

## GMS-5 Split Window 자료를 이용한 가강수량 산출

손승희\* · 정효상\*\* · 김금란\*\*\* · 이정환\*

기상청 기상개발관실\*, 기상연구소 원격탐사연구실\*\*, 기상청 위성담당\*\*\*

### Estimation of Precipitable Water from the GMS-5 Split Window Data

Seung-Hee Sohn\*, Hyo-Sang Chung\*\*, Keum-Lan Kim\*\*\*, and Jung-Whan Lee\*

Technical Development Department, Korea Meteorological Administration\*

Remote Sensing Research Lab, Korea Meteorological Research Institute\*\*

Satellite Division, Korea Meteorological Administration\*\*\*

### Abstract

Observation of hydrometeors' behavior in the atmosphere is important to understand weather and climate. By conventional observations, we can get the distribution of water vapor at limited number of points on the earth. In this study, the precipitable water has been estimated from the split window channel data on GMS-5 based upon the technique developed by Chesters et al.(1983). To retrieve the precipitable water, water vapor absorption parameter depending on filter function of sensor has been derived using the regression analysis between the split window channel data and the radiosonde data observed at Osan, Pohang, Kwangju and Cheju stations for 4 months. The air temperature of 700 hPa from the Global Spectral Model of Korea Meteorological Administration (GSM/KMA) has been used as mean air temperature for single layer radiation model.

The retrieved precipitable water for the period from August 1996 through December 1996 are compared to radiosonde data. It is shown that the root mean square differences between radiosonde observations and the GMS-5 retrievals range from 0.65 g/cm<sup>2</sup> to 1.09 g/cm<sup>2</sup> with correlation coefficient of 0.46 on hourly basis. The monthly distribution of precipitable water from GMS-5 shows almost good representation in large scale. Precipitable water is produced 4 times a day at Korea Meteorological Administration in the form of grid point data with 0.5 degree lat./lon. resolution. The data can be used in the objective analysis for numerical weather prediction and to increase the accuracy of humidity analysis especially under clear sky condition. And also, the data is a useful complement to existing data set for climatological research. But it is necessary to

---

1998년 3월 16일 접수 ; 1998년 6월 8일 수리.

get higher correlation between radiosonde observations and the GMS-5 retrievals for operational applications.

**Keyword :** Precipitable Water, Water Vapor Absorption Parameter, Split Window, Clear Sky

## 요 약

대기중에 존재하는 수증기의 관측은 일기와 기후의 이해에 있어서 매우 중요한데, 기존의 관측 체계로는 지구상의 극히 제한된 지역의 수증기 분포만을 관측할 수 있다. 이 연구에서는 일본 정지기상위성인 GMS-5의 적외 split window 채널 관측자료로부터 대기중에 함유되어 있는 수증기 총량 즉 가강수량(precipitable water)을 산출하였다. 가강수량 산출에는 라디오존데 관측 가강수량과 split window 관측자료 사이의 회귀분석에 기초한 Chesters et al.(1983)의 알고리즘을 사용하였다. 가강수량 산출을 위하여 센서의 필터 함수와 관련된 수증기 흡수 파라미터는 우리나라 고층 관측소인 오산, 광주, 포항, 제주에서 관측한 '96년 8월부터 11월까지의 4개월간 관측한 라디오존데 자료와 위성 관측자료의 회귀분석을 통하여 산출하였다. 한편 기상청 전구 스펙트랄 모델의 700 hPa 온도를 1층 복사 모델의 대기 평균 온도로 사용하였다.

1996년 8월부터 12월까지의 기간에 대하여 산출한 GMS-5 가강수량 자료를 같은 기간 관측된 라디오존데 관측자료와 비교한 결과 0.46의 상관계수와 0.65 g/cm<sup>2</sup>~1.09 g/cm<sup>2</sup>의 RMS 오차를 나타내었다. GMS-5로부터 산출된 월평균 가강수량 분포는 계절에 따른 전지구 규모의 수증기 분포 변화를 잘 나타내었다. 이번 연구에서 산출된 위성 가강수량은 0.5° 격자 간격으로 6시간마다 기상청에서 정규적으로 산출된다. 이 자료는 수치예보의 객관분석 초기 자료로 이용되어, 특히 청진 조건하에서의 습도 분석의 정확도 향상에 기여하며 기후 연구에 있어서도 현존하는 자료 세트에 대한 유용한 보완 자료가 될 것이다. 그러나 연구 결과의 실용화를 위하여는 좀더 높은 상관계수와 산출절차 등의 개선이 필요하다.

## 1. 서 론

대류권 내의 수증기는 지구의 기상 및 기후계에서 중요한 역할을 담당한다. 수증기의 직접 복사 효과는 구름과 에어로졸, 그리고 화학적 피드백과 상호작용과 더불어 지구 기후계에 영향을 주는 핵심 요소이다. 이러한 이유로 인하여, 원격탐사 방법에 의한 대기중의 수증기 자료는 지구 환경계, 특히 라디오존데 관측이 결핍된 지역의 대기환경을 연구하는데 있어 매우 긴요하게 사용된다.

지금까지 기상위성 자료를 이용하여 대기중의 수증기량을 산출하는 방법으로 다중 window 기법이 전세계적으로 가장 널리 사용되어 왔다. 이 기법은 Anding과 Kauth(1969)에 의해 처음 제안되었고, McMillin(1971)에 의해 split window 기법이 완전히 개발되었다. Split window란 한 채널이

다른 채널보다 대기중의 수증기에 더 민감하도록 대기창 영역을 두 채널로 분리한 것을 말한다. Split window 영역에서는 수증기가 주 흡수원이므로 이 영역에서 수증기 흡수 차이를 관측하여 대기중에 함유되어 있는 수증기 총량인 가강수량을 산출하게 되는 것이다. Chesters et al.(1983)은 미국의 정지기상위성인 Geostationary Operational Environmental Satellite(GOES)에 탑재된 VISSR Atmospheric Sounder(VAS)의 split window 관측 휴도 온도 차를 이용하여 가강수량을 산출하는 기법을 제시하였다. Kleespies와 McMillin(1990)은 split window 휴도 온도차의 비를 사용하여 가강수량을 산출하는 기법을 제시하였고, Jedlovec(1990)은 내륙에 대하여 항공 다중 스펙트랄 센서를 사용하여 이 기법을 더욱 발전시켰다. 최근에는 해양 지역에서 수증기량의 탐측을 위해 마이크로파가 사용되고 있는데 이는 마이크로파가 적외선 복사에 비하여 구름에 훨씬 덜 민감하여 구름층을 통과할 수 있어 구름이 존재하는 경우에도 구름 내부의 수증기 분포를 알 수 있기 때문이다.

VISSR(Visible and Infrared Spin Scan Radiometer)는 일본의 정지 기상위성 GMS-5(Geostationary Meteorological Satellite-5)호에 탑재되어 있는 가시 및 적외 복사계로 적외 1채널(IR1), 적외 2채널(IR2), 수증기 채널(WV), 가시채널(VIS)로 지구를 관측한다. 중심파장  $11\mu\text{m}$ 인 IR1과  $12\mu\text{m}$ 인 IR2 채널 영상은 육안으로 보면 거의 구별할 수 없지만 두 채널에서 지구복사의 수증기에 의한 흡수 효과가 서로 다르기 때문에 두 채널간의 휴도 온도 차이를 구하면 하층 수증기와 하층운에 대한 정보를 얻을 수 있다. 두 채널 관측 자료를 이용한 가강수량의 산출은 여러 채널 자료와 인위적인 quality control 기법을 이용하여 가강수량의 연직구조를 산출하는 것만큼 복잡하지는 않으므로 비교적 정확한 가강수량의 공간 분포를 실시간으로 산출할 수 있다.

이 연구에서는 가강수량 산출의 현업화를 목적으로 Chesters et al.(1983)의 알고리즘을 사용한 일본 기상위성 센터의 가강수량 산출 기법을 기초로 국내 환경에 맞게 수정하여 GMS-5 적외 split window 채널 관측자료로부터 전구 관측영역 중 청천역에 대한 가강수량을 산출하였다. 가강수량 산출에 사용한 split window의 수증기 흡수계수는 우리나라 고층관측소인 오산, 광주, 포항, 제주에서 '97. 8월부터 11월까지의 4개월간 관측한 라디오존데 관측자료와 위성 관측자료의 회귀분석을 통하여 구하였다. GMS-5호로부터 산출한 가강수량 값은 라디오존데 관측값, 전구 수치모델 분석 자료와 비교 분석하여 정확도를 평가하였으며, 1996년 9월, 10월, 11월, 12월 평균 가강수량을 구하여 우리나라를 포함한 GMS-5호 전구 관측영역의 수증기 분포 특성을 분석하였다.

## 2. 산출기법

Split window란 지구 대기 스펙트럼 중 높은 투과 영역의 인접한 두 파장역의 관측 채널을 의미한다. 두 채널에서 관측하는 복사는 지표 복사, 에어로졸, 구름 등에 의해 거의 동일한 영향을 받게되므로 관측 휴도 온도는 대기중 분자들의 흡수 특성에 따라 달라지게 된다. 복사에 대한 분자와 지표의 영향은 대수적 방법으로 분리될 수 있다. 그리고 분자의 농도는 흡수 단면적 계산을 통하여 산출될 수 있다. 이 방법의 정확성은 복사계의 정확도, 두 채널간의 관측영역 일치성, 분자

흡수 단면적의 파라미터화, 구름 제거 기준에 관련된다.

### 1) GMS-5 적외 Split Window의 특성

GMS-5 split window 영역은 Fig. 1에 나타낸 지구 대기 복사 스펙트럼의 10.5~12.5 $\mu\text{m}$  영역으로, 이 영역은 10 $\mu\text{m}$  O<sub>3</sub> 밴드와 15 $\mu\text{m}$  CO<sub>2</sub> 밴드에 의해 분리되어 있다. 장파장 영역에서 수증기와 CO<sub>2</sub>에 의해 분자 흡수가 증가함을 보이고 있다.

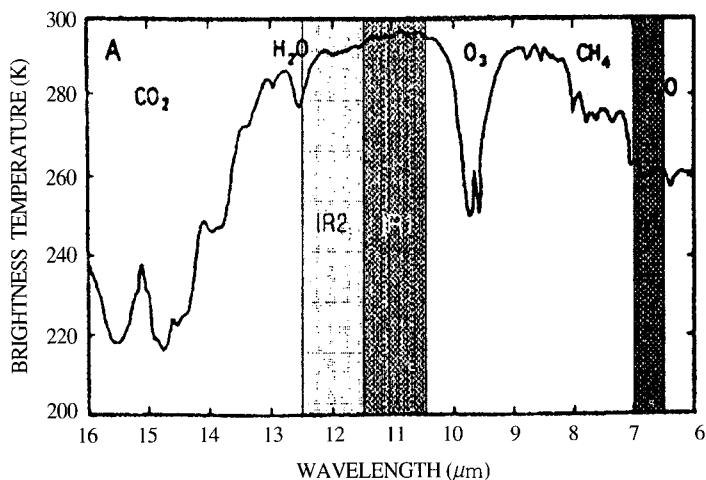


Figure 1. The GMS-5 split window channels are illustrated by a sketch of the earth's radiance spectrum.

Figure 2는 GMS-5호 split window 채널인 IR1과 IR2 채널, 그리고 이에 대응하는 NOAA 위성의 AVHRR 채널 4와 5의 spectral response 들이다. 이 그림에서 보면 GMS-5호 IR1 채널과 IR2 채널이 명확하게 분리되어 있지 못하고 채널 밴드가 중복되어 있다. 따라서 두 채널간의 휘도 온도차는 그다지 좋은 정보를 제공하지 못하고 있다. 이와 대조적으로 NOAA 위성의 AVHRR 채널 4와 채널 5는 잘 구분되어 있다. 또한 NOAA 위성의 적외채널 분해능은 GMS-5호 보다 4배 이상 높기 때문에 실질적으로 GMS 보다 훨씬 선명하고 좋은 정보를 준다.

### 2) 산출원리

가장수량 산출 방법을 Fig. 3에 보였다. GMS-5의 split window 관측자료, 즉 적외 대기창 영역의 IR1(11 $\mu\text{m}$ ), IR2(12 $\mu\text{m}$ ) 2개의 인접한 파장대의 관측 휘도온도의 차이는 주로 대기중 수증기량에

Estimation of Precipitable Water from the GMS-5 Split Window Data

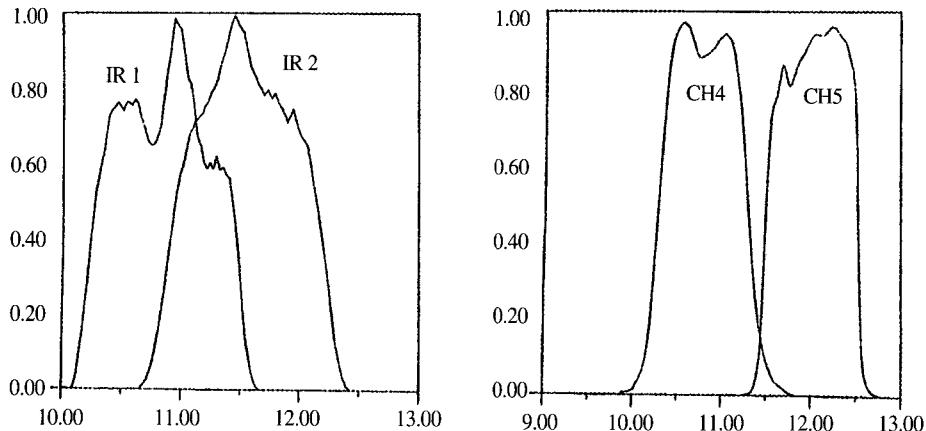


Figure 2. Spectral responses for the GMS-5 and NOAA/AVHRR split window channels at  $11$  and  $12\mu\text{m}$ .

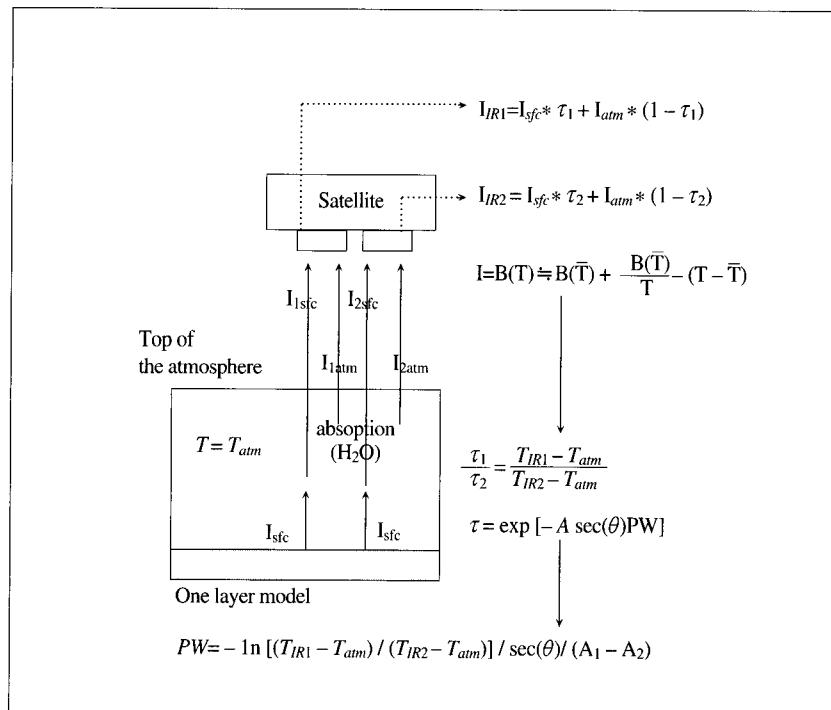


Figure 3. Algorithm for estimation of precipitable water using GMS-5 split window channels data.

의해 결정된다. 1층 대기 모형을 가정하면 청천조건 하에서 GMS-5의 각 채널에서 관측되는 복사 휘도  $I_{obs}$ 는 지표로부터 방출되는 복사 휘도  $I_{sf}$ 와 대기로 의해 방출되는 복사 휘도  $I_{atm}$ , 그리고 대기의 투과율  $\tau$ 로 다음과 같이 표현할 수 있다.

지표의 방출률을 1이라 가정하면 복사 휘도를 Planck 함수  $B(T)$ 를 이용하여 이에 대응하는 휘도온도 TBB(Temperature of the Black Body)로 표현하면 위 식은 다음과 같이 변환된다.

$$T_{obs} = T_{sf\gamma} * \tau + T_{atm} * (1 - \tau) \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

GMS-5 split window 채널 IR1과 IR2에 대하여  $T_{\text{sic}}$ 와  $T_{\text{atm}}$ 이 동일하다고 가정하고  $T_{\text{IR1}}$ 을 IR1 채널 관측 휘도 온도,  $T_{\text{IR2}}$ 를 IR2 관측 휘도온도,  $\tau_1$ 을 IR1에 대한 투과율,  $\tau_2$ 를 IR2에 대한 투과율이라 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

이 식들을 이용하여 위성에서 관측하는 복사량 중에서 지표의 영향에 의한 부분을 배제하기 위해  $T_{\text{fc}}$ 를 제거하면  $\tau_1, \tau_2$ 는 복사전달식에 의해 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{(T_{IR1} - T_{aim})}{(T_{IR2} - T_{arm})} \quad \dots \quad (4)$$

한편 대기의 투과율  $\tau$ 는 지상으로부터 위성의 관측 센서까지의 복사 경로에 존재하는 총 수증기량의 합, 즉 가강수량 PW ( $\text{g/cm}^2$ )와 지상에서의 위성 천정각  $\theta$ , 수증기 흡수 파라미터 A에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\tau = \exp [-A \sec(\theta) PW] \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

이 식을 GMS-5 IR1과 IR2 채널에 대하여 적용하고  $\tau_1/\tau_2$ 를 소거하면 다음과 같은 가강수량 산출식을 유도할 수 있다.

여기서  $A_1 - A_2$ 는 각각 GMS-5 IR1 및 IR2 채널에 대한 수증기 흡수 파라미터이다.

### 3) 수증기 흡수 파라미터의 산출

GMS-5 각 채널의 수증기 흡수 파라미터 차인  $A_1 - A_2$ 는 가강수량 산출식 (6)에서 라디오존데 관측 온도 및 노점온도 프로파일로부터 계산한 라디오존데 가강수량을 위성자료로부터 계산되는  $A_1 - A_2$ 를 제외한 나머지 부분과 회귀 분석하여 구할 수 있다. 수증기 흡수 파라미터 산출에는 우리 나라 고층 관측소인 오산, 광주, 포항, 제주에서 '96년 8월부터 11월까지 4개월간 청천일 경우에 관측된 00 UTC와 12 UTC의 기온과 습도의 유의고도 자료중 청천일 경우에 관측된 자료를 사용하였다. 다음 Table 1에 각 관측소의 위치와 계산에 사용된 자료의 수를 나타 내었다.

Table 1. List of stations and data numbers used by determination of water vapor absorption parameter.

Station No.	Station Name	Latitude (North)	Longitude (East)	Height	Data No.
47122	Osan	37° 06'	127° 02'	52 m	17
47138	P'ohang	36° 02'	129° 23'	6 m	43
47158	Kwangju	35° 07'	126° 49'	13 m	20
47185	Cheju	33° 17'	126° 10'	72 m	41

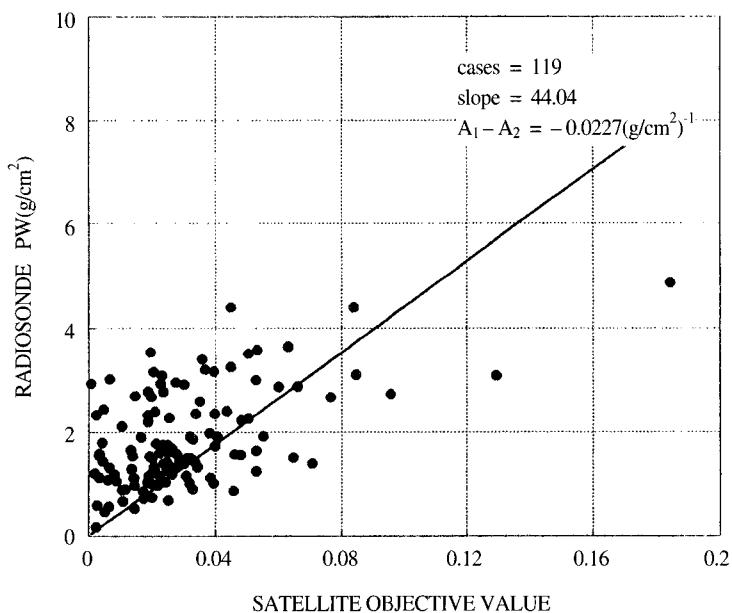


Figure 4. Water vapor absorption parameter of GMS-5 split window channels derived from regression analysis using radiosonde data for satellite objective variable.

Figure 4는 Table 1의 모든 자료중 오차로 판단되는 경우를 제외한 119개의 라디오존에 가강수량 자료와 해당 격자의 위성 관측값을 희귀 분석한 결과이다. 기울기는 44.04로 GMS-5 적외 split window 채널의 수증기 흡수 파라미터 차이값은  $-0.0227 \text{ (g/cm}^2)^{-1}$ 로 산출되었다. 여기서 값이 음으로 나타난 것은 IR1 채널의 수증기 흡수가 더 약하다는 것을 나타내는 것으로 Fig. 1이 보이는 파장별 수증기에 의한 대기 흡수 특성을 잘 설명한다. 그러나 이 연구에서 파라미터 값은 라디오존에 관측 가강수량 값이  $4.0 \text{ g/cm}^2$  이하의 작은 값을 보이는 범위에 대하여 분석되고 자료의 수가 충분하지 않기 때문에 정확도가 다소 떨어진다.

### 3. 산출과정

#### 1) 빈도분포도 작성

가강수량 산출에 사용되는 위성 관측자료는 GMS-5 위성에 탑재되어 있는 가시 적외 복사계(VISSLR)의 적외 split window 채널인 IR1( $10.5\text{--}11.5\mu\text{m}$ )과 IR2( $11.5\text{--}12.5\mu\text{m}$ ) 관측 빈도분포도(히스토그램) 자료로, 이는 위성 관측 영상 자료를 좌표 변환하여 이후의 자료 처리에 사용하기 쉽도록 데이터베이스화 한 자료이다. 현재 기상청에서는 빈도분포도 자료를 일 4회 00, 06, 12, 18 UTC에 산출하며, 처리 영역은 GMS-5 전구 관측 영역 중 남위  $50.0^\circ$ 에서 북위  $50.0^\circ$ , 동경  $90.0^\circ$ 에서 서경  $170.0^\circ$ 이다. 처리 영역에서 VISSLR 영상 자료는 위·경도  $0.5^\circ$  간격으로 총 40000( $200\times200$ )개의 격자로 나누어져, 각 격자에 포함되는 화소의 최대 및 최소 휘도 계급과 화소의 빈도분포가 계산된다.

#### 2) 청천 화소와 구름 화소의 분류

가강수량은 split window인 IR1 및 IR2 채널 관측 온도차를 이용하여 산출하게 되는데, 격자 내에 구름이 존재하는 경우 각 채널은 구름 아래의 수증기를 포함한 대기의 상태를 반영하지 못하게 된다. 대부분의 수증기는 대기 하층에 집중적으로 분포되어 있음을 고려하면 격자별 가강수량 산출에 있어서 격자내의 구름역을 제외한 청천역의 관측자료만을 이용하여 격자의 평균적인 가강수량을 산출하는 것이 바람직하다. 청천역 구분에 임계치 테스트나 히스토그램 형상 테스트는 각 격자에 대한 장기간의 통계자료를 필요로 하기 때문에 적용하지 못하고, Lowtran 7 복사모델에서 계산된 각 격자의 지표 TBB 값을 영상 비교를 통하여 구름역을 구분하였다.

Figure 5는 Lowtran 7 모델에서 계산된 격자의 지표 TBB 값을 청천복사의 기준 값으로 하고 온도폭을 각각 1K, 3K, 5K로 설정하여 각 격자에서 관측된 모든 IR1 및 IR2 TBB 값이 임계치 보다 작을 때를 완전한 구름역으로 간주하였다. 구름과 청천역이 공존하는 지역에 대하여는 임계치 보다 큰 값으로 관측된 IR1 및 IR2 TBB 값만을 사용하여 가강수량을 계산하였다. 그림에서 보면 온도폭을 3K로 주었을 때 IR 영상과 가장 흡사하게 구름역이 표현되었다.

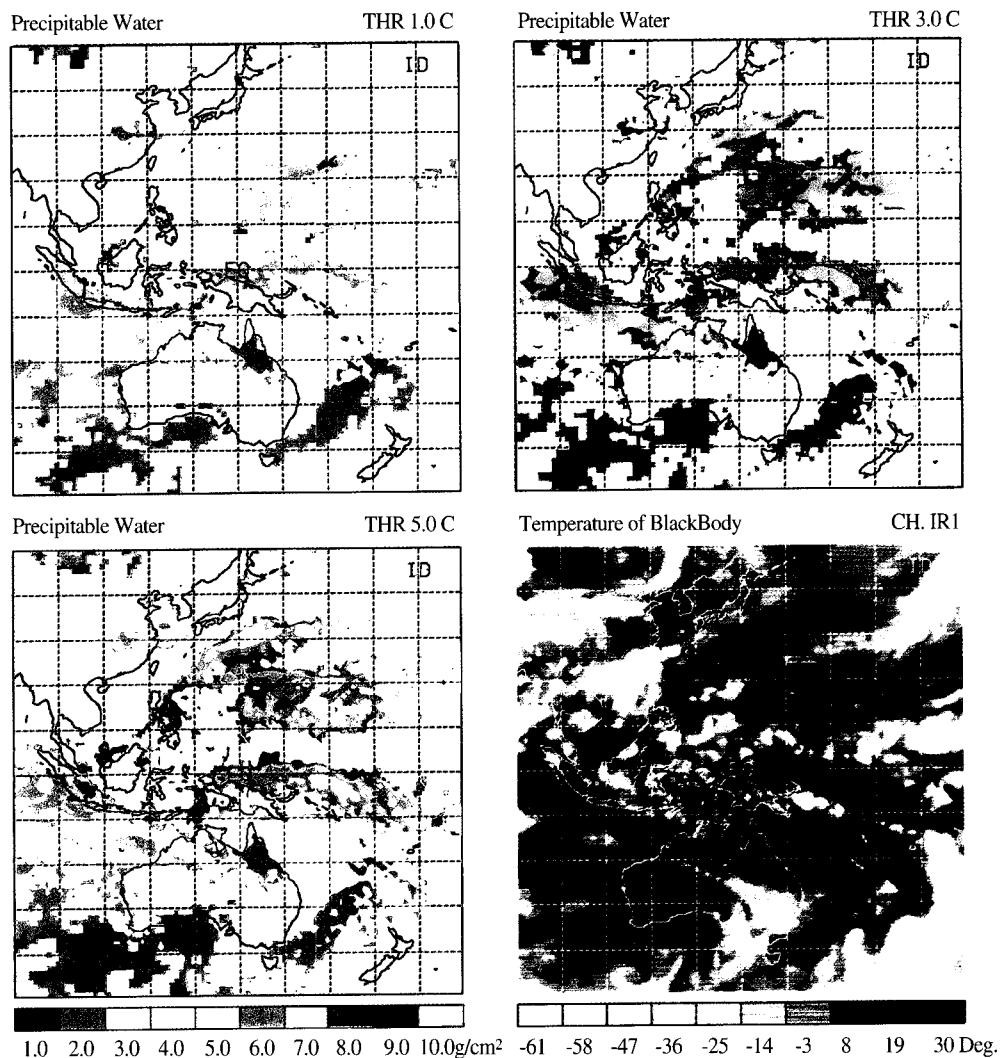


Figure 5. Discrimination of clear sky using blackbody temperature at surface calculated from Lowtran 7 model and comparison of calculated precipitable water for 1K, 3K and 5K of temperature deviation with IR1 image on 12 UTC June 22, 1996.

### 3) 가강수량 계산

대기의 평균 온도인  $T_{atm}$  과 수증기 흡수 파라미터인  $A_1-A_2$ , IR1 및 IR2 채널의 관측 TBB인  $T_{IR1}$ 과  $T_{IR2}$ , 위성 천정각  $\theta$ 를 앞의 식 (6)에 대입하여 청천역내의 가강수량을 산출할 수 있다.

$T_{atm}$ 은 라디오존데 관측자료로부터 계산되어질 수 있다. 그러나 대부분의 GMS-5 관측 영역에 대하여 라디오존데 관측소가 매우 드물기 때문에 라디오존데 관측자료는 거의 사용할 수 없다. 그래서 이번 연구에서는 대기의 평균 온도  $T_{atm}$ 으로 수치예보 전구모델 12시간 예보자료의 700 hPa 온도 자료를 이용하였다.  $A_1-A_2$  값은 시간과 공간에 따라 변하는 값이 아니므로 라디오존데 자료를 회귀 분석하여 구한 GMS-5 적외 split window 채널의 수증기 흡수 파라미터 차이 값인  $-0.0227 \text{ (g/cm}^2\text{)}^{-1}$ 을 사용하였다.

가강수량 산출시 격자내 청천 픽셀로 분류된 IR1 채널 관측 TBB의 평균값이 IR2 채널 관측 TBB 평균값 보다 작은 경우는 GMS-5호 위성 채널 특성상 합리적이지 못하고,  $T_{atm}$ 이 각 채널 관측 TBB 평균값 보다 큰 경우는 찬 구름 운정에서 관측되는 경우이므로 가강수량 계산에서 제외하였다.

#### 4. 산출자료의 정확도 평가

##### 1) 가강수량의 정량적 비교분석

가강수량이란 어떤 일정 대기층이나 대기중에 함유되어 있는 수증기가 전부 응결된다고 가정하였을 경우 물의 양을  $\text{g/cm}^2$ 로 표시한 것으로부터 관측된 총 수증기량에 대한 정량적 검증의 유일한 수단은 바로 라디오존데 관측자료로부터 위 식을 이용하여 계산되는 가강수량과의 비교분석이다. 우리나라 고층 관측소인 오산, 광주, 포항, 제주에서 '96년 8월부터 11월까지 4개월간 관측한 자료중 청천일 경우에 관측된 00UTC와 12UTC 자료는 수증기 흡수 파라미터 산출에 이미 사용되었으므로 정확도 검증에 있어서 완전히 독립적인 자료세트가 아니다.

Figure 6에서 원형으로 표현된 자료는 이 비독립적 자료세트에 대하여 라디오존데 관측 가강수량과 위성산출 가강수량을 비교한 것으로  $0\sim5.0 \text{ g/cm}^2$  범위에 대하여 RMS 오차는  $1.09 \text{ g/cm}^2$ 이고 상관계수는 0.46이다. Figure 6에서 검은 원으로 표현된 자료는 흡수 파라미터 산출에 사용되지 않은 '96년 12월 1개월간 관측된 라디오존데 자료중 청천역 관측자료로 분류된 총 116개의 관측자료에 대하여 완전히 독립적인 검증 자료가 된다. 가강수량  $0\sim3.0 \text{ g/cm}^2$  범위에 대하여 RMS 오차는  $0.65 \text{ g/cm}^2$ 이고 상관계수는 0.45이다.

Table 2는 Fig. 6에서 보여준 비독립 자료세트와 독립 자료세트 및 전체 자료세트에 대한 라디오존데 관측 가강수량과 GMS-5 위성산출 가강수량 차이에 대한 통계자료이다. 전체 자료세트에서 가강수량  $0\sim3.0 \text{ g/cm}^2$  범위에 대하여 RMS 오차는  $0.90 \text{ g/cm}^2$ 이고 상관계수는 0.46이다. 이 결과는 GMS-5 split window를 이용하여 대략 50% 정도의 오차를 갖는 시간별 가강수량 값을 구할 수 있음을 의미한다.

검증을 위하여 사용된 자료는 개수가 충분하지 않고 또한 가강수량이 비교적 적은 값을 보이는 지리적 위치와 계절에 자료가 편중되어 있어 위성산출 가강수량이 보이는 전반적인 특성을 분석

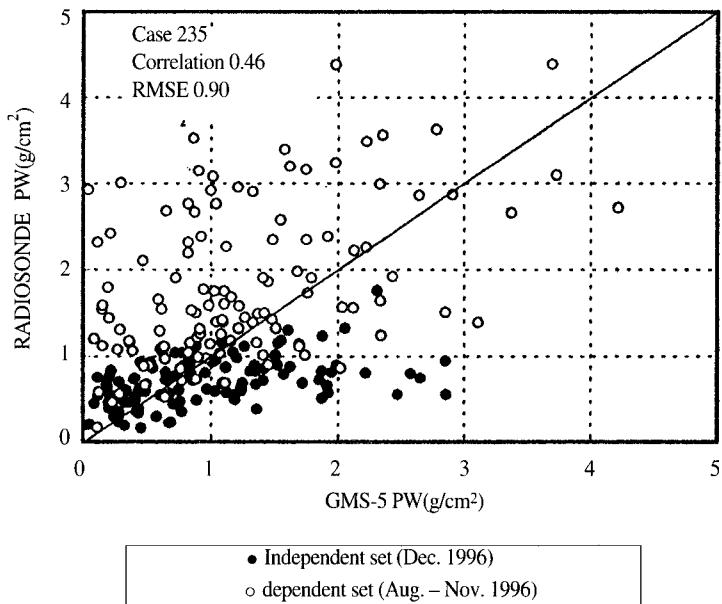


Figure 6. Comparison of the radiosonde-derived "ground truth" precipitable water values with the corresponding GMS-derived values.

하기에는 적합하지 않다. 그러나 사용된 자료에 대한 결과만으로 판단하면 가강수량  $3.0 \text{ g}/\text{cm}^2$  이하의 독립 자료세트에서는 위성 가강수량이 더 크게 산출되고, 비교적 큰 값을 포함하는 비독립 자료세트에서는 위성 가강수량이 작게 계산된다. 전체적으로는 위성 산출값이  $0.16 \text{ g}/\text{cm}^2$  작게 나타난다. 이는 수증기 흡수 파라미터의 차이 값이 실제보다 크게 산출되었음을 의미한다. 이외에도 위성산출 가강수량의 오차는 위성 각 채널의 관측오차, 청천역내의 제거되지 않은 구름의 영향, 1 층 모델 자체가 가지는 오차 등에 기인한다.

Table 3에 미국 극궤도 위성인 NOAA7의 AVHRR(Kleespies, 1990), 정지 기상위성인 GOES5의 VAS(Kleespies, 1990) 및 국방 위성인 DMSP의 SSMI(Sohn, 1996)로부터 산출된 가강수량과 라디오

Table 2. Statistical measures of the differences between the satellite and "ground truth" measurements of precipitable water for the dependent, independent and total radiosonde sites.

Statistical Measure	Dependent set Aug. – Nov. 1996	Independent set Dec. 1996	Total set Aug. – Dec. 1996
Clear cases	119	116	235
Correlation	0.46	0.45	0.46
Mean error( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.55	-0.24	0.16
RMS error( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	1.09	0.65	0.90

존데 관측 가강수량과의 비교 결과를 요약하여 나타내었다. NOAA7/AVHRR로부터 산출된 결과는 우리의 산출 결과 보다 상당히 정확한 값이라고 할 수 있다. NOAA/AVHRR의 split window 채널은 GMS-5호 보다 명확히 구분되어 두 채널의 관측 TBB 차이가 대기중의 수증기를 보다 잘 표현하고 또한 AVHRR 적외 채널의 분해능은 GMS-5호 보다 4배 이상 높기 때문에 실질적으로 GMS 보다 훨씬 선명하고 좋은 정보를 주는 것은 당연하다고 할 수 있다.

Table 3. Statistical comparison of radiosonde-observed values with NOAA/AVHRR, GOES/VAS and DMSP/SSMI-derived precipitable water respectively.

Statistical Measure	NOAA7//AVHRR Kleespies, 1990	GOES5/VAS Kleespies, 1990	DMSP/SSMI Sohn, 1996
Correlation	0.77	0.36	
Mean error(g/cm <sup>2</sup> )	0.18	-0.49	-0.08
RMS error(g/cm <sup>2</sup> )	0.65	0.93	0.24

정지 기상위성인 GOES5/VAS에 대한 결과와 비교하면 GMS-5호로부터 산출한 가강수량이 더 좋은 결과를 나타낸다. GMS-5호에 대한 결과는 실제보다 낮게 산출되는데 반해 GOES5로부터 산출된 가강수량은 실제보다 크게 나타나는 경향이 보인다. DMSP/SSMI에 대한 결과는 해양상의 월 평균 가강수량에 대한 통계자료로 라디오존데 관측값보다 조금 크게 나타나는 경향을 보인다. 이 자료는 라디오존데 자료가 결핍된 해양상의 월평균 자료로 사용하는데 충분한 정확도를 가진다.

## 2) 가강수량의 정성적 비교분석

다음 Fig. 7에 1996년 8월 15일 12 UTC 및 12월 28일 00 UTC의 GMS-5호 관측 자료로부터 산출한 가강수량은 원쪽, 동일한 시간의 수치예보 전구 분석자료로부터 계산한 가강수량은 오른쪽에 나타내어 가강수량의 공간적 분포를 비교하였다. 8월 15일 비교 자료에서 위성 가강수량은 수치 분석된 가강수량보다 전체적으로 낮게 산출되는 경향을 볼 수 있는데 우리나라 내륙 및 해역에서 위성 가강수량은 1~2 g/cm<sup>2</sup>의 값을 보이고 수치 분석된 가강수량은 3~4 g/cm<sup>2</sup>로 나타난다. 그러나 전체적인 분포 형태나 가강수량 값의 공간적 변화 경향은 매우 유사함을 알 수 있다. 12월 28일 자료에서는 우리나라 부근의 위성 가강수량 값과 수치 분석된 가강수량 값이 모두 2 g/cm<sup>2</sup> 이하의 낮은 값을 보이고 있다. 또한 호주 북쪽의 다윈 근처에서는 두 자료 모두 매우 큰 가강수량 분포를 나타내면서 대륙 전체에 걸쳐 매우 유사한 분포 형태를 보인다. 그러나 위성 산출 자료에 나타나는 파푸아뉴기니아 북쪽 해역의 국지적인 낮은 가강수량 분포나 마리아나 제도 근처 해역 북위 20°를 따라 나타나는 낮은 가강수량 분포 등은 수치 분석 자료에서는 보이지 않는다. 그러므로 위성 산출 가강수량 자료는 특히 관측 자료가 결핍된 해양에 대한 좋은 관측 자료로 활용될 수 있다.

Estimation of Precipitable Water from the GMS-5 Split Window Data

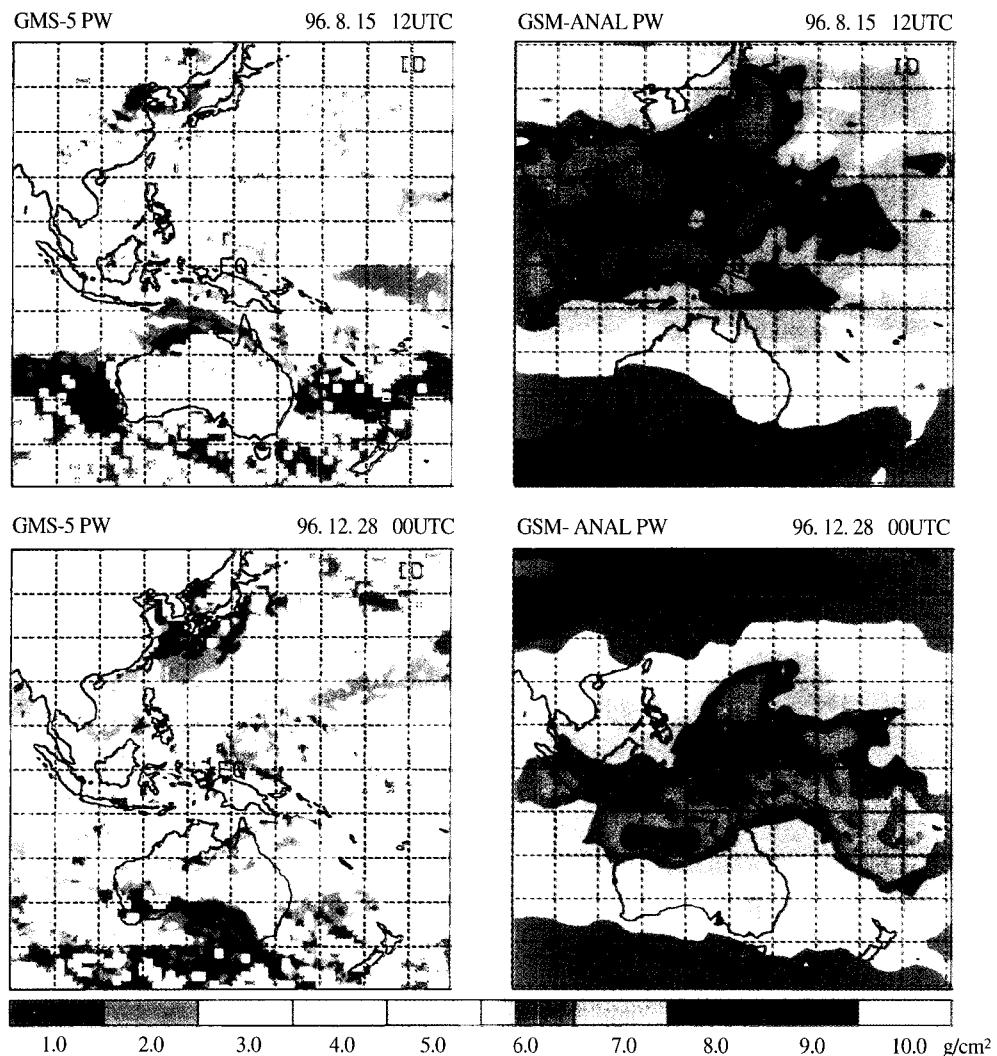


Figure 7. Comparison of precipitable water distributions derived from GMS-5 with the corresponding precipitable water distribution analyzed from Global Spectral Model of KMA.

## 5. 강수량 분포분석

대기중의 수증기량은 높이가 증가함에 따라 감소되는 경향이 있고, 단위 단면적의 공기기둥에 포함되어 있는 전 수증기량, 즉 강수량의 대부분은 대류권 내에 있으며, 또 그중 약 반은 높이 2

km 까지 하층에 포함되어 있다. 지구대기의 연평균 가강수량은 열대해양에서는 약  $4.5 \text{ g/cm}^2$ , 극지방에서는 약  $0.7 \text{ g/cm}^2$ 로서 평균  $2.5 \text{ g/cm}^2$  정도이다.

Figure 8은 이 연구에서 개발한 가강수량 산출 기법을 GMS-5 split window 관측 휘도 온도에 적용하여 구한 1996년 9월부터 12월까지의 월평균 가강수량의 공간 분포이다. 9월에는 북반구 서태평양 열대와 동아시아 지역에  $6.0 \text{ g/cm}^2$  이상의 높은 가강수량 분포가 나타나고 호주 북쪽지역은 30

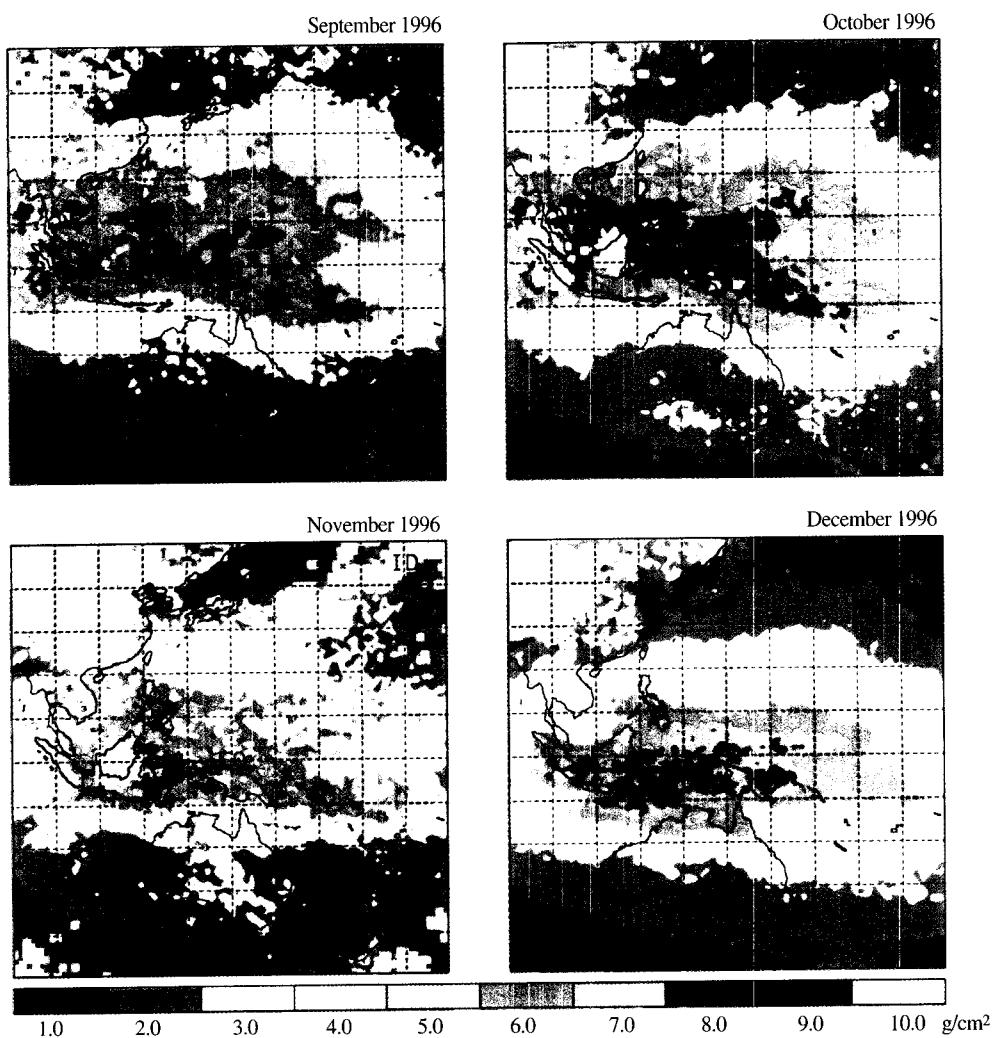


Figure 8. Geographical distributions of monthly precipitable water derived from GMS-5 in Sep., Oct., Nov. and Dec. 1996.

$\text{g/cm}^2$  이하의 낮은 가강수량 분포를 보인다. 높은 가강수량을 나타내는 구역은 적도를 중심으로 북반구 쪽으로 치우쳐 나타난다. 12월의 가강수량은 적도를 중심으로 위도가 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 보인다. 서태평양 난수역에서는 9월 자료와 마찬가지로  $6.0 \text{ g/cm}^2$  이상의 높은 가강수량을 나타내며 호주 북쪽지역 까지 높은 가강수량을 나타내는 것을 볼 수 있다. 우리나라를 비롯한 일본 등 중위도 지역에서는  $2.0 \text{ g/cm}^2$  이하의 월평균 수증기 분포를 보이고 있다. 평균 분포에서 나타나는 가장 큰 특징은 북반구 서태평양의 열대와 중위도 지방에서 나타나는 총 수증기량의 계절변화이다. 겨울동안 인도네시아와 호주 북쪽에 보이는 겨울 몬순은 계절의 변화에 따라 여름에는 동아시아-서태평양 중위도 지역의 하계몬순으로 나타나고 있다. 그 외 우리나라를 포함한 중위도 지역은 총 수증기량의 계절변화가 크지 않음을 알 수 있다. 티벳고원 지역은 지역적 특성 때문에 위성 관측에 의한 가강수량 분포가 산출되지 않았다. 현재는 GMS-5가 운영된지 오랜 기간이 경과하지 않았기 때문에 장기간의 관측자료를 이용할 수 없으나 시간이 경과되어 충분한 자료가 확보되면 이를 이용하여 총 수증기량의 지역 규모 연변화 특징을 분석할 수 있다.

## 6. 결 론

이 연구에서는 두 적외채널의 수증기 흡수 특성을 차이를 이용하여 대기중에 함유되어 있는 수증기 총량인 가강수량을 산출하였다. 가강수량 산출에는 Chesters et al(1983)이 개발한 알고리즘을 사용하였으며, 가강수량 산출시 사용한 split window의 수증기 흡수계수는 우리나라 고층관측소인 오산, 광주, 포항, 제주에서 '96. 8월부터 12월까지의 5개월간 관측한 라디오존데 자료와 위성 관측 자료의 회귀분석을 통하여 산출하였다. 산출된 가강수량은 라디오존데 관측자료와 비교한 결과 0.46 정도의 상관계수와  $0.9 \text{ g/cm}^2$ 의 RMS 오차를 보였다. 이 결과는 아직 현업화에는 어려움이 있겠으나 이 연구에서의 가강수량 산출방법이 상당한 정확도를 가지고 활용 가능함을 시사한다.

한편 대기와 지상 온도의 차이가 크지 않을 때나 관측 시야 내에 수증기가 많이 존재할 때는 위성으로부터 정확도 높은 가강수량을 산출하기는 어렵다. 채널간의 관측 희도 온도 차이가 1K 미만인 경우나 산출된 가강수량 값이  $6 \text{ g/cm}^2$ 를 초과하는 경우는 위성 관측 해상도로는 식별이 안되는 구름의 영향을 의미하므로 이러한 경우를 제외하는 등 QC(Quality Control)를 통하여 가강수량을 산출하면 좀 더 신뢰성 있는 자료만을 얻을 수 있다. 또한 청천 픽셀과 구름 픽셀의 분류 방법을 개선하고 수증기 흡수계수 산출에 장기간의 고층 관측자료를 이용하면 전체적인 정확도 향상이 가능하다.

연구 결과의 지속적 개선을 통한 산출 결과의 정확도 향상과, 산출 결과를 현업화 함으로써 가강수량 자료를 정규 생산하면 신뢰성 있는 전구 수증기 분포 자료를 지속적으로 제공할 수 있게 된다. 대기중 수증기 분포의 관측은 일기와 기후의 이해에 매우 중요한 정보를 제공하는데 기존의 관측체계로는 극히 제한된 지역의 수증기 분포만을 관측할 수 있었다. 그러나 위성으로부터 산출되는 가강수량 자료는 육지 및 해양상의 라디오존데 관측 공백지역을 보완하여 수치예보 객관 분

석에 활용될 수 있으며 따라서 습기장 분석의 정확도 향상에 기여할 수 있다. 또한 이 자료는 국지적으로는 한반도 상공의 수자원 평가에 활용이 가능하며 전구 규모로는 동아시아 하계 몬순과 관련된 수증기 분포 연구에도 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 기상연구소 원격탐사연구실 1996년 기본연구과제의 일부로 수행되었음을 밝히며, 이 연구를 위하여 GMS-5 위성 관측 자료를 제공해 주신 기상청 위성담당 직원에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- Anding, D., and R. Kauth, 1969. *Atmospheric modeling in the infrared spectral region : Atmospheric effects on multispectral sensing of sea surface temperature from space*. Rep. 2676-1-P, Willow Run Lab., Inst. Sci. Technol., University of Michigan.
- Chesters, D., L. W. Uccellini and W. D. Robinson, 1983. Low level water vapor fields from the VISSR Atmospheric Sounder(VAS) "Split Window" channels. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22(5), 725-743.
- Jedlovec, G. J., 1990. Precipitable water estimation from high-resolution split window radiance measurements, *J. Appl. Meteor.*, 29, 863-877.
- Kleespies, T. J. and L. M. McMillin, 1990. Retrieval of precipitable water from observations in the split window over varying surface temperature. *J. Appl. Meteor.*, 29, 851-862.
- MacMillin, L. M., 1971. *A method of determining surface temperatures from measurements of spectral radiance at two wavelengths*. Ph.D dissertation, Iowa State University.
- Sohn, B. J., 1996. Intercomparison of SSM/I-derived column water vapor over the global ocean. Proc. of International Symposium on Remote Sensing, Cheju, Kor. Soc. of Remote Sensing, 159-164.