

천리안 위성영상을 이용한 경상남도 남해안해역 적조이동 패턴 분석

Analysis of Red Tide Movement in the South Sea of Gyeongnam Province Using the GOCI Images of COMS

김동규* · 김미송** · 유환희***

Kim, Dong Kyoo · Kim, Mi Song · Yoo, Hwan Hee

요 旨

여름철이 되면 매년 남해안에서 발생되고 있는 적조현상은 양식장을 운영하는 어민들에 막대한 피해를 주고 있으며 이를 방제하기 위한 노력이 다각도로 진행되고 있다. 특히 위성영상을 이용한 적조 모니터링은 발생해역 전반에 걸친 적조발생자료를 취득할 수 있어서 방제 계획수립에 중요한 정보를 제공하여 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 천리안 GOCI영상을 이용하여 하루 중 적조의 확산과 감소를 모니터링할 수 있는 결과를 제시하기 위하여 경상남도 남해안 지역을 선정하고 2013년(8월 12일), 2014년(9월 11일) GOCI영상자료를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 남해안 해역의 적조발생 패턴은 오전에 거제도 남부해역에서 출현하여 점점 더 확산되다가 오후 1시에 최대가 되고 그 후 서서히 감소되는 경향을 보여주었다. 또한 하루 중 적조의 중심 이동은 거제시 남부해역에서 적조가 시작하여 서쪽으로 이동하다가 정오를 기하여 다시 동쪽으로 이동하는 경향을 보여주었다. 향후 적조생물의 특성과 해수유동, 태양 일조량, 그리고 해수온도 등 많은 요인에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단되지만, GOCI 영상을 이용한 적조이동 모니터링은 적조의 확산과 이동을 예측하여 방제하고 관리하는데 매우 중요한 정보가 될 것으로 생각된다.

핵심용어 : 적조, 천리안위성, GOCI영상, 적조 확산과 감소, 적조이동 모니터링

Abstract

Red Tide phenomenon which happens in the southern coast of Korea gives massive damage to the fishermen who run fish farms and thereby a lot of efforts to prevent damage are made from various angles. In particular, red tide monitoring with satellite imagery can make it possible to obtain the occurrence data of red tide throughout the whole areas of the sea, which helps provide important information for establishing the preventive plans of disasters. In this regard, this study selected the South Sea of Gyeongnam Province with a view to suggesting the monitoring results with regard to the spread and reduction of the Red Tide in the middle of the day by using the GOCI Images of COMS. With this intention, it selected the region in the South Sea of Gyeongnam Province. The study results of analysis on the GOCI image data for the years of 2013(Aug. 12) and 2014 (Sep. 11) are as follows: the pattern of the Red Tide in the region of the South Sea occurred in the southern sea area of Geoje-do in the morning. It gradually spread and showed a gradual decline after reaching the top at 1 PM. In addition, in terms of the tide movement in the middle of the day, Red Tide began in the southern sea area and moved to the west, and moved to the east again at noon. It is judged that additional study on many factors such as the characteristics of the future Red-tide organisms, tidal currents, amount of sunshine, and water temperature is needed, but it is estimated that Red Tide movement monitoring with GOCI images would provide very crucial information for predicting the spread and movement of the Red Tide to protect and manage the Red Tide disasters.

Keywords : Red Tide, COMS Satellite, GOCI Images, Apread and Reduction of the Red Tide, Red Tide Movement Monitoring

Received: 2015.02.12, revised: 2015.03.03, accepted: 2015.03.17

* 정회원 · 경상대학교 도시공학과 박사과정(Member, Urban engineering, Gyeongsang National University, doikim@korea.kr)

** 정회원 · 경상대학교 도시공학과 석사과정(Member, BK21+, Urban engineering, Gyeongsang National University, misong1216@naver.com)

*** 교신저자 · 정회원 · 경상대학교 도시공학과 교수(Corresponding author, Member, Professor, BK21+, ERI, Urban engineering, Gyeongsang National University, hhyoo@gnu.ac.kr)

1. 서 론

여름철에 남해안에서 주로 발생되고 있는 적조현상은 바다의 식물성 또는 동물성 플랑크톤이 일시에 대량 번식 하거나 집적되는 현상으로서 적조를 일으키는 생물에 따라서 붉은색, 황갈색 또는 적갈색 등으로 나타난다. 최근 한반도 주변해역은 거의 전 해역이 부영양화 되어서 계절에 관계없이 발생하고 있으며 적조가 발생하면 장기간 지속되는 경향을 보이고 있다(Kim, 2005). 적조발생에 의한 피해이력을 보면 1995년의 경우 54일간 지속되어 765억원의 피해가 발생하였고, 2001년은 84억원(42일)의 피해가 났으며, 2003년은 215억원(62일), 2013년은 247억원(51일), 2014년은 73억원(79일) 피해가 발생하였다. 특히 2013년 발생한 유해성 적조는 적조발생해역이 외해에서 연안까지 광범위하게 발생하여 남해안 해역에서 사상최대 피해를 발생시켰다(Kim et. al., 2014). 이와 같이 광활한 해양에서 발생하는 적조를 효과적으로 모니터링하기 위해서 위성영상을 활용하는 방법에 대한 연구가 지속되어 왔으며, 그 중 NOAA위성의 AVHRR수온자료를 분석하여 적조의 발생시 수온값과 등수온선의 분포와 적조의 분포 유지와 소멸 시까지 관련성 연구(Suh, et. al., 2000), 남해안 중부해역에서 적조발생과 기상 및 해양 인자와의 관계 그리고 위성을 이용한 적조모니터링의 가능성에 대한 연구(Yun, et. al., 2003), MODIS 해수 수출광량자료와 적조의 분광스펙트럼을 바탕으로 MODIS 적조지수(MODIS Redtide Index)의 개발에 대한 연구(Kim, et al., 2008), 유해성 적조가 많이 발생했던 2002년부터 2007년까지 MODIS 해상위성 자료를 이용하여 스

펙트럴 분류방법으로 적조 발생지역을 체계적으로 분리하고(Hu, et. al., 2005), 적조가 가지는 스펙트럼의 특성을 구분하는 알고리즘을 적용하여, 대기효과 및 주위 해수 신호에 민감한 연안 해역에 적조를 탐지하는 연구(Stumpf, et al.,1998; Son et al., 2011)가 진행되어 왔다. 또한 GOCI 영상을 이용한 남해안에서의 적조해역 추출을 위한 기법개발과 적조탐지 가능성에 대한 연구가 진행되어 왔다(Son. et. al., 2012; NDMI, 2013). 그러나 적조가 크게 확산하는 시기와 더불어 하루 중 적조가 어떻게 확산하는지에 대한 정보는 적조의 확산을 막기 위한 방재활동과 계획수립에 매우 중요한 정보가 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 10년 중 적조 피해가 가장 큰 2013년과 가장 최근인 2014년 GOCI영상자료 중 기상조건이 좋아 영상취득 조건이 양호한 자료를 취득하여 1일 적조 이동 패턴을 분석하였다.

2. 적조탐지를 위한 GOCI영상처리

GOCI 영상처리를 위해서 개발된 해양자료처리시스템(GDPS, GOCI Data Processing System)은 위성자료를 처리 및 분석하는 프로그램으로 다양한 기능을 제공하고 있고, 간단한 수학연산 기능 구현을 위해 Band Math 기능까지 제공하고 있으나, 스펙트럴 분류에 의한 적조탐지 알고리즘을 구현하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 ERDAS Imagine의 Spatial Modeler 기능을 사용하여 구현하였다(Fig. 1).

Fig. 1에서 첫 번째 자료처리 과정은 적조를 포함하고 있을 것으로 추정되는 지역을 선정하는 과정이다. GOCI 영상의 8개의 파장 중에서 하나의 영상소가 가

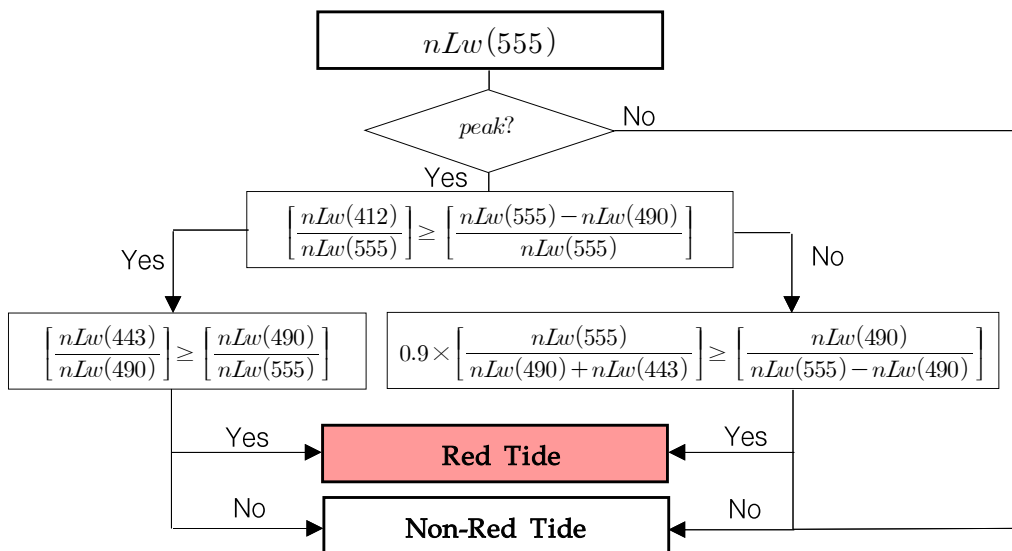


Figure 1. Flowchart of Red Tide detection

지는 스펙트럼 분석에서 녹색파장(555nm)에서 피크를 보이는 지역은 클로로필 농도가 높은 지역으로 적조발생 가능성이 높다. 그래서 입력되는 영상소값 중 영상소가 널(NULL)값이 아닌 값을 대상으로 8개의 밴드의 값을 비교하여 555nm에서 최고값을 갖는 영상소를 분류하였다. 다음과정은 적조발생 가능성이 높은 영상소군에서 용존유기물 또는 부유물질 함량이 높은 지역(탁한 해역)과 낮은 지역(맑은 해역)을 구분한다. 맑은 해역에서는 용존유기물과 부유물질의 함량이 낮기 때문에 짧은 파장에서 용존유기물에 의한 흡광은 약하게 일어나지만 해수에 의한 산란은 증가한다. 반면 탁한 해역에서는 짧은 파장에서 흡광은 증가되고, 긴 파장에서 부유물질에 의한 산란이 증가된다.

조건문에서 $nLw(412)/nLw(555) \geq (nLw(555) - nLw(490))/nLw(555)$ 를 만족하는 영상소는 200값을 부여하여 맑은 해역으로 분류하였고, 그렇지 않고 $nLw(412)/nLw(555) < (nLw(555) - nLw(490))/nLw(555)$ 를 만족하는 영상소는 100값을 부여하여 탁한 해역으로 구분하였다. 맑은 해역에서 적조를 구분하기 위해서 조건문은 200으로 분류된 맑은 해역의 영상소 값들 중에 $nLw(443)/nLw(490) \cdot nLw(490)/nLw(555)$ 를 만족하면 250값으로 구분하여 맑은 해역에서 발생하는 적조로 분류하고, 그렇지 않으면 비적조(영상소 값 2) 해역으로 처리토록 하였다. 마지막으로 탁한 해역에서 적조를 구분하기 위해 조건문에서 100으로 분류된 탁한 해역의 영상소 값들 중에 $0.9 \times (nLw(555)/(nLw(490) + nLw(443))) \geq nLw(490)/(nLw(555) - nLw(490))$ 를 만족하는 영상소를 150값으로 부여하여 탁한 해역에서 발생하는 적조로 분류하고, 그렇지 않으면 비적조(영상소 값 1) 해역으로 처리하였다(Son et al., 2012; Kim, 2015). 여기서 $nLw()$ 은 GOCI영상 파장별 스펙트럼값이다.

3. 결과 분석

3.1 영상자료 취득 및 전처리

GOCI 영상은 한국해양과학기술원 해양위성센터에서 Level 1B 자료로 제공되고 있으며, GDPS를 이용하여 본 연구에서 사용하는 Level 2A자료인 정규 해수수출광량(nLw , 밴드별 정규화된 복사휘도) 자료를 생성하였다. 이 과정에서 해상 센서에 관측된 총 복사휘도에서 대기 산란에 의한 복사휘도(레이리 산란, Mie 산란, 비선택적 산란)와 해수 표면 복사휘도(태양광 반사, 해수면 흰 거품 반사)가 제거된 원격반사도가 계산된다.

Table 1. GOCI data used in the Red Tide detection

No	Acquisition		Processing Level	Bands	Resolution
	Date	Time(h)			
1	Aug. 12, 2013.	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	Level 1B	8	500m×500m
2	Sep. 11, 2014.	10, 11, 12, 13, 14	Level 1B	8	500m×500m

따라서 본 연구에서는 Level 2A자료를 이용하여 2013년과 2014년 중 해당 년도에 가장 적조가 크고 군집화되어 나타난 시기인 2013년 8월 12일(9시~16시)과 2014년 9월 11일(10시~14시)의 GOCI영상을 분석하여 적조의 시간대별 공간이동패턴을 분석하였다(Table 1).

3.2 시간대별 적조이동 특성분석

3.2.1 적조이동 분석(2013년 8월 12일)

2013년은 최근 10년간 남해안에서 적조가 발생한 해 중 가장 크게 발생한 해로서 2013년 8월 12일은 그 중 가장 광범위하게 적조가 확산된 날이다(NDMI, 2013). 따라서 시간대별 적조이동을 분석하기 위하여 2013년 8월 12일을 대상으로 1일 촬영된 GOCI영상을 조회한 결과 총 8매(9시~16시)를 취득할 수 있었으며 이를 이용하여 적조발생해역의 탐지와 공간 이동패턴 분석을 시행하였다.

오전 9시부터 오후 4시까지 1시간 간격으로 총 8매의 GOCI영상이 촬영되어 시간대별로 적조의 이동을 분석하는데 사용되었으며, 각각의 영상에서 적조로 탐지된 해역을 수치지도에 표시하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2는 Fig. 1에서 제시한 적조탐지 이론에 의하여 적조로 탐지될 때 탁한 해역에서 적조로 탐지된 것은 붉은 색으로 표시되고, 파란색은 맑은 해역에서 적조로 탐지된 영상소를 의미한다.

Fig. 2(a)~(h)에서 시간대 별 적조 탐지결과를 분석하면 오전 9시경에 통영시 한산도 해역에서 거제시 남부해역까지 밀도가 높은 적조가 일부 발생하였으며, 오전 10시에는 오전 9시에 비하여 적조발생면적이 늘어나는 패턴을 보여 주었다.

오전 11시에는 오전 10시의 적조탐지면적 223km²에서 422km²늘어난 645km²로 확대되었고, 적조발생 해역이 남해군 남부해역에서 동쪽으로 더 확산되어서 거제시 남동부 해역까지 광범위하게 확산되었다. 이러한 확산 추세는 계속되어 오전 12시에는 통영시 한산도해역에서 거제 남부해역의 적조 발생해역이 세력을 그대로 유

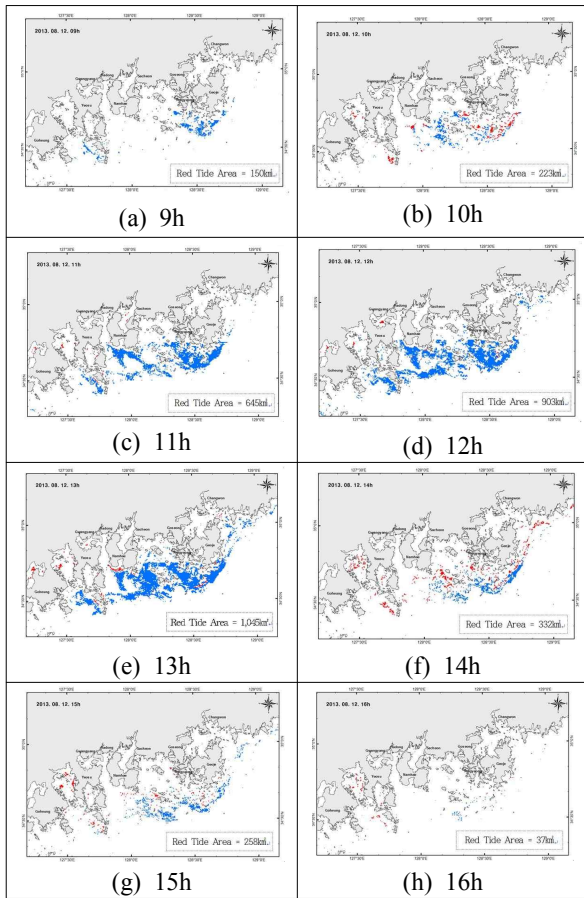


Figure 2. Red Tide detection results (Aug. 12. 2013.)

지하고 있고, 통영시 육지도 해역에서 서쪽으로 더욱 적조가 광범위하게 활성화 되어서 남해군 남부해역 전체로 적조가 확산되었으며, 전남 여수시 금오도해역까지 적조가 광범위하게 진행되는 양상을 보여주고 있다. 적조 탐지지역의 확산은 오후 1시에 최고점에 이르러 탐지면적도 1,045km²에 이르렀다. 그러나 오후 1시에는 외형적인 변화는 없는 것처럼 보이나, 밀도가 높은 적조 발생해역이 동쪽 방향으로 이동한 것으로 분석되었고, 오후 2시에는 적조 발생면적이 332km²로 급격히 줄어들었으며 이전에 밀집되어 있던 적조 발생해역이 분산되는 경향을 보여주고 있다. 오후 3시에는 적조 탐지지역이 감소되어 소강국면에 접어들었음을 알 수 있고, 오후 4시 분석영상에서는 적조 발생면적이 37km²로 2013년 8월 12일 분석영상 중 가장 작은 면적을 보여주었다.

3.2.2 적조이동 분석(2014년 9월 11일)

2014년 발생한 적조는 2013년보다 2주 늦은 7월 31일 최초 발생하여 역대 최장기간인 79일간 지속하다가 10월 17일 소멸하였으며, 적조 발생초기인 7월과 8월

은 낮은 일조량과 높은 강수량으로 세력을 확장하지 못하다가 9월 초부터 확산되었다(Kim, 2015). 따라서 2014년도 시간대별 적조 발생해역 변화 분석을 위해서 9월 중 기상상태가 양호하고 GOCI 영상 취득이 가능한 2014년 9월 11일 오전 10시부터 오후 2시까지 총 5매를 사용하여 분석하였다(Figure 3.(a)~(e)). 오전 10시에는 거제시 남부해역에 고밀도 적조가 집중되어 있는 것으로 나타났으며, 오전 11시는 거제시 남부해역에 나타난 적조가 북서방향으로 외형적 확산 경향을 보여주고 있다. 오후 12시 분석영상에서는 오전 11시에 69km²이던 적조 발생면적이 201km²까지 증가하여 적조가 확산되고 있음을 알 수 있다. 그리고 거제시 남부해역 적조가 서쪽방향으로 크게 확산되었고, 남해군 조도해역에서 새로운 적조발생해역이 형성되었다. 오후 1시는 분석당일 최고의 적조발생 면적인 282km²를 기록하였고, 오후 2시는 적조가 91km²로 감소하였으며 적조가 가장 크게 확산하는 당일에도 시간대별로 크게 변화되는 추세를 보여주었다.

적조가 아침에 부상하고 저녁때 하강하는 추광성과 관련하여 2013년 8월 12일과 2014년 9월 11일을 대상으로 시간대별 변화에 따른 적조 발생해역의 변화를 분석하였으며, 두 날짜 모두 오후 1시에서 가장 광범위하게 적조가 발생하는 것을 알 수 있고, 오전 9시에도 적조가 출현하는 것으로 나타났다(Fig. 4, 5).

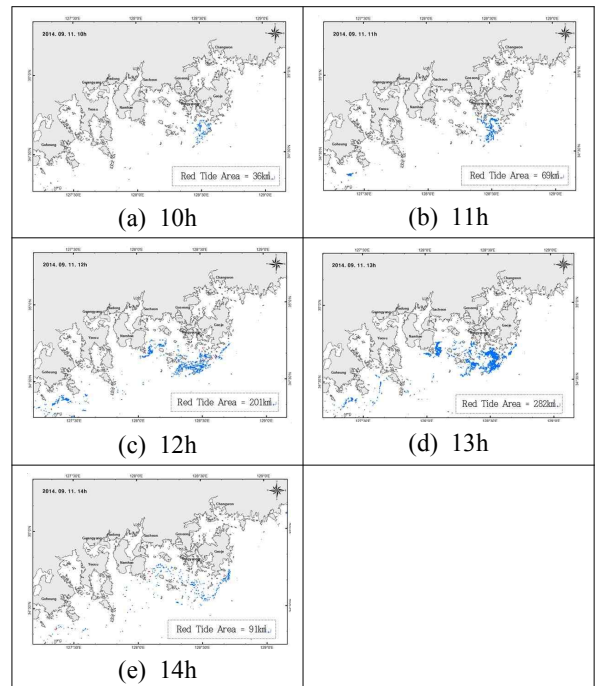


Figure 3. Red Tide detection results (Sep. 11. 2014.)

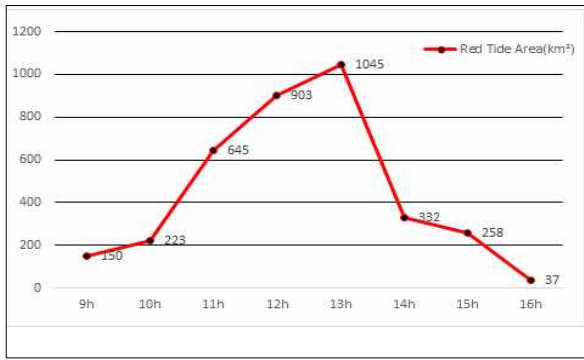


Figure 4. Area change of Red Tide by time(Aug. 12, 2013.)

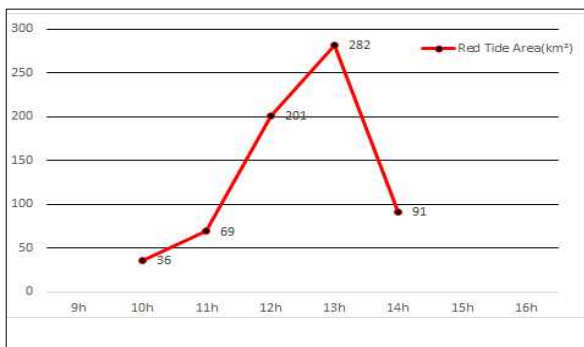


Figure 5. Area change of Red Tide by time(Sep. 11, 2014.)

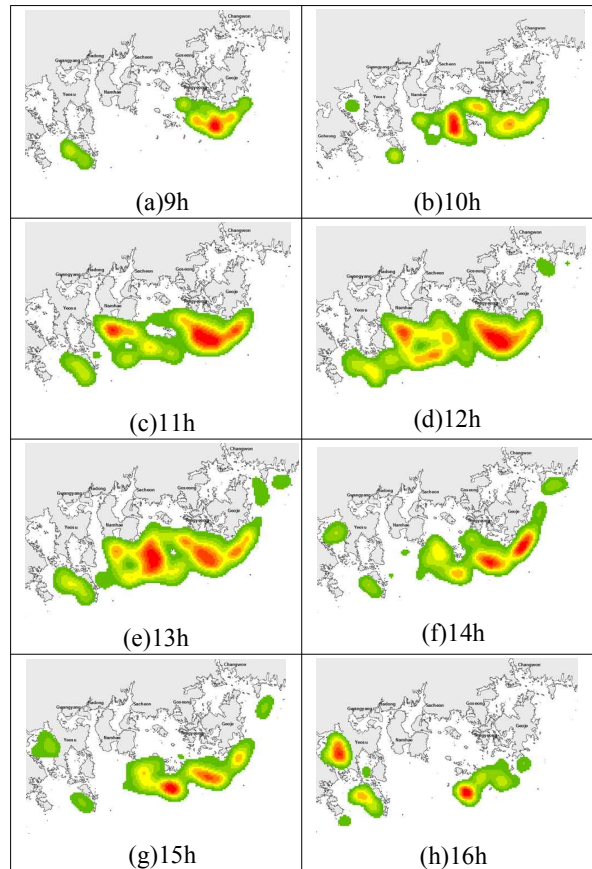


Figure 6. Density analysis of the detected Red Tide pixels(Aug. 12, 2013.)

3.2.3 시간대별 적조밀도 분석

적조탐지 알고리즘을 적용하여 GOCI 영상에서 적조를 탐지하면 영상소단위로 적조가 탐지되는데 탐지된 영상소들의 군집도를 분석하기 위하여 ArcGIS 9.3에서 커널밀도(Kernel Density) 분석을 하였으며, 이에 따른 군집중심의 이동도 분석하였다.

Fig. 6에서 2013년 8월 12일의 9시 경우 거제도 남부해상에서 hot spot이 1개 나타났으나 10시가 되면서 남해군 남부해역으로 hot spot이 이동되어 나타났다. 11시의 경우 10시 영상보다 적조발생 해역이 남해군 남부해역에서 서쪽으로 더 크게 확산되었고 거제시 남동부까지 확산되었고 통영시 한산해역에서 거제시 남부해역에 이르는 커다란 hot spot이 형성되었다.

그리고 정오와 오후 1시에 도달해서는 적조가 최대 로 확산되면서 전남 여수시 금오도해역에서부터 거제도 남동부해역까지 광범위하게 확산되었고 hot spot의 수와 크기가 1일 최대로 나타났다.

Fig. 7에서 2014년 9월 11일의 10시 경우 거제시 남부해역에 고밀도 적조로 hot spot이 나타났으며, 오전 11시는 그 세력이 점점 커져서 정오에는 거제시 남부

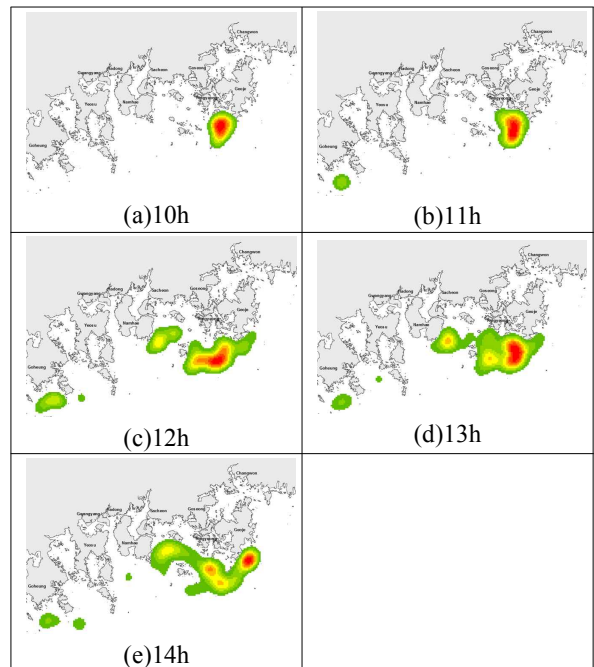


Figure 7. Density analysis of the detected Red Tide pixels(Sep. 11, 2014.)

해역의 고밀도 적조가 서쪽방향으로 크게 확산되어 남해군 조도해역까지 확장되면서 hot spot도 커졌다. 그리고 오후 1시에는 1일 가장 큰 면적으로 확산되어 남해군 남부해역에서 거제시 남동부해역까지 확대되고 hot spot도 이동되었다. 오후 2시에는 감소추세를 보여 적조 군집모양이 원형모양에서 긴 원통형으로 약화되는 패턴을 보여주었다. Fig. 8은 Fig. 6, 7에서 분석된 hot spot에서 전체의 무게 중심을 구하고 그 중심점을 시간대별로 표시한 그림이다. 2013년 8월 12일 오전 9시부터 오후 4시까지 각각의 시간대별 중심점을 ①에서 ⑧까지 숫자로 표시하였으며, 2014년 9월 11일은 오전 10시부터 오후 2시까지 ①에서 ⑤까지 표시하였다. 그 결과 2013년 8월 12일의 경우 거제시 남부해역에서 처음 시작하여 서쪽으로 이동한 후 정오를 중심으로 다시 동쪽으로 이동하다가 남쪽방향으로 진행된 것으로 나타났다. 또한 2014년 9월 11일의 경우도 거제시 남부해역에서 처음 시작하여 서쪽으로 이동한 후 정오를 중심으로 다시 동쪽으로 이동되는 경향을 보여주었다.

비록 영상취득의 한계가 있어서 여러 날짜를 선택하여 분석하지는 못하였으나 적조 출현과 이동에 대한 경향이 일정한 패턴을 보여주고 있음을 알 수 있었다. 물론 이러한 적조이동을 보다 정확하게 분석하기 위해서

는 적조생물의 특성과 해수유동, 태양 일조량, 그리고 해수온도 등 많은 요인에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다. 위성영상에 나타난 적조의 이동이 이러한 복합적인 요인에 의해 나타나는 표면적인 현상의 결과로 볼 수 있으나 GOCI 영상을 이용한 적조이동 모니터링은 적조의 확산과 이동을 광역적으로 예측하여 방재하고 관리하는데 있어서 매우 중요한 정보를 제공하여 준다고 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 천리안 위성의 GOCI 영상을 2013년 8월 12일(9시~16시)의 8매와 2014년 9월 11일(10시~14시)의 5매를 취득하여 남해안 해역의 시간대별 적조이동패턴을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 남해안 해역의 적조발생 패턴은 오전에 거제도 남부해역에서 출현하여 점점 더 확산되다가 오후 1시를 기점으로 최대 확산되는 패턴을 보여 주었으며 그 후 서서히 감소되어 축소되는 경향을 보여주었다. 특히 밀도분석에 의한 적조 밀도 hot spot은 주로 거제시와 통영시 남부해역에 집중되는 것으로 나타났다.

둘째, 커널밀도분석의 hot spot을 이용하여 하루 중 적조의 중심 이동특성을 분석한 결과 거제시 남부해역에서 적조가 시작하여 서쪽으로 이동하다가 정오를 기하여 다시 동쪽으로 이동하는 경향을 보여주었다. 물론 이러한 적조이동을 보다 정확하게 분석하기 위해서는 다양한 해양생태환경요소에 대한 고려가 필요하다고 판단된다. 비록 위성영상에 나타난 적조의 이동이 표면적인 현상의 결과로 볼 수 있으나 GOCI 영상을 이용한 적조이동 모니터링은 적조를 방재하고 관리하는데 있어서 매우 중요한 정보를 제공하여 준다고 생각된다.

References

1. Hu, C., F. E. Muller-Karger, C. Taylor, K. L. Carder, C. Kelble, E. Johns and C. A. Heil, 2005, Red tide detection and tracing using modis fluorescence data, A regional example in SW Florida coastal waters Remote Sensing of Environment 97(2005), pp. 311-321.
2. Kim, Dong Kyoo, 2015, Analysis on spatial and temporal patterns of red tide occurrence area in the south sea of Korea using coms images, Ph. D. thesis, Graduate School, Gyeongsang National University.

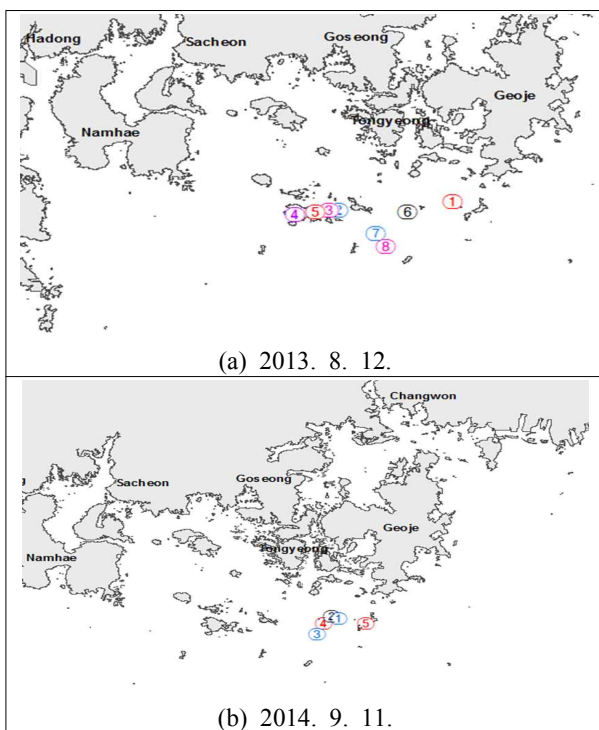


Figure 8. Movement of the Red Tide density center by time

3. Kim. Dong Kyoo, Yoo. Hwan Hee, 2014, Analysis of temporal and spatial red tide change in the south sea of korea using the goci images of coms, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 22 No. 3 September, pp. 129-136.
4. Kim. Hack Kyun, 2005, Marine red tide, Dasom Press.
5. Kim. Yong Min, Kim. Hyeong Tae, 2008, Study of red tide detection algorithm based on two step filtering, Korean Journal of Remote Sensing Vol. 24 No. 4, pp. 325-331.
6. National Disaster Management Institute(NDMI), 2013, Survey of red tide damage in south sea of korea using the geostationary ocean color imager(GOCI).
7. Son. Young Baek, J. Ishizaka, J.C Jeong, H.C. Kim, and T. Lee, 2011. Cochlodinium polykrikoides red tide detection in the South Sea of Korea using spectral classificatio of modis data, Ocean Science Journal, Vol. 46, No. 6, pp. 239-263.
8. Son. Young Baek, Kang. Yoon Hyang, Ryu. Joo Hyung, 2012, Monitoring red tide in south sea of Korea using the geostationary ocean color imager(GOCI), Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 28, No. 5, pp. 531-548.
9. Stumpf R. P. and Tyler. M. A., 1998, Satellite detection of bloom and pigment distributions in Estuaries, Remote Sensing of Environment, Vol. 24, No. 3, pp. 385-404.
10. Suh. Young Sang, Kim. Jeong Hee, Kim. Hak Gyoon, 2000, Relationship between sea surface temperature derived from NOAA satellites and cochlodinium polykrikoides red tide occurrence in korean coastal waters, Journal of Korean Environmental Sciences Society, Vol. 9, No. 3, pp. 215-221.
11. Yun. Hong Ju, Kim. Seung Cheol, Park. Il Heum, 2003, Characteristic of atmospheric phenomena and ocean environment for red tide occurrence of korean south sea, The journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences, Vol. 7, No. 4, pp. 845-852.