

원격탐사에 의한 강수탐지와 연속감시

정 효 상 (기상연구소 원격탐사 연구실장)

1. 서 론

물은 생명체를 유지하게 해주는 가장 필수요소 중 하나이지만, 또한 21세기 인류가 맞게 될 위협의 하나이다. 전지구적으로 2000년대에는 물의 순환(cycle) 불규칙에 의해 인류의 1/3은 물 부족으로 고통을 받게 될 것이며 가용수량의 부족, 담수(fresh water)의 오염이 주요 원인이라 한다.

우리 나라가 선진국으로 도약하기 위해서는 넉넉한 용수확보가 필수적이며, 이를 위해서는 강수의 장·단기 예보에 의한 적절한 양적인 물관리가 필요하다. 사실 우리 나라의 연평균 강수량은 결코 적은 양은 아니다. 문제는 집중적으로 내리는 강수에 대한 저수능력의 한계와 관련 수리시설들이 홍수에 대한 저항능력이 약하다는 것이다. 우리 나라는 연 강수량의 2/3 이상이 여름철에 발생하는 것으로 알려져 있는데, 근래에 기후변화에 따른 영향으로 점차 더욱 짧은 기간에 집중적으로 많은 비가 내리고 있다. 어떤 해의 장마는 아주 짧아 여름철 가뭄을 유발하기도 한다. 한반도의 강우는 강우분포에 따라 크게 두 개의 우기로 나눌 수 있다. 첫번째 우기를 담수원인 장마, 두번째 우기를 가을장마로 명명하고 있다(권태영 등, 1998). 몇몇 논문에서 첫번째 우기인 장마의 시기를 6월 말에서 7월말이고, 두번째 우기는 가을 장마로 8월 중순에서 9월초로 설정하였다(허창희, 1998). 장마는 동아시아 몬순과 연관된 극전선의 북상과 밀접하게 연관되어 있고, 가을 장마는 극전선의 남하와 지역적 대류활동 그리고 태풍의 통과 등 복합적인 현상에 영향을 받는다. 장마기간 중 우리나라 연 강수량의 1/3 이상

이 집중적으로 내리며, 특히 연 강수량의 20.6%가 7월달에 집중되어 있다. 남해안과 동해 북부 해안지방이 가장 많고, 경북 내륙지방이 적지만, 여름철 강수량의 분포는 경기도 지방과 서부 내륙지방과 그리고 제주도에서 크게 나타났다(임규호 등, 1997). 이러한 여름철강우의 특성은 후반기인 가을장마에는 여름장마보다 강우 빈도가 낮은 반면에 강우 강도가 높다(권태영 등, 1998). 우리나라 강우는 삼면이 바다로 둘러 쌓인 지리적인 위치때문에, 그리고 종관관측(conventional observations)이 해상에서 곤란하여 원격탐사에 의한 방법이 최근에 관심의 대상이다.

원격탐사에 의한 강수관측은 짧은 시간 내의 강수탐지와 감시, 광범위한 지역의 동시관측이 가능하여 적절한 선행시간을 갖는 강수예보, 물수지 운영을 위한 장기예보 등에 매우 효과적이며, 선진국에서는 이미 물관리에 많이 활용되고 있다.

2. 원격탐사(remote sensing)

원격탐사란 실제로 떨어져 있는 목적물을 직접 접촉하지 않고 그 목적물의 존재, 성격, 모양, 색깔 등을 감지하거나 식별하는 것을 말한다. 이상적으로 원격탐사 할 수 있는 가장 최적의 감지기(sensor)는 물론 인간의 눈이다. 인간의 눈은 약 1억개의 감지채널(여기서는 감지기능의 세포를 말함)로 이루어져 있어 가시광선역 내의 파장별 가스성분과 에어로졸의 상호반응하는 성질을 이용하여 떨어져 있는 물체의 색깔, 크기, 그리고 거리등을 감지할 수 있다. 물론 하등동물들도 물체를 감지하거나 식별하기 위한 감지기로 수

천개의 채널을 갖춘 감지기를 갖고 있다. 예를 들면 파리나 잠자리와 같은 곤충의 눈은 수천개의 육각형 모양의 세포로 이루어져 있어 물체를 식별할 수는 있지만 인간의 눈과 같이 물체의 색깔이나 원근을 감지하지는 못하기 때문에, 이러한 생물들은 열등한 눈의 기능을 보완하기 위한 다른 감각기관을 갖고 있기도 하다. 인간의 눈은 또한 어두운 곳에 오래 적응하게 되면 근적외(near infrared) 파장영역에서의 원격감지가 가능하나 이때는 가시광선역(visible wavelength)에서의 원격감지 기능은 현저히 떨어진다. 야간에 활동하는 야행성 동물은 상대적으로 적외파장(infrared) 영역에서 볼 수 있는 기능을 갖고 있기도 하며, 눈 이외의 감각기관에서 에너지나 소리를 방사하여 되돌아오는 이들의 강약을 감지하여 목적물을 감지하기도 한다. 여기서 눈에 보이는 영상 그 자체, 즉 사진과 같은 역할을 하는 기능도 원격탐사의 한 부분에 속한다. 이러한 영상을 찍기 위해 흑백이나 칼라, 또는 적외선필름을 사용하는 사진기는 원격 탐사에 이용되는 한 종류의 센서이다. 이와같이 사진을 찍거나, 사람의 눈과 같이 가시광선 영역에서 밝기를 감지하고(예를들면 분광기), 야간에 적외선영역에서 물체의 에너지의 세기를 감지하여(예를 들면 복사계; radiometer or spectrometer) 물체를 식별하는 것을 수동적(passive) 원격탐사라 한다. 박쥐와 같이 자기 스스로 소리나 에너지를 방사하여 되돌아 오는 소리(소음계; SODAR)나 에너지의 강약을 이용하여 물체를 식별하는 것(레이다; RADAR 또는 라이다; LIDAR)을 능동적(active) 원격탐사라 한다.

인간은 이러한 동물적 감각의 기능을 이용하기 위해 부단한 노력을 기울인 결과 레이다가 세계 2차대전 중에 발명되어 공중의 비행기의 존재유무를 알 수 있게 되었으며, 1957년 소련의 스푸트니크 위성이 발사되어 인간이 우주 상공에서 지구를 맨 처음 바라볼 수 있게 되었다. 그러나 1960년 미국의 기상위성에 SPIN-SCAN 카메라를 장착하여 발사된 이래 지구를 관측한 결과 우주에서 인간의 눈과 같은 역할을 하는 이 관측 카메라로부터 지속적으로 원격탐사에 의한 대기의 구조와 구름을 관측하게 되었다. 이 결과를 이

용하기 위해 기상위성이 연속적으로 운영되면서 우주로부터의 원격탐사 기술이 현저히 발달하였다. 이와 같이 수평적인 대기구조를 파악하는 기술 외에 특별히 대기과학에 중요한 수직적 구조이해와 파악에 중요한 기술도 개발되기 시작하였다. 사실 빛의 파장은 에너지의 분포에 따라 특이한 성질을 갖고 있는데 어떠한 파장은 특별한 대기 가스하고만 흡수와 방사는 상호반응을 아주 잘한다(Menzel, 1995).

그림 1은 각 파장별로 수증기와 얼마나 잘 반응하는가 하는 것을 보여준다. 이렇게 수증기와 잘 반응하는 파장을 선택하여 관측한 결과를 역변환으로 환산하여 수증기량에 대한 정보를 산출할 수 있다. 그러한 실례로 그림 2는 수증기 분포가 두 가지 다른 대기상태에 대한 관측의 결과이다. 이러한 성질을 이용한 특정파장대의 채널(channel)을 위성에 올려서 대기현상의 영상을 표출하고 대기의 수평 및 수직구조를 파악할 수 있다(Aoki and Inoue, 1982; Smith et al.,

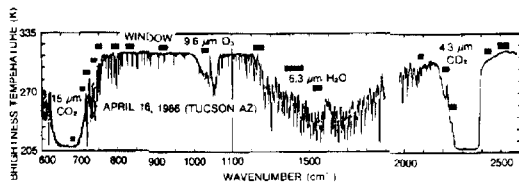


그림 1. 대기중에서 대기가스에 의해 반응한 뒤의 적외파장역 스펙트럼 (after Smith et al., 1995)

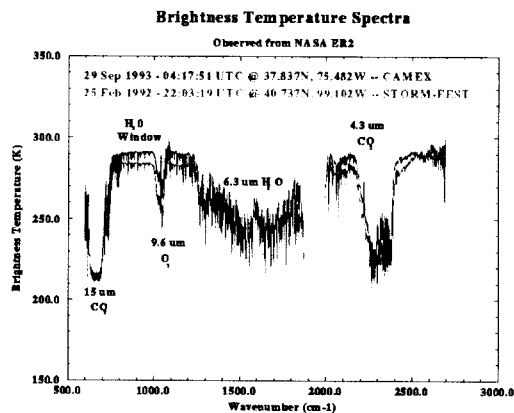


그림 2. 대기중 서로 다른 수증기량을 함유한 적외파장역 스펙트럼 (after Smith et al., 1995)

1995). 기상위성은 우주공간과 지상에서 지구를 동시에 관찰케 함으로써 지구연구에 막대한 영향을 미치게 되었다. 이는 낮과 밤 그리고 시·공간적으로도 과거의 방법을 뛰어넘어 국지적 현상 뿐만 아니라 세계적 현상들도 파악할 수 있다. 기상위성은 관측임무에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 전세계를 하루에 두 번 관측할 수 있는 저궤도위성(polar orbiter)과 지정된 장소를 24시간 내내 관측할 수 있는 고궤도의 정지기상위성(geostationary satellite)으로 나눈다. 이러한 기상위성들은 또한 두 가지 중요한 역할이 있는데 하나는 구름상태, 해양상태, 해빙상태를 포함한 지구 표면상태 등을 원격탐지하여 영상으로 나타내는 것이고, 또 하나는 대기중의 가스에서 방사하는 에너지를 원격탐지하여 이로부터 대기의 연직온도, 연직습도 그리고 복사학과 생태학에 중요한 오존, 메탄 및 불소계열가스 등의 분포를 도출하는 것이다.

3. 위성관측으로부터 강수도출 원리

강수자료는 기상, 기후, 수문학, 해양학, 농업, 임업은 물론 수자원, 통신, 교통과 제반 산업분야 등에서 기초자료로 널리 활용되고 있다. 특히 기상 및 기후에 있어 전지구적 규모로 관측되어야 할 강수는 중·장기예보를 위한 지구순환모형(global circulation model)의 정확한 초기치로 입력하는 데 필수적이다. 강수량 도출 정확도는 현재 25% (100 km)²이지만, 앞으로 10% (25km)²까지 개선되어야 할 것이다.

3.1 가시광선역과 적외선역을 이용하는 방법

여기서는 가시광선역(visible light : VIS)과 적외선역(infrared light : IR)에서 파장별로 구름과 반응하는 성질을 이용하는 방법으로 강수징후를 감지하고 이로부터 강수의 정보를 알아내는지 살펴보자.

구름성분과 지상관측의 강수 기준치로써 사용하는 수많은 방법이 현재 개발되어 사용하고 있으나 VIS/IR로 모든 강수형태, 기후구분에 따른 분류에 대해 적용할 수 있는 방법은 없으며 간단한 모형으로 대

류성 강수에 대해 (수 일에서 수 주간 까지 10000 km²의 구역에 대해서 단, 적도지역을 제외) 유용한 기후학적 강수자료를 도출할 수 있다(Chung, 1994; McGuirk and Chung, 1994). 돌발홍수(flash flood)의 정보는 피해 가능성의 기준으로 가능(이 경우 레이더를 선호)하나, 수동적 마이크로파 방법으로 해상과 육상에선 적절한 레이더 방법으로 상호보완하여 사용한다. 해륙상에서 기후학적으로 유용한 강우추정을 하기 위해 단순 구름지수 방법을 사용할 수 있다. 심관측소에선 강우관측의 대표성을 보정된 레이더로써 검증하여야 하고, 진보된 첨단시설을 갖춘 관측선상의 강우계 또는 정량적 레이더가 개발되도록 노력하여야 한다. 잘 구성된 지상 강우관측망 또는 잘 보정된 레이더가 유용하면 현존 또는 제안된 VIS/IR 방법과 비교하여 평가할 수 있다. VIS/IR과 보조기가 혼합된 방법은 대부분 큰 영향을 나타낼 수 있으므로 이의 개발 및 실험에 초점을 맞출 필요가 있다. 여기서 다음과 같은 사항을 고려한다.

- 1) 하루에 최소한 4번까지 저고도 지구궤도위성의 역할을 늘린다.
 - 2) 모든 VIS/IR 탐지기 상에서 절대 정확보정(accuracy correction)을 유지한다.
 - 3) 가시명도 분해능(resolution)을 8 bits까지 늘린다.
 - 4) GOES-IR 분해능을 1 km까지 늘린다.
- 또한 해양상의 강우를 포함한 전 지구규모 구름의 기후분포를 수집하기 위한 계획을 수립하여야 하며, 농업분야를 지원하기 위한 개선·진보된 방법을 개발하고 실험을 계속 할 필요가 있다.

3.2 마이크로파장에 의한 방법

최근 극궤도위성의 마이크로파장의 관측 자료를 이용하여 강수(Nappi et al. 1986; Yang & Timchalk 1988) 또는 저기압의 일생(Velden 1989; Velden & Smith 1983)에 관한 정보를 산출하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 마이크로파장의 관측으로부터 대기온도의 변화를 연구함에 있어 강수와 관련된 감쇄효과(extinction effect)(Yoo 1992:

Spencer et al. 1990)로 온도변화장에 불확실성이 존재하는 것을 발견하였다. 마이크로파장의 채널들은 저기압 시스템과 관련한 구름역을 투과하여 이 시스템에 존재하는 온도의 수직적 그리고 수평적 아노말리(anomaly)를 탐지하거나, 구름에 존재하는 물방울(hydrometeors)에 의한 감쇄효과로부터 강수의 징후나 강수량을 추정할 수 있는 능력이 있다. 한반도의 주변은 삼면이 바다로 둘러 쌓여 있어 중규모나 종관 규모의 관측치가 거의 없는 지리적인 조건때문에 원격탐사 방법에 의한 시간과 공간분해능이 높은 위성 관측치를 사용하여 대기현상과 기상예측에 이용하는 연구가 필요하다. 이 연구는 NOAA의 마이크로파장 채널(microwave sounding unit ; MSU)의 관측을 이용하여 우리나라 부근의 극동지역에서 저기압 시스템과 관련된 강수가능량 또는 징후를 정성적이고 정량적으로 추정하는 방법을 개발하는 것이다. 극궤도 위성의 마이크로파장의 채널들을 이용하여 저기압 시스템과 관련한 구름역에서 정성적이고 정량적인 강수와 관련한 정보를 산출하여 예보자들이 예보나 경보의 대응에 사용할 경우 아주 유용할 것으로 생각된다.

MSU3 채널은 100 - 400 hPa에서 가중함수의 최대가 나타나며 상층의 대류권과 하층의 성층권의 온도장에서의 온도변화에 가장 민감하며 두꺼운 구름층도 투과하는 성질이 있다. 따라서 상향장파복사(outgoing longwave radiation)에 의해서도 영향을 받지 않으며 강수나 물방울(hydrometers)을 함유한 구름대인 경우 이 고도에서는 오직 빙정으로만 존재함으로 역시 영향을 받지 않는다. 이 채널의 휘도온도(brightness temperature: T_b) 분포는 중위도저기압의 발생과 발달에 따른 폭넓은 구름구역에서의 상층 열적(thermal) 구조를 잘 나타낼 뿐만 아니라 높은 T. 아노말리가 존재하는 경우 대류권으로의 하층성층권의 대기가 유입되어 단열가열에 의한 온도 상승이 있음을 뜻한다. 따라서 MSU3 채널의 T.의 높은 아노말리는 상층대류권의 양의 잠재와도(positive potential vorticity ; PV)의 최대역과 상관이 아주 높은 데 이는 또한 하층 경압지역의 PV 아노말리와 상응하는 지표면의 저기압 시스템의 발달, 소멸의 구

조와 상관이 높다(Velden 1989 ; Velden & Smith 1983). 즉, 지상저기압과 상층 온난 아노말리가 시간적, 공간적으로 거의 일치하여 나타나는 것을 의미함으로 이 채널을 이용해서도 강수징후를 찾을 수 있음을 뜻한다. 이와같이 극궤도 기상위성의 마이크로파장대의 관측자료를 이용하면 상층대류권 및 성층권 하층의 온도변화 관측과 중층 대류권에서의 관측으로부터 강수징후나 강수가능성을 예측할 수 있는 잠재적 가치를 보여준다.

극궤도위성에 탑재된 MSU로 관측된 휘도온도는 복사전달이론(radiative transfer equation theory)으로부터 다른 성분의 산란과 방사를 평가하여 치환한 것이다. 이러한 MSU의 파장에서의 복사전달에는 대기에 의한 직달상향 열방사 성분이 대부분이며, 소량의 지표면에 의해 재방사된 간접 대기방사성분과 대기를 통한 지표방사 성분으로 이루어져 있다. 비산란 대기에서의 복사전 달에 의한 온도는 다음과 같다.

$$T_b(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} T(p) [d\bar{\tau}(\nu, p) / d \ln p] d \ln p + \tau(\bar{\nu}, p_s) T_s \quad (1)$$

여기서, 주어진 파장에서 온도($T_b(\nu)$)는 수직적분한 대기의 온도에 좌우되며, 각각 P_s 는 지표기압이고 T_s 는 지표온도이다. 그러나 상당투과함수(effective transmittance function)는 온도와 잠정적으로 무관한 것으로 간주한다.

$$\bar{\tau}(\nu, p) = [1 - (1 - e_s(\nu, \theta)) \times (\tau(\nu, p_s) / \tau(\nu, p))^{2 \sec \theta}] \times \tau(\nu, p)^{\sec \theta} \quad (2)$$

여기서, $\bar{\tau}(\nu, p_s) = \tau(\nu, p_s)^{\sec \theta} \times e_s$ 는 표면의 방사율을, e_s 는 표면방사도를, 그리고 θ 는 지구경사각을 나타낸다. 이 파장대에서는 기압이 일정하게 증가함에 따라 흡수도 증가하는 대기 중에 잘 혼합된 산소분자에 의해 주로 흡수가 발생하며, 지표방사도의 변화에 따른 영향은 대기온도에 의한 T_b 의 변화에 비해 거의 무시할 정도로 작다. 극궤도위성에 탑재된 MSU는 온도 수직구조를 도출하기 위한 4채널의 마이크로파장

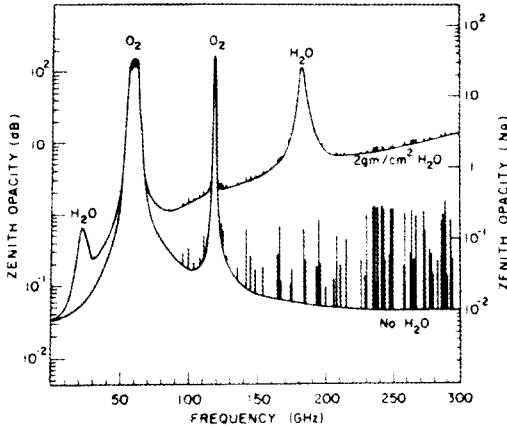


그림 3. 대기중 마이크로파장역에서의 수증기와 산소분자에 의한 흡수대 (Rao, 1990)

의 Dicke-type 복사계로써 평균 매 4초마다 관측하고, 수직조망거리에서 면적의 크기는 약 110km이나 관측 오차는 약 0.3°C이다. 극궤도위성에 탑재된 마이크로파 장 채널의 각 파장은 50.30(MSU1), 53.74(MSU2), 54.96(MSU3)과 57.95GHz(MSU4)이고 MSU1 채널은 아주 약한 산소분자에 의한 방사효과만 있어 지표면과 강수현상에 크게 영향을 받는다. 이러한 마이크로 파장대에서 상향복사량에 가장 큰 영향을 미치는 것은 단순산란(single-scattering)인 데 주로 파장과 구름의 미세물리학적 구조의 함수로 변화한다. MSU2 채널은 가중함수가 최대로 나타나는 고도(600-700hPa)는 중하층의 대류권에 해당하므로 강수 가능한 구름이 존재 할 경우에는 뚜렷한 영향을 받으나 지표면의 방사도 변화에는 영향을 거의 무시할 수 있으므로 이 채널을 이용하여 강수징후 또는 강수량을 찾을 수 있다. 그림 3에서는 마이크로파 영역에서 산소가스와 수증기가 얼마나 서로 잘 반영하는가를 보여준다. 그림 2에서와 마찬가지로 이러한 흡수성질을 이용하여 물현상에 대한 정보를 위성마이크로파센서로부터 얻을 수 있다. 이런 마이크로파는 구름입자보다 길기 때문에 구름이 끼어 있어도 구름속을 통과하여 하층의 정보를 알아낼 수 있는 장점이 있다. Yang and Timchalk(1988)은 육상에서 강수를 탐지하기에 가장 적절한 채널은 MSU2이며

Median filter algorithm을 사용하여 강한 대류활동에서 발생하는 강수를 탐지한 바 있고, Nappi 등(1986)은 MSU를 사용하여 온도수직구조를 도출하는데 발생하는 강수에 의한 혼탁효과를 제거하기 위해 MSU2 채널을 사용하였다.

따라서 마이크로 파장역의 복사량과 강수의 직접적 물리관계 때문에 VIS/IR 방법보다 훨씬 유용하다는 것을 알 수 있다. 단지 마이크로파의 대기창 역에 대해서는 해양상에서 만 가능하다는 단점과 다른 파장의 마이크로파에서는 비연속적 조망으로 인한 오차, 강수의 실제 고도변화, 미지의 구름수적량, 강한 대류성 폭우 내의 수적 형태, 모양과 상호변화가 있다. 작은 조망을 이룰 경우 대부분의 오차를 줄일 수 있으며, VIS/IR 방법으로 층운성 해양강수를 측정하는 데 보조 수단으로도 유효하다. 약 3mm 파장역에서 마이크로파 방법은 상층에서 눈의 깊이와 강도를 감지하며, 해양 또는 육상의 강수역을 묘화하는 데 보조수단으로도 유용하다. 이 파장역에서 큰 안테나가 필요치 않으므로 정지위성에서 해양강수를 묘화하는데 유일한 방법으로 생각되고 있다. 해수면온도, 지면풍과 해빙을 측정하는 대형 렌즈의 다중 마이크로파 복사계와 같이 개선된 고분해능을 갖춘 기기를 해양과 극궤도위성에 탑재할 수 있다. 해양상에서 1-2cm 파장역에서 마이크로파와 레이더의 혼합사용으로 많은 응용이 가능하다. 그림 3은 마이크로파 영역에서 수증기와 반응의 반응을 나타낸 것이다.

3.3 위성에 탑재된 레이더에 의한 방법

해양위성의 고도계(SEASAT ALTIMETER(2.2cm))는 레이더형으로 강수관측용을 고려중이거나, 실제 열대 강수측정계획(TRMM: Tropical Rain Measurement Mission)위성에 고도레이더를 탑재하여 강수특성을 관측하고 있다. 일본은 1-3cm 파장역의 레이더를 고안하여 비행관측을 실시하고 있는데, 두 파장역이 강수 강도의 충분한 역학적 역할을 측정하는 데 필요하다. 또 한가지는 표면 표적물체의 감쇄 레이더로 폭우 부근의 무강수 역에서 측정된 표면 에코의 횡단면을 이용하는 것이다. 감쇄현상과 강우량은 실제와 예상 표면신호 사이의 강도차이로 유도한다. 예민 파수 강우

레이다(FARR)를 사용하기도 한다. SEASAT형 레이더 고도계 (2cm 파장역)는 해양지도와 해류 탐험에 주요 계기인데, 수직각에서 강수측정이 가능하다. VIS/IR 또는 MICRO 방법에 대해 보정하는데 필요하기도 하다. 이중과장 SAR 장치는 기준에코의 존재 유무에 관계없이 해빙고도(melting level) 부근의 강수를 추정하는 데 사용한다. FARR은 비행관측으로 실험 중이며, 강수산란에 민감한 파수와 지면에서 강우를 구별하는 데 표면표적물에 둔감한 파수의 종속 관계를 이용하여 강수를 추정하는 것이다.

4. 결 론

우리나라는 급격한 경제성장과 산업의 국제화 추세에 따라 우리나라부근 만이 아니라 태평양은 물론 전 세계적인 기상 및 기후변화와 관련된 정보수집의 필요성이 제기되고 있다. 물론 우리나라는 세계기상기구(WMO)의 일원으로 일본의 정지궤도 기상위성(GMS-5)과 미국의 NOAA위성(극궤도 위성)에서 한정된 정보를 무료로 수신하고 있는 형편이나, 이중 주로 구름영상과 제한적인 해수면 온도를 도출하고 있으므로 이를 기상예보에 이용, 기후변화 연구와 여러

환경 및 산업분야에 응용될 고급정보의 수신 및 이용은 어려운 상태이다. 그러나 우주개발 선진국들은 1997년부터 2000년대 초까지 더욱 정밀하고 고해상도의 원격탐사 영상기와 수직탐측기(sounder)를 개발하여 기상예보의 정확성 제고, 기후변화의 예측연구 그리고 고감도 영상자료로부터 지구시스템을 세부적으로 탐사하려는 부단한 노력을 기울이고 있는 바, 2000년대 초에는 이것들로부터 우리의 상상을 초월한 자료와 정보의 획득이 현실화 될 것이다. 우리나라도 현재 1999년 9월 발사와 운영을 목표로 다목적 실용위성(KOMPSAT-1)을 개발하여 쏘아올릴 계획에 부응하여 기상청에서도 2007년 이전에 다목적 실용위성용 원격탐사 계획에 참여하여 다목적 실용위성에 탑재할 광역 및 고분해능의 기상용 복사체의 특성연구, 개발, 이의응용 및 필수 알고리즘의 개발을 추진하는 것이다. 또한 이들로부터 얻게되는 고급지식과 정보를 이용하여 아시아-태평양 시대에 알맞는 기상청의 장·단기간 예보의 정확도를 향상하여 물관련 정보 생산과 지원을 위한 시스템 현대화를 이룩하며, 물의 집중성, 광폭성, 한시성, 유용성 등을 유효 적절하게 이용할 줄 아는 기반 위에 재해로부터 국민의 생명과 재산의 보호는 물론, 국가의 발전을 도모하는 것이다. ●

참 고 문 헌

- 권태영, 오성남, 박상욱, 1998 : 한반도 여름 강우의 장기변동과 지역적 특성, 한국기상학회지, 34(1), 20-30.
- 임규호, 서애숙, 이용섭, 1997 : 한반도 주변 해역 강수량 사이의 상호관계, 한국기상학회지, 33(4), 781-795.
- 박대문, 1995: 개인 서신.
- 허창화, 강인식, 1998 : 한국 지역 강수의 변동성에 관한 연구, 한국기상학회지, 24(1), 38-48.
- Aoki, T., and T. Inoue, 1982 : Estimation of the Precipitable Water from the IR Channel of the Geostationary Satellite. Remote Sensing of Environment, 12, 219-228.
- Chung, H. S., 1994 : Total Precipitable Water Derived by Satellite Observations over the Tropical Pacific Ocean. J. of Korean Meteor. Soc., 30, 2, 177-195.
- McGuirk, J. P. and H. S. Chung, 1994 : Statistical Retrieval of Precipitable Water from TOVS and OLR. Seventh Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography, Montrey, Calif. USA, Amer. Meteor. Soc., 94-95.
- Menzel, P. W., 1995 : Notes on Satellite Meteorology. Unpublished Work, C-16.
- Nappi A., A. Swaroop, N. C. Grody, and J. Weinman, 1986 : Precipitation Effects on Microwave Sounding Unit Data. 2nd Conf. on Satellite Meteorology/Remote Sensing and Applications, May 13-16, 1986 Williamsburg, VA, 114-117.

- Rao, P. Krishna, S. J. Holmes, R. K. Anderson, J. S. Winston, P. E. Lehr, 1990 : Weather Satellite: Systems, Data, and Environmental Applications. American Meteorological Society. 487.
- Spencer R. W., J. R. Christy and N. C. Grody, 1990 : Global atmospheric temperature monitoring with satellite measurements: method and results 1979-84. J. Climate, 3, 1111-1138.
- Smith, C. Hayden, D. Wark and L. M. McMillin, 1995 : The TIROS-N operational vertical sounder. Bull. Amer. Meteor. Soc., 60, 1177-1187.
- Velden C. S., 1989 : Observational Analysis of North Atlantic Tropical Cyclones from NOAA Polar-orbiting Satellite Microwave Data. J. Appl. Meteor., 28, 59-70.
- _____ and W. L. Smith, 1983: Monitoring Tropical Cyclone Evolution with NOAA Satellite Microwave Observations. J. Climate Appl. Meteor., 22, 714-724.
- Yang C. G. and A. Timchalk, 1988 : Precipitation Detection with Satellite Microwave Data. NOAA Tech. Rep. NESDIS 32, NOAA, Washington, D.C., 27pp.
- Yoo J. M., 1992 : Global Warming from Satellite Microwave Measurements. J. Korean Meteor. Soc., 28, No. 1, 29-39.