JFMSE, 30(4), pp. 1215~1222, 2018.
수산해양교육연구, 제30권 제4호, 통권94호, 2018.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.08.30.4.1215

진해만의 수질과 수산생산량의 경년변동 해석

류성훈 · 이인철† · 진승환
(†부경대학교)

Analysis of Annual Variation of Water Quality and Fisheries Production in Jinhae Bay, Korea.

Sung-Hoon RYU · In-Cheol LEE† · Seung-Hwan JIN
(†Pukyong National University)

Abstract

For the analyzing of annual variation of water quality and fisheries production in Jinhae bay, Korea, we divided three regions and then analyzed water quality and fisheries production of Jinhae bay during 2004 to 2016. Water quality is analyzed by using Water Quality Index(WQI) which is calculating by using Surface; chlorophyll-a, Dissolved Inorganic Nitrogen(DIN), Dissolved Inorganic Phosphorus(DIN), Transparency of seawater, Bottom; Dissolved Saturation(DO). Fisheries production is analyzed by using total fisheries production in Jinhae bay. As a result of this study, WQI of Region Ⅰ was gradually improved 5th grade(2004) to 1st grade(2016) but fisheries production was decreased by 49.2%. Region Ⅱ of WQI was decreased from 2014 and fisheries production was not significant variation. Region Ⅲ of WQI was decreased 1st grade(2005) to 4th grade(2014) but fisheries production was increased by 62.5%.

Key words : Jinhae bay, Water Quality Index, Fisheries Production, Annual variation

Ⅰ. 서 론

우리나라 남동해안에 위치한 진해만은 동서로 가덕도 동두말에서 거제대교까지, 남북으로는 마산내만에서 장승포시까지의 범위로, 행암만, 마산만, 고현만, 원문만, 진동만, 당항만 등의 소규모 내만 등을 포함하고 있는 반폐쇄성 해역이다. 또한 해안선의 굴곡이 심하고 수심이 비교적 얕으며 바람과 해류의 영향이 적고 하천으로부터의 다량의 영양염 공급으로 인해 먹이생물이 풍부하여 굴, 홍합, 피조개 등의 중요한 양식장으로 이용되고 있으며, 대구의 산란장으로 수산 활동이 활발한 해역이다(MOF, 2017).

그러나 진해만은 1970년대 이후 주변 유역의 도시화, 공업 및 농공단지 조성, 연안지역의 인구 집중화 현상이 가속화되면서 생활오수, 공장 및 축산폐수, 각종 건설사업 및 양식의 밀식 등 많은 양의 생활하수와 다양한 산업 폐기물들이 충분히 처리되지 못한 채로 진해만으로 유입되어 해양환경이 지속적으로 악화되어 왔다(Cho & Chae, 1998; Kim et al., 1999).

특히, 마산만은 특별관리해역으로 지정되어, 2007년부터 화학적 산소요구량(COD)에 대한 1단계 오염총량제가 시행되었고, 2012년부터 질소와

† Corresponding author : 051-629-6586, ilee@pknu.ac.kr
* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의해 연구되었음

인을 추가하여 2단계 오염총량제가 시행 중이며, 2008년~2014년 동안 총 2,534억 원을 투입한 결과, 마산만 수질은 화학적 산소요구량(COD) 기준, 2.59 mg/L에서 1.7 mg/L로 약 34% 개선되었다(Kwon et al., 2014).

그러나 일본의 대표적인 반폐쇄성 해역인 세토내해는 유입영양염의 저감에 의한 해역의 수질환경개선에도 불구하고 어획량이 감소하는 경향을 보여(Yamatmoto, 2003), 해역의 수질 및 수산생산량의 상관관계에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

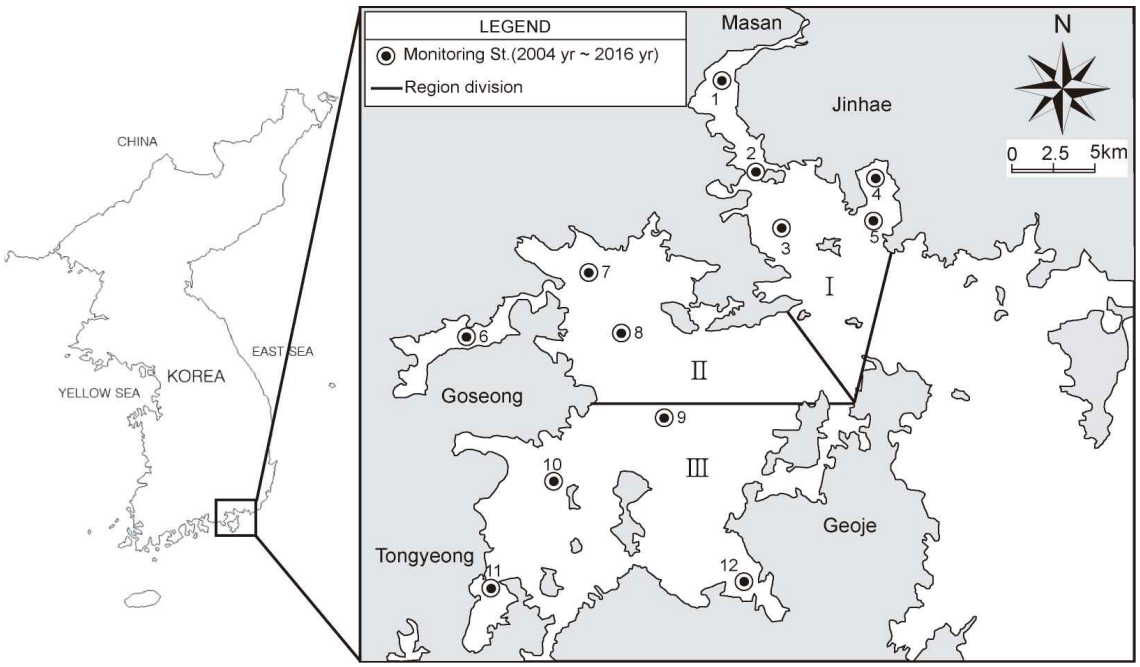
한편, 지금까지 진해만에 관해 수행된 연구는 해양환경변화(Yoon & Lee, 2004), 빈산소수괴(Choi et al., 1994; Lee et al., 2008), 동·식물 플랑크톤 변동(Son et al., 2014), 저서환경 및 생물(Lim et al., 2007; Seo et al., 2015)에 대한 연구가 주로 수행되었으며, 진해만의 수질변화와 수산생산지표의 경년변화에 대한 연구는 Kang & Lee (2010)의 연구 이외에는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 진해만의 수질 및 수산생산량 자료(2004년~2016년(12년간))의 통계해석을 통해 진해만의 수질과 수산생산량의 경년변동 및 상호연관성에 대하여 검토하였다.

Ⅱ. 자료 및 방법

1. 수질평가지수(WQI)의 인자분석

진해만의 수질 경년변동 특성을 분석하기 위해 국가해양환경정보통합시스템(http://meis.go.kr)에서 제공하는 2004년부터 2016년까지의 정점별 투명도(SD;secchi disk depth), 용존산소 포화도(DO, %), 식물 플랑크톤 농도(Chlorophyll-a;Chl-a), 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP) 등의 수질항목을 분석하였다. 그리고 진해만의 해역분할은 Lee et al. (2008)의 군집분석결과를 인용하여, [Fig. 1]의 Ⅰ~Ⅲ해역으로 분할 하였고, 각 해역의 수질조사 정점은 Ⅰ해역에서 5개(①~⑤), Ⅱ해역 3개(⑥~⑧), Ⅲ해역 4개(⑨~⑫)의 연평균 값을 이용하였다.



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

2. 수질평가지수(WQI)의 산정

진해만 각 해역별 수질평가지수(WQI) 산정은는 <Table 1>과 같이 해양수산부 고시 제 2013-186호에 의거하였으며, 산정절차는 다음과 같다.

1) 외해 기준농도는 대한해협 표층의 Chl-a (6.3 ㎍/L), DIN (220 ㎍/L) 및 DIP농도 (35 ㎍/L)와 저층 DO농도(90%)와 투명도(2.5m)를 기준으로 설정하였으며, 진해만내 Ⅰ~Ⅲ해역의 각 정점별 2004~2016년(12년간)의 표층의 Chl-a, DIN, DIP농도 및 투명도, 저층 DO농도 등의 관측결과를 <Table 1>에 의거해 점수화(Score)하였다.

2) WQI는 각 수질인자에 대한 점수를 식 (2-1)에 대입하여 산정하였다. 그리고 산정한 WQI는 I 등급(매우좋음; WQI≤23), II 등급(좋음;24≤WQI≤33), III 등급(보통;34≤WQI≤46), IV 등급(나쁨; 47≤WQI≤59) 및 V 등급(매우나쁨; WQI≥60)의 총 5단계로 구분되었다.

$$WQI = 10 \times DO(\%) + 6 \times \left\{ \frac{(chl-a) + SD}{2} \right\} + 4 \times \left(\frac{DIN + DIP}{2} \right) \quad (2\text{-}1)$$

<Table 1> Criteria for score of each parameter for calculating the water quality index(WQI) in Korea

Score	Parameters	
	Chl-a(㎍/L), DIN(㎍/L) DIP(㎍/L)	DO(Saturation, %), Transparency(m)
1	below base	above base
2	<base+0.10×base	>base-0.10×base
3	<base+0.25×base	>base-0.25×base
4	<base+0.50×base	>base-0.50×base
5	≥base+0.50×base	≤base-0.50×base

3. 수산생산량의 산정

진해만의 수산생산량은 해역별 수질조사 정점 인근 수협에서의 계통판매실적으로 간주하여, Ⅰ해역은 마산·진해, Ⅱ해역은 창원서부·고성, Ⅲ해역은 통영·거제의 수산물계통판매고 통계연보(2004~2016년)자료를 이용하여 산정하였다.

4. 수질평가지수와 수산생산량의 상관해석

진해만의 해역별 수질변화가 수산생산량에 미치는 영향을 파악하기 위해 2004~2016년의 수질평가지수(WQI)와 수산생산량의 상관해석을 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수질평가지수(WQI)의 인자 특성

<Table 2>는 2004~2016년 진해만 내 3개 해역에서의 수질평가지수(WQI)의 각 인자별 경년변화를 나타내며, 인자별 특징은 다음과 같다.

1) 용존산소포화도 (DO)

Ⅰ해역의 저층 DO는 78.3~105.7%(평균: 96.7%), Ⅱ해역은 72.3~95.9%(평균: 88.1%), Ⅲ해역은 72.6~102.2%(평균: 83.2%) 범위로 변동하였으며, 인근 조사정점에서 기수행한 Kwon et al. (2014)의 연구결과와 유사하였다.

특히, 육상오염부하량의 유입이 상대적으로 적은 Ⅲ해역의 저층 DO 농도가 낮은 경향을 보였는데, 이는 양식장으로부터 유입된 유기물이 저층에서 분해되는 과정에서 다량의 산소를 소비하기 때문인 것으로 사료된다(Choi et al., 2017).

2) DIN, DIP 및 Chl-a 농도

부영양화와 관련이 있는 영양염류(DIN, DIP)를 살펴보면, DIN농도는 Ⅰ해역에서 0.03~337.56 (평균: 123.37 ㎍/L), Ⅱ해역 0.03~273.58(평균: 90.9 ㎍/L), Ⅲ해역 0.03~110.44㎍/L(평균: 50.4 ㎍

<Table 2> Annual variation of DO, DIN, DIP, Chl-a and Transparency of seawater in Jinhae bay during 2004~2016

Region	Year	DO (%)	DIN (μg/L)	DIP (μg/L)	Chl-a (μg/L)	Transparency (m)
Ⅰ	2004	78.3	312.86	23.93	8.33	1.87
	2005	98.5	337.56	35.41	10.46	2.04
	2006	89.8	231.23	25.27	19.86	2.09
	2007	100.3	124.25	32.23	9.11	3.11
	2008	88.6	47.35	15.55	14.79	2.52
	2009	105.7	100.06	7.32	21.62	2.13
	2010	105.2	111.83	11.38	11.51	1.94
	2011	104.4	2.08	0.29	12.86	1.82
	2012	96.1	0.03	0.01	11.13	2.81
	2013	94.3	85.18	8.25	13.48	2.64
	2014	95.4	106.06	7.56	13.97	2.17
	2015	97.7	75.64	10.77	10.06	2.25
	2016	103.0	95.72	7.13	6.02	2.75
Ⅱ	2004	88.4	153.52	14.4	3.03	3.14
	2005	92.0	170.76	17.12	4.23	3.26
	2006	84.8	91.88	18.42	7.89	3.85
	2007	95.9	99.05	18.64	4.55	4.71
	2008	87.6	60.09	23.83	3.84	5.13
	2009	96.2	51.16	11.32	13.11	3.61
	2010	90.7	58.81	13.48	4.4	3.73
	2011	82.9	4.36	0.59	6.59	3.43
	2012	88.5	0.03	-	3.53	4.43
	2013	89.7	46.67	13.78	5.11	4.64
	2014	72.3	273.58	16.68	9.59	3.03
	2015	87.5	64.59	10.12	2.66	3.71
	2016	88.2	107.41	11.65	1.57	4.22
Ⅲ	2004	72.6	107.63	9.84	2.47	3.78
	2005	90.7	42.09	9.26	3.83	4.26
	2006	88.1	69.23	15.86	5.71	4.49
	2007	84.1	79.57	18.51	3.46	6.09
	2008	82.1	41.88	19.41	3.84	5.43
	2009	102.2	27.76	10.43	11.21	4.64
	2010	84.8	44.34	12.61	3.71	4.28
	2011	83.4	6.07	0.83	3.93	4.37
	2012	79.7	0.03	-	2.73	5.31
	2013	85.5	32.03	7.91	4.93	5.62
	2014	75.2	110.44	9.64	6.99	4.32
	2015	79.1	40.52	8.58	2.14	5.39
	2016	74.6	54.06	6.11	1.75	5.45

/L)범위였으며, DIP농도는 Ⅰ해역 0.01~35.41(평균: 14.23μg/L), Ⅱ해역 0.59~23.83(평균: 13.1 μg/L), Ⅲ해역 0.83~19.41 μg/L(평균: 9.92 μg/L)이었다. 그리고 해역별 Chl-a농도는 Ⅰ해역 6.02~21.62(평균: 12.55 μg/L), Ⅱ해역 1.57~9.59 (평균: 5.39 μg/L), Ⅲ해역 1.75~11.21μg/L (평균: 4.36 μg/L)범위로 변동하였다.

진해만의 영양염류의 경년변화는 지형적 특성 및 오염원에 따라 구분되며, 특히 마산만과 행암만을 포함하는 I 해역이 가장 높게 나타났는데, 이는 Son et al.(2014)의 연구결과와 같이 점오염원에 의한 다량의 영양염 부하 및 해수교환이 원활하지 못하여 영양염의 체류시간이 길어짐에 따른 결과로 판단된다. 이와 관련하여 Kim & Lee (2000)는 1990년대 초반 마산만으로 과다한 영양염이 공급으로 COD, DIN, DIP 농도가 증가하여 식물플랑크톤의 증식에 크게 영향을 미친다고 보고 하였으며, Hyun et al.(2011)이 보고한 바와 같이 마산만이 타 해역에 비하여 식물플랑크톤 현존량, Chl-a, 영양염류 농도 등이 상대적으로 높다는 결과와도 유사한 경향을 보였다.

한편, 2012년부터 질소와 인을 추가한 2단계 오염총량제의 시행에도 마산만과 행암만이 포함된 Ⅰ해역과 Ⅱ, Ⅲ해역의 영양염류 및 Chl-a 평균농도 차이는 지속적으로 유지되고 있어 이에 대한 관리대책이 필요할 것으로 생각된다.

3) 투명도(Transparency)

투명도는 Ⅰ해역의 경우 1.82~3.11 m (평균: 2.31 m), Ⅱ해역 3.03~5.13 m (평균: 3.91 m), Ⅲ해역 3.78~6.09 m (평균: 4.88 m)범위로서, Ⅲ해역에서 가장 높고, 마산만과 행암만을 포함하는 Ⅰ해역에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

2. 수질평가지수(WQI)의 산정 결과

각 해역별 연평균 수질자료(2004 ~2016)를 이용하여 산정한 WQI와 수질등급은 각각 [Fig. 2] 및 <Table 3>과 같다.

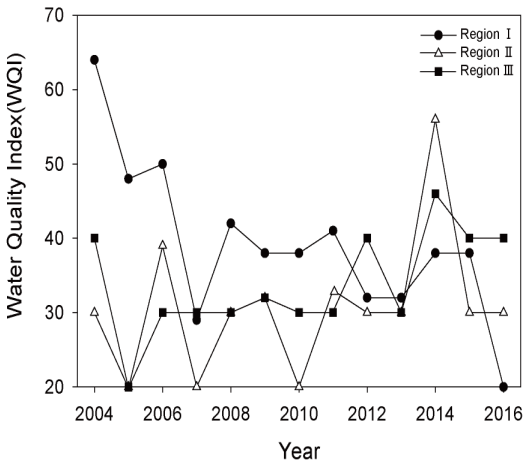
Ⅰ해역의 WQI는 20~64(1~5등급), Ⅱ해역은 20~56(1~4등급), Ⅲ해역은 20~40(1~3등급)의 범위로 산정되었다. 각 해역의 평균 WQI는 Ⅰ해역이 39로 타해역(Ⅱ해역:31, Ⅲ해역:34)에 비해 높았으나, 2007년 COD 총량규제의 시행 후 2006년도 대비 약 42% 감소 후 증감을 반복하였으며, 2016년에는 해역 중 가장 낮은 WQI값을 나타내어, 수질 개선이 뚜렷하였다. Ⅱ해역은 2014년에 WQI가 급증하였는데, 이는 당항만의 해양마리나 시설 조성사업으로 인한 영향으로 유추된다(Goseong Country, 2015). Ⅲ해역은 WQI가 꾸준히 증가하여 수질이 악화되는 경향을 보였다. 이는 Choi et al.(2017)이 보고한 패류 양식장의 밀집으로 인한 퇴적물내 유기물 축적, 공극수 내 영양염 농도 증가 및 퇴적물 독성증가와 더불어 저층 DO농도가 타 해역에 비해 낮은 것이 크게 영향을 미치고 있는 것으로 추정된다.

3. 수산생산량의 산정 결과

진해만의 해역별 연평균 수산생산량의 산정결과는 <Table 4>에 나타내었다.

Ⅰ해역의 수산생산량은 3,713(2007년)~35,083(2004년), Ⅱ해역 11,209(2007년)~24,073(2010년), Ⅲ해역은 33,105(2004년)~78,687(2013년) ton의 범위였으며, 연평균 수산생산량은 Ⅲ번 해역(56,805 ton)>Ⅰ해역(21,502 ton)>Ⅱ해역(17,522 ton) 순이었다.

수산생산량의 변동특성을 살펴보면, 전반적으로 Ⅰ해역은 2008년 이후로 증감을 반복하고 있으며, Ⅱ해역은 2010년까지 증가한 후 꾸준히 감소하고, Ⅲ해역은 2009년 이후 꾸준히 증가하는 추세를 보였다. 특히, 각 해역의 2004년 대비 2016년의 수산생산량을 비교하면, Ⅰ과 Ⅱ해역은 각각 49.2%, 34.5% 감소한 반면 Ⅲ해역은 78.1%로 증가하였는데, 이는 Ⅰ과 Ⅱ해역의 영양염(DIN, DIP) 및 Chl-a 농도가 Ⅲ 해역에 비해 상대적으로 높아 부영양화로 인해 수산생산량의 증감에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.



[Fig. 2] Annual variation of Water Quality Index(WQI) at each region in Jinhae bay during 2004~2016

<Table 3> Annual variation of Water Quality Index (WQI) and Grade at each region in Jinhae bay during 2004~2016

WQI	Region WQI(Grade)		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
2004	64 (5)	30 (2)	40 (3)
2005	48 (4)	20 (1)	20 (1)
2006	50 (4)	39 (3)	30 (2)
2007	29 (2)	20 (1)	30 (2)
2008	42 (3)	30 (2)	30 (2)
2009	38 (3)	32 (2)	32 (2)
2010	38 (3)	20 (1)	30 (2)
2011	41 (3)	33 (2)	30 (2)
2012	32 (2)	30 (2)	40 (3)
2013	32 (2)	30 (2)	30 (2)
2014	38 (3)	56 (4)	46 (3)
2015	38 (3)	30 (2)	40 (3)
2016	20 (1)	30 (2)	40 (3)

<Table 4> Results of Total fisheries production at each region in Jinhae bay during 2004~2016 year

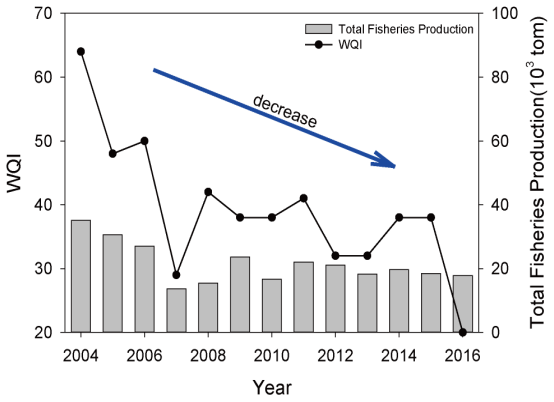
Year	Fisheries production(tons)		
	Region Ⅰ	Region Ⅱ	Region Ⅲ
2004	35,083	17,109	33,105
2005	30,622	17,979	47,498
2006	26,988	17,613	46,560
2007	13,713	21,954	42,234
2008	15,435	19,941	49,853
2009	23,658	23,257	38,078
2010	16,633	24,073	50,395
2011	22,000	17,480	61,338
2012	21,133	17,006	77,085
2013	18,272	13,590	78,687
2014	19,660	14,437	77,206
2015	18,493	12,132	77,457
2016	17,826	11,209	58,968

4. 수질평가지수와 수산생산량의 상관해석

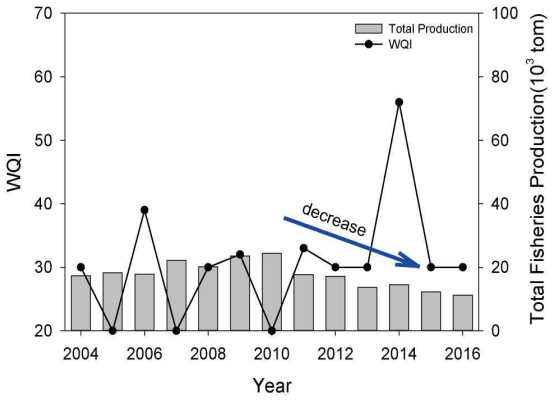
진해만의 Ⅰ, Ⅱ 및 Ⅲ 해역의 수질평가지수(WQI)와 수산생산량과의 상관해석 결과는 [Fig. 3]~[Fig. 5]에 나타내었다.

타 해역에 비해 상대적으로 육상으로부터의 유입원이 많은 마산만 및 행암만을 포함하는 Ⅰ해역은 2007년부터 시행된 1단계 오염총량제로 인해 WQI가 꾸준히 감소하여 수질이 개선되고 있으나, 수산생산량은 2012년 이후 감소하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 2004년 대비 2016년 WQI는 64점(5등급)에서 20점(1등급)으로 수질은 개선되었지만, 수산생산량은 오히려 35,083 ton에서 17,826 ton으로 49.2% 감소하였다([Fig. 3]).

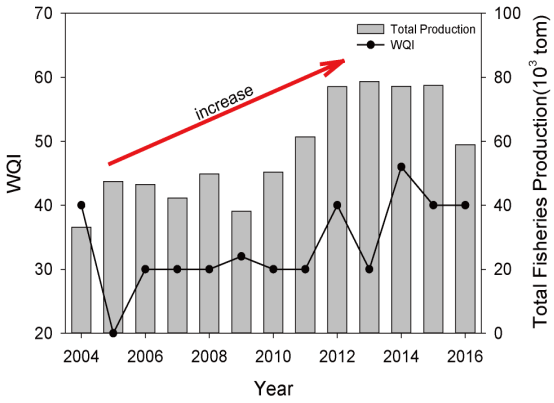
Ⅱ해역은 WQI의 경년변동은 증감을 반복하면서 2014년 급격하게 증가(56점, 4등급)한 후, 재차 감소하는 추세였으며, 수산생산량은 2010년까지 증가한 후 감소하는 경향이었다([Fig. 4]).



[Fig. 3] Annual variation of WQI and Total fisheries production at region Ⅰ in Jinhae bay



[Fig. 4] Annual variation of WQI and Total fisheries production at region Ⅱ in Jinhae bay



[Fig. 5] Annual variation of WQI and Total fisheries production at region Ⅲ in Jinhae bay

특히, Ⅱ해역은 WQI가 최소인 2010년(20점, 1등급)의 수산생산량은 24,073 ton으로 WQI가 최대인 2014년(56점, 4등급)의 수산생산량인 14,437 ton 비해 수산생산량이 40% 높았으며, Ⅰ해역 달리 수질이 개선될수록 수산생산량 또한 증가하는 해역특성을 보였다.

Ⅲ해역은 타 해역에 비해 굴, 담치, 및 멍게 등의 대규모 양식이 이루어지고 있는 해역으로(Jung et al., 2016), 저층의 용존산소포화도, 영양염류(DIN, DIP) 및 Chl-a 농도가 다른 해역에 비해 가장 낮았으며, WQI는 2005년부터 증가추세를 보였으며, 수산생산량 또한 2000년부터 지속적으로 증가하는 경향이었다. 그리고 WQI가 최소인 2005년(20점, 1등급)의 수산생산량이 47,498 ton으로 WQI가 최대인 2014년(46점, 4등급)의 수산생산량 77,206 ton 비해 62.5% 감소하는 것으로 나타나, 수질이 나빠질수록 수산생산량이 증가하는 양상을 보였다. Ⅲ해역의 경우, 대규모 양식장이 밀집되어 있어 양식시설에 의한 수산 생산량이 증가할수록 퇴적되는 사료 및 배설물 등이 증가함에 따른 수질오염을 가중(Callier et al., 2007)되는 특성을 보이는 것으로 유추할 수 있다. 특히, 2015년과 2016년의 WQI가 40점(3등급)으로 동일함에도 불구하고, 수산생산량은 2015년 77,457 ton에서 2016년 58,968 ton으로 약 24% 감소하는 것으로 나타나, 이에 대한 지속적인 모니터링 및 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 진해만의 수질 및 수산생산량 자료(2004년~2016년(12년간))의 통계해석을 통해 진해만의 수질과 수산생산성의 경년변동 및 상호연관성에 대하여 검토하였다.

진해만의 Ⅰ해역은 마산만과 행암만을 포함하며 육상으로부터의 유기물 유입이 타 해역에 비해 높은 곳으로, COD를 대상으로 한 제1차 연안오염총량관리제 실시(2007~2012)로 WQI가 꾸준히 감소하여 수질은 개선되고 있으나, 부영양화로 인해 수산생산량에 영향을 미칠 수 있는 영양염류(DIN, DIP) 및 Chl-a 농도는 여전히 높으며, 수산생산량은 감소하는 경향을 보였다.

Ⅱ해역은 수질이 개선될수록 수산생산량이 증가하는 추세로서 타해역에 비해 수질 및 수산생산량의 변동 폭이 크게 나타나지 않았다.

Ⅲ해역은 대규모 양식이 이루어지고 있는 해역으로서 저층의 용존산소포화도, 영양염류(DIN, DIP) 및 Chl-a 농도가 다른 해역에 비해 가장 낮았으며, WQI는 2005년부터 증가추세를 보였으며, 수산생산량도 2000년부터 꾸준히 증가하는 경향을 보였다.

References

Callier, M. D.・McKindsey, C. W & Desrosiers, G(2007). Multi- scale spatial variations in benthic sediment geochemistry and macrofaunal communities under a suspended mussel culture, Mar Ecol Prog Ser 348, 105~115.

Cho, Hong Yeon & Chae, Jang Won(1998). Analysis on the Characteristics of the Pollutant Load in Chinhae-Masan Bay, Korean Society of Coastal and Ocean. Engineering, 10(3), 132~140.

Choi, Minkyu・Lee, In-Seok・Hwang, Dong-Woon・Kim, Hyung Chul・Yoon, Sang-Pil・Yun, Sera・Kim, Chung-Sook & Seo, In-Soo(2017). Organic Enrichment and Pollution in Surface Sediments from Jinhae and Geoje-Hansan Bays with Dense Oyster Farms, Kor. J. Fish. Aquat Sci, 50(6), 777~787.

Choi, Woo-Jeung・Park, Chung-Kill & Lee, Suk-Mo (1994). Numerical Simulation of the Formation of Oxygen Deficient Water-masses in Jinhae Bay, Bull. Korean Fish. Soc, 27(4), 413~433.

Gosung County(2015). White Paper of Gosung County, pp.52, Gosung, Korea.

Hyun, Bong-Gil・shin, Kyoungsoon・kim, Dong Sun・kim, Young Ok・joo, Hae Mi & Baek, Seung Ho(2011). Understanding of Phytoplankton

Community Dynamics Through Algae Bioassay Experiment During Winter Season of Jinhae bay, Korea, 「The Sea」, Journal of the Korean Society of Oceanography, 16(1), 27~38.

Jung, Rae Hong・Seo, In-Soo・Choi, Byoung-Mi・Choi, Minkyu・Yoon, Sang-Pil・Park, Sang Rul・Na, Jong Hun & Yun, Jae Seong(2016). Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages at spring and summer in Geoje-Hansan Bay, Southern coast of Korea, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety 22(1), 27~41.

Kang, Min-Hea & Lee, In-Cheol(2010). Annual Variations in Fisheries Productivity Index in Jinhae Bay, Kor. J. Fish. Aquat Sci, 43(5), 547~550.

Kim, Cha-Kyum & Lee, Pil-Young(2000). Three-Dimensional Water Quality Modeling of Chinhae Bay, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 12(1), 1~10.

Kim, Sam-Kon・Kim, Jong-Hwa & Park, Chang-Doo(1999). Studies on the Growth and Environmental Development for the Protection-Nourishment of Fisheries Resources -1. Distribution of Demersal Fishes in the Chinhae Bay, Korea, Jour. Fish. Mar, Sci. Edu., 11(1), 98~113.

Kwon, Jung-No・Lee, Jangho・Kim, Youngsug・Lim, Jae-Hyun・Choi, Tae-Jun・Ye, Mi-Ju・Jun, Ji-Won & Kim, Seulmin(2014). Long-Term Variation of Water Quality in Jinhae Bay, Journal of the Korean Society for Marine Environmental and Energy, 17(4), 324~332.

Lee, In-Cheol・kong, Hwa-Hun & Yoon, Seok-Jin(2008). Numerical Prediction for Reduction of Oxygen Deficient Water Mass by Ecological Model in Jinhae Bay, Jouranl of Ocean Engineering and Technology, 22(5), 75~82.

Lim, Kyeong Hun・shin, Hyun Chool・yoon, Seong Myeong & Koh, Chul-Hwan(2007). Assessment of Benthic Environment based on Macrobenthic Community Analysis in Jinhae Bay, Korea. 「The Sea」, Journal of the Korean Society of Oceanography, 12(1), 9~23.

MEIS(Marine Environment Information System). 2004~2016. http://meis.go.kr.

MOF (Ministry of Ocean and Fisheries). 2017. Fishery pro\-duction survey. Retrieved from http://fips.go.kr/jsp/sf/ss/ ss_fishery_kind_list.jsp?menuDepth=070103 On Aug 28, 2017.

Seo, Jin-Young・Lim, Hyun-Sig & Choi, Jin-Woo(2015). Spatio-temporal Distribution of Macrobenthic Communities in Jinhae Bay, Korea, Ocean and Polar Research, 37(4), 295~315.

Son, Moonho・Kim, Dongseon & Baek, Seung Ho(2014). Distributional characteristics of phytoplankton and nutrient limitationduring spring season in Jinhae Bay, Journal of the Korean Academic-Industrial cooperation Society, 15(5), 3345~3350.

T. Yamamoto(2003). The Seto Inland Sea-eutrophic or oligotrophic?, Marine Pollution Bulletin, 47, 37~42.

Yoon, Suk-Jin & Lee, In-Cheol(2004). Water Quality Variations in Jinhae Bay by Dredging & Operating the Sewage Disposal Plant, Korean Soc. of Ocean. Eng., Spring Academic Meeting Proceedings, 117~122.

• Received : 17 April, 2018
• Revised : 29 May, 2018
• Accepted : 05 June, 2018