

해양수리특성의 변화를 고려한 연속적 근역혼합거동

강시환⁽¹⁾, 김영도⁽²⁾, 이호진⁽³⁾, 김상익⁽³⁾, 한성대⁽⁴⁾

Continuous Near-Field Mixing with Variable Oceanic Conditions

by

See Whan Kang⁽¹⁾, Young Do Kim⁽²⁾, Ho Jin Lee⁽³⁾, Sang Ik Kim⁽³⁾ and
Sung Dae Han⁽⁴⁾

요 약

본 연구에서는 부력제트 혼합에 영향을 주는 인자들의 시계열자료를 이용하여 통계적 특성을 구하는 방법을 국내의 대표적인 하수방류시스템에 적용하여 기존 연구결과와 비교함으로써 이러한 연구방법의 필요성을 검토하였다. 마산만 수중확산관에 대한 63일간의 자료를 이용하여 선형플룸 방정식을 1500회 이상 적용하여 초기희석률, 근역구간 크기, 플룸상승고에 대한 빈도분포를 구한 결과, 초기희석률은 30~71의 범위를 보이며, 평균값은 34로 나타났으며, 이는 염분부족도를 이용한 현장희석률 관측결과와 유사하게 나타났다. 근역구간 길이는 5.4~36.2 m의 범위와 평균값 9.5 m, 플룸상승고는 8.1~10.2 m의 범위와 평균값 8.9 m의 결과를 나타내었다. 그러나 해당기간 중의 전체의 30~44 % 기간만이 각각의 근역특성들이 평균값 이상을 나타내므로, 해양방류시스템을 설계 및 해석함에 있어서 통계적 빈도해석에 의한 방류하수의 희석률과 혼합구간의 범위에 대한 파악이 매우 중요하다고 판단된다.

Abstract

The temporal variability in near-field mixing characteristics of discharging plumes in oceanic environment was investigated using the time series data of the buoyant jet parameters. Based on the currents and density profiles observed in Masan outfall site and effluent discharge flowrates for 63days of summer season, the temporal variabilities and those occurrence frequency were obtained by line plume equations. The results show that wide range of variability in Masan outfall's mixing characteristics was found due to the temporal changes of effluent flowrates and ambient oceanic conditions. The near-field dilution was in the range of 30~71 with the averaged dilution of 34, which was a good agreement with field measurements of salinity deficit. The length of mixing zone was in the range of 5.4~36.2 m with the average of 9.5 m, and the plume rise height was in

(1) 정회원, 한국해양연구원 연안·항만공학연구본부, 책임연구원, swkang@kordi.re.kr

(2) 서울대학교 지구환경시스템공학부, 박사후과정, greendo@chollian.net

(3) 한국해양연구원 연안·항만공학연구본부

(4) 정회원, 경남대학교 공과대학 토목환경공학부, 교수, sdhan@kyungnam.ac.kr

the range of 8.1~10.2 m with the average of 8.9 m. However, only the 30~44% of the whole results are higher than the averages, which indicates the necessity of this frequency analysis with the continuously measured data for designing and managing the ocean outfall system.

Keywords: 초기희석률, 근역구간 길이, 플룸상승고, ocean outfall system, frequency analysis

1. 서 론

수중확산관을 이용한 하·폐수의 해양방류처리시설은 1930년대부터 미국의 연안도시를 시작으로 현재 전 세계적으로 널리 사용되고 있으며, 국내에서도 마산, 창원, 울산, 온산 등에 설치·운영 중에 있다(강시환 등[1999b]). 수중방류시스템은 처리된 하·폐수를 해저관로를 이용하여 목표 희석률을 확보할 수 있는 수심까지 이동시킨 후, 확산관을 통하여 배출함으로써 초기희석을 극대화하여 방류하수로 인한 환경적 악영향을 최소화할 수 있는 방식이다(Wood 등[1993]).

수중방류된 하수플룸의 초기혼합거동에 영향을 주는 인자들은 크게 방류특성, 주변수특성, 기하학적 특성으로 나눌 수 있다. 방류하수는 이와 같은 다양한 인자들에 의하여 매우 복잡한 부력제트의 혼합양상을 나타내는데, 현재까지의 연구는 각 인자들의 평균적인 조건에서의 혼합특성 예측에 한정되어 왔다. 그러나 확산관의 배치각도와 방류공의 크기 및 간격 등의 기하학적 특성을 제외한 주변해역의 수리특성과 방류특성은 시간적인 변화가 크고 불규칙하므로 평균적인 조건에서의 방류하수의 혼합에 관한 연구만으로는 환경에 대한 영향을 정확히 예측할 수 없다.

최근 들어 해양수리특성 및 방류특성의 변화를 고려하여 하수플룸의 통계적 근역혼합특성에 관한 연구가 진행된 바 있다. Noda 등[1992]은 Sand Island 해양방류시설에 대하여 해류자료와 밀도성층자료, 하수 방류량자료를 사용하여 하수플룸의 근역혼합거동을 UMERGE 모형을 사용하여 해석한 바 있으며, Roberts[1999]도 동일 방류해역에서 현장 관측된 해수의 흐름과 밀도성층자료, 하수 방류량자료를 이용하여 NRFIELD 모형으로 초기희석률, 플룸포획고, 근역혼합구간을 예측한 바 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 현장 관측된 해수유동 변화와 하수 방류량 변동에 동

시에 고려하여 하수플룸의 연속적인 근역혼합특성 변동에 관한 연구가 시도된 바 없다.

본 연구에서는 부력제트의 혼합거동에 영향을 주는 각각의 인자에 대한 시계열자료를 이용하여 통계적 혼합특성을 구하는 방법에 관하여 논하고, 이를 국내의 대표적인 하수방류시스템에 적용하여 기존의 평균혼합특성에 관한 연구결과와 비교·분석함으로써 해양방류시스템의 설계 및 해석에 있어서 새로운 연구방법의 필요성을 검토하고자 하였다.

2. 연속적 근역혼합특성

수중방류하수는 부력 흐름률과 운동량 흐름률을 갖는 부력제트의 특성을 가지며, 난류전단에 의하여 초기희석 거동이 발생하고, 난류전단이 소멸된 후에는 주변수의 밀도성층과 유속에 따라 일정한 형태의 하수장을 형성한다. 이때 방류수 자체가 갖는 부력과 초과운동량에 의한 난류운동 에너지가 소멸할 때까지의 구간을 근역이라고 정의한다 (Roberts 등[1989]). Fig. 1은 부력제트에 의해 형성된 하수장을 개략적으로 나타낸 것이다. 여기서, Z_m 은 희석률이 최소인 지점까지의 높이, Z_e 하수장의 상단 높이, X_i 는 근역구간의 거리, W 는 형성된 하수장의 폭, C 는 하수장 농도, h_e 는 하수장의 전체 두께, h_0 는 방류관 높이, $\rho_a(Z)$ 는 주변수의 밀도경사, U_a 는 주변수 유속, H 는 총수심, X 는 확산관으로부터 주변수 흐름방향으로의 거리, Z 는 방류공 중심으로부터 수표면 방향으로의 거리를 나타낸다.

다공확산관의 경우, 확산관 단위길이당 방류량, 운동량 흐름률, 부력 흐름률을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

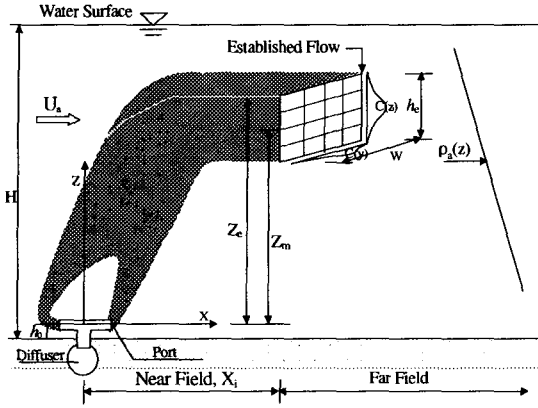


Fig. 1 Schematic diagram of wastefields discharged from a submerged diffuser

$$q = Q/L \quad (1)$$

$$m = u_j q \quad (2)$$

$$b = g_0' q \quad (3)$$

여기서, q 는 단위길이당 방류량, Q 는 총방류량, L 은 확산관 길이, m 은 운동량 흐름률, u_j 는 방류유속, b 는 부력 흐름률, g_0' 은 유효중력가속도이다. (1)식~(3)식에 의해 계산된 물리량을 이용하여 (4)식~(6)식과 같은 특성길이를 정의할 수 있다(Roberts 등[1989]).

$$l_q = q^2/m \quad (4)$$

$$l_b = b^{1/3}/N \quad (5)$$

$$l_m = m/b^{2/3} \quad (6)$$

여기서, l_q 는 방류수의 기하학적 특성길이, l_b 는 플룸/성층 특성길이, l_m 은 제트/플룸 특성길이, N 은 성층화계수이다. 부력제트의 흐름이 완전난류로서 점성과 Reynolds 수의 영향을 받지 않는다고 가정하면, 임의의 근역혼합 특성(Φ)은 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi = f(q, b, m, s, u_a, N, \theta) \quad (7)$$

여기서, s 는 방류구 간격, θ 는 확산관과 주변수와의 각도이다. (7)식을 차원해석하면, (8)식과 같이 (4)식~(6)식에서 정의한 특성길이를 표현된 관계식을 얻을 수 있다(Roberts 등[1989]).

$$\Phi = f\left(\frac{l_q}{l_b}, \frac{l_m}{l_b}, \frac{s}{l_b}, \frac{u_a^3}{b}, \theta\right) \quad (8)$$

전형적인 해양방류관의 경우, l_q/l_b 는 1보다 아주 작아 무시할 수 있으며, l_m/l_b , s/l_b 는 방류특성과 확산관특성을 나타내는 무차원 수로서 $l_m/l_b < 0.1$ 이고, $s/l_b < 0.3$ 이면 방류구 간격과 운동량 흐름률의 효과는 무시할 수 있다(Roberts 등[1989]). 다시 말해, 방류구 간격이 작아 방류직후 플룸이 병합되면, 확산관과 같은 길이의 선형 플룸 형태로 방류되는 것을 가정할 수 있다. 따라서 하수장의 특성을 반영하는 무차원 수를 (9)식과 같이 일반화할 수 있다.

$$\frac{Z_e}{l_b} \cdot \frac{h_e}{l_b} \cdot \frac{Z_m}{l_b} \cdot \frac{S_m q N}{b^{2/3}} = f(F, \theta) \quad (9)$$

여기서, $F(=u_a^3/b)$ 는 주변수 Froude 수다. 주변수 Froude 수는 방류수의 부력 흐름률에 대한 주변수 흐름의 관계를 나타내는 매개변수로서, F 가 작으면 주변흐름의 효과가 무시할 수 있을 만큼 작아지며, $F < 0.1$ 이면 흐름이 회석률에 아무 영향을 주지 않는다. 또한, F 가 큰 경우에는 플룸이 주변류에 의해서 흐름방향으로 편향되며, 이 때는 주변유속이 증가함에 따라 회석률도 증가한다(Roberts 등[1989]).

Roberts 등[1989]은 주변류의 크기와 각도를 변화시켜가며 다양한 조건의 확산관실험을 수행하여 Table 1과 같이 근역혼합특성에 관한 선형 플룸 방정식을 제안하였다. 이와 같은 선형플룸 방정식은 다음과 같은 제약조건을 가지고 있다. 첫째, 선형 밀도성층에 대한 실험에 기초하므로, 비선형 밀도성층 해석에서는 평형상승고를 계산함에 있어서 초기 가정된 상승고 위의 밀도 분포를 선형화하여 새로운 상승고를 계산하는 반복적인 절차에 의한다. 둘째, 정상류(steady flow)에 의한 실험결과를 이용함으로써 주변수 흐름은 크

기와 방향이 일정하다고 가정한다. 셋째, 확산관의 양쪽에서 일렬로 방류되는 양방향 다공확산관에 대한 실험결과를 이용하였으므로 일방향확산관과 축방향확산관의 모의에 적용하는 것은 바람직하지 않다.

장기간에 걸쳐 연속적으로 측정된 해양수리자료와 방류량 자료를 이용하여 근역특성을 계산하여 통계적 혼합특성을 예측하기 위해서는 측정간격이 방류된 부력제트가 하수장을 형성할 만큼 충분히 길어야 하며, 그 시간동안에 혼합거동의 준정상상태를 가정할 수 있어야 한다. 실제 하수방

류시스템이 갖는 수십 분의 시간규모를 고려하였을 때 1시간 간격으로 측정된 자료들이 이와 같은 방법의 연구에 사용될 수 있다. 이러한 가정하에서 선형플룸 방정식을 매 시간간격에 적용할 수 있으며, 수천 번 이상의 연속적인 모의를 수행하여 통계적인 근역혼합 특성을 예측할 수 있다. Fig. 2는 연속적으로 관측된 해류 자료, 밀도성층 자료, 방류량자료 등의 시계열자료를 이용하여 초기회석률, 플룸포획고, 근역구간의 길이 등의 통계적 근역혼합특성을 예측하는 방법을 개념적으로 나타낸 것이다.

Table 1 Line plume equations for wastefields mixing characteristics(Roberts et al.(1989))

θ	$\theta = 0^\circ$ (Parallel)				$\theta < 45^\circ$			
	~ 0.1	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$10 \sim$	~ 0.1	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$10 \sim$
F	~ 0.1	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$10 \sim$	~ 0.1	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$10 \sim$
X_j/l_b	2.0	$10F^{1/6}$			2.0	$(8.5F^{1/3} - 10F^{1/6})\theta/45 - 10F^{1/6}$		
Z_m/l_b	1.7	1.9	$2.45F^{-1/9}$		1.7	1.9	$(1.9F^{-1/4} - 2.45F^{-1/9})\theta/45 + 2.45F^{-1/9}$	
h_e/l_b	1.8	2.0			1.8	2.0	$(2F^{-1/8} - 2)\theta/45 + 2$	
$S_m a N / b^{2/3}$	0.97	$1.25F^{1/9}$			0.97	$(2.19F^{1/6} - 1.25F^{1/9} - 0.52)\theta/45 + 1.25F^{1/9}$		
θ	$\theta \geq 45^\circ$				$\theta = 90^\circ$ (perpendicular)			
F	~ 0.1	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$10 \sim$	~ 0.1	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$10 \sim$
X_j/l_b	2.0		$8.5F^{1/3}$		2.0	$8.5F^{1/3}$		
Z_m/l_b	1.7	1.9	$1.9F^{-1/4}$		1.7	1.9	$1.9F^{-1/4}$	
h_e/l_b	1.8	2.0	$2.0F^{-1.8}$		1.8	2.0	$2.0F^{-1.8}$	
$S_m a N / b^{2/3}$	0.97	$(2.19F^{1/6} - 1.25F^{1/9} - 0.52)\theta/45 + 1.25F^{1/9}$			0.97	$2.19F^{1/6} - 0.52$		

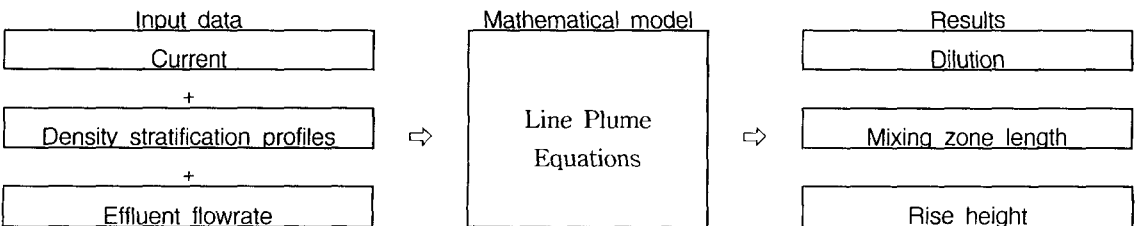


Fig. 2 Continuous simulation of near field mixing

3. 방류해역의 수리특성변화 및 방류 특성

3.1 적용대상: 마산만 하수방류시스템

국내의 하수방류시스템에 관한 연구는 마산만 수중확산관을 중심으로 이루어져 왔다(Kang 등 [1999], 김창시 등[2000], 강시환 등[1999a, 2000]). 마산·창원 하수종말 처리장은 마산만과 진해만의 수질오염 문제를 해소하기 위하여 1993년 11월에 하수처리용량 280,000 m³/day 규모의 1차 처리 시설의 하수처리장과 차집관거 공사를 완공하여, 현재 경상남도 창원군 구산면 옥계리 해안에서 수중방류를 시행하고 있다. 본 연구에서도 기존의 평균혼합특성에 관한 연구결과와의 비교를 위하여 마산만 하수확산관을 적용대상으로 선정하였다.

본 연구에서는 해양수리특성과 방류조건이 동일한 계절에 대해서는 그 변화 양상이 유사하다고 가정하여 각각 동일한 월일에 측정된 자료를 이용하였다. 이러한 연구는 비록 특정 기간동안 실제 방류된 하수플룸의 환경에 대한 영향을 정확히 예측하지는 않지만 많은 비용과 인력을 필요로 하는 조류, 밀도성층, 방류량을 장기간 동시 측정을 수행하기에 앞서 이러한 연구방법의 필요 여부를 검토할 수 있다고 판단된다.

3.2 기하학적 특성

마산·창원 하수종말처리장에서 처리된 하수는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 공칭직경 2 m인 방류관을 통하여 해안으로부터 약 680 m가 떨어진 수심 14 m의 수중에서 총 길이 210 m인 다공확산관을 통해 방류된다(강시환 등[1999a]). 해안선과 거의 평행한 방향으로 총 21개의 연직유도관이 10 m의 간격으로 설치되어 있으며, 각 유도관에는 직경이 200 mm인 4개의 방류공이 설치되어 있다(마산시[1996]). Fig. 4는 해수 흐름 측정 지점과 연직 방향 밀도성층 분포를 구하기 위한 CTD 관측지점을 나타낸 것이다.

3.3 방류특성

Fig. 5는 마산·창원 하수처리장에서 1996년 6월 15일에서 8월 16일까지 측정된 일방류량 자료를

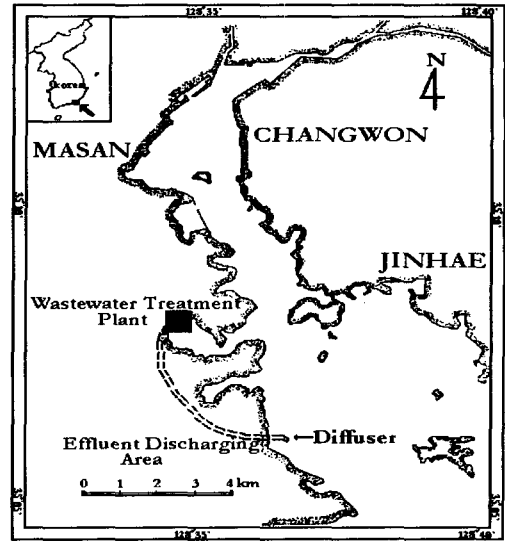


Fig. 3 Site map of Masan outfall

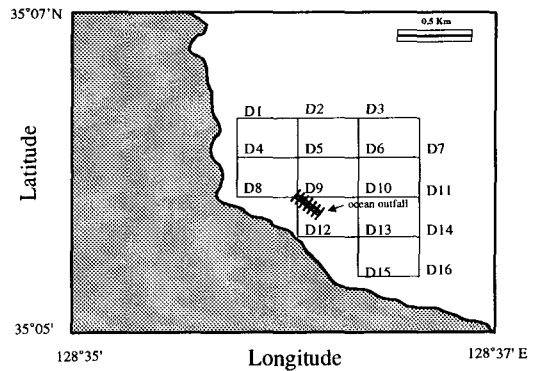


Fig. 4 Station map of field measurements

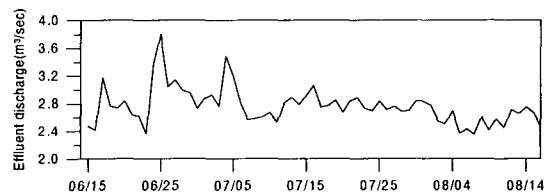


Fig. 5 Effluent discharge flowrate

도시한 것으로, 평균 방류량은 $2.76 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이고, 최대 방류량은 $3.80 \text{ m}^3/\text{sec}$, 최소 방류량은 $2.35 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이다. 일반적으로 하수처리장으로 유입되는 하수량은 여름철에 증가하는데, 이것은 불완전한 하수도 체계 및 시설의 결합 때문에 우수 유입량이 증가하기 때문이다. 방류수의 밀도는 현장관측자료로부터 $995.67 \text{ kg}/\text{m}^3$ 의 평균값을 사용하였으며(강시환 등[1999a]), 동일한 날짜에 대하여 매 시간 일정한 방류량을 갖는 것으로 가정하였다.

3.4 주변수 특성

마산만 내의 해수유동은 주로 조석에 의한 조류이며 반일주조가 우세하고, 평균조차는 130 cm, 대조차는 191 cm이다. 최대유속은 $18 \text{ cm}/\text{sec}$ 이고, 소조시에는 $5 \text{ cm}/\text{sec}$ 미만이며 따라서 해수 교환율도 14% 내외로 심한 정체현상을 보이고 있다(강시환 등[1993]). Fig. 6은 마산만 방류해역에서의 해류를 1982년 6월 15일에서 8월 16일까지 63일간 수심 5m 지점에서 1시간 간격으로 연속 관측한 결과이다. 관측기간 동안의 해수 흐름의 크기는 $20 \text{ cm}/\text{sec}$ 이내의 범위로서, 평균유속 $6.17 \text{ cm}/\text{sec}$, 최대유속 $19.7 \text{ cm}/\text{sec}$, 최소유속 $0.18 \text{ cm}/\text{sec}$ 이다.

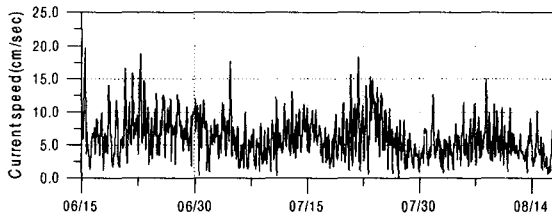


Fig. 6 Ocean currents at Masan outfall

연안해역에서 온도 및 염분 변화에 의한 밀도성층은 플룸의 혼합거동에 있어서 희석률에 영향을 주고 평형상승고 및 수표면 도달여부를 지배한다. 밀도성층 자료는 연속적으로 관측된 자료가 없고, 그 관측 회수 또한 절대적으로 부족하기 때문에 강시환 등[1993]이 방류해역에서의 수온과 염분의 수직·수평분포의 계절적 변화를 파악하기 위해 1991~1993년에 걸쳐 수행한 현장관측 자료 중 1991년 6월 14일 자료와 강시환 등

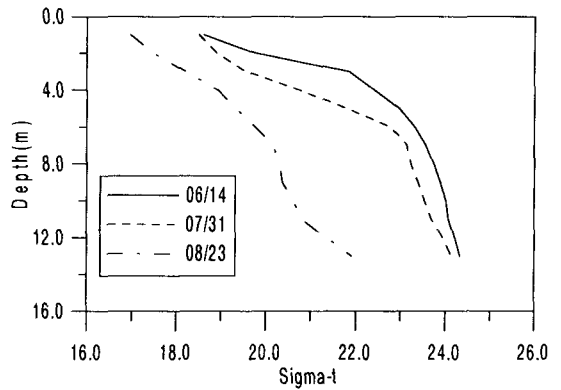


Fig. 7 Density profiles at Masan outfall

[1999a]의 연구자료 중 1998년 7월 31일과 8월 23일 자료를 월별 대표값으로 사용하였다. 밀도성층의 연속적인 변화를 고려하기 위하여 Fig. 7에 나타난 바와 같이 6월 14일, 7월 31일, 8월 23일의 밀도성층 자료를 기준으로 시간에 따른 밀도성층의 변화를 선형보간하여 사용하였다. 초여름인 6월의 경우에는 수온약층이 수심 3 m 전후에 위치하고 있으며 여름철인 7월과 8월의 경우에는 수온약층이 점차 깊어져 약 6 m의 수심에 위치하고 있다.

4. 근역혼합 특성의 변화

1시간 간격으로 측정된 해수 흐름자료, 선형보간된 밀도성층 자료, 일평균 방류량 자료를 이용하여 근역혼합 특성을 1시간 간격으로 63일 동안을 계산하여 근역혼합 특성의 통계적 빈도분포를 계산하였다. 마산만 방류수역에서의 희석률의 시간분포는 Fig. 8과 같으며, 전체적으로 계산된 희석률이 일반적인 목표 설계희석률인 100에 비해 상당히 작고, 시간이 경과함에 따라 서서히 감소하는

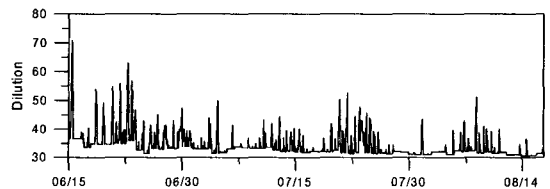


Fig. 8 Variation of initial dilutions

Table 2 Dilutions obtained from salinity data at Masan outfall (Kang et al.,(1999a))

Depth	Dilutions	
	Morning	Afternoon
4m	48.0	32.7
5m	70.0	34.8
6m	45.6	40.1

경향을 나타냈다. 최대희석률 71에서 최소희석률 30까지의 범위를 보이며, 이 기간동안의 평균 희석률은 34로 나타났다. 평균 희석률은 Table 2에 나타난 여름철의 현장희석률 관측결과(강시환 등 [1999a])와 매우 근접하게 나타났다. Fig. 6과 비교하여 보면 유속이 평균값보다 큰 경우에는 희석률이 커지지만 유속이 평균값보다 작은 경우에는 일정하게 낮은 값이 나타났다. 높은 희석률은 방류량이 작고 밀도성층이 약한 경우에 확산관측과 직각을 이루는 강한 흐름이 있을 때 발생하며, 낮은 희석률은 방류량이 크고, 밀도성층이 강하고, 흐름이 정지해 있을 때 발생한다. 또한 플룸이 수중에 포획될 때 희석률이 작게 나타나고, 플룸이 수표면에 도달할 때는 일반적으로 크게 나타난다. 선형플룸 공식에서는 주변류의 크기가 일정한 값보다 작은 경우에는 희석률의 변화에 영향을 미치지 않는다(Table 1 참조).

Fig. 9는 근역혼합 구간의 길이를 도시한 것이다. 근역혼합 길이는 5.4 m에서 36.2 m까지의 분포를 나타내고 있으며, 평균값은 9.5 m이다. 유속의 변화와 비교할 때 유속이 큰 경우에는 그에 따른 변화가 나타나지만 유속이 작은 경우에는 일정한 형태를 유지하고 있다. 즉 해수 흐름의 크기가 일정기준보다 큰 경우에는 해수 흐름의 운동량에 의해서 오염물질이 좀 더 넓은 범위에

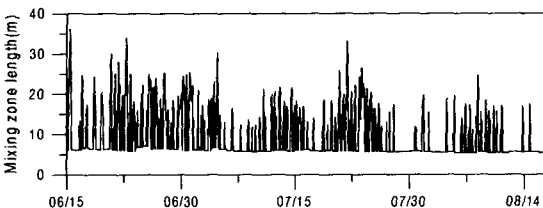


Fig. 9 Variation of mixing zone length

걸쳐 혼합·희석되지만, 해류의 크기가 일정기준보다 작은 경우에는 혼합·희석되는 구간이 활성화되지 못해 상대적으로 고농도의 오염영역이 인근해역에 발생될 것으로 판단된다. 근역혼합 구간의 이러한 변동성으로 인해 설계기준을 결정함에 있어서 법적혼합구간(regulatory mixing zone)을 적용한다고 하여도, 근역모형만을 이용하여 이 구간 경계에서의 희석률을 정확하게 예측하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다.

플룸상승고의 변화는 Fig. 10과 같으며, 최대 상승고는 10.2 m, 최소 상승고는 8.1 m이고 평균 상승고는 8.9 m이다. 6월의 초여름에서 7월과 8월의 여름철로 접어들면서 시간에 따라 점점 더 낮아지는 경향을 보이는데, 이것은 방류된 하수가 밀도성층으로 인해 수표면에 도달하지 못하고, 수온약층에서 포착되기 때문에 일어나는 결과로서 수온약층이 해수면에 가까운 6월에는 확산관으로부터 위로 약 10 m 높이까지 하수가 상승하고, 수온약층이 점차 깊어지는 7월과 8월에는 약 8 m 높이에서 하수장이 형성됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 마산만 해양방류 수역의 해수가 성층화된 여름철 기간의 자료만 이용하였으므로 이 기간 중에 플룸이 수표면에 도달하는 현상은 나타나지 않았다.

위와 같은 결과를 Table 3에 각각의 근역혼합 거동특성에 대하여 정리하여 나타내었다. Fig. 11

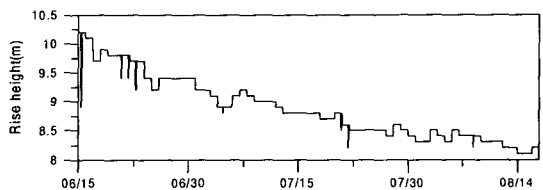


Fig. 10 Variation of plume rise heights

Table 3 Summary of near-field characteristics

	Mean	Min.	Max.
Initial dilution	34.0	30.0	71.0
Mixing zone length (m)	9.5	5.4	36.2
Plume rise height (m)	8.9	8.1	10.2

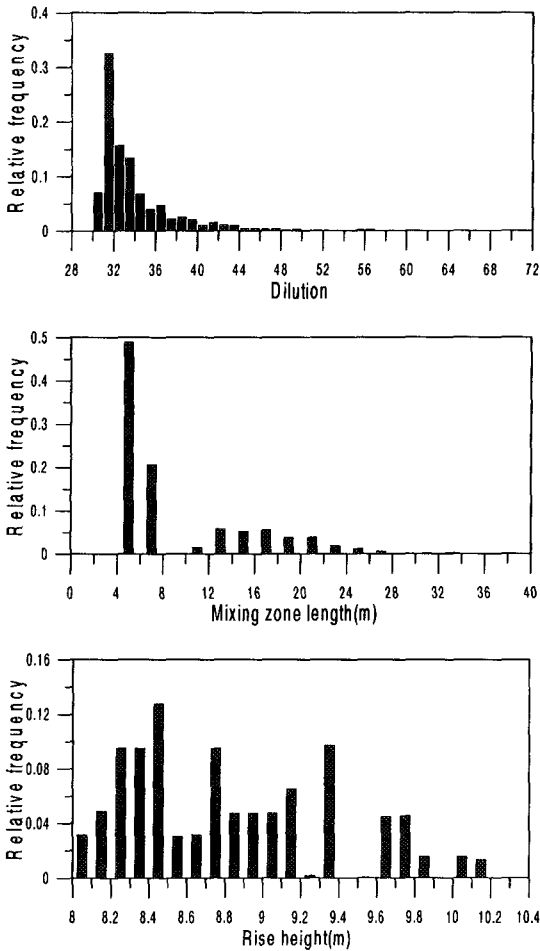


Fig. 11 Frequency distributions

은 이러한 근역혼합 특성의 빈도별 분포를 나타낸 것이다. 플룸에 영향을 주는 조건들은 연속적으로 변화하므로, 이에 따라 근역혼합 거동은 폭넓게 변화하는 것으로 나타났다. 해당기간 중의 평균 회석률인 34 이상의 값을 갖는 경우는 전체의 31%에 지나지 않았다. 마찬가지로 근역혼합구간의 길이나 플룸상승고에 있어서도, 각각의 평균값인 9.5 m, 8.9 m 이상의 값을 갖는 기간은 전체 모의기간의 각각 30 %, 44.4 %으로 나타났다. 이러한 빈도분포에 의한 분석은 하수확산관을 설계함에 있어서 매우 중요하다. 몇 개의 대표적인 조건에 대한 기존의 접근방법들로는 흐름의 크기 및 방향, 밀도성층의 복잡한 변동으로 인해 발생하는 통계적인 특성을 예측할 수 없다.

그러므로 오염물질의 방류해역에 대한 환경적 영향을 검토하기 위해서는 평균적인 특성의 고려만으로는 부족하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 부력체트 혼합에 영향을 주는 인자들에 대한 장기간 연속측정된 시계열자료를 이용하여 통계적 특성을 구하는 방법을 제안하였으며, 이를 국내의 대표적인 하수방류시스템에 적용하여 기존 연구결과와 비교·분석하였다. 해양수리특성과 방류조건이 동일한 계절에 대해서는 그 변화가 크지 않다고 가정하여 각각 동일한 월일에 측정된 자료를 이용함으로써, 실제 조류, 밀도성층, 방류량을 장기간 동시 측정하기에 앞서 이러한 연구방법의 필요여부를 검토하였다.

마산만 수중확산관에 대한 63일 간의 자료를 이용하여 선형플룸 방정식을 1500회 이상 적용하여 초기회석률, 근역구간의 크기, 플룸 상승고에 대한 빈도분포를 구한 결과, 초기회석률은 30~71의 범위를 보이며, 평균값은 34로 나타났으며, 이는 여름철의 현장회석률 관측결과와 유사하게 나타났다. 근역구간 길이는 5.4~36.2 m의 범위와 평균값 9.5 m, 플룸상승고는 8.1~10.2 m의 범위와 평균값 8.9 m의 결과를 나타내었다. 그러나 해당기간 중의 전체의 30~44 % 기간만이 각각의 근역특성들이 평균값 이상을 나타내므로, 해양방류시스템을 설계 및 해석함에 있어서 통계적 빈도해석에 의한 방류하수의 회석률과 혼합구간의 범위에 대한 파악이 매우 중요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 환경부의 G-7 환경공학기술 개발사업인 “해양방류관의 적정배치를 위한 실용화 기술개발” 사업의 일환으로 수행되었으며, 자문을 해주신 미국 Georgia Institute of Technology의 Philip J. W. Roberts 교수님께도 감사드립니다.

참고문헌

[1] 강시환 등, 1993, “폐쇄성 연안해역의 수질관

- 리기술 연구(I)", BSPN 00205-613-2, 한국해양연구소.
- [2] 강시환·오병철·서일원, 1999b, "임해도시 하수처리장 해양방류시설에 대한 고찰", 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, 67~72.
- [3] 강시환·유승협·오병철, 1999a, "마산·창원 하수종말 처리장의 해양방류 처리수에 대한 초기·근역 회석연구(I)", 한국해양환경공학회지, 제2권 제2호, 60~69.
- [4] 강시환·유승협·오병철, 2000, "마산·창원 하수종말 처리장의 해양방류 처리수에 대한 초기·근역 회석연구(II)", 한국해양환경공학회지, 제3권 제1호, 35~44.
- [5] 김창시·서일원·박문현, 2000, "마산·창원 하수확산관의 회석특성 해석", 대한토목학회논문집, 제20권 제2-B호, 211~221.
- [6] 마산시, 1996, 마산·창원 하수처리장 2차 확장사업 환경영향평가서.
- [7] Kang, S.W., B.C. Oh, K.S. Park, and S.H. Yoo, 1999, "Near-field dilution of wastewater effluents discharged from submerged ocean outfalls in Masan Bay", *KSCE J. Civ. Engrg.*, 3(4), 395~405.
- [8] Noda E.K. and Associates, Inc., 1992, "Near-field and far-field plume analysis Sand Island outfall system", Honolulu.
- [9] Roberts, P.J.W., 1999, Modeling Malama bay outfall plumes, I: Near field. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 124(6), 564~573.
- [10] Roberts, P.J.W., W. H. Snyder, and D. J. Baumgartner, 1989, Ocean outfalls, I: Submerged wastefield formation, II: Spatial evolution of submerged wastefields, III: Effect of diffuser design on submerged wastefield, *J. Hyd. Div.*, ASCE, 115(1), 1~70.
- [11] Wood, I.R., R.G. Bell, and D. L. Wilkinson, 1993, *Ocean Disposal of Wastewater*, World Scientific, Singapore.