

영암-금호방조제 방류에 의한 해역 특성

김강민* · 김상훈** · 유하상*** · 정대득****

*,**,*** (주)세일종합기술공사, 항만 및 해안개발 기술연구소

**** 목포해양대학교 해상운송시스템학부

Characteristics of a Sea Area due to the Discharge through Yongam-Kumho Sea Dike

Kang-Min Kim* · Sang-Hoon Kim** · Ha-Sang Ryu*** · Dae-Deuk Jeong****

*,**,*** Seil Engineering Co., Ltd., Port and Coastal Development Institute

**** Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University

요약 : 목포항 인접해역은 영산강 하구둑과 영암-금호방조제 건설로 인하여 많은 변화를 가져왔다. 특히, 반폐쇄성을 띠고 있어 영산강 하구둑과 영암-금호 방조제 방류에 의한 영향은 조류속 변화와 퇴적특성 변화와 같은 환경적 영향을 초래하기 때문에 중요하다. 본 연구에서는 영암-금호방조제, 영산강 하구둑 방류현황을 수집·분석하고, 이를 바탕으로 하여 기존의 수치모형실험에서 간과되어 온 방류와 관련된 각종 실험계수를 재조정하여 수치모의를 수행하여 인근 해역 특성을 분석하였다. 즉, 영암-금호방조제에서의 방류량에 따른 조류변화를 파악하였으며 이에 기초하여 퇴적특성 변화를 비교한 결과, 조류 순환과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

핵심용어 : 하구둑, 방조제, 수치모형실험, 방류

ABSTRACT : Due to the development of Yongsan river estuary weir and Yongam-Kumho sea dike, Mokpo coastal area is changed. Especially, Discharged water through Yongsan river estuary weir and Yongam-Kumho sea dike, may cause the environmental influences such as the changes of currents pattern and sedimentation in the vicinity of semi-closed Mokpo harbor. This study deals with the collection and analysis of discharge through estuary weir and sea dike, based on that, we analyzed a characteristics of a sea area from simulation. As the results of this study, it is known that discharge causes the changes of a tidal currents pattern and calculated depth variations showed close relation with tidal circulation.

KEY WORDS : Estuary Weir, Sea Dike, Numerical Simulation, Discharge

1. 서 론

서남해안에 위치한 목포항의 인접해역은 무안, 영암, 신안군의 해안 및 도서로 이루어진 복잡한 해역을 형성하고 있으며, 영산강 하구둑 건설과 영암-금호방조제 체질로 해역에 많은 변화를 가져왔다. 특히, 반폐쇄성을 띠고 있어 하구둑과 방

조제에서 방류되는 방류수에 의한 영향은 주변 해역의 해수유동 변화와 동반되는 환경적 영향을 초래할 것이기 때문에 중요하다.

본 연구에서는 영암-금호방조제, 영산강 하구둑 방류현황을 수집·분석하고, 목포항을 대상으로 한 기존 수치모형실험에서 간과되어 온 방류와 관련된 각종 실험계수를 수집·분석된 방류자료를 바탕으로 재수행하여 해역 특성을 분석하고자 하였다.

* 종신회원, kikami@seileng.com 02)840-5182

** ksh9507@seileng.com 02)840-5180

*** coolman@seileng.com 02)840-5181

**** 정희원, ddjeong@mail.mmu.ac.kr 061)240-7053

2. 기본자료 조사

2.1 영산강 하구둑 방류현황

영산강 2지구 농업종합개발 사업으로 조성된 영산강 하구둑은 1978년 착공되어 1981년 준공된 높이 19.5m, 길이 4,351m의 토언제이다. 이로써 20,700ha(간척지 5,500ha, 배후지 15,200ha)가 개발되었으며, 유역면적 3,371,000ha, 총저수량 433백만톤의 담수호가 조성되어 2억5천3백만톤의 용수원이 확보되어 인근 지역에 관개용수는 물론 생활 및 공업용수로 공급되고 있다. 또한 이 방조제에는 폭 20m의 4차선 도로가 개설되어 영암을 비롯한 7개군과 목포간의 해상운송을 육상운송으로 전환하고 목포-영암간의 거리를 142km 단축하였으며, 영산강 하구둑 주변의 개발로 나불도 해상공원 등의 친수공간을 확보할 수 있게 되었다. 1993년 준공된 홍수에경보 시설은 영산강 홍수 통제소와 자료 교환으로 홍수통제 기능을 갖추고 있다.

영산강 하구둑에는 연장 283m의 폭(30m)×높이(13.6m)의 8련의 배수갑문과 폭(6.6m)×높이(11.9m)의 통선문 1개소가 설치되어 있으며, 담수호의 수위가 계획만수위(M.O.C E.L. -135cm)를 초과하거나 초과할 우려가 있을 때, 홍수조절, 제염 촉진, 정비상의 목적을 위하여 영산강 내수위와 외수위의 수위차가 20cm 이상일 때 7~8개의 배수갑문을 개방하여 방류하며, 통상 1회 평균 1.5시간동안 완전개문이 이루어진다.

Fig. 1은 예년(1998~2003년)에 해당하는 하구둑의 월별 방류량을 나타내고 있다. 갈수기 및 홍수기에 따라 강우량의 월별 차이로 인하여, 주로 6월부터 9월 사이에 강우량이 집중되어 있는 것은 우리나라의 전형적인 강수특성과 일치하고 있다. 영산강 하구둑은 영산강유역의 강우량에 따라 수자원관리 및 홍수제어를 목적으로 방류 및 제어되고 있음을 알 수 있다.

Table 1은 영산강 하구둑의 연도별 방류현황이다. 연평균 총 방류량이 2,332,000ton으로 그 양이 많아 방류시 목포항 주변 해역의 해수유동에 상당한 영향을 가져올 것으로 예상된다.

2.2 영암-금호방조제 방류현황

영산강 3지구 농업종합개발 사업의 일환으로 1985년 착공되어 1996년 완공된 영암-금호방조제는 총연장 4.3km인 3조로 구성된 방조제이다. 이 방조제의 건설로 12,200ha(간척지 6,730ha, 배후지 5,470ha)가 개발되었으며, 담수호인 영암호와 금호호가 조성되어 총저수량 37,770만톤의 용수가 확보되어 인근 지역에 농업용수, 생활용수 및 공업용수로 공급되고 있다. 또한 육운개선 측면에서도 목포-진도간을 41km 단축하였고, 방조제와 담수호 주변에 국민 휴식공간 및 관광자원을 제공하고 있다.

영암-금호방조제는 상류부 농경지 침수방지, 홍수방지, 제염촉진, 시설물 정비상의 목적 등을 위해 총연장 126.3m인 폭(10m)×높이(10.5m)의 8련의 배수갑문을 통해 방류를

시행하고 있다. 방류는 해수의 담수층 역류방지를 위해 담수호와 해수층의 수위차가 20cm이상 차이가 있을 때 이루어지며, 통상 1.8시간 동안 이루어진다. Table 2, 3는 영암-금호방조제 방류현황을 나타내고 있다. Fig. 2,3은 방조제의 월별 방류현황을 나타낸 것이다.

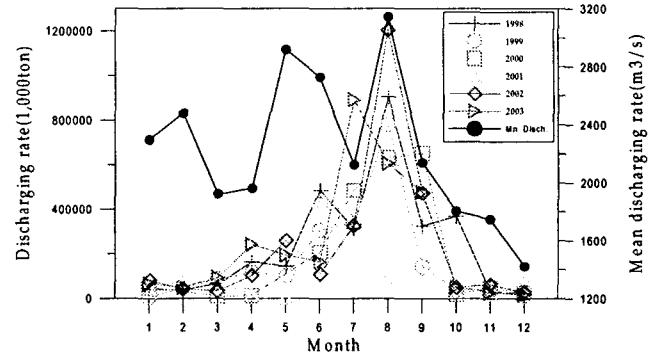


Fig. 1 Discharging volume at Yongsan river

Table 1 Discharging volume at Yongsan River per year

Year \ Disch	No. of Discharging	Total Dischar. Volume (1,000ton)	Mean Dischar. (m ³ /s)	Max. Dischar. (m ³ /s)
1998	70	2,897,049	2,474	6,028
1999	119	1,961,434	2,607	9,240
2000	90	2,137,273	2,717	6,475
2001	88	1,365,020	2,069	6,260
2002	100	2,760,745	3,015	20,647
2003	164	2,870,613	1,890	8,155

Table 2 Discharging volume at Yongam Dike per year

Year \ Disch	No. of Discharging	Total Dischar. Volume (1,000ton)	Mean Dischar. (m ³ /s)	Max. Dischar. (m ³ /s)
1998	70	267,562	525	999
1999	72	253,147	458	1,388
2000	70	238,069	434	1,011
2001	18	71,393	492	727
2002	43	141,040	441	955
2003	66	292,964	568	938

Table 3 Discharging volume at Kumho Dike per year

Year \ Disch	No. of Discharging	Total Dischar. Volume (1,000ton)	Mean Dischar. (m ³ /s)	Max. Dischar. (m ³ /s)
1998	70	238,359	316	768
1999	114	249,345	356	627
2000	93	189,968	258	675
2001	52	89,651	243	567
2002	100	166,622	234	667
2003	91	220,455	427	728

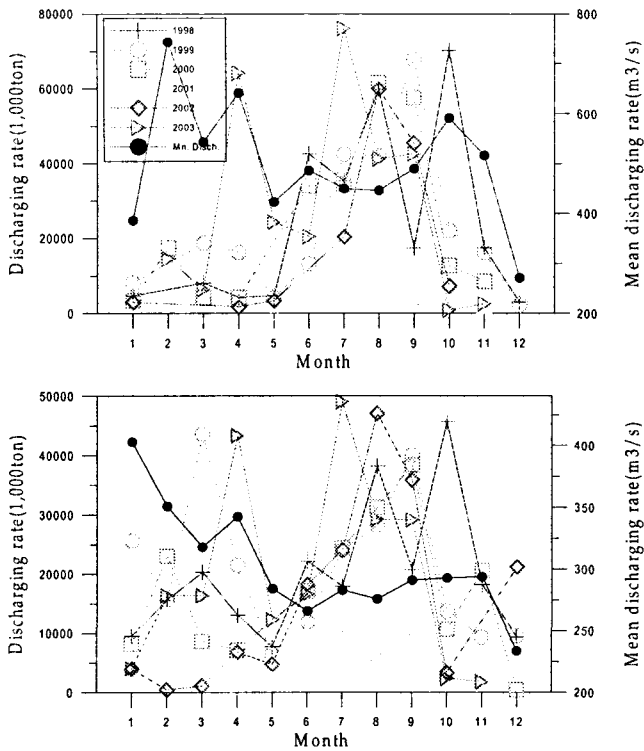


Fig. 2 Discharging volume at Yangam and Kumho Dike

2.3 조석, 조류관측 자료

목포항 조위는 영산강 하구둑 및 영암방조제의 건설로 연평균해면은 변화하지 않고, 연평균고조위와 연고극조위가 각각 약 7cm 및 약 15cm 하강하여 고·저극조위차는 약 45cm, 평균조차는 약 29cm, 그리고 대조차는 약 40cm, 소조차는 약 16cm의 증폭을 가져왔다. 특히, 영암-금호방조제 건설이후인 1991년 이후 연평균고조위가 추가로 14.9cm 상승하여 381.4cm를 나타내고 있다.

Fig. 3에 표기된 PT-1,2의 조석관측자료에 의하면 조석 형태수가 0.29로서 반일주조가 우세한 혼합형 조석으로 1일 2회의 창,낙조류가 나타난다. 목포 기준검조소에서 목포, 고하도에서의 조석 조화상수 Table 4와 같으며, 평균해면은 246.0cm, 246.4cm, 평균만조위는 388.4cm, 389.2cm, 평균조차는 284.8cm, 285.6cm 이다.

PC-3에서 매 10분 간격으로 30주야 조류관측기록으로부터 유속, 유향 관측치를 읽어서 매 1시간 간격으로 발췌한 유향과 유속의 경시변화, 북방, 동방성분 유속의 경시변화를 Fig. 4, 5에 나타내었다.

영암-금호방조제 전면해역(PC-1,2)에서 창조류는 저조후 0.8시경에 동서류하기 시작하여 저조후 4.2시경에 평균대조기 최강유속 2.2cm/s에 달한다. 낙조류는 고조후 0.5시경에 북서류하기 시작하여 고조후 4.7시경에 평균대조기 최강유속 1.2cm/s에 달한다. 창·낙조류의 출현율은 각각 49.9%와 50.1%(PC-1), 49.8%와 50.2%(PC-2)로서 주 유향

은 SE와 NW로 창·낙조류가 왕복하였다.

허사도-화원반도 수로(PC-3)에서 창조류는 저조후 1.2시경에 남남동류하기 시작하여 저조후 4.9시경에 평균대조기 최강유속 22.4cm/s에 달한다. 낙조류는 고조후 1.4시경에 서북서류하기 시작하여 고조후 3.1시경에 평균대조기 최강유속 29.6cm/s에 달한다. 창·낙조류의 출현율은 각각 55.7%, 44.3%로서 주 유향은 SSE와 WNW로 창·낙조류가 왕복하였다.

목포구로 근접한 해역일수록 창조류가, 영암-금호방조제로 근접할수록 낙조류가 우세하게 나타났으며 이것은 지형에 따라 비대칭성 조류가 나타나기 때문이다.

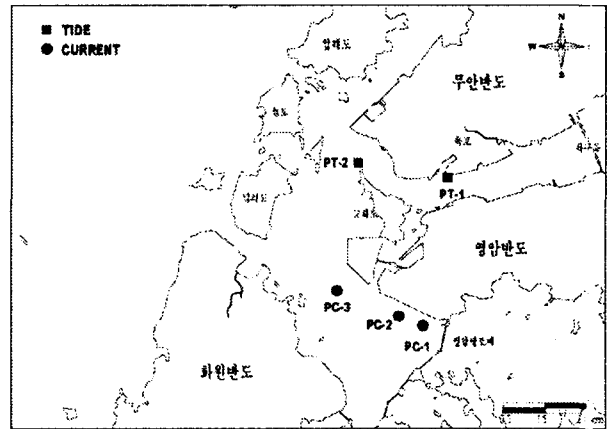


Fig. 3 Survey location

Table 4 Harmonic constituents for tide level

항목	목포(기준검조소)		목포(PT-1)		고하도(PT-2)		
	반조차 (cm)	지각 (°)	반조차 (cm)	지각 (°)	반조차 (cm)	지각 (°)	
조화상수	M ₂	134.5	45.7	142.4	30.5	142.8	32.6
	S ₂	43.6	90.1	49.0	68.3	48.7	64.3
	K ₁	31.5	252.4	30.9	247.2	30.9	275.1
	O ₁	24.3	228.1	23.7	214.5	24.0	233.8

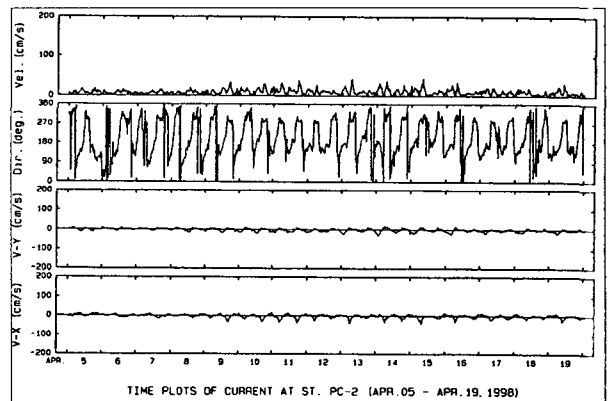


Fig. 4 Time plots of current at PC-3

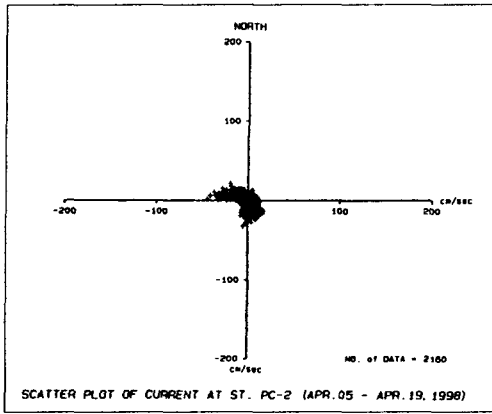


Fig. 5 U, V plots of current at PC-3

3. 조류 수치 모의

3.1 개요

영암-금호방조제 전면해역의 조류특성을 파악하기 위하여 현황의 해수유동을 수치실험에 의하여 재현하고 이를 토대로 하여 영암-금호방조제 방류에 의한 해수유동 시뮬레이션을 실시하여 이로 인한 영향을 예측하였다.

3.2 수치모형 구성

수치모의에 사용된 모형은 잘 알려진 POM(Princeton Ocean Model)으로 3차원 연안해양 수치모형으로서 급회 수치모의에서는 2차원 모드(2-D Circulation)에 의해 계산을 행하였다. 외부모드 방정식의 체적수송은 깊이에 대한 내부모드 방정식을 적분하는 것으로 얻어진다. 그것에 의하여 연직구조는 제거되어진다. 외부 모드와 내부모드의 지배방정식은 (x, y, z, t) 에서 (x^*, y^*, σ, t^*) 좌표로 변형된다. 여기서, $x^*=x, y^*=y, \sigma = \frac{z-\eta}{H+\eta}, t^*=t_0$ 이다. $\sigma=-1$ 에서 $\sigma=0$ 까지 연속방정식을 적분하고 경계조건을 사용하여 다음과 같이 수면변위에 대한 방정식을 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial y} = 0 \quad (3-1)$$

그리고 운동량 방정식은 연직적분한다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \bar{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}V D}{\partial y} - f\bar{V}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - D\bar{F}_x \\ &= -\bar{w}u(0) + \bar{w}u(-1) - \frac{\partial D\bar{U}^2}{\partial x} - \frac{\partial D\bar{U}\bar{V}}{\partial y} \\ & - \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-1}^0 \rho d\sigma d\sigma + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{-1}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma d\sigma \quad (3-2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \bar{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}V D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} + f\bar{U}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - D\bar{F}_y \\ &= -\bar{w}v(0) + \bar{w}v(-1) - \frac{\partial D\bar{U}\bar{V}}{\partial x} - \frac{\partial D\bar{V}^2}{\partial y} \\ & - \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-1}^0 \rho d\sigma d\sigma + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{-1}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma d\sigma \quad (3-3) \end{aligned}$$

여기서, 연직적분된 속도는 다음과 같이 정의된다.

$$(\bar{U}, \bar{V}) \equiv \int_{-1}^0 (U, V) d\sigma \quad (3-4)$$

바람응력 성분은 $-\bar{w}u(0)$ 이고, $-\bar{w}u(-1)$ 이다.

\bar{F}_x, \bar{F}_y 의 양은 수평운동량 확산의 연직적분이고 다음과 같이 정의된다.

$$D\bar{F}_x = \frac{\partial}{\partial x} (2A_M \frac{\partial \bar{U}D}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} A_M (\frac{\partial \bar{U}D}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial x}) \quad (3-5)$$

$$D\bar{F}_y = \frac{\partial}{\partial y} (2A_M \frac{\partial \bar{V}D}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial x} A_M (\frac{\partial \bar{U}D}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial x}) \quad (3-6)$$

본 실험에서는 수평외동 점성계수로 Smagorinsky type diffusivity에 수심 적분으로 인한 분산 효과(dispersion effect)를 고려하여 사용하였다.

격자구성은 엇갈림 격자(staggered grid)에 속하는 Arakawa C-grid를 이용하였다.

수치안정조건은 Courant-Friedrichs-Lewy(CFL)로 다음과 같으며, 본 연구에서 Δt 는 0.3초를 사용하였다.

간석지 처리를 위해 Flather and Heaps(1975)가 제안한 방법을 기초로 모델특성에 맞게 수정하여 적용하였다.

모델링에서 바람 응력의 효과는 고려하지 않았고, 초기 조건은 해수 유동이 없는 것(cold start)으로 설정하였다. 저면 마찰은 Manning의 마찰 계수를 이용한 quadratic stress law를 사용하였다.

조위의 개방경계조건은 관측자료를 참고하여 4대 분조에 의한 조위 변화를 시·공간 함수로 주었다.

아래표와 같이 실험안별 방류량을 모델에 입력하였다.

Table 4 Discharging rate for case study

실험안	영암방조제	금호방조제
CASE-0	×	×
CASE-1	1,388	×
CASE-2	×	768
CASE-3	1,388	768

주 : 예년('98-'03) 최대방류량, 단위 m^3/sec ,

3.3 수치모형 검증

관측성과를 이용하여 조위·조류검증을 실시하였다. Fig. 6, 7에 조위, 조류검증 곡선을 나타내었다. 15일동안의 자료를 이용하였으며, 검증 곡선에 나타낸 바와 같이 시간에 따른 결과가 비교적 잘 일치하고 있다.

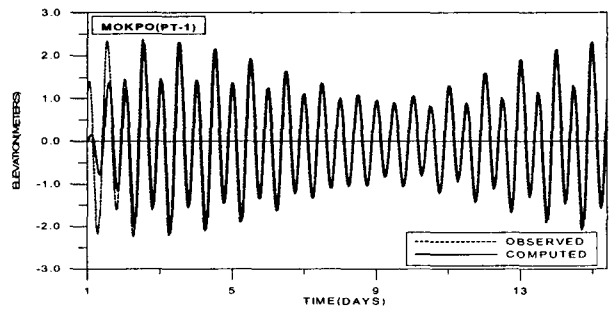


Fig. 6 Sea level change at PC-1(Mokpo)

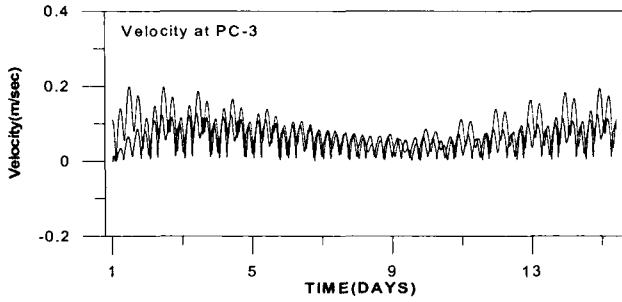


Fig. 7 Time variations of tidal current at PC-3

3.4 조류 모의 결과

영암-금호방조제 전면해역에서의 창·낙조류는 남동류, 북서류하는 단순 반복되는 흐름양상을 보이며, 유속의 크기는 5cm/s 이내의 분포를 보이고 있다. 목포구에서 금호도로 연결되는 주수로부의 영향을 받는 위치지만 유속은 아주 미미하게 나타났다. Fig. 10, 11은 CASE-0, 3의 실험 결과이다. 영암-금호방조제가 각각 방류될 시에는 유속도는 Fig. 11에서의 각 방조제에서의 방류는 인근 방조제에 영향이 미미한 것으로 나타났다.

영암-금호방조제에서 최대방류량이 방류될시(CASE-3), 창조시에는 방조제에서의 배제되는 유량으로 인하여 각 방조제 전면에서 독립된 와류가 형성되어 복잡한 흐름이 야기되며(Fig. 9), 낙조시에는 큰 유속을 가진 흐름이 생기며 영암방조제에서는 20cm/sec 전후의 유속이, 금호방조제에서는 40cm/sec 이내의 유속이 형성되고 있다.

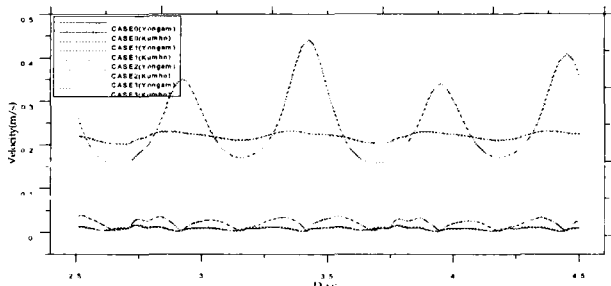


Fig. 9 Change of vel. at Yongam and Kumho sea dike

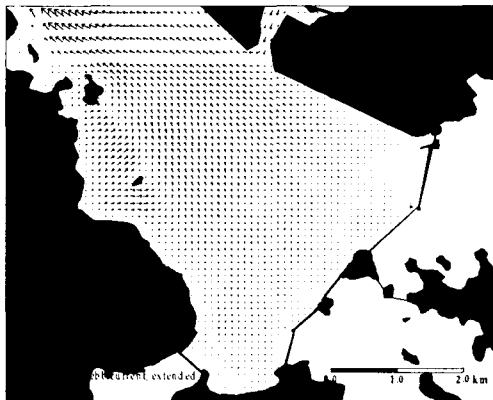


Fig. 10 Distribution of tidal currents on CASE-0



Fig. 11 Distribution of tidal currents on CASE-3

4. 부유사퇴적 특성변화

4.1 퇴적물 이동 수치모형

세립퇴적물 이동의 기본 방정식은 다음과 같은 수심 평균된 2차원 질량 보존식이다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} (h D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} (h D_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{h} \quad (4-1)$$

여기서, C 는 수심평균농도(g/m^3), u, v 는 수심평균유속(m/s), D_x, D_y 는 분산계수(m^2/s), S_i 는 소멸항/생성항($g/m^2/s$)이다. 금회 연구에서는 다음의 관계식으로 쿠유입자의 침강속도를 정하였다.

$$W_s = 1.717 + 0.135C - 0.00013C^2 \quad (4-2)$$

여기서, C 의 단위는 mg/l 이며, W_s 는 ($\times 10^{-2} mm/sec$)이다. 퇴적 한계 저면전단응력 τ_{cd} 는 $0.07 N/m^2$, 침식 한계 저면전단응력 τ_{ce} 는 $0.21 N/m^2$ 로 입력하였다.

4.2 실험조건

조석은 연간 대표조석을 적용하였으며, 따라서, 대표조석을 기준으로 해수유동 실험을 재실시하여 퇴적실험을 위한 유동장으로 이용하였다.

따라서, 방류시 퇴적변화를 정확하게 모의하기 위해 6년 평균방류량을 산정하였다. 적용기간은 하구둑 평균 완전거문시간 16,116분 보다 충분히 많은 15일을 적용하였다.

Table 5 discharging rate for case study

구분 (m^3/sec)	영암 방조제	영산강 하구둑	금호 방조제	적용기간
평수기	-	-	-	350일
우수기	486.0	2,463.0	292.0	15일

4.3 부유사 초기 및 경계농도

기준자료를 토대로 초기농도치는 $20mg/l$, 경계농도치는 외해경계는 평수시 $20mg/l$, 우기시 $30mg/l$ 로 산정하고,

영산강 하구둑과 영암, 금호방조제에서의 경계농도치는 그동안 조사된 바가 없기 때문에 기존의 성과 자료를 토대로 160mg/l 로 산정하였다.

4.4 퇴적물이동 실험 결과

평수기 해저면 변화는 화원반도와 달리도 사이를 통해 유입된 부유사는 고하도 주변에서 대부분 퇴적되며 사업지구 인근은 유속이 매우 작아서 부유사의 유입이 거의 되지 않아 사업지구 남측해역에서 15mm/yr 이내의 퇴적양상을 보이고 있으며, 우수기시 영암방조제를 통해서 방류된 유량 속의 부유사는 영암-금호방조제 전면해역에 넓게 퇴적되어 3mm/yr 이내에 퇴적양상을 보인다.

평수시와 우수기시를 합하여 연간 해저면 변화를 살펴보면 Fig. 12와 같이 영암-금호방조제 부근해역에서는 16mm/yr 이내의 퇴적양상을 보이는 것으로 예측되었다.

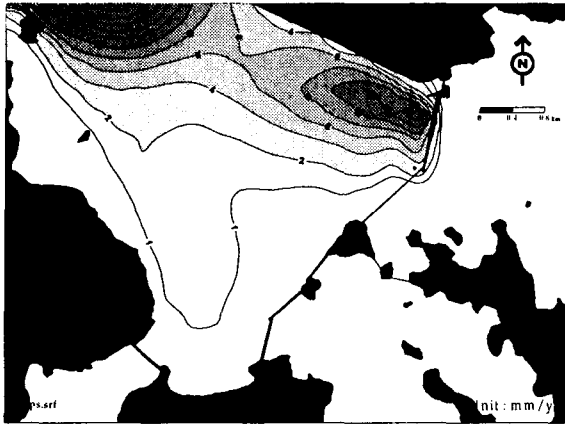


Fig. 12 Suspended load sedimentation rate per year

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 영산강, 영암-금호호에서의 방류현황을 분석하였으며, 이를 기초로 하여 목포항 인근해역 특히 영암-금호방조제 전면해역의 방류에 따른 특성변화를 수치모형실험을 수행하여 파악하였다.

방조제의 방류에 의한 해수유동 변화는 해양환경적으로, 선박운용 측면에서 그 영향권을 파악하는 것은 매우 중요하다.

본 연구를 통하여 얻어진 결과는 첫째, 예년을 기준으로 월최대방류량은 6~9월에 크게 나타나지만 월평균방류량은 하구둑을 제외한 영암-금호방조제에서 1~4월에 크게 나타나고 있다. 둘째, 목포항 해역의 주수로부는 목포구를 통하여 금호호로 연결되며 영암호의 경우 조석의 영향이 미세하게 나타났다. 셋째, 실험을 통하여 얻어진 방류특성을 기초로 하여 방류에 의한 해수유동 변화를 파악한 결과, 방류량이 적은 금호방조제에서의 유속증가가 크게 나타나고 창·낙조에 따른 유속폭이 크게 나타나고 있다. 이

는 앞서 말한바와 같이 주수로부가 금호호로 연결되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 넷째, 영암-금호방조제의 방류에 의한 해수유동변화는 Fig. 11과 같이 상호 영향권이 분리되어 있다는 것을 알 수 있다. 다섯째, 영암-금호방조제 전면해역의 퇴적특성은 유속순환과 밀접한 관련성이 있어서 같은 부유사농도를 부여하였을 경우 영암호의 퇴적이 금호호보다 월등히 많은 것을 알 수 있었다.

본 실험에서 조사한 하구둑, 방조제의 방류현황은 앞으로 목포항 해역의 중요한 자료로 제공될 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 농업기반공사, 1998~2000년 관리연보(하구둑, 영암, 금호방조제)
- [2] 농업기반공사 영산강 사업단 영암방조제 관리소 자료, 2001-2003.
- [3] 목포지방해양수산청, 목포항 수리현상조사 및 방재대책수립용역 보고서, 1989.
- [4] 이종우, 신승호, "영산강지구 대단위간척지 개발로 인한 조석 변화에 대한 수치실험, 한국항만학회지, 제5권 제2호, 1991.
- [5] Flather, R. A., and Heaps N. S.(1975), Tidal Computations for Morecambe Bay Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society London, A210, pp. 423-436.
- [6] Blumberg, A. F., and G. L. Mellor(1987), "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model in Three-Dimensional Coastal Model", Vol.4, edited by N. Heaps, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- [7] Madala, R. V. and S. A. Piacsek(1977), "A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans", J. Comput. Phys., 23, pp. 167-178.
- [8] Simons, T. J.(1974), "Verification of numerical models of Lake Ontario, Part I. Circulation in spring and early summer", J. Phy. Oceanogr., 4, pp. 507-523.
- [9] Smagorinsky, T. J.(1963), "General circulation experiments with the primitive equations", I basic experiment, Mon. Weather Rev., 91, pp. 99-164.