

정기 환경조사 자료를 이용한 전남 양식어장 입지의 적합성 평가

김상수[†] · 황성자^{*} · 조아영^{*} · 이주희^{*} · 김평중^{**}
국립수산과학원(^{*}연구사 · ^{*}연구원 · ^{**}연구관)

Assessment of Locational Suitability of Aquaculture Grounds in Jeonnam Coastal Area Using the Regular Monitoring Data

Sang-Soo KIM[†] · Seoung-Ja HWANG^{*} · A-Young CHO^{*} · Ju-Hee LEE^{*} · Pyoung-Joong KIM^{**}
[†]National Institute of Fisheries Science(researcher) · ^{*}National Institute of Fisheries Science(research assistant) · ^{**}National Institute of Fisheries Science(senior researcher)

Abstract

This study was conducted to evaluate the locational suitability of aquaculture grounds in Jeonnam coastal area using seawater and sediment quality monitoring data from 2016 to 2018. It was evaluated that the water temperature of February and August in the inner area of Gamak, Yeoja, Deukryang, and Hampyung bay was not suitable for rockfish based on its tolerable temperature range. It is also revealed that the concentrations of dissolved inorganic nitrogen and phosphorus are lower than the suitable laver growth around the coast of Wando, Jindo, especially in Goheung during the culturing period. Moreover, it was evaluated that the status of sediment eutrophication in the inner area of Yeoja, Deukryang, and especially in Gamak bay could affect the growth of mussel or blood cockle by discharging unfavorable gas if anaerobic condition was formed.

Key words : Locational suitability, Aquaculture grounds, Environmental monitoring, Sediment eutrophication

I. 서론

전라남도 연안은 어패류와 해조류 같은 양식생물을 인위적으로 사육하는 천해 양식어업이 성행하는 해역으로써 약 120,000 ha에 이르는 양식면적에서 어패류와 해조류 등 다양한 품종이 양식되고 있다(MOF, 2019).

그러나 최근 기후변화와 연안환경의 악화로 인하여 양식생물의 폐사가 자주 발생하고 있으나 이는 대부분 고정된 인공 구조물 내에서 양식생물물이 사육관리되고 있어 주변 환경이 악화되어

도 회피할 수 있는 기동성이 낮아 피해의 규모가 증가할 가능성이 높다.

이처럼 양식생물의 폐사를 유발하는 주요 원인으로서는 적조(harmful algal blooms) 발생이 알려져 있으며, 이 밖에도 양식생물의 서식가능 수온의 범위를 벗어난 저수온과 고수온 수괴의 출현, 그리고 용존산소의 공급 불량으로 인한 빈산소수괴 발생 등이 보고되었고 영양염류 부족에 의한 김업체의 황백화 현상도 피해를 유발하는 요인으로 보고되어 있다(Cho, 1979; Lee et al., 2013; Lee et al., 2008; Lee et al., 2019).

[†] Corresponding author : 061-690-8960, kim31683@korea.kr

* 이 논문은 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2019026)의 지원으로 수행되었음

이와 같은 환경 악화로 인한 수산피해를 줄이거나 회피할 수 있는 연구의 일환으로 양식해역의 환경상태를 진단할 수 있는 정기적인 환경조사가 수행되고 있으나 조사자료에 근거한 양식어장 위치의 과학적 평가는 부족한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 양식어장과 주변해역에서 정기적으로 실시한 환경조사 자료를 이용하여 전라남도 해역의 대표적인 양식생물인 조피볼락, 새꼬막과 김의 생육에 적합하지 않은 환경상태가 출현한 시기와 해역의 지리 정보를 추출하여 제시함으로써 수산피해 발생 가능성과 양식어장 입지의 적정성을 평가하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 해역

전라남도 양식해역의 수질과 퇴적환경 변동은 섬진강 하구역에서 함평만까지 해역을 10개 해역으로 구분하고 각 해역의 양식어장 분포를 참고하여(MOF, 2015) 55개의 정점을 선정하여 조사하였으며, 조사해역과 정점의 위치는 각각 [Fig. 1]과 <Table 1>과 같다. 조사정점은 수심 1.6 m에서 39.8 m까지 분포하며 평균 수심은 12 m(표준편차 8 m) 이었다

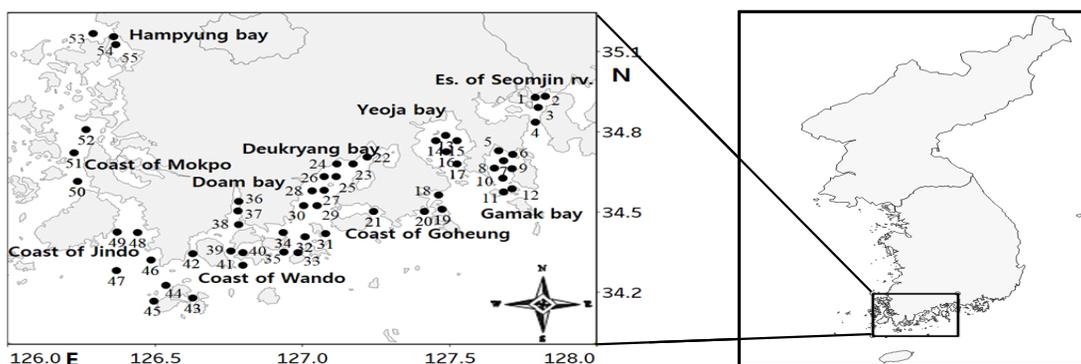
연구 해역의 양식어장 분포를 개략적으로 살펴

보면 가막만의 경우 지중해 담치와 굴 양식장이 주로 위치해 있으며 가막만 남쪽 입구와 동쪽 해역에는 어류 양식장이 산재하여 분포하고 있다. 여자만과 득량만의 내측 해역에는 새꼬막과 피조개 등 살포식 패류양식장이 분포하고 있으며 득량만의 입구 해역에서는 김, 미역과 같은 해조류 양식장이 혼재되어 분포하고 있다.

그리고 완도, 진도, 목포와 신안연안에는 전복, 미역과 다시마 등 패류와 해조류 양식장이 밀집해 있고 함평연안은 김이 주로 양식되고 있다. 이처럼 전라남도 해역은 하나의 해역에서 여러종의 양식생물을 복합적으로 양식하는 특징이 있다.

2. 연구 방법

양식생물의 생육을 저해하거나 폐사를 유발할 수 있는 수질과 퇴적 환경을 조사하기 위하여 수질 환경은 수온(water temperature, WT), 용존산소(dissolved oxygen, DO), 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen, DIN)과 용존무기인(dissolved inorganic phosphorus, DIP)의 분포를 조사하였으며, 퇴적환경은 퇴적물의 부영양화 상태를 평가할 수 있는 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD)과 산휘발성황화물(acid volatile sulfide, AVS)을 조사하였다.



[Fig. 1] Map showing stations(n=55) for environmental monitoring of aquaculture grounds in Jeollanamdo coastal area. Black circle and number indicate location and its number.

<Table 1> Monitoring station numbers allocated to each coastal area

Coastal area	Station numbers
Estuary of Seomjin river	1 ~ 4
Gamak bay	5 ~ 12
Yeoja bay	13 ~ 17
Coast of Goheung	18 ~ 21
Dukryung bay	22 ~ 30
Coast of Wando	31 ~ 35, 39 ~ 45
Doam bay	36 ~ 38
Coast of Jindo	46 ~ 50
Coast of Mokpo	51 ~ 52
Hampyung bay	53 ~ 55

수질환경 조사는 2016년부터 2018년까지 3년 동안 짝수 달(even-numbered month)에 조사하였으며(6회/연), 퇴적환경 조사는 같은 기간 동안 2월과 8월에 각각 조사하였다(2회/연).

각 항목의 조사방법을 요약하면 수온과 용존산소는 CTD(Ocean seven 316, Italy)를 이용하여 각 정점에서 표층(해수면으로부터 수심 1 m 이내)과 저층(해저면에서 상부 1 m 이내)에서 각각 측정하였다. DIN과 DIP의 분석을 위한 해수 시료는 Niskin sampler로 채취하고 현장에서 membrane filter (Whatman, 0.45 μ m)로 여과한 다음, 마개가 부착된 폴리프로필렌 시험관에 넣어 냉동상태(-20 $^{\circ}$ C 이하)로 보관한 후 실험실로 운반하여 영양염 분석기(QuAAtro 39, Seal Analytical GmbH)를 이용하여 분석하였다.

그리고 해저퇴적물은 Van Veen grab으로 채취한 다음, 상층 1~2 cm의 퇴적물을 폴리에틸렌 병에 담아 냉동 보관 후 실험실로 운반하여 해양환경공정시험기준(MOF, 2014)에 따라 COD와 AVS를 분석하였다.

조사분석한 결과 중 본 연구의 평가에 이용한 자료는 수온의 경우 양식생물의 서식가능 수온 범위를 참고하여 2월과 8월에 조사한 자료를 분석하였으며, 용존산소는 NIFS(2009)가 제안한 빈산소수괴 판정 기준(DO 3 mg/L 이하) 보다 낮은 용존산소의 분포가 나타난 6월, 8월과 10월의 조

사자료를 분석, 평가하였다.

10월부터 다음해 4월까지인 김의 양식순기(NIFS, 2018)를 참고하여 2월, 4월, 10월과 12월에 표층에서 조사된 DIN과 DIP 자료를 평가에 이용하였으며 퇴적환경의 COD와 AVS자료는 패류의 양식시기를 참조하여 2월과 8월에 조사된 결과를 모두 이용하였다. 조사결과의 통계적 차이는 t-검정방법을 이용하여 95%의 신뢰구간에서 유의성을 검정하였다(Excel, Microsoft).

Ⅲ. 연구 결과

1. 수온 분포

2016년부터 2018년까지 각 정점에서 조사된 수온 결과 중 가장 낮은 수온과 가장 높은 수온을 보인 2월과 8월의 결과를 요약하면 <Table 2>와 같다.

2016년부터 2018년까지 3년간의 모든 2월에 10개 해역 55개 정점에서 나타난 표층 수온은 -0.2 $^{\circ}$ C에서 9.7 $^{\circ}$ C의 범위를 보였으며 평균은 5.5 $^{\circ}$ C(표준편차 2.2 $^{\circ}$ C)이었고, 저층 수온은 -0.3 $^{\circ}$ C에서 9.2 $^{\circ}$ C의 범위를 보였으며 평균은 5.5 $^{\circ}$ C(표준편차 2.1 $^{\circ}$ C)이었다. 2월의 표층 수온과 저층 수온 간에는 유의한 차이가 없었으나($p>0.05$), 지리적으로는 육지에 인접한 연안 내만의 수온이 외양 해역의 수온보다 대체로 낮은 경향을 보였다.

3년 간의 모든 2월에 10개 해역 표층에서 나타난 최저 수온은 함평만의 -0.2 $^{\circ}$ C가 가장 낮은 값이었으며 완도연안의 6.1 $^{\circ}$ C가 가장 높은 값이었다.

저층의 최저 수온도 함평만의 -0.3 $^{\circ}$ C가 가장 낮았으며 완도연안의 6.2 $^{\circ}$ C가 가장 높은 결과인 것으로 나타났다.

그리고 2016년부터 2018년까지 3년 동안 모든 8월에 10개 해역 표층에서 조사된 수온은 21.2 $^{\circ}$ C에서 31.5 $^{\circ}$ C의 범위를 보인 것으로 나타났고 평균은 27.3 $^{\circ}$ C(표준편차 2.0 $^{\circ}$ C)이었으며 저층

<Table 2> Water temperature (WT) of the coastal area in Jeollanamdo province from 2016 to 2018

Coastal area		WT (°C)			
		February		August	
		S*	B**	S	B
Estuary of Seomjin river	Range	4.8~9.7	5.0~8.3	26.6~28.5	25.8~28.3
	Mean±SD	6.9±1.6	6.9±1.4	27.8±0.6	27.2±0.9
Gamak bay	Range	2.2~7.9	2.2~7.8	26.0~30.2	25.9~28.5
	Mean±SD	5.7±1.6	5.7±1.6	27.8±1.1	27.3±0.8
Yeoja bay	Range	0.4~6.1	0.3~6.1	28.4~31.3	28.1~30.9
	Mean±SD	3.5±1.8	3.5±1.9	29.6±1.0	29.1±1.0
Coast of Goheung	Range	2.7~7.8	3.8~6.6	26.4~28.6	25.3~28.1
	Mean±SD	5.3±1.5	5.2±0.8	27.7±0.7	27.3±0.8
Dukryung bay	Range	1.3~7.6	1.3~6.9	26.7~30.2	25.3~30.2
	Mean±SD	4.3±1.8	4.1±1.6	28.6±0.8	27.9±1.1
Coast of Wando	Range	6.1~9.3	6.2~9.2	22.0~27.7	17.6~27.0
	Mean±SD	7.9±0.8	7.7±0.8	25.2±1.5	24.3±2.0
Doam bay	Range	3.0~6.8	2.7~6.8	26.9~31.5	25.8~31.2
	Mean±SD	4.6±1.3	5.1±1.3	28.5±1.5	27.9±1.7
Coast of Jindo	Range	2.5~7.3	2.1~7.3	21.2~27.1	19.9~27.0
	Mean±SD	5.7±1.6	5.6±1.6	24.8±1.8	24.2±2.0
Coast of Mokpo	Range	4.2~6.6	3.2~6.7	24.0~27.0	24.0~27.0
	Mean±SD	5.2±0.8	5.1±1.2	25.5±1.0	25.0±1.0
Hampyung bay	Range	-0.2~3.9	-0.3~3.9	25.7~30.7	25.7~30.4
	Mean±SD	2.0±1.5	1.9±1.5	28.4±2.1	28.1±2.0

* Surface layer, ** Bottom layer

수온은 표층 수온보다 다소 낮은 17.6 °C에서 31.2 °C의 범위를 보였고 평균은 26.6 °C(표준편차 2.2 °C)인 것으로 나타났다.

2016년부터 2018년까지 3년동안의 모든 8월에 조사된 수온 중 표층의 최고 수온은 도암만의 31.5 °C이었으며, 목포연안의 27.0 °C가 가장 낮은 값이었다. 저층의 최고 수온의 분포도 표층 수온 분포와 유사하게 나타나 도암만에서 조사된 31.2 °C가 가장 높은 수온이었고 완도연안, 진도연안과 목포연안에서 나타난 27.0 °C가 각 해역별 최고 수온 중 가장 낮은 결과이었다.

그러나 8월 수온의 지리적 분포는 2월의 수온 분포 특징과는 반대로 육지에 인접한 연안 내측 해역의 수온이 외양 해역의 수온보다 대체로 높은 경향을 보였다.

본 연구 해역에서 조사된 수온 분포의 특징은

2월의 경우 표층의 평균 수온은 완도연안을 제외한 10개 해역에서 평균 수온이 7 °C 이하로 하강하는 것으로 나타났으며 8월에는 10개 해역 중 진도연안, 완도연안과 목포연안을 제외한 7개 해역의 해역별 평균 수온이 28 °C에 근접하거나 초과하는 상태까지 상승하는 것으로 나타났다.

2. 용존산소 분포

2016년부터 2018년까지 3년 동안 전라남도 10개 양식해역에서 6월, 8월과 10월에 조사된 용존산소 결과를 요약하면 <Table 3>와 같다. 표층의 용존산소 분포는 6월의 경우 4.0 mg/L에서 8.1 mg/L(평균 6.2 mg/L)의 범위를 보였으며 8월에는 4.1~11.1 mg/L(평균 6.2 mg/L)의 범위를 보인 것으로 나타났고 10월에는 4.9~9.7 mg/L(평균 6.9 mg/L)의 범위를 보였다.

<Table 3> Dissolved oxygen (DO) of the coastal area in Jeollanamdo province from 2016 to 2018

Coastal area		DO (mg/L)					
		June		August		October	
		S*	B**	S	B	S	B
Estuary of Seomjin river	Range	4.3~7.1	4.3~8.2	4.5~7.1	4.0~6.1	4.9~8.0	5.0~8.3
	Mean±SD	5.8±1.0	6.1±1.4	5.5±1.0	5.0±0.8	6.5±1.2	6.2±1.2
Gamak bay	Range	4.0~7.4	0.3~7.5	4.1~10.8	2.5~9.1	5.6~9.5	3.0~8.9
	Mean±SD	6.0±1.2	5.7±1.7	6.5±1.9	5.9±1.7	6.8±1.1	6.6±1.3
Yeoja bay	Range	4.1~7.2	3.8~6.9	4.4~11.1	4.0~11.0	6.3~9.7	5.6~9.2
	Mean±SD	5.6±1.2	5.3±1.1	7.0±2.6	6.4±2.4	7.6±1.1	7.2±1.1
Coast of Goheung	Range	4.5~7.1	4.5~7.7	5.2~7.6	4.9~7.1	5.9~8.1	6.0~8.5
	Mean±SD	5.9±0.9	6.1±1.1	6.2±0.9	5.9±0.8	6.9±0.8	6.9±0.9
Dukryung bay	Range	4.5~7.0	4.4~7.3	4.9~8.8	4.5~7.0	5.7~8.7	5.7~7.9
	Mean±SD	5.9±0.9	5.8±1.0	6.2±1.1	5.9±0.8	6.9±0.9	6.7±0.8
Coast of Wando	Range	5.3~8.0	5.1~8.5	5.2~7.5	5.0~7.1	5.5~7.9	5.5~7.9
	Mean±SD	6.6±0.9	6.8±1.1	6.3±0.7	6.2±0.7	6.6±0.8	6.6±0.8
Doam bay	Range	4.5~6.9	4.2~7.3	4.4~6.7	4.2~6.4	6.2~7.9	6.0~7.6
	Mean±SD	5.9±0.9	5.9±1.1	5.5±0.9	5.1±0.9	6.9±0.6	6.5±0.5
Coast of Jindo	Range	5.4~8.1	5.1~8.4	5.4~7.1	5.3~7.1	5.6~8.0	5.4~8.0
	Mean±SD	6.7±0.8	6.7±1.0	6.3±0.6	6.3±0.6	6.8±0.9	6.6±0.9
Coast of Mokpo	Range	6.0~7.3	5.9~8.0	5.6~6.8	5.5~6.7	5.5~7.5	5.4~7.4
	Mean±SD	6.7±0.5	6.9±0.8	6.2±0.4	6.1±0.4	6.6±0.8	6.5±0.8
Hampyung bay	Range	6.0~7.2	6.0~7.0	4.8~6.5	4.6~6.2	5.7~8.2	5.7~8.1
	Mean±SD	6.6±0.4	6.6±0.4	5.7±0.7	5.5±0.7	7.1±1.1	7.1±1.1

* Surface layer, ** Bottom layer

그리고 저층의 용존산소는 6월에 0.3~8.5 mg/L (평균 6.2 mg/L)의 범위를 보였으며 8월에는 2.5~11.0 mg/L(평균 5.9 mg/L)의 범위를 보였고 10월에는 3.0~9.2 mg/L(평균 6.7 mg/L)의 범위를 보인 것으로 나타났다.

6월부터 8월까지 전남 해역 표층의 용존산소는 4.0 mg/L 이상의 분포를 보였으나 저층 용존산소는 일부 해역에서 3 mg/L 이하의 분포를 보인 것으로 나타났다.

3. 영양염류 분포

본 연구의 10개 해역의 표층에서 김의 양식순

기에 해당하는 시기인 2월, 4월, 10월과 12월에 각각 조사된 DIN과 DIP 결과를 요약하면 <Table 4>, <Table 5>와 같다.

2월에 조사된 DIN 분포는 0.006~0.323 mg/L(평균 0.092 mg/L)의 범위를 보였으며 4월에는 0.004~0.974 mg/L(평균 0.073 mg/L)의 범위를 보였고, 10월에는 0.006~0.850 mg/L(평균 0.108 mg/L)의 범위와 12월에는 0.007~0.325 mg/L(평균 0.111 mg/L)의 범위를 보인 것으로 나타났다.

3년 동안의 조사결과 중 12월에 조사된 DIN의 평균 농도가 다른 시기에 비해 상대적으로 높았고 4월의 평균 농도가 상대적으로 낮게 나타났다.

<Table 4> Dissolved inorganic nitrogen (DIN) of the surface layer in Jeollanamdo coastal area from 2016 to 2018

Coastal area		DIN (mg/L)			
		February	April	October	December
Estuary of Seomjin river	Range	0.032~0.257	0.030~0.974	0.015~0.850	0.078~0.270
	Mean±SD	0.111±0.071	0.220±0.275	0.234±0.239	0.153±0.057
Gamak bay	Range	0.007~0.145	0.005~0.069	0.015~0.314	0.016~0.158
	Mean±SD	0.060±0.038	0.031±0.020	0.098±0.071	0.089±0.035
Yeoja bay	Range	0.006~0.039	0.013~0.105	0.006~0.226	0.007~0.211
	Mean±SD	0.025±0.012	0.055±0.026	0.057±0.061	0.084±0.071
Coast of Goheung	Range	0.006~0.132	0.006~0.120	0.016~0.119	0.008~0.140
	Mean±SD	0.057±0.046	0.039±0.035	0.056±0.037	0.082±0.045
Dukryung bay	Range	0.006~0.126	0.004~0.098	0.018~0.162	0.028~0.209
	Mean±SD	0.038±0.031	0.020±0.021	0.056±0.041	0.086±0.061
Coast of Wando	Range	0.068~0.206	0.028~0.128	0.032~0.222	0.070~0.175
	Mean±SD	0.133±0.042	0.081±0.026	0.087±0.051	0.126±0.028
Doam bay	Range	0.048~0.126	0.029~0.266	0.023~0.376	0.021~0.325
	Mean±SD	0.085±0.022	0.099±0.083	0.125±0.117	0.129±0.090
Coast of Jindo	Range	0.058~0.199	0.042~0.144	0.061~0.213	0.047~0.145
	Mean±SD	0.134±0.044	0.085±0.031	0.108±0.043	0.107±0.029
Coast of Mokpo	Range	0.137~0.323	0.077~0.198	0.132~0.287	0.122~0.208
	Mean±SD	0.198±0.060	0.147±0.042	0.216±0.056	0.155±0.027
Hampyung bay	Range	0.032~0.316	0.045~0.154	0.141~0.388	0.063~0.207
	Mean±SD	0.161±0.118	0.078±0.035	0.243±0.097	0.155±0.054

<Table 5> Dissolved inorganic phosphorus (DIP) of the surface layer in Jeollanamdo coastal area from 2016 to 2018

Coastal area		DIP (mg/L)			
		February	April	October	December
Estuary of Seomjin river	Range	0.004~0.021	0.002~0.015	0.006~0.035	0.012~0.026
	Mean±SD	0.013±0.006	0.007±0.005	0.020±0.011	0.018±0.005
Gamak bay	Range	0.001~0.017	N.D.*~0.010	N.D.*~0.039	0.001~0.022
	Mean±SD	0.009±0.005	0.004±0.003	0.011±0.009	0.012±0.007
Yeoja bay	Range	0.001~0.008	0.002~0.011	N.D.*~0.019	N.D.*~0.024
	Mean±SD	0.004±0.003	0.005±0.003	0.006±0.007	0.010±0.008
Coast of Goheung	Range	N.D.*~0.012	N.D.*~0.009	N.D.*~0.018	0.001~0.018
	Mean±SD	0.005±0.005	0.003±0.003	0.007±0.007	0.009±0.007
Dukryung bay	Range	N.D.*~0.012	N.D.*~0.026	0.002~0.050	N.D.*~0.025
	Mean±SD	0.005±0.003	0.002±0.005	0.012±0.010	0.012±0.009
Coast of Wando	Range	N.D.*~0.023	0.001~0.014	0.001~0.028	0.001~0.029
	Mean±SD	0.012±0.007	0.008±0.004	0.010±0.008	0.015±0.009
Doam bay	Range	0.001~0.014	0.001~0.030	0.004~0.042	N.D.*~0.043
	Mean±SD	0.007±0.005	0.012±0.011	0.020±0.012	0.017±0.015
Coast of Jindo	Range	N.D.*~0.019	0.002~0.015	0.006~0.016	N.D.*~0.022
	Mean±SD	0.010±0.007	0.008±0.005	0.009±0.003	0.012±0.008
Coast of Mokpo	Range	0.002~0.021	0.007~0.013	0.011~0.025	0.006~0.023
	Mean±SD	0.014±0.008	0.010±0.002	0.018±0.006	0.016±0.007
Hampyung bay	Range	N.D.*~0.021	0.006~0.014	0.023~0.037	0.014~0.029
	Mean±SD	0.010±0.008	0.008±0.003	0.029±0.005	0.020±0.006

* Non detected

<Table 6> COD and AVS in the coastal sediments of Jeollanamdo province from 2016 to 2018

Coastal area		COD(mg/g.dw)		AVS(mg/g.dw)	
		February	August	February	August
Estuary of Seomjin river	Range	1.6~24.9	6.3~24.6	N.D.*~0.45	0.01~0.55
	Mean±SD	15.1±6.7	14.9±5.6	0.16±0.17	0.16±0.15
Gamak bay	Range	12.1~35.3	10.6~38.6	N.D.*~0.55	N.D.*~1.27
	Mean±SD	17.4±7.0	16.6±6.5	0.16±0.17	0.24±0.28
Yeoja bay	Range	11.8~16.8	10.3~18.9	N.D.*~0.24	N.D.*~0.48
	Mean±SD	13.9±1.5	14.7±2.6	0.07±0.07	0.13±0.13
Coast of Goheung	Range	5.6~12.8	5.1~14.2	N.D.*~0.14	0.01~0.30
	Mean±SD	9.7±2.1	10.5±2.5	0.04±0.05	0.08±0.08
Dukryung bay	Range	8.5~17.0	9.4~17.0	N.D.*~0.56	0.01~0.30
	Mean±SD	13.0±2.2	12.4±1.7	0.13±0.14	0.14±0.08
Coast of Wando	Range	6.7~21.8	3.4~17.9	N.D.*~0.34	N.D.*~0.60
	Mean±SD	13.1±3.0	12.2±3.0	0.07±0.08	0.11±0.13
Doam bay	Range	6.1~16.1	4.5~16.9	N.D.*~0.32	N.D.*~0.16
	Mean±SD	11.7±3.0	9.2±3.9	0.06±0.10	0.04±0.05
Coast of Jindo	Range	5.4~19.0	3.5~14.2	N.D.*~0.31	N.D.*~0.20
	Mean±SD	11.5±4.5	7.8±3.4	0.05±0.09	0.06±0.08
Coast of Mokpo	Range	2.2~15.2	1.2~10.2	N.D.*~0.07	N.D.*~0.05
	Mean±SD	9.9±3.9	7.2±3.1	0.03±0.02	0.02±0.02
Hampyung bay	Range	5.3~15.3	2.9~11.4	N.D.*~0.24	N.D.*~0.09
	Mean±SD	8.7±3.2	7.6±2.5	0.06±0.09	0.03±0.03

* Non detected

2016년부터 2018년까지 3년 동안 해역별 평균 DIN 농도는 섬진강하구역에서 0.180 mg/L로 나타나 10개 해역 중 가장 높았으며 득량만과 여자만의 평균 농도가 각각 0.050 mg/L와 0.055 mg/L로 나타나 상대적으로 낮은 분포를 보였다.

그리고 10개 해역의 표층에서 조사한 DIP의 분포는 2월의 경우 N.D.*~0.023 mg/L(평균 0.009 mg/L)의 범위였으며 4월에는 N.D.*~0.030 mg/L(평균 0.006 mg/L)의 범위를 보였고, 10월에는 N.D.*~0.050 mg/L(평균 0.012 mg/L)의 범위를 보였으며 12월에는 N.D.*~0.043 mg/L(평균 0.014mg/L)의 범위인 것으로 나타났다. 이와 같이 조사시기 별로는 2월과 4월의 DIP 평균이 10월과 12월의 평균보다 낮게 나타났다. 이처럼 시기별로 분포의 차이를 보인 것은 동계에 내만에서 발생하는 플랑크톤 증식과 춘계의 증식에 의한 DIP의 소모 때문으로 판단되었다(Yang et al., 1995). 지리적

로는 2월과 4월에 섬진강하구, 가막만, 여자만 그리고 김양식장이 산채해 있는 고흥연안과 득량만의 DIP 농도가 다른 해역에 비해 상대적으로 낮게 나타났다.

4. 퇴적물의 COD와 AVS 분포

전라남도의 양식해역 퇴적물의 부영양화 상태를 알아보기 위하여 COD와 AVS를 조사한 결과는 <Table 6>과 같다.

2016년부터 2018년까지 전라남도 양식해역에서 조사된(매년 2월과 8월) 퇴적물의 COD는 1.2 mg-O₂/g.dw에서 38.6 mg-O₂/g.dw의 범위를 보였으며 평균은 12.6 mg-O₂/g.dw(표준편차 4.7 mg-O₂/g.dw)인 것으로 나타났다. 조사 시기별로 살펴보면 2월에 조사한 COD는 1.6~35.3 mg-O₂/g.dw의 범위(평균 13.1±표준편차 4.7 mg-O₂/g.dw)를 보였고, 8월에는 1.2~38.6 mg-O₂/g.dw의 범위(평균 12.2±표

준편차 4.7 mg-O₂/g.dw)를 보였다. 2월과 8월에 각각 조사된 COD결과는 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

그리고 같은 기간동안 조사된 AVS는 N.D.에서 1.27 mg-S/g.dw까지의 범위에서 분포하였으며 평균은 0.11 mg-S/g.dw(표준편차 0.14 mg-S/g.dw)이었다. 조사월별 결과를 보면 2월의 경우 N.D.~0.56 mg-S/g.dw의 범위를 보였고 평균과 표준편차는 각각 0.09 mg-S/g.dw와 0.12 mg-S/g.dw이었으며, 8월에는 N.D.~1.27 mg-S/g.dw의 범위를 보였고 평균은 0.12 mg-S/g.dw(표준편차 0.15 mg-S/g.dw)인 것으로 나타났다.

IV. 결론

전라남도 연안의 양식해역에서 2016년부터 2018년까지 조사된 수질과 퇴적환경 조사결과를 분석하여 양식생물 생육에 적합하지 않은 저수온, 고수온, 빈산소와 빈영양 수피가 출현한 시기와 해역의 지리적 위치를 분석하여 현존 양식어장 입지의 적합성을 평가하고자 하였다.

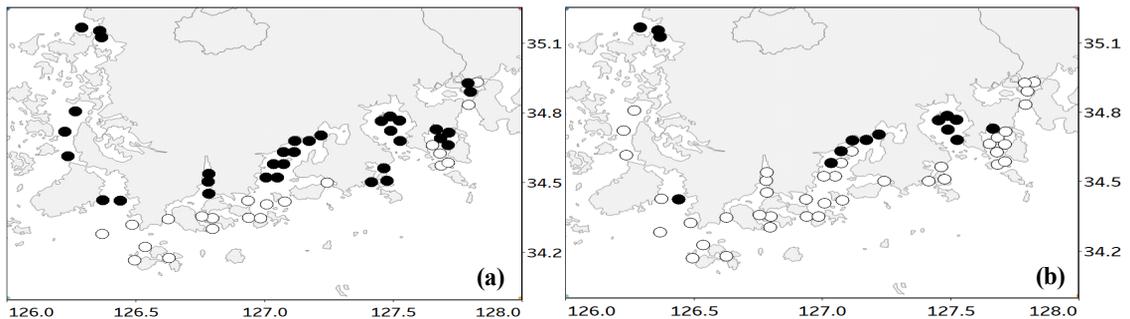
어류와 패류는 변온 동물(poikilothermal animal)이며 스스로 체온 조절이 어려워 체온 조절을 외부 환경인 수온에 의존한다. 양식생물의 포함한 해양생물은 건강상태와 주변 환경조건에 따라 차이를 보이지만 생존과 서식에 적합한 고유한 수

온 범위를 가지고 있다(Coutant, 1977). 이처럼 외부 수온이 어패류의 서식 가능 범위를 벗어나면 양식생물은 생육이 저해되거나 폐사할 수 있으므로 수온은 양식생물의 생육과 생존에 중요한 환경인자이다. 그러나 북반구의 수온은 일반적으로 겨울철에 가장 낮고 여름철에 가장 높은 계절적 변동 특성을 가지고 있으므로 이 기간 동안 나타날 수 있는 수온의 극한값은 양식생물의 적합 서식 수온 범위를 벗어날 가능성이 있다.

본 연구에서는 전라남도 연안에서 가장 많이 생산되고 있는 조피볼락과 새꼬막을 선택하여(KOSTAT, 2018) 이 양식생물의 서식가능 수온범위를 벗어난 수온의 출현을 분석하고자 하였다.

조피볼락의 서식가능 수온 범위는 5 °C~28 °C 인 것으로 알려져 있으며(Kim et al., 2001; Lyu et al., 2018), 새꼬막 성체(adult individual)의 LT50은 2.09 °C 이하와 27.72 °C 이상인 것으로 알려져 있다(Shin et al., 2005).

먼저 조피볼락의 서식가능 하한 수온(5°C)을 기준으로 2016년부터 2018년까지 전라남도 연안 양식어장 주변에서 5°C 미만의 수온이 표층에서 1회 이상 출현한 시기와 해역의 위치를 분석한 결과, 출현 시기는 모두 2월이었으며, 지리적 위치는 가막만 북부해역, 여자만, 고흥연안의 나로도 주변 해역, 득량만, 도암만, 진도연안 북부해역과 함평연안인 것으로 나타났다([Fig. 2(a)]).



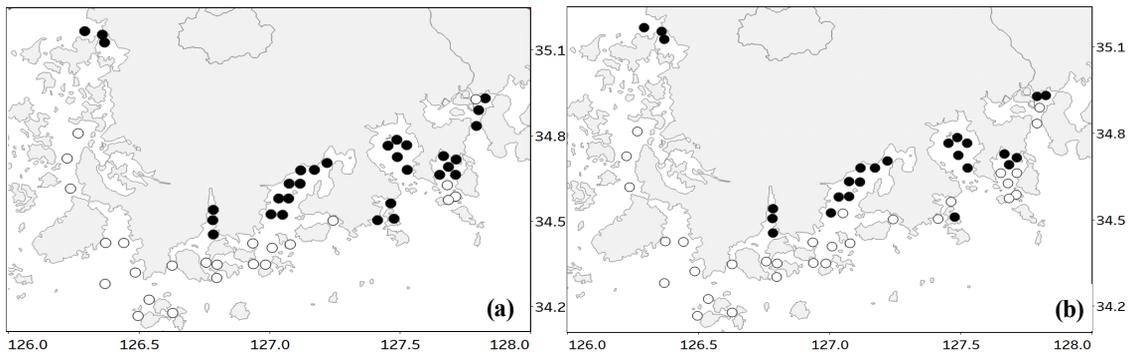
[Fig. 2] Location of station where (a) surface WT below 5°C, (b) bottom WT below 2.0°C was detected more than once from 2016 to 2018; Black circle indicates the station.

그리고 새꼬막 생육에 적합하지 않은 저수온이 출현한 해역의 위치를 알아보기 위하여 새꼬막의 LT50의 하한 수온을 기준으로 3년 동안 저층에서 2.09 °C 이하의 저수온이 1회 이상 출현한 시기와 위치를 분석한 결과, 시기는 2월이었으며, 해역 위치는 여자만, 득량만의 북부 내측 해역과 함평만인 것으로 나타났다([Fig. 2(b)]).

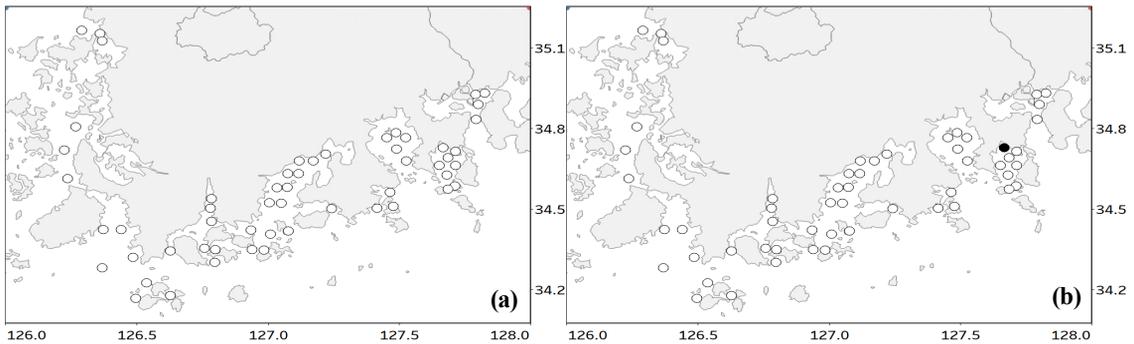
그리고 어패류는 서식가능 수온 범위를 초과한 높은 수온에 의해서도 폐사될 수 있으므로 어패류 중 조피볼락과 새꼬막의 서식가능 수온과 LT50의 상한 수온으로 각각 보고된 28 °C와 27.72 °C 중 자료분석의 간편성을 위하여 28 °C를 기준으로 하여 이 수온을 초과하는 고수온이 표층과 저층에서 1회 이상 관측된 해역을 분석한 결과, 표층 수온이 28 °C를 초과한 것으로 나타

난 정점이 위치한 해역은 섬진강 하구역, 가막만 북부해역, 여자만, 고흥의 내나로도 주변 해역, 득량만, 도암만과 함평만이었으며([Fig. 3(a)]), 저층의 수온이 28 °C를 초과한 것으로 나타난 정점이 위치한 해역은 섬진강하구 해역, 가막만 북부해역, 여자만, 고흥연안의 내나로도 주변 해역, 득량만, 도암만과 함평만인 것으로 나타났다([Fig. 3(b)]).

그리고 28 °C를 초과한 수온이 나타난 대부분의 해역은 표층과 저층의 수온이 동시에 28 °C를 초과한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 내만 해역의 경우 수심이 얕아 수심이 깊은 외양 해역보다 겨울철에 쉽게 냉각되고 여름철에는 쉽게 가열되기 때문으로 판단된다(Lee et. al, 1990).



[Fig. 3] Location of station where WT above 28°C was detected more than once from 2016 to 2018 (a) in surface layer, (b) bottom layer; Black circle indicates the station.



[Fig. 4] Location of station where DO below 3 mg/L was detected more than once from 2016 to 2018 (a) in surface layer, (b) bottom layer; Black circle indicates the station.

것으로 나타난 것도 이러한 내만 해역의 수온변화의 특징을 반증할 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 용존산소(dissolved oxygen)는 모든 해양생물의 생존에 필수적인 원소이며 용존산소가 부족하면 양식생물도 생존하기 어렵다. 해양에서 용존산소가 3 mg/L이하의 상태가 되면 패류의 폐사가 발생하고 2 mg/L이하인 상태가 되면 대부분의 해양생물에게 피해가 발생하는 것으로 알려져 있다(Sekine et al., 1995).

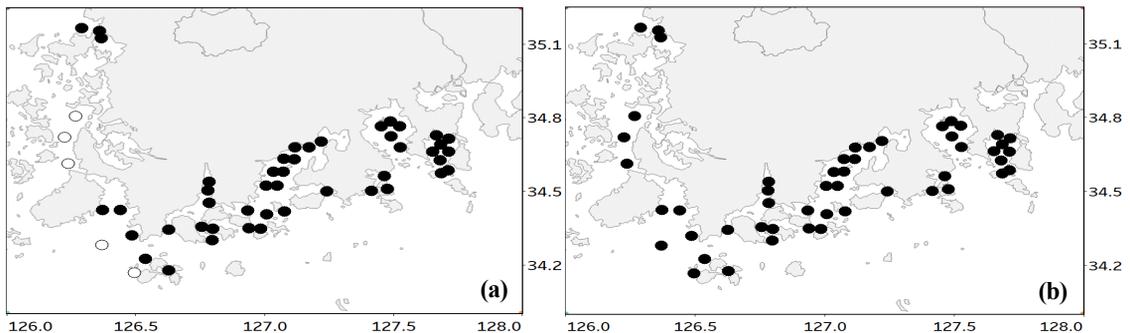
연구해역의 표층에서 3년간 조사된 용존산소의 농도는 모두 4.0 mg/L 이상의 상태인 것으로 나타나 표층에서 용존산소 부족으로 인한 양식생물의 피해 발생 가능성은 낮은 것으로 판단되었으나 저층의 용존산소는 시기와 해역에 따라 양식생물 생육에 부적합한 빈산소 상태를 보인 것으로 나타났으며 특히, 가막만 북부 내만해역의 용존산소 농도는 2016년과 2017년의 6월, 8월과 10월에 빈산소수위 기준인 3 mg/L이하(NIFS, 2009)보다 낮은 분포를 보인 것으로 나타났다(Fig. 4).

질소(N)와 인(P)은 김과 같은 해조류의 세포성장과 단백질 합성에 중요한 원소이다. 이들 2가지 원소가 부족하면 성장이 제한을 받고 김 엽체의 색깔이 황백색으로 변화하여 결국 폐사한다고 보고되었다. 양식 김의 황백화 현상은 해수 중 용존무기질소(DIN, $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) 농도가 0.07 mg/L 이하인 상태가 지속되거나, 용존무기

인(DIP, $\text{PO}_4\text{-P}$)의 농도가 0.006 mg/L 이하 상태가 지속되면 발생하는 것으로 알려져 있다(Matsuoka et al., 2005; Ishii et al., 2008; Tanda and Harada 2012).

본 연구에서 구분한 10개 연구해역 중 김 양식어장은 섬진강 하구역을 제외한 9개 해역에 주로 분포하고 있으며 양식가능 기간은 품종에 따라 다소 차이는 있으나 대체로 10월부터 이듬해 4월까지인 것으로 알려져 있다(NIFS, 2018). 이러한 지리적, 생물학적 특성을 기준으로 2016년부터 2018년까지의 모든 2월, 4월, 10월과 12월에 표층에서 조사된 결과를 이용하여 각 정점에서 DIN의 농도가 1회 이상 0.07 mg/L 이하를 기록한 정점의 위치를 분석한 결과는 [Fig. 5(a)]와 같다.

DIN은 목포연안(st.50~st.52)과 완도의 보길도 서측의 일부 정점(st. 45와 st. 47)을 제외한 모든 정점에서 0.07 mg/L 이하 상태를 기록한 것으로 나타났다. DIN 농도가 0.07 mg/L 이하의 상태를 보인 정점이 위치한 해역을 <Table 4>에 나타낸 바와 같이 조사시기별로 살펴보면 2월에는 가막만, 여자만, 고흥군의 나로도 주변해역, 득량만, 도암만의 일부, 완도 소안도 해역, 전남의 송지면 주변해역과 함평만에서 나타났고 4월에는 가막만, 여자만, 고흥연안, 득량만, 도암만, 노화도 주변해역을 제외한 완도연안, 진도연안 그리고 함평만에서 나타났다.



[Fig. 5] Location of station where (a) DIN below 0.07 mg/L, (b) DIP below 0.006 mg/L was detected more than once in every February, April, October, and December of 2016 to 2018; Black circles indicate those stations.

10월의 경우 가막만, 여자만, 고흥연안, 득량만, 도암만, 완도연안과 진도의 일부 해역이었으며, 12월에는 가막만 북부해역, 여자만, 고흥의 나로도 주변해역, 득량만, 도암만, 해남의 송지면 주변 해역과 함평만의 입구 해역에서 나타났다.

이처럼 전남의 김 양식어장이 위치한 대부분의 해역에서 DIN의 농도가 0.07 mg/L 이하의 상태가 3년 동안 1회 이상 나타났으며 특히 고흥의 내나로도 동편 해역과 득량만의 득량도 서편 해역의 DIN은 0.07 mg/L 이하의 상태가 자주 출현하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고흥 주변에는 영양염을 공급할 수 있는 대형 하천이 없으며, 영양염이 상대적으로 풍부한 외양수의 유입량의 변동에 의한 영향 때문으로 판단된다(Yang et al., 1995).

그리고 2016년부터 2018년까지의 모든 2월, 4월, 10월과 12월에 표층에서 조사된 DIP의 결과를 이용하여 각 정점에서 DIP의 농도가 1회 이상 0.006 mg/L 이하를 기록한 정점의 위치를 분석한 결과는 [Fig. 5(b)]와 같다. DIP 분포는 10월과 12월에 목포연안과 함평연안을 제외한 대부분 해역에서 0.006 mg/L 이하의 분포를 보이는 것으로 나타났으며 특히, 고흥군 나로도 동편 일부 해역과 득량만 입구해역에서는 2월과 4월에도 0.006 mg/L 이하의 농도 수준을 보인 것으로 나타나 김 양식 후반기에 황백화가 발생 가능성을 보여 주었다(<Table 5>).

이러한 결과로 볼 때 전라남도의 연안 해역 중 김양식장이 분포하지 않는 해역, 즉, 육상으로부터 하천 등을 통해 영양염이 많이 유입되는 하구역과 내만의 내측 해역 일부를 제외한 대부분의 해역에서는 양식 순기동안 김의 황백화를 유발할 수 있는 임계 농도(DIN 0.07 mg/L 이하, DIP 0.006 mg/L 이하) 보다 낮은 분포를 보이는 것으로 나타나 양식장의 위치를 선정할 때 영양염류의 분포 정보를 참고하여야 할 것으로 판단되었다.

조류의 흐름이 불량한 해역에서 유기물 집적에

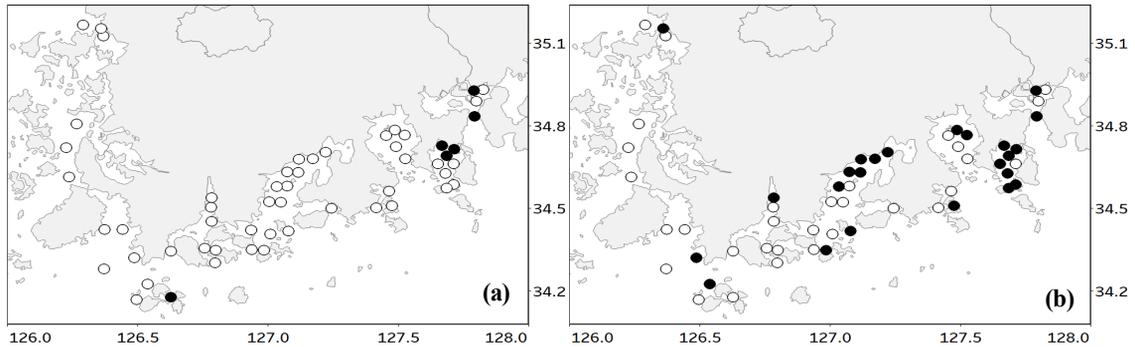
의해 퇴적환경이 부영양화(eutrophication)되고 이러한 상태에서 여름철 성층(stratification) 형성으로 인해 용존산소의 공급이 불량해지면 혐기 상태에서 퇴적된 유기물이 분해되는 과정에서 황화수소와 같은 유해 가스의 발생하게 되고 이로 인해 해저층에 살포된 패류와 같은 양식생물의 생육이 저해되거나 폐사하게 된다(Lee et al., 2000; Kim et al., 2011).

일본의 수산자원보호협회는 퇴적환경의 부영양화 평가항목으로 퇴적물의 COD와 AVS를 제시하고 기준값으로 각각 '20 mg-O₂/g.dw 이하'와 '0.2 mg-S/g.dw 이하'로 제시하였다(JFRCA, 2013).

전라남도의 양식어장 분포 해역에서 3년간 퇴적물의 COD를 조사한 결과 중 일본 수산자원보호협회(JFRCA, 2013)에서 제시한 부영양화 기준을 3년 동안 1회 이상 초과한 것으로 조사된 정점의 위치는 [Fig. 6(a)]와 같이 나타났으며, 초과한 정점이 위치한 해역은 섬진강 하구역의 일부 해역, 가막만 북부해역과 완도 노화도 동측 연안인 것으로 나타났다.

그리고 일본 수산자원보호협회(JFRCA, 2013)의 AVS 기준을 3년 동안 1회 이상 초과한 정점을 포함하는 해역은 목포연안을 제외한 9개 해역이며, 특히 섬진강 하구 일부 해역, 가막만, 여자만 북동 해역, 고흥 나로도 동측 해역, 득량만 내측 해역, 완도 비건도 해역 일부와, 도암만 내측, 전복양식장이 밀집하고 있는 노화도 서측 해역, 해남 송지 해역, 함평만의 향화도 인근 해역인 것으로 나타났다([Fig. 6(b)]). 이러한 해역은 대부분 양식어장이 밀집되어 있거나 육상으로부터 유기오염물의 유입이 많을 것으로 예상되는 해역인 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 나타난 것처럼 2016년부터 3년 동안 전남 해역의 환경변화를 조사한 자료를 이용하여 해역별로 환경변동에 의한 양식생물 피해발생 가능성을 기초로 입지의 적합성을 평가한 결과를 종합해 보면 양식어장의 환경변화를 조사하기 위하여 선정된 10개 해역의 55개 정점 중



[Fig. 6] Location of station where (a) COD above 20 mg-O₂/g.dw, (b) AVS above 0.2 mg-S/g.dw was detected more than once from 2016 to 2018; Black circle indicates the station.

대부분은 저수온, 고수온, 빈산소수괴와 빈영양염 수괴 발생에 의해 전남의 대표적인 양식생물인 조피볼락, 새꼬막, 김과 같은 양식생물의 피해가 발생할 가능성이 높은 것으로 평가되었다.

그러므로 이러한 가능성을 낮추기 위해 앞으로 양식어장의 위치를 결정할 때에는 축적된 환경조사 자료를 이용하여 수산피해를 최소화할 수 있는 위치의 선정과 평가 방법이 강구되어야 할 것으로 사료되며 아울러 연안환경 변화의 지속시간을 더욱 정확하게 반영할 수 있는 자료획득 방법과 활용 연구가 다양하게 수행될 필요가 있을 것으로 판단된다.

References

Cho CH(1979). Mass Mortalities of Oyster due to Red Tide in Jinhae Bay in 1978. Bull Kor Fish Soc 12(1), 27~33.

Cho KD(1982). On the Influence of the Yellow Sea Bottom Cold Water on the Demersal Fishing Ground. Bull Kor Fish Tech Soc 18(1), 25~33.

Coutant CC(1977). Compilation of Temperature Preference Data. J Fish Res Board Can, 34(5), 739~745.
<https://doi.org/10.1139/f77-115>

Han YH and Chang SD(1978). Relation between the Heat Budget and Cold Water in the Yellow Sea in Winter. Bull Kor Fish Tech Soc 14(1), 1~14.

Ishii M, Haesegawa K and Matsuyama Y(2008).

Environmental Factors influencing Prophyra(Nori) Farming in Tokyo Bay: Long Term Changes in Inorganic Nutrients and Recent Proliferation of Diatoms. Bull Jpn Soc Fish Oceanogr 72(1), 22~29.

JFRCA(Japan Fisheries Resource Conservation Association)(2013). The Criteria for Fisheries Water, JFRCA, Tokyo

Kim BMN, Choi AY, An SY, Kim HC, Jung RH, Lee WC and Hyun JH(2011). Rates of Sulfate Reduction and Iron Reduction in the Sediment Associated with Abalone Aquaculture in the Southern Coastal Waters of Korea. Ocean Pol Res 33(4), 435~445.

<https://dx.doi.org/10.4217/OPR.2011.33.4.435>.

Kim KH, Hwang YJ and Kwon SR(2001). Influence of Daily Water Temperature Changes on the Chemiluminescent Response and Mortality of Cultured Rockfish(*Sebastes schlegelii*), Aquaculture 192(2), 93~99.

[https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00460-9](https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00460-9)

Kim YS, Kim JS, Kim YY and Choi SY(2018). Analysis of Factors Underlying Pyropia Chlorosis near Geumgang Estuary. J. Kor. Soc for Mar Environ and Energy. 21(4), 381~386.

Lee BD, Kim BT and Choi YS(2011). A Study on Vulnerability Assessment to Climate Change in Regional Fisheries of Korea. J Fish Busi Administ 42(1), 57~70.

Lee CK, Park TG, Park YT and Lim WA(2013). Monitoring and Trends in Harmful Algal Blooms and Red Tides in Korean Coastal Waters with

- Emphasis on *Cochlodinium polykrikoides*. Harmful Algae 30S, S3~S14.
- Lee CW, Kwon YT, Kwon HB, Boo MH and Yang KS(2000). Eutrophication Characteristics in the Shellfish Farms, the Southern Coastal Sea of Korea. J Kor Soc Mar Environ Eng 3(3), 24~33.
- Lee DC, Park YC, Jeon CY, Yang JY, Hur YB, Kim JW and Cho KC(2013). A Report on the 2012 Mass Summer Mortalities of Black Rockfish, *Sebastes schlegelii* in the Southeast Sea, Korea. J Fish Pathol 26(3), 173~183.
<https://doi.org/10.7847/JFP.2013.26.3.173>
- Lee IC, Oh YJ and Kim HT(2008). Annual Variation in Oxygen-deficient Water Mass in Jinhae Bay. Korea J Kor Fish Soc 41(2), 134~139.
- Lee KH and Cho KD(1990). Distributions of the Temperature and Salinity in Kamak Bay. Bull Kor Fish Soc 23(1), 25~39.
- Lee SY., Kim YH, Lee JE and Yoo HI(2019). A Study on the discoloration of *Pyropia Yezoensis* and Environmental Characteristics of the Aquaculture farm in the Jeonbuk Province. Kor J Environ Bio 37 (in Press).
- Lyu L, Wen H, Li Y, Li J, Zhao J, Zhang S and Song M(2018). Deep Transcriptomic Analysis of Black Rockfish(*Sebastes schlegelii*) Provides New Insights on Responses to Acute Temperature Stress. Sci Rep 8, 1~16.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-27013-z>
- Matsuoka S, Yoshimatsu S, Ono A, Ichimi K, Fujiwara M, Honda K and Tasa K(2005). Discoloration of Nori(Porphyra) and Characteristics of Water Quality in Eastern Basin Seto. Bull Coast Oceanogr 43(1), 77~84.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries)(2014). Official Standard Method for the Analysis of Marine Environment, 1~490.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries)(2015). Information Map of the Coastal Area, Korea.
<http://www.coast.go.kr> on Jan., 2016.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries)(2019). Statistical Yearbook of Oceans & Fisheries. 1~446.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2018. Technical Manual for Laver Aquaculture.
- Sekine M, Lee IC, Narazaki T, Ukita M, Imai T and Nakanishi H(1995). Handling of Dissolved Oxygen in the Seto Inland Sea Fisheries Ecological Model. J Proc Environ Eng Res, JSCE 32, 301~310.
<https://doi.org/10.11532/proes1992.32.301>
- Shin YK and Moon TS(2005). Temperature Tolerance and Physiological Changes of Blood Cockle, *Tegillarca granosa*. J Kor Fish Soc 38(4), 251~256.
<https://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2005.38.4.251>
- Tanda M and Harada K(2012). Nutrient Environment and Fishery Production in Harima-nada, Eastern Seto Inland, Japan. Aquabiology 34(2), 132~141.
- Yang HS, Kim SS and Kim GB(1995). Spatio-Temporal Distribution of Nutrients in the Surface Waters of Deukryang Bay; Seasonal Variation of Nutrients and Limiting Factors for Primary Production. J Kor Fish Soc. 28(4), 475~488.
-
- Received : 04 February, 2020
 - Revised : 05 April, 2020
 - Accepted : 23 April, 2020