

TRMM-PR/VIRS와 GMS 자료를 이용한 강수량 추정에 관한 연구

김영섭* · 박경원**

위성정보과학과* , 위성정보과학연구소**

Rainfall Estimation Using TRMM-PR/VIRS and GMS Data

Young-Seup Kim* and Kyung-Won Park**

Dept. of Satellite Information Science, Pukyong National University*

Institute of Satellite Information Science, Pukyong National University**

Abstract : Rainfall estimation was conducted based on TRMM-PR/VIRS and GMS data. AWS rainfall data were used for various validation. General procedure is as follows; 1) Z-R relationship was made by the comparison of TRMM-PR and AWS data. 2) new algorithm was developed by the estimates from Z-R equation and TBB of VIRS. 3) rainfall was estimated through the substitution of GMS data for TBB of VIRS in the newly developed algorithm.

Z-R relationship based on TRMM is $Z=303R^{0.72}$ with correlation coefficient 0.57. The newly developed algorithm is shown as correlation coefficient 0.67 and RMSE 17mm/hr. New algorithm shows the underestimating tendency in case of heavy rainfall event.

Key Words : Rainfall Estimation, TRMM, PR, VIRS, AWS.

요약 : TRMM-PR/VIRS와 GMS 자료를 이용하여 강수량을 추정하였다. 강수량 추정의 검증에는 기상청의 AWS 관측자료를 이용하였다. 본 연구의 강수량 추정 절차는 다음과 같다; 1)TRMM-PR 자료와 AWS 자료를 이용하여 Z-R 관계식을 도출한다. 2)Z-R 관계식에 의한 추정치와 VIRS의 TBB 자료를 이용하여 강수량 추정식을 도출한다. 3)새롭게 도출된 식의 VIRS의 TBB 대신 GMS의 TBB 자료를 대입하여 광역의 강수량을 추정한다. Z-R 관계식은 $Z=303R^{0.72}$ 로 나타났고 상관계수는 0.57이었다. 새롭게 제시된 강수량 추정식에 의한 결과의 상관계수는 0.67, RMSE는 17mm/hr로 나타났다. 강수량 추정식은 집중호우 때 과소추정하는 경향을 보였다.

1. 서론

우리나라에서 매년 발생하는 기상재해는 주로

폭풍, 호우, 태풍 등에 기인하는 것이다. 여름철의 장마와 태풍은 집중호우를 수반하여 인명과 재산에 막대한 피해를 유발하고 있다. 우리나라 여름철

2002년 6월 15일 접수 ; 2002년 10월 31일 수리.

의 호우는 그 발달과 지속시간이 매우 짧기 때문에 예측이 매우 어렵고, 그에 따라 국지적인 집중 호우로 인한 피해가 더욱 심각하다고 볼 수 있다.

이러한 집중호우로 인한 피해를 예방하기 위해서는 정교한 모델을 이용하여 예측의 정확도를 높이는 것과 위성이나 레이더와 같은 첨단 원격탐사 기술을 이용하여 실시간 감시를 강화하는 것이 매우 중요하다. 특히, 위성을 통한 집중호우 감시 기술은 간접적이기는 하나 높은 공간해상도와 넓은 지역을 관측할 수 있다는 점 때문에 지상에 구축되어 있는 우량계나 레이더의 단점을 보완할 수 있다는 측면에서 널리 이용되고 있다.

위성관측 자료를 이용한 강수량 추정에 관한 연구가 과거부터 많이 수행되어 왔는데, 처음에는 운형 분류와 지상 관측 강수량 사이의 경험적인 관계를 조사하는 연구가 이루어졌다. Follansbee (1973)과 Barret and Martin(1980)은 열대나 아열대 지역에서처럼 대류성 강수에 적용할 수 있는 경험적인 방법을 개발하여 일강수량을 추정한 바 있었다. 그러나, 후속 연구들이 진행됨에 따라 이러한 위성의 가시·적외자료를 이용하는 강수량 추정에는 고유한 한계가 있음이 지적되었다. 구체적인 예로, Gruber(1973)는 가시·적외 기법만으로 대류활동의 세부적인 내용을 유추하는 것은 근본적으로 부적절하다는 것을 지적하였다. 그럼에도 불구하고, 위성관측이 갖는 장점 때문에 위성을 이용한 강수의 준실시간 감시 필요성이 계속 대두되어 왔으며, 마침내 위성자료를 이용한 강수추정이 현실화 되기 시작하였다. 미국에서는 1978년 이후로 Scofield and Oliver(1977)와 Scofield(1987)에 의해 발전되어 온 방법에 근거해서 위성에 의한 홍수예보를 하고 있다.

우리나라에서도 레이더와 위성자료, AWS와 위성자료를 이용한 강수량 알고리즘을 개발하기 위한 노력이 계속되어 오고 있다(이미션 등, 1994; 서애숙 등, 1994; 권태영, 2001). 이러한 연구들은 대부분 위성에서 관측된 밝기온도와 지상의 AWS강수량 또는 레이더 반사인자와의 관계를 이용하여 경험식을 도출하고 있다. 그러나, AWS

는 지점수의 제한으로 인한 자료의 불충분 문제가 알려져 있으며, 또한 레이더에서도 Z-R 관계식 자체의 문제 등이 있어 위성자료와 조합하여 정확도 높은 강수관측 알골리즘을 제공하는데는 한계가 있다.

1997년에 발사된 TRMM 위성은 강수관측 레이더뿐만 아니라 가시·적외 복사계도 탑재하고 있기 때문에 GMS의 밝기온도를 이용하여 강수추정을 하는 경우에 검증자료로 활용할 수 있는 가능성이 높다. TRMM의 강수 레이더의 정확도는 위성이 발사된 이래 지속적으로 조사되어 오고 있다(Kenneth *et al.*, 2002; Mircea and Anagnostou, 2002). 이러한 TRMM에 탑재되어 있는 가시·적외 복사계는 GMS에 탑재되어 있는 복사계와 그 특성이 비슷하기 때문에 이들을 조합하여 보다 합리적인 강수추정의 가능성을 확인하고자 하는 것이 이 연구의 목적이다.

2. 자료 및 방법

1) 자료

TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)은 주로 열대와 아열대의 강수량을 모니터링하기 위해 미국과 일본이 합작으로 1997년 11월 27일에 쏘아 올린 위성이다. TRMM의 강수량 데이터는 지구물수지와 기후모델의 정확성을 향상시키는 데에 있어서 대단히 중요하다. 우리나라의 경우는 이 위성이 남부지방만 하루 2차례 정도 관측하지만 강수밴드의 3차원 구조를 파악할 수 있는 등의 장점이 있기 때문에 자료의 활용이 기대되고 있다.

TRMM에는 강수 레이더인 PR(Precipitation Radar)과 가시·적외 센서인 VIRS(Visible-Infrared Scanner) 센서가 탑재되어 있다. PR은 13.8GHz 주파수 대를 사용하며 주사폭은 약 220km, 수평 해상도는 4.3km이다. PR은 0.7mm/hr 정도의 약한 강수의 관측도 가능하며 강수의 분포, 강수 형태, 강수 구름의 두께 등에 대한 정보도 제공해준다.

Table 1. Characteristics of TRMM-PR/VIRS and GMS-VISSR.

Satellite	TRMM	TRMM					GMS			
Sensor	PR	VIRS					VISSR			
Orbit Type	Sun-synchronous					Geo-synchronous				
Altitude	≈ 350km	≈ 350km					≈ 36,000km			
Channel	MW	1 VIS	2 IR	3 IR	4 IR	5 IR	1 VIS	2 IR	3 IR	4 IR
Wavelength	13.8GHz	0.58~ 0.68μm	1.57~ 1.73μm	3.56~ 3.94μm	10.3~ 11.3μm	11.5~ 12.5μm	0.55~ 0.90μm	6.5~ 7.0μm	10.5~ 11.5μm	11.5~ 12.5μm
Spatial resolution	4.3km	2km					1.25km	5km		
Swath	220km	720km								

특히 지표에서 약 20km까지에 달하는 강수 구름의 3차원 수직 구조 정보를 제공해주기 때문에 강수 구름의 특성 파악에 매우 유용하다. PR자료는 수신전력값(원시자료)으로부터 레이더 반사인자(레벨 1), 강수량 자료(레벨 2)까지 처리되어 제공되고 있다. 본 연구에 이용한 자료는 지표로부터 20km까지 연직 분해능 250의 강수량자료(레벨1) 자료이다.

VIRS 자료로부터는 GMS위성에서와 마찬가지로 구름의 모양과 밝기온도 등을 알 수 있다. 따라서 거의 같은 시각에 관측된 PR과 VIRS 자료로부터 강우량과 구름과의 관계 등을 연구하는데 매우 편리하다. VIRS의 주사폭은 720km이고 공간 분해능은 직하점에서 2km이다. VIRS의 자료는 TBB 값으로 변환하여 사용하였다. 본 연구에 사용된 TRMM의 자료는 1998년 7월 30일 지리산에 집중호우와 1999년 8월 2일의 태풍이 있었던 때의 것이다. Table 1은 TRMM과 GMS위성의 특징을 표로 나타내었다. Table 1에 TRMM의 PR과 VIRS 그리고 GMS 위성의 각 특징을 요약하였다.

TRMM 자료를 이용한 새로운 강수추정 알고리즘을 검증하기 위하여 지상 참값으로 AWS (Automatic Weather System) 자료를 이용하였다. 강우강도란 우량을 한시간 단위로 환산한 것이며 단위는 mm/hr이다. 본 연구에서는 AWS의 10분 누적 강우량 값을 1시간 강우강도 값으로 변환하여 사용하였다. TRMM의 PR에 의한 Z-R관계식에서 얻은 강우강도를 검증하기 위하여 TRMM

주사폭 내에 드는 200개 정도의 AWS 자료를 이용하였고, 밝기온도를 이용한 강수추정의 검증에는 남한 전체의 AWS 자료(약 400개)를 이용하였다.

2) 방법

본 연구의 목적이 GMS에서 관측되는 밝기온도를 이용하여 보다 정확도 높은 강수를 추정하는 것이다. 종래의 연구에서는 대부분 GMS 밝기온도와 지상 AWS 관측 자료를 결합하여 강수 추정식을 제시하여 왔다. 그러나, 본 연구에서는 보다 정확도가 높은 것으로 알려져 있는 TRMM의 PR과 VIRS의 자료를 지상 강수 추정에 활용하기 위하여 Fig. 1에 보여지고 있는 흐름도에 따라 연구를 진행하였다. 먼저, TRMM의 PR자료를 지상 AWS 자료와 결합하여 이른바 Z-R 관계식을 만들어 강수 추정식을 만든 다음, 이 식에서 산출되

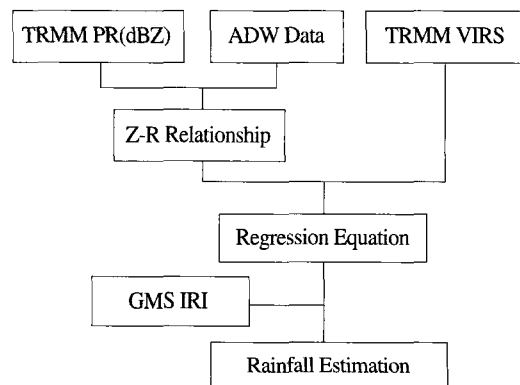


Fig. 1. Flowchart for precipitation estimation algorithm.

는 강수량과 TRMM의 VIRS의 밝기온도를 결합하여 두 번째 추정식을 만든다. 그리고 마지막으로 이 식에 VIRS 자료 대신에 GSM의 밝기온도를 대입하여 강수량을 추정하였다. 검증을 위하여 1999년 중부지방 집중호우에 이 방법을 적용하여 사례 조사를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

1) Z-R관계식 산출

TRMM의 PR 자료와 AWS 자료를 이용하여 Z-R 관계식을 도출하였다. 이른바 Z-R 관계식은, $Z=A \cdot R^b$ 로 표시되고, 여기서 Z는 반사도 인자, R은 강수율, A와 b는 상수이다. 이 관계식은 강수 형태와 지역에 따라 상수 A와 b의 값도 변한다.

TRMM 자료를 이용한 Z-R 관계식 중의 A와 b의 값을 지상에서 3.75km까지 0.5km 간격으로 구하였다. Fig. 2는 A와 b의 값을 구할 때의 반사 인자와 강우강도와의 관계를 나타내고, Table 2는 고도별 A, b값과 상관계수를 나타내었다. 상관계수 값은 0.5km에서 0.73으로 가장 높고, 이때의 A, b의 값들은 각각 303, 0.72였다. 여기서 산출된

Table 2. A and b value with respect to altitude.

altitude(km)	correlation coefficient	A	b
0.25	0.71	405	0.63
0.5	0.73	303	0.72
0.75	0.69	328	0.70
1	0.69	314	0.72
1.25	0.66	348	0.68
1.5	0.64	321	0.72
1.75	0.64	301	0.77
2	0.60	296	0.79
2.25	0.58	412	0.76
2.5	0.54	836	0.44
2.75	0.49	975	0.37
3	0.40	546	0.44
3.25	0.44	98	0.87
3.5	0.51	43	0.91
3.75	0.59	13	1.12

Z-R 관계식이 우리나라 지역에 효율적으로 적용될 수 있는지를 알아보기 위해서 사례연구를 실시하였다. 1998년 6월 26일날 남부지방에 강수가 있었고, 이때 이 지역을 TRMM이 관측하였다. Fig. 3은 TRMM의 Z-R 관계식과 AWS 자료에 근거한 강수분포도이다. ASW는 육상에만 국한되기 때문에 강수분포도가 조금 다른 것처럼 보이기도

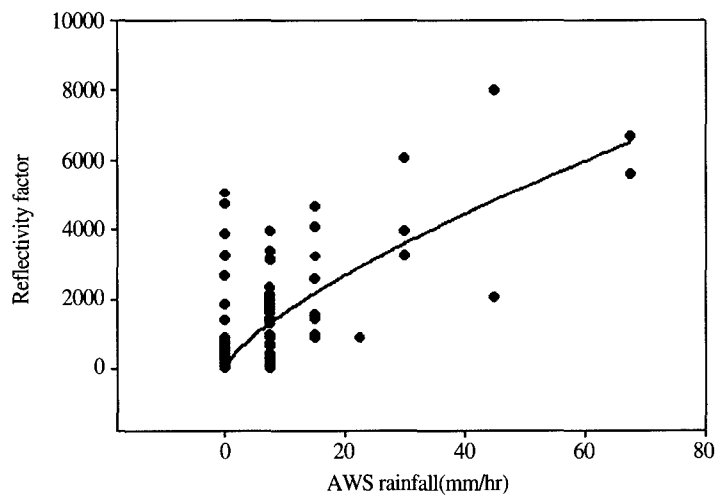


Fig. 2. Comparison of the reflectivity with the rain intensity.

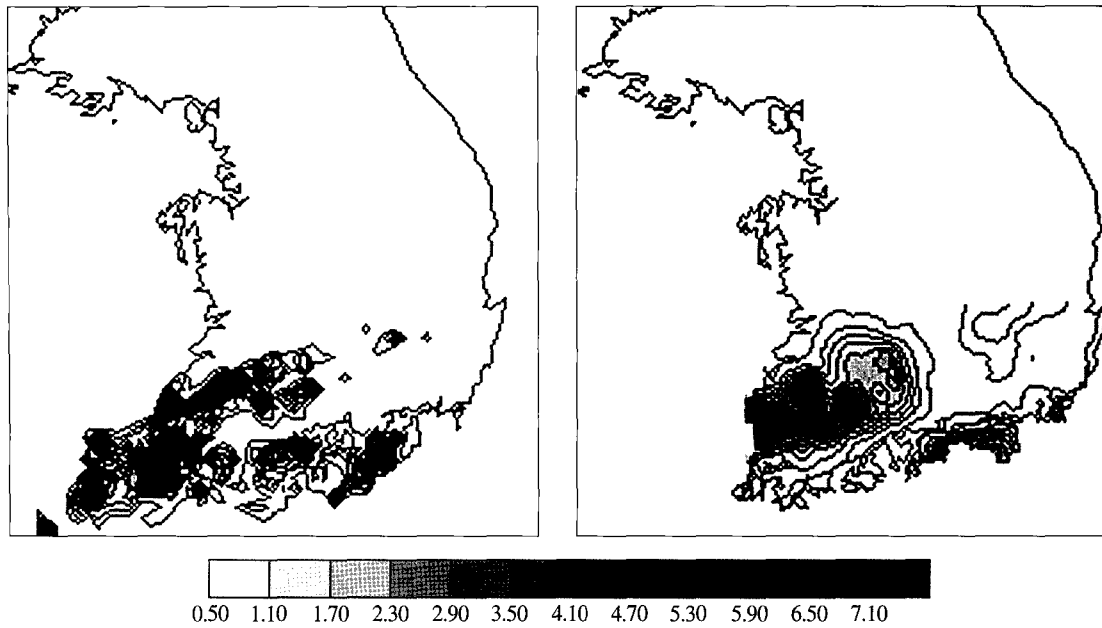


Fig. 3. Precipitation distributions derived Z-R relationships(a), and AWS(b), June 26, 1998.

하지만 집중 강수지역의 분포는 어느 정도 일치하는 것으로 보인다. 정량적인 비교를 위해 TRMM의 분해능을 기준으로 범위 내에 드는 AWS 자료와 비교해 본 결과, 상관계수는 대략 0.57 정도였다. 같은 방법으로 NASA/TRMM 센터에서 제시된 Z-R 관계식을 이용하여 조사해 본 결과 상관계수는 약 0.43으로 나타났다. 전체적으로 Z-R 관계식은 과소추정하는 경향을 보였다.

2) TRMM VIRS를 이용한 추정식

본 연구의 최종 목적이 GMS의 밝기온도를 이용하는 것이므로, GMS와 센서 특성이 비슷한 VIRS의 밝기온도와 1) Z-R관계식 산출에서 제시된 Z-R 관계식을 결합하여 새로운 경험식을 도출하였다. 이러한 과정을 거치는 것은 TRMM에서는 PR과 VIRS 자료가 거의 동 시각에 얻어지기 때문에 시간 지연에 의한 오차 등을 줄일 수 있기 때문이다.

이 과정에 이용된 TRMM VIRS 자료는 1998년 7월 30일 지리산 집중호우와 1999년 8월 2일 태풍

때 관측된 것을 이용하였다. VIRS 자료는 GMS와의 일치를 위하여 먼저 밝기온도 값으로 환산하였다.

일반적으로 밝기온도가 낮을수록 대류활동이 활발하고 강수가 많은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 일반 강수보다는 여름철에 나타나는 집중호우를 대상으로 하므로 밝기온도 값을 240K로 제한하고 이보다 낮은 경우만을 대상으로 분석하였다. 이러한 조건에 맞는 총 화소(pixel) 수는 약 12,000개 정도였다.

PR을 이용한 Z-R에서 추정된 강우강도와 VIRS의 밝기온도와의 관계는 Fig. 4와 같이 나타났다. 이 그림으로부터 각 온도에 대한 강우강도를 평균하여 정리하면 Fig. 5과 같이 된다. Fig. 5에서 이들 양 변수의 관계를 추정하면,

$$R = 0.361565 \times 10^{10} \times \exp(-0.029797 \times T^{1.2})$$

과 같이 된다. 이 식에서 R 은 강우강도로 단위는 mm/h이고, T 는 밝기온도로 단위는 K이다.

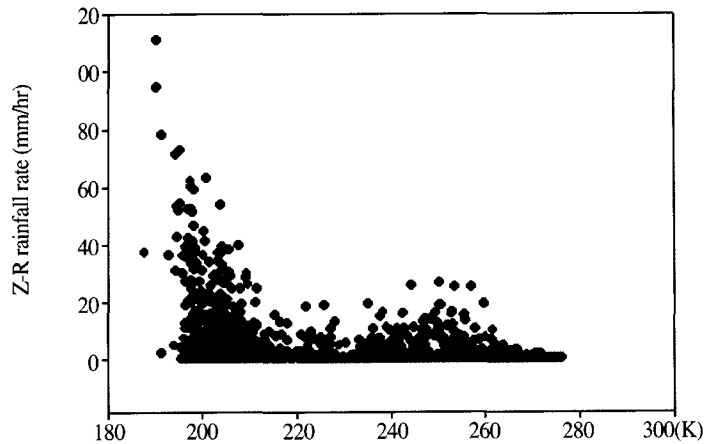


Fig. 4. Scatter plot for TBB of VIRS and Z-R rainfall rate.

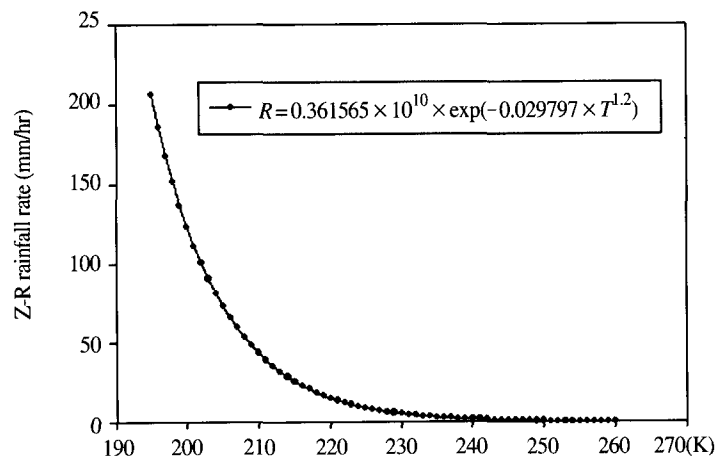


Fig. 5. Relationship between mean TBB of VIRS and Z-R rainfall rate.

3) 사례연구(1999년 중부지방 집중호우를 중심으로)

새로 만들어진 강수알고리즘에 1시간 간격으로 수집되는 GMS 자료를 대입하여 추정되는 강우강도의 정확도를 AWS 관측치와의 비교를 통해 알아 보았다.

강수 사례는 워낙 많고 어떤 사례가 좋은 것인가에 대해서는 객관적 기준이 없기 때문에, 재산 피해가 컸던 1999년 7월 30일부터 8월 1일까지 중부지방 호우 때의 문산, 연천, 철원, 파주 지방의

자료를 이용하여 조사하였다. 이 기간동안 파주에 500m 이상의 집중호우가 있었다. 이날 비가 가장 많이 내렸던 오후 6시부터 다음날 새벽 1시까지 3.2절에서 개발된 알고리즘을 적용시켜 보았다.

Fig. 6은 TRMM VIRS를 이용한 추정식에서 개발된 알고리즘에 의한 13 UTC의 중부지방 강우분포도를 나타낸 것이다. 그림에서 대략적인 중부지방의 호우 진행상태를 알 수는 있으나 정량적인 평가는 불가능하다. 그래서 호우 기간 동안에 관측된 AWS 자료와의 검증을 실시하였다. 전체적

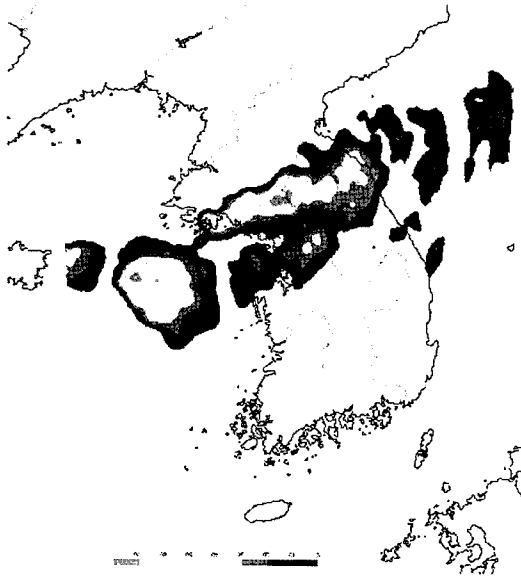


Fig. 6. Map of precipitation intensity estimated by the newly developed algorithm, 13 UTC July 31, 1999(Unit:mm/hr).

으로는 상관계수가 0.6으로 나타났고, RMSE는 17mm/hr였다. 각 지점별, 각 시각별 비교를 위해서 포천(Pochun), 문산(Monsan), 창수(Changsu) 지방을 선택하여 Fig. 7에 나타내었다. 전체적으로 시간별 강수량 추이를 보면 지상 관측값이 적은 시간에는 강수 알고리즘이 과대평가 하였고, 지상 관측값의 강우량이 클 때는 과소평가 하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 제안된 알고리즘이 실제 강수의 급격한 변동성을 따라 잡지 못하는 결과로 여겨진다.

4. 결론 및 요약

TRMM의 PR 및 VIRS 자료와 AWS 관측자료를 결합하여 강우강도를 추정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 최종적으로는 VIRS의 밝기온도 대신에 GMS의 자료를 대입하여 강우강도를 추정하고 사례연구를 통하여 그 가능성을 확인하였다.

우리나라 여름철 집중호우에 대해, TRMM/PR 자료와 AWS 자료의 결합을 통하여 유도된 Z-R

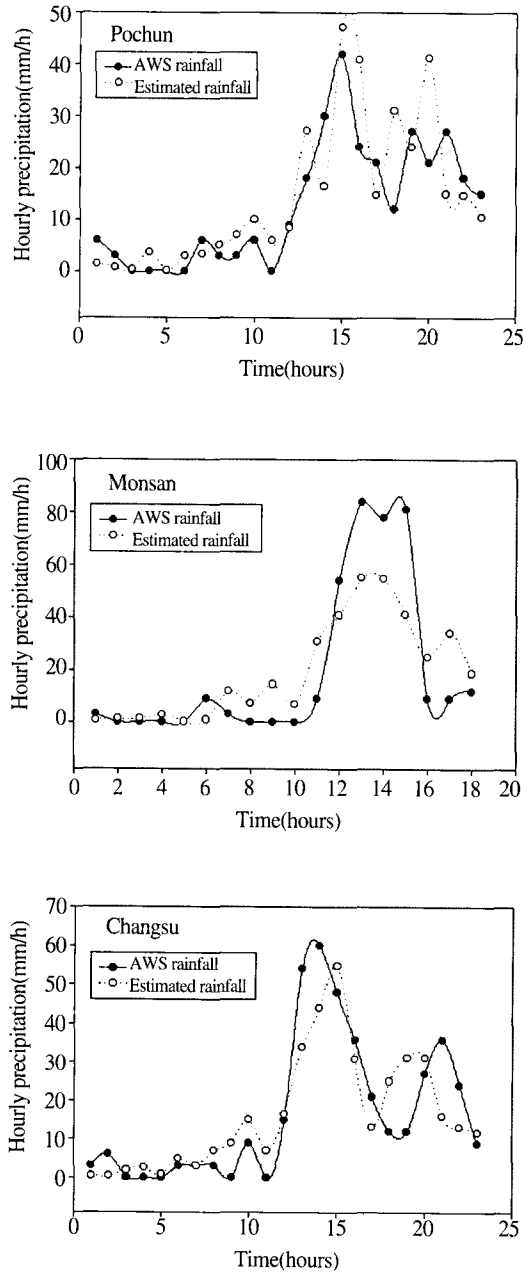


Fig 7. Time series for the hourly rainfall rates estimated rainfall rate and AWS rainfall rate, Pochun, Monsan and Changsu, July 31, 1999.

관계식은 $Z = 303R^{0.72}$ 과 같고, 이때의 상관계수는 0.57로 나타났다. 전체적으로는 Z-R 관계식이 과소평가 하는 경향을 보였다.

TRMM 자료에 근거한 Z-R 관계식과 VIRS의 밝기온도를 결합하여 새로운 강우추정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 추정식의 결과와 AWS 관측치를 비교한 결과 상관계수는 0.6이었고, RMSE는 17mm/h로 나타났다. 강수 알고리즘의 공간적 검증뿐만 아니라 시간이 흐름에 따른 특성을 파악하기 위해서 중부지방의 포천, 문산, 창수 지역을 선택해서 GMS 밝기온도를 대입하여 산출된 강우강도와 AWS 관측치를 비교하였다. 새로운 추정식에 GMS 밝기온도를 대입한 결과는 강수량이 적을 때에는 전체적으로 과소평가하고, 짧은 시간 동안 집중호우가 내릴 때는 과대평가 하는 경향을 보였다.

본 연구는 단지 TRMM의 PR과 VIRS 자료를 강우강도 추정에 이용하는 가능성을 조사한 연구에 불과하다. 따라서, 그 유효성을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 보다 폭 넓은 조건에 대한 종합적인 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술 개발사업의 하나인 원격기상탐사기술개발 과제에서 수행된 것입니다

참고문헌

권태영, 2001. GMS-5 IR1 밝기온도와 AWS 강수량 사이의 관계성, 대한원격탐사학회지, 17(1): 15-31.

서애숙, 이미선, 김금란, 이희훈, 1994. GMS 영상 자료와 관측강수량 자료의 비교, 대한원격탐사학회지, 10(1): 1-14.

이미선, 김금란, 서애숙, 이희훈, 1994. 레이더와 위성자료를 이용한 강수 산출. 한국기상학회지, 30(4): 583-595.

Barret, E. C. and D. W. Martin, 1980. *The use of satellite data in rainfall monitoring*, Academic Press, p. 337.

Follansbee, W. A., 1973. Estimation of average daily rainfall from satellite cloud photographs, *NOAA Tech. Memo.*, NESS 44, U.S. Dept. Commerce, Washington, D.C., p. 39.

Gruber, A. 1973. Estimating rainfall in regions of active convection, *J. Appl. Meteor.*, 12: 110-118.

Kenneth, G. S., C. R. Williams, W. L. Clark, P.E. Johnston and D. A. Carter, 2002. Profiler Contributions to Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) Ground Validation Field Campaigns, *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(6): 843-863.

Mircea, G., E. N. Anagnostou, 2002. Use of Passive Microwave Observations in a Radar Rainfall-Profiling Algorithm, *J. Appl. Meteor.*, 41(7): 702-715.

Scofield, R. A. and V. J. Oliver, 1977. A scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery, *NOAA Tech. Memo.*, NESS 86, U.S. Dept. Commerce, Washington, DC.

Scofield, R. A., 1987. The NESDIS operational convective precipitation technique, *Mon. Wea. Rev.*, 115(8): 1773-1792.