

論 文

## 영산강 하구둑 및 영암-금호방조제의 방류에 의한 목포항 주변수역의 유동변화 및 선박운용에 미치는 영향에 관한 연구

정 대 득\* · 이 중 우\*\* · 국 승 기\*\*\*

A Study on the Change of Current in the Vicinity of Mokpo Harbor and Its Impact on Ship Operation due to the Discharge through Yongsan River Estuary Weir and Yongam-Kumho Sea Dike

*D. D. Jeong · J. W. Lee · S. G. Gug*

**Key Words** : 영산강(YongSan River), 하구둑(Estuary Weir), 방조제(Sea Dike), 홍수제어(Flood Control), ADI법(Alternating Direction Implicit Method), 해수유동(Movement of Sea Water), 조종성능(Maneuverability), 담수방류(Fresh Water Discharge)

### Abstract

Mokpo coastal area is connected to the adjacent a long river and two large basins. It is essential for port planning, coastal zone management and environmental impact study to analyze the data related to the ship operation and variation of current and water quality due to the development of water area including dredging, reclamation and estuary barrage. The Yongsan river estuary weir and Yongam-Kumho basins discharge much of water through water gates for the purpose of flood control and prohibit salt intrusion at the inland fresh water area. To meet this purpose, discharge through the gates have been done at the period of maximum water level difference between inner river and sea level. This discharged water may cause the changes of current pattern and other environmental influences in the vicinity and inner area of semi-closed Mokpo harbor. In this study, ADI method is applied to the governing equation for the analysis of the changes on current pattern due to discharged water. As the results of this study, it is

\* 정회원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

\*\* 정회원, 한국해양대학교 공과대학 토목환경공학부 교수

\*\*\* 정회원, 한국해양대학교 해사대학 해양경찰학과 교수

known that the discharging operation causes many changes including the increase of current velocity at the front water area at piers, approaching passage and anchorages. Discussion made on the point of problems such as restricted maneuverability and the safety of moored vessels at pier and anchorage. To minimize this influence, the linked gate operation, discharging warning system and alternative mooring system are recommended.

## 1. 서 론

하구둑은 외해로부터 염수가 침입하는 것을 막기 위해 하구부에 쌓은 댐으로 하천의 정상적인 기능유지와 신규의 물 이용에도 기여하는 등 다면적인 기능을 가진다. 최근 우리나라에서는 낙동강, 금강, 영산강 등 대하천 하류부의 대도시의 각종 용수 수요증대에 대처하고 하구 부근에서 염해방지 또는 하구유지나 하천정화를 위해 상류댐에서 방류하였던 수량을 감소시키고 동시에 방류되어 바다로 그대로 흘러갔던 물을 하천의 최말단에서 막아 고도로 이용하기 위해 하구둑을 건설하였다. 목포항 연안역에서도 1978년부터 농어촌진흥공사에 의해 영산강유역 종합개발사업이 시작되어 그 2단계 사업으로 영산강 하구둑이 건설되었다. 한편, 방조제는 해안의 조수를 막아 간석지를 이용하거나 주변 지역에서 필요로 하는 용수확보를 위해 만들어지는 제방으로서 조차가 크고 경사가 완만한 우리나라 서해안에 적합해 1920년대부터 대규모 방조제가 건설되기 시작하였으며 최근에는 농어촌진흥공사에 의해 새만금지구, 삼교천지구, 금강지구, 낙동강지구 등 주로 우리나라 서해안을 중심으로 여러 곳에서 이미 완공되었거나 공사중이다. 목포항 연안역에서도 영산강지구 대단위 농업개발사업의 3-1단계사업으로 영암방조제, 3-2단계사업으로 금호방조제가 건설되었다.<sup>1)</sup>

이와 같은 연안역의 개발에 따른 수역의 변화와 하구둑 및 방조제에서 방류되는 방류수는 주변해역에서 선박운영, 항만운영 또는 수질 및 환경보존 측면에서 극히 중요하다. 특히, 목포항은 반폐쇄성 해역으로 주변 수역의 변화 및 하구둑과 방조제에

서 방류되는 방류수에 의한 영향은 주변 해역의 해수유동변화를 야기할 것이며, 접근항로의 복잡성, 저수심, 심한 조석간만차 등 때문에 소형선의 입출항이 많은 목포항의 특성상 유동변화에 따라 선박운영에 큰 영향을 미칠 것이다.

본 논문에서는 영산강 하구둑, 영암 및 금호방조제에서의 방류에 의한 목포항 주변해역의 해수유동 변화를 예측하고, 이로 인해 선박의 조종성 및 묘박선박의 안정성에 미치는 영향을 분석하고 이를 최소화하는 방안을 제안한다.

## 2. 방류현황

### 2.1 영산강 하구둑 방류현황

영산강 2지구 농업종합개발 사업으로 조성된 영산강 하구둑은 1978년 착공되어 1981년 준공된 높이 19.5m, 길이 4,351m의 토언제이다.<sup>2)</sup> 이로써 20,700ha(간척지 5,500ha, 배후지 15,200ha)가 개발되었으며, 유역면적 3,371,00ha, 총저수량 433백만톤의 담수호가 조성되어 2억5천3백만톤의 용수원이 확보되어 인근 지역에 관개용수는 물론 생활 및 농업용수로 공급되고 있다. 또한 이 방조제에는 폭 20m의 4차선 도로가 개설되어 영암을 비롯한 7개 군과 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.

하구둑은 홍수제어, 염해방지, 취수 또는 주운을 위해 필요한 수위의 유지, 수산자원의 보호 등의 요청을 만족하도록 다기능을 발휘해야 함으로 고정언이 아닌 가동언으로서 유기적인 조작을 하도록 설치되는 경우가 많다. 영산강 하구둑에도 연장 283m의 폭(30m)×높이(13.6m)의 8련의 배수갑문과 폭(6.6m)×높이(11.9m)의 통신문 1개소가 설치되어 있으며, 담수호의 수위가 계획만수위(M.O.C EL-135cm)를 초과하거나 초과할 우려가 있을 때, 홍수조절, 제염촉진, 정비상의 목적을 위하여 영산강 내수위와 외수위의 수위차가 20cm 이상일 때 7~8개의 배수갑문을 개방하여 방류하며, 통상 1회 평균 1.5시간동안 완전개문이 이루어진다.

우리나라 강수량은 연평균 1,274mm로서 풍부하나 연도별, 계절별, 지역별 강우 편중현상과 급한 유역경사와 유역내 보수기능의 취약성 때문에 주요하천의 하상계수가 굉장히 나쁘다. Fig. 1은 영산강유역의 담양, 장성, 광주, 나주, 영암, 무안의 6개 관측지점에서 관측한 강우량의 월별 누계량을 나타내고 있다. 갈수기 및 홍수기에 따라 강우량의 월별차이가 크게 나타나고 있으며, 주로 6월부터 9월 사이에 강우량이 집중되어 있는 것은 우리나라의 전형적인 강수특성과 일치하고 있다. Fig. 2는 1996년의 영산강유역 강우량의 월별 누계량과 하구둑의 방류량을 나타내고 있다. 영산강 하구둑은 영산강유역의 강우량에 따라 수자원관리 및 홍수제어를 목적으로 방류 및 제어되고 있음을 알 수 있다.

Table 1은 영산강 하구둑의 연도별 방류현황이

다.<sup>3)</sup> 연도별 방류량도 영산강 유역의 강우량에 따라 차이를 나타내고 있지만, 연평균 총방류량이  $998,419.4 \times 10^3 \text{ton}$ 으로 그 양이 많아 방류시 목포항 주변해역의 해수유동에 상당한 영향을 가져올 것으로 예상된다.

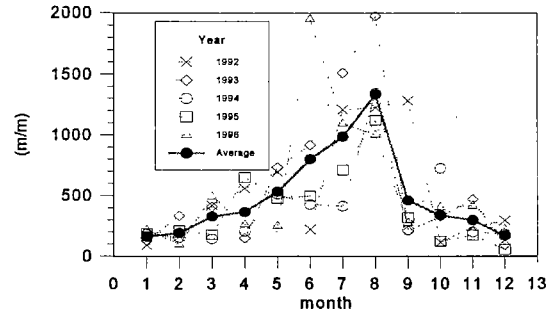


Fig. 1 Amounts of rainfall in Youngsan river area

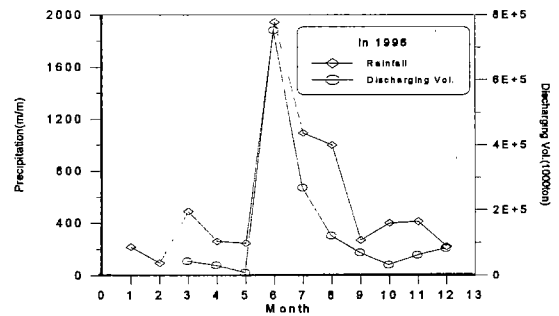


Fig. 2 Rainfalls and Discharges through Yong-san river weir in 1996

Table 1 Volume of water discharged through Yongsan river

Year	Disch.	No. of Discharging	Total Discharging Volume(1,000ton)	Total Discharging Duration(min)	Discharging rate (m <sup>3</sup> /h)	Total amount of rainfall in river(m/m)
1992		66	693,859	5,053	8,238,974.37	6502.7
1993		104	1,848,161	8,526	13,006,059.00	7233.8
1994		49	1,318,039	2,208	37,515,342.00	4689.1
1995		31	159,923	2,214	4,333,957.00	4771.0
1996		57	972,115	5,337	10,928,780.00	6950.8

2.2 영암-금호방조제 방류현황

영산강 3지구 농업종합개발 사업의 일환으로 1985년 착공되어 1996년 완공된 영암-금호방조제는 총연장 4.3km인 3조로 구성된 방조제이다.<sup>4)</sup> 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, 제염축진, 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 2는 영암-금호방조제 준공이후 방류현황을 나타내고 있다.<sup>4)</sup> 현재까지는 저폭 15m의 연락수로 1조를 통해 영산강으로부터 수자원을 공급받고, 연락수로 2조를 통해 금호호에 수자원을 공급하고 있으며, 직경 2.2m의 제염암거 4련을 통해 배수되도록 하여 담수호의 제염축진을 주목적으로 배수갑문을 조작하고 있기 때문에 해수층으로의 방류량은 많지 않지만, 담수화가 완료된 영산강과의 저수량을 비교해보면 영암호 및 금호호가 각각 97% 및 53%로 그 규모가 커 담수화가 완료된 이후에는 방류량이 급증할 것이다.

3. 수치실험

영산강 하구둑 및 영암-금호방조제로부터의 방류에 의한 목포항 주변 해역에서의 해수유동의 변화와 이로 인해 선박운행에 미치는 영향을 예측하기 위해서 먼저 방류가 없는 정상시의 해수유동을 수치계산으로 재현하여 모델의 적용성을 확인하고, 이를 토대로 하여 방류에 의한 해수유동 시뮬레이션을 실시하여 해수유동의 변화 및 이로 인한 영향을 평가하기로 한다.

3.1 모델 수립

주어진 해역에서 평균해면상의 한 점을 원점으로 하는 직교좌표계를 Fig. 3과 같이 정의한다. 여기서  $x, y$ 축은 평균해면상에  $z$ 축은 연직상방으로 정하며,  $u, v, w$ 는 각각  $x, y, z$ 축 방향의 유속을,  $z = -h$  및  $z = \zeta$ 은 각각 해저 및 해면을 나타내는 것으로 한다.

장주기파에 대한 근사적인 유체의 기초 방정식

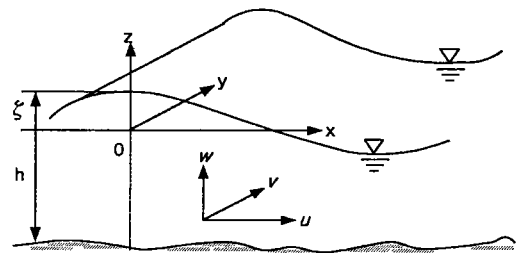


Fig. 3 The coordinate system

Table 2 Volume of water discharged through YongAm sea dike

Year	Disch.	No. of Discharging	Total Discharging Volume(1,000ton)	Total Discharging Duration(min)	Discharging rate (m <sup>3</sup> /h)
1994		42	170,570	3,945	2594.22
1995		77	258,999	7,685	2022.11
1996		68	312,431	8,785	2133.85
Total		187	742,000	20,415	2180.75

은 식(1)~(4)과 같이 표시된다. 단, 조석계산에서는 수면( $z = \zeta$ )에서의 압력  $p_0$ 를 0으로 취급한다

연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

x축 방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_x}{\partial z} \end{aligned} \quad (2)$$

y축 방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_y}{\partial z} \end{aligned} \quad (3)$$

z축 방향 운동방정식

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (4)$$

여기서,

$u, v, w$  :  $x, y, z$ 방향의 유속

$t$  : 시간

$f$  : 코리올리 계수 ( $= 2\omega \sin \phi$ ,

$\omega$ =지구자전의 각속도,  $\phi$  : 위도)

$p$  : 압력

$\tau_x, \tau_y$  : z축에 수직인 면에서  $x, y$ 축 방향에 작용하는 마찰력

$\rho$  : 유체의 밀도

를 나타낸다.

수치모델에서 3차원으로 문제를 풀이하면 상당한 컴퓨터 용량과 계산시간이 소요되는데 조석과 같은 문제를 다룰 때에는 수직방향의 속도 및 가속도를 무시한 천해 장주기파이론을 적용하여 수심 평균 2차원 흐름의 기본방정식을 적절히 수치모델화 함으로써 대상해역의 조석계산을 시간, 공간적

으로 파악할 수 있다. 상기의 기초방정식을 수심방향에 대해  $-h \leq z \leq \zeta$ 까지 적분하여 평면 2차원화 하면 다음 식과 같이 된다.<sup>5)</sup>

연속방정식

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

x축 방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UM) + \frac{\partial}{\partial y}(VM) - fN \\ = -g(h + \zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_t \frac{\partial M}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_t \frac{\partial M}{\partial y} \right) - \frac{r_b^2}{(h + \zeta)^2} MN \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \quad (6)$$

y축 방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UN) + \frac{\partial}{\partial y}(VN) + fM \\ = -g(h + \zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_t \frac{\partial N}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_t \frac{\partial N}{\partial y} \right) - \frac{r_b^2}{(h + \zeta)^2} NW \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,

$U, V$  :  $x, y$ 방향에서  $-h \leq z \leq \zeta$ 사이의 평균유속

$M, N$  :  $x, y$ 방향의 선유량( $m^2/sec$ )

$\zeta$  : 조위

$h$  : 평균수심

$\nu_t$  : 와동점성계수

$r_b^2$  : 해저마찰계수

이다.

본 연구에서 해수유동계산은 평면2차원 단층모델을 ADI(Alternating Direction Implicit)법에 의해 계산한다. ADI법은 타원형 편미분방정식의 경계치 문제의 차분근사해법에서 나타나는 대형의 연립일차방정식을 풀이하는 방법으로 x방향으로 지배방정식을 계산하는 경우에는 x축방향의 성분을 음해법으로 차분근사하고, y축방향의 성분은 양해법으로

로 차분근사하여  $x$ 방향의 미지량을 갱신하고,  $y$ 방향의 경우에는 반대로 하여 갱신하는 것으로 이 계산수법의 특징은  $x, y$ 방향의 변수가 각각 교대로 한쪽 방향만 음해법으로 차분화되므로 계산식이 간단하며,  $x, y$ 방향에서 양해법과 음해법에 의한 차분표현을 교대로 반복함으로 오차의 증대가 상쇄되어 계산이 안정하다는 것이다. 이때 이류항의 차분 scheme에는 Donor Cell scheme을, 점성항의 2계 미분항에는 중앙차분을, 공간에 대해서는 Staggered Grid를 이용하여 차분근사식으로 나타내면 다음식과 같이 된다.<sup>6)</sup>

연속방정식

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^n}{\Delta t/2} + \frac{M_{i+1,j}^{n+1/2} - M_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} + \frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} = 0 \quad (8)$$

$X$  방향운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{M_{i,j}^{n+1/2} - M_{i,j}^n}{\Delta t/2} + \frac{1}{\Delta x} (Fx_{i,j}^n - Fx_{i-1,j}^n) \\ & + \frac{1}{\Delta y} (Fy_{i,j}^n - Fy_{i,j-1}^n) - f \frac{N_{i,j}^n + N_{i,j+1}^n}{2} \\ & = -gHX_{i,j}^n \frac{1}{\Delta x} (\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i-1,j}^{n+1/2}) + DM_{i,j}^n \\ & - \frac{r_b^2}{(HX_{i,j}^n)^2} M_{i,j}^n \sqrt{(M_{i,j}^n)^2 + (N_{i,j}^n)^2} \end{aligned} \quad (9)$$

$Y$  방향운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{N_{i,j}^{n+1/2} - N_{i,j}^n}{\Delta t/2} + \frac{1}{\Delta x} (FFx_{i,j}^n - FFx_{i-1,j}^n) \\ & + \frac{1}{\Delta y} (FFy_{i,j}^n - FFy_{i,j-1}^n) + f \frac{M_{i,j}^{n+1/2} + M_{i+1,j}^{n+1/2}}{2} \\ & = -gHy_{i,j}^n \frac{1}{\Delta y} (\zeta_{i,j}^n - \zeta_{i,j-1}^n) + DN_{i,j}^n \\ & - \frac{r_b^2}{(HY_{i,j}^n)^2} N_{i,j}^{n+1/2} \sqrt{(M_{i,j}^{n+1/2})^2 + (N_{i,j}^n)^2} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서

$DM, DN$  :  $x, y$ 방향의 점성항

$F_x, FF_x$  :  $x$ 방향의 flux

$F_y, yFF$  :  $y$ 방향의 flux

$$HX_{i,j} = \frac{1}{2} (h_{i,j} + h_{i-1,j} + \zeta_{i,j} + \zeta_{i-1,j})$$

$$HY_{i,j} = \frac{1}{2} (h_{i,j} + h_{i,j-1} + \zeta_{i,j} + \zeta_{i,j-1})$$

$$\bar{M} = \frac{1}{4} (M_{i+1,j} + M_{i+1,j-1} + M_{i,j} + M_{i,j-1})$$

$$\bar{N} = \frac{1}{4} (N_{i,j} + N_{i,j+1} + N_{i-1,j} + N_{i-1,j+1})$$

이다.

### 3.2 입력조건 및 경계조건

목포항 주변에서의 해수유동을 재현하기 위해 목포항 주변해역에 대해 격자간격을 300m로 하여 118×119의 계산격자망을 구성하였다. 또한 고하도와 허사도에 건설 예정인 목포신외항 건설 이후의 영향을 예측하기 위해 Fig. 4와 같이 신외항 개발 이후의 경우도 고려하였다.

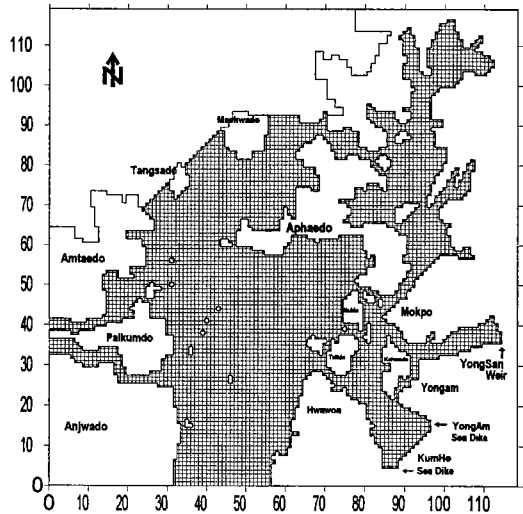


Fig. 4 Finite difference grid for study area

개방경계조건으로 안좌도와 회원반도를 연결하는 선을 하단 개방경계로, 당사도를 가로질러 암태도와 매화도를 연결하는 선을 상단 개방경계로 하

고, 암태도-팔금도-안좌도 사이의 해역을 좌측개방 경계로 설정하였다. 개방경계에서의 강제수위는 관측자료를 조화분해한 조화정수값을 사용하여 규칙 파형의 조석을 적용하였다. 진폭은  $M_2$ 분조와  $S_2$ 분조의 합을, 위상차는  $M_2$ 조의 지각  $h_2$ 으로하여 하단 개방경계의 진폭은 1.6538m 지각은  $24.11^\circ$  로, 또한 상단 개방경계의 진폭은 1.9046m, 지각을  $36.14^\circ$ , 주기는 12시간 25분으로 채택하였다.<sup>7)</sup> 좌측 개방경계조건은 상단 경계조건과 하단 경계조건에서의 조건을 선형보간하여 적용하였다.

계산시간간격은 안정조건을 고려하여 5sec로 하였으며,<sup>8)</sup> 수심자료는 수로국간행해도(NO.321, 342)에서 읽어들이어 평균해면에서의 값으로 보정하였다. 대상해역의 수심분포는 Fig. 5와 같다. 영산강의 방류량은 1996년 한 해 동안에 총 57회의 방류가 시행되어, 총 972,116,000ton을 방류된 것을 근거로 하여 수치모델에서는 1회 방류시 평균방류시간 1.56시간동안 평균방류를 10,928,780.0m<sup>3</sup>/hour로 하였다. 영암호의 경우 아직은 담수화를 위해 소량만을 방류하고 있지만 담수화 완료후의 경우로 고려하였고 방류량 추정은 저수량을 근거로 10,561,162.9m<sup>3</sup>/hour로 하였으며, 금호호에서 직

접 방류하는 것은 아직 자료가 나와있지 않고 영암호와 금호호는 연락수로로 연결되어 있으므로, 본 연구에서는 영암호의 수문으로 방류되는 것이 금호호와 연계되는 것으로 하여 다루었다.

### 3.3 수치실험 결과분석

수치모델의 재현성을 검증하기 위해 수로국에서 관측한 최대창조류 및 최대낙조류의 유속과 비교하였다. Fig. 6(a), (b)는 각각 수로국에서 관측한 최대창조류와 최대낙조류의 유향과 유속의 연간 평균값이며<sup>9)</sup> Fig. 7(a), (b)는 관측자료와 비교를 위해 각각 신행만 건설전의 대상영역에서 계산한 최대창조류 및 최대낙조류의 유동형태이다. 영역내의 유동형태가 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 다만 본 연구에서는 계산시간의 단축을 위해  $M_2$ 분조와  $O_2$ 분조의 진폭만 고려하였기 때문에 유속이 관측치보다는 작게 나타났다.

Fig. 8은 목포신행만이 건설된 이후의 조건에서 영산강 및 영암-금호호에서의 방류가 이루어지지 않을 때 영산강 하구둑에서 내수위의 외수위의 차이가 가장 큰 시점에서 흐름형태를 나타내고 있다.

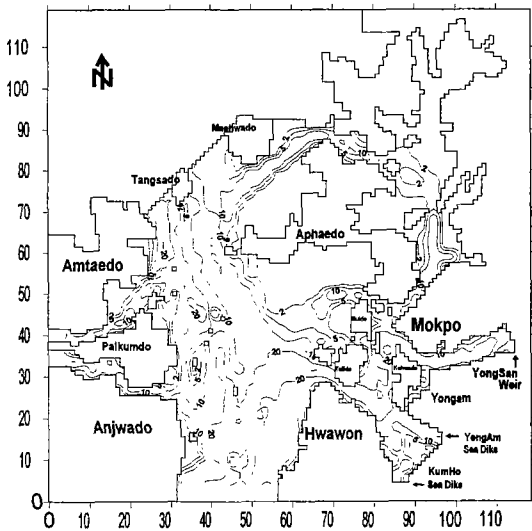


Fig. 5 Depth contour map for study area

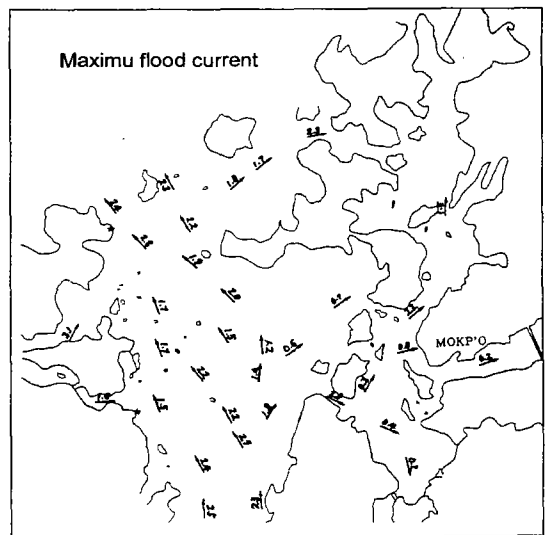


Fig. 6(a) Observed maximum flood currents

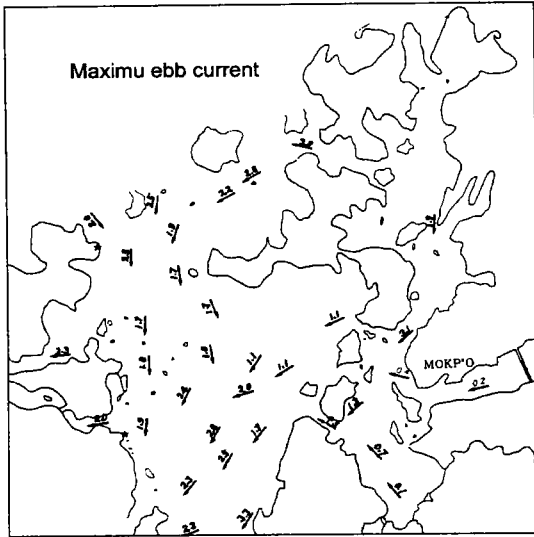


Fig. 6(b) Observed maxium ebb currents

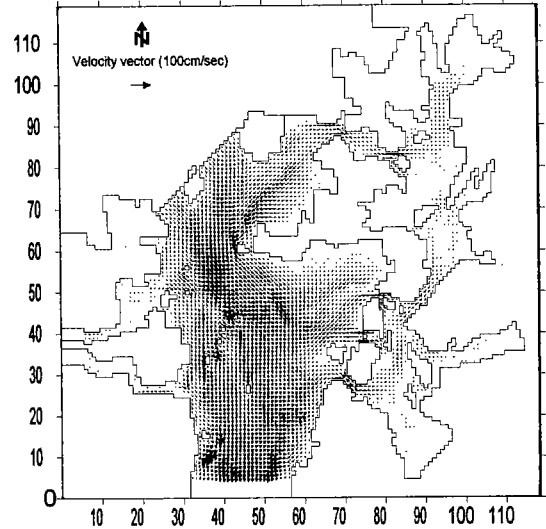


Fig. 7(b) Computed maxium ebb flow before developing new harbor

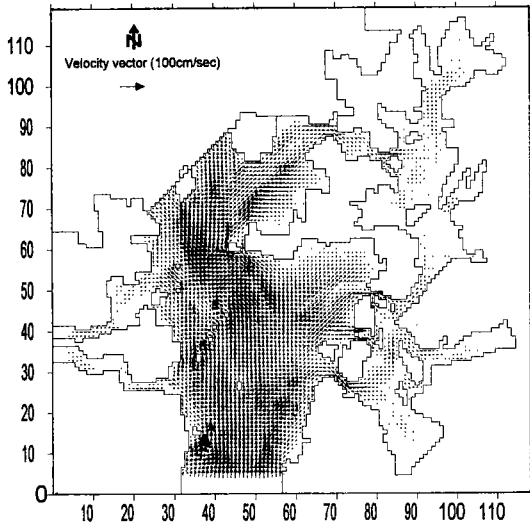


Fig. 7(a) Computed maximum flood flow before developing new harbor

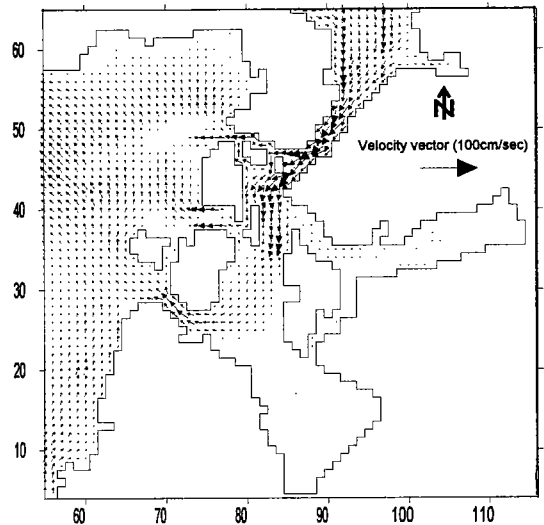


Fig. 8 Computed flow velocity without discharge

Fig. 9와 Fig. 10은 각각 같은 조건하에서 영산강과 영암-금호호에서 방류가 이루어졌을 때의 흐름형태이다. Fig. 11은 영산강과 영암호의 유역이 지리적으로 인접해 있어 강수특성이 유사하여 저수량의 변화 형태도 비슷할 것이며, 방류시점과 방류

지속시간도 외수위와 내수위의 수위차가 20cm 이상인 낙조시에 1.5~1.8시간으로 한정되는 것을 감안하여 영산강과 영암-금호호에서 동시에 방류가 이루어질 때를 고려한 흐름형태이다. 어느 경우에 서든지 방류가 이루어지는 동안에는 대부분의 지



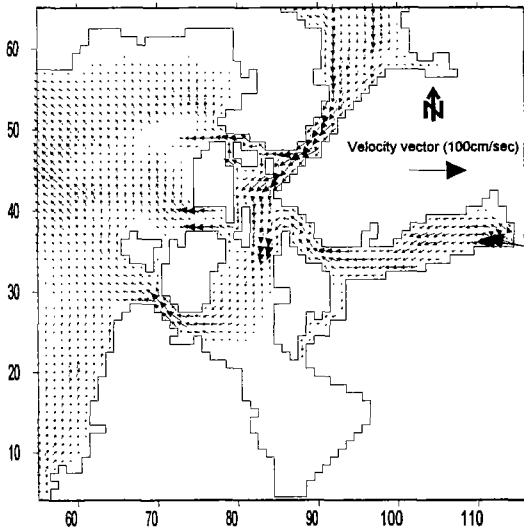


Fig. 9 Computed flow velocity with disch. from YongSan river estuary weir

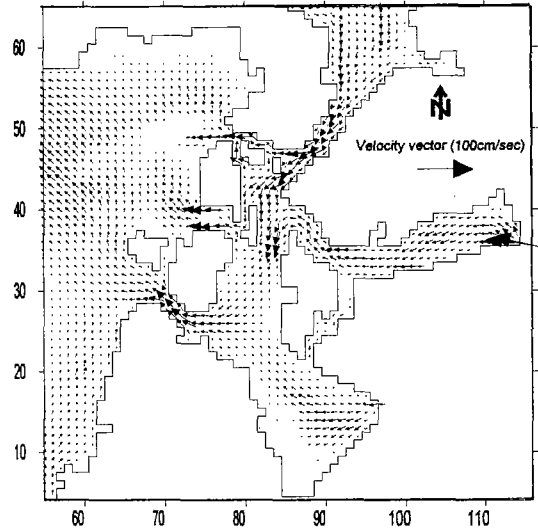


Fig. 11 Computed flow velocity with discharge through YongSan river estuary weir and YongAm sea dike

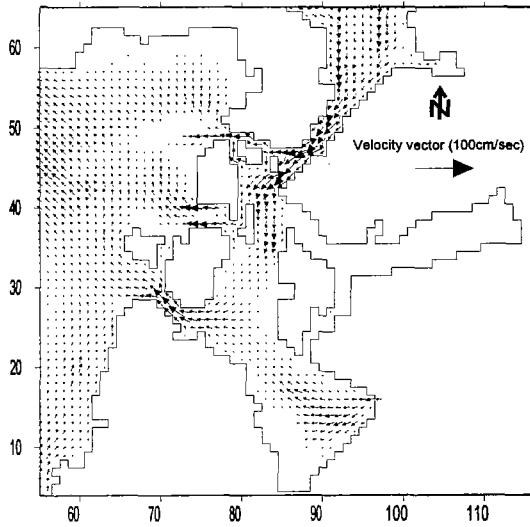


Fig. 10 Computed flow velocity with discharge through YongAm sea dike

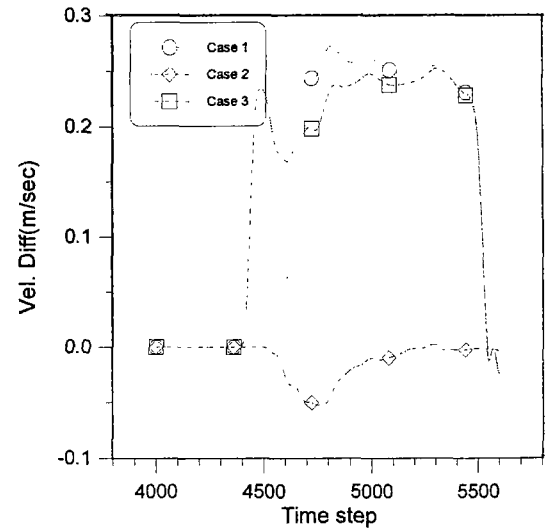


Fig. 12(a) Change of vel. at Anchorage

점에서 유속이 증가하는 경향을 나타냈으며 특히, 영산강과 영암-금호호의 방류 시점이 낙조시이므로 대상수역내에서 유향의 변화는 크게 나타나지 않았지만 낙조우세의 형태를 보이는 목포항의 조

석특성<sup>10)</sup>에 의해 목포구 안쪽 수역에서 방류에 의한 유속이 더욱 가속되는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 영산강 하구둑에서 내수위와 외수위의 차이가 가장 클 때(time step : 4320-5400) 영산강

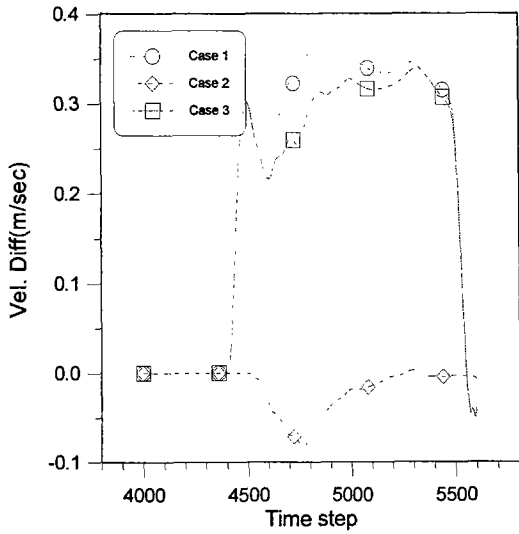


Fig. 12(b) Change of velocity at Daebul harbor

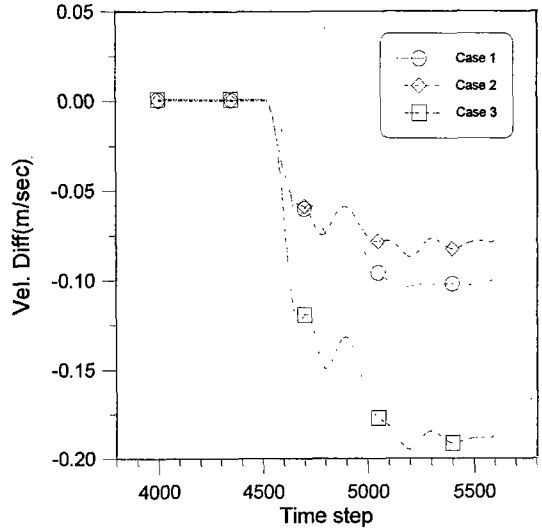


Fig. 12(d) Change of velocity at North harbor

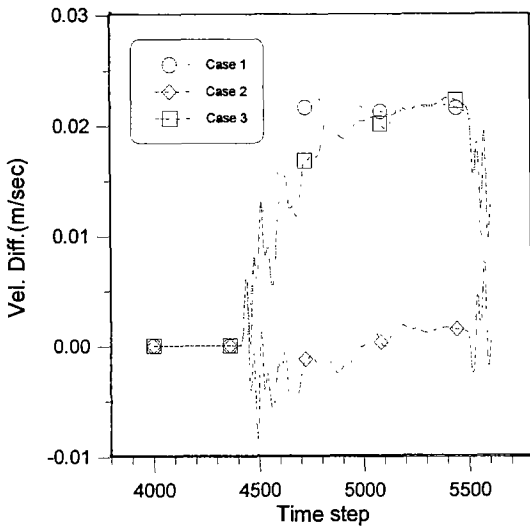


Fig. 12(c) Change of velocity at Inner harbor

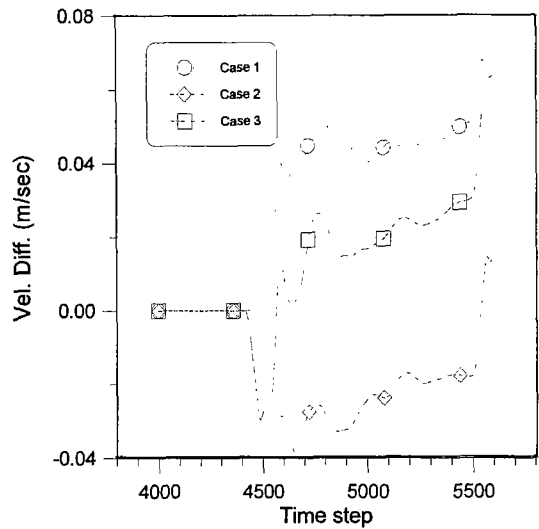


Fig. 12(e) Change of velocity at New harbor

과 영암-금호호에서 방류하였을 때 목포항계내의 주요지점에서의 유속의 변화를 나타내고 있다. 여기서 Case 1는 영산강에서만 방류가 이루어지는 경우, Case 2는 영암-금호호에서만 방류가 이루어지는 경우, Case 3은 영산강과 영암-금호호에서 동

시에 방류가 이루어지는 경우이다. Fig. 12(a), (b), (c)는 묘박지, 대불항 및 목포내항 전면에서 유속의 변화를 나타내고 있다. 이 두 지점은 고하도를 기점으로 내측에 위치해 영산강 방류에 의한 유속의 변화가 크게 작용하는 것으로 나타났으며, 이것은

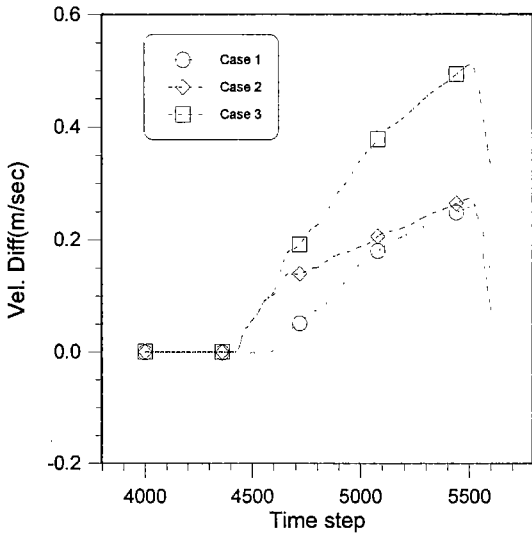


Fig. 12(f) Change of velocity. at Mokpogu

영산강 방류지점에 근접한 대불항 전면에서 더욱 현저하게 나타났다. 반면, 영암-금호호의 방류에 의해서는 오히려 두 지점에서 유속이 감소하는 것으로 나타났으며, 영산강과 영암-금호호에서 동시에 방류가 이루어지는 경우에는 영산강 방류에 의한 경우와 유사하였지만 유속변화량은 다소 적게 나타났다. 이것은 영암-금호호의 방류시 방류수가 좁은 목포구에서의 바깥측 유동장의 주류가 되어 목포항 내항측의 유동이 줄어들기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 12(d)는 북항 전면에서의 유속변화로, 방류가 이루어지지 않을 때 주된 유동인 낙조류가 영산강 및 영암-금호호 방류에 의해 감소되는 경향을 나타냈으며, 이 감소경향은 영암-금호호 방류, 영산강 방류, 이 두가지가 동시에 이루어지는 순서로 나타났다. Fig. 12(e)는 고하도의 서쪽 해안에 건설 예정인 목포 신외항 전면에서의 유속변화로 방류가 이루어지지 않을 때에는 북항 및 목포내항 수역으로부터의 부두에 평행한 방향으로 형성되던 낙조류가, 영산강 방류시에는 가속되는 것으로 나타났다. 한편, 영암-금호호 방류에 의해서는 오히려 이 흐름이 상쇄되었고, 두 담수호의 동시 방류의 경우에는 상쇄되었지만 영산강 방류수의

영향을 받아 여전히 유속이 증가되는 것으로 나타났다. Fig. 12(f)는 목포구의 유속의 변화를 나타내고 있다. 영산강 방류에 의한 영향은 방류후 일정 시간 경과 후에 나타나기 시작하였으며, 유속 증가량은 방류가 진행되면서 점차 증가하는 것으로 나타났다. 방류지점이 목포구에 가까운 영암호 방류의 경우에는 방류량이 영산강에 비해 적음에도 불구하고 방류초기의 유속증가량은 이보다 크게 나타났다.

일반적으로 방류지점에 근접할 수록 방류시작 후 짧은 시간 내에 유속이 급격히 증가하였으며, 방류지점에서 멀어질수록 일정시간이 경과한 후에 유속이 완만하게 증가하기 시작하고 방류가 종료된 이후에는 더 오랜 동안 영향이 지속됨을 알 수 있다.

Table 3은 영산강방류, 영암-금호호 방류 및 동시방류에 따른 목포항 주요지점의 유속의 변화량을 방류가 없을 때 대비해 나타낸 것이다. 영산강 및 영암-금호호의 방류에 의해 목포항 지정묘박지에서의 유속은 319% ~ -20%, 내항에 위치한 부두 전면수역에서의 유속은 289% ~ -21% 정도 변화하였고, 건설예정인 신항만 부두 전면에서는 24 ~ -13%, 목포구에서는 15 ~ 34% 증감하는 것으로 나타났다. 즉, 영산강에서 방류할 경우에는 고하도 내측의 수역에서는 유속이 급격히 증가하였고 이 영향은 영산강에 가까울수록 현저해졌지만, 북항의 낙조류와 영암-금호 방조제 전면 수역에서의 유속은 오히려 감소하였고, 영암-금호호에서의 방류의 경우에는 전면 수역 특히, 유역폭이

Table 3 Change of average velocity during disch. (%)

	Case 1	Case 2	Case 3
Anchorage	319	-20.4	298
Daebul harbor	289.2	-21.2	266.4
Inner harbor	52.6	-0.7	48.3
North harbor	-5.1	-4.4	-9.8
New harbor	23.8	-13.0	10.5
Mokpo-Gu	15.2	19.6	34.4

좁고, 지리적으로 가까운 목포구에서의 유속증가에 직접적인 영향을 가져왔지만, 목포내항 수역, 북항 전면수역 및 신항만 전면수역에서는 유속을 감소하는 작용을 하였다. 동시 방류의 경우에는 지역에 따라 증가 및 상쇄되어 목포구내의 주요지점에서는 방류시점의 주 흐름을 형성하던 낙조류와 영산강 방류수에 의해 증가된 유속이 영암호의 방류에 의해 상쇄되는 것으로 나타났으며, 북항 전면수역과 목포구에서는 영산강과 영암-금호호에서 각각 방류가 이루어질 때의 유속증감량이 동시에 작용하여 유속의 증감폭이 다소 크게 나타났다.

#### 4. 묘박중인 선박의 안정성

목포항은 내항, 외항, 북항, 대불항으로 구분되며 내항은 연안화물선, 연안여객선, 중소형선박이 주로 이용하고, 북항은 중소형 선박과 어선 및 차도선이 이용하고 있으며 외항과 대불항은 대형화물선이 이용하고 있다. 주로 대형선이 이용하고 있는 외항(삼학도부두)과 대불항의 접안시설 현황은 Table 4와 같다. 이 접안시설을 이용하는 선박이 묘박의 필요성이 있을 때는 목포 항계내에 지정된 6개의 묘박지를 이용하게 될 것이며 묘박지별 묘박수역 및 용도는 Table 5와 같다.<sup>11)</sup> 이상의 목포항의 접안시설 규모, 취급화물 및 묘박지 규모를 근거로 하여 묘박지를 이용하는 최대선박을 10,000ton 및 30,000ton급 bulk carrier로 보면 선급 및 강선규정상 의장수는 각각 1,300~1,390 및 1,930~2,080범위에 해당되며 이에 따른 선수앵커 및 앵커체인은 묘의 무게 4~6ton, 묘쇄 직경 56~68mm, 묘쇄 길이 522~577m를 의장하게 된다. 한편 목포항 묘박지는 수심 12~20m, 저질은 Sandy mud로 양호한 ( $\lambda_a=8$ ,  $\lambda_c=2$ ) 편이며, Table 6<sup>12)</sup>에 의해 산출한 묘박수역의 반경 170~220m과 비교할 때 반경 250m를 확보하고 있는 목포항의 묘박지 수역은 적절한 편이다.

목포항의 6개 묘박지중 M6묘박지의 경우 방류

Table 4 Mooring facilities in Mokpo harbor

Berth	Berth NO.	Berth capacity (DWT)	Length (m)	Depth (m)	Treated Cargo
Samhagdo	11	10,000	168	9.5	Timber
	12	30,000	250	12	Coal
	13	30,000	240	12	Grain
	14	5,000	135.3	7.5	General
Daebul	-	20,000	208	12	Raw material

Table 5 Existing anchorages in Mokpo harbor

NO.	Position		Capacity (DWT)	Purpose
	Lat. & Long.	Dia.(m)		
M1	34°46'21" N 126°22'42" E	500	10,000	Waiting for berth
M2	34°46'17" N 126°23'01" E	500	10,000	Waiting for berth
M3	34°46'19" N 126°23'20" E	500	30,000	Waiting for tidal change
M4	34°46'23" N 126°23'40" E	500	30,000	Cargo work
M5	34°46'29" N 126°23'58" E	500	30,000	Cargo work
M6	34°46'31" N 126°24'18" E	500	10,000	Waiting & harbor work

가 없을 때의 평균유속은 0.1m/sec 정도이었지만, 영산강 방류시에는 0.3m/sec, 영암-금호호 방류시에는 0.07m/sec, 영산강 및 영암-금호호 동시 방류시에는 0.28m/sec로 증감하였다. 특히, 영산강 방류의 경우 유속이 3배 증가함에 따라 묘박선박에 미치는 외력은 9배 증가하게 되어, 3만톤급의 선박이 최대홀수로 묘박하고 있을 경우 외력은 2.73톤에서 24.57톤으로 증가하게 된다. 묘박지의 반경 250m를 전부 이용하여 묘박하고 있을 경우 방류에 의한 외력의 증가로 묘쇄의 Cartenary부는 43m에서 108m로 증가하게 되고<sup>13)</sup> 묘에 의한 파주력이 유지된다고 하더라도 묘쇄에 의한 파주력은 23.5ton에서 9.24톤으로 60%정도 감소하게 된다.

Table 6 Required anchorage

Object	Bottom condition or wind velocity	Semi dia.(m) of anchorage
Waiting or cargo work	Good	L + 6D
	Bad	L + 6D + 30m
Avoiding heavy weather	Wind speed 20m/sec	L + 3D + 90m
	Wind speed 30m/sec	L + 4D + 145m

### 5. 토론 및 결론

본 연구에서는 조석에 의한 목포항 주변해역에서의 해수유동을 재현하고, 영산강과 영암-금호호의 방류에 의한 해수유동의 변화를 분석하였다. 주요지점의 자료를 분석한 결과 영산강 및 영암-금호호와의 위치관계, 방류조건 등에 따라 유속의 증감에 차이가 있었지만 목포항내 기존의 부두 및 건설예정인 부두의 전면수역에서 대불항의 경우 289%을 최대로 10~50% 증가되는 것으로 나타났으며, 목포항의 관문이 되는 목포구에서도 최대 34%이상 증가하는 것으로 나타났다. 또한 목포항 지정묘박지에서는 유속이 최대 319% 증가하였다.

조선중이거나 계류 또는 묘박되어 있는 선박은 유속의 제공승에 비례하는 외력을 받게 되므로 하구둑 및 방조제에서의 방류에 의한 유속의 증가로 목포항 주변해역에서 선박의 조종성능 및 안정성에 미치는 영향을 다음과 같이 몇 가지로 대별할 수 있다.

첫째, 1985년부터 1995년간 목포항에 입출항한 선박의 규모<sup>14)</sup>는 국적외항선이 평균 173척/년으로 평균 총톤수는 3,241.5톤, 외국적 외항선은 298척/년으로 평균 총톤수 9,074.2톤, 연안선은 789척/년으로 평균 총톤수 203톤, 정기여객선의 경우 1995년 한해동안 총 37척이 월평균 5628회 운항하였으며 평균 총톤수는 390톤이며 어선의

경우 목포시에 등록된 어선의 62%인 615척이 5톤 미만으로 목포항을 입출항하는 선박의 대부분이 소형선이므로 영산강 및 영암호 방류에 의해 수로폭이 좁은 접근수로에서의 조종 및 선박의 접이안 조선시 영향을 미칠 것이다.

둘째, 목포항에는 관공선부두, 여객선부두, 연안선부두 및 삼학도의 외항부두, 대불공업단지의 대불부두로 북항 및 건설예정인 신항만을 제외한 기존의 모든 부두가 고하도를 기준으로 해역이 좁은 내측에 위치하고 있으며 낙조류 유향에 평행하게 배치되어 있어 방류에 의한 영향을 크게 받게 될 것이며, 특히 대불항의 경우 영산강 하구둑 배수갑문에 근접하고 있어 방류에 의한 영향이 직접적으로 미치는 것으로 나타났다. 이는 계류선박의 안정성은 물론 선박의 적양하 작업에도 영향을 미칠 것이다.

셋째, 목포항의 지정묘박지는 6곳으로 묘박지의 수심은 12~20m이며, 저질은 Sandy mud로 파주계수는 양호한 편이지만 수역면적이 충분하지 못해 각 묘박지의 수역면적이 반경 250M로 한정되어 충분한 묘채를 신출하지 못하는 경우가 많다. 한편 위치가 목포내항과 영산강 배수갑문 중간수역에 배치되어 있어 영산강 방류시 방류수의 직접적인 영향을 받게 되며, 3만톤급의 화물선의 경우 묘채를 최대로 신출한다고 하더라도 방류에 의해 전체 파주력은 22%감소하게 되어 현재의 묘박지 수역은 부족하게 된다.

이와 같은 영산강과 영암-금호호의 방류에 의해 목포항내의 선박에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 첫째, 목포구를 제외한 대부분의 수역에서 영산호만의 방류에 의한 유속증가가 영암-금호호와 동시방류시 상쇄되는 것을 감안하여 영산강과 영암-금호호의 연락수로간의 이동 유량을 증가하여 하구둑-방조제의 배수갑문조작을 연동하여 방류에 의한 유동변화를 최소화 할 필요가 있으며, 부가적으로 영암호와 금호호의 담수화가 촉진되어 수자원관리의 효율성을 증대할

수도 있다.

둘째, 방류시 영향권내의 조선수역, 항만지역 등에 방류 예·경보시스템을 갖추어 선박조선자 및 안전관리자로 하여금 선박안전을 확보하는데 항행보조시설의 역할을 하여야 할 것이다.

셋째, 목포신외항의 건설 및 주변 물동량의 증가로 목포항의 접근수로, 항행보조시설의 정비 등으로 현재보다 대형선의 입출항을 감안한다면 현재의 묘박지는 충분한 수역을 확보하고 있다고 볼 수 없으며, 묘박지 주변 수역이 대불항 및 내항측의 항로로 이용되고 있는 실정이라 확장이 불가능하므로 방류수에 의한 외력증가시 묘박선박의 안정성 확보를 위해 단부묘박, 쌍부묘박을 설치하여야 할 것이다. 영산강 방류시 유동방향과 평행하게 설계하면 방류시 묘박선박의 안정성을 더욱 증대할 수 있다.

넷째, 유속증가에 의한 선박에 미치는 외력의 증감은 장소의 특성에 따라서 선박의 조종성 및 안정성에 부정적 혹은 긍정적 영향을 미칠 것이므로 선박조종시물레이션에 의해 방류에 의한 영향을 선박조종측면에서 충분히 검토하여야 할 것이다.

아울러 본 연구는 목포항 인접역에서의 오염물의 확산 및 수질문제에 관련된 연구에서 영산강 및 영암-금호호 방류에 의한 영향과 방류수의 활용방안 등의 연구에서도 기본자료로 활용될 수 있을 것이며, 이는 후속 연구에서 상술하게 될 것이다. 추후 실제 방류가 이루어질 때 조위 및 유속을 실측하여 연구결과를 보다 면밀히 검증할 필요가 있다.

## 참고문헌

- 1) 전라남도, 목포항주변조위상승원인분석 및 항구대책연구용역 보고서, 1993.
- 2) 이중우, 신승호, 영산강지구 대단위간척지 개발로 인한 조석변화에 대한 수치실험, 한국항만학회지, 제5권 제2호, 1991.
- 3) 농어촌진흥공사 영산강사업단, 하구독관리연보, 1996.
- 4) 농어촌진흥공사 영산강사업단, 영암방조제관리연보, 1996.
- 5)金子安雄,堀江毅,村上和男, 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券 第1號 1975.
- 6) 부산광역시, 동부산권 항만 및 공유수면매립기본계획 수치시물레이션결과, 1998.
- 7) 정명선, 목포 연안역 개발에 따른 연안해역 변화에 관한 연구, 한국해양대학교 항해학과, 1992.
- 8) 鞠承淇, 潮汐殘差流の創造·制御による閉鎖性海域の水質改善に關する研究, 九州大學大學院工學研究科(水工), 1998.
- 9) 대한민국수로국, Tidal current charts, 1996.
- 10) 오남선, 강주환, 목포해역에서의 조석모형 적용, 한국항만학회지, 제12권 제1호, 1998. 6. 윤점동, 선박운용의 이론과 실무, 1982.
- 11) 해운항만청, 목포항 광역개발기본계획 보고서 (I), 1994.
- 12) 이중우, 항만계획 및 개발, 1999.
- 13) 윤점동, 선박운용의 이론과 실무, 1982.
- 14) 남만우, 이철영, 목포항 운송시스템의 분석에 관한 연구, 한국항만학회지 제11권 제2호, 1997.