

南下水處理場 流出水の 海中放流 影響評價

박해식⁽¹⁾, 박청길⁽²⁾, 이석모⁽²⁾

Environmental Assessment of Ocean Outfall for Effluent from Nambu Sewage Treatment Plant in Suyoung Bay

by

Hae-Sik Park⁽¹⁾, Chung-Kil Park⁽²⁾ and Suk Mo Lee⁽²⁾

요 약

수역의 수질개선을 위하여 생활하수, 산업폐수를 처리할 때 주로 BOD 또는 COD를 저하시키는데 주안점을 두어왔으나 제거되지 않은 질소와 인의 유입으로 인하여 해역은 부영양화가 진행되고 있다. 따라서 향후 수질을 개선하기 위해서는 조류증식의 제한인자인 질소와 인의 처리가 필요하다. 고차처리를 적용할 경우보다 건설비용과 유지관리비가 적게 소요되는 해중방류(Ocean Outfall)를 적용하였을 때 그 효과를 검토하였다. 남부하수처리장 2차처리수를 해중방류했을 때 수영면 전역에 미치는 영향을 far-field 모델인 생태-유체역학 모델을 이용하여 예측한 결과, 과거 남부하수처리수가 해수면에 유입되던 용호만의 수질은 많은 개선을 보였으나 방류관 주변에서 무기질소와 인의 농도가 해역환경기준 III등급으로 적조나 부영양화의 가능성이 있는 것으로 나타났다.

Abstract

When sewage and industrial wastewater are treated to improve the coastal water quality, we usually consider the reduction of BOD and/or COD. Due to the inflow of untreated nitrogen and phosphorus, however, the coastal water has eutrophicated. Thus, to improve the water quality, it is necessary to treat and reduce nitrogen and phosphorus which are the factors limiting algal growth. Hence, with regard to the adaption of Ocean Outfall for the treatment of wastewater in Suyoung Bay, we studied the effectiveness and environmental assessment of Ocean Outfall of which cost is lower than that of advanced treatment. The effectiveness of Ocean Outfall of the second treatment effluent in Nambu S.T.P. was simulated, using the eco-hydrodynamic model as far field model the result showed that the water quality of coastal area receiving wastewater on the surface sea has improved. But the concentrations of nitrogen and phosphorus around the diffuser of Ocean Outfall system can cause many problems on estuary, such as red tide, eutrophication and aquatic toxicity.

Keywords: Ocean Outfall, Nambu S.T.P., Eco-hydrodynamic model.

(1) 정회원, 부경대학교 대학원, outfall@popsmail.com

(2) 정회원, 부경대학교

1. 서 론

해중방류(Ocean Outfall)는 큰 연안도시에서 하수 처리의 최종단계로 많이 이용되고 있다(Grace [1978]). 방류관에 의한 하·폐수의 해중방류를 실행하려면 방류관 주변해역에서 환경기준을 만족할 수 있도록 적정 방류관 설치 위치와 방류부하량 설정이 필요하다. 하·폐수의 해중방류처리는 1960년부터 미국의 해안도시에서 시작하여 현재는 여러 나라에서 보편화되고 있으며 연구도 활발히 진행되고 있다(John et al [1994]; Lei[1995]; Raymond et al [1983]). 또한 해중방류방법은 고도처리방법보다도 비용이 저렴하여 이용이 증가하고 있지만(박[1999]), 방류관 주변의 오염을 방지하기 위해서는 유출수의 COD뿐만 아니라 영양염의 관리도 매우 중요하다(Clark[1996]).

해중방류관으로부터 방류되는 유출수의 혼합형태를 예측하는 방법에는 두 단계의 모델로 설명할 수 있다. 첫 번째는 방류관 방류구에서 buoyant plume이 주위해수와 혼합하면서 상승하는 단계로 이를 예측하는 데에는 밀도와 조류의 현장관찰을 이용한 near-field 모델이 있다(Robert et al [1989]). 이 모델은 plume의 초기회색, 상승높이, 폭을 예측하는데 유용한 모델이다. 두 번째는 plume 상승 후 far-field에서 생물학적인 과정뿐만 아니라 물리적인 이류·확산에 의해서 유출수의 혼합형태

를 예측하는 far-field 모델을 이용하고 있다(Blumerg et al [1996]).

유출수의 이류·확산과정은 near-field와 far-field에서 시간과 공간크기가 다르기 때문에 near field와 far field를 자세하게 예측하기 위해서는 하나의 모델로서는 불가능하다. 또한 near-field 모델에서는 방류관으로부터 유출된 유출수의 이류·확산과 침전과정이나 생물 흡수·분해 과정을 무시하기 때문에 광범위한 수역의 수질을 모의하기에는 부적절하다(Zhang et al [1999]).

본 연구는 현재 공사가 진행중인 부산시 남부하수처리장 해중방류시설을 대상으로 하여 far-field 모델인 생태-유체역학 모델(통상산업성[1986])을 이용하여 2차 처리수를 해중방류 하였을 때 수영만에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상해역

본 연구 대상 해역은 수영만으로 Fig. 1에 나타내었다. 수영만의 수질오염문제를 해결하기 위한 방법으로 수영만으로 유입하는 대연천과 용호천을 차집하여 하수처리용량 278,000m³/day 규모의 처리시설로 2000년 4월에 완공하여 유출수를 해중방류방법을 이용하여 유출수를 처리하고 있다. 처

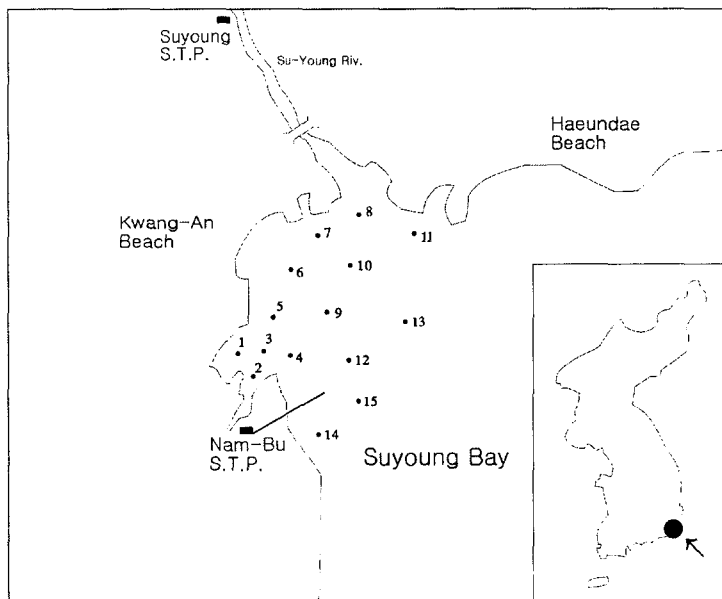


Fig. 1 The location of sampling stations in Suyoung Bay.

리된 하수는 방류관을 통하여 해안으로부터 315m 지점(수심 15m)까지 이동한 후 총길이가 105.5m 인 다공방류관을 통하여 방류된다. 다공방류관은 해안선과 거의 직각방향으로 총 9개의 Riser가 12m 간격으로 설치되어 있으며 각 Riser에는 2개의 포트가 달려있다.

2.2 현장관측

해수수질특성을 조사하기 위해서 Fig. 1에 표시된 정점에서 각각 채수한 후 실험실로 운반하여 분석

하였다. 1994년에 총 6회에 걸쳐 8개 정점에 대해서 층별(표층, 중층(5m), 저층(bottom))로 채수하였다. 분석항목은 수온, 염분, pH, 총부유물질(TSS), 화학적 산소요구량(COD), 용존산소(DO), 암모니아질소(NH₄⁺-N), 질산질소(NO₃⁻-N), 아질산질소(NO₂⁻-N), 인산 인(PO₄³⁻-P)으로 수질오염 공정시험방법에 따라 측정하였다.

2.3 모델의 적용

남부하수처리장의 해중방류효과를 평가하기 위하

Table 1 Input data for a hydrodynamic model

Parameter	Input value
Mesh size	$\Delta x = \Delta y = 100m$
Total mesh value	$70 \times 50 \times 4 = 14000$
Water depth	chart datum + MSL
Time interval	4sec
Level	1: 0~4m 2: 4~8m 3: 8~12m 4: 12m below
Water temp. and salinity at open boundary	1: 17.59°C, 31.79‰ 2: 19.20°C, 32.67‰ 3: 19.00°C, 32.79‰ 4: 18.81°C, 32.93‰
Coriolis coefficient	$f = 2 w \sin\phi$
Surface friction coefficient	0.0013
Internal friction coefficient	0.0013
Bottom friction coefficient	0.0025
Horizontal viscosity coefficient	$1.0E5 \text{ (cm}^2/\text{s)}$
Horizontal diffusion coefficient	$1.0E5 \text{ (cm}^2/\text{s)}$
Calculation time	20 tidal cycle
Flowrate of freshwater	
SUYOUNG RIVER	514,000(m ³ /day)
UDONG CHEON	20,700(m ³ /day)
KWANGAN CHEON	5,800(m ³ /day)
DAEYEON CHEON	44,000(m ³ /day)
YONGHO CHEON	58,000(m ³ /day)
CHUN CHEON	3,637(m ³ /day)
Ocean Outfall	
SUYOUNG RIVER	610,000(m ³ /day)
NAMBU S.T.P.(Ocean Outfall)	486,000(m ³ /day)

여 생태-유체역학모델을 이용하였는데, 이 모델은 2가지 모델(생태계 모델과 해수유동모델)이 결합되어 있는 모델이다. 두 모델에서는 현재 자주 이용되고 있는 ADI(alternating direction implicit method)를 사용하였고, 같은 격자망과 수심자료를 이용하며, 해수유동모델은 대상구역 내의 모든 격자점에 있어서 시간에 따른 수위, 유속을 계산하고, 생태계모델은 이 결과를 이용하여 오염물 분포를 계산하였다.(김 등[1999]; 김 등[1995]).

해수유동모델의 계산영역은 대상해역을 수평방향으로 100m의 격자로 구분하였고 수심방향으로는 0~4m, 4~8m, 8~12m, 12m이하 4층으로 구분하여, 동서방향으로 70개, 남북방향으로 50개 격자로 구성하였다.

해수유동모델에서의 조위는 수영만에서 우세한 M₂분조를 취하여 유동장을 재현하였고, 조석류와 잔차류성분을 계산하였다. 개방경계의 조위입력조건은 M₂조를 평균조석으로 하여 진폭과 위상은 이기대 남단에서 34.04cm, 75.6도와 해운대에서는 31.78cm, 73.8도를 적용하였고 각 격자점의 진폭

과 위상은 보간법에 의해서 계산하여 적용하였다(한국해양연구소[1996]).

수평확산계수는 수영만에서 조사한 자료를 바탕으로 하여 $1 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{sec}$ 로 하였다(김과 이[1992]). 해수유동모델의 입력자료는 Table 1에 나타내었다.

생태계모델의 입력자료는 조사기간에 조사된 수질 자료를 이용하였다. 생태계모델은 해수유동모델에서 유속과 조위가 정상상태에 도달한 이후의 한 조석주기의 평균유속을 기본 유동자료로 입력하였다. 각 방향의 격자크기는 해수유동모델과 같이 수평방향으로 100m의 격자로, 수심방향으로는 4층으로 구분하였다. 각 층에서 영양염, 용존산소, 화학적산소요구량, 식물플랑크톤 등의 초기조건과 경계조건은 조사기간에 관측된 수질자료를 이용하였으며, 수영만으로 유입하는 하천으로부터의 용존산소량과 화학적산소요구량, 인산염, 용존무기질소 등의 오염부하량은 조사된 자료를 이용하였다(부산직할시[1994]). 생태계모델의 입력자료는 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Input data for an ecosystem model

Parameter	Input values							
Mesh size	$\Delta x = \Delta y = 100\text{m}$							
Water depth	chart datum + MSL							
Time interval	200sec							
Initial condition for compartments								
Level	DO (mg/ℓ)	COD	DIP (mmol/m ³)	DIN	POC	DOC	PHYTO (mg-C/m ³)	ZOO
1	8.50	2.50	0.50	10.0	100	3000.0	300.0	10.0
2	8.50	2.50	0.50	6.0	100	3000.0	300.0	10.0
3	8.00	2.50	0.30	5.0	100	3000.0	250.0	10.0
4	7.50	2.00	0.40	4.0	100	3000.0	200.0	10.0
Boundary condition for compartments								
Level	DO (mg/ℓ)	COD	DIP (mmol/m ³)	DIN	POC	DOC	PHYTO (mg-C/m ³)	ZOO
1	8.50	2.0	0.40	10.0	100.0	3000.0	300.0	10.0
2	8.50	2.0	0.40	10.0	100.0	3000.0	300.0	10.0
3	8.10	2.0	0.40	8.0	100.0	3000.0	200.0	10.0
4	7.80	2.0	0.40	4.0	100.0	3000.0	150.0	10.0
Horizontal viscosity coefficient	1.0 E5 (cm ² /s)							
Horizontal diffusion coefficient	1.0 E5 (cm ² /s)							
Vertical diffusion coefficient	level 1~4 : 0.1 (cm ² /s)							
Calculation time	200 tidal cycle							

3. 결과 및 고찰

3.1 수질현황

조사기간 동안 대상해역의 용존산소는 1.2~10.9mg/L의 범위였으며, 특히 조사기간 중 6월에 정점 2와 정점8에서 1.2mg/L와 1.7mg/L로 하수의 영향이 매우 큰 것으로 나타났다.

COD 분포는 1.25~7.68mg/L의 범위로 시기별로는 다른 계절에 비해 하천 유출량이 많은 하계인 8월이 가장 높았으며, 하수가 유입하는 하구를 제외한 수영만 전역에서 춘계에 II등급 수질이고, 하계와 추계에는 모두 III등급 수질을 보였다.

해역의 부영양화에 관계되는 암모니아질소, 아질산질소 그리고 질산질소의 합계량으로 나타내는 용존무기질소의 분포는 전 조사기간을 통하여 전 조사점에 0.036~8.413mg/L 범위이고 지점별로는 용호천, 대연천 그리고 수영강하구역이 하천수 유입의 영향으로 1mg/L 이상의 높은 농도를 보였으며, 외해쪽으로 갈수록 점차 낮은 농도를 보였다. 시기별로는 전 계절에 걸쳐 전 해역이 III등급에 해당되는 농도를 보여 부영양화 단계에 있었다.

인산 인의 경우 전 조사기간을 통하여 전 조사지점에서 0.002~0.496mg/L의 범위로 시기별로는 추계인 10월이 가장 낮았다. 지점별로는 용호천, 대연천 그리고 수영강 하구역이 하천수 유입의 영향으로 높은 농도를 보였으며 외해 쪽으로 갈수록 점차 낮은 농도를 보였으며 용존무기질소와 같은 양상을 보였다.

3.2 해수유동 시뮬레이션 및 생태계 시뮬레이션

1) 해수유동시뮬레이션

유동 시뮬레이션에서 얻어진 층별 잔차류의 분포는 Fig. 2과 같다. 수영만의 잔차류의 형태를 보면 1층과 2층은 거의 유사한 형태를 보이며 해운대 앞에서 반시계 방향의 환류가 형성되는 것을 알 수 있고 1층의 경우 용호만에서 수영만 쪽으로 흐름이 생기는 것을 볼 수 있으나 2층의 경우는 수영만 쪽에서 용호만으로 해수의 흐름이 생기는 것을 알 수 있다.

모델의 계산결과와 기 관측된 조류타원도(김과이[1991])를 비교하여 모델의 적용성을 Fig. 3에 나타내었다.

2) 생태계시뮬레이션

생태계모델의 적용성 검토를 위해서 계산 결과들

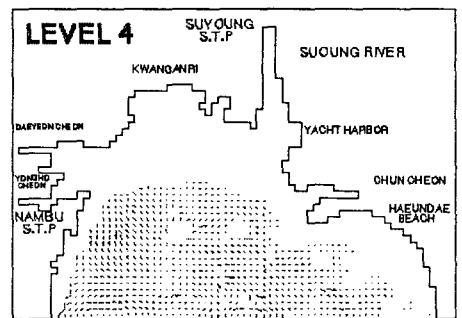
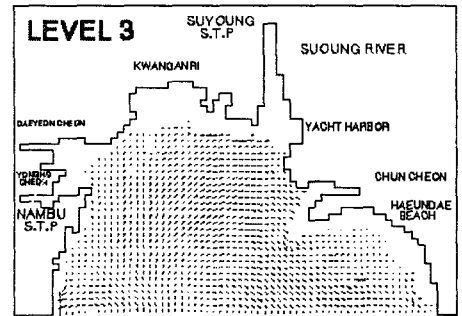
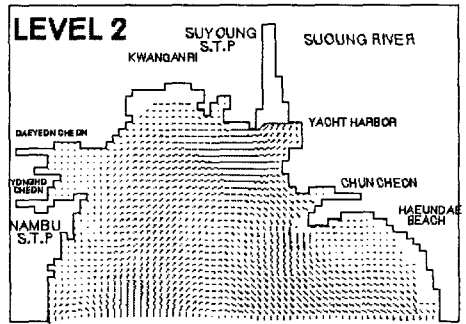
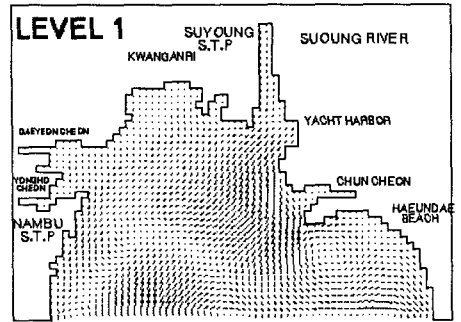


Fig. 2 Simulated residual currents in each level.

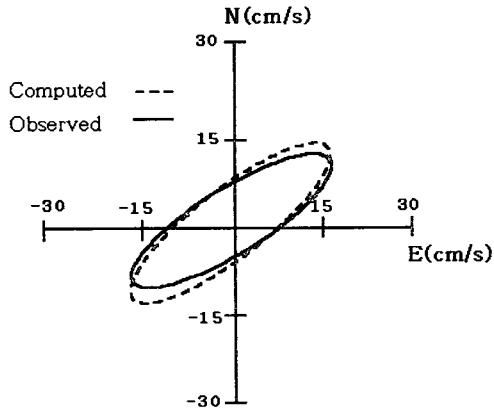


Fig. 3 Comparison of the tidal current ellipses between the observed and the calculated results.

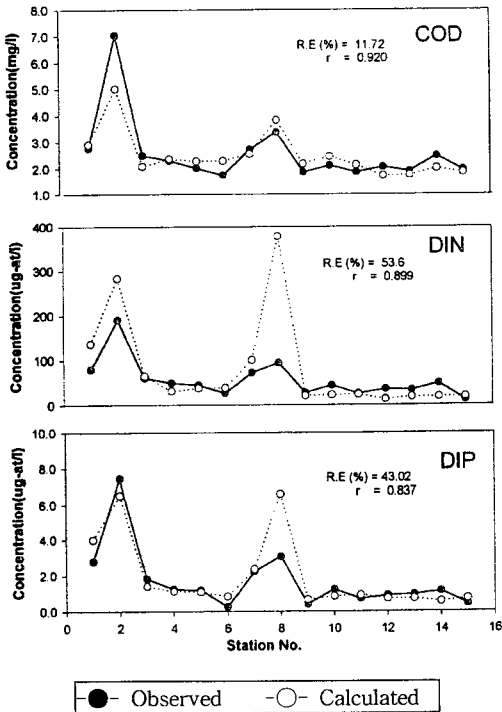


Fig. 4 Comparison between the simulated and the observed result at 1st level.

각 층별로 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 용존무기질소(DIN)의 경우에는 계산치와 실측치의 상관관계는 0.899로 지점별로 매우 높은 상관관계를

보여주고 있으나 용호만 하구와 수영만 하구의 실측치보다 낮은 값을 나타내는 것을 알 수 있고, 2월에 측정된 값과 유사한 값을 나타내는 것을 보였다.

용존무기인(DIP)의 경우에는 계산치와 실측치의 상관관계는 0.837로 지점별로 매우 높은 상관관계를 보여주나 수영강 하구의 실측치보다는 낮은 값을 보여주는 것을 알 수 있고 6월과 8월에 측정된 값보다는 높은 값을 보였다.

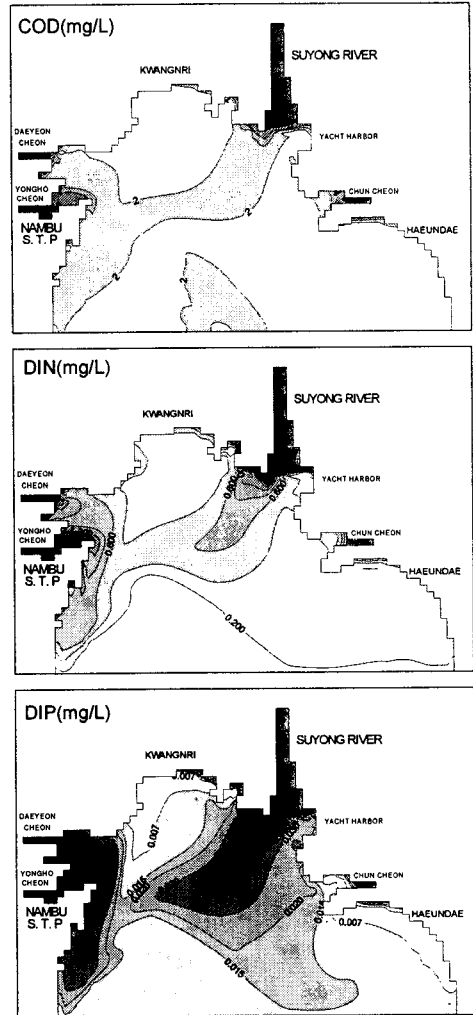


Fig. 5 Distribution of COD, DIN and DIP at 1st level in Suyoung Bay.

Fig. 5와 같이 COD의 농도분포는 대연천과 용호천의 입구, 수영강입구에서 다소 높은 농도를

나타내고 있지만, 수영만 전체에서는 해역환경 등급 II등급을 만족하는 것으로 나타났다. 이는 활성슬러지 공법으로 유입되는 유기물을 상당히 제거된 효과이다. DIN의 농도분포는 용호천과 대연천이 유입하는 지역에서는 0.8mg/L 이상의 높은 농도를 보이고 있다. 이는 2차처리된 하수처리장 유출수에 질소가 제거되지 않고 방류됨으로 인해서 용호만 전역에 총무기질소의 농도가 매우 높다. 또한 수영강으로부터 유출되는 높은 농도와 합해져서 그 범위가 수영만 중앙부까지 확대되어 가는 것을 볼 수 있다. DIP의 농도분포는 용호천과 대연천을 통해서 유출되는 다량의 미처리된 용존무기인자로 인하여 용호만뿐만 아니라 이기대 남단에까지 영향을 미치는 것으로 나타났다. 수영만 전체는 환경기준 III등급으로 나타났다.

3.4 해중방류

Ocean Outfall을 적용할 경우의 수질을 알아보기 위해서 보정된 생태계모델을 이용하여 시뮬레이션한 결과를 Fig. 6~7에 나타내었다. 현재 남부하수처리장은 활성슬러지법으로 처리하여 방류하기 때문에 남부하수처리장 유출수를 이기대 남단으로 방류했을 경우 COD는 2mg/L의 농도를 보여 해역환경기준 II등급을 만족하는 것으로 나타났다.

DIN의 경우는 2차처리 후 용호천으로 방류하는 경우와 비교하여 용호만에서의 수질이 개선된 것을 볼 수 있다. 그렇지만 표층에서 방류관 주변 400m까지 0.80mg/L의 고농도를 나타내어 부영양화가 일어날 가능성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 저층에서는 방류관 주변에서만 높은 농도를 보이지만, 유출수가 표층으로 상승함에 따라서 수영강에서의 오염물과 합해져서 그 영향범위가 더욱 확대되는 것을 볼 수 있다.

DIP의 농도분포도 DIN의 농도분포와 같이 용호천이 유입하는 해역에서는 해역환경II등급을 만족하는 것으로 나타났다. DIN의 농도분포와 같이 저층에서 방류관 주변에서만 높은 농도를 보였으며, 표층에서는 해중방류관 주변 600m까지 0.03mg/L인 해역환경III등급을 초과하는 것으로 나타났다.

그리고 수영강이 유입하는 지점에서는 DIN과 DIP 모두 해역환경 III등급을 초과하는 것으로 나타나 수영만의 수질을 개선시키기 위해서는 수영강의 오염부하량의 삭감이 필요할 뿐만 아니라 현재의 남부하수처리장 해중방류관의 위치를 이기대 남단으로 옮겨야 할 것으로 사료된다.

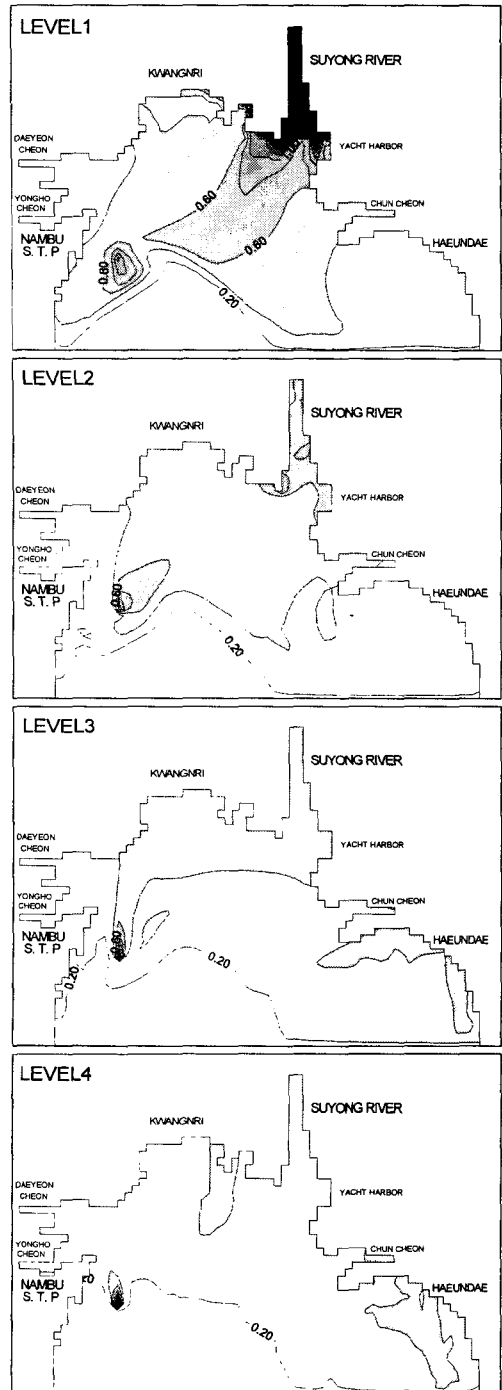


Fig. 6 DIN distribution simulated a case of discharging effluent from NSTP through Ocean Outfall into Suyoung Bay.

- [8] Blumberg, A.F., Ji, Z.G., and Ziegler, C.K., 1996, "Modeling outfall plume behavior using a far field circulation model", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 122, No. 11, 610-616.
- [9] John R. Clark, 1996, *Coastal Zone Management HANDBOOK*, Lewis publishers, New York.
- [10] Grace, R.A., 1978, "Marin outfall system, planing, design and construction", Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [11] John R., Proni, Hening Huang, and William P. Dammann, 1994, "Initial Dilution of Southeast Florida Ocean Outfalls", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 120, No. 12, 1409-1425.
- [12] Lei Yang, 1995, "Review of Marine Outfall System in Taiwan", *Wat. Sci. Tech*, Vol. 32, No. 2, 257-264.
- [13] Raymond P. Canale, Martin T. Auer, A., Yuzuru Matsuoka, Thoms M. Heidtke, and Steven J. Wright, 1983, "Optimal Cost Control Strategies For Attached Algae", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 109, No. 6, 1225~1242.
- [14] Roberts, P.J., Snyder, W.H., and Baumgartner, D.J., 1989, "Ocean outfalls II spatial evolution of submerged wastefield", *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 115, No. 1, 26-48.
- [15] Zhang, X.-Y. and Eric Adams, E., 1999, "Prediction of Near Field Plume Characteristic Using Far Field Circulation Model", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 125, No. 3, 233-241.
- [16] 通商産業省, 1986, "富栄養化水質汚染豫測手法開發事業", 資源環境技術總合研究所.