

수영 하수처리장 방류수의 해중 방류법과 3차 처리시설 설치시 비용 비교 분석

박해식·조은일*·박청길
부경대학교 환경공학과·제주대학교 환경공학과
(1998년 11월 9일 접수)

Cost Analysis of Ocean Outfall and Tertiary Treatment Processes in Suyong Sewage Treatment Plant

Hae-Sik Park, Eun-Il Cho*, and Chung-Kil Park

Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

*Dept. of Environmental Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

(Manuscript received 9 November 1998)

Sewage has been almost treated by secondary treatment process. Secondary-treated effluent of sewage treatment plant caused the pollution of nearby beach. Nitrogen(N) and Phosphorus(P) in effluent water have caused many problems on estuary, such as red tide, eutrophication and aquatic toxicity. Therefore, the effective nitrogen and phosphorus removal from sewage treatment plants is necessary to prevent those pollution problems. However, little sewage treatment plant in Korea is effectively being operated for the removal of the nutrients.

This study is analyzed for the effectiveness of cost when tertiary treatment process and Ocean Outfall are applied for the water quality of Suyong Bay

After secondary treatment process, the effluent was discharged from the seabed in the depth of 32m of 4000m offshore. Pollutant concentration is decreased as much as the 180 times after the result of initial dilution, so that environmental protection requirement of Suyong Bay can satisfied.

This Ocean Outfall process can save the 2.6~3.5 times as much as the cost of construction and operation for tertiary treatment process running over a 20 year.

Key words : Cost Analysis, Ocean Outfall, Tertiary Treatment Processes.

1. 서 론

하천, 호소 및 연안해역의 수질관리를 위해서 각 수역으로 배출되는 하·폐수를 차집하여 하수처리장으로 보내고 하수처리장에서는 물리학적·화학적·생물학적 처리공법 등을 이용하여 오염물질을 처리한 후 방류하는 일련의 과정을 통하여 수역으로 유입되는 오염부하량을 저감시키고 있다.

우리나라의 하수처리는 주로 유기물질의 제거를 주목적으로 활성슬러지공법을 채택한 2차 처리 단계까지만 처리하고 있다. 그 결과 질소와 인은 처리되지 않고 방류되기 때문에 하수처리장 방류수 인근 수역에는 부영양화가 일어날 가능성이 크며¹⁾, 실제로 하천·호소에는 남조류가 다량번식하고 해역에는 대규모 적조가 발생하는 등 수질관리의 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제점으로 인해 우리나라에서도 배출허용기준 및 방류수 수질기준에 질소와 인을 추가하여 1996년부터 적용함으

로 부영양화의 주요 원인물질인 질소와 인의 배출을 규제하고 있다. 그러므로 대부분의 폐수처리장이나 하수처리장에서는 질소와 인을 처리하는 3차 처리 또는 고차 처리시설을 도입하려고 하고 있으나 운영하는데 기술적인 측면을 포함하여 경제적인 측면도 문제가 되고 있는 실정이다.

부산과 같은 임해도시의 경우 질소·인이 미처리된 방류수가 해역으로 유입됨으로 인해 방류수 인근 해역은 부영양화가 심각하며 적조현상까지 빈번하게 발생하고 있다. 그래서 3차 처리시설 도입이 어려운 경우 기존의 2차 처리수를 해중방류관을 통해 회석과 확산이 용이한 연안에서 멀리 떨어진 깊은 해중에 처리수를 회석과 확산이 용이하도록 연안에서 멀리 떨어진 깊은 해중에 해중방류관 설치를 통하여 방류함으로써 연안해역의 수질개선효과를 평가하는 연구가 다수 진행되고 있으며, 현실적으로 적용한 사례도 적지 않다²⁻⁷⁾. 따라서 본

Table 1. Cost Function for Treatment Levels

Treatment Level	Capital Cost (million Won)	Operation & maintenance Cost (million Won/yr)
Standard activated sludge	$1,795.2Q^{0.622}$	$33.84Q^{0.848}$
Denitrification and nitrification	$1,791.0Q^{0.705}$	$45.92Q^{0.866}$
Chemical precipitation	$2,082.2Q^{0.609}$	$44.32Q^{0.886}$

$Q(10^3 \text{ m}^3/\text{day})$

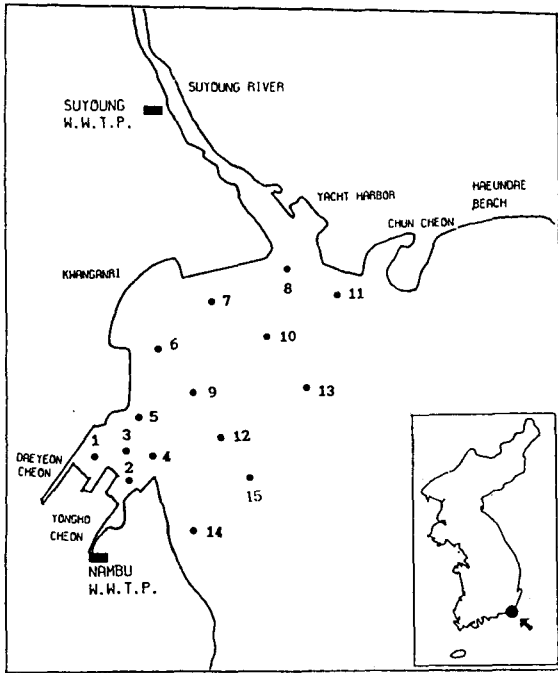


Fig. 1. The location of sampling stations in Suyong Bay.

연구는 수영만 수질관리를 위해 수영하수처리장에서 3차 처리시설을 도입하여 질소와 인을 제거하는 방법과 기존의 2차 처리수를 해중방류하는 방법에 대하여 비용 분석을 통하여 어떤 방법이 더 경제적인지를 분석하고, 해중방류에 의한 수영만의 수질을 해수유동모델(COSMOS)와 물질순환모델(EUTROP2)⁹⁾을 이용하여 예측하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상해역

본 연구대상 해역인 수영만은 한국의 남동해안에 위치해 있으며, 해운대 동백섬 남단과 이기대를 연결하는 내만 해역으로 만 내에는 요트 경기장, 광안리해수욕장과 해운대해수욕장이 인접한 관광지로 수질관리가 특별히 요구되는 해역이다.

2.2 수질조사

수영만의 오염정도를 파악하기 위해서 Fig. 1에 나타난 15개 지점을 선정하여 1994년 2월 27일, 4월 30일, 6월 28일, 8월 23일, 10월 8일 그리고 12월 3일(총

6회)에 걸쳐 층별(표층, 중층(5m), 저층(bottom))로 채수하였다. 정점 9에서는 Core sampler를 이용하여 채취한 저질의 영양염 용출속도를 실내실험을 통하여 산정하였다. 수온, 용존산소(DO), 투명도는 각각 봉상온도계, DO meter (YSI MODEL 57)를 사용하여 현장 측정하였다. 암모니아 질소(NH₄⁺-N)는 Indophenol법, 아질산 질소(NO₂⁻-N)는 Sulfanilamide-NED법, 질산 질소(NO₃⁻-N)는 Cadmium reduction법, 인산인(PO₄³⁻-P)은 Ascorbic acid법으로 비색정량 하였다. 화학적 산소요구량(COD)은 알카리성 과망간산 칼륨법으로 정량하였다.

2.3 3차 처리 시설 설치의 비용분석

하수처리 비용은 건설비와 운영비 및 유지관리비를 포함하고 있다. 하수처리장의 건설비용을 계산할 때는 정확히 산정해야 하고, 경제성을 평가하기 때문에 공학적으로 매우 중요한 부분이지만 계획단계에서 하수처리장 건설비의 완벽한 분석은 매우 어려운 실정이다. 그래서 일반적인 비용산정은 다른 유사한 처리공정과 경험에 의해서 산출되고 있다⁹⁾. Table 1은 환경부¹⁰⁾의 자료로 처리시설 용량식과 비용과의 관계식을 이용하여 고도처리시설 건설 및 운영비를 산정하였다.

비용식은 3가지로 나누어 활성슬러지공법에 소요되는 비용을 계산할 수 있고 질소를 제거하기 위한 질산화·탈질법과 인을 제거하기 위한 화학 침전법의 비용을 계산할 수 있다. 기존 활성슬러지 공법으로 운영하는 하수처리장의 경우 고도처리 공정도입 비용은 활성슬러지 공법의 비용을 제외하고 산정되었다.

2.4 해중방류법의 초기희석배율

해중방류관으로부터 방류된 유출수가 유출되는 속도와 유출수의 밀도차에 의한 부력으로 표면으로 상승하게 된다. 이때 해중방류관 주위의 영향을 알아보기 위해서는 초기희석배율(Initial Dilution)을 산정하게 된다²⁾.

초기희석배율은 Sa로 정의하였고, 주위의 조류속도는 0이고, 폐수 방류각도는 0 일때는 식(1), 식(2)의 Cederwall의 경험식을 사용했다.

$$S_a = 0.756F_0 (Z / (F_0 dj))^{1/6} \quad Z/dj < 0.5F_0 \quad (1)$$

$$S_a = 0.756F_0 (0.38Z / (F_0 dj) + 0.667)^{5/3} \quad Z/dj > 0.5F_0 \quad (2)$$

여기서 Z = 0.92H,

H = water depth(m),

dj = nozzle diameter(cm)

F₀ = density Fredhlm's number

Table 2. Input data for material cycle model

Name of river	Flowrate	COD	DIP	DIN
	m ³ /day	ton / day	kg/day	kg/day
1994 YEAR				
SUYOUNG RIVER	514,000	9.51	318.6	4163.4
UDONG CHEON	20,700	0.33	11.3	97.3
KWANGN CHEON	5,800	0.18	7.3	48.6
DAEYEON CHEON	44,000	1.22	51.9	542.6
YONGHO CHEON	58,000	3.00	101.5	1023.1
CHUN CHEOM	3,637	0.05	3.8	26.4
Ocean Outfall				
Ocean Outfall	550,000	4.56	555.9	10062.8
NAMBU W.W.T.P..(Outfall)	566,152	6.96	611.4	7897.8
HAEUND W.W.T.P.	65,000	0.53	65.0	1176.5

$$F_0 = V_j / \sqrt{g_D' d_j}$$

$$V_j = \text{ejecting velocity (m/s)}$$

$$g_D' = (\Delta \rho / \rho_0) g$$

$$\Delta \rho = \rho_a - \rho_0$$

$$\rho_a = \text{seawater density (kg/l)}$$

$$\rho_0 = \text{wastewater density (kg/l)}$$

해중방류관 주위의 조류속도가 0이 아니고, 방류되는 각도가 0이면 식(3), 식(4)의 Neville-jones의 경험식을 사용했다.

$$S_a = 0.434 \beta_0^{1/3} H^{5/3} / Q_0 \quad Hu^3 / \beta_0 < 5 \quad (3)$$

$$S_a = 0.434 u H^2 / Q_0 \quad Hu^3 / \beta_0 \geq 5 \quad (4)$$

여기서 $Q_0 = Q/n$

$$Q = \text{wastewater flow rate (m}^3/\text{s)}$$

$$n = \text{number of riser}$$

$$\beta_0 = g_D' Q_0$$

$$u = \text{ambient velocity (m/s)}$$

2.4 해중방류법의 건설비용분석

해중방류법의 건설비에 영향을 미치는 요인은 많지만 직접적인 영향을 주는 인자는 해중방류관의 관경과 길이이다. 따라서 본 연구에는 식(5)와 같이 중회귀분석을 이용하여 건설비를 산정하였다.

$$\text{Outfall Construction Cost} = a_0 + a_1 L + a_2 D - \varepsilon \quad (5)$$

$$a_0, a_1, a_2 = \text{regression coefficients}$$

$$L = \text{total length of outfall pipe(m)}$$

$$D = \text{diameter of main outfall pipe(m)}$$

$$\varepsilon = \text{error term of regression formulation}$$

2.5 해수유동모델 및 물질순환모델

2.5.1 해수유동모델

해수유동모델의 계산영역은 대상해역을 수평방향으로 100m의 격자로 구분하였고 수심방향으로는 0~4m, 4~8m, 8~12m, 12m이상의 4층으로 구분하여,

동서방향으로 70, 남북방향으로 50, 수심방향으로는 4개의 층으로 구성하였다.

해수유동모델에서의 조위는 수영만에서 우세한 M₂ 조를 취하여 유동장을 재현하였고, 조석류와 잔차류성분을 계산하였다. 개방경계의 조위입력조건은 M₂ 조를 평균조석으로 하여 진폭과 위상은 이기대 남단에서 34.04cm, 75.6도와 해운대에서는 31.78cm, 73.8도를 적용하였고 각 격자점의 진폭과 위상은 보간법에 의해서 계산하여 적용하였다.

수평확산계수는 수영만에서 조사한 김차경 외¹¹⁾의 자료를 바탕으로 하여 10⁵cm²/sec로 하였다. 모델의 계산결과와 기 관측된 조류타원도를 비교하여 모델의 적용성을 검토하였다¹²⁾.

2.5.2 물질순환모델

물질순환모델의 입력자료는 조사기간에 조사된 수질 자료를 이용하였다. 물질순환모델은 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 수질 자료를 이용하였으며, 수영만으로 유입하는 하천으로부터의 용존산소량과 화학적산소요구량, 인산염, 용존무기질소 등의 오염부하량은 부산시¹³⁾의 자료를 이용하였다. 물질순환모델의 입력자료는 Table 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 3차 처리 시설 설치의 비용분석 결과

수영하수처리장의 3차처리 시설은 질소를 제거할 수 있는 질산화·탈질법과 인을 제거할 수 있는 화학침전법의 두 가지 방법에 대해서 적용하였다.

수영하수처리장의 2단계 증설공사 완료 후 550,000m³/day의 유량을 적용하여 3차처리 시설에 소요되는 비용을 계산한 결과를 Table 3에 나타내었다. 질소를

Table 3. Cost for Tertiary Treatment Processes

Treatment Level	Capital Cost (million Won)	Operation & maintance Cost (million Won/yr)
Denitrification and nitrification	62214	3710
Chemical precipitation	6230	4740

Table 4. Initial Dilution for Water Depth

Depth (m)	Initial Dilution (Sa)		
	$u^{(1)}=0$	$0 < u^{(1)} < 0.2$	$u^{(1)}=0.3$
16	41.6	55.7	99.8
17	42.7	61.6	112.7
18	43.8	67.7	126.3
19	44.9	74.1	140.7
20	45.9	80.7	155.9
21	46.9	87.6	171.9
22	47.8	94.6	188.7
23	48.8	101.9	206.2
24	49.7	109.4	224.5
25	50.6	117.1	243.6
26	51.5	125.0	263.5
27	52.3	133.2	284.2
28	53.2	141.5	305.6
29	54.0	150.0	327.8
30	54.8	158.7	350.8
31	55.6	167.6	374.6
32	56.4	181.7	399.2
33	57.1	186.0	424.5
34	57.9	195.5	450.6
35	58.6	205.2	477.5
36	59.3	215.1	505.2
37	60.0	225.1	533.7
38	60.8	235.4	562.9

1) u : ambient velocity, m/sec

제거하기 위한 질산화·탈질법을 추가로 건설하는 경우에는 622억원이 소모되고 연간 유지비는 37억원이 소요되는 것으로 계산되었고, 인을 제거하기 위한 화학침전법의 추가건설 비용은 62억원으로 계산되었고 연간 유지비는 47억원이 소요되는 것으로 계산되었다. 현재의 활성슬러지법에 인을 제거하기 위한 화학침전법은 초기 투자비는 적게 소요되지만 연간유지비가 질소제거 공법인 질산화·탈질법보다 연간 10억원의 비용이 더 많이 소요되는 것으로 산출되었다.

3.2 해중방류관의 초기회석과 위치선정

해중방류관의 설치 위치를 선정하기 위해서 해수의

Table 5. Water Quality and Seawater Quality Criteria

Item	Effluent	Class II seawater quality criteria	Required Dilution
	(mg / ℓ)		
BOD	11.2	-	-
COD	8.2	2	4.1
SS	2.9	25	-
DIN	18.1	0.1	181
DIP	1.0	0.015	66.7

평균밀도는 1.021kg/l, 수영하수처리장에서 방류되는 유출수의 밀도는 0.998kg/l, 방류되는 유량은 2단계 공사가 완료된 후의 6.36m³/s, diffuser의 길이를 200m, riser는 11m에 하나씩 만들고 nozzle은 각 riser에 2개씩하여 유출속도가 3m/sec일 때의 수심에 따른 초기회석률을 계산한 결과를 Table 4에 나타내었다. 이때 이용된 유속성분은 잔차류를 이용하였고, 김차검과 이중섭¹²⁾에 의하면 수영만의 최대유속은 0.3m/sec이고 평균값은 0.2m/sec라고 조사된 값을 이용하였다.

Table 5에서는 유출수 농도가 해양환경 기준을 만족시키기 위해 필요한 초기회석배율을 나타내었다. 이때 사용된 유출수의 DIN과 DIP의 농도는 TN과 TP의 자료를 이용하여 TN의 95%가 DIN의 형태로 방류되고, DIP는 TP의 99%로 방류되는 것으로 하여 농도를 산출하였다¹⁴⁾. 그 결과, 하수처리장의 유출수를 방류할 경우에 해양환경 2등급을 만족시키기 위해 COD의 경우 4.1배, DIN의 경우에는 181배, DIP인 경우에는 66.7배의 초기회석배율이 필요하였다.

따라서 수영하수처리장의 유출수를 해중방류법에 의해 처리를 할 경우 해양환경기준 2등급을 만족하기 요구되는 초기회석률은 181배다. 그러므로 수영만에서 해중방류지점의 수심은 Table 4에서 보는 바와 같이 32m가 적합하였고, 이를 만족하는 지점은 수영강 하구에서 4km 외해역에 해당하였다.

3.3 해중방류법의 건설비용분석 결과

현재 국내에서는 해중방류법을 많이 이용하고 있지 않기 때문에 해중방류법의 건설비용에 관한 자료가 거의 없는 실정이다. Charles G. Gunnerson과 Jonathan A. French¹⁵⁾의 65개의 외국의 자료를 이용하여 관의 직경과 길이에 대한 통계 프로그램인 SAS (Statistical Analysis System)를 이용하여 중회귀분석을 행하여 건설비용함수를 만들었다.

식(6)의 건설비용 함수는 F값이 102.16으로 유의 수

Table 6. Cost Analysis Results over a 20-year

Alternative	Construction Cost	Operation & Management Cost	Total Cost
Denitrification and nitrification	622	742	1364
Chemical precipitation	62	948	1010
Ocean Outfall	363	20	383

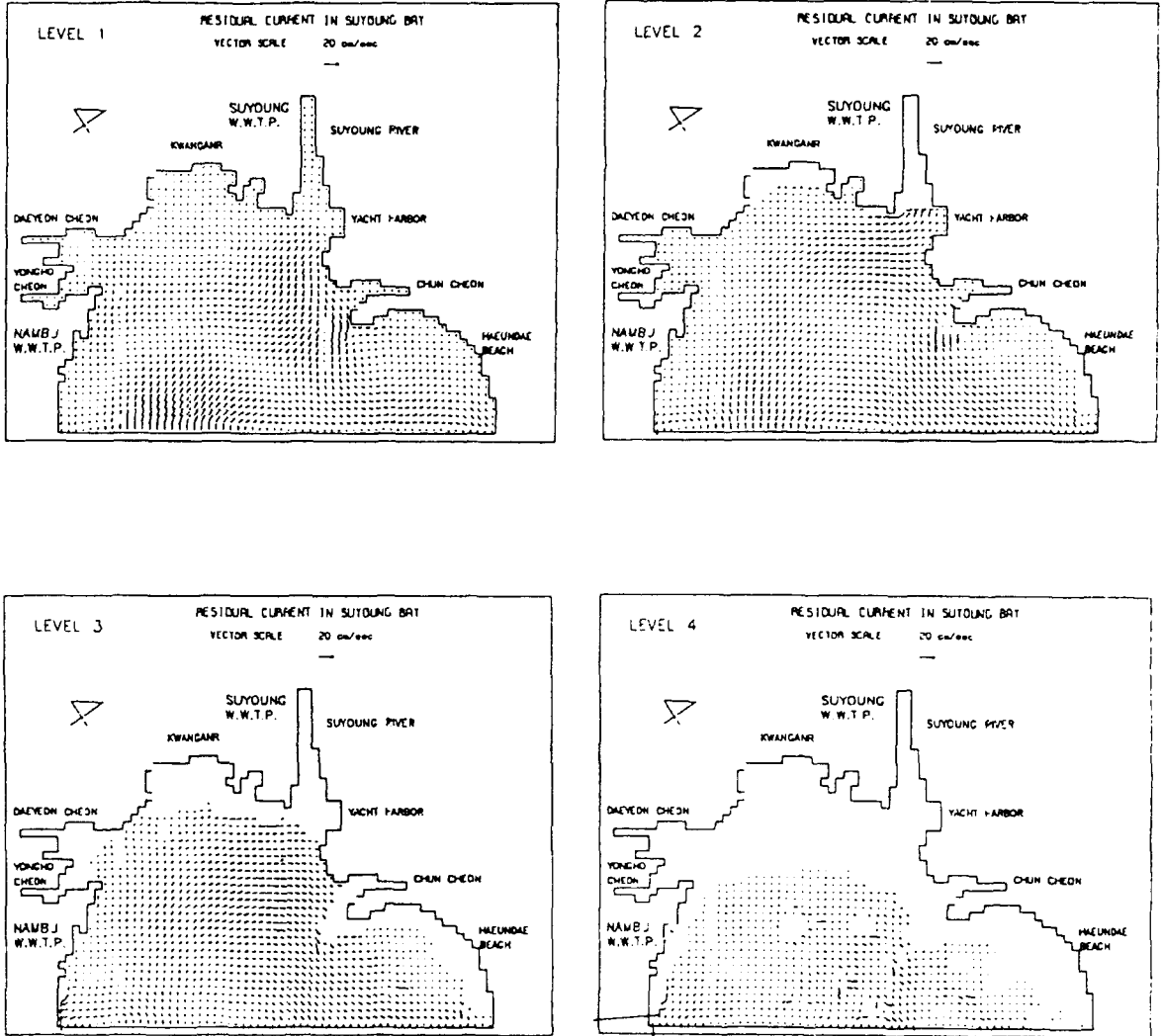


Fig. 2. Simulated residual currents in each level.

준 95%안에 들어 해중방류법의 건설비를 산정하는데 적합하였다. 그리고 건설비에 영향을 주는 직경에 대한 상관계수는 0.743, 길이에 대한 상관계수는 0.788로 해중방류법의 건설비용은 직경과 길이 모두에 의해서 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

$$\text{Cost (Millions U.S. \$)} = 16.76 \times D + 0.010 \times L - 28.78 \quad (6)$$

$$(R^2 = 0.7672)$$

식(5)를 이용하여 수영하수처리장 2단계 공사가 완료

된 후의 550,000 m³/day의 유출수를 처리하기 위한 해중방류법의 건설비용을 계산하였다. 해중방류관에서 입자의 침전을 방지하기 위해서 유속을 2m/s로 하면 해중방류관의 관경은 2m가 된다.

그리고 181배의 초기회석배율을 얻을 수 있는 지점은 수영하구에서 4km 떨어진 지점에서 방류하는 것이 가장 최단거리이다. 이 지점까지의 해중방류법 건설비용은 44.7Millions U.S. \$으로 1995년의 환율(\$ 1 =

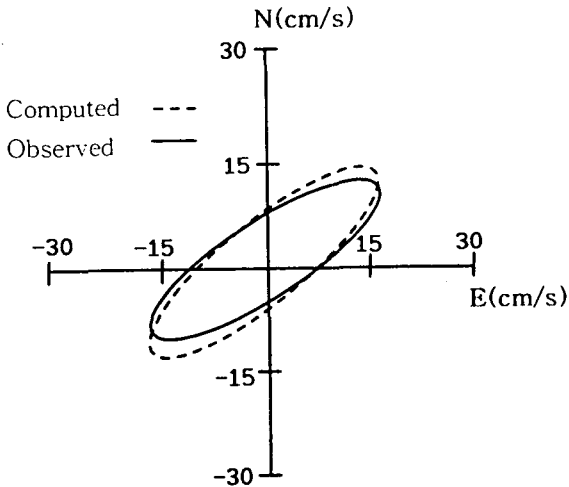


Fig. 3. Comparison of the tidal current ellipses between observed and calculated results.

774.4원을 적용하면 346억원이 소요되는 것으로 산출되었다. 이를 다시 3차처리시설의 비용과 비교하기 위해서 1996년의 소비자물가지수(1995년을 100으로 할 경우 104.9)를 이용해서 현가화 하면 383억원이 소요되는 것으로 산출되었다.

일반적으로 적용하는 내용연수를 20년을 적용하여 해중방류법을 이용했을 경우의 비용, 질소를 제거하는 질산화·탈질법의 비용과 인을 제거하기 위한 화학침전법의 비용분석 결과를 Table 6에 나타내었다.

질소를 제거하기 위한 질산화·탈질법의 경우에 총 비용은 1,364억원, 인을 제거하기 위한 화학침전법은 1,010억원, 해중방류법은 383억원으로 해중방류법이 3차처리를 하는 비용보다 약 2.6~3.5배 비용이 적게 소요하는 것으로 산출되어 비용을 크게 절약할 수 있는 것으로 나타났다.

3.4 해수유동 및 물질순환 시뮬레이션

3.4.1 해수유동

유동 시뮬레이션에서 얻어진 층별 잔차류의 분포는 Fig. 2와 같다. 낙조시의 유동형태를 보면 각 층 모두 이기대 남단에서 유입된 해수가 수영만 중심부를 향해 강하게 북동진 하다가 해운대 지역으로 이동하여 빠져나가는 형태를 보여주고 있으며 광안리해수욕장에서의 유속은 매우 약한 것을 알 수 있다. 표층의 경우 용호천과 대연천의 영향으로 수영만 중심부로 흐르는 흐름형태를 볼 수 있으나 2층과 3층에서는 이러한 현상을 볼 수 없는데 이는 하천수가 해수에 비해서 밀도가 낮아 해수 위로 빠져나가는 영향을 알 수 있다. 4층의 경우는 이기대 남단과 해운대지역의 지형특성상 유속이 좀 크게 나타난 것을 볼 수 있었다. 창조시의 유동 형태를 보면 낙조시와는 반대의 유동 형태를 볼 수 있었다.

수영만의 잔차류의 형태를 보면 1층과 2층은 거의 유사한 형태를 보이며 해운대 앞에서 반시계 방향의 환류가 형성되는 것을 알 수 있고 1층의 경우 용호천에서 수

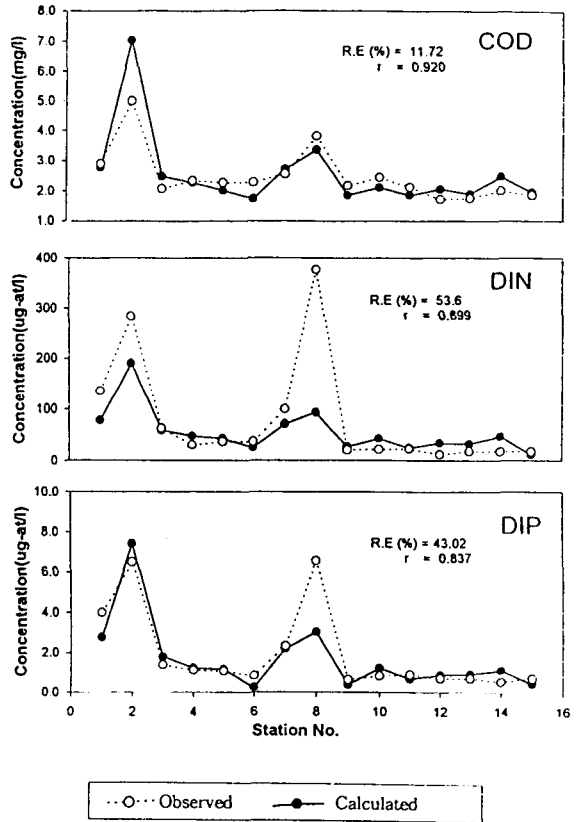


Fig. 4. Comparison between simulated and observed result at 1st level.

영만 쪽으로 흐름이 생기는 것을 볼 수 있으나 2층의 경우는 수영만 쪽에서 용호천으로 해수의 흐름이 생기는 것을 알 수 있다. 모델의 계산결과와 기 관측된 조류타원도¹²⁾를 비교하여 모델의 적용성을 Fig. 3에 나타내었다.

3.4.2 물질순환모델

물질순환모델의 적용성 검토를 위해서 계산 결과를 각 층별로 비교하여 Fig. 4~6에 나타내었다. COD는 1층에서 계산치와 실측치의 상관관계는 0.920으로 지점별로 높은 상관관계를 보여주고 있으며 상대오차는 11.72%로 나타나고 있어 매우 잘 재현되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 2층과 저층의 경우도 상대오차가 각각 16.9%와 8.58%로 잘 재현되었다.

용존무기질소(DIN)의 경우에는 계산치와 실측치의 상관관계는 0.899로 지점별로 높은 상관관계를 보여주고 있으나 용호만 하구와 수영만 하구의 실측치보다 낮은 값을 나타내는 것을 알 수 있고, 2월에 측정된 값과 유사한 값을 나타내는 것을 보였다. 상대오차는 53.6%로 나타나어 상대오차가 큰 것으로 나타났는데 이것은 용호천과 수영강의 영향을 받는 정점 3과 정점 8의 값으로 인한 것으로 이 값을 제외하면 상대오차가 22.0%로 낮아져 만 전체는 재현이 잘 되는 것으로 나타났다. 2층

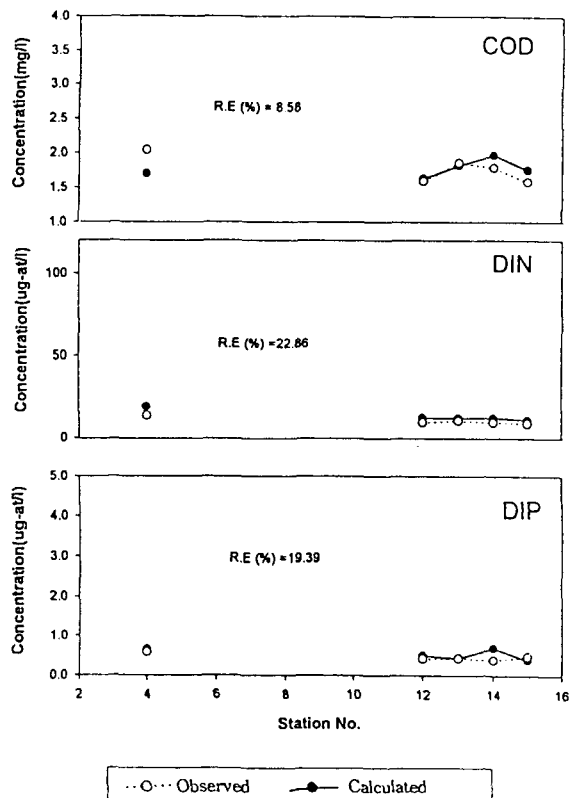
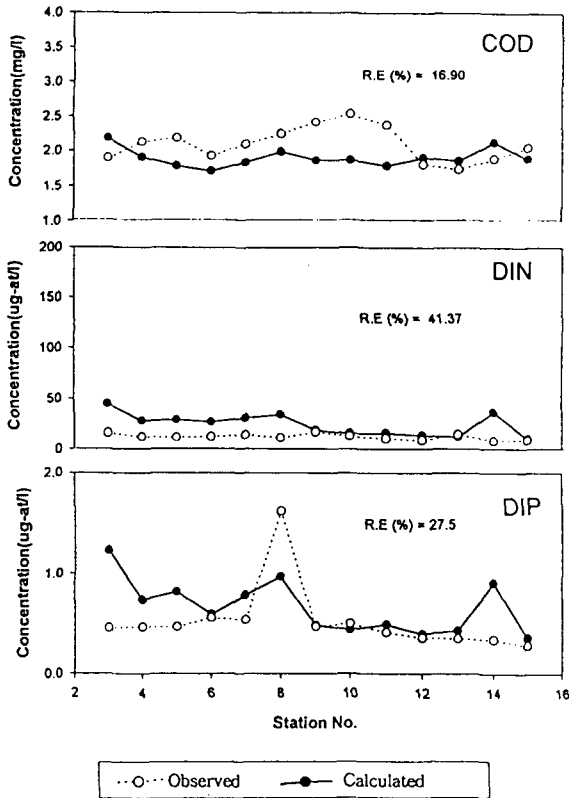


Fig. 5. Comparison between simulated and observed result at 2nd level.

Fig. 6. Comparison between simulated and observed result at 1st level.

과 저층의 경우 상대오차가 각각 41.37%와 22.86%로 재현되고 있는 것을 알 수 있다.

용존무기인(DIP)의 경우에는 계산치와 실측치의 상관관계는 0.837로 지점별로 매우 높은 상관관계를 보여주나 수영장 하구의 실측치보다는 낮은 값을 보여주는 것을 알 수 있고 6월과 8월에 측정된 값보다는 높은 값을 보였다. 상대오차는 표층에서 43.02%로 DIN과 같이 정점 3과 정점 8의 값을 제외하면 상대오차가 낮아져 만 전체는 재현이 잘 되는 것으로 나타났다. 2층과 저층의 경우도 상대오차가 각각 27.5%와 19.39%로 잘 재현되고 있는 것을 알 수 있다.

3.5 해중방류법에 의한 수영만의 수질영향

물질순환모델을 이용하여 해중방류에 의한 수영만의 수질영향을 파악하였다. 유량과 부하량조건은 Table 2와 같이 수영하수처리장 유출수를 해중방류법에 의해서 해안선에서 4km 떨어진 지점에서 방류하는 경우로 수영하수처리장 2단계공사가 완료되어 하루 550,000m³/day을 방류하고, 남부하수처리장 2단계 공사완료 후 하루 556,152m³/day을 이기대를 통해서 방류, 해운대하수처리장이 완공되어 65,000m³/day이 춘천천을 통해서 방류하는 조건으로 모델을 수행하였으며 부하량은 유량에 현재의 농도를 곱해서 산출하였다¹⁶⁾.

물질순환모델을 이용해서 재현된 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 해중방류법에서는 COD의 경우 남부하수처리장의 유출수로 인한 이기대 남단에서 3.0mg/l의 농도를 보이고 있고, 수영하수처리장의 유출수가 방류되는 지점에서의 COD의 농도는 1.5mg/l의 농도로 해양환경기준 II등급을 만족하는 것으로 나타났다. 용존무기질소(DIN)의 농도도 남부하수처리장의 영향을 받는 이기대에서 높은 농도를 보이고 있으나 광안리해수욕장과 해운대해수욕장의 농도는 해양환경기준 II등급을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 용존인(DIP)의 농도도 남부하수처리장의 유출수에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 그리고 Ocean Outfall 주변은 II등급을 초과하고 있지만 만 전역에서 해양환경등급 I등급을 유지하고 있어 Ocean Outfall을 이용할 경우 수영만의 수질이 해양환경 기준 II등급을 만족하여 Ocean Outfall의 건설이 가능하다는 것을 알 수 있다.

4. 요약

수영하수처리장 방류수의 해중방류법과 3차처리 시설 설치의 비용분석을 한 결과는 다음과 같다.

1) 해안에서 4km 거리와 환경을 2m의 해중방류법을 이용한 수영만의 수질을 개선시키는데 소요되는 해중방류관 건설비용은 383억원이 소요되는 것으로 산출되었

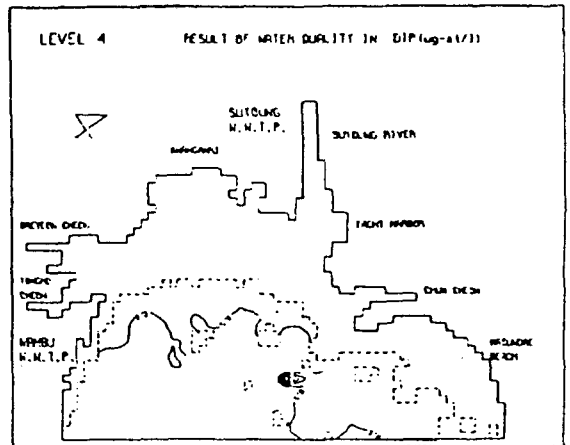
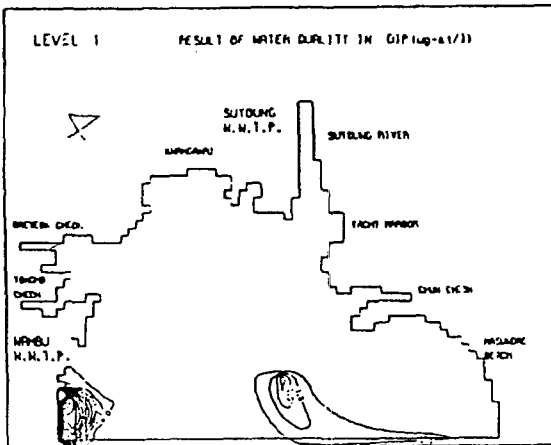
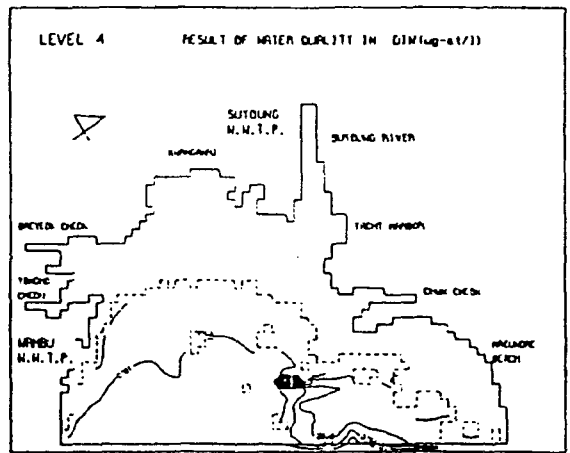
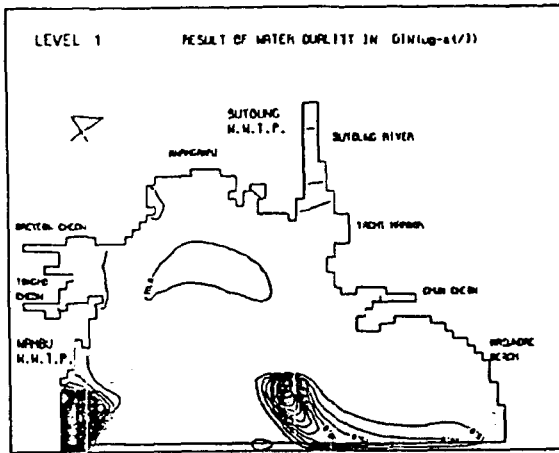
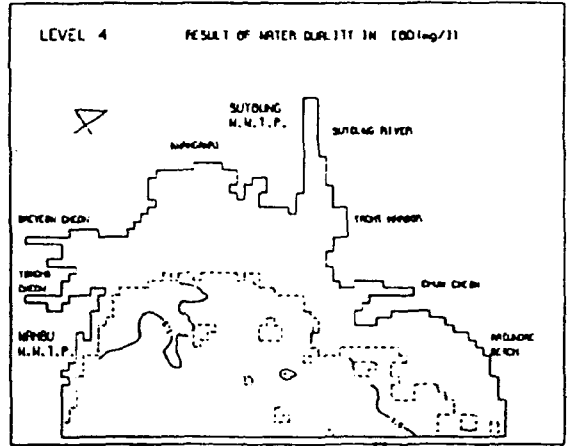
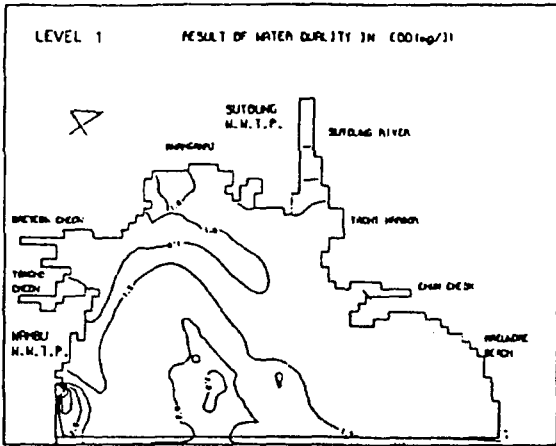


Fig. 7. Simulated COD, DIN and DIP distribution at 1st and 4th(bottom) level of Ocean Outfall.

다.

2) 수영하수처리장의 유출수를 해중방류관을 통해서 방류할 경우 방류수심을 32m, Diffuser의 길이를 200m로 할 경우의 초기희석배율은 유속에 따라서 56.4~399.2으로 계산되었다.

3) 질소를 제거하기 위한 순환법의 경우의 20년 동안의 총 비용은 1,364억원, 인을 제거하기 위한 응집제첨가 활성슬러지법은 1,010억원, 해중방류법은 383억원으로 해중방류법이 3차처리시설을 설치하는 비용보다 약 2.6~3.5배 비용을 적게 소요하는 것으로 산출되었다.

4) 해중방류법을 이용할 경우의 수영만의 수질영향을 예측하기 위해서 물질순환모델을 이용하여 예측한 결과 수영만의 수질이 COD, 용존무기질소(DIN)와 용존무기인(DIP)의 전 항목에서 해역환경 II등급을 만족하는 것으로 예측되었다.

참 고 문 헌

- 1) 송교욱, 1997, 호주 시드니의 하수처리, 부산발전포럼, 54~56.
- 2) He Qiang, Guo Jinghui, Liao Xiangui and Cheng Hangping, 1994, Study on marine disposal of municipal wastewater of Halkou City, China Environmental Science, 5(3), 215~222.
- 3) John R. Proni, Hening Huang, William P. Dammann, 1994, Initial Dilution of Southeast Florida Ocean Outfalls, Journal of Hydraulic Engineering. 120(12), 1409~1425.
- 4) Lei Yang, 1995, Review of Marine Outfall System in Taiwan Wat. Sci. Tech. 32(2), 257~264.
- 5) NI-BIN CHANG and S. F. WANG, 1995, Optimal

- Planning of Costal Wastewater Treatment and Disposal Systems, Costal Management, 23, 153~166.
- 6) Raymond P. Canale, Martin T. Auer, Yuzuru Matsuoka, Thoms M. Heidtke, Steven J. Wright, 1983, Optimal Cost Control Strategies For Attached Algae, Journal of Environmental Engineering, 109(6), 1225~1242.
- 7) Robert C. Y. Koh, Member, ASCE, 1988, Shoreline Impact from Ocean Waste Discharges, Journal of Hydraulic Engineering, 114(4), 361~376.
- 8) 일본통상산업소, 1986, 부영양화수질오염예측수법개발사업, 자원환경기술종합연구소.
- 9) 신성교, 1996, 自生BOD를 고려한 낙동강의 수질관리, 부산수산대학교 박사학위논문.
- 10) 환경부, 1996, 하·폐수처리장 방류수 수질기준 설정에 관한 연구.
- 11) 김차겸, 이종섭, 장선덕, 1993, 3차원 경압 해수유동 모델의 개발과 수영만의 해수유동, 한국해양학회지, 28(2), pp. 86~100.
- 12) 김차겸, 이종섭, 1992, 수영만의 조류, 염분 및 부유물질의 분포, 한국수산학회지, 25(5), pp. 359~370.
- 13) 부산직할시, 1994, 남부하수처리장 방류연안수역 수질 환경영향조사.
- 14) 종궁 공, 김동하, 1995, 고도하수처리법의 처리효율과 경제성 평가, 대한상하수도학회, 9(1), 37~45.
- 15) Charles G. Gunnerson, Jonathan A. French, 1996, Wastewater Management for Coastal Cities, Springer, 311~319.
- 16) 부산직할시, 1993, 하수도정비기본계획변경 보고서.