Check for updates

JFMSE, 33(1), pp. 12~19, 2021.
수산해양교육연구, 제33권 제1호, 통권109호, 2021.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.2.33.1.12

다변량분석에 의한 한국 서해중부 서천 김양식장의 환경평가

신봉균 · 정희석* · 배종일** · 한영탁*** · 김동욱**** · 신종암***** · 황성일†
㈜수중생태기술연구소(실장) · *㈜수중생태기술연구소(과장) · **㈜수중생태기술연구소(소장) · ***㈜수중생태기술연구소(대리) · ****(유)씨캠(과장) · *****㈜수중생태기술연구소(기술이사) · †㈜수중생태기술연구소(대표이사)

Environmental Evaluation using Mutivariate Analysis at a *Pyropia* Cultivation Farm at Seocheon in the Mid-western coast of Korea

Bong Kyun SHIN · Hee Suk JUNG* · Jong Il BAE** · Yeong Tak HAN*** · Dong Uk KIM**** · Jong-Ahm SHIN***** · Sung Il HWANG†
Underwater Ecology Institute(head of the team) · *Underwater Ecology Institute(manager) · **Underwater Ecology Institute(director) · ***Underwater Ecology Institute(assistant manager) · ****Seacam Co., Ltd.(manager) · *****Underwater Ecology Institute(general director of technology) · †Underwater Ecology Institute(CEO)

Abstract

We evaluated the water quality(13 variables) in a *Pyropia* cultivation farm in Seocheon, Chungcheongnam-do, Korea, using a multivariate analysis from September 2019 to March 2020. The pairwise simple correlation matrix among variables was shown. The first four principal components explained 79% of the total sample variance. The first principal component(z_1) showed the freshwater inflow and precipitation, the z_2 related to seasonal influence, the z_3 related to season and/or freshwater, and the z_4 related to transparency. The present study is the first step for the data-base and future-oriented *Pyropia* cultivation

Key words : *Pyropia* cultivation farm, Multivariate analysis, Water quality, Seocheon

Ⅰ. 서 론

고착생활을 하는 양식김의 상품성과 재배성에 영향을 주는 변수로서 해양물리적, 화학적, 생물학적, 지형학적과 기상학적 등의 요인이 있다. 이 요인들은 복합적으로 작용하여 양식김에 영향을 끼친다. 즉, 양식장의 특성이 그 곳에서 양식된 김의 품질과 양을 좌우한다. 따라서 각 양식장의 환경을 파악하는 것은 양식김의 지리적 특성을 나타내는 지표로 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, watereco@naver.com
※ 이 논문은 해양수산과학기술진흥원 어업현장의 현안 해결지원사업(2019~2021년)에 의하여 연구되었음.

and Kang(1986)은 해수 중의 질산질소 함량과 김 엽체의 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 다변량을 통합해서 소수로 전체를 설명할 수 있는 새로운 종합지표를 이끌어내는, 즉 다변량을 몇 개의 주성분이라는 1차식으로 나타내는 통계적 방법이다(Kang, 1990; Lee et al., 1996; Kim, 2002; Kim 2006; Ishimura & Ryu, 2009; Hirata et al., 2017; Lee et al., 2017).

연안양식장은 다양한 요인들이 복합적으로 얽혀 있다. 그 요인들을 주성분 분석으로 추출한 주성분, 다시 말해 양식장의 종합적인 특성치를 구하여 어업인들의 경험지에 과학적 자료를 더하여 앞으로의 김양식에 기초자료로 삼고자 이 연구를 수행하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지역

충청남도 서천군 마서면 주변해역에 위치한 김 양식장의 해역특성을 파악하기 위하여 2019년 10월부터 2020년 3월까지 월별 현장조사를 실시하였다.

2. 수질분석

현장조사 시 현장관측이 가능한 수온, 염분, pH, DO는 현장에서 측정하였다. 그 외의 수질항목은 Niskin sampler를 이용하여 채수한 시료를 ice box를 이용, 신속하게 실험실로 운반하여 해양환경공정시험기준(해양수산부고시 제2018 -143호)에 준하여 분석을 실시하였다.

[Fig. 1] Map showing the study site of Maseo-myeon in Seocheon.

3. 자료분석

충청남도 서천군 마서면에 위치한 A어촌계 김 양식장 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 김양식장 시험어장에 영향을 미치는 물리적 요인은 수온, 염분, 수소이온농도와 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 중요한 환경인자를 도출하고, 정보량의 크기에 따라 새로운 주성분을 자료를 축소하여 분석·검토하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수질분석

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

수온은 4.2~19.8℃(평균 8.9±5.0℃), 염분은 18.78~32.14psu(평균 28.20±4.18psu), 수소이온농도는 7.90~8.54(평균 8.25±0.18), 용존산소는 7.98~12.80㎎/L(평균 10.40±1.23㎎/L), 용존산소포화도는 90.6~127.7%(평균 107.2±9.1%), 부유물질은 15.6~41.0㎎/L(평균 29.0±7.4㎎/L)로 나타났다. 암모니아질소는 4.05~7.34㎍/L(평균 5.63±0.97㎍/L), 아질산질소와 질산질소는 129.78~150.78㎍/L(평균 138.31±5.34㎍/L), 용존무기질소는 134.76~157.29㎍/L(평균 143.94±5.47㎍/L), 용존무기인은 16.07~19.92㎍/L(평균 17.34±0.89㎍/L), 규산규소는 231.07~280.80㎍/L (평균 258.21±10.21㎍/L)로 나타났다. 클로로필-a는 1.31~1.83㎍/L(평균 1.56±0.12㎍/L), 투명도는 0.4~2.1m(평균 0.8±0.4m)로 나타났다.

2. 주성분분석

김양식장의 수질환경에 영향을 미치는 인자들 간의 상관관계를 분석한 결과는 <Table 1>과 같으며, 상관계수의 값으로 2변수 간의 관계 평가는 Hirata et al.(2017)에 따랐다.

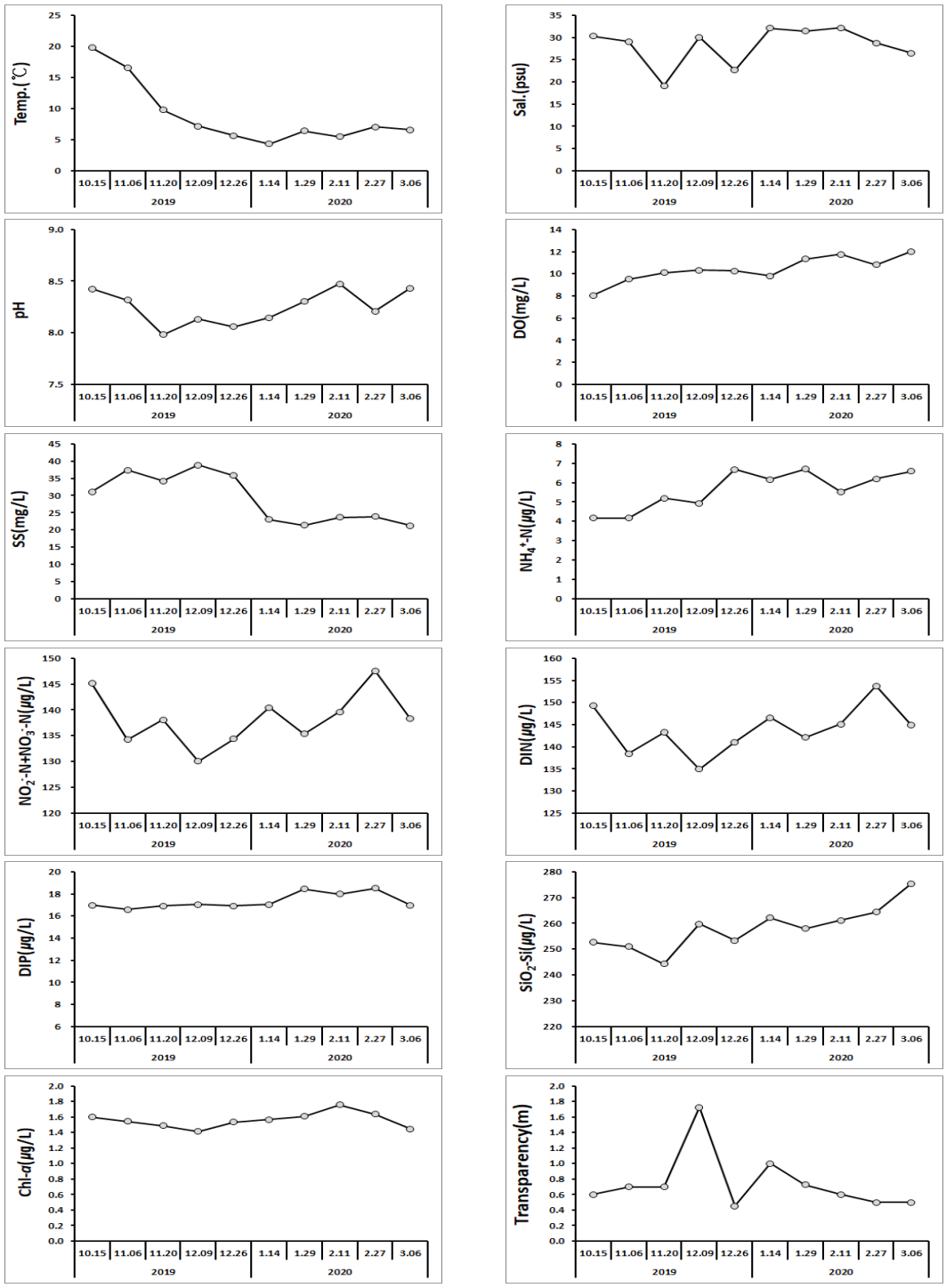
수온은 암모니아질소와 강한 음(-)의 상관성, 염분은 수소이온농도와 중위의 양(+)의 상관성, 수소이온농도는 산소포화도, 규산규소와 중위의 양의 상관성, 부유물질은 중위의 음의 상관성, 용존산소는 암모니아질소, 산소포화도와 양의 상관성, 산소포화도는 규산규소와 중위의 양의 상관성, 용존무기질소는 중위의 음의 상관성, 부유물질은 암모니아질소, 아질산질소와 질산질소, 용존무기질소, 용존무기인, 규산규소와 중위의 음의 상관성, 아질산질소와 질산질소는 용존무기질소와 강한 양의 상관성, 클로로필-a와 중위의 양의 상관성, 투명도와 중위의 음의 상관성, 용존무기질소는 용존무기인, 클로로필-*a*와 중위의 양의 상관성을 나타내었다.

주성분분석 결과, 4개의 주성분이 추출되었으며, 주성분 1부터 4까지의 누적기여율은 79.198%로 서천군 김양식장 시험어장의 수질변동의 약 79%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 추출된 각 성분과 변수와의 관계는 제1성분에서 용존무기질소, 아질산질소와 질산질소가 양의 인자, 투명도와 부유물질이 음의 인자 부하량을 나타내고 있어서 부영양화 지표요인은 양의 상관, 물리적인 요인은 음의 상관관계를 나타내고 있다. 따라서, 제1주성분은 육상으로부터의 담수유입과 강우와 관계가 있는 것으로 나타났다. 제2주성분은 수온은 양의 상관관계, 용존산소는 음의 상관관계를 나타내고 있어 계절적인 영향과 관계가 있는 것으로 나타났다. 제3주성분은 용존산소포화도, 염분으로 양의 상관관계를 나타내고 있어 계절적 및 주변 육상에서 유입되는 담수에 의한 영향과 관계가 있다. 제4주성분의 투명도는 조석차에 의한 영향으로 나타났다.

3. 고찰

본 연구대상지인 서천군 마서면 김양식 시험어장은 수심이 썰물 때 약 7.8m, 밀물 때 약 13m인 간석지로 서해와 접해 있다. 연구대상지 부근 김양식장의 해양환경조사는 Lee et al.(1989), Kim et al.(1991), Lee et al.(2012)에 의해 진행된 바 있다.

Lee et al.(1989)는 본 연구대상지로부터 남서방향으로 약 5.5㎞의 거리에 있는 비인만 김양식장의 20개 정점에서 1987년 1월부터 6월까지 수온, 수소이온농도, 투명도, 용존산소, 화학적산소요구량, 총부유물질, 용존무기질소, 용존무기인, 규산규소 등을 측정하였다. 4~6월의 자료를 제외하면, 수온은 1.8~7.1℃, 염분은 31.29~33.49psu, 수소이온농도는 7.7~8.4, 용존산소는 6.71~9.79㎎/L, 화학적산소요구량은 0.00~4.58㎎/L, 총부유물질은 16.0~221.3㎎/L, 암모니아질소는 0.91~6.05㎍-at/L,



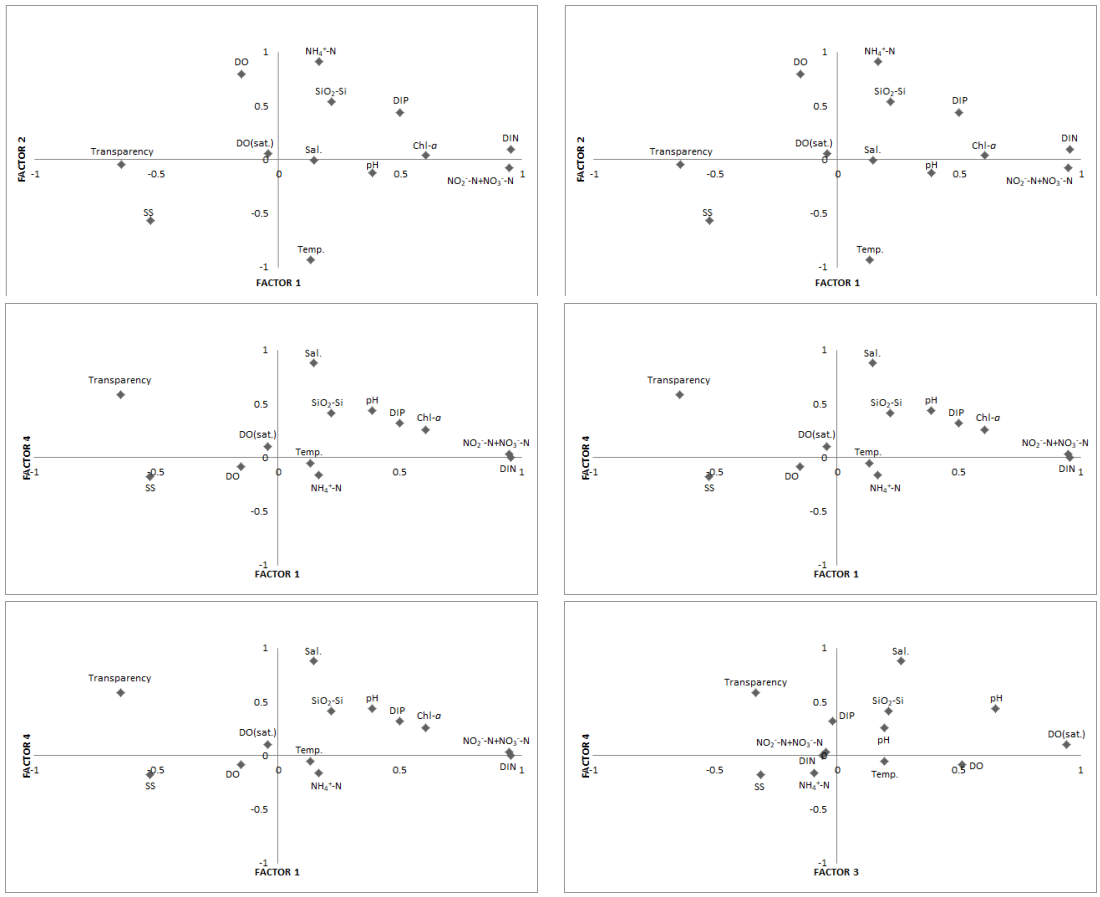
[Fig. 2] Change of environmental variables at the study site of Maseo-myeon in Seocheon from September 2019 to March 2020.

<Table 1> Correlation matrix among 13 seawater variables at the study site of Maseo-myeon in Seocheon 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-a	Trans parency
Temp.	1.000												
Sal.	-.002	1.000											
pH	.259	.570	1.000										
DO	-.689	.009	.080	1.000									
DO(sat.)	.140	.330	.511	.573	1.000								
SS	.405	-.369	-.400	-.473	-.307	1.000							
NH_4^+-N	-.806	-.101	-.123	.606	-.097	-.554	1.000						
NO_2^--N+ NO_3^--N	.177	.140	.309	-.184	-.026	-.462	.041	1.000					
DIN	.030	.119	.280	-.072	-.043	-.549	.218	.984	1.000				
DIP	-.301	.273	.250	.278	.092	-.432	.413	.388	.453	1.000			
SiO_2-Si	-.395	.343	.402	.411	.217	-.473	.437	.208	.281	.316	1.000		
Chl-*a*	-.022	.374	.368	.080	.177	-.323	.054	.464	.463	.432	.156	1.000	
Transpar ency	-.130	.275	-.268	-.098	-.152	.339	-.269	-.494	-.530	-.141	-.016	-.348	1.000

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

	1	2	3	4
SS	-.845	.132	-.008	.033
DIN	.712	.458	-.449	.069
DIP	.670	-.052	-.095	.286
NO_2^--N+NO_3^--N	.629	.592	-.392	.074
SiO_2-Si	.628	-.266	.216	.207
Chl-*a*	.589	.343	.029	.088
Temp.	-.365	.845	.187	-.207
DO	.488	-.708	.227	-.369
NH_4^+-N	.549	-.676	-.372	-.015
DO(sat.)	.357	.009	.697	-.534
Sal.	.412	.187	.645	.500
pH	.543	.405	.555	-.088
Transparency	-.463	-.298	.401	.638
Eigenvalues	3.404	3.180	1.980	1.731
of Variance %	26.186	24.465	15.232	13.316
Cumulative %	26.186	50.651	65.882	79.198



[Fig. 3] Rotated factor loading for seawater variables at the study site of Maseo-myeon in Seocheon.

아질산질소는 0.00~2.45㎍-at/L, 질산질소 0.56~6.45 ㎍-at/L, 용존무기인은 0.02~1.02㎍-at/L, 규산규소는 3.14~102.09㎍-at/L, 투명도는 0.4~1.8m 범위로 나타났다.

Kim et al.(1991)은 본 연구대상지로부터 약 5.1㎞에 있는 개야도 김양식장의 2개 정점에서 1989년 3월부터 1990년 3월까지 9회에 걸쳐 수온, 염분, 수소이온농도, 투명도를 조사하였다. 이 중 김양식이 진행되지 않는 기간을 제외하면 정점 1과 2의 표층 수온은 2.1~14.0℃, 저층 수온은 3.0~15.0℃, 염분은 20.0~29.4psu, 수소이온농도는 8.15~8.46, 투명도는 0.5~2.0m로 나타났다.

Lee et al.(2012)은 서천해역의 12개 김양식장에서 2008년 11월부터 2009년 3월까지의 수온을 측정하였다. 그 결과, 2월에 3℃로 최저, 11월에 10℃로 최고 수온을 나타냈다.

시공간적 차이로 인해 앞에 인용한 서천지역에 위치한 김양식장 수질환경 결과와 본 연구대상지역 간에 직접적인 비교는 어려우나 본 조사에서 상대적으로 높은 수온분포를 나타냈다. 또한, 대상지역 인근의 해양환경측정망(군산 5)의 2011년부터 2019년까지 2월, 11월 자료와 비교한 결과, 평균값에서 암모니아질소와 클로로필-*a*가 다소 차이를 나타냈다.

본 연구에서 수행한 서천지역 김양식장 수질환경 결과를 NIFS(2016)의 국립수산과학원 양식

장 적지조사요령 해수면 양식장 적지조사 기준과 비교한 결과, 김 양식에 밀접한 영향을 미치는 수온, 염분, 용존산소, 수소이온농도, 용존무기인 항목에서 김 양식에 적합한 환경으로 나타났다.

따라서 향후 김양식에서도 기후온난화에 대비를 해야할 것을 시사한다고 볼 수 있다. NIFS(2019)에서 발간한 「수산분야 기후변화 평가백서」에 따르면 기후노출, 민감도, 적응능력의 각 지표를 가중합산한 양식어업의 기후변화 취약성 분석결과, 김 미역과 같은 해조류가 가장 취약하였고 이들 품종을 양식하는 지역 중 재난 피해영향이 가장 큰 서해안지역(서천)이 특히 높은 것으로 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). RCP 4.5와 RCP 8.5의 2030, 2050, 2100년에 조사한 김생산지 중에서 서천군의 취약성이 가장 높게 나타났다. 또한, 기후노출과 민감도의 합인 잠재적 영향과 적응능력을 2100년 시점에서 보면, 잠재적 영향이 크면서 적응능력이 낮은 품종은 김, 미역, 바지락의 생산지역이 많았다.

김양식산업은 김산업의 토대이고 수출에서도 큰 기여를 하고 있다. 또한, 연안생태계서비스에도 일조하고 있다. 따라서, 본 연구는 양식어장의 데이터를 축적하여 빅데이터화하고 이를 바탕으로 양식기술의 발전과 신품종의 개발에 연계되어 지속가능한 김양식산업이 발전될 수 있도록 하는 한편, 수산물 지리적표시제 등록을 위한 발판만들기에 도움이 되고자 한다.

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 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 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 NG and Kang JW(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.
http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2017.29.3.785

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 : 28 December, 2020
• Accepted : 02 February, 2021