

## TRMM/PR 관측에 의한 한반도에서의 여름철 호우의 특성: 사례연구

박혜숙 · 정효상 · 노유정

기상연구소 원격탐사연구실

### The Characteristics of Heavy Rainfall in Summer over the Korean Peninsula from Precipitation Radar of TRMM Satellite : Case Study

Hye-Sook Park, Hyo-Sang Chung, and Yoo-Jeong Noh

Remote Sensing Research Laboratory, Meteorological Research Institute(METRI)

**Abstract :** The Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) Satellite was launched in November 1997, carrying into orbit the first space-borne Precipitation Radar(PR). The main objective of the TRMM is to obtain and study multi-year science data sets of tropical and subtropical rainfall measurements. In the present investigation, the characteristics of heavy rainfall cases over Korea in 1998 and 1999 are analyzed using the TRMM/PR data. We compare the rainrate measured from TRMM/PR with the accumulated rainfall data for 10 minutes by Automatic Weather System(AWS). Especially, horizontal cross-section of rainrate with height and longitude in the precipitating clouds are investigated. As a result of the comparison with GMS-5 IR1, the TRMM/PR data delineate well the rain type( i.e. convective, stratiform cloud and others), height of storm top and instantaneous rainrate in the precipitating clouds. The vertical structure with height and horizontal cross-section of rainrate along the longitude show the orographic effect on the rainfall. TRMM/PR instrument measures the rainrate below 6 mm/hr more than AWS rain gauges and inclined to underestimate the rainrate than rain gauges for the whole area.

**Key Words :** TRMM, PR, rainrate, rain type, height of storm top, horizontal cross-section

**요 약 :** 열대 강우 관측 위성(TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission)에서 관측된 자료가 한반도에서 발생한 호우 특성을 얼마나 잘 나타내 주는지를 알아보기 위하여 1998년과 1999년 여름철 호우 사례에 대해 분석하였다. 본 연구에서는 먼저 집중 호우를 동반한 비 구름대의 높이, 강수 형태, 비 구름의 수직 분포 및 수평 단면도 상의 강우 분포를 조사하였으며, TRMM/PR 관측 강우 강도와 지상에서 관측된 자동기상관측 장비(AWS: Automatic Weather System)에서 관측된 값을 비교하였다. GMS-5 IR1과 AWS 지상관측 자료와 비교해 볼 때, TRMM/PR 관측자료는 기존의 자료로는 알 수 없는 강수 형태, 비 구름대의 높이 등에 대한 정보를 쉽게 제공해 주었으며 특히 비 구름대 내부에서의 강우강도 분포와 연직 발달 정도를 잘 묘사했다. 또한 위도-경도별 강우강도의 단면분포에서는 지형 효과에 의한 강우 특성도 알 수 있었다. TRMM/PR 관측 강우강도 값은 AWS

관측치에 비해 6 mm/hr 이하에서 더 많이 관측되었으며, 전체적으로는 지상 관측에 비해 적게 관측되는 경향을 보였다.

## 1. 서론

최근 전세계에서는 이상기상의 영향으로 가뭄, 홍수, 산불 등 많은 기상재해가 발생하고 있다. 특히 1998년 여름철에는 금세기 최대의 엘니뇨 영향으로 중국 양쯔강 유역에서의 대홍수, 우리나라에서는 지리산 일대, 서울 경기 일대, 포천·일동 일대, 속리산 보은지방, 충청남북도 및 경상도 지역에서 게릴라식 집중호우를 유발하여 막대한 피해를 입혔다(윤원태 등, 1999; 이동규 등, 1999). 집중호우는 국지성, 돌발성, 야행성 등의 특성을 갖기 때문에 충분한 시간적 여유를 둔 정확한 예보는 현재의 예보 기술수준으로는 매우 어려운 실정이다(기상청, 1998). 더욱이 강수관측은 수 백년 동안 주로 지상 관측에 의해 이루어졌지만 지상 관측은 지점별로 관측하기 때문에 자료가 공간적으로 균일하지 않으며 육지에 한정되어 있는 단점이 있다(Ohsaki *et al.*, 1999). 또한 지점별 자료는 강수구름의 발달과정이나 연직 구조 등에 대한 정보를 제공하지 않기 때문에 집중호우를 동반하는 강수구름에 대한 특성 분석 등에는 부족한 점이 많다. 이러한 측면에서 기상위성자료는 일정한 시간 간격을 가지며 공간적으로 균일한 고해상도 관측자료를 지속적으로 제공하기 때문에 호우나 태풍 등의 기상현상 감시 및 분석에 매우 효과적이라 할 수 있다. 특히 1997년 11월에 발사된 TRMM 위성은 강수관측 레이더를 탑재하고 있기 때문에 강수구름의 특성분석에 매우 유용하다.

TRMM 위성은 350km 상공에서 약 96분 주기로 지구를 관측하는 극궤도 위성으로써 5개의 주요 기구로 이루어져 있다. 세 개의 주요 강수 관측 기구는 TRMM 마이크로파 영상기(TMI: TRMM Microwave Imager), 가시 적외 스캐너(VIRS: Visible Infrared Scanner)와 강수 레이더(PR: Precipitation Radar)이며, 부수적인 관측 기구는 구

름과 지구 복사 에너지 시스템(CERES: Cloud and the Earth Radiant Energy System)과 번개 영상 센서(LIS: Lightning Imaging Sensor)이다. 여기서 PR은 세계 최초로 위성에 탑재된 능동형 강수 레이더로서 육지와 해양에서의 강수관측을 주요 목적으로 한다(Kozu *et al.*, 1998). TRMM 관측 자료는 GVP(Global Validation Program)에 의해 전세계 10개 지점에 걸쳐 자료의 유효성이 검증되었으며 DAAC/GSFC(Data Active Archive Center/Goddard Space Flight Center)에서 사용자들에게 자료를 제공하고 있다(Ciach *et al.*, 1997). 현재까지 TRMM 관측 위성자료는 강수유무, 강수 형태, 강수입자의 분포, 강수량 관측, 강수의 에러 분석 및 전지구 기후변화 등 다양한 연구에 이용되고 있으나(Lebel and Amani, 1998; Tokay *et al.*, 1998), 현재까지 우리 나라에서 TRMM 관측 자료를 이용한 연구는 활성화되어 있지 않은 상태이다.

본 연구에서는 DAAC에서 제공하는 TRMM/PR level 2 자료를 이용하여 1998년과 1999년 한반도 남부지방에서 발생한 호우현상에 대한 사례분석을 통하여 TRMM/PR 관측에 의한 강수 특성을 조사하였다.

## 2. 자료 및 분석방법

TRMM 위성은 위도  $\pm 35^\circ$  내의 영역을 약 96분 주기로 관측하기 때문에 하루에 한 두번 한반도 남부지방을 통과한다. 따라서 본 연구에서는 한반도 남부지방에서 발생한 호우사례에 국한하여 총 6 사례를 분석하였으나, 본 논문에서는 1998년 막대한 인명/재산 피해를 유발한 7월 31일 지리산 일대 집중호우, 9월 30일 제 9호 태풍 예니(Yanni)에 의한 호우 사례에 대해 주로 기술하였다.

TRMM/PR은 강수에 의한 경로 감쇠(path attenuation)가 매우 심한 13.8GHz 주파수 대를 사용하며 수평 해상도는 4.3km로 고해상도의 강수 관측 자료를 생산한다(NASDA and NASA, 1999). 강수 레이더(PR)는 강우강도 분포, 강수 형태, 비 구름대의 두께 등에 대한 정보를 제공할 뿐만 아니라 지표에서 250m마다 약 20km까지에 달하는 비 구름대의 3차원 수직 구조 정보를 제공하기 때문에 비 구름의 특성 파악에 매우 유용하다.

본 연구에서 사용한 TRMM 자료는 DAAC/GSFC에서 제공하는 level 2 자료 중 2A23과 2A25 자료이다. 2A23자료는 밝은 띠(Bright Band)의 고도와 강도, 비 구름대의 높이, 강수 형태에 대한 정보를 제공하며, 2A25는 수직/수평 강우강도 분포와 지표부근에서의 레이더 반사도(Z: reflectivity)를 나타낸다. 본 연구에서는 이 자료를 이용하여 호우를 동반한 비 구름대의 특성을 분석하였고, 강우강도 분포와 지상관측 AWS 자료와의 비교를 통해 강우특성을 조사하였다. 강우강도란 우량을 한시간 단위로 환산한 것으로 단위는 mm/hr이다. 예를 들면 1분간 강우강도는 1분의 우량을 60배 한 것이다(정보통신부, 1997).

통상적으로 레이더 관측 강우강도는 면적 평균값이고, 지상관측 자료는 지점별 자료이기 때문에 서로를 비교하기는 어렵지만, 지상관측자료는 강우를 직접 관측하고 레이더가 갖고 있는 강수입자의 분포에 따른 오차를 포함하지 않기 때문에 ground truth로 간주하여 레이더 자료의 검증/보정 자료로 활용하고 있다(Ciach *et al.*, 1997; Ohsaki *et al.*, 1999; Oki *et al.*, 1997). Oki *et al.*(1997)는 경계값 방법(threshold method)으로 레이더-AMeDAS 강수량에 대한 TRMM 표본을 위한 연구에서 약 17km의 공간 간격으로 일본 열도 전역에 분포하는 1300지점의 자동기상관측 시스템(AMeDAS: Automatic Meteorological Data Acquisition System)에서 생산되는 1시간과 10분 평균 강수량 자료를 이용하였고, Makihara(1996)는 레이더 관측 강수량의 비교를 위해 AMeDAS자료를 사용하였다. 또한 Steiner *et al.*(1995)는 레이더 관측 자료를 이

용한 구름의 삼차원 구조 분석을 위해 호주기상청에서 운영되는 22개 지점의 rain gauge자료를 이용하였다.

본 연구에서는 기상청 자동기상관측 장비인 AWS 에서 관측된 분 단위 강우량의 10분 누적값을 강우강도로 환산하여 사용하였다. 우리나라 남한 지역 전역에 분포하는 AWS는 약 18km 간격으로 400 여 곳에 위치하지만, TRMM 위성이 지나가는 영역인 33.0°N-36.2°N 내에는 약 225개 정도가 포함된다. 한편, TRMM 위성은 0.7mm/hr까지의 약한 강우까지 관측이 가능하고, AWS는 0.5mm/hr 이상의 강우량부터 관측이 되지만, 본 연구에서는 효과적인 비교를 위하여 보통 강우를 기준으로 3mm/hr 이상의 강우강도(RR: Rainfall intensity, RainRate)에 대해 분석하였다. 일반적으로 기상청에서는  $0.5 \leq RR < 3$ mm/hr은 약한 강우,  $3 \leq RR < 15$ mm/hr 는 보통 강우 그리고  $15 \text{mm/hr} \leq RR$ 은 강한 강우로 구분한다(김광식, 1992; 기상청, 1987).

### 3. 사례 연구

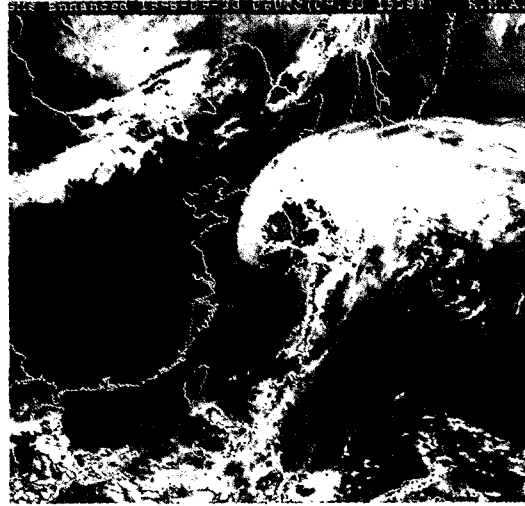
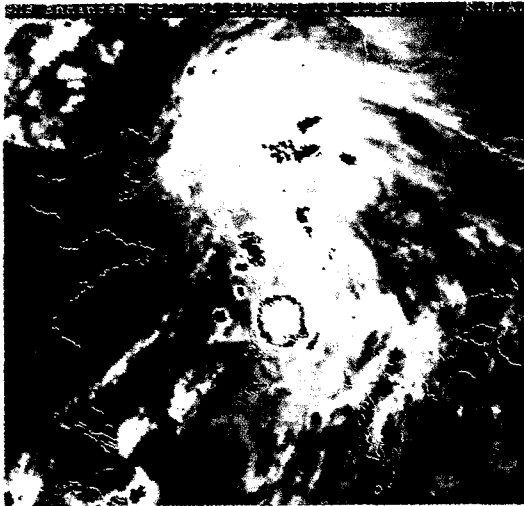
본 연구에서 대표적으로 선정된 사례는 1998년 7월 31일 22 LST에서 8월 1일 02 LST 사이에 지리산 일대에서 돌발적으로 발생한 집중호우와 1998년 9월 30일 15 LST경에 대구, 포항, 마산, 창원 등 남부지방에 영향을 준 제9호 태풍 애니에 의한 호우 사례이다.

#### 1) 비 구름대의 특성

집중호우를 동반한 비구름대의 특징을 조사하기 위하여 Fig. 1에서는 GMS-5 IR 강조 영상(enhanced image), TRMM 위성 관측으로부터 산출된 강수형태(rain type), 그리고 비구름대의 발달 고도 분포를 나타내었다. GMS-5 IR1 영상은 TRMM이 한반도를 지나가는 시간대에 가장 근접한 1998년 7월 31일 22시와 1998년 9월 30일 15시의 IR1 영상이다. 비 구름대의 높이를 나타낸 그

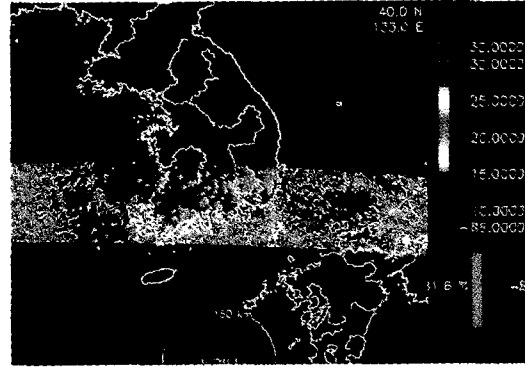
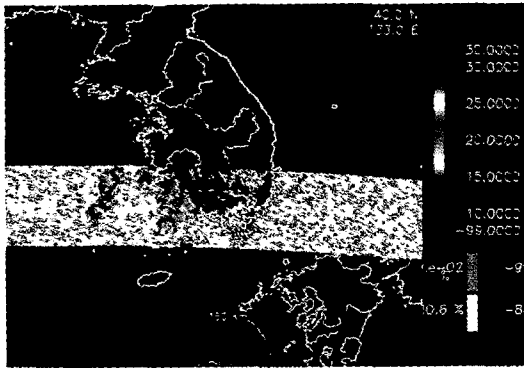
(a) Mt. Giri heavy rainfall

(b) '98 the 9th Typhoon Yanni



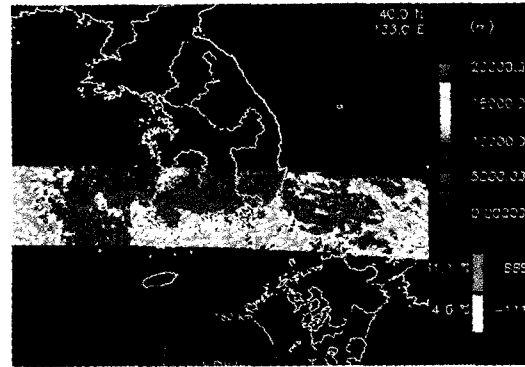
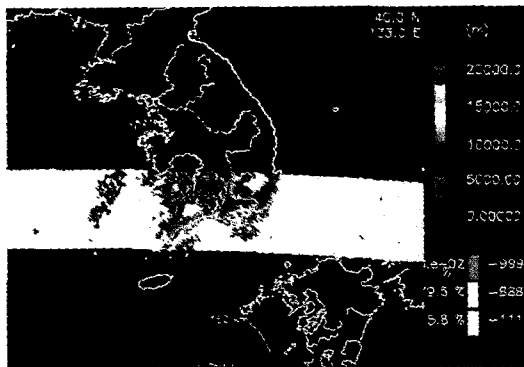
▲ Enhanced IR image of GMS-5

▲ Enhanced IR image of GMS-5



▲ Rain Type Flag

▲ Rain Type Flag



▲ High of Storm Top(m)

▲ High of Storm Top(m)

Fig. 1. The enhanced IR 1 images of GMS-5, rain type flag and hight of storm top measured from TRMM for a) Giri Mt. heavy rainfall and b) '98 9th Typhoon Yanni Cases. In the rain type flag, the numbers indicate as follows : 10, 11 ; stratiform certain, 12; probably stratiform, 13; maybe stratiform, 20, 21, 22 ; convective certain, 23 ; probably convective, 24, 25 ; maybe convective and 30; others

림에서 -1111은 지표 노이즈에 의해 자료가 불확실하여 계산되지 않은 것을 의미한다. 강수형태는 크게 층운, 대류운 및 다른 구름 등 세가지로 분류되며, 여기에서 숫자 10과 11은 확실한 층운을 20, 21과 22는 확실한 대류운을 의미한다. 그리고 -8888은 강수가 없는 지역, -9999는 자료가 결손된 부분을 나타낸다.

지리산 집중호우 때의 GMS-5 IR 영상(Fig. 1a)을 보면, 북태평양 고기압의 가장자리에서 중규모 대류운(MCC: Mesoscale Convective cloud)이 발달하였다. 이 중규모 대류운은 23시부터 급격하게 발달하여 지리산 부근에서 집중호우가 시작된 후 8월 1일 02 시까지 3시간 동안 비교적 짧은 시간에 지리산 일대에 호우가 집중되었고 점차 동진하면서 비 구름대가 약화되었다(기상청, 1998).

이때 발달한 비 구름대의 높이와 강수 형태를 TRMM 관측에서 보면, 전라도 일대는 6-7km 까지 발달한 대류운이 분포하고 지리산 부근에는 최고 15km 까지 발달한 심층 대류운이 존재하며, 그 동쪽인 경상도 지방은 구름의 꼭대기가 4-5km 정도인 층운이 분포하고 있다.

'98년 제 9호 태풍 애니가 지나갔던 9월 30일 15시의 GMS-5 IR 영상에서는 태풍이 다소 약화되어 태풍의 눈이 정확하게 나타나지는 않지만 태풍의 중심부근인 경상북도 부근에 CDO(Cloud Density Overcast)가 강하게 발달하고 있는 것을 보아 이 부근에서 강우가 강할 것임을 짐작할 수 있다. TRMM 위성의 관측 결과를 보면 경상남북도에는 비구름대의 꼭대기가 6-7km 인 대류운이 분포하고 전라도 지방에서는 4-5km까지 발달한 층운이 분포한다. 호우가 집중된 포항과 대구지방에는 대류운이 최고 7.7km까지 발달하였다.

## 2) TRMM/PR 관측 강우강도와 지상관측 값과의 비교

비 구름대에 동반된 호우의 강도 분포를 조사하기 위하여 Fig. 2에는 TRMM/PR과 지상 AWS에서 관측된 강우강도 분포를 나타내었다. 강우강도 값은 최대 강우강도 지점과 값을 보기 위하여

TRMM/PR과 AWS 자료 모두 내삽을 취하지 않은 값을 표출하였다.

지리산 집중호우에 대한 TRMM/PR 강우강도 분포(Fig. 2a)에서는 Fig. 1a)에서 심층 대류운이 15km까지 발달한 지점에서 순간 최대 강우 강도 302.6mm/hr이 관측되었다. 이 지점은 구례지방에 해당하며 순천지방에서는 161.9mm/hr가 관측되었다. 지상 AWS 관측에서는 순천지방에서의 강우강도가 258mm/hr로 최대값이 나타났고, 북흥과 태인지방에서는 각각 75mm/hr와 48mm/hr가 관측되었다. 7월 31일 순천지방의 시간당(21:50 - 22:50 LST) 최대 강우량은 145mm로 우리 나라 기상 관측 사상 최대 강우량을 기록하였다(기상청, 1998). 1998년 9월 30일 태풍 애니에 동반된 호우에 대한 TRMM/PR 관측 강우강도 분포(Figure 2b)에서는 창원지방에서 105.4mm/hr로 순간 최대 강우강도 값이 관측되었고 다음으로는 마산과 경주지방에서 각각 101.95와 96.4mm/hr 값이 관측되었다. 이때 AWS 지상 관측 분포에서는 경상남도 함안 지방에서 90mm/hr로 최대값이 나타났고, 그 다음으로는 경상북도 화양에서 69mm/hr, 산전에서 63mm/hr 그리고 외동, 밀양, 길곡 등지에서는 42mm/hr가 관측되었다. 이 지점들은 모두 태풍의 중심부근에서 발달한 CDO지역에 해당한다.

TRMM/PR 관측 강우강도와 지상관측 값의 양적 분포를 기상청 자동관측지점에 근거하여 보통 강우와 강한 강우로 분류하면 Fig. 3과 같이 나타난다. 먼저 3mm/hr 이상이 관측되는 지점 수는 지리산 집중호우의 경우 TRMM 위성 관측이 818 지점, AWS는 62지점이며, 태풍 사례에 대해서는 TRMM 위성관측이 1577지점, AWS 관측이 129지점이다. 이것은 TRMM 위성이 AWS 관측보다 공간적으로 매우 조밀하게 강우강도를 관측함을 나타낸다. 강우강도의 양적 분류에 따른 특성을 보면, 지리산 집중호우의 경우  $3 \leq RR < 15$ mm/hr인 보통 강우는 TRMM/PR 관측이 77.1%, AWS 관측은 79.0%이고,  $15 \leq RR$  이상의 강한 강우는 TRMM/PR 관측의 경우 22.9%, AWS 관측에서는 21.0%를 차지한다. 태풍에 동반된 호우 사례

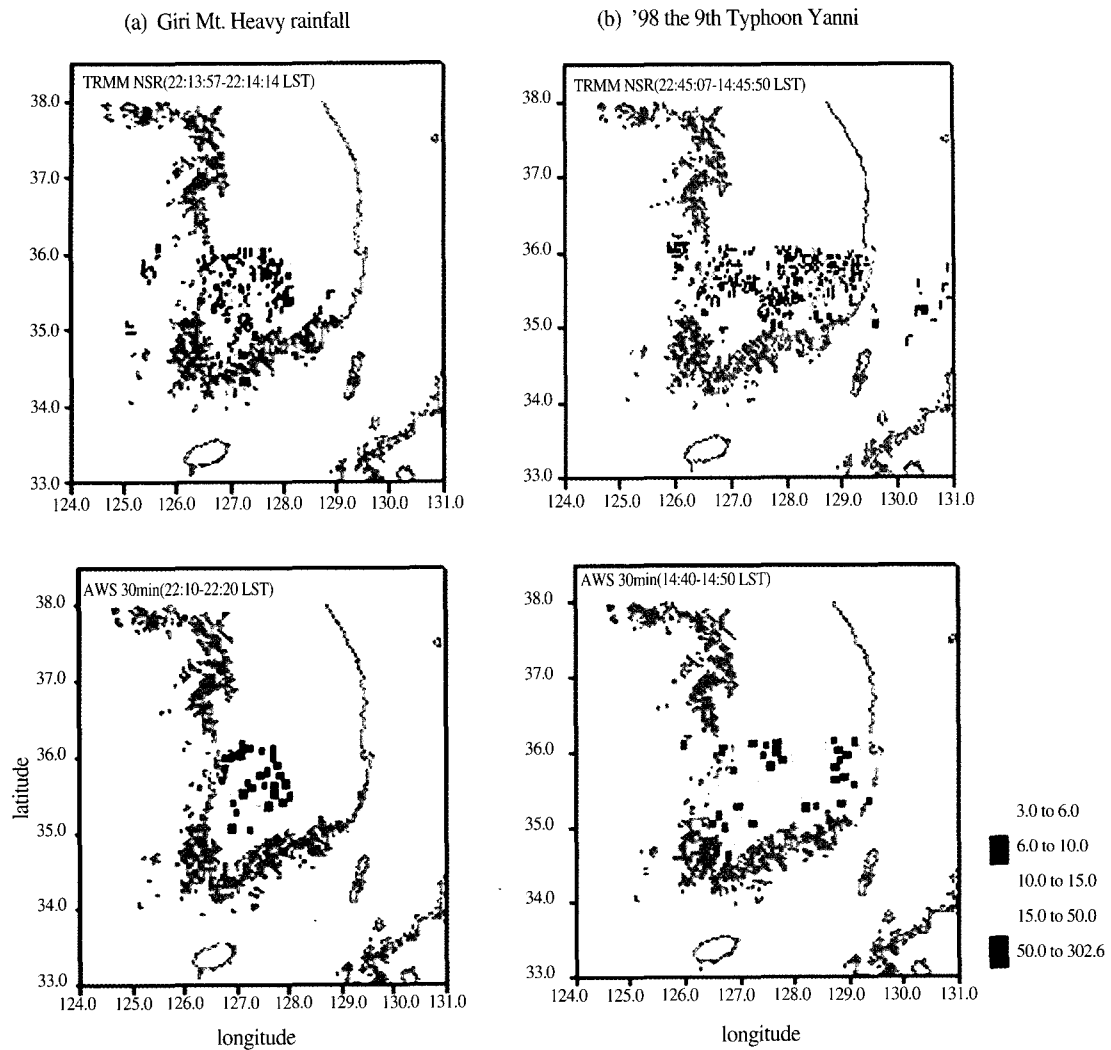


Fig. 2. The enhanced IR images of GMS-5, near surface rainrate(mm/hr) from TRMM/PR and AWS rainrate.

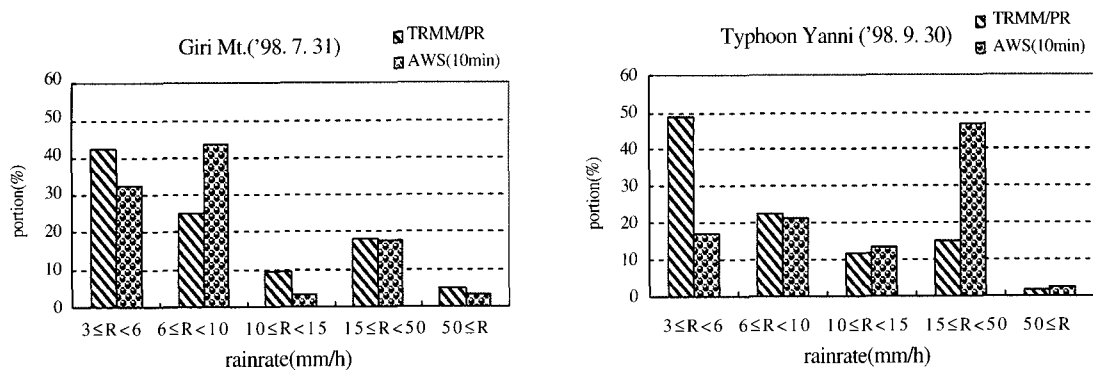


Fig. 3. The comparison of the rainrate distribution according to the rain amount between TRMM/PR and AWS measurements.

의 경우에는 보통 강우가 TRMM/PR과 AWS 관측의 경우 각각 83.2% 와 51.2%이며, 강한 강우는 TRMM/PR 관측이 16.9%, AWS 관측이 48.8%를 차지한다.

Fig. 3a를 보면 지리산 집중호우의 경우는 TRMM/PR 관측이나 AWS 지상관측 모두 비슷한 분포를 보이지만 TRMM/PR 관측에서는  $3 \leq RR < 6 \text{mm/hr}$ 가 42.3%로 가장 많이 분포하고 AWS 지상관측에서는  $6 \leq RR < 10 \text{mm/hr}$ 가 43.5%로 가장 많은 비율을 차지한다.

태풍에 동반된 호우의 경우(Fig. 3b)에는 TRMM/PR과 AWS 관측에 의한 주요 강우강도 대가 뚜렷하게 차이가 나는데, TRMM/PR은  $3 \leq RR < 6 \text{mm/hr}$ 의 강우가 48.7 %로 주를 이루는 반면 AWS 지상 관측에서는  $15 \leq RR < 50 \text{mm/hr}$ 가 46.5 %로 가장 많았다. 전체적인 경향을 보면, '98년 7월 31일과 9월 30일 모두 TRMM/PR은 강한 강우보다는  $15 \text{mm/hr}$  이하의 강우를 더 잘 관측하였으며, 이것은 레이더 에코 강도와 강우강도가 선형관계를 이룬다고 가정할 때 비 구름대의 바닥에서 TRMM/PR은  $1-20 \text{mm/hr}$ 까지를 잘 관측한다는 Okamoto *et al.*(1988)의 결과와 일치한다(Oki *et al.*, 1997). 그러나 TRMM/PR 관측 강우강도는 AWS 지상관측에 비해 전반적으로 다소 적게 관측되는 경향을 보였으며, 이러한 특성은 비구름대의 형태나 강수 유형에 따라 그 양에 다소 차이가 있지만 다른 4 사례에 대해서도 동일하게 나타났다. Oki와 Sumi(1999)도 일본의 지상 AMeDAS 관측 강우자료와 PR에서 관측된 강우강도를 비교한 결과 PR이 지상 관측치에 비해 적게 추정함을 밝혔다.

### 3) 비구름대 내에서 강우강도의 수직/수평 분포 특성

강우강도는 시·공간 변화뿐만 아니라 강수의 연직 분포에 따라서도 변하기 때문에 Fig. 4에는 TRMM/PR 연직 자료를 이용하여 8km까지의 강우강도의 층별 단면도와 경도별 수평 단면 분포를 나타내었다. TRMM/PR은 250m마다 80개

층(20km)의 연직 강우강도 자료를 제공하며, 각 층의 탐사 폭은 220km이다. TRMM/PR에서 관측되는 최하층 자료는 지표 노이즈 등으로 정확한 정보를 제공하지 않기 때문에 본 연구에서는 NASA에서 지표 관측자료를 처리한 후 제공하는 지표부근의 강우강도(NSR: Near Surface Rainrate)부터 8km까지 각 1km마다의 강우강도 분포를 표출하였다. Fig. 4a를 보면 지리산 집중호우는 지리산( $35.32^\circ \text{N}$ ,  $127.76^\circ \text{E}$ )을 중심으로 8km 이상까지 매우 두꺼운 심층 대류운이 발달하였다. Fig. 4에는 임의적으로 8km까지만 표출하였지만, Fig. 1a에 의하면 지표 부근의 순간 강우강도가  $162-302 \text{mm/hr}$ 까지 관측되는 구례·순천 지방에서 발달한 비 구름은 약 12-15km까지 발달하였다. 이것은 지리산 부근의 지형효과와 강한 대류 불안정 등으로 인하여 국지적으로 단시간 내에 발달한 중규모 대류운에 의한 집중호우의 전형적인 사례임을 잘 보여 준다. 또한 지형에 의한 강우의 분포 특성을 조사하기 위하여 지리산의 동쪽과 서쪽 지역을 포함하는 위도  $35.0^\circ \text{N} - 35.5^\circ \text{N}$ , 경도  $127.0^\circ \text{E} - 128.4^\circ \text{E}$  을 중심으로 자른 단면상의 강우강도 분포를 보면, 지리산의 서쪽지역인 순천과 구례지방에서 강우가 집중적으로 발생하였음을 알 수 있다. 지리산의 바로 앞인 구례지방에서는  $300 \text{mm/hr}$ 이상의 강우강도가 관측되지만 지리산의 동쪽지역에서는 강우량이  $20 \text{mm/hr}$  정도로 매우 작아 그 편차가 매우 크게 나타났다. 이것은 AWS 지상관측 자료를 이용한 기상청의 조사에서 지리산의 서쪽인 남원, 구례지방은 강수에코의 진행방향이 서에서 동으로 진행되는 서풍계열의 풍상측에 해당하며, 동쪽 지방인 대병, 산청 지방은 풍하측으로 강우량의 편차가 매우 크게 나타났다는 결과(기상청, 1998)와 일치하며 지리산의 지형효과에 의한 강우 특성을 잘 묘사해 준다.

한편 태풍 애니에 동반된 남부지방에서의 호우 사례(Fig. 4b)를 보면, 비 구름대가 전라북도 와 경상남·북도에 걸쳐 넓게 분포하지만 대류운은 주로 대구, 경산, 경주, 포항 등을 중심으로

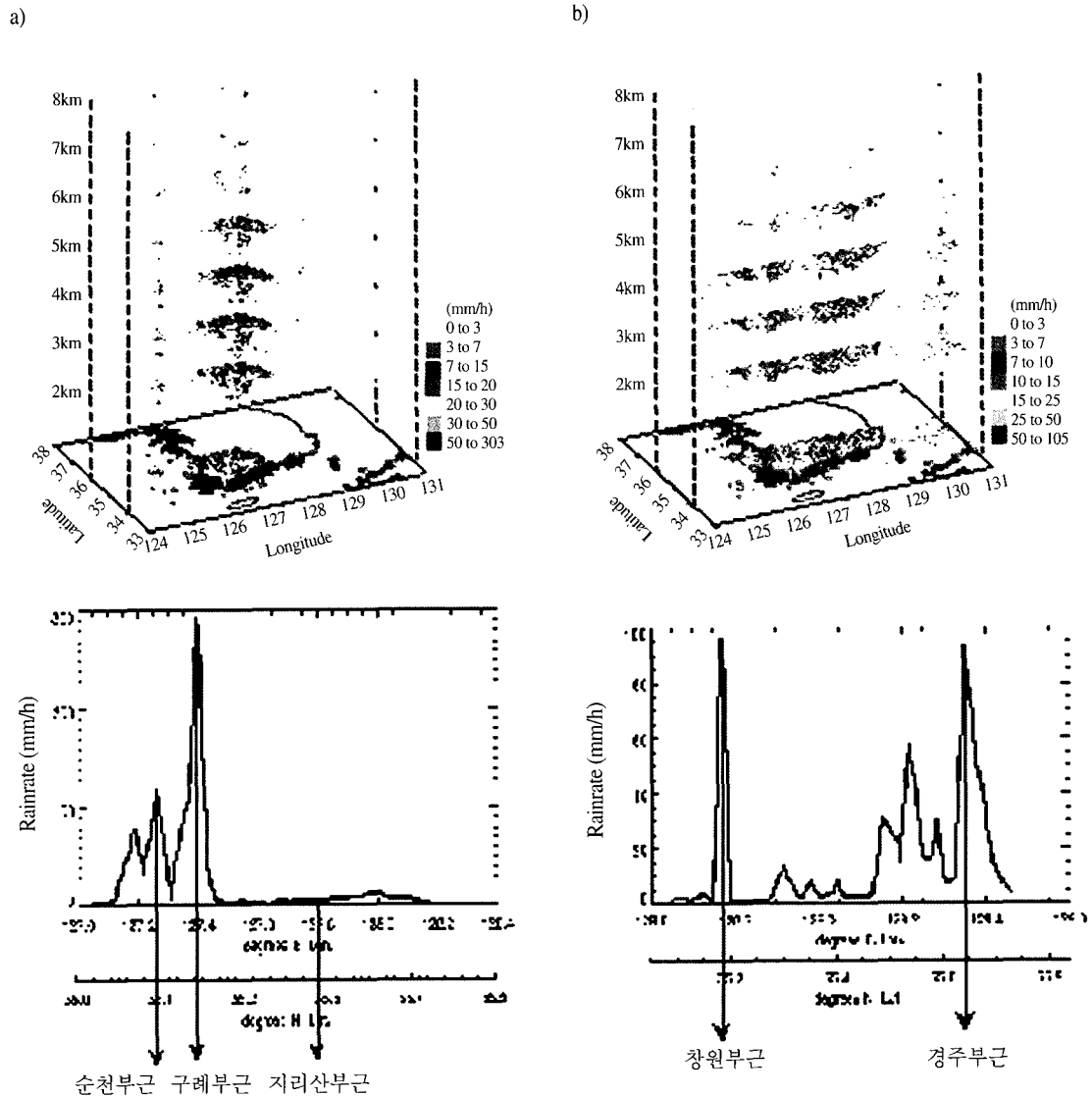


Fig. 4. The horizontal cross section of rainrate distributions with height and along the longitude derived from TRMM/PR for a) Giri Mt. heavy rainfall and b) '98 the 9th Typhoon Yanni.

한 경상도에 위치하며 이 대류운은 약 5-6km 이상까지 발달하여 강수를 동반함을 알 수 있다. 또한 위도 35.1-35.8°N, 경도 128.6-129.6°E를 중심으로 자른 단면도 상의 강우 분포 특성을 보면, 최대 강우강도는 약 102mm/hr로 창원, 경주, 마산 등지를 중심으로 분포하며, 이 지점들은 Fig. 1b에서 태풍의 중심부근에 발달한 CDO

(Cloud Density Overcast)에 해당한다. 비 구름대의 수직/수평 단면 분포는 태풍 애니가 남부지방 해안을 따라 북상하여 동해로 빠져나가면서 코마 구름 형태의 태풍 중심에서 발달한 CDO에 의해 남부지방에 주로 호우를 내리게 했음을 알 수 있다.



#### 4. 결론

본 연구에서는 TRMM 위성으로 관측한 한반도 남부 지방에서의 호우 특성을 조사하기 위하여 TRMM 강수 레이더(PR)의 관측자료와 지상관측 AWS 자료를 이용하여 사례 분석을 하였다. 1998년과 1999년에 발생한 6개의 집중 호우 사례 중 본 논문에서는 주로 1998년 7월 31일에 발생한 지리산 집중호우와 1998년 9월 30일 제9호 태풍 애니에 의한 남부지방의 호우사례를 설명하였다.

GMS-5 IR1, TRMM, AWS자료를 이용하여 호우를 동반한 비 구름대의 특성, 강우강도의 분포 및 비 구름대 내부의 수직/수평 강우강도 분포를 조사한 결과 다음과 같은 특성이 나타났다.

1. 지리산 집중호우는 최고 15km까지 발달한 중규모 대류운(MCC)에 의해 발생한 집중호우로 TRMM/PR 관측 순간 강우강도는 구례지방에서 302.57mm/hr로 최대가 나타나며, 지상 AWS 관측에서는 순천지방에서 258mm/hr로 최대가 관측되었다.
2. 태풍에 의한 호우 사례는 태풍의 중심에서 약 6-7km까지 발달한 CDO(Cloud Density Overcast)에 의해 발생한 호우 현상으로 TRMM/PR 관측에서는 창원지방에서 105.44mm/hr로 순간 최대 강우강도가 관측되었고, AWS 지상관측에서는 경상남도 함안 지방에서 90mm/hr로 최대가 관측되었다.
3. TRMM/PR과 AWS 관측치의 강우강도별 분포에서는 TRMM/PR이 AWS에 비해 6mm/hr 이하의 강우를 더 많이 관측하였으며, 전체적으로는 TRMM/PR이 AWS에 비해 강우강도를 적게 추정하는 경향을 보였다.
4. TRMM/PR 자료를 이용한 층별/경도별 강우강도의 단면 분포 분석에서는 중규모 대류운과 태풍의 중심부근에서 발달한 대류운에 의한 강우가 약 4-5km 까지는 지표부근과 같이 매우 발달해 있으며 지리산 집중호우의 경우는 8km 까지도 강우를 포함하였다. 경도별 단

면분포에서는 지리산의 지형효과에 따른 강우강도 편차를 뚜렷하게 나타내 주었고, 태풍의 중심부근에서 발달한 CDO 구역에서 강우가 집중됨을 알 수 있었다.

이상과 같이 TRMM/PR 관측 자료는 비 구름대의 높이, 강우 형태, 강우 강도뿐만 아니라 비 구름대의 수직 구조에 대한 고해상도 정보를 제공하기 때문에 집중호우를 동반하는 구름대의 특성 분석에 매우 유용하다. 그러나 TRMM/PR 자료의 정확성을 평가하기에는 TRMM/PR과 지상 AWS와의 시·공간적 불일치, 관측 메커니즘의 차이 등을 고려해야 하기 때문에 많은 사례분석이 요구된다. 따라서 향후 연구에서는 통계적인 방법으로 TRMM/PR과 지상 AWS 및 레이더 자료를 상호 비교하여 TRMM/PR 관측 자료가 한반도에서는 얼마나 정확한지를 검증할 예정이다.

#### 사 사

본 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가 연구개발사업의 하나인 자연재해 방재기술 개발사업으로 수행된 것입니다. TRMM 자료처리에 도움을 주신 Yasu masa Kodama 교수님(Hirosaki University)께 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- 기상청, 1987, 지상기상관측지침  
 기상청, 1998, 1998 집중호우 종합 분석집, 182  
 김광식, 1992, 기상학 사전, 향문사  
 이동규, 위태권, 이승우, 이조한, 하종철, 1999, 1998년 집중호우의 종관적 특성, 봄철 한국기상학회, 강릉대학교: 25-30.  
 윤원태, 변영화, 박정규, 1999, 1998년 여름철 집중호우의 특성 분석, 봄철한국기상학회, 강릉대학교: 22-24.  
 정보통신부, 1997, 국내 지역별 시간율에 따른 강

- 우강도 분포 예측모델 개발에 관한 연구: 103.
- Ciach G. J., W. F. Krajewski, E. N. Anagnostou, M. L. Baeck, J. A. Smith, J. R. McCollum and A. Kruger, 1997, Radar Rainfall Estimation for Ground Validation Studies of the Tropical Rainfall Measuring Mission, *J. Appl. Meteor.*, 36:735-747.
- Kozu T., J. Shiue and J. Simpson, 1998, The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package, *J. Atmos Oceanic Technol.*, 15:809-817.
- Lebel T. and A. Amani, 1998, Rainfall Estimation in the Sahel: What is the Ground Truth, *J. Appl. Meteor.*, 38(5):555-568.
- Makihara Y., 1996, A Method for Improving Radar Estimates of Precipitation by Comparing Data from Radars and Raingauges, *J. Meteor. Soc. Japan*, 74(4): 59-480.
- NASDA and NASA, 1999, Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) Precipitation Radar Algorithm, *Instruction Manual (Version 1.0)*:110.
- Okamoto, K., T. Kozu, K. Nakamura and T. Ihara, 1988, Tropical rainfall measuring mission rain radar, *Tropical Rainfall Measurement*, J. S. Theon and N. Fugono, Eds., A. Deepak Publishing:231-219.
- Oki R., A. Sumi and D. A. Short, 1997, TRMM Sampling of Radar-AMeDAS Rainfall Using the Threshold Method, *J. Appl. Meteor.*, 36:1480-1492.
- Oki. R and A. Sumi, 1999, PR2A25 rain rate validation using ground based observation from Japan, *The Interim Report conference for TRMM Research Result*, Dec. 20-21, 1999, earth Observation Research Center, National Space Development Agency of Japan.
- Ohsaki Y., K. Nakamura and T. Takeda, 1999, Simulation-Based Error Analysis on the Comparison between Rainfall Rates Measured by a Spaceborne Radar and by Ground-Based Instruments, *J. Meteor. Soc. Japan*, 77(3):673-686.
- Steiner M., R. A. Houze Jr., and S. E. Yuter, 1995, Climatological Characterization of Three-Dimensional Storm Structure from Operational Radar and Rain Guage Data, *J. Appl. Meteor.*, 34:1978-2007.
- Tokay A., D. A. Short, C. R. Williams, W. L. Ecklund and K. S. Gage, 1998, Tropical Rainfall Associated with Convective and Stratiform clouds : Intercomparison of Disdrometer and Profiler Measurements, *J. Appl. Meteor.*, 38(3):302-320.