

# MTSAT-1R 위성 적외영상기반 태풍강도분석 객관화와 검증

박정현<sup>1</sup>, 박종서<sup>1</sup>, 김백민<sup>2</sup>, 이희훈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>기상청 기상위성과, <sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부

Objectification and validation of typhoon center intensity analysis  
based on MTSAT-1R satellite's infrared images

Jeong-Hyun Park<sup>1</sup>, Jong-Seo Park<sup>1</sup>, Baek-Min Kim<sup>2</sup> and Hee-Hoon Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Meteorological Satellite Division, Korea Meteorology Administration

<sup>2</sup>School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

## 1. 요약

GMS(Geostational Meteorological Satellite), GOES(Geostationary Operational Environmental Satellite), MTSAT(Multi-Functional Transport Satellite) 등의 정지기상위성은 거의 실시간 기상상황을 감시하고 태풍정보를 실시간 분석할 수 있어 드보락(Dvorak, 1975) 등에 의해 이를 이용한 가시영상이나 적외영상기반의 태풍중심강도를 분석기법(드보락의 VIS/IR 분석법) 및 적외강조영상 분석기법(드보락의 EIR 분석법)이 개발되었다(Dvorak, 1975, 1984). 그러나 주관적인 드보락의 VIS/IR 분석법 및 EIR 분석법에 의한 결과는 분석자마다 다를 수 있고, 절차 또한 복잡하여 시급성을 요하는 태풍 분석에서 취약점으로 지적되어 왔다. 이러한 주관적 방법의 한계를 극복하기 위하여 디지털화된 영상과 자동 객관화된 알고리즘을 적용하는 객관 드보락 기법(Advanced Objective Dvorak Technique, 이하 AODT)이 개발되었고(Velden et al, 1998), Zehr(1989)에 의해 비행기 관측자료 등을 통해 보정되고 있다.

기상청에서는 2001년부터 GMS 위성 관측영상을 이용하여 태풍의 중심위치를 분석하고, 태풍강도를 정량화하기 위해 주관 드보락 기법(Subjective Dvorak Technique ,

이하 SDT)을 이용하여 태풍중심위치와 강도정보를 실시간 예보관 및 일반인에게 제공하고 있다. 그러나 주관적인 드보락 기법이 분석자에 따라 다른 결과가 도출될 수 있어, 이를 보완하기 위해 QuikSCAT 해상풍 관측자료, 정지 및 극궤도위성자료를 활용한 해수면온도 등 위성 분석자료와 기타 관측자료를 참조하고 있다. 정지기상위성자료를 이용한 드보락 기법은 적외영상만으로 태풍중심 위치와 강도를 분석할 수 있는 장점 외에 앞에서 열거한 몇 가지 극복되지 못한 한계도 있으나, SSM/I 등 기타 위성자료의 관측시간대와 분석정보 부족 등으로 정지기상위성자료를 이용한 드보락 기법을 대체할 만한 현업용 분석기법이 개발되지 못했다. 기상청에서는 기존의 태풍분석업무를 개선하기 위해서 2005년부터 AODT를 도입하여 그 성능을 시험분석하고, 2006년 6월부터 AODT를 현업화하여 실시간 태풍강도분석에 활용하였으며 2006년 제 3호 태풍 에위니아(EWINIAR)부터 두리안(DURLIAN)까지 19개 태풍 434개 시간대자료를 분석한 결과 SDT 강도분석결과와 0.90의 상관도를 보였다.

또한 AODT 알고리즘이 기본적으로 대서양에서 발생하는 태풍에 초점을 두고 개발되어 북서태평양에서 발생하는 태풍에 직접 적용하기에는 어려움이 있는 것으로 알려져 있으므로(Velden et al. 1998),

이의 개선을 위하여 태풍강도지수인 SDT CI(Current Intensity) 수와 AODT CI 수 간의 통계적 관계를 밝히고, 신경망을 이용한 비선형 주성분 분석(Hieh, 2004)등을 통해 AODT CI 수 보정 시도를 하였다. 이와 더불어, 기상청은 근원적 객관 알고리즘 개선을 위해 AODT 자체 알고리즘 분석과 위성자료 DB 구축 등의 노력을 기울이고 있다.

## 2. SDT 알고리즘

드보락 기법은 가시영상과 적외 및 적외강조영상을 이용하는 방법이 있으며 야간에는 가시영상의 부재로 적외영상이 흔히 사용되고 있다. 적외강조영상 분석법(EIR 분석법)은 구름시스템의 중심 결정 그에 따른 3가지 참조 T 수 결정, 적합한 최종 T 수 선택, 최종 T 수로부터 구속조건에 따라 CI 수 결정, 지역별 변환표에 따라 태풍중심의 최대풍속과 기압 추정 등의 5단계로 구분된다. 참조 T 수 (Tropical No.) 3가지는 DT 수(Data T-No.), MET 수(Model Expected T-No.) 및 PT 수(Pattern T-No.)로, DT 수는 열대 저기압에 동반되는 구름시스템을 구름 패턴별로 정의된 다이어그램에 따라 구조를 분석하여 결정한다. DT 수는 구름패턴을 수량화하기 위해 구름패턴에 따라 각기 다른 절차를 이용하여 태풍의 강도를 분석하므로 구름패턴을 바르게 인식하는 것이 무엇보다 중요하다. 태풍에 동반된 구름 패턴은 만곡된 밴드 (Curved Band) 패턴, 쉬어(Shear) 패턴, 눈(Eye) 패턴, CDO(Central Dense Overcast) 패턴으로 분류하며 눈 패턴은 밴드형 눈(Banding Eye) 패턴을 포함한다. 각 구름시스템의 패턴 분류에 따른 분석절차를 거쳐 DT 수를 결정하며, 강도변화 모델을 기초로 과거 24시간 전과 현재의 구름 패턴을 비교하여 MET 수를 결정하고, 정해진 구름의 패턴 분류에 의해 구름시스템을 결정하고 PT 수를 정한다. 최종 T 수는 구름패턴의 특징에 따라 세가지 T 수 중에서 한가지를 선택하며 최종 T 수로부터 여러 가지 구속조건에 의

해 CI 수를 결정한다. CI 수가 정해지면 대서양과 북서태평양에 대해 구해진 최저기압 (Minimum Sea Level Pressure, MSLP)과 최대풍속(Maximum Wind Speed, MWS)의 변환표로부터 태풍중심의 최대풍속과 최저기압을 결정하는데, 발달단계에 따라 구분된 값을 찾는다.

이러한 주관 드보락 분석법은 강도 추정에서 분석자의 패턴 인식에 대한 오판이나 강도 결정 규칙에 대한 숙지 미숙으로 동일한 열대 저기압에 대해 서로 다른 분석자가 별개의 강도 분석결과를 산출할 수 있다. 이러한 주관성을 제거하기 위하여 보다 객관적인 분석 방법이 필요하다.

## 3. AODT 알고리즘

정지기상위성의 적외채널영상을 이용한 주관적 드보락 분석법을 컴퓨터를 활용하여 자동 객관화한 것으로, UW/CIMSS (University of Wisconsin- Madison/ Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies)에서 개발하였다. AODT는 열대 저기압의 생성과 발달에서 소멸까지 그 강도를 단계별로 분류할 수 있으며, AODT의 이전 버전인 ODT(Objective Dvorak Technique)는 태풍강도 지수 중 하나인 T수가 3.5이상이거나 북서태평양 [대서양]에서 984hPa[994hPa] 이하일 때만 분석이 가능했지만 AODT는 이러한 제한을 없앴다(Velden et al, 1998).

AODT에서는 태풍 중심 위치가 결정되면, 태풍중심으로부터 40km 반경내에 있는 픽셀들을 모아, 그 중의 최고값을 찾아서 태풍 눈의 온도로 추정한다. 이 방법은 태풍의 눈이 크고 명확히 정의된 경우라면 적합한 방법이지만, 주변장의 바람 쉬어가 강하여 태풍의 눈이 명확하지 않은 경우에는 적절하지 않다. 이러한 경우를 고려하여 태풍중심이 차가운 구름대로 덮여있으며 따뜻한 태풍의 눈이 존재하지

않는다고 판단되는 CDO(Central Dense Overcast) 패턴을 인식하여 'no eye' 조건이 AODT 알고리즘에 의해 작동된다. 이러한 경우 사용자가 지정한 중심위치의 온도를 태풍의 눈 온도로 정의한다. AODT 알고리즘은 이후 태풍의 눈을 중심으로 반경 24km부터 136km까지 1 픽셀 간격의 다수의 링을 구성한다. 4km 픽셀 해상도를 지닌 MTSAT-1R 위성의 경우, 이는 28개의 링을 형성하며 이 각각의 링의 온도분포를 조사하여 주변온도(surrounding temperature)를 결정한다. 이 파라미터는 태풍의 눈벽(eyewall)에서의 대류운의 강도에 대한 좋은 추정이다. 눈벽의 대류가 강할수록 일반적으로 보다 차가운 대류운의 운정온도가 관측된다. 또한, 만약 태풍의 눈 주변으로 형성된 링을 따라 차가운 온도가 연속적으로 보여진다면 이는 조직적인 대류가 발생하고 있다고 판단된다. 따라서, 각각의 링에서 발견되는 가장 따뜻한 온도가 저장되고, 모든 링에서 발견된 가장 따뜻한 온도 중에 가장 차가운 온도를 최종적인 주변 온도(surrounding temperature)로 결정한다. 태풍 중심온도와 주변온도가 결정된 후, 드보락(1995)의 경험관계 테이블(look-up table)을 활용하여 태풍 강도를 추정한다. 대서양의 경우, 항공 레포트로 입수된 자료를 통해 온도와 열대 저기압 강도 추정을 통계적으로 연관하여 T수를 결정한다. 태풍의 눈 온도가 따뜻할수록 T수는 증가하고 눈 주변 온도가 차가울수록 T수는 증가한다. 그러나 태풍의 강도 결정은 일반적으로 태풍 눈보다는 눈 주변 온도에 더 민감하게 반응한다. 태풍의 눈과 눈 주변 온도차가 결정된 후 정밀한 강도 추정을 위하여 경험적인 규칙에 의해 조정 작업을 거친다. 조정 작업은 T수가 적어도 3.5보다는 커야하며 'no eye' 조건 즉 CDO 패턴의 경우 T수는 최고 5.0을 넘으

면 안된다. 이는 AODT 방법이 약한 저기압에 대해 사용되지 않아야 한다는 조건을 표현한다. 또한 만약 태풍의 눈 온도가 주변 온도보다 차가운 경우가 발생한다면 T수는 자동으로 4.5로 결정된다. 기본적인 드보락 방식의 약점을 극복하기 위해 ODT 알고리즘은 새로운 규칙을 추가하였다. 가장 큰 변화는 테이블에 의존하는 T수의 결정에 대한 보완이다. 이 테이블은 드보락(1995)에 의해 분류된 다양한 구름 패턴(Dvorak EIR rule)을 고려할 수 있도록 변화되었다. 구름 패턴의 결정은 구름 운정 온도의 히스토그램과 태풍의 눈 지역과 그 주변에 대한 푸리에 분석에 근거하며 이 분석에 의해 4가지의 패턴이 분류된다. 즉, 구름 패턴은 눈, CDO(Central Dense Overcast), 내장된 중심(embedded center), 바람 쉬어로 분류된다. 초기 T수는 이러한 4가지의 환경과 주변온도에 따라 조절된다.

T수가 결정된 후, T수에 대한 시간 평활이 적용된다. 시간 평활법은 12시간 전의 T수와 현재의 T수의 가중평균을 구하며, 이는 더 작은 시간 규모 노이즈를 제거를 가능하게 한다. 이 단계를 거친 후 만약 T수가 크게 증가하거나 감소하지 않는다면 그대로 T수를 최종 T수라고 판단하고, 그렇지 않은 경우 드보락 EIR 규칙(1984)의 'step 9'인 12시간동안 T수를 그대로 유지한 후 평활된 값을 1 높게 결정하는 규칙을 적용한다. 이 후 테이블을 통해 CI수를 결정한다.

#### 4. 사례분석

Figure 1은 통계분석틀을 활용하여 2006년 발생한 제 3호 태풍 에위니아(EWINIAR)에 대하여 주관분석법(SDT)과 객관분석법(ODT)에 의해 산출된 태풍강도

분석결과를 상관계수와 함께 그래프로 표현한 것이다. 두 자료간의 상관 계수는 약 0.8로, 비교적 좋은 상관관계를 보이고 있다. 그러나, 전체적으로 객관분석 결과가 태풍을 다소 강하게 판단하고 있다. 7월 3일부터 7월 5일까지의 일정 기간을 제외하면 대부분의 구간에서 객관분석된 CI값이 높게 나타난다.

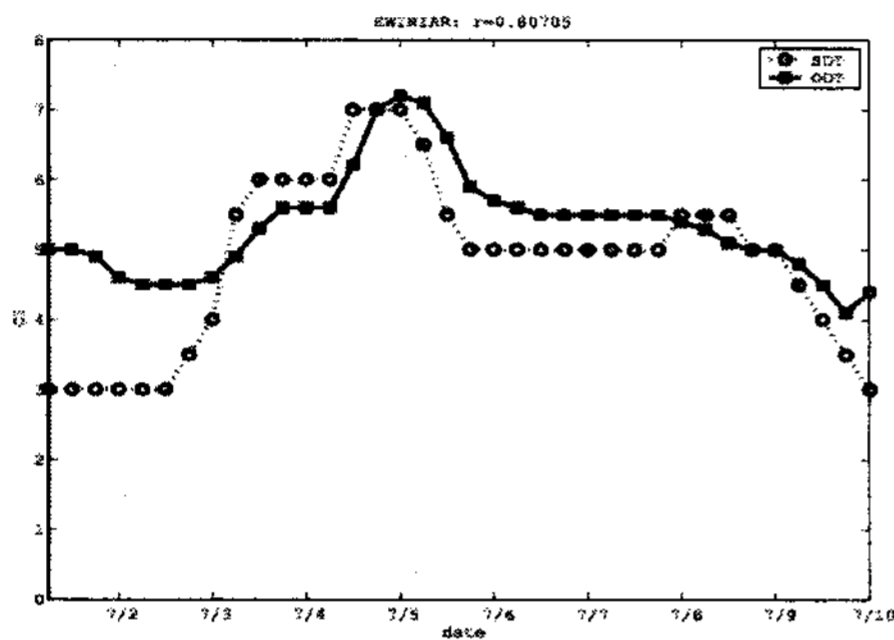


Figure 1. 2006년 제 3호 태풍 에위니아(EWINIAR)

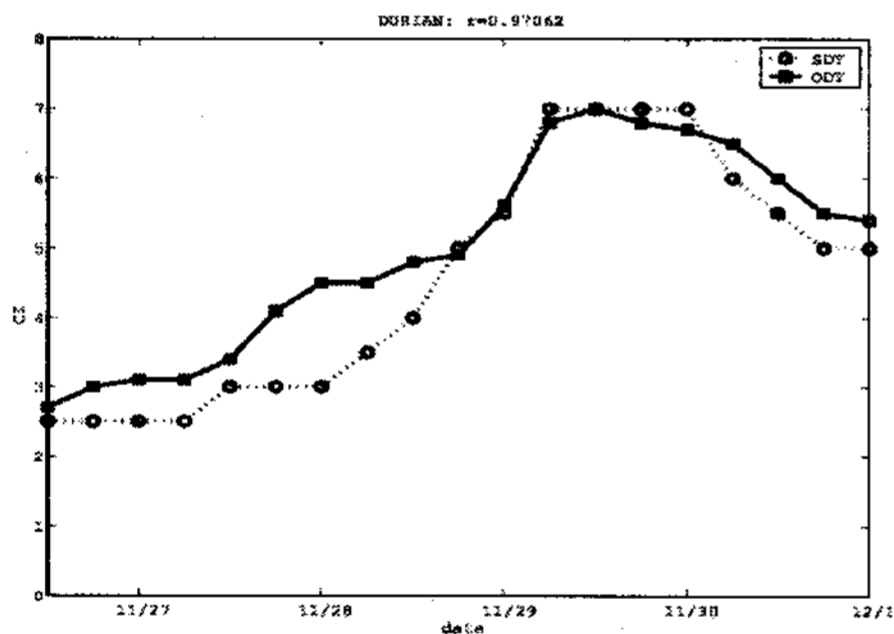


Figure 2. 2006년 제 21호 태풍 두리안(DURIAN)

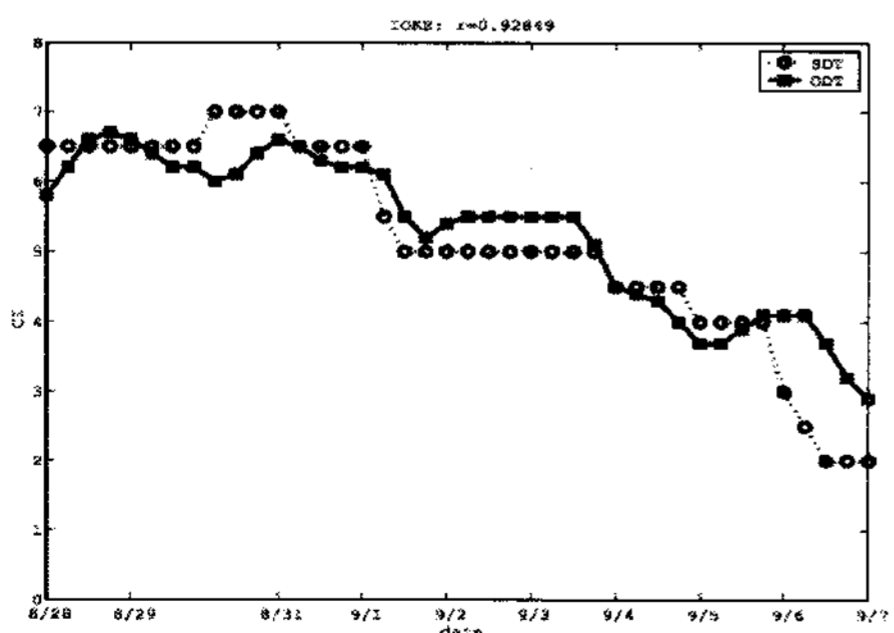


Figure 3. 2006년 제 12호 태풍 이오케(IOKE)

Figure 2는 분석된 2006년 태풍 사례중

가장 상관 계수가 높았던 제 21호 태풍 두리안(DURIAN)이다. 이때의 상관계수가 0.97이상으로 거의 유사한 태풍 강도 추정이 이루어졌다. 그러나 이 경우에도 매우 좁은 구간을 제외하고는 객관분석된 태풍 강도 추정결과가 전반적으로 강하게 추정되고 있음을 알 수 있다. 이는 2006년 19개 태풍을 분석한 결과, 전반적으로 나타난 문제이다. 그러나, 2006년 제 12호 태풍 이오케(IOKE)의 경우는 다소 다른 양상을 보인다(Figure 3). 상관계수는 약 0.92로 두 추정치가 좋은 상관관계를 나타내지만 전체 구간에서 주관분석 결과와 객관분석 결과가 서로 번갈아 가며 강하게 분석함을 확인할 수 있다. 제 12호 태풍 이오케는 태풍 발생 초기부터 강한 강도를 보였다.

## 5. 결론

2006년 제 3호 태풍 에위니아(EWINIAR)부터 제 21호 태풍 두리안(DURIAN)[7월 1일 06UTC~2006년 12월 1일 00UTC]까지 19개 태풍의 434개 시간 자료에 대한 객관강도분석 결과를 주관강도분석 결과와 비교하였을 때, 전체 자료에 대한 상관계수는 0.90으로 비교적 높은 상관을 보였다. 보다 정확한 분석 및 보정, 기본 알고리즘 개선 등을 위하여 태풍분석 결과 및 이를 위한 위성자료의 축적이 요구되며, 2006년 기상청 기상위성과에서 구축한 기상위성자료 데이터베이스 및 웹기반 태풍분석시스템을 통하여 지속적인 자료분석과 태풍정보 데이터베이스를 구축할 계획이다.

## 참고문헌

- Dvorak, V. F., 1975: Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. Mon. Wea. Rev. 103, pp. 420-430.
- Dvorak, V. F., 1984: Tropical cyclone

intensity analysis using satellite data. NOAA Tech. Rep. NESDIS 11, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D. C., pp. 47.

Velden, Christopher S., Timothy L. Olander, and Raymond M. Zehr, 1998: Development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity from digital geostationary satellite infrared imagery. *Wea. Forecasting*, **13**, 172-186.

William W. Hsieh, 2004: Nonlinear Multivariate and Time series Analysis by Neural Network Methods. *Review of Geophysics*. Vol. 42, RG1003/2004.