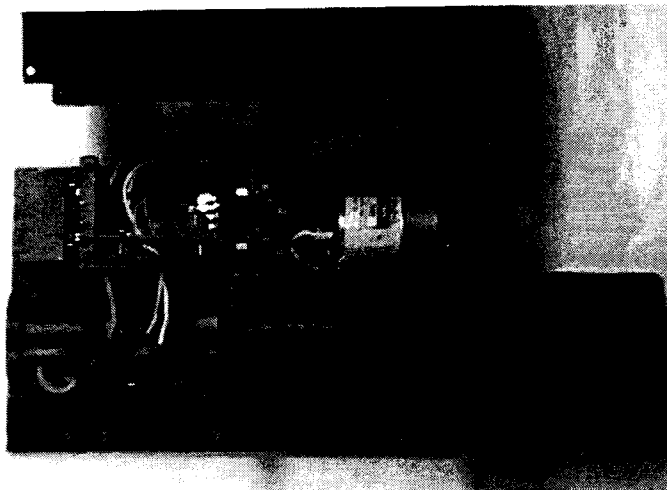


그림 2. 대기광도계 본체 내부.

표 1. 대기광도계의 전압.

	AGP 이름	입력HV(V)	HV monitor 배율
4-channel	730	700	1/200
	854	820	1/200
	856	860	1/200
	1680	1700	1/400
2-channel	824	806	1/200
	1960	2000	1/500

에서 광전증배관 앞 회전판을 1회전하기 위해 모터를 구동하는 명령선이 10핀 커넥터의 단자에 포함되어 있다.

광전증배관(Photomultiplier tube, PMT)은 로켓 진동에 견딜 수 있는 내진형으로 영국 EMI사의 9924QFLNA 제품과 일본 HAMAMATSU사의 R2978MOD 두 제품을 사용하였다. EMI사의 PMT는 우리가 관측하고자 하는 MUV 영역의 파장뿐 아니라 가시광선영역에서 감응하는 반면 HAMAMATSU사의 PMT는 자외선 영역에서만 감응한다. PMT 뒷 단에는 전압 분배(voltage divider) 회로를 구성하여 고전압을 공급해 주었다. 각 PMT의 입력 고전압이 다르기 때문에 정확한 고전압 값을 입력할 필요가 있다. 그러나 HAMAMATSU사 PMT는 전압분배 회로가 내부에 구성되어 있다. PMT로부터의 신호를 증폭시키기 위한 전증폭기(preamplifier)는 Amptek사의 A101을 사용하였다. 전증폭기에서 증폭된 PMT signal은 10핀 커넥터를 통해 전자제어기의 카운터 회로로 입력된다.

PMT 전체 회로 구성을 마치고 나면 이 PMT를 고정시킬 수 있는 모듈을 만들 필요가 있다. 이 모듈은 로켓 진동에 PMT가 깨지지 않고 보호될 수 있도록 플라스틱 튜브(tube)에 PMT 장치를 넣은 후 실리콘으로 고정시켜 제작되었다. 튜브 앞쪽에는 O링을 넣어 로켓 비행 충격과 진동에 더 안전할 수 있도록 설계하였다.

광도계의 모터구동장치는 비행중 영점 광원(in-flight calibration light source) 측정용 회전판을 회전시키기 위해 필요하다. 이를 위해 사용된 모터 사양은 DC 12V 7500rpm의 일반 소형 모터로써 회전판을 약 2초에 1회전시키는 역할을 한다. 이 회전판은 초점면 슬릿 slit과 PMT 사이에 있으며 로켓이 원지점 도달 시에 1회전하면서 빛의 경로를 차단하여 PMT의 암 전류 신호를 측정케 한다. 또한 회전판에는 비행중 영점 측정을 위한 방사능 발광체인 beta light가 부착되어 있으며, 회전판이 회전 시 beta light에서 나온 안정된 빛으로 PMT의 감응도를 측정하게 된다. 회전판은 광도계 본체 외부에서 모터 명령선을 통해 +5V pulse를 주면 1회전하게 된다.

온도 감시장치는 광도계 본체의 온도 변화를 감시하기 위한 것으로 온도 센서 AD590을 사용하였다. 온도 센서는 PMT 옆 칸막이 벽에 위치하며, 작동을 위해서 $\pm 12V$ 전원이 필요하다. 측정 온도 범위 0 ~ 100°C 내의 온도는 전자회로에서 0 ~ 5V 범위의 analog 신호로 바뀌어 로켓 telemetry에 전달된다.

PMT를 작동시키기 위해 적정 고전압 공급은 필수적이다. 이 고전압 공급은 입력 전압 DC 0 ~ 12V에서 출력 전압을 최대 DC 1500V와 최대 DC 3000V까지 출력할 수 있는 두 종류의 DC-DC converter(Spellman 사의 MD1.5PN과 MD3PN1.5/12)를 사용하였다. 또한 간단한 전압 분배(voltage divider)의 원리를 이용하여 출력 전압 단자에 저항을 분배하여 0 ~ 3000V 실제 전압을 0 ~ 5V 범위

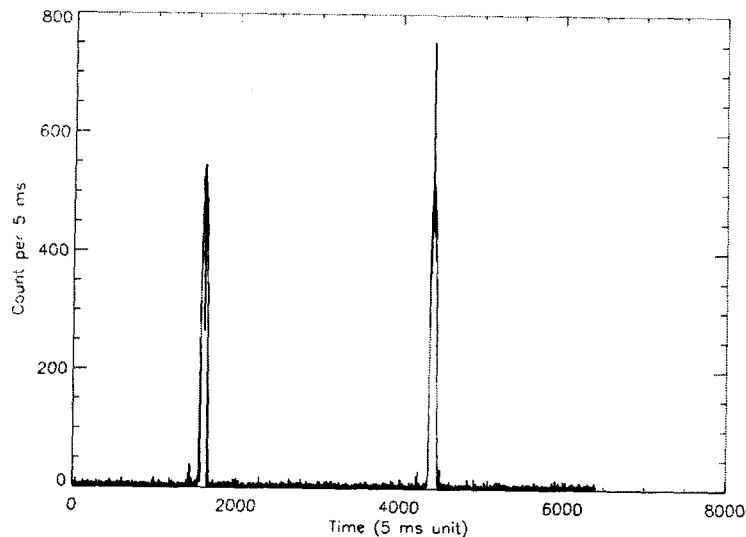


그림 3. AGP 730 비행중 영점광원의 실험실 측정 결과.

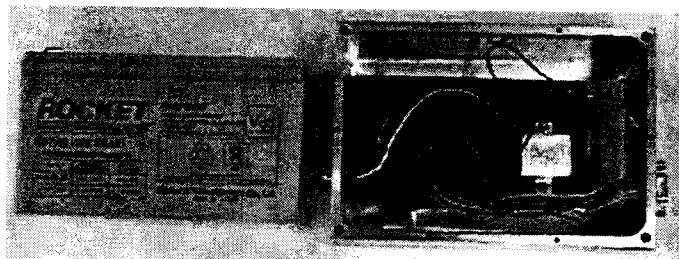


그림 4. 배터리와 전원 공급 회로부.

로 모니터(monitor) 할 수 있게 하였다. 표 1은 각 PMT에 사용된 입력 고전압과 고전압 monitor 배율을 보여준다.

대기광도계의 감응도 변화를 감시하기 위해 부착한 비행중 영점 측정용 광원은 beta light로 불리는 방사능 형광 물질로 장기간 일정한 광도의 가시광선을 방출한다. 대표적으로 그림 3에 AGP 730의 비행중 영점 광원의 실험실 측정 결과를 보였다. 만약 로켓 비행 관측시에 감응도가 변화했다면 이 영점 광원 측정치도 같은 비율로 변화하므로, 추후 측정치를 절대 단위로 환산하는데 그 변화 비율을 사용할 것이다.

3.2 전원공급기와 전자제어기

전원 공급기 내부에는 배터리, 내부 전원과 외부 전원을 전환하는 회로, 전자제어기에 $\pm 12V$ 전원을 공급하는 회로로 구성되어 있다. 여기서 내부 전원은 내부 배터리 전원을 말하며, 외부 전원은 내부 배터리를 소비하지 않고 외부에서 전원을 공급하는 것을 말한다. 4채널 대기광도계를 운영하기

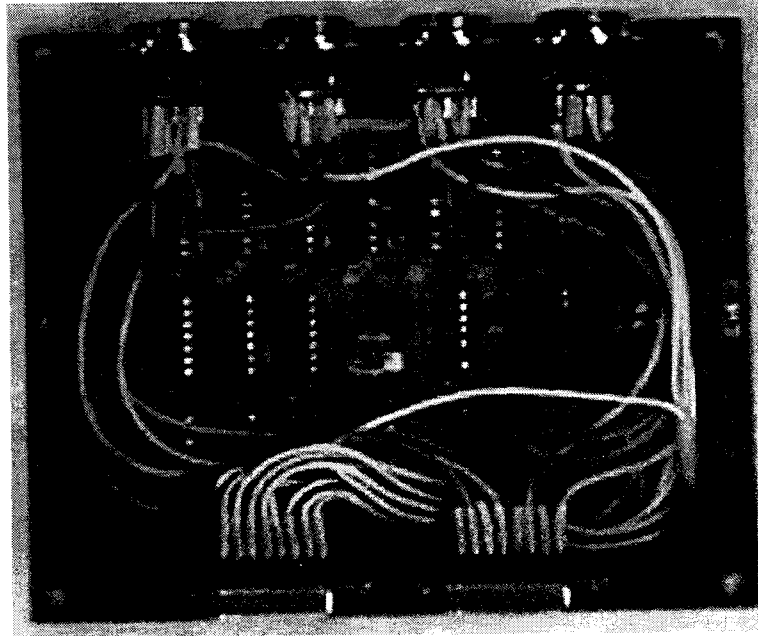


그림 5. 대기광도계 전자제어기.

위해 필요한 전원은 최소한 1.2A 12V이다. 배터리의 사양은 ROCKET 회사의 ES type 밀폐 무누액형 7Ah 12V이며, 그림 4에 보였다.

전원 공급 장치에서 내부전원과 외부전원을 전환하는 역할을 하는 것은 relay이다. 이 relay는 외부에서 28V step pulse 입력을 통해 내부 전원과 외부 전원을 상호 전환할 수 있다. 상용 relay는 로켓 진동에 움직여 오작동할 가능성이 있기 때문에, 우리는 군용 래치 사양(latch type)의 relay를 사용하였다.

전자 제어기는 각 channel의 광도계 본체로부터 오는 PMT 신호를 5ms 동안 16bit로 계수한 후, 8bit 자료 2개로 전환하여 순차적으로 로켓 telemetry에 전달하는 역할을 한다. 로켓 telemetry는 AGP system에게 5ms 동안 8번의 8bit 자료 송신을 할당하기 때문에, 4-channel AGP system의 경우 각 채널마다 16bit 자료를 전송할 수 있다. 우리는 이 16bit 자료중 14bit는 광도계 계수 자료로 하고 상위 2bit는 채널 표시로 사용하였다. 그림 5는 4-channel 대기광도계의 전자제어기의 내부 모습이다.

그림 6은 광도계 비행모형으로 4-channel AGP system을 보여준다. 그림에서 보듯이 대기광도계 한쌍이 좌우 대칭 형태로 한 평판에 배치되어, 2개의 평판에 장착된다.

3.3 차폐경(Baffle)

대기광도계의 광학계는 중간 자외선 통과 필터, 렌즈, 차폐경을 정면에 부착하고 있다. 이 광학계를 통하여 측정 고도인 100km 이상에서 수평 방향으로 대기광을 측정한다. 이때 수평방향보다 위에서 오는 태양 산란광은 거의 없지만, 수평 이하의 저층대기에서 산란된 태양광은 상당히 많다. 고

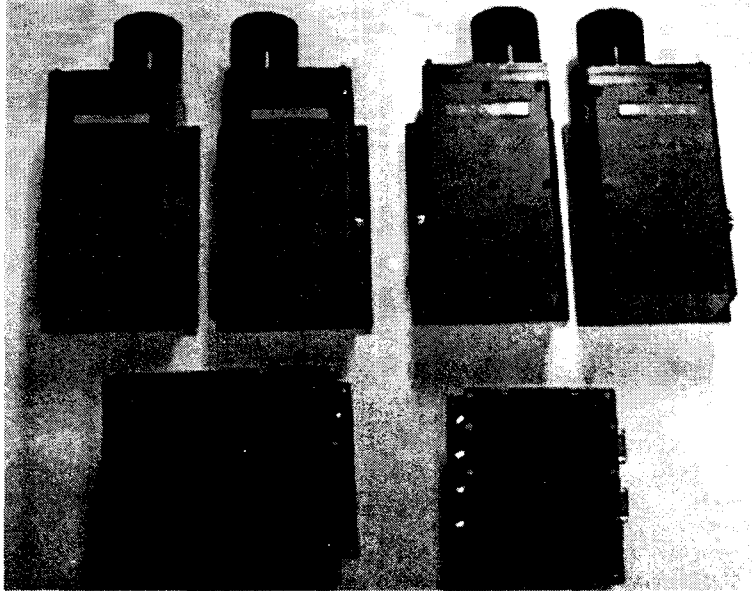


그림 6. 4-channel AGP 시스템.

도 100km 이상에서 관측 방향의 천정각에 따른 산란광의 양은 천정각이 90도 이상의 저층대기에서 진입하는 총 산란광의 양을 계산하면 단위 면적 당 100kR/nm 정도이다(이현경 2000). 여기서 1R은 10^6 photon/cm²/sec을 뜻하는 단위이다. 만약 이 정도의 산란광이 대기광도계에 대기광과 같이 들어온다면 1R/nm 정도의 대기광 측정은 어렵게 된다. 따라서 이 산란광을 약 10^{-6} 까지 효과적으로 제거 할 수 있는 장치, 즉 차폐 시스템이 요구된다.

지구 저층대기로부터, 즉 광도계 시선방향 아래에서 많은 산란광이 진입하므로 수직 방향의 시야를 수평 방향(대기광이 들어오는 방향)의 시야 보다 더 작게 설정을 했다. 광도계의 측정시야는 수직 방향으로 1°이고 수평 방향으로 4°이다. 수평과 수직 방향의 시야가 다르므로 입사광의 각도에 의해 결정되는 차폐경의 길이가 수직과 수평 방향에 대해서 달라지고, 또 vane의 크기도 각각의 방향에 대해 달라진다는 것을 알 수 있다. 따라서, 이 각각의 시야와 산란광의 입사각을 잘 고려하여 경통의 길이를 최대한 길게 설정하여 최적화를 시킬 필요가 있다. 자세한 최적 연구는 Lee et al.(2000)에 의해 수행되어 차폐경의 길이 460cm, 내경 90cm, 외경 94cm인 2단형으로 설계 제작되었다. 컴퓨터 시뮬레이션과 실험실 측정으로 차폐효율 10^{-6} 의 가능성을 확인하였다.

그림 7은 산화 피막을 입힌 각 vane과 차폐경의 실제 모습을 보여주고 있다. 무게를 줄이기 위해 각 vane의 측면 원통을 4개의 직사각형 모양으로 따내었다. 대부분의 검은 코팅 재료들의 반사도가 수 % 이하이다(Lee et al. 2000). 그림 8은 광도계 본체와 차폐경이 연결된 모습이다.

4. 대기광도계 감응도 측정

대기광도계의 가장 중요한 성능은 대기광의 세기에 대한 신호 펄스 수의 비로서, 감응도(Sensitivity)라

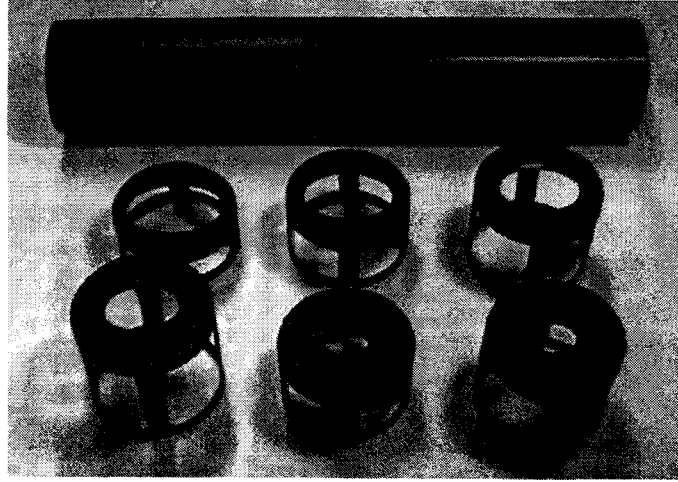


그림 7. Baffle tube와 각 vane.



그림 8. Baffle과 photometer가 결합된 image.

불린다. 감응도의 측정을 위해 파장별 절대 플럭스가 알려진 ORIEL사 63345 Deuterium lamp를 이용하여 그림 9와 같은 장치를 설치하였다. 이 Deuterium lamp는 파장 300nm에서 0.5m 거리의 수직면에 $0.2\text{mW/m}^2/\text{nm}(= 3 \times 10^{10} \text{ photon/s/cm}^2/\text{nm} = F)$ 의 조도(radiance)를 가진다. 실험 장치에서 첫 번째 스크린이 lamp로부터 받는 조도를 반구 전 방향으로 균일하게 난반사 되고(Lambertian surface), 난반사 된 빛이 다시 두 번째 스크린에 균일하게 난반사 되었을 경우, 대기광도계 방향으로 반사되는 빛의 세기 혹은 휘도(irradiance)는

$$I = (\Lambda_2/\pi)(\Lambda_1/\pi)(F/2)(\pi R^2/L^2)\text{photon/cm}^2/\text{s/nm/ster} \quad (1)$$

으로 계산할 수 있다. 여기서 Λ_1 과 Λ_2 는 각각 첫 번째와 두 번째 스크린의 반사율이고, R 은 첫 번째 스크린의 반경, L 은 두 스크린간의 거리이다. 스크린의 반사율이 정확히 알려져 있지 않으나, 대략 0.8을 가정하고, R 은 5cm, L 은 30cm로 설치하면, 두 번째 스크린에서 내는 휘도 I 는 $8.5 \times 10^7 \text{ photon/cm}^2/\text{s/nm/ster}$ 이다.

이 장치를 이용하여 대기광도계 2조의 비행모형에 대해 감응도를 측정하였다. 이 비행모형 중 2-channel AGP system은 $\text{N}_2 \text{ VK}(0,6) 2780\text{\AA}$ 와 배경 3070\AA 을 관측하고, 4-channel AGP system은 4파장 모두를 관측한다. 각 AGP의 감응도 측정시 사용된 필터의 특성을 표 2에 정리하였다.

그림 10(a)~(f)는 그림 9에서 보인 실험장치를 사용하여 6개의 대기광도계의 감응도를 측정된 결

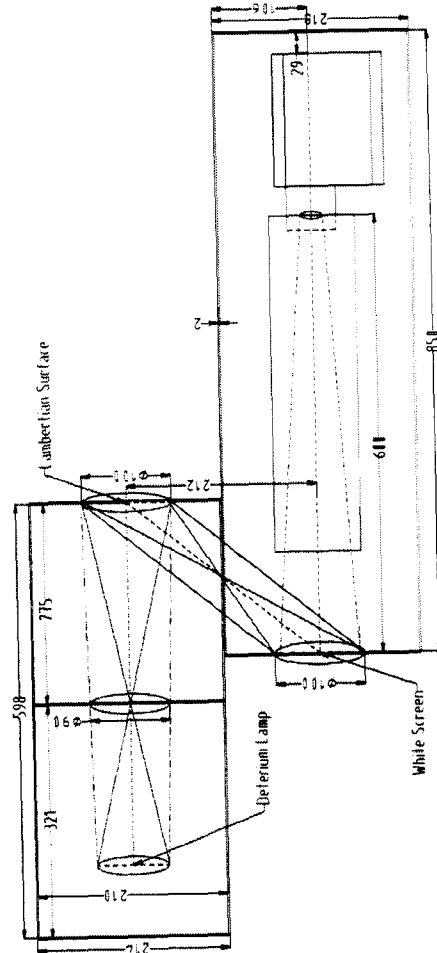
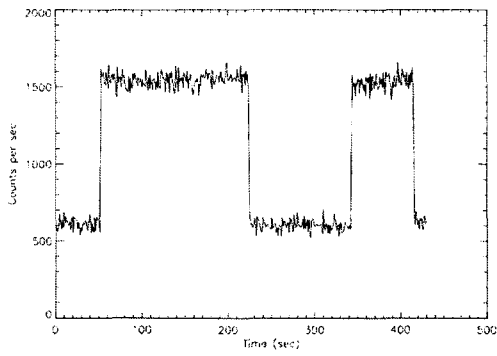


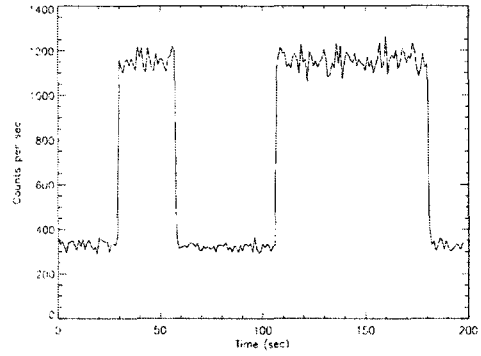
그림 9. 감응도 측정 장치.

과이다. 6개의 광도계가 상당히 다른 암전류(D)와 신호(signal)를 나타내는데 이는 각 광도계에 사용된 PMT의 특성에 따른 것이다. 또한 각 광도계의 신호대 암전류 비가 최대가 되도록 PMT에 공급되는 고전압 값과 전증폭기에서 증폭하는 신호의 문턱(threshold)을 조절하여 각 광도계별로 최적화된 상태임을 밝힌다. 광도계의 안정성을 검증하기 위해 1주일에 3번씩 3개월간 동일한 측정된 결과를 표 3에 정리하였다. 대기광도계의 각 channel에 해당하는 파장에 대한 휘도는 사용된 Duetrium Lamp의 광도 자료를 식 (1)에 적용하여 계산되었다. 대기광도계 AGP-1680, AGP-1960은 다른 광도계와 달리 가시광에 감응하지 않는 HAMAMATSU사의 PMT를 사용하였으므로 가시광 차단용 필터인 46437를 사용하지 않았다.

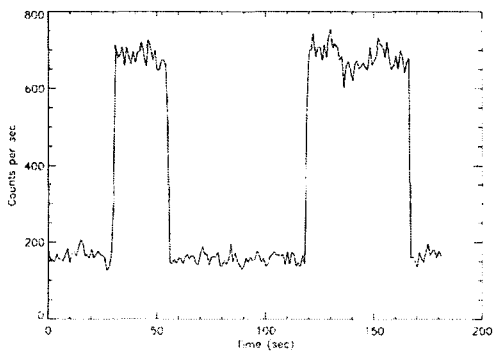
표 3에 보여준 실험실 측정 감응도의 절대값은, 그림 9에 보인 실험장치의 최종 스크린 휘도 값이 반사도를 가정한 추정치에 불과하므로 신뢰도가 낮다. 따라서 공신력있는 실험 장치를 사용하



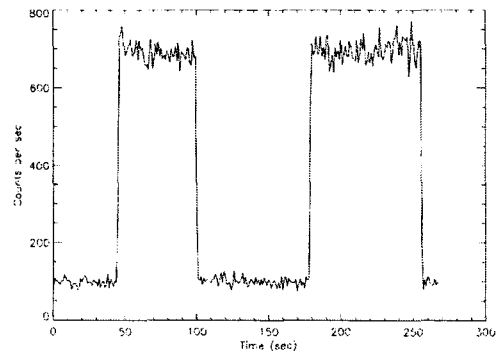
(a)



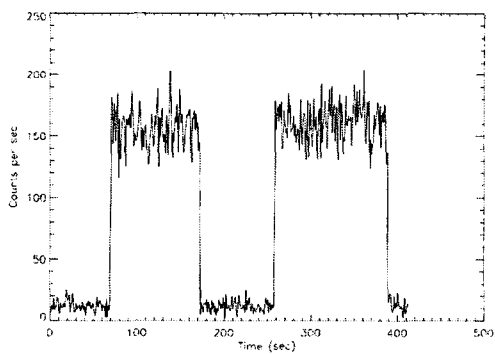
(b)



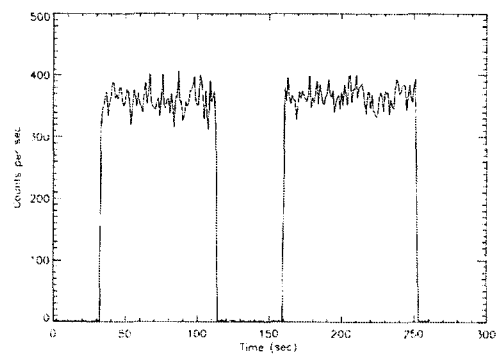
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 10. (a) AGP-730, (b) AGP-824, (c) AGP-854, (d) AGP-856, (e) AGP-1680, (f) AGP-1960의 감응도 측정 결과.

표 2. 대기광도계 필터의 특성

필터 이름	중심파장(nm)	밴트폭(nm)	사용목적
2972	297.2	1.5	OI 2972Å
315	315	5.0	N ₂ 2PG 3150Å
278	278	5.0	N ₂ VK(0,6) 2780Å
307	307	5.0	배경 3070Å
46437	320	160	가시광 차단용

표 3. AGP 감응도 측정 결과

	AGP	S-D count	스크린의 빛의 세기 (photon/s/cm ² /nm /ster)	감응도 (count/s/(photon/ s/cm ² /nm/ster))	필터
4-channel	730	950 ± 100	1.06 × 10 ⁸	8.96e-6	2972, 46437
	854	540 ± 50	8.09 × 10 ⁷	6.67e-6	315, 46437
	856	600 ± 60	9.20 × 10 ⁷	6.52e-6	307, 46437
	1680	150 ± 20	1.35 × 10 ⁸	1.11e-6	278
2-channel	824	800 ± 80	1.06 × 10 ⁸	7.55e-6	2972, 46437
	1960	340 ± 40	1.35 × 10 ⁸	2.65e-6	278

여 대기광도계의 감응도를 다시 측정해야 할 필요가 있다. 이를 위해 한국표준연구원 광도검보정실의 광도측정 장치를 이용하여 감응도 측정을 시도하였다. 그러나 표준연구원의 광도 측정 장치는 상용 측광기를 검보정하기 위한 장치로서, 우리 대기광도계와 같은 민감한 연구용 측광기에 요구되는 낮은 조도의 광원을 신뢰도 있게 측정할 수 없었다. 즉, 상용측광기 검보정용 광원의 조도는 약 10⁻⁶watt/cm²/nm이나, 우리 대기광도계의 감응도 측정을 위해서는 10⁻¹⁰watt/cm²/nm가 필요해서, 광원의 조도를 10⁻⁴배로 낮추어야 하기 때문이다. 그럼에도 표준연구원에서 사용 광원의 조도를 이 수준으로 낮추어 3개의 대기광도계에 대해 대략 측정을 시도해보았다. 이렇게 구해진 감응도는 우리 실험실 장치로 구한 감응도보다 대략 3~7배 높게 나타났다. 이런 차이는 표 3의 감응도 계산에 사용된 우리 실험실 장치의 최종 스크린 휘도가 과대 평가되었을 가능성을 암시한다. 즉, 스크린의 반사도를 0.8로 가정하였으나, 실제로 이보다 작을 수 있다. 만약 두 개의 스크린 모두 반사도가 1/2배로 줄면, 우리 실험실에서 추정한 감응도 값은 4배로 증가해야 한다. 그러나 표준연구원의 측정 장치의 광원 조도 값에 대한 신뢰도가 보증되지 않기 때문에 대기광도계의 절대 감응도를 현재로서 확정할 수 없는 실정이다. 향후 미약한 광원에 대한 신뢰있는 조도 값을 측정할 수 있는 해외 연구기관에서 다시 감응도를 측정해야 할 필요가 있다. 장차 연구용 자외선 측광기를 원활히 개발하기 위해서는 국내에 고감도 자외선 측광기에 대한 검보정 장비의 확보가 요구된다.

절대 감응도는 신뢰성있게 결정할 수 없었지만, 표 3에 제시된 측정값은 3개월간 지속적으로 10% 이내로 일관성 있게 측정되었기 때문에 상대 감응도의 신뢰도는 높다고 본다. 또한 절대감응도가 대략 10⁻⁵count/s/(photon/s/cm²/nm/ster) 정도이므로, 열권 고도 120km 이상에서 문봉곤 등(2001)에서 계산한 VK band와 OI 2972 Å 대기광의 세기 10⁸ ~ 10⁹photon/s/cm²/nm/ster 정도를 1000~10000 count/s 정도의 신호로 충분히 측정할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 논문은 KSR-III 과학 로켓에 탑재될 대기광도계 비행모형의 최종 제작과 성능시험 결과를 보고하였다. 이 대기광도계는 100~300km 구간의 중간 자외선 영역의 OI 2972Å, N₂ VK(0,6) 2780Å, N₂ 2PG 3150Å 대기광과 배경으로 3070Å을 지평선 방향으로 측정하도록 설계되었다. 대기광도계는 광도계 본체, 차폐경, 전자제어부, 전원공급기로 구성되어 있다. 광도계 본체는 협대역 간섭 필터를 통해 선택된 파장의 대기광을 직경 2.5cm 렌즈로 초점면에 설치된 실틈을 통해 자외선 감지용 광전 증배관으로 진입시키는 구조로 되어있다. 비행 중 영점 측정을 위해 초점면 실틈 뒤편의 회전판에 영점광원을 설치하였다. 차폐경은 저층대기로부터 산란되는 태양광이 광도계로 진입하지 못하도록 성능을 최적화하여 설계 제작되었다. 대기광도계 비행모형은 성능인정모형(QM)의 로켓환경시험에서 발견된 여러 가지 문제점을 보완하여 2-channel과 4-channel 대기광도계 2조가 제작되었다. 대기광도계 비행모형의 지상 테스트로써 각 광도계의 성능 테스트 및 감응도, 영점 측정 등을 실시하였다. 그러나 대기광도계의 절대 감응도 측정에 필요한 미약한 광원의 조도 값을 신뢰성있게 정할 수 있는 측정 장비가 한국표준과학연구원 등 국내에 확보되지 않아 절대 감응도를 정확히 측정할 수 없었다. 대안으로 실시된 실험실 측정 결과와 표준연구원 비공인 측정 결과와 비교하여, 절대감응도가 대략 10^{-5} count/s/(photon/s/cm²/nm/ster) 정도일 것으로 추정되었다. 열권 고도 120km 이상에서 문봉곤 등(2001)에서 계산한 VK band와 OI 2972 대기광의 세기 $10^8 \sim 10^9$ photon/s/cm²/nm/ster 정도이므로, 제작된 대기광도계는 1000~10000count/s 정도의 신호로 중간자외선 대기광을 충분히 측정할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 각 channel별 상대 감응도는 자체 실험실 장치로 10% 이내의 안정도로 측정되었다. 이렇게 측정된 channel별 상대 감응도로 로켓 비행 측정 자료를 고도별, 파장별로 상대적으로 분석할 수 있어, 고층대기의 산소원자 및 질소 분자의 밀도 변화를 추출할 수 있을 것으로 판단된다. 이번 고층대기 측정용 중간 자외선 대기광도계 제작은 국내에서는 처음 시도된 일이며, 이 연구 결과로 한반도 상공의 고층대기 연구에 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.

감사의 글: 본 연구는 항공우주연구원 KSR-III 사업의 지원을 받아 수행되었다. 저자 중 김용하는 한국과학재단 연구비(KOSEF-1999-1-113-001-5)를 지원 받음을 감사드린다.

참고문헌

- 김용하, 김상준, 김준, 민경욱, 안병호, 원영인, 윤홍식, 이동훈, 1998, 우주과학의 제문제 (서울: 대우 학술총서)
- 김용하 2002, 3단 과학 로켓 개발 사업(V) - 한반도 상공 고층대기 표준 상태 측정 (서울: 과학기술부)
- 이현경 2000, 석사학위논문, 충남대학교
- 문봉곤, 김용하, 이유, 김준 2001, JKAS, 34, 35
- Bucsele, E. J., Cleary, D. D., Dymond, K. F., & McCoy, R. P. 1998, JGR, 103, 29215
- Cleary, D. D., Gnanalingam, S., McCoy, R. P., Dymond, K. F., & Eparvier, F. G. 1995, JGR, 100, 9729
- Lee, Y. S., Kim, Y. H., Yi, Y., & Kim, J. 2000, JKAS, 33, 165

318 *OH et al.*

Rees, M. H. 1989, *Physics and Chemistry of the upper atmosphere* (Cambridge: Cambridge University press), pp.1-7