

제한투기시설에서 배출되는 여수의 거동

정 대 득* · 이 중 우**

The Behavior of Effluent Discharged from the Confined Dumping Facility

D. D. Jeong · J. W. Lee

Key Words : 제한투기시설(Confined Dumping Facility), 여수(Effluent), 준설토(Dredging Material), 투기(Dumping), 길이비모델(Length-scale model)

Abstract

The primary purpose of dredging work is to maintain navigational readiness and to increase environmental amenity. Therefore the dredging project, which is composed of excavating, removing, transporting and storing or dumping dredged material, must be carefully managed to insure that dredging works are completed in a cost-effective and environmentally safe method. The most important point in dumping operations is evaluating and decreasing the impacts of dumping works at the dumping area. One of the most effective method for this purpose is using the schematic process composed of the sophisticated plan, precise work and predicting/reducing the impacts based on an numerical model being closely linked with field observation.

In this study, a numerical model is used to predict the spatial transport and fate of the effluent discharged from the confined dumping facility(CDF) located at a coastal area. To achieve this purpose, numerical models were used for reappearing the tidal current of concerned area. These models were then applied to Mokpo harbor where capital dredging and maintenance dredging are being conducted simultaneously and the CDF is under construction.

In series of model case study, we found that the effluent discharged from CDF was governed by the receiving water condition and outfall geometry, so that limit of near-field was 14~500 meter down stream and 4~150 meter in transverse direction. Dilution ranged from 1.1 to 8.2 on the cases. Long-term diffusion characteristics was governed by the dilution rate during near-field behavior, ambient conditions and CDF operation modes.

* 정희원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부 조교수

** 정희원, 한국해양대학교 토목환경공학부 교수

1. 서 론

항만이나 연안수역의 퇴적량의 증가와 대형화되어 가는 선박의 항행체계를 유지하기 위해서는 항만과 수로의 지속적인 준설작업이 필요하게 된다. 또한 항만이나 연안역 개발과정에도 대부분 준설공사가 병행된다. 최근에는 폐쇄성·반폐쇄성 해역으로 해수교환율이 낮아 육상으로부터 유입되는 각종 오염물질이 저면에 퇴적되어 있거나 오염도가 높은 해역에서 해수수질개선 및 해양생태계 회복을 목적으로 환경준설이 행해지고 있다.

준설이란 임의 장소의 해저물질을 물리적으로 제거한 후 이 물질을 다른 장소로 이동시키는 것으로 굴착·제거, 수송 및 처치 과정으로 이루어진다. 준설기법은 크게 발전하고 있지만 여전히 해결해야 할 문제점들이 지적되고 있으며 특히, 준설토 처리과정에서 발생하는 문제가 심각하다고 할 수 있다. 준설토 처리법은 환경측면에서 수용가능성, 기술적 실행가능성 및 경제성이 균형있게 고려되어 선택되어야 하며, 그 범주는 개방수역투기법, 제한영역투기법, 유효이용법으로 대별된다. 준설토를 투기하여 처리하기 위해 호안을 축조하여 조성한 투기장을 제한투기시설이라 한다. 이 시설을 이용한 준설토처리법은 준설지역과 투기장이 가까운 경우에 펌핑투기에 의해 주로 이루어지며, 대량의 준설토 처리에 효율적이고, 준설토 투기작업 이후에 부지를 활용할 수 있기 때문에 가장 일반적으로 이용된다. 그러나 작업과정에서 투기물질의 유출정도, 침출 방지, 월파에 의한 유출 방지 및 구조물의 안정도 등이 고려되어야 한다.

본 연구에서는 준설토를 제한투기시설에 투기하는 과정에서 준설토 자체 및 오염물질의 주 유출경로가 되는 여수의 거동을 해석하고, 이로 인한 문제점을 파악하여 최적처리를 위한 제한투기시설 운영 방안을 모색하고자 한다. 이를 위해 준설 및 제한투기시설 조성에 의한 변화요인을 감안한 배출해역의 유동변화를 ADI법을 이용한 해수유동시물레이션으로 재현하였으며, 제한투기시설에서 배출된 여수의

초기거동은 부(-)표면부양성배출로 가정하고 길이비 모델을 적용하여 다루었으며, 장기거동해석은 이류 확산시물레이션에 의해 해석하였다.

2. 준설 및 준설토처리 현황

최근 국내 주요항만에서 행해진 준설작업의 연도별 통계량(해양수산부, 1985~1998)을 Table 1에 나타내었다. 총 준설량의 변화를 살펴보면 약간의 차이는 있으나 준설량 및 준설면적이 매년 지속적으로 신장하고 있음을 알 수 있다. 목포항 기준항만 정비공사 및 유지준설공사에서 수립된 연차별 준설계획(해양수산부, 1994)에 의하면 목포남항 주변의 정박지준설, 항로준설, 유지준설 등에서 발생하게 될 준설토량은 2,481천 m^3 이며, 북항지구의 물량장, 박지조성공사에서 발생하게 될 준설토량은 2,818천 m^3 으로 2010년까지 매년 평균 248천 m^3 의 준설이 행해질 것으로 파악되었다. 이외에도 목포신외항 건설과정에서도 다량의 준설토가 발생할 것이다. 이는 항만 개발뿐만 아니라 대형화되어 가는 선박의 효율적 입·출항을 도모하여 항만의 기능을 유지하기 위해서 많은 양의 준설이 행해지고 있다는 것을 나타내고 있다.

Table 1 Annual dredging work of major ports in Korea

Year	Number	Volume(m^3)	Area(m^2)
1985	28	834,520	516,479
1986	40	940,794	654,615
1987	29	1,442,752	789,520
1988	30	1,888,623	914,049
1989	27	1,889,400	1,173,639
1990	23	2,623,117	1,348,813
1991	38	1,541,550	1,065,260
1992	31	3,186,067	1,221,352
1993	31	7,120,127	2,403,410
1994	41	7,673,708	2,459,049
1995	25	4,452,726	1,603,926
1996	21	3,761,500	728,580
1997	31	3,846,155	1,791,776
1998	33	11,590,763	3,180,523

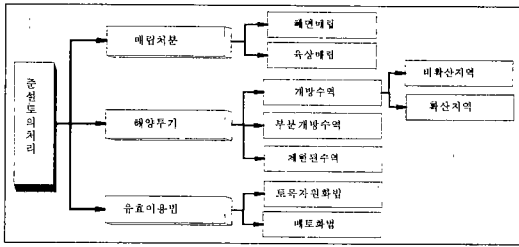


Fig. 1 Disposal alternative

준설토 처리법의 범주를 Fig. 1에 도시하였다. 특히, 대부분의 항만 준설토는 오염물이 포함되어 있으므로 준설 및 처리과정에서 준설토 성분 분석, 적절한 준설 작업방법과 장비 선택, 운반 및 투기법, 오염물질 처리법, 적절한 투기장소의 선택, 환경에 미치는 영향 등을 명확히 파악하여 준설로 인한 악영향을 최소화해야한다.

Table 2는 전세계적으로 준설토를 처리하고 있는 현황을 정리한 것이다. 준설토의 처리는 60%정도가 해안역 및 해양에 투기되고 있으며 내륙의 저습지를 포함하면 수역에 투기되는 비율은 86%에 육박하게 된다.

우리나라의 준설토 처리사례로는 부산광역시 가덕도 북측 및 진해시 일원의 공유수면에 위치한 부

산 신항 개발사업에서 총 준설량 84,306천 m^3 중 제한투기시설을 조성하고 매립처로 재활용되는 양은 총 준설토의 96.75%인 81,564천 m^3 이며, 해양에 투기되는 양은 2,742천 m^3 으로 총 준설토의 3.25%이다(해양수산부, 1997). 목포항의 경우 기존항구 정비공사로 인하여 발생하는 총 준설량과 투기장의 수용량은 각각 5,158천 m^3 과 5,203천 m^3 이며, 모든 준설토를 연안투기장에 투기할 계획이지만, 준설토 발생시점과 투기장 조성 후 투기 가능시점에 차이가 있어 상당량을 신외항 개발지, 별도의 투기장 조성 또는 해양투기에 의해 처리되어야 할 것으로 보고되었다(해양수산부, 1994).

또한 최근에 우리나라에서 시행된 대형 준설매립공사로는 1992년 수립된 송도 신시가지 조성계획에 의해 인천 내외항의 개발준설과 유지준설량 3,419천 m^3 을 포함하여 총 187,900천 m^3 을 매립한 송도 공유수면 준설매립공사, 준설소요량 약 143,201천 m^3 을 매립하는 인천국제공항 공사 등이 있으며, 1962년부터 1998년까지 준공된 공유수면 매립공사는 총 3,004건으로 매립면적은 837.9 km^2 이다.

준설토처리 및 준설매립공사에 가장 많이 이용되고 있는 제한투기시설의 기본 개념을 Fig. 2에 나타

Table 2 Worldwide method of disposal

Region	Methods of disposal (Volume in thousands of Cubic Yard)					Total(%)
	Upland	Near wetlands	Shore	Ocean	Other	
Northern Europe	39,196	59,520	42,936	62,044	29,412	233,090(22)
Mediterranean	0	13,774	15,001	664	0	29,439(3)
Africa	0	152,942	76,471	25,549	0	254,992(24)
Southern Asia	62,484	11,197	121,831	89,149	0	284,661(26)
Southeast Asia	0	3,078	3,698	15,190	0	21,966(2)
East Asia	5,783	32,220	102,451	4,323	0	144,777(13)
South Pacific	3,972	2,687	26,335	32,588	0	65,582(6)
North America	6,012	9,696	8,459	16,549	159	40,875(4)
Caribbean	820	646	0	2,484	0	3,950(0)
Total (%)	118,267 (11)	285,742 (26)	397,182 (37)	248,540 (23)	29,571 (3)	1,079,302 (100)

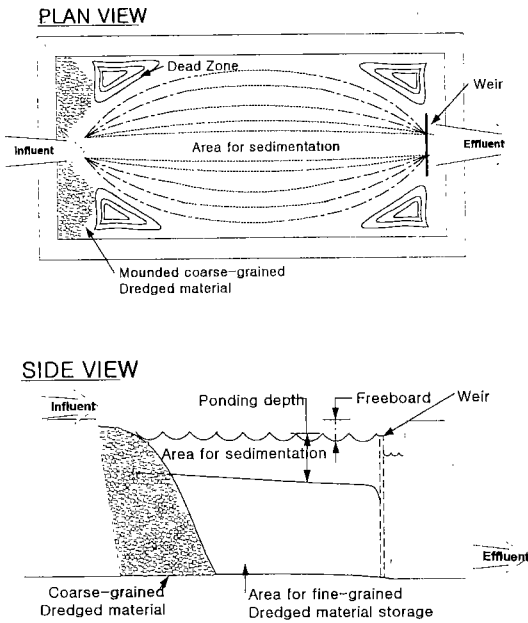


Fig. 2 Schematic view of CDF

내었다. 준설토에는 특히 최초준설토에서 발생하는 준설토의 경우에는 모래, 점토, 자갈 등이 포함되어 있는 경우가 많으며, 조립물질은 준설토 유입구 부근에서 급속하게 하강하며, 세립물질은 대부분 투기장 내의 모든 영역에서 침전하며 투기장의 저장용량에 많은 영향을 미친다. 상층수는 일반적으로 제방을 거쳐 투기장으로부터 배출된다. 따라서 환경적 측면에서 제한투기시설의 운영은 대부분 여수의 수질상태 즉 부유토사 및 탁도와 함유된 오염물질에 의해 규제되므로 여수 관리가 중요하다.

Table 3은 항만시설물설계기준서에 규정된 제한투기시설에 투기된 준설토의 토질특성별 유실률이다. 유실률은 토질조건 및 준설토방법뿐만 아니라 매립 가호안의 축조여부, 여수로의 위치와 높이, 여수 토로부터의 거리, 매립면적, 시공관리 등 여러 가지 요인에 의해 달라지지만 투기되는 준설토의 상당량이 여수와 같이 유실되는 것으로 나타나 있다.

Table 3 Loss rates of dredged material in CDF

Classification		Loss rate(%)
Soil classification	Clay & Silty clay	30 more than
	Sandy silt	5-30
	Gravels	0-5
Grain size (mm)	> 1.2	NIL
	1.2-0.6	5-8
	0.6-0.3	10-15
	0.3-0.15	20-27
	0.15-0.075	30-35
	< 0.075	30-100

3. 여수의 거동해석

먼저, 여수의 거동해석에 기초 자료가 되는 배출수역의 유동장을 준설토에 의한 수심변화, 제한투기시설의 축조에 의한 수역변화 및 배출되는 여수 자체에 의한 유동장의 변화요건을 감안하여 재현하며, 지배방정식으로 장파근사에 근거한 평면2차원 유체 지배방정식을 적용한다. 2차원화된 유체지배방정식은 식(1)~(3)과 같이 나타난다.

연속방정식

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (1)$$

x축 방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UM) + \frac{\partial}{\partial y}(VM) - fN = \\ -g(h+\zeta)\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t \frac{\partial M}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t \frac{\partial M}{\partial y}\right) \\ - \frac{r_b^2}{(h+\zeta)^2} MN\sqrt{M^2+N^2} \end{aligned} \quad (2)$$

y축 방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UN) + \frac{\partial}{\partial y}(VN) + fM = \\ -g(h+\zeta)\frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t \frac{\partial N}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t \frac{\partial N}{\partial y}\right) \\ - \frac{r_b^2}{(h+\zeta)^2} NW\sqrt{M^2+N^2} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, U, V : x, y 방향 단면 평균 유속 (m/sec)

M, N : x, y 방향의 선유량 (m^2/sec)

q : 유입량 (m^3/sec)

ζ : 조위 (m)

h : 평균수심 (m)

ν_t : 와동점성계수 (m^2/sec)

t : 시간 (sec)

γ_b^2 : 해저마찰계수

제한투기시설에서 배출되는 여수의 초기거동은 운동량과 부력에 의해 유동의 형상과 거동이 제어되는 표면부양성제트로 다룰 수 있으며 이는 바닥에서 배출되는 표면부양성제트의 대칭형상으로 다룰 수 있다. 여기에서는 횡방향흐름, 수심에 의한 제한을 모델링하기 용이하고 경계조건 설정이 간단한 길이비모델을 이용하여 해석한다.

길이비모델은 유동의 거동을 몇 개의 영역으로 구분하고, 각각의 영역을 지배하는 초기운동량, 부력 플럭스, 배출수역의 횡방향흐름과 같은 특정한 특성에 의해 각 영역에서의 유동을 차원해석에 의한 점근식으로 근사화하는 모델이다. 길이비는 배출체적 플럭스 $Q_0 = a_0 u_0$, 운동량 플럭스 $M_0 = u_0 Q_0$, 부력 플럭스 $J_0 = g_0 Q_0$, 횡방향흐름 u_a 의 향으로 정의된다. 여기서 a_0 는 배출단면적, u_0 는 배출속도, g_0 는 초기감쇄중력가속도로 $g(\rho_a - \rho_0)/\rho_a$ 로 정의되며, ρ_a 는 주변밀도, ρ_0 는 배출물의 초기밀도이다. 표면부양성제트 해석에 이용되는 길이비를 정리하면 Table 4와 같다.

표면부양성제트의 초기거동은 근역과 원역으로 구분하여 해석하는 것이 용이하다. 근역에서의 거동

Table 4 Length-scales used for buoyant surface jet

$L_Q = Q_0 / M_0^{1/2}$	= discharge(geometric) scale
$L_M = M_0^{3/4} / J_0^{1/2}$	= jet/plume transition scale
$L_m = M_0^{1/2} / u_a$	= jet/crossflow scale
$L_b = J_0 / u_a^3$	= plume/crossflow scale

에 영향을 미치는 변수를 고려하여 임의의 유동변수 Φ 를 식(4)과 같이 설정하고 차원해석에 의해 해석한다.

$$\Phi = f(Q_0, M_0, J_0, u_a, s, H, h_0, b_0, \sigma) \quad (4)$$

여기서, s : 제트중심선상의 거리

H : 배출수역의 평균 수심

h_0 : 배출지점의 수심

b_0 : 여수토의 폭

σ : 배출각도

표면부양성제트의 근역에서의 거동은 정체수역에서는 강한 제트혼합을 하며, 횡방향흐름이 존재하는

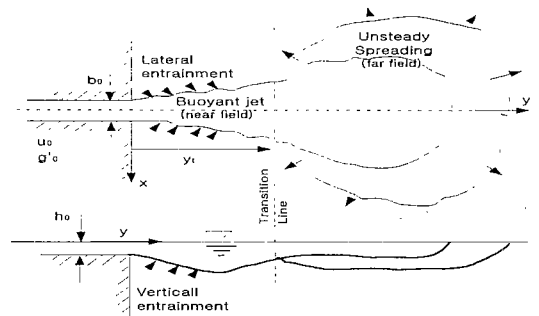


Fig. 3 Typical buoyant surface jet in a stagnant environment

배출수역에서의 거동은 길이비에 의해 거동형태가 달라진다.

Fig. 3은 정체수역에서 표면부양성제트의 거동을 나타내고 있다. 거의 편향되지 않은 부양성제트영역에서는 측면방향 및 수직방향 연행이 발생하여 제트의 폭 및 두께가 증가한다. 부양성제트영역의 종점 즉 근역혼합이 종료하고 원역이 시작되면 원형더미를 형성하여 모든 방향으로 비정상상태로 퍼져나간다.

강한 제트형 혼합에 의해 지배되는 초기영역에서는 차원해석에 의해 제트의 중심선상 속도 u_c 와 제트의 반폭 b 를 각각 식(5), (6)으로 나타낼 수 있다.

$$u_c = c_1 \frac{M_0^{1/2}}{s} \quad (5)$$

$$b = b_1 s \quad (6)$$

만약 중심선상에서의 회석값 S 을 초기배출농도 c_0 와 중심선상에서의 농도 c 로 c_0/c 와 같이 정의한다면, 차원해석으로 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$S = s_1 \frac{M_0^{1/2}}{Q_0} s = s_1 \frac{s}{L_Q} \quad (7)$$

이들 식에서 이용되는 상수 c_1, b_1, s_1 는 실험에 의해 결정되어야 한다.

이어지는 부양성퍼짐 영역에서도 초기운동량이 계속 유지되면, 식(5)로 주어지는 중심선 속도 관계식은 유효하다. 그러나 부양성퍼짐영역에서 플룸은 밀도류처럼 거동하는 것으로 다룰 수 있다. 밀도류는 일반적으로 플룸의 가장자리에서 주변유체를 연행하며 식(8)과 같이 정의되는 v_B 의 속도로 측면으로 퍼진다(Benjamin, 1968)

$$v_B = \left(\frac{g b_v}{C_D} \right)^{1/2} \quad (8)$$

여기서, b_v : 제트의 수직방향 깊이

C_D : 항력계수

퍼짐속도를 제트의 수평방향 반폭 b_h 의 항에 의해 $v_B = u_c (db_h/ds)$ 로 정의할 수 있으므로, 이 식과 부력 플럭스 항등식 $J_0 = 2u_c g b_v b_h$ 으로부터 g 를 식(8)에 적용하여 식(5)에 다시 대입하면 비부양성 거동에 근거한 섭동해석에 의해 제트의 궤적식이 식(9)와 같이 구할 수 있다.

$$b_h = \left((b_{hi}s)^{3/2} + b_{hi} \left(\frac{1}{2C_D} \right)^{1/2} \frac{1}{L_M} (s - s_i)^{5/2} \right)^{3/2} \quad (9)$$

여기서, b_{hi} : 영역이 시작되는 점에서 반폭

s_i : 영역이 시작점에서부터 궤적상 거리

b_{hi} : 상수

부력플럭스와 오염물질 플럭스가 보존되기 때문에 항등식 $u_c g b_v b_h = constant$ 을 초기조건과 결합하면 회석식을 식(10)과 같이 구할 수 있다.

$$S = S_i \left(\frac{b_h}{b_{hi}} \right)^\beta \quad (10)$$

여기서, S_i : 초기 회석

횡방향흐름이 존재하는 수역으로 배출되는 여수의 근역거동은 주변운동량을 연행하여 제트가 점차적으로 굽어지게되며, 제트의 거동은 길이비에 의해 완전제트, 벽면제트, 해안선부착유동, 상류침투플룸으로 구분되며 정체수역에서의 해석식에 횡방향흐름에 의한 하류 측으로의 이류를 감안하기 위해 식(11)과 같은 섭동항이 포함되어야 한다.

$$\frac{u_c}{u_a} = \frac{dy}{dx} \quad (11)$$

표면부양성제트의 원역거동은 부양성퍼짐과 수동확산으로 이루어진다. 부양성퍼짐은 근역에서 주변수와 혼합된 배출물이 주변흐름에 의해 하류로 이루어는 동안 발생하는 수평횡방향 퍼짐으로 주변수와 밀도차에 의한 부력에 의해 발생하며, 근역혼합형태와 주변성층에 따라 (1) 수면에서의 퍼짐 (2) 바닥에서의 퍼짐 (3) 밀도약층에서의 퍼짐 (4) 주변수가 연속(선형)성층된 경우 부력중립수심에서의 퍼짐으로 나타난다. 수동확산은 유동이 배출점으로부터 충분히 떨어진 영역에서 주로 주변난류에 의해 이루어지고 혼합정도는 기존의 성층상태와 주변 전단유동에 의해 결정된다.

장기확산거동 해석은 물질확산의 기초방정식을 수심방향에 대해 $-h \leq z \leq \zeta$ 까지 적분하고 유입부하량을 감안하면 식(12)와 같이 2차원화된 물질확산 방정식을 이용하여 해석한다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} [(h+\xi)C] + \frac{\partial}{\partial x} [(h+\xi)UC] + \frac{\partial}{\partial y} [(h+\xi)VC] \\ & = \frac{\partial}{\partial x} [(h+\xi)D_x \frac{\partial C}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(h+\xi)D_y \frac{\partial C}{\partial y}] + a_m \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, U, V : x, y 방향의 단면 평균 속도

$$C : \text{수심 평균 농도} = \frac{1}{\xi+h} \int_{-h}^{\xi} c \, dz$$

D_x, D_y : x, y 방향의 분산계수

a_m : 유입부하량

4. 모델실험

4.1 모델의 구성

제한투기시설에서 배출되는 여수의 거동 해석모델을 목포신외항 건설공사의 호안 매립공사시 배출되는 여수해석에 적용한다. 모델 해역은 광역 모델 해역으로 안좌도와 화원반도를 연결하는 선을 하단 개방경계로, 당사도를 가로질러 압태도와 매화도를 연결하는 선을 상단 개방경계로 하고, 압태도-팔금도-안좌도 사이의 해역을 좌측개방경계로 영산호 방류구를 포함한 해역을 우측폐쇄경계로 하여 118×119의 계산격자망을 구성하였다. 수심자료는 수로국 간행해도(NO.321, 342)에서 읽어들이어 평균해면에서의 값으로 보정하였으며 입력조건은 다음과 같다.

- 수평방향 격자간격 : $\Delta x = \Delta y = 300m$
- 시간간격 : $\Delta t = 5sec$
- 상단경계조건 : 진폭 $a = 1.9046m$,
지각 $\phi = 36.14^\circ$, 주기 $T = 12\text{시간 } 25\text{분}$
- 하단경계조건 : 진폭 $a = 1.6538m$,
지각 $\phi = 24.11^\circ$, 주기 $T = 12\text{시간 } 25\text{분}$
- 해저마찰계수 : $\gamma_b^2 = 0.0026$
- 외동점성계수 : $\nu_t = 100.0 \, m^2/sec$
- 코리올리계수 : $f = 8.3 \times 10^{-5} / sec$

협역 모델 해역은 목포구-달리도-눌도-목포북항의 내수측 해역으로 하여 89×87의 계산격자망을 구

성하였으며, 모델에서 이용되는 입력조건은 광역모델해역의 경우와 같다. 단, 격자간격은 $\Delta x = \Delta y = 150m$ 으로 설정하였으며, 개방경계조건은 광역 모델 계산에서 협역 모델 해역의 경계값을 추출하여 적용하였다.

제한투기시설에서 배출되는 여수의 배출량은 목포남항 준설토 투기장의 여수토 설계(해양수산부, 1998)에 적용된 월류량/유역면적을 기준으로 19.61 m^3/sec 로 적용하였으며, 배출물질의 농도는 목포남항준설토 투기장의 공사단위별 부유물질 발생량 산정값을 근거로 하여(해양수산부, 1998) 저감후의 배출물질의 농도로 12.64 g/m^3 을 적용하였다.

한편 해수밀도분포는 해면(1.001)에서 해저면(1.004)으로 성층된 것으로 하여 모델을 설정하였다. 배출유속 U_0 은 유압식 준설작업선의 통상적인 배출유량과 목포남항 준설토 투기장의 여수토 검토결과에 근거하여 4.8 m/sec 을 적용하였고, 배출지점의 수심 H_D 는 항만시설의 전면에 예상수심 13 m 로 적용하였으며, 배출수로의 폭 b_0 은 목포남항 준설토 투기장 A, B, C구역의 여수토폭을 참조하여 5 m 로 하였다.

배출지점 저면에서 바다 경사 θ 는 배출지점의 수심과 전면수역의 평균수심의 값에 근거하여 5° 을 적용하였다(Fig. 4).

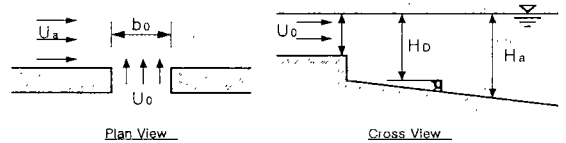


Fig. 4 Schematic View of Discharging from CDF

여수의 초기거동 모델에서 정체수역 및 횡방향흐름이 존재하는 수역에서 여수의 초기거동해석에 적용된 길이비모델의 계수값을 Table 5와 같이 적용하였다(Fisher, H. B. et al, 1979 등).

Table 5 Coefficient value for CDF model

Coefficient	Value
c_1	2.0
b_1, b_3	0.11
b_2	0.3
s_1, s_3	0.12
s_2	0.15
b_{b1}	0.045
b_{b2}	0.3
t_1, t_2, t_3, t_4	2.0
C_{D1}	1.0

제한투기시설의 운영방식에 따른 여수의 장기거동형태를 파악하기 위해 제한투기시설의 남측 및 북측에 각각 4개의 여수토가 설치되어 배출되는 것으로 하였으며, 총 배출량은 일정하고 각각의 여수토에서 배출되는 배출량은 여수토의 갯수에 따라 등분되는 것으로 하였다.

4.2 모델실험 결과분석

Fig. 5와 Fig. 6은 모델 적용 해역에서 신항만 건설과 준설토 투기장 조성 등이 완료되었을 때의 신항만건설지역 주변의 최대 창조류와 최대 낙조류의 유동장을 나타낸 것으로 낙조우세의 조석형태를 잘 나타내고 있으며, 국립해양조사원에서 관측한 최대 창조류와 최대낙조류의 유형 및 유속값과 비교할 때 특히, 신항만 건설과 투기장 조성이후에 신항만 안벽 전면해역의 유속이 증가하는 것으로 예상된다.

여수의 거동에 따른 확산 범위를 나타내기 위해 각 지점에서 제트 궤적의 중심선 상의 농도의 1/e 인 영역을 플로팅하였으며, 제트내의 농도변화를 나타내기 위해 배출농도에 대한 지점별 유출물의 중심선상에서의 희석값으로 나타내었다.

Fig. 7은 단일 유수토에서 유출되는 준설토 투기장 여수의 최대 창조류에서의 거동 특성을 나타내고 있다. 최대 창조류에서는 약편향 영역이 주변유속의 흐름방향으로 100m가량 지속된 이후에 강편향으로

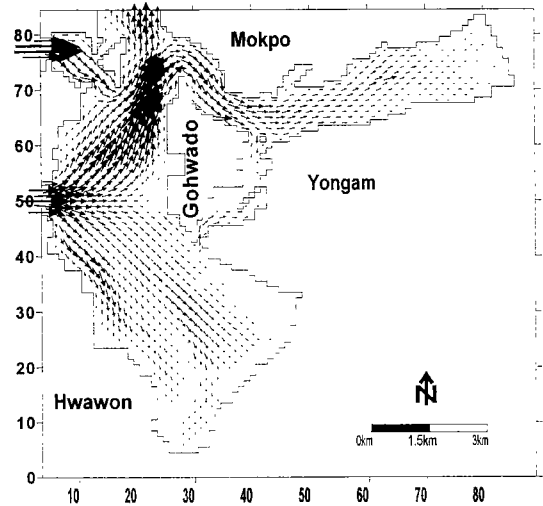


Fig. 5 Computed maximum flood flow after developing harbor

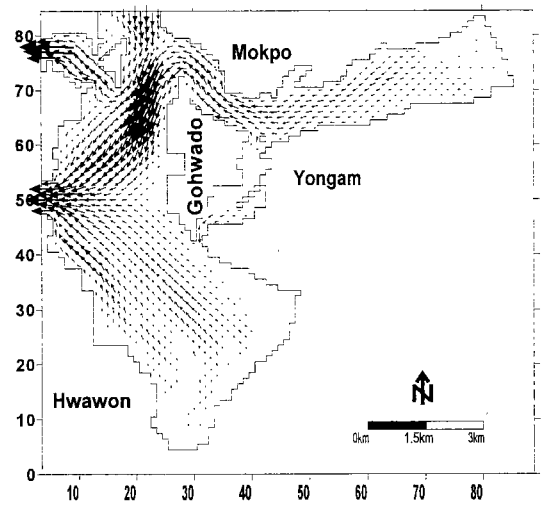


Fig. 6 Computed maximum ebb flow after developing harbor

전이 되었다. 또한 초기희석 종료지점에서의 희석값이 8.2로 모델 시험 중 가장 크게 나타났다. Fig. 8은 여구토가 4개 설치되어 배출유량이 감소한 상황에서 최대 창조류에서의 거동 특성을 나타내고 있다. 배출

유량의 감소로 배출 운동량이 감소되어 20m 이내에서 강편향되었다. Fig. 9는 단일 여수토에서 배출될 때 최대낙조류에서의 거동형태이다. 창조류의 경우보다 강한 주변 흐름의 영향에 의해 거의 배출지점 부근에서 강편향되었다. Fig. 10은 여수토가 4개 설치되어 상대적으로 적은 양의 유출물이 배출되는 경우 최대 낙조류에서 거동형태이다. 배출운동량에 의한 주변흐름의 수직방향으로 이동은 거의 나타나지 않고 있으며 호안에 연한 벽면제트의 형태를 나타내고 있다. 이 경우 제트는 거의 희석되지 않고 1.1 정도의 희석도를 유지하며 이동하는 것으로 나타났으며, 이것은 벽면제트 형태로 거동함에 따라 연행이 발생할 수 있는 표면적이 감소되고, 여수가 호안측 경계면에서 재순환하기 때문인 것으로 사료된다.

초기거동을 종료한 여수의 제한투기시설의 운영 방식에 따른 장기 거동특성을 파악하기 위해 장기거동실험을 행하였다. 실험조건은 목포신항만 건설을 위해 준설토를 투기하는 제한투기시설의 여수토가 북측에 4개 설치된 경우, 남측에 4개 설치된 경우로 구분하여 이들 여수토의 운영방식을 조합하는 것으로 실험을 수행하고 결과는 1조석주기 이후의 값을 나타내었다.

Fig. 11은 북측 여수토에서만 배출되는 경우로 목포 내항 및 북항측으로의 확산이 현저히 나타나고 있다. Fig. 12는 남측 여수토에서만 배출되는 경우로 확산범위가 배출지점 전면수역으로만 한정되었다. Fig. 13은 남측 및 북측 여수토에서 동시에 배출되는 경우로 확산형태는 배출수역전면에 걸쳐 나타나지만 농도는 낮게 나타났다. Fig. 14는 창조시에는 남측 여수토에서만, 낙조시에는 북측 여수토에서만 배출되는 경우의 확산형태를 나타내고 있다. 전체적인 거동형태는 남측과 북측에서 동시에 배출되는 경우와 유사한 형태로 나타났으나, 목포구 내측의 수역에서 확산범위와 농도가 현저하게 작게 나타났고, 모델 실험 경우 중 여수배출에 의한 영향범위가 가장 작고 초기희석이 가장 양호한 것으로 나타났다.

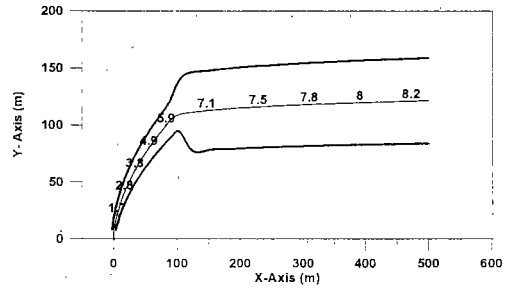


Fig. 7 Discharging from 1-port at flood tide

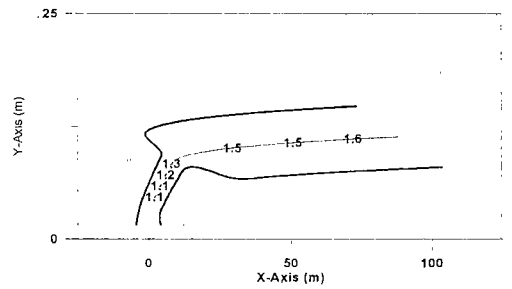


Fig. 8 Discharging from 4-ports at flood tide

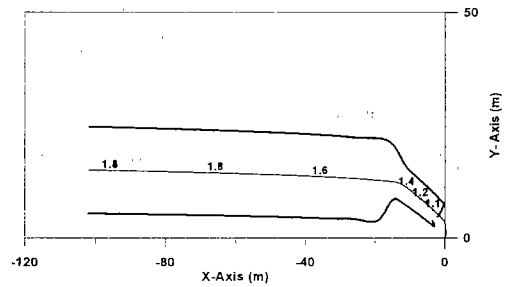


Fig. 9 Discharging from 1-port at ebb tide

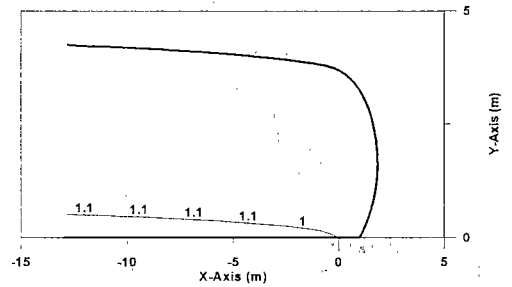


Fig. 10 Discharging from 4-ports at ebb tide

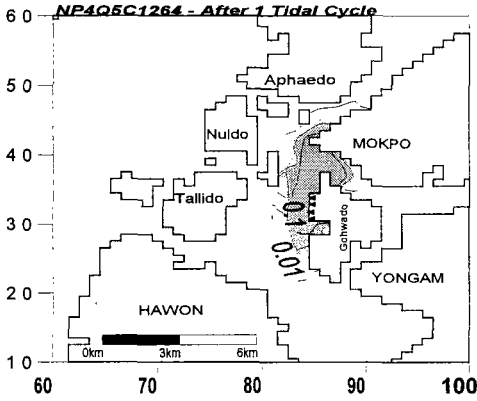


Fig. 11 Discharging from north ports

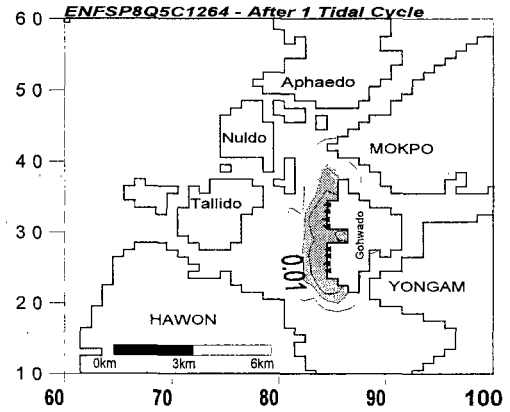


Fig. 14 Discharging from north(ebb) and south(flood) ports

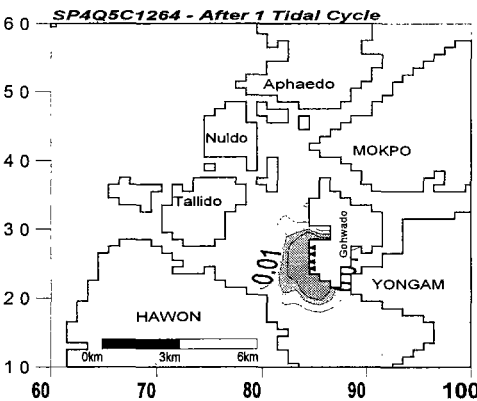


Fig. 12 Discharging from south ports

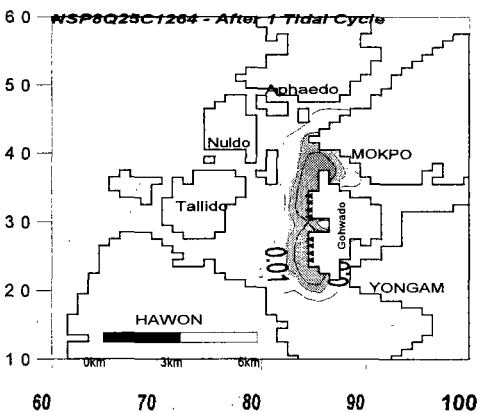


Fig. 13 Discharging from north and south ports

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 항만의 개발 및 운영과정에서 이루어지는 준설작업의 준설토 처리방법 중 제한투기 시설에 투기하여 처리하는 과정에서 배출되는 여수의 거동을 운동량과 부력에 의해 지배되는 초기 거동과 주변여건에 의해 이루어지는 장기거동으로 나누어 분석하였다. 이에 앞서서 투기 준설토의 거동 해석에 기본 자료가 되는 모델 적용해역의 유동을 재현하였다. 이를 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

제한투기시설에서 배출되는 여수의 거동해석에서 근역의 범위는 제한투기시설의 배출방식에 따라 결정되었다. 근역의 범위는 최대 낙조류에서 4개의 여수토가 설치된 경우 하류측으로 14 m, 횡방향으로 4 m, 최대 창조류에서 단일 여수토에서 배출되는 경우 하류측으로 500 m, 횡방향으로 150 m로 나타났다. 또한 여수의 궤적 중심선 상에서 희석도는 1.1~8.2로 근역의 범위에 비례하여 다양하게 나타났다. 즉, 배출유량이 감소하거나 주변유속이 강할 수록 여수의 거동은 약편향 영역이 감소하고 배출지점에서 가까운 거리에서 강편향되었으며 희석도도 감소하였다.

여수토의 위치 및 배출 시점과 같은 제한투기시설의 운영방식에 따라 장기확산특성에 차이를 나타내었으며 모델을 적용한 목포항의 경우 조시에 따라 여수토의 개방을 제어하는 운영방식의 경우에 배출된 여수의 초기회석이 가장 양호한 것으로 나타났다. 이 결과는 여수배출에 따른 환경민감지역으로의 확산거동 제어, 제한투기시설의 오탁방지막 설치 방식 결정에 고려되어야 할 것이다.

준설 및 수역 개발이 이루어지는 곳에서 발생할 수 있는 문제를 예측하고 이를 저감하기 위한 방안을 모색할 때 기본이 되는 유동장 자료는 개발 전과 후에 차이를 나타냄으로 수심과 수역면적의 변화와 같은 개발 이후의 상황과 배출되는 여수자체가 유동 변화에 미치는 영향을 수치모델 또는 수리모형실험을 통해 사전에 파악해야 할 것이다. 제한투기시설에서 배출되는 여수의 거동해석결과는 오탁방지막 설치와 연계한 실험분석으로 현장 준설 및 매립공사에 기본적인 평가수단이 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 해양수산부(1985~1998), 해운항만통계년보.
- 2) 해양수산부(1994), 목포항 광역개발 기본계획보고서(I).
- 3) 해양수산부(1997), 부산신항개발사업 폐기물 해양배출 조사평가보고서.

- 4) 해양수산부(1998), 목포남항 호안축조 실시설계용역 설계조위검토 및 수치모형실험 보고서.
- 5) 金子安雄, 堀江毅, 村上和男(1975), "ADI法による潮流汚染擴散の數値計算", 港灣技術研究報告書 第14卷 第1號.
- 6) Benjamin, T. B.(1968), " Gravity Currents and Related Phenomena", Journal of Fluid Mech. Vol. 31. No. 2.
- 7) Doneker, R. L. and Jirka, G. H. (1990), " Expert system for hydrodynamic mixing zone analysis of conventinal and toxic submerged single diffuser discharges (CORMIX1)", Rep. No. EPA/600/3-90/012, US Environmental Protection Agency, Environmental Reserarch Lab. Athens, Georgia.
- 8) Fisher, H. B. et al(1979), "Mixing inland and coastal waters," Academic Press, Inc., NY.
- 9) Jirka, G. H., Adams, E. E. and Stolzenbach, K. D. (1981), "Buoyant surface jets", Journal of Hyd. Div., ASCE, Vol. 107.
- 10) Jones, G. R., Nash, J. D. and Jirka, J. H. (1996), "CORMIX3 : An expert system for mixing zone analysis and prediction of buoyant surface discharges".
- 11) Wright, S. J.(1977), "Two dimensional buoyant jets in a stratified fluids", Journal Hyd. Div. ASCE, Vol. 105.