

TRMM을 통한 기상수문자료 활용과 개선방안



김 태 균
진주산업대학교 조경학과 교수

1. 서론

최근 기후변화로 인한 이상강우 및 홍수로 기존의 홍수 방어대책, 예를 들면 계획강수량, 계획홍수량, 치수안전도 등에 심각한 문제를 야기하고 있다. 홍수로 인한 재해를 예방하기 위한 학문적, 기술적 노력이 이루어지고 있으며, 이중 가장 두드러진 것은 강우레이더를 이용한 강우관측 및 예측일 것이다.

한편 강우레이더 등의 첨단기술장비를 이용한 강우관측 및 예측업무는 기상청과 국토해양부로 분리되어 운영 중에 있으며, 각 기관의 목적에 맞게 레이더 관측망 및 운영시스템을 개발하고 있으며, 두 기관의 자료교환은 기본적인 MOU만 체결되어 있는 상태이다.

여기서는 미국 NASA(National Aeronautics and Space Administration)와 일본의 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)의 연합 프로젝트인 TRMM에 대하여 알아보고, 수문기상관측과 관련된 우리

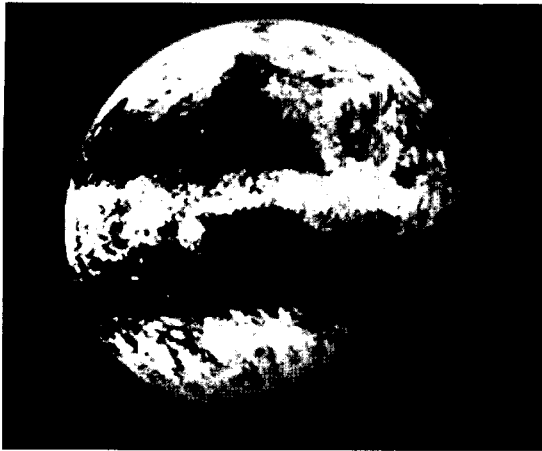
나라의 현황과 개선점에 대하여 살펴보고자 한다.

2. TRMM

2.1 TRMM이란

TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)은 미국 NASA와 일본 JAXA의 연합 프로젝트로서 강우 및 이와 관련된 기상연구를 통합 관리하는 계획이다. TRMM은 지상에서 운영할 경우 기상관측에 한계를 나타내는 관측 기기의 한계를 극복하기 위하여 이들 기기와 센스를 조합한 저궤도위성을 이용한 적도지역의 강우관측과 그 변화를 측정할 수 있도록 설계되었다.

적도지역은 지구 기후에 가장 많은 영향을 미치는 지역으로, 적도지역의 기상변화 예를 들어 엘니뇨, 라니냐 등은 지구 전체를 통하여 기상 변화를 야기하므로, 이 지역에 대한 기상관측은 기후변화(Weather Change)를 포함한 많은 기상문제를 해결하는데 큰 도움을 준다.



〈그림 1〉 남북회귀선 중심의 무역풍으로 인한 대류성 강수의 응결과 잠열 분포

TRMM 과학자팀은 TRMM의 궁극적인 목적을 대기 순환을 일으키는 잠열(latent heat)의 이해로 결정하고 이를 위하여 레이더 기기를 포함한 다양한 기상관측기기를 이용하여 구름의 응결(condensation)을 통하여 방출되는 잠열의 수직분포를 추정하고 있다. TRMM으로 관측된 강우자료는 지구의 물순환과 기상모형의 정확성 및 예측가능성을 평가하는데 유용하게 이용될 수 있으며, 기타의 다른 연구, 예를 들면 엘니뇨(EL Nino)와 같은 연구에도 도움을 준다.

TRMM은 총체적이고 체계적으로 구성된 프로그램으로 약 36개국 및 관련된 과학자들이 참여하고 있으며, 이들은 기상분야의 연구뿐 아니라, TRMM에 설치된 기기로부터 관측된 자료를 이용한 강우관측 및 예측과 지상에 설치된 다른 관측기기(지상레이더, 기상위성 등)로부터 관측된 자료를 이용한 TRMM자료의 보정 등을 위한 알고리즘을 개발하고, TSDIS(TRMM Science data and information system)에 의하여 자료를 공개하고 있다.

TRMM 위성은 미국 Goddard Space Flight Center에서 제작되었고, 일본의 NASDA(Japan National Space Development Agency)에서 개발한 H-II 로켓에 의하여 궤도상으로 운반되었으며, 연혁은 다음과 같다.

(표 1) TRMM 연혁

Date	주요 내용
1987 Jan	타당성 평가
1988	강우레이더에 의한 강우관측을 위한 Breadboard Model 개발 착수(1993년 완료)
1991	NASA에 의한 TRMM 관측기기 개발 (TMI, VIRS, CERES, LIS)
1993	NASDA(일본) 강우레이더 개발 착수
1997	27 Nov. TRMM 위성 발사
	1-2 Dec. 강우레이더 작동 개시
	9 Dec. 첫 강우레이더 이미지 전송
1998	1 Jun. TRMM level 1 결과물 공개
	1 Sep. 모든 TRMM 결과물 공개
2000	12 Sep. EORC에 의해 제공되는 준실시간 이미지 공개
	28 Nov. TRMM 위성 관련 심포지움 개최
2001	31 Jan. TRMM 설계 년한 종료 및 운영 연장
	7 Aug. 지상 350km 궤도에서 400km 궤도로 수정
2002	3 Oct. TRMM Tropical Cyclones D/B 사이트 개설
	14 Nov. 제 5차 TRMM 위성 관련 심포지움 개최
현재	운영중

2.2 TRMM 관측기기

TRMM 위성에는 다음과 같은 관측기기가 탑재되어 있다.

- Precipitation Radar(PR)
- TRMM Microwave Imager(TMI)
- Visible and InfraRed Scanner(VIRS)
- Cloud and Earth Radiant Energy Sensor(CERES)
- Lighting Imaging Sensor(LIS)

1) Precipitation Radar(PR)

TRMM에 탑재된 강우레이더는 호우의 구조를 밝힐 수 있는 3차원 기상지도를 제공할 수 있도록 제작된 최초의 위성레이더이다. 지금까지 기상관측에 이용된 모든 레이더는 지상에 위치하고 있으며, 지형에 따른 차폐 등으로 제약을 가지는 것이 보통이나, 위성에 설치된 레이더는 호

우의 완전한 모습을 관측할 수 있다. TRMM에 탑재된 레이더는 13.8GHz의 주파수로 250m 해상도, 관측반경은 220km이다. 13.8GHz의 주파수를 가지는 레이더는 현재 상용화된 레이더가 없는 주파수이며, 참고로 파동길이가 가장 짧은 X밴드 주파수가 9,230~9,404 GHz의 주파수를 가진다.

2) TRMM Microwave Imager(TMI)

TRMM에는 비구름의 강우함유량, 공간적 분포, 밀도 등을 누적하여 추적할 수 있는 Multi-channel Microwave Radiometer를 가지고 있다. 이 기기의 수평 해상도는 대류성 강우를 포함한 대부분의 강우형태를 알 수 있으며, 이를 연구하는데 이용된다. TMI의 radiometer(방사계)는 9개의 다중채널로 10.65~85.5GHz의 범위를 가지며, 스캐닝 각은 65°이며, 범위는 760km이다.

3) Visible Infrared Scanner(VIRS)

VIRS는 구름 두께, 형태, 구름 최상부의 온도 등의 고해상도자료를 제공하고, 정지기상위성에 의하여 관측되는 각종 구름 자료와의 비교 등을 위한 자료를 제공한다. VIRS는 0.63, 1.6, 3.75, 10.80, 12.0 마이크로(micron)의 5 채널로 구성되어지며 관측반경은 720km이고 수평해상도는 2.1km이다. VIRS는 구름의 종류와 높이를 통한 구름 분포 및 강우유무에 관한 정보를 제공한다. VIRS는 강우레이더(PR) 및 TMI과의 직접적인 자료교환 및 비교를 통하여 보다 정확한 강우를 추정하고, 강우기상위성으로부터 산정되는 강우자료의 정확성을 규명하고 밝히는 이용되어진다.

4) Lightnign Imageing Sensor(LIS)

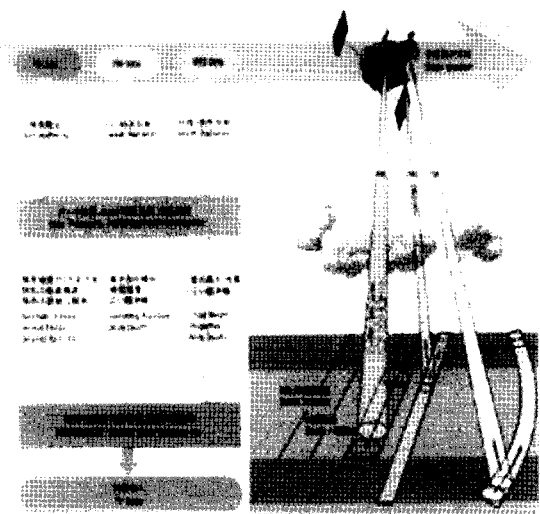
LIS는 지구상의 낙뢰사고, 지구전기순환체계, 강우와 관련된 PR, TMI, VIRS 자료와의 관계를 연구하기 위한 기기이다. 열대강우의 경우 항상 낙뢰를 동반하는 것은 아

니나, 상승기류와 하강기류로 인한 강우발생은 낙뢰를 일으키는 충분조건이 된다. LIS는 낙뢰의 위치, 발생시간, 방사에너지 등을 측정한다. LIS의 수평해상도는 5km이고, 관측범위는 590km이다.

5) Cloud and Earth's Radiant Energy System(CERES)

CERES는 지구표면과 대기로부터 방출되는 방사에너지와 그로 인한 부산물(구름, aerosol 등)을 측정하기 위한 기기이다. 대기 최상층부로부터 지표면까지의 합성에너지 수지(budget)는 지구의 기상을 결정하는 가장 중요한 인자이며, 기후변화 등에 큰 영향을 미치며, 강우 및 잠열방출 등과 간접적인 관계가 있다. CERES는 광역 밴드를 가지는 방사계이다.

TRMM은 저고도로 운영되고, 태양열을 이용하지 않는 유일한 위성으로, 500km × 500km이상의 격자로 구성된 지역의 월 강우량을 추정할 수 있으며, 앞에서 언급한 기상관측기기를 이용한 관측형태가 그림 2.에 나타나 있다.



〈그림 2〉 TRMM 위성의 기상관측 방법

2.3 전 지구적 검증 프로그램

TRMM의 전 지구적 검증 프로그램(Global Validation Program, GVP)은 TRMM으로부터 관측되는 자료를 검증하기 위한 방법과 이를 통한 강우 및 잠열과 관련된 연구 활동을 지원하는 종합적이고 체계적인 프로그램이다. TRMM 과학자들은 프로그램을 검증할 수 있는 논리와 방법을 개발하고 이를 검증한다. 이 모든 작업은 TRMM Office에서 주관하며, 구체적으로 다음과 같은 작업을 수행한다.

- 전 세계의 적도지역에 위치하고 있는 레이더 사이트와 강우관측망의 연결과 운영지원
- 레이더 관측 강우량 산정 방법의 개발과 지상 및 위성 관측에 의한 강우관측을 위한 알고리즘 개발
- 품질관리, 포맷을 포함한 지상 레이더 운영 방법 개선
- TRMM 데이터관리시스템인 TSDIS를 위한 레이더 자료관리시스템의 범용화를 위한 소프트웨어 통합
- 열대지방기후 연구를 위한 레이더 및 우량관측소 네트워크 작성
- 기상관측을 위한 첨단기기 제작 및 검증
- 정밀도 향상을 위한 지상 및 항공탑재 레이더에 관한 연구
- 자료전환을 위한 표준변환방법과 결측이 발생한 지상관측소의 자료보완을 위한 통일된 자료처리과정 개발

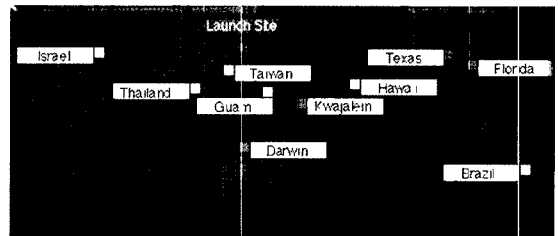
TRMM 운영기간동안에 소위 "Ground truth"라는 지상관측소로부터의 자료는 지상레이더, 기상위성 등을 포함한 다양한 관련 기기로 얻어지는 자료에 의하여 보완되어지고, 지속적인 TSDIS 관리 및 연구를 위한 자료관리 및 운영체계가 개선되어지고, 지상 관측소와의 보완 프로그램의 품질관리가 이루어질 것이다.

2.4 TRMM 검증 관측소

11개의 지상관측소가 TRMM 자료의 검증을 위하여 운영되어지고 있으며, 각 지상관측소의 위치와 관련기관은 아래의 표 2와 같다.

(표 2) 지상관측소 위치 및 관련기관

관측소 위치	관측기기	기관
Darwin, Australia)	5cm Doppler Radar disdrometer	Australian Bureau of Meteorology Bureau of Meteorology Research Centre
Melbourne(FL, USA)	WSR-88D Disdrometer	NOAA NASA
Houston(TX, USA)	WSR-88D disdrometer	Texas A&M Univ.
Kwajalein(Rep. of the Marshall Islands)	DWSR-93D Rain-rate gauge	NOAA Univ. of Washington
Tel Aviv(Israel)	5cm Radar rain gauge	Hebrew Univ. of Jerusalem
Sao Paulo(Brazil)	10cm Radar	Sao Paulo Univ.
Guam(USA)	NEXRAD rain gauge	Univ. of Iowa NOAA
Kaohsiung(Taiwan)	WSR-88D rain-rate gauge	National Central Univ.
Om Koi(Thailand)	DWSR-93	Bureau of Royal Rainmaking and Agricultural Aviation
Phuket(Thailand)	DWSR-93 rain-rate gauge	Thailand Meteorological Department
Molokai(Hawaii, USA)	NEXRAD Rain-rate gauge	Federal Aviation Administration



(그림 3) TRMM 위성궤도 및 검증 관측소

2.4 Algorithm, Data Processing and Research

TRMM의 연구과정은 크게 레이더 및 기타 관측기로부터 관측된 자료를 분석하여 강우량을 얻고 이를 배포하는 과정과 강우의 분포, 총량 등을 연구하는 과정으로 구분할 수 있다. 자료를 분석하는 작업으로 TRMM Office는 기상레이더를 이용한 강우추정기술을 개발하였고, 이 과정에서 레이더관련 자료를 처리할 수 있는 extensive

radar software library(RSL)을 개발하여 현재 Open source로 공개중에 있다. 또 이들 자료를 배포하고 검증하기 위하여 TSDIS(TRMM Science and Data Information System)을 운영하고 있다.

TRMM Office와 과학자팀은 전지구적 검증시스템을 통하여 자료 조사, 분석, 알고리즘을 개발하고 있으며, 이를 다시 다른 지역과 연계를 통하여 검증하고 있다.

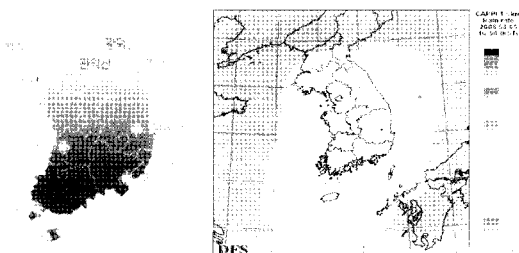
한편 강우의 형태, 분포 및 총량의 연구는 Raindrop size distribution(DSD)와 이와 관련된 강우형태, 지역 및 강우율(rainfall rate)을 결정하는데 집중되고 있으며, 이는 잠열의 수직분포 및 이를 이용한 기상학적 모델링과 강우레이더의 품질관리 등을 포함하여 수행되어지고 있다.

3. 우리나라의 수문기상관측

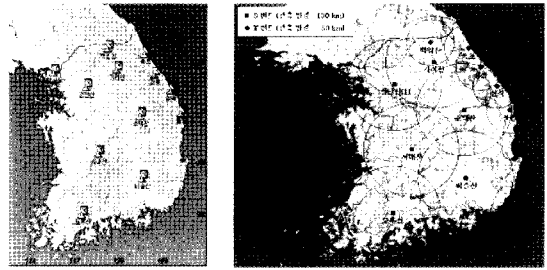
우리나라의 수문기상관련 부서는 기상청과 국토해양부가 있으며, 각각은 그 역할에 따라 레이더를 포함한 수문기상관측기기를 운영하고 있으므로, 여기서는 첨단인 수문기상관측기기인 레이더의 운영에 대하여 살펴보기로 한다.

1) 우리나라의 수문기상레이더

우리나라에서 운영되고 있는 수문기상관련 레이더는 기상청, 국토해양부, 공군 등이며, 이중 공군 및 공항에서 운영중인 레이더자료를 방재와 관련하여 운영하기는 어려운 것으로 판단된다. 현재 기상청과 국토해양부에서 운영중이거나 설치계획중인 레이더는 다음과 같다.



〈그림 4〉 기상청 레이더관측소 및 관측범위



〈그림 5〉 국토해양부 레이더관측소 및 관측범위(계획)

2) 레이더 자료의 분석 및 합성

공군 및 공항을 제외한 기상청에서 운영중인 레이더의 기종은 최근 설치된 진도, 광덕산, 고산, 관악산 레이더는 S밴드이며, 나머지는 C밴드이나 점차 S밴드로 변경하고 있는 추세이다. 한편 국토해양부에서 현재 운영중인 강우레이더는 강화도에 위치한 임진강 강우레이더가 있으며, 비슬산이 레이더가 곧 설치될 예정이다.

레이더로부터 관측되는 기본적인 반사도 자료는 밴드에 관계없이 동일하며, 반사도 자료를 이용한 산출물(Products) 역시 대동소이하고, 현재 가장 많이 이용되고 있는 자료는 1.5km CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator)이다.

강우레이더 또는 기상레이더로부터 관측되는 자료를 지상 우량관측소와 비교하여 강우량을 산정하는 것은 강우형태별, 지역적으로 많은 편차를 가지며, TRMM에서 알 수 있듯이 많은 검증 사이트를 두고, 여러기관이 협력하여 자료를 분석하고 검증하여야 비교적 정확한 레이더 강우량을 산정할 수 있으며, 현재 운영중인 기상청과 국토해양부의 레이더 관측자료 및 지상 우량관측소의 자료를 비교, 검증하기 위한 문제점은 다음과 같은 것이 있다.

● 레이더 자료 생성 주기

기상청과 국토해양부는 레이더자료를 상호교환할 수 있도록 MOU를 맺고 있으며, 두 기관간의 자료 교환이 가능한 상태이다. 그러나 국토해양부의 임진강 강우레이더

의 자료생성주기는 6분 간격이고, 기상청 레이더의 자료 생성주기는 10분 간격이며, 기상청으로부터 한강홍수통제소로 제공되는 자료는 1.5km CAPPI자료만을 제공하고 있다.

● 레이더 자료 호환성

각 레이더관측소의 영상자료는 레이더관측소를 기준으로 일정한 거리체계 또는 위경도에 따라 자료를 표출하고 있다. 기상청과 같이 전국을 관할하는 레이더망을 운영하는 기관의 경우, 이들 레이더망을 통합하는 격자체계를 가지고 있으며, 각 관측소에 관측된 반사도자료를 격자체계에 맞추어 자료를 생성할 수 있으나, 기상청과 국토해양부의 격자체계가 통일되어 있지 않으므로, 두 기관의 자료를 상호 이용할 경우에는 별개의 프로그램을 운영하여 격자체계를 조정하여야 한다.

● 관측업무의 정확성 향상

기상청에서 국토해양부로 전송되는 자료는 앞에서 언급한 바와 같이 1.5km CAPPI자료이나, 보다 정확한 레이더 강우량 추정을 위하여서는 최초 관측된 반사도자료를 포함한 모든 자료를 교환하는 것이 바람직하다. 또 현재 국토해양부에서는 임진강 강우레이더의 최적화를 위한 사업을 수행중이나, 장기적으로 레이더 관측자료와 지상우량관측소의 비교, 검증이 필요하며, 지속적인 투자가 이루어져야 할 것이다.

4. 결론

강우는 지역에 따라 시간에 따라 변하므로, 홍수를 예방하기 위한 홍수예보시스템에서 입력자료인 정확한 면적강우량을 산정하는 것은 예보시스템의 정확성을 향상시키는 가장 중요한 요소이다. 정확한 면적강우량을 산정하기 위한 방법으로 점우량만을 관측할 수 있는 우량관측소로부터, 면적우량(유역평균우량)을 산정할 수 있는 강우레이더로 급속히 이동하고 있으며, 우리나라의 경우도 기상청과 국토해양부에서 이를 도입하여 운영중이거나 계획중에 있다.

강우레이더는 우량관측소에 비하여 많은 장점을 가지고 있으나, 레이더의 기계적인 특성, 지형특성, 강우 형태 등 많은 변수에 따라 정확도의 편차가 심하게 나타나며, 이를 보완하고, 검증하기 위한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있으며, 우리나라에서도 이러한 노력이 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 전국 강우레이더 설치 및 홍수예경보시스템개선 기본계획 수립(2002.5), 건설교통부
- 임진강 임진강 降雨레이더 시스템 最適化 研究用役(2006.12), 건설교통부
- <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>
- <http://www.eorc.nasda.go.jp/>