



Original Article

진해만 굴양식 수질지수(OWQI)의 산정

진승환¹ · 류성훈¹ · 이인철^{2,†} · 김경희²

¹부경대학교 해양공학과 대학원생

²부경대학교 해양공학과 교수

Estimation of Oyster farming Water quality index (OWQI) in Jinhae Bay, Korea

Seunghwan Jin¹, Sunghoon Ryu¹, Incheol Lee^{2,†}, and Kyunghoi Kim²

¹Graduate Student, Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²Professor, Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

요 약

진해만은 우리나라의 대표적인 굴양식 해역으로서 마산만 오염총량관리제 등의 지속적인 관리대책의 시행과 더불어 수질이 점차 개선되는 추세이며, 양식면적은 매년 증가하고 있다. 그러나, 수질의 개선에도 불구하고 굴의 연간생산량은 2010년 이후 감소하고 있는 실정이다. 따라서, 진해만 굴양식의 생산성 향상을 위해서는 굴의 생산성 관점에서 적정 수질의 유지 및 평가가 필요하다. 본 논문은 진해만 굴양식장의 지속가능한 생산성 향상을 위한 수질관리대책을 마련하기 위한 기초적 연구로서, 수질환경인자(DO, COD, DIN, DIP, chl-a)와 굴양식장의 단위면적당 생산량을 이용하여 수질기준을 설정한 후, 수질인자의 주성분 분석을 통한 가중치 설정 등을 통하여 굴양식장의 생산성에 근거한 굴양식 수질지수(OWQI; Oyster farming water quality index)를 산정하였다. 그 결과, OWQI가 2점 이하인 경우 굴 생산량은 평균 18.9±4.9 ton/ha이었으며, 3점 이상인 경우는 25.7±2.4 ton/ha로 산정되어, 진해만의 굴양식장의 지속적인 생산성 향상을 위해서는 OWQI가 최소 3점 이상을 유지해야 할 것으로 예측되었다.

Abstract – Jinhae Bay is Korea’s representative oyster farming area and the quality of water is gradually improving with continuous management measures such as Masan Bay Total Pollution Control System and the area of oyster farm is increase every year. However, despite improvement of water quality, the annual production of oyster has been decreasing since 2010. Therefore, to improve the productivity of oyster farming in Jinhae Bay, maintain and evaluation of proper water quality indicators based on oyster productivity is required. In this paper, as a basic study for the improvement of sustainable productivity of oyster farm in Jinhae Bay, the water quality standard is set by using the water quality factor (DO, COD, DIN, DIP, chl-a) and the Oyster farm production per unit area, and Oyster farming water quality index (OWQI) based on the productivity of oyster farms was estimated by setting weights through principal component analysis of water quality factors. As a result, oyster production was average of 18.9±4.9 ton/ha if OWQI was less than 2 points, and 25.7±2.4 ton/ha if OWQI was more than 3 points was calculated, so it was predicted that OWQI would have to maintain at least 3 points for continuous productivity improvement at oyster farms in Jinhae Bay.

Keywords: Jinhae Bay(진해만), Oyster Farm Production(굴양식장생산량), Principal Component Analysis(주성분분석), Oyster farming Water Quality Index(굴양식수질지수, OWQI)

1. 서 론

진해만은 창원시, 고성군, 통영시, 거제시로 둘러싸인 폐쇄성 내만으로서 평균수심이 약 10~20 m이며, 외해와 연결된 두 개의 수

로인 만 입구의 가덕수로와 통영시와 거제시 사이의 견내량 수로를 통하여 해수가 교환되고 대부분은 가덕수로를 통하여 이루어지고 있다(Moon[2009]). 그리고 진해만은 지형적 특성으로 인해 바람과 해류의 영향이 적고 하천으로부터의 다량의 영양염 공급으로 인하여 굴, 홍합, 피조개 등의 양식장으로 널리 이용되고 있다(MOF[2017]). 2010년 경상남도의 양식어업 총생산량 약 34만 ton 중에서 패류

[†]Corresponding author: ilee@pknu.ac.kr

본 논문은 2019년 제주도에서 개최된 한국해양과학기술협의회 공동학술대회에서 발표된 논문을 근거로 하고 있음을 밝힙니다.

양식의 생산량은 약 29만 ton으로 약 85.3%를 차지하며, 굴은 패류 양식생산량의 82.3%(23만 8,111 ton)을 차지하고 있다. 특히 통영과 거제해역은 전체 굴 양식장 면적(3,553ha)의 약 63%(통영, 1,326ha; 거제, 930ha)를 차지한다(GNDI[2012]).

그러나, 진해만의 굴 양식은 1992년 이후의 무분별한 면허처분을 비롯하여 빈산소 수괴 출현과 연안어장의 황폐화 등으로 인하여 대량폐사 사고가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다(NIFS[2009]).

굴의 생산량에 미치는 수질환경인자인 용존산소(DO)와 클로로필-a(chl-a)는 굴의 성장을 저해시키는 원인(Lee et al.[2018])이며, 수온과 영양염류는 굴의 성장과 폐사율에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Park et al.[2013]). 그리고 굴의 서식환경과 영향인자와 관련하여 Nam and Noh[2012]는 수온과 강수량 자료의 시계열 분석을 통하여 굴 생산량을 예측하였으며, Cho et al.[2012]은 Brown[1986]의 수질환경인자의 기준값을 준용하여 거제해역 굴 양식장의 서식적 적합도 지수를 산정하여 양식장 적지를 평가하였다. 그러나 기존의 연구는 주로 수질환경인자 평가 기준을 해외의 생물 서식환경 기준으로 평가였으며, 국내의 생물 서식환경을 직접적으로 이용하여 평가한 연구는 부족한 실정이다. 한편, 일본의 세토내해는 진해만과 같은 반폐쇄성 해역이며, 영양염 저감을 통한 수질개선에도 불구하고 수산생산량이 감소하는 경향을 나타내었다(Yamamoto[2003]).

따라서, 본 논문에서는 진해만 굴양식장의 지속가능한 생산성 향상을 위한 수질관리대책을 마련하기 위한 기초적 연구로서, 굴 생산성에 영향을 미치는 비보존성 수질환경인자(DO, COD, DIN, DIP, chl-a)와 굴양식장의 단위면적당 생산량을 이용하여 수질기준을 설정한 후, 수질환경인자의 주성분 분석을 통한 가중치 설정 등을 통하여 굴양식장의 생산성에 근거한 굴양식 수질지수(OWQI; Oyster farming water quality index)를 산정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 수질의 경년변동 해석

진해만의 수질환경인자 조사정점은 Fig. 1과 같고 해양환경공단과 국립수산과학원의 2004년~2017년까지의 총 42개 정점별 연평균 수질측정 자료를 이용하여 수질의 경년변동 특성을 해석하였다. 특히, 수질환경인자는 굴의 생산성에 영향을 미치는 비보존성 수질 항목인 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP), 클로로필-a(chl-a)의 농도를 이용하였다. 한편, 굴의 양식 순기를 살펴보면, 매년 8월~9월에 채묘를 실시하고 양성하며, 10월부터 이듬해 5월까지 수확기로서, 굴의 최적 성장기는 11월에 해당된다(NIFS[2016]). 따라서, 굴의 최적 성숙기 및 수확기를 고려하여 추계(10, 11월)와 동계(12월, 2월)의 수질측정 자료를 분석하였다.

2.2 굴양식장의 단위면적당 생산량 산정

진해만 굴양식장의 단위면적당 생산량은 2004년~2017년까지 추계(10월, 11월)와 동계(12월, 1월, 2월)의 수협 수산물계통판매실적을 이용하여 산정하였다. 그리고 굴양식장의 면적은 진해만내 각 관할 지역의 군정 및 시정백서를 참고하였으며, 단위면적당 생산량은 아래와 같은 수순으로 산정하였다.

1) 진해만의 각 관할지역(창원, 고성, 통영, 거제)의 굴양식장 생산량 산정(식 (1)).

$$OP = RP \times OA \tag{1}$$

여기서, OP_i = 관할 지역별 진해만 굴양식장 생산량(ton)

RP_i = 관할 지역별 굴양식장 단위 면적당 생산량(ton/ha)

OA_i = 관할 지역별 진해만 굴양식장 면적(ha)

2) 진해만 굴양식장의 단위면적당 생산량 산정(식 (2)).

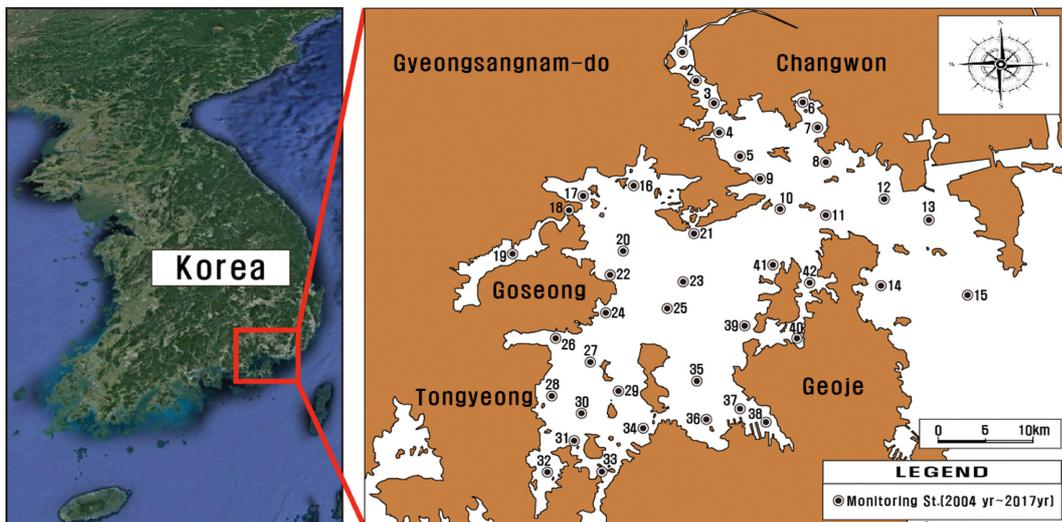


Fig. 1. Study area and Monitoring Stations in Jinhae bay.

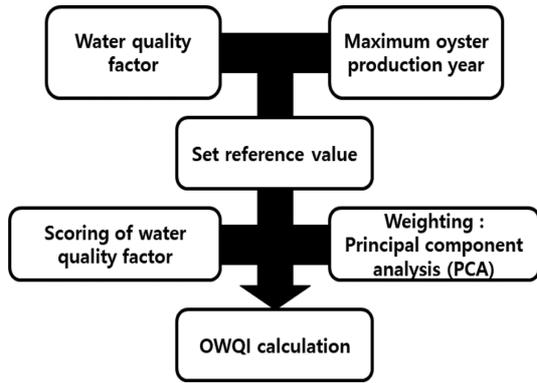


Fig. 2. Flowchart of OWQI calculation process.

$$JOP = \frac{\sum OP_i}{\sum OA_i} \quad (2)$$

여기서, JOP = 진해만 굴양식장의 단위면적당 생산량(ton/ha)

2.3 굴양식 수질지수(OWQI)의 산정

굴양식 수질지수(OWQI)는 Fig. 2의 계산과정에 따라 2004년~2017년의 수질환경인자와 최대 굴양식 생산량의 실적을 이용하여 수질환경인자의 기준값 설정하고 점수화한 후, 주성분분석을 통해 수질환경인자의 가중치를 설정하여 산정하였다.

2.3.1 수질환경인자의 기준값 설정 및 점수화

수질환경인자의 기준값은 2004년~2017년 동안 굴양식장의 생산량이 최댓값을 나타낸 해당연도(2014년)의 각 수질환경인자의 측정농도를 이용하였다. 점수 범위는 수질환경인자별로 범위에 따라서 다양한 점수를 부여하는 미국의 EPA(Environmental Protection Agency)의 방법을 참고하여(Rho et al.[2012]), 선정된 기준값으로 범위를 설정하였다(Table 1참조). DO농도는 기준값 이상이면 5점, 기준값의 95%, 90% 및 75% 범위는 각각 4, 3 및 2점으로, 75% 이하는 1점으로 설정하였다. COD, DIN, DIP 및 chl-a농도는 기준값 이하이면 5점, 105%, 110% 및 125% 이하이면 각각, 4, 3 및 2점으로, 125% 이상이면 1점으로 설정하였다. 한편, chl-a의 부영양화 기준농도는 7 µg/L 이상으로 보고(Kim et al.[2005])되고 있으나, 본 연구에서는 생산량이 최대인 연도(2014년)의 chl-a농도를 최적 농도로 설정하였다.

Table 1. Scoring method of each parameter

Score	Item	DO	COD	DIN	DIP	chl-a
1		≤ 75%				≥ 125%
2		> 75%				< 125%
3		> 90%				< 110%
4		> 95%				< 105%
5		≥ Reference value				≤ Reference value

2.3.2 가중치 설정

수질환경인자의 가중치는 통계프로그램 R을 이용하여 주성분 분석을 실시하여 설정하였다. 주성분 분석은 서로 연관이 될 수 있는 다양한 변수들의 상호관계를 이용하여 여러 가지 변수들 중 연관성이 높은 변수들로 구성된 주성분을 추출하는 방법으로서 고유값이 1이상으로 산출된 요인이 설명력이 높다고 판단한다(Ryu and Kang[2018]). 주성분 분석을 통하여 산정된 부하량을 이용하여 총 60% 이상의 설명력을 가진 수질환경인자들이 차지하는 비중을 식 (3)과 같이 산정하였다.

$$W_i = \frac{L_f^2}{\lambda} \quad (3)$$

여기서, W_i = 수질환경인자의 비중

L_f = 수질환경인자의 부하량

λ = 주요요인의 고유값

주성분의 설명력과 각각의 수질환경인자 비중을 반영하여(Nardo et al.[2005]) 최종적인 가중치를 식 (4)와 같이 설정하였다.

$$w_i = \frac{W_i \times PV_i}{\sum (W_i \times PV_i)} \quad (4)$$

여기서 w_i = 수질환경인자의 가중치

PV_i = 주성분의 설명력

2.3.3 굴양식수질지수(OWQI)의 산정

최대 굴생산량을 기준으로 점수화한 수질환경인자의 점수와 주성분 분석을 통해 산정된 가중치를 이용하여 식(5)와 같이 OWQI를 산정하였다.

OWQI는 1~5점의 범위로, 굴의 생산성에 적합한 수질환경일수록 높은 점수를 나타낸다.

$$OWQI = \sum Q_i w_i \quad (5)$$

여기서 Q_i = 수질환경인자의 점수

w_i = 수질환경인자의 가중치

3. 결과 및 고찰

3.1 수질환경인자의 경년변동 특성

진해만의 2004년~2017년까지 추계(10월, 11월)와 동계(12월, 2월)의 수질환경인자의 연평균 측정농도는 Table 2와 같다. 각 수질환경인자의 경년변동 특성을 살펴보면, DO농도는 8.5 mg/L(2017년)~10.2 mg/L(2005년)범위로 평균농도는 9.3 mg/L이었으며, COD 농도는 1.4 mg/L~2.3 mg/L(2004년)범위로 평균농도는 1.7 mg/L로 나타났다. 그리고 DIN과 DIP농도는 각각 33.2 µg/L(2017년)~339.0 µg/L(2004년)과 5.1 µg/L(2013년)~28.0 µg/L(2007년)의 범위로 평균농도는 각각 92.4 µg/L과 14.1 µg/L이었으며, chl-a는 2.8 µg/L(2017년)~12.2 µg/L(2009년)의 범위로서 평균농도는 6.1 µg/L로 나

Table 2. Annual variation of DO, COD, DIN, DIP, chl-a of seawater in Jinhae bay during 2004~2017

Year	DO (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (µg/L)	DIP (µg/L)	chl-a (µg/L)
2004	9.2	2.3	339.0	23.9	5.3
2005	10.2	2.0	119.6	25.5	5.0
2006	9.4	1.8	133.5	23.3	8.9
2007	9.6	1.5	109.6	28.0	4.6
2008	9.9	1.4	73.7	20.6	6.3
2009	9.5	2.0	81.0	11.9	12.2
2010	9.2	1.6	102.1	19.2	6.4
2011	9.7	1.4	44.1	6.4	7.1
2012	9.2	1.4	37.7	6.0	5.2
2013	8.7	1.5	50.8	5.1	6.4
2014	8.6	1.4	54.8	6.5	4.0
2015	8.7	1.5	56.2	8.0	4.4
2016	9.3	1.9	58.3	5.2	6.4
2017	8.5	1.7	33.2	6.1	2.8

타났다.

또한, 2004년 대비 2017년의 수질환경인자의 변동을 살펴보면, chl-a와 COD는 각각 47%와 26%정도 감소하였으며, DIN과 DIP는 각각 90%와 74%정도 감소한 것으로 나타나 전체적으로 수질이 개선되고 있음을 알 수 있었으며, 이는 2007년부터 시행 중인 연안오염총량관리제도의 효과로 유추할 수 있다(Kwon *et al.*[2014]; Park *et al.*[2018]).

3.2 굴양식장의 단위면적당 생산량의 산정 결과

Fig. 3은 진해만의 2004년~2017년까지의 굴양식장의 면적과 단위면적당 생산량의 산정 결과를 나타낸 것이다. 굴양식장 면적은 2016년에 1,413 ha로 가장 크고, 2004년에 249 ha로 가장 적게 나타났다. 그리고 2004년 대비 2017년의 굴양식장의 면적변화는 249 ha에서 1,385 ha로 456% 증가하였으나, 최근 소득이 높은 가리비양식장으로 전환되고 있어(Goseong Country[2017]) 2016년 이후 감소하는 경향을 보였다.

굴양식장의 단위면적당 생산량은 최대 28.3 ton/ha(2014년)와 최소 13 ton/ha(2007년)로서 평균 22.3±5.1 ton/ha정도로 추정되었다. 한편, 2004년~2007년동안 단위면적당 생산량은 20.2 ton/ha에서 13 ton/ha로 감소(35%)하였으며, 해당 기간의 DIN과 DIP는 평균농도(각각 92.4 µg/L와 14.1 µg/L)를 상회하는 것으로 나타났다. 그러나 2007년~2010년의 단위면적당 생산량은 13 ton/ha에서 27.7 ton/ha로

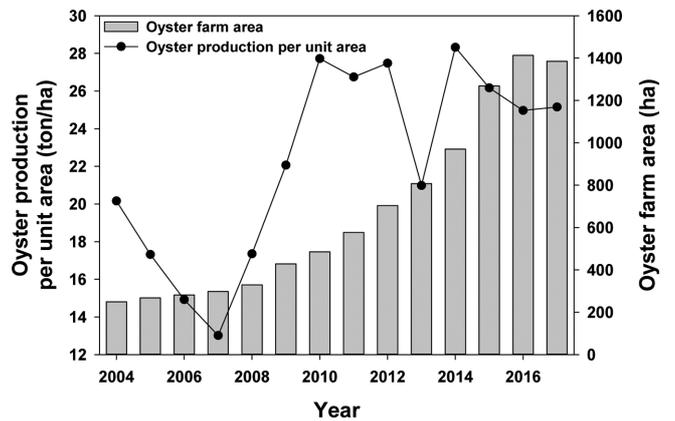


Fig. 3. Oyster farm area and production per unit area in Jinhae bay during 2004~2017.

113% 증가하는 양상으로 나타났다.

3.3 굴양식 수질지수(OWQI) 산정 결과

3.3.1 수질환경인자의 기준값에 따른 점수화

Table 3과 Table 4는 각각 수질환경인자의 점수범위와 연도별 점수화 설정 결과를 나타낸 것이다. 수질환경인자의 점수를 살펴보면, DO는 2017년(4점)을 제외하고 모든 연도에서 5점이었으며, COD는 2008년과 2014년에 동일하게 5점으로 가장 높은 점수를 기록하였

Table 3. Scoring range of DO, COD, DIN, DIP, chl-a

Score	DO (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (µg/L)	DIP (µg/L)	chl-a (µg/L)
1	6.45	1.73	68.46	8.17	5.02
2	6.45	1.73	68.46	8.17	5.02
3	7.74	1.52	60.24	7.19	4.42
4	8.17	1.45	57.50	6.87	4.22
5	8.60	1.40	54.80	6.54	4.0

Table 4. Scoring of DO, COD, DIN, DIP, chl-a in Jinhae bay during 2004~2017

Year	DO	COD	DIN	DIP	chl-a
2004	5	1	1	1	1
2005	5	1	1	1	2
2006	5	1	1	1	1
2007	5	2	1	1	2
2008	5	5	1	1	1
2009	5	1	1	1	1
2010	5	2	1	1	1
2011	5	4	5	5	1
2012	5	4	5	5	1
2013	5	3	5	5	1
2014	5	5	5	5	5
2015	5	3	4	2	3
2016	5	1	3	5	1
2017	4	2	5	5	5

다. 그리고, DIN과 DIP는 2011년 이전에는 모든 연도에서 1점이었으나, 이후로는 2015년과 2016년을 제외하고 모든 연도에서 5점을 기록하였으며, chl-a는 수질환경인자의 기준값인 2014년과 2017년에 각 5점을 나타내었다. Park *et al.*[2018]은 마산만 해양환경인자의 변화에서 DIN, DIP가 가장 크게 감소하였다고 보고하였다. 또한, 수질환경인자의 점수변화를 살펴보면, 전반적으로 COD는 제1차 연안오염총량관리를 시행한 2007년 이후 점수가 높아졌으며, COD와 더불어 총인(TP)의 목표수질을 설정한(AGN[2018]) 2012년 이후에는 2015년을 제외하고 DIP의 점수가 5점을 유지하는 것으로 나타났다.

3.3.2 가중치 산정 결과

주성분 분석을 통한 수질환경인자의 주성분(PC), 비중(W) 및 가중치(w)의 산정결과는 Table 5와 같다. 또한, 수질환경인자의 주성분행렬도는 Fig. 4에 나타내었다. 수질환경인자별 벡터의 길이와 끼인각은 각각 부하량 크기와 상관관계를 나타낸다. 진해만 해역 수질환경인자의 변동에 대하여 제1주성분(PC1)과 제2주성분(PC2)은 각각 49%와 24%로 총 73%의 설명력을 가지는 것으로 나타났으며, 주요 2개 주성분의 고유값은 각각 2.47과 1.2로 산출되었다.

Table 5. Factor loadings and Weighting of DO, COD, DIN, DIP, chl-a in Jinhae bay during 2004~2017

Index	Factor loadings		Proportion		Weighting w
	PC1	PC2	W1	W2	
DO	0.351	-0.533	0.050	0.237	0.18
COD	-0.515	-0.084	0.107	0.006	0.16
DIN	-0.542	-0.404	0.119	0.136	0.18
DIP	-0.518	-0.165	0.109	0.023	0.16
chl-a	0.223	-0.720	0.020	0.432	0.32
eigen value	2.47	1.2	-	-	-
Proportion of Variance (PV)	0.49	0.24	-	-	-
Cumulative Proportion	0.49	0.73	-	-	-

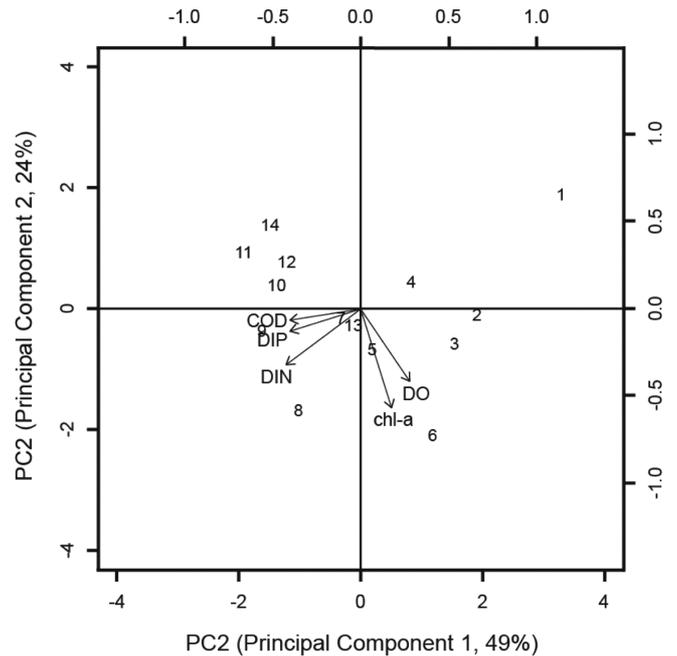


Fig. 4. Biplot of the PCA for Water Quality Factors in Jinhae Bay during 2004-2017.

각 주성분을 구성하는 주요 수질환경인자들을 살펴보면, PC1은 COD, DIN 및 DIP 인자로서 모두 음의 부하량 값으로 -0.515, -0.542 및 -0.518이었다. 이는 마산만 연안오염총량제의 효과에 의한 수질환경인자 농도의 감소 경향과 유사한 결과를 보여준다. 또한, Kim *et al.*[2011]이 보고한 것과 같이 겨울철 진해만의 표층 해수는 질산염, 인산염의 부하량이 크게 나타났다. 그리고 PC2는 chl-a와 DO 인자로서 각각의 부하량은 -0.720과 -0.533으로 나타났다.

한편, 수질환경인자의 가중치는 chl-a가 0.319로 가장 높고, 다음으로 DIN(0.179), DO(0.175), DIP(0.164) 및 COD(0.162)의 순으로 설정되었다.

3.3.3 OWQI 산정 결과

Table 6은 OWQI와 굴양식장의 단위면적당 생산량의 산정결과를 나타낸 것으로서, 진해만의 OWQI는 1.7점(2004년)~5.0점(2014)의 범위로서 평균점수는 2.8점이었으며, 단위면적당 생산량은 평균 22.3±5.1 ton/ha로 산정되었다. 특히, 2004년~2010년까지의 OWQI는

Table 6. OWQI and Oyster production per unit area in Jinhae bay during 2004~2017

Year	Item	OWQI	Oyster production per unit area (ton/ha)
2004		1.7	20.2
2005		2.0	17.3
2006		1.7	14.9
2007		2.2	13.0
2008		2.3	17.4
2009		1.7	22.1
2010		1.9	27.7
2011		3.6	26.7
2012		3.6	27.5
2013		3.4	21.0
2014		5.0	28.3
2015		3.4	26.2
2016		2.7	25.0
2017		4.3	25.1
Average		2.8	22.3±5.1

평균 2.8점 이하였으며, 동 기간의 단위면적당 생산량은 평균 18.9±4.9 ton/ha로 저조하였다. 그리고 2011년~2017년까지의 OWQI는 2016년을 제외한 모든 연도에서 평균값보다 높았으며, 단위면적당 생산량은 약 25.7±2.4 ton/ha로 높게 산정되었다. 또한, Fig. 5에 나타난 진해만의 OWQI와 굴양식장의 단위면적당 생산량의 상관계수는 약 0.62로서, Ryu *et al.*[2018]의 진해만 수산물 총생산량과 수질지수(WQI; 해양수산부 고시)와의 상관해석에 비해 유의한 상관성을 보였다.

Table 7은 진해만 수질환경인자의 점수와 OWQI의 상관계수를

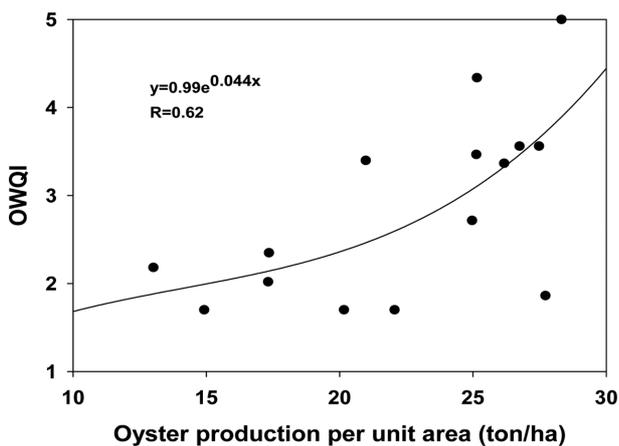


Fig. 5. OWQI and Oyster production per unit area in Jinhae bay during 2004~2017.

Table 7. Correlation coefficient of OWQI and DO, COD, DIN, DIP, chl-a

Item	DO	COD	DIN	DIP	chl-a
Index					
OWQI	-0.393	0.650	0.840	0.803	0.692

나타낸 것으로서, DIN과 DIP가 각각 0.84와 0.80으로 상관계수가 높았으며 OWQI의 경년변동의 주요요인으로 추정되었다. 따라서 진해만의 굴양식장의 지속 가능한 생산성 향상을 위해서는 DIN과 DIP의 적정부하량 산정 및 관리가 필요하다고 판단된다.

본 연구는 진해만 굴양식장의 생산성 향상을 위한 기초적 연구로서, 진해만에 위치한 굴양식장의 생산량과 수질환경인자를 고려하여 OWQI를 산정하였다. 그 결과, OWQI는 굴양식장 생산성 유지/관리를 위한 적정 수질기준의 설정과 허용 오염부하량을 평가할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해서는 수질환경인자와 더불어 기상학적 환경요인 분석과 유입오염부하량의 산정 및 양식장 수용력의 산정 등의 연구가 수행 되어져야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 논문에서는 진해만의 2004년~2017년(14년간) 수질자료와 굴양식장의 단위면적당 생산량을 이용하여 진해만 굴양식장의 지속 가능한 생산성 향상을 위한 수질관리대책으로 새로운 수질지수 OWQI를 제시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 2004년 대비 2017년의 수질환경인자의 농도는 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다. DIN과 DIP 농도는 각각 90%, 74%만큼 감소하여 가장 큰 변동폭을 나타내었으며, COD와 chl-a는 각각 26%, 47% 감소하였다.

2. 굴양식장의 면적은 2004년 대비 2017년에 456% 증가하였으며, 최대 면적은 1,413 ha(2016년), 최소 면적은 249 ha(2004년)으로 나타났다. 굴양식장의 단위면적당 생산량은 최대 28.3 ton/ha(2014년), 최소 13.0 ton/ha(2007년)으로 나타났으며, 평균 22.3±5.1 ton/ha를 나타내었다.

3. 수질환경인자의 점수화한 결과, DO는 2017년 4점을 제외하고 모든 연도에서 5점을 나타냈다. COD는 2008년과 2014년에 5점을 나타내었다. DIN과 DIP는 2011년 이전에는 1점을 나타내었으나, 이후에는 2015년과 2016년을 제외한 모든 연도에서 5점을 나타내었다. chl-a는 2014년과 2017년에 5점을 나타내었다. 수질환경인자 변동에 대한 PC1과 PC2는 총 73%의 설명력을 나타내었다. PC1은 COD(-0.515), DIN(-0.542), DIP(-0.518)로 나타났고, PC2는 DO(-0.533), chl-a(-0.720)로 나타났다. 가중치는 chl-a(0.319), DIN(0.179), DO(0.175), DIP(0.164), COD(0.162)의 순서로 chl-a가 가장 높게 산정되었다.

4. 2004년~2017년(14년간)동안 진해만의 OWQI 산정 결과, 평균 2.8점으로 1.7점(2004년)~5.0점(2014년)의 범위를 나타내었다. 2004년~2010년의 OWQI는 평균을 하회하였으며, 굴양식장의 단위면적당 생산량은 평균 이하(18.9±4.9 ton/ha)를 나타내었다. 2011년~2017년의 OWQI는 평균을 상회하였으며, 굴양식장의 단위면적당 생산량은 평균 이상(25.7±2.4 ton/ha)을 나타내었다. OWQI와 수질환경인자의 상호관계를 살펴보면, DIN, DIP의 상관계수가 각각 0.84, 0.80으로 가장 높은 상관을 나타내었다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] AGN (Archives GyungNam), 3rd Coastal Pollution Control Plan in Masan Bay of Specially Managed coastal, <https://archives.gyeongnam.go.kr/00079/00141.web?amode=view&idx=3940>, 2018 (accessed 2018.01).
- [2] Brown, J.R., 1986, The influence of environmental factors upon the growth and survival of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* Thunberg., M. Sc. thesis, Simon Fraser Univ, Burnaby.
- [3] Cho, Y.S., Lee, W.C., Hong, S.J., Kim, H.C. and Kim, J.B., 2012, GIS-based suitable site selection using habitat suitability index for oyster farms in Geoje-Hansan Bay, Korea, *Ocean & Coastal Manag.*, Vol. 56, 10-16.
- [4] EPA (Environmental Protection Agency), 2004, National Coastal Condition Report II, U.S. Environ. Protection. Agency, EPA-620/R-03/002.
- [5] GNDI (Gyung Nam Development Institute), Strategy for enhancement of shellfish farming in Gyungnam province, <http://gndi.re.kr/gndi2016/report/sub01.html?mode=list&cate=&subcate=8>, 2012 (accessed 2012.02.14.).
- [6] Goseong Country, 2017, White Paper of Gosung County, Gosung, Korea.
- [7] Kim, D.S., Choi, H.W., Kim, K.H., Jeong, J.H., Baek, S.H. and Kim, Y.O., 2011, Statistical Analysis on the Quality of Surface Water in Jinhae Bay during Winter and Spring, *Ocean and Polar res.*, 33(3), 291-301.
- [8] Kim, D.S., Lim, D.I., Jeon, S.K. and Jung, H.S., 2005, Chemical Characteristics and Eutrophication in Cheonsu Bay, West Coast of Korea, *Ocean and Polar res.*, 27(1), 45-58.
- [9] Kwon, J.N., Lee, J.H., Kim, Y.S., Lim, J.H., Choi, T.J., Ye, M.J., Jun, J.W. and Kim, S.M., 2014, Long-Term Variations of Water Quality in Jinhae Bay, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 17(4), 324-332.
- [10] Lee, S.J., Jo, Q.T., Do, Y.H., Kim, S.S. and Park, Y.C., 2018, Growth performance of the longline-suspended Pacific oysters *Crassostrea gigas* on the coasts of Jeonnam, Korea, *J. Korea Malacology*, 34(4), 263-270.
- [11] Moon, J.H., 2009, A Study of factors on algal bloom outbreaks in Jinhae Bay by numerical and PCA methods, Dept. Ocean. Eng., Chonnam National Univ., Chonnam, Korea.
- [12] MOF (Ministry of Ocean and Fisheries), Fishery production survey, http://fips.go.kr/jsp/sf/ss/ss_fishery_kind_list.jsp?menuDepth=070103, 2017 (accessed 2017.08.28.).
- [13] Nam, J.O. and Noh, S.G., 2012, A Study on Forecast of Oyster Production using Time Series Models, *Ocean and Polar Res.*, 34(2), 185-195.
- [14] Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S. and Hoffman, A., 2005, Handbook on Constructing Composite Indicators : Methodology and User Guide, OECD, OECD Statistics Working Papers, No. 2005/03.
- [15] NIFS, A study on the Standardization of Oyster Aquaculture. Aquaculture Management Division Retrieved from http://www.nifs.go.kr/rsh/result/rsltBizRptPop.do?ORD=&RSLTPUB_SEQ=1978&HIST_SEQ=1&PAGEINDEX=11978, 2009 (accessed 2009.12).
- [16] NIFS, Oyster Culture Standard Manual, <http://www.nifs.go.kr/adms/ebook/oyster/index.html#page=1>, 2016 (accessed 2016.03.).
- [17] Park, S.W., Kin, Y., Kim, J.H., Chung, S.W. and Han, K.N., 2013, Effect of Environment Factors on Growth and Mortality of Cupped Oyster, *Crassostrea gigas*, *J. Korea Malacology*, 29(4), 273-281.
- [18] Park, M.O., Lee, Y.W., Park, J.K., Kim, S.G., Kim, S.S. and Lee, S.M., 2018, Changes in Water Quality in Masan Bay after the Introduction of the Total Pollution Load Management System, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 21(2), 139-148.
- [19] Rho, T.K., Lee, T.S., Lee, S.R., Chol, M.S., Park, C., Lee, J.H., Lee, J.Y. and Kim, S.S., 2012, Reference Values Water quality Assessment Based on the Regional Environmental Characteristics, *J. Korean Soc. oceanogr.*, 17(2), 45-58.
- [20] Ryu, J.N. and Kang, D.W., 2018, Analysis of Water Infrastructure Sustainability Index : Using Weighting and Cluster Analysis, *J. Korea Soc. Civ. Eng.*, 38(3), 417-428.
- [21] Ryu, S.H., Lee, I.C. and Jin, S.H., 2018, Analysis of Annual Variation of Water Quality and Fisheries Production in Jinhae Bay, *J. Korean Soc. Fisheries Sci. Sduc.*, 30(4), 1215-1222.
- [22] Yamamoto, T., 2003, The Seto Inland Sea—eutrophic or oligotrophic?, *Mar. Pollut. bull.*, 47, 37-42.

Received 16 September 2019

1st Revised 12 October 2019, 2nd Revised 14 November 2019

Accepted 15 November 2019