

## 방류관 설계인자에 대한 민감도 분석

김 지 연\* · 이 중 우\*\*

Sensitivity Analysis to the Design Factor of Ocean Outfall System

J. Y. Kim · J. W. Lee

**Key words** : 수중 방류(Submerged Discharge), 해양 방류(Ocean Discharge), 단일확산관(Single-port Diffuser), 다공확산관(Multi-port Diffuser), 방류시스템(Outfall System), 희석(Dilution), 혼합특성 (Mixing Characteristic), 근역(Near-Field Region)

### Abstract

A demand of marine outfall system have been much increased for the effective disposal of the wastewater due to population and industrial development at the coastal areas. The outfall system discharges primary or secondary treated effluent into coastline or at the deep water, or between these two. The discharge is carried out by constructing a pipeline on the sea bed with a diffuser or with a tunnel, risers and appropriate. The effluent, which has a density similar to that of fresh water, rises to the sea surface forming plume or jet, together with entraining the surrounding salt water and becomes very dilute.

Thus there have been growing interests about plume behaviour around the outfall system. Plume or jet discharged from single-port or multi-port diffuser might cause certain impacts on coastal environment. Near field mixing characteristics of discharged water field using CORMIX model with has been studied for effective outfall design various conditions on ambient current, depth, flow rate, effluent concentration, diffuser specification, port specification etc.. This kind of analysis is necessary to deal with water quality problems caused by the ocean discharge. The analyzed result was applied to the Pusan Jungang dffluent outfall system plan.

1)

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경

전세계의 많은 연안도시에서 대양 및 호수로 오, 폐수 방류가 행해지고 있으며, 해양방류를 육지 오염물의 손쉬운 처리 정도로만 여기게 되어 해양의 잠재력을 개발하기도 전에 해양은 그야말로 지구쓰레기장화 되어가고 있다. 지자체 이후 임해산업입지와 배후 연안도시가 증가하는 등 연안역의 개발과

\* 정희원, 한국해양대학교 대학원 항만운송공학과  
\*\* 정희원, 한국해양대학교 토목환경공학부 교수

활용이 증가하므로 인해 도시하수, 공장폐수 등에 의하여 방출되는 오염물질, 하천으로부터 유출되는 하수, 임해 발전소로부터 방출되는 온배수 등도 급증하고 있으며 이로 인해 연안 수질환경도 급변하고 있다. 광양만의 광양공단, 울산만의 각종 중공업단지, 영일만의 맘모스 포항공단 등에서는 불가피하게 어떤 형식이든 막대한 오염물질의 배출에 노출되어 있으며 부산, 인천 등 기존의 대규모 항들도 주변 연안개발의 가속화로 광범위한 해양오염이 발생하고 있다. 따라서 오폐수 방류와 관련한 해양오염의

최소화를 위해서는 방류와 관련한 예측, 설비 및 설계, 관리 및 운용 등에 관한 체계적인 연구가 시급하다. 해양방류시스템의 기본 철학과 기준은 Rawn(1960), Fisher(1979), Brooks & Koh(1975) 등의 연구에서 광범위하게 다루어져 왔고 최근에 이르러 국내 연구도 두드러지고 있다. 마산, 하수 처리장의 하수확산관의 근역 혼합특성에 대한 연구로는 강등(1999, 2000) 등이 있으며 전자는 다공확산관의 설계시 병합의 가능성을 줄이는 방류공의 기하학적 형태에 대해 제안하였으며, 후자는 대·소조기로 나누어 주변해역의 유동장의 변화에 따른 희석의 효과를 논의하였다. 장파나 밀도성층화 등 현실적인 인자를 플룸의 상승이나 초기희석 문제에 도입하는 문제 등에 대해서도 권 및 이(1997), 권(1997) 등이 연구하였다. 온배수 및 적절히 처리된 하수를 해양으로 방류하여 희석시키는 방법(Harleman and Stolzenbach, 1972, Koh and Brooks, 1975)은 1960년대부터 미국 등 선진국을 중심으로 많은 연구와 적용이 이루어져 왔다. 국내에서는 발전소의 온배수 방류에 관해서는 표층방류에 관하여는 정(1994)이 연구하였으며 수중 다공확산관에 관하여는 이 및 서(1994, 1997), 김(1997) 등이 연구하였으며 특히 정(1992)은 성층화에 따른 연직 확산계수의 시공간적 분포가 고려되어야 하며 대상이 된 고리발전소의 지역특성상 조류방향에 따른 제트의 확산의 양상이 변화하므로 다양한 난류모형이 필요하다고 하였다.

## 12 연구의 목적 및 방법

하수를 해양으로 방류하는 방법에는 여러 가지가 있는데 이중 해안가에 인접하여 수표면에 방류하는 표층방류는 경제적으로는 타당하나 오염물의 혼합 및 희석과정이 수체에 존재하는 난류성분에 의존하는 수동적인 방법으로 그 희석효과가 불량하다. 반면 수중방류는 관로를 일정거리의 외해로 끌고 나가 해저면에서 고속방류에 운동량과 주변수의 밀도차에 의한 부력효과를 이용하여 방류구 부근의 희석률을 높이는 방법이다. 이는 방류구 시스템의 조건 및 기하학적 형상에 따라 혼합 및 희석현상이 다양하게 변화하며 목표하는 희석효과를 능동적으로 조정할 수 있다. 방류관의 유형에 따라 단일확산관(single-port diffuser) 와 다공확산관(multi-port diffuser)이 있으며 특히 다공확산관은 방류각 및 개수, 간격 등에 따라 다양한 경우의 수를 만들어낸다

이에 본 연구는 도시하수의 해양방류시 최근에 개발된 cornix모형을 통해 희석을 극대화하는 해양 방류관의 최적설계를 찾아내고 이러한 결과를 토대로 부산 감천항 하수처리장 인접해역을 처리수의 방류에 따른 영향권으로 하여 하수처리장에서 처리된 처리수의 해안선방류 및 수중방류시에 방류관의 형태 및 배치의 선택으로 이 방류수의 거동을 분석하고자 한다.

## 2. 기초이론

### 2.1 난류제트 이론

혼합구역이 제트의 중심선을 관통하는 지점까지를 흐름발달영역(zone of flow establishment)이라고 하며, 흐름확립영역(zone of established flow)은 제트의 중심부가 교란되기 시작하는 지점부터 시작된다(Fig. 1). 와류영역의 확장으로 주변수를 계속 연행하므로써 제트 중심부의 속도는 계속 감소하여 중심선의 최대유속은 초기 유속보다 작아진다. 두 영역간의 경계를 명확히 정의하기는 어려우며, 확립유

제 영역의 끝은 대략 중심선의 유속이 영이 되는 지점까지로 본다.(Albertson et al. 1948).

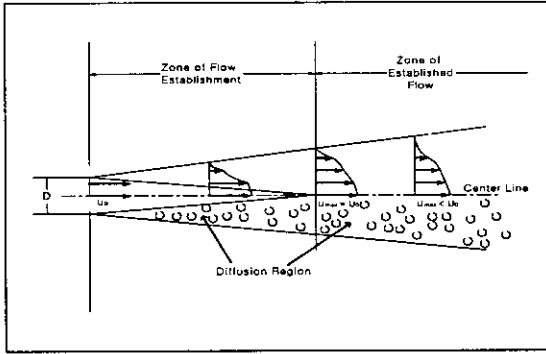


Fig. 2 Classification of zone of flow establishment and zone of established flow

Fig. 2는 난류제트의 부력효과, 밀도성층화, 조류 효과, 주변난류, 제트간섭 등의 주변수 조건에 따른 흐름의 거동을 보여준다.

## 2.2 수중다공확산관 이론

천이구간에서의 유속분포는 각각의 원형제트의 유속을 선형적으로 중첩하여 표현할 수 있는 것으로 알려져 있다(Wood et al., 1993).

경계의 영향을 받지 않는 확산관 내측의 유속분포는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$u(x, y, z) = U(z) \frac{\exp(-y_b^2) \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left\{-\left(\frac{x_1+n}{b_l}\right)^2\right\}}{\sum_{n=0}^{\infty} \exp\left\{-\left(\frac{n}{b}\right)^2\right\}} \quad (1)$$

여기서,  $y_b = y/b$ ,  $x_1 = x/l$ ,  $b_l = x\beta/l$ 이며  $n$ 은 방류공의 개수이다. 농도장의 유속분포는 식(3.18)에  $b$ 대신  $b_T (= \lambda b)$ 를 대입하는 식으로 표현된다. 일반적으로 방류공에서 떨어진 거리  $l$ 과  $b$ (nominal

half width)는 선형관계를 가지는데 그 비례상수를 퍼짐상수(spread constant)라 하며 이에 따라 퍼짐율(spreading ratio)이 결정된다.  $b/l \ll 1$ 일 경우는 원형제트로 축방향 대칭의 유속분포를 가지며,  $b/l \gg 1$ 일 경우는 슬롯제트와 같은 2차원 유속분포를 가진다. 다공확산관의 경우에 초기방류지점에서 일정거리까지 각각의 방류공에서 방류되는 제트는 독립적인 원형제트의 거동을 보이나 천이구간(transition zone) 이후부터는 제트들이 병합하면서 2차원 슬롯제트(slot jet)와 유사한 형태를 보인다. 천이구역 이후부터는 다공확산관을 등슬롯 확산관(equivalent slot diffuser)의 형태로 보면 해석이 용이해진다.

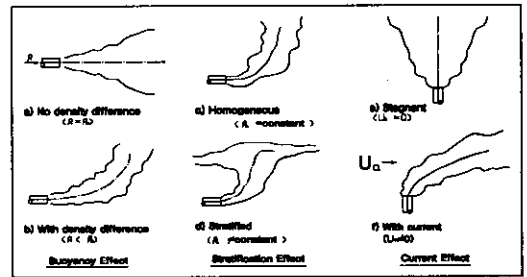


Fig. 2 Effects of the environmental conditions on the jet behavior

## 2.3 근역혼합 및 희석의 특성

초기희석에 대한 정확한 예측은 방류관 모델의 실험에 있어서 가장 중요한 단계가 된다. 균질의 정체된 유체에서의 초기희석 예측은 수학적으로 구하는 것이 어렵지 않으나, 해양과 같이 유동적인 환경 하에서 방류장(큰 밀도 Froude 수)의 초기희석을 수학적으로 찾아내는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 초기 희석은 다공확산관의 기하학적 형태, 방류 운동량 및 부력특성, 주변해저의 지형, 주변수의 유속 및 수심, 밀도성층화의 정도 등에 영향을 받는다. 방류된 제트는 주변수와 유속차에 따른 전단난류확산으로 인해 주변수와 연행을 야기하면서 제트의 폭은 증가되고 제트의 유속 및 농도는 감소된다.

### 3. 실험 및 분석

해수유동의 변화와 처리수의 방류에 따른 확산을 확인하기 위해 최근의 CORMIX 관련연구 등을 토대로 하여 본 연구의 주관심영역인 초기 혼합 및 희석영역과 관련된 방류조건상의 민감도를 분석하였다. 이를 위해 주변유속, 수심, 유량, 방류수농도, 확산관의 길이, 방류각도, 방류공 직경, 방류공의 개수 혹은 방류공의 간격, 방류공의 높이에 따른 변화를 계절별 주변수의 조건, 단일확산관과 다공확산관에 대해 총 200회 이상의 경우에 대해 실험이 수행되었다.

#### 3.1 방류인자별 민감도 분석

분석에 사용한 인자는 방류수심, 주변유속 등과 같은 주변수 조건, 유량, 방류수 농도 등과 같은 방류수 조건, 방류관 길이, 해안선에서 떨어진 확산관까지의 거리, 방류공의 높이 및 크기, 방류공의 기하학적 배치 등과 같은 방류조건 등으로 나눈다. 본 민감도 조사에서 사용하는 자료는 부산시 중앙하수처리장을 근거로 하였으며 Table 3.1과 같다. 겨울에는 균일한 밀도값인  $1026.0 \text{ kg/m}^3$ 을 적용하고, 여름에는 해수면부근에는  $1021.6 \text{ kg/m}^3$ 과 해저면부근에는  $1023.6 \text{ kg/m}^3$ 로 성층화된 밀도분포를 적용하였다. 확산관의 형식은 단일확산관(CORMIX 1)과 다공확산관(CORMIX 2)이며, 각 경우에 대해 희석(S), 하수장뚜게, 플룸의 상승고를 구한다.

Table 3 Summary of input data

Classification	Station B
Analysis situation	unbounded
Average depth $H_A$	24m
Discharge depth $H_D$	23.3m
Diffuser Length	100m
Current speed $u_a$	0.20m/sec
Friction value Darcy-Weisbach f	0.025
Wind speed $u_w$	2m/sec
Distance from the shore to the diffuser	c1: 950m c2: 900m
Vertical angle of discharge $\theta$	0°
Horizontal angle of discharge $\sigma$	c1: 90° c2: 0°
Alignment angle $\gamma$	90°
Relative orientation angle $\beta$	90°
Average diameter $D_0$	0.2m
Port height $h_0$	0.7m
Discharge flow rate $q_0, Q_0$	2.78m <sup>3</sup> /sec
Water quality standard mg/l	2

#### 1) 주변유속

주변의 유속이 클수록 희석률은 상승하며, 여름보다 겨울의 경우에 희석률에 미치는 영향이 더 크다. 이것은 성층화되지 않은 수역 특성으로 인해 주변 유속이 근역의 범위를 확장시키게 되고 형성된 플룸이 주변수와 상호 작용할 수 있는 기회가 증가되기 때문이다.

#### 2) 방류수심

방류수심이 증가할수록 희석률은 대부분 완만하게 증가하였다. 단일확산관의 경우에는 여름보다 특히 겨울에 수심 10m에서의 희석률 85.0이 30m에서 261.4로 3배 가까이 증가하였다(Fig. 5). 이 경향은 다공확산관의 경우에도 마찬가지이며, 성층화의 영향이 두드러진 여름의 경우에는 수심을 증가시켜도 희석률의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 겨울에 단일 및 다공확산관에서 희석률과 하수장 뚜게는 초기의 수직혼합이 활성화 되어 수심의 증가에 따라

선형적으로 증가하는 양상을 보여서, 결국 밀도성층화가 두드러진 계절 및 지역보다는 밀도성층화가 없는 지역 및 절기에 수심확보에 따른 희석의 효과가 더 강한 것을 알 수 있다.

### 3) 방류량

단일확산관의 경우에는 유량이 증가함에 따라 희석률이 증가하는데 특히 여름에는 밀도성층화 여부에 따라 희석률이 79.1에서 234.5로 3배 가까이 증가하는 것으로 나타났다.

### 4) 방류수의 농도

수중방류의 경우에는 방류수의 초기농도는 희석률과 플룸의 거동에 전혀 영향을 주지 않는다.

### 5) 확산관의 길이

확산관의 길이는 구조적인 관점에서 방류공의 수와 이들의 간격에 밀접한 관계가 있다.

방류관 길이의 확장은 해안선에서 거리의 증가, 즉 도수관의 길이 증가로 나타나므로 어느 정도 수심이 확보된 상태에서는 희석에 전혀 영향을 주지 않는다. 단, 다공인 경우에는 확산관의 길이가 증가함에 따라 희석도 점진적으로 증가하는 효과를 가져온다. 이는 방류공간의 간격이 넓어지고 각 방류공으로부터의 플룸의 간섭을 줄여서 재성층화되는 양상을 방지하는 효과를 가지기 때문이다.

### 6) 방류 각도

다공확산관의 경우에는 밀도성층화와는 무관하게 거의 일정하게 희석이 유지되고 있지만 단일확산관의 경우에는 방류각도에 따라 (Fig. 3) 희석의 변화가 현격하게 나타난다. 일반적으로 방류각은 수심이 충분히 확보되지 않을 경우에 방류가 해저면에 부착되는 효과를 개선하는 것으로 되어있다

### 7) 방류공 직경

방류공의 직경은 방류량과 연계하여 방류속도와 관계되며 방류속도가 커지게 되면 일반적으로 초기 운동량이 증가하게 되고, 이에 따라 초기 발달흐름영역의 길이가 길어지게 되어 희석의 증가를 가져온다고 예상되지만, 방류 각도의 변화 등과 결합되어 주변수와의 밀도차로 인한 부력운동량이 방류속도에 따른 동역학적 운동량을 무시할 만큼 크기 때문에

거의 모든 경우에 대해 변화가 미약하다.(Fig. 7)

### 8) 방류공 간격(방류공의 수)

확산관의 길이 100m에 연직유도관의 수와 간격을 조절하여 5m(42개), 10m(22개), 20m(12개), 33.3m(8개), 50m(6개)로 하여(Fig. 4) 양방향확산관으로 배치하여 실험하였으며 겨울의 경우에 방류공의 개수나 방류공의 간격은 희석에 영향이 미미하며, 밀도성층화가 강한 여름의 경우에는 희석이 현저히 감소하는 지점이 존재한다. 방류공의 개수나 기하학적 배치의 차이에 따른 변화를 분석하는 것이 필요가 있다고 본다.

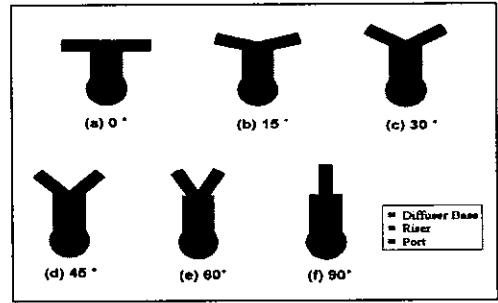


Fig. 3 Port type in relation to port angle

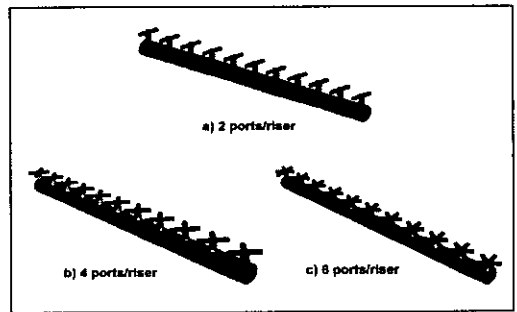


Fig. 4 Port type in terms of the number of ports.

### 9) 방류공 높이

방류공높이는 바로 연직유도관에 방류공이 바로 부착되는 경우인 0에서 2m 까지 실험하였으며 전체

수심 및 확산관 길이에 비해 이러한 방류공 높이는 지극히 미미한 수치이므로 회석과는 무관한 결과를 보인다. 횡흐름이 존재하는 경우에 방류공의 높이는 흐름의 안정성에 영향을 주며 방류공 주변의 강한 운동량에 의해 해저면의 세굴을 막는 효과도 있다.

이상의 결과에서 주변유속, 방류수심 등 주변수 조건은 방류관 부지의 선정시 고려될 부분이며 방류관 설계시에는 회석의 중요인자인 방류각, 확산관 길이 등은 수치실험을 통해 충분히 회석의 효과를 경제적으로 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 이 결과는 연구대상인 감천항 중앙하수처리장에서 방류관의 설계에 기본자료가 될 것이다.

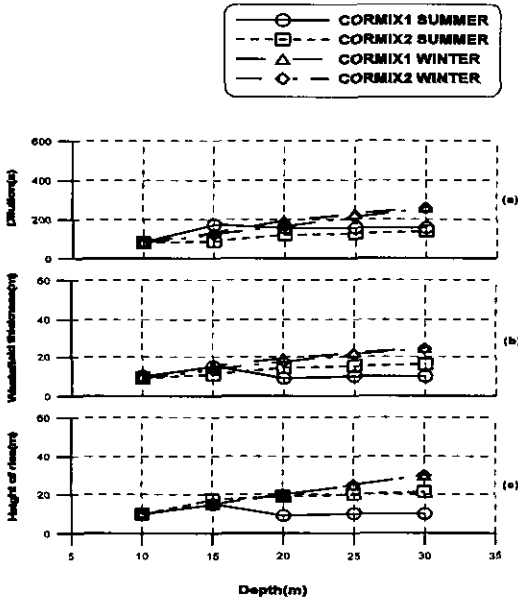


Fig. 5 Dilution, wastefield thickness, height of rise computed by CORMIX model according to the variation of discharge depth

#### 4. 현장적용

본 연구의 대상지역인 부산 중앙하수처리장의 계획년도의 방류량과 방류수질기준 및 주변 해역의 자료는 부산시(1998a, 1998b) 등을 이용하였다.

여름과 겨울로 구분하여 주변의 밀도성층 조건을 구분하였고 주변유속은 광역 및 협역 해수유동실험의 결과 평균치를 사용하였다.

주변수 속도 및 수심, 풍속 등은 방류관의 입의 설치지점(Station A, B, C, D)에 해당하는 값을 취한다.

확산관의 길이는 감천항의 방류량 규모인 2.78 m<sup>3</sup>/sec와 유사한 2.32 m<sup>3</sup>/sec 규모의 마산·창원 하수처리장의 확산관 길이 210m에 준하여 200m로 하고(Table 2), 모든 확산관은 수평방류를 원칙으로 하였으며, 다공확산관은 10개의 연직유도관(riser)에 20m 간격으로 연직유도관 각각에 대해 방류공(port)을 2개를 양방향 확산관의 형태로 부착하는 경우를 각각 계산하여 비교하였다.

Fig. 9는 각 지점별로 확산관의 형태에 따른 회석률을 비교한 것이다. Station A,B는 대부분의 다공 확산관의 경우에 회석율이 100이하로 불량하며 외해로 갈수록 단일 및 다공확산관의 회석률이 개선되는 것을 확인할 수 있다.

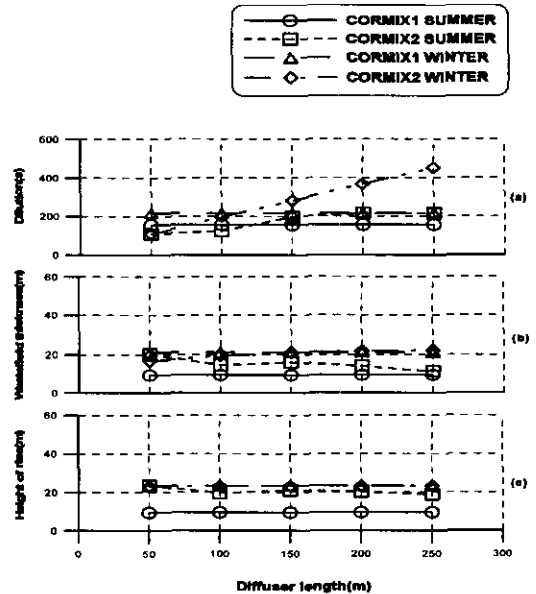


Fig. 6 Dilution, wastefield thickness, height of rise computed by CORMIX model according to the variation of diffuser length

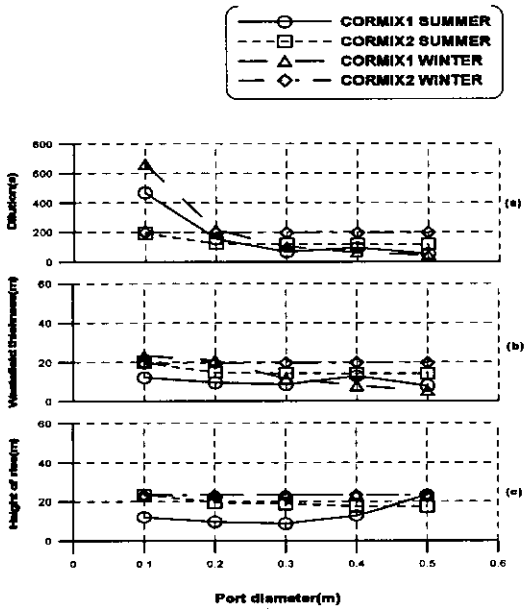


Fig. 7 Dilution, wastefield thickness, height of rise computed by CORMIX model according to the variation of port diameter

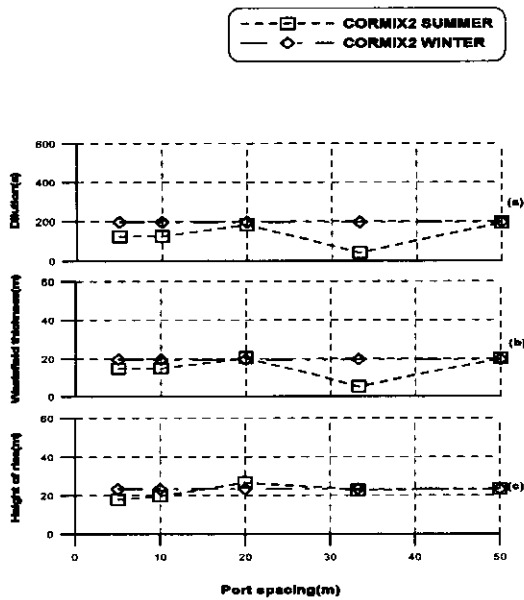


Fig. 8 Dilution, wastefield thickness, height of rise computed by CORMIX model according to the variation of port spacing

특히 최저희석지점인 Station A의 여름과 최고희석지점인 Station B의 겨울의 결과는 Fig. 10 및 Fig. 11과 같고, 농도장이 확연히 차이를 나타내었다. Station A는 수심전체에 걸쳐 혼합이 일어나고 해저면에 하수장이 부착되어 흐름이 불안정하다. Station D는 근역에서 안정된 흐름을 보이며 하수장의 두께가 27.49, 상승고가 29.38로 수면부근에서 플룸이 포착되어 원역으로 확산되고 있다.

Station A,B의 개선을 위해 앞절의 결과에 근거하여 수심을 확보하기 위해 외해로 지점을 옮기거나 방류공의 배치, 수평각도, 방류공의 개수 및 간격, 방류공의 직경 등 확산관에 대한 제원을 개선해야 한다.

Table 3.2 Summary of input data (CORMIX1 / CORMIX2)

Classification	Station A	Station B	Station C	Station D
Analysis situation	unbounded	unbounded	unbounded	unbounded
Average depth $H_A$ (m)	12m	15m	24m	30m
Actual water depth $H_D$ (m)	11.3	14.3	23.3	29.3
Current speed $u_a$ (m/sec)	0.12	0.15	0.20	0.25
Friction value				
Darcy-Weisbach $f$	0.025	0.025	0.025	0.025
Wind speed $u_w$ (m/sec)	2	2	2	2
Distance from the shore to the diffuser(m)	C1: 200 C2: 100	C1: 350 C2: 250	C1: 950 C2: 850	C1: 3000 C2: 2900
Diffuser type	Alternating diffuser	Alternating diffuser	Alternating diffuser	Alternating diffuser
Vertical angle of discharge $\theta$ (°)	0	0	0	0
Horizontal angle of discharge $\sigma$ (°)	c1:90 c2:0/45/6 0	c1:90 c2:0/45/6 0	c1:90 c2:0/45/6 0	c1:90 c2:0/45/6 0
Alignment angle $\gamma$ (°)	90	90	90	90
Relative orientation angle $\beta$ (°)	0/30/45	0/30/45	0/30/45	0/30/45
Average diameter $D_0$ (m)	0.2 / 0.5	0.2 / 0.5	0.2 / 0.5	0.2 / 0.5
Port height $h_0$ (m)	0.7	0.7	0.7	0.7
Discharge flow rate, $Q_0$ (m <sup>3</sup> /sec)	1.39/2.78	1.39/2.78	1.39/2.78	1.39/2.78
Water quality standard(mg/l)	2	2	2	2

## 5. 결론 및 제언

해양방류관의 설계와 배치에 따른 배출수의 거동에 관한 민감도 분석을 수치모델을 통하여 분석하였다. 계절적 효과 즉 밀도성층화 여부에 따른 근역의 거동은 큰 차이를 보인다. 본 실전에서는 선형적인 밀도분포값을 적용하였지만 수심이 커질수록 각 층에 따른 정확한 밀도분포의 적용이 필요하다

1)방류지점의 선정 및 배치는 플룸의 회석 및 혼합영역을 충분히 확보한다는 점에서 방류시스템의 가장 결정적인 제원이 되므로 경제적이면서도 목표 회석을 충족하는 지점을 선정해야한다.

다공확산관의 경우에는 방류공간의 간격 및 개수, 배치, 각도, 등이 회석을 조절할 수 있는 인자이며 확산관의 길이에 근거하여 이러한 인자들이 간섭을 발생시켜 플룸의 재순환을 유도한다는 점에서 시행착오법을 이용한 접근이 필요하다.

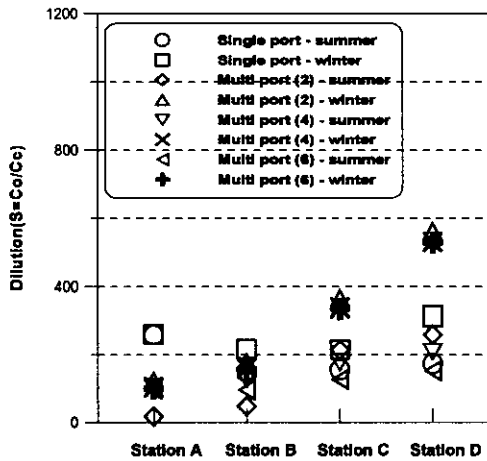


Fig. 9 Dilution variation in relation to port types

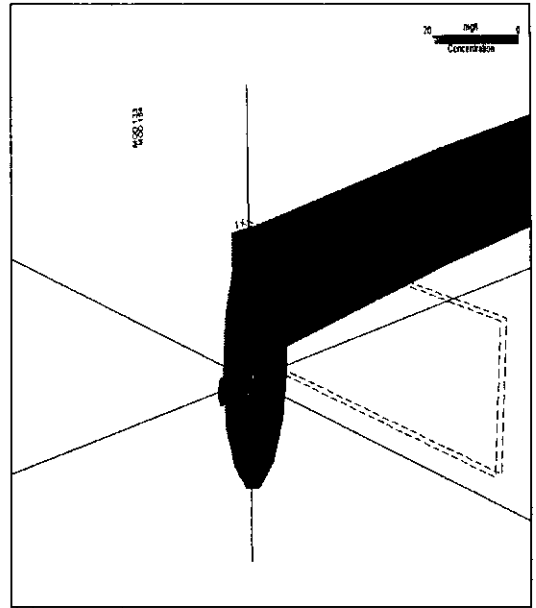


Fig. 10 Concentration distribution at N.F.R.(Station A, single port, summer)

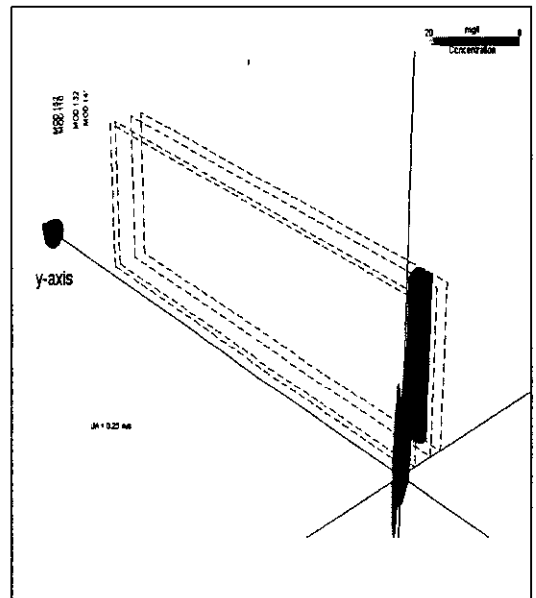


Fig. 11 Concentration distribution at N.F.R.(Station D, single port, winter)



2). 밀도 및 주변조류, 수심자료, 조석 등 방류시스템에 필요한 현장수리자료가 충분하지 못한 점은 보다 정확한 실험에 제약이 되었다. 방류공의 높이 및 방류공의 수평각도는 회석에 미치는 영향은 미약하지만 플룸이 해저면에 부착되는 경우 부착하는 정도를 줄이고 흐름의 안정성을 조절할 수 있는 인자로 나타난다.

국내방류관의 형태 및 배치, 규모 등은 거의 일률적이며 연안역 주변에 계획되고 있다. 해양방류에 대한 문제를 보다 외해로 끌어가는 연구를 통해 보다 합리적인 방류시스템의 설계에 대한 시도가 필요하다.

### 참고문헌

- 1) 김홍식 (1997), 수중다공확산관에 의한 온배수 혼합특성, 박사학위 논문, 서울대학교
- 2) 이재형, 서일원 (1997), 수중확산관에 의한 온배수 및 하수의 해양방류, 한국수자원학회, 제 30권 제 2호, pp. 17.
- 3) 권석재, 이종우 (1997), Plume Rise and Initial Dilution Determination Reflecting the Density Profile over Entire Water Column, 한국항만학회 제11권 제2호, pp215-230.
- 4) 권석재 (1997), Current and Long Wave Influenced Plume Rise and Initial Dilution Determination for Ocean Outfall, 한국항만학회 제11권 2호, pp231-240.
- 5) 정태성 (1992), 연안해수유동 및 온배수 확산에 관한 3차원 수치모형, 서울대학교 토목공학과 박사학위 논문.
- 6) Albertson, M.L., Dai, Y.B., Jensen, R.A. and Rouse, H. (1948), Diffusion of Submerged Jets. Trans. ASCE, Vol. 115, pp. 639~697.
- 7) Brooks, N.H. and Kor, R.C.Y. (1965), Discharge of Sewage Effluent from a Line Source into a Stratified Ocean. Eleventh International Congress, International Association for Hydraulic Research, Leningrad, Soviet Union.
- 8) Fischer, H.B., List, E.J., Imberger, J. and Brooks, N.H. (1979), Mixing in Inland and Coastal Waters. Chap. 9 and 10, Academic Press, N.Y.
- 9) Harleman, D.R.F., and Stolzenbach, K.D., (1972), Fluid Mechanics of Heat Disposal from Power Generation. Ann. Rev. Fluid Mech., 4, 7-32.
- 10) Koh, R.C.Y., and Brooks, N.H. (1975), Fluid Mechanics of Wastewater Disposal in the Ocean. Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 7, pp. 187-211.
- 11) Rawn, A.M., Bowerman, F.R. and Brooks, N.H., (1960), Diffusers for Disposal of sewage in Sea Water, Proc. ASCE, J. of San. Div., pp.65-106
- 12) Wood. I.R., Bell. R.G. and Wilkinson. D.L. (1993), Ocean disposal of wastewater. World Scientific.