

다변량분석에 의한 한국 서남해안 신안 김양식장의 환경해석

정희석 · 신봉균* · 배종일** · 한영탁*** · 전병현**** · 김유진***** · 신종임***** · 황성일†
(주)수중생태기술연구소(과장) · *(주)수중생태기술연구소(실장) · **(주)수중생태기술연구소(소장) ·
*** (주)수중생태기술연구소(대리) · ****(유)씨캠(부장) · ***** (유)씨캠(대리) ·
***** (주)수중생태기술연구소(기술이사) · †(주)수중생태기술연구소(대표이사)

Environmental Evaluation of *Pyropia* Aquaculture Farm off Imja island in Shinan on the Southwest coast of Korea by Multivariate Analysis

Hee-Suk JUNG · Bong-Kyun SHIN* · Jong-Il BAE** · Yeong-Tak HAN*** · Byeong-Hyeon JEON**** ·
Yu-Jin KIM***** · Jong-Ahm SHIN***** · Sung-Il HWANG†

Underwater Ecology Institute(manager) · *Underwater Ecology Institute(head of the team) ·
Underwater Ecology Institute(director) · *Underwater Ecology Institute(assistant manager) ·
****Seacam Co., Ltd.(general manager) · *****Seacam Co., Ltd.(assistant manager) ·
*****Underwater Ecology Institute(general director of technology) · †Underwater Ecology Institute(CEO)

Abstract

For the data-based *Pyropia* cultivation further, we analysed the environmental data using a multivariate analysis of a *Pyropia* aquaculture farm off Imja island in Shinan, Jeollanam-do, Korea, from September 2019 to March 2020 for the first time. The pairwise simple correlation matrix among 13 seawater environmental variables was shown. The first three principal components explained 76% of the total sample variance. The first principal component(z1) showed the freshwater inflow and/or precipitation, the z2 related to nutrients, and the z3 eutrophication.

Key words : *Pyropia* aquaculture farm, Multivariate analysis, Water quality, Shinan

I. 서론

양식김의 질적, 양적 특성은 양식장의 무생물적 요인과 생물적 요인에 밀접한 영향을 받는다. 양식되고 있는 김은 환경의 변화를 감지하여 반응하고 적응해나간다. 즉, 다양한 스트레스에 대하여 생체적응으로 항상성을 유지하여 생존한다. 따라서, 김 양식장의 환경을 파악하는 것은 그

곳에서 양식된 김의 품질과 생산량을 가늠하는 척도로 활용할 수 있다.

우리나라에서 김양식장의 환경에 관한 연구로는 Kang(1972), Chyung and Kim(1967), Cho and Chang(1986), Kim and Kang(1986), Hong et al.(1987), Kim(1987), Lee et al.(1989), Kim et al.(1991), Kim et al.(1992a, b), Lee et al.(2012), Kwon et al.(2013), Yoon(2014) 등이 있다. Kim

† Corresponding author : 061-644-7605, Email:watereco@naver.com

* 이 논문은 해양수산과학기술진흥원 어업현장의 현안 해결지원사업(2019~2021년)에 의하여 연구되었음.

and Kang(1986)은 해수 중의 질산질소 함량과 김업체의 색소, 총질소 함량 간에 정상관성이 있음을 나타내었고, Kwon et al.(2013)은 낙동강 하구의 해양환경 및 기상요인과 김생산량에 대한 상관분석을 실시하였으나, 다변량 분석까지 진행하지는 않았다.

환경데이터의 분석은 다양한 요인이 복잡하게 얽혀 있으므로 하나의 요인만을 취급하지 않고 여러 가지 요인, 즉 다변량을 동시에 취급하는 다변량 분석법이 필요하다(Ishimura and Ryu, 2009). 다변량 분석방법 중 주성분분석은 원래의 변수로 구성된 선형결합을 통하여 분산-공분산 구조를 설명할 수 있다. 다시 말해 몇 개의 변수의 종합적 특성을 소수의 주성분이라는 1차식으로 나타내는 통계적 방법이다(Kang, 1990; Lee et al., 1996; Kim, 2002; Kim 2006; Ishimura and Ryu, 2009; Hirata et al., 2017; Lee et al., 2017). 연안양식장의 특성상 다양한 요인들이 복잡하게 서로 얽혀 있다. 그 요인들을 주성분 분석으로 추출한 주성분, 다시 말해 양식장의 종합적인 특성치를 구하여 어업인들의 암묵지 혹은 경험지에 과학적 자료를 더하여 앞으로의 김양식에 일조하고자 이 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지역

전라남도 신안군 임자면 주변해역에 위치한 김양식장의 해역특성을 파악하기 위하여 2019년 10월부터 2020년 3월까지 월별 현장조사를 실시하였다.

2. 수질분석

현장조사 시 현장관측이 가능한 수온, 염분, pH, DO는 현장에서 계측하였다. 그 외의 수질항목은 Niskin sampler를 이용하여 채수한 시료를 ice box를 이용, 신속하게 실험실로 운반하여 해

양환경공정시험기준(해양수산부고시 제2018 -143호)에 준하여 분석을 실시하였다.



[Fig. 1] Map showing the study site of Imja-myeon in Shinan, Korea.

3. 자료분석

전라남도 신안군 임자면에 위치한 A어촌계 김양식장 수질환경의 시·공간적 변화를 파악하기 위하여 IBM SPSS Statistics 25를 이용하여 다변량 분석법(Multivariate analysis) 중 주성분분석(Principal component analysis, PCA)을 실시하였다.

분석항목 중 물리적 요인은 수온, 염분, 수소이온농도, 부유물질과 관련이 있으며, 화학적 요인은 용존산소, 용존무기질소, 용존무기인, 규산규소, 클로로필-a와 관련이 있다. 이들 요인 간에 양(+) 또는 음(-), 무(0) 상관관계가 있다(Japan Fisheries Resource Conservation Association, 1980; The Japan Society for Analytical Chemistry, Hokkaido Branch, 1994; The Oceanographic Society of Japan, 1995). 김양식장 시험어장의 수질평가에 주성분 분석법을 적용하여 그들의 상태를 결정하는 주요인자를 도출하고, 정보량의 크기에 따라 새로운 주성분으로 자료를 축소하여 분석·검토하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수질분석

신안군 A어촌계 김양식장 시험어장에서 조사한 해양수질 분석결과는 [Fig. 2]와 같다.

수온은 5.6~20.1℃(평균 10.5±5.20℃), 염분은 29.85~32.19psu(평균 31.30±0.78psu), 수소이온농도는 8.06~8.61(평균 8.24±0.15), 용존산소는 7.54~12.44mg/L(평균 9.44±1.08mg/L), 용존산소포화도는 96.0~122.7%(평균 101.7±4.8%), 부유물질은 17.8~47.2mg/L(평균 29.4±8.0mg/L)로 나타났다. 암모니아질소는 2.97~4.12μg/L(평균 3.55±0.31μg/L), 아질산질소와 질산질소는 125.81~151.86μg/L(평균 136.77±6.56μg/L), 용존무기질소는 129.11~155.23μg/L(평균 140.32±6.64μg/L), 용존무기인은 14.73~19.75μg/L(평균 16.88±1.31μg/L), 규산규소는 212.66~260.69μg/L(평균 233.38±12.20μg/L)로 나타났다. 클로로필-a는 1.30~1.75μg/L(평균 1.55±0.11μg/L), 투명도는 0.2~0.3m(평균 0.2±0.0m)로 나타났다.

2. 주성분분석

김양식장의 수질환경에 영향을 미치는 인자들 간에 상관관계를 분석한 결과는 <Table 1>과 같다. 상관계수의 값으로 2변수간의 관계평가는 Hirata et al.(2017)에 따랐다.

수온은 염분, 용존산소와 강한 음(-)의 상관성을 나타냈으며, 염분은 용존산소와 양(+)의 높은 상관성, 용존무기인과 중위의 양의 상관성, 부유물질과 조금 강한 음의 상관성, 아질산질소와 질산질소, 용존무기질소와 중위의 음의 상관성을 나타냈다. 수소이온농도는 규산규소와 조금 강한 양의 상관성, 아질산질소와 질산질소, 용존무기인과 중위의 양의 상관성, 부유물질과 중위의 음의 상관성을 나타냈으며, 용존산소는 용존무기인과 조금 강한 양의 상관성, 산소포화도, 클로로필-a, 투명도와 중위의 양의 상관성, 부유물질과 조금 강한 음의 상관성, 아질산질소와 질산질소, 용존무기질소와 중위의 음의 상관성을 나타냈다.

부유물질은 용존무기인과 조금 강한 음의 상관성, 클로로필-a와 중위의 음의 상관성을 나타냈으며, 아질산질소와 질산질소는 용존무기질소와 강한 양의 상관성, 규산규소와 중위의 양의 상관성을 나타냈다. 용존무기질소는 규산규소와 중위의 양의 상관성을 나타냈으며, 용존무기인은 규산규소와 조금 강한 양의 상관성, 클로로필-a, 투명도와 중위의 양의 상관성을 나타냈다. 클로로필-a는 투명도와 중위의 양의 상관성을 나타내었다.

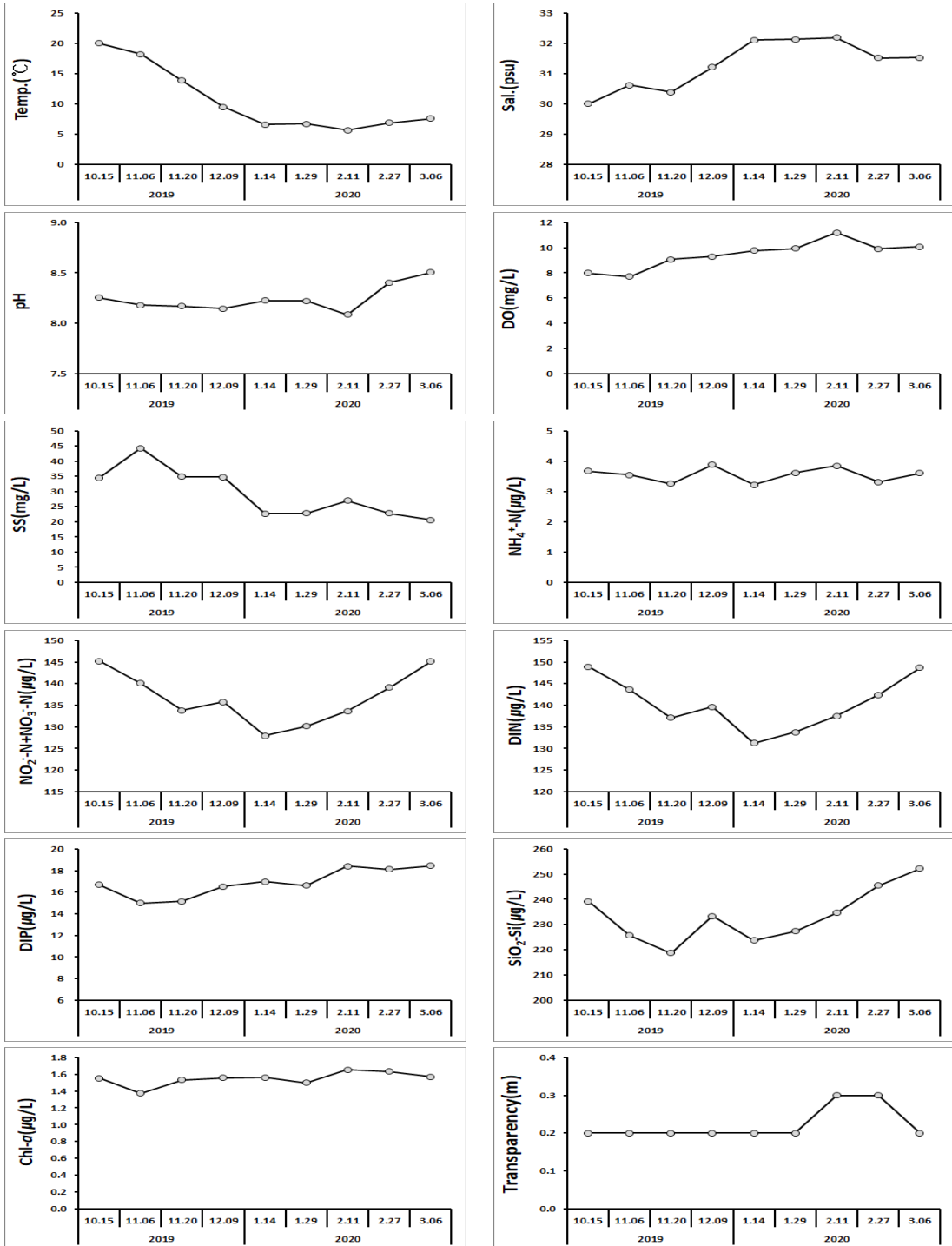
주성분분석 결과, 3개의 주성분이 추출되었으며, 누적기여율은 76.287%로 신안군 A어촌계 김양식장 시험어장의 수질변동의 약 76%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 추출된 각 성분과 변수와의 관계는 제1주성분에서 용존산소, 염분, 용존무기인은 양의 인자, 수온과 부유물질은 음의 인자 부하량을 나타내고 있다. 이는 강우 등의 계절적 영향과 조류 등의 해수유동에 의한 물리적 요인과 관계가 있는 것으로 나타났다.

제2주성분은 아질산질소와 질산질소, 용존무기질소, 규산규소가 양의 상관관계를 나타내고 있어 영양염과 관계, 제3주성분은 용존산소포화도와 암모니아질소로 양의 상관관계를 나타내고 있으므로 부영양화와 관계있는 것으로 나타났다.

3. 고찰

본 연구대상지인 신안지역 김양식장 수질환경 결과를 NIFS(2016)의 국립수산과학원 양식장 적지조사요령 해수면 양식장 적지조사 기준과 비교한 결과, 김 양식에 밀접한 영향을 미치는 수온, 염분, 용존산소, 수소이온농도, 인산인 항목에서 김 양식에 적합한 환경으로 나타났다.

앞으로 김양식에서도 기후온난화 대비를 해야 할 것이다. NIFS(2019)에서 발간한 「수산분야 기후변화 평가백서」에 따르면 2000년부터 2018년까지 서해의 연평균 표층수온은 0.34℃ 상승하였고, 평균 수온 대비 연도별 표층수온 편차의 변동은 3~4년을 주기로 변동성을 나타내고 있다.



[Fig. 2] Change of environmental variables at the study site of Imja-myeon in Shinan, Korea from September 2019 to March 2020.

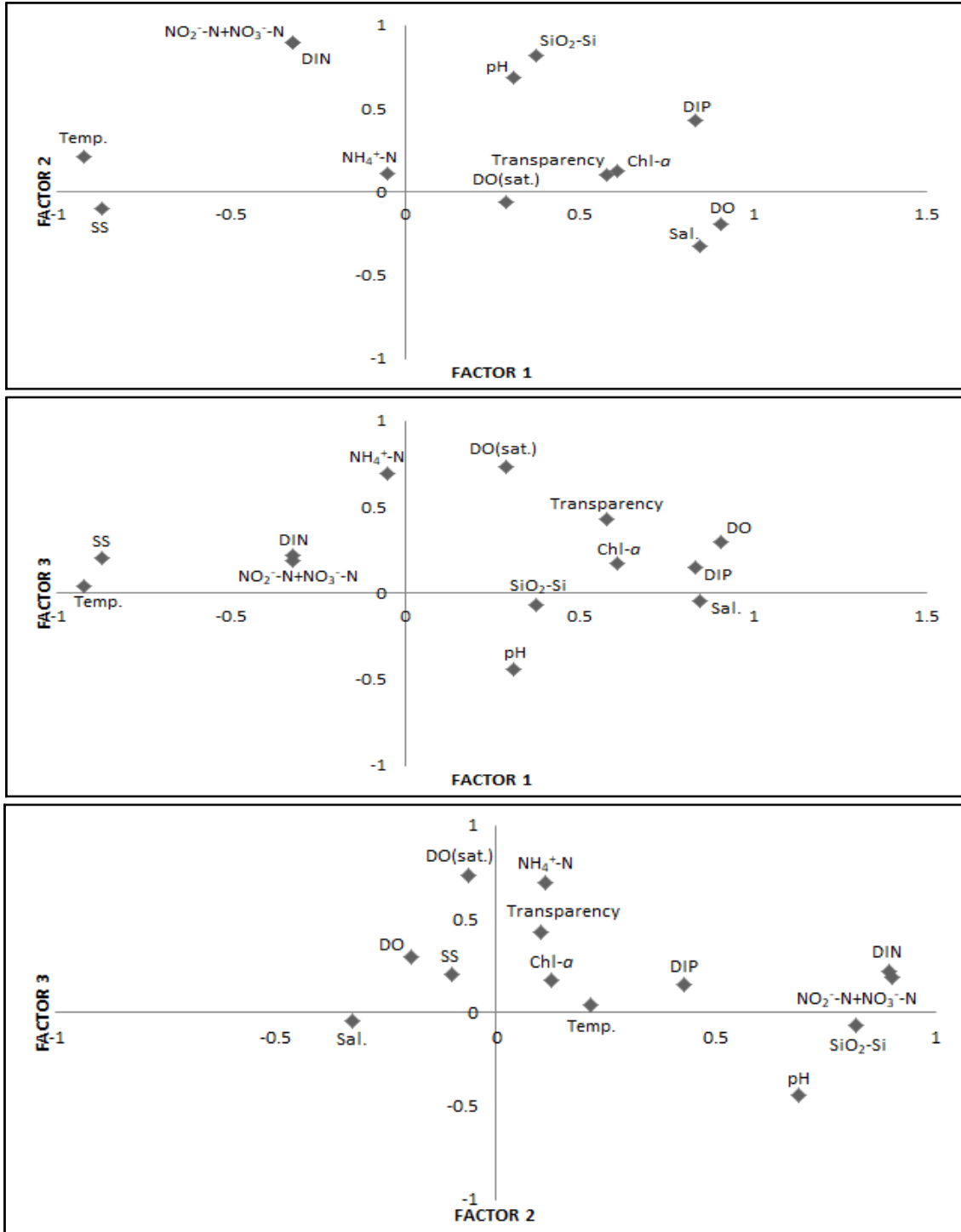
다변량분석에 의한 한국 서남해안 신안 김양식장의 환경해석

<Table 1> Correlation matrix among 13 seawater variables at the study site of Imja-myeon in Shinan, Korea in 2019~2020

	Temp.	Sal.	pH	DO	DO (sat.)	SS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N+ NO ₃ ⁻ -N	DIN	DIP	SiO ₂ -Si	Chl- <i>a</i>	Trans parency
Temp.	1.000												
Sal.	-.925	1.000											
pH	-.146	.027	1.000										
DO	-.879	.805	.086	1.000									
DO(sat.)	-.194	.118	-.111	.580	1.000								
SS	.794	-.710	-.413	-.715	-.108	1.000							
NH ₄ ⁺ -N	.004	.062	-.222	.128	.228	.082	1.000						
NO ₂ ⁻ -N+ NO ₃ ⁻ -N	.463	-.538	.404	-.411	-.023	.190	.240	1.000					
DIN	.458	-.529	.389	-.400	-.012	.191	.285	.999	1.000				
DIP	-.631	.563	.461	.708	.318	-.700	.101	.118	.122	1.000			
SiO ₂ -Si	-.177	.067	.623	.144	-.036	-.349	.046	.550	.545	.669	1.000		
Chl- <i>a</i>	-.431	.297	.087	.506	.209	-.497	-.027	-.069	-.070	.577	.267	1.000	
Transparency	-.444	.387	.004	.553	.385	-.304	.051	-.032	-.029	.572	.299	.482	1.000

<Table 2> Eigenvalue and loading factor by the principal components analysis of the seawater in 2019~2020

	1	2	3
DO	.943	-.109	.206
Temp.	-.926	.160	.128
Sal.	.858	-.277	-.111
SS	-.835	-.137	.306
DIP	.812	.490	.020
Chl- <i>a</i>	.614	.178	.094
Transparency	.614	.177	.354
NO ₂ ⁻ -N+NO ₃ ⁻ -N	-.367	.889	.146
DIN	-.362	.886	.177
SiO ₂ -Si	.305	.831	-.178
pH	.211	.663	-.528
DO(sat.)	.368	.024	.697
NH ₄ ⁺ -N	.014	.172	.681
Eigenvalues	5.081	3.173	1.664
of Variance %	39.082	24.406	12.799
Cumulative %	39.082	63.488	76.287



[Fig. 3] Rotated factor loading for seawater variables at the study site of Imja-myeon in Shinan, Korea.

또한, 1968~2018년까지 51년간 서해의 염분은 약 0.33psu 감소하였다. 2015년부터 2018년까지의 2월과 8월 표층 용존산소는 겨울철(2월)높았고, 영양염(질산질소, 인산인, 규산규소)은 겨울철 서해에서 높게 나타났다.

대표농도경로(Representative Concentration Pathways, 이하 RCP) 시나리오는 미래온실가스 농도값을 설정하고 온실가스 감축 노력 정도에 따라 RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0과 RCP 8.5로 구분된다. RCP 뒤에 제시된 수치는 산업혁명(1750년) 이후 증가한 복사강제력의 크기를 뜻하며, RCP 4.5는 온실가스저감이 상당히 실현되는 경우이고, RCP 8.5는 온실가스 저감없이 현재 추세대로 배출되는 경우이다(IPCC, 2014). NIFS(2019)에서는 RCP 시나리오 기반 기후노출지표와 수산생물의 위험도로부터 민감도지표, 사회경제적 특성을 반영한 적응능력지표를 기반으로 전문가 대상 가중치 산정과 표준화를 통하여 수산분야 기후변화취약성 평가기법을 개발하였다. 그 중, 양식어업의 기후변화 취약성 평가 결과를 보면, 김의 경우 대표농도경로 4.5일때 신안군은 2030년에 0.59, 2050년에 0.50, 2100년에 0.51, RCP 8.5일때는 2030년에 0.62, 2050년에 0.53, 2100년에 0.59로 나타나 충남 서천군보다는 전반적으로 낮고, RCP 4.5일때는 고흥군 보다 낮으나 RCP 8.5일때는 고흥군 보다 높다. RCP 4.5일때는 해남군 보다 높고 RCP 8.5일때는 2030년에 낮고 2050, 20100년에는 높다. 진도와 완도군 보다는 RCP 4.5일 때는 높고 RCP 8.5일 때는 2030년에 낮고 2050년, 2080년에는 높다.

RCP 4.5 시나리오의 경우 과거 10년 동안의 평균 표층 수온으로 2020, 2050, 2100년 수온변동은 우리나라 주변수온이 약 2℃ 내외로 상승되며, RCP 8.5 시나리오의 경우 약 4~5℃ 내외로 상승하며 서해가 약 5℃ 내외로 상승 정도가 가장 큰 것으로 나타났다.

김은 생산가치가 큰 우리나라의 주요 수출품목이어서 기후변화로 인한 경제적인 충격이 크다는

점을 고려할 때 이에 대한 대비가 필요하다. 따라서, 고수온 환경에 대응한 양식어장 재배치, 고수온에 강한 신품종 개발 등이 필요하다.

김양식산업은 김산업의 일부이면서 그 기반이고, 수출산업에서도 큰 기여를 하고 있으며, 해양생태계 서비스에도 일조하고 있다. 따라서, 김양식어장의 환경데이터를 축적하여 빅데이터화해서 양식기술의 발전과 생태육종을 기반으로 하는 지속적 김양식산업의 기틀을 다지고, 또한 김의 내수와 수출에 도움이 될 수 있도록 수산물지리적 표시제 등록을 위한 기초자료로 본 연구가 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Cho YC and Chang JW(1986). On the disease occurrence of cultured laver (*Porphyra tenera* Kjellman form. *tamatsuensis* Miura), and production at the Nokdong laver farming area. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 39, 111~125.
- Chyung MK and Kim SM(1967). A study on the relation between laver production and seawater temperature. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 33(4), 285~294.
- Hong JS, Song CB, Kim NG, Kim JM and Huh HT(1987). Oceanographic conditions in relation to laver production in Kwangyang Bay. Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 20, 237~247.
- Hirata M, Kawahara S, Udatsu T and Sakakibara H(2017). Statistics of biology and agriculture. Asakura, 217.
- IPCC(2014). Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Geneva, Switzerland, 151.
- Ishimura S and Ryu S(2009). Environmental statistics by multivariate analysis. Kyoritsu Publishing Co., 248.
- Japan Fisheries Resource Conservation Association (1980). Manual of water pollution research. New edition. Koseisha Koseikaku, 552.
- Kang BS(1990). Multivariate statistics. Beobmusa, 573.

- Kang JW(1972). Disease of the cultivated Porphyra at culture beds with special reference to the effects of fertilizer plant effluents. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 5, 39~44.
- Kim JR, Shin YK, Lee GH and Lee WH(1991). A study on the relationships between the epiphytic microbes and the blight of Porphyra species from the coastal waters of the Yellow sea, Korea. I. Species composition and standing stocks of epiphytic diatom and ambient water phytoplankton. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24(1), 79~88.
- Kim JH, Lee GH, Shim YK and Kim JR(1992a). A study on the relationships between the epiphytic microbes and the blight of Porphyra species from the coastal waters of the Yellow sea, Korea. II. Seasonal variation of heterotrophic bacteria in the surrounding seawater of Porphyra farming area near Mokpo. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25(4), 307~317.
- Kim JH, Lee GH, Lee WH and Kim JR(1992b). A study on the relationships between the epiphytic microbes and the blight of Porphyra species from the coastal waters of the Yellow sea, Korea. III. Seasonal variation of heterotrophic bacteria on the blades of Porphyra species near Mokpo. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25(4), 314~321.
- Kim NG and Kang J.W(1986). Effect of Inflowing River-water on the Farming of Laver in Chonsu Bay. *Korean J. Phycol.*, 1(1), 259~279.
- Kim NG(1987). On the relationship between quality of laver and environmental factors of the farming ground of laver. *Bull. Tong-yeong Fish. Jr. Coll.*, 22, 23~29.
- Kwon JN, Shim JH, Lee SY and Cho JD(2013). Effects of Meteorological and Oceanographic Properties on Variability of Laver Production at Nakdong River Estuary, South Coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45(6), 868~877. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0868>
- Lee CH, Kang MG, Lim SY, Kim JH and Shin JA(2017). Environmental evaluation of fish aquafarm off Baegyado in Yeosy by multivariate analysis. *JFMSE*, 29(3), 785~798.
- Lee JY, Kim YG, Kim YH and Kim JY(1989). Environmental survey on the cultivation ground in west coast of Korea 1. Oceanographic condition of laver farm in Biin Bay. *Bull. Fish. Sci. Inst. Kusan Fish. Jr. Coll.*, 5, 11~30.
- Lee SJ, Park SW, Lee JH and Kim YS(2012). Diseases of the cultivated Porphyra at seocheon area. *J. Fish Pathol.*, 25(3), 249~256. <https://doi.org/10.7847/jfp.2012.25.3.249>
- NIFS(2016). Manual of Suitable aquaculture farm Investigation.
- NIFS(2019). Assessment Report on Fisheries Impacts in a Changing Climate. NIFS Report, SP2019-ME-045, 1~201.
- The Japan Society for Analytical Chemistry. Hokkaido Branch(ed.)(1994). Water analysis. 4th ed. Kagaku Dojin, Japan., 493.
- The Oceanographic Society of Japan(ed.)(1995). Handbook of sea environmental methods. Revised ed. Koseisha koseikaku. 666.
- Yoon YH(2014). Marine Environments and Production of Laver Farm at Aphae-do Based on Water Quality and Phytoplankton Community. *Korean J. Environ. Biol.*, 32(3), 159~167. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2014.32.3.159>

-
- Received : 10 November, 2020
 - Revised : 08 February, 2021
 - Accepted : 24 February, 2021