

설계조건에 따른 단일 및 다공확산관에 방류되는 플룸 혹은 제트의 거동 예측

김 지 연¹⁾, 이 중 우²⁾

Predicting Plume or Jet Behavior discharged from single-port or multi-port diffuser under the various design condition

J. Y. Kim , J. W. Lee

Keywords : 수중 방류(Submerged Discharge), 해양방류(Ocean Discharge), CORMIX(CORNIX(Cornell Mixing Zone Expert System), 단일확산관(Single-port Diffuser), 다공확산관(Multi-port Diffuser), 방류시스템(Outfall System), 희석(Dilution), 혼합 특성(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.

Thus there have been growing interests about plume behaviour around the outfall Plume or Jet discharged from single-port or multi-port diffuser impacts seriously c environment. /

It has been applied it to the Pusan Jungang Effluent Outfall System, which is planne the Gamchun harbour and will be completed in 2011. The model output showed the variation of near-filed dilution and mixing behaviour for four temporary stations locate and deep water under 4 cases including flow rate difference and port scale differe variation of dilution, wastefield thickness and rise height have been simulated and foun dilution condition under the different displacement of outfall system. On the basis outputs it will be proposed the optimum outfall system type and location for Pusan Effluent Outfall System.

1) 한국해양대학교 대학원

2) 한국해양대학교 토목환경공학부

1. 서론

하수를 해양으로 방류하는 방법에는 여러 가지가 있으며 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 방법이므로 방류구 시스템의 조건 및 기하학적 형상에 따라 혼합 및 희석현상이 다양하게 변화하며 목표하는 희석효과를 능동적으로 조정할 수 있다는 장점이 있다.

일반적인 심해방류관의 수심이 70m 이상인 점을 감안할 때 우리의 동해안은 수중방류가 충분히 가능한 수심조건을 가지고 있으며, 따라서 국내실정에 맞는 다양한 해양방류관의 형상 및 배치에 대한 연구가 필요하다.

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(이 및 서, 1997).

이에 본 연구는 2011년 계획년도인 부산 감천항 하수처리장 인접해역을 처리수의 방류에 따른 영향권으로 하여 하수처리장에서 처리된 처리수의 해안선방류 및 수중방류에 있어서의 적절한 해저방류관의 형태 및 배치를 구해보고 이에 따른 방류수의 거동 및 주변환경에의 영향 등을 분석하고자 한다. 추후에 하수종말처리장 설계제안서 상의 기본자료로 활용할 수 있도록 하며 나아가 해양방류와 관련하여 해양환경의 보호에 유익한 대안을 제시하고자 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 지점부터이다(Fig. 1). 와류영역의 확장으로 주변수를 계속 연행하므로써 제트 중심부의 속도는 계속 감소하여 중심선의 최대유속은 초기 유속보다 작아진다. 두 영역간의 경계를 명확히 정의하기는 어려우며, 확립유체영역의 끝은 대략 중심선의 유속이 영이 되는 지점까지로 본다(Albertson et al. 1948).

Fig. 2는 난류제트의 부력효과, 밀도성층화, 조류효과, 주변난류, 제트간섭 등의 주변수 조건에 따른 플룸의 거동을 보여준다(Fan and Brooks, 1969).

오폐수의 수중방류시 부력제트는 밀도플루드수(식(5)), 속도율 $k = \frac{u_j}{u_a}$, 유량 플럭스율 $V = \frac{u_a H}{q}$, 방류각도 θ 등 네 가지의 무차원 수로 표현된다. 단 슬롯제트로 가면 수심이 무한대이므로 k , F , θ 로 함축되며 벽제트(wall jet)는 k 와 θ 로 표시된다(Cederwall, 1971). Fan(1967)은 k , F 로 희석률 및 제트궤적을 나누었다. 특히 F 를 통해 강제연행 및 유상(upstream)의 유무를 확인할 수 있다.

이를 근거로 원형부력 제트(round buoyant jet) 문제를 해석하면 속도는 다음과 같다.

$$U = U_m e^{-(r/b)^2} \quad (1)$$

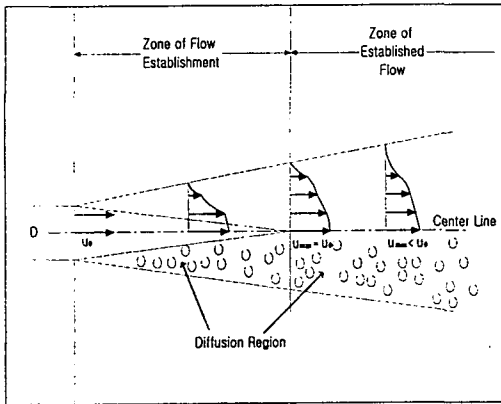


Fig. 1 Classification of zone of flow establishment and zone of established flow

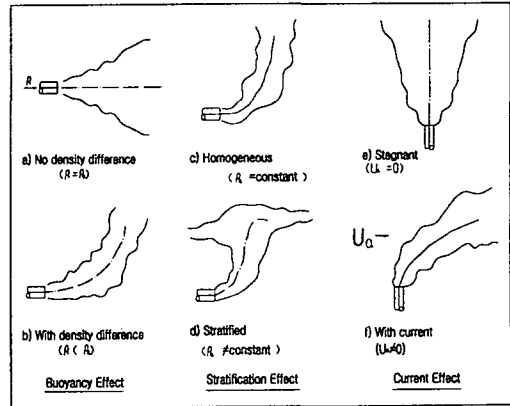


Fig. 2 Effects of the environmental conditions on the jet behavior

밀도 손실 및 농도는 아래와 같다.

$$\rho_a - \rho = (\rho_a - \rho_m) e^{-\frac{r}{\lambda b}} \quad (2)$$

$$C = C_m e^{-\left(\frac{r}{\lambda b}\right)^2} \quad (3)$$

여기서 r 는 단면분포의 특성길이이며 λ 은 원형제트의 난류 Schmidt 수로서 보통 1보다 조금 큰 값이다. Morton et al.(1956)에 의하면 제트의 유효폭(effective width)인 b 에서의 횡방향 유입유속, v_e 는 다음과 같다.

$$v_e = -\alpha U_m \quad (4)$$

여기서 연행계수는 실험을 통해, 다음과 같은 국부 프루드(Froude) 수, F_L 의 함수의 형태로 표현되는 것으로 알려져 있으며, 많은 연구자에 의해 연행계수를 구하기 위한 연구가 수행되고 있다(Albertson et al., 1950).

$$F_L = \frac{U_m}{\left(\frac{\rho_a - \rho_m}{\rho} gb\right)^{1/2}} \quad (5)$$

또한, Fox(1970)는 연직방향으로 방류시 연행계수를 식 (6)으로, Hirst(1971)는 Fox의 이론을 확장하여 일정한 각 θ 로 방류될 때의 연행계수를 식 (7)로 표현하였다. 일반적으로 원형제트의 경우에는 0.082이며 슬롯제

트는 0.16으로 한다.

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{\alpha_2(\lambda)}{F_L^2} \tag{6}$$

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{\alpha_2(\lambda)}{F_L^2} \sin \theta \tag{7}$$

여기서 λ 또한 원형제트인 경우에는 1.16이며, 슬롯제트의 경우에는 1.0 이다(Koh and Fan, 1970).

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.

$$u(x, y, z) = U(z) \frac{\exp(-y_b^2) \sum_{n=0}^{+\infty} \exp\left\{-\left(\frac{x_l + n}{b_l}\right)^2\right\}}{\sum_{n=0}^{+\infty} \exp\left\{-\left(\frac{n}{b}\right)^2\right\}} \tag{8}$$

여기서, $y_b = y/b$, $x_l = x/l$, $b_l = x/l$ 이며 n 은 방류공의 개수이다. 농도장의 유속분포는 식(3.18)에 b 대신 $b_l (= \lambda b)$ 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 보이거나 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.

2.3 근역혼합 및 회석의 특징

초기회석에 대한 정확한 예측은 방류관 모델의 실험에 있어서 가장 중요한 단계가 된다. 초기 회석은 다공확산관의 기하학적 형태, 방류 운동량 및 부력특성, 주변해저의 지형, 주변수의 유속 및 수심, 밀도성층화의 정도 등에 영향을 받는다. 방류된 제트는 주변수와의 유속차에 따른 전단난류확산으로 인해 주변수와의 연행을 야기하면서 제트의 폭은 증가되고 제트의 유속 및 농도는 감소된다.

3. 실험 및 분석

모델의 적용은 현실적 적용성을 넓히고 최적의 설계치를 구하기 위해 방류조건 및 확산관 조건에 대해 기존의 이론에 근거하여 다양한 경우의 수를 도입하였다.

본 연구의 대상지역인 부산 중앙하수처리장의 계획년도의 방류량과 방류수질기준 및 주변 해역의 자료는 부산시(1998a, 1998b) 등을 이용하였으며 확산관거에 대한 제원은 해양수산부(1997a, 1997b)와 국내의 해양방류관 및 세계의 해양방류관(Gunnerson & French, 1988)을 참조하였다.

여름과 겨울로 구분하여 주변의 밀도성층 조건을 구분하였고 주변수 속도 및 수심, 풍속 등은 방류관의 임의 설치지점(Station A, B, C, D)에 해당하는 값을 취한다. 임의 설치지점 중 Station A는 해안선 방류에 해당하며 Station B, C, D의 확산관까지의 근접거리는 단일확산관을 기준으로 각각 350m, 950m, 3000m 지점이며, 평균수심은 각각 15m, 24m, 30m이다(Fig. 3참조). 방류수 밀도는 $1,000\text{kg/m}^3$ 이며 방류량은 100% 가동시의 방류량인 $2.78\text{ m}^3/\text{sec}$, 50% 가동시의 방류량인 $1.39\text{ m}^3/\text{sec}$ 두 가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다.

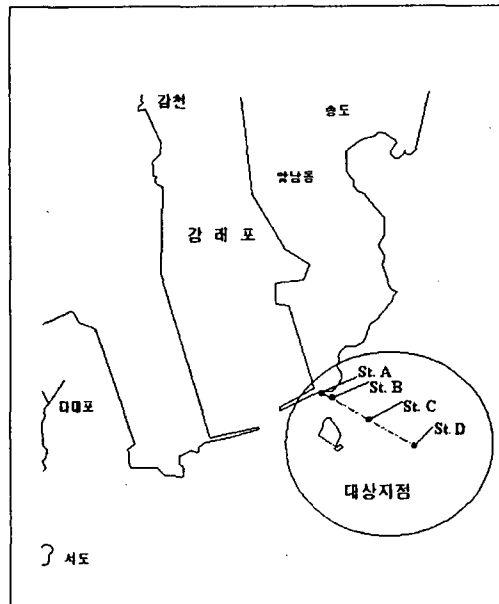


Fig. 3 Locations of Station A, B, C, D

확산관의 길이는 감천항의 방류량 규모인 $2.78\text{ m}^3/\text{sec}$ 과 유사한 $2.32\text{ m}^3/\text{sec}$ 규모의 마산·창원 하수처리장의 확산관 길이 210m에 준하여 200m로 하며(강, 1999), 모든 확산관은 수평방류를 원칙으로 하며, 다공확산관은 10개의 연직유도관(riser)에 20m 간격으로 연직유도관 각각에 대해 방류공(port)을 2개, 4개, 6개 등 세 가지 종류로 양방향 및 축방향 확산관의 형태로 부착하는 경우를 각각 계산하여 비교하였다.

단일확산관의 경우에(CORMIX 1) 방류공과 해저면과의 각도 θ 를 1(0°), 2(15°), 3(12°)으로 변화시켰으며, 또한 회석률이 크게 나오는 방류각 θ 를 기준으로 방류공과 주변조류와의 각 σ 를 4(70°),

Table 1. Summary of input data (CORMIX / 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, Staged diffuser	Alternating, Staged diffuser	Alternating, Staged diffuser	Alternating, Staged diffuser
Vertical angle of discharge θ (°)	0-15	0-15	0-15	0-15
Horizontal angle of discharge σ (°)	c1:50-90 c2:0-60	c1:50-90 c2:0-60	c1:50-90 c2:0-60	c1:50-90 c2:0-60
Alignment angle γ (°)	90	90	90	90
Relative orientation angle β (°)	0-60	0-60	0-60	0-60
Average diameter D_0 (m)	c1:0.8 c2:0.2	c1:0.8 c2:0.2	c1:0.8 c2:0.2	c1:0.8 c2:0.2
Port height h_0 (m)	0.8	0.8	0.8	0.8
Discharge flow rate q_0, Q_0 (m ³ /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(60°), 6(50°)으로 변화시켰다. 다공확산관의 경우에는 방류공의 개수가 증가하므로 보다 다양한 확산관 조건이 발생한다. 하나의 연직유도관에 대한 방류공의 개수는 2/4/6의 경우를 도입하였으며 방류공의 간격은 식 (3.1)에 근거하여 200m 확산관의 최대간격을 확보하는 6개와 11개의 연직유도관을 부착하는 것으로 하여 각각의 경우에 대해 수평방류각 θ 를 1(0°), 2(15°), 3(12°)으로 변화시켰으며, 회석률이 크게 나오는 방류각 θ 를 기준으로 조류와 확산관 사이의 각 γ 를 30° , 45° , 60° , 확산관과 방류공 사이의 각 β 를 60° , 45° , 30° 로 변화시켰다. 이는 유량별, 방류량별로 각각 총 20가지의 확산관 조건을 만들어낸다. 기본 입력 데이터는 Tabel 1과 같다.

각 Station 별로 확산관 조건에 따른 회석률, 회석의 변화, 플룸 궤적에 따른 두께와 폭 등의 형상, 플룸의 상승고, 근역혼합구역까지의 거리 등의 근역혼합특성을 파악하였다.

1) 단일확산관

모든 경우의 회석률이 하수확산관의 회석률 기준인 100을 만족하지 못한다. 하수장의 반폭 (half-width)이 최소 80.5m(유량 2.78 m³/sec, design Case 5)에서 최대 699.09m로 플룸이 거의 수면에서 포착(trapping)하는 점을 감안할 때(Fig. 4(a)) 항만의 관점에서 시각적으로도 대단히 불량하다.

σ 의 변화가 회석률에 미치는 영향은 미미하며 하수장의 형태, 즉 하수장의 반폭과 두께에는 영향을 크게 미친다. 방류지점으로부터 부력확장이 시작되는 지점까지의 거리가 여름에는 116.42m, 겨울에는 133.19m까지 광범위하게 이어지며 근역이 끝나는 지점의 회석률도 50 미만이다.

밀도성층화의 효과를 확인할 수 있는 계절적 차이는 거의 없으며 이는 수심 자체가 얕아서 하수장의 층이 얇아지므로 인해 성층화의 영향이 나타나지 않는 것이다. 관로의 세굴 등을 유발하는 하상부착의 가능성을 줄이기 위해 해저면으로부터 방류공까지의 높이, 연직유도관의 길이, 수평 방류각도 등을 크게 할 필요가 있다. 또한 방류관의 직교배치각을 $90 \sim 270^\circ$ 로 넓혀서 횡흐름설계(crossflow design)에 의한 주변조류의 효과를 증가시킬 수 있다.

방류공의 직경은 방류유속과 반비례하며 방류공의 직경을 감소시켜 방류유속을 증가시키므로서 회석 효과를 증대할 수는 있으나 이는 흐름의 불안정을 초래할 수도 있다.

Station B, Station C, Station D 등에서도 해안선방류(Coastline discharge)에 비해 두드러진 회석률의 변화가 나타나지 않으며 유량 및 계절에 따른 회석의 차이도 미미하다(Fig. 6(a),(b)).

가장 외해에 위치한 Station D의 경우에는 방류지점에서 근역혼합이 끝나는 지점까지의 거리가 여름 50.59m, 겨울 약 37.5m로 Station A에 비해 크게 감소하여 근역혼합역이 줄어들었으며 이는 단일확산관의 경우에 방류수심의 증가가 회석률의 증감보다는 하수장의 형태를 변화시키는 데 영향을 줌을 뜻한다(Fig. 4(b)).

모든 Station에서 플룸의 상승고가 수면 가까이에 이르며 지점별 플룸의 형상을 고려할 때 같은 회석률이라도 방류지점이 외해로 나갈수록 시각적으로 드러나는 플룸의 규모가 감소한다. 즉 단일확산관의 경우에 방류지점을 외해로 옮기면 회석효과는 기대할 수 없지만 수면 가까이 드러나는 시각적인 오염은 크게 줄일 수 있다. 그러나 오폐수 방류시 회석수준에 못 미치는 점을 감안할 때 단일확산관은 수심에 관계없이 부적절한 방류형태이며 목표회석을 달성하기 위해서는 다공확산관에 의한 방류방식을 채택해야 한다.

2) 다공확산관

다공확산관은 방류공의 수 및 배치형태가 증가함에 따라 20가지의 Case가 있으며 단일확산관에 비해 복잡한 회석률 변화를 보이며(Fig. 6(c), (d)) 여름보다는 겨울에 Station 별 회석률이 더 크게 분포하며 전체적으로 단일확산관에 비해 회석률이 크게 증가하고 있다. Station에 따라 회석률이 최고인 확산관 조건이 다르며 확산관 조건, 즉 Case에 따라 회석률의 증가분이 100 내외로 다공확산관에서 확산관의 기하학적 형상이 미치는 영향을 보여준다.

Station A, B는 일부지점에서 회석률이 100 미만인 지점이 있으며 Station C, D는 대부분의 경우에 회석률이 100 이상이다. 이를 Station 별로 파악하면 다음과 같다.

a) Station A

해안선 방류인 Station A는 흐름이 안정적인 Case 17-20일 때 여름의 회석률이 100 이상이며 겨울에는 근역 흐름이 불안정하게 나타난다. 방류각도, θ 가 회석에 미치는 영향이 크게 나타나는데 이는 수심이 얕아서 하수장의 층 자체가 얕으므로 인해 방류지점 부근의 난류가 더 폭넓게 형성되기 때문이다. 이것은 방류량에 따른 회석의 변화에도 영향을 미치며 하수장이 충분히 성장할 수 있는 수심이 충분하지 않으므로 인해 방류속도에 의한 운동량이 약하게 작용하는 결과이다. 모든 경우에 수평방류의 회석률이

가장 적게 나타나며 β 와 θ 의 경우에는 방류공의 개수 및 배치형태, 유량, 계절에 따라 최고회석률을 보이는 방류각에 차이가 있다(Fig. 5).

비교적 큰 회석률을 보이는 유량 $2.78 \text{ m}^3/\text{sec}$, Case 18의 경우에 여름에는 방류공으로부터의 거리가 약 28m에서 근역 혼합이 종료되며(Fig. 7(a)) 이때의 회석률은 135.2이다. 이때 단일방류공의 프루드수는 12.28이며 일정거리를 지나 병합되면서 2차원 슬롯제트가 되면 프루드수가 73.2로 된다. 흐름의 유형은 MS1이며 이는 주변수 밀도 성층화에 크게 영향을 받는 흐름이며 하수장이 무겁게 가라앉는 형태로 부력이 약하게 작용한다. 하수장의 두께가 11.3m, 플룸의 상승고가 12.37m로 거의 수심 전체에서 수직혼합이 발생하며(Fig. 9(a)), 하수장의 폭반(half-width)은 138.56m로 크게 나타난다. 이러한 완전수직혼합은 원역으로 가셔도 전혀 개선되지 않으며, 해안선 방류가 항만의 생태계에 얼마나 광범위하게 큰 영향을 줄 수 있음을 예측하게 한다. 일부 Case에서 회석률은 만족하지만 해수면에 나타나는 플룸의 규모를 고려할 때 방류수심을 외해로 옮길 필요가 있다.

겨울의 경우에는 흐름의 불안정으로 인해 근역의 경계가 모호하며(Fig. 9(b)), 해저면과 해수면의 밀도가 균질하므로 인해 방류직후 조류의 영향을 크게 받아 플룸이 휘어지며 방류구 주변에서 유상(upstream)이 발생한다. 즉 흐름의 불안정으로 인해(Fig. 7(b)) 근역에서 재혼합, 재성층화, 하상부착 등이 발생한다. 다공확산관의 경우 수심이 충분히 확보되지 않으므로 인해 방류공 간의 방류수가 재혼합 혹은 간섭의 영향을 더욱더 가중시키는 결과이다. 확산관의 길이에 대한 제고가 필요하다.

b) Station B

해안선방류(coastline discharge)에 비해 회석률이 전체적으로 증가하였으며 하수장의 폭도 Station A에 비해 크게 감소하였다.

근역의 범위는 Station A보다 좀더 외해 쪽인 38m 정도에 위치하며 하수장의 폭반(half-width)은 Station A에 비해 절반 가까이 감소하였다.

겨울에는 단일방류공의 프루드 수는 11.03이며 이후 2차원 슬롯제트에서는 프루드 수가 65.57이며 Station A와 마찬가지로 흐름의 유형은 MU6이다. 흐름의 불안정으로 인해 근역의 경계가 모호하며, 근역에서 재혼합, 재성층화, 하상부착 등을 유발하는 유상(upstream)이 발생한다. 방류구 주변의 회석률은 Station A의 60 정도에 비해 100 정도로 강하게 나타나지만 방류지점으로부터 71.5m 이후에는 흐름의 불안정으로 인해 회석을 신뢰할 수 없다.

c) Station C

이 지점에서는 여름과 겨울의 회석률의 차이가 크게 나타나며 근역경계에서의 회석률은 여름에 비해 겨울의 경우가 두 배 가까이 크게 나타난다. 또한 Station B에 비해 회석률이 200 정도 증가하며 하수장의 폭은 Station B의 결과와 비슷하다. 그러나 유량 $2.78 \text{ m}^3/\text{sec}$, 여름의 경우에 방류각에 따른 플룸의 두께는 거의 변화하지 않는다. 이는 확산관의 기하학적 형상에 따른 회석의 효과, 즉 방류속도에 따른 난류성분이 수심의 증가에 의해 주변조류에 비하여 약하게 작용함을 의미한다. 플룸의 상승고는 14.86m로 거의 수중에 포착되어 해수면에 드러나지 않는다. Station B과 비교할 때 하수장의 폭에 비해 하수장의 두께는 적게 나타난다.

겨울의 경우에는 유하(downstream) 거리가 Station B의 71.05m에 비해 더 길어졌으며 회석률도 2배 이상 증가한다. 하수장의 폭은 변화가 없으나 수심이 증가에 따른 하수장의 두께 변화(9m 증가)로 회석이 증가한다. 또한 근역의 불안정으로 인해 유상(upstream)이 발생하고 있다. 이 지점은 Station A, B에

비해 회석률은 충분하지만 흐름의 불안정성을 개선하기 위해 확산관 설계상의 개선을 필요로 한다. 일반적으로 흐름의 불안정성을 개선하는 방법으로 방류공의 간격을 늘이면서 축방향 확산관(staged diffuser)으로 배치하는 방법이 권유되는데 방류공 사이의 간격, 배치각도 등을 개선하여 방류공 주변의 흐름장을 변화시키므로써 근역플룸이 수면보다 더 아래에 포착할 기회를 줄 것이다. 대부분의 경우에 나타나듯이 겨울에 수면에 포착되는 영향을 줄이려면 방류공 주변에서의 적절한 모의가 중요하다.

d) Station D

여름과 겨울의 회석률의 차이가 분명히 나타나며 특히 유량이 적은 경우에 그 차이가 크게 나타난다. Station A, B, C에 비하여 하수장의 폭은 점차 감소하며 이는 방류지점이 외해에 위치할수록 플룸이 해수면에 드러나는 시각적 오염을 개선할 수 있음을 의미한다.

여름에는 거의 하수장이 수심의 절반 정도에서 포착되는 형태이며 하수장의 두께는 겨울에 가장 크게 나타난다(Fig. 5(b)). θ 즉 수평방류각 및 σ , β 의 변화에 따른 회석의 차이는 Station A, B에 비해 적으며, 이는 수심이 깊어질수록 확산관 조건이 회석에 미치는 영향이 약해짐을 의미한다.

유량 $2,78 \text{ m}^3/\text{sec}$, Case 18의 경우에 흐름의 유형은 Station C와 같은 MS5이며 플룸형태의 흐름이 평형영역까지 지배적이다. 근역회석의 효과는 방류지점으로부터의 거리 36.02m까지 거의 이루어지며 이때 회석률이 186.57로 하수장 회석기준을 만족한다. 부력확장이 이어지면서 즉 MOD235 - MOD424 사이의 구간에서 회석이 급격히 증가하여 원역으로 이어진다(Fig. 8).

단면 2차원에서 나타나듯이 강한 조류의 영향을 받아서 유하방향으로 휘어지고 있으며 큰 프루드수에 따라 하수장에 중력이 작용하여 가라앉는 형태를 보인다(Fig. 10(a)). 플룸의 상승고는 13.41m로 외해로 갈수록 점차 수중에 더 포착되므로 Station C에 비해 회석률이 크게 증가하지는 않으며 하수장의 규모도 거의 비슷하다.

겨울의 경우에는 흐름이 불안정하여 방류지점으로부터의 거리 146.5m에서의 회석률은 여름에 비해 2배 이상 증가한 529.5이지만 이후부터는 흐름의 불안정으로 인해 평형영역이 존재하지 않고 부력확장이 끝날 때까지의 회석률이 모호하다. 하수장의 폭은 Station C에 비해 거의 증가하지 않으나 플룸의 두께가 수심전체에 걸쳐 형성되므로써 완전수직혼합의 양상을 보이거나 이러한 현상은 점차 원역으로 가면서 개선된다.

이상으로 심해로 갈수록 회석률은 증가되지만 확산관 및 방류관의 배치 및 설계가 적절하지 않다면 수심의 확보가 회석률에는 긍정적인 영향은 주지만 결코 흐름의 안정성과 공존할 수 없다는 것을 알 수 있다.

Station B, C에 비해 다공확산관의 긍정적 회석효과, 즉 회석률은 증가하지만 하수장 규모는 더 이상 증가하지 않는 현상이 나타나고 있으며 이는 심해로 갈수록 방류관 설계시 다공확산관이 더 효과적임을 의미한다

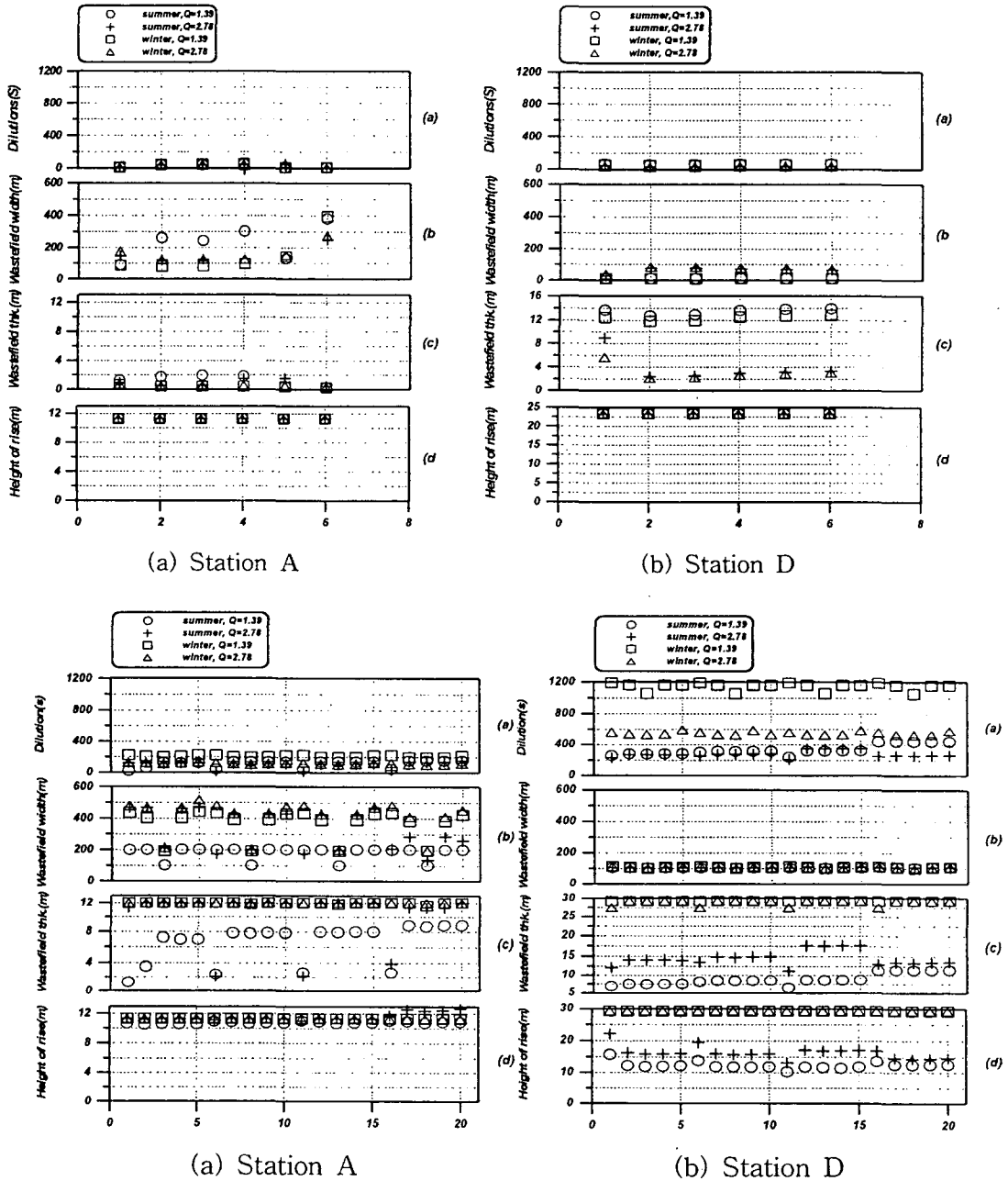


Fig. 4 Dilution, wastefield width, wastefield thickness, height of rise computed by CORMIX1 according to the design Case 1~6 for Station A, D

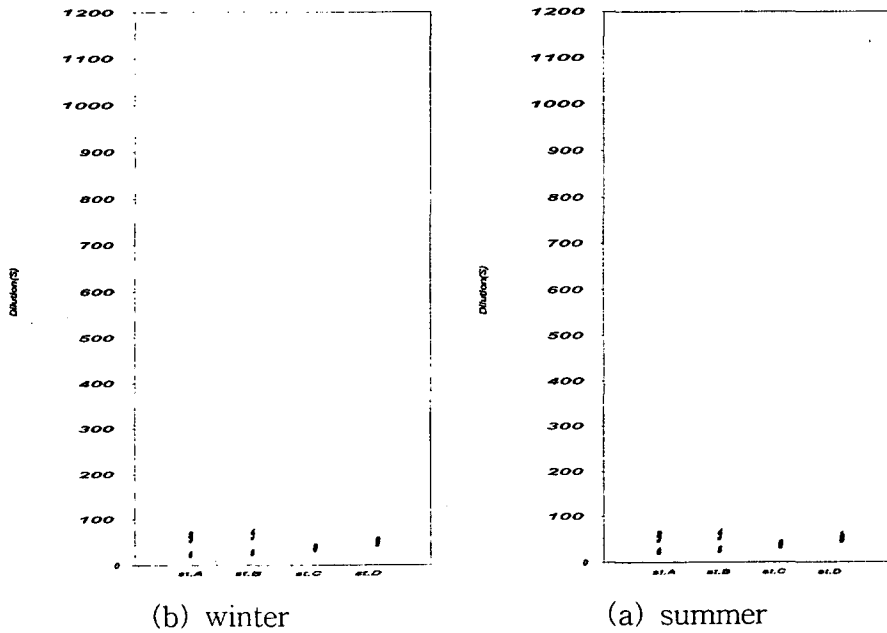


Fig. 5 Dilution, wastefield width, wastefield thickness, height of rise computed by CORMIX2 according to the design Case 1~20 for Station A, D

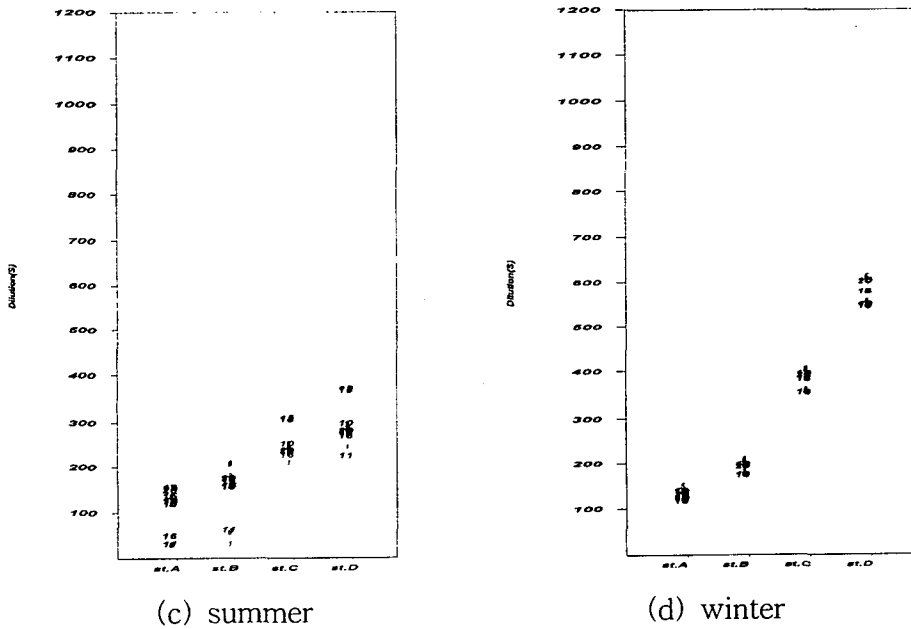
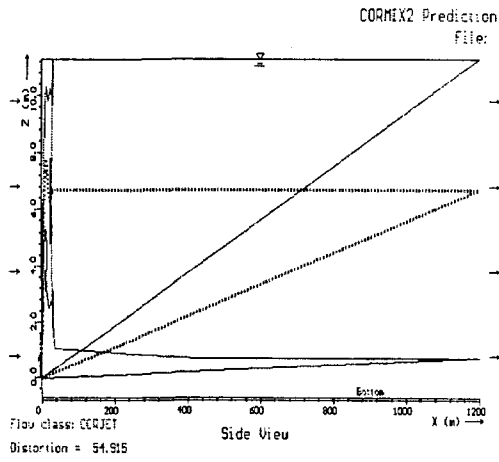
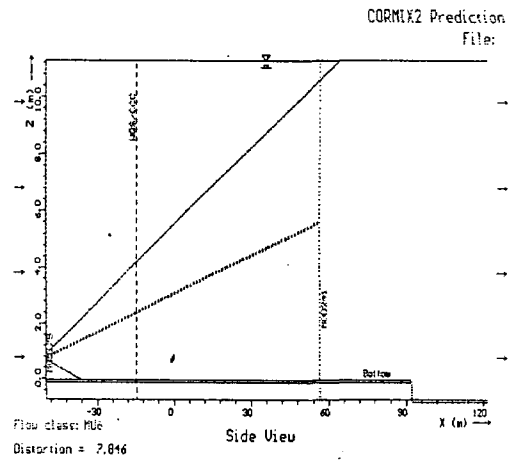


Fig. 6 Dilution distribution in relation to Station for CORMIX1((a),(b)),CORMIX2((c),(d)), $Q=2.78 \text{ m}^3/\text{sec}$

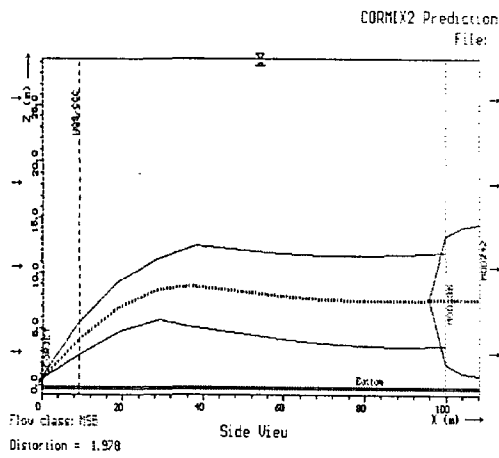


(a) summer

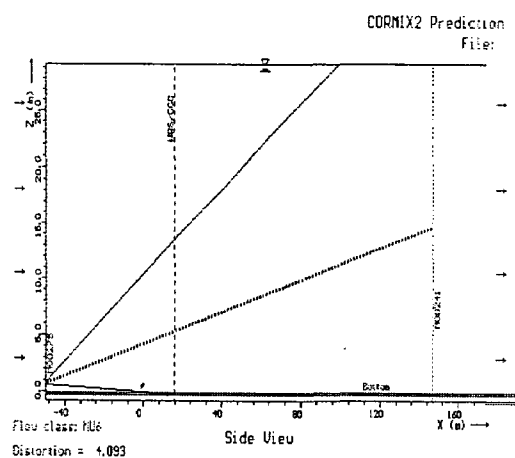


(b) winter

Fig. 7 Output diagrams of CORMIX2 (Station A, Case 18)

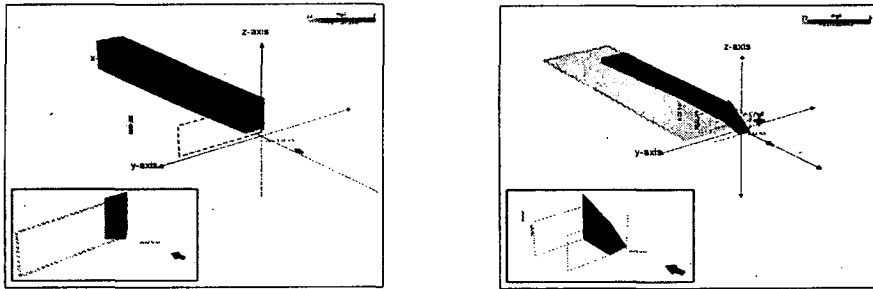


(a) summer



(b) winter

Fig. 8 Output diagrams of CORMIX2 (Station D, Case 18)



(a) summer

(b) winter

Fig. 9 3-dimensional plume behavior at N.F.R of CORMIX2 (Station A, Case 18)

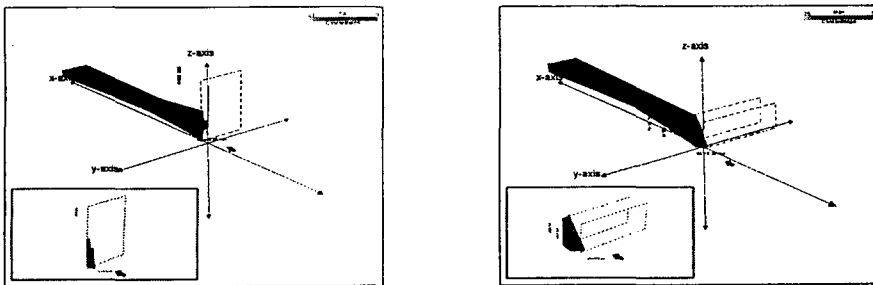


Fig. 10 3-dimensional plume behavior at N.F.R of CORMIX2 (Station D, Case 18)

4. 결론 및 제언

본 연구는 부산하수처리장 건설 사업계획을 대상으로 해양방류시 하수확산관을 통해 형성되는 플룸 혹은 제트의 거동을 파악하고 방류관 주변의 근역회석을 최대화하여 수질오염을 최소화하는 최적의 해양방류관 설계를 목표로 하였다.

단일확산관은 모든 임의설치점에서 회석률이 하수관의 회석률 기준인 100 미만으로 본 연구의 모델로 사용한 부산중앙하수처리장의 2011년도 계획방류량에는 부적절한 확산관 형태이다. 단일확산관의 결과는 다공확산관에서 단일 방류공의 개별적인 거동을 추적하는데 사용될 수 있다.

다공확산관의 경우에는 해안선방류 혹은 해안선에 인접한 방류(Station A, Station B)는 회석률의 관점에서 뿐아니라 수직적, 수평적으로 광범위하게 플룸이 형성되므로 인해 연안의 생태계에 큰 영향을 미친다는 점에서 불합리한 방류지점이다. 해안선에서 각각 1km, 3km 떨어진 방류지점(Station C, Station D)에서는 대부분의 경우에 회석률이 100 이상으로 법적기준을 충족하고 근역 및 원역에서의 플

름이 안정적이고 적은 규모로 나타난다. 겨울의 경우에 밀도가 거의 균질하므로 인한 흐름의 불안정 양상은 방류공 사이의 간격, 방류각도 등 방류관의 기하학적 형상을 변경하여 방류공 주변의 흐름장을 변화시켜서 근역플룸이 수면보다 더 아래에 포착할 기회를 주는 것이 필요하다.

밀도성층화가 근역회석 및 혼합에 미치는 큰 영향을 고려할 때 보다 현실적인 밀도값의 적용이 중요하다. 밀도 및 주변조류, 수심자료, 조석 등 방류시스템에 필요한 현장수리자료가 충분하지 못한 점은 보다 정확한 실험에 제약이 되었다.

근해의 오염은 더 이상 간과될 수 없을 정도로 심각하며 연안생태계의 보호라는 측면에서도 심해방류는 필요하다. 동해안의 경우에는 수중방류에 필요한 수심이 확보되므로 다양한 방류관의 기하학적 변화를 통해 오페수의 회석을 도모할 수 있다. 한편 수중방류시 해양의 자정 범위를 벗어나서 축적되는 오염물의 해저면 생태계에 대한 연구는 아직 국내외적으로 미진하다. 일본 등에서 심층개발을 통해 이러한 문제가 야기되고 있으며 수중 혹은 심층방류의 방안에 대한 연구와 더불어 이러한 측면에서의 연구도 병행되어야 하겠다.

참고문헌

- [1] 강시환, 유승협, 오병철 (1999b), 마산·창원하수종말 처리장의 해양방류처리수에 대한 초기·근역 회석연구 (I), Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering Vol.2, No.2, pp. 60~69.
- [2] 부산광역시 (1998a), 동부산권 항만 및 공유수면매립 기본계획 수치시물레이션 결과
- [3] Albertson, M.L., Dai, Y.B., Jensen, R.A. and Rouse, H. (1948), Diffusion of Submerged Jets. Trans. ASCE, Vol. 115, pp. 639~697.
- [4] Cederwall, K. (1971), Buoyant slot jets into stagnant or flowing environments. W.M.Keck Lab. for water resources and hydraulics, California institute of technology, Pasadena, California, report no. KHR-25.
- [5] Fan, L.N. (1967), Turbulent buoyant jets into stratified or flowing ambient fluids, W. M. Keck Lab. of Hydr. and Water resources, California institute of technology, Pasadena, California, report no. KHR-15.
- [6] Fox(1970)1. Fox, D. (1970), Forced Plume in a Stratified Fluid., Journal of Geophysical Research, Vol. 75, No. 33, pp.6818~6835.
- [7] Wood. I.R., Bell. R.G. and Wilkinson. D.L.(1993), Ocean disposal of wastewater. World Scientific.