

영산강 하구둑과 영암-금호방조제 방류에 의한 목포항 주변 수역의 수질변화에 관한 연구

정 대 득* · 이 중 우** · 국 승 기***

A Study on the Change of Water Quality in the Vicinity of Mokpo Harbor
due to the Discharges from Yongsan River Estuary Weir and
Yongam-Kumho Sea Dike

D. D. Jeong · J. W. Lee · S. G. Gug

Key Words : 영산강(YongSan River), 해수유동(Movement of Sea Water), ADI법(Alternating Direction Implicit Method), 확산(Diffusion)



Abstract

It is essential for port planning, coastal zone management and environmental impact study to analyze the variation of current and water quality due to the development of water area and discharged water from the estuary barrage and basin, etc. Mokpo sea area has downstreams from a long river and two large basins, the Yongsan river and Yongam-Kumho basins, discharging much of water through water gates for the purpose of flood control and prohibition of salt intrusion to the inland fresh water area.

In this study, the numerical calculation were carried out for the analysis of diffusion characteristics due to discharging operation, adopting the results of tidal current simulation. ADI method is applied to the governing equation for the movement of sea water and diffusion and 6-point method to the advection terms of diffusion equation

As the results of this study, it is known that the discharging operation causes increasing and/or decreasing of current velocity and enlarging and/or depressing of pollutant diffusion limits depending on the distance from the discharging gates and the modes of discharging operation. To utilize these results, the linked gate operation and the method increasing exchange of sea water must be considered.

* 정희원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수
** 정희원, 한국해양대학교 토목환경공학부 교수
*** 정희원, 한국해양대학교 해양경찰학과 교수

1. 서 론

목포항은 무안반도, 영암반도와 주변 다도해에 둘러싸인 반폐쇄형 항만으로 항내의 수질 특히, 고하도 내측의 내항 수역의 수질문제는 항상 관심의 대상이 되어왔다. 목포항의 수질은 용존산소, 화학적 산소요구량 및 부영양화에 관련된 수질 항목에서 2~3등급의 수질수준으로 나타났으며 특히, 하계의 수질은 부영양화로 인하여 적조발생 잠재력이 대단히 큰 것으로 나타났다.¹⁾²⁾ 따라서 영산강 하구둑과 영암-금호방조제 축조와 운영, 대불공단, 삼진지방 산업단지 및 추후 이루어질 고하도 신항만 개발, 북항개발 등 대규모 연안역 개발에 의한 목포항 주변 해역에서의 유동변화와 이에 따른 영향 및 수질개선 대책이 고려되어야 할 것이다.

1981년 준공된 영산강 하구둑과 1996년 준공된 영암-금호방조제에 의한 고극조위의 상승과 우리나라 전반에 나타난 자연적인 해수면의 상승에 의한 목포항의 조위상승으로 인한 목포시까지 일부 지역의 상승적인 침수를 방지하고 목포항 수질개선을 위해 해안선을 따라 호안을 설치하고 모든 오폐수를 남해하수종말처리장을 거쳐 최종방류하고 있다³⁾. 남해하수종말처리장은 목포시 전체면적의 47%인 1,225.4ha에 달하는 내항남해지구와 해당지구의 생활하수를 응집하여 표준활성오니법과 혐기성·소화방식을 병용하여 처리하여 분류식으로 영산강 하구에 방류하고 있으며, 시설용량은 100,000 m³/일이다⁴⁾.

본 연구의 목적은 영산강 하구둑과 영암-금호방조제의 방류에 의한 목포항 주변해역의 해수유동변화와 이에 따른 내항 수역의 오염원으로 배출되는 오염물질의 확산특성을 수치시뮬레이션에 의해 파악하는 것이다.

2. 방류현황

2.1 영산강 하구둑 방류⁵⁾

산강 하구둑은 1978년 착공되어 1981년 준공된 높이 19.5m, 길이 4,351m의 토언제이다.

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 통선문 1개소가 설치되어, 담수호의 수위가 계획만수위(M.O.C EL-135cm)를 초과하거나 초과할 우려가 있을 때, 홍수조절, 제염추진, 정비상의 목적을 위하여 영산강 내수위와 외수위의 수위차가 20cm 이상일 때 7~8개의 배수갑문을 개방하여 방류하며, 통상 1회 평균 1.5시간동안 완전개문이 이루어진다.

Table 1은 영산강 하구둑의 연도별 방류현황이다. 연도별 방류량은 영산강 상류유역의 강우량에 따라 차이를 나타내고 있지만, 연평균 총방류량이 998,419.4×10³ton으로 방류시 목포항 주변해역의 해수유동 변화에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

2.2 영암-금호방조제 방류⁶⁾

영산강 3지구 농업종합개발 사업의 일환으로 1985년 착공되어 1996년 완공된 영암-금호방조제는 총연장 4.3km인 3조로 구성된 방조제이다. Table 2는 영암-금호방조제 준공이후 방류현황을 나타내고 있다. 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 제염추진을 주목적으로 배수갑문을 조작하고 있기 때문에 해수측으로의 방류량은 많지 않지만, 담수화가 완료된 영산호의 저수량과 비교해보면 영암호 및 금호호가 각각 97% 및 53%로 그 규모가 커 담수화가 완료된 이후에는 방류량이 급증할 것이다.

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 ³ /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 |

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 ³ /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 |

3. 오염물확산 시뮬레이션

해수유동 시뮬레이션에서 구한 유속 데이터를 이용하여 오염물확산 수치실험을 행하여 영상호 와/또는 영암-금호방조제의 방류에 따른 오염물의 확산 특성을 파악한다.

3.1 확산기초방정식

확산물질의 농도를 c 라고 하면, 속도성분 u, v, w 의 흐름이 있을 때 미소육면체 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 로 유입, 유출하는 양의 증가는 이 육면체 내의 확산물질의 증가와 같기 때문에 유체운동에 관계하는 연속식의 유도와 같게 되고, 다음 관계식이 구해진다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uc) + \frac{\partial}{\partial y}(vc) + \frac{\partial}{\partial z}(wc) = 0 \quad (1)$$

실제흐름은 대부분 난류이므로 유속과 농도는 시간적 공간적으로 불규칙하게 변동한다. 따라서 유속

성분과 농도를 평균값과 변동값으로 나누어 식(1)에 대입하고 시간평균을 취하여 평균류에 관한 식으로 표시하고, 난류확산계수를 도입하면 다음과 같은 물질확산의 기초방정식이 된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(uc)}{\partial x} + \frac{\partial(vc)}{\partial y} + \frac{\partial(wc)}{\partial z} \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 c, u, v, w : 시간평균량

K_x, K_y, K_z : x, y, z 방향의 난류확산계수

해수유동모델에서의 유체의 운동방정식 및 연속방정식과 마찬가지로, 식(2)를 수심방향에 대해 $-h \leq z \leq \zeta$ 까지 적분하면 다음과 같은 2차원화된 물질확산의 방정식이 구해진다.

$$\frac{\partial[(\zeta+h)C]}{\partial t} + \frac{\partial[(\zeta+h)UC]}{\partial x} + \frac{\partial[(\zeta+h)VC]}{\partial y}$$

$$= \frac{\partial \left[(\zeta + h) D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right]}{\partial x} + \frac{\partial \left[(\zeta + h) D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right]}{\partial y} \quad (3)$$

여기서, U, V : x, y 방향의 단면 평균 속도

C : 수심 평균 농도

$$C = \frac{1}{\zeta + h} \int_{-h}^{\zeta} c \, dz$$

D_x, D_y : x, y 방향의 분산계수

3.2 확산모델

영산호 와/또는 영암-금호호의 방류에 의한 오염물의 확산형태 변화를 분석하기 위해 Fig. 1에 나타난 것과 같이 목포내항에 위치한 남해하수종말처리장의 최종 방류지점을 선정하여 계속적으로 오염물질을 배출시켜 15주기의 조석변동에 따른 오염물질의 확산형태를 평가한다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} [(h + \zeta)C] + \frac{\partial}{\partial x} [(h + \zeta)UC] + \frac{\partial}{\partial y} [(h + \zeta)VC] \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left[(h + \zeta) D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(h + \zeta) D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right] + q_m \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, C : 수심 평균 농도

D_x, D_y : 분산계수

q_m : 유입부하량

이류확산방정식 식(4)를 음해법(Implicit scheme)에 의해 차분근사하면 다음과 같은 관계식이 구해진다.

$$\begin{aligned} & \frac{(h + \zeta)(C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j}^n)}{\Delta t} = \\ & - U(h + \zeta) \left(\frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{2\Delta} \right) \\ & - V(h + \zeta) \left(\frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{2\Delta} \right) \\ & + (h + \zeta) D_x \left(\frac{C_{i+1,j}^{n+1} - 2C_{i,j}^{n+1} + C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right) \\ & + (h + \zeta) D_y \left(\frac{C_{i,j+1}^{n+1} - 2C_{i,j}^{n+1} + C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, 시간단계(time level) n 에서 $n+1$ 까지는 y 방향에 대해서는 음적으로 x 방향에 대해서는 양적으로 사용하고, $n+1$ 에서 $n+2$ 까지는 y 방향에 대해서는 양적으로 사용하고 x 방향에 대해서는 음적으로 근사하여 해의 안정성을 확보하는 ADI (Alternating Direction Implicit)법을 다시 사용한다⁷⁾. 식(5)를 ADI법의 방식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{i,j}^{n+1} & = C_{i,j}^n - \frac{U\Delta t}{2\Delta x} (C_{i+1,j}^n - C_{i-1,j}^n) \\ & - \frac{V\Delta t}{2\Delta y} (C_{i,j+1}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}) \\ & - \frac{\Delta t \cdot D_x}{\Delta x^2} (C_{i+1,j}^n - 2C_{i,j}^n + C_{i-1,j}^n) \\ & + \frac{\Delta t \cdot D_y}{\Delta y^2} (C_{i,j+1}^{n+1/2} - 2C_{i,j}^{n+1/2} + C_{i,j-1}^{n+1/2}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} C_{i,j}^{n+1} & = C_{i,j}^n - \frac{U\Delta t}{2\Delta x} (C_{i+1,j}^n - C_{i-1,j}^n) \\ & - \frac{V\Delta t}{2\Delta y} (C_{i,j+1}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}) \\ & - \frac{\Delta t \cdot D_x}{\Delta x^2} (C_{i+1,j}^n - 2C_{i,j}^n + C_{i-1,j}^n) \\ & + \frac{\Delta t \cdot D_y}{\Delta y^2} (C_{i,j+1}^{n+1/2} - 2C_{i,j}^{n+1/2} + C_{i,j-1}^{n+1/2}) \end{aligned} \quad (7)$$

3.3 수치실험 및 결과분석

해수유동 시뮬레이션은 이전의 연구(정 등, 1999)에서와 같이 수치방향의 속도 및 가속도를 무시한 천해 장주기파 이론을 적용하여 수심평균 2차원 흐름의 기본방정식을 수치모델화하고 ADI법에 의해 계산하였다⁸⁾. 유동시뮬레이션에서는 영산호 및 영암-금호호의 방류에 따라 CASE 1 : 방류가 없는 경우, CASE 2 : 영암-금호호 방류의 경우, CASE 3 : 영산호 방류의 경우, CASE 4 : 영산호와 영암-금호호 동시방류의 경우로 하였다. 금호호의 방류자료는 아직 나와있지 않으며 금호호와 영암호는 연락수로에 의해 연결되어 있으므로, 본 연구에서는 금호호만의 방류에 대해서는 고려하지 않고 영암호와 연계된 것으로 다루었다.

목포항 주변에서의 해수유동을 재현하기 위해 Fig. 1과 같이 대상영역을 설정하고, x , y 방향의 격자간격을 각각 300m로 하여 118×119의 계산격자망을 구성하였다.

영산호와 영암-금호호의 방류는 해수면과의 수위차가 가장 큰 시점에서 1.56시간 이루어지는 것으로 하였으며, 영산호의 방류량은 10,928,780.0 $m^3/hour$, 영암-금호호의 방류량은 10,561,162.9

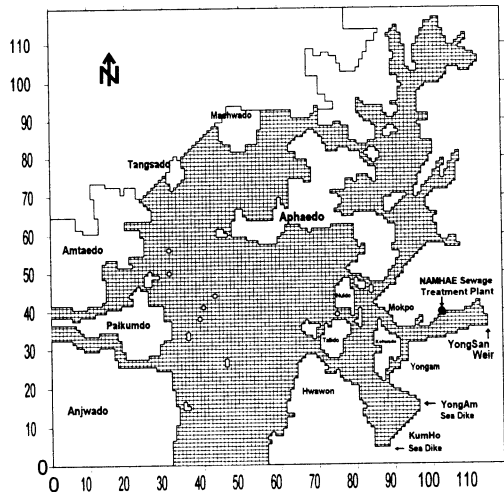


Fig. 1 Finite difference grid for study area

$m^3/hour$ 로 하였다. 해수유동에 관한 상세한 실험 조건은 이전의 연구(정·이·국, 1999)를 참조한다.

Fig. 2 ~ 5는 각각 CASE 1, 2, 3, 4의 경우에서의 흐름형태이다.

확산계산조건으로 수평격자간격 $\Delta x = \Delta y = 300m$, 시간격자간격 $\Delta t = 100sec$, 분산계수 D_x, D_y 은 $1.0 \times 10^4 cm^2/sec$, 개방경계에서의 경계조건으로는 창조시 $C = 0.0$ 및 낙조시 $\partial^2 C / \partial y^2 = 0$ 으로 하였다.

오염물질 유입은 목포항 내항에 위치한 남해해수종말처리장의 최종배출구(격자점(103,38))에서, 계산 시간동안 농도 $C = 10.0$ 를 계속 유지하는 것으로 하였다. 한편 영산호 와/또는 영암-금호호의 방류조건은 해수유동 시뮬레이션의 경우와 같은 조건으로 하였다.

Fig. 6(a), (b)는 CASE 1의 경우 각각 5주기와 15주기이후의 오염물질의 확산형태를 나타내고 있다. 조석주기에 따라 오염물질의 확산 범위가 다소 넓어지고는 있지만, 15조석 이후에도 오염물질의 대부분이 고하도 내측해역에 잔류하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7(a), (b)는 CASE 2의 경우 조석주기에 따른 오염물질의 확산형태이다. 이 경우에는 방류가 전혀 이루어지지 않은 경우보다도 오히려 확산범위가 좁아진 것을 알 수 있다.

Fig. 8(a), (b)는 CASE 3의 경우 조석주기에 따른 오염물질의 확산형태를 나타내고 있다. 오염물질 유입원의 위치보다 내측 수역에서는 영산호 방류에 의한 담수의 유입으로 오염물질이 나타나지 않으며, 5조석주기 동안에는 여전히 내항 수역을 벗어나지 못하였지만 15조석주기 이후에는 목포구 외측 해역까지 확산된 것을 알 수 있다.

Fig. 9(a), (b)는 CASE 4의 경우 조석주기에 따른 오염물질의 확산형태이다. 목포구 내측 해역에서의 확산형태는 영산호만의 방류의 경우와 유사하지만, 목포구 외측에서의 확산범위는 어느 경우보다도 넓게 확산되는 것으로 나타났다. 또한 오염물질이 목포구를 벗어나는 시점에서는 북향류인 창조류의 영

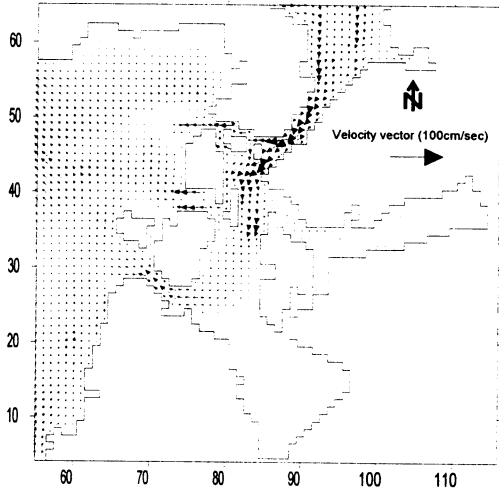


Fig. 2 Computed flow velocity by CASE 1

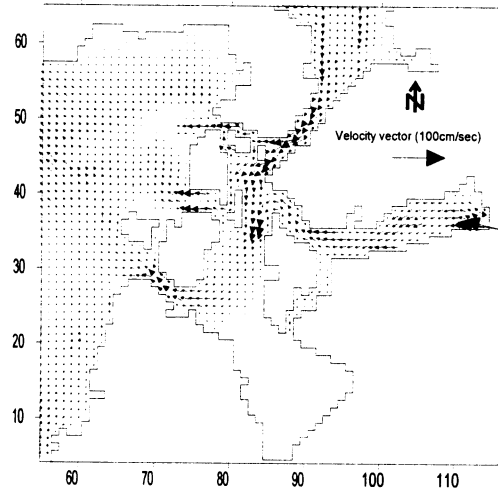


Fig. 4 Computed flow velocity by CASE 3

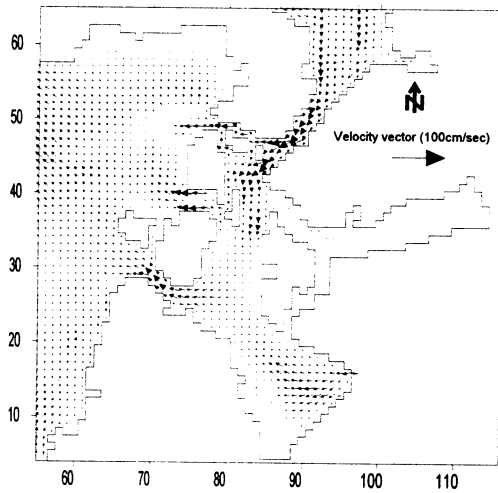


Fig. 3 Computed flow velocity by CASE 2

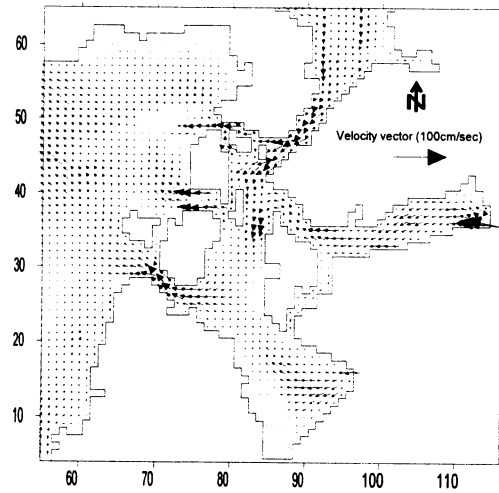


Fig. 5 Computed flow velocity by CASE 4



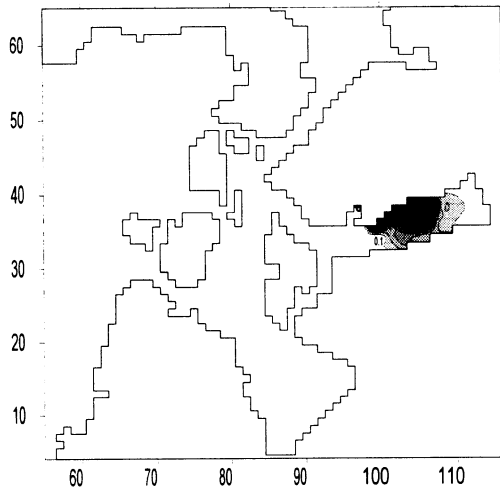


Fig. 6(a) Distribution of concentration with out discharging after 5 cycle

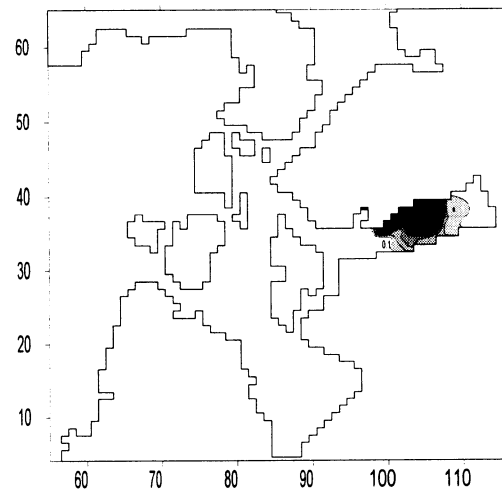


Fig. 7(a) Distribution of concentration with Yongam-Kumho discharging after 5 cycle

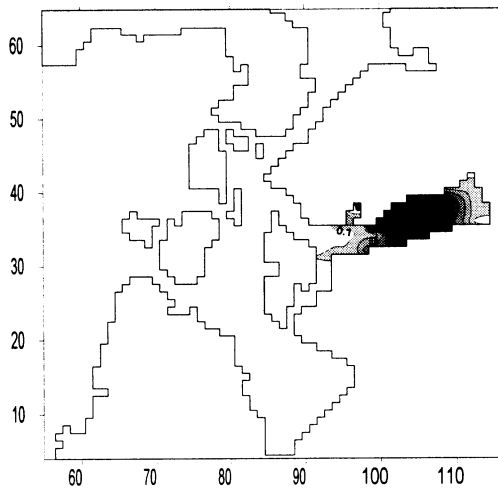


Fig. 6(b) Distribution of concentration with out discharging after 15 cycle

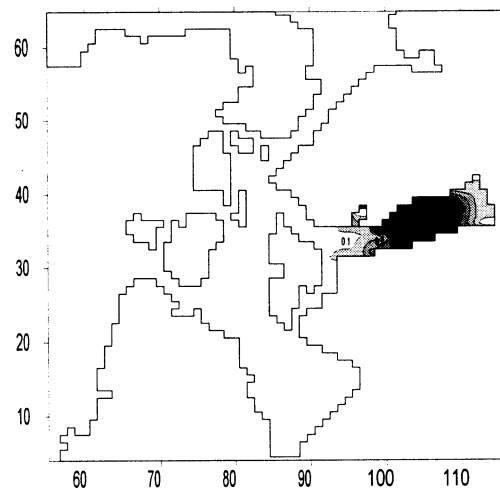


Fig. 7(b) Distribution of concentration with Yongam-Kumho discharging after 15 cycle

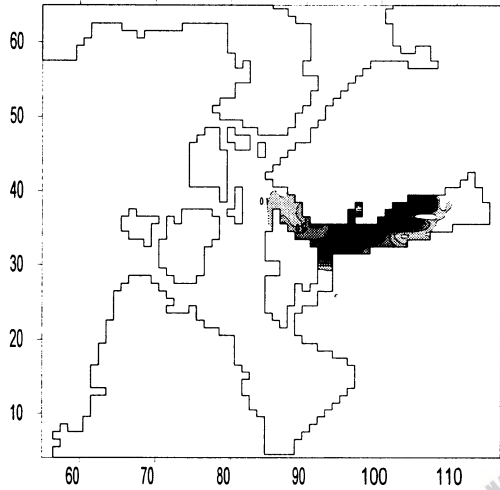


Fig. 8(a) Distribution of concentration with Yongsan discharging after 5 cycle

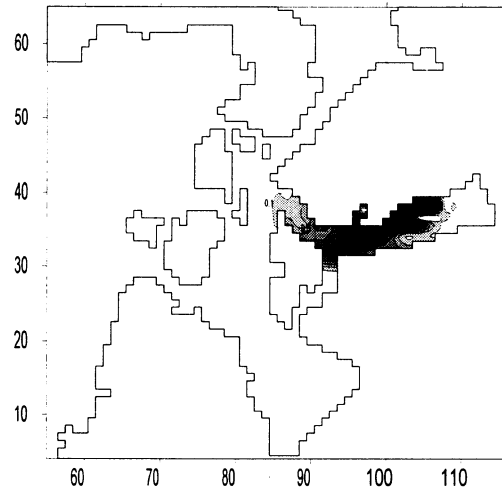


Fig. 9(a) Distribution of concentration with Yongsan and Yongam -Kumho discharging after 5 cycle

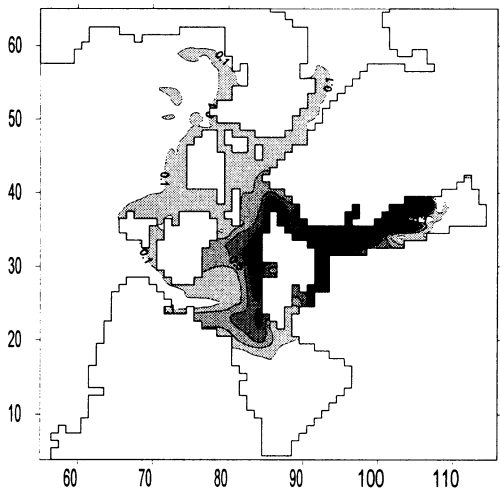


Fig. 8(b) Distribution of concentration with Yongsan discharging after 15 cycle

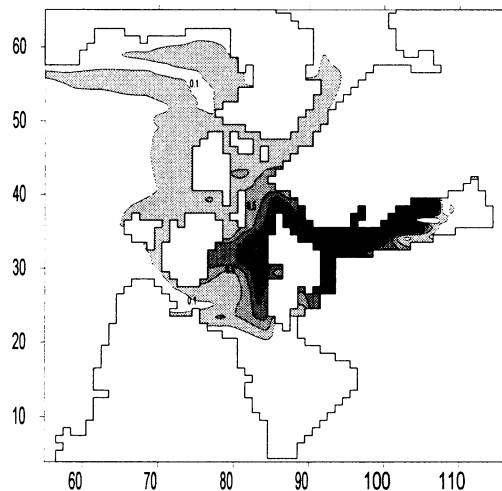


Fig. 9(b) Distribution of concentration with Yongsan and Yongam -Kumho discharging after 15 cycle

항에 의해 목포구 외해측의 북쪽해역으로의 확산이 보다 현저히 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 영산호 및 영암-금호호에서의 방류에 의한 목포항 주변해역의 유동변화와 목포시 내 항남해지구와 하당지구의 오폐수를 응집하여 처리 후 방류하는 남해하수종말처리장의 최종 방류구 위치에서 오염물질이 방출된다고 하였을 때 방류조건에 따른 오염물질의 확산형태를 파악하였다.

목포구 내측의 주요지점에서는 영산호 및 영암-금호호 방류구와의 위치관계, 방류조건에 따라 유속의 증감이 현저히 나타났다. 특히 목포구에서의 유속은 어느 경우에서나 증가하였으며 영산호와 영암-금호호 동시 방류시 최대 34%까지 증가하였다⁷⁾. 따라서 목포항에 계류중인 선박, 묘박중인 선박과 입출항하는 선박에 미치는 영향 등을 충분히 고려하여 방류방식의 최적화, 선박의 안정성 확보를 위한 항행보조시설의 확충 등을 고려하여야 할 것이다.

한편, 확산 시뮬레이션의 결과에 의하면 내항에 위치한 오염물질 유입원으로부터의 배출물질은 대부분 고하도내측의 목포항 내항 수역을 벗어나지 못하고 있는 것으로 나타났으며, 영암-금호호만의 방류의 경우에는 오히려 확산범위가 목포항 내항 수역으로 더욱 한정되었다. 목포항 내항 수역으로의 유입량이 가장 많은 영산호 방류의 경우에서도 15조석 주기 이후에야 목포구 외측 수역에 까지 확산되었다. 또한 영암-금호호의 방류시에 내항 수역의 확산 현상이 더욱 한정되는 것을 피하기 위해서는 영산호와 동시에 방류하는 것을 고려하여야 할 것이며, 이로써 확산범위를 목포구 외측 수역까지 확장할 수 있을 것이다.

목포항 내항 수역의 수질보존 및 개선을 위해서는 목포항의 수질이 하계에 더욱 악화되는 것과 영산호 및 영암-금호호의 방류가 하계에 집중되는 점

을 감안하여, 영산호 및 영암-금호호의 방류수를 이용한 해수교환을 증대 방안, 국(1998)⁹⁾이 연구한 폐쇄성 항만에서의 수질개선방안 등을 고려하여야 할 것이다. 향후 연구에서는 영산호, 영암-금호호가 담수호인 것을 감안하여 밀도, 온도에 의한 영향까지 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) 김광수, 목포항의 수질특성(I), 해양안전학회지 제3권 제1호, 1997
- (2) 김광수, 목포항의 수질특성(II), 해양안전학회지 제3권 제2호, 1997
- (3) 전라남도, 목포항주변조위상승원인분석 및 항구 대책연구용역 보고서, 1993.
- (4) 목포시 남해하수종말처리장 시설공사 감리최종 보고서, 1998
- (5) 농어촌진흥공사 영산강사업단, 하구둑관리연보, 1996.
- (6) 농어촌진흥공사 영산강사업단, 영암방조제관리연보, 1996
- (7) 정대득·이중우·국승기, 영산강 하구둑 및 영암-금호방조제의 방류에 의한 목포항 주변 수역의 유동변화 및 선박운용에 미치는 영향에 관한 연구, 한국항만학회지 제13권 제1호, 1999
- (8) 정명선, “목포 연안역 개발에 따른 연안해역 변화에 관한 연구” 한국해양대학교 항해학과, 1992.
- (9) 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.
- (10) 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”, 九州大學工學部建設都市工學科, 1998.

