Journal of Port and Harbor Research. RIPAH
Korea Maritime University Vol. 10. pp. 129~139. 1999.

論 文

도시 하수의 해양방류 및 근역혼합특성 분석

김 강 민* · 김 지 연* · 이 중 우**

Analysis of Ocean Discharges of Municipal Water and its Near-Field Mixing Characteristics

*K. M. Kim** · *J. Y. Kim** · *J. W. Lee***

Key Words : 해양 방류(Ocean discharges), 코넬혼합역전문가시스템(CORMIX, Cornell Mixing Zone Expert System), 희석(Dilution), 혼합특성(Mixing characteristic), 방류시스템(Outfall system), 근역(Near-field region)

Abstract

Due to the growth of population and industrial development at the coastal cities, there have been much increase in necessity to effective disposal of the wastewater. The amount of municipal water has been increased rapidly and it is necessary to treat and dispose the wastewater effectively. The recent trend, in terms of disposal of it, is discharge through diffusers into the ocean, either at the coastline or at the deep water, or between these two.

For this end, we need to predict near-field characteristics of discharged water. We adopted CORMIX model for the analysis of the near-field behavior of discharged water and made certain comparison with the existing experimental results.

We found the early dilution is important, especially for the numerical simulation by a depth averaged hydrodynamic model of diffusion mechanism at the existing flow field.

We also applied it to the Pusan Jungang Effluent Outfall System, which is planned to be in the Gamchun harbour and will be completed in 2011. The model output showed the trajectoral variation of dilution and mixing behavior for three cases of outfall system. Dilution differences have been simulated and found the highest dilution condition under the different displacement of outfall system. On the basis of these outputs it will be proposed the optimum outfall system type and location.

Through the case study, dilution is dependent on the discharge depth, the ambient velocity and total flow rate. This approach might contribute to deal with serious water quality problems caused by the ocean discharge.

* 한국해양대학교 대학원 토목환경공학과
** 한국해양대학교 토목환경공학부 교수

1. 서 론

1.1 연구배경

무분별하게 진행되고 있는 연안역 및 항만의 개발로 인해 해수유통구간이 좁아져 선박 및 해상에서 투기되는 제반 오염물질과 함께 도시하수의 최종착지인 이들 해역을 그냥 방관만 할 경우에는 다시 살릴 수 없는 폐수의 장으로 전락하고 말 것이다. 이와 같이 바다를 끼고 있는 천혜의 해양국가에서는 연안역 개발시 지속적인 수질의 유지를 위해서 합리적인 방류방안에 대한 모색이 시급하다. 이러한 관점에서 하 · 폐수의 해양방류 처리는 방류수역의 주변환경특성을 이용하여 방류초기에 방류수를 최대로 희석 · 분산시켜서 고농도 오염물질로 인한 악영향을 최소화시키는 것을 그 목적으로 한다(이, 1999).

본 연구에서는 도시 하수 처리방안의 하나인 하수 확산관을 통한 도시 하수방류의 초기 희석과 오염물 거동에 관한 하수의 혼합특성을 하수종말처리장 계획지점을 대상으로 하여 예측하고 장래 설치후 운영시 그 주변 해역에 미치는 환경영향을 검토하고자 한다. 또한 본 연구의 결과는 광역 2차원 수심평균 유동장에서의 확산모델에 도입하여 보다 현실적인 거동을 파악하는데 이용할 수 있을 것이다.

1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구의 목적은 현재 계획중인 하수 처리장의 방류자료를 토대로 하여 현재 주변해역과 방류 시스템(outfall system)의 조건 등을 모형에 적용하여 이를 적용하여 현황을 파악한 후, 이를 통해, 수중 방류시 확산인자별 중요도를 파악하여 하수 확산관 설계시 기초자료를 제공하는 것이다.

본 연구에서 적용할 모델은 미국 환경청(U.S. EPA)에서 제공되는 근역혼합모델인 CORMIX모델이다. CORMIX모델은 미국 환경청의 지원을 받아 미국 Cornell 대학에서 개발한 길이축척 모델(Akar & Jirka, 1991)이다. 이 모델은 오염물질과 독성 오염물질의 초기혼합 및 희석과정을 모의하도록 개발된 전문가시스템(Expert system)으로 3개의 부프로그램으로 이루어져 있다. CORMIX 1, 2, 3는 각각 수중단일확산관, 수중다공확산관, 표층방류에 의해 방류되는 오염물질의 초기혼합과 희석을 모의하는 프로그램이다(Jirka 등, 1996).

2. 기초이론

2.1 단일제트 이론

단일제트(single jet)가 수중에 방류될 때 주변수와의 밀도차, 온도차 등에 의해 부력효과를 받는 경우는 부력제트(buoyant jet or forced plume), 주변수체와 부력의 차이가 없는 경우는 완전제트(pure jet)라 한다. 원형부력제트(round buoyant jet)의 개념도는 Fig. 1과 같다.

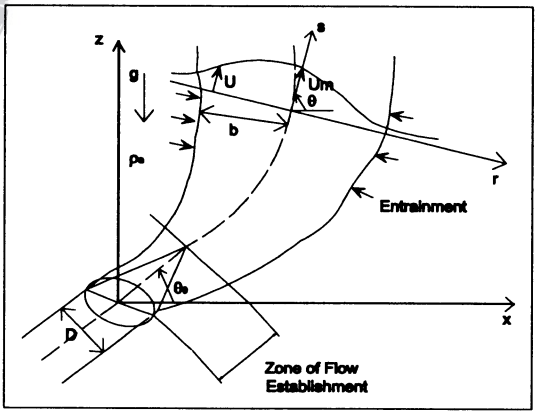

Fig. 1 Schematics of a round buoyant jet

일반적으로 초기흐름확립구간(initial zone of flow establishment)이후에는 제트의 궤적이 자기상사성을 갖는 것으로 알려져 있다.

실험적인 자료에 따르면 속도, 밀도손실(온도), 질량의 분포가 다음 식과 같이 Gaussian분포를 가진다.

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

Collection @ hhu

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

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

여기서, U 는 종방향 유속, U_m 은 제트의 궤적중앙에서의 종방향유속, b 는 제트의 유효폭, ρ_a 는 주변수의 밀도, ρ, ρ_m 은 제트의 밀도 및 제트의 궤적 중앙에서의 밀도, λ 는 유속과 질량 사이의 퍼짐율(spreading ratio), C, C_m 은 방류물질의 농도 및 제트의 궤적 중앙에서의 농도이다. 퍼짐율, λ 는 실험결과 1이상의 값을 갖는 것으로 알려져 있다(Fischer 등, 1979).

종방향에 대한 체적플럭스(volume flux)는 다음과 같다.

$$Q = 2\pi \int_0^\infty U dr = \pi U_m b^2 \quad (4)$$

Morton 등(1956)은 제트의 유효폭인 b 에서의 횡방향의 유입유속 v_e는 제트 중앙에서의 평균유속 U_m과는 $v_e = -\alpha U_m$와 같은 관계가 있다는 가정을 도입하였다. 가정한 식에서 α 는 연행계수(entrainment coefficient)라 한다. 종방향을 따르는 체적플럭스의 변화율은 다음과 같다.

$$\frac{dQ}{ds} = 2\pi b \alpha U_m \quad (5)$$

연행계수는 실험을 통해 얻어지는데, 국부적인 Froude수, F_L의 함수의 형태로 표현된다. 많은 연구자에 의해 연행계수에 대한 연구가 수행되었다(Albertson 등, 1950 & Hirst, 1971).

$$F_L = \frac{U_m}{\left(\frac{\rho_a - \rho_m}{\rho} g b\right)^{1/2}} \quad (6)$$

또한, Fox(1970)는 연직방향으로 방류시 연행계수를 식 (7)로, Hirst(1971)는 Fox의 이론을 확장하여 일정한 각으로 방류할 때의 연행계수를 식 (8)로 표현하였다.

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{\alpha_2[\lambda]}{F_L^2} \quad (7)$$

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{\alpha_2[\lambda]}{F_L^2} \sin\theta \quad (8)$$

여기서, θ 는 제트의 궤적이 수평면과 이루는 각이고, α_1 은 완전제트인 경우의 연행계수이며, α_2 는 퍼짐율의 함수형태가 된다(Fischer 등, 1979 & Wood 등, 1993).

2.2 다공제트 이론

방류공의 직경 D, 초기방류유속 U_o, 방류공간의 간격이 l 인 다공확산관의 경우에 초기방류지점에서 일정거리까지 각각의 방류공에서 방류되는 제트는 독립적인 원형제트의 거동을 보이나 그 이후에서는 제트들이 병합하면서 제트간의 상호간섭이 발생하게 되는데 이 구간을 천이구간(transition zone)이라 한다. 천이구간의 외곽부터는 슬롯제트(slot jet)와 같은 거동을 보이게 된다. 무한수체에 방류되는 원형제트의 경우에 유속분포는 축방향대칭을 이루는 Gaussian분포를 가지게 된다(Wood등, 1993).

$$u(x, y, z) = U(z) \frac{\exp(-y^2/b) \sum_{-\infty}^{+\infty} \exp\left\{-\left(\frac{b_l + n}{b_l}\right)^2\right\}}{\sum_{-\infty}^{+\infty} \exp\left\{-\left(\frac{n}{b}\right)^2\right\}} \quad (9)$$

여기서, $y_b = y/b$, $x_l = x/l$, $b_l = x/l$ 이며 n은 방류공의 수이다.

농도장의 유속분포는 식 (9)에 b 대신 $b_T (= \lambda b)$ 를 대입하는 식으로 표현된다. 퍼짐율의 값은 원형제트에서는 1.07의 값을 가지며 2차원 슬롯제트에서는 1.35의 값을 가진다(Wood 등, 1993). 이는 제트가 천이구간에서 병합되면서 점차 퍼짐율이 증가하게 됨을 의미한다. 또한, 다음과 같은 특성을 가지고 있는 것으로 평가되고 있다.

dCollection @ hhu

① $b/l \ll 1$: 원형제트로 축방향 대칭의 유속분포
② $b/l \gg 1$: 슬롯제트와 같은 2차원 유속분포

일반적으로 방류공에서 떨어진 거리와 b 는 선형관계를 가지는데 그 비례상수를 퍼짐상수(spread constant)라 하며, 이는 원형제트와 슬롯제트에서 다른 값을 가지는 식으로 알려져 있다(Wood 등, 1993). 다공확산관에서의 유속분포를 나타내는 식 (9)를 이용하여 임의 단면에서의 하나의 방류공이 차지하는 체적플럭스, q 를 표현하면 다음과 같다.

$$q = \int_A u(x,y,z)dA = I_q U(z) bl \tag{10}$$

2.3 등슬롯확산관 이론

천이구역 이후부터는 해석의 용이함을 위해서 다공확산관을 등슬롯확산관(equivalent slot diffuser)의 형태로 해석하는 경우가 많은데, 이때 단위길이당 동일한 방류량과 운동량플럭스를 가지는 등슬롯확산관의 폭 B 는 다음과 같이 정의된다.

$$B = \frac{\pi D^2}{4l} \tag{11}$$

등슬롯확산관 개념의 도입근거는 Cederwall (1971)의 실험결과 식(12)와 같은 관계를 가진다고 하였다.

$$R = \frac{dilution\ of\ the\ multiport\ diffuser}{dilution\ of\ the\ equivalent\ slot\ diffuser} = 0.95 \tag{12}$$

또한 완전플룸(plume)의 경우는 R 이 0.78임을 밝혔다. 수중다공확산관을 이용한 방류시 희석률을 구하기 위하여 사용하는 주된 변수중의 하나로 방류량의 관성력과 부력의 비로 정의되는 밀도프루드수(densimetric Froude number)가 있는데 식(13)과 같으며, 등슬롯확산관의 개념을 사용할 경우의 밀도프루드수는 식(14)와 같다.

$$F_n = \frac{U_0}{\left(\frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a} gD\right)^{1/2}} \tag{13}$$

$$F_s = \frac{U_0}{\left(\frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a} gB\right)^{1/2}} \tag{14}$$

2.4 근역혼합과정

일반적으로 오염물 플룸의 해석시 하수장이 형성되는 단계인 근역(Near-Field Region, N.F.R.)과 잔류부력에 의한 횡방향 부력확장을 하는 단계인 중간역(Intermediate zone)을 거쳐 하수의 이류 및 수동확산의 단계인 원역(Far Field Region, F.F.R.)으로 구분한다. 본 연구에서 논의할 근역에서의 하수 거동에 관한 혼합특성은 다음의 Fig. 2로 정의할 수 있으며 운동량(momentum)이 지배적인 제트영역, 천이영역(transition region), 부력(buoyancy)이 지배적인 플룸영역 등 세 부분으로 나눌 수 있다.

일반적으로 근역에서의 혼합거동은 확산관의 형태, 해저지형, 제트의 부력 및 방류특성에 의해 영향을 받는다. 희석률의 결정은 흐름의 안정성 여부가 중요한 인자가 된다.

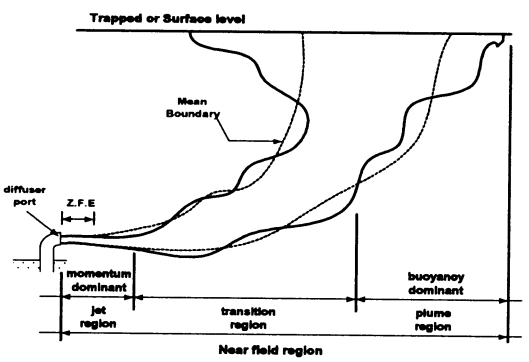

Fig. 2 Detailed near-field region

방류구 근처의 흐름과 확산은 주변수와의 밀도차에 의한 부력플럭스와 방류수의 강한 유속에 의한 운동량 플럭스는 수심에 따라 다른 양상을 보이며, 일반적으로 천해역에서 방류되는 경우, 방류된 오염물은 부력제트의 형태로 수면으로 상승하여 수면에 도달하여 성층화되어 횡방향으로 부력

dCollection @ hhu

확장이 일어나는 안정된 흐름을 형성한다.

원역에서의 주된 확산인자는 근역에서의 혼합과정 후, 밀도류의 형태로 혼합이 이루어지고 주변흐름의 특성에 의해 표면플룸(surface plume)의 거동과 혼합률이 결정된다.

3. 모델의 수립 및 적용

CORMIX1 모델은 총체적흐름률, 운동량흐름률, 부력흐름률, 주변유속과 밀도 경사 등 주어진 변수들을 이용하여 특성길이를 계산하고 이를 이용하여 흐름을 구역화한 다음, 혼합특성을 계산한다.

CORMIX2 모델은 방류공 세부특성, 즉 방류공 직경과 간격을 무시하고, 등가슬롯폭을 적용하여 초기조건을 설정한다. 즉, CORMIX2 모델에서는 2차원 슬롯방류의 개념을 기초로 확산관의 단위길이당 흐름률 변수들로 특성길이를 계산하여 혼합특성을 계산한다.

CORMIX1 과 2 모델은 하천, 호소 및 해역 등 대부분의 수계에 적용이 가능하도록 개발되었으나, 단면경계를 직선으로 일정하게 가정하고 수심을 일정하게 가정해야 하는 단점이 있기 때문에 단면경계나 적용 수계의 바닥이 불규칙할 경우에는 오염물 확산의 검토시 주의를 요한다. 또한 근역혼합모델으로 원역에 대한 해석시 정확성이 떨어진다는 것을 주지하여야 한다.

CORMIX1 과 2 모델의 특성을 아래의 Table 1에 정리하였다. 적용시 제한요소들은 방류공의 높이는 총수심의 1/3을 넘지 않아야 하며, 방류공 직경은 수평면에 대한 상향각 θ_0가 45이하일 때는 수심을 초과하지 않아야 하며 45를 초과할 때는 수심의 1/3을 초과하지 않아야 한다. CORMIX2인 경우는 수심의 1/5를 초과하지 않아야 한다. 주변수의 밀도분포는 불연속적이라면 이 지점은 수심의 40%와 90%사이에 있어야 한다.

Table 1 Features of CORMIX 1, 2 programs

	CORMIX 1	CORMIX 2
Port	Single	Multiple
Discharge angle	Arbitrary	Arbitrary
Density profile	Arbitrary	Arbitrary
Current speed	Constant with depth	Constant with depth
Current angle to the diffuser	Arbitrary	Arbitrary

3.1 자료분석 및 시스템의 도입

본 연구의 목적인 해양 방류와 이에 따른 근역혼합특성을 분석하기 위해 감천항 매립지를 중심으로 2011년 준공예정인 부산 중앙하수처리장을 그 대상으로 하였으며, 방류자료는 보고서(부산광역시, 1998)의 자료를 사용하였으며, 확산관의 경우 임의 자료를 이용하였으며, 주변해역 자료는 최대한의 근사치를 사용하기 위해 인터넷이나 연감 등을 참조하였다.

예상방류량은 140,000㎥/day, 모델에서 적용한 수질변수는 해역의 수질등급 기준인 COD농도를 선택하였다. 방류수질은 COD농도 20㎎/ℓ이며, 방류수 밀도는 하수처리장을 통해 처리된 경우로 청수(fresh water)의 경우로 1000㎥/㎏이다.

확산관은 단일 확산관의 경우, 수평상향 30°로 방류하는 것으로 하였으며, 다공 확산관의 경우, 불구속 해역에 적합한 양방향 확산관을 채택하였다. 확산관의 위치는 조류방향과 직각으로 직교배치법(perpendicular alignment)을 선택하였으며, 확산관의 길이는 100m로 하였다. 확산관에는 11개의 연직유도관(riser)을 등간격으로 설치하였으며, 연직유도관에는 대칭으로 방류공 2개를 부착하였다.

단일확산관의 경우, 방류량을 연직유도관의 수인 11로 나눈 값인 0.147㎎/ℓ로 하였다. 즉, 연직유도관 하나를 하나의 방류공 역할을 하는 것으로 하였다.

dCollection @ hhu

3.2 주변해역의 특성

본 연구에서 적용할 해역은 Fig. 3에 도시하였다. 대상해역은 각각 15, 24, 30m의 평균수심을 가지며(부산광역시, 1998), 상하층의 밀도분포는 Table 2에 정리하였다.

동계의 경우는 주변밀도분포가 균일하였고, 하계의 경우는 주변밀도가 선형적인 분포를 가진다. 또한 조류의 경우, Station 1, 2, 3 각각 0.15, 0.20, 0.25m/sec이며, 이는 수심평균한 경우의 유속치이다.

일반적으로 근역희석률과 플룸의 형상은 수심과 조류속도에 영향을 받는다.

본 연구에서는 비교적 얕은 수심에서 조류와 수심의 두가지 경우를 대비해서, 결과치를 비교하였다.

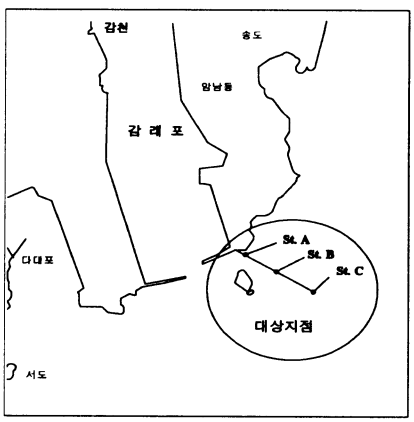

Fig. 3 Location map

Table 2 Density distribution

Classification(kg/m³)		Winter	Summer
Station A	surface	1026	1019.5
	bottom	1026	1022.0
Station B	surface	1026.2	1021.6
	bottom	1026.2	1023.6
Station C	surface	1026.3	1021.6
	bottom	1026.3	1023.7

4. 실험결과 분석

4.1 단일 확산관

동계와 하계를 대상으로 모의하였으며 흐름의 분류는 H1과 S4로 전자는 수평으로 방류된 경우, 초기 제트가 주변 유속에 의해 꺾이며, 전체적으로 흐름은 안정한 형상을 보이는 흐름인 반면, 부력플룸의 거동이 지배적이고 강한 가로흐름인 주변류에 의해 심하게 휘어지고 수중에 포착되는 흐름이다.

Station A의 경우, 주변 밀도분포가 일정하지 않은 하계의 경우와 동계의 경우가 유사한 흐름의 양상을 보이며, 근역혼합특성도 비슷한 결과를 보인다. 이는 Station A는 수심이 얕고, 밀도 성층현상이 방류조건에 비해 상대적으로 미약하기 때문인 것으로 분석된다. 또한, 희석률은 근역경계지점에서의 희석률은 동계와 하계 각각 49.6, 37.4로 밀도분포가 균일하고, 혼합영역의 거리가 긴 동계의 결과가 높게 나타났다.

Station B는 Station A에 비해 방류수심이 깊고 주변조류가 강하며 주변해역의 밀도분포가 균일하여 플룸의 궤적이 길어졌기 때문으로 분석된다. 즉, 플룸의 궤적이 길어질수록 주변수의 연행이 많아져 체적플럭스가 증가하기 때문인 것으로 분석된다.

Station C는 Station B와 거의 유사한 흐름의 양상을 가지는 것을 볼 수 있다. 전체적으로 근역내에서의 플룸의 거동양상은 비슷하지만, 주변조류와 주변수역의 성층화로 Station B에 비해 높은 관계로 더욱 많이 휘어지고, 플룸의 폭과 두께도 얇아진 것을 알 수 있다. Fig. 4에 수평방류시의 일반적인 플룸의 거동을 보여주는 Station C의 동계를 나타내었다.

4.2 다공확산관

모의한 흐름의 분류는 동계는 MU2, 하계는 MS5로 나타났다. 동계는 Fig. 5에 나타난 바와 같이, 매우 불안정한 흐름의 양상을 보이고 있으

dCollection @ hhu

며, 이는 내부밀도분포에 대해 방류운동량이 상당히 강하기 때문인 것으로 분석된다. 따라서, 이러한 빠른 초기혼합은 재순환(recirculation)을 발생시켜 완전수직혼합(full verical mixing)을 야기하며 이후 재층리(restratification) 과정을 거치므로, 근역경계지점까지 그 효과가 지속된다. 하계의 경우는 초기의 제트운동량에 의해 수평으로의 운동량을 가지지만 주변류와 밀도 균형점(equilibrium level)에서 포착되는 양상을 보이고 있다. 플룸은 혼합영역을 지나 균형점으로 천천히 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 농도의 감소가 이전과 비교해 적어지고 있다는 것을 알 수 있으며, 이후 점차적으로 완전수직혼합의 양상을 보인다.

Station A의 경우와 같이 비교적 수심이 얕은 천해에서 수중방류를 적용한 결과, 근역에서의 집중적인 초기 혼합에 의해 단일확산관과 비교하여, 상당한 희석의 효과가 나타났다. 하계의 경우, 주변류와 선형 밀도성층현상으로 플룸은 수중에 포착되어 서서히 진행되는 양상을 보이며, 전단난류연행이 희석의 중요한 작용인자인 것으로 분석된다.

4.3 근역희석률 분석

근역에서의 희석률을 비교한 결과를 Fig. 6에 나타난 바와 같이 수심이 깊을수록 근역에서의 희석률은 증가한다는 것을 쉽게 알 수 있다. 즉, 수심이 깊을수록 초기제트는 주변수와의 상호작용으로 동력학적 에너지가 감소하므로 하수는 희석된다는 것을 알 수 있다. 하수확산관의 경우, 앞에서 언급한 것처럼, 수표면에 달하기전에 밀도가 주변의 밀도가 같아지는 것이 가장 이상적이다. 앞의 Fig. 5에서와 같이 플룸이 수중에 포착되기 전에 수표면에 도달할 경우, 하수 오염물의 농도는 주변수에 비해 높기 때문에 연안역의 경우, 고

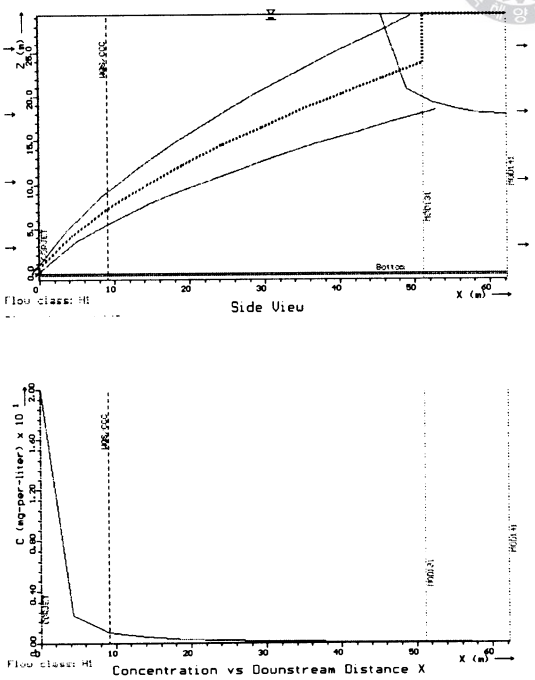

Fig. 4 CORMIX 1 output diagrams of Station C in winter

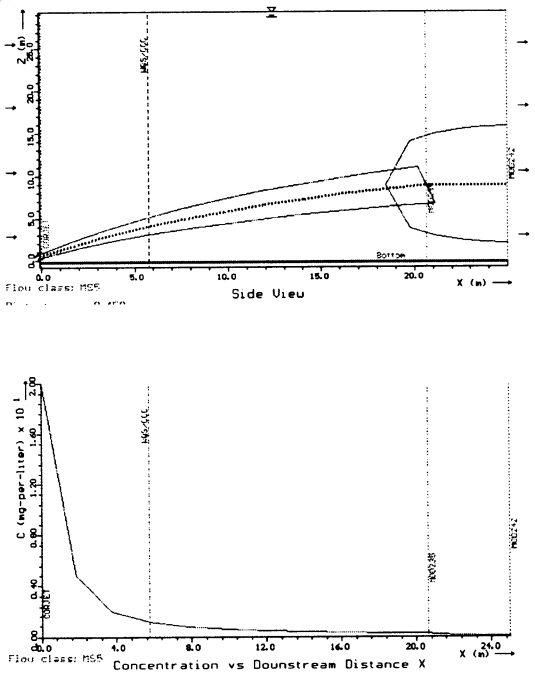

Fig. 5 CORMIX 2 output diagrams of Case C in summer

Collection @ hhu

도처리되지 않은 오염물이 방류될 경우 미관상이나 심한 악취 등의 문제가 동반될 것이다.

5. 희석인자의 중요도 분석

실제 적용결과, Station C의 경우가 가장 적합한 결과를 보였다. Station C를 대상으로 하여, 희석에 영향을 미치는 인자별 중요도를 분석하였다.

분석결과는 방류수심과 주변유속이 희석률에 가장큰 영향인자였으며, 총방류량과 방류공간격은 희석을 감소시키는 인자였다. 즉, 방류수심과 주변유속이 클수록 플룸의 궤적은 길어지고 따라서 종방향으로의 연행량이 증가하여 희석률이 증가하는 것으로 분석되며, 총방류량이 많아질수록 똑같은 주변수의 유입으로 인한 희석의 정도는 감소한 것으로 분석되며, 방류공 간격은 병합으로 인한 주변수와의 상호작용의 면적이 감소하기 때문인 것으로 분석된다. 또한, 오염물 농도와 방류각도, 그리고 방류공 직경은 희석에 거의 영향을 끼치지 않는 인자였다. 이는 하수확산관의 경우, 온배수확산관과는 달리 주변수와의 밀도차로 인한 부력운동량이 절대적이기 때문인 것으로 분석된다. Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9은 각각 방류수심, 방류공 간격, 방류공 직경에 따른 희석률의 변화를 나타내었다.

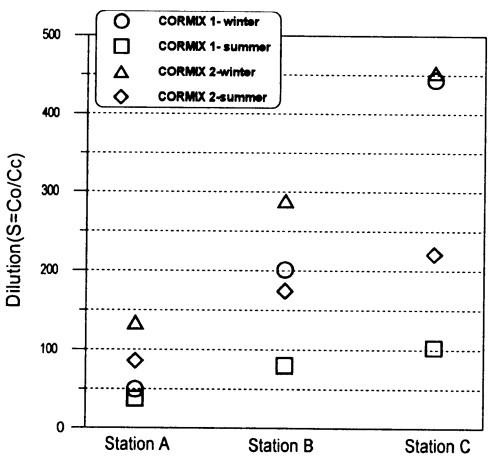

Fig. 6 Dilution at the edge of N.F.R.

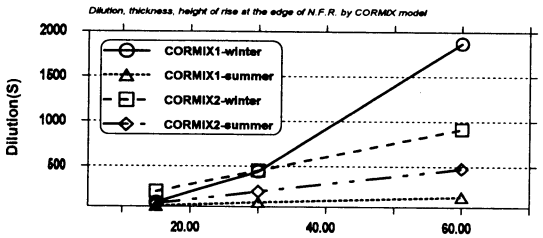

Fig. 7 Dilution computed by CORMIX model according to the variation of port depth

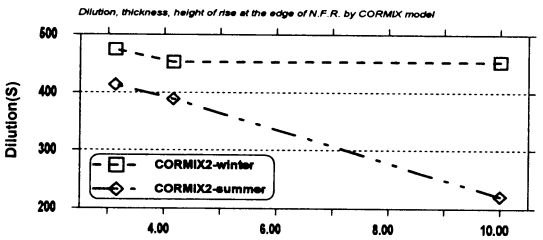

Fig. 8 Dilution computed by CORMIX model according to the variation of port spacing

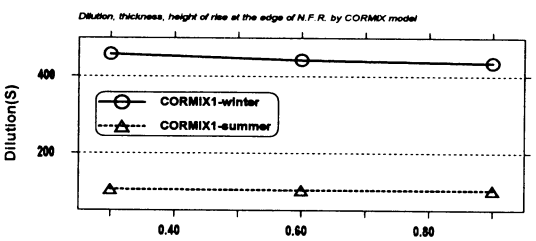

Fig. 9 Dilution computed by CORMIX model according to the variation of port diameter

6. 확산모델에의 적용성 검토

해양방류에 따른 근역혼합특성이 파악됨에 따라 기존의 확산모델에서 단순히 점원(point source)으로 처리하는 것은 결과에 상당한 차이를 가져올 것으로 예상된다. 여기서는 기존의 확산모델에서 적용하였던 점원 방류의 경우와 본 연구에서 검증한 모델에서의 방류원을 사용한 경우에 대해 일반적

dCollection @ hhu

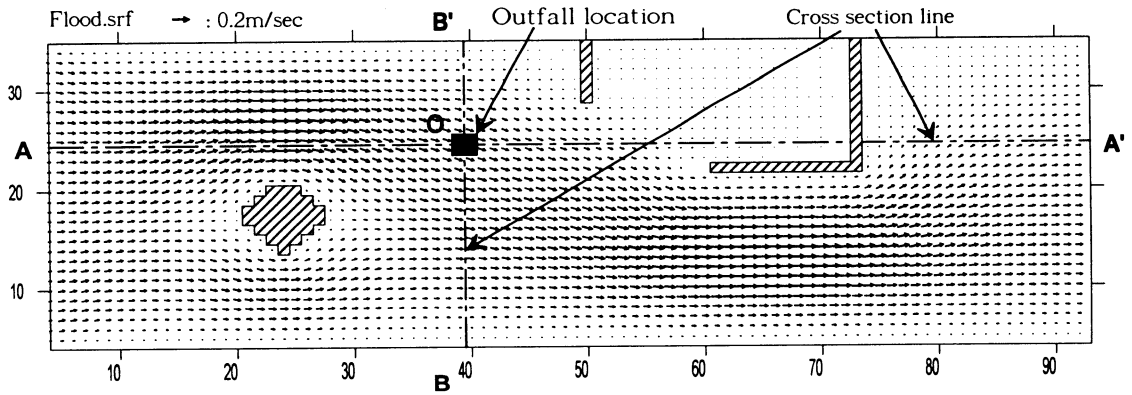

Fig. 10 Calculated result (max. flood tide)

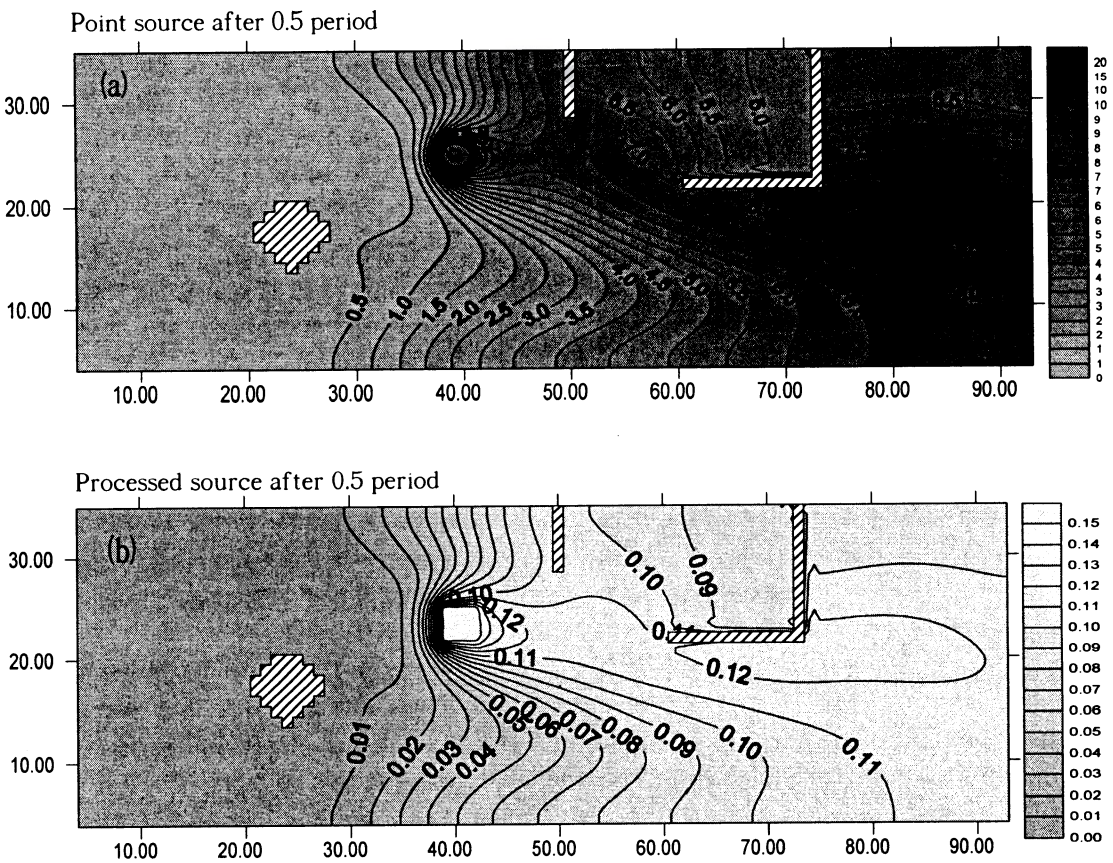

Fig. 11 Comparison of diffusion between point source and processed source after 0.5 period

Collection @ hhu

인 2차원 확산모델을 적용시 그 차이점을 검토하였다.

지배방정식은 기존의 연구(최, 1998)를, 모델의 수립은 기존의 연구(Gug 등, 1999)를, 수치계산은 ADI(Alternating Direction Implicit)법에 기초한 평면 2차원 단층 모델을 사용하였다.

실험조건은 격자(grid)의 수는 96×38, 간격은 25m, 시간간격은 3sec, 그리고 수심은 25m로 하였으며, 농도값은 점원 방류시 20㎎/ℓ의 값으로, 초기희석 과정을 거친 후의 오염원 방류시에는 실제 근역혼합의 실험치를 참조하여 0.155㎎/ℓ를 입력값으로 하였다. 또한, 수심 25m 및 최대유속은 0.25m/sec의 조건에서 표면에 이를 때의 플륨의 직경의 105m에 상당하여 방류오염원의 적용격자가 4×4로 늘어나는 것으로 되었다. 또한, 초기희석 과정을 거친 경우에 0.155㎎/ℓ의 범위가 4×4의 격자로 이루어진 것을 1개의 격자에 해당하는 양으로 변환하면 농도가 2.48㎎/ℓ이 되고 이것을 다시 점원으로 하여 실험한 후 확산결과를 비교하였다.

단기간의 결과치를 비교하기 위하여, 창조류 시의 해수유동 결과를 사용하여 오염물 확산실험을 시행하였으며 주어진 계산영역에서의 창조류는 Fig. 10에 나타낸 바와 같다. 여기서, 점 O는 해양방류구의 위치를 가리킨다. 이러한 유동장에서 오염물 확산은 Fig. 11와 같이 기존의 점원 방류시[(a)]와 초기희석의 과정을 거친 후의 농도와 면적을 고려한 오염원[(b)]을 0.5조석주기 후의 창조류 기간동안 방류할 때로 구분하여 검토하였다. 0.5조석주기 후의 결과, 초기희석을 적용했을 경우가 확산의 범위가 넓어지면서 농도가 낮아지고 희석률 또한 감쇄하는 것으로 나타났다. 또한, 내만쪽과 유동 방향쪽으로 오염물의 농도분포가 크게 나타났다.

초기희석 과정 후의 오염원과 단순한 점원에 대한 수치계산결과 해석상에 차이가 발생하는 것이 확인되었고, 이는 현재 사용되고 있는 2차원 확산모델에 의한 수치계산에서 수중방류시 단순한 점원 해석으로는 상당한 오류를 범하게 됨을 유추할 수 있을 것이다. 따라서, 확산모델을 통한 오염물의 거동에 대한 분석에서는 이들 차이에 관하여 보다 세심하고 주의깊은 배려가 필요할 것으로 사료된다.

7. 결론 및 제언

상기의 분석결과를 바탕으로 본 연구에서 실험한 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 실제 자료에 근거한 CORMIX 모델의 검증을 시도한 결과, 입력자료 중 혼합특성의 중요한 인자인 밀도분포의 부정확성에서 생기는 오차를 고려한다면 근역혼합특성에서 만족할 만한 수준으로 나타났다.

② 초기희석과정 후에 얻어진 오염원과 기존의 점원을 이용한 2차원 확산모델의 수치실험 결과, 해석상에 차이가 발생하였다. 즉, 일반적인 수중방류시 단순한 점원해석으로는 결과에 상당한 차이를 가져오게 되며, 확산모델 실험시 초기희석 과정에 대한 분석과 이의 도입이 필요하다는 결과를 얻었다.

③ 동계와 하계 모두 방류수심 15m에서의 희석률은 비슷한 값을 나타냈으나, 30m, 60m로 수심이 깊어질수록 증가율이 높았다. 또한 단일확산관으로 모의했을 경우가 다공확산관으로 모의했을 경우보다 증가율이 높음을 알 수 있었다.

④ 희석률은 주변유속이 빠를수록 증가하였다. 하계보다 동계가 증가율이 높았으며, 이는 주변해역의 밀도분포가 균일한 경우 주변유속이 희석률에 더욱 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

⑤ 동계와 같이 주변수의 밀도분포가 균일한 경우에는 방류량이 작을 때엔 희석률이 높은 반면, 방류량이 증가하면 동계와 하계 모두 희석률이 거의 일정해지는 경향을 보였다.

⑥ 방류 오염물의 농도의 변화에 대한 희석률의 값은 변화가 없었다.

⑦ 방류 각도의 변화에 따른 전체적인 희석률의 변화는 미약하였으며, 하수확산관의 경우 초

Collection @ nhu

기 방류운동량보다 부력운동량이 지배적이기 때문인 것으로 분석된다.

⑧ 확산관의 길이를 100m로 고정하고 방류공의 간격을 변경하였을 때 동계와 하계 모두 방류공의 간격이 클수록 희석률은 감소하였으며, 이는 방류공의 수가 증가함에 따른 주변수와의 상호작용의 증가에 따른 결과로 본다.

또한, 국내의 기존연구에 따르면 대부분, 하수확산관에 따른 근역혼합특성의 분석시 현장의 적용에 그 의미를 부여하고 있으며, 검증의 과정없이 CORMIX모델을 적용하고 있다. 이에 본 연구에서는 CORMIX모델의 적용시 검증과정을 거쳤으며, 실제 현장의 적용하여 각 희석인자별의 중요도를 현장중심으로 파악하였지만, 이 분야의 연구의 발전을 위해서는 실제의 물리실험으로 수치실험의 근거를 마련할 것으로 본다. 본 연구에서 적용한 기초자료는 보고서와 인터넷 자료를 토대로 하였다. 이러한 분야의 연구가 앞으로 향상되기 위해서는 기초자료의 지속적인 축척이 필수적이라 사료된다.

참고문헌

1. 부산광역시(1998), 부산 중앙하수처리장 건설사업
2. 이중우(1999), 대도시인근 폐쇄수역 및 항만에서의 수질개선 방안, 제1회 해양환경보전세미나자료, 한국해양감시단.
3. 국승기 (1998), 폐쇄성 해역에 있어서의 새로운 수질개선책에 관한 연구, 한국항만학회지 제 12권, 제 1호, pp. 95~104.
4. 최성용, 국승기, 김강민, 이중우(1998), 항만개발에 따른 수질변화 및 개선책에 관한 연구, 한국항만학회지 제 13권, 제 1호, pp. 123~131.
5. Albertson, M.L., dAI, y.b., Jenson, R.A. and Rouse, H.,(1950), Diffusion of submerged jets, Trans., ASCE, Vol. 115.
6. Fox, D. G.(1970), Forced plume in a stratified fluid, J. of Geophysical Research, Vol. 70, No. 33.
7. Fischer et. al.(1979), Mixing in inland and coastal waters, ACADEMIC PRESS.
8. Hirst, E.(1971), Buoyant jets discharged to quiescent stratified ambients, J. of Geophysical Research, Vol. 76, No. 30.
9. Jirka, Gerhard H., Donerker, Robert L., Hinston, Steven W. (1996), User's manual for CORMIX, Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C
10. Morton, B.R., Taylor, G.I. and Turner, J.S.(1956), Trubulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources, Proc. Roy. Soc., London, A234.
11. Wood, I.R., Bell, R.G. and Willkinson, D.L.(1993), Ocean disposal of wastewater, World Scienctific.

dCollection @ hhu

dCollection @ hhu