

인공위성을 이용한 강우관측자료 및 활용 사례 소개



김 경 탁 |

한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원
ktkim1@kict.re.kr



김 주 훈 |

한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구위원
jh-kim@kict.re.kr

되는 정보를 이용하여 강우를 추정하기 위한 연구를 지속적으로 수행해 오고 있으며 많은 학문적 성과를 제시하고 있다. 위성에서 관측되는 정보를 이용하여 추정하는 위성강우(satellite rainfall) 추정에 대한 연구는 주로 위성대기학자들을 중심으로 이루어져 왔으며 지표수 수문학에 대한 연구와는 서로 다른 토픽으로 인식되어 왔다. 그러나 최근 들어 이 두 분야는 “위성강우자료가 지표수 수문학에 어떤 방법으로 적용될 수 있을까?”라는 융합 주제로 새롭게 이슈화 되면서 주목을 받고 있다 (Gebremichael and Hossain, 2010).

더욱이 1997년 발사되어 운영되고 있는 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)의 성공적인 운영은 글로벌 강우자료의 정량적 추정 가능성에 대한 확신을 주고 있으며 이에 힘입어 계획된 GPM(Global Precipitation Measurement) 프로그램 완성되면 전지구에 대한 3시간 간격의 보다 정량적인 강우추정이 가능하게 될 것으로 기대되고 있다.

따라서 본고에서는 2012년 본 학회 수문기상분과 과업으로 수행된 내용을 재정리하여 회원들에게 소개함으로써 위성강우와 연계한 수문학적 연구에 대한 관심을 고취하고자 한다.

1. 서론¹⁾

2010년 6월 통신해양기상위성인 천리안위성 (COMS : Communication, Ocean and Meteorological Satellite)이 발사됨으로써 우리나라도 독자적으로 운영할 수 있는 정지궤도위성을 보유하게 되었다. 천리안위성은 통신, 해양관측, 기상관측이 목적인 다목적 위성이다. 특히, 기상관측을 목적으로 MI(Meteorological Imager) 기상센서를 탑재하고 있으며 관측되는 기상정보는 2011년 4월부터 기상현업에서 이용되고 있다.

우주개발 선진국에서는 이미 1960대부터 기상관측을 목적으로 인공위성을 발사하여 위성에서 관측

1) 본고는 2012년 한국수자원학회 수문기상분과 연구과업으로 수행한 “인공위성을 이용한 강우자료 생산 현황 및 활용성 조사” 내용을 요약하여 재정리한 것임.

2. 인공위성 강우관측의 역사

역사적으로 강우 측정은 측우기와 같은 우량계를 이용하여 육상에서만 가능하였다. 이후 레이더를 이용한 강우관측이 수행되고 있으나, 이 또한 해안 및 육상에서만 가능한 강우관측 방법이라 할 수 있다. 위성을 이용한 기상관측은 1960년 최초로 기상 영상을 제공하기 위해 TIROS-1(Television Infra Red Observation Satellite) 위성이 발사되면서 시작되었다.

TIROS-1위성이후 여러 기상위성이 발사되었으며, 1979년에 최초로 Arkin에 의해 강우추정을 위해 적외선(IR) 자료의 이용 가능성이 제시되었다. 그러나 1987년까지는 정량적인 강우추정을 위한 연구는 가용한 위성 자료의 부족으로 인해 활발히 연구되지는 못하였다. 이후, 1987년 해양에서의 비교적 정확한 강우량 추정이 가능한 다중 채널의 수동 마이크로파 복사계인 SSM/I(Special Sensor Microwave / Imager)를 탑재한 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program) 위성의 발사로 강우추정에 대한 연구가 활발하게 이루어지게 되었다. 이에 따라 위성에 의한 전지구 강우량 추정 의 중요성이 부각되면서 1990년대에 미국 NASA(National Aeronautics and Space Administration)의 Mission to Planet Earth

Program에 따라 우주공간으로부터 강우량을 측정 하는 새로운 연구가 본격적으로 시작 되었다(손병 주 등 2005).

위성은 고도에 따라 정지궤도 위성(약 36,000 km)과 극궤도(저궤도 위성 500~1,500km, 중궤도위 성 5,000~15,000km)의 형태로 구분할 수 있다. 정 지궤도 위성은 적도상의 특정 지점의 지구표면 위 로 약 36,000km에 위치하며, 위성의 궤도는 지구 와 같은 속도로 회전하기 때문에 상대적으로 고정 된 것으로 나타난다. 정지궤도 기상위성은 빠른 스 캔 능력으로 인해 구름의 진화를 모니터링 하는데 유용하지만, 위성으로부터 얻을 수 있는 이미지의 해상도나, 범위, 그리고 극지역에 대한 관측 범위의 한계를 내포하고 있다. 한편, 저궤도 위성은 정 지궤도의 단점을 보완하여 제공하며, 멀티채널 VIS/IR 센서, 마이크로파 센서로 강우량을 직접 측 정할 수 있는 능력을 포함하고 있다(Kidd 등, 2009).

성공적인 위성강우 추정의 역사는 TRMM이 발 사된 이후부터로 볼 수 있다. 1997년 미국 NASA와 일본 JAXA(Japanese Aerospace eXploration Agency) 공동으로 열대지역과 아열대지역(37°N- 37°S)의 강우를 추정하기 위해 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 위성이 발사 되었 으며, 본격적으로 성공적인 강우와 관련된 수문학적

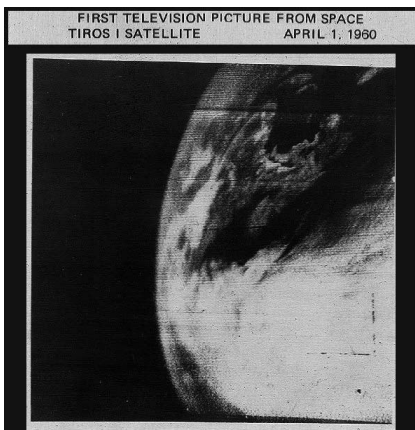


그림 1. 최초의 기상관측 영상(TIROS-1)

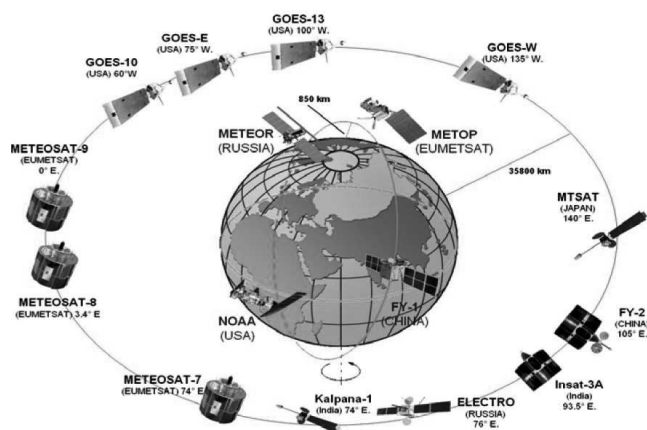


그림 2. 기상위성의 광역 관측시스템(Kidd 등 2009)



그림 3. 인공위성 강우관측의 역사

지식을 획득하기 시작하였다. TRMM위성의 성공적인 운영으로 인해 NASA와 JAXA를 중심으로 전지구 강우관측의 범위를 고위도까지 확장하고, 관측주기를 단축할 목적으로 GPM(Global Precipitation Measurement) 프로그램이 진행되고 있다. GPM 프로그램은 주위성 1기와 8기의 보조위성군으로 구성되며, 매 3시간마다 지구 전체의 강우를 관측하겠다는 계획이다. 2013년 GPM Core 위성의 발사가 이루어지면 위성을 이용한 강우량 관측 분야의 발전은 진일보할 것으로 기대된다.

3. 인공위성을 이용한 강우 추정기법

인공위성을 이용한 강우량 추정 방법은 크게 세 가지로 구분된다.

- ① 가시광선(VIS) 및 적외선 영상(IR)을 이용한 강우 추정 기법

가시광선(VIS) 및 적외선 영상(IR)을 이용하는 방법은 간접적인 강우 추정 방법으로 적외선 영상이 구름 상부의 열적 정보를 갖고 있기 때문에 운정온도(cloud top temperature)나 구름의 형태 등을 강우와 연관시키는 방법이다. VIS/IR방법은 대부분 36,000km 상공의 정지궤도위성에서 관측되는 자료를 이용하므로 관측 빈도가 높다는 장점이 있음에도 불구하고 운정온도와 지표면의 강우 사이의 관계를 간접적으로 추정한다는 단점을 갖고 있다. 실제로 VIS/IR 방법에 의해 강우량을 추정하는 경우 그 신뢰도는 크지 않으나 강우의 분포와 강도의 파악이 가능하며 최근에는 보다 정량적인 강우량 추정을 위해 구름의 발달단계에 따른 보정 및 운영에 따른 비교 분석이 수행되고 있다.

- ② 마이크로파(Microwave)를 이용한 강우 추정 기법

마이크로파를 이용하는 방법은 마이크로파(Microwave)가 강우층을 통과하면서 강우 입자에

의해 산란되거나, 또는 강우층에서 마이크로파가 방출되는 성질을 이용한다. 적외선 영상을 이용하는 방법보다는 직접적이고 물리적인 강우 추정 방법이라 할 수 있다. 그러나 현재 관측을 수행하는 대부분의 마이크로파 위성들은 저궤도위성이며 동일한 지점의 관측은 하루 2회만 수행되고 있으므로 관측 주기가 길고, 관측 범위가 좁다는 단점을 갖고 있다.

③ 혼합 강수 추정 기법

VIS/IR을 이용한 강우 관측은 관측빈도가 높다는 장점이 있으나 간접적인 강우추정 방법이라는 단점이 있으며, 수동 마이크로파(Passive Microwave; PM)를 이용한 강우 관측은 관측빈도가 낮다는 단점이 있으나 직접적인 강우추정 방법이라는 장점이 있다. 따라서 보다 더 직접적인 측정과 높은 빈도의 자료를 제공하기 위해 이 두 가지 형태의 관측 방법을 조합하고자 시도된 방법이 혼합 강수추정기술(combined precipitation estimation techniques)이다. 우리나라 천리안 위성의 강우강도 산출물(RI)을 포함하여 전 세계적으로 제공되고 있는 TMPA(TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis), CMORPH(CPC MORPHing technique), GSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation)등 대부분의 위성강우 산출물들은 적외선 영상과 마이크로파 강우 관측 자료의 특징을 융합하여 위성강우 추정치를 산출하고 있다.

4. 인공위성을 이용한 강우자료 산출물

① 천리안 위성의 강우강도 산출물(RI)

지난 2010년 6월 우리나라 최초의 정지궤도 위성인 통신해양기상위성(COMS: Communication, Ocean and Meteorological Satellite, 국내명칭 “천리안위성”)이 발사되었으며 동경 128.2도, 적도 상공 36,000 km에서 운영 중이다. COMS는 기상청

과 교육과학기술부, 국토해양부, 방송통신위원회 등 관계부처가 공동으로 개발한 국내 최초의 정지궤도 위성이다. COMS의 기상센서인 MI(Meteorological Imager)는 궤도상에서 각종 기능 및 관측 자료의 품질을 검증하기 위한 테스트를 거친 후 2011년 4월부터 기상현업에 이용되고 있다. 한편, COMS에서 관측된 원시자료에서 각종 기상요소를 산출하는 시스템인 COMS 기상자료처리시스템(Meteorological Data Processing System; CMDPS)이 개발되었으며 기상자료처리시스템에서는 강우강도 산출물(RI)을 포함하여 16종의 분석 자료가 생산되며 이는 기상예보 및 수치예보자료, 기후변화예측 등에 활용되고 있다(기상청과 한국항공우주연구원, 2009).

강우강도 산출물(RI)은 기상위성센터의 위성자료 서비스를 통해 수집할 수 있다. 국가기상위성센터 홈페이지에서는 Level 1 채널별 자료와 16종의 산출물을 서비스하고 있으며 기관회원 가입 후 자료인증 절차를 통해 데이터 다운로드가 가능하다. 다만, 기상산출물은 당초 Level 1 채널별 자료와 산출물별 이진 파일을 제공할 계획이었으나 현재 황사, 안개, 해수면 온도를 제외한 나머지 자료들은 png 형식의 그림파일로 서비스 되고 있다. 현재 나

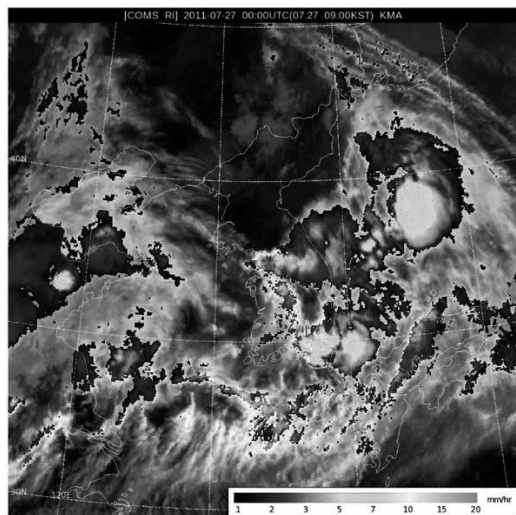


그림 4. 강우강도 산출물(RI)

머지 산출물별 이진 파일은 공식적인 요청을 통해서만 오프라인으로 수집할 수 있다.

② TMPA 3B42 강우자료

TMPA(TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis)는 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)강우자료의 포괄적인 이름이다. TRMM은 미국 NASA(National Aeronautics and Space Administration)와 일본 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)의 연합 프로젝트로서 적도지역의 강우 및 이와 관련된 기상연구를 통합 관리하는 계획이다. TRMM은 지상관측의 한계를 극복하기 위해 저궤도위성을 이용한 적도지역의 강우관측과 그 변화를 측정할 수 있도록 설계되었다. 적도지역은 지구 기후에 가장 많은 영향을 미치는 지역으로, 적도지역의 엘니뇨, 라니냐 등과 같은 기상변화가 지구 전체를 통하여 기상 변화를 야기하므로, 이 지역에 대한 기상관측이 기후변화를 포함한 많은 기상문제를 해결하는데 도움을 줄 것으로 예상하여 본 프로젝트가 시작되었다.

TMPA의 주요 산출물인 TMPA 3B42는 실시간 산출 자료인 3B42RT를 지상 관측 강우량을 이용하여 임계 상수를 곱하여 개량한 자료를 의미하며, 마이크로파 강우 자료는 GPROF (Goddard profiling algorithm) 알고리즘을 이용하여 구한 SSM/I, AMSU, AMSR과 TRMM TMI 강우량으

로부터 산출된다. 그림 6은 NASA에서 제공하고 있는 TMPA 3B42자료로 전지구에 대해 3시간 간격으로 0.25° 해상도를 갖는 위성강우 추정자료를 제공하고 있다.

③ CMORPH 강우자료

NOAA CPC(National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center)는 수동 마이크로파(passive microwave) 위성 자료를 기반으로 정지궤도위성의 적외선 자료로부터 유도되는 모션 벡터(motion vector)를 이용하여 30분간격의 전지구 강우 추정치를 생산하는 CMORPH 기법을 개발하였다. 즉, CMORPH(CPC MORPHing technique)란 강우량 추정을 위하여 애니메이션에서 주로 사용되는 모핑(Morphing)기술을 이용하는 것이다. CMORPH는 저궤도 위성(약 850km)에서 관측되는 마이크로파 관측 값과 정지궤도 위성(약 36,000km)에서 관측되는 적외선 영상에서 유도되는 이동장 정보를 이용하여 시·공간적으로 매우 고해상도로 생산되는 전지구 강우량 관측 자료라 할 수 있다. 현재 DMSP 13, 14, & 15 위성의 SSM/I, 그리고 NOAA-15, 16, 17& 18 위성의 AMSU-B(Advanced Microwave Sounding Unit), NASA Aqua 위성의 AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS),

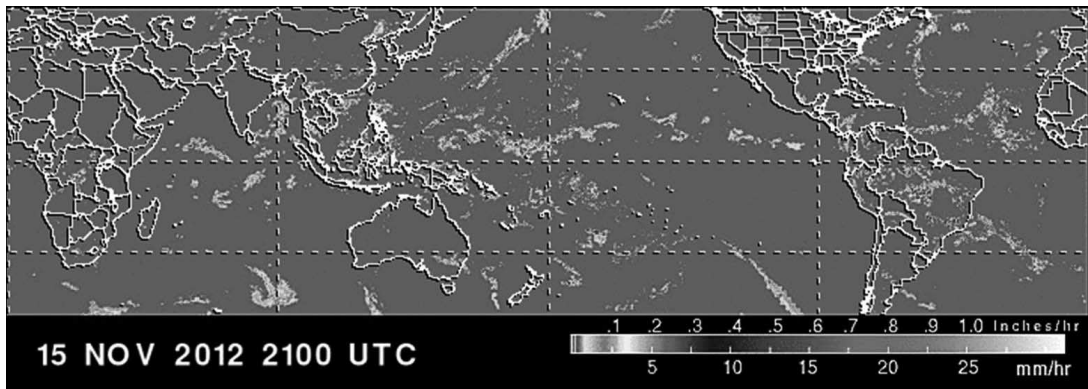


그림 5. TMPA 3B42 자료

TRMM spacecraft의 TMI(TRMM Microwave Imager)에서 각각 제공되는 마이크로파 관측 값을 이용하여 강우량을 추정하고 있다. CMORPH의 지역적 제공범위는 60°N-60°S이고 2002년 12월부터 제공되고 있으며 30분 간격으로 전지구 강우량 추정 값을 생산하여 제공하고 있다. NOAA CPC의 CMORPH 강우량 추정 자료는 다음과 같이 3가지 종류의 시간해상도/공간해상도를 갖는 데이터로 제공되고 있다.

▷ 30min-8km data

ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/global_CMORPH/30min_8km

▷ 3-hourly 1/4×1/4degree data

ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/global_

CMORPH/3-hourly_025deg

▷ daily 1/4×1/4degree data

ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/global_CMORPH/daily_025deg

그림 9는 남한지역에 대해 기상청 69개 기상관측소 일강우자료와 CMORPH 3시간 강우자료를 이용하여 연간 강우분포 특성을 비교한 사례이다. 2006년 연간 총 강우 비교결과 CMORPH강우자료가 기상관측소 강우자료와 비교하여 약 25%정도로 낮은 강우량 값을 제시하고 있으나 연간 강우의 공간분포는 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

④ GSMaP 강우자료

GSMaP(Global Satellite Mapping of



그림 6. CMORPH 30min-8km 자료

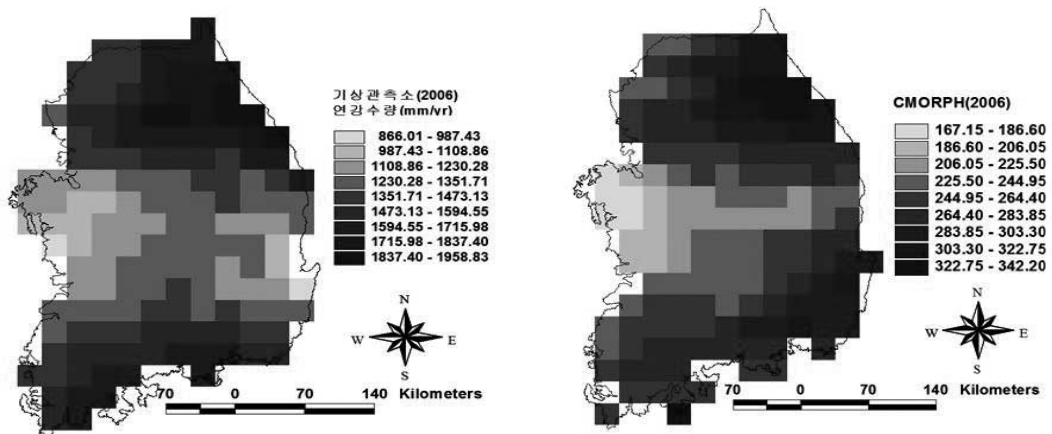


그림 7. CMORPH 강우자료의 평가

학술/기술기사

Precipitation) 프로젝트는 2002년 일본 과학기술청(JST: the Japan Science and Technology Agency)의 지원으로 시작되었다. GSMaP은 신뢰성있는 마이크로파 방사계 알고리즘(microwave radiometer algorithms)을 개발하여 위성에서 관측되는 마이크로파 방사계 자료를 이용한 고해상도 전지구 강우지도를 생산하고, 다가오는 GPM시대를 위하여 다중 위성자료를 이용한 전지구 강우지도 개발 기술을 준비하고자 시작되었다(Tomoo Ushio and Misako Kachi, 2010).

최근에는 JAXA EORC(Earth Observation Research Center)에서 기존 GSMaP 표준시스템에 비해 추가적인 보조 자료를 이용하여 관측후 전

지구를 대상으로 1° 해상도로 4시간안에 1시간 강우 자료를 생산하여 제공하는 개선된 GSMaP_NRT(Global Rainfall Map in Near Real Time)을 개발하여 제공하고 있다. 현재 GSMaP_NRT는 인터넷을 통해 무료로 제공되고 있다(<http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm>). 한편, 그림 11은 Google을 이용하여 GSMaP 강우자료를 표출한 것으로 태풍의 이동상황을 구름사진으로만 제공되는 것 보다 태풍에 의해 생성되는 정량적인 강우량 정보까지 제공될 수 있을 경우, 태풍에 대한 대비를 보다 철저하게 할 수 있을 것임을 암시적으로 나타내고 있다.

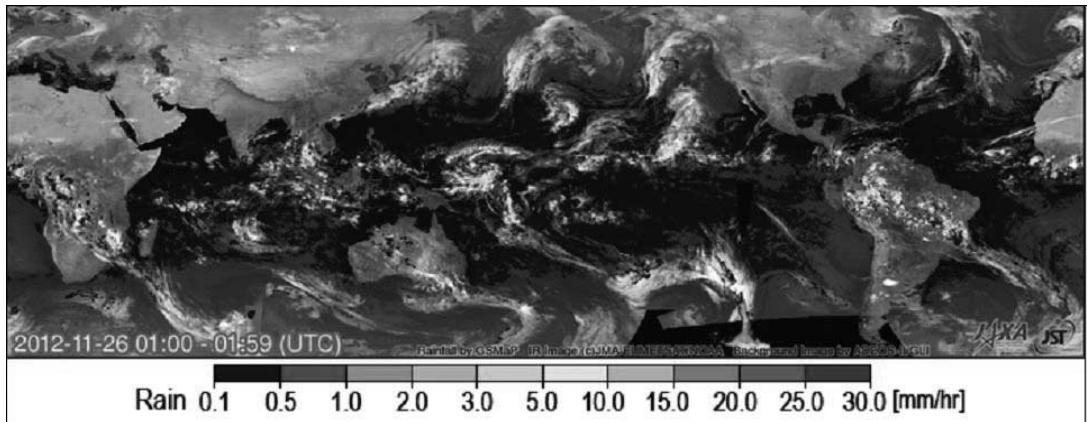


그림 8. GSMaP_NRT 강우자료

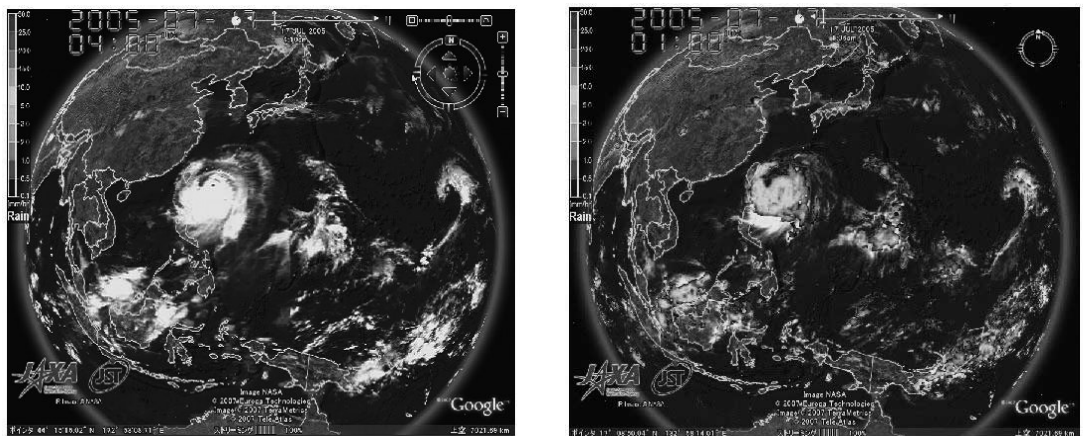


그림 9. 태풍의 구름사진(좌)와 GSMaP 강우자료(우)

5. 위성강우자료를 이용한 글로벌 홍수해석 프로그램 IFAS

위성강우 자료를 수문학 또는 수자원 분야에 적용하기 위해서는 제공되는 자료의 정확도, 공간 및 시간해상도, 그리고 강우자료 생산에 소요되는 시간과 적용 형태 등에 대한 검토가 필요하다. 아직까지 강우레이더나 AWS 등에 의해 측정되는 강우자료에 비해 추정 정확도의 개선이 요구되고 있으나 전지구에 대해 3시간 이하의 간격으로 제공된다는 점은 매우 매력적이라 할 수 있다. 예를 들어 TRMM 위성으로부터의 강우량 자료의 기후학적 지도는 강우의 발생과 강우강도자료를 생성하며, 생성된 강우강도는 강도-분포 모델(intensity-distribution models)을 생산하는데 이용될 수 있고, 따라서 수문학자들에게 도움을 줄 수 있다. 특히, 위성강우자료는 기존의 전통적인 방법으로 측정된 강우량 자료가 존재하지 않은 지역을 평가할 때 이용될 수 있다. 특히, 긴 선행시간(lead time)을 갖는 대하천의 홍수와 같은 큰 규모의 사상이나 수자원 이용과 같은 분석에서는 위성으로부터 유도된

강우자료는 매우 유용하게 이용될 수 있으며, 위성으로부터 유도된 정보는 홍수 혹은 산사태와 같은 이벤트에 의해 현장 측정(in-situ measurements)이 중단된 긴급한 상황에서 매우 중요한 역할을 할 수 있다(Kidd 등, 2009).

한편, 일본 ICHARM(the International Centre for Water Hazard)에서는 개발도상국의 보다 효과적이고 효율적인 홍수예보를 위한 도구로서 전지구 위성 강우자료를 이용한 홍수-유출해석 시스템인 IFAS(Integrated Flood Analysis System)를 개발하여 보급하고 있다. IFAS는 위성 강우자료와 지상에서 관측되는 강우자료의 입력 모듈, 하천망도를 생성할 수 있는 GIS 기능, 유출해석 모듈의 매개변수를 추정하기 위한 모듈, 해석결과 출력 모듈 등을 제공하고 있다. 또한, ICHARM에서는 개발된 IFAS의 활용도를 증진하기 위해 해당 국가의 정부나 조직과의 협동연구와 함께 사용자 교육도 추진하고 있다. 그림 12는 IFAS에서 이용되는 자료 및 기본 구조를 나타내고 있으며, 그림 13은 IFAS를 이용한 홍수해석절차를 나타낸다.

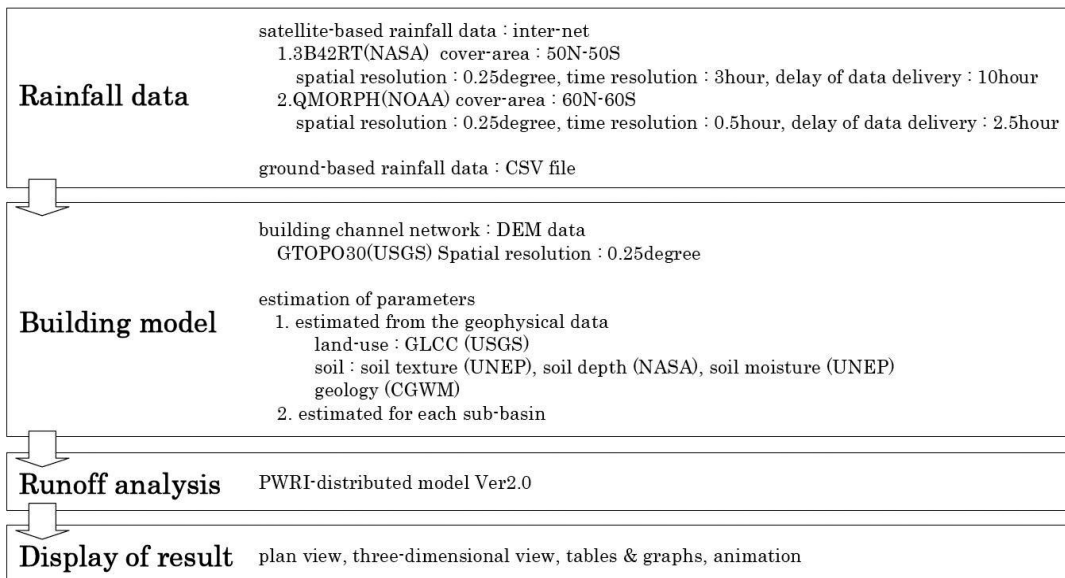


그림 10. IFAS의 이용자료 및 기본 구조

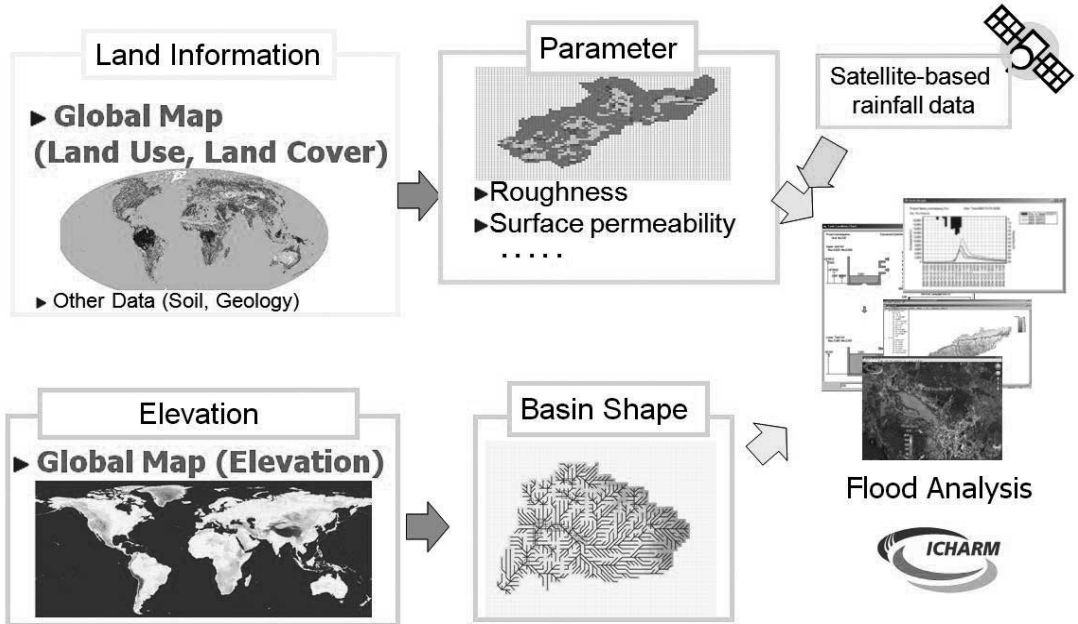


그림 11. IFAS를 이용한 홍수해석 절차

현재 IFAS는 홈페이지(<http://www.icharm.pwri.go.jp/research/ifas/index.html>)를 통해 IFAS ver. 1.3β를 무료로 다운로드 받아서 사용 가능하다. IFAS ver. 1.3β에는 기본적인 IFAS 모듈과 함께 자동으로 인터넷을 통하여 위성 추정 강우 자료를 다운로드 받을 수 있는 모듈(AutoRain Download 모듈), 그리고 시간 단위로 다운로드 받은 자료를 이용하여 구축된 유역의 유출 해석과 함께 결과를 이용하여 홍수경보를 제공하는 모듈

(AutoIFAS 모듈)을 제공하고 있다.

그림 14는 금강유역의 갑천 유역에 대하여 IFAS를 구동한 결과이고 그림 15는 갑천 유역의 2012년 유출분석 결과를 나타낸 것으로 IFAS에서 제시하고 있는 매개변수 값을 그대로 적용한 결과 관측 값과 유사한 유출 결과를 제시하고 있어 향후 비점근/미계측 유역에 대한 적용에 매우 유용할 것으로 판단된다.

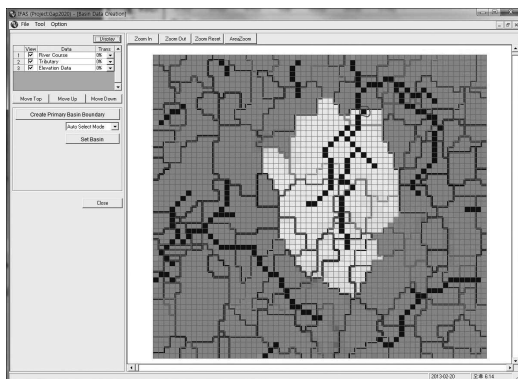


그림 12. IFAS 구동

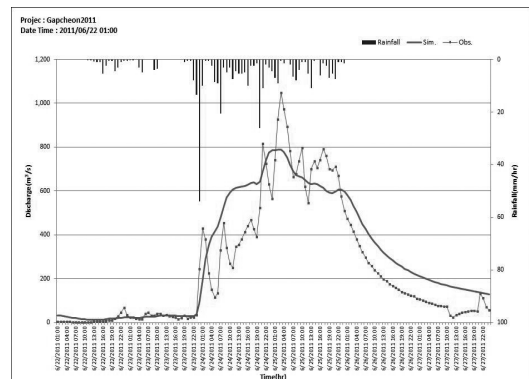


그림 13. 유출분석 결과

6. 맺음말

위성 분야의 선진 국가에서는 위성관측 강우량 자료를 사용하여 자료동화 기법을 통해 수치모델의 기초자료로 활용하여 수치예보의 정확도 향상은 물론, 강수기구 연구 등의 대기 물기과정 연구, 수문/수자원 관련 연구, 농업에서의 활용, 집중호우와 열대 폭풍의 감시 등 많은 분야에서 그 활용이 증대되고 있다. 또한, 위성 강우량 검보정과 관련하여 지상 관측, 레이더 관측 등을 포함한 집중 관측과 다양한 기후대를 망라한 지역에서의 상시 관측을 수행

하는 등 많은 투자가 이루어지고 있다. 본고에서는 위성으로부터 유도되는 강우자료의 추정기법 및 국내외의 기상위성자료의 생산현황 그리고 홍수예보 시스템에서 위성강우자료 활용 사례로 일본의 IFAS에 대해 소개하였다. 또한, 향후 GPM Core 위성의 성공적인 발사가 이루어지면 위성을 이용한 강우량 관측 분야의 발전은 진일보할 것으로 기대되며, 그동안 국내에서는 일부 기상학자들만이 관심을 가져온 위성을 이용한 강우량 추정에 대해서 이제는 수문학자들도 이들 자료에 대한 이해와 활용에 대한 관심을 가질 필요가 있을 것으로 사료된다. ☞

참고문헌

1. 기상청, 한국항공우주연구원(2009) 통신해양기상위성 기상자료처리시스템 개발 최종보고서.
2. 기초기술연구회 (2010) 위성영상을 활용한 하천정보 생산 및 활용에 관한 연구
3. 손병주 등(2005) “전구강수관측(GPM) 활용을 위한 제언” Journal of Atmosphere, KMS, Vol.15, No.1, pp. 47-57
4. 한국수자원학회(2012) 2012년 분과위원회 연구과업 보고서, pp. 435-468.
5. Kidd C., Levizzani V., Turk J., and Ferraro R., (2009) “SATELLITE PRECIPITATION MEASUREMENTS FOR WATER RESOURCE MONITORING”. JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION. Vol.45, No.3, pp. 567-579
6. Gebremichae M.l and Hossain F. (2010), Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology.
7. NASA(2011) Tropical Rainfall Measuring Mission – Senior Review Proposal 2011
8. Tomoo Ushio and Misako Kachi(2010) Kalman Filtering Applications for Global Satellite Mapping of Precipitation(GSMaP), Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology, Springer, pp. 105-123.
9. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/janowiak/cmorph_description.html
10. <http://www.icharm.pwri.go.jp/research/ifas/index.html>(IFAS 홈페이지)