Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 23, No. 5, pp. 524-531, August 31, 2017, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2017.23.5.524

생태계 모델링을 이용한 부산연안해역 수질개선 예측

정우성* · 김진호** · 김동명**†
*, ** 부경대학교 생태공학과

Prediction of Water Quality Improvement by using Ecological Modelling in Busan Coastal Area

Woo-Sung Jung* · Jin-ho Kim** · Dong-Myung Kim**†
*, ** Department of Ecological engineering, Pukyong National University 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

요 약 : 본 연구는 생태계 모델을 이용하여 부산연안으로 유입되는 부하량 삭감에 따른 해역의 수질개선 정도를 예측하였다. 모델링 결과에 의하면 COD, T-N, T-P 모두 수영만 연안과 낙동강 하구에서 뚜렷한 개선을 나타냈으며, 수영만을 제외한 만 중부에서 만 동쪽까지는 수질개선이 거의 나타나지 않았다. 이는, 부산연안이 남해에 위치한 다른 해역에 비해 개방형경계를 가지고 있어서, 물질교환이 빠르기 때문으로 판단된다. 수질개선을 위한 본 해역의 삭감 COD 부하량은 타 해역에 비해 적었고, 총 유입부하량에 대한 삭감비율 또한 작게 나타났다. 본 연구에 적용한 부하삭감량을 적용하면 수영만, 낙동강 하구부근에서 뚜렷한 수질개선효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 부산연안, 수질개선, 생태계 모델링, 부하량, 예측

Abstract : *Water quality improvement was predicted by using ecological modelling with reference to reduced load pollutants in the Busan coastal area. The results showed appreciable improvement in water quality at Suyeong Bay and Nakdong Estuary but little improvement in water quality from the central to eastern regions, except in Suyeong Bay by COD concentration. There were also similar results for T-N and T-P, because the Busan coastal area has a more open boundary than the other bays in the South Sea of Korea, resulting in a fast flow rate. The reducted COD load was less than that found in other coastal areas. Also, the reduction rate of the total load was less than that of other coastal areas in terms of water quality improvement. Applying the reduction load estimated in this study, it should be possible to improve the water quality of Suyeong Bay and Nakdong Estuary.*

Key Words : *Busan coastal area, Water quality improvement, Ecological modelling, Load pollutant, Prediction*

1. 서 론

현재 부산연안은 어항·상업지역·친수공간 등의 다양한 기능을 제공하고 있으나, 하천 및 하수처리장을 통해 생활하수 및 산업폐수가 만 내로 유입되고 있어 해역의 오염이 우려되는 해역이다(Baek, 2012). 그 중 수영만은 대한민국의 대표적 관광지인 해수욕장이 위치하고 있어 청정해역을 필요로 한다. 하지만, 2011년 기준 수영만 연안의 COD 농도는 목표수질인 1 mg/L를 초과하고 있다(MOF, 2012a). 또한, 광안리 및 해운대 해수욕장 인근에서 생산된 수산물은 식중독과 비브리오 패혈증의 위험이 있다(Kim et al., 2007b). 따라서, 국민건강과 지역민의 생업 유지를 위해서라도 부산연안 해역의 수질악화는 저지되어야 한다.

연안해역의 수질 개선을 위해서는 유입되는 부하량을 관리하는 것이 매우 중요하다. 부하량 감소에 따른 수질의 응답특성을 평가하는데 생태계 모델은 유용한 수단이 된다(Hong et al., 2007; Susilowati et al., 2004). 최근 생태계 모델을 이용하여, 부하량 삭감에 따른 수질의 응답특성에 관한 많은 관심이 모이고 있다(Hong et al., 2007; Gaddis and Voinov, 2010; Zhao et al., 2012). 부산연안 중 수영만을 대상으로 한 수질모델 사례는 Park et al.(1999), Lee and Kwon(1995), Cho et al.(1995) 등이 있으나, 연구범위가 수영만으로 한정적이다. 또한, 부산연안에 관련된 모델연구와 해역 수질관리 정책제

* First Author : seasoundjws@naver.com, 051-629-6545
† Corresponding Author : dmkim@pknu.ac.kr, 051-629-6545

안을 위한 연구는 드물다. 따라서, 본 연구는 생태계 모델을 이용하여 부산연안으로 유입되는 부하량을 삭감, 이에 따른 해역의 수질개선을 예측하는 것이 목적이다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 생태계 모델을 이용하여 2011년 부산연안 수질을 재현하고, 이를 토대로 2020년 수질 예측 및 부하량 삭감에 따른 2020년 수질개선을 예측하고자 하였다.

2.1 생태계 모델 구성

본 연구에서 사용한 생태계 모델은 EM3(Ecological Model for Marine water quality Management)이다. EM3는 2008년 마산만 특별관리해역의 제 1차 연안오염총량관리제 도입 및 시행을 위해 구성되었다. EM3는 마산만·부산연안 오염총량관리에 사용되고 있다. 또한, Park et al.(2010), Jung et al.(2016)에 의한 연구사례도 있다. 본 연구에서는 EM3의 구성요소중 6개의 수층 유기태 요소, 4개의 수층 무기태 요소, 5개의 저질 요소 및 2개의 수질 요소를 고려하였다(Fig. 1, Table 1). 생태계 모델의 격자는 가덕도 동안으로부터 기장 연안사이의 해역을 대상으로 하였으며, 수심은 해도를 이용하여 산정하였다. 격자 구성은 동서 및 남북 방향으로 각각 500 m, 수직방향으로는 5개의 Sigma격자로 구성하였다. 생태계 모델의 계산간격은 400 sec로 하였다(Table 2) 유동장은 MOF(2012a)와 MOF(2014)에서 수행되었던 해수유동 모델결과를 활용하였다.

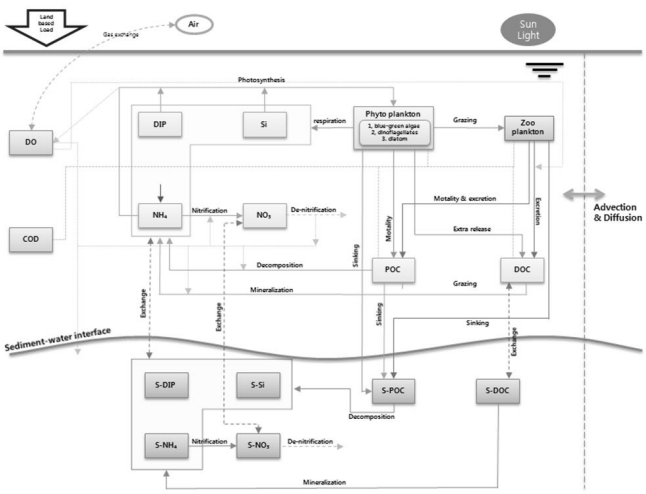

Fig. 1. Schematic diagram of EM3.

Table 2. Conditions of calculating (Ecological Model)

Items	Experiment condition
Model region	Busan Bay
Model	EM3 (Ecosystem model for Marine Management)
data of depth	kp320200, kp422800, kp520100
Grid size	△x = △y = 500 m
Vertical layers	5 layers
Time interval	400 sec

Table 1. Compartments of Ecological model

Item	Compartment	Abbreviation	Unit
Organic form in water	Phytoplankton1 (Dinoflagellate species)	P1	㎎ C/㎥
	Phytoplankton2 (Dinoflagellate species)	P2	㎎ C/㎥
	Phytoplankton3 (Diatom species)	P3	㎎ C/㎥
	Zooplankton	Z	㎎ C/㎥
	Particulate organic carbon	POC	㎎ C/㎥
	Disolved organic material	DOC	㎎ C/㎥
Inorganic form in water	Dissolved inorganic phosphorus	DIP	㎎/L
	Dissolved ammonia nitrogen	NH4	㎎/L
	Dissolved nitrate nitrogen	NO3	㎎/L
	Dissolved inorganic silicate	Si	㎎/L
Compartment for sediment	Sediment particulate organic carbon	S-POC	㎎ C/kg
	Sediment disolved organic material	S-DOC	㎎ C/kg
	Sediment dissolved inorganic phosphorus	S-DIP	㎎/kg
	Sediment ammonia nitrogen	S-NH4	㎎/kg
	Sediment nitrate nitrogen	S-NO3	㎎/kg
Water quality parameter	Dissolved oxygen	DO	㎎/L
	Chemical oxygen demand	COD	㎎/L

2.2 생태계 모델 입력자료

생태계 모델의 입력자료는 MOF(2012a) 자료를 사용하였다. 입력값은 2011년 8월부터 2012년 5월까지 분기별로 4회 관측된 자료를 바탕으로 산정하였으며, 경계값은 Neumann boundary condition 방식을 사용하였다(Table 3, Table 4).

모델에 입력된 부하량 자료는 2011년 관측값, 2020년 예측값, 2020년 예측값에서 부하량을 삭감한 값으로 나타내었다. 2011년 부하량 값은 모델의 검증에 필요한 자료로서 관측된 자료이며, 2020년 부하량 값들은 MOF(2012a)에서 예측한 부하량 값이다. 2020년 예측부하량은 2007년~2011년까지의 자료를 이용하여 행정구역별, 배출원별 오염원을 전망하였다고 되어 있으며, 2020년 기준 삭감 부하량은 수질개선계획에 따른 하수처리시설, 분류식 하수관거, 비점오염 저감시설 등의 확충, 개선, 설치를 통해 예측하였다고 되어있다. 2020년 예측 부하량은 2010년에 비해 약 COD는 +3,488.8 kg/day, T-N은 +454.9 kg/day, T-P는 -79.1 kg/day로 나타났다. 부하량을 삭감한 2020년 부하량은 2020년 예측 부하량에 비해 약 COD는 -4,099.4 kg/day, T-N은 -5,165.4 kg/day, T-P는 -359.4 kg/day로 나타났다. 영역별 부하량의 양을 비교하면 COD는 낙동강, 수영만 순으로 나타났다. T-N은 수영만, 낙동강 순으로 나타났다. T-P는 수영만, 낙동강 순으로 나타났다. 유기오염물질은 수영만보다 낙동강이 높게 나타났고, 영양염은 수영만이 낙

Table 3. Initial conditions of EM3

layer	Phyto1 (㎎C/㎥)	Zoo (㎎C/㎥)	POC (㎎C/㎥)	DOC (㎎C/㎥)	DIP (㎎/L)	Si (㎎/L)	NH4 (㎎/L)	NO3 (㎎/L)	DO (㎎/L)	COD (㎎/L)
1	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41
2	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41
3	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41
4	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41
5	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41

Table 4. Boundary conditions of EM3

layer	Phyto1 (㎎C/㎥)	Zoo (㎎C/㎥)	POC (㎎C/㎥)	DOC (㎎C/㎥)	DIP (㎎/L)	Si (㎎/L)	NH4 (㎎/L)	NO3 (㎎/L)	DO (㎎/L)	COD (㎎/L)
1	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41
2	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41
3	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41
4	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41
5	100.0	10.0	357.0	970.0	0.0193	0.197	0.070	0.105	8.10	1.41

Table 5. Pollutant Load in Busan Coastal

Area	COD (kg/day)					T-N (kg/day)					T-P (kg/day)				
	2011 year	2020[a] year	2020[b] year	b-a	vr (%)	2011 year	2020[a] year	2020[b] year	b-a	vr (%)	2011 year	2020[a] year	2020[b] year	b-a	vr (%)
East Busan	564	699	692	-6	0.9	499	654	643	-11	0.02	139.2	10.1	9.9	-0.2	-0.02
Suyeong bay	6,650	6,766	3,704	-3,062	45.0	11,209	11,377	8,444	-2,934	0.26	900.4	913.5	651.4	-262.1	-0.29
Busan port	784	784	611	-173	22.0	1,739	1,716	1,438	-278	0.16	106.4	105.2	97.2	-8.0	-0.08
Nakdong river	12,732	15,970	15,111	-858	5.4	9,706	9,861	7,919	-1,943	0.20	589.3	627.3	538.2	-89.2	-0.14
Busan (total)	20,729	24,218	20,119	-4,099	16.9	23,153	23,608	18,443	-5,165	0.22	1,735.2	1,656.1	1,296.7	-359.5	-0.22

a : Predicted pollutant load, b : Predicted pollutant load after treatment, vr : variation rate ((a-b)/a*100)

동강보다 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 수영만과 낙동강을 제외한 동부산과 부산항은 상대적으로 낮은 부하량을 나타내었다. 2020년 삭감부하량을 보면 COD, T-N, T-P 모두 수영만이 가장 크게 나타났으며 유입되는 부하량대 삭감비도 가장 크게 나타났다. 삭감량은 수영만, 낙동강, 부산항, 동부산 순으로 나타났다(Table 5). 본 모델에 사용한 생물학적 계수(parameter)는 국내 모델연구 및 문헌에서 사용된 자료를 검토한 후 입력하였다(MOF, 2012a; MOF, 2012b; MOF, 2012c; MOF, 2014; Park et al., 2010).

2.3. 생태계 모델을 이용한 수질개선예측

2011년 검증자료로 검증된 생태계 모델을 바탕으로 2020년 부산연안의 수질개선을 예측하였다. 그 후 2020년 예측부하량을 반영하여 부산연안의 수질을 예측하고, 부하량을 삭감했을 때 부산연안의 수질개선을 알아보는 것이 목적이다. 대상수질 항목으로는 유기오염물질인 COD와 영양염인 T-N과 T-P를 대상으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생태계 모델 검증

모델 검증정점은 Fig. 2에 나타낸 20개 정점을 대상으로 하였다. 검증은 관측치 표층값과 계산치의 상관성 분석 결과로, 화학적산소요구량(COD)는 0.6440, 용존무기인(DIP)는 0.8620, 용존무기질소(DIN)은 0.7978으로 나타나 비교적 재현이 잘된 것으로 판단된다(Fig. 3 ~ Fig. 5).

재현된 COD 공간분포를 보면 해운대 해수욕장 왼쪽부터 이기대를 기점으로, 만 내측 방향으로 2.0 mg/L를 초과하는 값을 나타내고 있다. 수영만 외측에서는 1.5 mg/L 이하를 나타내고 있다. 낙동강하구에서는 2.0 mg/L 부근의 값을 나타내고 있으며, 동쪽으로 갈수록 농도가 낮아지며, 기장 해역

Fig. 2. Observed point for water quality verification.

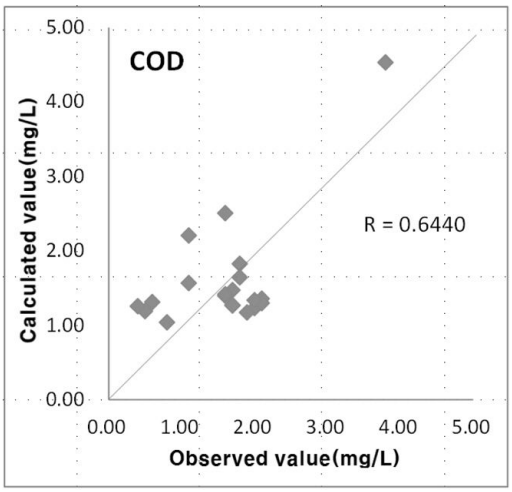

Fig. 3. Verification result of COD.

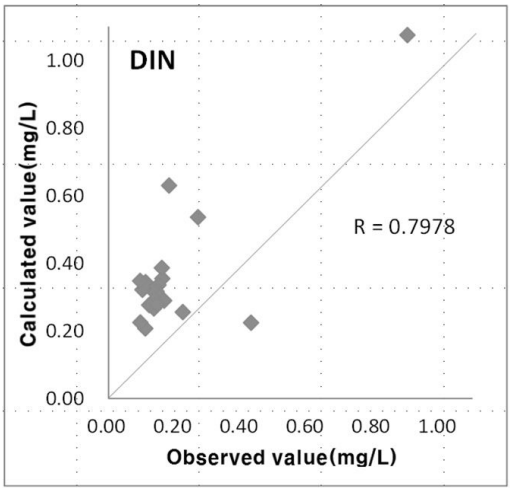

Fig. 4. Verification result of DIN.

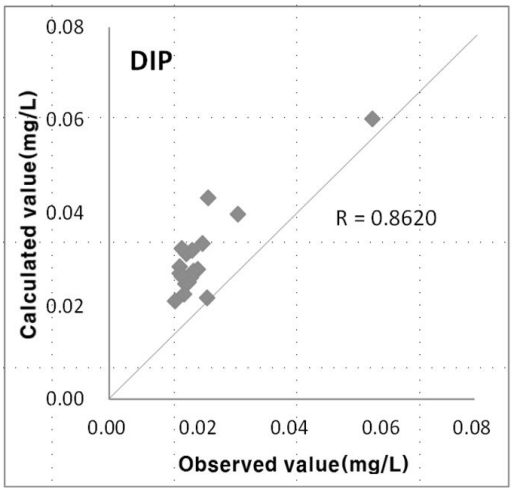

Fig. 5. Verification result of DIP.

에서는 1.0 mg/L 이하를 나타내고 있다(Fig. 6). T-N분포는 다음과 같다. 수영만 하구에서는 1.0 mg/L 이상을 나타내고 상대적으로 오염된 것을 알 수 있다. 광안리 해수욕장까지 약 0.6 mg/L 이상을 나타내고 있으며, 만 외해로 가면서 농도가 낮아지는 경향을 나타낸다. 낙동강하구에서는 약 0.7 mg/L 이상의 값을 나타내며, 동쪽으로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 나타낸다. 수영만 외측부터 기장해역으로 가면서 0.3 mg/L 이하의 값을 나타내고 있다(Fig. 7). T-P의 분포는 다음과 같다. 수영만 하구에서는 0.05 mg/L 이상의 값을 나타내고 있으며, 광안리 해수욕장에서는 0.04 mg/L 이상의 값을 나타내고 있다. 낙동강하구에서는 0.03 mg/L 이상의 값을 나타내며, 수영만을 제외하면 우측으로 갈수록 낮아지는 경향을 나타낸다(Fig. 8).

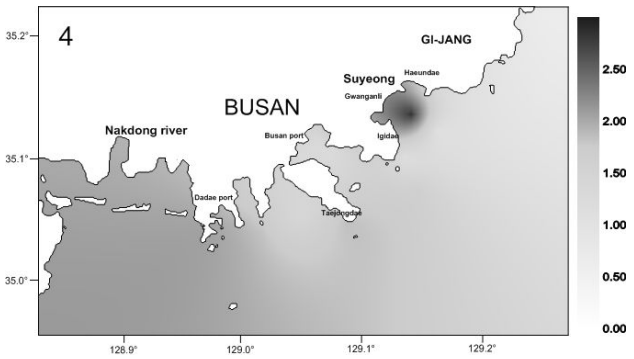

Fig. 6. COD (mg/L) in 2011 year.

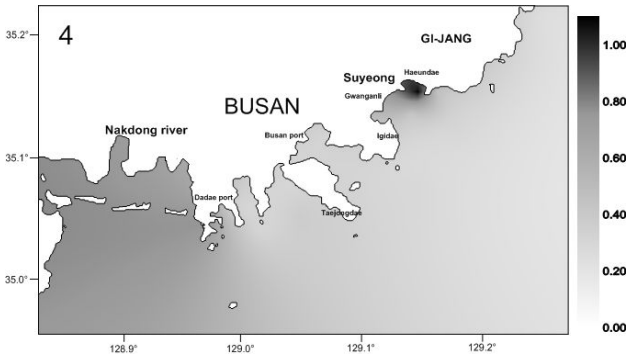

Fig. 7. T-N (mg/L) in 2011 year.

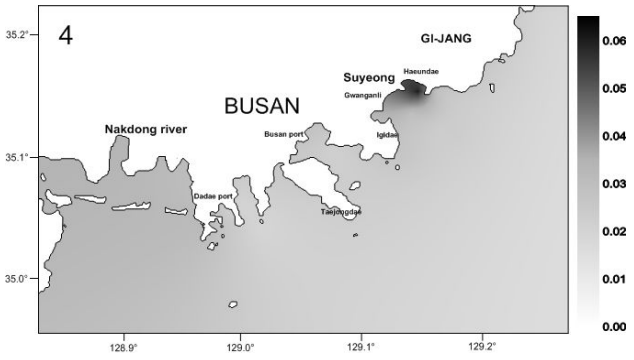

Fig. 8. T-P (mg/L) in 2011 year.

3.2 수질개선 예측 결과

검증된 수질결과를 바탕으로 본 모델에 2020년 예측 부하량을 적용하고, 부하량 삭감시의 부산연안의 수질개선을 예측하였다.

2020년 예측 부하량을 입력한 모델결과를 보면 2011년과 부하량 차이가 크지 않기 때문에, 해역의 수질 또한 2011년과 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 9 ~ Fig. 11).

부하량을 삭감한 COD수질 분포결과는 다음과 같다. 광안리 하부와 이기대 사이에서는 여전히 2.0 mg/L 이상의 농도를 나타내지만, 삭감 전과 비교하면 그 범위가 상당히 많이 줄어 약 0.5 mg/L 개선된 것을 알 수 있다. 수영만 외측에서는 1.5 mg/L 이하의 값을 나타내고 있다. 낙동강 하구에서는 2.0 mg/L 이하의 값을 나타내어 수질이 개선된 것을 알 수 있다. 낙동강 하구 우측부터 이기대 아래쪽 까지는 상대적으로 미약하지만 수질이 개선된 것을 알 수 있다. 기장해역 부근에서는 크게 개선된 결과를 나타내지는 않았다. T-N분포는 다음과 같다. 수영만 하구에서는 0.7 mg/L 부근의 값을 나타내고 있어, 삭감 전에 비해 수질이 약 0.2 mg/L 개선된 것으로 나타났다. 낙동강 하구에서는 0.7 mg/L 이상이었던 수질이 0.5 mg/L 이하로 개선된 것을 알 수 있다. 낙동강 하구 동쪽으로는 크게 개선되지는 않은 것을 알 수 있다. T-P의 분포는 다음과 같다. 수영강 하구에서는 0.05 mg/L 이상의 값에서 0.04 mg/L 부근의 값으로 약 0.01 mg/L 이상 개선된 것으로 나타났다. 낙동강 하구에서는 0.03 mg/L 이상의 값에서 0.02 mg/L 부근의 값을 나타내어 수질이 개선된 것으로 나타났다. 연안 동쪽으로 갈수록 약간의 개선은 있지만 그 값이 크지 않은 것으로 나타났다.

2020년을 대상으로 부하삭감량을 적용했을 때 부산연안의 수질은 광안리 해수욕장이 포함된 수영만에서 가장 큰 개선효과를 나타내었고, 낙동강 하구에서도 수질 개선이 나타났다. 수영만을 제외하고 낙동강 하구 동측부터 기장해역까지는 뚜렷한 수질개선이 나타나지 않았다. COD 수질은 전반적으로 2.0 mg/L 이하, T-N은 0.5 mg/L 이하, T-P는 0.03 mg/L 이하의 값을 나타내었다(Fig. 12 ~ Fig. 14).

본 연구에서 COD 유입 부하량은 20,119 kg/day이며, 부하삭감량은 4,099 kg/day이다(Table 6). 본 연구와 유사하게 부하량을 삭감하고 COD 수질변화를 예측한 문헌과 비교를 해보면 다음과 같다. 시화호를 대상으로 한 Kim et al.(2007a)의 연구에서는 해역 COD 농도를 Ⅲ등급 기준인 4 mg/L 이하로 하

기 위해서는 유입되는 COD 부하량 20,000 kg/day 중 15,000 kg/day를 삭감해야 되는 것으로 나타냈다. 또한, 유입되는 부하량을 95 %를 삭감해도 COD 농도가 2 mg/L 이하로는 어려울 것으로 판단했다. 진해만을 대상으로 한 Hong et al.(2007)의 연구에서는 전반적으로 해역 COD 농도가 2 mg/L 이하를 만족시키기 위해서는 유입되는 COD 부하량 18,774 kg/day 중 5,632 kg/day를 삭감해야 되는 것으로 나타났다. 마산만의 모든 부하량이 덕동하수처리장에서 처리된다는 가정을 한 Oh et al.(2005)의 연구결과에서는, 마산만 전체해역 COD 농도를 2.5 mg/L 이하로 만족시키기 위해서는, 유입되는 COD 부하량 33,600 kg/day 중 30,200 kg/day를 삭감해야 될 것으로 판단하였다. 이와 비교했을 때, 부산연안의 COD 부하 삭감량은 다른 해역에 비해 가장 적게 나타났다. 또한 COD 부하 삭감 비율은 부산연안 16.92 %, 시화호 75.00 %, 진해만 29.99 %, 마산만 89.88 %로 부산연안이 가장 작게 나타났다. COD 수질 또한 수영만 연안의 특정부분을 제외하면, COD 농도가 2 mg/L 이하로 부산연안이 가장 낮은 농도를 나타낸 것으로 판단된다(Table 6). 이는 부산연안이 남해에 위치한 다른 해

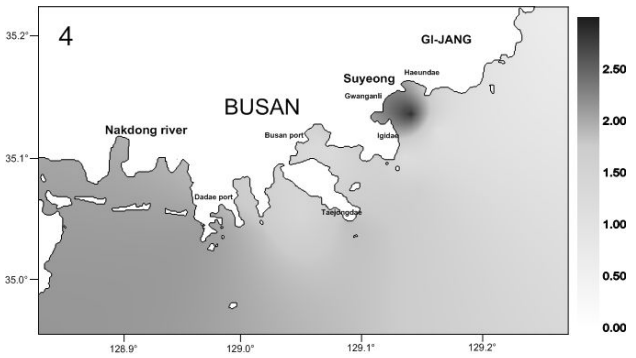

Fig. 9. COD (mg/L) before treatment in 2020 year.

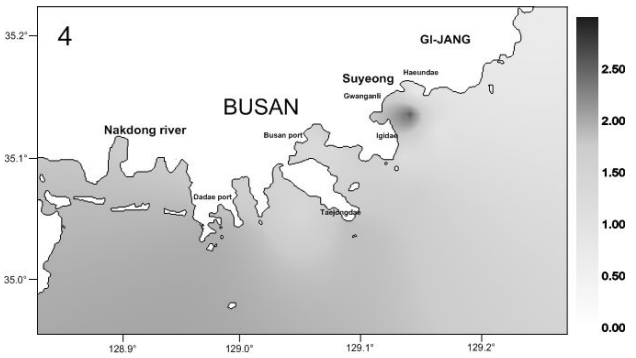

Fig. 12. COD (mg/L) after treatment in 2020 year.

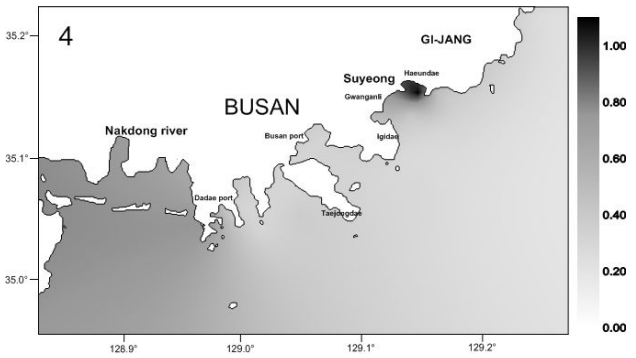

Fig. 10. T-N (mg/L) before treatment in 2020 year.

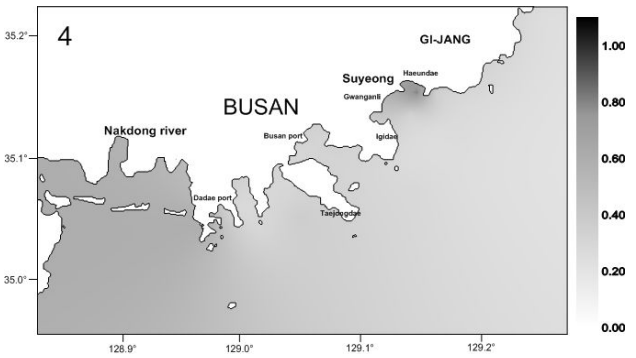

Fig. 13. T-N (mg/L) after treatment in 2020 year.

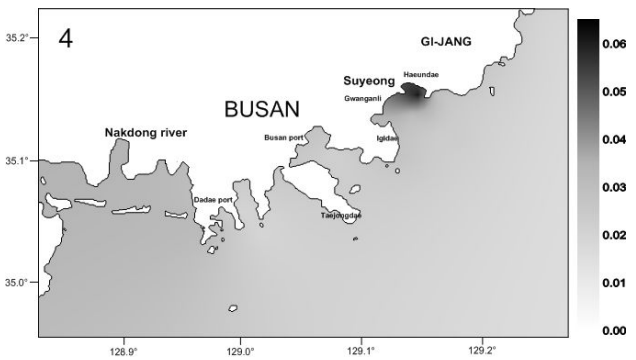

Fig. 11. T-P (mg/L) before treatment in 2020 year.

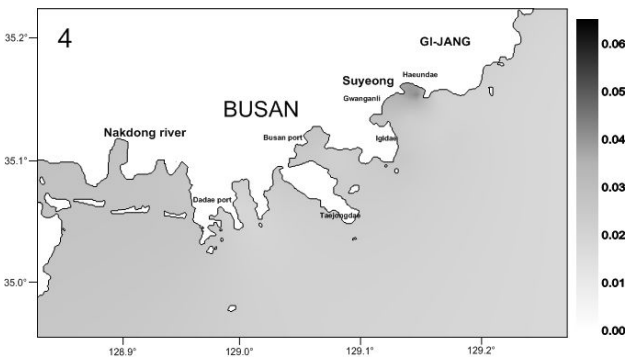

Fig. 14. T-P (mg/L) after treatment in 2020 year.

역에 비해 개방형경계를 가지고 있어서, 물질교환이 빠르기 때문으로 판단된다. 따라서, 부산연안에서는 상대적으로 부하량을 적게 삭감하여도 수질개선효과가 나타났다.

본 연구에 적용한 부하삭감량을 부산연안에 적용한다면 부산연안 해역의 수질이 개선될 것으로 판단된다. 수영만연안과 낙동강하구 부근에서 뚜렷한 수질개선을 나타냈으며, 부산연안 대부분 해역에서 양호한 수질을 달성 할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Comparison of study cases

	Busan*	Shihwa**	Jinhae***	Masan****
COD (mg/L)	2.0	4.0	2.0	2.5
Input load of COD (kg/day)	20,119	20,000	18,774	33,600
Reduction amount (kg/day)	4,099	15,000	5,632	30,200
Reduction rate(%)	16.92	75.00	29.99	89.88

* MOF(2012), ** Kim et al.(2007a), *** Hong et al.(2007), **** Oh et al.(2005)

4. 결 론

생태계 모델링을 이용하여 부산연안의 2020년 수질개선을 예측하였다. 방법으로는 2011년의 수질재현을 통해 모델을 검증하고, 2020년 해역수질 예측 및 유입부하량 삭감에 따른 2020년 수질개선을 예측하였다. 부하량 삭감 후의 예측결과 상대적으로 수영만과 낙동강하구에서 COD 수질개선이 뚜렷하게 나타났다. 수영만을 제외한 만 중부에서 만 동쪽 해역까지는 수질개선이 거의 나타나지 않았다. T-N과 T-P는 COD와 유사한 경향을 나타냈다.

COD 삭감 결과를 유사한 다른 문헌과 비교해보면 다음과 같다. 부산연안은 해역으로 유입되는 COD부하의 삭감량과, 총유입부하량대비 삭감비율이 16.92 %로 상대적으로 다른 해역에 비해 작았지만, 해역의 전반적인 수질이 다른 해역에 비해 수질이 양호하게 나타났다. 이는 부산연안이 다른 만에 비해 개방형 경계이며 물질교환이 빠르기 때문으로 판단된다.

본 연구에 적용한 부하삭감량을 부산연안에 적용할 경우, 부산연안 해역에서 수질개선효과를 나타낼 것으로 판단된다. 추가적으로 오염이 가장 우려되는 하계에 수영만에 위치한 해수욕장으로 수백만 이상의 피서객이 방문하고 있다. 본 연구에서 수질농도가 가장 높게 나타난 수영만 해역에 대해 추후 세부적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 연구되었음.

References

[1] Baek, K. H.(2012), Environmental issues in Busan and integrated management plan. BDI Policy Focus, 165, pp. 1-12.

[2] Cho, E. I., S. M. Lee and C. K. Park(1995), The Characteristics and thr Effents of Pollutant Loadings from Nonpoint Sources on Water Quality in Suyeong Bay, Journal of Korean Fish, Soc, Vol. 28, No. 3, pp. 279-293.

[3] Gaddis, E. J. and A. Voinov(2010), Spatially explicit modeling of land use specific phosphorus transport pathways to improve TMDL load estimates and implementation planning, Water resources management, Vol. 24, No. 8, pp. 1621-1644.

[4] Hong, S. J., W. C. Lee, R. H. Jung, H. T. Oh, J. H. Jang, J. H. Goo and D. M. Kim(2007), Ecosystem Modeling for Improvement Summer Water Quality of Jinhae Bay in 2003, Journal of the Korean Society of Marine Environmental & Safety, Vol. 13, No. 2, pp. 103-110.

[5] Jung, W. S., S. J. Hong, W. C. Lee, H. C. Kim, J. H. Kim and D. M. Kim(2016), Modeling for Pollution Contribution Rate of Land Based Load in Masan Bay, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 1, pp. 59-66.

[6] Kim, H. C., W. J. Choi, W. C. Lee, J. H. Koo, P. Y. Lee, S. E. Park, S. J, Hong and J. H. Jang(2007a), Estimation Carrying Capacity of Lake Shihwa for water Quality Management, Journal of the Environmental Sciences, Vol. 16, No. 5, pp. 571-581.

[7] Kim, Y. M., M. W. Kim, E. G. Oh and E. S. Kwon(2007b), Distribution of Hemolytic Vibrio sp. in Sea Water of the Beaches of Busan During Mid-summer, Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol. 40, No. 5, pp. 293-299.

[8] Lee, E. J and J. G. Kwon(1995), Development of a Numerical Simulation Model in thr Behavior of Pollutant in Suyeong Bay, Journal of KSEE, Vol. 17, No. 8, pp. 723-733.

[9] MOF(2012a), Ministry of Oceans and Fisheries, Survey report for introduction feasibility of Total Pollution Load Management

(TPML) of Busan coastal.

[10] MOF(2012b), Ministry of Oceans and Fisheries, Introduction and implementation of Total Pollution Load Management (TPLM) and management of land-based pollution source (Ⅱ), pp. 713-723.

[11] MOF(2012c), Ministry of Oceans and Fisheries, Introduction and implementation of Total Pollution Load Management (TPLM) and management of land-based pollution source (Ⅲ), pp. 168-170.

[12] MOF(2014), Ministry of Oceans and Fisheries, Study for introduction of Total Pollution Load Management (TPML) of Busan coastal, a special management area.

[13] Oh, H. T., J. H. Goo, S. E. Park, Y. S. Choi, R. H. Jung, W. J. Choi, W. C. Lee and J. S. Park(2005), Analysis of Water Quality caused by Improvement of Sewage Treatment Plant in Masan Bay, Journal of the Environmental Sciences, Vol. 14, No. 8, pp. 777-783.

[14] Park, H. S., E. I. Cho and C. K. Park(1999), Cost Analysis of Ocean Outfall and Tertiary Treatment Processes in Suyong Sewege Treatment Plant, Journal of the Korean Environmental Sciences Society, Vol. 8, No. 1, pp. 115-123.

[15] Park, S. E., S. J. Hong, W. C. Lee, R. H. Jung, Y. S. Cho, H. C. Kim and D. M. Kim(2010), Summer Water Quality Management by Ecological Modelling in Ulsan Bay, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 1, pp. 1-9.

[16] Susilowati, Y., T. R, Mengko, J. Rais and B. E. Leksono (2004), Water quality modeling for environmental information system. In Circuits and Systems, 2004. Proceedings, The 2004 IEEE Asia-Pacific Conference on, Vol. 2, pp. 929-932.

[17] Zhao, L., X. Y. Liu, B. He, X. Zhu, R. Zou and Y. Zhu(2012), Three-dimensional hydrodynamic and water quality model for TMDL development of Lake Fuxian, China. Journal of Environmental Sciences, Vol. 24, No. 8, pp. 1355-1369.

Received : 2017. 06. 14.
Revised : 2017. 08. 03.
Accepted : 2017. 08. 28.