한국항해항만학회지 제32권 제8호, pp. 637~643, 2008 (ISSN-1598 5725)
*Journal of Navigation and Port Research*

# 온배수 및 염배수의 근역혼합특성 분석을 통한 방류시스템의 최적설계

남기대* · 이중우† · 김강민** · 김기담*** · 김필성****

*,***,****한국해양대학교 토목환경공학과 대학원, † 한국해양대학교 건설환경공학부 교수, **(주)세일종합기술공사

# Optimum Design of Outfall System by Analyzing Mixing Characteristics of Heat and Brine Discharge at Near Field Region

*Ki-Dae Nam* · Joong-Woo Lee † · Kang-Min Kim** · Ki-Dam Kim*** · Pill-Sung Kim****

*,***,****Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*
*† Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*
*** Seil Engineering. Co., Ltd. Seoul 150-051, Korea*

**요 약** : 해양방류시스템을 계획할 때 우선목표는 방류수의 초기희석을 극대화하는 것이다. 이를 효과적으로 달성하기 위해서는 방류수와 주변수의 혼합현상, 특히 초기혼합영역인 근역에 대한 특성분석이 선행되어야 한다. 최근까지 최적의 방류시스템(outfall system) 구현을 위하여 근역(NFR)에서의 온배수 방류에 관한 많은 연구가 이루어지고 있지만 온배수(heat discharge)와 염배수(brine discharge)를 동시에 방류할 경우를 고려한 성과물을 찾기는 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 온수와 염수를 동시에 고려한 방류시스템의 최적설계를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 방류수의 거동양상 특히, 근역에서의 혼합특성을 분석하였다. 수치실험은 표면방류, 단일확산관 방류, 다공확산관 방류를 해당 해역의 법적 수질기준에 부합하는지 여부를 주로 평가하였다. 그 결과 표면방류와 단일확산관 방류는 방류형식이 부적절하였고, 다공확산관의 경우도 기하학적인 형상에 따라 결과가 조금 상이하였다.

**핵심용어** : 방류시스템, 방류, 염/온배수, 근역, 혼합특성

**Abstract** : *When planning outfall system, the first target of design is to maximize initial dilution of discharge effluent. To achieve the target effectively, the characteristics of mixing phenomenon between ambient and discharged water should be analyzed . Especially the analysis at the Near-Field-Region(NFR) as initial dilution zone should be preceded. Usually, the initial behavior of effluent through outfall system is rising toward the surface due to mixing with ambient water for heat discharge and sinking toward the bottom due to the difference of density for brine discharge. After mixed with eddies accompanied by the ambient water, the plumes are showing the same density and internal current pattern by advection and diffusion. Until recently, lots of studies are being carried out for the optimum design of outfall system. but it is difficult to find any studies of heat and brine discharge at the same time. Therefore, this study is hoped to provide some basic data for optimum design of outfall system.*

**Key words** : *Outfall system, Discharge, Heat and brine discharge, Near-field region, Mixing characteristics*

## 1. 서 론

최근까지 최적의 방류시스템(outfall system) 구현을 위하여 근역(NFR)에서의 온배수 방류에 관한 많은 연구가 이루어지고 있지만 온배수(heat discharge)와 염배수(brine discharge)를 동시에 방류할 경우를 고려한 성과물을 찾기는 어려운 실정이다. 국내의 경우, 온배수만 방류하는 플랜트 시설이 많기 때문에 염배수를 동시에 고려한 연구의 수행이 미진하다고 판단된다. 그러나 국외적으로 종합 플랜트 사업이 활발히 진행되고, 서남아시아 지역을 비롯한 아프리카, 동남아 등 물 부족 국가에서 담수 설비 수요가 급증하고 있다. 따라서, 담수플랜트뿐만 아니라 발전과 화공시설을 겸한 종합 플랜트 건설이 활발해짐에 따라 냉각수로 사용되고 난 후 배출되는 온배수와 담수화의 폐기물인 고농도의 염배수에 의한 주변해역의 수질환경 변화를 예측하고 저감시키기 위한 노력이 필요할 것이다. 또한, 온/염배수 방류와 관련된 예측, 설비 및 설계, 관리 및 운용 등에 관한 체계적인 연구가 진행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 온수와 염수를 동시에 고려한 방류시스템의 최적설계를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 방류수의 거동양상 특히, 근역에서의 혼합특성을 분석하였다. 온배수 및 염배수에

* 대표저자 : 남기대(정회원), namkidae@lycos.co.kr 051)410-4981
** Cooperation Author : kikami@seileng.com 051)410-4981
*** Cooperation Author : allyesyoul@hanmail.net 051)410-4981
**** Cooperation Author : princepill@hanmail.net 051)410-4981
† 교신저자 : jwlee@hhu.ac.kr 051)410-4461

관련된 연구는 80년대 초부터 2차원 유한요소전역모형인 CAFE와 DISPER를 이용하여 온배수 확산을 이해하는 연구가 시도되었고(Kaufman and Adams, 1981) 국내 해양연구소에서 이 모형을 이용하여 1982년도에 영광원전 주위에 적용한 바 있다. Adams는 이후 1987년도에 동일한 임해발전소의 온배수 확산을 다른 모형인 TEA 및 ELA를 이용하여 해석한 바 있다(Adams, 1987). 국외에서는 최근 염배수와 관련된 방류시스템 설계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 미환경청(US. EPA)의 근역혼합모형은 UPLUME, UOUTPLM, UDKHDEN, UMERGE, ULINE, UM, RSB 등 많은 발전을 가져 왔으나, 여러 상황의 주변 조건들을 충분히 고려할 수 있고 현재 많은 연구자들에 의해 그 적용성이 평가되어 널리 사용되고 있는 모델인 CORMIX 모형을 도입하였다. CORMIX 모델은 방류시스템의 기하학적 현태에 따른 배출원 근처의 혼합거동을 예측하는데 주안점을 두고 개발되었기 때문에 이미 개발된 수치모델들에 비하여 방류된 주위에서 발생하는 복잡한 흐름상황을 보다 정확하게 설명할 수 있다. 특히 단면경계에서의 상호작용, 오염물질의 하상부착, 밀도성층 수역인 경우 발생하는 내부성층 현상, 가로흐름이 적을 경우에 방류구 상류 쪽으로 오염물이 확산되는 상류침투과정 등을 묘사할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 확산관의 기하학적 변화에 따른 오염물질의 희석과정을 쉽게 예측할 수 있어, 최적의 확산관을 설계하는데 유용하게 이용할 수 있다(김, 2000). 본 연구에서는 도입된 모형의 적용성을 확인하기 위하여 수리모형실험값과 이론식값(theory equation)을 비교·분석하였다. 이어 적용될 현장에 대한 해양환경 조건을 파악하고 제조건에 대한 고찰을 거쳐 실험안을 선정하였다. 실험결과는 초기희석률(initial dilution)과 초과온도(excess temperature), 그리고 초과염도(excess salinity)를 제한사항(regulation)을 기준으로 평가·분석하였다.

### 1.1 온/염배수의 근역혼합 특성

확산관에서 방류된 배제수의 거동양상은 많은 영향인자를 갖게 되는데, 일반적으로 근역(NFR; Near Field Region)과 원역(FFR; Far Field Region)에서의 혼합과정으로 분류하여 설명된다. 근역에서의 혼합과정은 다공확산관의 기하학적인 형태, 방류 운동량 및 부력특성 등 확산관 그 자체의 특성에 의해 영향을 받는다. 즉, 방류공을 통하여 방류된 개개의 제트(jet)는 주변수와의 유속차에 의한 전단난류(shear turbulence)로 인해 주변수의 유입(entertainment)을 야기하면서 제트의 폭은 증가하면서 제트의 유속 및 농도는 감소하게 된다. 이러한 제트는 방류되는 부력 및 방류각 등에 따라 일반적으로 해수표면을 향하게 되지만 온/염배수의 경우에는 주변수와의 밀도차에 의하여 해수면과 해저면으로 상승 또는 하강하면서 발달하는 양상을 보인다. 이후, 점차적으로 주변수와의 혼합작용으로 인하여 밀도가 같아지는 과정에서 내부흐름(internal current)의 형태로 이류·확산이 발생하게 된다. 방류공간의 간격에 따라서 제트간의 상호 간섭을 유발하기도 한다. 확산관의 특성 외에도 주변수의 유속 및 수심 등이 근역에서의 혼합효과에 큰 영향을 끼치게 된다.

## 2. 모델의 수립 및 검증

방류영향 예측 및 근역혼합특성 분석을 통한 방류시스템의 최적 설계를 위한 수단으로 채용된 모형은 잘 알려진 CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System)이다. 본 모형은 미 환경청의 지원을 받아 개발된 길이축적 모형으로, 초기혼합 및 희석과정을 모의하도록 개발되었다. 프로그램은 3개의 부프로그램으로 이루어져 있으며 각각 수중단일확산관(submerged single-port diffusers), 수중다공확산관(submerged multi-port diffusers), 표층방류(surface discharge)에 의해 방류되는 오염물질의 희석 및 거동양상을 모의하게 된다.

이미 수차례에 걸쳐 많은 사업에 대하여 사용된 바 있지만 실험의 신뢰성을 확보하기 위하여 금회 연구에서 채택한 일방향확산관(uni-directional diffusers) 중 공류형확산관(coflowing diffusers)을 대상으로 한 기존의 수리모형실험 결과값(김, 1997)과 희석률 산정공식(Aka and Jirka, 1991)값을 2007. 3월 버전인 CORMIX- V5.0GTR의 계산값과 비교하여 적용성을 확인하였다.

$$S=\frac{1}{2}\left[\frac{u_a H}{U_0 B}+\sqrt{\left(\frac{u_a H}{U_0 B}\right)^2+\frac{2Hcos\theta_0 \sin\beta}{B}}\right] \quad (1)$$

수식 (1)은 공류형확산관의 희석률 산정공식(Aka and Jirka, 1991)이다. 각각의 입력치와 결과값은 Table 1 에 정리하였고, 그래프는 Fig. 1 에 나타내었다. 수리실험 모형은 실제로 존재하는 원형(prototype)을 모형화한 것이 아니므로 상사법칙에 따라 제작하지 않았고, 실험의 목적인 다공확산관에 의해 발생되는 온도장 변화와 이에 따른 최소희석률을 분석하는데 주안점을 두었다. 사용한 확산관은 전체길이(Ld)가 0.95m이고 방류공(port)의 개수는 20개로 방류공간의 간격(spacing)은 0.05m이다. 그리고 포트의 수평방향에 대한 각은 전체적인 희석률에 대한 고려와 해저면의 세굴에 대한 영향을 고려하여 수평면에 대해 22.5도의 각이 유지되도록 하였다. 그리고 다음과 같은 무차원 변수를 변화시켜가며 실험을 수행하였다.

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_0}=f(F_s(\text{or } F_j),\ \theta_0,\ H/B,\ V,\ \gamma) \quad (2)$$

여기서, $\frac{\Delta T}{\Delta T_0}=\frac{T-T_a}{T_0-T_a}$는 방류되는 온수와 주변수의 수온의 차이를 나타내는 무차원 초과수온, $F_s(\text{or } F_j)$는 밀도프루드수(Densimetric Froude number) 또는 슬롯제트에서 방류되는 프루드수, $\Theta_0$는 초기방류각도, $H/B$는 상대수심(relative depth), $V$는 체적플럭스비(volume flux ratio), $\gamma$는 확산관축

과 가로흐름방향이 이루는 경사각을 나타낸다. 여기서, $V$는 다음과 같이 정의된다.

$$V = \frac{u_a H}{U_0 B} \tag{3}$$

여기서, $u_a$는 주변수의 유속, $U_0$는 초기방류유속, $H$는 수심, $B$는 등슬롯확산관의 폭을 나타낸다. 본 연구에서는 체적플럭스비에 대한 희석률의 변화값을 추출하여 모형의 적용성을 확인하였다. 체적플럭스 $V$에 대한 희석률 변화를 Fig. 1에 도시하였다. 예상한 바와 같이 모두 체적플럭스가 증가함에 따라 희석률이 증가하는 경향을 보이며, 수리실험 값과 CORMIX2 값이 산정공식에 의한 값보다 다소 과소추정되는 경향이 보이지만 그 변화는 아주 작은 것으로 나타났다. 이러한 결과로 근역에서의 희석률에 대한 계산의 신뢰성은 확보되었다고 판단되며 실험을 수행하였다.

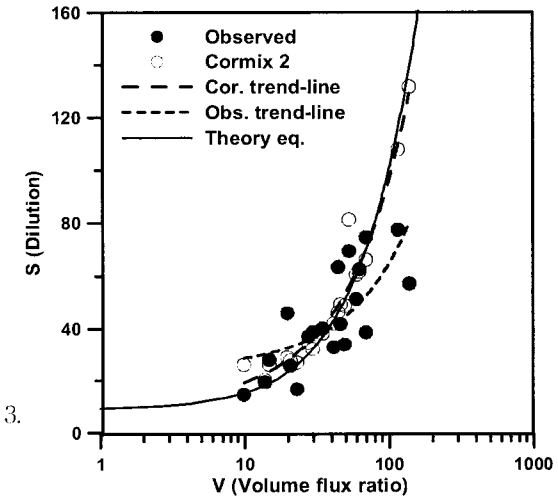


Fig. 1 Comparison of dilution for coflowing diffusers

## 3. 해양환경 및 제조건

### 3.1 수심 및 해저지형

연구해역은 서남아시아 중서부 연안으로 Fig.2에서 보이는 바와 같이, 측량구역내의 수심은 북측해안에서 -0.7m(간조시 노출), 측량해역의 남측연안에서 13.3m까지 다양하게 나타나고 있다. 또한, 해저경사가 아주 완만하게 형성된 지형이다.

### 3.2 주변수 및 방류 조건

주변수 조건은 그 해역의 실측자료를 근거하여 Table 2 와 같이 정리하였다. 또한, 방류 조건은 온수와 염수가 합해져서 같은 확산관을 통하여 방류될 경우에 대한 각각의 수질변수를 Table 3에 제시하였다. 유속은 중층 수심의 평균 유속인 0.08m/sec를, 해역의 수온은 수질조사 결과를 바탕으로 해안에서 100m, 1000m에서의 거리별 · 수심별 변화가 적고 계절별 변화가 뚜렷하지 않은 점을 고려하여 전자의 중층 수온인 21.1℃로 성층화현상이 없는 것으로 하였다. 또한, 해역의 염도는 34.0g/l로 T-S diagram을 통하여 해역의 밀도는 1024.0kg/m$^3$으로 결정하였다. Table 3에 제시된 바와 같이, 총 방류량은 36,000m$^3$/hr, 방류수 밀도는 1046.0kg/m$^3$, 방류수 온도는 40℃이다.

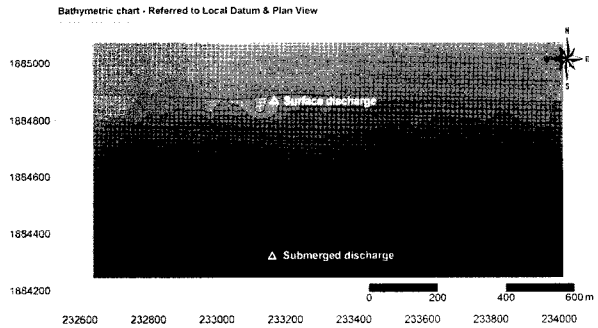


Fig. 2 Bathymetric chart and disposal point

Table 1 Comparison of the results (Experimental Value/ Theoretical Value/ Cormix2 Value)

| No. | H(cm) | Ua(cm/s) | Uo(cm/s) | B(cm) | H/B | V | Obs. | TheoryEq. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO-1 | 10 | 2 | 30 | 0.029 | 344.83 | 22.99 | 16.6 | 28.56 |
| CO-2 | 10 | 2 | 50 | 0.029 | 344.83 | 13.79 | 19.3 | 21.28 |
| CO-3 | 10 | 2 | 70 | 0.029 | 344.83 | 9.85 | 14.5 | 18.47 |
| CO-4 | 10 | 6 | 30 | 0.029 | 344.83 | 68.97 | 74.6 | 71.20 |
| CO-5 | 10 | 6 | 50 | 0.029 | 344.83 | 41.38 | 32.7 | 44.92 |
| CO-6 | 10 | 6 | 70 | 0.029 | 344.83 | 29.56 | 38.5 | 34.21 |
| CO-7 | 10 | 10 | 30 | 0.029 | 344.83 | 114.94 | 77.5 | 116.31 |
| CO-8 | 10 | 10 | 50 | 0.029 | 344.83 | 68.97 | 38.5 | 71.20 |
| CO-9 | 10 | 10 | 70 | 0.029 | 344.83 | 49.26 | 33.8 | 52.31 |
| CO-10 | 15 | 2 | 30 | 0.029 | 517.24 | 34.48 | 40.0 | 40.40 |
| CO-11 | 15 | 2 | 50 | 0.029 | 517.24 | 20.69 | 25.5 | 28.94 |
| CO-12 | 15 | 2 | 70 | 0.029 | 517.24 | 14.78 | 27.8 | 24.52 |
| CO-13 | 15 | 6 | 50 | 0.029 | 517.24 | 62.07 | 62.5 | 65.71 |
| CO-14 | 15 | 6 | 70 | 0.029 | 517.24 | 44.33 | 63.3 | 49.19 |
| CO-15 | 20 | 2 | 30 | 0.029 | 689.66 | 45.98 | 41.7 | 52.09 |
| CO-16 | 20 | 2 | 50 | 0.029 | 689.66 | 27.59 | 37.0 | 36.35 |
| CO-17 | 20 | 2 | 70 | 0.029 | 689.66 | 19.70 | 45.9 | 30.24 |
| CO-18 | 20 | 6 | 30 | 0.029 | 689.66 | 137.93 | 57.1 | 140.20 |
| CO-19 | 20 | 6 | 50 | 0.029 | 689.66 | 82.76 | 69.4 | 86.44 |
| CO-20 | 20 | 6 | 70 | 0.029 | 689.66 | 59.11 | 51.3 | 64.08 |

Table 2 Summary of ambient condition

| | |
|---|---|
| Ambient Current Velocity | 0.08m/s |
| Ambient Density | 1024.0kg/$m^3$ |
| Ambient Temperature | 21.1℃ |
| Ambient Salinity | 34g/L(‰) |
| Wind Velocity | 2.0m/s |

Table 3 Summary of discharge condition

| | |
|---|---|
| Total discharge Flowrate | 36,000$m^3$/hr = 10$m^3$/s |
| Discharge Density | 1046kg/$m^3$ |
| Discharge Temperature | 40℃ |
| Discharge Salinity | 75g/L(‰) |

### 3.3 제한 사항(법적 수질기준)

방류수에 의한 영향예측의 기준자료는 당해역의 액화 오염물의 해양방류 처리에 관한 규정에 근거하였다. 첫 번째는 오염물 방류관의 끝단은 방류역에서의 최저조위(L.L.W; Lowest Low Water)보다 최소 1m 아래에 위치해야 하며, 두 번째는 방류지점으로부터 반경 300m를 초기희석영역(initial dilution region)으로 정하고 그 영역 외에 다음과 같은 수질기준(WQS; Water Quality Standard)이 만족되어야 한다.

① 주변수 온도보다 1℃ 이상 증가

② 주변수 염도보다 2ppt 이상 증가 또는 감소

### 3.4 방류 형태

방류의 형태는 공학적으로 가장 적합하다고 판단되는 구조를 기준으로 하였는데, 먼저 표층방류는 수리학적인 단면을 고려한 개수로(open channel)를, 수중방류시 방류공의 직경에 따른 방류유속의 범위는 일반적으로 3~9m/sec를 고려하나(Adams 1981) 실제에 있어서 펌프 양정고와 구조물이 받는 하중 때문에 3m/sec 정도를 기준으로 결정하였다.(한전, 2007) 또한, 확산관은 다공 방류(multi-port discharge)와 수평방류를 원칙으로 하나, 타 방류방식과의 비교를 위하여 단일 방류(one-port discharge)와 표층방류를 도입하였다. 확산관의 형태는 일정한 흐름방향에서 희석을 최대화하기 위하여 주 흐름방향에 직각으로 설치하는 것을 원칙(Layton, 1976)으로 하여 일방향확산관 중 공류형확산관을 채택하였으며 확산관의 위치는 흐름방향과 직각인 직교배치법을 선택하고, 도수관(feeder pipe)의 연직유도관(riser)에 방류공을 부착하는 것으로 원칙으로 하였다. 확산관 형태 자세한 사항은 다음 절의 모형 수립에 정리하였다.

## 4. 모형의 수립 및 적용

### 4.1 방류 형식

표층방류, 수중 단일방류, 수중 다중방류 이렇게 3가지 형태로 구분하여 시뮬레이션을 실시하였다. 표층방류는 개수로를 사용하여 유출속도는 2.0m/s 가 되게 하였다. 수중방류시 방류공의 직경은 관의 침식을 방지하고 펌프장의 양정고를 줄이기 위해 방류유속이 3.0m/s 정도가 나타날 수 있도록 선정하였다.(한전 2007) 또한 다공확산관에 의한 방류일 경우에 초기희석을 높일 수 있는 수평방류를 원칙으로 하며, 일정한 흐름 방향을 고려하여 일방향확산관 중 공류형확산관을 채택하였다.

1) 표층 방류

개수로(폭 5m, 깊이 1m)를 통한 표층방류시 영향을 검토하였다. Fig. 3은는 두 개의 변수에 대한 밀도변화에 따른 희석률을 나타내고 있다. 수질기준으로 설정한 300m 이외에서 1℃ 이상의 온도증가와 2ppt 이상의 염도증가를 보이고 있으며, 이러한 불량한 결과는 희석률 변화에서 보이듯 초기에 희석률을 극대화하지 못하기 때문인 것으로 사료된다. 즉 본 해역에서의 표층 방류 형식은 바람직하지 않은 것으로 나타났다.

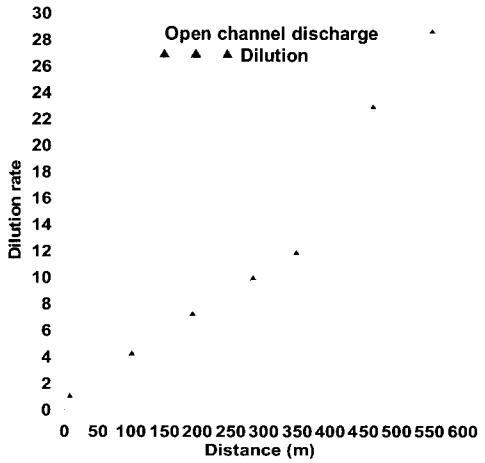


Fig. 3 Surface discharge Dilution Rate

Table 4 Summary of Case study for suface discharge

| Parameter | Distance to the bank(m) | Channel width(m) |
|---|---|---|
| Value | 0 | 5 |
| Channel depth(m) | Discharge velocity(m/sec) | Discharge angle(deg) |
| 1 | 2 | 90 |

2) 단일확산관 방류

해안에서부터 외해쪽으로 600m 떨어진 수심 11m 지점에 수중 단일확산관에 의한 방류시 영향을 검토하였다. 단일공에 의한 방류시 영향예측은 방류공 직경에 따른 방류유속의 변화(2.63m/s, 3.18m/s, 3.93m/s)에 따라 수행하였으며, 결과는 Fig. 4 에 희석률의 변화를 나타내었다. 방류공 직경이 작을수록 즉, 방류시 유속이 클수록 희석률이 높아지고 있으나 모든 실험안에 대하여 기준역으로 설정된 300m 이외에서 1℃ 이상의 수온증가가, 2ppt 이상의 염도증가가 나타나고 있다. 희석률에 있어서도 표층방류 보다는 큰 초기 희석률을 보이고 있

지만 여전히 부족한 양상을 나타내고 있다. 단일공 방류형식은 방류량이 많을 경우에는 초기희석률이 만족한다 하더라도 주변해역의 유동 양상을 비정상적으로 만들 수 있기 때문에 선호하지 않는 방식이다.

Table 5 Summary of case study for discharge of single-port diffusers

| Parameters | Port diameter(m) | Distance to the bank(m) |
|---|---|---|
| Value | 1.8 | 600 |
| | 2.0 | 600 |
| | 2.2 | 600 |
| Average depth(m) | Discharge velocity(m/s) | Vertical discharge angle(deg) |
| 11 | 3.93 | 15 |
| 11 | 3.18 | 15 |
| 11 | 2.63 | 15 |

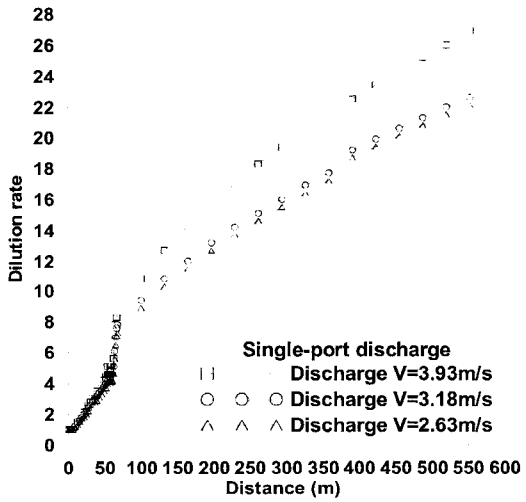


Fig. 4 Single-port discharge Dilution Rate

3) 다공확산관 방류

해안에서부터 600m 떨어진 동일한 위치에서 다공확산관으로 방류시 영향을 검토하였다. 실험안은 다공확산관의 조건 중 희석률에 큰 영향을 주는 방류직경 변화에 따른 방류유속 변화(2.63m/s, 3.18m/s, 3.93m/s), 확산관의 길이(diffuser length)의 변화(50m, 100m, 150m), 방류각도(discharge angle)의 변화(15°, 30°, 45°, 60°)를 조절하여 민감도 분석을 실시하였다. 실험안별 입력자료는 Table 6 에 정리하였다.

① 희석률

전체적으로 희석률은 표층방류나 단일확산관 방류에 비해 아주 높은 초기희석률을 나타냈다. CASE 1 은 방류유속 변화에 따른 희석률을 Fig. 5에서 보여주고 있다. 그래프에서 보듯이 방류유속을 증가시킬수록 희석률이 증가됨을 볼 수 있다. 즉 CASE 1의 경우에 따르면 방류유속이 커질수록 초기희석률에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. CASE 2 는 확산관의 전체 길이 변화에 따른 희석률을 Fig. 5에서 보여주고 있다. 방류유속을 증가시키는 것보다 확산관의 전체 길이를 늘이는 것이 희석률 증가에 더욱 도움이 되는 것으로 나타났다. 이는 플룸의 중첩현상이 약해져 혼합장의 재유입이 감소하기 때문인 것으로 사료된다. CASE 3 는 수직방류각도 변화에 따른 희석률을 Fig. 5 에 보여주고 있다. 그래프에서 보면 방류각도가 작은 15°일때 희석률이 가장 높게 나타났다. 그러나 15°~30° 는 희석률의 큰 차이가 없기 때문에 수직 방류각도는 15°~30° 내에서 주변 환경의 조건에 따라 선택하면 문제가 없을 것이라 사료된다. CASE 4 는 방류공 개수 변화에 따른 희석률을 Fig. 5에 보여주고 있다. 방류공의 개수가 증가할수록 희석률은 떨어지는데 이는 개수 증가에 따른 방류유속와 방류공 간격의 감소 때문인 것으로 보인다. 이는 방류공 개수만 증가시킨다고 희석률이 높아지는 것이 아니라 방류유속 및 방류공 간격이 복합적으로 고려되어야 한다는 것을 보여주고 있다.

Table 6 Summary of Case study for discharge of multi-port diffusers for sensitivity analysis

| Parameter / CASE & Var. | Port diameter(m) | Diffuser length(m) | Number of risers | Discharge velocity(m/s) | Risers spacing(m) | Vertical discharge angle(deg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CASE 1 (discharge velocity) | 0.45 | 100 | 16 | 3.93 | 6.67 | 15 |
| | 0.5 | 100 | 16 | 3.18 | 6.67 | 15 |
| | 0.55 | 100 | 16 | 2.63 | 6.67 | 15 |
| CASE 2 (discharge spacing) | 0.5 | 50 | 16 | 3.18 | 3.33 | 15 |
| | 0.5 | 100 | 16 | 3.18 | 6.67 | 15 |
| | 0.5 | 150 | 16 | 3.18 | 10.00 | 15 |
| CASE 3 (discharge angle) | 0.5 | 100 | 16 | 3.18 | 6.67 | 15 |
| | 0.5 | 100 | 16 | 3.18 | 6.67 | 30 |
| | 0.5 | 100 | 16 | 3.18 | 6.67 | 45 |
| | 0.5 | 100 | 16 | 3.18 | 6.67 | 60 |
| CASE 4 (Number of risers) | 0.5 | 100 | 16 | 3.18 | 6.67 | 15 |
| | 0.5 | 100 | 18 | 2.83 | 5.88 | 15 |
| | 0.5 | 100 | 20 | 2.55 | 5.26 | 15 |
| | 0.5 | 100 | 22 | 2.31 | 4.76 | 15 |

② 초과수온

CASE 1의 경우 방류유속이 3m/s 이상일 경우 기준역으로 설정된 300m 이외에서 1℃ 이상의 수온증가가 보이지 않고 있다.(Fig. 6) CASE 2의 경우 전체 확산관의 길이를 100m이상인 경우(각 포트의 간격을 6.67m 이상일 경우) 기준역으로 설정된 300m 이외에서 1℃ 이상의 수온증가가 나타나지 않고 있다.(Fig. 7) CASE 3의 경우 수직 방류각도를 15°, 30°, 45° 로 변화시켰을 경우, 기준역으로 설정된 300m 외에서 1℃ 이상의 수온증가가 나타나지 않고 있다.(Fig. 8) CASE 4의 경우 방류공 개수를 16, 18, 20개로 했을 경우, 기준역으로 설정된 300m 외에서 1℃ 이상의 수온증가가 나타나지 않고 있다.(Fig. 9)

③ 초과염도

CASE 1의 경우 방류유속이 3m/s 이상일 경우 기준역으로 설정된 300m 이외에서 2ppt 이상의 염도증가가 보이지 않고 있다.(Fig. 6) CASE 2의 경우 확산관의 길이를 100m이상인 경우(각 포트의 간격을 6.67m 이상일 경우) 기준역으로 설정된 300m 이외에서 2ppt 이상의 염도증가가 나타나지 않고 있다.(Fig. 8) CASE 3의 경우 수직 방류각도를 15°, 30°, 45° 로 변화시켰을 경우, 기준역으로 설정된 300m 외에서 2ppt 이상의 염도증가가 나타나지 않고 있다.(Fig. 8) CASE 4의 경우 방류공 개수를 16, 18, 20개로 했을 경우, 기준역으로 설정된 300m 외에서 2ppt 이상의 염도증가가 나타나지 않고 있다.(Fig. 9)

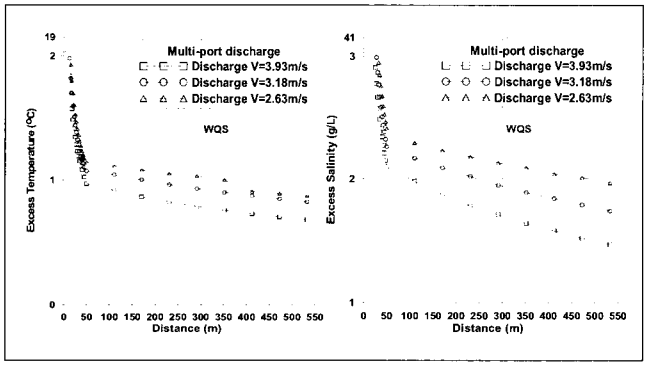


Fig. 5 Change of △Temperature, △Salinity (CASE 1)

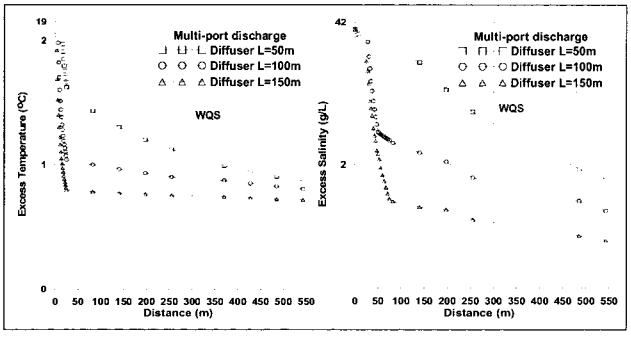


Fig. 6 Change of △Temperature, △Salinity (CASE 2)

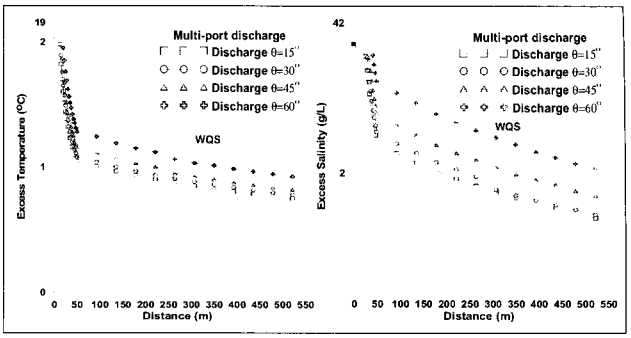


Fig. 7 Change of △Temperature, △Salinity (CASE 3)

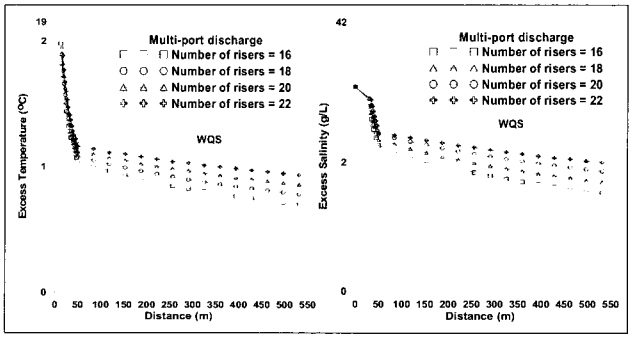


Fig. 8 Change of △Temperature, △Salinity (CASE 4)

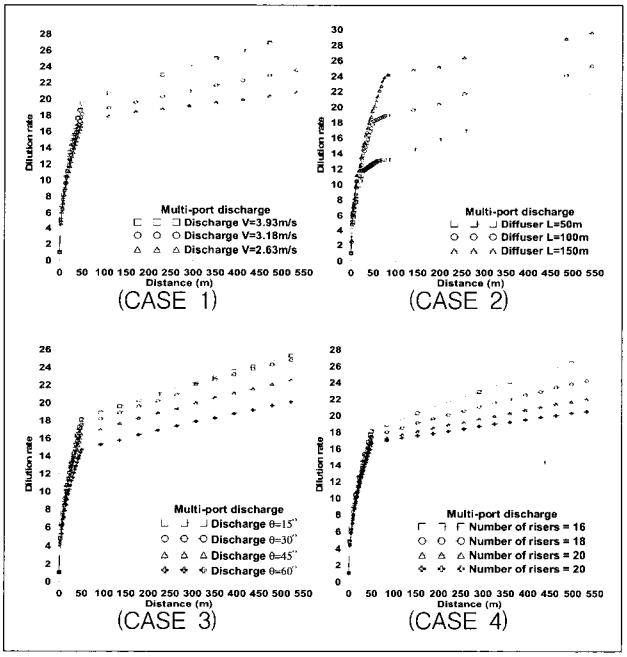


Fig. 9 Dilution Rate

## 5. 결 론

상기의 분석결과를 토대로 결과를 요약하면 방류형식에 중다공확산관에 의한 온/염배수의 방류가 초기희석률이 가장 높게 나타났으며, 법적 수질기준에도 가장 잘 부합하는 것으로 나타났다. 또한, 다공확산관의 각 영향인자별 민감도 분석결

과, 확산관의 길이가 희석률에 가장 큰 영향을 주고 방류유속이 두 번째로 큰 영향인자인 것으로 나타났다. 그리고 수직방류각도 15°~30° 범위에서는 희석률의 변화가 작으나 30°보다 크면 희석률이 감소되었다.

즉 전체 확산관의 길이는 플룸의 중첩을 최소화 하고 3m/s 이상의 방류유속을 확보하여 주변수와의 연행을 촉진시키고 수직 방류각을 15°~30° 범위에서 방류할 수 있게 한다면 가장 희석률을 높일 수 있는 이상적인 설계가 될 것이다.

물론 방류수심이 깊어질수록, 주변의 흐름이 빨라질수록 희석률은 자연히 높아지게 되지만, 이번 연구의 대상지역인 서남아시아 지역은 먼 바다로 나아감에 따라 수심의 변화가 미미하기 때문에 일정 수준의 수심을 확보하려면 아주 긴 도수관이 필요하다. 따라서 손실수두가 커지게 되고 경제적인 부담이 아주 커지기 때문에 본 연구의 성과는 법적 수질기준을 만족하면서 보다 경제적인 관점에서 최적의 온/염배수의 방류시스템의 최적설계방안으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌


[1] 김강민 (2000), "도시 하수의 해양방류 및 근역혼합 특성분석", pp.37.

[2] 김홍식 (1997), "수중다공확산관에 의한 온배수 혼합특성". pp.58-69.

[3] 한국전력기술주식회사 (2007), "신고리 3,4호기 심층취배수구조물 배치 및 구조형식 기술검토보고서", pp.67.

[4] Adams, E. E., Harleman, D., Jirka, G., and Stolzenbach, K. (1981), "Heat Disposal in the Water Environment-Surface Heat Exchange Coefficient", Course Notes, R.M. Parsons Laboratory, Massachusetts Institute of Technology.

[5] Adams, E. E. (1987), "Predicting circulation and dispersion near coastal power plants: Applications using models TEA and ELA", Energy Laboratory Report No. MIT-EL 87-008.

[6] Akar, P. J. and Jirka, G. H. (1991), "CORMIX2: An Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Multiport Diffuser Discharges", U.S. EPA, Environmental Research Laboratory, Athens., G.A.

[7] Jirka, G. H. and Adams, E. E. (1981), "Buoyant surface jets", J.of Hydraulics Division, ASCE, 107(HY11), pp. 1467-1487.

[8] Kaufam, J. T. and Adams, E. E. (1981), "Coupled near and far field thermal plume analysis using finite element techniques", Energy Laboratory Report No. MIT-EL 81-036.

[9] Layton, J. A. (1976), "Design Procedures for Ocean Outfalls", Coastal Endineering, Chap. 167.

[10] Robert, L. D. and Gerhard, H. J. (2007), "A Hydrodynamic Mixing zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters", DeFrees Hydraulics Laboratory School of Civil and Environmental Engineering Cornell University Ithaca, New York 14853-3501.



원고접수일 : 2008년 6월 13일
심사완료일 : 2008년 10월 15일
원고채택일 : 2008년 10월 16일