

GMS-5 자료를 이용한 구름 수액량 추정 연구

차주완 · 윤홍주

기상연구소 원격탐사연구실

Estimation of Cloud Liquid Water used by GMS-5 Observations

Joo-Wan Cha and Hong-Joo Yoon

Remote Sensing Research Laboratory, Meteorological Research Institute

Abstract : The CLW (Cloud Liquid Water) is a parameter of vital interest in both modeling and forecasting weather. In mesoscale models, the magnitude of latent heat effects corresponds to the amount of CLW, which is important in the development of a certain weather system. The goal of this study is the estimation of CLW by GMS-5 data which is compared with that of SSM/I data and GMR (Grounded Microwave Radiometer) data. First of all, we found out the relationship of cloud albedo to cloud thickness, and calculated the CLW using the result of the relationship. The CLW amount of SSM/I or GMR and that of GMS-5 were compared, respectively. The correlation coefficient was about 0.86 and RMSE was 9.23 mg/cm² between GMS-5 data and GMR data. And also the correlation coefficient was 0.84 and RMSE was 14.02 mg/cm² between GMS-5 data and SSM/I data.

Key Words : CLW (Cloud liquid Water), SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager), GMS-5 (Geostational Meteorology Satellite -5), GMR (Grounded Microwave Radiometer)

요약 : 구름 수액량은 일기예보나 수치예보 모델링 분야에 매우 중요하다. 그리고 중간규모의 기상현상에서 잠열의 크기를 좌우하며, 여러 규모의 기상 관련 모델 시스템을 개발 할 때에도 중요한 요소로 작용한다. 본 연구에서는 GMS-5 자료를 이용하여 구름 수액량을 추정하고, SSM/I 자료와 지상 마이크로파복사계에 의한 구름 수액량과 비교하였다. 먼저, 본 연구는 구름알베도와 구름 두께와의 관계를 찾아내고 이 관계를 이용하여 구름 수액량을 계산하였다. 그리고 여기서 구해진 결과를 SSM/I 자료와 지상 마이크로파복사계에 의한 구름 수액량과 비교하였다. GMS-5 자료와 지상 마이크로파복사계에 의한 구름 수액량값의 상관계수는 0.86, RMSE 는 9.23 mg/cm²로 나타났고, SSM/I 자료와의 상관계수는 0.84, RMSE =14.02 mg/cm² 이었다.

주요어 : CLW (Cloud liquid Water), SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager), GMS-5 (Geostational Meteorology Satellite -5), GMR (Grounded Microwave Radiometer)

I. 서론

구름수액량(Cloud Liquid Water)은 수치 예보 모델이나 대기과학 분야에서 중요한 요소이며, 기상요소 중 특히 잠열 효과의 크기는 구름수액량에 따라 변화기 때문에 여러 규모의 기상현상들과 관련해서 구름수액량 추정은 매우 중요하다. 특히 기상연구소 수문기상연구실에서는 인공증우실험을 위한 구름수액량을 관측하기 위하여 마이크로파 복사계를 이용하여 안동댐 근처에서 구름수액량을 직접 관측한 바 있다(정관영 외, 1998). 이런 한정된 지역에서의 관측값이 아니라 우리나라의 전체적인 구름수액량 정보를 알수 있다면 인공증우와 같은 실험에 크게 기여를 할 것이다. 따라서 이번 연구를 더욱 발전 시킨다면 이와같은 구름수액량을 필요로하는 연구에 기본적인 자료를 제공할 수 있는 것이다.

구름수액량 추정은 주로 마이크로파 센서를 가진 위성에 의해서만 그 추정이 가능하다. 그러나 현재 우리나라에서는 아직 실시간적으로 마이크로파를 가진 위성의 자료를 수신할 수 없다. 또한 실제로 SSM/I 자료를 이용하기에는 많은 제약이 있다. 그리고 SSM/I센서가 탑재된 위성은 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program)에서 운영되기 때문에 항상 일정한 지역에 대하여 규칙적으로 자료를 얻을 수 없고 또한 이 자료는 실시간으로 이용하기는 현재로서는 어려움이 많다. 따라서 이런 제약을 받지 않고 정기적으로 수신되는 GMS-5 자료를 이용함으로써 많은 이점을 가질 수 있다. 그러나 이 위성은 가시영역과 적외영역에서만 관측을 수행하므로 구름수액량에 아주 민감하게 반응하는데 이에 따른 문제점들이 있다. 이러한 어려움에도 불구하고 GMS-5 자료와 같은 정지궤도위성자료는 항상 일정한 지역에 대한 관측값을 얻을 수 있는 장점 때문에 이 분야에 대한 연구가 많이 수행되었다. 우리나라의 경우 기상연구소(기상연구소, 1990)에서 GMS 위성의 Brightness Temperature 자료와 고층기상자료를 이용하여 구

름두께를 계산한 바 있다. 즉 구름 두께와 GMS자료에 의해 계산된 구름 알베도와 관계를 유도하여 구름의 수분양을 추정하였다. 외국의 경우 Halle (1988)은 구름두께와 구름 알베도 사이의 관계를 1차선형함수로 가정하고, IR(InfraRed)자료에서 구한 pixel들 중에 구름이 있다고 판정된 pixel들의 평균온도와 관측자료의 객관분석으로서 얻은 대기의 연직구조와 비교하여 운정고도와 운저고도를 결정하여 구름두께를 계산하였고, 이 구름층에서 통계적으로 구한 수분의 연직분포를 각 등압면에 고정값으로 사용하였다.

Loju et al(1991)는 마이크로파센서가 탑재된 극궤도위성인 Nimbus-7의 SMMR(Scanning Multichannel Microwave Radiometer)자료와 정지위성인 GOES-1의 VISSR(Visible and Infrared Spin-Scan Radiometer)자료를 이용하여 두 위성에서 관측된 자료를 MONEX(Monsoon Experiment) 기간에 비교를 하였다. Jone and Vonder Haar(1990)는 SSM/I 자료중 85GHz의 자료를 이용한 구름 수액량을 추정하는 기술을 개발하였다. 그들은 지면의 마이크로파 반사효과를 없애기 위해 정지위성인 GOES-6의 VISSR 자료를 이용하여 지면온도를 추정하여 이로부터 지면에서 나오는 방출량을 계산하고, 육상에서 구름수액량을 추정할 때 지면에 의한 노이즈 효과를 제거하였다. Green et al. (1997)은 GOES-8로부터 관측된 태양광의 반사도 값과 SSM/I 37 GHz의 값을 이용하여 구름수액량을 구하였다.

본 연구는 GMS-5 위성자료를 이용하여 구름수액량을 추정하고 이를 SSM/I 자료와 마이크로파복사계와 비교하였다. 또한 이 연구는 지상관측값과 약간의 차이는 있었지만 이론적인 면에서 GMS자료를 이용한 구름수액량을 산출하는 방법을 제시하였다. 앞으로 SSM/I 자료를 이용하여 육상에서의 구름수액량을 구하고, 이를 고층기상자료에서 구한 값과 GMS-5 위성에서의 값과 비교하면 GMS-5 위성을 이용한 구름수액량을 구하는 알고리즘을 더욱 향상시킬 수 있을 것이다.

II. 가시자료를 이용한 구름수액량 추정방법

구름알베도는 GMS-5에 의해서 계산하였고, 그리고 이는 구름수액량의 변화에 밀접한 관계를 가진다. Stephens(1978a)은 구름알베도와 구름수액량의 함수를 계산하였다. 이런 경우에 가시영역의 파장에서 구름수적에 의한 흡수는 무시한다. 또한 해면에서 태양광에 대한 반사도는 약 0.1 이하로 그 값을 모델에 넣어 계산할 경우 오차가 0.01% 이하이기 때문에 이런 태양광의 반사에 따른 오차는 무시하였다. 따라서 간단하게 구름층의 광화학 두께(τ_c)의 알베도는 식(1)과 같이 근사된다 (Coakely and Chylek, 1975).

$$A_c = \frac{\beta(\mu_0)\tau_c/\mu_0}{1+\beta(\mu_0)\tau_c/\mu_0} \quad (1)$$

여기서 μ_0 는 $\cos(\theta)$ 이고 θ 는 천정각이다. β 는 구름정상부에서 입사된 일사량 중 후방산란된 부분을 의미한다. 표준 운형에 대해 구름알베도 계산을 위한 다중산란 모델을 이용하였고(Stephen, 1978b), 0.3-0.75 μm 의 파장대에 대한 β 의 평균값을 계산하였다(Stephen et al(1984). 또한 구름두께와 구름수액량사이의 관계를 식(2)와 같이 수식화하였다(Stephen(1978b)).

$$\log_{10}\tau_c = 0.2633+1.7095\log_e[\log_{10}CLW] \quad (2)$$

$$CLW=10^{e^{((\log_{10}\tau_c-0.2633)/1.7095)}} \quad (3)$$

여기서 CLW는 구름수액량($10 \times \text{mg}/\text{cm}^2$)이다. 따라서, 이 식에 의해서 구름알베도로부터 구름수액량을 구할 수 있다.

$$\beta(\mu_0)\tau_c = \mu_0 \frac{A_c}{1-A_c} \quad (4)$$

여기서 $\beta\tau_c$ 는 τ_c 의 단순한 함수관계를 나타낸다 (Fig. 1 참조). 이 관계로부터 구름알베도에 의한 구름두께를 계산하고 식(3)에 의해서 구름수액량을 구하게 된다. 그리고 본 연구는 최종적으로 지상 관측값과 비교하기 위하여 평균 강수량이 0 인

날(강수가 없는 날)만을 선정하여 이루어졌다. 또한 SSM/I자료에 의해 산출된 구름수액량과도 비교하였다. 이번 연구는 일단 구름수액량이 적은 경우(육상에서는 약 100 mg/cm^2 이하인 경우와 해양에서는 약 340 mg/cm^2 이하인 경우에 대해서 수행 되었다)대해서만 연구를 하였다. 아직 초기 단계의 연구이기 때문에 구름이 많은 경우에 지상 관측값과 강수가 있을 경우 대한 연구는 향후 지속적으로 이루어 질 것이다.

III. 지상 마이크로파복사계 특성

기상연구소에서는 지상 마이크로파복사계 (WVR-110)을 이용하여 1997년 3월에서 1998년 2월까지 경상북도 영주에서 구름수액량과 수증기량을 측정하였다. 이 복사계는 2중 주파수대 총수신전력형 복사계로 23.8GHz와 31.4GHz에서 작동되며, 두 주파수로 선택된 경로를 따라 구름수액량과 수증기량을 동시에 측정 할 수 있다. 23.8 GHz 주파수는 대기관측에서 잘못된 결과를 유발할 수 있는 위성의 다운링크 주파수대가 아닌 남겨진 주파수 밴드이기 때문에 선택되었다. 대기에서 구름 수액은 31.4GHz 관측에서 우세한 반면, 수증기는 23.8 GHz 채널에서 우세하다. 따라서 수증기와 구름 수액 신호는 이러한 두 주파수에서의

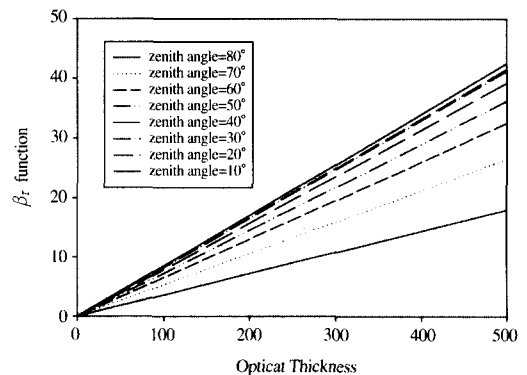


Fig. 1. $\beta\tau_c$ function and τ_c for various solar zenith angles(Stephen, 1978b).

관측에 의해 분리될 수 있다.

IV. SSM/I 자료 처리

SSM/I 자료는 미국의 GHRC(Global Hydrology Resource Center)에서 제공하는 자료를 이용하였다. 그러나 이 DMSP 위성자료인 SSM/I는 우리나라를 지나가는 시간이 대체적으로 밤이 많았기 때문에 낮 동안의 자료를 선택하기가 쉽지 않았다.

먼저 SSM/I 자료를 처리하기 위해서는 HDF 포맷을 읽어서 처리하는 방법을 알아야한다.

이 자료를 읽기 위해서는 자료의 구성요소를 파악해야 한다. GHRC에서는 크게 Brightness Temperature Data Set와 Geophysical Product Data Set을 각각 제공한다. 이 Brightness Temperature Data Set은 7개의 채널(V19, H19, V22, V37, H37, V85, H85 GHz)에 대한 자료로서, 이는 또한 각각 위성이 지나가면서 스캔한 자료인 Swath 자료와 각 격자별로 재처리한 Grid 자료가 있다. Geophysical Product Data Set은 GHRC에서 생산하는 자료로 구름수액량, 해상풍, 적산 수증기량을 Swath와

Grid 자료로 제공한다.

본 연구에서는 일단 GHRC에서 제공하는 구름 수액량을 이용하였다. 여기서 제공되는 자료 중 격자별 자료가 필요하기 때문에 격자별 자료를 이용하였고, 이를 활용하여 본 연구에 필요로하는 자료를 가공하여 이용하였다.

V. 자료

1. 지상 마이크로파복사계 관측 자료

1997년 3월 10일부터 12월 3일까지 9개월간의 자료로 그중 73일간의 자료를 이용하였다. 그리고 지상 마이크로파복사계 관측값 중 구름 수액량이 100mg/cm² 이하인 경우에 평균강수량이 0 mm이었기 때문에 본 연구에서는 강수가 없는 날에 대해서 지상 마이크로파복사계와 비교 하였다. 강수가 있는 경우에는 떨어진 강수량이라든가, 지면 조건 등 구름 수액량의 추정하는데 어려움이 많기 때문에 일단 구름의 변화와 일기상 변화의 조짐을 미리 알 수 있는 강수가 없을 경우의 구름 수액량 변화에 대해서 연구가 이루어졌다. Fig. 2는 지상

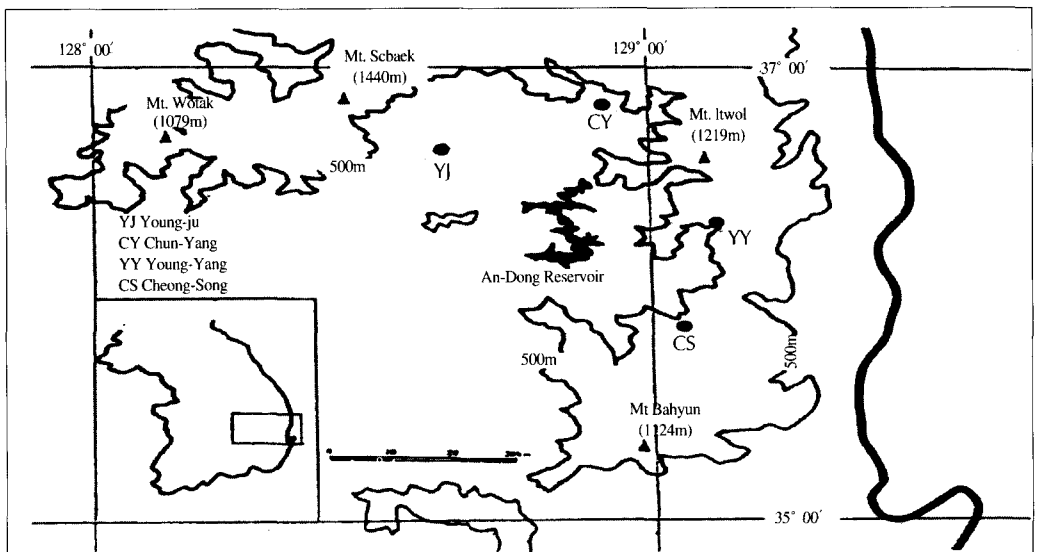


Fig. 2. Location of microwave radiometer in Young-Ju.

Table 1. Date and location of satellite images used in the comparsion

Date	Latitude range	Longitude range
3. June. 1997	41.5N - 49.5N	139.5E - 145.0E
4. June. 1997	41.5N - 49.5N	141.0E - 145.0E
5. June. 1997	47.0N - 49.0N	144.0E - 145.0E
11. June. 1997	35.5N - 50.0N	141.0E - 145.0E
19. June. 1997	37.0N - 39.5N	143.0E - 145.0E
20. June. 1997	37.5N - 47.5N	144.5E - 145.0E
28. June. 1997	37.5N - 47.5N	140.5E - 145.0E
29. June. 1997	45.0N - 49.5N	144.5E - 145.0E

마이크로파복사계를 이용하여 관측한 위치이다.

2. SSM/I 자료

본 연구 기간은 매 0600 UTC에 대해서 1997년 6월3일에서 6월 18일까지의 GMS-5 자료와 SSM/I자료를 이용하였다. 각 자료의 격자 간격은 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 이다. SSM/I 자료는 미국의 GHRC에서 제공하는 구름 수액량을 이용하였다. 이 구름 수액량은 Wentz(1983)가 계산한 알고리즘을 이용하였다. 이 방법은 육상에서 구름 수액량을 추정할 수가 없다. 따라서 해상에서의 값을 GMS에 의해서 구해진 구름 수액량 값과 비교하였다.

3. GMS-5 자료

GMS-5자료는 기상청에서 제공하는 3시간 간격의 가시자료를 이용하였다. 그리고 마이크로파복사계와 SSM/I 자료와 비교하기 위해 각각 1997년 3월 10일부터 12월 3일까지 9개월간의 자료와 1997년 6월3일부터 6월 18일까지의 기간에 대해서 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 간격의 격자 자료를 만들어 이용하였다.

VI. 결과 및 고찰

1. 지상 마이크로파복사계와의 비교 및 검증

Fig. 3은 1997년 6월 11일 0300UTC때의 가시영상과 적외영상을 각각 나타낸 것이다. 여기 이 영상들은 전체적인 구름 분포를 잘 나타내어주고 있다. Fig. 4는 본 연구의 알고리즘을 이용하여 계산한 결과를 나타내었다. 일본 상공의 구름 수액량이라는가 우리나라 상공의 구름수액량 등 전체적으로 구름 분포와 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. Fig. 5는 한반도 지역의 구름 수액량을 추정한 것으로 해안가를 중심으로 하여 높은 값을 보였다. 여기서 산출된 자료를 지상 마이크로파 복사계의 관측값과 비교를 하였다. Fig. 6은 한반도를 중심으로 하여 선택된 기간의 73일간의 0300 UTC

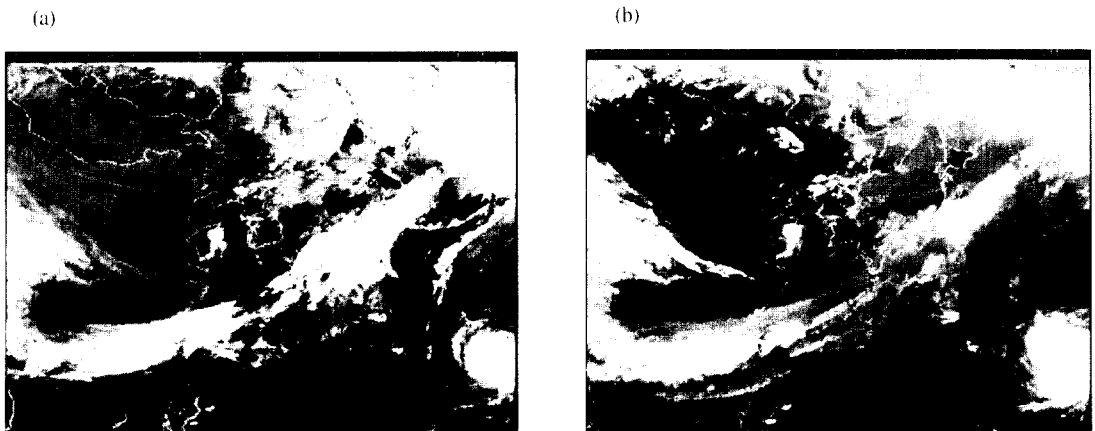


Fig. 3. (a) GMS visual image and(b) GMS InfraRed Image at 0300UTC 11 June, 1997 in the East Asia.

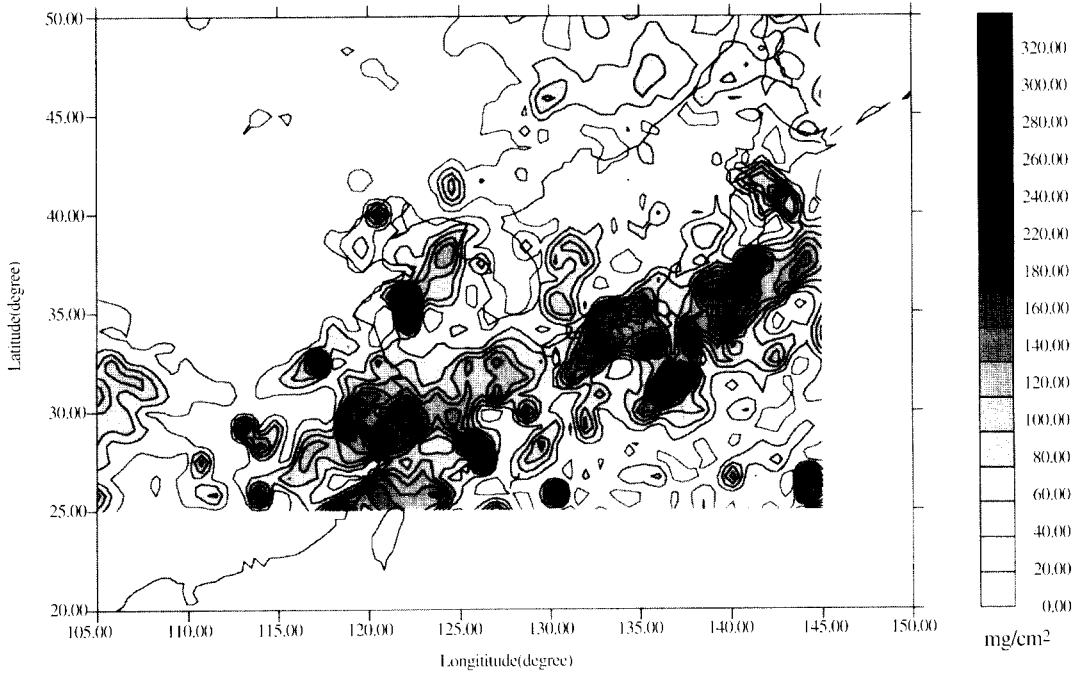


Fig. 4. Estimated amount of Cloud Liquid Water at 0300UTC 11 June, 1997 in the East Asia.

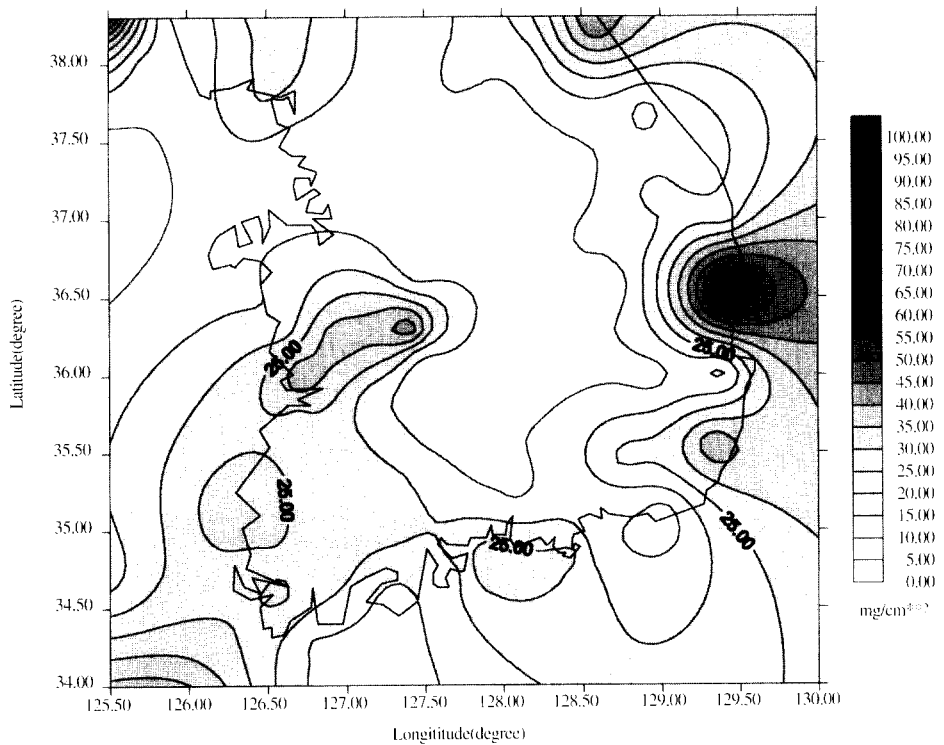


Fig. 5. Estimated amount of cloud Liquid Water at 0300UTC 11 June, 1997 in the South Korea.

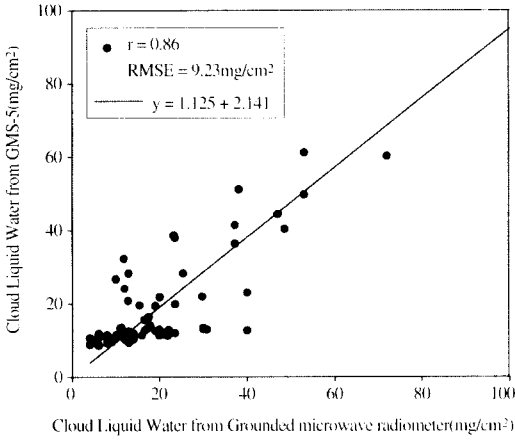


Fig. 6. Comparison of GMS-5 and Grounded Microwave Radiometer for estimated CLW.

때에 GMS-5에 의해 산출된 구름액량과 지상 마이크로파복사계에 의해 관측된 구름수액량 간의 비교를 나타낸다. 100 mg/cm² 이하에서의 상관도는 0.86 이었고 RMSE는 9.23 mg/cm²였다. 그리고

회귀식은 $y = 1.125x + 2.141$ 로 나타났다.

2. SSM/I 자료와의 비교 및 검증

SSM/I 자료는 주간에 우리나라 상공을 거의 지나지 않는다. 그래서 선정된 1997년 6월 11일 0300UTC의 자료가 없었기 때문에 가장 근접한 시간인 0600UTC의 값에 대해서 GMS-5에 의해서 구한 값과 비교하였다. Fig. 7은 Wentz(1983)방법에 의해 계산된 SSM/I 관측한 자료의 구름 수액량을 나타낸 것이다. 이때 1997년 6월 11일 0600UTC에 동아시아 영역을 지나는 경로는 Fig. 7의 맨 오른쪽 경로이다. 이날은 대체적으로 구름이 적은 날이었고 GMS-5 영역에서 주간에 SSM/I 위성의 그 경로와 겹치는 부분은 주로 위도 40°에서 49° 이하 와 경도 140°에서 145° 이하의 격자로 구분된다. 따라서 제한된 지역만의 자료를 얻을 수 있기 때문에 GMS-5의 관측자료(가시영역)와 SSM/I 자료를 비교하는 것에는 많은 어려

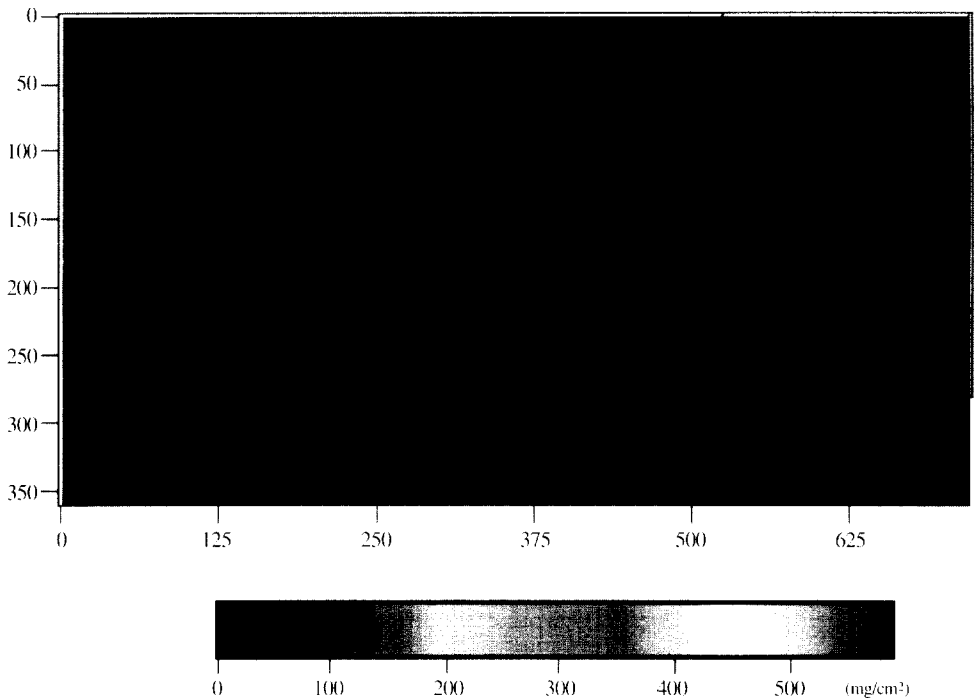


Fig. 7. Estimated CLW using SSM/I data at 0600 UTC 11, June 1997.

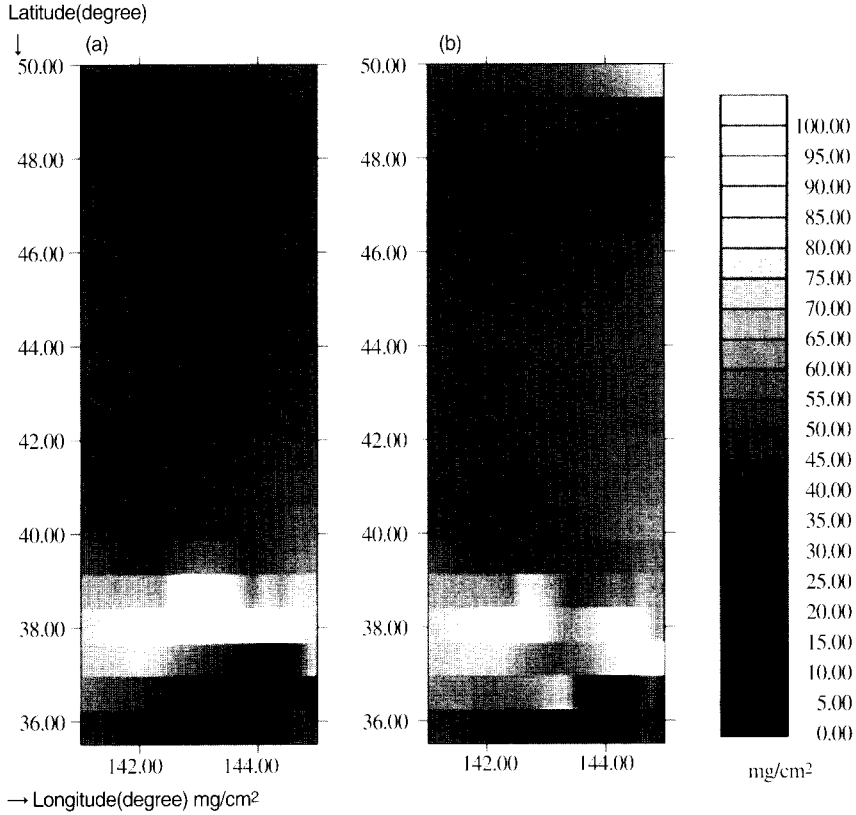


Fig. 8. Comparison of(a) CLW using GMS-5 and(b) CLW using SSM/I at 0600 UTC 11 June, 1997.

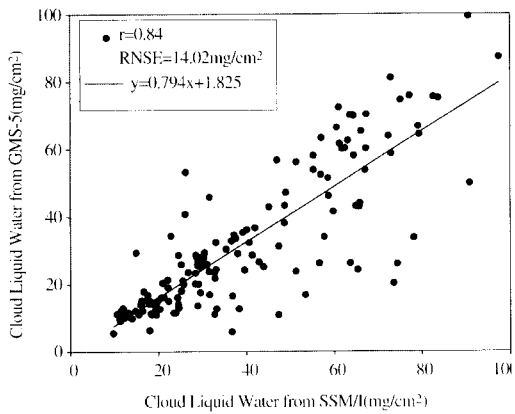


Fig. 9. Comparison of GMS-5 and SSM/I for estimated CLW.

움이 있었다. 본 연구에서는 6월중에서 SSM/I 자료가 GMS-5 영역에 0600UTC에 지나갔을 때 자

료를 선정하여 구름 수액량을 계산하였다. Fig. 7에서 적색 박스로 된 부분이 GMS-5 영역이다. Fig. 8은 GMS-5에 의해서 계산된 구름 수액량과 SSM/I에 의해서 계산된 구름 수액량을 비교한 것으로 분포 패턴에 약간의 차이는 있지만 전체적으로 잘 맞았다. 그리고 Fig. 9는 전체적인 격자점에 대한 GMS-5와 SSM/I 자료에 의해 계산된 구름 수액량을 비교하였다. 이때 상관계수는 0.84, RMSE는 14.02 mg/cm² 그리고 회귀식은 $y = 0.794x + 1.825$ 로 각각 나타났다. 그러나 SSM/I 자료에 의해서 구해진 값과 마이크로복사계에 의해 관측된 값과의 비교 할 수가 없었다. 왜냐하면 SSM/I 자료를 이용하여 Wentz(1983) 방법을 택한 경우에는 구름 수액량을 구할 경우 육상에서는 그 값을 얻을 수 없기 때문이다.

7. 결 론

본 연구에서는 GMS-5 자료를 이용하여 구름 수액량을 추정하고, SSM/I 자료와 지상 마이크로파복사계에 의한 구름 수액량과 비교하였다. 방법으로는 구름 알베도와 구름 두께의 관계를 찾아내고 이 관계를 이용하여 구름 수액량을 계산하였다. 그리고 여기서 구해진 결과를 SSM/I 자료와 지상 마이크로파 복사계에 의한 구름 수액량과의 비교 및 검증을 하였다.

GMS-5 자료와 지상 마이크로파복사계에 의한 구름 수액량값의 상관도는 0.86이었고, RMSE는 9.23 mg/cm² 이었고, SSM/I 자료를 이용하여 구한 값과의 상관도는 0.84, RMSE=14.02 mg/cm² 이었다. 따라서 지상관측값과 GMS-5자료를 이용하여 구한 값의 상관도가 0.86으로 높은 상관도를 가지고 있으므로 인공강우 실험과 같은 구름 수액량을 필요로 하는 연구에 활용이 가능하다. 또한 RMSE가 9.23 mg/cm²가 의미하는 것은 지상 마이크로파복사계의 관측값과 GMS-5자료를 이용하여 구한 값이 평균적으로 그 만큼의 오차가 생긴다는 의미이다. 마찬가지로 SSM/I 자료를 이용하여 구한 값과는 14.02 mg/cm² 정도의 차이를 보이고 있다. 본 연구에서 구한 구름 수액량이 각각의 두 자료와 상관성은 높지만 RMSE가 대체적으로 약간 크게나오고 있다. 이는 아직 구름 수액량을 계산하는 모델의 계산이 안정화가 되지 않았기 때문이다.

본 연구에서 이용한 이 알고리즘은 가시영역에서 구름 수액량을 구하는 기본적인 개념을 연구하였으며 이 알고리즘에 대한 연구가 더욱더 이루어진다면 다음 연구에서는 더 나은 결과를 낼 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가

연구개발사업의 하나인 자연재해방재기술개발사업으로 수행된 것입니다.

참고문헌

- 기상연구소, 1990. 위성자료를 이용한 구름층의 수분추정, 기상연구소 보고서, 58.
- 정관영, 김효경, 이선기, 정영선, 1998. Microwave radiometer를 이용한 안동지역의 수액량 및 증우 가능량 추정, 대한원격탐사학회, 14, 2, 116 - 174.
- Halle, J., 1988. Moistureprofile estimates in cloudy layers utilizing Geostationary Satellite data, Third Conference on Satellite Meteorology and Oceanograph, 76- 78.
- Coakley, J. A. Jr., and P. Chylek, 1975. The two-stream approximation in radiative transfer including the angle of the incident radiation., J. Atmos. Sci, 32, 409-418.
- Jone, A. S., and T. H. Vonder Haar, 1990. Passive microwave remote sensing of cloud liquid water over land regions. J. Geophys. Res., 95, 16673-16683.
- Green, T. J., S. A. Christopher, and J. Chou, 1997. Cloud liquid water path comparison from passive microwave and solar reflectance satellite measuments: Assessment of sub-field-of-view cloud effect in microwave retrievals., J. Geophy. Res., 102, 19, 585-19, 596.
- Lojou, J.Y., Frouin, R., and Bernard, 1991. Comparison of Nimbus-7 SMMR and GOES-1 VISSR Atmospheric Liquid Water Content, J. of Appl. Meto., 30, 187-198.
- Stephens, G. L., 1978a, Radition profiles inextended water clouds: Part I: Theory, J. Ams. Sci., 35, 2111 -2122.
- Stephens, G. L., 1978b. Radition profiles inextended

- water clouds: Part II: Parameterization schemes, *J. Atmos. Sci.*, 35, 2123-2132.
- Stephens, G. L., G. W. Paltridge and C. M. R. Platt, 1978. Radiation profiles in extended water clouds: Part III: Observation, *J. Atmos. Sci.*, 35, 2133 - 3141.
- Stephens, G. L., S. Ackerman and E. A. Smith, 1984. A shortwave parameterization revised to improve cloud absorption, *J. Atmos. Sci.*, 41, 687-690.
- Wentz, F. J., 1983. A model function for ocean microwave brightness temperature, *J. Geophys. Res.*, 88, 1892-1908.