

인공위성과 원격탐사기법을 이용한 강수량 측정

박 종 화

(jhpak7@chungbuk.ac.kr)

충북대학교 지역건설공학과 교수

■ 서 론

21 세기는 “물의 세기”라고 불리고 있다. 물은 지구 환경을 특징짓는 중요한 요소로 우리의 생활과 경제 활동을 좌우한다. 지금 우리는 세계 각지에서 가뭄, 홍수 등을 비롯해 이들로 인한 식량난과 전염병의 발생 등 많은 문제에 직면하고 있다. 지구의 물 순환 과정의 중요한 구성 요소 중 하나가 강수이다. 강수와 같은 물은 지속적인 생명을 유지하는데 필수적이다. “강수”는 우리의 일상생활과 깊은 관계가 있을 뿐만 아니라 그 분포와 변동은 최근 사회적 관심이 높아지고 있는 기후 변화와 지구온난화의 영향을 받고 있는 것으로 알려져 있다. 그 영향은 집중호우와 같은 짧은 시간에 국소적으로 발생하는 것으로부터, 엘니뇨 같이 장기적이고 대규모에 이르기까지 다양하다. 또한 물 순환과 수자원의 지속적인 활용 여부는 지구상의 모든 나라에게 엄청난 경제 사회적 문제가 될 수 있는 영향을 미칠 것이다. 이러한 문제해결을 위해 지금 우리에게 필요한 것은 수자원의 근원인 강수를 정확하게

파악하고 이상기후에 미치는 영향과 그 영향 및 대책 기술을 향상시킬 수 있다. 강수량 (예: 분포, 양, 비용 및 열에너지와의 관련)의 다양한 측정은 지구과학 분야에서 가장 중요한 연구 문제 중 하나이다. 따라서 세계 각지에 내리는 강수의 변동을 짧은 시간 간격으로 모니터링하고 한정된 지구의 수자원을 공유하는 의식을 가지는 것은 매우 중요하다. 또한 이를 위해서는 국제적인 협력으로 실시간 “물”의 파악과 예측을 위한 종합적인 위성측정 계획을 실현하는 것이 그 해결을 위한 하나의 수단일 것이다.

우리나라의 경우 천리안위성이 발사되어 시범운영에 들어가 있고 전지구 강수량 측정 (Global Precipitation Measurement: GPM)의 개념은 정확한 전지구 강수량 측정의 필요성에 의해 NASA 등에서 운영을 준비하고 있다.

본고에서는 지구온난화 등 기후변화에 따른 영향을 분석하는 기법으로 대두되고 있는 원격탐사 (Remote Sensing: RS)기법을 이용하여 전지구적인 강수량을 측정하는 새로운 기술에 대해 소개하고자 한다.

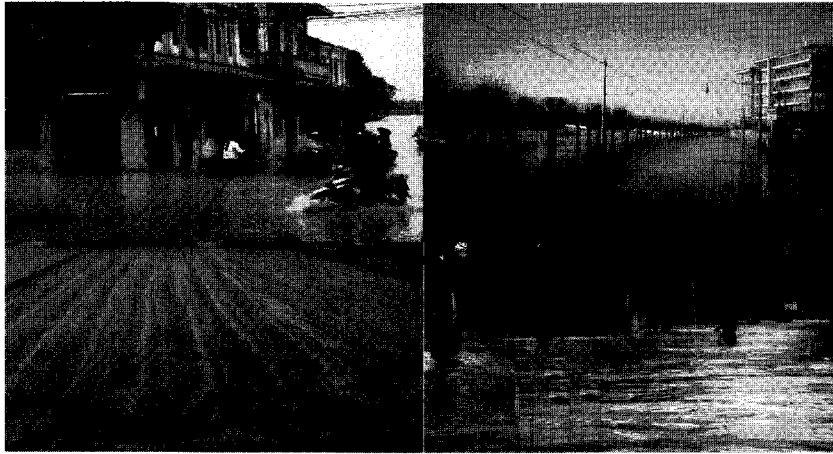


그림 1. 물순환 과정에서 발생하는 홍수

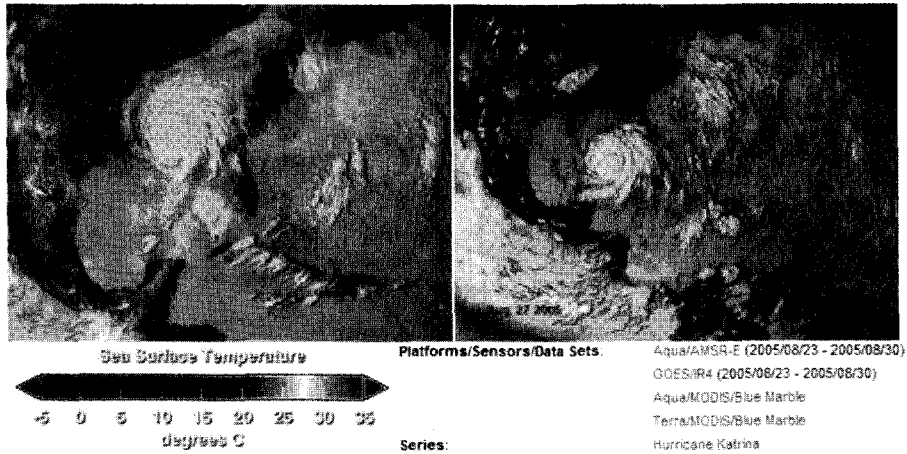
■ 강수 측정의 중요성

대기-육지-해양을 순환하는 물은 지구의 기후를 형성하는 중요한 요소이다. 엘니뇨현상과 같이 국소적 혹은 지역적인 물순환 변동이 멀리 떨어진 다른 지역 및 계절과 상호 관련성을 가지며 영향을 미치고 있다. 그 중에서도 “강수”는 지구시스템을 구성하는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 지구의 물양과 분포는 지구 표층의 환경을 결정하는 주요 요인이지만 담수 자원은 매우 한정되어 있다. 지구에는 14억㎡의 물이 존재하지만, 그 중 97.5%는 바닷물이며, 민물은 전체의 2.5%에 지나지 않는다. 이 담수의 약 7%는 빙하와 영구 빙설로 되어 있으며, 호수와 하천의 물 양은 전체의 0.3%밖에 되지 않는다. 육지에 내리는 비나 눈이 적은 민물의 근원이 되고 있지만 이 비의 분포는 세계적으로 균일하지 않고 지역적으로 편중되거나 시간적인 변동이 매우 크다. 이러한 강수는 그림 1과 같이 지역에 따라 홍수 등 수해발생의 원인이 되기도 한다. 또한 지구 대부분은 물로 덮여 있으나 사람의 접근이 곤란한 지역이 많기 때문에 우량계나 지상 레이더로 현재의 강수를 측정하는 것은 지표면의 25% 정도 밖에

되지 않는다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법이 위성을 이용한 강수 측정이 될 것이다.

■ 위성을 이용한 강수량 측정

넓은 범위를 균질하게 측정 가능한 위성측정은 전 지구 강수량 측정 실현을 위한 매우 효과적인 수단이라 할 수 있다. 위성으로 측정된 자료는 기상, 기후, 재해, 생태계, 농업 등 다양한 분야의 기본 정보를 제공한다. 예를 들면 정지기상위성인 천리안 및 MODIS 등에 탑재되어 있는 가시 및 적외선 센서는 구름의 분포를 파악할 수 있다. 또한 미국의 AQUA 위성에 탑재되어 있는 AMSR-E와 같은 마이크로파복사계는 지표면과 대기권, 빗방울 등에서 방출되는 미약한 마이크로파를 파악하여 강우 또는 대기 상태 등의 정보를 제공한다. 위성측정의 등장까지 전지구의 강수분포를 전체적으로 같이 나타내는 것은 매우 어려웠다. 처음에는 정지기상위성의 적외선복사계에 의한 구름의 온도(구름 정상 온도)에서 강우량을 추정하였는데 이것은 구름 정상 온도와 강우강도가 통계적으로 일정한 관계가 성립한다는 것을 가정한 것이다. 그러나 구름 분포와 강수량



◀ 영상출처: <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003200/a003222/> ▶

그림 2. 정지기상위성을 활용한 허리케인 측정

분포는 반드시 일치하는 것은 아니므로 구름 정상 온도와 강수 강도의 관계도 반드시 모든 경우에 일정하다고 할 수는 없다. 한편, 이후에 등장한 마이크로파복사계 측정은 해상의 강수에서 복사되는 에너지를 보다 직접적으로 측정하게 되면서 적외선복사계에 의한 추정치에 비해 강수 추정 정밀도를 크게 향상시켰다.

■ 천리안(千里眼, 위성통신해양기상)위성

천리안위성(通信海洋氣象衛星, Communication, Ocean and Meteorological Satellite: COMS)은 2003년부터 국가우주개발 중장기계획에 따라 기상청, 교육과학기술부, 국토해양부, 방송통신위원회 공동사업으로 추진되었다. 한국항공우주연구원, 총괄주관연구기관으로 개발을 책임지었으며, 프랑스의 EDAS Astrium사와 미국의 ITT가 해외 협력회사로 참여하였고 2010년 3월에 남미 프랑스령 기아나 쿠루에서 발사되었다 (한국항공우주연구원, 2010). 천리안위성은 통신, 해양, 기상 등 3가지 기능을 하나의 위성에 탑재한 정지궤도 복합위성이다. 탑재는

그림 3과 같이 태양 전지판을 제외하고, 크게 세 부분으로 통신탑재 시스템, 기상탑재 시스템, 해양탑재 시스템으로 구분된다. 위성은 2010년부터 7년간 동경 128.2°, 36,000km 상공에서 하루 24시간 내내 위성통신 서비스와 한반도 주변의 기상 및 해양 측정 임무를 수행하게 된다. 위성 발사에 성공하면서 대한민국은 미국, 중국, 일본, 유럽연합 (EU), 인도, 러시아에 이어 세계 7번째로 기상 측정위성 보유국이 되었다. 천리안위성은 영상을 15분 간격으로 취득하게 되며, 위험기상의 경우 최소 8분 간격의 수준으로 향상될 전망이다 (국가기상위성센터, 2010).

천리안위성의 임무는 다음과 같다. 첫째로 기상탑재 시스템은 기상임무와 해양임무를 수행한다. 이는 태풍, 집중호우, 황사 등 위험기상을 조기 탐지하는 기능과 장기간의 해수면온도, 구름 자료를 통한 기후변화를 분석한다. 해양임무로는 한반도 주변해역 해양환경 및 해양생태를 감시하는 역할과 해양의 클로로필 생산량 추정 및 어장 정보를 생산한다. 또한 기상탑재체는 표 1과 같이 국내 최초의 24시간 연속 측정이 가능한 적외선 채널을 보유하여, 24시간 연속적인 기상변화 감시가 가능하게

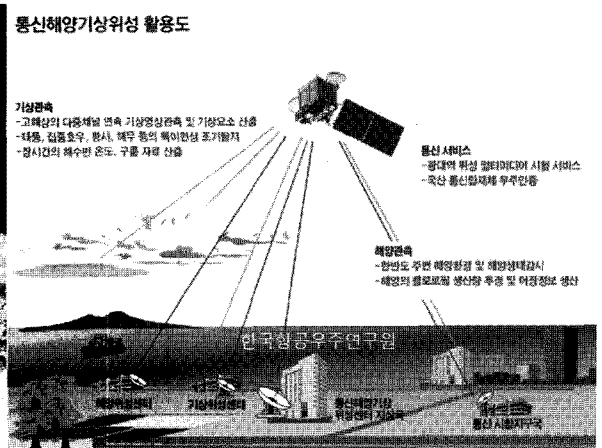
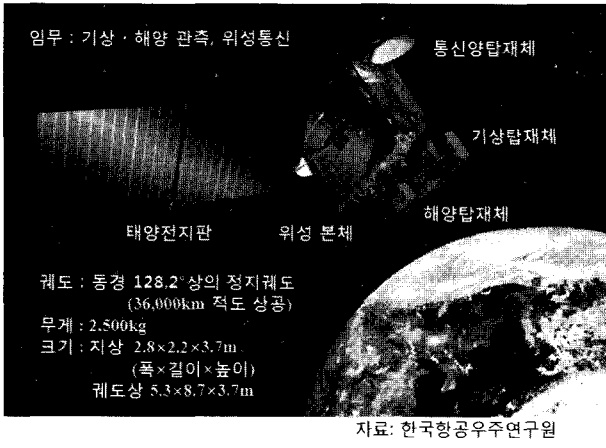


그림 3. 천리안위성(통신해양기상위성; COMS)의 구성과 활용 예시

되었다. 이것은 미국 ITT사의 미국 GOES-8호 ~GOES-13호 및 일본 MTSAT-2에 탑재된 기상센서와 동일한 성능을 보유하고 있다. 채널수는 총 5개의 채널로 가시광선 1개 적외선 4개의 채널로 구성되어 있다. 전구 측정시간은 27분 이하로 되어 있다 (국가기상위성센터, 2010).

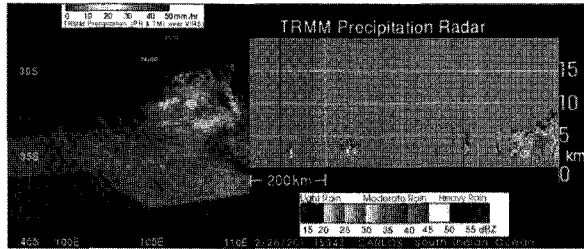
■ 열대강우측정위성 (TRMM)

1997년 11월 H-II로켓 6호기에 의해 발사된 열대강우측정위성 (Tropical Rainfall Measuring Mission: TRMM)은 위성에 의한 강우량 측정에서 획기적인 것이 되었다. TRMM은 미국의 NASA (미국항공우주국)와 일본의 JAXA (우주항공연구개발기구, 옛

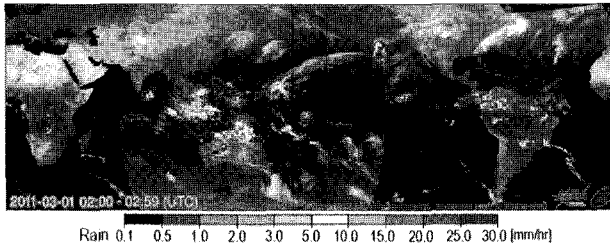
우주개발사업단) 및 NICT (정보통신연구기구 옛 통신종합연구소)가 공동으로 개발한 인공위성프로젝트이다 (JAXA, 2011; NASA TRMM, 2011). TRMM의 주요 목적은 적도를 중심으로 발달하는 열대저기압 등 대기를 구동력으로 하는 열대지방 강수량의 정확한 파악이다. 따라서 TRMM 위성은 구름과 비를 측정할 수 있도록 특화된 세계 최초의 위성으로 기존 강수량 추정에 이용되어 온 가시 및 적외선 센서 (VIRS), 마이크로파복사계 (TMI) 이외에 위성탑재 형식의 강우 레이더 (PR)를 조합하여 강우측정 기술이 비약적으로 개선되었다. 특히 PR은 강수량의 3차원 구조 측정이 가능하여 지금까지 거의 측정이 어려웠던 해상 태풍의 3차원 구조와 엘니뇨, 라니냐 등 기후변화를 파악하는데 성공하였다.

표 1. 천리안위성 기상탑재체 센서의 종류와 활용분야

센서 종류	파장(μm)	공간해상도	활용분야
가시광선	0.67	1km	주간 구름영상, 황사·산불·연무측정, 대기운동벡터
단파적외	3.7	4km	야간안개 및 하층운, 산불감지, 지면온도 추출
수증기	6.7	4km	중상층 대기 수증기량, 상층대기 운동파악
적외 1	10.8	4km	구름정보, 해수면온도, 황사측정
적외 2	12.0	4km	구름정보, 해수면온도, 황사측정



《자료출처: http://trmm.gsfc.nasa.gov/publications_dir/multi_resource_tropical.html》



《자료출처: http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm》

그림 4. 열대강우측정위성(TRMM)을 이용한 강우측정

이러한 TRMM의 성공은 지구의 물 순환 파악과 기상예보의 정확도 향상 등 위성측정이 기상과 기후 변화 등에 크게 공헌할 수 있다는 것을 시사해 주고 있다.

■ 강수 측정을 위해 사용되는 센서

▶ 가시 및 적외선복사계에 의한 강수 측정

가시 및 적외선복사계에 의한 강수추정은 주로 적외선 채널을 사용한다. 적외선은 밤낮을 구별하지 않고 측정할 수 있으며 구름 상단의 적외선 온도를 반영한다. 따라서 적외선복사계에서 얻어진 밝기 온도는 거의 그 구름 상단의 정보를 나타내는 값이다. 일반적으로 강한 강수는 높고 큰 구름인 경우가 많기 때문에 구름 정상에 휘도 온도와 강수강도의 상관관계를 이용하여 추정하게 된다. 그러나 실제로 구름의 경우 예를 들어 적란운에 따라 나타나는 구름은 매우 높은 고도에서 나타나지만 강수강도는

크지 않을 수도 있다.

일반적으로 사용되는 가시 및 적외선복사계에 의한 강수 추정 알고리즘의 하나로 GPI (GOES Precipitation Index)가 있다. 이 방법은 지상 레이더와 측정 값을 비교 분석하여 휘도온도 235K 이하의 영역에 일률적으로 3mm/h의 강수강도를 할당한다. 또한 이 방법은 순간 강수강도 패턴은 제공하지 않지만 하루 이상의 장기적인 값은 신뢰할 수 있는 데이터가 되도록 고안되어 있다. 이밖에 적외선 데이터에 대한 의존도를 줄이기 위해 마이크로파복사계와 함께 이용해서 추정하는 방법도 사용되고 있다.

▶ 마이크로파복사계에 의한 강수 측정

마이크로파복사계는 빗방울에서 항상 복사되는 마이크로파 복사강도를 측정하여 비의 강도를 추정하는 장치이다. 비가 아주 강한 경우 하층의 비로 복사되는 마이크로파가 상부 비를 흡수하는 현상이 일어나기 때문에 인공위성과 상공에서 마이크로파

강도를 측정하면 하층 비 정보를 얻을 수 없게 된다. 또한 주파수가 높아지면 상공에 있는 눈과 얼음 결정 등에 따라 마이크로파가 산란된다. 따라서 여러 주파수의 마이크로파에서 복사선을 측정하고 주파수에 의한 흡수와 산란 효과의 차이를 이용하여 강수의 종류와 높이, 강수 강도 등을 추정할 수 있게 된다. 마이크로파복사계에 의한 강수 추정은 해상과 육상에서 다른 기술이 적용된다. 그 이유는 배경이 되는 지표면의 사출 비율이 바다와 육지가 크게 다르기 때문이다.

▶ 강수 레이더에 의한 강수 측정

강수 레이더는 스스로 발사한 전파가 빗방울이나 눈 입자에 반사되어(강수 에코) 돌아온 전파 강도로 눈비 강도를 추정하는 장치이다. 전파를 발사하여 강수 에코가 돌아오는 시간을 측정하여 구름의 거리를 알고, 안테나 방향을 바꾸어 강수량의 3차원 분포를 관찰할 수 있다. 레이더의 반사파 강도는 레이더의 특성과 측정 거리 등 기하학적인 위치 이외에 반사체의 전기적 성질과 형상 등에 따라 결정된다. 비에 의한 반사의 경우 레이더의 해상도에 따라 구름 부피 중에 포함되는 빗방울의 수와 크기의 분포에 따라 결정된다. 비의 강도도 빗방울의 입경

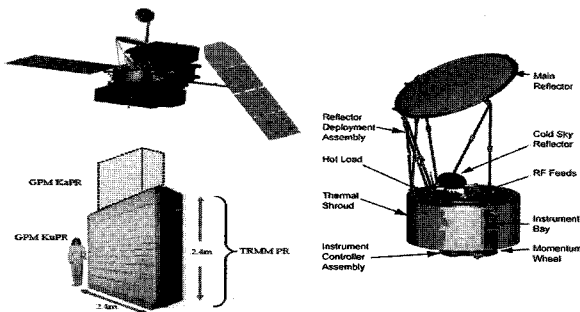
분포에 의해 결정되지만 상대적으로 굵은 빗방울이 많은 비와 소립의 빗방울이 많은 비에 따라 동일한 레이더 반사 인자를 주는 비의 경우라도 강우 강도는 다를 수 있다. 강우 레이더는 스스로 전파를 발사하기 때문에 배경에 상관없이 해상과 육상에서도 유사한 품질의 데이터를 검색할 수 있는 장점이 있다. 측정 폭은 좁지만 수평 해상도는 약 5km, 거리 분해능은 250m로 좋은 점이 큰 장점입니다.

■ 전지구 강수 측정 계획 (GPM)

▶ 열대에서 전지구 강수 측정

위성에 의한 강수량 측정의 정확도가 높아지고 측정 빈도가 증가함에 따라 강수시스템 분석 등 비의 기후학적 연구뿐만 아니라 날씨와 홍수예보 등 보다 사회생활과 밀접한 분야에 대한 응용이 기대되고 있다. 그러나 단일 위성으로 측정할 수 있는 빈도와 범위에는 한계가 있다. 따라서 TRMM위성이 이루지 못했던 다양한 고객의 요구를 충족시키기 위해 현재 미국과 일본을 중심으로 전지구 강수 측정 (Global Precipitation Measurement: GPM) 계획이 진행되고 있다.

TRMM의 후속 확대 미션인 GPM 계획의 특징은 TRMM과 같이 강수 레이더 및 마이크로파복사계를 탑재한 태양 비동기 궤도 위성을 기준 위성 (Core 위성)으로 운영하는 것이다(그림 5). 또한 각국 또는 각 기관에서 개별적으로 위성을 쏘아 강수 측정이 가능한 몇 개의 부속 위성을 함께 운영하여 강수 측정 빈도를 높이는 것이다. 또한 열대지역 측정을 목적으로 하고 있는 TRMM과 달리 GPM 계획은 고위도 지역을 포함한 다양한 강수 측정을 수행하게 된다.



<자료출처: <http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/hsmb/GPMMSG/index.html>>

그림 5. 전지구 강수 측정 (GPM)위성의 구성

▶ GPM에 대한 사회 과학적 기대

TRMM의 등장 이전에 만들어진 모든 강수분포는

주로 전체 기후 값을 요구하는 것이었다. 시간해상도는 몇 일에서 월 평균 값 정도로 매우 낮았다. 또한 위성의 적외선복사계와 마이크로파 센서 데이터를 지상 우량계 값으로 교정해야 하기 때문에 실시간성과는 거리가 있는 것이 특징이었다. 1997년 TRMM 위성의 발사는 마이크로파복사계의 강수 추정 알고리즘에 큰 진전을 가져왔다. TMI의 공간 해상도가 개선되고 동시 탑재되어 있는 강우 레이더 및 가시 적외선 센서와 비교를 통해 각 알고리즘의 가정에 대해서도 문제점이 명확해지면서 강수량 추정 알고리즘의 개선이 진행되었다. 이후 AMSR-2는 TMI과 동등 이상의 공간 분해능을 가진 마이크로파복사계로 약 700km의 극궤도를 취하기 위하여 주사 폭도 넓게 하여 모든 지구측정이 가능하게 되었다. 이 두 가지 효과를 결합하여 더 높은 시간과 공간 분해능의 전지구 강수량 측정이 가능하게 되었다. 또한 데이터 제공에 있어서도 실시간으로 제공하는 서비스가 증가하고 있으며, 이러한 전 세계적인 사회 과학적 기대는 점점 높아지고 관련 기술 개발을 위해 관련 기관에서는 많은 노력을 기울이고 있다.

▶ GPM 데이터의 전송 및 실무 응용

GPM의 코어 인공위성과 부속위성 등이 수집한 데이터는 NASA와 JAXA를 비롯한 각국의 지상국에서 수신한 후 매일 각각의 GPM 데이터 처리 시스템으로 보내지게 된다. 처리 시스템에서는 전송된 데이터를 준 실시간으로 처리하고, 전지구 강수지도와 같은 고차 제품과 함께 관계 기관으로 전달되게 될 것이다. 이와 동시에 데이터 센터에서 연구를 위한 표준 제품을 만들어 제공하고 이미지와 정보는 인터넷 등을 통해 일반에 공개될 예정이다. 우리의 경우도 관계기관에서는 이 자료와 이미지를 이용하여 기상예보와 홍수예측 등을 할 수 있고 각각의 목적에

맞도록 가공하여 사용할 수 있을 것이다.

이와 같이 인공위성을 이용해 수자원을 실시간으로 모니터링하고 데이터를 신속하게 제공함으로써 GPM은 기상예보, 국 관리, 농업의 물관리에 활용할 수 있고 농업과 어업 분야 및 재해 예측 경보 발령 등 방재 분야에도 크게 기여할 수 있을 것이다. GPM을 비롯한 위성측정 데이터는 세계 각국에서 과학연구 분야뿐만 아니라 사회 경제 활동에도 폭넓게 응용될 것으로 기대되고 있으며 우리의 생활과도 밀접하게 관련이 될 것이다.

■ 인공위성 데이터의 다양한 분야에의 활용

“강수”는 다양한 분야의 기초 정보에 속한다. 적은 강수량은 댐 저수량 부족 및 식량 생산의 감소뿐만 아니라 오랫동안 계속되면 생태계 변화는 물론 사막화를 진행시키게 된다. 한편 호우와 태풍 등의 과도한 강수는 하천유량의 증가로 홍수를 유발뿐만 아니라 지반 약화를 가져와 슬라이딩 등 토사재해를 유발하여 우리의 사회생활에 큰 피해를 가져오는 원인이 된다. 해마다 정해진 계절에 예측되는 강수도 그 시작 및 종료 시기에 평년보다 크게 벗어날 경우 식물의 성장과 농사에 영향을 미치고 식량 생산 감소의 원인이 되고 있다. 또한 기후변화 모델 계산에서는 지구온난화에 따라 물 순환이 강수분포의 변화와 집중화를 초래 등의 영향이 있을 수 있을 것이다. 따라서 강수의 변동은 평년값에서 약간의 차이에도 우리 생활의 기초가 되는 식수와 식량 생산을 좌우하게 되고 홍수와 갈수 및 한해 등으로 사회생활 기반을 위협하게 된다. 따라서 강수의 정확한 예측과 동태를 파악할 수 있는 시스템의 구축은 농업뿐 아니라 다양한 분야에서 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 다가올 GPM 시대의 정밀 강수 측정 데이터는 물순환 메커니즘을 밝히는데 도움이

될 뿐 아니라 집중호우와 같은 단기현상 예보에서 계절 예보 등의 장기예보에 이르기까지 기상예보의 정확도 향상과 하천 및 농업용수 등 수자원 관리에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 한국항공우주연구원을 중심으로 진행되고 있는 우주개발사업에 있어서도 우리의 생활과 밀접한 관련을 가지고 있는 정보를 취득하여 제공하는 시스템 마련이 중요할 것이다. 특히 중·저해상도 센서의 개발과 탑재를 통해 기상 등 일상생활과 밀접한 관계를 갖는 정보를 제공하는 것이 중요할 것이다. 센서의 종류는 가시광선영역의 센서는 물론 적외선 센서의 경우도 근적외선, 중적외선, 열적외선의 센서를 도입 활용하고 마이크로파 센서와 레이더 센서의 경우도 적극 활용할 수 있도록 하여야 할 것이다. 이는 전 국토의 효율적인 활용을 위해서도 매우 유용한 기초 정보를 제공할 수 있기 때문이다.

참고문헌

1. 국가기상위성센터, https://nmssc.kma.go.kr/kor/Application.jsp?q_SearchPk1=M_DDSK_07_01, 2010.
2. 한국항공우주연구원, 천리안(통신해양기상위성) 발사준비, 2010년 3월 31일 작성.
3. JAXA, <http://www.jaxa.jp/>, 2011.
4. NASA GPM, <http://gpm.gsfc.nasa.gov/>, 2011.
5. NASA TRMM, <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>, 2011.