

TRMM TMI 관측과 태풍 강도와의 관련성

변재영†

국립기상연구소, 기상청

Relationship between Tropical Cyclone Intensity and Physical Parameters Derived from TRMM TMI Data Sets

Jae-Young Byon†

National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration

Abstract : TRMM TMI data were used to investigate a relationship between physical parameters from microwave sensor and typhoon intensities from June to September, 2004. Several data such as 85GHz brightness temperature (TB), polarization corrected temperature (PCT), precipitable water, ice content, rain rate, and latent heat release retrieved from the TMI observation were correlated to the maximum wind speeds in the best-track database by RSMC-Tokyo. Correlation coefficient between TB and typhoon intensity was -0.2 - -0.4 with a maximum value in the 2.5 degree radius circle from the center of tropical cyclone. The value of correlation between in precipitable water, rain, latent heat, and typhoon intensity is in the range of 0.2-0.4. Correlation analysis with respect to storm intensity showed that maximum correlation is observed at 1.0-1.5 degree radius circle from the center of tropical cyclone in the initial stage of tropical cyclone, while maximum correlation is shown in 0.5 degree radius in typhoon stage. Correlation coefficient was used to produce regressed intensities and adopted for typhoon Rusa (2002) and Maemi (2003). Multiple regression with 85GHz TB and precipitable water was found to provide an improved typhoon intensity when taking into account the storm size. The results indicate that it may be possible to use TB and precipitable water from satellite observation as a predictor to estimate the intensity of a tropical cyclone.

Key Words : TRMM TMI, microwave, tropical cyclone, typhoon intensity.

요약 : 마이크로파 센서로부터 산출된 물리량과 태풍강도와의 관련성을 2004년 6월에서 9월까지 관측된 태풍과 TRMM TMI 자료를 이용하여 조사하였다. TMI 관측으로부터 산출된 85 GHz 밝기온도(TB), 편광보정온도(PCT), 총 수증기량, 얼음, 강우강도, 잠열방출량은 RSMC-Tokyo의 태풍 best-track 데이터 베이스의 최대 풍속으로 정의된 태풍강도와 상관분석을 실시하였다. TB와 태풍강도의 최대 상관계수는 태풍 중심으로부터 반경 2.5도 공간평균을 하였을 때 $-0.2 \sim -0.4$ 를 나타냈다. 총 수증기량, 강우강도, 잠열방출량과 태풍강도와의 상관계수는 $0.2 \sim 0.4$ 를 보였다. 태풍 강도 크기에 따른 상관계수 분포는 태풍 발달의 초기 단계에서는 열대성 저기압 중심으로부터 반경 1.0~1.5도 공간 평균을 하였을 때 최대값을 보였으나 태풍이 가장 크게 발달하였을 때는 태풍 중심에서 반경 0.5도의 공간 평균을 하였을 때 최대 상관성이 나타났다.

접수일(2008년 8월 2일), 수정일(1차 : 2008년 8월 9일, 2차 : 8월 13일), 게재확정일(2008년 8월 26일).

† 교신저자: 변재영(byonjy@kma.go.kr)

다. 최대 상관계수를 나타낸 변수와 공간 규모는 회귀분석으로부터 태풍을 강도를 산출할 수 있으며 태풍 Rusa(2002)와 Maemi(2003)에 적용하였다. 태풍 강도의 오차는 태풍 강도 크기를 고려한 85 GHz TB와 총 수증기량의 다중 회귀에서 최소를 보였다. 본 연구는 마이크로파 위성 관측의 TB와 총 수증기량으로부터 태풍 강도 산출에 기여할 수 있음을 지시한다.

1. 서 론

지상 관측이 어려운 해양에서 주요 일생을 보내는 태풍을 관측하는데 있어서 위성은 좋은 관측도구이다. 위성에 의한 태풍을 분석하는 가장 대표적인 방법은 드보락 방법이다. 이 방법은 위성의 가시, 적외 영상에 기반하여 주관적인 분석을 통하여 태풍의 강도를 분석한다. 드보락 방법의 주관적인 요소를 배제하기 위하여 Velden 등 (1998)은 객관화된 드보락 기법을 소개하였다. 드보락 분석 방법의 큰 단점 중의 하나는 가시, 적외 영상은 구름을 투과 할 수 없으므로 상층의 구름이 존재하는 경우 하층, 중층의 구름을 볼 수 없다. 그러므로, 관측되지 않은 하층의 구조와 순환은 태풍의 중심 위치와 강도 판단에서 많은 오차를 유발할 수 있다.

반면 위성의 또 다른 센서 중의 하나인 SSM/I (Special Sensor Microwave Imager), TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) TMI (TRMM Microwave Imager), NOAA/AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit)와 같은 마이크로파 센서는 구름 내부를 통과하여 구름내의 물리적 성질을 직접 감지한다. Hawkins 등 (2001)은 SSM/I 자료를 이용하여 태풍의 구조를 분석하는데 있어서 마이크로파 센서 자료의 장점을 보였다. 가시, 적외 영상에서 상층의 구름에 의해 태풍의 중심이 가려진 경우 마이크로파 위성의 85 GHz 채널 영상은 태풍의 중심과 강수 밴드를 잘 보여준다(Fig. 1).

마이크로파 관측 자료를 이용한 태풍의 연구를 위하여 Rosenkranz 등(1978)은 Nimbus-6의 Scanning Microwave Spectrometer를 분석하였다. Rosenkranz 등 (1978)과 Kidder 등 (1978)은 태풍의 상층에 온난역이 존재함을 위성 관측으로부터 확인하였다. 또한 Kidder 등 (1978)은 상층의 온난역 크기는 태풍의 중심 기압, 풍속과 관련되어 있음을 보였다. 위성의 Microwave Sounding Unit (MSU) 관측의 밝기온도와 위성 관측으로부터 산출된 250-hPa 기온으로부터 태풍의 강도와

중심 기압의 추정은 Velden과 Smith (1983), Velden (1989), Velden 등 (1991)으로부터 연구되었다.

마이크로파 관측은 태풍내 강수 연구를 위하여도 사용되었다. Allison (1974)은 Nimbus-5의 Electrically Scanning Microwave Radiometer 자료를 분석하였으며 Spencer (1993)는 MSU 자료를 이용하여 강수를 추정하였다. 최근은 TRMM 위성의 TMI, Precipitation Radar (PR) 관측이 활용되고 있다.

마이크로파 센서는 저주파수 (10 GHz or 19 GHz) 채널부터 85 GHz의 고주파수 채널이 있으며 주파수에 따라 다른 특성을 나타낸다. 저주파수 채널은 해양의 수증기량을 감지하는데 이용되며 고주파수 채널은 산란 채널로써 육지, 해양의 강한 대류계에서 존재하는 열음 입자의 산란 효과에 의해 밝기온도가 감소하므로 열음의 양, 산란 강도를 추정할 수 있다.

마이크로파 관측으로부터 생산되는 자료는 수증기량, 강우강도, 열음량, 잠열 방출량 등이다. 태풍 내부의 이러한 물리적 성질은 태풍 순환과 관련되어있다. 태풍의 강도가 증가할 때 상승 운동이 강해지며 강한 상승 운동은 대류 활동을 활발하게 하여 잠열 방출량이 증가하거나 열음, 수증기량이 증가하므로 위의 물리량은 간접적으로 태풍의 강도를 반영한다.

마이크로파 센서의 85 GHz 채널은 구름 내 열음 입자의 산란에 의해 밝기 온도가 감소한다. 그러므로 태풍 강도와 85 GHz의 밝기 온도, 열음양과의 상관분석이 Cecil 과 Zipser (1999), Wood (2003)에 의해 연구되었다. Cecil 과 Zipser (1999)는 SSM/I 85 GHz 관측 자료로부터 편광보정온도를 계산하고 이와 태풍 강도 (최대풍속)와의 상관성을 조사하였다. 태풍 내부의 열음양과 잠열 방출은 구름의 발달을 지시하며 구름의 발달은 태풍의 강도와 관련되어 있다. 그러나 과거에는 마이크로파 센서로부터 열음과 잠열 방출량의 산출은 어려웠으나 TRMM 위성의 관측 이후로 이를 정보가 산출되고 있다. Wood (2003)은 TRMM TMI로부터 산출된 열음양과 허리케인 강도의 상관성을 조사하였다.

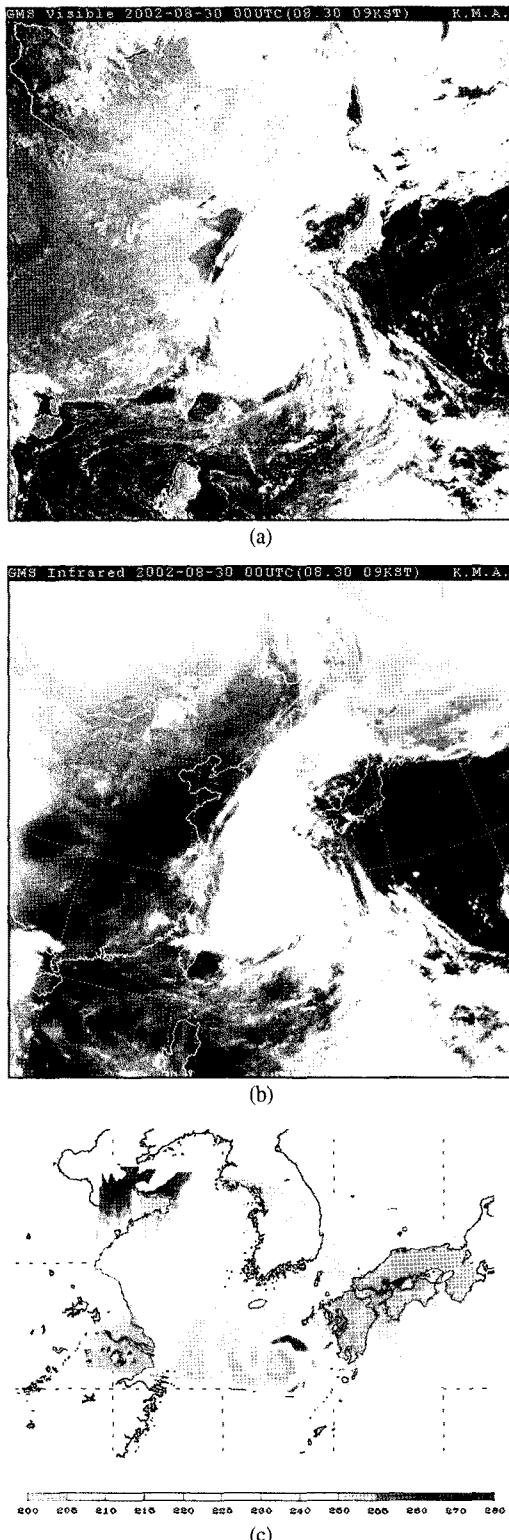


Fig. 1. The structure of typhoon Rusa (30, Aug 2002) in (a) GMS visible, (b) infrared and (c) TRMM microwave 85 GHz channel brightness temperature (K) imagery.

마이크로파 관측 자료는 태풍 내부의 물리적 성질을 관측할 수 있는 장점에도 불구하고 극궤도 위성에 장착되어 있어 자료의 시간 분해능이 낮으므로 실시간 이용 등 제약이 있었다. 그러나 최근에는 NOAA 위성에 AMSU 센서, NASA의 Aqua 위성에 AMSU, Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E) 센서가 장착되어 보다 조밀한 시간 간격으로 자료를 제공하고 있으며 기상청에서는 실시간 자료를 수집할 수 있다. 또한 현재 NOAA NESDIS에서는 NOAA/AMSU 자료로부터 산출되는 물리량 (수증기, 얼음, 강우 강도 등)을 공개하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 마이크로파 위성 관측 자료의 활용성 증대와 실시간 관측되는 마이크로파 위성 자료로부터 태풍 강도의 산출을 위한 기반 연구로써 TRMM TMI 산출 자료와 태풍 강도와의 상관성을 조사하고자 한다. TRMM TMI에서 산출되는 물리량을 태풍 중심으로부터 공간적 크기에 따른 상관계수를 조사하여 최대 상관성을 나타낸 변수와 규모를 이용하여 태풍의 강도를 산출하고자 한다. 2절에서는 본 연구에 사용된 TRMM TMI 자료를 설명하였으며 3절에서는 TMI 자료와 태풍 강도와의 상관 분석 결과를 제시하였다. 4절에서는 본 연구의 결론을 맺었다.

2. 자료

본 연구에서 사용하는 자료는 TRMM TMI 관측 자료로써 85 GHz 밝기온도, 얼음량, 편광보정온도, 수증기량, 강우 강도, 잡열 방출량을 이용한다. TRMM 위성은 1997년 열대 지방의 강수 관측을 목적으로 미국 NASA와 일본의 NASDA에서 공동으로 발사되었다.

TRMM의 관측 센서로는 TMI, PR, VIRS가 있으며 복사에너지를 관측하는 CERES와 번개를 관측 가능한 LIS가 추가된다. TMI는 SSM/I와 유사한 9개의 채널을 가지는 마이크로파 센서이다. SSM/I와의 차이는 10.7GHz 채널이 추가되었으며 수증기 채널이 22.235 GHz에서 21.3 GHz로 바뀌었다.

TMI의 swath 폭은 758.5 km로써 공간 분해능은 85.5 GHz에서 가장 작아 6.9 km × 4.9 km를 가지며 10 GHz 채널에서는 63 km × 37 km이다. PR은 3차

원 강수 구조 특히 연직 분포와 육지의 정량적 강수 분포, TMI와 결합하여 강수의 정확도를 향상하고자 위성에 탑재된 최초의 레이더이다. PR의 주파수는 13.8 GHz이며 수평 공간 분해능은 4 km이며, 연직으로는 250 m 분해능을 갖는다. PR의 swath 폭은 215 km이다. VIRS는 AVHRR 채널과 유사하며 5개의 가시, 적외 채널로 구성되어 있다. swath 폭은 720 km이며 수평 해상도는 2.2 km이다.

TRMM 자료는 NASA의 GSFC에서 첫 관측부터 현재까지의 관측 자료가 제공되고 있다. (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/data/datapool/TRMM>) 여기에서 제공되는 자료는 Level-1, 2, 3의 3종류가 있다. Level-1 자료는 원시자료로써 VIRS radiances, TMI brightness temperature, PR power, PR 반사도가 제공된다. Level-2 자료는 PR과 TMI로부터 산출된 강우강도와 구름률, 얼음, 잠열 방출량 등 대기중 수증기와 관련된 3차원 자료이다. Level-3 자료는 기후학적 분석을 위한 월평균 자료이며 격자 간격은 5° 간격으로 강우강도가 제공된다. PR과 TMI로부터 산출된 자료가 이에 해당되며 TRMM 위성과 타 위성 또는 타 자료와의 합성으로부터 재구성된 자료등이 있다.

본 연구에서는 Level-1의 TMI 85 GHz의 밝기 온도, Level-2 구름관련 물리량을 이용한다. 85 GHz 채널은 구름내 얼음 입자의 산란에 의해 밝기 온도가 감소하여 태풍의 강도를 지시할 수 있으므로 태풍강도 분석에 유용하게 사용될 수 있다. 또한 공간 분해능이 5 km 정도로써 태풍내의 작은 규모를 잘 보인다. 760 km의 swath 폭은 위성이 태풍의 중심을 지날 때 전체 태풍을 관측 할 수 있다. TMI 85 GHz는 편광채널로서 수평 편광온도(TB85v)와 수직 편광온도(TB85h)의 차이(편광보정온도, PCT)는 지상 강우강도와 상관성이 높음이 알려져 있다(Spencer, 1989). 따라서 본 연구에서는 아래의 식으로 계산된 85 GHz의 편광보정온도(PCT)를 이용한다.

$$PCT = 1.818 TB85v - 0.818 TB85h$$

Level-2의 TMI 관측으로부터 생산된 자료는 태풍내 수증기관련 물리량을 제공한다. 이러한 자료로써는 구름 물, 수증기량, 구름 내 얼음, 강우강도, 잠열방출량으로 14개 층에 대해 고도 0.5 km부터 18 km까지 분포

한다. 각 층의 고도는 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0, 14.0, 18.0 km이다.

분석된 위성 관측 기간은 2004년으로써 태풍이 주로 발생하는 6월에서 9월까지 관측된 자료를 분석한다. 이 기간 발생한 태풍은 18개이며 위성 관측 횟수는 203회이다.

태풍의 Best track 자료는 RSMC-Tokyo에서 발표된 자료이며 태풍 강도는 최대 풍속으로 정의한다. 위성 관측과 Best track 태풍 강도와의 최대 관련성을 상관분석을 실시한다. 최대 상관성을 갖는 공간 분포의 조사를 위해서 태풍의 중심으로부터 거리를 0.5도 간격으로 확장하여 3.5도까지 공간 평균을 취하는 방법과 0.5도 간격으로 밴드별로 평균을 취하는 두 가지 방법으로 분석한다.

3. 분석결과

구름내 얼음 입자의 산란에 의한 태풍 강도의 변화를 조사하기 위하여 고주파수 채널 85 GHz의 밝기온도(TB)와 편광보정온도, 구름 내 총 얼음양과 태풍 강도와의 상관성을 분석하였다. 또한 구름내 수증기량 관련된 변수와의 관련성 조사를 위하여 14개 층의 총 수증기량, 지상 강우강도, 잠열 방출량과 태풍 강도의 상관 분석을 실시하였다(Fig. 2).

TRMM TMI 센서의 swath는 760 km 정도이므로 위성 관측 자료의 공간 평균은 태풍 중심으로부터 반경 3.5도까지 분석하였다. 변수에 따라 차이는 있으나 대체로 상관성은 0.5 또는 1.0도의 작은 크기에 대한 평균보다 1.5 – 2.5도 까지 공간 평균된 크기가 증가할 수록 상관성도 증가함을 보였다.

85 GHz TB와 85 GHz TB 수평 편광과 수직 편광된 채널의 온도차로부터 계산된 편광보정온도 (PCT)의 상관성은 태풍 중심으로부터 2.5도까지의 공간 평균(Circle mean)에서 최대값을 보인다. 또한 0.5–1.5도의 평균은 환형 밴드 평균(Annulus mean)의 값이 더 크나 2.0도 이상의 크기에서는 중심주위 공간 평균이 더 커짐을 볼 수 있다. 구름 내 얼음의 양과의 상관성은 0.5 도의 태풍 중심 근처에서 최대 상관성을 보이고 외부로 확장됨에 따라 상관 계수는 감소함을 보인다. 구름내 얼

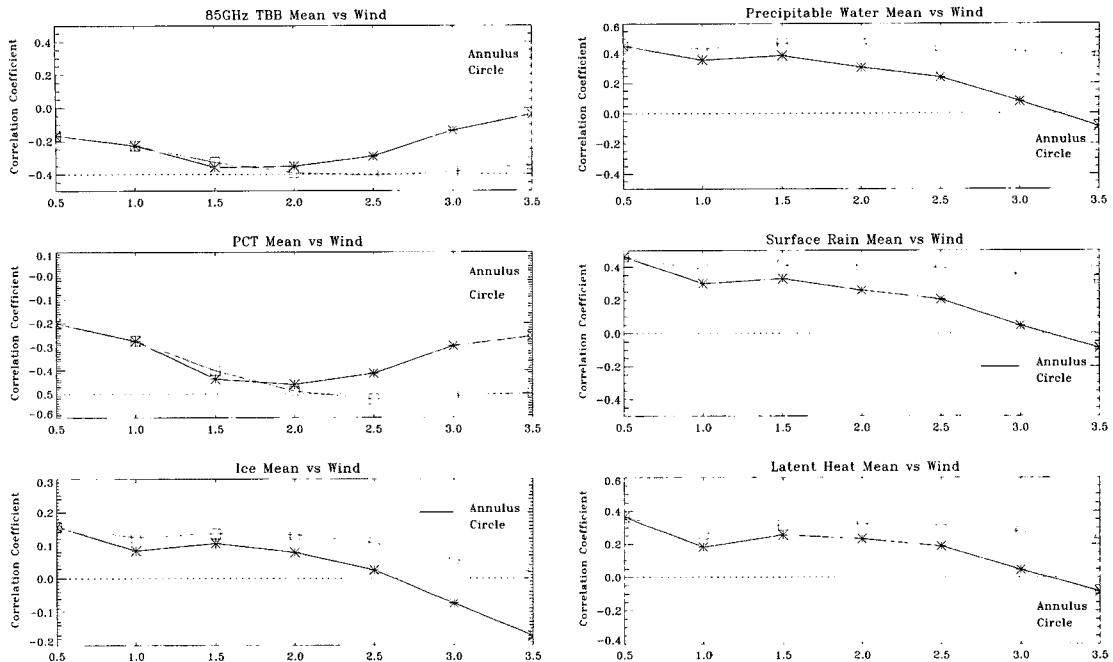


Fig. 2. Correlations between satellite observation (85 GHz TB, PCT, ice content, precipitable water, surface rain rate, latent heat release) and typhoon intensity from June to September 2004. Annulus and circle means are shown in asterisk and square symbols, respectively.

음양과의 상관성은 85 GHz 밝기온도와의 상관 계수보다 더 작아지며 모든 공간 규모에서 중심 주위 공간 평균의 상관계수가 더 크다.

총 수증기량, 강우강도와 태풍 강도의 상관계수는 0.4정도를 보이며 중심 주위 공간 평균이 환형 밴드 평균보다 더 크다. 상관 계수는 대체로 1.5 – 2.5도 공간 평균을 하였을 때 최대를 보이며 2.5도 이상이 되면 감소하는 경향을 나타낸다. 환형 밴드 평균된 상관계수의 영역 크기에 따라 감소하는 정도는 중심 주위보다 더 큰데, 이는 태풍 중심에서 높게 발달하는 대류계와 관련된 것으로 보인다. 구름내 총 얼음양과의 상관성에서도 구름 내부에서 상관성이 가장 크다. 이것은 구름 내부의 강한 대류에 의해 높게 발달하는 구름에 의하며 태풍 외부에는 조직화된 대류계 보다는 충운형 구름이 존재하므로 환형 밴드 평균했을 때 상관계수가 작아짐을 알 수 있다.

강한 태풍은 구름이 높게 발달하며, 높게 발달하는 구름계는 강한 상승 운동으로 수증기의 응결에 의해 방출하는 잠열의 양이 많아진다. 따라서 잠열 방출량과 태풍 강도의 상관성을 조사한 결과 0.5도에서 최대 상관성을 보이며 환형 밴드 평균 상관 계수는 -0.1에서 0.4, 주위

공간 평균을 비교했을 때 상관 계수는 0.2 – 0.4 분포로써 공간 평균이 환형 평균보다 더 큰 값을 나타냈다.

구름 벌달의 차이에서 기인하는 공간 평균된 크기 별 상관계수 차이 조사를 위해서 태풍의 등급별 각 변수의 상관성을 조사하여 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5에 제시하였다. 태풍의 등급은 중심 최대 풍속이 17 m/s 이상 24 m/s 미만이면 TS (Tropical Storm), 24 m/s 이상 32 m/s 미만이면 STS (Severe Tropical Storm), 33 m/s 이상이면 TY (Typhoon)로 분류된다. Fig. 3 TS 단계의 85 GHz TB와 PCT는 1.0–1.5도 환형 밴드 평균되었을 때 최대 상관성을 보이며 1.5도 이상의 거리에서는 상관성이 감소한다. 얼음량은 TB, PCT보다 최대 상관거리는 감소하며 1.0도에서 최대 상관성을 보인다. 수증기량, 강우강도, 잠열방출량과의 상관성은 거의 유사하며 2.5도에서 최대를 보인다. STS 단계에서의 상관성을 Fig. 4에 제시하였다. 85 GHz TB는 1.5도 이상 거리에서 환형 밴드 평균하였을 때 상관성이 증가하며 PCT는 TB와 유사하며 2.0 또는 3.0도 거리에서 최대값을 보인다. 얼음은 0.5도 거리에서 최대값을 보이며 1.0도 이상에서는 감소한 후 1.5도 이상에서 점차 증가하며. 수증기량, 강우강도, 잠열 방출량과의 상관성은 1.5도, 3.0

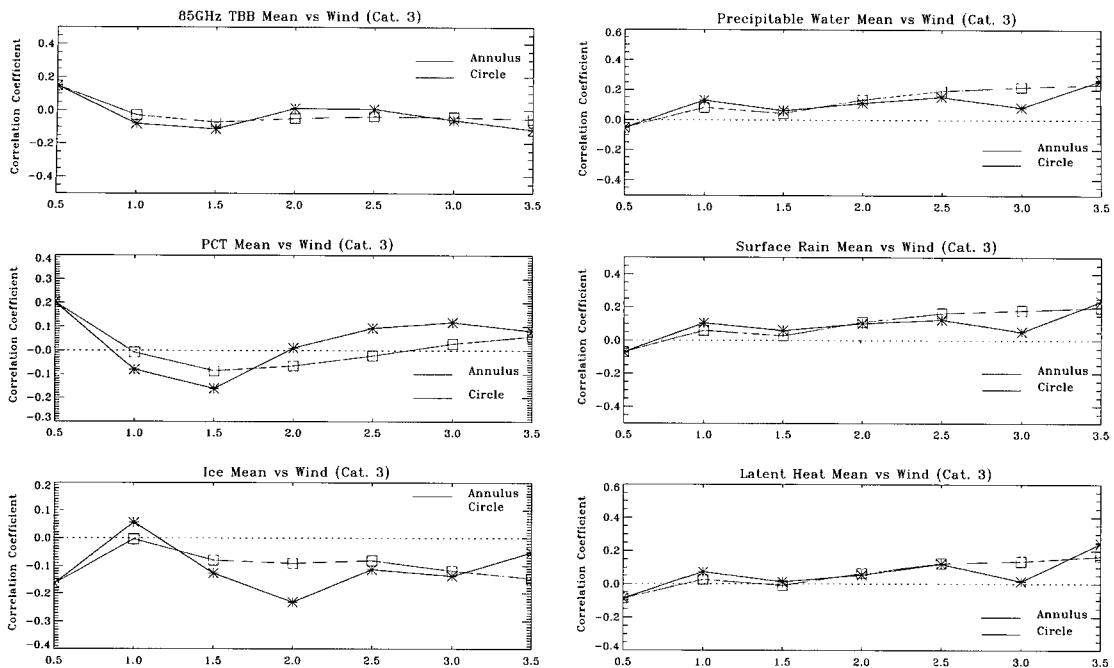


Fig. 3. Correlation coefficient between satellite observation and typhoon intensity for tropical storm. Left column is correlations for 85 GHz TB, PCT, ice, and right column is correlations for precipitable water, rain rate, and latent heat release. Annulus and circle means are shown in asterisk and square symbols, respectively.

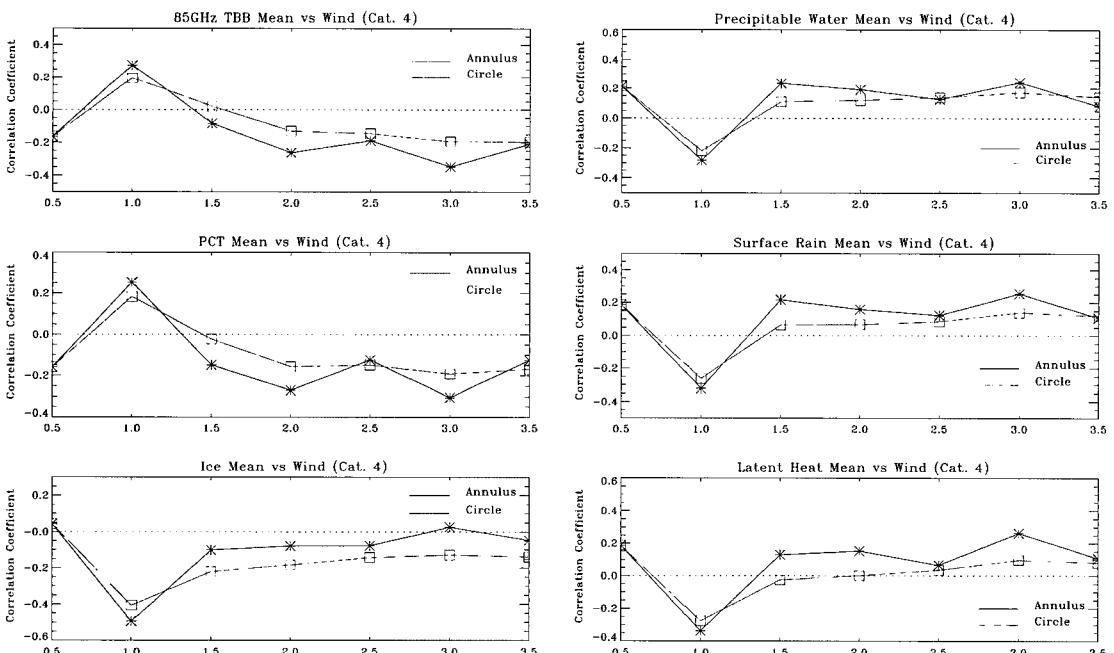


Fig. 4. Same as Fig. 3., but for severe tropical storm.

도 거리에서 최대값을 보이며 공간 평균된 값보다 환형 밴드 평균된 값이 더 크다. Fig. 5는 TY 단계의 상관계수이다. 85 GHz TB와 PCT, 얼음량과의 상관성은 0.5

도에서 최대이며 공간 평균이 환형 밴드 평균보다 상관성이 더 크다. 수증기량, 강우 강도, 잠열 방출량과의 상관성에서도 0.5도에서 최대이며 모든 거리에서 공간 평

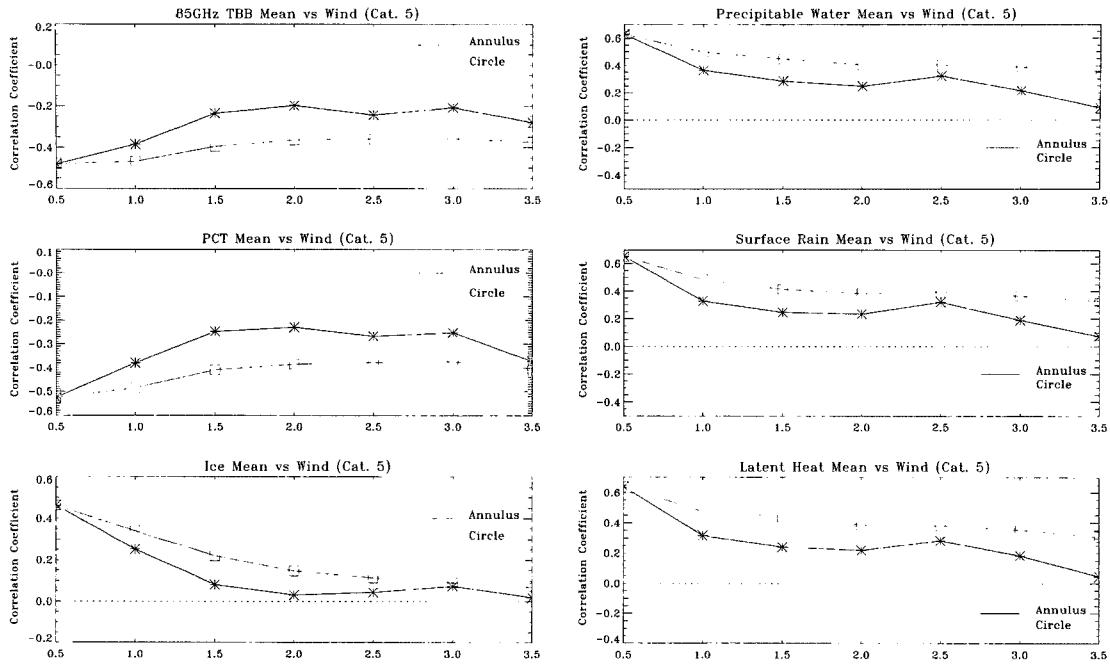


Fig. 5. Same as Fig. 3., but for typhoon stage.

균된 값이 밴드 평균된 값보다 크다. 또한 상관 계수는 거리가 증가함에 따라 감소하였다.

85 GHz TB, PCT, 얼음의 등급별 상관계수는 열대성 폭풍(TS) 단계보다 태풍(TY) 단계에서 더 커짐을 알 수 있다. 또한 태풍의 등급에 따른 최대 상관계수의 공간 규모가 TS와 STS에서는 1.5–2.0도 평균에서 최대이나 TY 단계에서는 0.5도이다. 즉, 태풍이 크게 발달함에 따라 내부 구름계 발달과 상관성이 크다는 것을 알 수 있으며 환형 밴드 평균과 주위 공간 평균된 상관계수를 비교하였을 때 공간 평균된 값이 더 큼을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 발달 초기의 약한 태풍은 밴드 형태로 태풍 중심 주위에서만 발달하며, 강한 태풍에서는 구름계 전체가 크게 발달하는 형태이기 때문이다.

위와 같은 상관성 분석 결과는 위성 관측으로부터 태풍의 강도를 산출 할 수 있음을 지시한다. 최대 상관성을 보인 위성 관측 자료와 공간 규모에 대하여 회귀 분석을 실시하여 태풍 강도(최대풍속)를 산출한다.

회귀 분석 위성변수는 가장 높은 상관계수를 나타낸 85 GHz TB, PCT, 수증기 량, 강우강도다. 이 네 개의 변수에 대하여 단순회귀분석을 하고 얼음과 수증기 관련 변수를 동시에 고려하였을 때의 효과를 분석하기 위하여 85 GHz TB와 수증기량, 85 GHz TB와 강우강도

의 다중회귀 분석을 하였다. 회귀 분석은 두 가지 방법으로 실시하였는데 첫째, 전체 태풍에 대하여 회귀식을 산출하고, 둘째 태풍의 등급에 따라 분류하여 회귀식을 산출하였다.

위의 회귀식을 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미 사례에 적용하여 태풍 강도를 산출하고 Best track 과의 오차를 분석하였다. Fig. 6에서 전체 태풍과 태풍 등급별 오차를 비교하였을 때 태풍 등급별로 분류한 회귀식 적용에서 오차가 감소하였다. 각 변수에 따른 오차의 분석은 수증기량을 이용한 회귀모형에서 오차가 감소하였으며 PCT와 TB는 오차의 크기가 거의 유사하였으며 대체로 강우강도의 회귀모형에서 오차는 증가하였다. 오차의 최소는 TB와 수증기량을 동시에 고려한 다중 회귀모형에서 나타났다. 강우강도를 이용한 회귀모형에서는 오차가 최대를 보였는데 위성에서 산출된 강우강도의 오차와 관련된 것으로 보인다. 그러므로 태풍의 강도 예측에서 수증기의 효과가 가장 효율적임을 알 수 있으며 정확도는 얼음(TB)과 수증기 효과가 고려된 다중 회귀가 가장 우수하였으며 이러한 변수를 이용하여 태풍의 강도 예측에 활용 가능할 것이다.

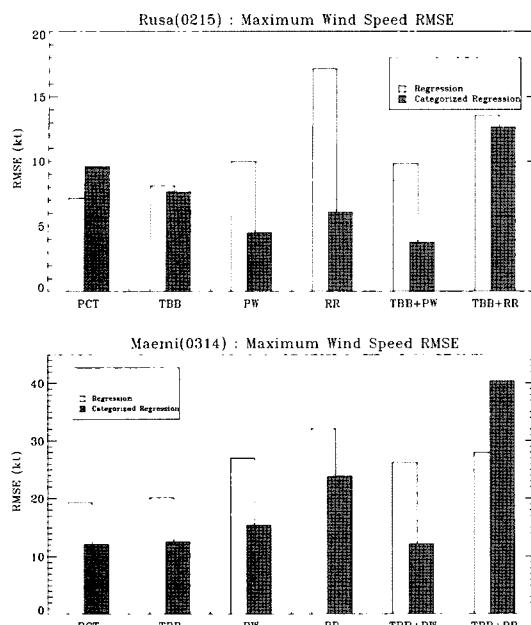


Fig. 6. Comparison of root mean square error (RMSE) for regressed typhoon intensity (maximum surface wind) for typhoon Rusa (0215) and Maemi (0314). RMSE for total typhoon cases and classified typhoon cases according to storm intensity are shown in light and dark shaded colors, respectively.

4. 결 론

위성의 마이크로파 센서 관측 자료와 태풍 강도와의 관련성 분석을 위하여 2004년 6월에서 9월까지 관측된 태풍 사례를 분석하였다. 분석된 자료는 TRMM TMI 관측과 RSMC-Tokyo에서 발표된 Best track의 최대 풍속을 이용하였다. 태풍 강도와의 관련성 분석을 위한 위성 관측 변수는 85 GHz TB, 편광보정온도(PCT), 얼음양, 총 수증기량, 강우강도, 잠열 방출량을 이용하였다. 위성 관측 변수는 태풍 중심으로부터 0.5도 간격으로 공간 평균과 환형 밴드 평균을 하여 상관 계수를 조사하였다.

상관 계수는 공간 평균을 하였을 때 환형 밴드 평균 보다 컸으며 대체로 2.0–2.5도에서 최대를 나타냈다. 태풍의 등급에 따른 상관성을 조사하였을 때 태풍의 강도가 강할수록 최대 상관계수의 공간 규모는 감소하여 TS, STS 단계에서는 1.0–1.5도에서 최대이나 TY 단계에서는 0.5도에서 최대를 보였다. 위성의 관측 변수 중 85 GHz TB, 편광보정온도(PCT), 수증기량, 강우강도의 상관성이 높으므로 이 4개의 변수에서 최대 상관성

을 나타낸 공간 규모에 대한 태풍 강도 산출을 위한 회귀분석을 하였다.

2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미 사례에 태풍 강도 회귀식을 적용하여 최대 풍속을 산출하고 오차를 분석한 결과 TB와 수증기량을 동시에 이용한 다중 회귀식에서 오차가 가장 작았으며 수증기량이 태풍 강도 예측 정확도 향상에 기여함을 알 수 있었다.

한편, 위성 관측된 변수는 태풍 강도예측 통계 모델의 예측 인자로 사용될 수 있다. 기상청에서는 태풍의 강도 변화를 예측하기 위하여 통계 모델 STIPS (Statistical Typhoon Intensity Prediction Scheme)를 예보 협업에 이용하고 있다. STIPS는 예측인자로써 해수면온도, 위도, 바람 쉬어, 각운동량 등을 이용하고 있다. 본 연구는 STIPS에 사용된 예측 인자들과 TRMM TMI 관측 자료를 함께 사용하여 태풍의 강도 변화를 예측하기 위한 다중 회귀 모형을 개발하고, TRMM TMI 관측 자료를 사용함으로써 STIPS 모델 개선에 기여할 수 있다.

참고문헌

- Allison, L. J., T. J. Schmugge, and G. Byrne, 1974. Tropical cyclone rainfall as measured by the Nimbus 5 electrically scanning microwave radiometer, *Bulletin of American Meteorological Society*, 55(9): 1074-1089.
- Cecil, D. J. and E. J. Zipser, 1999. Relationships between tropical cyclone intensity and satellite-based indicators of inner core convection: 85-GHz ice-scattering signature and lightning, *Monthly Weather Review*, 127(1): 103-123.
- Hawkins, J. D., T. F. Lee, J. Turk, C. Sampson, J. Kent, and K. Richardson, 2001. Real-time internet distribution of satellite products for tropical cyclone reconnaissance, *Bulletin of American Meteorological Society*, 82(4): 567-578.
- Kidder, S. Q., W. M. Gray, and T. H. Vonder Haar, 1978. Estimating tropical cyclone central

- pressure and outer winds from satellite microwave data, *Monthly Weather Review*, 106(10): 1458-1464.
- Rosenkranz, P. W., D. H. Staelin, and N. C. Grody, 1978. Typhoon June (1975) viewed by a scanning microwave spectrometer, *Journal of Geophysical Research*, 83(C4): 1857-1868.
- Spencer, R. W., H. M. Goodman, and R. E. Hood, 1989. Precipitation retrieval over land and ocean with SSM/I: Identification and characteristics of the scattering signal, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 6(2): 254-273.
- _____, 1993. Global oceanic precipitation from the MSU during 1979-91 and comparisons to other climatologies, *Journal of Climate*, 6(7): 1301-1326.
- Velden, C. S., 1989. Observational analyses of North Atlantic tropical cyclones from NOAA polar-orbiting satellite microwave data, *Journal of Applied Meteorology*, 28(1): 59-70.
- _____, and W. L. Smith, 1983. Monitoring tropical cyclone evolution with NOAA satellite microwave observations, *Journal of Applied Meteorology*, 22(5): 714-724.
- _____, B. M. Goodman, and R. T. Merrill, 1991. Western North Pacific tropical cyclone intensity estimation from NOAA polar-orbiting satellite microwave data, *Monthly Weather Review*, 119(1): 159-168.
- _____, T. L. Olander, and R. M. Zehr, 1998. Development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity from digital geostationary satellite infrared imagery, *Weather and Forecasting*, 13(1): 172-186.
- Wood, J., 2003. Relationship of ice content to hurricane intensity examined using TRMM/TMI data sets, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 83(3): 187-196.