

한반도 상공의 ADEOS/IMG 관측 자료와 존데 자료의 비교 분석

조하만* · 김주공** · 오성남**

기상연구소 해양기상연구실*, 기상연구소 응용기상연구실**

Intercomparisons of ADEOS/IMG Measurements with the Sonde Observations over Korea

Ha-Man Cho*, Ju-Kong Kim**, and Sung-Nam Oh**

Marine Meteorology Research Laboratory*, Applied Meteorology Research Laboratory**

Abstract : ADEOS(Advanced Earth Observing Satellite)/IMG(Interferometric Monitor for Greenhouse Gases) measurements - temperature, water vapor(H₂O), ozone(O₃) have been compared with the radio sonde and ozone sonde observations at Osan and Pohang stations for the 4 cases on 10 Jan.(a), 28 Jan.(b), 2 Apr.(c), and 19 Jun.(d) 1997 to detect the error ranges of the IMG data. It showed that the IMG data of the cases (b), (d) when the ADEOS passed over the central part of Korea were quite stable with the good agreement with the sonde observations, however, that of (a), (c) when the ADEOS passed over south- east coastal area were unstable with the larger differences from the sonde-observations. The RMSE and bias analyses of temperature for the stable cases (b), (d) showed that the differences between the IMG data and the sonde observations were about 1 ~ 4 K at the 700 ~ 300 hPa level and about 4 ~ 5 K or more at the higher level, and the IMG measurements tended to be larger than the sonde observations at the higher level above 200 hPa, while no typical bias was seen at the lower level. The RMSE and bias analysis for the version of level 2 5_6_4_4 of ozone showed that the RMSE of ozone were quite small, in general, except at the higher level above 50 ~ 60 hPa in the all 4 cases, however the bias was generally big with the positive value in the troposphere and the negative in the stratosphere. An example of vertical profile of trace gases such as CO₂, N₂O, CH₄, HNO₃, CO measured by IMG was also presented and it showed that the IMG data had large differences between the 5 different observation points.

Key Words : ADEOS/IMG, temperature, water vapor, ozone, RMSE, bias, vertical profiles of trace gases

요 약 : ADEOS/IMG로 관측한 온도, 수증기, 오존의 분포를 1997년 (a)1월 10일, (b)1월 28일, (c)4월 2일, (d)6월 19일에 대하여 오산과 포항의 존데 관측 자료와 비교하였다. 전반적으로 오산의 자료와 비교한 (b)와 (d)의 경우는 대체로 존데 자료에 근접하였지만 포항의 자료와 비교한 (a)와 (c)의 경우는 상당한 차이를 보였다. 예를 들면 (b)와 (d)의 경우에 온도에 대한

RMSE와 편의 분석 결과는 700~300 hPa에서는 약 1~4 K, 그 이상의 고도에서는 4~5 K 이상의 편의를 나타내는데, 이것은 존데에 의한 관측 자료의 신뢰성 수준에 대한 논의도 함께 이루어져야 할 것으로 사료된다. 오존 분포에 대하여 동일한 분석을 시행한 레벨 2_5_6_4_4 버전의 결과는 50~60 hPa 이상의 상층을 제외하고는 그 차이가 0.3 ppmv 이하로 나타났다. 1997년 6월 19일에 한반도 상공의 5개 지점에서 관측한 IMG 자료 중 레벨 2_5_6_4_4 버전의 결과는 온도, H₂O, O₃, CO의 연직 분포와는 달리 CO₂, N₂O, CH₄, HNO₃의 연직 분포는 관측 지점이 달라짐에 따라 최대 농도가 나타나는 고도를 중심으로 그 차이가 크게 나타났다.

주요어 : ADEOS/IMG, 온도, 수증기, 오존, RMSE, 편의, 미량기체의 연직 분포

1. 서론

최근 지구 온난화, 성층권 오존층 파괴 등 지구 대기 환경 문제에 대한 관심이 크게 높아지면서 그 근본원인인 온실기체, 오존량 등 대기 성분의 변동 감시가 매우 중요한 과제가 되고 있다. 현재 이들 대기 성분의 감시는 세계 기상 기구(WMO)에서도 지구 대기 감시(GAW:Global Atmosphere Watch) 프로그램을 통해 매우 중요한 업무로서 수행되고 있으며, 미국, 일본 등 세계 주요 국가들에서도 이들 대기 성분의 변동 감시 연구를 강화하고 있다(IPCC, 1996; NOAA, 1998).

우리나라에서는 온실기체의 경우 지난 1990년부터 기상연구소의 연구사업의 일환으로 관측이 이루어지고 있으며, 오존의 경우는 1984년 이후 서울에서 오존전량, 그리고 1995년 이후 포항에서 오존 존데 관측이 이루어지고 있다(조하만 등, 1995; 기상연구소, 1998). 그러나 이들 대기 성분에 대한 최근의 전지구적 관측망을 보면 그 수적인 면에서 부족할 뿐만 아니라 일부 지역에 편중되어 있어 충분한 양의 자료를 얻지 못하고 있으며, 특히 연직 분포 자료가 매우 부족하다.

이에 따라 일본우주개발청(NASDA: National Space Development Agency of Japan)에서는 지구 환경의 현황 파악, 기후요소들의 측정 및 감시, 지구 기후 모델의 개선 등 지구 환경 감시 및 연구에 목적을 두고 1996년 8월 17일에 ADEOS(Advanced Earth Observing Satellite) 위성을 발사하였다. 이 ADEOS에는 8개의 센서가 실려 있는

데, 그 중 IMG(Interferometric Monitor for Greenhouse Gases)는 위도의 제한없이 대기 성분을 연직으로 관측할 수 있도록 고안되었다. 이 연구는 ADEOS/IMG 관측 자료를 존데에 의한 관측 자료와 비교 검증하여 IMG 자료의 오차 범위를 파악하고, 앞으로 IMG 자료를 활용하여 지구 대기 성분 감시 연구를 수행할 수 있도록 하는데 목적을 두었으며, 일본 NASDA와 공동 연구 체제로서 수행되었다. ADEOS는 발사후 예기치 못한 고장으로 지난 1997년 6월 30일에 작동이 멈추어졌으나, 그동안 약 8개월간 관측된 자료는 현재 위성에 의한 대기 성분 감시 연구에 중요한 기초 자료로 계속 활용되고 있다.

지금까지 우리나라에서 위성에 의한 관측 자료와 존데 관측 자료와의 비교 분석 연구는 주로 TOVS(TIROS Operational Vertical Sounder)/ITPP(International TOVS Program Package)에 의한 기상 요소 관측값으로서 이루어진 바 있다(이동규, 1986; 안영인, 1990; 조하만 등, 1991).

이 연구에서는 이들 기존의 연구와 유사한 방법으로 IMG 관측 자료 중 존데 관측 자료가 존재하는 온도, 수증기, 혼합비, 오존 등 3개의 요소에 대하여 RMSE 및 편의 분석을 실시하였다. IMG에 의한 대기 성분 관측 자료의 정확도는 아직 높은 편은 아니지만 본 연구는 이와같은 비교 검증 분석을 통해 IMG 자료의 오차 범위를 파악하고 앞으로의 활용 가능성을 진단하는데 목적을 두고 수행하였으며, 현재 IMG가 생산할 수 있는 온실기체, 대기오염 기체 등 대기 중 미량 기체의 연

직 분포 구조를 제시하고자 하였다.

2. 자료 및 분석 방법

1) 자료

ADEOS에 탑재된 센서중의 하나인 IMG는 $3.3 \mu\text{m}$ ($3,030\text{cm}^{-1}$)~ $14 \mu\text{m}$ (714cm^{-1})의 파장 영역을 3개의 밴드 영역으로 나누어 관측하는데, 이것은 SW1 밴드 ($3.3\sim 4.3 \mu\text{m}$), SW2 밴드 ($4.0\sim 4.5 \mu\text{m}$), LW 밴드 ($5.0\sim 14.0 \mu\text{m}$)이다. 센서의 분광 분해율은 0.1cm^{-1} 이고, 순간 시야각은 0.6° 로 이에 대응하는 지면의 면적은 $8 \text{km} \times 8 \text{km}$ 에 해당하며, 주야에 관계없이 관측이 가능하다. IMG에서 관측한 복사 스펙트럼은 먼저 관측점의 위치 계산, 비직선성 보정, 위상 오차 보정 등과 같은 기본적인 처리들을 거치게 된다. 이와 같은 보정 처리가 종료된 후의 스펙트럼은 그대로 지구 복사 수치 연구에 이용될 수도 있지만 온실 기체의 농도를 추정하기 위해서는 더 많은 처리를 거칠 필요가 있다. IMG 자료의 처리는 여러 개의 채널로부터 동시에 관측한 자료를 상호 이용하여 그 오차를 최소화하려는 최적추정법을 이용하게 되는데, 이 방법을 사용하면 몇 개의 물리량을 동시에 구할 수 있게 된다(NASDA, 1997).

IMG는 최초의 시스템 테스트 기간을 거친 후 관측을 시작하여 1996년 11월 6일부터 1997년 7월 8일까지의 기간에 대하여 관측한 자료이다. 이 중 본 연구에 사용한 자료는 $125\sim 130^\circ\text{E}$ 와 $33\sim 38^\circ\text{N}$ 의 영역에서 관측한 1997년 1월 10일 13시 38분, 1월 28일 02시 38분, 4월 2일 13시 47분, 6월 19일 13시 44분의 IMG 레벨 2 자료이다. 레벨 2 자료는 대기의 온도 및 미량 기체의 연직 분포 자료로 보정, 교정 및 복원 처리 과정을 포함하고 있는 4개의 알고리즘을 사용하여 얻어진다. 본 연구에 사용한 자료는 ERSDAC(Earth Remote Sensing Data Analysis Centre)에서 제공한 CD(Compact Disk)로부터 입수한 초기 버전의 레벨 2 자료와 인터넷상

의 파일 전송 프로토콜(FTP)을 통하여 입수한 5_6_2_3 버전과 가장 최근 자료인 5_6_4_4 버전에 해당하는 레벨 2 자료이다. 레벨 2 자료의 버전에 표시한 숫자는 씌어진 순서대로 간섭 교정 프로그램(interferogram correction program), 민감도 보정 프로그램(sensitivity calibration program), 구름 탐지 프로그램(cloud detection program), 복원 프로그램(retrieval program)의 버전을 의미하며, 각 프로그램에 대한 지속적인 연구가 추진됨에 따라 그 버전이 갱신되고 있는 상태이다.

세 개의 서로 다른 버전에 대한 레벨 2 자료를 사용하여 포항과 오산에서 관측한 종대 자료와 상호 비교 분석하기 위하여 IMG 관측일과 동일한 날에 관측한 포항과 오산의 온도와 수증기 자료를 사용하였다. 그러나 포항에서 일주일에만 한번 관측하는 오존 종대 관측일은 IMG 관측일과 일치하지 않았기 때문에 가장 근접한 1997년 1월 8일, 1월 29일, 4월 1일, 6월 17일의 자료를 사용하였다. 그리고 단위를 통일하기 위하여 수증기 자료는 종대로 관측한 이슬점 온도를 ppmv 단위로 환산하여 사용하였다. 한편 IMG는 극궤도 위성이므로 포항이나 오산 상공을 통과하는 경우가 극히 제한되어 있기에 가능한 많은 사례를 통하여 자료를 비교 분석할 수 없었음을 알린다.

2) 분석 방법

대기는 유동적이므로 관측이 수행되는 시공간 규모에 해당하는 대기의 변동으로 인하여 관측 자료는 그 정확성에 있어서 오차(accuracy error)를 포함하게 되며, 복원시 사용하는 알고리즘의 부적절함으로 인하여 그 정밀도에 오차(precision error)를 포함하게 된다. 따라서 대기의 온도 또는 미량 기체 혼합비의 실제값(true value) q 와 관측에 의해 얻은 자료를 바탕으로 복원한 값(retrieval value) q_R 사이의 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다(Bailey *et al.*, 1996).

$$q_R = q + \varepsilon_A \pm \varepsilon_p \quad (1)$$

여기에서 ε_A 와 ε_p 는 각각 복원한 값 q_R 의 정확

도(accuracy)와 정밀도(precision) 오차를 의미한다.

만약 대기의 변동을 최소화할 수 있을 만큼 충분히 짧은 시간 규모 동안 관측할 수 있다면 (ϵ_A 가 없는 경우) 정밀도 오차 ϵ_p 는 복원한 값 q_R 로부터 직접적으로 구할 수 있게 된다. 이것은 주어진 시공간 규모에서 대기가 변화하지 않고 센서의 기능이 일정하게 유지(즉, q 와 ϵ_A 가 일정) 되는 것을 가정하면 정밀도 ϵ_p 는 아래와 같이 계산할 수 있다(Bailey *et al.*, 1996; Gille *et al.*, 1996).

$$\epsilon_p = \sqrt{\langle |q_{Ri} - q_{Rj}|^2 \rangle / 2} \quad (2)$$

여기에서 $\langle \rangle$ 는 서로 비교가 되는 복원한 값들의 쌍(pairs)의 갯수에 대한 평균을 의미한다. 이 가정은 실제 대기 상태를 정확하게 다룬 것은 아니지만 이와 같은 계산으로 얻어진 정밀도 오차는 실제의 대기 관측값의 상한 (upper limit) 으로 여겨질 수 있을 것이다.

3. 한반도 상공에서 관측한 IMG 자료의 RMSE와 편의 분석

ADEOS 위성이 한반도 상공을 통과하는 동안 포항과 오산의 상공에 가장 근접했을 때의 IMG 관측 자료를 선정하였고, 이 때 IMG 센서가 관측하게 되는 위치(위·경도)는 Fig. 1에 표시한 바와 같다. 그림에서 (a)는 1997년 1월 10일, (b)는 1월 28일, (c)는 4월 2일, 그리고 (d)는 6월 19일에 해당하며, (a)와 (c)의 경우는 포항의 관측 자료와, (b)와 (d)의 경우는 오산의 관측 자료와 비교하여 RMSE와 편의를 계산하였다.

1) 온도

IMG에서 관측한 자료로부터 얻어진 레벨 2 자료 중 그 최초의 복원 자료, 5_6_2_3 버전, 5_6_4_4 버전을 입수하여 이것을 오산과 포항에서 관측한 온도 자료와 비교하였다. 그 결과는 Figs. 2, 3, 4에 나타난 바와 같다. 각 그림의 왼쪽 프레임은 IMG 복원 자료와 존데 관측 자료를 표

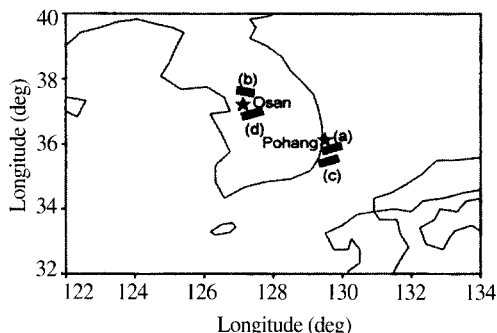


Fig. 1. Location of ADEOS/IMG measurement points, (a):10 Jan., (b):28 Jan., (c):2 Apr. and (d):19 Jun. 1997 and upper air stations in Korea, Pohang and Osan.

시한 것이며, 오른쪽 프레임은 두 자료의 RMSE와 편의를 계산하여 나타낸 것이다. 본 연구에 사용한 최초의 복원 자료는 5_6_2_3 버전에 비해 저급한 단계의 복원 프로그램만으로 처리하였기에 간섭 교정 프로그램, 민감도 보정 프로그램, 구름 탐지 프로그램과 같은 단계를 거치지 않고 복원한 결과이다. 그리고 5_6_4_4 버전은 5_6_2_3 버전에 비해 구름 탐지 프로그램과 복원 프로그램을 강화하여 처리한 것이다.

Fig. 2는 최초의 복원 자료와 존데 관측 자료를 비교한 것으로 포항의 관측치와 비교한 (a)와 (c)의 경우는 전체적으로 그 차이가 매우 크게 나타남을 볼 수 있다. 그에 비해 오산의 자료와 비교한 (b)와 (d)의 경우는 존데 관측 자료의 연직 분포와 전반적으로 유사한 패턴을 형성하고 있지만, 200 hPa 이하의 하부 대류권에서는 약 10~17 K 정도의 상당한 차이를 보이고 있다.

일반적으로 위성에 의해 관측된 자료는 대기의 상태를 얼마나 정확하게 진단하여 그 조건을 제대로 만족시켜 복원하는가가 양질의 자료 생산을 좌우하므로 이에 대한 꾸준한 연구가 진행되고 있는 실정이다. 따라서 자료 처리 프로그램에 대한 연구가 꾸준히 진행됨에 따라 IMG 관측 자료의 처리는 최초의 자료 복원에 사용한 프로그램에 비하여 상당히 진전된 프로그램들을 사용하여 다양한 버전의 복원 자료가 생산되어 오고 있다. 이 중에

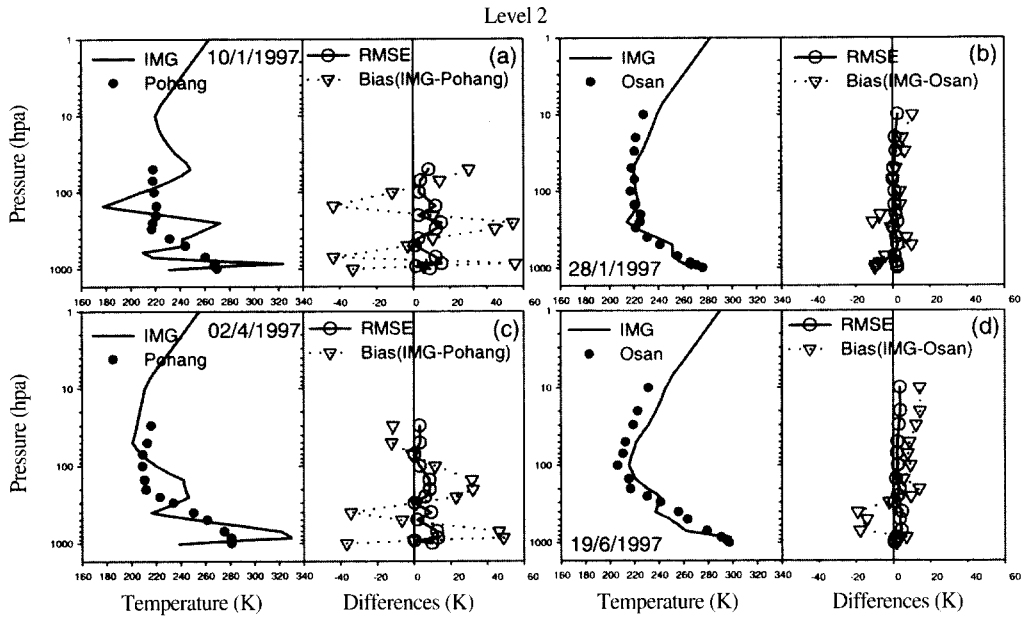


Fig. 2. The first level 2 vertical profiles of temperature data retrieved by IMG measurements and by sonde observations at Pohang and Osan upper air stations in Korea on 10 Jan. (a), 28 Jan.(b), 2 Apr. (c), and 19 Jun. (d) in 1997. Statistics, RMSE and bias, of comparisons between two data presented in right part of each panel.

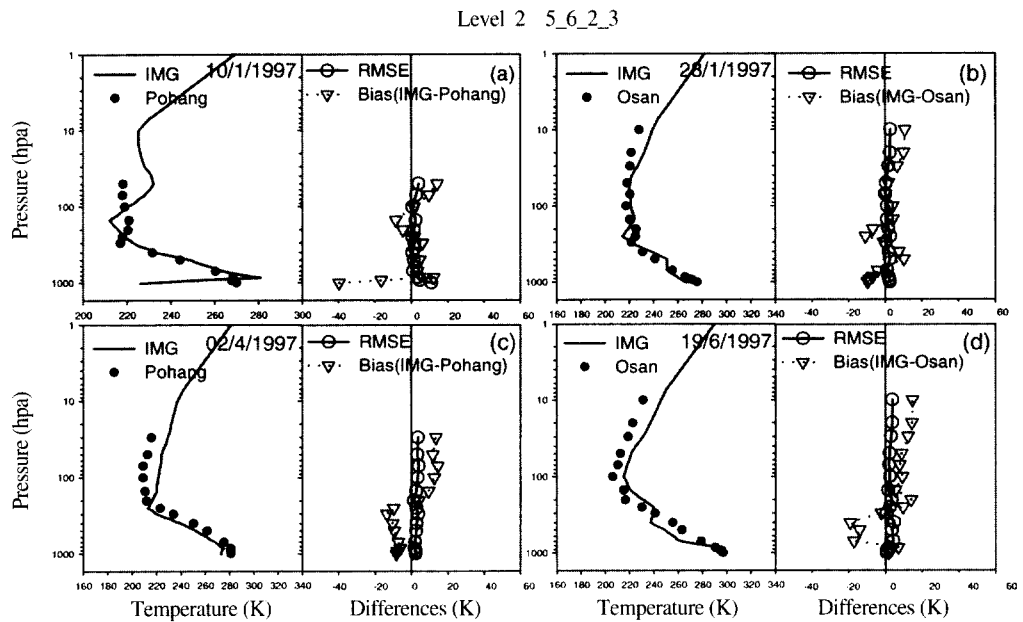


Fig. 3. The same as Fig. 2 except Level 2 5_6_2_3 version.

서 5_6_2_3 버전의 자료와 존데 자료를 비교한 것은 Fig. 3에서 보여지듯이 Fig. 2와 비교하면 (a) 의 경우는 1000 hPa과 925 hPa을 제외하고는 그 차이가 약 6 K 이하로 감소하였고, (c)의 경우는

Level 2 5_6_4_4

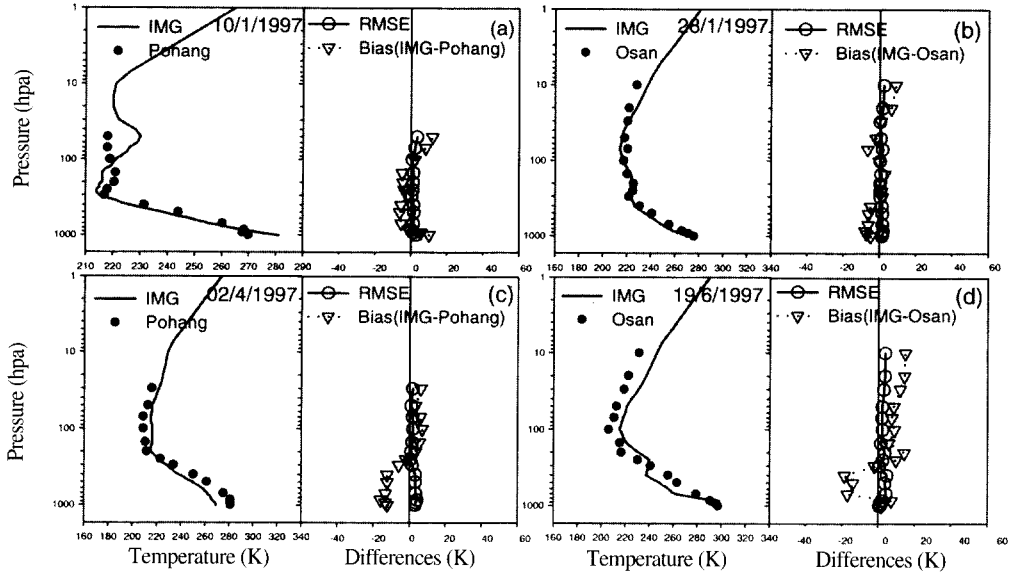


Fig. 4. The same as Fig. 2 except level 2 5_6_4_4 version.

250 hPa 이하에서 약 7 K 이하로 감소하여 존재 관측치와 거의 유사한 분포를 보이고 있다. 반면에 (b)와 (d)의 경우에는 최초의 레벌 2 복원 자료와 5_6_2_3 버전의 IMG 복원 자료는 동일함을 볼 수 있다.

이상의 결과를 분석하기 위하여 본 연구에 사용한 관측일자의 대기 상태를 조사하였고, 이것은 Table 1에 정리한 바와 같다. 포항은 1997년 (a) 1월 10일 12시에는 전천 운량이 7이고, 중·하층에는 구름이 없으므로 전천에 약 2/3정도의 구름이 존재하는 대기 상태이며, (c) 4월 2일 12시는 0.1 mm의 강우가 있고, 전천 운량이 10으로 구름으로

가득 덮여 있으며 중·하층 운량이 6인 중관 상태임을 알 수 있다. 이것은 Fig. 3의 결과를 Fig. 2의 결과와 비교하면 (a)와 (c)의 경우 IMG 복원 자료가 존재 관측 자료와 상당히 근접하는데, 이것은 운량을 정확히 파악하여 자료를 처리하였는지의 유무가 중요함을 의미한다. 반면에 오산은 1997년 (b) 1월 28일 03시에 전천 운량과 중·하층 운량이 8이므로 중·하층에만 구름이 있는 흐린 중관 상태였으며, (d) 6월 19일 12시는 강우는 없었지만 전천 운량이 8이고 중·하층 운량이 존재하지 않은 상층에 구름이 존재한 중관 상태임을 알 수 있다. (d)의 경우는 (c)의 경우와 다르게

Table 1. Meteorological observations at Pohang and Osan stations for the comparison of temperature and water vapor.

Station	Time, Date	Cloud Amount(low&middle)	Total Cloud Amount	Precipitation(mm)
Pohang	(a) 12h, 10/1/97	0	7	0
	(c) 12h, 02/4/97	6	10	0.1
Osan	(b) 03h, 28/1/97	8	8	0
	(d) 12h, 19/6/97	0	8	0

*Pohang, Lat. : 36_02N Lon. : 129_24E Height : 2.5 m

*Osan, Lat. : 37_06N Lon. : 127_12E Height : 52.0 m

5_6_2_3 버전의 복원 자료가 최초의 레벨 2 자료에 비하여 크게 다르지 않은데, 이것은 (d) 6월 19일에는 상층운이 주로 전천을 덮고 있었지만 대기가 안정한 상태를 유지하여 적란운과 같은 강수성 구름이 생성되지 않은 종관 상태였으므로, 강우가 존재한 (c) 4월 2일의 종관 상태와는 확연히 다른 대기 조건이기 때문으로 사료된다.

Fig. 4는 5_6_4_4 버전 자료와 비교한 것으로 (a)의 경우는 5_6_2_3 버전보다 1000 hPa와 925 hPa의 차이가 크게 감소한 것을 볼 수 있으며, 100~300 hPa에서도 그 차이가 감소하였음을 볼 수 있다. 그리고 (b)와 (d)의 경우는 5_6_4_4 버전과 5_6_2_3 버전의 자료가 거의 유사하며, (c)의 경우는 250 hPa를 기준으로 상부 대기에서는 존재 자료와의 차이가 감소하였으나 하부 대기에서는 오히려 그 차이가 약간 증가하였음을 볼 수 있다.

2) 수증기

IMG의 관측 자료를 이용하여 복원한 수증기의

분포는 온도의 경우와 동일한 방법으로 분석하였으며, 그 결과는 Figs. 5, 6, 7에 나타난 바와 같다. (a)와 (c)의 경우는 Fig. 5와 Fig. 6에서 500 hPa를 기준으로 하층에서 상당한 차이를 보이고 있지만, Fig. 7의 결과를 보면 그 차이가 많이 감소하였으나 여전히 상당한 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히 (c)의 경우는 강수가 있는 날이므로 하부 대류권의 수증기 혼합비 복원에 그 차이가 상당히 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. (d)의 경우는 Figs. 5, 6, 7 모두 하부 대류권에서 IMG 복원 자료와 존재 자료가 상당한 차이를 나타내는데, 이것은 관측 자료의 처리 프로그램이 전천 운량이 8인 종관 상태와 같이 구름의 영향이 강하게 작용하는 경우에는 그 영향을 정확하게 평가하지 못한 것으로 설명된다.

이와 같이 수증기에 대한 IMG 관측 자료의 결과를 종합하면 구름 탐지 프로그램이 대기의 상태를 얼마나 정확하게 파악하여 처리하는지가 수증기의 혼합비 복원에 중대한 영향을 미치는 것으로 사료된다.

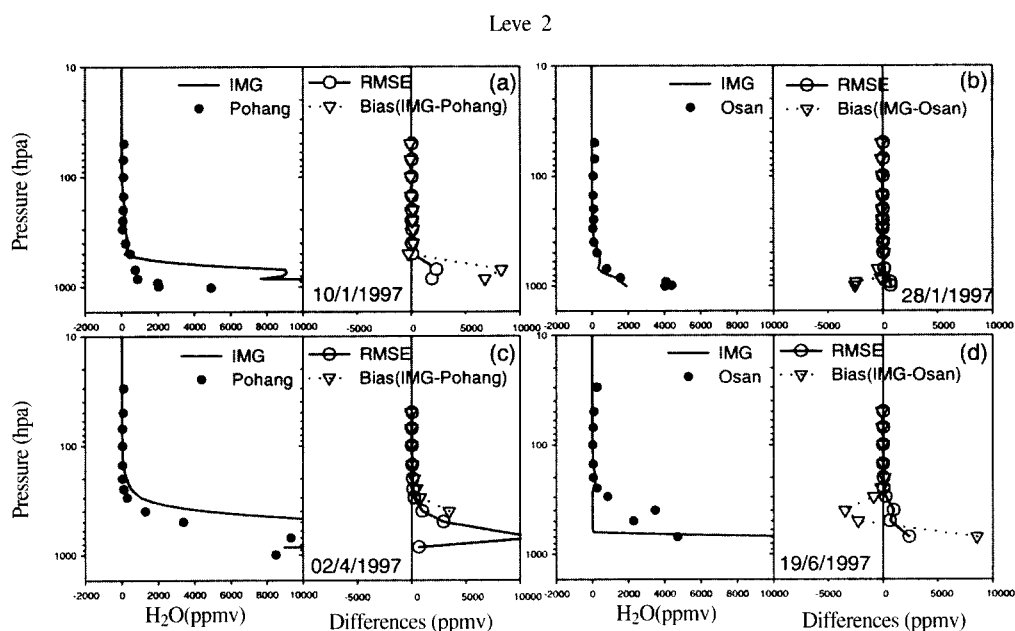


Fig. 5. The same as in Fig. 2 except H₂O.

Level 2 5_6_2_3

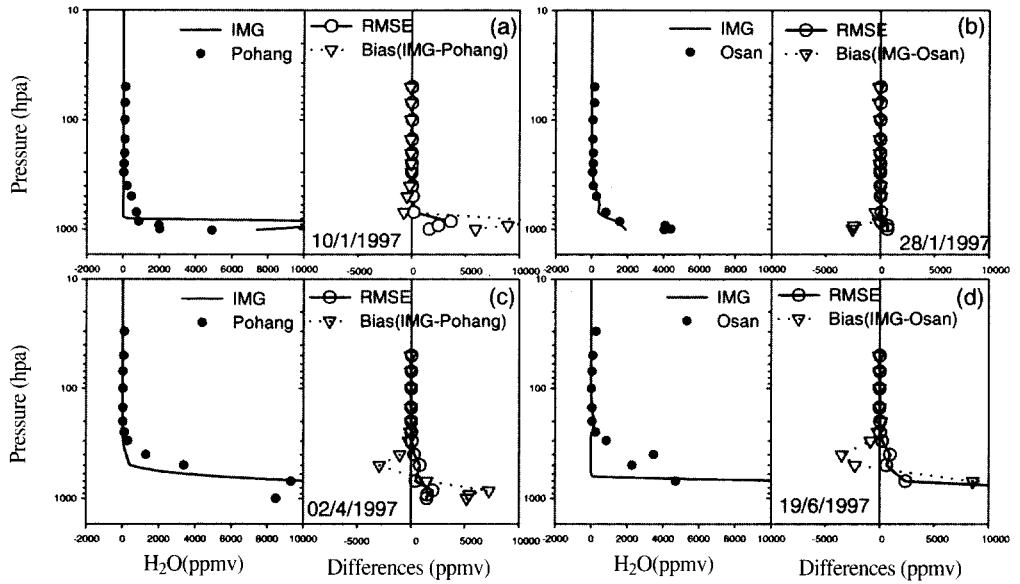


Fig. 6. The same as in Fig. 3 except H₂O.

Level 2 5_6_4_4

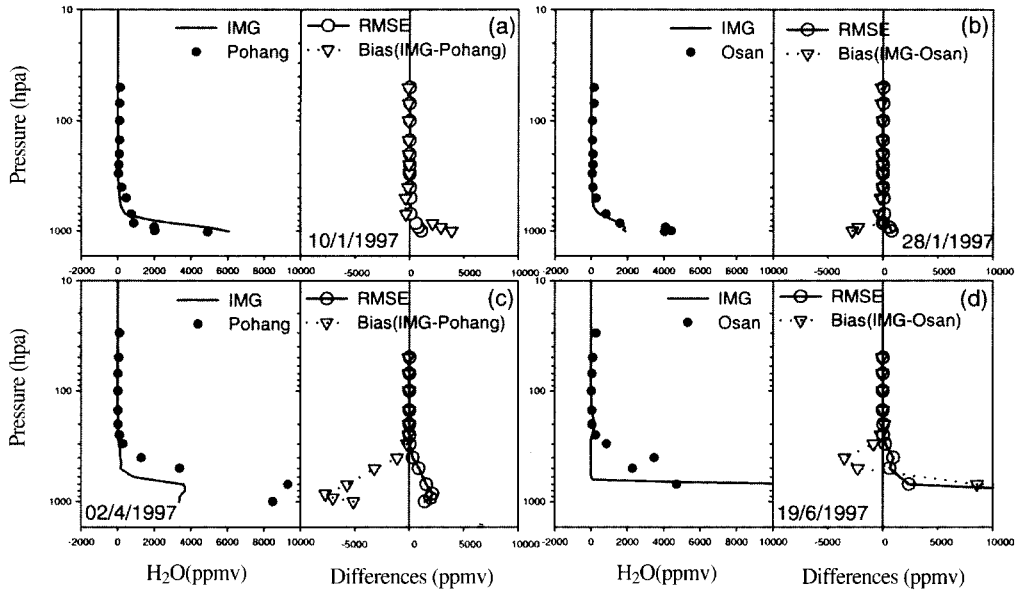


Fig. 7. The same in Fig. 4 except H₂O.

Leve 2

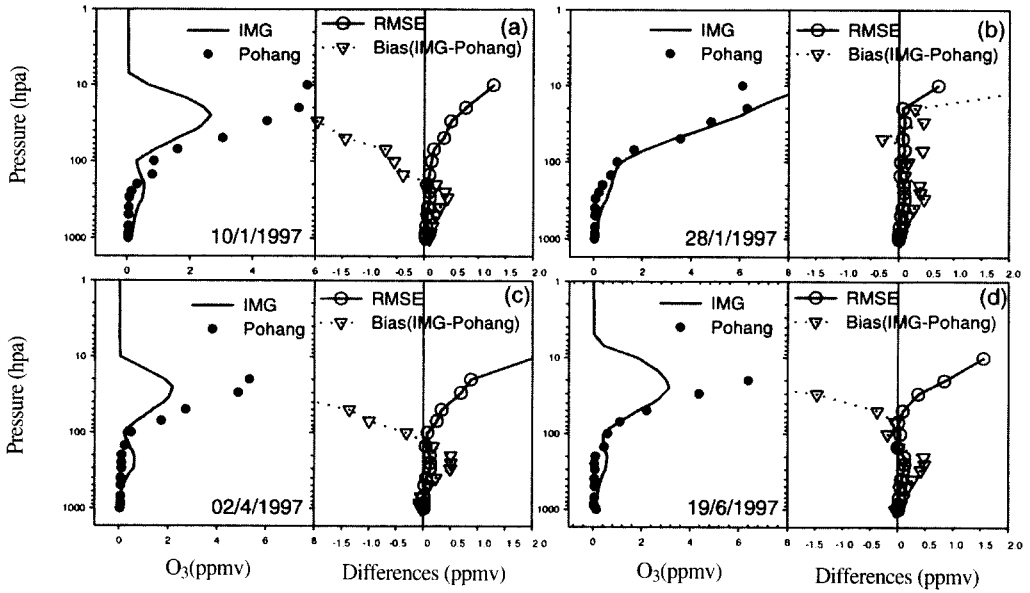


Fig. 8. The same as in Fig. 2 except O₃.

Leve 2 5_6_2_3

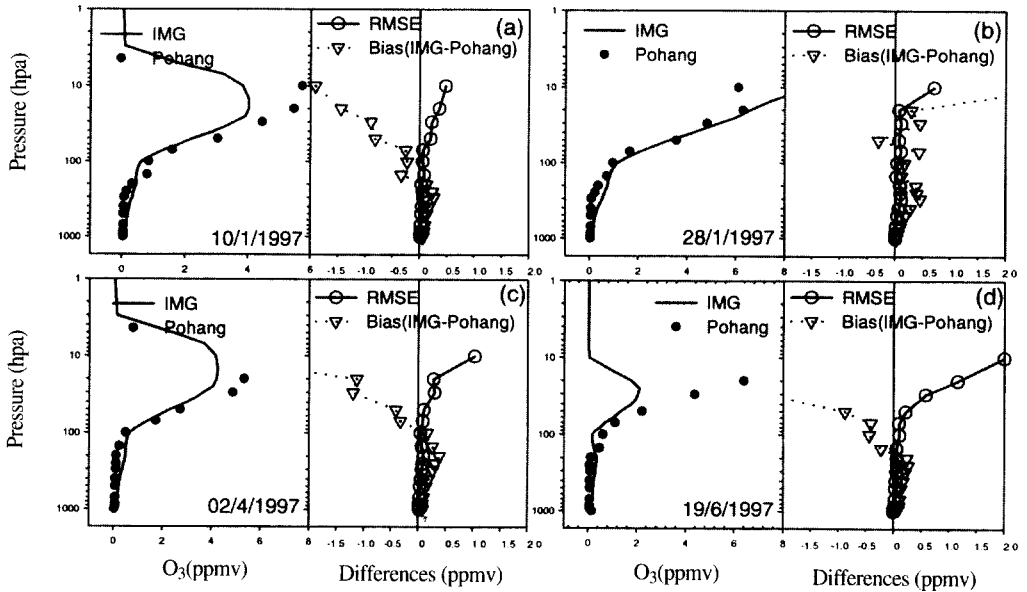


Fig. 9. The same as in Fig. 3 except O₃.

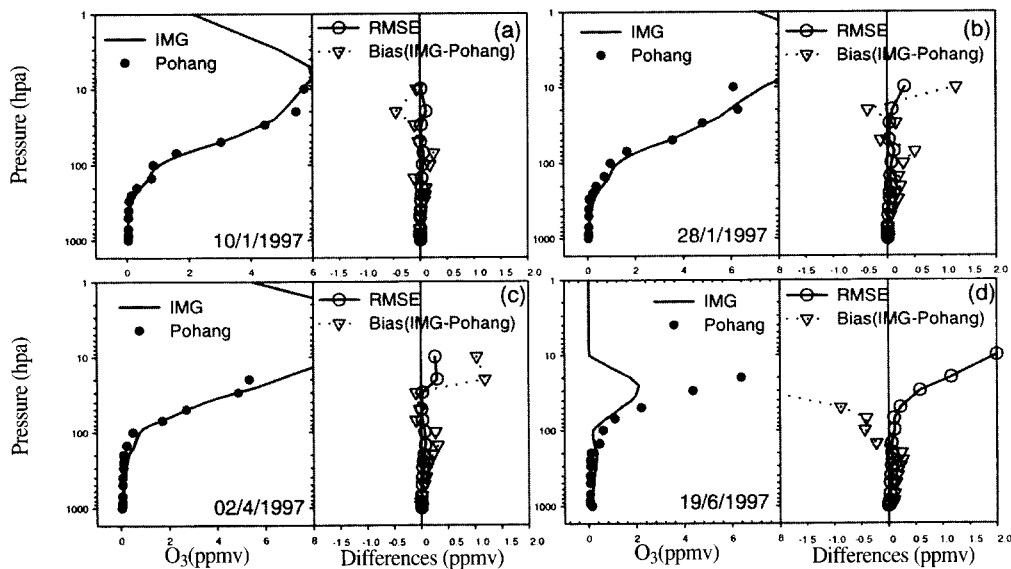


Fig. 10. The same as in Fig. 4 except O₃.

Table 2. Meteorological observations at Pohang station for the comparison of ozone. The dates in the parentheses indicate IMG observation dates.

Station	Time, Date	Cloud Amount(low & middle)	Total Cloud Amount	Precipitation(mm)
Pohang	(a) 12h, 08/1/97 (10/1/97)	2	2	0
	(b) 03h, 29/1/97 (28/1/97)	0	0	0
	(c) 12h, 01/4/97 (02/4/97)	0	0	0
	(d) 12h, 17/6/97 (19/6/97)	0	0	0

3) 오존

포항에서는 1주일에 한 번 오존 존데로 관측하기 때문에 IMG 관측일과 일치하는 날의 오존 자료는 구할 수가 없다. 따라서 부득이하게 IMG 관측일과 가장 근접한 날의 존데 자료를 입수하여 이것을 비교하였다. 그 결과는 Figs. 8, 9, 10에 도시한 바와 같으며, 오존 관측일에 해당하는 포항의 종관 상태는 Table 2에 정리한 바와 같다.

IMG 레벨 2의 오존 분포는 Fig. 8에서와 같이 (b)의 경우를 제외하고는 100 hPa보다 상층에서는 RMSE가 0.5~1.5 ppmv 정도로 상당히 큰 오차를 가지며, 편의를 보면 IMG의 오존 관측 자료

는 실제의 오존 농도보다 100 hPa보다 하층에서는 약 0.1~0.5 ppmv 정도 작게 복원된 반면에 100 hPa보다 상층에서는 약 3 ppmv 이상 큰 것을 알 수 있다. 5_6_2_3 버전의 결과를 도시한 Fig. 9에서는 (a)와 (c)의 경우 오존 존데 관측치에 보다 더 근접하게 나타났고, Fig. 10의 5_6_4_4 버전의 결과를 보면 거의 일치하는 분포를 보임을 알 수 있다. Barnes 등의 연구 결과에 따르면 오존 존데를 이용한 관측에서 나타날 수 있는 오차는 약 5% 정도이므로 현재까지 연구가 진행된 IMG 오존 자료 처리 프로그램은 Fig. 10에서 (d)의 경우를 제외하고는 상당히 양질의 오존 자료를 복원할 수 있는 것으로 사료된다(Barnes, et al., 1985).

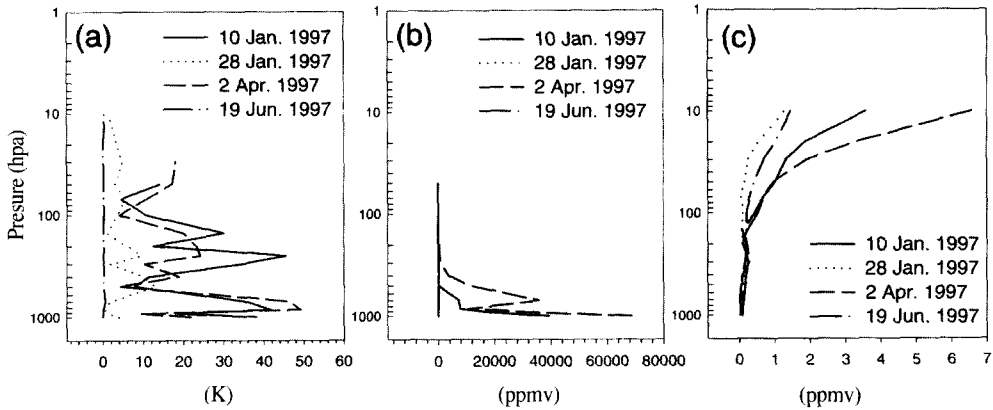


Fig. 11. IMG(a) temperature, (b) H₂O, and (c) O₃ precisions as a function of altitude.

4. IMG 자료의 정밀도 분석

초기 버전의 레벨 2 자료, 5_6_2_3 버전의 자료, 5_6_4_4 버전의 자료를 식(2)로 계산하여 IMG 자료의 복원에 따른 정밀도 오차를 추정하였고, 이것은 Fig. 11에 도시한 바와 같다. 온도의 경우 1997년 1월 10일과 4월 2일에 대한 오차 추정치는 고도가 높아짐에 따라 크게 변화하는 반면, 6월 1일에 대한 오차 추정치는 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다.

수증기는 1997년 1월 10일과 4월 2일의 경우 400 hPa보다 하부 대류권에서 오차 추정치가 크게 변화하는 것을 볼 수 있으며, 오존은 100 hPa보다 상층에서는 오차 추정치가 약 0.5~2 ppmv 정도의 차이를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이것은 단계적으로 갱신된 3가지 종류의 알고리즘으로 계산한 IMG 결과 자료는 포항의 존재 관측 자료와 비교한 경우(1997년 1월 10일과 4월 2일)가 오산의 관측 자료와 비교한 경우 (1997년 1월 28일과 6월 19일) 보다 알고리즘의 개선에 따른 영향이 훨씬 큰 것을 의미한다.

5. 대기 성분의 연직 분포

ADEOS 위성이 한반도 상공을 통과한 1997년 6

월 19일 13시 44분에 대한 대기 성분의 연직 분포를 조사하였으며 ADEOS 위성의 통과 지점은 Fig. 12와 같다. 각 지점에서 온도를 비롯한 7가지 대기 성분 (H₂O, CO₂, O₂, N₂O, CH₄, HNO₃, CO)의 연직 분포 자료는 Fig. 13에 나타난 바와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 H₂O의 경우 2~3 km 이하의 하층 대기에서는 5개 관측지점의 자료가 상당한 차이를 나타내고 있는데, 이것은 하층 대기의 종관 상태에 민감하게 변화하는 H₂O 농도의 특성에 기인하는 것으로 여겨진다. 온도의 경우를 보면 5개 관측지점의 자료가 거의 일치하고 있는 것을 알 수 있으며, CO₂의 경우는 5번 관측지점을 제외한 10 km 이상의 상층에서는 표준 대기 CO₂

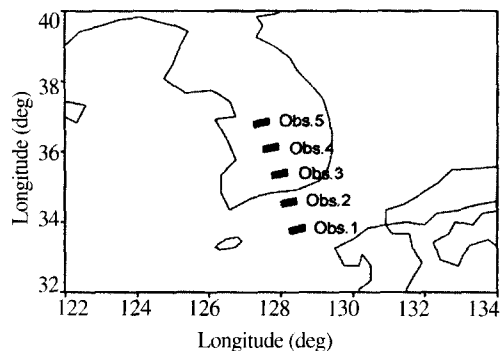


Fig. 12. Locations of IMG observation points when the ADEOS passed over Korean peninsula from Obs. 1 to Obs. 5 on 19 June 1997.

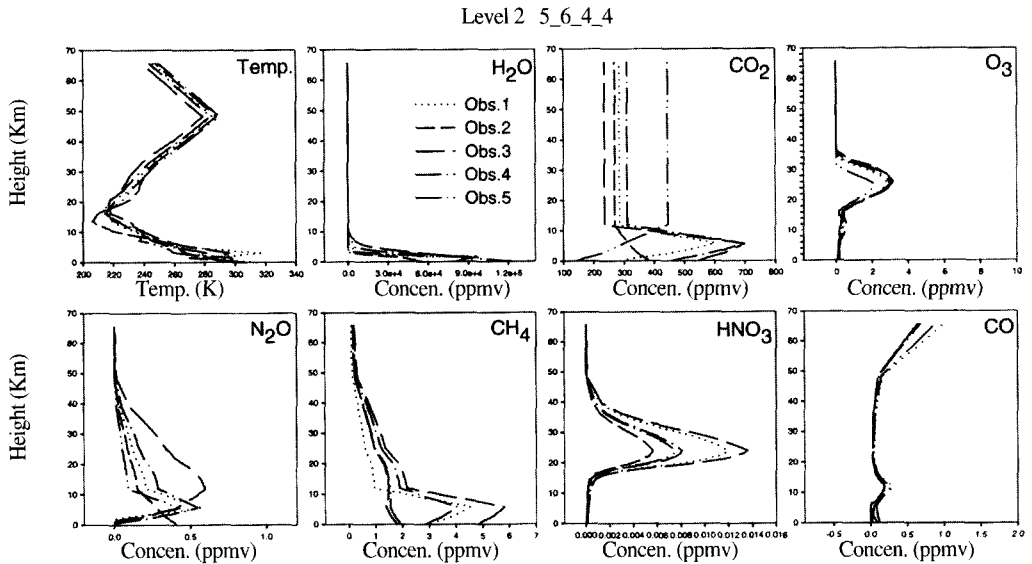


Fig. 13. The vertical profiles retrieved from 5_6_4_4 version for atmospheric temperature and trace gases measured by IMG on 19 June in 1997 during the ADEOS passed over Korean Peninsula.

농도인 330 ppmv보다 작은 값을 기록하고 있다.

오존의 경우는 5개 관측점의 결과가 거의 비슷한 분포를 보이며 전반적으로 하층에 최고 농도값이 나타나는데 그 값은 약 2~3.3 ppmv이다. 한편 우리나라에서 CO₂, N₂O, CH₄의 지표면 농도는 각각 367 ppmv, 0.3 ppmv, 1.8 ppmv로 관측되고 있다 (조하만 등, 1995). 이에 비해 ADEOS/IMG에 의한 N₂O, CH₄, 그리고 HNO₃의 관측 결과를 보면 5개 관측지점의 연직 분포가 조금씩 차이를 보이고 있는데, 특히 CH₄의 경우는 대기 하층에서 그 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. CO의 경우는 5개 관측지점의 연직 분포는 전반적으로 그다지 큰 차이가 나타나지 않았다.

6. 결 론

한반도 상공에 대한 IMG 복원 자료에 대하여 온도, 수증기, 오존 등 3개의 요소에 대하여 1997년 1월 10일, 1월 28일 12시, 4월 2일, 6월 19일의 존데 자료와 비교하여 RMSE와 편의 분석을 수행하였고, 프로그램의 수정 보완에 따라 갱신된 알

고리즘의 버전에 대한 IMG 복원 자료의 정밀도 오차를 추정하였다.

초기 레벨 2 온도 자료의 경우 포항 상공의 IMG 자료는 특히 100 hPa 이하의 하부 대류권에서 그 차이가 크게 나타났지만 5_6_4_4 버전의 결과에서는 존데 자료와 상당히 일치하였다. 반면에 오산 상공의 초기 레벨 2 자료는 700-300 hPa의 고도에서 약 1~4 K, 300 hPa 이상의 고도에서 4~5 K 정도 차이가 나타났지만 그 후 갱신된 5_6_4_4 버전에서도 그 차이가 좁혀지지 않았다. 그리고 수증기와 오존 자료의 경우도 오산 상공의 IMG 자료 복원 결과는 초기 레벨 2 자료와 5_6_2_3 버전 자료와 5_6_4_4 버전 자료가 동일하였지만 포항 상공의 자료는 알고리즘이 개선되는 동안 점차 존데 자료에 근접하는 것을 확인할 수 있었다.

1997년 6월 19일 13시 44분에 대한 오산 상공의 IMG 복원 결과는 알고리즘이 갱신됨에 따라 거의 변화가 없는 반면 4월 2일 13시 47분에 대한 포항 상공의 IMG 복원 결과는 서서히 존데 관측 자료에 근접하는 상이한 결과를 보였다. 이것은 1997년 6월 19일은 전천 운량이 8이지만 강수가 없는

중관 상태로 주로 중·하층운은 없고 상층운만 존재한 반면, 4월 2일은 전천 운량이 10이고 0.1 mm의 강우가 존재한 중·하층운이 6으로 적란운이 뒤덮인 중관 상태 때문으로 풀이된다. 알고리즘이 갱신되면서 구름 탐지 프로그램이 꾸준히 수정 보완됨에 따라 IMG 복원 자료의 결과는 점차 중대 관측 자료에 근접하게 되는데, 이것은 결국 운량과 강우가 위성 자료의 복원 결과에 큰 영향을 미치고 있음을 의미한다. 따라서 위성을 이용한 대류권의 원격 탐사 자료의 복원에는 구름에 의한 효과를 체계적으로 제거할 수 있는 구름 탐지 프로그램의 개발이 그 결과에 중대한 영향을 미치므로 앞으로 이에 대한 꾸준한 연구 개발이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합하면 대기 중의 운량과 강우에 대한 체계적인 보정은 원격 탐사 자료의 복원에 결정적인 영향을 미치게 되므로 양질의 대기 성분 분포를 얻기 위해서는 이와 같은 처리 과정의 보완이 필수적으로 선행되어야 함을 의미한다. 이와 더불어 IMG에 의한 대기 성분 관측 자료가 아직까지 비교적 큰 오차를 포함하고 있으나 전지구적인 대기 성분의 연직 구조에 대한 관측 자료를 생산한다는 점에서 큰 의미가 있으며, 앞으로 전지구 규모의 대기 감시에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 기상연구소에서 수행한 G7 과제 「지구 대기 조성 변화 감시」의 일부로서 이루어졌습니다. 연구에 필요한 자료를 제공하여 주신 일본 NASDA/EORC의 Dr. H. Shimoda와 Ms. Y. Kirihara에게 감사드립니다.

참고문헌

기상연구소, 1998. 지구 대기 조성 변화 감시(Ⅲ). 환경부 선도기술개발사업보고서, 597pp.

- 안영인, 1990. 극동아시아 지역의 TOVS 복사자료에서 기온과 수분의 연직구조 산출 및 일기 분석에의 이용 가능성. 서울대학교 대학원 석사 학위 논문, 50pp.
- 이동규, 1986. 극동아시아 지역의 일기 분석을 위한 기상위성 관측자료의 이용 가능성에 대하여. 한국기상학회지, 22(1), 8-22.
- 조하만, 이재원, 김금란, 윤학수, 1991. RAOB 자료를 이용한 TOVS 산출자료의 비교 분석. 한국기상학회지, 27(2), 119-134.
- 조하만, 박미경, 남재철, 민동하, 김경렬, 송병현, 김병선, 김성균, 정영선, 1995. 한반도의 대기 중 CO₂ 배경농도 변동 특성. 한국기상학회지, 31(3), 301-312.
- Bailey, P. L., D. P. Edwards, J. C. Gille, L. V. Lyjak, S. T. Massie, A. E. Roche, J. B. Kumer, J. L. Mergenthaler, B. J. Connor, M. R. Gunson, J. J. Margitan, I. S. McDermid, and T. J. McGee, 1996. Comparison of cryogenic limb array etalon spectrometer(CLAES) ozone observations with correlative measurements. *J. Geophys. Res.*, 101, 9737-9756.
- Barnes, R. A., A. R. Bandy, and A. L. Torres, 1985. Electrochemical concentration cell ozone-sonde accuracy and precision. *J. Geophys. Res.*, 90, 7881-7889.
- Gille, J. C., P. L. Bailey, S. T. Massie, L. V. Lyjak, D. P. Edwards, A. E. Roche, J. B. Kumer, J. L. Mergenthaler, M. R. Gross, A. Hauchecorne, P. Keckhut, T. J. McGee, I. S. McDermid, A. J. Miller, and U. Singh, 1996. Accuracy and precision of cryogenic limb array etalon spectrometer (CLAES) temperature retrievals. *J. Geophys. Res.*, 101, 9583-9601.
- IPCC, 1996. *Climate Change 1995-The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, 572pp.

Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol.15, No.3, 1999

NASDA, 1997. *ADEOS reference handbook*, Japan,
300pp.

NOAA, 1998. *Climate Monitoring and Diagnostics*

Laboratory Summary Report No. 24 (1996-
1997), NOAA/CMDL, 166pp.