

마이크로웨이브 강수량을 이용한 MTSAT-1R 위성의 강우강도 추정

지준범*† · 이규태**

*강릉원주대학교 자연과학연구소, **강릉원주대학교 대기환경과학과

Estimation of Rainfall Intensity for MTSAT-1R Data using Microwave Rainfall

Jee Joon-Bum*† and Kyu-Tae Lee**

*Natural Science Institute, Gangneung-Wonju National University, Jibyundong, Gangneung, 210-702, Korea

**Dept. of Atmospheric and Environmental Sciences, Gangneung-Wonju National University,
Jibyundong, Gangneung, 210-702, Korea

Abstract : Rainfall intensity was estimated using the MTSAT-1R infrared channels and the microwave satellite precipitation data. Brightness temperature of geostationary satellite is matched temporal and spatial to a variety of microwave satellite(SSM/I, SSMIS, AMSU-B, AMSRE, TRMM) precipitation data. Rainfall intensity was calculated by the look-up table using relationships of MTSAT-1R brightness temperature and microwave precipitation.

Estimated rainfall is verified using by precipitation of TRMM satellite(TRMM3B42) and ground rainfall as AWS from Jul. 21 2008 to Jul. 25 2008. The results of rainfall estimated TRMM 2A12(TMI) that validated by AWS and TRMM3B42 precipitation are represented highly 0.38 and 0.61 by correlation coefficient, 5.81 mm/hr and 2.44 mm/hr by RMSE, 0.79 and 0.84 by POD and 0.65 and 0.87 by PC, respectively.

Overall, estimated rainfall using by microwave satellite calculated 5 mm/hr or more comparing by AWS and 5 mm/hr or more comparing by TRMM3B42 precipitation, respectively. Validation results of correlation coefficient are shown series of TRMM 2A12, AMSRE, SSM/I, AMSU-B and SSMIS.

Key Words : Rainfall intensity, Estimated rainfall, Microwave precipitation, Geostationary satellite, MTSAT-1R.

요약 : MTSAT-1R의 적외 채널 밝기온도와 마이크로웨이브 강수량 자료를 이용하여 강수량을 추정하였다. 정지위성의 밝기온도와 다양한 마이크로웨이브(SSM/I, SSMIS, AMSU-B, AMSRE, TRMM) 강수량의 시공간일치 자료생성 및 관계성을 분석하여 MTSAT-1R 밝기온도와 마이크로웨이브 강수량의 조건표를 작성하였으며 밝기온도에 적용하여 강수량을 산출하였다. 산출 강수량은 지상 AWS 및 TRMM 위성자료를 이용하여 검증하였다. TRMM 2A12(TMI) 방법에 산출 강수량은 AWS 및 TRMM3B42 강수량 검증에서 상관계수는 0.38과 0.61, RMSE는 5.81과 2.44 mm/hr, PC는 0.79와 0.84 그리고 POD는 0.65와 0.87로 가장 높은 결과를 보였다. 전체적으로 위성을 이용한 강수량 산출에서 AWS 강수량과 비교하여 5

mm/hr 이상 그리고 TRMM3B42 강수량과 비교하여 2 mm/hr 이상 많은 강수를 추정하였다. 강수량의 검증 결과는 TRMM 2A12, AMSRE, SSM/I, AMSU-B 및 SSMIS 계열 방법순서로 상관성 등의 대부분 검증에서 높은 결과를 나타내었다.

1. 소개

정지위성의 적외 및 가시광선 관측 자료들은 중규모 시스템 변화에 의하여 발생하는 구름들의 밝기 온도와 복사 방출량 및 반사율 등 강우강도 산출을 위한 유의한 시·공간 정보들을 제공한다. 정지위성 자료에 의한 강우강도 추정의 일반적인 방법은 위성 밝기온도 자료와 지상에서 관측된 강우강도 사이의 경험적 관계를 이용하는 것이다. 그러나 직접 관측된 지상 강우강도 자료의 공간 분포는 제한적이고 위성관측 자료와 시간 및 공간 불일치 때문에 정확한 경험식 산출은 쉽지 않으며 또한 강우강도는 구름의 종류와 발달 상태 그리고 지역 및 시간에 따라 그 변화 특성이 다양하기 때문에 이 방법에 의한 강우강도 산출을 더욱 어렵게 한다.

위성을 이용한 강수량 추정의 결과로는 Levizzani (1999)가 지상 관측 강수량이 구름의 정상부의 특성과 관련이 있고 정지궤도 위성의 적외 채널을 이용하여 강수를 추정할 수 있음을 제시하였다. 그리고 마이크로웨이브 알고리즘은 위성 궤도의 고도가 높을수록 불확실성이 증가할 수 있으나 수동 마이크로웨이브 물리이론 등에 근거한 여러 종류의 강우강도 추정 방법들(Special Sensor Microwave/Imager, Wentz and Spencer, 1998; Spencer *et al.*, 1989)이 SSM/I의 자료를 사용하여 개발되었다. 최근에는 마이크로웨이브와 정지위성의 적외 채널 혼합 기법이 수치모델 자료동화 및 실시간 운용 연구에 활용되고 있으며 지상 관측 강수량 자료 보안을 위하여 마이크로웨이브 및 레이더 자료 등이 다양하게 이용되고 있다(Turk *et al.*, 2003; Weng *et al.*, 2003; Vicente *et al.*, 1998).

정지위성의 적외 채널만으로 강우강도를 추정하는 방법으로는 LUT(Kurino, 1997), CST(Convective-Stratiform Technique; Adler and Negri, 1988), NAWT(Negri *et al.*, 1984) 그리고 ARKT(Arkin, 1979)의 연구 결과들이 있으나 시간과 지역적인 특성 알고리즘이 반영되지 않았기 때문에 강수 시간 및 지역 변동 특성을 적절하게 분석되지 못하였다. 그리고 정지위성

에 의하여 관측 및 계산되는 구름 요소들 즉 운정 온도, 구름 광학두께, 운고, 운량 및 운형 등을 이용하여 간접적으로 강우강도를 추정한 연구 결과들은 GPI(Goes Precipitation Index; Arkin and Meisner, 1987), Autoestimator(Vincente, 2002), Hydroestimator(Scofield and Kuligowski, 2003), GMSRA(Ba and Gruber, 2001) 등이 있으나 이들 연구에서 사용된 알고리즘은 시·공간적 제한 문제가 내포되어 있다. 가시광선/적외선과 마이크로웨이브 자료의 혼합된 방법이 사용된 연구로써는 CMORPH(Joyce *et al.*, 2004), SCAmPR(Kuligowski, 2002), GPROF(Kummerow *et al.*, 2001) 등의 있으며 이들 방법은 위에 제시된 방법과 비교하여 정확성이 높으나 위성들의 관측 방법 및 시간 불일치가 중요한 문제점으로 지적된다. 최근 구름 분류와 중규모 대류계의 생존 주기를 이용한 강수량 추정 방법(Delgado *et al.*, 2008)과 인공신경망을 이용한 방법들(Sorooshian *et al.*, 2000; Zhang and Scofield, 1994)이 소개되고 있으나 관련 요소들의 분석 및 실시간 발생하는 급격한 변화들이 적절하게 반영하지 못하고 있다.

이 연구의 강수량은 정지위성의 밝기온도 자료와 SSM/I 강수 자료의 관련성에 근거하고 Atlas *et al.* (1990)과 Crosson *et al.* (1996)의 PMM(Probability Matching Method) 방법을 적용하여 경험적으로 산출하였다. 이 경우 마이크로웨이브 강수량 자료는 육지와 해양 사이의 적용 알고리즘이 다르기 때문에 MTSAT-1R 밝기온도 자료도 육지·해양에 대하여 분리 산출 방법을 적용하였고 마이크로웨이브 관측 시각과 자료 수집 및 전송시간 지연을 MTSAT-1R 관측시각부터 12 시간 이전의 마이크로웨이브 자료를 MTSAT-1R 자료와 시공간 일치 시키는 방법을 사용하였으나 마이크로웨이브 자료가 12 시간 이상 지연되거나 자료 부재인 상황에는 일정기간 동안의 평균 자료가 사용하였다. 그리고 강수량 검증을 위하여 TRMM3B42 자료는 동아시아 지역에 대하여 이용하였고 한반도 지역에서는 AWS 강수량 자료를 사용하였다.

2. 연구자료

간은 2008년 7월 21일부터 25일의 자료를 사용하였다.

1) MTSAT-1R 위성 자료

MTSAT-1R 위성은 경도 140°E의 적도상공에 위치하여 반구영역에 대한 관측을 수행하고 있으며 위성의 직하점에서 적외선 관측의 공간해상도는 4 km × 4 km이며 시간분해능은 약 30분이다. MTSAT-1R의 관측 센서의 특징은 Table 1과 같이 5개의 채널로 구성되어진다.

이 연구에 사용된 MTSAT-1R 자료는 기상청에서 수신하여 동아시아 영역에 대하여 분할 제공되는 자료로 기

Table 1. Band center and range of MTSAT-1R satellite

| Band | Center (μm) | Range(μm) | Resolution at FOV (km × km) |
|------|-------------|-------------|-----------------------------|
| IR1 | 10.8 | 10.3 - 11.3 | 4 |
| IR2 | 12.0 | 11.5 - 12.5 | 4 |
| WV | 6.75 | 6.5 - 7.0 | 4 |
| SWIR | 3.75 | 3.5 - 4.0 | 4 |
| VIS | 0.675 | 0.55 - 0.80 | 1 |

2) 마이크로웨이브 강수량

마이크로웨이브를 이용한 강수량 관측은 NOAA 위성의 AMSU-B, AQUA 위성의 AMSR-E, DMSP의 SSM/I와 SSMIS 그리고 TRMM의 TMI(2A12) 또는 PR(2A23) 등에 의하여 수행되고 있으며 각 마이크로웨이브 위성들은 사용 파장 및 위성 관측방법에 따라 다른 알고리즘이 사용되고 있다. 마이크로웨이브 위성의 강수량 산출은 정지위성 방법과는 달리 직접적인 방법으로써 물방울 또는 얼음 등의 구름 입자에 의한 복사 방출 및 산란 특성에 따라 계산된다(Wentz and Spencer, 1998; Spencer *et al*, 1989). 육지와 해양의 방출량의 차이로 인하여 육지에서는 고주파의 마이크로파를 이용하여 강수입자의 산란특성을 이용하는 방법이 사용되며 해양에서는 일정한 방출율을 이용하여 고주파 및 저주파를 이용하여 강수입자의 방출 및 산란특성을 이용한다. 특히 육지에서는 지형고도 및 지표의 특성에 따라 그 변동성이 크기 때문에 마이크로파를 이용한 강수량

Table 2. The specification of microwave satellite for rainfall observation

| Sensor | Onboard satellite | Spatial resolution (km ²) | Satellite Altitude (km) | Rainfall (mm/hr) | Time of revolution (min) |
|--------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------|
| SSM/I | DMSP F13~15 | 25 × 25 | 833 | 0~17.5 | 102 |
| SSMIS | DMSP F16~17 | 25 × 25 | 850 | 0~35 | 100 |
| AMSU-B | NOAA 15~17 | 16 × 16 | 850 | 0~30 | 100 |
| AMSRE | AQUA | 4 × 6 | 686 | 0~50 | 98.4 |
| TMI | TRMM | 4 × 4 | 403 | 0~50 | 92.5 |

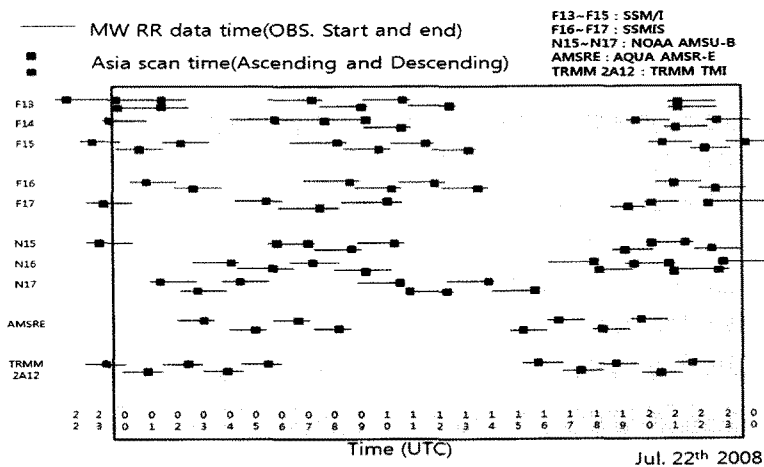


Fig. 1. Microwave data for east asia region at Jul. 22. 2008.

관측의 정확성은 낮다. 이 연구에 사용된 마이크로웨이브 위성의 제원 및 관측 강수량의 특성에 대하여 Table 2에 정리하였다.

현재 관측을 수행하는 대부분의 마이크로웨이브 위성들은 극궤도위성이며 동일한 지점의 관측은 하루 2회 수행된다. Fig. 1은 기상청에서 제공되는 MTSAT-1R 동아시아 영역(80~160°E, 20~60°N)에 대한 마이크로웨이브 관측을 표시하였다.

2008년 7월 22일 마이크로웨이브 위성 관측으로부터 제공된 자료의 관측시간과 종료는 실선이며 작은 사각형은 동아시아 지역의 관측 시각을 나타내었으며 각 위성의 하루 동안 동아시아 지역 관측 회수는 약 7~9회였다.

3) 강수량 관측 자료

MTSAT-1R위성자료를 이용한 산출 강수량의 검증 을 위하여 한반도 약 600여 지점의 AWS 강수량 관측 자료 그리고 동아시아 지역(90~160°E, 10~50°N)의 TRMM3B42 자료를 이용하였다. AWS 강수량은 한반도의 자동 관측에 의한 15분 누적 자료를 사용하였다. AWS 자료의 관측 주기는 1분이고 강수량 단위는 0.1 또는 0.2 mm이며 매 15분 누적 그리고 60분 누적 강수량 자료이다. 즉 MTSAT-1R 산출 강수량은 정지위성의 순간 관측이기 때문에 지상 관측 자료는 구름 및 강수 관측에 영향을 미치는 시간을 고려하여 15분간 누적된 강수량을 이용하였다. 한반도의 AWS 분포를 고려하여 관측 영역은 주변 30 km×30 km를 평균하여 산출 강우강도와 시공간 일치율을 하여 검증하였다.

동아시아 영역의 검증은 3시간의 시간해상도와 0.25°×0.25°의 공간 해상도를 가지는 TRMM3B42자료를 이용하였다. 이 자료는 TRMM 위성의 실시간 산출물인 3B42RT 자료를 지상의 관측 강수량을 이용하여 보정된 자료이다.

3. 강수량 산출

1) 시공간 일치

MTSAT-1R과 마이크로웨이브 위성의 관측방법 및

해상도의 차이가 발생되기 때문에 위성자료의 시간 및 공간 일치율은 필수적이다. 위성자료의 관측정보와 위성의 관측특성 및 공간 해상도 정보를 이용하여 각각의 관측화소에 대하여 시공간 일치율을 수행하였다. 또한 육지와 해양의 강수량 산출방법의 차이를 고려하여 육지와 해양 그리고 전체 영역에 대하여 각각 공간 일치하였다. 시간일치는 마이크로웨이브 관측 자료의 관측시간과 관측특성을 이용하여 각 화소의 시간을 적용하였고 MTSAT-1R은 동아시아 영역의 관측시간을 고려하여 각 화소의 관측시간을 설정하여 유예시간(±10분) 내의 동일한 시각의 자료들을 추출하는 방법을 적용하였다. 공간일치는 Table 2의 마이크로웨이브 해상도영역 내에 위치하는 MTSAT-1R의 밝기온도를 공간 평균하여 일치하였다. Fig. 2~4는 2008년 7월 21일부터 7월 25일의 마이크로웨이브 강수량과 MTSAT-1R의 밝기온도에 대하여 육지, 해양 그리고 전체 화소에 대한 시공간 일치율을 수행한 결과이며 밝기온도와 강수량의 관계성은 Table 3에 정리하였다.

그림에서 TRMM 2A12(TMI)자료를 제외하고 대체로 구름의 밝기온도가 낮은 화소에서 강수량이 많은 특성이 나타났으며 상관성은 전체적으로 0.35이상으로 나타났고 육지와 비교하여 대체로 해상에서 상관성이 높게 나타나는 것으로 분석된다. 그러나 SSM/I 및 SSMIS에서는 육상에서 약간 높은 것을 볼 수 있는데 이것은 DMSP 마이크로웨이브 강수량 추정에서 육상과 해상의 산출과정 및 해상도 일치 및 강수 알고리즘 등의 문제로 분석된다.

Table 3. Correlation between MTSAT-1R TBB and Microwave rainrate

| | Land | Ocean | Total |
|------------|------|-------|-------|
| SSM/I F13 | 0.43 | 0.35 | 0.43 |
| SSM/I F14 | 0.42 | 0.40 | 0.41 |
| SSM/I F15 | 0.46 | 0.36 | 0.43 |
| SSM/I | 0.44 | 0.38 | 0.43 |
| SSMIS F16 | 0.34 | 0.33 | 0.31 |
| SSMIS F17 | 0.38 | 0.35 | 0.37 |
| SSMIS | 0.36 | 0.34 | 0.34 |
| AMSU-B N15 | 0.39 | 0.46 | 0.41 |
| AMSU-B N16 | 0.34 | 0.39 | 0.34 |
| AMSU-B N17 | 0.47 | 0.52 | 0.50 |
| AMSU-B | 0.44 | 0.45 | 0.41 |
| AMSRE | 0.25 | 0.43 | 0.36 |
| TRMM 2A12 | 0.05 | 0.12 | 0.08 |

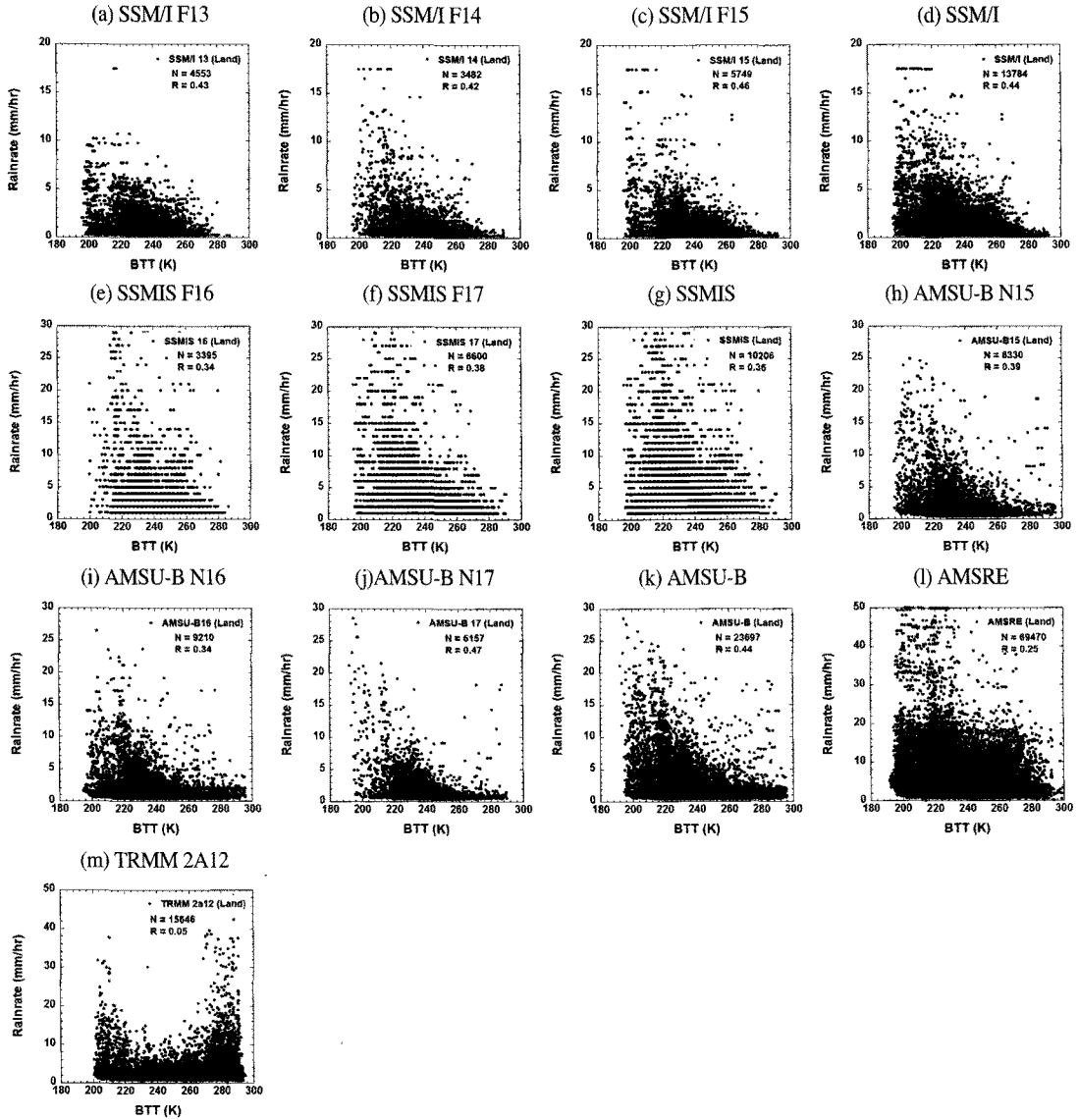


Fig. 2. Temporal and spatial collocation between MTSAT-1R BTT and Microwave rainrate on Land pixel.

2) 확률일치방법 및 조건표 작성

MTSAT-1R과 마이크로웨이브 위성은 관측방법의 차이로 동일한 구름 및 강수관측은 위치 및 모양의 불일치가 발생된다. 이를 해소하기 위하여 두위성의 시공간 일치 자료에 확률일치방법을 적용하는 알고리즘들이 주로 이용되고 있다. 확률일치 방법은 연구영역에 대하여 구름의 밝기온도의 누적분포는 강수량의 누적분포도 동일하다는 것이고 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$\int_{R_i}^R P(R) dR = \int_{BTT_i}^{BTT} P(BTT) dBTT \quad (1)$$

식(1)은 MTSAT-1R의 밝기온도(BTT)와 SSM/I 강수량(R) 자료의 관계를 나타낸 것으로서 Atlas *et al.*(1990)과 Crosson *et al.*(1996)이 제안한 PMM (Probability Matching Method) 방법이다. 이 식은 MTSAT-1R 적외 채널의 밝기온도 BTT의 확률분포함수(Probability Distribution Function : PDF)와 SSM/I 강수량 R의 확률분포함수의 경향이 비슷한 것으로 가정하여 BTT와 R의 누적분포함수(Cumulative Distribution Functions : CDFs)가 일치하는 각각의 BTT_i와 R_i의 값을 계산된다. Fig. 1의 마이크로웨이브

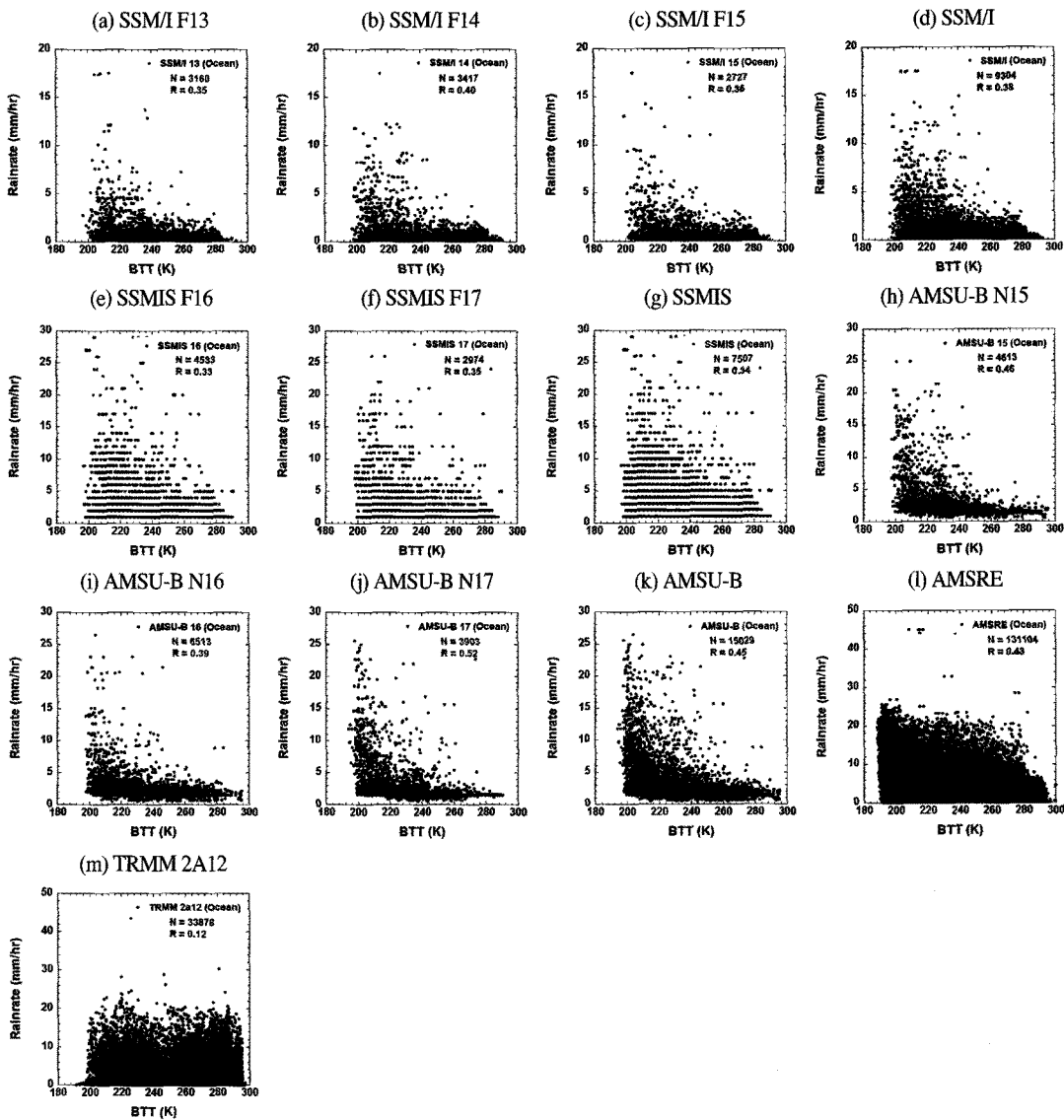


Fig. 3. Same as Fig.2 except for on Ocean pixel.

브 자료의 공백이 생기게 되며 이러한 공백 해소를 위하여 MTSAT-1R 관측 시각부터 12시간 이전 자료들을 시공간 일치 자료로 사용하여 확률일치방법을 적용하였고 강수량은 0.5 mm/hr 이상의 화소만을 사용하였다. Fig. 5는 2008년 7월 24일 0033UTC에 적용된 MTSAT-1R 밝기온도와 SSM/I 강수량의 확률밀도함수(PDF)와 누적밀도함수(CDF)를 육지, 해양 및 전체 화소에 대하여 계산하여 동일한 누적 확률분포의 밝기온도와 강수량의 쌍을 조건표로 작성하여 강수량 산출에 이용하게 되며 계산된 조건표의 그림은 Fig. 5와 같다.

계산된 조건표는 정지위성 밝기온도에 근거하여 강수량을 산출할 수 있으며 육지와 해양 또는 전체영역으로 조건표에 따라 강수량 산출이 가능하며 조건표에 나타나지 않은 밝기온도에 대한 강수량은 선형내삽 방법으로 산출되며 최대강수량은 조건표 계산에 사용된 마이크로웨이브 위성의 최대 강수량을 초과하지 못하며 최소값은 0.5 mm/hr로 제한하였다. 그리고 구름 밝기온도는 낮으나 구름의 두께가 상대적으로 얇은 권운은 적외 온도차 방법(Inoue, 1987; 2002)을 적용하여 온도차가 2.5 K 이상일 경우 무강수 영역으로 제외하였다.

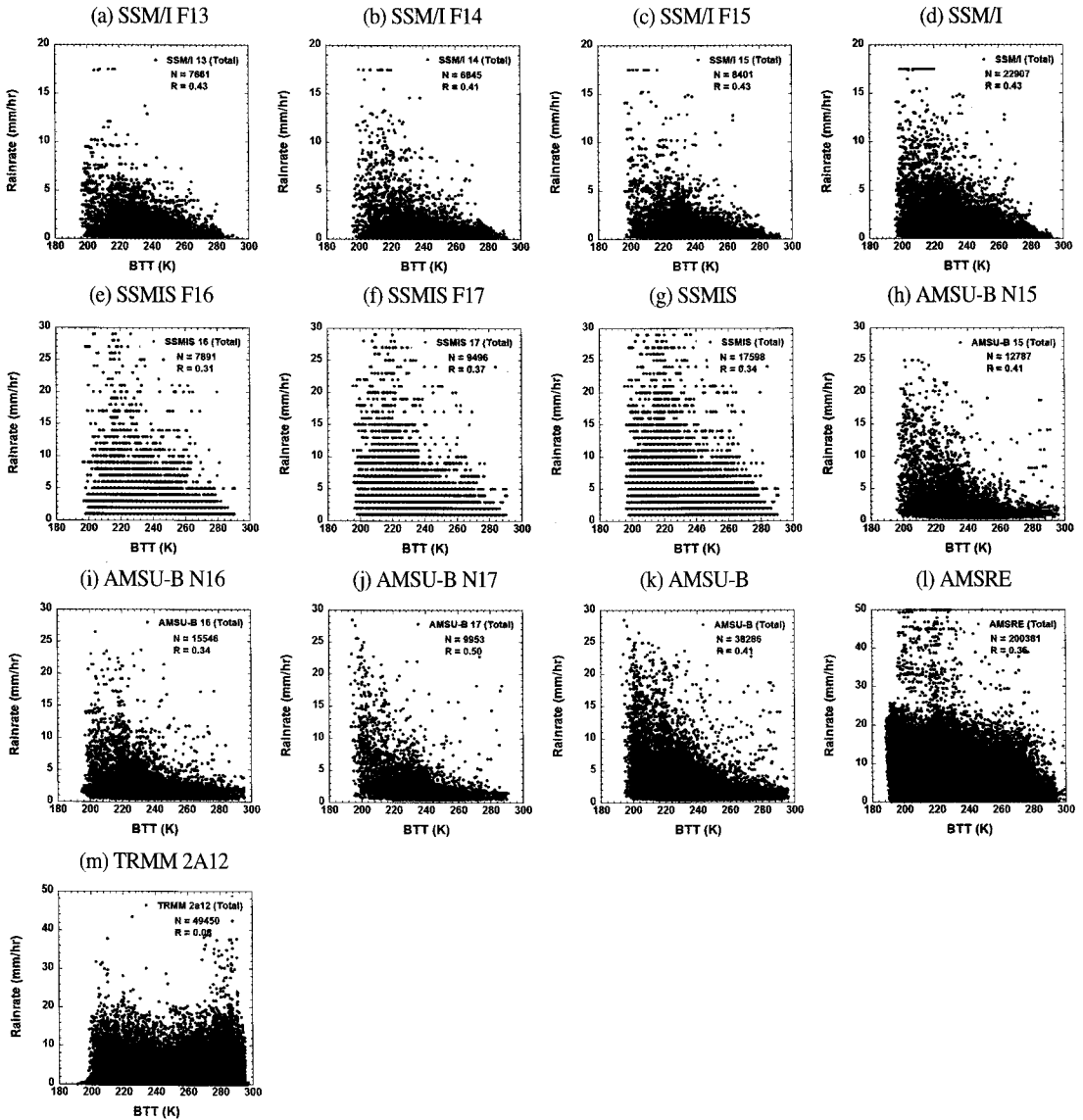


Fig. 4. Same as Fig.2 except for on Total pixel.

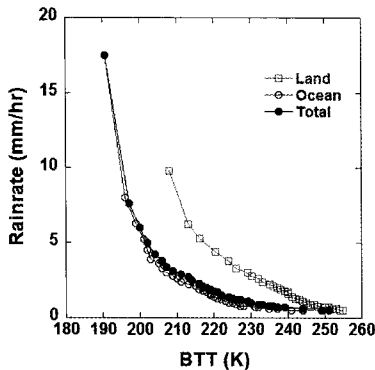


Fig. 5. Plot for the lookup table between MTSAT-1R BTT and rainrate at 0033UTC Jul. 24 2008.

3) 산출 강수량 검증

MTSAT-1R 위성을 이용하여 추정된 강수량은 한반도 영역은 AWS 강수량 관측 자료 그리고 동아시아 지역 (90~160° E, 10~50° N)은 TRMM3B42 강수량 자료를 이용하여 검증하였다. 사용된 검증방법으로는 추정된 강수량은 검증자료와 비교된 정확도 판별뿐만 아니라 강수 구역 탐지에 대하여 scalar 정확도 검사 및 categorical 정확도 검사방법을 적용하였다.

Scalar 정확도 검사는 강수량의 정확도를 검사하는 방법으로써 관측과 산출 강수량의 상관관계(Correlation

Table 4. Binary category contingency table for validation of MTSAT-1R rainfall intensity

| | Observed | | Estimated distribution | |
|-----------------------|-------------------|---------------|------------------------|-----|
| | Yes(≥ 0.5) | No(< 0.5) | | |
| Estimated | Yes(≥ 0.5) | a | b | a+b |
| | No($0.5 <$) | c | d | c+d |
| Observed distribution | | a+c | b+d | N |

coefficient)와 산출물의 평균값에 대한 편향성을 나타내는 편이(BIAS) 및 산출물의 표본 오차를 평가하기 위한 평방근 오차(RMSE)를 계산하였다.

Categorical 정확도는 산출물의 강수 또는 무강수 영역 및 강우강도 정확성을 평가하는 중요한 지표가 되며 그 방법으로 PC(Portion Correct)와 POD(Probability of Detection) 검증지수를 사용하였다. 강수 유무를 평가하기 위한 강우강도와 관측 값의 이중 분할표는 Table 4와 같고 정확도 계산 방법은 식(2)~(3)와 같다.

$$\text{Portion Correct (PC)} \quad PC = \frac{a+d}{N} \quad (2)$$

$$\text{Probability of Detection (POD, Hit Rate)} \quad POD = \frac{a}{a+c} \quad (3)$$

4. 결 과

3장에서 설명한 방법에 의하여 MTSAT-1R 밝기온도와 마이크로웨이브 강수량의 시공간 일치 자료를 이용하여 실시간 조건표를 계산하여 MTSAT-1R 밝기온도에 적용하여 강수량을 산출할 수 있다. 그러나 Fig. 1의 각 마이크로웨이브 위성은 동아시아 영역에 대해 최대 10시간의 공백시간이 존재하여 실시간 조건표의 이용이 어렵고 시공간 일치 자료 수가 적기 때문에 조건표 계산의 불연속이 발생된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 12시간의 지연시간을 적용하여 이전 12시간의 시공간 일치 자료를 이용하여 강수량 산출에 적용하였다. 또한 계산된 조건표의 자료수가 적어 불안정한 강수량 산출은 이전 장기간의 자료들을 이용하여 평균 조건표를 계산하여 연속적이고 안정적으로 강수량이 산출될 수 있도록 하였다. Fig. 6은 연구기간 이전 10일 동안의 시공간일치 자료를 이용하여 계산된 정적인 조건표이

다. 조건표의 강수량은 Table 2의 마이크로웨이브 강수량의 최대값과 대체로 일치하였고 대부분의 강수는 밝기온도 260 K부터 190 K 영역에 분포하였으며 AMSRE의 경우 해상도가 높아 해상화소에서 188 K에서 최대값이 나타났다. 대부분 육상화소의 조건표가 해상화소의 조건표보다 높은 밝기온도가 많은 강수와 쌍을 이루는 것을 보였고 전체 화소의 조건표는 육상과 해상 평균적인 분포를 보였다.

연구기간 중 비교적 상관성이 높은 MTSAT-1R 산출 강수량에 대하여 산출 강수량 및 검증값을 Fig. 7과 Fig. 8에 정리하였다. Fig. 7은 2008년 7월 23일 1900UTC의 산출 강수량으로 Fig. 7(a)은 AWS 관측 강수량이고 Fig. 7(b)은 250 K이하의 구름을 강조하여 나타낸 MTSAT-1R의 적외 밝기온도이다. Fig. 7(c~e)은 각 마이크로웨이브 자료를 이용하여 산출된 강수량이다. 상관계수는 대부분 0.55이상이었으며 TRMM 2A12와 AMSRE의 경우 0.72, 0.73으로 높게 나타났고 SSMIS 자료들에서 비교적 낮은 상관성이 나타났다. 전체 산출 강수량은 관측 강수량과 비교하여 8 mm/hr 이상 높게 산출하였으며 특히 SSMIS 자료 이용하여 산출된 경우 한반도의 강수에 대해 17.03 mm/hr의 최대 RMSE를 보였고 TRMM 2A12의 경우 7.18 mm/hr의 최저 RMSE를 보였다. 한반도 강수 및 무강수에 대한 판별정확도인 PC는 0.84이상으로 비교적 높게 나타났고 SSM/I와 AMSRE 및 TRMM에서는 0.87로 비교적 높은 적중률을 보였다.

동아시아의 검증은 TRMM3B42 강수량을 사용하였고 대체로 0.5이상의 상관성을 보였으며 동일한 마이크로웨이브 센서인 TRMM 2A12의 경우 0.8로 가장 높게 나타났다(Fig. 8). SSM/I와 SSMIS 계열의 마이크로웨이브 강수량을 이용하여 산출된 강수량에서 비교적 낮은 0.6이하의 상관성이 나타났다. 동일한 위성자료에 기반을 두어 산출 강수량은 관측 강수량과 비교하여 AWS 강수량에 비하여 전체적으로 낮은 RMSE를 보였다. 최대 10mm/hr 이상의 RMSE를 보인 SSMIS 계열 자료를 제외하였을 때 전체적으로 6 mm/hr 이하의 RMSE를 보였으며 최대 강수량이 낮은 SSM/I와 동일한 자료인 TRMM 2A12의 경우 3mm/hr 이하의 낮은 RMSE를 보였다. 강수 및 무강수 판별정확도인 PC는 0.79이상의 값을 보였으며 POD는 0.98 이상으로 대체

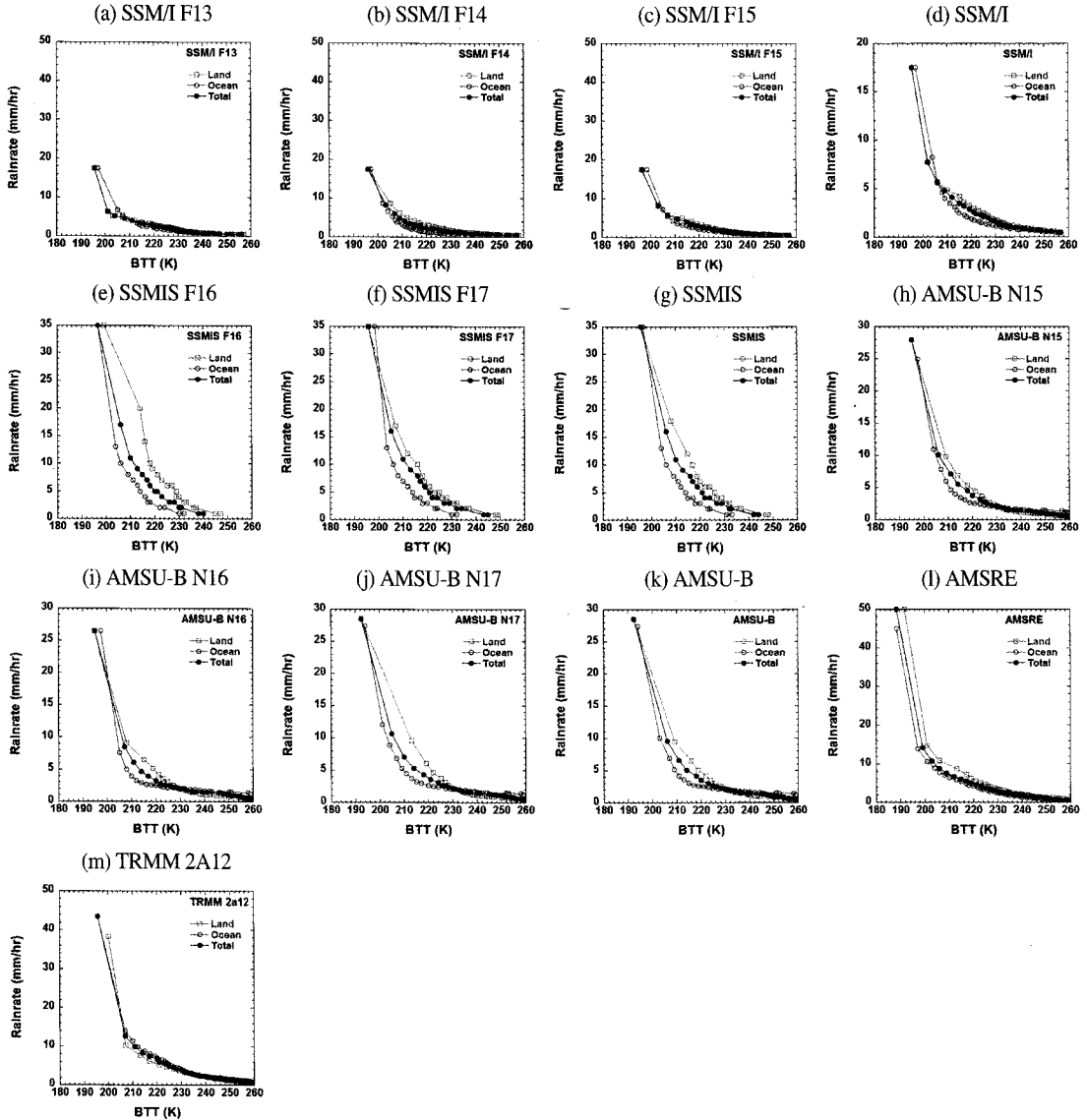


Fig. 6. Same as Fig. 2 except for the static LUT of land, ocean and total pixel for estimation rainfall.

로 위성 자료에 대한 검증은 비교적 높게 나타나는 것으로 분석된다.

AWS 강수량에 의한 검증의 경우 한반도에 한정적이기 때문에 일부 지역성 강수나 약한 층운형의 강수에 대한 검증의 경우 검증값의 계산이 어렵다. Fig. 9는 AWS 관측자료 중 강수가 있었던 관측지점과 평균 강수량을 나타낸 것으로 2008년 7월 21일 00UTC부터 23일 12UTC까지 강수 지점수는 50 지점 이하였으며 평균 강수량은 5mm/hr 이하였고 24일 12UTC 이후에는 지역적으로 약한 강수형태로 바뀐 것으로 분석되었다. 검

증을 수행하기 위하여 23일 12UTC 이후의 강수량 산출에 대해서 검증을 수행하였으며 Fig. 10에 나타내었다.

산출된 강수량의 검증시 AWS 강수량 자료에서 강수 지역과 강수량이 증가될 때 상관계수, PC, POD가 증가되지만 산출 강수량의 RMSE가 증가되는 것으로 분석되었고 강수 후반부의 약한 강수에서는 AWS 관측강수량과의 상관성과 강수영역의 탐지가 상당히 약해지는 것으로 분석된다. 강수량 산출의 정확성은 AMSRE, TRMM 2A12 마이크로웨이브 강수량을 이용하여 산출하였을 때의 검증결과가 다른 방법과 비교하여 높게 나

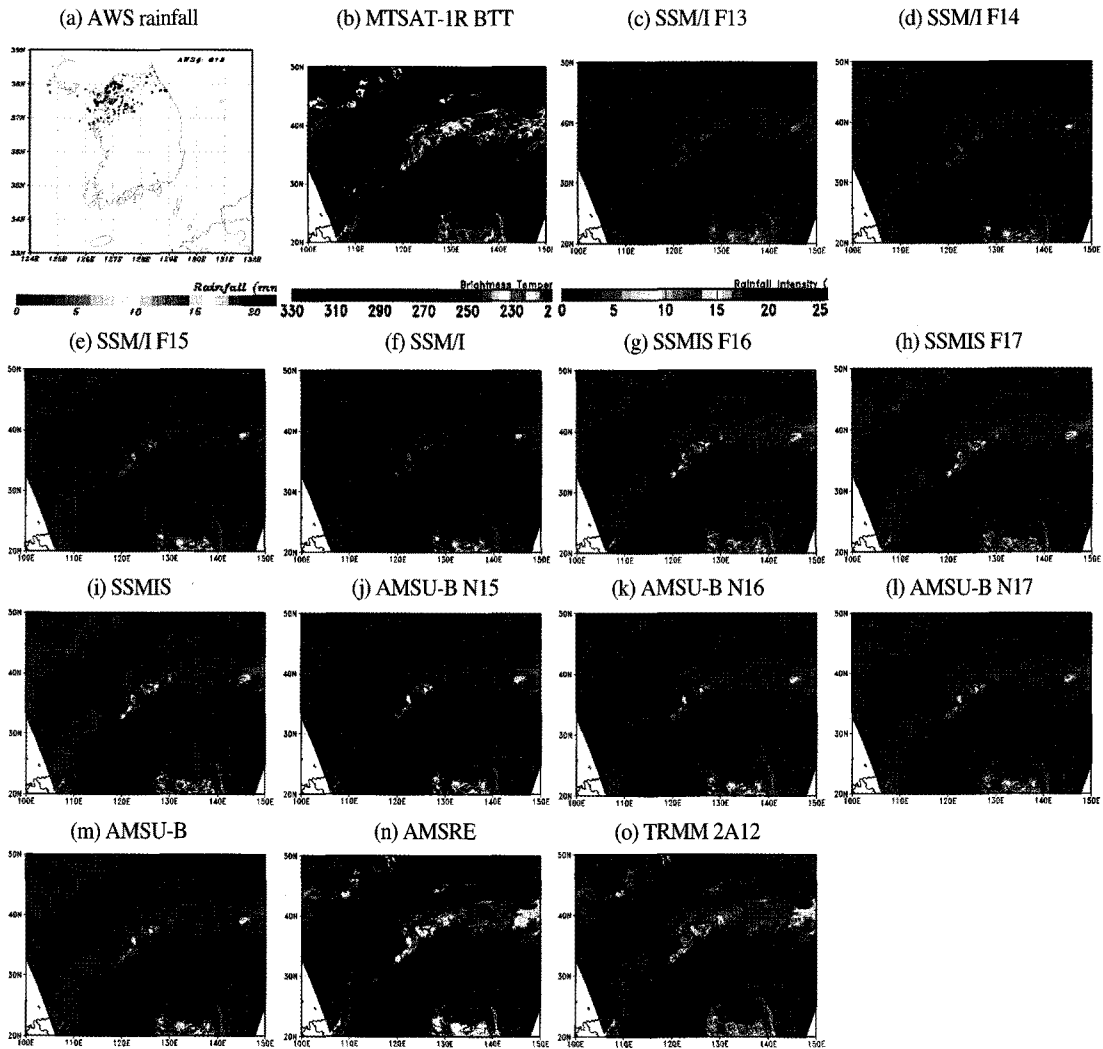


Fig. 7. Estimated rainfall of MTSAT-1R and AWS observation at 1900UTC Jul. 23 2008. The validation values are showed R(correlation), Bias, RMSE(root mean square error), PC(Proportion correction) and POD(Probability of Detection).

타났으며 7월 23일 1900UTC에서 AMSRE와 TRMM 2A12의 상관성이 0.79와 0.8의 높은 상관성을 보였고 AMSU-B, SSM/I, SSMIS 순으로 상관성이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 산출된 강수량의 편차는 다른 방법들에서 10 mm/hr 이하였으나 SSMIS와 AMSU-B 계열의 마이크로웨이브 위성을 사용했을 때 15 mm/hr 이상으로 편차가 크게 나타나는 것으로 볼 때 SSM/I나 TRMM 또는 AMSRE 위성자료를 이용하는 것이 SSMIS나 AMSU-B 자료를 사용하는 것보다 산출 강수량의 정확도가 향상될 것으로 분석된다.

TRMM 3B42 강수량은 위도 50°N 이하의 전구영역에서 자료가 제공되기 때문에 모든 위성 산출된 강수량

을 검증할 수 없고 3시간 간격으로 산출된 강수량에 대하여 검증을 수행하였다. Fig.11은 2008년 7월 21일 00UTC부터 26일 00UTC까지의 검증결과이다.

TRMM3B42 강수량을 이용한 검증 결과는 AWS 강수량 검증과 유사하게 나타나는 것으로 분석된다. TRMM 2A12, AMSRE에 의한 검증결과가 다른 위성에 비하여 높은 검증결과를 보였으며 SSMIS와 AMSU-B 계열의 위성에서 RMSE가 크게 나타났다. AMSRE의 RMSE 결과를 볼 때 SSMIS와 유사하게 산출 강수량의 시간 변동성이 크게 나타났다.

Fig. 10과 Fig. 11의 결과를 단순 산술평균하여 Table 5에 정리하였다.

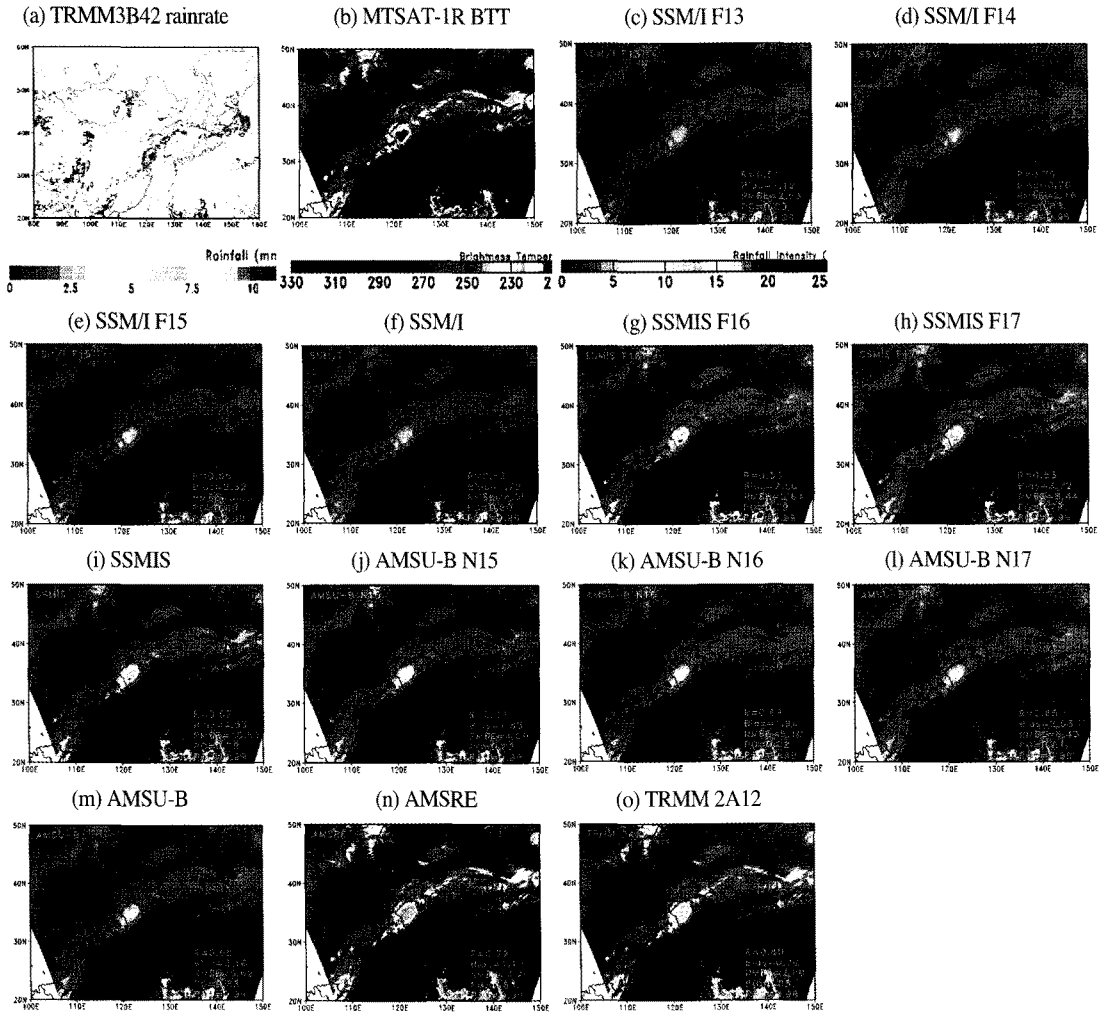


Fig. 8. Same as Fig.7 except for the TRMM3B42 rainfall and at 1500UTC 23. Jul. 2008.

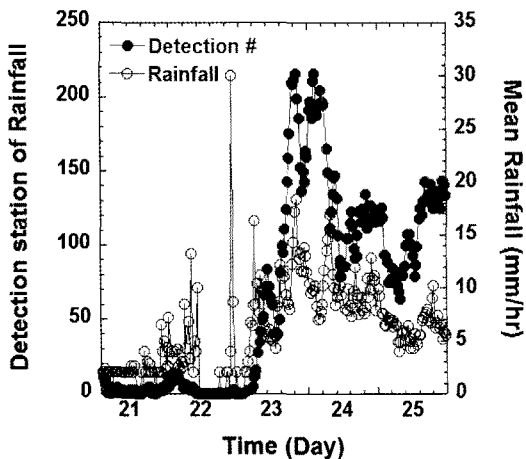


Fig. 9. The detection station of rainfall and Mean rainfall in AWS observation data from Jul. 21 to Jul. 25 2008.

TRMM 2A12, AMSRE 강수량 자료를 이용하여 산출된 강수량이 AWS 관측 강수량과 0.38, 0.37 그리고 TRMM3B42 강수량과 0.61로 높은 상관성을 보였다. 또한 산출 강수량의 RMSE는 SSM/I F13자료를 이용하여 산출하였을 때 AWS강수량에 대하여 5.7 mm/hr과 TRMM3B42 강수량에 대하여 2.0 mm/hr의 낮은 편차를 보였다. 비록 짧은 사례기간에 대한 결과이나 대체로 TRMM 2A12, AMSRE, SSM/I, AMSU-B 그리고 SSMIS 계열 마이크로웨이브 자료 순으로 산출 강수량에서 높은 검증결과를 보였다.

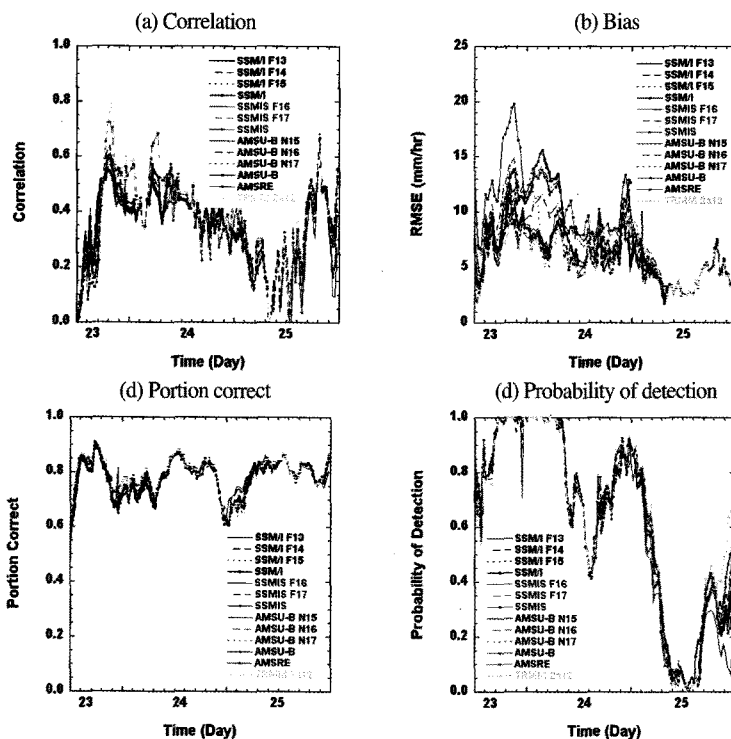


Fig. 10. Validation result between estimated and AWS rainfall from 12UTC Jul. 23 to 00UTC Jul 26 2008. The validation method are used correlation, RMSE, proportion correct and probability of detection.

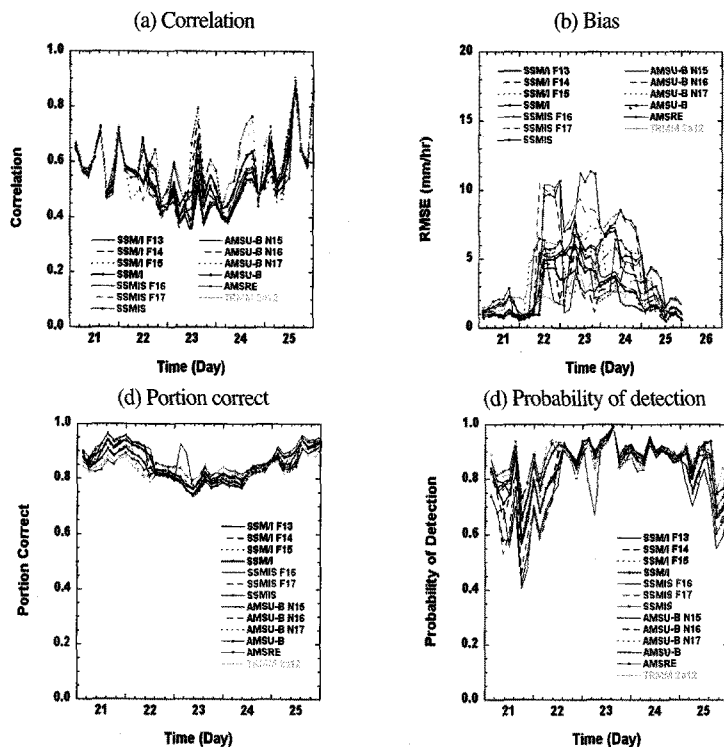


Fig. 11. Same as Fig.10 except for TRMM3B42 rainfall from 00UTC Jul. 21 to 00UTC Jul 26 2008.

Table 5. The validation result between estimated rainfall and AWS and TRMM3B42 from study period. The shaded column is highest valid value

| | AWS | | | | | TRMM3B42 | | | | |
|------------|------|-------|------|------|------|----------|------|------|------|------|
| | R | BIAS | RMSE | PC | POD | R | BIAS | RMSE | PC | POD |
| SSM/I F13 | 0.36 | -0.18 | 5.70 | 0.78 | 0.62 | 0.54 | 0.71 | 2.00 | 0.86 | 0.84 |
| SSM/I F14 | 0.35 | -0.19 | 5.71 | 0.78 | 0.63 | 0.55 | 0.76 | 2.16 | 0.85 | 0.84 |
| SSM/I F15 | 0.35 | 0.08 | 5.80 | 0.78 | 0.64 | 0.53 | 0.96 | 2.56 | 0.85 | 0.85 |
| SSM/I | 0.35 | 0.26 | 5.79 | 0.78 | 0.63 | 0.55 | 0.91 | 2.50 | 0.85 | 0.84 |
| SSMIS F16 | 0.34 | 0.82 | 6.25 | 0.78 | 0.60 | 0.55 | 1.27 | 3.73 | 0.87 | 0.78 |
| SSMIS F17 | 0.34 | 2.51 | 7.92 | 0.77 | 0.64 | 0.54 | 1.98 | 5.14 | 0.85 | 0.82 |
| SSMIS | 0.35 | 2.86 | 8.50 | 0.78 | 0.64 | 0.55 | 1.98 | 5.33 | 0.85 | 0.81 |
| AMSU-B N15 | 0.35 | 1.50 | 7.02 | 0.78 | 0.64 | 0.57 | 1.19 | 3.40 | 0.84 | 0.87 |
| AMSU-B N16 | 0.35 | 1.17 | 6.61 | 0.78 | 0.64 | 0.56 | 1.09 | 3.13 | 0.84 | 0.87 |
| AMSU-B N17 | 0.35 | 1.42 | 7.01 | 0.78 | 0.64 | 0.56 | 1.20 | 3.42 | 0.85 | 0.87 |
| AMSU-B | 0.35 | 2.06 | 7.65 | 0.78 | 0.64 | 0.57 | 1.27 | 3.67 | 0.85 | 0.87 |
| AMSRE | 0.37 | 0.31 | 6.30 | 0.79 | 0.63 | 0.61 | 0.74 | 2.97 | 0.85 | 0.86 |
| TRMM 2A12 | 0.38 | 0.21 | 5.81 | 0.79 | 0.65 | 0.61 | 0.70 | 2.44 | 0.84 | 0.87 |

5. 결론

MTSAT-1R 위성 자료는 마이크로웨이브 강수량과의 경험적 관계를 이용하여 강수량을 산출하였다. 마이크로웨이브 위성의 관측특성 및 알고리즘의 차이때문에 MTSAT-1R자료와의 시공간일치는 육지, 해양 및 전체 화소에 대하여 수행하였다. 시공간 일치가 이루어진 MTSAT-1R 밝기온도와 마이크로웨이브 자료는 확률일치방법을 적용하여 밝기온도와 강수량의 조건표를 작성하였으며 MTSAT-1R 밝기온도에 적용하여 강수량을 산출하였다. 산출된 강수량은 한반도 지역은 AWS 지상 강수량자료를 이용하여 검증하였고 동아시아 영역은 위성관측 및 지상관측에 의하여 보정된TRMM3B42 강수량자료를 이용하여 상관계수, Bias, RMSE, PC, POD등의 검증방법을 적용하여 검증하였다. AWS 검증의 경우 지역적인 강수특성으로 강수지점수와 강수량이 적은 경우에는 검증결과의 계산이 어려워 50지점 이상의 강수관측을 제한하여 검증결과를 계산하였다. TRMM 2A12 강수량 자료를 이용한 강수량 산출이 AWS 및 TRMM3B42 강수량 검증에서 상관계수는 0.38과 0.61, RMSE는 5.81과 2.44 mm/hr, PC는 0.79와 0.84 그리고 POD는 0.65와 0.87로 가장 높은 결과를 보였다. 전체적으로 위성을 이용한 강수량 산출에서 관측 강수량과 비교하여 AWS 강수량과 비교하여 5 mm/hr 이상 그리고 TRMM3B42 강수량과 비교하여 2 mm/hr 이상 많

은 강수를 추정하였다. 또한 강수량의 검증 결과는 TRMM 2A12, AMSRE, SSM/I, AMSU-B 및 SSMIS 계열의 마이크로웨이브 강수량을 이용한 방법순서로 상관성 등의 대부분 검증에서 높은 결과를 나타내었다. 장기적인 강수량의 산출 및 검증이 부족하나 MTSAT-1R 밝기온도를 이용하여 안정적이고 연속적인 강수량이 산출되었으며 AWS와 TRMM 강수량 자료에 의한 검증결과 0.35와 0.55이상의 검증결과를 보였다.

마이크로웨이브 자료의 자료공백 및 합성을 통하여 실시간 강수량 추정을 원활히 하기위해서는 마이크로웨이브 자료사이의 특성 및 합성에 대한 연구가 요구되어진다. 또한 MTSAT-1R을 이용한 강수량 산출 방법은 산출 영역과 운행을 제한할 경우 약간의 정확성 향상이 기대되나 근본적인 채널 제한 때문에 높은 정확성을 기대하기는 힘들다. 그럼에도 불구하고 정지위성에 의한 강수량 산출은 북반구에 대하여 약 30분의 시간 간격으로 하루 48회 수행되기 때문에 실시간 및 시·공간 강우강도 변화 예측을 위한 중요 자료로 사용될 수 있으며 또한 시간 연속 및 공간 밀도 특성 때문에 수치모형 입력 자료로 활용되어 일기예보 능력 향상에 기여할 수 있다.

사 사

본 연구는 기상청의 “통신해양기상위성 기상자료처

리시스템(CMDPS) 개발" 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Adler, R. F. and A. J. Negri, 1988. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteor.*, 27: 30-51.
- Arkin, P. A., 1979. The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Mon. Wea. Rev.*, 107: 1382-1387.
- Arkin, P. A. and B. M. Meisner, 1987. The Relationship between Large-Scale Convective Rainfall and Cold Cloud over the Western Hemisphere during 1982-84. *Mon. Wea. Rev.*, 115: 51-74.
- Atlas, D., D. Rosenfeld, and D. B. Wolff, 1990. Climatologically tuned reflectivity-rainrate relations and links to area-time integrals. *J. Appl. Meteor.*, 29: 1120-1135.
- Ba, M. and A. Gruber, 2001. GOES Multispectral Rainfall Algorithm(GMSRA). *J. Appl. Meteor.*, 29: 1120-1135.
- Barrett E. C., C. C. Kidd, and J. O. Bailey, 1988. The Special Sensor Microwave/Imager: A new instrument with rainfall monitoring potential. *Int. J. Remote Sens.*, 9: 1943-1950.
- Crosson et al., 1996. Assessment of rainfall estimates using a standard Z-R relationship and the probability matching method applied to composite radar data in Central Florida. *J. Appl. Meteor.*, 35: 1203-1219.
- Inoue, T. and S. A. Ackerman, 2002. Radiative Effects of Various Cloud Types as Classified by the Split Window Technique over the Eastern Sub-tropical Pacific Derived from Collocated ERBE and AVHRR Data., *J. of Meteorological Society of Japan*, 80: 1382-1394.
- Inoue, T., 1987. A cloud type classification with NOAA-7 split-window measurements. *J. Geophys. Res.*, 92: 3991-4000.
- Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, 2004. CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution, *J. of Hydrometeor.*, 5(3): 487-503.
- Kuligowski, R. J., 2002. A self-calibrating GOES rainfall algorithm for short-term rainfall estimates. *J. Hydrometeor.*, 3: 112-130.
- Kummerow C., Coauthors, 2001. The evolution of the Goddard profiling algorithm (GPROF) for rainfall estimation from passive microwave sensors. *J. Appl. Meteor.*, 40: 1801-1820.
- Kummerow, C., W. Barnes, T. Kozu, J. Shiue, and J. Simpson, 1998. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 15: 809-817.
- Kurino, T., 1997. A satellite infrared technique for estimating "deep/shallow" convective and stratiform precipitation. *Adv. Space Res.*, 19: 511-514.
- Lavizzani, V., 1999. Convective rain from a satellite perspective: Achievements and challenges. SAF Training Workshop-Nowcasting and Very Short Forecasting, Madrid, 9-11 Dec., EUMESAT, EUM P 25: 75-84.
- Negri, A. J., R. F. Adler, and P. J. Wetzal, 1984. Rain estimation from satellites: an examination of the Griffith-Woodley technique, *J. Climate Appl. Meteor.*, 26: 1565-1576.
- Rossow, W. B. and R. A. Schiffer, 1999. Advances in understanding Clouds form ISCCP. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80: 2261-2287.
- Scofield, R. A. and R. J. Kuligowski, 2003. Status and Outlook of Operational Satellite Precipitation Algorithms for Extreme-Precipitation Events,

- Weather and Forecasting*, 18: 1037-1051.
- Sorooshian, S., K.-L. Hsu, X. Gao, H. V. Gupta, B. Imam, and D. Braithwaite, 2000. An evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81: 2035-2046.
- Spencer R. W., H. M. Goodman, and R. E. Hood, 1989. Precipitation retrieval over land and ocean with the SSM/I: Identification and characteristics of the scattering signal. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 6: 254-273.
- Turk, F. J., E. E. Ebert, H.-J. Oh, B.-J. Sohn, V. Levizzani, E. A. Smith and R. R. Ferraro, 2003. Validation of an operational global precipitation analysis at short time scales. *Prepr. 12th Conf. on Satellite Meteor. and Oceanography, Long Beach, CA*, 21.
- Vincente, G. A., R. A. Scofield, and W. P. Menzel, 1998. The operational GOES infrared rainfall estimation technique. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79: 1883-1898.
- Weng, F., L. Zhao, G. Poe, R. R. Ferraro, X. Li, and N. C. Grody, 2003. Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) cloud and precipitation algorithms. *Radio Sci.*, 38(4): 8068, doi:10.1029/2002RS002679.
- Wentz, Frank J. and Roy W. Spencer, 1998. SSM/I Rain Retrievals within a Unified Ocean Algorithm, *J. of Atmos. Sci.*, 55: 1613-1627.
- Zhang, M. and R. A. Scofield, 1994 : Artificial neural network techniques for estimating convective rainfall and recognizing cloud mergers from satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, 15: 3241-3261.