

한국 남해중부해역의 적조발생에 관한 기상 및 해양환경 특성

윤홍주* · 김승철* · 박일흠**

*부경대학교 위성정보과학과 · **여수대학교 해양시스템공학

Characteristics of Meteorological and Marine Environments for the Red Tide Occurrence in Mid-South Sea of Korea

Hong-Joo Yoon* · Seung-Cheol Kim* · Il Heum Park**

*Pukyong National University, **Yeosu National University

E-mail : yoonhj@pknu.ac.kr

요 약

한국 남해 중부해역에서의 적조발생과 기상 및 해양 인자와의 관계, 적조발생 적지선정 그리고 위성을 이용한 적조모니터링의 가능성에 대하여 연구하였다. 적조는 전조사기간(1990~2001)에 걸쳐서 매년 발생하고 횟수가 증가하는 경향을 보였다. 이때 주로 7월, 8월, 9월에 집중해서 발생을 했다. 적조발생 횟수를 증가시키는 메카니즘을 지배하는 가장 중요한 기상인자는 강수량이 었다. 적조형성과 관련된 해양환경학적인 조건은 따뜻한 수온, 저염분, 고농도의 부유물질, 낮은 인산염 및 질산염이 었다. 적조가 발생하는데 필요한 기본적인 기상조건은 최소한 2~4일 전에 23.4~54.5mm(일누적값) 정도의 많은 강수량이 내려야한다. 또한 적조발생 당일 적조가 잘 형성될 수 있는 우호적인 기상조건은 24.64~26.48℃(일평균값)의 따뜻한 기온, 2~10.3h(일 누적값)의 적절한 일조시수, 2.4~4.6m/s(일평균값)의 풍속 및 남서풍계열의 바람이 등이 요구되어진다. 위성자료를 이용하여 적조발생 시의 농도와 공간분포를 파악할 수 있었다. 적조가 잘 발생할 수 있는 최적지로서는 여수~돌산해역, 가막만 북부지역, 남해 일부해역, 나로도해역, 고흥 남부의 일부 연안, 득량만과 인접한 고흥 서부 해역이 었다.

ABSTRACT

This study deals with the relationship between the red tide occurrence and the meteorological and marine factors, the prediction of areas where the red tide is likely to occur based on the information, and the satellite monitoring for the red tide in mid-South Sea of Korea. From 1990 to 2001, the red tide was observed every year and the number of occurrences increased as well. The red tide mostly occurred in July, August, and September. The most important meteorological factor governing the mechanisms of the increase in the number of red tide occurrences is found to be a heavy precipitation. It was found that the favorable marine environmental conditions for the red tide formation are some of marine factors such as the warm water temperature, the low salinity, the high suspended solid, the low phosphorus, and the low nitrogen. The necessary conditions for the red tide occurrence are found to be the heavy precipitation (23.4~54.5 mm) for 2~4 days, the warm temperature (24.64~25.85 °C), proper sunshine (2~10.3 h), and light winds (2~4.6 m/s & SW) for the day in red tide occurrence. It was possible to monitor the spatial distributions and concentration of the red tide using the satellite images. It was found from this study that the likely areas for red tide occurrence in August 2000 were Yosue~Dolsan coast, Gamak bay, Namhae coast, Marado coast, Goheung coast, and Deukryang bay.

1. 서 론

적조란 식물성플랑크톤이 대량으로 번식·성장하거나 집적되어 바닷물이 붉은 색으로 보이는

자연적으로 발생하는 현상이다[1]. 최근에 육지로 부터 각종 오염물질이 연안으로 대량 유입되어 주로 연안해역에서 빈번하게 발생하여 연안을 심

각하게 오염시키고 수산업의 피해를 가중시키고 있다[2]. 우리나라의 경우에는 한반도 남해안 해역에서 매년 빈번하게 발생하는데, 이 때 발생하는 적조생물들은 일반적으로 규조류(Diatoms)와 편모조류(Flagellates)로 크게 대별할 수 있다[3]. 적조 생물이 일정기간 대량으로 번식하면 적조생물의 독성에 의한 어패류의 치사와 적조생물이 죽은 후 다량으로 분비된 점액질의 어패류 호흡기관 부착에 따른 질식사 등이 있다 [4].

한편 이 해역에서 적조의 발생, 진행 그리고 소멸 등 적조발생 기구(Mechanism)에 대한 물리역학적인 규명은 거의 이루어지지 않고 있는 실정에 있다. 즉, 적조 발생의 피해방지 및 최소화 그리고 감시·예보를 위한 기술개발이 현실적으로 절실히 요구되어 진다고 할 수 있다.

본 연구는 기상 및 해양학적인 인자들과 관련하여 적조가 형성되는 기구와 적정한 기상 및 해양학적 조건을 구체적으로 이해하고 피해를 최소화 하는 데 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

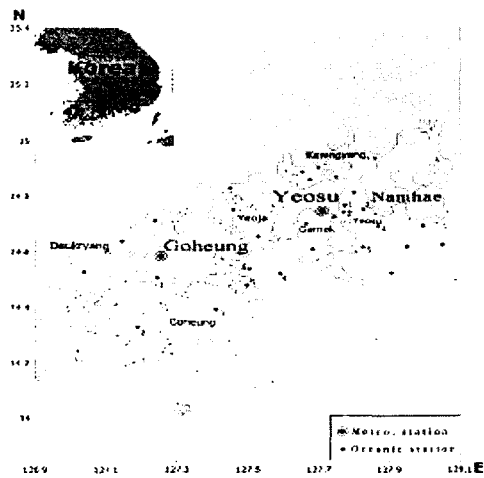


Fig. 1 Middle coastal area in the South Sea of Korea.

II. 자료 및 방법

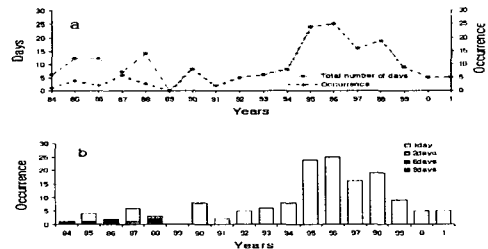
본 연구에서 선정한 주요 관측점과 자료 내역은 다음과 같다(Fig. 1). 기상인자와 관련하여는 육상의 기상관측지점으로서 대상지역은 여수와 고흥이며, 조사기간은 1990~2001년의 3시간 간격의 기상청 기상관측자료를 사용하였다. 해양인자와 관련하여, 국립수산과학원의 1996년부터 2001

년까지 각각의 2월, 5월, 8월 그리고 11월에 조사된 연안정점관측자료 및 1984년부터 2001년까지의 적조발생 상황 자료를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 적조발생의 연간·월간변화

적조발생은 1989년 한해를 제외하고 전 조사기간에 걸쳐서 매년 발생하는 것을 알 수 있다 (Fig. 2a). 특히 1995년, 1996년, 1997년 그리고 1998년에 많이 발생했는데, 이때 총 발생 일수는 각각 24일, 25일, 15일 그리고 19일로 각각 나타난다. 또한 적조가 발생한 후의 지속일 수를 보면 (Fig. 2b), 1990년 이후부터는 1일을 넘지 않는다. 식물성플랑크톤의 군집은 1994년부터 증가를 하는데 (Fig. 2c), 1995년의 대표 종으로서 편모조류가 그리고 1985년, 1986년, 1996년, 1998년의 4개년에 대한 대표 종으로서 규조류가 많이 나타났다. 1981~2001년의 18년에 걸쳐서 적조의 원인생물인 규조류와 편모조류가 남해 중부해역에서 주로 발생을 하는 것을 알 수 있는데, 대체로 4~10월에 걸쳐서 나타난다. 특히 7월, 8월 그리고 9월에 그 발생빈도가 높다 (Fig. 2d). 전조사기간에 걸친 발생일수를 보면 규조류가 116건으로 63.39%를, 편모조류가 67건으로 36.61%를 보이는데, 규조류의 발생일수가 약 1.75배 높게 나타난다. 대체로 규조류는 4~9월에 걸쳐서 발생하며, 편모조류는 5~10월에 걸쳐서 발생하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 남해 중부해역에서 발생하는 편모조류는 4종으로 알려져 있는데, 그중은 *Coccolodinium Polykrikoides*, *Gymnodinium Mikimotoi*, *Heterosigma Akashiwo*, *Gyrodinium sp.*이다 (Table 1).



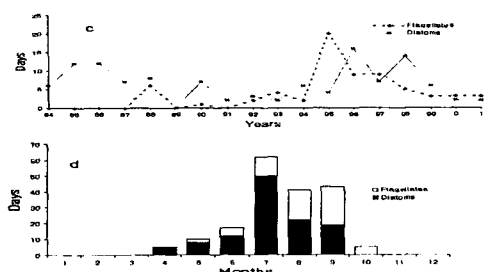


Fig. 2 Annual variation of red tide occurrence during 1984~2001. (a) total number of days and the number of occurrence, (b) proportion of red tide forming duration, (c) the proportion of two major phytoplankton taxonomic groups, and (d) monthly variation of red tide occurrence.

Table 1. Situations of the red tide occurrence during 1984~2001

Year	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
48													475	475	475			
58													523	523	523			
68			470	470				511				47	473	473	473	473	473	473
78	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774	774
88			470	470				511				47	473	473	473	473	473	473
98	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470
08																		

Flagellates
 ▲ Cyanobacteria (Microcystis)
 ● Chlorella (Chlorella)
 ● Gymnodinium (Gymnodinium)

2. 기상인자의 월간변화

Fig. 3은 남해 중부해역의 적조발생건수와 여수 및 고흥지역의 기상인자들(기온, 강수량, 일조시수)에 대한 월간 값들을 편차의 변화 (variations of anomaly)로 나타낸 것이다. 여기서 '+'의 값은 기상인자가 적조발생에 우호적인 조건으로 영향을 미친다는 것을 의미한다. 대체로 적조발생이 높았던 해 (1995년, 1996년, 1997년, 1998년)에 대한 적조발생이 우세한 달 (7월, 8월, 9월)에 대한 (Fig. 3a) 기상학적 특성을 살펴보면 (Fig. 3b, c, d, e, f and g), 이 기간에 기온, 강수량 그리고

일조시수 모두가 '+' 값을 보이는 것을 잘 알 수 있다. 즉, 계절적 특성을 잘 나타내는 따뜻한 기온, 많은 강수량 그리고 높은 일조시수는 적조 발생과 밀접한 상관성을 가진다는 것을 의미한다. Table 2은 전조사기간에 적조가 빈번하게 발생한 7월, 8월 그리고 9월에 대한 기상인자들의 값(기온 및 풍속은 월평균, 강수량 및 일조시수는 월누적) 및 적조발생의 월 총건수를 각각 나타낸다.

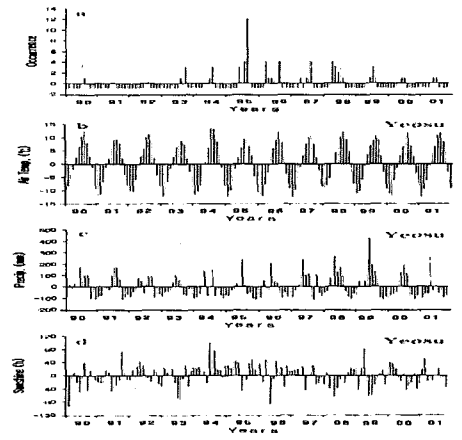


Fig. 3 Monthly variations of deviations to the average in (a) total number of days of red tide occurrence in Mid-South sea, (b) air temperature in Yeosu, (c) precipitation in Yeosu, (d) sunshine duration in Yeosu, (e) air temperature in Goheung, (f) precipitation in Goheung, and (g) sunshine duration in Goheung.

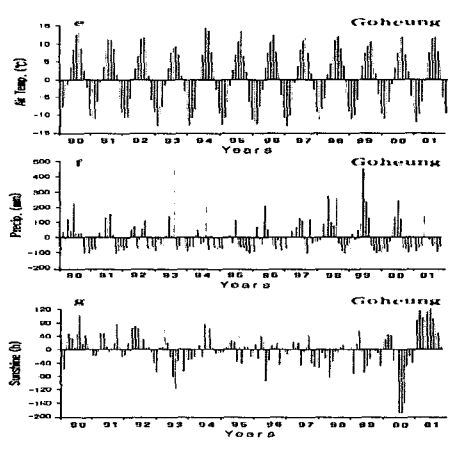


Fig. 3 Continued.

Table 2. Annual average values of meteorological factors

Year	Month	Air Temp (°C)		Precip (mm)		Sunshine(h)		Wind(m/s)		Occurrence	
		Ya.	Co.	Ya.	Co.	Ya.	Co.	Ya.	Co.	Ya.	Co.
		Mean Factors									
1990	7	24.83	26.12	160	152	184.7	235.4	2.68	0.77	5	0
	8	26.95	27.46	214	135.7	235.2	293.3	2.73	0.73	2	0
	9	22.47	22.42	219.6	136	148.9	206.8	4.74	0.91	1	0
1991	7	23.60	24.89	287.1	239	128.4	179.3	3.20	1.36	1	0
	8	23.68	24.74	287.1	259.9	165.5	191.5	4.58	1.40	0	0
	9	22.33	22.19	177	122.6	179.4	209.7	4.15	1.01	0	0
1992	7	24.60	24.98	146.1	90	188.9	224.2	3.03	1.40	1	0
	8	25.58	25.35	204.2	162	187.5	228.8	3.94	1.40	4	0
	9	22.62	21.66	205.7	222	177.8	195.1	4.53	1.57	0	0
1993	7	22.31	22.41	168	120.5	126.1	107.7	3.49	1.52	0	0
	8	23.32	22.85	603	640	120.3	70.8	3.49	1.23	2	0
	9	21.86	20.40	427	22	186.1	156.7	3.14	0.93	0	0
1994	7	27.81	27.97	111.9	71.5	296.2	268.8	3.20	1.31	2	0
	8	27.49	27.19	277.4	343.5	252.2	237.1	3.98	1.75	3	1
	9	23.04	21.25	28.3	25.5	270.3	254.2	3.85	1.01	0	0
1995	7	23.91	24.24	354.2	220.5	147.6	153.7	3.00	1.30	1	0
	8	26.96	27.07	124.2	45	263.7	243.4	2.80	1.28	5	0
	9	21.22	20.10	46.2	42	181.8	148	3.54	1.05	0	5
1996	7	23.62	24.85	159.7	161	185.4	157.9	3.22	1.64	10	0
	8	26.48	25.97	145.8	111.5	248.5	202.3	3.51	1.45	1	0
	9	22.65	21.23	21.9	35.5	205	192.6	3.39	0.96	4	1
1997	7	24.50	24.50	213.2	234.5	149.8	142.8	3.90	1.37	2	0
	8	25.75	25.59	225	215.5	195	183.8	4.31	1.54	5	2
	9	22.11	21.05	22.3	25.5	205.4	204.7	4.76	1.29	2	3
1998	7	24.57	24.44	239.2	205	155	155.1	4.46	2.03	3	0
	8	26.46	25.70	283.2	181	182.5	183.3	3.66	1.55	4	1
	9	23.68	22.27	208.5	371	195.2	180.7	4.01	1.49	2	0
1999	7	23.49	23.91	546.2	559	133.6	126.6	4.46	2.03	2	0
	8	25.03	24.28	309.1	341.5	135.5	139	3.66	1.55	3	1
	9	23.63	22.73	246.2	236	166.5	161.1	4.01	1.49	0	2
2000	7	24.84	25.15	234.4	244	178.5	190.4	4.18	1.57	2	0
	8	26.17	25.70	305.7	351	199.7	0	3.15	1.44	1	1
	9	21.31	20.30	230.1	229.5	151.7	0	6.23	1.66	0	0
2001	7	25.25	25.18	76.2	109	179	302.8	3.30	0.92	2	0
	8	26.20	25.42	123.1	91	196	313.9	4.11	1.08	1	1
	9	22.97	21.42	51.9	48	215.8	282.4	5.27	1.09	0	0

3. 기상인자의 일간변화

적조가 발생한 날을 중심으로 한 사례연구를 위해서, 임의로 최근 2000년 6~8월의 여름철을 선택하였다. 이 기간의 기상인자의 일간변화와 적조가 발생한 날을 여수지역 및 고흥지역에 대해서는 Fig. 4과 Fig. 5에 나타내었다. 이때 기온 및 풍속은 일평균값을, 강수량 및 일조시수는 일누적값을, 바람 벡터는 3시간 간격의 풍향 및 풍속을, 수직막대는 적조발생 일을 의미한다. 즉, 이 기간 동안에 적조가 발생한 날을 중심으로 하여 기상인자들이 적조발생과 어떠한 관계를 가지는 것을 구체적으로 파악하기 위한 것이다. 여수지역의 경우에는 사례연구 기간동안에 적조가 발생한 날수가 3일(7월 3일, 7월 18일, 8월 22일)이다. 그리고 고흥지역의 경우는 단 하루인 8월 23일만 적조가 나타났다.

7월 3일에 여수해역의 가막만 부근에서 적조가 발생했다. 2일전인 7월 1일에 23.4mm가 내렸다.

적조발생 당일의 기상조건을 보면, 강수량은 없었으며, 기온은 24.66°C, 최고기온은 27.3°C, 일조시수는 2.0h, 바람은 주로 남서풍계열, 일평균 풍속은 2.5m/s, 최고 풍속 및 풍향은 5.5m/s 및 200. 이다.

7월 18일에 여수해역의 여수해안~돌산도 해안에서 적조가 발생했다. 4일전인 7월 14일에 54.4mm가 내렸다. 적조발생 당일의 기상조건을 보면, 강수량은 없었으며, 기온은 24.68°C, 최고기온은 29.4°C, 일조시수는 6.9h, 바람은 주로 남서풍계열, 평균 풍속은 2.4m/s, 최고 풍속 및 풍향은 각각 5.1 m/s 및 200. 이다.

8월 22일에 여수해역의 돌산도 부근에서 적조가 발생했다. 2일전인 8월 20일에 27.5mm가 내렸다. 적조발생 당일의 기상조건을 보면, 강수량은 없었으며, 평균기온은 25.85°C, 최고기온은 28.7°C, 일조시수는 10.3h, 바람은 주로 남서풍계열, 평균 풍속은 4.6m/s, 최고 풍속 및 풍향은 각각 7.7 m/s 및 180. 이다.

8월 23일에 고흥해역의 나로도 부근에서 적조가 발생했다. 3일전인 8월 20일에 26.0mm가 내렸다. 적조발생 당일의 기상조건을 보면, 강수량은 없었으며, 평균기온은 24.64°C, 최고기온은 30.7°C, 일조시수는 자료가 없어서 알 수 없었으며, 바람은 주로 남서풍계열, 평균 풍속은 2m/s, 최고 풍속 및 풍향은 각각 3.2m/s 및 200. 이다.

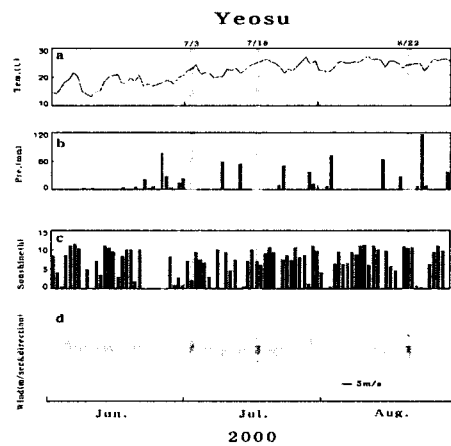


Fig. 4 Daily variations in Yeosu during June~August 2000. Shadow regions denote the time when the red tide was occurred.

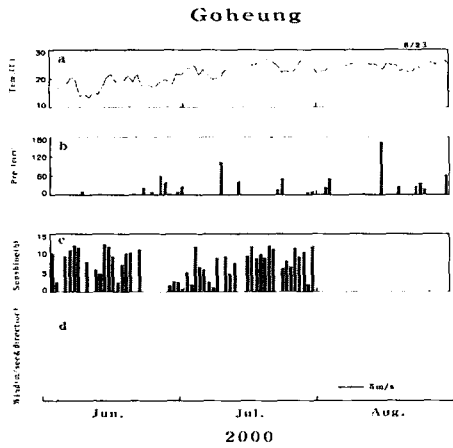


Fig. 5 Daily variations in Goheung during June~August 2000. Shadow regions denote the time when the red tide was occurred.

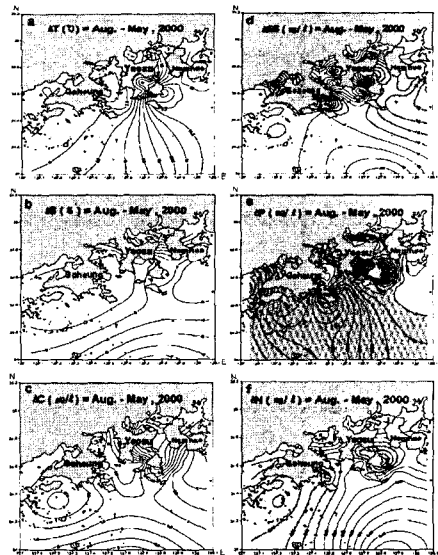


Fig. 6 Areal distributions of deviations (Δ =August-May) of marine factors.

4. 해양인자의 공간분포

해양환경학적으로 적조발생이 가능한 잠재력을 지닌 최적지를 파악하기 위하여, 해양인자들에 대한 5월과 8월간의 차(Δ =8월-5월)를 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림으로부터 유추할 수 있는 것은 8월의 해양인자들은 5월의 해양인자들에 비해서 적조가 발생할 수 있는 호조건을 유지하고 있다는 것을 잘 알 수 있다. 즉, 첫째는 계절적 변화에 의해서 수온은 전 해역에서 높고(Fig. 6a), 둘째는 우기인 8월의 강수량에 의해서 해수가 희석되어 염분이 전 해역에 걸쳐서 떨어지고 (Fig. 6b), 셋째는 적조생물의 증식으로 Chl_a 농도가 전 해역에서 높고(Fig. 6c), 넷째는 육상기원 유기오염물질의 연안 유입에 따라 여수 및 고흥연안에서 부유물질의 농도는 증가하여 비타민류, 미량금속(철, 망간), 특수유기물 등이 식물성플랑크톤의 증식을 촉진시키고(Fig. 6d) 그리고 다섯째는 육상기원 유기오염물질을 미생물이 분해하여 생성된 영양염류인 질산염과 인산염은 적조생물의 소모에 의하여 낮게 나타나는 것(Fig. 6e와 6f)을 알 수 있다. 따라서 기본적인 해양환경조건인 따뜻한 수온과 강수량에 의한 영양염류의 유입만 이루어진다면, 적조생물의 성장과 번식에 제한인자로 작용하는 부유물질(미량원소), 인산염(영양염) 그리고 질산염(영양염)을 가지고 적조가 발생할 수 있는 최적지를 결정할 수 있다.

5. 적조발생 최적지 결정

적조발생 최적지를 선정하기 위해서는 반드시 부유물질은 '+'값을, 인산염은 '-'값을 그리고 질산염은 '-'값을 각각 가져야 한다. 왜냐하면 5월에 비해서 8월은 식물성플랑크톤의 증식이 높아 영양염류인 인산염과 질산염은 소모되어 줄어들고 ($-\Delta$ =8월-5월), 반대로 부유물질은 강수량에 따른 유입으로 농도가 증가하기 때문이다($+\Delta$ =8월-5월). Fig. 7로부터 부유물질, 인산염, 질산염에 대한 각각의 공간분포 그림들을 각각 겹치면 (overlap) 8월의 적조발생 잠재 적지를 선정할 수 있는데, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 여기서 여수~돌산해역, 가막만 북부지역, 남해 일부해역, 나로도해역, 고흥 남부의 일부 연안, 득량만과 인접한 고흥 서부 해역 등이 적조발생 최적지라는 것을 알 수 있다.

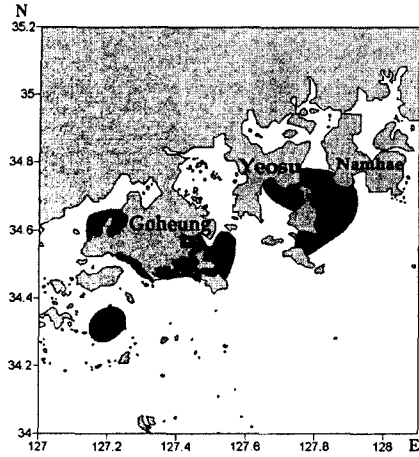


Fig. 7 Areal distributions of proper area for red tide occurrence on August 2000.

IV. 결 론

본 연구 대상지역에서 적조가 발생할 수 있는 일반적인 기상학적 호조건은 최소한 2~4일 전에 23.4~54.5mm(일누적값) 정도의 많은 강수량이 내려야하고, 다음으로 적조발생 당일 적조가 잘 형성될 수 있는 우호적인 기상조건은 24.64~26.48℃(일평균값)의 따뜻한 기온, 2~10.3h(일누적값)의 적절한 일조시수, 2.4~4.6m/s(일평균값)의 풍속 및 남서풍계열의 바람 등이 요구되어진다. 이와 같이 따뜻한 기온과 적절한 풍속을 유지하는 날은 적조생물이 흩어지는 것을 줄이고 적조발생 횟수를 증가시킬 가능성이 높아진다. 한편 적조가 형성된 후의 해양환경학적 특징은 따뜻한 수온, 낮은 염분, 높은 부유물질, 낮은 인산염 및 질산염의 분포를 보였다. 이때 식물성플랑크톤의 성장 제한인자로 작용하는 부유물질, 인산염, 질산염의 공간분포도를 이용해서 적조발생의 잠재력을 지닌 최적지를 결정하였는데, 최적지로서는 여수~돌산해역, 가막만 북부지역, 남해 일부해역, 나로도해역, 고흥 남부의 일부 연안, 득량만과 인접한 고흥 서부 해역이었다. 현장자료와 위성자료간의 비교에서는, 비록 조사된 값의 단위가 각기 달라서 정량적인 비교는 불가능했지만 이 값들의 크기와 공간분포가 유사한 패턴을 유지했다.

사사

본 연구는 한국 과학 재단 특정 기초연구(R01-2002-000-00369-0)지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Hahn, S. D., 1998. History of algal records in Korean coastal waters, In Harmful algal blooms in Korea and China(ed. Kim, H. G., S. G. Lee and C. K. Lee), NFRDI, Korea, pp. 34~43.
- [2] 국립수산진흥원, 1997. 한국 연안의 적조, 280p
- [3] 尹良湖, 2001. 韓國沿岸域における渦鞭毛藻, *Cochlodinium polykrikoides*赤潮の發生機構に関する一つの考察, 日本 プランクトン學會報, 48(2), pp. 113~120.
- [4] Kim, H. G., 1998. Harmful algal blooms in Korean coastal water focused on three fish-killing dinoflagellates(ed. Kim, H. G., S. G. Lee and C. K. Lee), NFRDI, Korea, pp. 1~20.