

## 인공위성 강우모니터링: 최근 동향 및 활용 방안

김성준<sup>1</sup> · 신사철<sup>2</sup> · 서애숙<sup>3</sup>

<sup>1</sup>전국대학교 농업생명과학대학, <sup>2</sup>안동대학교 공과대학, <sup>3</sup>기상청 기상연구소

(1999년 10월 5일 접수)

## Satellite Rainfall Monitoring: Recent Progress and Its Potential Applicability

Seong-Joon Kim<sup>1</sup>, Sa-Chul Shin<sup>2</sup> and Ae-Sook Suh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>College of Agriculture and Life Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

<sup>2</sup>College of Engineering, Andong National University, Andong 741-749, Korea

<sup>3</sup>Meteorological Research Institute, Korea Meteorological Administration, Seoul 151-720, Korea

(Manuscript received 5 October 1999)

### ABSTRACT

During the past three decades after the first attempt to use satellite imagery or derived cloud products for rainfall estimation, much is known and understood concerning the scope and difficulties of satellite rainfall monitoring. After a brief general introduction this paper reviews recent progress in this field with special reference to improvement of algorithms, inter-comparison projects, integrative use of data from different sources, increasing lengths of data records and derived products, and interpretability of rainfall results. Also the paradigm of TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) which is the first space mission(1997) dedicated to measuring tropical and subtropical rainfall though microwave and visible/infrared sensors, including the first spaceborne rain radar was introduced, and the potential applicability to the field of agriculture and water resources by combining satellite imagery is described.

**Key words** : satellite rainfall, monitoring, TRMM, recent progress, potential applicability

### I. 서 론

강우는 지역 규모 (regional scale)에서부터 전지구적 규모 (global scale)에 이르는 모든 규모에서 수문에 중요한 매개변수이다. 강우는 그 양이 제한되어 있고 시기적으로도 변동이 크지만, 수자원의 적절한 관리와 수문학적 모델링과 예측을 위한 강우의 시간적·공간적 변화와 그 양의 적절한 평가에 필요한 모니터링 체계는 많은 지역에서 수준미달이라고 할 수 있다. 이러한 체계는 지구의 인구가 증가하고 지구상에서 재생이 가능 또는 불가능한 자원에 대한 압박이 가해질수록 그 중요성이 끊임없이 증가할 것이다.

전통적으로 강우는 관측소의 기록계에 의한 관측망

을 통하여 모니터링되어 왔다. 그러나 이러한 방법은 임의 시간에 지구표면의 1% 또는 그 이하로 영향을 줄 수 있는(Barrett and Martin, 1981) 그리고 "임의 지점에서 아주 작은 시간동안 전형적으로 발생하는"(Theon, 1992) 매개변수에는 부적합하다. 순간강우강도는 0부터 125 mm/hr 이상의 범위를 가지며, 이는 수 십m의 거리에서도 변화하며, 강도는 수 분 심지어는 수 초 후에도 변화한다. 또한 강우강도의 변화도는 매우 얇기 때문에, 본질적으로 강우가 발생한 지역과 발생하지 않은 지역의 경계를 정확하게 구분한다는 것은 어려운 일이다. 또한 기록계에 의한 강우관측의 문제는 기록계 자체에서 야기되는 문제들로 악화되어 왔다는 것은 널리 알려져 있다. 현재 강수관측을 위한

강우강도계, AWS(automatic weather system) 등 다양한 기록계가 사용되고 있고, 기록계에 따라 관측되는 시간간격도 다르고, 기록계 자체가 제측하기 위하여 설계된 매개변수들에 영향을 주고, 강우관측소가 부족한 상황에서의 이러한 자료관리는 제측자료의 시의 적절, 가용성 및 질에 불리하게 영향을 미친다.

강우는 시간과 공간에 따라 끊임없이 변하는 변수이므로 이를 인공위성으로 관측하고 모니터링하려는 노력은 자연스러운 것이다. 강우관측을 위한 원격탐사는 원칙적으로 기상레이더를 포함한다. 이는 지구상에서 상대적으로 적은 지역 즉, 주로 선진국에 국한되어 있고, 대부분 단기예측이나 이와 관련된 연구에 사용되는 자료를 제공하고 있다.

역사적으로 기상위성은 TIROS-1(first Television and InfraRed Observation Satellite)이 1960년 4월에 발사되면서 시작되었다. 위성강우 모니터링의 기초는 구름 밝기, 차가움과 강우간의 일반적인 관계를 제시한 Lethbridge(1967)와 위성구름 차트를 근거로 하여 극동 열대지역의 월 강우지도를 작성한 Barrett(1970)에 의하여 세워졌다. 이 이후로 Barrett and Beaumont(1994)에 의해서 열거된 바와 같이, 강수관측을 목적으로 가시광선, 적외선, 극초단파 자료의 획득을 위한 위성들이 계속 쏘아 올려졌다. 가시광선과 적외선 자료는 강우발생지역의 지표가 될 수 있는 구름의 상층부와 구름 하단부에서 떨어지는 강우량에 대한 정보를 제공하고, 수동적 극초단파 자료는 구름속에 존재하는 강수입자에 의하여 산란되거나 방출되는 복사정보를 제공한다. 위성기술의 근본적인 문제점은 복사자료의 빈도와 관련이 있다. 현재 공간 해상도가 상대적으로 낮고(가시광선과 적외선에서는 최대 약 0.5 km, 수동적 극초단파에서는 최저 약 50 km) 관측횟수도 적다(정지위성에서는 30분 이하부터 궤도위성에서는 하루에 1회까지). 그러나 위성을 이용한 강우 모니터링은 광장한 발전이 있었지만 아직도 해결해야 할 많은 문제들이 있으며, 특히 농업, 수자원분야로의 활용에 대한 준비는 전무하다고 볼 수 있다. 다음 절에서는 발전내용과 문제점들을 좀 더 깊게 고찰하고자 한다.

## II. 인공위성 강우 모니터링의 최근 동향

### 2.1. 알고리즘의 향상

인공위성에 의한 강우모니터링의 초기 알고리즘은 단일 센서 또는 단일 채널의 자료에 의존하였으므로 상대적으로 간단하였다. 여러 지역에 대한 개별적인 보정의 필요성과 구름형태간의 차이의 중요성을 인식하였고, 특히 개발된 방법들에서 구름성장의 주기를 인식한 후 인공위성 강우모니터링의 급속한 발전이 이루어졌다. 수작업에서 대화식, 완전 자동화 또는 객체지향적인 기술로의 전환 또한 빠르게 진행되었으며, 현재 이에 해당하는 연구는 지속적인 발전을 거듭하고 있다(Barrett et al., 1990). 이러한 기술들이 실질적으로 응용되면서 과거에는 격자의 규모(지역의 크기)가 관심의 대상이었으나, 지금은 격자 셀의 크기(해상도)에 중점을 두고 있다. 현재 세계기상기구의 GPCP(Global Precipitation Climatology Project)는 초기 10년동안의 자료를 2½°의 격자크기, 1 개월 주기로 구축하였고, 이제는 1° 격자크기, 1일 단위의 자료구축으로 전환하고 있다. 한편 미국의 홍수예보를 위한 NOAA/NWS의 IFFA(International Flash Flood Analysis) 시스템은 심각한 피해를 주는 대류·홍수지역에 대해서는 30분 간격의 interactive mode에서 10분 간격의 objective mode로 전환을 시도하고 있다(Scofield & Achutuni, 1996).

### 2.2. 프로젝트간의 상호비교

최근 국제 위성강우 모니터링의 특징은 프로젝트간의 비교(동일자료를 이용한 모니터링 결과의 도출과 이를 정당화하기 위하여 여러 기술들을 비교하는)에 대한 관심과 활동이 많아졌다는 것이다. 특기할만한 프로젝트간의 비교(Barrett, 1993)는 FAO에 의한 서부 Sahel(1987)지역의 적외선기법 연구, 일본(1990) 지역의 GPCP의 AIP(Algorithm Intercomparison Project), 수동적 적외선 극초단파와 레이더 및 강우 기록계 자료를 이용한 Western Tropical Pacific(1994/5); NASA-led Wetnet Project의 PIP(Precipitation Intercomparison Project) (PIP-1과 PIP-3)에서는 지구적으로, PIP-2에서는 사상별로 연구) 등에 대한 것이다. 이들은 입력자료의 문제점들을 지적하면서 기본적인 알고리즘의 향상을 도모하였고, 새로운 또는 유사한 알고리즘의 개발보다는 "복합" 또는 "집단" 형태의 보다 향상된 알고리즘의 필요성을 강조하였다. 이러한 필요성은 보다 많은 프로젝트간의 비교

가 있어야 함을 의미하는데, 이를 위해서는 해당 연구자들에게 보정된 자료가 보급되어야 하며, 관련분야의 연구자들에게도 정당화된 자료의 공급이 이루어져야 하겠다.

### 2.3. 다양한 자료의 통합사용

최근 위성강우 모니터링 연구의 또 다른 특징은 다양한 자료원으로부터의 자료들을 복합(위성과 지표강우 모니터링간의 기본적인 차이를 제거함)해서 사용하는 것이다. 현재 개발되고 있는 기술들은 본질적으로 가지각각의 자료형태들의 속성을 보다 효과적으로 동시에 이용할 수 있도록 설계하는 방법들이라고 말할 수 있다. 예를 들어 GPCP는 대부분의 지구해양에 대한 적외선 및 수동적 극초단파 위성자료와 육지에서의 보완적인 강우기록자료를 포함하고, 또한 Adler 등(1994)에 의하여 예견된 바와 같이 고위도에 대한 수치예보모델의 입력자료를 고려하고 있다. IFFA의 집중홍수 예보기법(Scofield and Achutuni, 1996)은 위성, 사운드, 지표자료와 더불어 수문관측소로부터 토양수분에 관한 정보를 포함한 모든 가능한 기상자료를 사용한다. 여기에는 어떠한 상황에서도 분석이 가능하도록 다양한 기상요소들이 고려되고 있다. 이러한 두가지 규모에서 "B4"(Bristol/Barrett/Beaumont/Bellerby) 기법은 정지위성의 열적외 영상에 의한 작물의 모니터링과 하천유량의 예측을 지원하기 위하여 5×5 km의 해상도(일부 열대지역에서는 그 이상의 해상도)로 일강우를 예보하고, 출력으로서 적절한 "morphoclimatic(형태기후)"의 변화를 제공하기 위한 지표기후자료와 최종평가를 매끄럽게 다듬기 위한 종관기상관측소 보고서를 제공한다(Barrett, 1993). 또한 "B4"의 최종결과물을 향상시키기 위하여 수동적 극초단파 자료를 사용하는 것이 고려되고 있다. 순수 수문측면에서는 원격탐사와 GIS 자료를 이용한 유출과 물수지 모델링에 상당한 발전이 있어 왔다(Schultz, 1994). 환경모니터링위성과 더불어 Landsat, SPOT, ERS를 포함한 지구자원위성으로부터의 자료는 수문모델의 요소들을 이전보다는 정확하게(아주 작고 잘 구성된 유역은 제외) 평가할 수 있도록 지표특성정보와 수치고도모델 등을 제공한다. 이 모든 연구와 발전들은 각 자료의 장단점을 평가하면서 다양한 형태의 자료들을 수용할 수 있는 방향으로 성장하게 될 것이다.

### 2.4. 자료의 용량과 분석물의 증가

1960년대 중반 이래 위성강우 모니터링과 관련된 연구가 활발히 진행되었는데 이들 중 대부분은 소규모 지역에서 짧은 기간을 대상으로 하는 연구였지만, 기술이 향상되고 자료가 축적되면서 새로운 연구분야가 발전하기 시작하였다. 이는 강우의 연중 변화와 강우에 있어서 중요한 변동과 경향이 파악된다면 절대적인 역할을 할 것이다. GPCP를 포함한 일부 장기프로젝트는 연구자체를 목적으로 하였지만 "B4"방법과 같은 프로젝트들은 실용적인 목적에 적용되었고, 현재는 5년동안의 결과를 가지고 있으며, Maryland Rockville EarthSat Corporation의 "CROPCAST"방법은 10년동안의 결과를 보유하고 있다. 이러한 실시간-장기 모의결과는 응용수문분야보다는 농업기상예측의 목적으로 수행된 것이 특기할 만 하다. 지중해 지역에서는 유럽연합기금 프로젝트를 통하여 지중해 자체에 대한 수동적 극초단파자료와 주변내륙지역의 관측자료를 이용한 통합기후학이 개발되고 있는 반면, 북해의 연구(Barrett *et al.*, 1991)에 이어서 영국 환경부와의 계약체결 하에 동북대서양을 대상으로 장기-위성강우 기후학이 준비중에 있다. 이러한 두 기후학은 8년간(1987~1995)의 자료와 결과들을 포함한다.

### 2.5. 결과의 해석

이상의 위성강우 모니터링의 발달 및 변천과정을 볼 때, 시간과 공간에 대한 강우형태의 이해는 크게 향상되었다. 예를 들어 아프리카의 강우지역에서 서로 다른 수분에 대한 공기흐름의 영향과 안정화 특성이 "B4"프로젝트로부터 명확하게 밝혀졌으며, 이로부터 새로운 기상의 이해가 하나의 방법으로 여겨지면서 "B4"방법 자체의 개발에 이득이 되었다. 이 프로젝트를 통하여 시·공간 변수로서 다른 방법에서는 상수로 처리되었던 기본적인 매개변수들을 조작해야 하는 필요성이 대두되었다(Todd *et al.*, 1995). 남아메리카의 수동적 극초단파 사용(Negri *et al.*, 1995)은 브라질의 해안지역, 아마존과 그 지류에서 중요하고도 흥미로운 강우강도의 晝間변화를 파악한 바 있다. 사실 사반세기 전보다는 지구의 강우분포와 이에 대한 논리의 이해가 훨씬 나은 수준에 도달했다고 말하는 것이 타당 하겠다.

### III. 위성강우 모니터링의 문제점

#### 3.1. 다양한 자료원으로부터 결과의 호환성과 수렴성

인공위성, 레이더, 지상관측간의 서로 다른 공간적·시간적 자료획득의 특성을 안다면 이 세 자료원에 근거한 강우량은 실질적으로 상당히 다르다는 사실에 대하여 그다지 놀랄만한 일이 아니다. 인공위성, 레이더, 지상관측은 서로 다른 방법으로 나름대로의 강우영역을 확보하고 있지만, 이들 중 어느 것도 강우의 정보를 신뢰성있게 그리고 정확하고도 정밀하게 제공한다고 말할 수는 없다. 사실 서론에서 기술한 바 있는 강우의 특성 때문에 넓은 지역에서의 강우를 정확하게 관측할 수 있기를 기대하는 것은 무리이다. 이제까지 수행된 모든 연구는 "truth catch"에 접근하고자 하는 것이다. 하지만 서로 다른 자료원으로부터의 강우량은 상호간에 적어도 수렴하도록 하는 것이 중요한데, 지금은 반드시 그렇지만은 않다는 연구결과들이 나오고 있다. 예를 들어 서부 열대 태평양지역을 대상으로 하는 AIP-3에서는 강우의 총량을 예측하는데 있어 위성관측과 지표 레이더관측간의 수렴성보다는 서로 다른 위성관측값들로부터 더 나은 결과를 얻었다. 이러한 두가지 유형간의 차이는 실질적인 것이었다. 영국과 같이 지상관측망과 레이더관측소가 잘 구성된 지역에서도 NACP(Northeast Atlantic Climatology Project)와 관련된 연구에서 FRONTIERS 레이더와 250개의 지상관측소로부터 추정된 강우량간에 계절적인 변동과 강우의 형태간에 관련이 있다고 할지라도 약 16%의 차이를 보였다. 이러한 차이는 다른 자료의 결과를 토대로 어떠한 자료를 보정하거나 검정할 경우 또는 다른 유형의 자료를 최적(best possible)의 최종결과물로 제공될 수 있도록 결합할 경우를 위하여 반드시 구명되어야 한다.

#### 3.2. 자료가 산재되어 있는 지역에서 인공위성강우의 보정

지구적 강우모니터링 분야에서 가장 크게 기여한 부분은 해양에서의 강우정보를 향상시킨 것이다. 이제는 인공위성을 이용한 해양의 강우관측과 모니터링이 필수적으로 요구될 것이므로 물위에서의 위성기술을 보정하는 연구가 확대될 것으로 보인다. 선박 또는 부표에서의 광학 강우관측기, 잡음을 이용한 수중청음장치

등 다양한 장치들이 물위에서의 강우를 모니터링하기 위해 개발되어 왔다(Thiele, 1992). 한편 지표면을 대상으로 하는 수문분야에서는 자료가 산재되어 있는 지역, 특히 강우의 분포가 국지적인 사막지역, 반건조지역에서의 위성기술을 보정하는 연구가 요구된다. 또한 지역강우관측에 적합한 위성과 결합하여 지상관측과 레이더관측을 계획하는 새로운 연구들이 기대된다. 이미 인공위성, 레이더, 지상관측치와의 결합에 의한 위성강우량 추정연구가 활발하게 진행되고 있고, 이러한 유형의 복합 수문관측망 체제 하에서 실제 기상예보자료로 활용되기 시작하였다.

#### 3.3. 자료의 지속적인 획득

최근 들어 다양한 목적의 인공위성이 많아지고 그 이용가치가 높아지면서 수문을 목적으로 하는 위성자료의 이용과 위성자료와 결합한 관측에 있어 약간의 부정적인 경향도 있다. 이러한 경향중의 하나가 1980년대와 1990년대 초반에 쏟아져 나온 지구자원 위성자료(예, Landsat, SPOT 등)의 상업화이다. 불행하게도 상업화에 대한 논란은 이전에는 일반인에게 공개되었던 위성자료도 바로 획득할 수 없게 만들었다. 이러한 자료의 제약은 공익성을 갖는 자료의 성질에 위배되며, 결국 해당자료에 연속되어 평가할 수밖에 없다. 한편 GMS, NOAA, SSM/I, TRMM 등 대부분의 기상위성자료들은 공개되어 있으므로, 강우모니터링을 위한 자료획득에는 별 문제가 없다고 말할 수 있다.

#### 3.4. 수동적 극초단파 정지위성시스템의 활용

극초단파 센서가 시간적·공간적 해상도면에서 현재의 가시광선·적외선 정지위성시스템과 견줄만한 자료가 제공된다면, 이를 이용한 강우모니터링은 수동적 극초단파 스펙트럼의 영역에서 보다 직접적이고도 물리적인 수문 기상을 얻을 수 있기 때문에 또 하나의 새로운 장을 열게 될 것이다. 그러나 수동적 극초단파 센서가 정지위성기반에서 분산된다면, 지구로부터의 수동적 극초단파의 복사는 이보다 짧은 파장의 전자기 스펙트럼 영역에서의 복사보다는 훨씬 약하기 때문에 이를 극복해야 하는 문제점을 안고 있지만, 이에 대해서는 현재의 극궤도, 저궤도 수동적 극초단파 시스템에서의 공간해상도를 가지는 자료를 정지위성의 극초단파 센서(Savage et al., 1995)에서도 얻을 수 있다

는 논문이 발표되고 있다. 한편 수동적 극초단파 자료의 해상도가 가시광선·적외선영역의 자료보다는 훨씬 낮지만, 정지위성시스템으로부터의 순간강우율과 같은 정보는 위성강우 알고리즘 개발자에게 추천할만한 하다. Savage *et al.*(1995)은 이 시스템이 정지통신위성의 공간을 활용하면 되기 때문에 비용은 그다지 많이 들지 않는다고 주장하고 있다. 정지 기상전용위성에 센서를 부착하면 된다. 이러한 제안은 현 상황에서의 필요성에 의하여 더욱 부각되고 있으며, 지구적 강우의 관측과 모니터링에 또 다른 커다란 기여를 하게 될 것이다.

#### IV. 위성강우 모니터링의 새로운 장

##### 4.1. 열대강우 관측위성(TRMM; Tropical Rainfall Measuring Mission)의 실현(신사철, 1999)

열대강우 관측위성(TRMM)이 1997년 11월 28일 06시 27분에 일본 우주개발 사업단 우주센터에서 H-2 로켓 6호기에 의해 발사되었다. 이 위성은 열대지역의 강우관측을 주목적으로 미국과 일본이 공동으로 계획하여 10년 이상의 세월을 걸쳐 실현한 위성이다. TRMM에는 일본에서 개발한 위성 탑재 강우 레이더(Precipitation Radar : PR)가 탑재되어 있으며, 이

PR의 최대 장점은 강우강도의 3차원 분포를 직접 구할 수 있다는 것이다.

강우 레이더(PR)의 주요 목적은 ① 강우의 3차원 구조, 특히 연직분포의 관측, ② 해양 및 육지 강우의 정량적 관측, ③ 강우 구조에 대한 자료제공 등이다.

TRMM에는 강우 레이더(PR)과 함께 마이크로파 관측장치(TMI), 가시 및 적외 관측장치(VIRS), 천둥 관측장치(LIS) 및 구름과 지구의 방사에너지 관측장치(CERES)라 불리는 총 5개의 관측용 센서가 탑재되어 있다. PR의 제조와 위성의 발사는 일본이, PR이외의 센서와 위성의 제조 및 위성의 운용은 미국이, 또한 자료시스템은 양국에서 담당하고 있다.

TRMM은 궤도고도 350 km, 궤도경사각 35도의 태양 비동기(非同期) 궤도위성이다. PR 자료와 함께 TMI와 VIRS 자료를 조합함으로써 열대에서 아열대에 걸친 강우의 전지구적 분포, 일변화, 계절변화 및 연변화의 실태가 보다 정확하게 파악될 수 있다. PR의 관측주파수는 13.8 GHz, 분해능은 연직 250 m, 수평 4.3 km이다. PR은 강우입자를 산란체로 하며, 주야, 육지 및 해상을 불문하고 관측이 가능하고, 지상 레이더와는 달리 장소에 의한 분해능의 차이가 거의 없다는 것도 큰 장점이다.

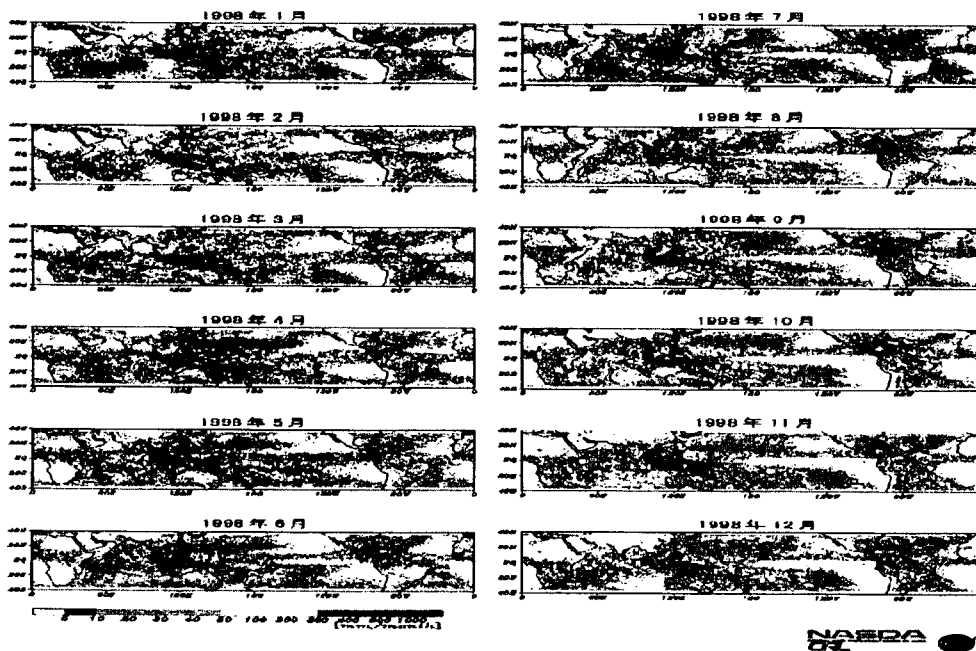


Fig. 1. Rainfall distribution measured by TRMM-PR in 1998(NASDA, 1999).

**4.2. TRMM 강우레이더에 의해 관측된 강우분포**

TRMM위성이 발사된 이래 TRMM에 의한 강우 관측은 정상적으로 이루어지고 있으며 Fig. 1은 TRMM에 탑재된 강우레이더(PR)에 의해 관측된 1998년의 월강우량 분포를 나타낸 것이다. 이 그림은 해면에서부터 고도 2 km에서 관측된 자료를 도시하고 있다. PR은 지금까지의 센서와는 달리 육상 또는 해상을 불문하고 정량적 관측을 하므로서 이로부터 Fig. 1과 같이 강우분포의 계절변화와 연변화를 파악할 수 있다.

**4.3. TRMM에 의한 태풍의 관측**

TRMM의 관측으로 기대되고 있는 또 하나의 중요한 것은 열대성 저기압에 대한 내부구조의 관측이다. Fig. 2는 1997년 12월 19일 4시 16분~20분(세계시)에 걸쳐 TRMM이 태풍의 중심부근을 관측한 고도 2 km에서의 강우강도를 나타낸 것이다. 태풍의 눈을 중심으로 선분 AB와 CD에 대한 연직단면도를 같이 표시하였다. 통상적으로 기상위성으로부터 태풍의 존재 여부나 태풍의 눈을 중심으로 형성된 구름의 분포 등은 파악할 수 있으나, TRMM의 관측으로 인하여

태풍 중심부근의 강우분포를 직접 측정할 수 있다. 특히, 이 태풍의 경우에는 태풍의 눈을 중심으로 북동쪽으로만 강우영역이 발달되어 있음을 TRMM관측에 의하여 알 수 있다.

연직단면도에서도 직경 약 25 km의 태풍의 눈에서는 강우대가 형성되어 있지 않으며, 그로부터 바깥쪽으로 최고 고도 15 km에 달하는 강우영역이 관측되고 있음을 알 수 있다. 또한 중심의 북동부 강우영역에서도 몇 개의 띠를 이루는 강한 강우영역이 관측되고 있다.

지금까지의 기상위성에서 관측 가능한 것은 구름의 정상부분이었으나, TRMM-PR에 의해 구름 내부에 대한 강우의 3차원 구조가 측정 가능하게 되었다. 특히 해양의 열대 저기압에 대해서는 지금까지 그 내부구조를 관측한다는 것이 대단히 어려운 일이었으나 TRMM-PR에서는 고분해능으로 관측하는 것이 가능하다.

**4.4. TRMM이 관측한 우리나라 남부지방의 집중호우**

Fig. 3은 1998년 7월 31일 오후 10시 14분 경에 TRMM-PR이 포착한 우리나라 남부지방의 집중호우에 대한 영상이다.

**TRMM PR Typhoon #28 (PAKA) Close-up**

Observation date: 19 Dec. 1997 4:16-4:20 (UTC)  
GMS IR1: 19 Dec. 1997 4:00 (UTC) Height: 2.00 km

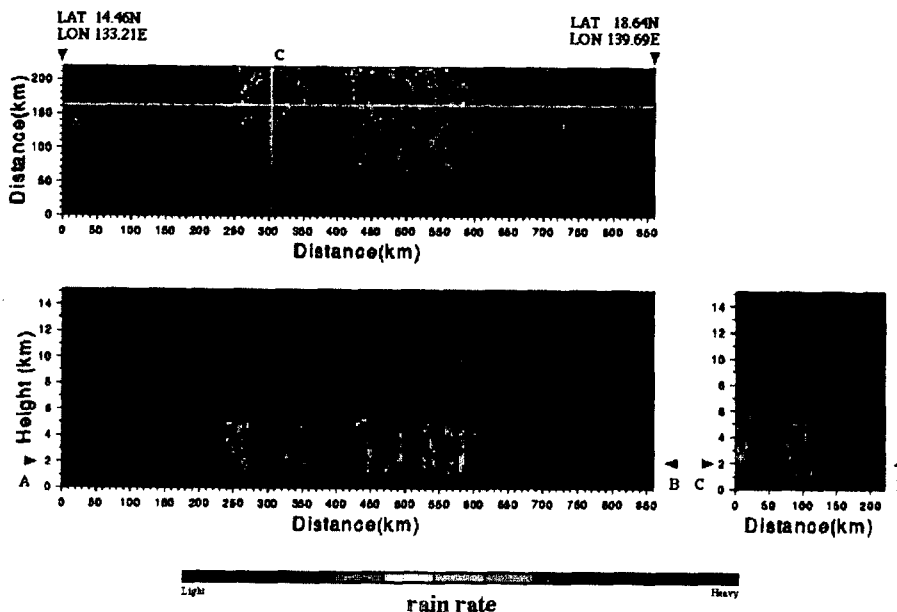


Fig. 2. Horizontal and vertical rain rate around the Typhoon center by TRMM(NASDA, 1999).

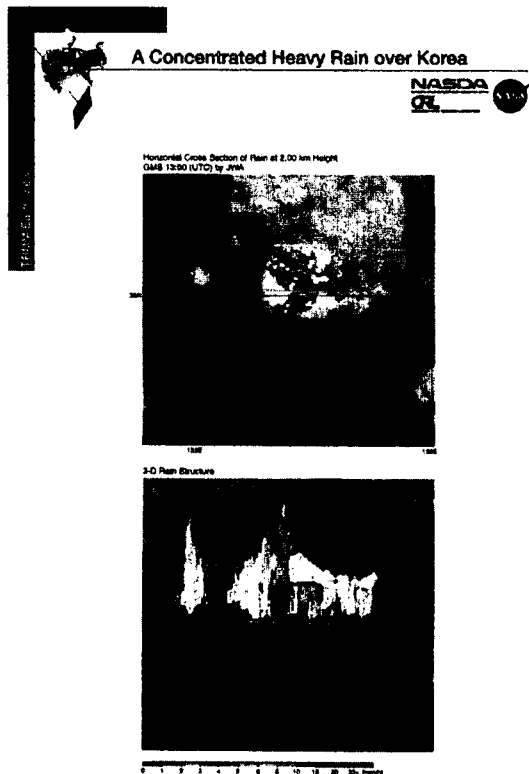


Fig. 3. The concentrated heavy rain captured by TRMM-PR(Southern part of Korean Peninsula, July 31, 1998).

지리산의 집중호우는 지리산을 중심으로 갑자기 발달한 중규모 대류운(MCC; Meso-scale Convective Cloud)이 폭우를 동반하여 산사태 등으로 인한 많은 인명 및 재산피해를 가져왔다. 이 날의 강우량은 1998년 7월 31일 밤부터 8월 1일 오후 7시까지 전남 순천에서 226 mm의 강우량을 기록한 것을 최고로 경남 산청에서 203 mm, 전남 해남에서 103 mm를 기록하였다. 특히 7월 31일 밤에는 전남 순천에서 1시간에 128 mm의 강우량을 기록하여 기상관측사상 최대 강우량을 기록하였다.

고도 2 km에서의 강우에 대한 수평분포를 보면, 순간적으로 수십 mm/hr 이상의 대단히 강한 강우가 관측되었고, 강우가 강한 영역이 몇 개 지역에서 동시에 나타나고 있음이 확인 가능하다.

AB선상의 강우에 대한 연직분포를 보면, 장소에 따라 지상으로부터 15 km에 이르는 대단히 높은 고도까지 강우가 관측되었음을 알 수 있다. TRMM위성 자

료가 이러한 이상기상의 설명에 유용하게 이용되어질 것으로 기대된다.

## V. 국내 위성강우 연구동향 및 농업/수자원에서의 활용방안

### 5.1. 국내 위성강우 연구동향

우리나라는 세계기상기구(WMO)의 일원으로 일본의 정지궤도 기상위성인 GMS (Geostationary Meteorological Satellite)와 미국의 NOAA위성(극궤도위성)자료를 무료로 수신받아, 강수강도, 운형분류, 바람장, 연직 고도정보, 안개 및 황사탐지, 해수면온도 등 다양한 정보를 제공하고 있다. 국내에서는 주로 일본의 정지궤도 기상위성인 GMS 영상자료를 이용한 강수량 추정연구가 이루어져 왔다. 이 영상에서 얻을 수 있는 운정온도, 운량, 구름에 관한 정보는 강수량과 밀접한 관계가 있기 때문에 이들 정보를 이용해 강수량을 추정하는 방법들이 많이 개발되어 왔다. 대표적인 연구로는 기상청에서 수집한 전국 약 400 개소의 지상관측 AWS(Automatic Weather System) 강수량 자료와 GMS-4 영상자료간의 상관관계를 조사함으로써 강수량 산출방법을 향상시키는 연구(서애숙 등, 1994), GMS-5 적외 split window 채널 관측자료로부터 전국 관측 영역중 청진역에 대한 가강수량을 산출하므로써, 수치예보의 객관분석 초기자료로 활용하는 연구(손승희 등, 1998) 등 현재 SSM/I, GMS-5, 레이더, TRMM 등을 이용한 강수량 추정연구가 활발하게 진행되고 있다.

### 5.2. 농업 및 수자원에서의 활용방안

우리나라에서 발생한 태풍 및 호우 등의 자연재해로 인한 지난 10 년간의 피해현황을 살펴보면 한해 평균 239명의 인명손실과 4,950여억원 (1996 년도 물가환산기준)의 재산피해를 내고 있다. 이에 기상청은 방재 기상 지원능력을 향상시키기 위하여 1988 년에 AWS (자동 기상관측장비) 전국 관측망 구성을 목적으로 하여 '94년에는 72대를 설치 완료하였고, 홍수발생시 유역강우의 예측자료로는 기상청에서 예보하는 지역별 총강우량 예보치와 위성에 의한 구름사진을 참고하고 있다.

한편 위성 강우자료는 광범위한 지역을 대상으로 공간적으로 분포하는 격자정보를 가지고 있으므로, 이와

같은 자료를 농업 및 수자원분야에서 효과적으로 활용하기 위해서는 GIS와의 결합이 필수적이다. 위성강우자료와 농업/수자원관련 GIS자료간의 결합시에 고려하여야 할 기본적인 사항으로는 규모(scale)와 해상도(resolution) 문제를 들 수 있다. 모델링 연구에서 특히 광역의 공간적·시간적 규모로 그 과정을 수행할 때, "어떠한 규모와 해상도로 어떻게 접근해야 하는가?" 하는 문제는 대단히 중요한 사항이다. 왜냐하면 서로 다른 해상도를 이용하면 그 분석결과가 상이하게 나타나게 되는데, 이는 지리학적 현상의 근본적인 속성으로 알려져 있다. 일반적으로 기상위성자료는 수 km~수십 km 격자단위이지만, 농업과 수자원분야에서는 그 적용규모(구역; local, 지역; regional, 광역; meso)에 따라 수십m~약 1 km의 격자가 사용된다. 따라서 적용규모에 따라 기상위성자료의 재구성(resampling) 또는 재생성(regeneration)이 요구된다.

농업분야에서는 위성강우에 의한 격자기반(grid-based)의 토양수분, 지하수위의 변화 및 농경지 침수지역 예측 등에 활용될 수 있다. 토양수분 상태정보는 작물재배시 작물의 정상적인 발육을 도모하기 위한 기본적인 정보로서 토양수분 변화의 시간적·공간적 파악은 농민이 차기 관개시기 및 관개량 판단을 위한 의사결정 자료로 제공될 수 있다. 침수지역의 파악 및 예측은 농경지뿐만 아니라 도시지역에서도 주요 관심사로 대두되고 있는데, 하천의 범람시에 진행되는 홍수파의 시간적·공간적 흐름해석에 의하여 가능하다. 이와 같은 정보의 실현 및 제공은 하천계획 및 관리, 홍수위험지역의 관리 및 지원대책, 향후 홍수보험의 실시 등에 대한 기초자료로 제공될 수 있다.

수자원분야에서는 위성강우자료가 강우-유출해석에 기본적으로 활용될 수 있는데, 홍수유출 해석은 기존의 총괄형(lumped) 수문모형보다는 분포형(distributed) 수문모형으로 접근하는 것이 바람직하다. 강우에 의한 분포형 수문모형의 수행결과인 유역전반에 걸친 지표면 및 하천의 유출상황을 시간적·공간적으로 파악하게 되므로써, 홍수에·경보시스템의 운영효율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 분포형 모형에 대한 연구는 1970년 후반부터 많은 연구자들에 의해 시작되었으며, 컴퓨터 성능의 향상과 더불어 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)의 발전 그리고 다양한 수치고도모델(Digital Elevation Model,

DEM)의 획득·사용이 가능하게 되었다. 또한 최근 들어서는 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 기술이 급진적으로 발전하면서 모형의 수행을 위하여 한 번에 몇 일이 걸리던 수학적 과정이 이제는 수시간내에 처리가 가능해졌으며, 하드웨어의 그래픽 성능은 모델의 입력과 출력을 가시화할 수 있게 되어 국내에서도 이 분야의 연구는 더욱 가속화될 것으로 예상된다.

## VI. 적 요

결론적으로 위성에 의한 강우관측은 지금은 지구의 거의 대부분 지역에서 관측 및 모니터링과 더불어 강우를 이해하는 능력에 커다란 기여를 하고 있다. 특히 1997년 11월 TRMM의 등장으로 강우의 연직분포 및 정량적 관측이 이루어지므로써 국내에서도 위성강우의 활용연구가 급진전할 것으로 기대된다.

또한 위성강우자료를 이용한 농업 및 수자원분야에서의 연구도 기대된다. 위성강우자료를 농업/수자원 분야에 적용하기 위해서는 먼저 자료간의 결합시에 발생하는 규모(scale)와 해상도(resolution) 문제를 다루는 평가연구가 요구된다. 규모문제는 주어진 연구에 가장 적절한 구역의 개수에 대한 불확실성 때문에 발생되며, 해상도 문제는 해당자료를 저해상으로 결합하여 분석하게 되면 기대치 이상의 정보손실을 야기시키기 때문이다. 이와 같은 의문점이 어느 정도 구명된다면 위성강우자료를 이용한 연계연구는 무궁무진하다고 말할 수 있다. 예를 들면 농업분야에서는 위성강우에 의한 격자기반(grid-based)의 토양수분 및 지하수위 변화, 농경지 침수지역 예측 등에, 수자원분야에서는 공간강우-유출해석에 의한 홍수에·경보시스템의 향상, 도시 지역 홍수범람지역의 예측 등에 활용할 수 있다.

## 인용문헌

- 서애숙, 이미선, 김금란, 이회훈, 1994: GMS 영상자료와 관측강수량 자료의 비교, 대한원격 탐사학회지, **10(1)**, 1-14.
- 손승희, 정효상, 김금란, 이정환, 1998: GMS-5 Split Window 자료를 이용한 가강수량 산출, 대한원격탐사학회지, **14(1)**, 53-68.
- 신사철, 1999: 열대강우 관측위성(TRMM)자료의 활용성, 한국수자원학회지, **32(3)**, 35-40.



- Adler, R. F., G. J. Huffman and P. R. Keehn, 1994: Global-tropical rain estimates from microwave-adjusted geosynchronous IR data, *Remote Sensing Rev*, **11**(1-4), 125-152.
- Barrett, E. C., 1970: The estimation of monthly rainfall from satellite data, *Mon. Weath. Rev*, **98**, 322-327.
- Barrett, E. C., 1993: Satellite rainfall monitoring for Agrometeorology: operational problems, practices and prospects, *EARSel Advances in Remote Sensing*, **2**(2), 66-72.
- Barrett, E. C. and M. J. Beaumont, 1994: Satellite rainfall monitoring: an overview, *Remote Sensing Rev*, **11**, 23-48.
- Barrett, E. C. and D. W. Martin, 1981: *The use of satellites in Rainfall Monitoring*, Academic Press, London.
- Barrett, E. C., G. d'Souza and C. H. power, 1990: Satellite rainfall estimation techniques using visible and infrared imagery, *Remote Sensing Rev*, **4**(2), 388-423.
- Barrett, E. C., M. J. Beaumont and A. M. Corlyon, 1991: *A Satellite-Derived rainfall Atlas of the North Sea*, Final Report to DoE (Air Quality Unit), PECD7/12/53, September.
- Lethbridge, M., 1967: Precipitation probability and satellite radiation data, *Mon. Weath. Rev*, **95**, 487-490.
- NASDA, 1999: <http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM>
- NASA, 1999: <http://www.gsfc.nasa.gov>
- Negri, A. J., R. F. Adler, E. J. Nelkin, G. J. Huffman and O. Massambani, 1995: Diurnal and interannual variability of precipitation over Amazonia derived from SSM/I data. In: *Preprints, Seventh Conference on Meteorology and Oceanography* (Monterey, California, 6-10 June 1994), 136-139. American Meteorological Society.
- Savage, R. C., E. A. Smith and A. Mugnai, 1995: Concepts for a geostationary microwave imaging sounder (GeoMIS), In: *Preprints of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (10-14 July, Firenze, Italy), **1**, 652-654.
- Schultz, G. A., 1994: Meso-scale modelling of runoff and water balances using remote sensing and other GIS data, *Hydrol. Sci. J.* **39**(2), 121-142.
- Scofield, R. A. and R. Achutuni, 1996: The satellite forecasting funnel approach for predicting flash floods, *Remote Sensing Rev*, **14**(1-3), 251-282.
- Theon, J. S. (ed.) 1992: *The Global Role of Tropical Rainfall*, Deepak, Hampton, Virginia.
- Thiele, O. W., 1992: Ground truth for rain measurement from space. In: *The Global Role of Tropical Rainfall* (ed. by J. S. Theon), 245-260. Deepak, Hampton, Virginia.
- Todd, M. C., E. C. Barrett, M. J. Beaumont and J. Green, 1995: Optimizing the rain: no rain temperature threshold in infrared-based algorithms over East Africa, *J. Appl. Met*, **34**, 2600-2611.