

하수처리장 개선이 마산만 수질에 미치는 영향분석

오 현 택 · 구 준 호 · 박 성 은 · 최 윤 선 · 정 래 홍 · 최 우 정 · 이 원 찬 · 박 종 수
국립수산과학원 환경관리팀
(2005년 3월 9일 접수; 2005년 8월 10일 채택)

Analysis of Water Quality caused by Improvement of Sewage Treatment Plant in Masan Bay

Hyun-Taik Oh, Jun-Ho Goo, Sung-Eun Park, Yun-Sun Choi, Rae-Hong Jung, Woo-Jeung Choi, Won-Chan Lee and Jong-Soo Park

National Fisheries R&D Institute, Marine Environment Management Team, Busan 619-902, Korea
(Manuscript received 9 March, 2005; accepted 10 August, 2005)

For the sustainable management of marine ecosystem in Masan Bay, we have to assess the carrying capacity and standard of target water quality. In this research, we assume that all pollutants loads are treated in Dukdong sewage treatment plant, then we simulate the physical-biological model for prediction water quality for the achievement of standard water quality.

In 2001 year, for the achievement of COD 2.5 mg/L, we need to reduce COD 90 %, nitrogen 30 %, phosphate 90% than that of the present value. According to these results, the water quality of sewage treatment plant is required to treat COD 13.5 mg/L, nitrogen 33.3 mg/L, phosphate 6.0 mg/L. If the sewage treatment plant will be expanded much larger in 2011, it will need to be treated in COD 6.6 mg/L, nitrogen 2.5 mg/L, phosphate 5 mg/L for the achievement of water quality standard in COD 2.5 mg/L.

Key Words : Carrying Capacity, Masan Bay, Sewage Treatment Plant, Pollutants Loads, TMDL

1. 서 론

해양오염의 약 80%는 주거, 산업 시설 등 육상기인 오염원에 의해 발생한다. 나머지는 선박사고로 인한 기름유출과 양식장 오염 등 해양기인 오염원에 의해 발생한다. 육상기인 오염물질은 개별사업장의 오염물질 방류, 미차집된 하수 및 하수관거에서의 누수, 부유쓰레기 등 고형 폐기물 해양유입, 오폐수 처리장에서의 오염부하로 구별된다. 특히, 환경기초 시설에서 정화처리된 오폐수는 방류량이 많고, 배출농도가 높아 해양환경적 측면에서 주요한 오염원의 하나이다.

마산만은 반 폐쇄성 만이다. 배후에 여러 개 산업단지가 입지하는 등 고밀도의 연안 이용에 따라 중금속 퇴적, 적조발생 빈발 등 해양오염이 심각한 상

태이다¹⁾. 마산만은 2000년 이후 해역과 육역에 대해서 총 322.65 km²가 특별관리해역으로 지정되어 있다. 마산만 유역에 거주하는 약 1백만명의 생활하수는 대부분 덕동하수처리장에서 처리되며, 처리용량은 260,000 ton/day이다. 반면, 하수관거 오염, 파손 및 하수미처리구역으로 인해 해역에 직접 유입되는 문제가 여전히 존재한다.

마산만 해양수질은 연평균 화학적 산소 요구량(Chemical Oxygen Demand, COD) 농도가 2.20-3.29 mg/L로 3등급 수준이다. 질소 및 인의 과다유입에 따라 과거 5년간 50여건 이상의 적조가 발생하는 등 해역 부영양화가 심각하다²⁾. 여름철에는 용존산소가 1 ppm 이하로 나타나는 빈산소 현상이 발생하여, 어패류 생존에 치명상을 입힌다³⁾. 마산만 내만지역과 덕동하수처리장 처리수 방류해역 내의 퇴적물에 중금속의 축적량도 미국 EPA의 납기준⁴⁾을 초과하는 등 새로운 문제가 되고 있다⁵⁾.

따라서, 마산만 해양환경의 적정관리를 위해서 해양 환경용량 산정 및 개선목표를 설정할 필요가 있

Corresponding Author: Hyun-Taik Oh, National Fisheries R&D Institute, Marine Environment Management Team, Busan 619-902, Korea
Phone: +82-51-720-2253
E-mail: ohtek@momaf.go.kr

다. 이런 목표달성을 위해서는 오염물질 총량 관리 제도(Total Maximum Daily Load, TMDL)가 요구되며, 적정 환경용량을 고려한 하수처리장이 오염물질 유입량을 산정할 필요가 있다. 마산만의 하수처리장 부근의 오염물질이 외해로 확산되지 못하고 해역 내에 잔류, 축적되는 경향이 많기에, 적정한 하수처리량의 산정이 요구되는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 하수처리장 개선에 따른 마산만의 해역 수질 개선에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 자료 및 방법

마산만으로 유입되는 하수처리장의 방류수는 2001년 현재 덕동하수처리장으로부터 일평균 250,000 ton/day, 일최대 360,000 ton/day이다⁶⁾. 향후 시설확장과 보수를 통해서 2006년에는 일평균 460,000 ton/day, 2011년에는 480,000 ton/day을 처리할 예정이다. 이에 대해 현재와 미래 계획된 배출수에 대해서 배출수 (나) 등급의 허용기준 농도에 배출유량을 계산하여 부하량을 산정했다(Table 1). 하수도법에 의한 하수처리장의 방류수 기준으로는 특정지역은 COD 40mg/L, T-N 20mg/L 이하, T-P 2mg/L 이하, 기타지역은 각각 40mg/L 이하, 60mg/L 이하 및 8mg/L 이하로 규정하고 있다⁷⁾. 덕동하수처리장의 부하량은 모델 입력값을 위한 DIN 및 DIP에 관한 자료는 T-N, T-P 자료 환산을 통해 입력값으로 활용했다.

모델 입력을 위한 POC, DOC는 마산만에서 관측을 통해 얻어진 일정한 비율을 계산하여 모델의 입력값으로 선정했다⁸⁾.

덕동하수처리장을 통한 하수처리시 수질의 변화를 알아보기 위해 본 실험에서는 마산만 인근에서 발생하는 생활하수와 분뇨를 통한 오염부하를 관로를 통하여 덕동하수처리장에서 배출수 허용기준으로 처리후 방류되는 것으로 가정했다. 이때 하천의 전 부하량은 없는 것으로 처리했으며, 퇴적물의 영향은 그대로 두고 실험했다. 이는 저질환경 개선을 위한 오염퇴적물 준설사업등이 특별관리해역에 대해서 필요하나, 현재와 미래의 하수처리장 시설의 변화에 따른 수질 개선에 미치는 영향을 분석하고자 했기 때문이다.

본 연구에서 사용한 해수유동 재현과 환경용량 산정을 위한 생태계 모델은 Nakata(1991)가 개발한 COSMOS와 EUTRPII를 사용했다^{6,9-12)}. 칠천도와 마산시 구산면을 잇는 선, 그리고 거제도과 가덕도 남단을 잇는 선을 계방경계로 삼았다. 진폭은 평균 조석의 개념으로 M₂ 분조를 이용하여 마산만의 특성을 반영했고, 견내량 수도와 가덕수도 계방 경계의 조위와 위상 값은 기 관측자료를 활용했다^{11,13)}.

생태계 모형에 사용된 생물학적 파라메타는 0 °C에서 식물성 플랑크톤의 최대 성장률은 0.54 /day, 0 °C에서 동물성 플랑크톤의 최대 성장률은 0.18 /day

Table 1. Pollutants loads in Dukdong sewage treatment plant

Year	Daily water amount (ton/day)	Influent water quality (mg/L)			Pollutants loads (ton/day)		
		COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P
2001	252,413	133.0	47.7	6.0	33.6	12.0	1.5
2011	480,910	133.0	47.7	6.0	64.0	22.9	2.9

Table 2. Biological parameters used in the model

Parameter definition	Unit	Value
Phytoplankton		
Maximum growth rate	day ⁻¹	0.54 exp(0.0633T)
Half saturation constants for nutrient	μg/L	Phosphate 0.3 Nitrogen 3.0
Respiration rate	day ⁻¹	0.01 exp(0.0524T)
Sinking rate of living cells	m/day	0.15
Rate of nature mortality, α ₄	day ⁻¹	0.054 exp(0.0693T)
Zooplankton		
Maximum grazing rate, α ₃	day ⁻¹	0.18 exp(0.0693T)
Ivlev constant, λ	(mg C/m ³) ⁻¹	0.01
Feeding threshold, P*	mg C/m ³	75
Energy expenditure in grazing activity, v	-	30% ,daily carbon ration
Assimilation efficiency, μ	%	70.0
Rate of natural mortality, α ₅	day ⁻¹	0.054 exp(0.0693T)

등이다(Table 2). 모형의 보정 작업을 위해서는 국립수산과학원의 국가해양측정망의 최근 5년간 정선 관측 자료를 활용했다. 본 연구에서는 현재와 미래에 대해서 각각 모델 시뮬레이션을 실시했다. 모형의 결과값 중 COD, DIN, DIP에 대해서 관측과 비교 검정을 통해서 모형 결과를 보정했다¹⁴⁾. 화학적 산소요구량, 용존무기질소 및 용존무기인의 계산치와 관측치의 상대오차는 각각 7, 11 및 7%로 여름철 수질을 비교적 잘 재현한다.

3. 결과 및 토의

3.1. 모델로 시뮬레이션한 마산만 수질

마산만 해수 유통재현을 위해 Nakata가 개발^{10,15,16)}한 모델을 사용했고, 조석류에 의한 조석간차류, 담수의 유입에 의한 밀도류가 합성되어 나타나는 간차류를 재현했다. 이는 해양수산부^{14,17)}의 연구결과를 활용한 것이다. 간차류 특성에 따라 하천등을 통한 오염물질은 표층을 따라 서서히 만 입구 쪽으로 이동하면서 침강한다. 또, 저층에 도달시 만 내측으로 이동하여 내만의 수질을 악화시킬 수 있다.

수치 모형 실험을 통해서 마산만 해수 표면에서의 화학적산소요구량을 시뮬레이션했다(Fig. 1). 마산만 입구에 위치한 부도를 중심으로 하여 내측 수역은 2 mg/L 이상의 농도 분포를 보였고, 덕동 하수처리장의 방류구가 위치한 구산면 육계리 부근 수역과 행암만, 그리고 묘도 내측 수역이 3 mg/L 이상의 높은 농도 분포로 시뮬레이션 되었다. 반폐쇄성 해역인 가덕도 북단 수역에서도 3 mg/L 이상의 높은 농도 분포로 시뮬레이션되었다. 모델은 5층으로 구성되어 있고, 각 Level은 4m 간격이고, Level 5는 16m 이하의 수심지역이다. 한편, 모형의 수심 8미터

(Level 3)층 에서는 표면에 비해 전반적으로 낮은 농도 분포를 나타내었으며, 덕동 하수처리장 방류구를 중심으로 하여 내측 수역이 2 mg/L 이상의 농도 있었다. 마산만의 여름철 화학적산소요구량을 시뮬레이션한 결과 오염이 심화되는 수역은 묘도 내측, 하수처리장 방류구 부근수역 및 행암만 내측수역이었고, 마산만 내측의 오염은 구산면 남단을 따라 진해만 서부 수역으로 그 영향을 미치는 것으로 나타났다.

마산만의 목표 수질 달성을 위해서 하천부하 삭감, 하수처리장 부하 저감, 퇴적물에 의한 용출부하 저감을 실시했다. 다양한 시나리오에 따른 부하량 삭감 실험후 유역 내 16개 하천으로부터 유입하는 유기물 부하를 현 상태의 90%로 저감하고, 용존무기인 부하를 현 상태의 90%로 저감하고, 용존무기질소 부하를 현 상태의 30%로 저감했다. 그리고, 하수처리장은 유입 유기물 부하를 현 상태의 80%로 저감, 용존무기인 부하를 현 상태의 80%로 저감, 용존무기질소 부하를 현 상태의 30%로 저감했다. 게다가, 퇴적물은 용존무기인 부하를 현 상태의 80%, 용존무기질소 부하를 현 상태의 30%로 저감했다. 이를 통해 마산만의 화학적산소요구량 농도분포가 1.0 mg/L 수준을 회복할 수 있었다.

마산만 환경관리해역의 수질은 육상기인 오염부하, 하수처리장 방류수, 퇴적물 오염부하, 비점원 오염원 등 다양한 요인에 의해 영향을 받고 있다. 그러므로, 특정 발생원의 저감만으로 수질 개선에 한계가 있으나, 모델 시뮬레이션을 통한 마산만 해역의 수질 I 등급을 유지하기 위해서는 다음과 같은 오염 부하량이 요구된다. 즉, 화학적산소요구량 농도를 1 mg/L로 유지하기 위해 각종 오염원으로부터 삭감하여야할 오염 부하량은 유기물(COD) 13.9

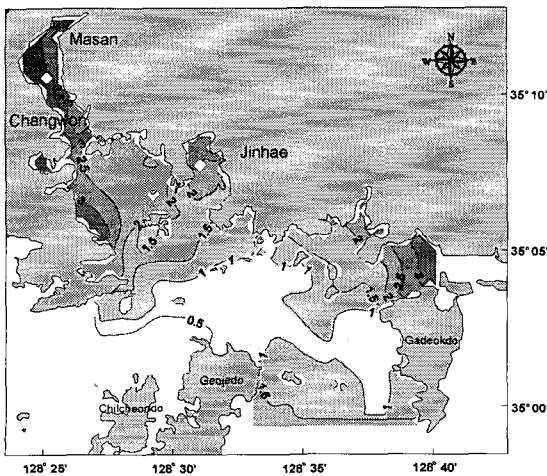


Fig. 1. The simulated COD distribution(mg/L).

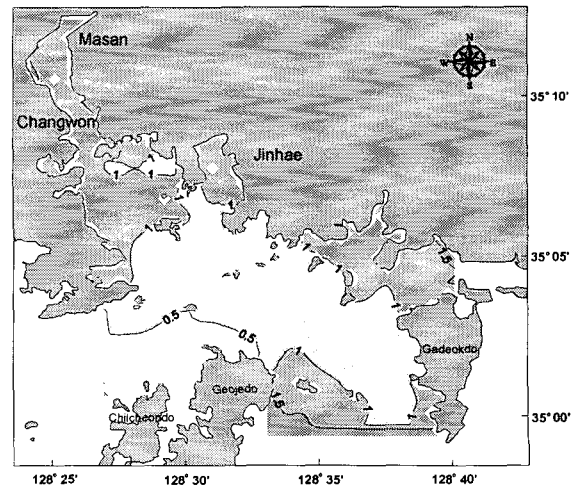


Fig. 2. COD (mg/L) in reduced pollutants.

ton/day, 용존무기인 937.4 kg/day 및 용존무기질소 4,224.7kg/day이다. 이는 마산만이 받아들일 수 있는 오염부하량의 한계 즉, 환경용량은 화학적산소요구량 부하 2.3톤/일, 용존무기인 211.5 kg/일 그리고 용존무기질소 9,857.6 kg/일이다¹⁴⁾.

3.2. 2001년 시나리오 분석

마산만에는 하수종말처리장에서 1차 처리된 하·폐수를 해양 수중 다공화산관을 통해 수중 방류처리하고 있다⁶⁾. 2001년 하수처리장 설계 부하량의 COD 33.6 ton/day, T-N 12.0 ton/day 및 T-P 1.5 ton/day 가 덕동 하수처리장 방류구를 통하여 해역으로 유입된다고 가정하고 모델 시뮬레이션을 실시했다. 이 실험에서 덕동 하수처리장 인근지역이 COD 5 mg/L의 극대값을 보였으며, 주변으로 갈수록 점차 감소되는 양상을 보인다. 마산만 입구부터 대부분의 해역은 COD 2 mg/L 이상으로 악화된 수질 양상이다 (Fig. 3 a)~c)). 용존무기질소와 용존무기인은 덕동 하수처리장의 방류구 주변 수역에서 동심원 형태로 농도가 높아진다.

마산만의 해역 목표수질을 COD 2.5 mg/L 이하 달성으로 선정된 뒤, 적정 환경용량 산정을 위한 오염부하량 삭감 실험을 실시했다. 해역의 수질을 목표수질로 개선하기 위해 처리장에서 삭감해야 할 부하량을 생태계 모델을 통하여 반복 계산했다. 다양한 시나리오 분석결과 유입 부하량 대비 COD 90%, 질소 30%, 인 90%로 삭감하였을 때 해역의 수질이 COD 2.5 mg/L 이하 수준으로 개선되는 것으로 나타났다(Fig. 4 a)~c)). 실험결과 하수처리장 입구에서 COD 2.5 mg/L 이하를 보이고 마산만 대부분 해역의 수질이 상당히 회복되는 특성이 나타난다. 하수처리장 수질 개선에 따라 수질개선의 향상 정도는 하수처리장 인근에 치우친 모습을 보였으며 마산만 입구까지는 별 영향이 없었다. 용존무기질소와 용존무기인의 경우에는 하수처리장 부근의 감소가 두드러졌고, 마산만 내측 해역의 농도도 감소되는 양상을 보였다.

2001년 계산된 부하량에서 삭감해야 하는 부하량을 빼고 얻어진 목표수질을 이루기 위한 기준은 COD 3.4 ton/day, T-N 8.4 ton/day, T-P 0.15 ton/day 이다. 그리고, 하수처리장의 방류수 처리 기준에 따른 결과는 COD 13.5 mg/L, 질소 33.3 mg/L, 인 0.6 mg/L인 것으로 나타났다. 따라서 마산만의 수질개선을 위해서는 하수처리장으로부터 해역으로 유출하는 방류수 농도를 기준 농도 이하로 하여야 하는 것으로 예측할 수 있다(Table 3).

실험 결과의 한계는 생활하수와 분뇨발생량만을 대상으로 하였고, 진해시 하수처리장의 영향은 고려

하지 않았다. 향후 하천수 유입에 따른 해수의 미세한 변화는 고려할 필요가 있다. 본 실험에서 사용한 모델의 입력부하량중 용존무기질소 및 용존무기인에 관한 관측자료의 보완이 향후 필요하겠다. POC 및 DOC의 부하량은 실측에 의한 입력을 통해 관측 비율로 현재 입력된 자료의 보완을 통해 개선이 된다면 향후 개선된 결과를 기대할 수 있게 된다.

3.3. 2011년 시나리오 분석

2011년 하수처리장 설계 부하량(COD 64.0ton/day, T-N 22.9 ton/day 및 T-P 2.9 ton/day)이 덕동 하수처리장 방류구를 통하여 해역으로 유입된다고 가정했다. 시설확장을 덕동 하수처리장 인근의 수질농도는 매우 악화되었으며 마산만 입구까지 영향을 미치고 있음을 알 수 있다(Fig. 5 a)~c)). 하수처리장 시설확장을 통한 배출유량이 480,000 ton/day로 늘어남에 따라, 현수준 농도의 오염물질의 부하량이 상당히 증가한다. 이에 따라 COD, DIN, DIP의 부하량 분포가 2001년에 비해 매우 높게 재현되었다.

2011년 부하량 삭감전 시뮬레이션의 결과를 토대로 환경용량을 고려한 목표수질을 COD 2.5 mg/L 이하 수준으로 선정된 후 실험을 수행했다. 즉, 해역의 수질을 목표수질 정도로 개선하기 위해 처리장에서 삭감해야 할 부하량을 생태계 모델을 통하여 계산했고, 모델 보정을 위한 과정은 2001년에서 사용한 방법과 동일한 절차를 밟았다. 다양한 시나리오 분석결과 유입 부하량 대비 COD 99%, 질소 95%, 인 95%로 삭감하여야 비로소 해역의 수질이 COD 2.5 mg/L 이하 수준으로 개선되는 것으로 예측됐다. 실험결과 하수처리장 입구에서 COD 2.5 mg/L 이하를 보이고 마산만 대부분 해역의 수질이 상당히 회복되는 특성을 보인다(Fig. 6 a)~c)). 하수처리장 수질 개선에 따라 수질 개선의 정도는 하수처리장 인근에 치우친 특성을 보였고, 마산만 입구까지는 큰 영향이 못미치는 것으로 나타났다.

삭감 실험을 통해 얻어진 적정 환경용량을 위해서는 COD 3.2 ton/day, T-N 1.2 ton/day, T-P 0.2 ton/day가 배출되어야 한다. 환경용량으로부터 방류수 수질 농도를 계산한 결과 COD 6.6 mg/L, 질소 2.5 mg/L, 인 0.4 mg/L인 것으로 나타났다. 따라서 마산만의 수질개선을 위해서는 하수처리장으로부터 해역으로 유출하는 방류수 농도를 기준 이하로 하여야 하는 것으로 예측됐다(Table 4).

이번 실험은 마산만의 모든 점원 부하가 덕동 하수처리장에서 처리되는 것으로 가정했기에 현실과 차이를 나타낸다. 그리고, 마산만 퇴적물 오염이 상당히 진행된 사항이지만 이에 대한 개선없이 현 상태로 유지되는 것으로 가정된 결과이기에 미래 예

하수처리장 개선에 따른 마산만 수질 개선에 미치는 영향분석

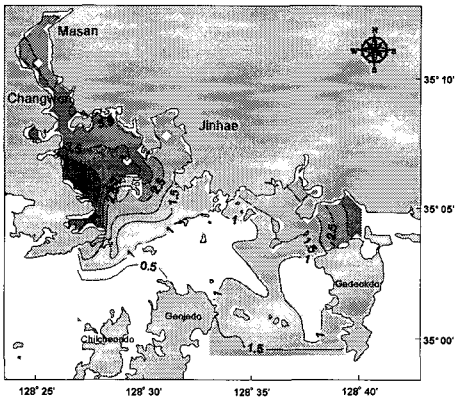


Fig. 3a). COD distribution in 2001.

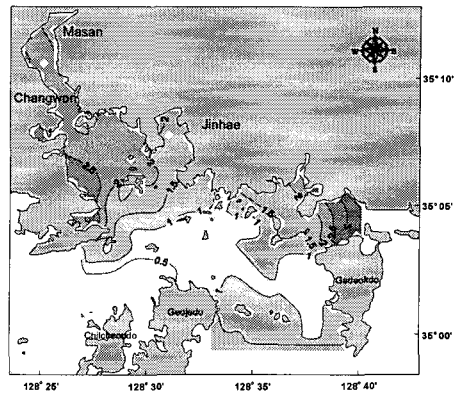


Fig. 4a). COD in reduced pollutants.

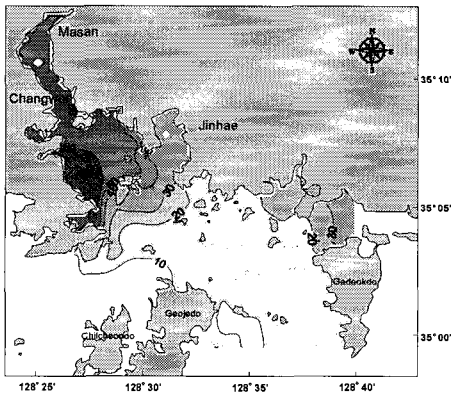


Fig. 3b). DIN ($\mu\text{g-at/L}$) in 2001.

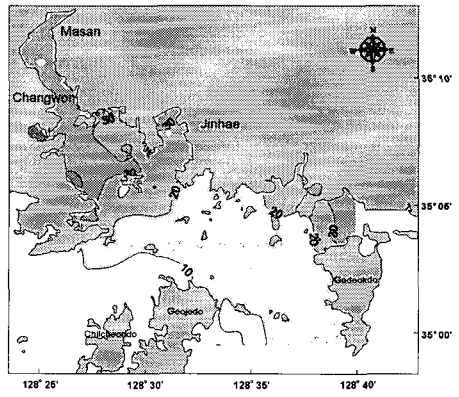


Fig. 4b). DIN in reduced pollutants.

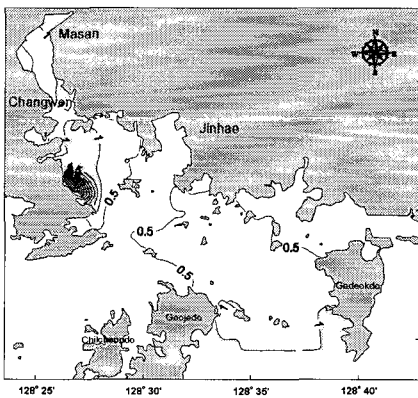


Fig. 3c). DIP ($\mu\text{g-at/L}$) in 2001.

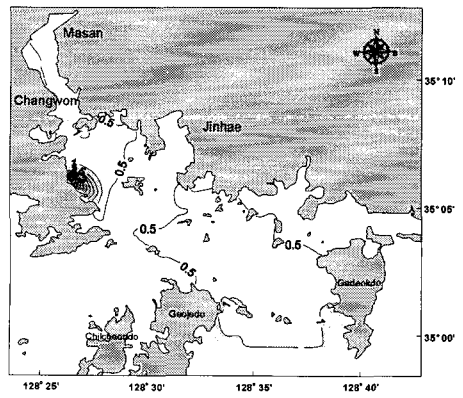


Fig. 4c). DIP in reduced pollutants.

Table 3. Pollutants loads for the achievement of target water quality in 2001

Year	Pollutants loads (ton/day)			Reduction amount of pollutants loads (ton/day)			Effluent concentration (mg/L)		
	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P
2001	33.6	12.0	1.5	30.2	3.6	1.35	13.5	33.3	0.6

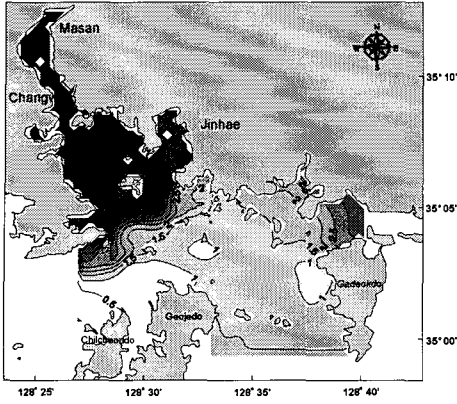


Fig. 5a). COD (mg/L) in 2011.

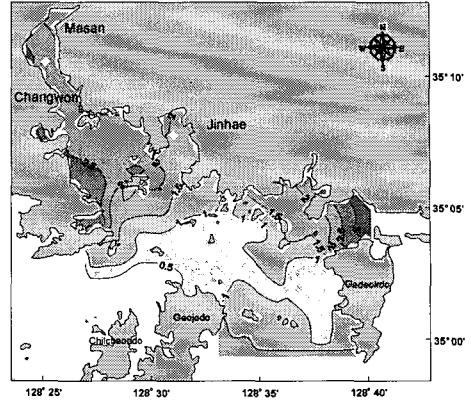


Fig. 6a). COD in reduced pollutants.

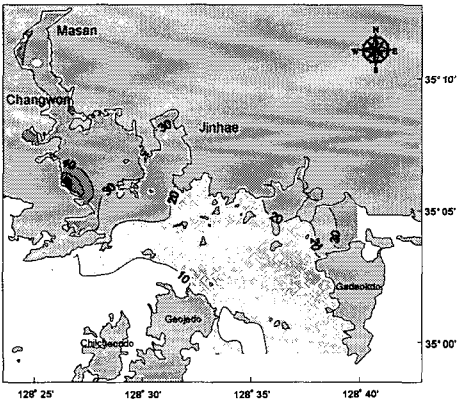


Fig. 5b). DIN(µg-at/L) in 2011.

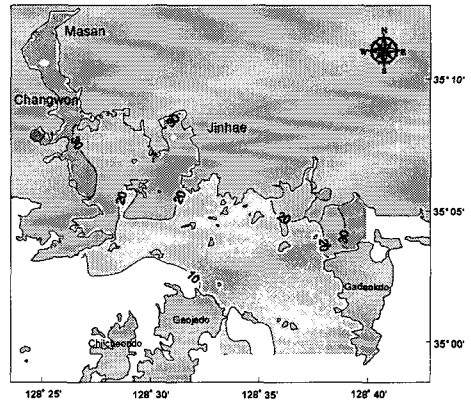


Fig. 6b). DIN in reduced pollutants.

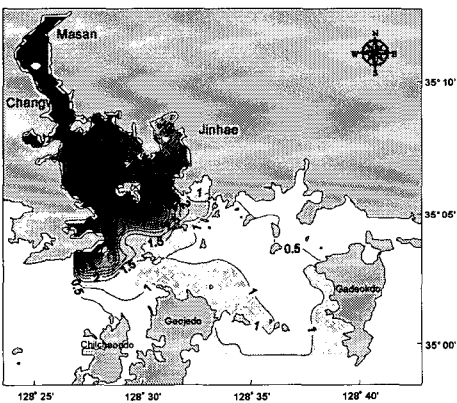


Fig. 5c). DIP(µg-at/L) in 2011.

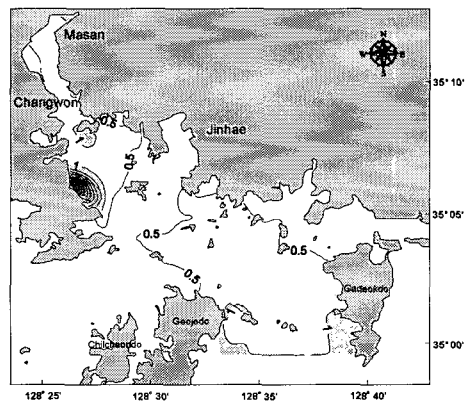


Fig. 6c). DIP in reduced pollutants.

Table 4. Pollutants loads for the achievement of target water quality in 2011

Year	Planned pollutants loads (ton/day)			Reduction amount of pollutants loads (ton/day)			Effluent concentration (mg/L)		
	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P
2011	64.0	22.9	2.9	60.8	21.7	2.7	6.6	2.5	0.4

측에는 한계를 갖는다⁷⁾. 향후 하수처리장 건설시 해수유동특성과 생태분포특성을 고려한 수질변동특성을 살펴볼 필요가 있다.

4. 요약

본 연구는 마산만 유역의 점원오염이 덕동 하수처리장에서 모두 처리된다고 가정하고 COD 2.5 mg/L 이하 유지를 위한 방류수 수질 농도를 예측한 결과이다. 2001년에 목표수질을 달성하기위해서 방류수의 농도는 현재보다 COD 90%, 질소 30%, 인 90%를 삭감해야 하며, 이를 통한 기준 농도는 COD 13.5 mg/L, 질소 33.3 mg/L, 인 0.6 mg/L 확보가 필요하다. 2011년 덕동 하수처리장의 시설이 현재보다 약 2배 증설되는 경우에도 방출수의 농도가 COD 6.6 mg/L, 질소 2.5 mg/L, 인 0.4 mg/L가 되어야 목표수질 확보가 가능하다.

하수처리장 방류수 기준이 COD 40 mg/L, 질소 20 mg/L, 인 2 mg/L 이하이기에, 마산만 특별관리해역의 수질관리를 위해서는 보다 강화된 방류수 기준이 적용된 하수처리장 가동을 필요로 한다. 게다가 마산만 수질관리는 오염물질 총량관리를 통해 점원, 비점원 및 퇴적물 등을 대상으로 종합적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원의 R&D 경상과제인 “연안어장 환경용량 산정연구”의 일환으로 수행되었습니다. 연구 자료를 확보하고 분석하는데 도움을 준 수과원 환경관리팀 연구진에 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 한국해양수산개발원, 2001, 해양의 부영양화와 적조-해양환경 보전활동 강화를 위한 제2차 정책워크샵, 69-73.
- 2) 국립수산과학원, 2005, 한국연안의 적조발생 상황, 발간등록번호, 14-18.
- 3) 김종구, 정태주, 2003, 군산연안 해역에서의 부영양화 제어에 관한 연구, 한국환경과학회지, 12(9), 947-966.
- 4) USEPA, 1994, Water quality standard handbook, Office of Water U.S., Washington D.C.

- 10-80.
- 5) 주진규, 황병기, 이정렬, 2000, 부영양화 모델을 이용한 마산만 수질예측, 한국물환경학회 춘계 학술발표회 논문집, 351-353.
- 6) 강시환, 박광순, 김상익, 유승협, 1999, 마산만 수중 방류수의 계절별 근역회석을 변화, 한국해양안·해양공학회지, 11(2), 116-126.
- 7) 이대인, 2000, 낙동강 하구해역의 식물플랑크톤 극대역 변동에 관한 수치시뮬레이션, 부경대학교 대학원 박사학위논문, 39-50.
- 8) 조홍연, 채장원, 1998, 진해·마산만 오염부하량의 특성분석, 한국해양안·해양공학회지, 10(3), 132-140.
- 9) Kim, D. M., 2003, Ecological Modeling for Estimation of Environmental Characteristics in Masan Bay, J. of the Environmental Sciences, 12(8), 841-846.
- 10) Nakata, K., 1991, A model of the formation of oxygen depleted waters in Tokyo Bay, KAIKOU, 5(2), 1-26.
- 11) 김종구, 박청길, 김광수, 1994, 하계 마산만의 부영양화 제어를 위한 생태계모델의 적용, 한국환경과학회지, 3(3), 185-195.
- 12) 마산시, 2002, 마산·창원 하수처리시설 고도처리 공정개선 기본 및 실시설계 보고서, 1-30.
- 13) 한국해양연구원, 1996, 한반도 주변 조화상수 자료집.
- 14) 해양수산부, 2001a, 환경관리해역 환경개선연구, 320-340.
- 15) Sohma, A., Y. Sekiguchi, H. Yamada, T. Sato and K. nakata, 2001, A new coastal marine ecosystem model study coupled with hydrodynamics and tidal flat ecosystem effect, Marine Pollution Bulletin, 43, 187-208.
- 16) Taguchi, K. and K. Nakata, 1998, Analysis of water quality in lake Hamana using a coupled physical and biochemical model, J. Marine Systems, 16, 107-132.
- 17) 해양수산부, 2002, 환경관리해역 환경관리 특별연구, 346-354.