

열대강우 관측위성(TRMM)자료의 활용성

신사철 (안동대학교 토목환경공학과 전임강사)

1. 서론

우주에서 바라본 지구는 신비롭고 아름다운 물의 혹성이다. 우주비행사들의 증언에 의하면 아름다운 지구의 모습도 약 20년간 지표의 색 및 대기의 투명도 면에서 많은 변화가 있었음이 전해지고 있다. 열대우림의 급격한 채벌에 의한 산림의 감소, 중위도 지역의 사막화, 극지방의 오존층 파괴, 세계적인 이상기후 등 우주에서 바라본 이상으로 지구의 황폐는 진행되어 왔는지도 모른다.

TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)은 지금까지 관측이 거의 불가능하였던 열대강우를 관측함으로써 지구의 현상을 파악하고, 전지구 규모의 기후변동의 해명에 공헌할 것으로 기대가 모아지고 있다. 물순환은 지구환경을 형성하는 중심적인 역할을 담당하고 있다. 그 중에서도 열대, 아열대지방의 강우는 전지구 강우의 2/3이상을 점유하고, 대기와 열순환의 동력이 중심부로서 그 메카니즘 해명이 큰 주목을 받고 있다.

강우는 인류생활 및 대기변동과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 지구규모와 같은 넓은 지역을 대상으로 하는 측정은 대단히 어려운 일이다. 그것은 강우가 시간적, 공간적으로 크게 변화하기 때문이며, 특히 중요한 역할을 하는 열대지역에서는 많은 부분이 해양이 차지하고 있어 관측점의 수 및 획득 가능한 자료는 극히 제한되어 왔다.

TRMM에는 마이크로파 레이더를 시작으로 5종류의 센서를 탑재하여 최초로 인공위성으로부터 직접 강우를 관측하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 인

공위성을 이용한 원격탐사 기법은 지구규모에서의 강우관측을 가능하게 하는 유일한 수단이다.

지표에 도달하는 태양에너지는 지표 및 해면에 흡수되어 수증기의 형태로 상공에서 응결되며 강우로 변하여 그때 발생하는 열(응결열)로 인하여 대기가 데워진다. 즉 강우분포는 열에너지의 분포를 표시하고 그 에너지가 원동력이 되어 대기순환을 일으킨다.

TRMM에 의한 강우관측에서 이들 열에너지 분포가 명확하게 파악되며 기후변동의 예측, 엘니뇨 현상에 의한 이상기후, 기후의 장기예보 혹은 자연재해의 예방에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다.

지금까지 수문·수자원분야에서의 원격탐사기법은 지구관측위성에서 얻어진 정보를 이용하여 유역특성 혹은 수문과정의 물리적 해명에 간접적으로 이용되어 왔으나, 본 고에서는 강우를 직접 관측하는 TRMM 자료의 실제문제에의 활용성을 해석 예를 바탕으로 기술하고자 한다.

2. TRMM의 개론

열대강우관측위성(TRMM)은 1997년 11월 28일 06시 27분에 일본 우주개발 사업단 우주센터에서 H-2 로켓트 6호기에 의해 발사되었다. 이 위성은 열대지역의 강우관측을 주목적으로 미국과 일본이 공동으로 계획하여 10년 이상의 세월을 걸쳐 실현한 위성이다. TRMM에는 일본에서 개발한 위성 탑재 강우 레이더(Precipitation Radar : PR)가 탑재되어 있으며, 이 PR의 최대 장점은 강우강도의 3차원 분포를 직접 구할 수 있다는 것이다.

TRMM-PR에 의해 관측된 1년간의 강우분포 (고도 2km)

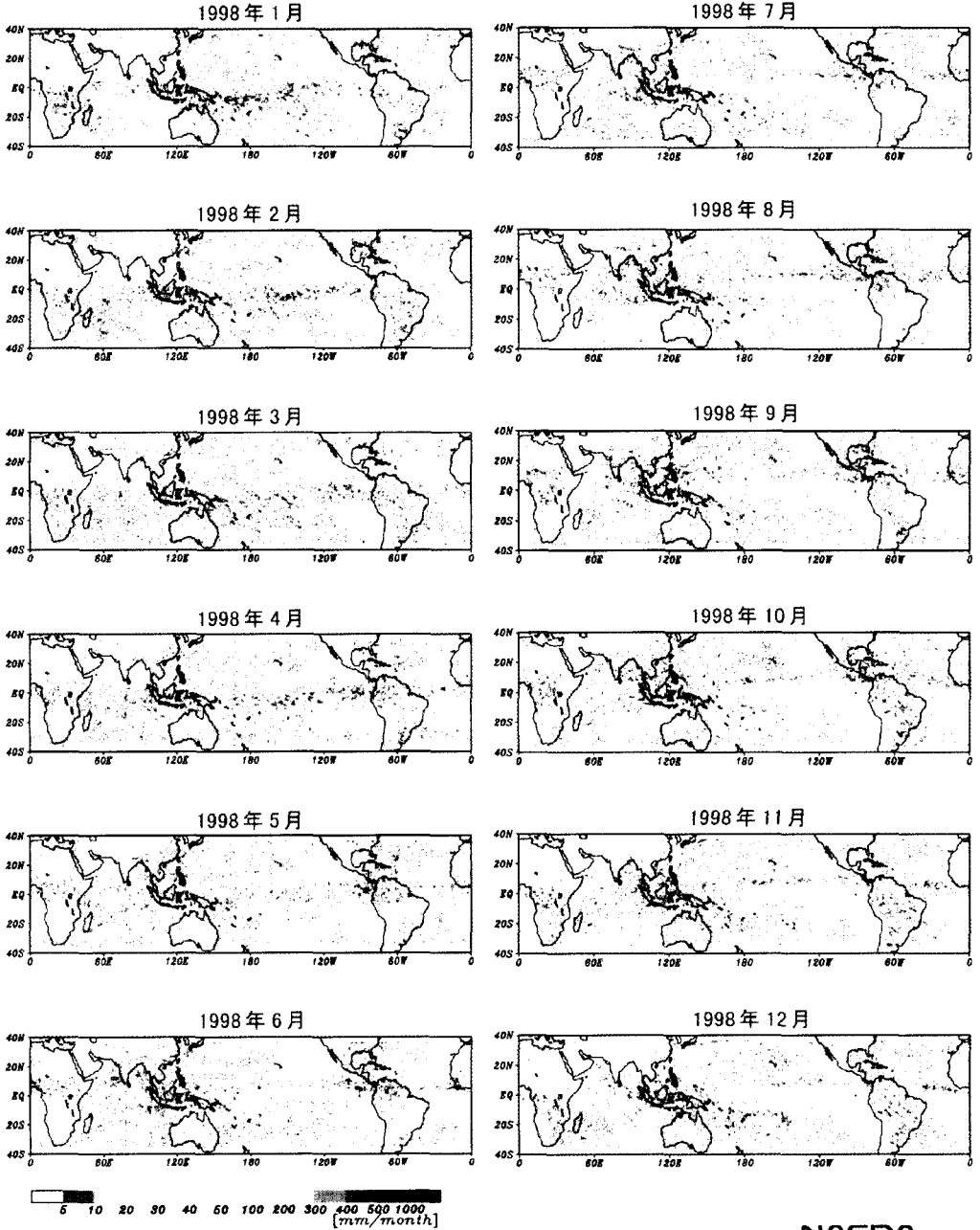


그림 1. TRMM-PR에 의해 관측된 1998년의 강우분포

강우 레이더(PR)의 주요 목적은 ① 강우의 3차원 구조, 특히 연직분포의 관측, ② 해양 및 육지 강우의 정량적 관측, ③ 강우 구조에 관한 자료의 제공 등이다.

TRMM에는 강우 레이더(PR)과 함께 마이크로파 관측장치(TMI), 가시,적외 관측장치(VIRS), 천둥 관측장치(LIS) 및 구름과 지구의 방사에너지 관측장치(CERES)라 불리는 총 5개의 관측용 센서가 탑재되어 있다. PR의 제조와 위성의 발사는 일본이, PR이외의 센서, 위성의 제조, 위성의 운용은 미국이, 또한 데이터 시스템은 양국에서 담당하고 있다.

TRMM은 궤도고도 350km, 궤도경사각 35도의 태양 비동기(非同期) 궤도위성이다. PR 자료와 함께 TMI, VIRS 자료를 조합함으로써 열대에서 아열대에 걸친 강우의 전지구적 분포, 일변화, 계절변화, 또는 연변화의 실태가 보다 정확하게 파악될 수 있다. PR의 주파수는 13.8GHz, 분해능은 연직 250m, 수평 4.3km이다. 강우입자를 산란체로서 주야, 육지 및 해상을 불문하고 관측이 가능하며, 지상 레이더와 달리 장소에 의한 분해능의 차이가 거의 없다는 것도 큰 장점이다.

3. TRMM 강우 레이더에 의해 관측된 강우분포

발사된 이래 TRMM 의한 강우 관측은 정상적으로

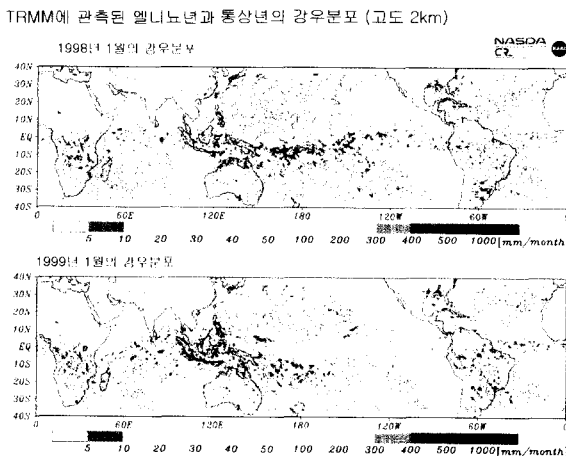


그림 2. TRMM에 의해 관측된 엘니뇨 기간(1998. 1)과 비엘니뇨 기간(1999. 1)의 강우분포

이루어지고 있으며, 그림 1은 TRMM에 탑재된 강우 레이더(PR)에 의해 관측된 1998년에 대한 월강우량의 분포를 나타낸 것이다.

이 그림은 해면에서부터 고도 2km에 상당하는 자료를 도시하고 있다. PR은 지금까지의 센서와는 달리 강우를 3차원적으로 관측하는 것이 가능하며, 육상 또는 해상을 불문하고 정량적 관측이 가능하다는 것이 가장 큰 장점이다. 따라서, 이로부터 강우분포의 계절 변화 및 연변화를 파악할 수 있다.

1997년부터 1998년에 걸쳐 페루만의 해수면 온도가 상승하는 엘니뇨 현상이 발생하였으며, 이로 인하여 대기의 대순환 양상이 변화하고 세계 각지에서 이상기후가 발생하고 있는 것은 잘 알려진 사실이다. 엘니뇨가 발생하면 활발한 대기의 대류활동 영역이 변화하게 되며, 강우가 생성되는 과정에서 잠열이 대기에 방출되어 그 장소 혹은 고도의 차이가 대기 순환에 영향을 미치게 된다.

TRMM에 의하여 대기순환의 출발점인 강우의 3차원 분포를 정량적으로 측정하는 것이 가능하게 됨으로써 이 정보를 이용하여 대기순환의 실태가 보다 정확하게 파악될 수 있다.

또한, 엘니뇨의 발생 및 소멸과정의 규명을 포함한 이상기후의 해명 등 많은 기상현상의 과학적 이해에 유용하게 사용될 것으로 기대되고 있다.

그림 1로부터 1998년 겨울에는 엘니뇨의 영향에 의하여 통상 서태평양 지역에서 나타나는 다강우(多降雨) 영역이 중부태평양 지역으로 이동되어 있음을 알 수 있다. 또한 5월에는 몬순의 개시에 따라 아시아 몬순지역에서 급격히 강우량이 증가하고 있음을 그림 1을 통하여 파악할 수 있다.

4. TRMM-PR에 의한 엘니뇨의 관측

4.1 엘니뇨 기간과 비엘니뇨 기간의 강우분포

그림 2는 TRMM에 탑재되어 있는 강우 레이더(PR)에 의해 관측된 1998년 1월과 1999년 1월의 월강우량의 분포를 나타낸 것이다. 엘니뇨의 유무에 따른 강우분포의 차이가 명확하게 나타나 있

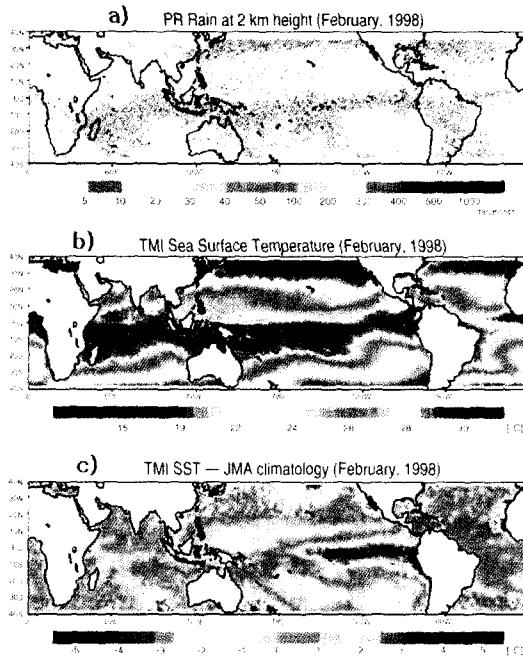


그림 3. 엘니뇨에 따른 해수면 온도의 변화와 그에 대응하는 강수량의 분포

다.

1998년 1월은 엘니뇨가 지속되어 통상적인 1월에 비하여 태평양 상의 다강우지역은 서태평양으로부터 중부태평양으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 열대 수속대(ITCZ)가 엘니뇨의 영향으로 인하여 거의 적도 상에 위치하고, 남태평양 상의 다강우 영역도 통상보다 동쪽으로 이동되어 있다.

1999년 1월의 강우분포는 엘니뇨가 종식된 후로서 1998년 1월과는 달리 적도 중부 태평양 상에서 강수량은 적으며, ITCZ가 통상의 위치에서 나타나고 있다. 또한 인도네시아 부근에서 강수가 많으며, 대류활동의 중심위치도 통상의 위치로 되돌아와 있음을 알 수 있다.

4.2 TRMM이 포착한 엘니뇨

그림 3은 TRMM에 의해 관측된 엘니뇨에 따른 해수면 온도의 변화와 그에 대응하는 강수량의 분포를 표시한 것이다. 그림 3(a)는 PR의 관측으로부터 얻어

진 1998년 2월의 고도 2km에 대한 월강우량을 나타낸 것이다.

여름인 남반구에서 다강우 지역이 많이 보여지고 있으며, 적도부근에서 동서로 하나의 띠를 형성한 다우지역이 열대수속대(ITCZ)이다. 평년의 이 시기에는 오스트레일리아 북부 혹은 인도네시아 등이 우기에 해당되고, 서부열대 태평양으로부터 날짜변경선에 걸쳐 다강우 영역이 넓혀져 있는 것으로 알려져 있다.

이 그림에서 강우량이 가장 많은 영역이 통상보다 동쪽인 서경 150도 부근으로 이동되어 있음을 알 수 있으며, 이것은 전년부터 지속된 엘니뇨의 영향으로 생각할 수 있다. 또한 티벳고원이나 록키산맥, 안데스산맥 등에서 강우가 표시되고 있지 않은 것은 그 지역의 표고가 2km를 넘기 때문이다.

그림 3(b)는 TRMM 마이크로파 관측장치(TMI)로부터 측정된 같은 시기의 평균 해수면 온도를 나타낸 것이며, 그림 3(c)는 일본 기상청에서 관측한 같은 월의 평균해수면 온도로부터의 편차를 나타낸 것으로 노란색과 빨간색으로 표시된 부분은 평년보다 해수면 온도가 높다는 것을 표시하고 있다.

그림 3(b)에서 해면온도가 높은 영역과 그림 3(a)에서 강우량이 많은 영역이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이 시기에 엘니뇨의 상태가 지속되고 있기 때문에 그림 3(c)에서 볼 수 있듯이 통상적으로 수온이 낮은 남미 페루만에 걸친 동부 적도 태평양에서 수온이 대단히 높으며, 반대로 서부 적도 태평양에서는 수온이 낮다. 엘니뇨에 의한 해면온도의 변동에 대응하여 그림 3(a)의 열대수속대에서 다강우지역이 예년에 비하여 동쪽으로 이동하고, 서태평양에서 강수량이 적은 현상이 나타나고 있다. 이와 같은 열대에서의 대규모 강수영역의 이동은 세계기후에 큰 영향을 주고 있는 것으로 알려져 있다.

5. TRMM이 관측한 우리나라 남부지방의 집중호우

그림 4는 1998년 7월 31일 오후 10시 12분에서 16분에 걸쳐 TRMM-PR이 포착한 우리나라 남부지방의 집중호우의 화상이다.

Horizontal Cross Section of Rain at 2.00 km Height
GMS 13:00 (UTC) by JWA



3-D Rain Structure

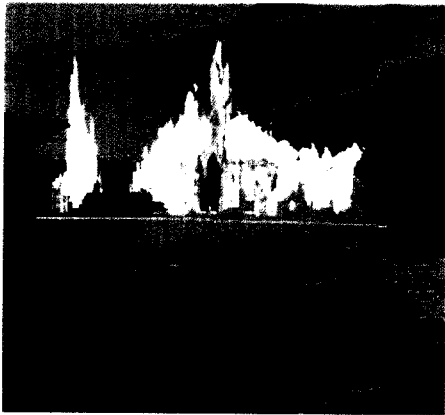


그림 4. TRMM-PR이 포착한 우리나라 남부지방의 1998년 7월 집중호우의 화상

중국 동부 평원에서 발달된 강한 비를 동반한 전선이 우리나라 남부지방에 폭우를 동반하여 산사태 등으로 인한 많은 인명 및 재산피해를 가져왔다. 이 날의 강우량은 1998년 7월 31일 밤부터 8월 1일 오후 7시까지 전남 순천에서 226mm의 강우량을 기록한 것을 최고로 경남 산청에서 203mm, 전남 해남에서 103mm를 기록하였다. 특히 7월 31일 밤에는 전남 순천에서 1시간에 128mm의 강우량을 기록하여 기상관측사상 최대 강우량을 기록하였다.

고도 2km에서의 강우에 대한 수평분포를 보면, 순간적으로 수십mm/hr이상의 대단히 강한 강우가 관

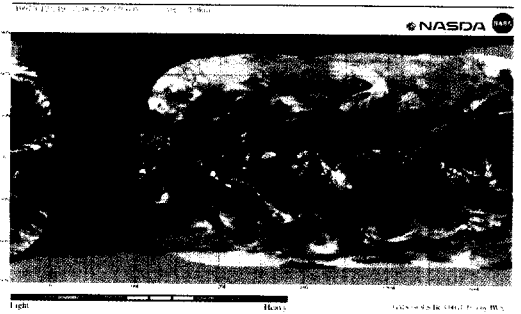


그림 5. 1997년 12월 19일의 TRMM-PR의 관측영역

측되고 있다. 또한 강우가 강한 영역이 몇 개 지역에서 동시에 나타나고 있음이 확인 가능하다.

AB선상의 강우에 대한 연직분포를 보면, 장소에 따라 지상으로부터 14km에 이르는 대단히 높은 고도까지 강우가 관측되고 있음을 알 수 있다. TRMM 위성 자료가 이러한 이상기후의 설명에 유용하게 이용되어질 것으로 기대되고 있다.

6. 태풍의 관측

TRMM의 관측으로 기대되고 있는 또 하나의 중요한 것은 열대성 저기압에 대한 내부구조의 관측이다. 그림 5는 1997년 12월 19일 하나의 궤도에 대한 PR의 관측영역과 강우강도를 표시한 것이다. TRMM은 이 궤도를 서쪽에서 동쪽으로 관측하고 있으며 그림은 관측한 자료를 이용하여 강우강도의 크기에 따라 색으로 표현한 것이다. 이 궤도에서 TRMM은 04시 19분(세계시) 경 필리핀 동부에 존재하는 태풍의 상공을 통과, 그 중심부근을 관측하고 05시경 아마존의 강우를 관측하였다.

그림 6은 12월 19일 4시 16분 ~ 20분(세계시)에 걸쳐 TRMM이 태풍의 중심부근을 관측한 고도 2km에 있어서의 강우강도를 표시한 것이다. 태풍의 눈을 중심으로 선분 AB와 CD에 대한 연직단면도를 같이 표시하였다. 통상의 기상위성으로 태풍의 존재 여부 및 태풍의 눈을 중심으로 형성된 구름의 분포 등은 파악할 수 있으나, TRMM의 관측으로 인하여 태풍 중심부근의 강우분포를 직접 측정할 수 있다. 특히, 이

태풍의 경우에는 태풍의 눈을 중심으로 북동쪽으로만 강우영역이 발달되어 있음을 TRMM관측에 의하여 알 수 있다.

연직단면도에서도 직경 약 25km의 태풍의 눈에서는 강우대가 형성되어 있지 않으며, 그로부터 바깥쪽으로 고도 15km에 달하는 강우영역이 관측되고 있음을 알 수 있다. 또한 중심의 북동부 강우역에서도 몇 개의 띠를 이루는 강한 강우영역이 관측되고 있다.

지금까지의 기상위성에서 관측 가능한 것은 구름의 정상부분이었으나, TRMM-PR에 의해 구름 내부에 대한 강우의 3차원 구조가 측정 가능하게 되었다. 특히 해양의 열대 저기압에 대해서는 지금까지 그 내부 구조를 관측한다는 것이 대단히 어려운 일이었으나 TRMM-PR에서는 고분해능으로 관측하는 것이 가능하다.

7. 맺음말

레이더 또는 인공위성을 이용한 원격탐사 기법은 최근 현저하게 발전하고 있다. 원격탐사 기법이 갖는

광역성 및 동시성 등의 특성을 이용하여 수문관측에 있어서 없어서는 안될 중요한 정보를 제공받고 있다. 뛰어난 기능을 갖는 레이더에 의한 강우관측이 가능해짐으로서 수문관측에서 가장 중요한 강우현상의 모니터링이 가능하도록 되어가고 있다.

TRMM은 현재까지 지상관측이 곤란하였던 열대 지역의 강우구조를 3차원적으로 측정한다. 이것은 강우량 및 강우분포의 정보를 제공함과 동시에 대기 대순환의 근원인 열대지역의 강우활동에 의한 잠열방출의 연직분포를 측정할 수 있게 된 것이다.

이와 같은 자료는 엘니뇨에 의한 이상기후 혹은 기후변동의 해석에 필수적인 정보를 제공할 것이며, 여러규모의 물·에너지 순환과정의 해명과 기후변화, 재해예방에 크게 기여할 것으로 기대한다.

또한, TRMM 관련정보는 다음의 URL로부터 얻을 수 있으며, 본고 또한 이로부터 얻은 자료를 바탕으로 재 정리한 것이다. ●

<http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM>

<http://www.gsfc.nasa.gov>

TRMM PR Typhoon #28 (PAKA) Close-up

Observation date: 19 Dec. 1997 4:16-4:20 (UTC)
GMS IR1: 19 Dec. 1997 4:00 (UTC) Height: 2.00 km

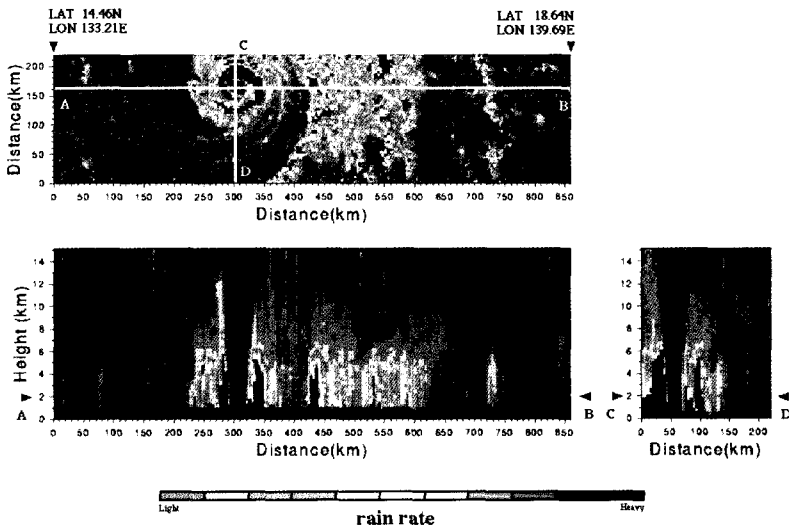


그림 6. TRMM이 관측한 태풍의 중심부근에 대한 강도의 수평분포 및 연직단면도