

## 비성층 해양방류수역에서의 하수플룸의 혼합구역 특성분석

강시환\*·박광순\*·오병철\*

### Mixing Zone Analysis of Outfall Plumes in Unstratified Oceanic Environment

See Whan Kang\*, Kwang Soon Park\* and Byung Cheol Oh\*

**Key Words** : Outfall Plume(하수플룸), Mixing Zone(혼합구역), Near-field Dilution(근역희석)

#### Abstract

Mixing zone characteristics of the wastewater effluents discharged from an ocean outfall have been investigated using an outfall mixing zone analysis method. This analysis was applied to Sokcho ocean outfall case and was used to simulate the concentration distribution of wastewater effluents. Hourly concentration distributions of outfall effluent discharges were averaged for the period of 15 days. The results show that near-field dilution was relatively high with the dilution of 130 for the winter season.

#### 1. 서론

임해도시의 하폐수로 인한 연안해역의 환경적 악영향을 최소화시키고 주변 경관에 미치는 영향을 저감하기 위하여, 임해대도시 하수종말처리장에서 방출되는 대용량의 처리수를 수중 확산관을 통해 고속으로 방류하여 방류수의 운동량, 주변수와 방류수간의 밀도차, 주변해수의 흐름 등의 상호작용에 의해, 방류된 하폐수의 희석률을 크게 높일 수 있는 해양수중방류방식이 전세계적으로 널리 활용되고 있다(Wood *et al.*, 1993). 방류된 하수는 방류수심, 해류, 밀도성층 등 방류해역의 해양환경요소와 하수 방류량, 방류수밀도, 확산관 형태 등의 방류특성 조건에 의해 초기혼합과 근역희석률이 크게 좌우된다(Fischer *et al.*, 1979).

본 논문에서는 하수종말처리장에서의 하수 방류량, 방류수역의 해류, 밀도성층화 등 수리역학적 조건 변화에 따른 혼합구역의 특성을 분석하기 위해 Huang *et al.*(1996)이 제안한 분석 방법을 근간으로 혼합구역분석모형을 수립하여 속초 하수종말처리장의 방류수역에 대해 적용하였으며, 실제 관측된 자료를 모형모의를 위한 입력자료로 사용하여 방류하수의 초기희석률, 수면용승의 위치, 이송·확산에 의한 농도분포와 혼합구역범위를 산정하였다.

#### 2. 해양방류수의 혼합구역 분석모형

해양방류하수의 초기거동해석과 혼합희석률 추정을 위해 CORMIX 와 PLUMES 모형이 가장 널리 사용되고 있으나, 이 모형들은 주변수 흐름에 대해 정상상태(steady state)를 가정한 수리실험 결과로부터 방류수의 부력제트에 의한 혼합희석 특성이 결정되기 때문에 비정상상태의 주변수 흐름에 대해서는 초기혼합 희석률의 불연속적인 결과를 초래할 수 있다(Distante *et al.*,

1994). 이에 반해 Huang *et al.*(1996)이 제안한 OMZA(Outfall Mixing Zone Analysis) 방법에서는 방류수역 조건 즉, 해류, 해수 밀도분포 등의 연속적인 시계열 변화를 고려할 수 있도록 하였다.

OMZA 모형은 이 흐름 패턴에 기초한 4가지의 결정론적 모델을 이용하여 방류하수의 혼합거동을 해석하였다. 4가지의 결정론적 모델은 다음과 같다. (1) A surface boil location model, (2) an initial dilution model, (3) a control volume model, (4) a subsequent dilution/dispersion model. 위 모델 중 (1), (2), (3)은 방류유체의 부력지배근역(BDNF; buoyancy-dominated near-field)과 부력지배원역(BDFF; buoyancy-dominated far-field)에 대한 근사해로 구성되어있으며, 특히 (3)은 이 두 영역을 자연스럽게 연결하는 역할을 한다. BDNF와 BDFF의 영역구분은 방류수심 ( $H$ )에 대한 플룸/가로흐름의 길이축척 ( $l_b$ )의 비로써 결정된다. 부력지배근역(BDNF)은  $H/l_b \ll 1$  인 구간을 의미하고, 부력지배원역(BDFF)은  $H/l_b \gg 1$  인 구간을 나타내며,  $H/l_b = O(1)$  인 구간에서는 두 영역간의 천이가 이루어진다(Wood, 1993). 여기서  $l_b = B/u_a^3$  이며,  $u_a$  는 수심 평균된 조류의 유속이고,  $B = Qg_0'$  로써 방류수의 부력 플럭스(effluent buoyancy flux)이며,  $Q$  는 방류수 흐름률(effluent flowrate)이고,  $g_0'$  는 유효중력가속도라 하며  $g_0' = (\rho_a - \rho_0)g/\rho_a$  로 정의된다. 여기서  $\rho_a$  와  $\rho_0$  는 각각 주변해수밀도와 방류하수밀도이며,  $g$  는 중력가속도이다. OMZA 모형의 구성과 계산순서는 Fig. 1과 같다.

#### 3. 속초해양방류시설 및 현장관측

속초 하수종말처리장의 해양수중방류시설(Fig. 3)은 속초시

\* 한국해양연구원 연안·항만공학연구본부,  
swkang@kordi.re.kr

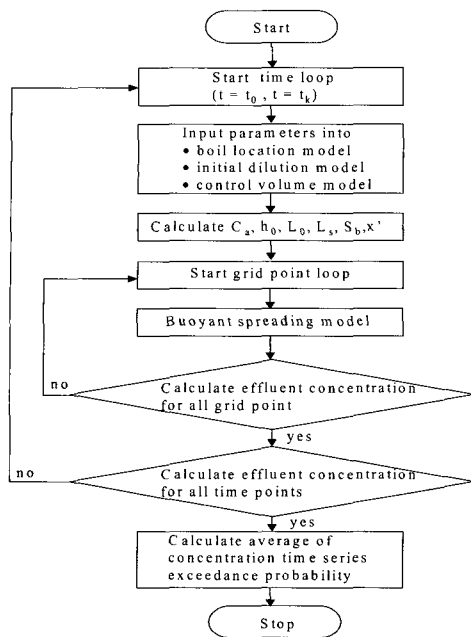


Fig. 1. The flowchart of OMZA model

대포동에 건설되었으며, 방류하수로 인한 수질악화를 최소화시키는 동시에 세계적인 관광지로서의 주변환경개선을 위한 목적으로 건설되었다(속초시, 1996). 해양방류는 1999년 8월부터 시작되었다. 하수종말처리장의 시설용량은 1단계(1996년)에 46,000 m<sup>3</sup>/day, 2단계(2011년)에 105,000 m<sup>3</sup>/day 로 계획되었다. 속초 해양방류관은 해안에서 435 m 정도 떨어진 수심이 약 15 m 내외인 지점에 해안선에 수직으로 설치되어있으며, 50 m 길이의 확산관에는 6개의 연직유도관이 10 m 간격으로 배치되어있다. 각 연직유도관에는 4개의 방류공이 설치되어 있으며 방류공 직경은 0.225 m, 0.25 m 이다. 해저면에서 방류공 중심까지의 높이는 1.15 m 이고 방류수심은 12.4 m 이다. 위에서 기술한 속초 하수종말처리장의 해양방류시설에 대한 특성은 Table 1 에 정리되어 있다.

Table 1. Characteristics of Sokcho ocean outfall

Parameters		Sokcho outfall
Average discharge(m <sup>3</sup> /s)	2000.11.25 ~ 2000.12.05	0.176
	2000.12.06 ~ 2000.12.19	0.241
	2000.12.20 ~ 2001.01.03	0.278
	2001.01.04 ~ 2001.01.20	0.244
	2000.11.25 ~ 2001.01.20	0.240
Discharge depth(m)		12.4
Discharge off shore(m)		435
Diffuser length(m)		50
Number of ports		24
Diameter of ports(m)		0.225, 0.25
Port orientation		Horizontal

속초시 하수종말처리장 방류구 주변의 수온 및 염분에 대한 수직·수평적 분포를 측정하기 위하여 Fig. 2 에 나타낸 바와 같이 DGPS(Differential Global Positioning System)를 사용하여 총 25 개의 관측정점을 100 m 간격으로 설정하였다. 확산관이 위치한 정점 S13에서는 RCM-9 해류 관측계기를 수심 6.3 m 에 설치하

여 2000년 11월 25일부터 2001년 1월20일까지 57일에 걸쳐 매시간 별 해류, 수온 및 염분도를 관측하였다(강시환 등, 2001). 조석현상은 반일주조가 우세한 혼합조형으로 대조차 19.4 cm, 소조차 9.1 cm, 평균조차 14.2 cm 이고, 평균해면은 19.5 cm이다.

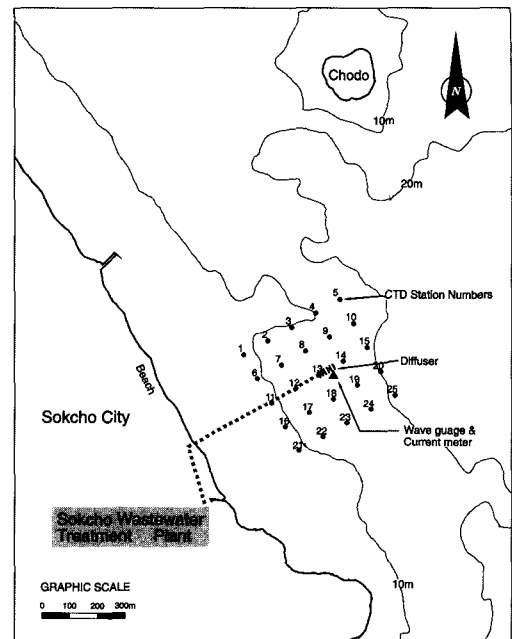


Fig. 2. Field measurement stations in Sokcho ocean outfall area

#### 4. 모형 모의결과

OMZA 모형의 계산격자망은 Fig. 3 에서와 같이 방류지점을 중심으로 사방 1 km 에 대해 10 m 격자간격으로 구성하였으며, 각 격자점에서 1시간 간격의 방류하수의 농도분포를 계산하여 약 15일 동안에 대해 각각 합산한 후 평균하였다. 해류의 조류성분의 영향을 고려해서 대조기에서 소조기로의 변환이 이루어지는 경계를 기준으로 약 15일 간격의 4구간으로 분리하여 모형 모의를 수행하였다(강시환 등,2001).

모의기간에 대한 OMZA 모형의 결과 값을 Table 2 에 나타내었다. 이 값들은 1시간 간격으로 모형에 의해 계산된 결과를 Table 2 에 나타난 기간(15일, 57일)동안에 대해 평균한 값이다. 겨울철 해수의 등밀도 성분분포로 인하여 수중확산관으로부터 방류된 하수가 수표면까지 상승하게 되므로 하수플룸의 포착고는 전체수심(13.55 m)과 동일하다. 하수의 수표면 용승인 보일(boil)의 위치는 해류유속이 클수록 그리고 방류량이 적을수록 거리가 증가함을 알 수 있다. 방류하수의 혼합·회석은 해류유속의 크기와 방류량의 증감에 따라 크게 영향을 받고 있는데 즉, 해류의 유속이 크면 회석률도 높았고, 해류의 유속이 작을 때는 회석률도 따라서 낮았다. 또한, 하수 방류량의 증감에 따라서도 회석률의 변화가 나타나는데 방류량의 증가 시에는 회석률이 감소하며, 방류량의 감소 시에는 회석률은 증가했다. 2000년 11월 25일부터 2001년 1월20일까지 약 15일 동안의 4구간에 대해 평균된 최소회석률의 범위는 108.8~134.3 이며 전체 모의기간인 57일에 대해 평균된 최소회석률은 129.5 로 나타났다. 이는 해양방류시설 설계시의 일반적인 목표 회석률인 100을 넘는 양호한 결과로서 방류하수의 혼합·회석이 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다.

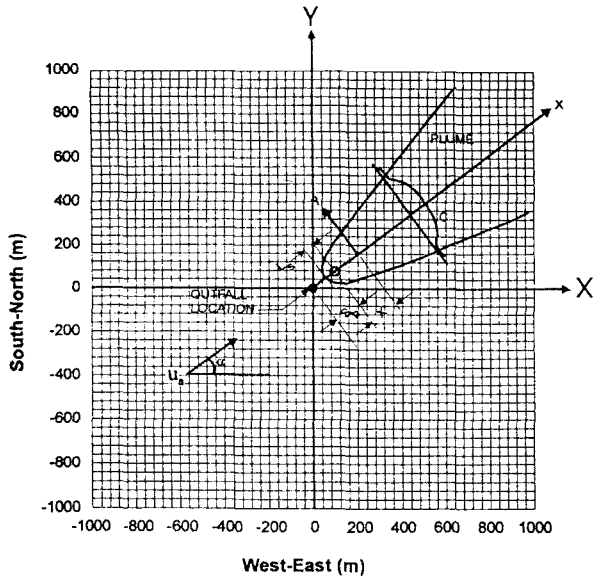
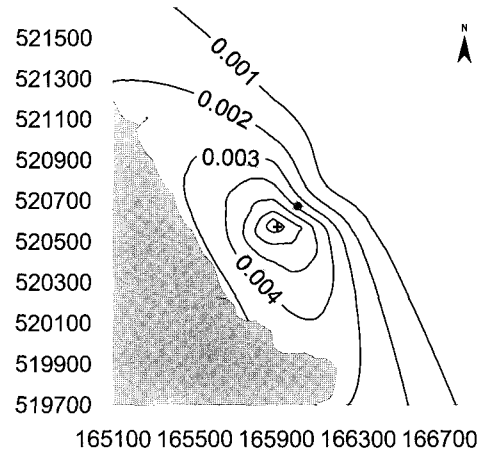


Fig. 3. Grids, Fixed Global and Translating Local Coordinates, and Sketch of Plume

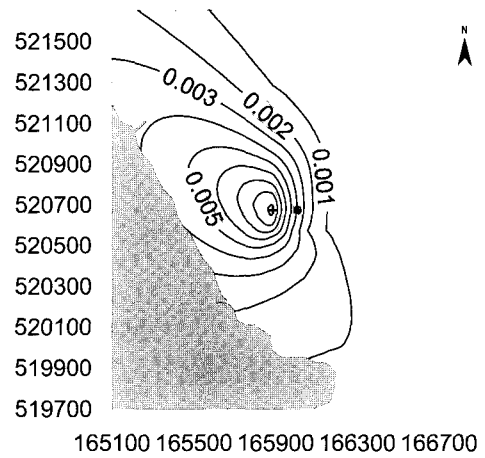
Table 2. Model simulation results of mixing zone characteristics for Sokcho outfall in winter season

Averaged values of the simulation period	Simulation period				
	2000.11.25 ~ 2000.12.5	2000.12.6 ~ 2000.12.19	2000.12.20 ~ 2001.1.3	2001.1.4 ~ 2001.1.20	2000.11.25 ~ 2001.1.20
Effluent flowrate(m/sec)	0.179	0.241	0.278	0.244	0.240
Current speed(m/sec)	0.060	0.073	0.072	0.063	0.067
point + (TM)	(165903,520 573)	(165883,52 0673)	(165893,52 0573)	(165903,5 20573)	(165883,52 0623)
Maximum Concentration at +	0.00745	0.00920	0.00809	0.00779	0.00772
Minimum Dilution at +	134.3	108.8	123.6	128.4	129.5
Boil location(m)	7.4	8.0	7.0	6.2	7.1

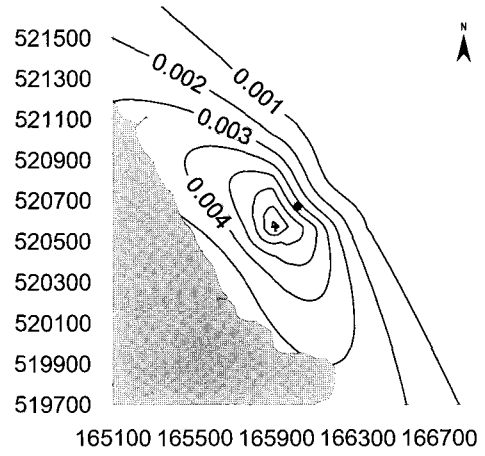
Fig. 4는 수중확산관에서 방류되는 하수농도를 1.0 으로 기준 하였을 때 방류하수의 15일 동안 평균된 농도분포를 나타낸 것이다. 여기서 하수농도의 등분포선 값이 0.001 인 경우에는 희석률 1000 에 해당되며, 최대농도(최소희석률)가 나타난 위치의 TM좌표와 값들은 Table 2 에 있다. Fig. 4 에 나타난 축속 수중 방류하수의 농도분포를 살펴보면 해안선을 따라 넓은 범위에 걸쳐서 이송·확산이 일어나고 있다. 즉, 해류의 속도가 큰 경우에는 해류에 의해서 방류된 하수가 넓은 범위에 걸쳐 혼합·희석되지만 해류의 속도가 작은 경우에는 혼합·희석구간이 축소되는 것으로 나타났다. 특히, 하·폐수의 오염물질이 해류의 주 방향에 따라 외해보다는 연안의 해안선을 따라 확산·이동해 가는 형태를 보이고 있다. 따라서 방류하수의 혼합구역도 북서·남동 방향의 해안선을 따라 밀집되어 있음을 알 수 있다.



(a) 2000. 11. 25 ~ 2000. 12. 5



(b) 2000. 12. 6 ~ 2000. 12. 19



(c) 2000. 12. 20. ~ 2001. 1. 3

Fig. 4. Wastewater effluent concentration fields averaged for 15 days in Sokcho outfall area ● : Sokcho outfall, + : location of maximum concentration

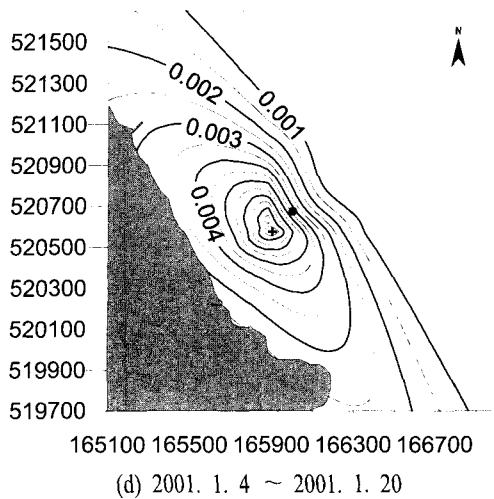


Fig. 4. Continued

## 5. 결론

속초 하수종말처리장에서 하수방류량, 방류수역의 해류, 밀도 성층화 등 수리역학적 조건 변화에 따른 해양방류하수의 혼합구역 특성을 분석하기 위해 Huang *et al.*(1996)이 제안한 분석방법을 근간으로 혼합구역분석(OMZA)모형을 수립하였으며, 속초 하수방류수역에서 실제 관측된 자료를 모형입력자료로 사용하여 방류하수의 초기희석률, 수면용승의 위치, 이송·확산에 따른 하수 농도의 분포와 혼합구역범위를 모형모의를 통해 추산하여 혼합구역에 대한 특성을 분석하였다. 혼합구역 분석모형의 모의기간인 2000년 11월 25일부터 2001년 1월 20일까지 겨울철의 57일에 대해 평균된 최소희석률은 129.5 로써 해양방류시설 설계시

의 목표희석률인 100 을 넘는 양호한 혼합·희석 결과를 나타냈다. 그러나 방류해역에서 관측된 해류의 주 방향이 속초 해안에 평행하므로, 방류된 하·폐수가 외해쪽 보다는 북서·남동 방향의 해안선을 따라 해변 쪽으로 확산·이동해 감에 따라 혼합구역도 인근해변으로 확장되고 밀집된 것으로 나타났다. 특히 속초 해안은 관광명소로써 해수욕장을 포함한 해변위락시설이 방류수역 인근에 산재해 있어 방류하수로 인한 악영향이 우려되며 이에 대한 대책이 요구된다.

## 참고문헌

- [1] 강시환, 유승협, 김상익, 오병철, 박광순, 2001a. 마산만 해양방류 혼합구역에서의 하수 농도분포 변화, 한국해양환경공학회 논문집, 한국해양환경공학회(인쇄중).
- [2] 강시환, 이호진, 김상익, 박광순, 김영도, 2001b. 속초 하수종말처리장의 해양방류 하수에 대한 연속적인 근역혼합특성, 2001년도 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회.
- [3] Distant, D., O'Neil, R., Apicella, G.A., and Tipping, H., 1994. CORMIX model nearfield dilution evaluations for 12 water pollution control plant discharges, *WEFTEC'94, 67th Annual Conference & Exposition, Chicago, Illinois, Oct. 15-19.*
- [4] Fischer, H.B., E.J. List, R.C.Y. Koh, J. Imberger, and H. Brooks, 1979. *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, New York, N.Y.
- [5] Huang, H., Fergen, R.E., Proni, J.R., and Tsai, J.J., 1996. Probabilistic analysis of ocean outfall mixing zones, *J. Environ. Eng., ASCE*, **122**(5), pp. 359-367.
- [6] Wood, I.R., 1993. Asymptotic solutions and behavior of outfall plumes, *J. Hydr. Engrg., ASCE*, **119**(5), 555-580.