

## 조석이 방류관의 설계 및 운영에 미치는 영향 분석

김 지 연\* · 이 중 우\*\*

\*한국해양대학교 산업기술연구소 객원연구원, \*\*한국해양대학교 토목환경시스템공학부 교수

### An Analysis on Influences of Seasonal and Tidal Changes to Outfall Design and Management

Ji-Yeon Kim\* · Joong-Woo Lee \*\*

\*Korea Institute of Industrial Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*Division of Civil and Environmental System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 지난 몇 년 동안, 해안지역에서 산업의 발달과 인구증가로 인해서 육지에서 방출되는 오폐수의 정화 처리 방법이 중요한 문제점으로 지적되고 있다. 처리방법으로는, 1차 처리 또는 2차 처리된 것을 수중 방류관을 통해 해안이나 심해 또는, 그 중간지점에서 방출되는데, 오폐수가 방출되면 주변의 해수를 연행하여 플룸, 제트 또는 부양성 제트의 형태로 해수면까지 상승하면서 많이 희석된다. 본 연구는 해양환경관리 및 오폐수 처리에 관한 의사결정과정에서 중요한 해양방류관 설계를 다룬다. Cormix 모델에 조위의 변화와 계절변화에 의한 몇 가지 요소를 고려하여 방류수의 궤적과 희석을 다룬다. 본 연구는 방류수의 효과적인 관리를 위한 기본 데이터와 일반배치에 매우 유용하게 활용될 것이다.

**핵심용어** : 해양방류관, 수중 방류, 해양방류, 다공확산관, 코넬 혼합역 전문가 시스템, 희석, 혼합특성, 근역

**Abstract** : For the last years, it has become hot issue such as disposal of the treated wastewater, which caused by increment of a population and industrial development at the coastal areas. The ocean outfall system discharges primary or secondary treated effluent into coastline or at the deep water, or between these two. 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. This paper deals ocean outfall design which effects to decision-making about marine environment management and wastewater treatment. In order to make predictions of dilution of discharged water and the trajectory of a plume, CORMIX has been used considering several elements including a seasonal and tidal changes. These solutions are strung together to provide basic data and general drawings for effective management of outfall.

**Key words** : Marine outfall, Ocean discharge, Multi-port diffuser, Cornell mixing zone Expert system, Dilution, Mixing characteristic, Near-field region

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

광양만의 광양공단, 울산만의 각종 중공업단지, 영일만의 밤모스 포항공단 등에서는 불가피하게 어떤 형식으로든 막대한 오염물질을 배출하고 있으며 부산, 인천 등 기존의 대규모 항들도 주변 연안개발의 가속화로 광범위한 해양오염이 발생되고 있다. 국내의 경우 전체 육상으로부터 방류되는 오폐수는 약 2,072,000(톤/일)이며 그 중 생활하수가 14,638,000(톤/일)로서 전체의 66.3%를 차지한다(국립환경연구원, 1996). 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 90년대 후반 이후 국내 연구도 이루어지고 있다. 마산, 하수 처리장의 하수확산관의 근역 혼합특성에 대한 연구로는 강 등(1999, 2000) 등이 있으며 전자는 다공확산관의 설계 시 병합의 가능성을 줄이는 방류공의 기하학적 형태에 대해 제안하였으며, 후자는 대·소조기로 나누어 주변해역의 유동장의 변화에 따른 희석의 효과를 논의하였다. 장파나 밀도성층화 등 현실적인 인자를 플룸(plume)의 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 이루어져왔으며 국내에서는 발전소의 온배수 방류에 관

\* 대표저자 : (중신회원), yeonna@kornet.net, 051)410-4981

\*\* 중신회원, jwlee@hanara.hhu.ac.kr, 051)410-4461

해서는 표층방류에 관하여는 정(1992)이 연구하였다. 수중다공 확산관에 관하여는 이 및 서(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. 김(2001, 2002)는 방류관 방류인자별 민감도 분석 및 방류관 최적설계에 관해 모의하였다.

본 연구에서는 방류관을 통한 방류수 거동에 영향을 미치는 환경요소 중 기존의 연구에서 간과되었던 조석으로 인한 조위변화를 도입함으로써 방류수의 보다 현실적인 변화를 추적하고 이러한 결과를 통해 방류관의 효율적 설계 및 운용에 도움을 주고자 한다. 특히 해양에너지 개발의 관점에서 볼 때 국내의 가로림만, 경기만 등 10 여곳 등이 조력발전 후보지로 천혜의 조건을 가지고 있으며 이 중 시화호 부근역을 조력발전소로 개발하고자하는 논의가 활발하게 진행되고 있는 바, 이후 이러한 지역을 중심으로 항만이 개발될 경우 증가하는 오폐수 방류량을 제어하는데 충분히 기여할 것으로 기대한다. 또한 다양한 형태의 항만개발로 인해 연안선의 복잡해져서 결국 만의 입구, 강과 해안의 연결역 등이 좁아지는 원인이 되므로 조위변화가 방류수의 거동에 미치는 영향이 중요하다.

### 1.2 연구의 방법

일간, 월간, 연간 조석의 변화는 조위차 뿐 아니라 창낙조시의 주변유속 변화로 인해 확산관을 통한 해양방류시 플룸의 주변수 조건에 영향을 주며 방류수의 거동 및 형태에도 영향을 줄 것이라 예측된다.

본 연구는 방류수의 거동 추이를 파악하기 위해 최근에 개발된 CORMIX(Cornell mixing zone Expert system)를 사용하였으며(Gerhard et al., 1996) 실험대상은 이전의 연구(김, 2001) 대상지점인 부산의 감천항 하수처리장 인접해역과 차후 조력발전소 후보지로 주목을 받고 있는 시화호 주변해역으로 하였다. 이러한 대상지점의 선정은 우리나라의 평균조차에 가까운 값을 지닌 부산해역과 세계적으로 조차가 큰 경기만 해역을 대상으로 비교함으로써 조위차의 영향을 우선적으로 살펴보기 위함이다. 또한 일간, 일간, 계절간 조차로 인한 플룸의 거동을 보다 면밀하게 살펴봄으로써 보다 적절한 실험결과를 도출하고자 하였다. 적용대상지의 방류확산관의 제원은 부산 중앙하수처리장 및 방류 시스템의 관련 보고서, 실시설계 보고서 등을 참조하였으며, 감천 및 시화호 부근해역의 주변해역의 해양학적 특성인 동적요소 및 수질환경의 현황을 파악하기 위하여 관측기록, 연구문헌 등을 조사하였다.

## 2. 기초이론

### 2.1 난류제트 이론

오폐수가 방류확산관을 통해 방류되면 혼합단계, 이송단계, 난류확산 및 이류로 이어지는 세 단계의 난류혼합을 거치는데

초기에는 운동량과 밀도차에 의해 거동이 지배되는 부양성 제트(buoyant jet)로 떠오르면서 주변수를 연행(entrainment)하거나 주변수 밀도 성층화가 충분할 경우 밀도약층에서 희석되는 혼합 단계이다. 이송단계는 Fig. 1의 (4)에 해당하며 수평확산이 이루어진다. 이후 조류에 의해 역학적으로 수동적인 난류확산 및 이류의 과정이 따른다. Fig. 1은 정체된 주변수 조건하에서 방류수의 거동을 나타낸 것이다.

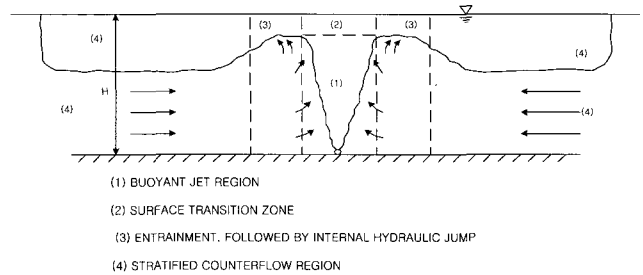


Fig. 1 Postulated a two dimensional flow field induced at the center of diffuser in a stagnant ambient fluid(Jirka and Halman, 1979)

### 2.2 수중다공확산관 이론

수중방류는 방류조건 및 확산관의 기하학적 형태에 영향을 크게 받으며 따라서 소기의 희석목표를 달성하기 위해 확산관의 규모를 조절하게 된다. 즉 방류환경을 극대화하기 위해 방류공의 수, 크기, 부착형태 등을 조절하게 된다.

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.

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

여기서,  $y_b = y/b$ ,  $x_l = x/l$ ,  $b_l = x/l$  이며  $n$ 은 방류공의 개수이다. 농도장의 유속분포는 식(1)에  $b$ 대신  $b_T (= \lambda b)$ 를 대입하는 식으로 표현된다. 일반적으로 방류공에서 떨어진 거리  $l$ 과  $b$  (nominal half width)는 선형관계를 가지는데(Fig. 2) 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)이 후부터는 제트들이 병합하면서 2차원 슬롯제트(slot jet)와 유사한 형태를 보인다. 천이구역 이후부터는 다공확산관을 등슬롯 확산관(equivalent slot diffuser)의 형태로 보면 해석이 용이해진다.

다공확산관의 거동이 등슬롯 확산관의 거동으로 전환되는 지점은 대략  $b=1/2$ 의 관계를 만족하는 지점이다. 제트의 유효폭은 이의 횡방향 거리를 구하는 척도이며 제트의 중심유속이 절반이 되는 지점, 즉 유속이 겹쳐지는 지점은 횡방향의 유입이 감소하게 된다.

방류수체와 주변유체 사이의 밀도차가 없어서 부력은 작용하지 않고 운동량만 작용하는 완전제트(pure jet), 운동제트(momentum jet), 비부력제트(non-buoyant jet)라 하며 Cederwall(1971)은 다공확산관과 등슬롯확산관의 평균회석률을 비교하여 완전제트는 다음과 같은 관계를 가진다고 하였다.

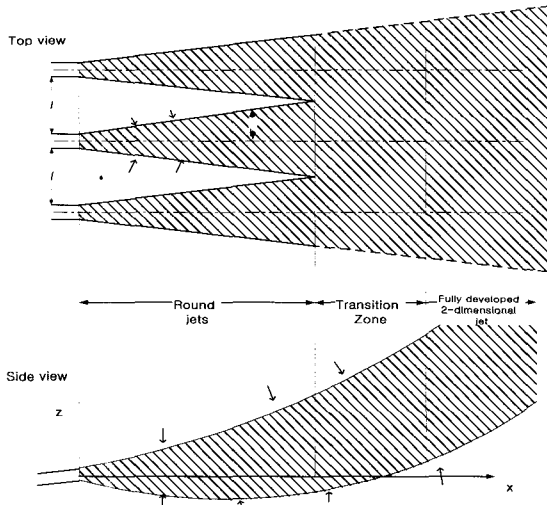


Fig. 2 Jets merging from the unidirectional diffuser

$$R = \frac{\text{dilution of the multiport diffuser}}{\text{dilution of the equivalent slot diffuser}} = 0.95 \quad (2)$$

한편 주변수와의 밀도차, 온도차 등에 의해 부력효과를 받는 제트인 완전플룸(plume)의 경우에는  $R$ 이 0.78임을 밝혔다. 이는 해석의 용이함을 위해 다공확산관을 등슬롯확산관의 개념으로 보아도 크게 무리가 없음을 의미한다.

2.3 근역혼합 및 회석의 특성

초기근역 혼합역은(initial mixing zone, hydrodynamic mixing zone)은 성층의 영향으로 유출수가 방류될 때 자체의 부력에 의해서 야기된 난류가 쇠약해지는 지점으로 정의되며, 이 지점에서의 회석을 초기회석이라고 한다. 초기회석에 대한 정확한 예측은 방류관 모델의 실험에 있어서 가장 중요한 단계가 된다. 균질의 정체된 유체에서의 초기회석의 예측은 수학적으로 구하는 것이 어렵지 않으나, 해양과 같이 유동적인 환경하에서 방류장(큰 밀도 Froude 수)의 초기회석을 수학적으로 찾아내는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 방류된 제트는 주변수와의 유속차에 따른 전단난류확산으로 인해 주변수와의 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 주관 심영역인 조석차에 따른 초기 혼합 및 회석영역과 관련된 변화를 실험하였다. 이전 연구를 토대로(김, 2001, 2002) 다공확산관을 대상으로 감천 및 시화호 주변해역을 대상으로 조위차에 따라 총 80회의 경우에 대해 실험이 수행되었다(Fig 3, Fig 4).

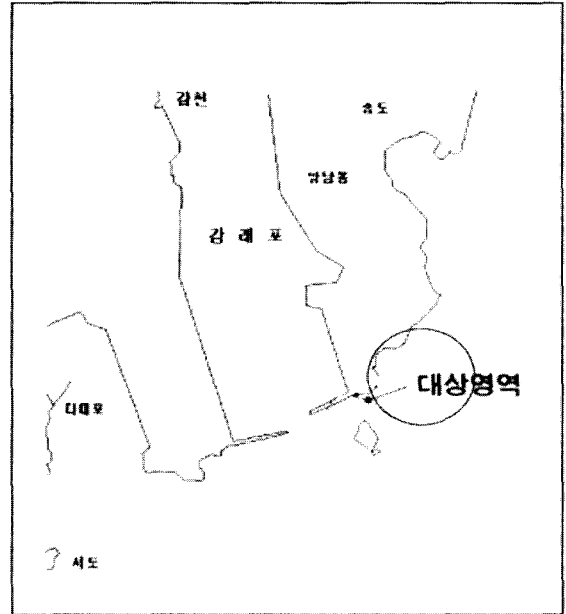


Fig. 3 Location of Gamcheon site



Fig. 4 Location of Sihwa site

3.1 실험조건

대상지역 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 확산관 조건 등으로 나눈다. 본 연구에 사용하는 자료는 이미 설치되어 있는 부

산시 중앙하수처리장을 근거로 하였으며(김, 2001, 2002) Table 1과 같다. 시화지점의 방류수 조건, 확산관 조건에 대한 데이터는 실제 방류관이 설치되는 시점의 설계조건과 관련된 사항이므로 감천과 동일한 데이터를 적용하되 시화지점의 주변수 조건은 실제 데이터를 적용함으로써 본 연구의 목표를 달성하고자 한다.

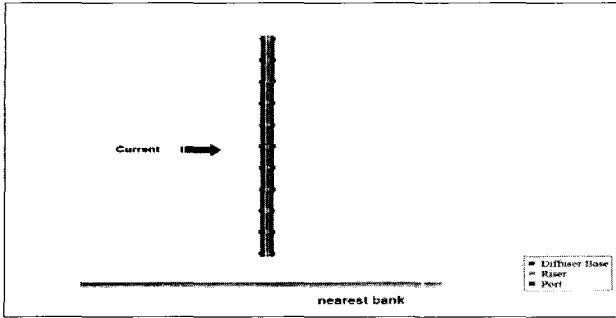


Fig. 5 Diffuser type in relation to port displacement

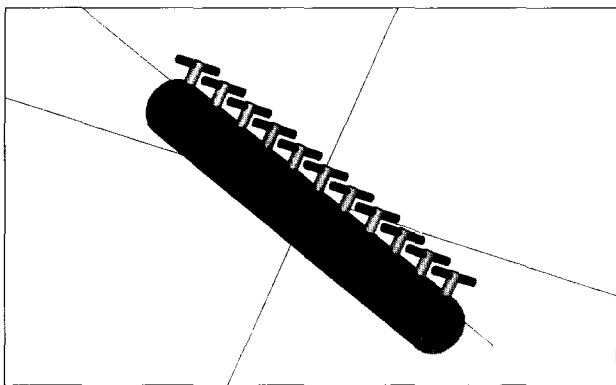


Fig. 6 3-dimensional outfall visualization

Table 1 Summary of input data

Classification	Gamchun, shiwa
Analysis situation	unbounded
Average depth $H_A$	15m, 18m
Discharge depth $H_D$	14.2m, 7.2m
Diffuser Length	200m
Friction value Darcy-Weisbach $f$	0.025
Wind speed $u_w$	2m/sec
Distance from the shore to the diffuser	c1: 350m c2: 550m
Vertical angle of discharge $\theta$	0°
Horizontal angle of discharge $\sigma$	c1: 90° c2: 0°
Alignment angle $\gamma$	90°
Relative orientation angle $\beta$	90°
Port diameter $D_0$	0.8m
Port height $h_0$	0.8m
Discharge flow rate $q_0, Q_0$	2.78m <sup>3</sup> /sec
Water quality standard mg/ℓ	2
Diffuser type	Alternating diffuser
Vertical angle of discharge $\theta(^{\circ})$	0

겨울에는 균일한 밀도값인 1026.0 kg/m<sup>3</sup>을 적용하고, 여름에는 해수면부근에는 1019.5 kg/m<sup>3</sup>과 해저면 부근에는 1022.0 kg/m<sup>3</sup>로 성층화된 밀도분포를 적용하였다. 확산관의 형식은 주로 설치되고 있는 다공확산관(CORMIX 2)으로 하고 조류방향에 수직으로 배치함으로써(Fig. 5) 희석의 효과를 최대화하도록 하였다. 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, 모든 확산관은 수평방류를 원칙으로 하였으며, 다공확산관은 11개의 연직유도관(riser)에 각각에 대해 방류공(port) 2개를 양방향 확산관의 형태로 부착하는 경우를 각각 계산하여 비교하였다.

(Fig. 6). 이와 같은 확산(S), 오페수장 두께, 하수장 폭, 플룸의 상승고 등을 구한다.

### 3.2 실험결과

일간으로는 2회차 반복되는 창조(flood), 낙조(ebb)를 대상으

Table 2 Summary of output data on Gamchun

Season	Day	Tide	Conc. (mg/l)	S	Plume h-width(m)	Plume thk(m)	Flow Class
summer	N.M.	1	0.2498	60	102.12	2.1	MS5
		2	0.1922	78	102.77	4.06	MS5
		3	0.25	60	102.12	2.09	MS5
		4	0.1908	78.6	102.78	4.09	MS5
	F.Q.	1	0.1924	78	102.77	4.06	MS5
		2	0.2491	60.2	102.12	2.1	MS5
		3	0.1931	77.7	102.77	4.04	MS5
		4	0.2479	60.5	102.12	2.11	MS5
	F.M.	1	0.2507	59.8	102.11	2.09	MS5
		2	0.1913	78.4	102.78	4.08	MS5
		3	0.2506	59.9	102.12	2.09	MS5
		4	0.1898	79	102.79	4.11	MS5
	L.Q.	1	0.1929	77.8	102.77	4.05	MS5
		2	0.2481	60.5	102.12	2.11	MS5
		3	0.1935	77.5	102.76	4.03	MS5
		4	0.2467	60.8	102.13	2.12	MS5
N.M.	1	0.2496	60.1	102.12	2.1	MS5	
	2	0.1916	78.3	102.78	4.07	MS5	
	3	0.2499	60	102.12	2.09	MS5	
	4	0.1901	78.9	102.79	4.1	MS5	
winter	N.M.	1	0.0335	447.7	112.04	14.24	MU8
		2	0.0493	304.3	108.82	14.96	MU8
		3	0.0335	447.7	112.04	14.24	MU8
		4	0.0497	301.7	108.7	14.84	MU8
	F.Q.	1	0.0507	296.1	108.58	14.58	MU8
		2	0.0327	458.3	112.04	14.58	MU8
		3	0.0506	296.7	108.62	14.6	MU8
		4	0.0328	457.1	112.04	14.54	MU8
	F.M.	1	0.0333	449.9	112.04	14.31	MU8
		2	0.0494	303.7	108.81	14.92	MU8
		3	0.0334	449.5	112.04	14.3	MU8
		4	0.0498	301.5	108.69	14.83	MU8
	L.Q.	1	0.0503	298.3	108.69	14.67	MU8
		2	0.033	454.3	112.04	14.45	MU8
		3	0.0503	298.1	108.7	14.66	MU8
		4	0.0331	453	112.04	14.41	MU8
N.M.	1	0.0334	449.5	112.04	14.3	MU8	
	2	0.0494	303.9	108.81	14.93	MU8	
	3	0.0335	448.3	112.04	14.26	MU8	
	4	0.0497	301.7	108.7	14.84	MU8	

로 조석표에 표기되는 조위를 기준으로 하여 각각 조위값 1, 2, 3, 4로 하였으며, 월간으로는 대조(spring tide) 및 소조(neap tide)를 월령을 기준으로 하여 밀도차 및 온도차로 인한 성층화가 확연하게 다른 여름과 겨울, 두 계절에 걸쳐 감천, 시화호 영역 등 지점에 대해서 방류구를 통한 방류수의 특성을 실험하였다. 이하의 월령은 Table 2, Table 3에 표기된 바와 같이 삭(N.M.), 망(F.M.), 상현(F.Q.), 하현(L.Q.)으로 한다. 방류수는 적용지점의 수심이 그다지 깊지 않으므로 거의 대부분 수면 부근까지 플룸이 상승하며 희석률, 하수장 폭, 하수장 두께는 조차에 따라 변화하고 있다.

Table 3 Summary of output data on Sihwa

Season	Day	Tide	Layer depth	S	Conc. (mg/l)	Plume h-width (m)	Plume thk. (m)
summer	N.M.	1	15.57	106.8	0.1405	101.69	0.83
		2	9.25	90.8	0.1651	101.45	0.55
		3	14.42	102.0	0.147	101.66	0.8
		4	8.3	85.5	0.1755	101.42	0.52
	F.Q.	1	8.93	89.1	0.1684	101.44	0.54
		2	14.88	103.9	0.1443	101.68	0.81
		3	9.22	90.7	0.1654	101.45	0.55
		4	14.36	101.8	0.1474	101.66	0.8
	F.M.	1	16.32	109.8	0.1367	101.71	0.86
		2	8.64	87.4	0.1716	101.43	0.53
		3	14.96	104.3	0.1439	101.68	0.81
		4	7.72	82.1	0.1827	101.40	0.50
	L.Q.	1	9.46	92.0	0.1631	101.46	0.56
		2	14.59	102.7	0.1460	101.67	0.80
		3	9.39	91.6	0.1637	101.46	0.56
		4	14.08	100.6	0.1491	101.66	0.79
	N.M.	1	15.62	107.0	0.1402	101.69	0.84
		2	9.19	90.5	0.1657	101.45	0.55
		3	14.62	102.9	0.1458	101.67	0.80
		4	8.21	85.0	0.1766	101.42	0.52
winter	N.M.	1	12.45	1725.8	0.0087	110.10	12.45
		2	7.55	1345.1	0.0112	110.06	7.55
		3	15.9	2204.0	0.0068	110.10	15.90
		4	8.29	1476.9	0.0102	110.06	8.29
	F.Q.	1	9.05	1612.3	0.0093	110.06	9.05
		2	13.65	1892.1	0.0079	110.10	13.65
		3	9.29	1655.1	0.0091	110.06	9.29
		4	13.97	1936.5	0.0077	110.10	13.97
	F.M.	1	14.19	1967.0	0.0076	110.10	14.19
		2	7.82	1393.2	0.0108	110.06	7.82
		3	15.49	2147.2	0.007	110.10	15.49
		4	8.52	1517.9	0.0099	110.06	8.52
	L.Q.	1	8.33	1484.1	0.0101	110.06	8.33
		2	14.42	1998.9	0.0075	110.10	14.42
		3	8.66	1542.8	0.0097	110.06	8.66
		4	14.33	1986.4	0.0076	110.10	14.33
	N.M.	1	14.42	1998.9	0.0075	110.10	14.42
		2	7.7	1371.8	0.0109	110.06	7.7
		3	15.77	2186.0	0.0069	110.10	15.77
		4	8.18	1457.3	0.0103	110.06	8.18

므로 여름에는 하수장이 해수면 부근에서 형성되나 겨울에는 하수장이 수심 전체에 걸쳐 빠르게 형성된다. 초기희석이 이루어지는 지점의 하수장의 폭은 여름보다 겨울이 더 크며, 여름에는 초기희석 이후에 하수장의 폭 변화가 지속적이지만 겨울에는 초기희석 이후에도 하수장의 폭은 거의 일정하다. 이는 겨울에 초기희석이 이미 충분히 진행됨으로서 더 이상 하수장의 규모 변화가 없음을 의미하며 여름에는 근역에서 충분히 이루어지지 않은 희석이 하수장의 규모를 확대함으로서 희석을 지속시키고 있음을 나타낸다. 조류속도가 빠른 해역의 경우에는 해역의 희석이 두드러지며 일별, 월령별, 계절별 조위변화에 따른 희석률의 변화가 시화의 경우에는 동일한 조위 시점 에서 여름에 희석률 85.1에서 1042.8로 현격한 차이를 보인다. 시화에 비해 조위변화가 적은 감천은 희석률 60에서 447.7로 시화에 비해서는 그 차이가 적다. 희석이 현저한 겨울에 하수장의 폭 변화는 하수장의 두께변화에 비해 미약한데 이는 방류구를 통한 방류수가 조류에 의해 플룸이 연행되는 거리는 별 차이가 없으나 밀도성층화 차이에 의한 하수장 두께의 차이가 오페수의 층한 희석공간을 주게됨을 의미한다. Fig. 9와 Fig. 10은 이를 원역에서 근역 부분을 클로즈업하여 비교하기 위한 그림이다. 여름보다 겨울의 경우에 하수장의 폭이 대단히 신속하게 발달함으로서 초기희석에 기여함을 알 수 있다.

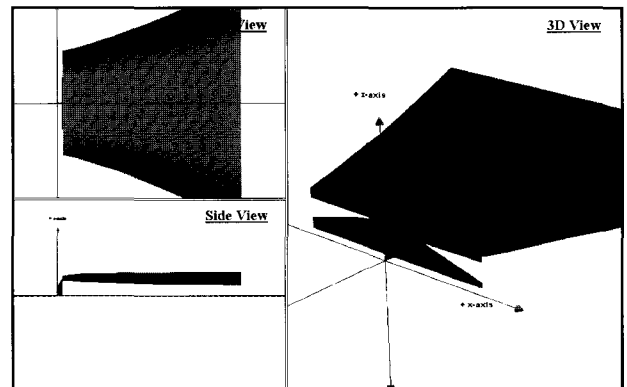


Fig. 7 Plume behavior with CORMIX2(Sihwa, Summer, New moon, ebb)

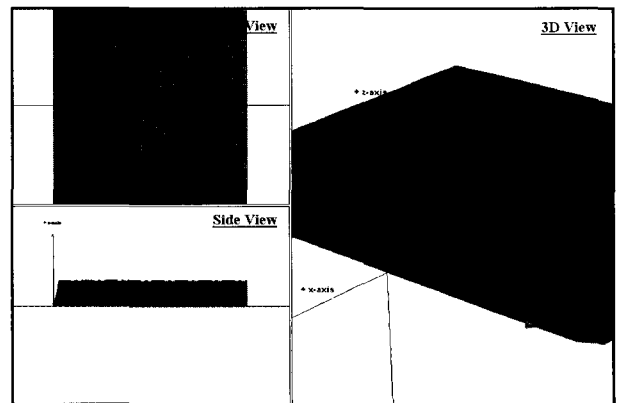


Fig. 8 Plume behavior with CORMIX2(Sihwa, Winter, New moon, ebb)

Fig. 7, Fig. 8은 세계적으로 큰 조차를 가진 시화의 여름과 겨울의 방류수 거동을 평면, 측면, 3차원으로 구현한 것이다. 여름의 밀도성층화로 인해 하수장의 부력운동이 활발하게 되

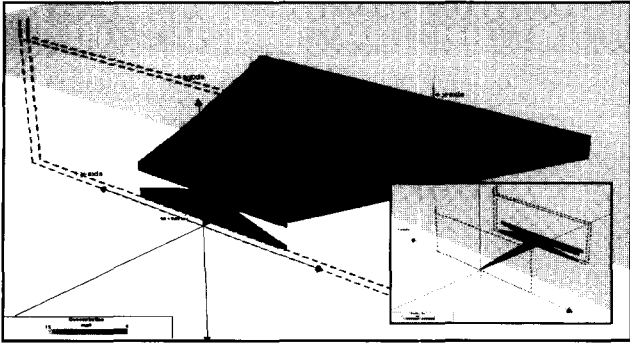


Fig. 9 3-dimensional plume behavior at N.R. and F.R. with CORMIX2(Sihwa, Summer, New moon, ebb)

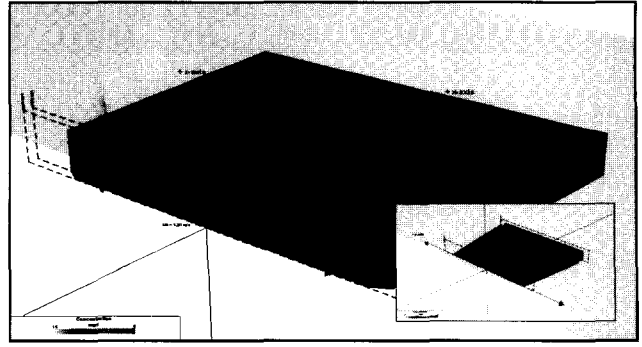
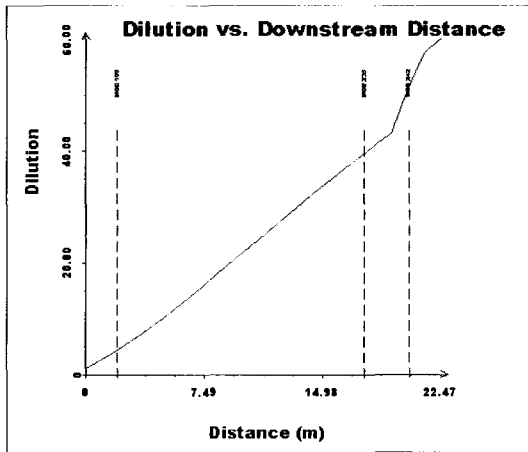


Fig. 10 3-dimensional plume behavior at N.R. and F.R. with CORMIX2(Sihwa, Winter, New moon, ebb)

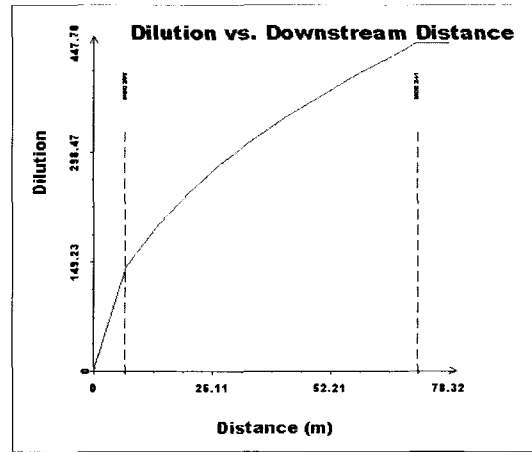
이러한 희석률과 유하거리와의 상관관계를 Fig. 11~Fig. 14 까지 근역과 원역을 비교하여 나타내었다. 겨울에 원역에서의 유하거리에 따른 희석률의 변화가 감천의 경우에 더 큼을 알 수 있다. 시화에서는 큰 조위변화 및 조류속도의 변화에 의해 초기 희석이 부산보다 훨씬 더 빠르게 진행되었음을 의미한다.

방류특징을 결정짓는 요소 중 희석률, 플룸의 두께 및 폭의 변화를 근역에서 월령 및 조위변화에 따라 비교해보면 Fig. 15~Fig. 17과 같다.

삭, 망의 경우와 상현, 하현의 경우가 창낙조에 교차로 다른 희석률 및 하수장 두께를 보인다. 특히 시화의 동계에 이러한

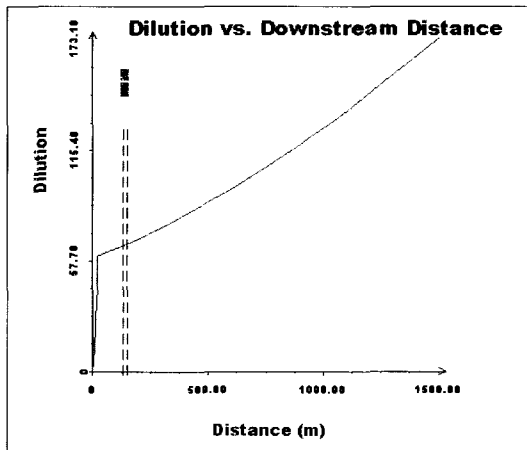


(a) summer

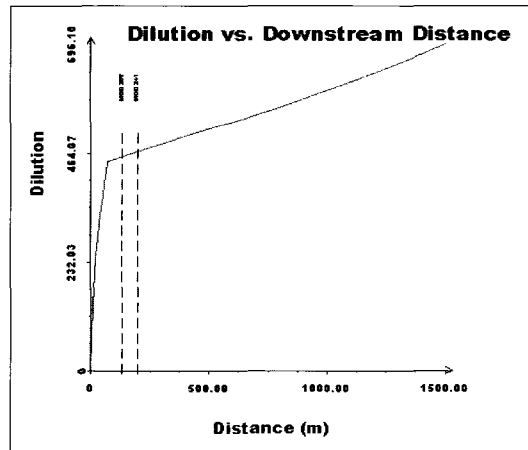


(b) winter

Fig. 11 Dilution variation at N.R. on Gamchun

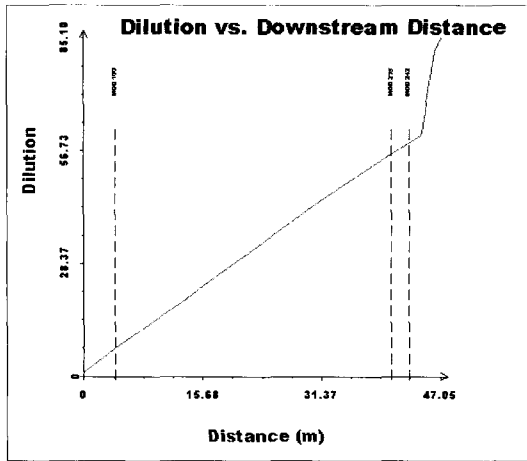


(a) summer

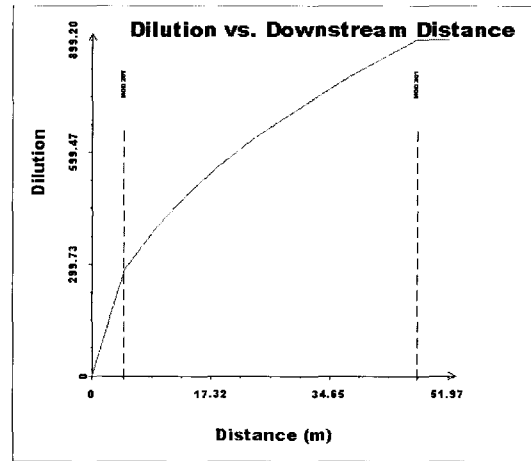


(b) winter

Fig. 12 Dilution variation at F.R. on Gamchun

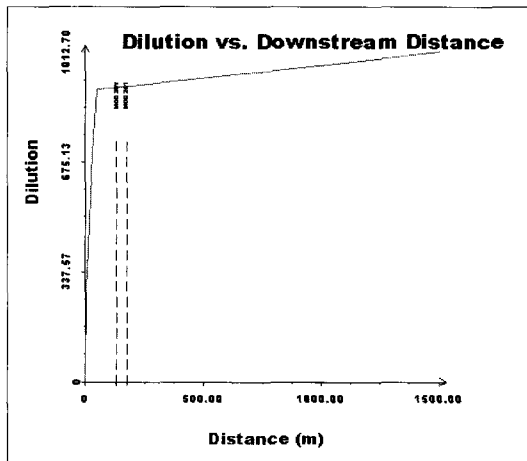


(a) summer

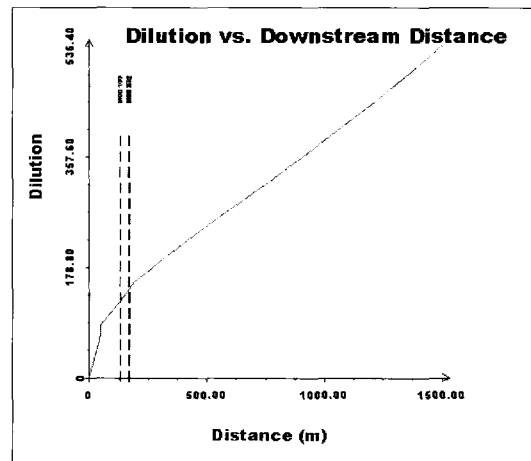


(b) winter

Fig. 13 Dilution variation at N.R. on Sihwa



(a) summer



(b) winter

Fig. 14 Dilution variation at F.R. on Sihwa

현상이 가장 두드러지며 이는 조차의 효과가 월간에도 뚜렷하며 동계에 밀도가 일정할 경우에는 부력효과보다는 강한 운동량에 기여하므로 전반적으로 큰 희석을 유발한다. 초기희석률만을 비교한 Fig. 17과 Fig. 18에 잘 나타나고 있다. 조위변화의 효과는 여름보다 겨울에 더욱 두드러지며 이는 방류관의 설계 및 운영에 고려해야할 점이다. 일별, 월별, 계절별 조위차는 창조시에는 저속, 낙조시에는 고속의 조류속도로 주변수 유속의 변화를 일으키고 방류지점의 수심변화를 유발하며 주로 하수장의 폭 변화보다는 두께 변화를 통한 하수장의 규모변화에 의해 희석효과를 일으키는 것으로 나타났다(Fig. 14, Fig. 15). 이는 시화의 조력발전소 부근에 해양방류관이 설치될 경우 저수지 게이트를 통한 주변유속의 변화가 방류구 확산관의 거동이나 희석효과에 미치는 영향은 미약하지만 조위차가 유발되는 시점에 따라 조위차로 인한 수면상승, 저수지로부터의 유량에 계절적인 밀도성층화 영향, 유동적인 해양의 기상변화에 따른 해일 등의 효과까지 가중된다면 하수장의 희석률, 하수장의 거동에 막대한 영향을 끼칠 것으로 보인다. 해양에 너

지 개발 중 조력발전소에 대한 수요가 증가할 경우 이러한 영향을 충분히 고려함으로써 보다 합리적이고 효율적으로 방류관이 설계되고 운영되도록 해야할 것이다.

## 5. 결론 및 제언

조위차 변화에 따른 방류수의 거동 및 형태를 수치모델을 통하여 분석 하였다.

1) 일간으로는 창낙조 분기 4회, 월간으로는 삭, 망, 상현, 하현의 날을 대상으로 밀도차 및 온도차로 인한 성층화가 확연하게 다른 여름과 겨울, 두 계절에 걸쳐 감천, 시화호 권역 두 지점에 대해서 방류구를 통한 방류수의 특성을 수치실험한 결과 하수장의 상승고는 대부분의 경우에 수면부근까지 상승하며 희석률, 하수장 폭, 하수장 두께가 조차에 따라 변화한다. 플룸의 상승고나 폭은 조차에 따른 변화가 미약하지만 희석률이나 하수장 두께는 일간에도 창낙조시마다 큰 변화를 보인다.

조석이 방류관의 설계 및 운영에 미치는 영향 분석

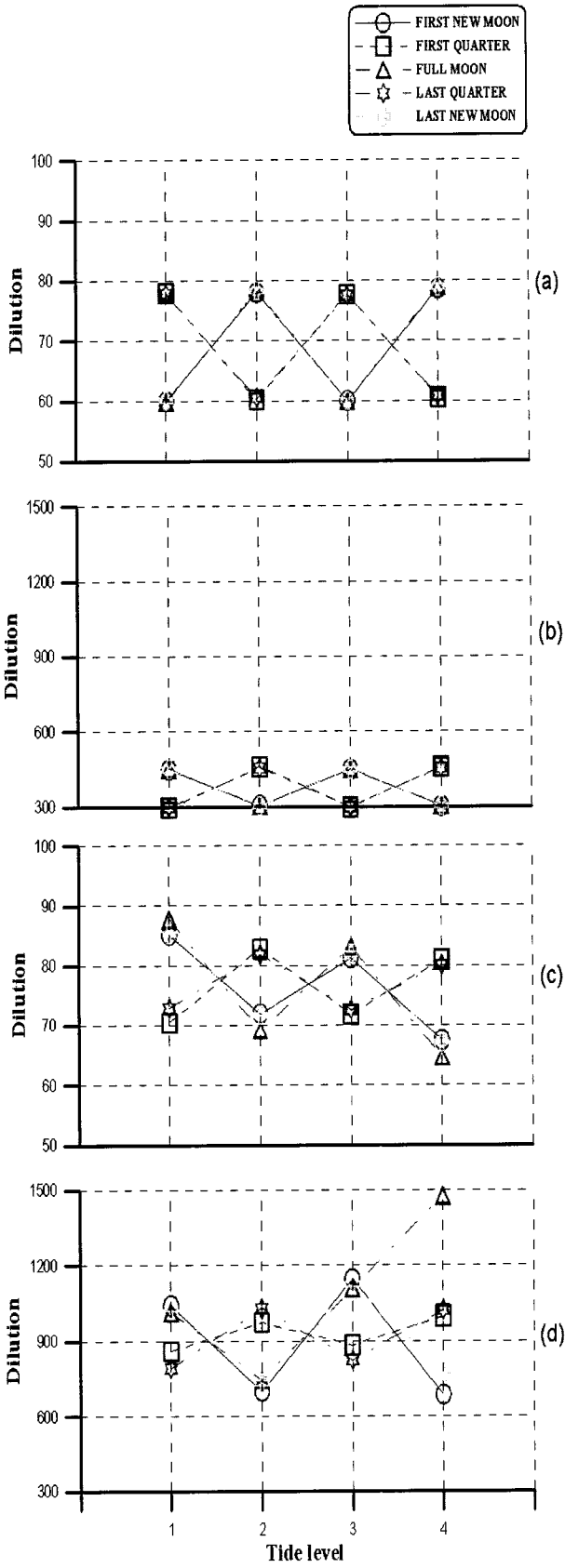


Fig. 15 Dilution with CORMIX2 according to (a)Gamchun, summer, (b)Gamchun, winter, (c) Sihwa, summer (d)Sihwa, winter

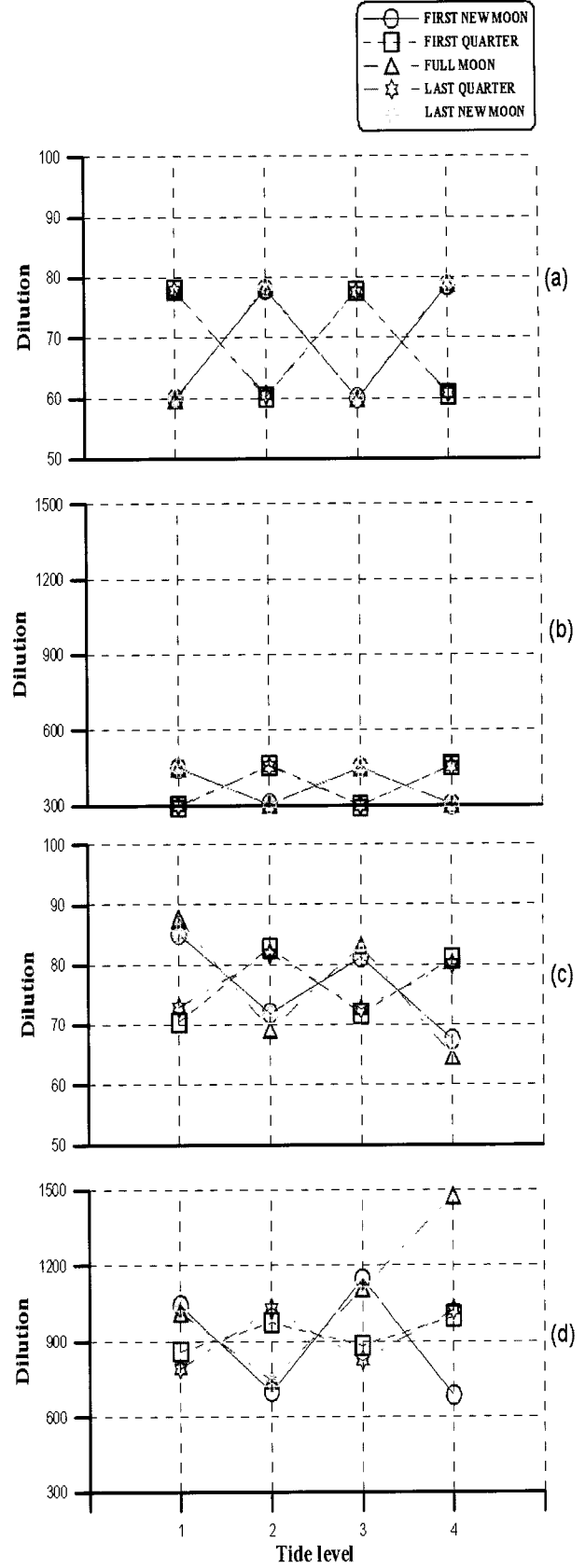


Fig. 16 Plume half width with CORMIX2 according to (a)Gamchun, summer, (b)Gamchun, winter, (c) Sihwa, summer (d)Sihwa, winter



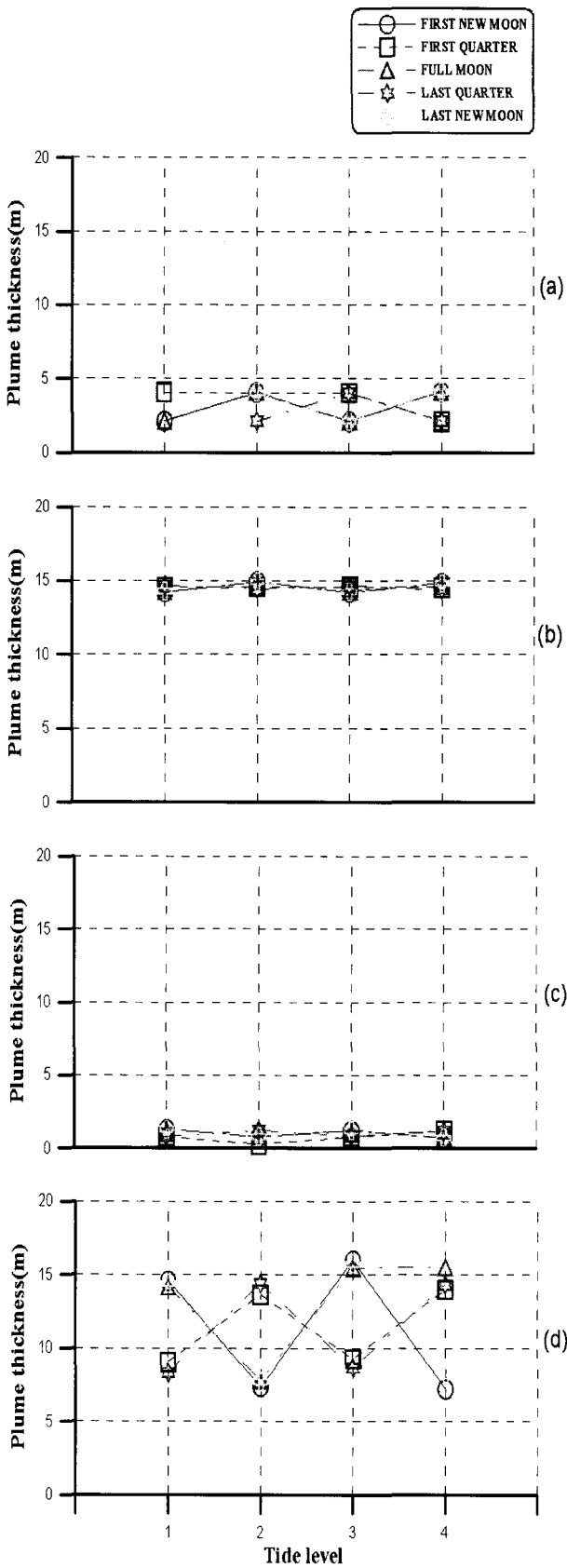


Fig. 17 Plume thickness with CORMIX2 according to (a)Gamchun, summer, (b)Gamchun, winter, (c) Sihwa, summer (d)Sihwa, winter

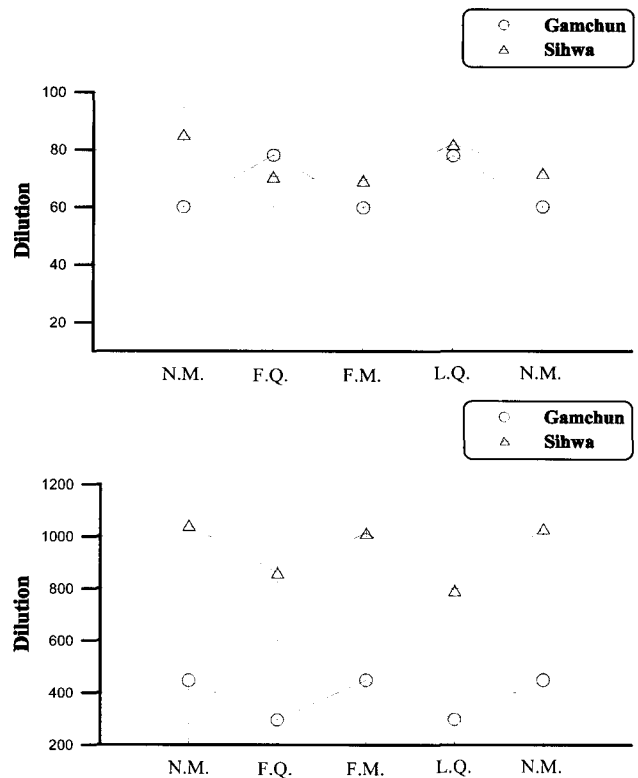


Fig. 18 Comparison of Dilution of tide level with CORMIX2 on Gamchun and Sihwa

2) 대조시 및 소조시에 조위차의 변화에 따라 서로 다른 희석을 및 하수장 두께를 나타내었다. 특히 조차가 심한 시화지점의 동계에 이러한 현상이 가장 두드러지며 이는 조차의 효과가 월간에도 변화를 보이고 동계에 밀도가 일정할 경우에는 부력효과 보다는 강한 운동량에 기여하므로 전반적으로 큰 희석을 야기함을 의미한다. 조차의 효과는여름보다 겨울에 더욱 두드러지며 이는 방류관의 설계 및 운영에 고려해야 한다.

3) 일별, 월별, 계절별 조위차는 창조시에는 저속, 낙조시에는 고속의 조류속도로 주변수유속의 변화를 일으키고 방류지점의 수심변화를 유발하며 주로 하수장의 폭 변화보다는 두께변화를 통해 희석효과를 좌우한다.

따라서 조위차가 심한 해역에서 조력발전소 부근에 해양 방류관이 설치될 경우 저수지 게이트를 통한 주변 유속의 변화가 방류구 확산관의 거동이나 희석효과에 미치는 영향은 미약하지만 조위차가 유발되는 시점에 따라 조위차로 인한 수면상승, 저수지로부터의 유량에 계절적인 밀도성층화 영향, 변화무쌍한 해양의 기상변화에 따른 해일 등의 효과까지 가중된다면 하수장의 희석률, 하수장의 거동에 막대한 영향을 끼칠 것이다. 해양에너지 개발 중 조력발전에 대한 수요가 증가할 경우 이러한 영향을 고려하여 보다 합리적이고 효율적으로 방류관이 설계되고 운영되도록 해야한다.

4) 특히 본 실험에서는 밀도성층화 여부에 따른 근역의 거동이 큰 차이를 보이며 보다 정확한 결과를 구하기 위해서는 각 층에 따른 정확한 밀도분포 및 온도분포의 적용이 필요하다.

이와 아울러, 밀도 및 창낙조시의 주변조류, 수심자료 등 방류 시스템에 필요한 국내의 현장계측 수리자료가 충분하지 못하여 제반 실험에 큰 제약이 되고 있으므로 기존 시설물에서 수리자료의 확보가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 강시환, 유승협, 오병철 (1999), 마산·창원 하수종말 처리장의 해양방류 처리수에 대한 초기·근역 희석연구(I), Journal of the Korean society for marine environmental engineering vol.2, no.2, pp. 60-69.
- [2] 강시환, 유승협, 오병철, 박광순 (2000), Intial and near-field dilution at the ocean outfall of Masan-Changwon municipal wastewater treatment plant(II).
- [3] 국립환경연구원 (1996), 해양오염과 적조
- [4] 권석재, 이중우 (1997), Plume Rise and Initial Dilution Determination Reflecting the Density Profile over Entire Water Colmn, 한국항만학회 제11권 제2호, pp215-230.
- [5] 권석재 (1997), Current and Long Wave Influenced Plume Rise and Initial Dilution Determination for Ocean Outfall, 한국항만학회 제11권 2호, pp231-240.
- [6] 김지연 (2001) 해양방류 시스템의 최적설계에 관한 연구, 박사학위논문, 한국해양대학교
- [7] 김지연 (2002) 해양오폐수 방류구 주위의 유동특성 및 혼합특성, 한국항만학회, 제 14권 제 2호 pp.241-249.
- [8] 김홍식 (1997), 수중다공확산관에 의한 온배수 혼합특성, 박사학위 논문, 서울대학교
- [9] 이재형, 서일원 (1997), 수중확산관에 의한 온배수 및 하수의 해양방류, 한국수자원학회, 제 30권 제 2호, pp. 17.
- [10] 정태성 (1992), 연안해수유동 및 온배수 확산에 관한 3차원 수치모형, 서울대학교 토목공학과 박사학위 논문.
- [11] Albertson, M.L., Dai, Y.B., Jensen, R.A. and Rouse, H. (1948), Diffusion of Submerged Jets. Trans. ASCE, Vol. 115, pp. 639~697.
- [12] Brooks, N.H. and Kor, R.C.Y. (1965), Discharge of Sewae Effluent from a Line Source into a Stratifred Ocean. Eleventh International Congress, International Association for Hydraulic Research, Leningrad, Soviet Union.
- [13] 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.
- [14] Harleman, D.R.F., and Stolzenbach, K.D., (1972), Fluid Mechanics of Heat Disposal from Power Generation. Ann, Rev. Fluid Mech., 4, 7-32.
- [15] Jirka, G.H., and Harleman, D.R.F. (1979), Stability and mixing of a vertical plane buoyant jet in confined depth, J. Fluid Mech., vol. 94, no. 2, pp. 275-304.
- [16] 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.
- [17] 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
- [18] Wood. I.R., Bell. R.G. and Wilkinson. D.L. (1993), Ocean disposal of wastewater, World Scientific, Singapore.
- [19] Gerhard H. Jirka, Robert L. Doneker and Steven W, Hinton, (1996), User's manual for CORMIX, Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC20460

원고접수일 : 2003년 12월 30일

원고채택일 : 2004년 3월 23일