

마산·창원 하수종말 처리장의 해양방류 처리수에 대한 초기·근역 희석연구(I)

강시환⁽¹⁾, 유승협⁽²⁾, 오병철⁽¹⁾

A Study on Initial and Near-Field Dilution at the Ocean Outfall of Masan-Changwon Municipal Wastewater Treatment Plant

See-Whan Kang⁽¹⁾, Sung-Hyup You⁽²⁾ and Byung-Cheol Oh⁽¹⁾

요 약

본 논문에서는 국내 최초로 수중확산관을 통해 하·폐수 1차 처리수를 해양방류하고 있는 마산·창원 하수종말처리장의 해양방류수에 대한 초기·근역 희석률을 현장관측과 CORMIX 모형계산을 통해 비교 검토하였다. 수심 15m 내외의 방류구역에서 수온약층이 수심 4m~6m에서 형성된 1998년 하계에 관측된 염분도로부터 희석률을 구하였으며, 또한 해수밀도의 수직분포와 해류자료를 입력하여 모형으로부터 하·폐수 플룸의 이동확산 양상과 초기희석률을 계산하였다. 방류지점의 관측된 염분도 분포로부터 구한 희석률은 32~48이며, 모형에 의해 계산된 초기·근역 희석률은 29~43으로 두 결과 모두 매우 낮은 하계 소조시의 희석률을 보이고 있다. 이는 조류가 약한 소조기의 정체 시에는 방류수에 포함된 오염물질로 인해 해양방류구역의 수질오염이 더욱 가중될 수 있음을 보여준다.

Abstract

In this paper, we have obtained the initial and near-field dilution rates of wastewaters discharged from the ocean outfall of Masan-Changwon municipal wastewater treatment plant from both of field measurements and CORMIX model simulations. In the summer of 1998, water temperature and salinity profiles was measured at 16 stations in the vicinity of the Masan outfall and the dilution rates were analyzed by salinity deficit method. The transport of the wastefields and their initial dilution rates were calculated by CORMIX model using field data as model input. Both of observed and predicted results are shown in very low dilutions with the range of 32~48 from the field data analysis and 29~43 from the model prediction, respectively. This indicates that the water quality in the Masan outfall area can be worsening due to the low dilution rates of diswastewaters, especially,

(1) 정회원, 한국해양연구소

(2) 학생회원, 한양대학교 지구해양학과

when the ambient currents are very weak in a neap tide and ambient water density is highly stratified in summer.

Keywords: Masan outfall, wastewaters, initial and near-field dilution rates, CORMIX model

1. 서 론

환경부 해양오염 방지 5개년 계획(환경부[1996])에 의하면 연안지역의 인구집중, 도시화, 산업화로 인해 1995년 ~ 2000년의 5년 동안 육상 오염물질의 부하량이 BOD기준으로 19.4% 크게 증가되며, 현재 연안지역의 하수처리율도 전국 평균의 절반 정도인 23%이며, 처리시설도 대부분 1차 처리에 그치고 있어 고농도의 오염물질이 방류수와 함께 그대로 연안해역에 유입되고 있는 실정이다. 현재 가동중인 연안도시 하수종말 처리시설은 21개소(환경부[1997])이며 마산·창원 하수종말처리장의 경우 국내에선 처음으로 해양방류시설을 갖춰서 파이프라인을 통해 마산만 입구에서 수중방류하고 있다.

마산만과 진해만의 수질오염 문제를 해소하기 위한 대책으로 마산시와 창원시에서 발생하는 도시하수와 공장폐수를 차집하여 하수처리용량 280,000m³/일 규모의 1차 처리시설을 갖춘 하수처리장과 차집관거 공사가 1993년 11월에 완공됨에 따라 경상남도 창원군 구산면 옥계리에서 현재 수중다공확산관을 통해 해양방류를 시행하고 있다(Fig. 1) 처리된 하수는 공칭직경 2,000mm인 방류관을 통하여 해안으로부터 680m 지점(수심 14m)까지 이동한 후에 총 길이 약 200m인 수중다공확산관을 통하여 방류된다. 확산관은 해안선과 거의 평행(15도 차이)한 방향으로 총 21개의 Riser가 10m 간격으로 설치되어 있으며, 각 Riser에는 4개의 포트가 달려있다(마산시[1996]).

하수종말처리장의 시설은 수 차례의 수정을 거쳐 2단계로 계획되었으며, 계획시 추정 하수량은 1단계 완료시[1993년] 281,105m³/day, 2단계 완료시[2001년] 517,873m³/day이다(마산시[1996]). 강 등[1998]에 의해 이러한 단계별 설계조건에 따른 처리수의 방류량과 COD농도 변화, 방류수역에서의 해수유동 등 해양환경 인자에 따라 COD가중치 규모를 개략적으로 추정할 바 있으나 현장관측자료가 없어 해양방류수의 초기·근역 희석과 이동 확산에 대한 실상 파악을 할 수 없었다.

본 연구에서는 현재 가동중인 마산·창원 하수종말처리장의 방류시설을 대상으로 1998년 하계에 측정된 수온과 염분도 자료를 이용하여 염분도 분포로부터 방류처리수의 희석률을 구하였으며, 수온과 염분의 실측자료를 입력해 모의한 CORMIX2 모형의 희석률 계산결과와 상호 비교 분석하였다.

2. 해양 수중방류수의 초기희석 및 근역확산

해양방류관에 의한 하·폐수의 해양방류는 주변해역에 미치는 환경적 악영향을 최소화하도록 방류 초기에 최대한 희석·분산시키는 것이 목적이다. 이러한 하·폐수의 해양방류 처리는 1960년대부

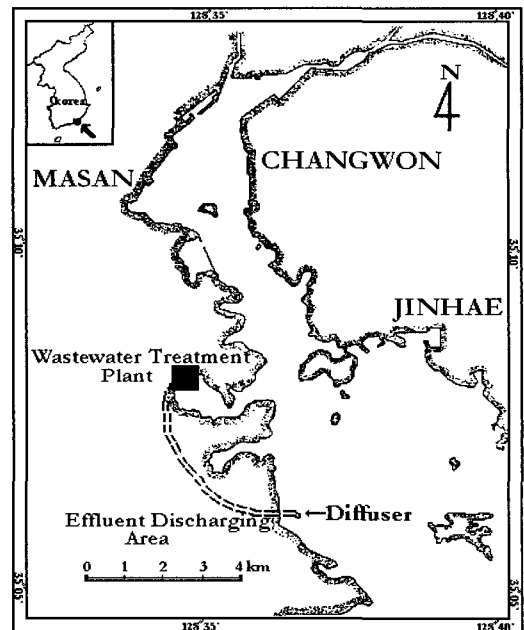


Fig. 1 Site map of the submerged ocean outfall of Masan-Changwon municipal treatment plant

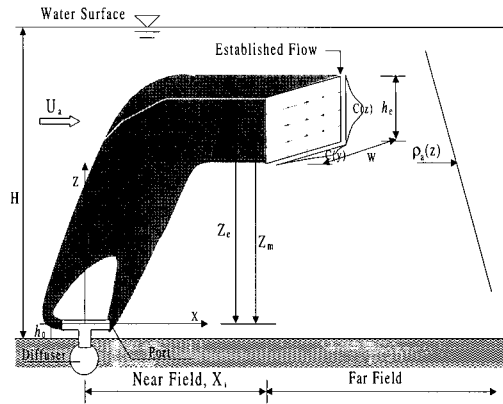
터 마이애미 등 미국의 해안도시에서 시작하여 현재는 보편화되고 있으며, 특히 원자력발전소 온배수의 해양방류 처리방법으로도 이용되고 연구가 활발히 진행되고 있다(Fisher et al.[1979], Roberts et al.[1989], Proni and Dammann[1994]). 해양방류방식에는 수표면 근처에 방류하는 표층방류(surface discharge)와 깊은 수심의 수중에서 방류하는 수중방류(submerged discharge)가 있다. 표층방류의 경우는 건설시공의 경제적 이점은 있으나 회석·분산효과가 불량해 특히 하·폐수인 경우에는 악취발생과 미관상의 문제로 수중방류방식을 주로 취하고 있다.

수중방류방식은 수심이 깊은 외해까지 나가 다수의 방류공을 부착한 확산관을 통해 고속으로 하·폐수를 방류하여 방류수의 큰 운동량(momentum), 주변수와 밀도차에 의한 부력(buoyancy) 효과, 해수유동장의 난류성분등을 이용하여 높은 회석과 분산을 유도할 수 있다. 따라서 수중방류의 초기조건과 확산관의 기하학적 형태에 따라 혼합·회석효과가 크게 변하고, 목표로 하는 초기·구역 회석율을 얻기 위해서는 방류조건, 방류구역의 해양특성에 따라 확산관의 위치, 규모, 형식 등 배치를 적절하게 조정할 수 있다.

수중방류된 하수의 초기혼합 회석, 확산이송 과정에 영향을 미치는 주요인자는 방류수심, 주변수의 밀도성층, 방류속도 및 운동량, 주변수의 흐름 등이 있다. Fig. 2는 구역혼합 해역에서 형성된 하수장(wastefields)의 모습을 개략적으로 표현한 것이다(Roberts[1989]).

수중확산관에서 해양으로 방류된 하수의 하수장이 형성되는 구역은 크게 구역(near-field)과 원역(far-field)으로 구분이 되며 방류하수의 회석과정도 크게 3단계를 거치게 되는데 첫 단계는 제트형태로 방류된 하수가 운동량과 부력에 의해 부력제트(buoyant jet)로 상승하면서 주변수를 포획 회석하여 하수장(wastefield)을 형성하고 두 번째는 형성된 하수장이 횡방향으로 부력확장(lateral buoyant spreading)하는 단계이고 마지막 세 번째 단계는 주변수역의 해류에 의해 난류확산(turbulent diffusion)과 이송(advection)을 하는 단계이다. 하수장이 형성되는 첫 번째 단계까지를 구역이라고 하며, 그 후 천이역(transition zone)을 거쳐 원역으로 옮겨간다.

방류된 하수의 밀도는 주변해수보다 작으므로 제트는 부력 때문에 수표면을 향하여 휘어지면서, 가로 흐름의 하류 방향으로도 회절하는 플룸(plume)을 형성한다. 플룸은 상승하면서 주변수를



- X_i : nearfield distance
- Z_e : upper wastefields height
- Z_m : wastefields height where lowest dilution
- h_e : total wastefields thickness
- W : wastefields width
- C : wastefields concentration

Fig. 2 Schematic of wastefields discharged from a submerged diffuser

포획하여 회석되므로 주변수와 밀도차가 작아져 주변 수역이 밀도성층을 이루고 있다면 플룸의 밀도와 주변수의 밀도가 같아지는 위치에서 플룸은 상승을 멈춘다. 이러한 높이를 포착고(trap level) 또는 평형상승고(equilibrium terminal level)라고 한다. 비성층 수역이라면 플룸은 수표면까지 도달한다. 하류 방향으로 플룸이 이동하면서 방류수의 부력과 운동량에 의한 난류 운동 에너지가 소멸될 때까지 회석률은 증가하는데, 확산관 근처에서 회석률의 증가율이 매우 크다. 구역혼합 구역의 끝으로 갈수록 회석률의 증가 비율은 감소하게 되고, 원역으로 진행함에 따라 회석률은 주변수의 수동 확산에 의존하게 되어 구역에 비해 그 증가율은 아주 미미해진다. Fig. 2에서 나타난 X_i 의 거리가 구역구역 거리이다. 이 구역구간 끝에서의 회석률을 초기회석률(initial dilution)이라고 하며 주어진 방류조건에 대해서 어떻게 하면 초기회석률을 최대한 높일 수 있는가 하는 문제가 해양방류기술 개발의 핵심사안이다. 구역혼합은 방류량 또는 방류유속, 확산관의 형태 및 주변 해수와 밀도차, 주변 수역의 밀도분포, 조류의 크기와 방

향에 따라 달라지는데, 근역에서의 하수의 혼합과정은 1차적으로 방류방식에 따라 결정된다(김 [1998]). Fig. 3은 수중다공확산관 중에서 방출운동량이 주변수의 유동에 거의 영향을 미치지 않는 양방향확산관(alternating diffuser)을 나타내고 있다. 양방향확산관은 대칭으로 방류됨으로 조석현상에 의하여 주기적으로 흐름의 방향이 변하는 경우에 적합하다. 본 연구의 대상인 마산·창원 하수처리장의 하수확산관은 Fig. 3의 세 번째 형태인 각 연직유도관의 상단에 4개의 방류공들이 수평으로 설치되어 있다(건설교통부[1993]).

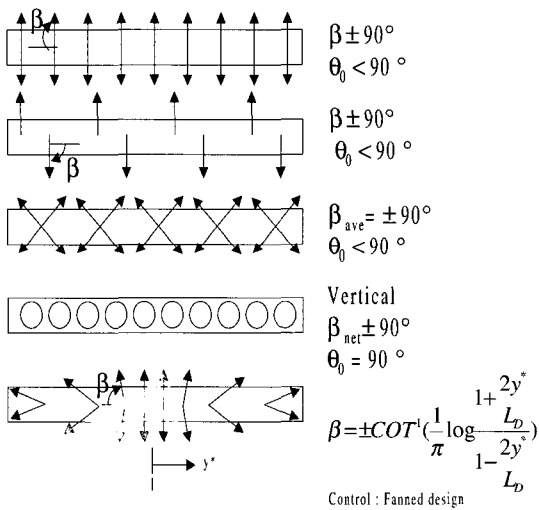


Fig. 3 Configuration of common alternating diffuser types.

3. 마산만 수중방류시설의 하계 희석률 산정

3.1 현장 관측

마산만 하수종말처리장 방류구 주변의 수온 및 염분도 측정지역은 Fig. 4와 같다. DGPS(Differential Global Positioning System)를 사용하여 16개 관측점의 위치를 파악 후 13개 정점에서 하강, 상승하면서 1998년 7월 31일에 관측되었다.

Fig. 5는 오후에 CTD를 상승시키면서 관측한 염분과 수온자료이다. 측정자료를 보면 하계에 해수에서 나타나는 전형적인 성층화 현상이 나타나고 있으며 3~6m 사이에 경사가 급한 수온약층이

형성되어 있음을 알 수가 있다. 측정된 수온 범위는 약 17°C~28°C, 염분도는 28‰~33‰ 정도의 수치를 나타내고 있다.

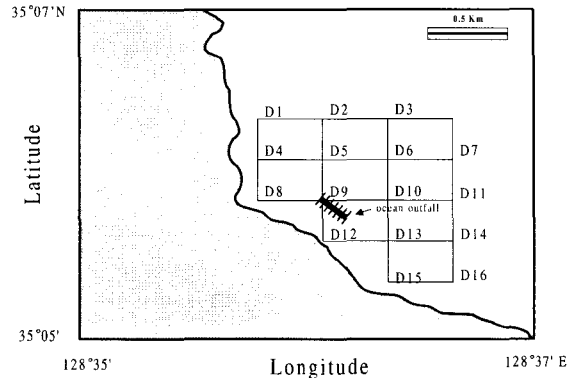


Fig. 4 Station map of field measurement at the Masan outfall

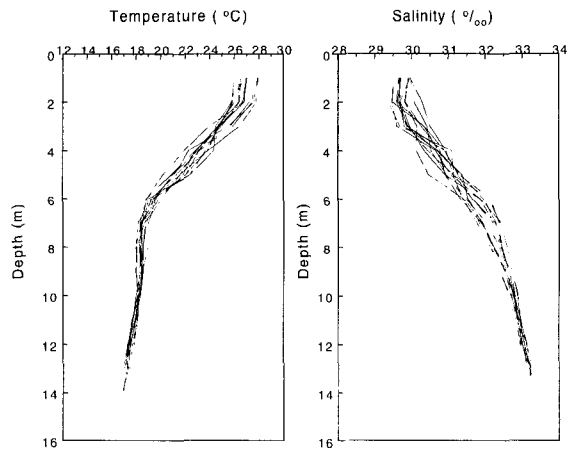


Fig. 5 Temperature and salinity profiles measured at the Masan outfall in summer

3.2 염분도를 이용한 희석률 계산

염분도를 통한 희석률 계산은 CTD(conductivity-temperature depth)를 통해 염분도의 수평·수직 분포를 측정된 후 염분도 부족(salinity deficit) 정도를 분석하여 초기희석률을 구한다(Tsai and Proni [1997]). 염분도를 통한 희석률 계산은 염료를 이용한 계산방법과 함께 가장 경제적으로 희석률을 계산할 수 있는 방법이며 염분도를 고려한 초기희석률을 계산하는 식은 다음과 같다(Proni and

Huang [1994]).

$$D_m = \frac{S_{ac} - S_e}{S_{ac} - S_m} = \frac{\Delta S_e}{\Delta S_m} \quad (1)$$

- 여기서 D_m : initial dilution
- S_{ac} : characteristic ambient salinity
- S_m : minimum salinity
- S_e : effluent salinity
- ΔS_m : maximum salinity deficit
- ΔS_e : salinity deficit in effluent

그러나 식(1)은 주변 염분분포가 전 수역에서 균일할 때 적용해야 하는 단점이 있다. 만약 염분도가 성층을 이루고 있고 수표면에서 해저까지 선형적으로 변한다고 가정하면 주변염분도는 다음과 같은 식으로 추정할 수가 있다(Proni and Huang [1994]).

$$S_{ac} = \frac{5}{8} S_{as} + \frac{3}{8} S_{ab} \text{ for BDNF} \quad (2)$$

$$S_{ac} = \frac{2}{3} S_{as} + \frac{1}{3} S_{ab} \text{ for BDFF}$$

- 여기서 S_{as} : salinity at the water surface
- S_{ab} : salinity at the bottom
- BDNF : buoyancy dominated nearfield
- BDFF : buoyancy dominated farfield

3.3 CORMIX 모형

CORMIX(Cornell Mixing Zone Expert System) 모형은 미국 환경청(U.S. EPA)의 지원을 받아 오염물질이 자연 수괴로 방류되는 경우에 대하여 비전문가가 확산현상을 해석할 수 있도록 하기 위해 Cornell 대학에서 개발된 길이축척모형이다(Akar and Jirka[1996]).

CORMIX 모형은 BOD, COD, 온도 등과 같은 일반 오염물질과 독성 오염물질의 초기혼합 및 희석과정을 모의하도록 개발된 모형으로써, 수중 단일확산관 방류시 확산해석을 위한 CORMIX1 모형, 수중 다공확산관 방류시 확산해석을 위한 CORMIX2 모형, 표층방류시 확산해석을 위한 CORMIX3 모형으로 구성되어 있다. 특히, 본 연구에

서 사용된 CORMIX2 모형은 오염물질이 수중 다공확산관(submerged multiport diffuser)을 통하여 수중으로 방류되는 경우에 확산현상을 해석하고 초기희석률을 구하기 위한 수치계산모형이며, Fig. 6은 CORMIX2 모형의 다공확산관 배치조건에 따른 입력파라미터를 도시해 놓은 것이다(Jirka and Donneker [1991]).

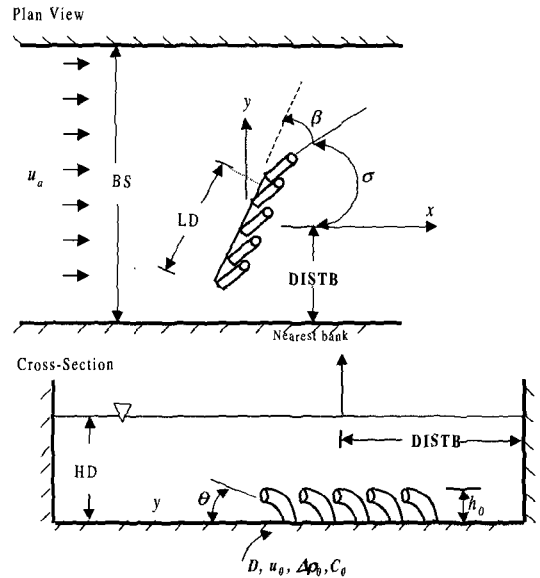


Fig. 6 Definition diagram for CORMIX2

입력자료는 확산관의 특성, 방류해역의 수리학적 자료, 방류수의 특성 자료 등이 있다. 즉, 확산관의 특성에는 확산관 길이(LD), 확산관 축에 대한 방향(beta), 조류에 대한 방류각(sigma), 해안선으로부터의 방류관 거리(DISTB), 방류관 직경(D), 방류관 높이(h₀)등이 있으며 방류해역의 수리학적 자료에는 조류속도(U_a), 방류수심(HD), 방류해역의 폭(BS), 밀도 분포등이 있다. 방류수 특성 자료에는 방류수의 밀도(Δρ₀), 농도(C₀), 방류속도(u₀)등이 있다.

CORMIX2 모형의 적용시 제한요소들이 있는데 Fig. 7에 나타나 있다.

즉, 방류공의 높이(h₀)는 총수심(HD)의 1/3을 넘지 않아야 하며, 방류공의 직경은 수심의 1/5를 초과하지 않아야 한다. 주변수의 밀도분포가 Fig. 7과 같이 불연속적인 형태라면 이 지점은 수심의 40%와 90% 사이에 있어야 한다(Akar and Jirka [1996]).

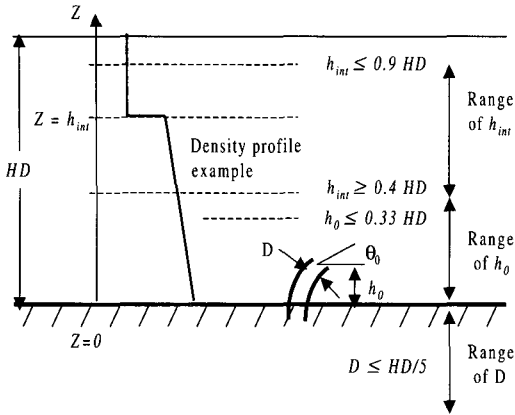


Fig. 7 Limits of applicability of CORMIX2

CORMIX2 모형은 방류관의 특성에 따른 근역에서의 혼합과정을 정확하게 모의할 수 있어 방류수의 희석과정과 거동현상을 보다 정밀히 파악할 수 있을 뿐더러 초기희석률을 높이기 위한 대안까지도 제시해 주는 것이 특징이다. 다만 CORMIX2 모형은 거의 모든 수계에 적용이 가능하나 적용해역의 단면과 수심을 일정하게 가정해야 하는 문제점이 있어 적용해역에 해양 구조물 등이 존재하거나 수계 바닥면이 일정치 않아 변화가 심한 곳에서는 적용성의 한계가 있다(김[1998]).

3.4 CORMIX2 모형에 의한 희석률 계산

마산만의 마산·창원 하수처리장 건설지(건설교통부 [1993])에 의하면 마산·창원 하수처리장의 도수관은 해안에서 약 680m 떨어진 해역의 확산관까지 해서 2.0m 지점에 매설되어 있고, 확산관의 길이는 200m 이다. 확산관에는 21개의 연직유도관이 해저면에서 0.8m 높이까지 돌출되어 있으며, 각 연직유도관의 상단에는 4개씩의 방류공이 수평 방류하도록 부착되어 있다. 도수관 및 확산관의 직경은 2000mm 이고, 연직유도관은 1,350mm, 방류공의 직경은 각각 200mm이다.

Table 1은 CORMIX2 모형의 기본입력자료를 정리한 표이다. 확산관의 형태는 양방향확산관(Fig. 3)으로, 확산관축은 조류방향에 거의 평행하게 설치되어 있는 것으로 모의하였다. 방류수의 밀도는 995.67kg/m³, 방류유량은 2.315m³/s, 해류속도는 0.035m/s로 방류수역에서 소조기에 관측된 값을 사용하였다(강 등[1993]). CORMIX 모형에서는 수심에 대해 평균한 값으로 주변 해류속도를

Table 1 Input data of CORMIX2 model simulations for the Masan outfall case study

Model parameters	Input data
water body	unbounded
Manning's factor	0.030
ambient velocity	0.035 m/s
nearest bank	right
distance from bank to diffuser	680m
port number	21
port diameter	0.2m
port height	0.8m
diffuser alignment angle	0°
effluent density	995.67 kg/m ³
flow rate	2.315 m ³ /s

입력한다. CORMIX2 모형 입력자료중 가장 중요한 주변수 밀도는 각 정점에서의 Sigma-t(σ_t)를 계산하여 근사값을 취하였다. Fig. 8은 정점 D09에서 관측된 수온 및 염분도로부터 구한 해수의 수직적 밀도분포와 모형입력을 위한 근사치를 보여주고 있다.

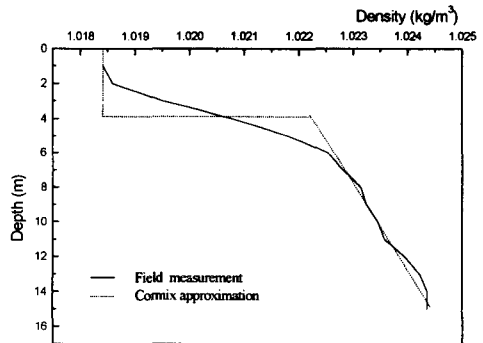


Fig. 8 Density profile input of CORMIX2 model simulations at the Masan outfall site

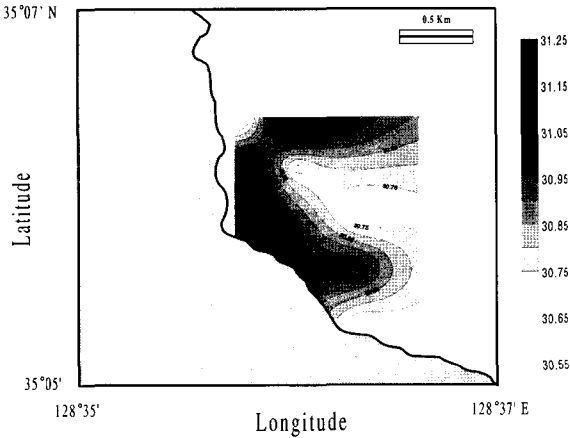
4. 초기·근역 희석률의 산정결과 비교

4.1 현장 관측자료의 희석률 결과

1998년 하계에 관측되었던 마산만의 13개 정점

(Fig. 4)의 염분자료를 토대로 식(1)에 의해 희석률을 계산하였다. 먼저 각 정점의 수심별 염분도를 수평적으로 보기 위해 층별 등염분선(isohaline)을 구하였으며, 수심 4m에서 오전과 오후에 관측된 자료로부터 구한 등염분선을 Fig. 9에 나타내었다.

(a) Morning



(b) Afternoon

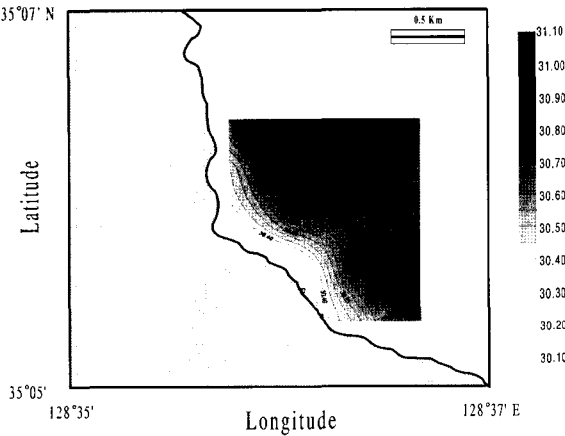


Fig. 9 Isohaline contours of salinity field data at the 4m depth of the Masan outfall area

각 정점에서의 깊이별 염분도를 분석하여 최대염분도를 주변해수의 염분도로 보고 담수가 방류되어 주변해수의 염분도에 영향을 미쳤다는 가정 하에서 최소염분도를 구하여 식(1)로써 희석률을 계산하였다.

수중방류관이 위치한 수심 14m에서 방류된

하·폐수는 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 근역에서 하수장의 상승높이(Z_0)가 수온약층에 의해 제한된다. Table 2 에는 하계 수온약층이 형성된 수심 4m~6m사이의 염분분포로부터 계산된 희석률이다.

Table 2 Dilutions obtained from salinity data at the thermocline depths

Depth	Dilutions	
	Morning	Afternoon
4m	48	32.7
5m	70	34.8
6m	45.6	40.1

염분도에 의해 계산된 희석률은 오전 관측자료에서는 45~48 정도이며 오후에는 32~40 정도로서 오후보다는 오전에 약간 더 크나 대체로 희석률이 30~50범위에 있는 것을 알 수가 있다. 수심 5m의 오전 관측자료에서 계산된 희석률은 측정치의 오류로 간주된다.

4.2 CORMIX2 모형의 희석률 계산 결과

CORMIX2 모형에서 모의된 방류수의 흐름 양상을 확산관을 중심으로부터 플룸 궤적 평면을 따라 플룸의 형상을 묘사한 것이 Fig. 10에 나타나 있다. 플룸의 중심위치를 X성분(상·하류방향)과 Y성분(해안선과 직각인 방향), Z성분(수심)으로 나타내었고 초기·근역 희석률을 S로 나타내었다. X성분중 음수는 확산관축에 대해서 내만(북서방향) 쪽으로 이동한 플룸을 나타낸 것이고 양수는 확산관에서 외만(남동방향)쪽으로 확산된 플룸을 나타내고 있다. Z성분은 확산관 위치를 기점으로 상승한 플룸의 중앙선 위치를 나타낸 것이다.

모형 모의결과를 보면 수온약층이 수심 4~6m 사이에 존재하므로 플룸이 수표면까지 상승하지 못하고 수온약층에서 평형상태인 최종상승고(terminal level)에 도달하여 내만과 외만쪽으로 확산·이송됨을 알 수가 있다.

CORMIX2 모형에서 계산된 희석률은 오전의 경우 약 39에서 43 정도이며 오후의 경우에는 29에서 33정도로 약간 낮게 희석률이 난다. 이러한 오전과 오후의 희석률 차이는 염분도에 의한 희석률 계산 결과에서도 같은 경향을 보이고 있다.

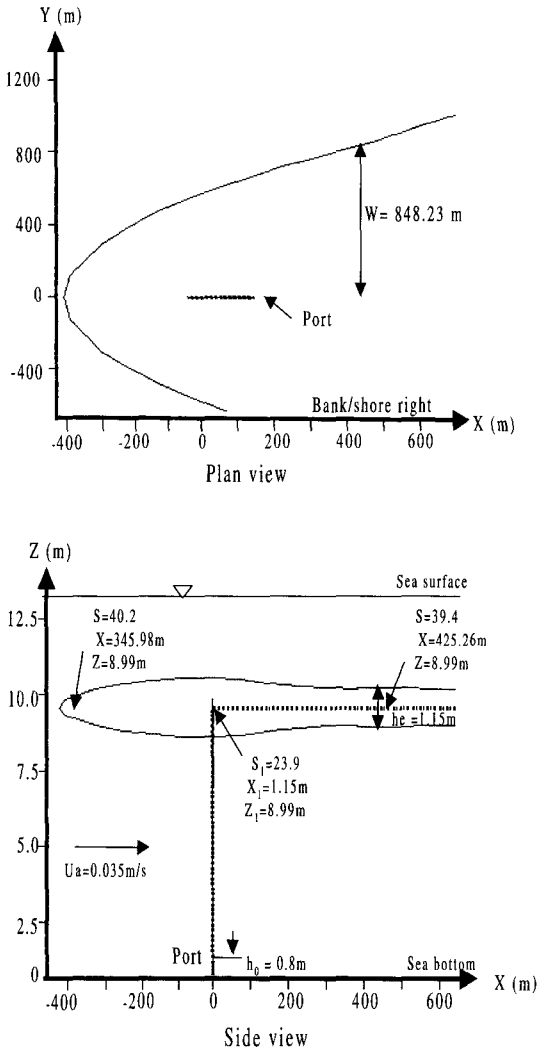


Fig. 10 CORMIX2 prediction of the wastefield transport at the Masan outfall

Table 3은 각 정점에서 수온, 염분도의 수직분포자료로써 모의한 희석률과 플룸의 위치를 정리한 표이다.

4.3 초기 근역 희석률 결과 비교

Fig. 11은 관측된 염분분포를 이용해 계산한 희석률과 Table 2에 나타난 방류관에 근접한 정점에서 CORMIX2 모형에 의해 계산된 값의 비교를 시도한 결과이다. CORMIX2 모형과 염분도 측정에 의한 희석률계산 결과의 비교에서는 두 결과

Table 3 Initial and near-field dilutions predicted by CORMIX2 in the vicinity of the Masan outfall

(a) Morning

station	plume position		dilution
	X(m)	Z (m)	
D05	-345.98	8.99	40.2
D06	-357.03	8.99	39.1
D09	-332.08	9.00	41.4
D10	-342.72	9.00	40.8
D13	-357.67	9.35	42.5
<hr/>			
D05	425.26	8.99	39.4
D06	434.27	8.99	38.9
D09	414.31	9.00	39.9
D10	423.09	9.00	39.7
D13	438.51	9.35	41.2

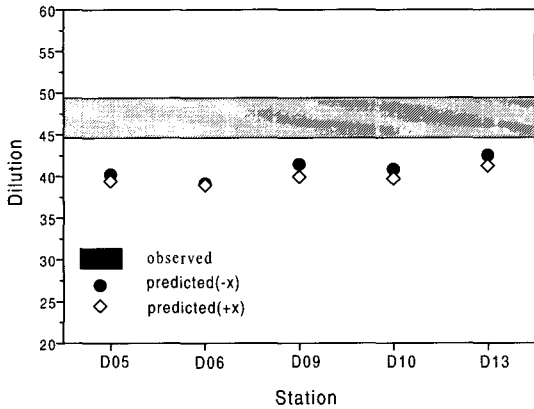
(b) Afternoon

station	plume position		dilution
	X(m)	Z (m)	
D05	-332.88	9.00	31.6
D06	-387.79	9.65	30.5
D09	-372.50	9.61	33.1
D10	-346.90	8.99	30.4
D13	-355.45	8.81	27.8
<hr/>			
D05	415.31	9.00	30.0
D06	465.62	9.65	31.2
D09	452.95	9.61	32.0
D10	426.36	8.99	29.5
D13	431.52	8.81	28.0

모두 오후보다는 오전에 약간 더 큰 희석률이 나타나고, 오후의 모형 계산 희석률이 오전보다는 관측희석률에 더 근접함을 나타내고 있다. 그리고

확산관을 기준으로 내만쪽으로 확산된 플룸의 희석률이 외만 쪽으로 확산된 플룸의 희석률보다는 약간 더 큰 값을 가지고 있다.

(a) Morning



(b) Afternoon

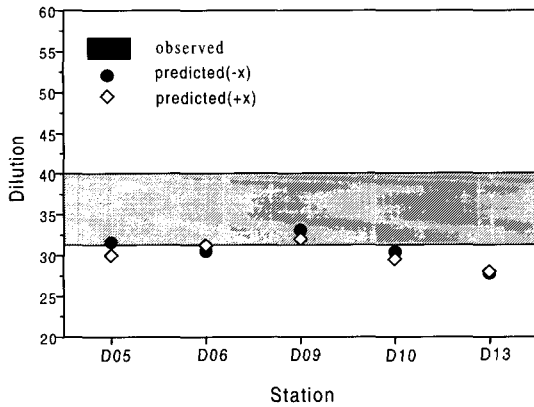


Fig. 11 Comparisons of the dilution factors between field observations and CORMIX2 predictions in the vicinity of the Masan outfall

Fig. 12에서는 미국 Miami의 수중다공확산관으로부터 해양방류된 하수의 초기희석률과 플룸의 이동확산 경로를 추적하기 위한 SEFLOEⅡ(Southeast Florida Ocean Outfall Experiment, [1991-1994] 실험(Proni [1994])의 결과와 본 연구대상인 마산만 방류시설의 희석률 산정 결과를 함께 비교하였다. 먼저 SEFLOEⅡ 결과에서는 CORMIX2 모형에 의한 예측결과가 현장관측 희석률 값보다는 상당히 높고 넓게 퍼져 있지만 본 연구에서 나타난 희석률 결과는 현장관측과 모형 예측결과가 거의 동일선상에서 비교적 잘 일치되고 있

음을 알 수가 있다.

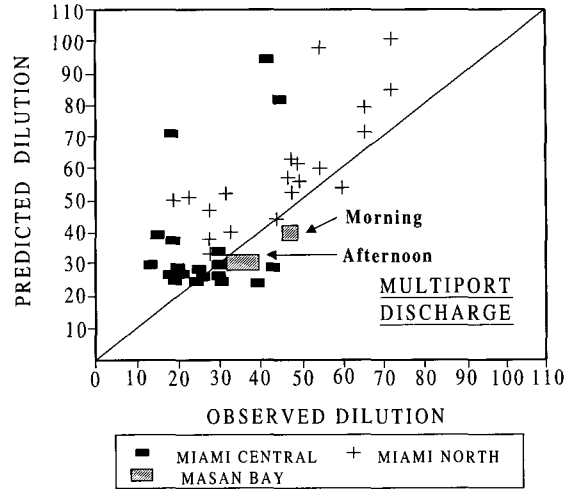


Fig. 12 Comparisons of the Masan outfalls' dilutions with Miami outfalls' results

이러한 결과는 마산만 하계의 성층효과와 소조기의 흐름이 거의 정체되어 난류에 의한 혼합희석이 매우 저조하였기 때문인 것으로 사료된다. 향후 주변해수의 흐름이 강하고 난류에 의한 혼합희석과 횡방향 부력확장이 큰 경우에 대한 연구가 필요할 것으로 본다.

5. 결론

임해도시의 생활하수와 공단폐수로 인한 연안수질 오염이 날로 악화되고 있어 현재 23%정도의 하수처리율 수준에 있는 하·폐수의 처리능력을 높이기 위해서는 연안 지역도시의 하수종말처리장 건설과 기존 시설의 고도 처리개선 및 처리용량 확장이 시급한 실정에 있다. 막대한 건설운영 경비가 소요되는 하수종말처리장의 처리효과와 경제성을 높이기 위해서는 처리장유입 오염물질제어, 하수처리방법과 수준 그리고 해양방류수의 희석률을 극대화 할 수 있는 방류시설의 적정배치 기술을 근간으로 위 세 부분의 기술적 구성요소가 상호 연계된 처리시스템으로 발전되어야 가능해진다(NRC[1993]). 최근 건설된 임해도시 하수종말처리장(울산, 온산, 부산, 여수, 안산)의 경우 해양방류시설을 통해 처리수를 해양 방류시키고 있고 앞으로 국내에서도 미국, 유럽처럼 보편화 될 전망이다.

본 연구 논문에서는 국내에서 처음으로 1993년

11월에 완공되어 1차 처리수를 수중다공확산관을 통해서 마산만에 방류하고 있는 마산·창원 하수종말처리수에 대한 초기·근역 희석률을 실제 관측자료와 CORMIX2 모형 결과로써 비교 고찰하였다. 김[1998], 강 등[1998]에 의해서 당 처리시설의 단계별 확장계획에 나타난 설계조건을 토대로 COD농도의 가중치를 CORMIX2 모형의 수치실험 결과로써 제시한 바 있으나 방류해역의 관측자료와는 비교하지 못했다.

본 연구결과에서 구한 초기·근역희석률은 관측값과 모형 예측값이 공히 30~50으로 매우 낮았으며 이는 권 등[1998]의 방류해역의 수질과 퇴적물오염조사 연구에서도 나타난 바와 같이 방류수의 오염물질에 의해 인근 해역의 오염이 가중되고 있음을 알 수 있다. 특히 주변해수의 수괴가 정체되어 난류 혼합이 저조하고 하계의 성층에 따른 초기·근역 희석과 확산범위가 크게 제한 받을 경우에는 더욱 심할 것으로 사료된다. 향후 실제해역에서 하수장의 확산·이동을 모니터링 할 수 있는 기술개발과 보다 정밀한 관측자료를 토대로 조석주기에 따른 해류변화와 계절별 해양환경변화에 따른 방류하수의 희석률 변화에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

후기

본 연구는 환경부의 G-7 환경공학기술개발사업인 “해양방류관의 적정배치를 위한 실용화기술 개발” 사업의 일환으로 수행되었으며, 현장관측 자료를 제공해 주신 한국해양연구소의 채장원 박사님과 “진해·마산만 수질환경 관리모텔 개발” 사업 연구진에게 감사드립니다.

참고문헌

[1] 강시환 등, 1993, 폐쇄성 연안해역의 수질관리기술 연구(I), 한국해양연구소, BSPN 00205-613-2.
 [2] 강시환, 정태성, 1998, “연안방류시설의 적정배치를 위한 해양환경공학적 고찰”, 한국해양환경공학회 춘계학술대회 논문집, 101-106.
 [3] 건설교통부 부산권수도건설사무소, 1993, 마산·창원하수처리장 건설지.
 [4] 김창시, 1998, “근역혼합모형을 이용한 해양방류하수의 혼합특성 예측”, 석사학위논문, 서울대학교.
 [5] 권영택, 이찬원, 1998, “하수종말처리장 처리수의 해양방류와 퇴적물의 중금속 오염”2, 한국해양환경공학회지, 제1권, 제1호, 83-92.

[6] 마산시, 1996, 마산·창원 하수처리장 2차 확장사업 환경영향평가서.
 [7] 환경부, 1996, 해양오염 방지 5개년 계획.
 [8] 환경부, 1997, 1996년도 환경백서.
 [9] Akar, P.J. and Jirka, G.H., 1996, “CORMIX2: An expert system for hydrodynamic mixing zone analysis of conventional and toxic submerged multipoint diffuser discharges”, Tech. Report, DeFrees Hydraulics Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, N.Y.
 [10] Jirka, G.H. and Doneker, L.D., 1991, “Hydrodynamic classification of submerged multipoint-diffuser discharges”, J. Hyd. Eng., Vol. 117, No. 9, 1113-1129.
 [11] Fisher, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., and Brooks, H., 1979, “Mixing inland and coastal waters”, Academic Press Inc., New York, N.Y.
 [12] Tsai, J.J., and Proni, J.R., 1997, “Initial and near-field subsequent dilution at the key west outfall”, NOAA, Proc. WEFTEC’95, Vol. 4, 139-146.
 [13] Proni, J.R., Huang, H. and Dammann, W.P., 1994, “Initial dilution of Southeast Florida ocean outfalls”, J. Hyd. Eng., Vol. 120, No. 12, 1409-1425.
 [14] Proni, J.R. and Dammann, W.P., 1994, “Worst case effluent discharge conditions and adaptive processing of effluents for Southeast Florida outfalls”, Proc. WEFTEC’95, Vol. 4, 147-157.
 [15] National Research Council(NRC), 1993, *Managing Wastewater in Coastal Urban Areas*, National Academy Press, Washington D. C. 231-294
 [16] Roberts, P.J.W., Snyder, W.H. and Baumgartner, D.H., 1989, “Ocean outfalls, I: Submerged wastefield formation, II: Spatial evolution of submerged wastefields, III: Effect of diffuser design on submerged wastefields”, J. Hyd. Div., ASCE, Vol. 115, No. 1, 1-70