

위성으로 본 태풍

Typhoons Viewed from Satellite

박 중 화*
Park, Jong Hwa

1. 머리말

최근 들어 우리나라를 찾아오는 태풍의 경우 많은 비와 국지적으로 게릴라성 호우를 동반하는 경우가 많아지면서 그에 따른 인적, 물적 피해도 크게 나타나고 있다. 특히 2002년 8월 30일부터 9월 1일에 찾아온 태풍 루사(RUSA)는 강릉에 일최대강수량 870.5mm를 기록하며 전국적으로 인명피해 사망 246명, 재산피해 5조 1,479억원의 막대한 피해를 주었다. 이보다 규모는 작으나 2003년의 매미, 2004년의 매기 또한 우리나라를 통과 또는 경유하면서 많은 인명과 재산피해를 남겼다.

이러한 태풍의 발생과 경로에 관한 메커니즘의 분석과 이해는 앞으로도 찾아올 태풍 피해를 미연에 방지하고 그 대책을 수립하는데 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 또한 농업과 건설 현장에서 작업의 일정과 공정을 맞추기 위해서는 찾아오는 태풍으로 인내가 발생하지 않도록 구조물의 설계에서 시공에 이르기까지 철저한 준비와 관리를 해야 할 것이다. 이렇게 준비하는 길만이 태풍 피해를 줄이는 방법이라 생각한다.

따라서 본 강좌에서는 현재 위성을 통해서 우리에게 제공되고 있는 기상에 관한 영상을 이해하고 응용하는데 필요한 사항을 살펴보고자 한다.

2. 태풍이란?

열대저기압은 그림 1과 같이 지역에 따라 각각 다른 이름으로 불리고 있다. 열대저기압의 일종인 태풍은 강한 비바람을 동반하며 움직이는 바람을 말한다. 우리나라가 위치한 북서태평양지역은 태풍(Typhoon), 북중미지역은 허리케인(Hurricane), 인도양지역에서는 사이클론(Cyclone)이라 부르고 있다.

또한 세계기상기구(WMO)는 표 1과 같이 열대저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17m/s 미만인 것을 열대저압부(TD), 17~24m/s인 것을 열대폭풍(TS), 24~32m/s인 것을 강한 열대폭풍(STS), 33m/s 이상을 태풍(TY)으로 구분하고 있다. 우리나라의 경우도 태풍을 이와 같이 구분하지만, 일반적으로 최대풍속이 17 m/s 이상인 열대저기압을 모두 태풍이라 부르고 있다⁵⁾.

*충북대학교 지역건설공학과(jhpak7@chungbuk.ac.kr)

표 1. 열대저기압의 최대풍속에 따른 구분

중심부근 최대풍속	세계기상기구	한국 / 일본	
17m/s 미만 (34kts미만)	열대저압부(TD: Tropical Depression)		
17m/s ~ 24m/s (34~47kts)	열대폭풍(TS: Tropical Storm)	TS	태풍
24m/s ~ 32m/s (48~63kts)	강한 열대폭풍 (STS: Severe Tropical Storm)	STS	
33m/s 이상 (64kts 이상)	태풍(TY: Typhoon)	TY	

중위도의 저기압과 고기압은 위치에너지에서 운동에너지를 보충하는 반면, 태풍의 운동 에너지는 수증기가 응결되어 구름입자가 될 때 방출되는 잠열에 의해 보충한다. 또한 구름의 조직화를 위해서는 콜리오리력이 필요하게 되는데, 이를 위해 필요한 태풍의 발생조건은 다음과 같다.

1) 남북의 온도 경사가 비교적 적고 온도분포가 거의 일정할 것, 2) 수온이 26~27도 이상일 것, 3) 온도의 감율이 건조 단열감율과 습윤 단열감율 사이에 있는 조건인 불안정한 온도분포일 것, 4) 어느 정도 고위도일 것 등이다. 따라서 적도의 경우는 콜리오리력이 작용하지 않기 때문에 태풍이 발생하지 않게 된다.

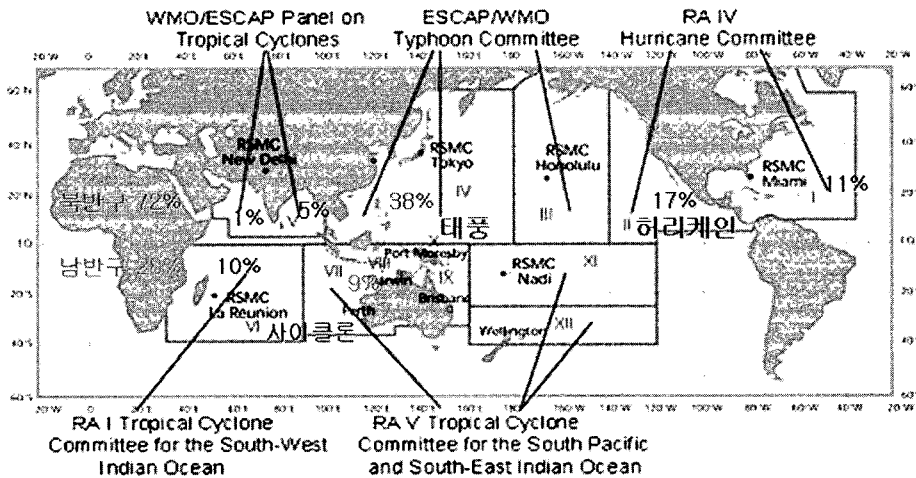


그림 1. 열대저기압의 권역별 구분과 관할 기구 (%는 열대저기압 발생빈도)

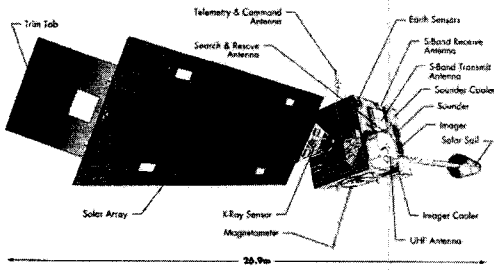


그림 2. GOES-9호 위성

3. 태풍관측위성

가. 정지 기상위성 「GOES-9호」

우리나라에서 제공되고 있는 기상위성 자료는 일본의 기상위성 「히마와리 GMS-5호」에서 제공하는 것을 사용해 왔다. 정지기상위성 「GMS」 시리즈는 세계기상기관에서 진행하고 있는 세계기상감시계획의 일환으로 우주에서 기상관측을 목적으로 동경 140도의 정지궤도에 배치한 위성이다. 이 위성에서 보내온 지구의 구름화상에 대한 관측 데이터는 TV, 신문 등의 일기예보를 비롯하여 다양한 분야에 이용되고 있다²⁾.

최초의 GMS는 1977년에 미국에서 쏘아 올렸으나 GMS-2 이후는 일본에서 쏘아 올려 GMS-3, 4, 5호가 운용되어 왔다. 1995년 3월에 쏘아 올린 GMS-5는 설계수명 5년보다 3년 이상 넘게 운용되다 탑재된 카메라의 노후화로 2003년 5월 22일에 관측을 미국의 「GOES-9호(태평양코스, 동경 155도)」에 인도하여 화상 데이터 배분을 위해 계속 운용되고 있다.

「GOES-9호(Geostationary Operational Environmental Satellites)」는 그림 2와 같은 구조로 되어 있으며, 미국이 서경 105도의 적도

상공에 예비용으로 대기시켜 놓았던 위성으로 「GMS」와 거의 같은 서태평양지역을 관측할 수 있게 동경 155도까지 이동시켰다⁶⁾. 「GOES-9호」는 미국 해양대기청의 알래스카주에 있는 지상국으로부터 제어되어 촬영된 화상은 일단 지상국에서 처리한 후 「GOES-9호」를 통해 먼저 일본 기상청에서 「GMS-5호」의 신호형식으로 변환한 후 다시 「GMS-5호」에서 「GMS의 화상」으로 변환한 후 서태평양 각국의 기상청에 보내지게 된다. 이렇게 변환된 화상은 국내는 물론 동아시아, 서태평양의 각국에 1,000여국 이상이 존재하는 「GMS」의 화상 수신국에서 종전과 같이 수신이 가능하다.

태풍 등의 경우 화상으로 구름의 움직임 등을 한눈에 알아 볼 수 있기 때문에 단기간의 기상 예측과 재해에 대한 대비가 가능하게 되므로 기상위성으로부터의 화상은 중요한 역할을 담당하고 있다.

나. 열대강우관측위성 「TRMM」

열대강우 관측 위성(Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM)은 지구 환경 문제의 일환으로 지구 규모의 기후 변동에 결정적인 영향을 끼치는 열대 강우를 관측하기 위해 1986년 미일 쌍방간에 작업을 분담하는 미일협동 프로젝트로 제안되어 관측 임무를 수행하게 되었다. 미국 항공우주국(NASA)은 위성 본체의 개발과 4개의 수동 센서 개발, 위성 운용, 데이터 처리와 배포를 담당하며, 일본의 우주항공연구개발기구(JAXA)는 로켓의 발사와 운용 및 데이터의 처리와 배포를 담당하고 통신종합연구소(CRL)는 강우 레이더의 개발을 담당하고 있다⁷⁾.

TRMM 미션의 목적은 1) 열대의 강우량을 정량적으로 파악하여 지구의 에너지와 물 순환을

표 2. TRMM 위성센서와 태풍 데이터의 내용

센서	데이터
강우레이더 (PR)	강수량, 강수강도의 수직분포, 강우타입, 강우고도 등 (연직정보를 포함한 3차원 강수는 직접측정 가능)
마이크로파관측 장치 (TMI)	강수량, 대류성 강수량, 총설수량, 총 구름수량, 휘도온도 등 (PR보다 넓은 범위의 강수를 측정)
가시적외관측 장치 (VIRS)	복사휘도 (기상위성과 같이 구름분포 측정이 가능)

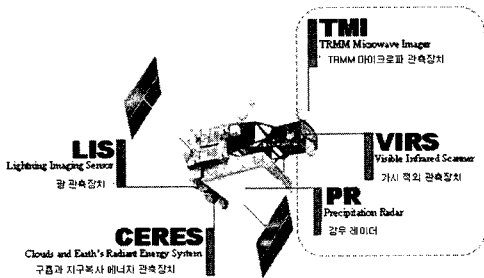


그림 3. TRMM위성의 구조

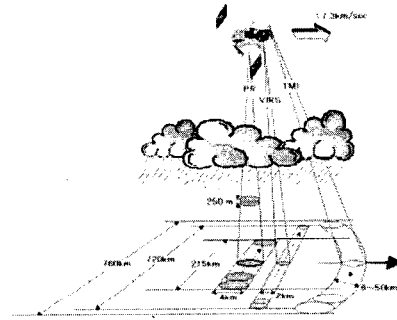


그림 4. TRMM(PR, TMI, VIRS)에 의한 관측 개요도

구명하고, 2) 열대 강우량의 시간-공간 스케일 변동의 실태와 대기 순환에 미치는 영향의 메커니즘 규명과 이것의 재현과 예보를 위한 수치모델의 검증과 개발, 3) 우주로부터의 강우량 관측수법을 확립하는 것이다.

즉, TRMM은 1997년 11월 미국과 일본 공동 사업으로 발사되어 관측을 하고 있는 강우관측을 특화한 위성으로 적도 부근에서 발생하는 태풍도 관측하여 자료를 제공하고 있다. CRL과 JAXA가 공동 개발한 세계 최초의 위성탑재 강우레이더(PR)에 의해 강우의 3차원구조 관측이 가능하다. 또한 미국항공우주국이 개발한 TRMM 마이크로파관측 장치(TMI), 가시적외관측 장치(VIRS)를 탑재하여 3개의 다른 특성을

가진 관측기기로 동시에 태풍과 강우관측을 실시한다^{7,8)}. 이와 같이 각 센서가 측정할 수 있는 데이터 내용을 정리하면 표 2와 같으며, TRMM 위성의 구조와 센서의 배치는 그림 3과 같이 되어 있다. 또한 TRMM 위성에 탑재된 센서의 관측범위와 해상도는 그림 4와 같다.

4. 열대저기압 강우의 관측 예 (3차원 관측)

그림 5는 TRMM위성이 적도부근을 관측하는 과도와 관측 예를 나타낸 것이다. 그림은 1997년 12월 8일에 뉴질랜드 북동쪽에 위치한 사이클론(햄)의 상공을 통과할 때 PR에 의해 취득한 강우관측 데이터를 구름의 형상과 크기를 3차원 표시한 것이다⁹⁾.

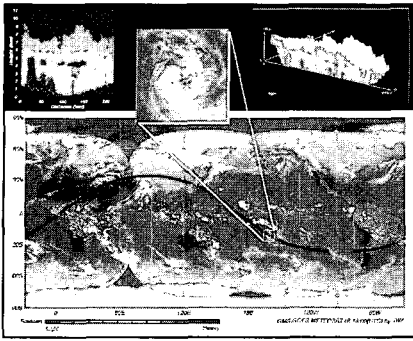


그림 5. TRMM위성의 궤도와 구름 관측 자료

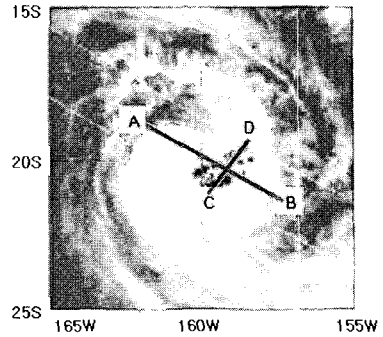


그림 5 (a). 고도 2km지점 강우의 수평분포

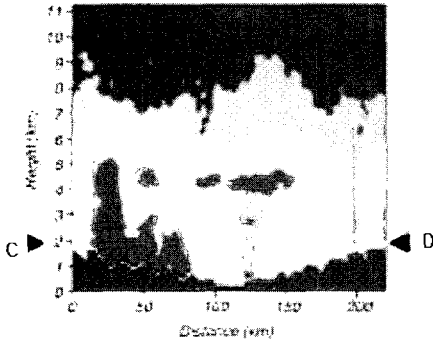


그림 5 (b). 선 CD 위 구름의 연직단면

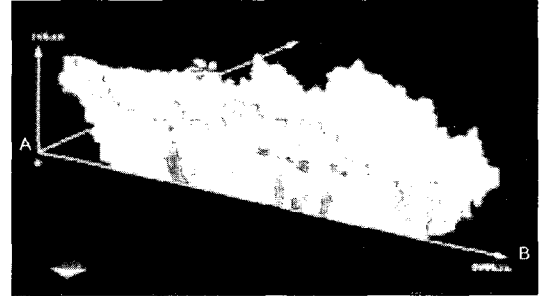


그림 5 (c). 선 AB위 구름의 연직단면

그림 5(a)는 PR가 관측한 고도 2km 강우의 수평분포를 미국의 정지기상위성 GOES의 구름 화상에 중첩한 것으로 그림에서 빨간색에 가까울수록 강우가 많다는 것을 의미한다. 또한 그림에서 두 선 AB와 CD로 단면을 절단하여 연직단면의 강우분포를 나타내면 각각 그림 5(b), 5(c)와 같다. 그림 5(b)에서는 사이클론의 중심부근을 둘러싼 와권상(渦卷狀) 강우대의 연직단면이 명확하게 관측되며, C점으로부터 175km지점의 비가 없는 곳은 사이클론 눈의 일부로 판단된다. 또한 그림 5(c)에서는 사이클론의 눈 부근에서 강우가 높이 10km까지 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 양상을 3

차원적으로 관측하는 것은 위성이 아니면 실현할 수 없는 일일 것이다.

5. 태풍의 구조

가. 기압분포

대류권 아래층은 중심에 가까울수록 기압은 낮아지며 온대의 저기압에 비교하여 등압선이 동심 원상으로 되는 특징을 갖는다. 대류권의 상층은 중심으로 갈수록 기압이 높아지나 가장 기압이 높은 곳은 중심에서 약간 떨어진 곳이 된다.

태풍은 진로에 따라 기압이 계속하여 변하게

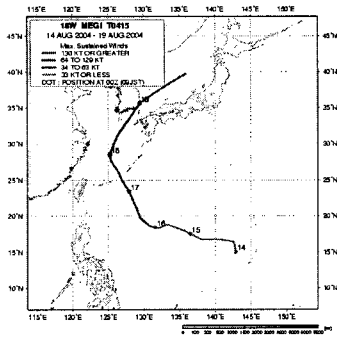


그림 6 (a). 2004년 태풍 15호 매기의 태풍경로 변화

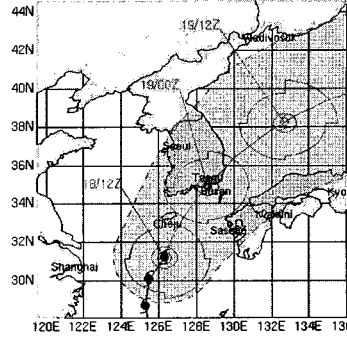


그림 6 (b). 태풍 15호 매기의 한반도 통과 경로

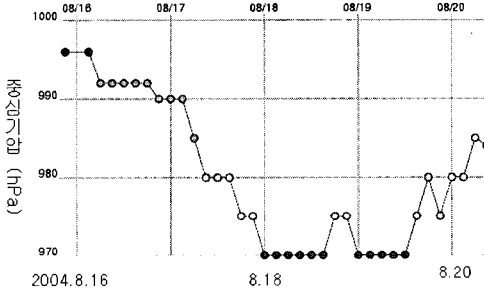


그림 6 (c). 2004년 태풍15호 매기의 중심기압 변화

되는데 이와 같은 기압의 변화를 위성에 의해 파악이 가능하게 되며, 이 정보는 태풍의 진로와 함께 제공되고 있다. 그 일례를 2004년 태풍 15호 매기로 나타내면 그림 6과 같다. 그림 6(c)와 같이 8월 18일에 제주도에서 접근하기 시작한 매기의 중심기압은 970hPa로 우리나라를 통과하는 8월 19일에도 최저기압을 나타내며 남해안에 많은 비와 바람에 의한 피해를 남겼다.

나. 바람의 분포

대류권 아래층은 북반구의 경우 반시계방향으로 회전하면서 중심으로 빨려 들어가게 된다. 따라

서 중심에 가까울수록 바람은 강해지나 가장 바람이 강한 곳은 중심에서 약간 떨어진 곳이 된다. 또한 태풍 진행방향의 우측이 좌측보다 바람이 강하게 나타난다^{3,4)}. 이 관계를 그림으로 나타내면 그림 7과 같다. 바람의 분포는 태풍의 규모에 따라 다르나 일반적으로 루사와 매미 규모 태풍의 경우 태풍중심으로부터 약 50~100km지점에서 바람이 가장 강하며, 농작물 등에 미치는 영향도 크게 된다. 이 때 우측을 위험반원이라 하며 좌측을 가항반원이라 한다. 한편 고도변화에 따른 풍속변화의 일례를 나타내면 그림 8과 같다. 대류권 상층의 바람은 북반구의 경우 중심부근에서는 반시계방향으로 부나 어느 정도 멀어지게 되면 시계방향으로 불게 된다.

다. 태풍의 눈

발달한 태풍의 중심에는 그림 9와 같이 태풍의 눈이 있다. 이 곳의 바람은 비교적 약하며 구름은 적운이 어느 정도 있으며 공기는 건조하다. 이것은 상공의 건조한 공기가 하강하기 때문에 발생하는 현상으로 태풍의 눈 주위는 내

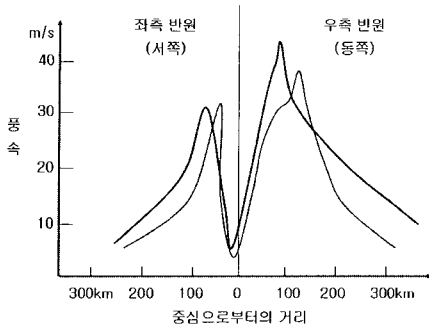


그림 7. 태풍중심으로부터의 거리에 따른 풍속의 변화

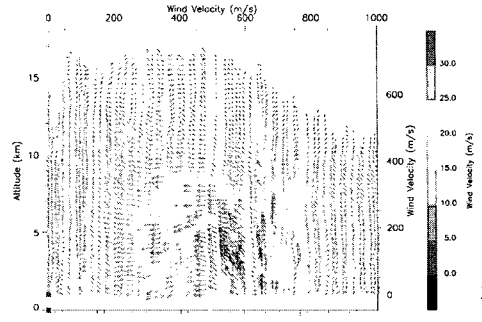


그림 8. 고도별 풍속의 변화

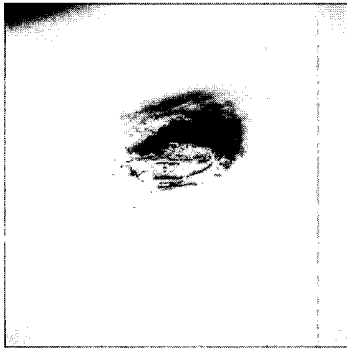


그림 9 (a). 태풍의 눈

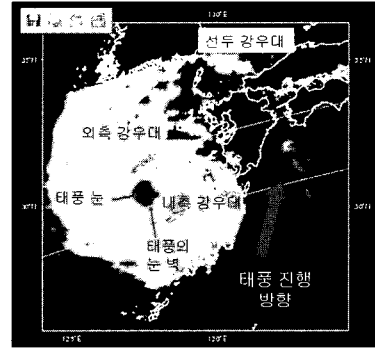


그림 9 (b). 태풍을 둘러싼 비구름 모델

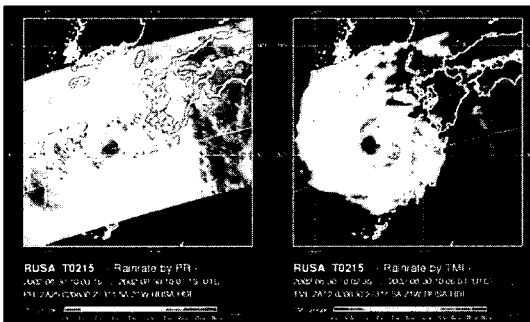


그림 10. 2002년 8월 30일 10시 TRMM에 의해 관측한 태풍 15호(RUSA)의 PR, VIRS(왼쪽), TMI(오른쪽)의 화상

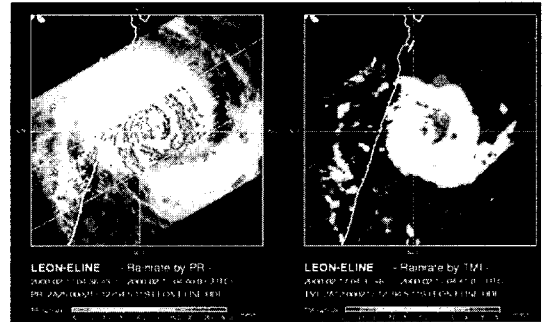
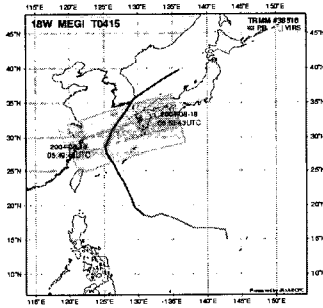


그림 11. 2000년 2월 17일 4시 37분에 관측한 사이클론 LEON-ELINE의 PR, VIRS(왼쪽), TMI(오른쪽)의 화상

측 강우대와 외측 강우대로 되어 있어 이 강우대는 강한 바람과 함께 많은 비를 뿌리면서 진행하게 된다(그림 9(b); 2002년 태풍 15호 루사).

또한 태풍의 회전방향은 태풍 발생위치에 따라 달리하는데 북태평양에서 발생하는 태풍은 그림 10과 같이 반시계방향으로 회전하며 진행한다. PR 강수대 태풍의 눈은 VIRS 보다 크게 나타나는 것이 특징이다. 태풍 15호 루사는 오키나와 부근을 통과하여 제주도 동쪽해안을 따라 북상하여 내륙에 상륙하여 강한 강수대에 위치

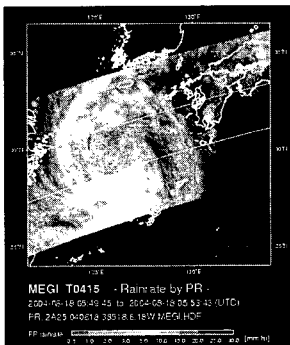
한 남해안과 동해안에서는 산사태 등으로 사망과 행방불명자가 180명 이상에 달하는 피해가 발생하여 사상 최악의 태풍피해를 낳았다. 한편 남인도양에서 발생한 2000년 2월의 사이클론 LEON-ELINE은 그림 11과 같이 북반구의 태풍과는 반대로 시계방향 회전 구조를 하고 있다. 중심의 동쪽에는 특히 PR에서 강우대라 불리는 나선형의 강한 강우역이 확실하게 나타난다. 이와 같이 지역과 열대저기압의 발생위치에 따라 태풍의 회전방향이 다르다는 것이 위성을



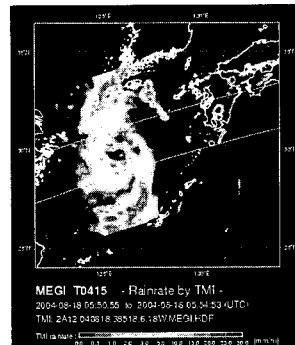
(a) 태풍의 위치와 화상취득지점



(b) 8월 18일 6시 GEOS-9호 화상

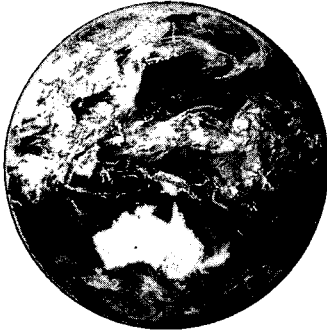


(c) TRMM PR화상

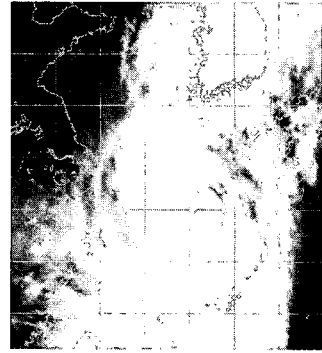


(d) TRMM TMI화상

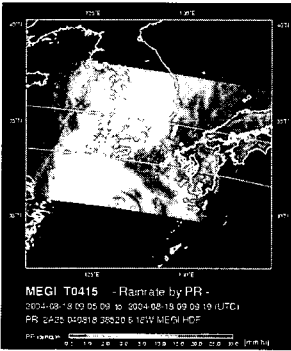
그림 12. 2004년 8월 18일 태풍 15호 매기의 GEOS-9호와 TRMM화상



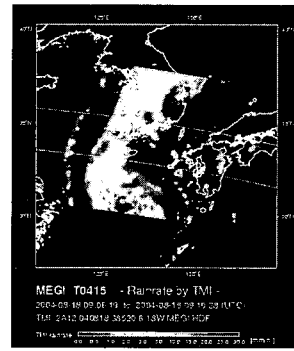
(a) 태풍의 위치와 GEOS-9호 화상



(b) 8월 18일 9시 GEOS-9호 화상



(c) TRMM PR화상



(d) TRMM TMI화상

그림 13. 2004년 8월 18일 태풍 15호 매기의 GEOS-9호와 TRMM화상

통해 확실하게 포착되어 확인되고 있다.

6. 위성으로 본 태풍 매미와 매기

2004년 8월 14일에 발생한 태풍 15호 매기가 8월 18일 제주도 남쪽 해안에 위치하였을 때 GOES-9호와 TRMM화상 데이터는 그림 12~13과 같다. 현재 기상청에서는 그림 12(b)와 같이 GEOS-9위성에 의한 영상은 적외영상, 가시영상, 수증기영상, 합성영상과 3차원영상을

제공하고 있다. 태풍 매기는 그림 10의 2002년 태풍 15호 루사에 비하여 구름 형성과 태풍의 눈이 명확하지 않고 세력이 약하며 넓은 범위에 퍼져 있는 특징을 보인다. 이 영상위에 TRMM이 갖고 있는 3차원 특성을 합성하면 구름단면이 가지고 있는 수증기 양과 운량을 알 수 있어 강우량 예측이 가능하게 된다. 이와 같이 위성 자료는 그림 14와 같은 태풍의 예·경보 시스템에서 중요한 역할을 담당하고 있으며 앞으로 그 활용도는 더욱 더 넓어질 것으로 예측된다.

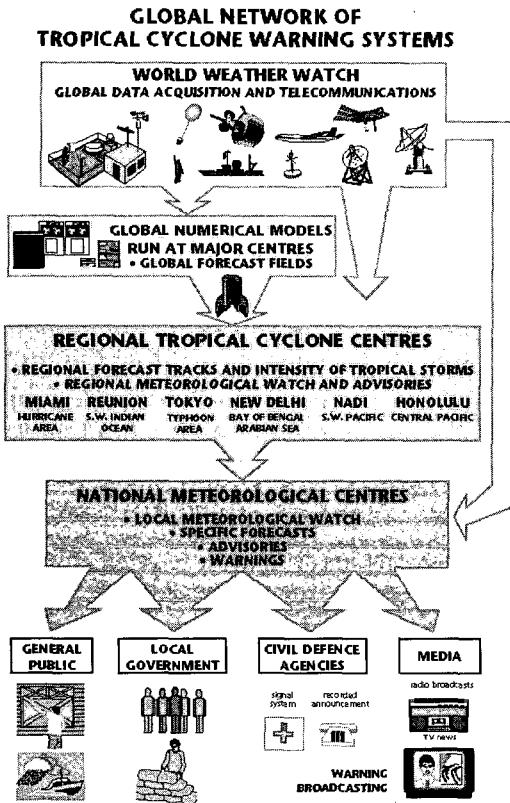


그림 14. 열대성 저기압의 경보시스템

7. 맺는말

인공위성 데이터는 얼마 전까지만 하더라도 한정된 이용자를 위해 제공되는 특수한 데이터였다. 지금도 NASA 등에서 제공하는 위성의 원 데이터를 가지고 직접 처리하고 취급하는데도 많은 어려움이 있다. 그러나 현재 기상청을 통해 어느 정도 가공된 자료들이 공급되고 있으므로 레이더나 기상청 관측 자료를 같이 병용한다면 인터넷 등에서 자료를 쉽게 취득하여 건설현장 등의 공정에 맞추어 재해방지 등에 활용할 수 있을 것이다. 또한 GPS와 GIS 기술의 발달과 함께 센서의 성능도 향상되고 있어 태풍을

비롯한 국지성 강우의 예측까지도 가능하게 될 것으로 전망되고 있다.

앞으로 위성자료의 축적과 검증을 통하여 태풍의 메커니즘을 구체적으로 규명하고, 강우변동의 실태를 파악할 수 있는 알고리즘 개발과 잠열 가열분포의 파악, 수치모델의 검증, 토양수분량 추정법의 개량 등에도 폭 넓게 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

위성기술 활용의 사회적 공헌과 영향력은 앞으로도 계속 증가할 것으로 생각되며 머지않은 장래에는 연구자만이 아니라 일반 이용자가 쉽고 편하게 이용될 수 있도록 기술개발과 지원이 될 수 있기를 기대해 본다.

참고문헌

1. NASDA, 2001, 地球觀測DATA利用ハンドブック—TRMM編—.
2. NHK放送文化研究所編, 2003, 氣象ハンドブック, NHK出版, pp.126-127.
3. 大西晴夫, 1992, 統計値でみた台風の特徴, 洪水, 31, pp.108-117.
4. 氣象廳(編), 1992, TROPICAL CYCLONE TRACKS IN THE WESTERN NORTH PACIFIC 1951-1990, 日本氣象協會, p.192.
5. 기상청 <http://www.kma.go.kr>.
6. NASA 홈페이지, <http://www.nasa.gov>.
7. TRMM 홈페이지, <http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM>.
8. TRMM 태풍 데이터베이스 <http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM>.