

## 태풍의 이동경로에 따른 해양환경변화관측을 위한 해색 자료 분석

정종철<sup>1\*</sup>

### Analysis of Ocean Color Data for Observation on the Ocean Environment Change Caused by Typhoon Path

Jong-Chul JEONG<sup>1\*</sup>

#### 요 약

태풍이 해양을 이동할 때 해양환경은 물리·생물학적으로 한반도 주변해역에 영향을 미친다. 태풍이동의 결과로써 해양의 수직적 혼합과 용승작용은 해양 표층수 냉각을 유도하고 태풍의 경로에 따라 식물플랑크톤의 증가를 초래하며, 태풍 전과 후의 해양환경은 해양표층의 생물학적 변화에 중요한 역할을 했다. 비록 태풍 이동의 원인으로 해양 표층수의 냉각이 확대되지만, 엽록소, K490, SST와 같은 다른 물리-생물학적 반응은 서로 다른 경향을 나타낸다. 본 연구의 목적은 한반도 주변해역에 영향을 미치는 태풍 이동경로와 해색센서에 의해 관측된 해양환경변수를 비교하는데 있다. 부유물질, 흡광계수(K490), 엽록소와 같은 해양환경변수는 2002년부터 2005년 MODIS 자료가 적용되었다. 태풍이동 후 동해에서는 평균 엽록소 농도가 1-4배 증가하였고, 태풍 이동경로를 따라 태풍 이후 MODIS 엽록소의 평균 농도가 증가하였다. 그러나 제주도 해역은 동해역과 반대의 경향을 나타내었다.

주요어 : MODIS, 태풍경로, 흡광계수, 해양환경변수

#### ABSTRACT

When the typhoons are passing over the ocean, the ocean environment has both physical and biological impacts on the East, South sea and Yellow sea of Korea. As a result of typhoon path, vertical mixing and upwelling injured colder subsurface water, and led to phytoplankton blooming along the typhoons. The ocean environment before and after a typhoon played an important role in the biological effect of sea

2012년 11월 23일 접수 Received on November 23, 2012 / 2013년 2월 22일 수정 Revised on February 22, 2013 / 2013년 3월 15일 심사완료 Accepted on March 15, 2013

1 남서울대학교 지리정보공학과 Dept. of Geoinformatics Engineering, Namseoul University

\* Corresponding Author E-mail : jjc1017@gmail.com

surface. Although the magnitude of sea surface temperature (SST) gets cooler because of typhoon path, other physical and biophysical responses are quite different such as chlorophyll, K490 and SST. The purpose of this study is to compare with the typhoon path that influenced the Korean Peninsula and ocean environment parameters which were observed by ocean color remotely-sensed data. The MODIS data were used to assess the parameters of ocean environments such as K490 and chlorophyll data from 2002 to 2005. Mean chlorophyll from MODIS data increased by about 1-4% in the East sea after the typhoon. Mean concentration of MODIS chlorophyll in the post-typhoon period increased along the typhoon passage. However, Jeju coastal area has different patterns from those of the East sea.

**KEYWORDS :** MODIS, Typhoon Path, K490, Ocean Environment Parameter

## 서론

현재 한반도를 포함한 전 지구는 온난화에 의한 영향으로 이상 기후현상이 증가하고 있고, 그 중에서 태풍에 의한 영향이 점차 확대되고 있는 것으로 보고되고 있다(Babin *et al.*, 2004). 한반도를 내습하는 태풍은 1971년부터 2011년까지 총 338회, 연 평균 3.1회이며 7월부터 9월 사이의 빈도는 91%가 넘는다. 그리고 태풍에 대한 피해는 기후변화의 관점에서 점차 발생빈도가 증가하고 지속적으로 태풍의 세기가 증가하고 있어서 이에 대한 과학적 연구와 위성관측에 많은 예산이 요구되고 있다. 태풍의 발생과 해양환경변화에 따른 연구는 활발히 진행되어 왔고, 태풍발생시점부터 태풍의 이동 경로, 태풍의 영향권 예측에 대한 연구가 이루어졌다. 그러나 이러한 태풍의 해양환경 관측연구는 기상관측장비의 활용이나 위성자료에 의한 태풍의 영향권 분석에 대한 조사방법의 특성상 관측 자료를 수집하고 분석하는데 따른 기술적 개발의 필요성이 증대하였고, 조사 선박에 의해 관측할 수 없는 다양한 해양환경 관측 자료의 정량적 평가가 필요하게 되었다.

한반도 주변해역의 해양환경에서 일어나는 태풍의 영향을 시·공간적으로 비교 평가하기 위해서는 해양환경관측 위성에 의한 자료의

수집과 분석이 필요하며, 다양한 해양위성 관측 자료의 해석을 통해(Hu and Muller-Karger, 2007) 태풍에 의한 한반도 주변해역의 해양환경에 미치는 영향을 평가하는 연구가 이루어지고 있다.

그러나 태풍의 기상관측과 해양관측장비에 의한 영향 분석은 관측 장비의 발달에도 불구하고 지역적인 해양환경변화를 파악하는데 제한적이며, 특히 위성관측으로 획득할 수 있는 광범위한 공간 규모의 해양환경을 파악하는데는 기술적 제약이 많았다. 특히 태풍이 한반도 주변해역으로 이동하는 경로에 따른 태풍에 의한 해양환경변화에 대해서는 해양관측 자료 수집이 쉽지 않아 아직까지도 연안 정점의 해양자료를 제외하고는 현장관측 해양자료가 매우 부족한 실정이다(Behrenfeld and Falkowski, 2001). 태풍에 관한 많은 이론 및 수치실험 연구를 통해 부분적으로 밝혀진 태풍 이동경로에 따른 해양변화 특성들은 양질의 현장관측 자료를 통한 검증과 보정을 필요로 하지만 현장자료를 위한 조사선 관측은 태풍의 영향권에 의한 연구 제약으로 다양한 위성자료에 의한 평가(Hoge and Lyon, 2002)가 가장 효율적인 수단이 되고 있다. 따라서 태풍의 이동경로에 의한 해양환경변화 탐지의 위성활용 연구를 통해 태풍의 이동과 진행경로에 따른 해양환경변화의 시·공간적 변화를 관측하는 방안을 연구하는 것은 매우

중요한 해색위성의 활용으로 제시될 수 있다. 또한 MODIS의 해색자료 활용에 의한 태풍 연구는 태풍 이동경로에서 발생하는 해양 저층수의 혼합과 해양 성층의 변화에 따른 해양 식물플랑크톤의 엽록소와 해양 표층수온의 변화 경향을 분석하는데 효과적인 수단으로 판단되고 있다(Price *et al.*, 1981; Baith *et al.*, 2001). 그러나 태풍 이동경로와 태풍이 통과한 이후 해양생물학적인 이상 발생 시기에 대한 현상(Lee and Lee, 2012)을 해양환경변수를 통해 흡광계수(K490)와 식물플랑크톤의 정량적 지시자인 엽록소(Chlorophyll-a), 표층수온(Sea Surface Temperature; SST)의 시-공간적 변화를 비교하는 연구는 자료의 적용단계이며(Lee *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2003), 특히 MODIS 해색관측위성에 의해 한반도 해양환경을 비교 관측하여 해양 표층의 해양환경변화를 판단하는 정보를 제공하는 연구는 아직 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 태풍의 발생으로 한반도 주변해역을 통과하는 태풍 중에서 유사한 이동경로를 가진 태풍을 선택하여 태풍의 이동경로에 따른 해양환경변화를 해색위성관측 자료인 엽록소, 흡광계수(K490) 등을 비교하여 태풍 경로에 따른 해양환경의 지역적 변화 경향을 해석하는데 연구의 목적이 있다.

## 자료 분석 및 연구방법

본 연구는 2002년부터 2010년까지의 한반도 주변해역 발생 태풍의 이동경로와 발생 시기를 분석한 결과 중에서 태풍의 이동경로가 유사하고, 한반도 주변해역을 통과하여 시-공간적으로 태풍에 의한 해양환경 변화 영향을 비교 평가하는 것이 용이한 태풍을 선택하였다. 태풍의 이동 경로와 발생 시기 등을 비교 평가하기 위해 한반도 주변해역을 통과한 태풍을 ArcGIS를 적용하여 경로를 탐색할 수 있도록 자료를 수집 분석하였다. 또한 이러한 태풍의 이동 경로에 따른 한반도 주변해역의 해양환경영향을 해색자료에서 생산할 수 있는 레

벨 3 자료에 기초하여 분석하기 위해 IDL, ENVI 4.7을 활용하였다. MODIS의 해양환경변수인 식물플랑크톤의 정량적 지표를 엽록소와 490nm에서의 흡광계수(K490)를 산출하여 평가할 수 있도록 해색 자료를 레벨 단계의 알고리즘(Lee *et al.*, 2002)을 적용하여 처리하였다. MODIS는 2002년부터 2010년 자료를 태풍 경로 탐색 후 2003년 매미, 2004년 메기, 2005년 나비의 태풍을 선정하고, 태풍 발생시점부터 소멸시점 이후까지 선정된 자료를 태풍 경로에 적용하여 처리하였다.

특히 태풍의 이동경로와 중요한 해양환경변수의 공간적 변화 경향을 파악하기 위해 한반도 주변해역을 공간격자로 구분하고 이러한 격자의 공간범위에서 태풍이동경로와 해양환경변화 영향권역을 파악하였다. 그림 1은 본 연구의 연구지역과 2003년 태풍 매미의 SST 위성영상을 제시한 것이다.

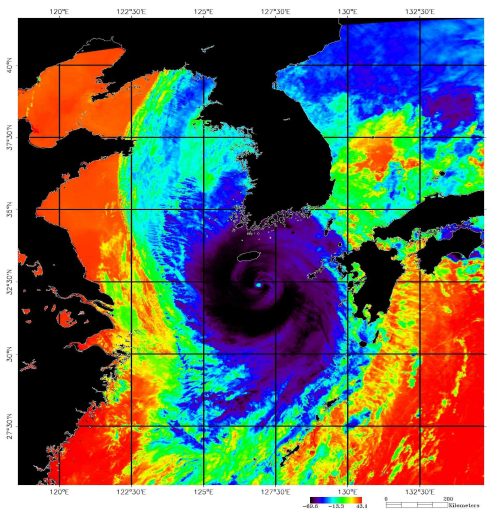


FIGURE 1. 2003년 태풍 매미의 MODIS SST 영상

그림 2는 한반도를 통과하는 이동경로가 동일한 2003년 매미, 2005년 나비의 태풍의 이동 경로를 나타낸 것이며, 태풍의 발생시기와 태풍의 이동경로에 따른 중심기압과 풍속에

의해 태풍의 특성을 표현하고 있다. 이러한 개별 태풍의 관측 자료는 좌표체계를 부여하여 이동 경로를 그림 3과 같이 ArcGIS 데이터베이스로 구축하였고, 구축된 태풍의 이동

경로를 태풍 반경의 영향권과 경로가 유사한 태풍의 공간단위로 선정하여 2003년 매미(9.6~9.14), 2004년 메기(8.16~8.20), 2005년 나비(8.29~9.8)의 태풍을 본 연구에

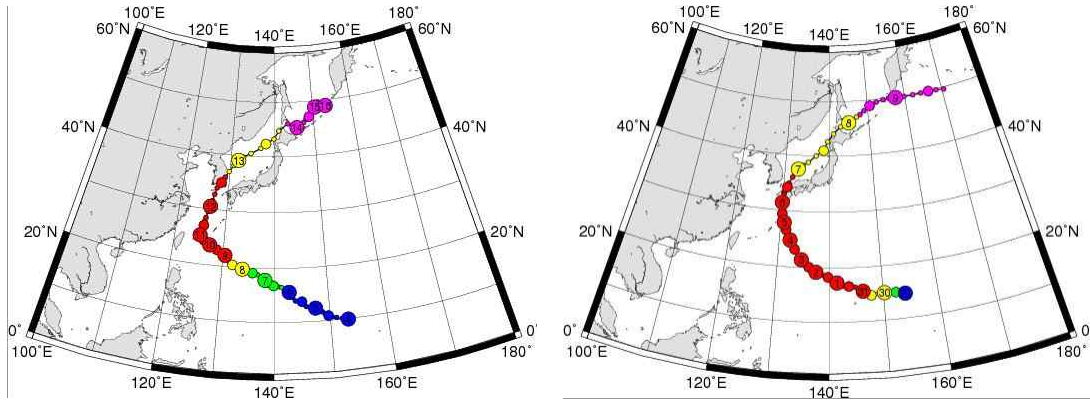


FIGURE 2. 태풍 매미(2003.9.12~9.13) 나비(2005.9.6~9.7)의 이동관측 분포도(자료:태풍센터)

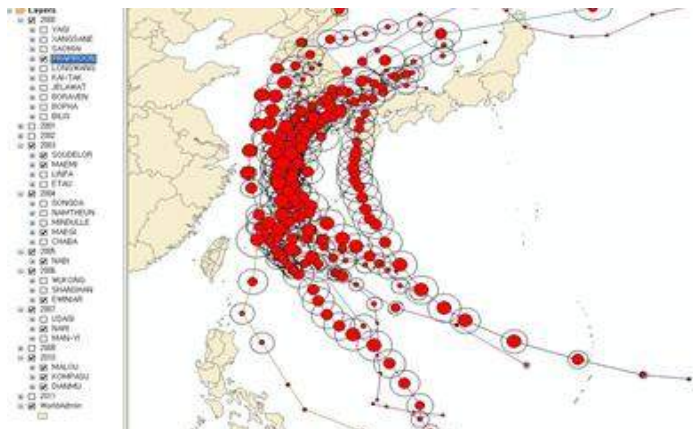


FIGURE 3. 태풍의 이동 경로와 태풍의 풍속과 중심기압을 ArcGIS로 구축

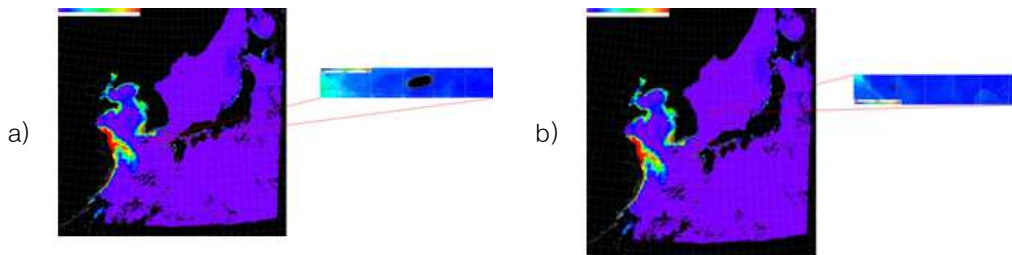


FIGURE 4. MODIS 엽록소와 K490 변화 분석 자료의 관측라인  
a)제주도 권역, b)울릉도 권역의 x-profile분석

서 MODIS 레벨 단계의 알고리즘을 적용하여 처리하였다.

해색자료에 의한 태풍의 영향권역과 해양환경관측 파라메타의 비교를 위해서는 MODIS 관측 자료의 평균치를 사용하였고, 구름이 없는 관측 자료의 평균치는 태풍 전 후 30일 기간의 관측 자료에 의해 이동 경로와 해양환경변수의 공간적 분포를 그림 5와 같이 제주도 해역과 울릉도 해역을 축선으로 선정하여 태풍 전 후의 환경변수를 X-Profile 해석하였다.

## 결과 및 고찰

MODIS 해색자료에 의한 태풍의 해양 표층 영향권역과 해양환경관측 파라메타의 시-공간적 변화를 비교하기 위해서는 다음의 두 가지 인자가 중요한 평가 요소임을 검증하였다. 첫

째 태풍은 단기간에 해양환경의 거대한 물리적 변화를 초래하는 주요 인자이다. 즉 태풍의 발생과 소멸이 10일에서 20일 정도의 단기간에 해양환경을 변화시키는 요인이 되기 때문에 태풍의 이동 경로가 해양 표층면의 SST를 떨어뜨리는 요인으로 작용하며, 이는 단지 수온의 변화뿐만 아니라 해양 내부의 물리적 구조의 변화를 초래하는 것이다. 이러한 물리적 구조의 변화는 해양의 상층부 내의 영양염 및 생물상의 변화를 함께 야기한다.

둘째는 많은 선행연구에서 AVHRR에 의한 태풍 통과 전후의 SST에 대한 시-공간적인 차이점에 대한 분석이 집중적으로 이루어져 있는데, 표층 수온과 엽록소, K490 등은 저층 영양염의 상승으로 해양 표층에 중요한 영양염 공급과 상관관계가 있음을 파악할 수 있었다. 이를 MODIS 해양환경변수 자료에 접목하

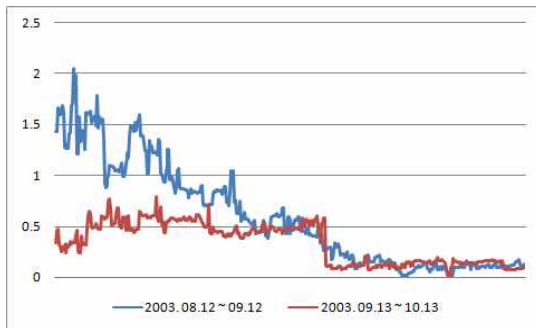


FIGURE 5. 2003년 태풍 매미 제주도 태풍 통과 전후의 엽록소( $\text{mg}/\text{m}^3$ )농도 변화

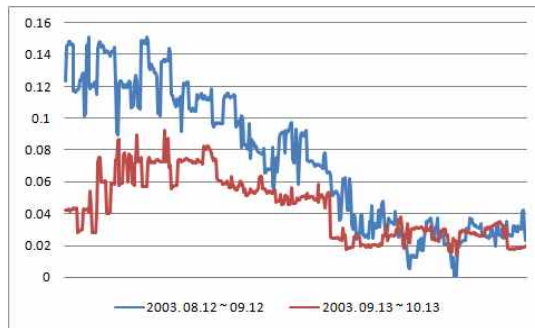


FIGURE 6. 2003년 태풍 매미 제주도 태풍 통과 전후의 K490 변화( $\text{m}^{-1}$ )

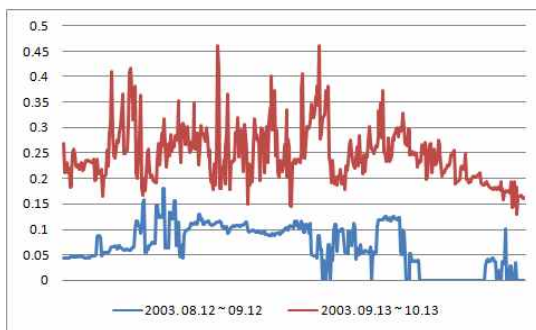


FIGURE 7. 2003년 태풍 매미 울릉도 태풍 통과 전후의 엽록소( $\text{mg}/\text{m}^3$ )농도 변화

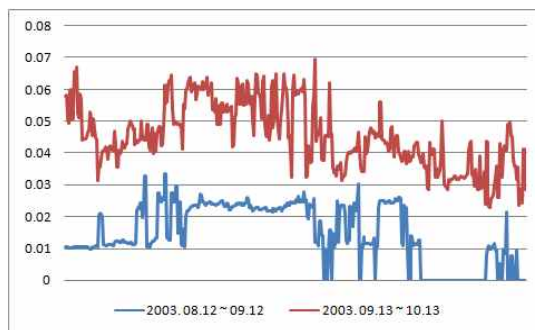


FIGURE 8. 2003년 태풍 매미 울릉도 태풍 통과 전후의 K490 변화( $\text{m}^{-1}$ )

여 그림 4의 관측라인과 같이 X-Profile 분석을 수행하였다. 2003년 태풍 매미는 제주도 태풍 통과 전후의 엽록소 농도 변화(그림 5), 제주도 태풍 통과 전후의 K490 변화(그림 6), 울릉도 태풍 통과 전후의 엽록소 농도 변화(그림 7), 울릉도 태풍 통과 전후의 K490 변화(그림 8)를 통해 태풍 통과 전 후 기간의 평균 농도 자료를 X-Profile 분석하여 변화 경향을 나타내었다.

Lin *et al.*(2003)을 비롯한 Babin *et al.*(2004) 연구에서는 태풍 통과 이후 엽록소의 증가가 위성관측에서 나타난 현상으로 보고 하였으나, 그림 5와 그림 6의 경우와 같이 태풍이 통과하기 2-3일 전부터 오히려 엽록소 농도와 K490의 증가 현상이 그림 4(a) 제주도 관측 해역에서 나타나고 있다. 이는 중국 양자강의 토사를 함유한 다량의 양자강 배출수가 제주도 서부 해역에 영향을 미치므로 그림 5와 그림 6과 같이 엽록소와 흡광계수의 변화가 제주도 서부해역과 동부 해역에서 명확하게 구분되어 나타나고 있다. 그러나 태풍 매미가 울릉도 해역을 통과하는 경로에서는 그림 4(b)의 관측영역과 같이 제주도 해역과 다른 결과를 나타내고 있다. 그림 7과 그림 8의 경우와 같이 태풍 통과 후에 일시적인 엽록소 농도의 증가현상이 나타나고 있으며, 이에 대해서는 기존의 연구(Siswanto *et al.*, 2007)에서도 밝혀진 바가 있지만, 태풍이

통과하기 전 보다 통과 이후 엽록소 농도의 증가 현상이 뚜렷하게 나타나고 있다. 이러한 엽록소 농도의 증가 현상은 2004년 태풍 매기와 2005년 태풍 나비에서도 동일하게 나타났다.

그러나 K490의 경우 그림 9와 그림 10의 결과와 같이 태풍 통과 전에 K490이 높게 나타나고 있어서 그림 8의 2003년 태풍 매미가 울릉도 해역 태풍 통과 전후의 K490 변화 경향과 다른 결과를 나타내고 있다. 즉 태풍 매기가 접근하기 수일 전부터 낮은 K490이 태풍 통과 이후 증가 하는 현상이 본 연구에서 분석한 2003년 태풍 매기(그림 8)의 결과와 다르게 나타났다. 이는 제주도 해역의 경우와 달리 울릉도 해역이 엽록소 농도가 낮은 맑은 해역인 점을 고려할 때 태풍 전 식물플랑크톤의 번성에 의한 엽록소 증가가 관측되는 것이나, 저층수의 해수 교환에 의한 K490 변화를 판단할 수 있다. Yoon and Choi(2012)는 제주도 남부와 주변해역의 수온에 대한 수직적-수평적 구조를 평가하였는데, 본 연구에서는 이러한 해양 공간의 지리적 특성에 의해 태풍 통과 전 후 제주도 해역과 울릉도 해역이 표 1과 표 2와 같이 다른 경향을 나타내었다. 표 1과 표 2는 제주도와 울릉도 해역의 태풍 통과 전 후 평균 엽록소 농도와 K490 변화를 MODIS 관측자료에 의해 비교하기 위해서 그룹이 없는 영상의 30일 평균 분포값을 비교한

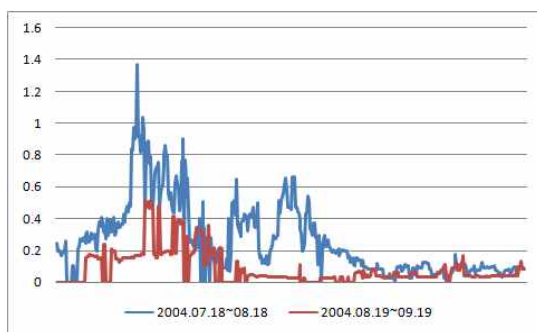


FIGURE 9. 2004년 태풍 매기 제주도 태풍 통과 전후의 K490 변화( $m^{-1}$ )

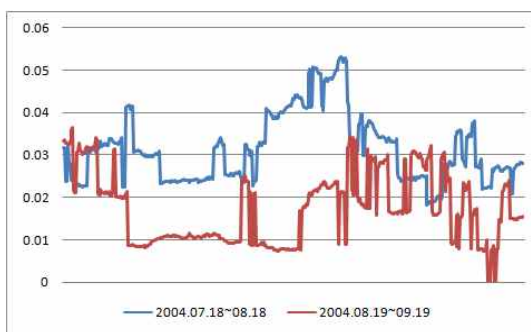


FIGURE 10. 2004년 태풍 매기 울릉도 태풍 통과 전후의 K490 변화( $m^{-1}$ )

TABLE 1. 태풍 전 후 제주도 해역에서의 평균 엽록소 농도와 K490 변화

위치 태풍	제주도					
	매미(2003)		메기(2004)		나비(2005)	
항목	Chl(mg/m <sup>3</sup> )	K490(m <sup>-1</sup> )	Chl(mg/m <sup>3</sup> )	K490(m <sup>-1</sup> )	Chl(mg/m <sup>3</sup> )	K490(m <sup>-1</sup> )
태풍 전	1.6857	0.0544	2.2726	0.04353	1.7383	0.0683
태풍 후	0.2425	0.0256	0.2482	0.03537	0.3549	0.0486

TABLE 2. 태풍 전 후 울릉도 해역에서의 평균 chlorophyll a 농도와 K490 변화

위치 태풍	울릉도					
	매미(2003)		메기(2004)		나비(2005)	
항목	Chl(mg/m <sup>3</sup> )	K490(m <sup>-1</sup> )	Chl(mg/m <sup>3</sup> )	K490(m <sup>-1</sup> )	Chl(mg/m <sup>3</sup> )	K490(m <sup>-1</sup> )
태풍 전	0.2685	0.5442	0.2726	0.0235	0.2738	0.0738
태풍 후	0.4425	0.0456	0.4088	0.0353	0.3054	0.0386

것이다. 2003년 태풍 매미가 통과 후에 남해역 및 동해역에 전반적으로 엽록소 농도가 높은 상승을 나타내고 있고, 이는 2005년 태풍 나비에 의한 영향보다 크게 나타났다. 그리고 동해 해역의 해안에서 엽록소 농도가 급격이 상승하는 것으로 나타났고, 남해역은 미세하게 엽록소 농도가 상승한 것을 알 수 있다. 제주도에서 태풍 매미는 엽록소 농도가 0.2(mg/m<sup>3</sup>) 정도 상승한 것으로 나타났고, 태풍 나비는 엽록소 농도가 0.3(mg/m<sup>3</sup>) 정도 상승한 것으로 나타났다. 울릉도 또한 태풍 매미는 엽록소 농도가 0.3(mg/m<sup>3</sup>) 정도 상승하였고, 태풍 나비는 엽록소 농도가 0.2(mg/m<sup>3</sup>) 정도 상승하였다.

## 결론

기상관측장비와 기상위성의 활용으로 태풍의 이동경로 예측과 발생 시기에 대한 다양한 연구에도 불구하고 태풍이 미치는 해양생물학적 환경변화에 대한 연구는 해양환경관측기술의 적용이 어려워 시-공간적 변화를 분석하기 어려운 실정이었다. 최근 다양한 해색위성 관측에 의해 해수면 온도의 변화뿐만 아니라 해양생물의 변화 지표인 엽록소, K490의 공간적 변화를 태풍의 이동경로와 비교하여 관측함으로써 태풍의 영향에 의한 해양표층의

식물플랑크톤 환경변화의 관측이 보다 정밀하게 이루어질 수 있음을 확인 할 수 있었다.

본 연구에서는 태풍 전-후의 기초해양생물학적 변화를 MODIS 해색위성자료로 분석하여 해양생태계의 변동요인에 대한 기초 자료를 생산하였다. 향후 정지궤도 관측에 의한 GOCI 해색자료에 의해 엽록소, K490, TSS, CDOM 변수를 이용하여 태풍 전-후 한반도 주변해역에서 일어나는 기후해양환경의 변화 인자를 시-공간적 변화로 분석할 수 있을 것이며, 본 연구를 통해 태풍이 한반도 주변해역에서 기후 해양 환경변화를 일으키는 변화요인을 해색위성자료에 의해 공간적으로 해석하는 연구방안을 제시하는데 기여할 것으로 판단된다. **KAGIS**

## 참고문헌

- Babin, S.M., J.A. Carton, T.D. Dickey and J.D. Wiggert. 2004. Satellite evidence of hurricane-induced phytoplankton blooms in an oceanic desert. *Journal of Geophysical Research* 109(C03043) DOI:10.1029/2003JC001938.
- Baith, K., R. Lindsay, G. Fu, C.R. McClain. 2001. SeaDAS: data analysis system developed for ocean color satellite

- sensors. *EOS Trans Am Geophys Union* 82(18):202.
- Behrenfeld, M.J. and P.G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography* 42(1):1-20.
- Hoge, F.E. and P.E. Lyon. 2002. Satellite observation of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) variability in the wake of hurricanes and typhoons. *Geophysical Research Letters* 29(19): 1908.
- Hu, C.M. and F.E. Muller-Karger. 2007. Response of sea surface properties to Hurricane Dennis in the eastern Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters* 34:L07606.
- Lee, Z.P., K.L. Carder and R.A. Arnone. 2002. Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters. *Applied Optics* 41(27):5755-5772.
- Lee, Kwon-Ho and So-Hyun Lee. 2012. Monitoring of floating green algae using ocean color satellite remote sensing. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(3):137-147.
- Lin, I., W. T. Liu, C.-C. Wu, G. T. F. Wong, C. Hu, Z. Chen, W.-D. Liang, Y. Yang and K.-K. Liu. 2003. New evidence for enhanced ocean primary production triggered by tropical cyclone. *Geophysical Research Letters* 30(13): 1718.
- Price, J.F.. 1981. Upper ocean response to a hurricane. *Journal of Physical Oceanography* 11:153-175.
- Siswanto, E., J. Ishizaka, K. Yokouchi, K. Tanaka and C.K. Tan. 2007. Estimation of inter annual and inter decadal variations of typhoon induced primary production: a case study for the outer shelf of the East China Sea. *Geophysical Research Letters* 34: L03604.
- Yoon, Dong-Young and Hyun-Woo Choi. 2012. Spatial distribution characteristics of vertical temperature profile in the south sea of Jeju. *Korea Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(4):162-174.