

하구언 방류가 만내의 해수유동에 미치는 영향

The Variation of Flow due to

Estuary Weir Discharge in a Bay

이관수, 이경훈*, 이삼노, 박진형**

1. 서 론

삼면이 바다인 우리나라의 경우 인구의 증가와 산업의 발달로 인한 생활 하수 및 공장 오수의 방류가 주로 하천으로 이루어지고 있다는 사실을 주목하여 볼때, 방류가 이루어지는 주변 해역의 생태계는 많은 변화를 일으키게 된다. 특히 남해안지역에 있어서 연안 해역의 생태계의 변화는 주변 수산자원의 증.양식에 커다란 영향을 미친다. 이 분야의 연구활동은 국내.외에서 활발히 이루어지고 있으며, 이에 목포항을 중심으로 한 영산강 하구언 해역을 통하여 유입되는 오염물질의 이동매체를 해석하는 것이다.

일반적으로 이 지역의 연안 해역의 해수운동은 조류와 해류가 복합되어 나타나며 진행파(Progressive Wave)와 더불어 주변의 해저 지형 및 기상의 영향을 크게 받고 있어서 대단히 복잡한 양상을 보이고 있다. 특히 이 지역은 많은 섬으로 이루어진 다도해이며, 반도사이로 크고 작은 강 등이 흐르고 해안선의 심한 굴곡과 좁은 수로때문에 특히 해수유동상태가 복잡하며 유속이 매우 강하다. 이렇게 복잡한 지형, 지세, 바람 및 육수의 유입등이 나타나는 연안역에서는 조류, 취송류, 경사류, 관성류, 와류, 저탁류등의 흐름이 다양하게 보여지며, 때와 장소에 따라서 해수유동이 크게 달라진다. 여기서는 조석, 조류, 향류등을 살펴본다. (그림. 1)

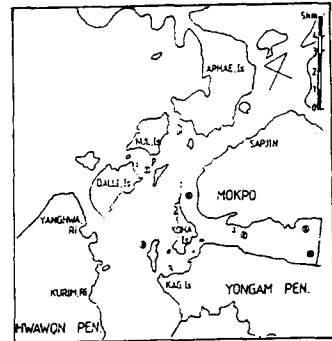


그림 1 조사지역의 지형도

2. 자료 및 방법

본 연구는 영산강 하구언의 방류가 주변해역의 환경에 미치는 영향을 Leendertse의 ADI 법을 사용하여 천수역에서의 해수유동을 해석하고, 여기에서 얻어지는 결과치를 현장관측치와 비교, 분석한 후 최적의 수치모델을 확립한다. 이 수치모형에서 얻어지는 유동해석자료를 이용하여 조사지역내의 하구언 방류에 따른 유동 및 주변 해역의 물리적 환경변화를 예측한다. 이를 위하여 측정된 수심, 유속의 값을 사용한다.

* 전남대학교 토목공학과 교수

** 여수수산대학교 해양토목공학과 교수, 석사과정

3. 수치 실험

1) 수치실험 기본 방정식

연안해역에서 평균해면사이의 한점을 원점으로하여 좌표계를 정의하여 변수들을 평균해면 하의 수심으로 부터 평균해면상의 해면까지 적분한 후, 전체수심으로 나누어 준 수심평균운동방정식과 연속방정식을 사용하여 유한차분음해법(ADI법)으로 시간분할 계산하여 해를 구하였다. 기본방정식은 아래와 같다.

연속 방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

운동 방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} v \nabla^2 u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} v \nabla^2 v$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

수심평균된 속도 u, v 는 다음 식으로 나타내어진다.

$$u = 1/H \int_{-h}^{\zeta} u' dz$$

$$v = 1/H \int_{-h}^{\zeta} v' dz$$

여기에서

u, v = 해면으로부터 저면까지의 x, y 방향의 평균유속성분

ζ = 평균해면으로부터 수면 변화

h = 평균해면으로부터 수심 변화

$H = h + \zeta$ = 총 수심

f = coriolis 계수 g = 중력 가속도

c = 저면의 조도에 따른 Chezy 계수 ν = 동점성계수

2) 모델의 수립

① 격자 구성 및 경계조건

본 수치계산에 사용된 모델의 영역은 동서방향으로 25.20km, 남북방향으로 15.00km지역을 모델의 해석범위로 정하여, 서쪽으로는 시아해의 전해상, 동쪽으로는 하구언까지, 북쪽으로는 압해도의 서단해상이, 동남쪽으로는 금호도 매립 지구까지 포함되도록 구성하였으며, 1

격자 사이의 거리는 300.0m이다.

모델내의 해안선의 위치와 격자점의 수심 채택에는 해도(축척 1:30,000 교통부 수로국,1993)의 자료를 이용하였다. (그림 .2)

위의 모델의 해석을 위해서는 초기조건과 아울러 적절한 경계조건이 주어져야 한다. 초기 조건은 $u(x, y, 0)=v(x, y, 0)=\zeta(x, y, 0)=0$ 으로 주어졌으며, 경계조건과의 불연속은 2조석 주기의 예비계산으로 충분히 제거되었다.

계산 시간 간격은 조석파의 전파향에 대한 Courant의 안정조건 식을 이용하여 구하였는데 다음과 같다.

$$\Delta t \sqrt{gH} / \Delta S < 20$$

여기서 Δt : 계산 시간 간격

g : 중력 가속도

H : 최대수심

ΔS : 격자 간격

본 목포해만의 경우, $\Delta S=300m$, $H=33m$ 를 뒀식에 대입하면 $\Delta t < 333.6424$ 이 된다. 따라서 본 수치실험에서는 74.5236초(1조석 주기/1200step)로 입력하였다.

각각의 계산 시간마다, 시아해 남북쪽 만구부와 목포해만의 북쪽수로에서 조석 조건이 입력된다.

목포항 일대의 기준 검조소인 목포항의 주요 조석특성과 목포구, 양화리 및 월래리의 조화분석결과(표1, 수로연보, 1983)를 기준으로 하여, 목포항부근의 조위관측 결과(수로연보, 1985)와 모델계산치가 일치될때까지 개방경계의 조석조건을 약간씩 수정하면서 수차에 걸친 검증실험을 행하였다.

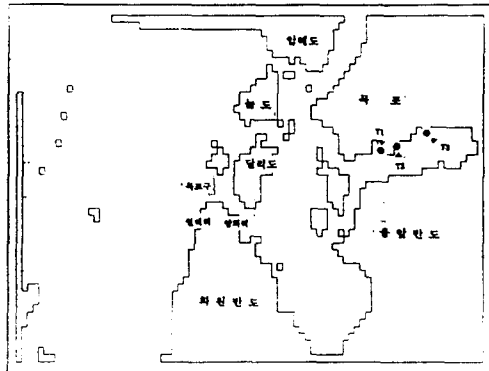


표 1. 모델의 기준 조석

기 준 점	M2		S2		K1		O1	
	Hd(cm)	Kd(o)	Hd(cm)	Kd(o)	Hd(cm)	Kd(o)	Hd(cm)	Kd(o)
목 포 구	25.970	327.79	11.340	19.85	3.14	160.01	2.36	153.23
양 화 리	132.30	40.00	39.300	84.70	30.30	249.30	25.00	225.90
월 래 리	142.40	30.00	45.300	71.60	30.50	242.40	25.80	220.90

개방경계면에서 조사해역내로 조석파가 전파될때 경계면에서의 반사파가 발생하므로 급격한 해면상승이 발생된다. 이러한 현상을 해결하기 위하여 연속방정식을 사용하여 반사파가

모델 밖으로 전파되게 하였다.

② 입력 자료

지구자전에 대한 전향력(f)은 다음식을 이용하였다.

$$f = 2 \Omega \sin \phi$$

여기서, Ω : 지구의 자전각속도, ϕ : 위도

본 실험에서는 목포해만의 중심 위도인 34.47를 입력하였다. 해저면의 마찰계수는 manning 계수 0.026을 입력하였다. 이상의 입력자료를 요약하면 다음 표. 2 에 나타낸 바와 같다.

표 2. 유동해석 입력자료

nx	=	84	Number of Grid
ny	=	50	
dx	=	300.0	Meter
dy	=	300.0	Meter
Control Parameter (Real-Dimension)			
dt	=	74.5236	T / 1200
xlatitude	=	34.4700	Latitude of Center
xmanning	=	0.0260	[0.02 - 0.03]
Datum	=	2.34	Datum Level [Read on the Sea Map]
M2		28.9841042	
S2		30.0000000	
K1		15.0410686	
O1		13.9430356	

3) 모델의 검증

모델에 의해서 계산된 값이 목포항일대의 실제조석에 얼마나 접근하는지를 평가하기 위하여 기존자료의 관측치와 비교하였는데, 비교 격자점의 단면위치를 표. 3 에 제시하였다.

표 3. 모델계산치 비교를 위한 격자점 및 단면위치

위치	Lat.	Long.	지명	자료
T1	34°46'41"	126°23'33	목포항	조석표(1991)

각 조석관측치와 계산치의 대비곡선을 그림 3 에 제시하였다. 대.소조기의 경우 계산 시작후 0시부터 25시까지의 2조석 주기동안 비교하였는데, 약 96%이상의 상관성을 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

1) 유속 변화

확정된 수치모델을 이용하여 계산한 결과를 아래와 같이 나타내었다. 이는 목포항부근의 조류관측결과와 일치하는 흐름을 보여주고 있다. 특히 하구언 지역의 유속은 대조기 최강시 (그림4~6) 남양조선소 앞 12cm/sec, 목포검조소 앞 13cm/sec, 하당매립지 앞 5cm/sec의 크기로 나타났으며, 소조기에는 남양조선소 앞 7cm/sec, 목포검조소 앞 7cm/sec, 하당매립지구 앞

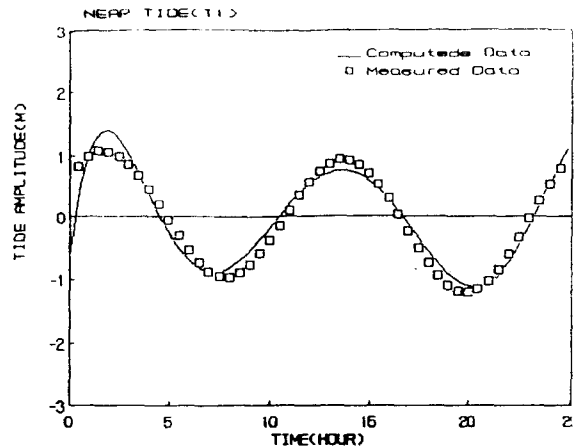
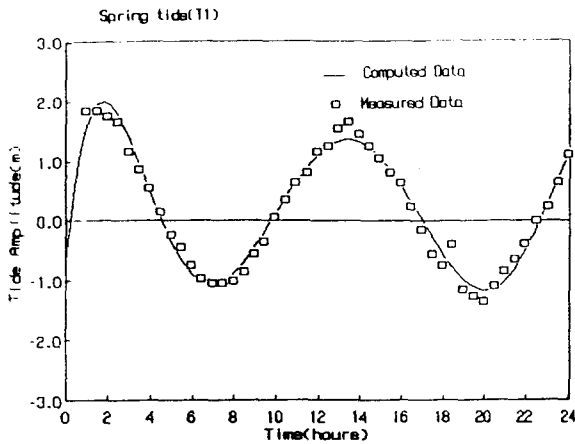


그림 3 T1 지점의 조위 검증 결과 (좌: 대조기 우: 소조기)

3cm/sec의 값을 가진다.

영산강 하구언에 방류를 실시하였을 경우의 계산은 대조기와 소조기로 나누어 실시하였으나 소조기의 경우 거의 영향을 받지 않으므로 여기서는 대조기의 경우 평균방류시(정상시)와

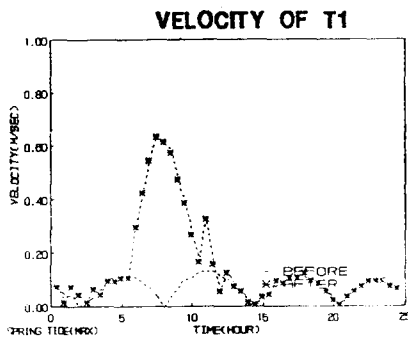


그림 4 T1 지점의 유속 변화
(대조기)

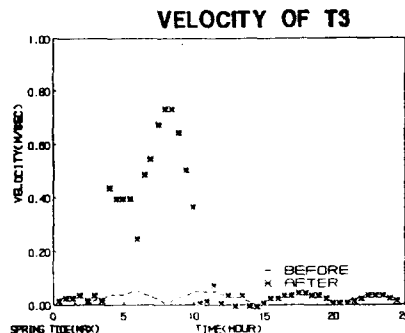


그림 5. T3 지점의 유속 변화
(대조기)

최대방류시(우기시 6-9월)(영산강 하구둑 관리대장, 1991)로 나누어 각각 58.4CMS와 132CMS를 적용하여 각 지점에 있어서 방류전과 방류후의 순간 최대 유속의 변화를 다음과 같이 표. 4 로 나타내었다. 하구언 방류후 1~2시간의 유속의 변화량을 그림 8 에 나타내었다.

구분	T1(목포검조소앞)		T2(남양조선소앞)		T3 (하당매립지구앞)	
	BEFORE	AFTER	BEFORE	AFTER	BEFORE	AFTER
유량 (Q)	AVE	63	13	70	5	73
	MAX	64		71		74

표 4. 대표 지점에 있어서 유속의 변화 (대조기) 단위 : CM/SEC

2) 조위 변화

수치실험결과에 의한 방류전과 방류후의 조위변화를 대조기와 소조기로 나누어 실시한 결과는 그림 9 과 같이 나타난다. 그림에서와 같이 각 지점의 조위변화는 거의 없었다. 최대 방류를 실시하였을 경우 대조기 최고수위때 목포검조소앞 226m, 남양조선소앞 228m, 하당

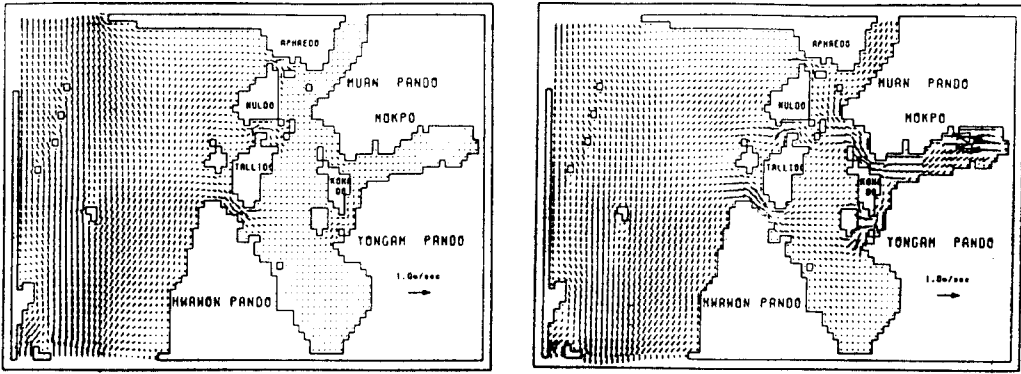


그림 6. 유동 해석 결과 (대조기 방류시 좌: 창조 우: 낙조)

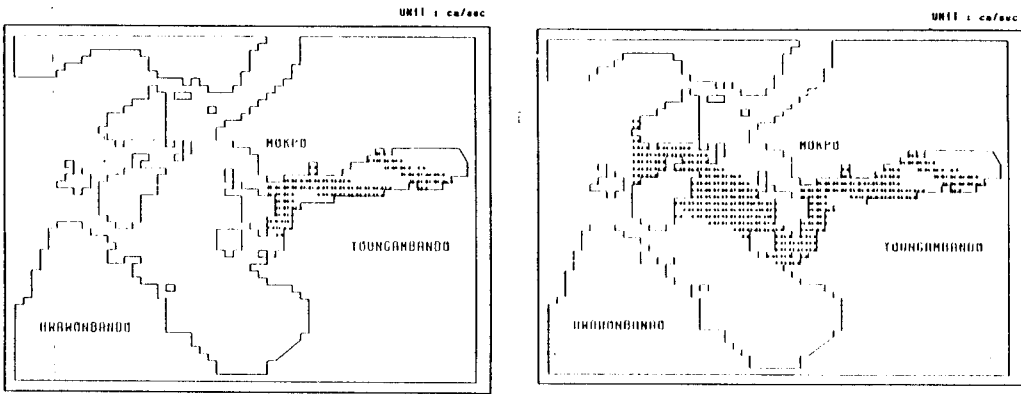


그림 7. 방류시간별 유속의 변화 (좌: 1시간 후 우: 2 시간 후)

매립지구 앞 232m로 나타났다. 소조기 최고수위때는 목포검조소 109m, 남양조선소 앞 109m, 하당 매립지구 109m 등으로 나타났으며 무방류시와 비교하였을때 소조기는 미미하므로 대조기의 차이만 표 .5 로서 나타낸다.(그림 10) 방류 직후의 시간별 조위의 변화를 다음과 그림11에 나타내었다.

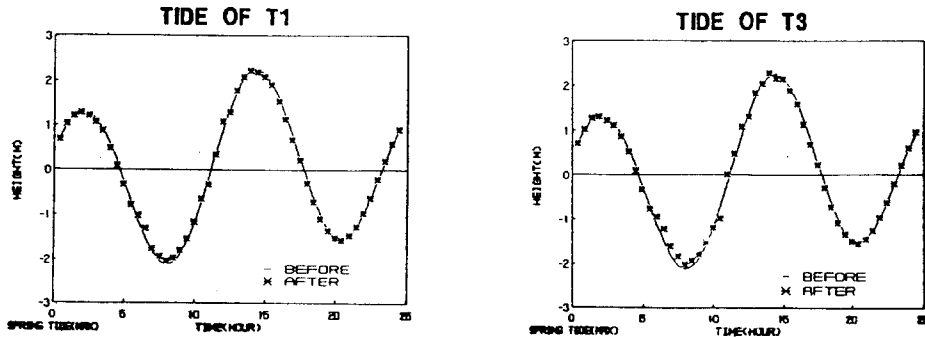


그림 8 방류후의 조위변화 (대조기 최대방류시)

구분	T1(목포검조소앞)		T2(남양조선소앞)		T3 (하당매립지구앞)	
	BEFORE	AFTER	BEFORE	AFTER	BEFORE	AFTER
유량 (Q)	AVE	226	226	228	226	231
	MAX	226		228		232

표 5 대표 지점에 있어서 조위의 변화 (대 조 기)

단위 : cm

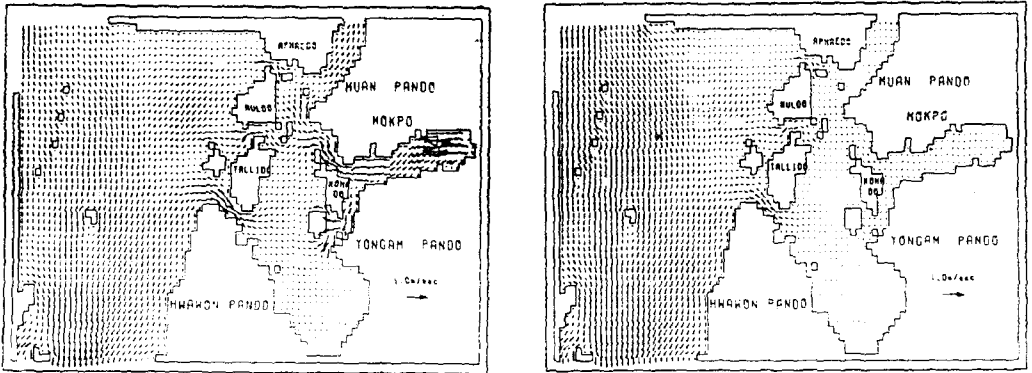


그림 9. 유동 해석 결과 (최대방류시 좌: 대조기 우: 소조기)

3) 향류

4개의 협수로를 통하여 하구언으로 유입되는 향류 성분은 미미하며, 대조기 방류시 늘도와 달리도사이의 협수로에 약간의 남동류가 유입되어 고하도와 영암반도 사이의 협수로를 통

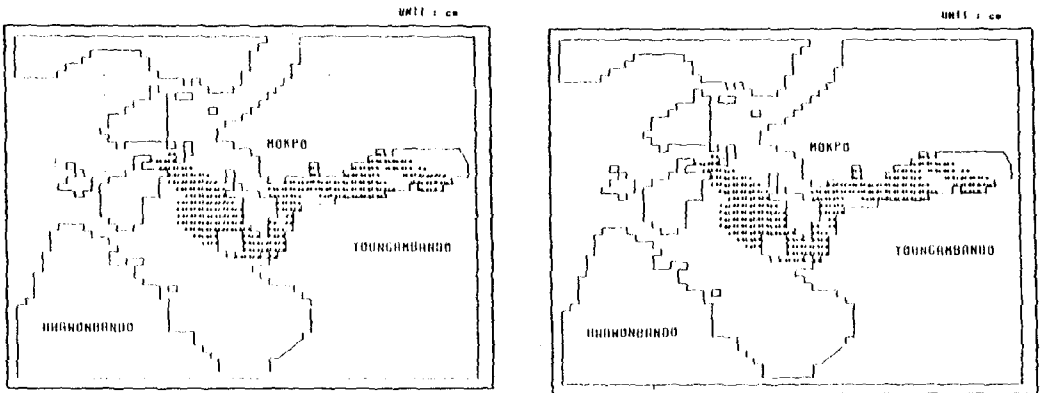


그림 10. 방류시간별 조위변화 (좌: 1시간 후 우: 2시간 후)

하여 남류하며, 고하도와 목포사이의 협수로를 통해 북류하면서 향류가 형성된다. 이때 소조기시에는 보이지 않는 하구언에서의 유속 증가가 향류의 유속 증가가 보인다. 소조기는 미미한 영향이라고 판단된다. (그림 12)

5. 결 론

목포항 지역의 유동을 해석한 결과는

1) 방류전후의 유속의 차이는 대조기 최대 방류시 하구언 방류때 하구언에서 고하도까지에 유속의 순간 변화가 나타났으며 고하도 남단의 수로로 남류하여 흐르는 지역에 약 2cm/sec의 유속의 증감이 나타났다. 목포와 압해도 사이의 지역에서도 약간의 수위상승이 있었다. 이러한 영향은 그 이외의 지역에서의 변화는 미미하고, 특히 소조기시에는 유속의 변화가 없었다. (그림 12)

2) 조위는 최대 방류(132CMS) 직후 3시간여에 걸쳐 하구언 앞에서 고하도 사이의 지역에서 조위의 상승이 두드러졌으며 T1, T2, T3의 경우 약 2CM의 수위 상승이 있었다. 소조기시는 1cm이하의 조위 상승이 이루어졌으며 이외의 지역에서의 변화는 거의 없었다. (그림 13)

3) 항류는 대조기 최대 방류 후의 유동의 변화가 하구언 바로 앞부분에 영향을 주고 있으며 이 항류 성분은 목포와 압해도, 고하도와 용암반도 사이로 유동하고 있으며 그외의 지역은 거의 영향을 받지 않는다

이상의 결과로 해서 하구언의 방류는 소조기 낙조의 시기에 이루어져야 수위와 유속의 영향을 주지않는 가장 이상적인 하구언의 방류시기인 것으로 판단된다.

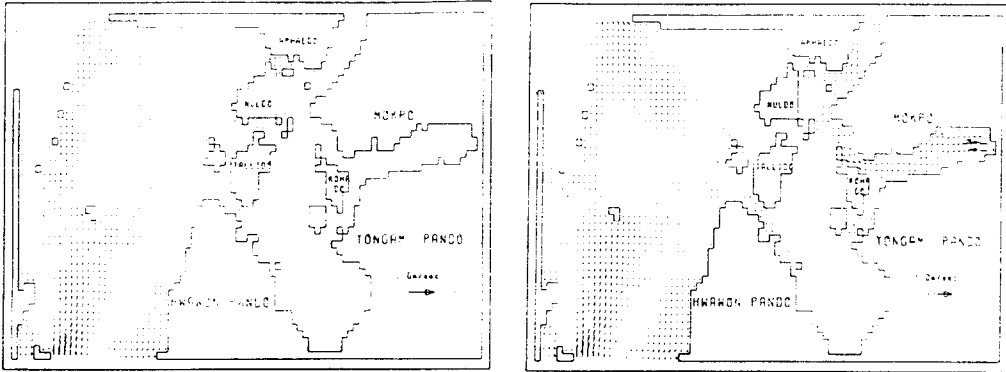


그림 11 . 항류 유동 해석 결과 (좌: 무방류시 우 : 최대방류시)

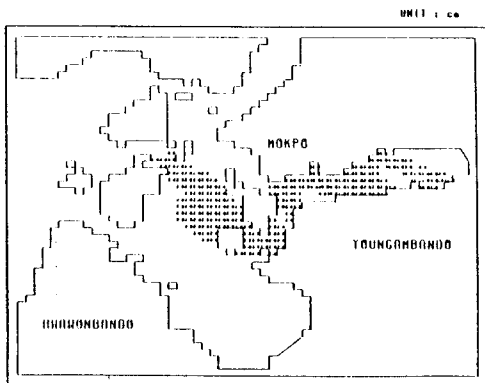


그림 12 최대방류시의 유속차

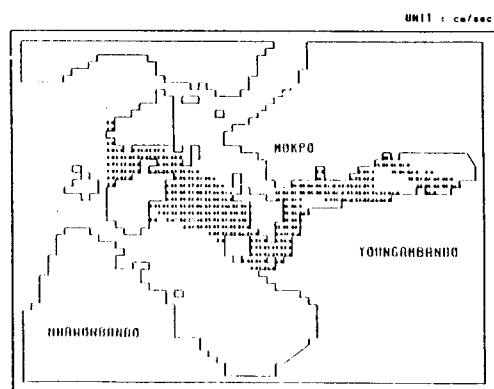


그림 13 최대방류시의 조위차

6. 참고 문헌

- 수로국, 1983, 목포항 및 부근의 조류 관측 결과, 수로기술연보, 대한민국수로국, pp. 150~178
- 수로국, 1984, 목포항 및 부근의 조류 관측 결과, 수로기술연보, 대한민국수로국, pp. 140~167
- 여수수산대학 수산과학연구소(1992) 목포시남해하수종말처리장 시설사업에 따른 어업권 피해
영향조사보고서, pp. 293 ~ 329.
- 남 기수, 1982. 강, 하천, 내만의 해수유동, 혼합, 확산. 해양연구소 소보, 4(2), pp. 103~118
- 목포시, 1994. 남해 하수종말처리장 건설사업에 따른 환경영향평가. 목포시: pp. 152 ~ 180
- 수로국, 1989~1990. 조석표. 대한민국수로국, 41pp.
- 이 길성, 강 주환, 1989. 천수방정식의 유한차분특성. 대한토목학회논문집, 9(1):pp. 25~28
- 이 삼노, 1992. 조류에 의한 오염물질 확산의 수치모형, 전남대학교 토목공학과 대학원
- Leendertse, J.J., 1971, A water-quality Simulation Model for Well-mixed Estuaries
and Coastal Seas, Vol. 2, The Rand Corporation, Santa Monica, California, pp. 71 ~ 75.