

울산만내의 2차원 분산현상에 관한 연구*

김 성득 · 고 성훈*
토목 · 환경공학부

<요 약>

해양 오염 문제의 효과적인 대처방안은 오염물질의 분산현상을 규명함으로써 오염원에 의한 시간적, 공간적 농도분포를 예측하고 이들 오염원에 의한 피해가 없도록 관리하는 것이다. 울산만은 평균 대조차 48.2cm의 조석과 태화강 유입수에 의한 해수유동이 발생하고 있어 이에따른 오염물질의 분산현상을 파악하여야 한다.

본 논문에서는 해수유동 현상은 Navier - Stokes 방정식을 유한차분 양해법으로 구한 Christopher G. Koutitas(1988)의 모델을 사용하였고, 여기서 계산된 해수유동 속도를 사용하여 수심방향으로 적분된 2차원 분산방정식을 2차의 삼각형요소를 사용한 유한요소법에 의해 해석하였다.

계산결과를 측정치와 비교 검토를 하지는 않았으나 하구만에서의 분산에 관한 정성적 현상을 파악하는데는 크게 유용하게 활용될 것으로 생각된다.

A Numerical Simulation Study of Two Dimensional Dispersion Problem in Ulsan Bay

Seong-deuk Kim · Seong-hun Kou
Dept. of Civil and Environment Eng.

<Abstract>

An effective counterplan of sea pollution problem is preestimating the concentration

* 본 연구에 1997년도 울산대학교 학술진흥연구비가 지원 되었음을 밝히고 감사를 드린다.
* 본 대학 대학원 석사과정 수료

distribution depending on time and place through finding out the dispersion phenomena of pollutants, and managing not to be damaged by such pollutants.

There are 48.2 cm of mean spring tide and outflow of Taewha river in Ulsan Bay, so the dispersion phenomena should be calculated according to these conditions.

In this paper the flow problem of sea area was calculated using the Christopher G. Koutitas finite difference model in solving Navier-Stokes equation, and using these velocity results the two dimensional dispersion equation which is integrated according to depth was calculated using the finite element method of quadratic triangular elements.

The calculated results was not verified comparing to observed data but this results should be very useful in practical dispersion problems qualitatively in the area of estuaries.

1. 서론

해양오염에 대한 문제가 최근에 많이 거론되고 있다. 해양오염 문제의 해결방안은 첫째 오염원의 차단과 둘째 오염된 물질이 어떻게 퍼져나가는가를 정확히 규명하는 것이다. 본 연구의 대상지역인 울산만은 부산항·인천항과 더불어 우리 나라의 수출입의 관문이 되는 중추적인 역할을 하는 울산 항이 있는 지역으로서 특히 울산지역은 임해공업지역으로 해양오염에 대한 관심이 민감하기 때문에 이에 대한 학문적 논리의 바탕을 마련하는 것이 중요한 과제라 할 수 있다.

만 내의 해수유동현상은 Navier-stokes 방정식을 유한차분 양해법으로 구한 Christopher G. Koutitas(1988)의 모형을 사용하였고 여기서 얻어진 조류속도를 사용하여 분산방정식을 2차의 삼각형요소를 사용하는 유한요소모델에 의해 해석하였다.

울산만 내의 오염물질의 발생은 대부분이 태화강으로부터 유입되어지나 특정공장등의 하수배출도 오염원으로 볼수가 있다. 태화강의 유입수나 특정지점의 오염원이 분산되는 과정을 위치와 시간별에 따라 파악한다는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 태화강의 유입유량의 변동에 따라 유속변화와 농도변화를 계산함으로써 만내의 오염물질의 공간적 분산진행과정을 살펴보았다.

2. 기본방정식

만내의 유속계산을 위해서는 수심평균한 2차원장에서의 Navier-stokes 운동방정식 식(1), 식(2)와 연속방정식 식(3)을 사용하였다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = B_1 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = B_2 \quad (2)$$

여기서 $B_1 = \Omega v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Pa}{\rho} \right) - \frac{1}{\rho} \tau_{x|b} + \frac{1}{\rho} \tau_{x|s}$

$B_2 = \Omega u - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Pa}{\rho} \right) - \frac{1}{\rho} \tau_{y|b} + \frac{1}{\rho} \tau_{y|s}$

$\Omega = 2\omega \sin \Phi$: Coriolis 계수

$\tau_{x|s} = \frac{v}{\rho} \frac{Wx}{H} (W^2 x + W^2 y)^{\frac{1}{2}}$: 수면마찰강도

Wx : x 방향풍속

$\tau_{x|b} = -\left(\frac{g}{C_c^2}\right) \rho \frac{u}{H} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$: 해저바닥 마찰강도

$Cc = k1 \rho_a \text{og}(0.9H)$: Chezy 마찰계수

$v = 0.0026$: 공기밀도와 관련된 계수

$H = h + \eta$

$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Hu) + \frac{\partial}{\partial y} (Hv) = 0$ (3)

분산방정식은 일반적으로 잘 혼합된 경우라고 생각되는 문제에서는 시간적 평균치에 대한 확산방정식을 연직방향으로 적분한 것으로 단면평균성분을 가지는 2차원장에서의 분산방정식은 식(4)와 같다.

$H\rho\theta\left[\frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} + v\frac{\partial c}{\partial y}\right] = \int \rho \rho dh + \rho\theta\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(HD_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(HD_y \frac{\partial c}{\partial y}\right)\right]$ (4)

여기서 $\int \rho \rho dh = F - \alpha HC - \sum Q_j \Delta_j$; 소멸과 발생원을 나타내는 항(sink and source)

$F = \rho fH$: 분포발생원 (distributed sources rate)

H : 수심

$\alpha = H\beta$: 감쇄계수 (decay coefficient)

β : 감쇄정수

$\sum Q_j$: 점발생원의 합계

Δ_j : Kronecker delta 함수

θ : 비열

D_j : 분산계수

C : 농도

3. 사용모델의 개요

조류유속을 구하기 위한 사용모델은 1988년 Koutitas가 변형한 양해법의 차분방정식을 해석한 것으로 초기조건은 계산영역내에 수면변위 및 흐름이 존재하지 않는다는 Cold

start로 설정하고 경계조건으로는 폐경계인 경우 수직속도성분이 0 이고 개경계인 경우 본 계산에서는 주요 4분조를 합성한 식을 사용하였다.

수치모형의 계산안정조건은 CFL(Courant-Fredrichs-Lewy)조건을 사용하였다.

$$\Delta t < \frac{\Delta s}{\sqrt{2gh}} \quad (5)$$

농도분산모델은 2차의 삼각형요소를 사용한 유한요소기법에 의해 해석한 모델로서 Brebbia 등에 의해 개발되었다.

설정되어진 계산구역내에서 본 모델을 적용함에 있어서는 조류의 유속조건은 유한차분법에 의해서 얻어진 값을 사용하였기 때문에 유한차분격자를 그대로 사용하면서 그 격자를 유한요소의 격자로 바꾸어 사용한다.

4. 수치해석대상지역의 해황특성

4.1 조석특성

울산만의 조석은 반일주조를 나타내며 평균해면은 30.4cm, 소조승은 38.9cm, 소조평균저조면은 21.9cm,이고 소조차는 17.0cm이고 대조승은 54.5cm, 대조평균저조면은 6.3cm로 대조차는 48.2cm이다. 따라서 반조차는 24.1cm,,이다.

4.2 조류특성

조석간만의 차이가 평균 48cm에 지나지 않는 울산만내 전역의 조류는 미약하다. 만 내에서의 조류 속도는 창조, 낙조시 모두 0.24m/sec로 조사되어 있으며 외해에서는 창조시 0.75m/sec, 낙조시 1.18m/sec로 조사되어있다.

5. 수치실험

본 대상지역의 계산을 위해서 x방향 28개, y방향 35개의 격자를 $\Delta s = \Delta x = \Delta y = 100$ m로 선정하였다. 계산최대시간을 250000sec로 취하고 조석주기는 반일주조기인 12시간 25분으로 잡았다. 계산결과는 233.5시간 이후 1조석주기를 8등분하여 각 시간에 대해 계산결과를 출력하고 Vector도를 작성했다. 특정지점에 대해서 시간에 따른 조류속도를 나타내었다. 본 계산에서 계산된 조류결과를 분산모델에 입력자료로 사용하였다. 계산결과는 바닥마찰계수나 표면마찰의 무시에 따른 오차의 요인을 포함한다.

분산모델을 계산하기 위한 유한요소망은 유한차분법에 의한 유속성분의 입력을 용이하게 하기 위하여 유한차분격자를 형태를 바꾸지 않고 2차의 삼각형요소를 분할하였다. 24시간 동안의 농도분포분산을 살펴보는 것으로 하였다. 계산영역은 60개의 요소와 147개의 절점으로 구성하였다. 경계조건으로는 특정한 지점에 연속점농도 1을 주었고 분산계수는 $Dx, Dy = 7.233m^2/sec$ 를 사용하였다. 시간간격을 $\Delta t = 100sec$ 로 하여 각 절점별 농도영향

을 계산하였고 그 결과를 6시간 간격으로 출력하였다. 그 결과를 가지고 등농도 영향선을 나타내었다. 233.5시간 이후 1조석주기에서 만조에서 간조로 해면이 하강하는 기간과 만조, 간조시 와 간조에서 만조로 해면이 상승하는 기간에 대해 각 수위(0m, 0.09m, 0.18m, 0.241m) 에 따라서 절점별 농도분포의 분산에 대해서 비교하였다. 그리고 유한요소망에 지정된 각 지점의 시간에 따른 농도분포를 비교 확인하였다.

6. 결론

- 특정 지점에 대해서 1조석주기에 대한 조류시도를 그려서 전체적인 흐름의 변화를 파악 하였고 측정치와 비교함으로써 그 값의 정성적 안정성을 확인하였다.
- 계산결과가 모델의 신뢰도가 검증된 상태에서 계산된 것이기는 하나 바닥마찰계수나 표면마찰의 무시, 분산계수의 추정등에 의한 오차의 요인은 포함될 수가 있다.
- 태화강 유출량 조건의 변화에 따라 오염물질의 분산과정을 살펴본바 24시간 이내에서는 분산 효과가 크게 발생하지 않고 있음을 알 수 있었다.
- 본 계산은 오염물질의 감쇄조건은 없는 것으로 하였기 때문에 오염물질의 종류에 따른 침강, 소멸의 효과는 포함되지 않고 있으나 금후 이러한 조건의 추가도 고려할 수가 있다.
- 홍수시 태화강으로부터의 유입토사가 침전 퇴적될 것이 예상되는 지점을 예측할 수 있었다.
- 본 계산의 결과가 정량적으로 엄밀한 비교는 할 수 없었으나 정성적인 분산에 관한 현상을 파악하는데 크게 유용할 것으로 생각한다.

참고문헌

1. 김 성 득. 1983, 이차원 분산현상의 유한요소법에 의한 수치해석에 관한 연구, 부산대학교 박사학위 청구논문, pp. 3-23
2. Christopher G. Koutitas. 1988, Mathematical Models in Coastal Engineering, PENTECH PRESS, pp.56-64.
3. Robert G. Dean, Robert A. Dalrymple. 1984, WATER WAVE MECHANICS for Engineers and Scientists, Prentice-Hall, Inc, pp. 131-169.
4. A. James. 1993, An Introduction to Water Quality Modelling, WILEY, pp. 80-87.

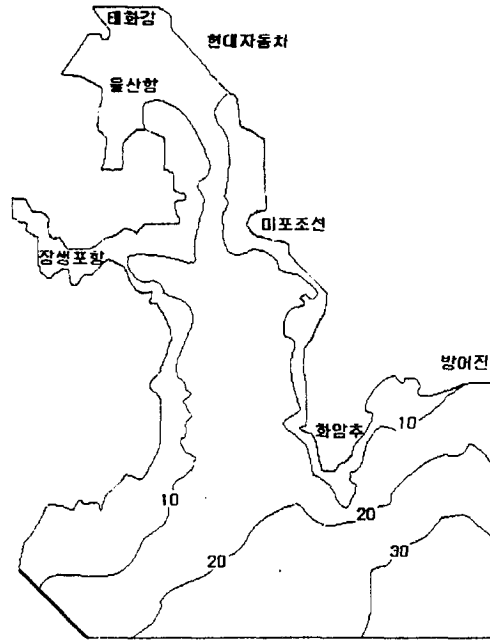


Fig 1 대상지역의 해역도

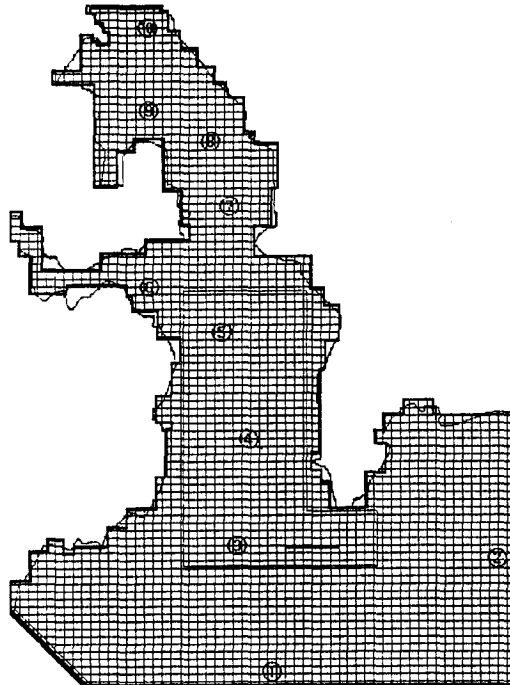


Fig 2 유한차분격자망도

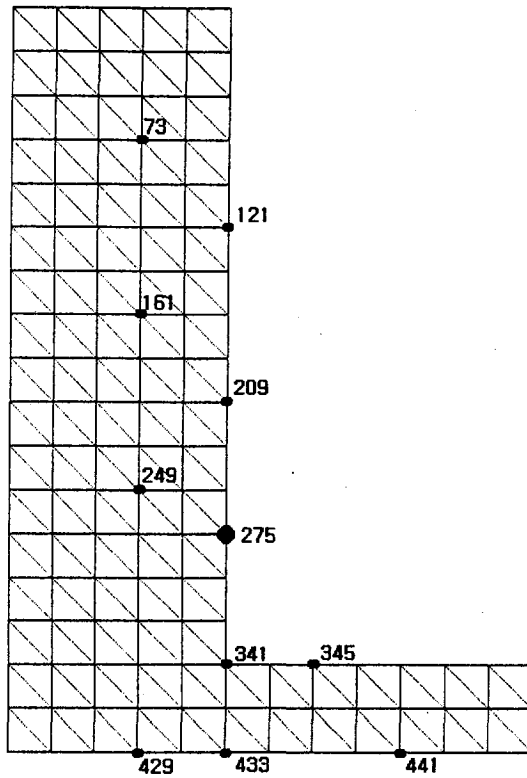


Fig 3 유한요소망도

Unit(cm/sec)

Time Coord.	233.5①	235.0②	236.5③	238.0④	239.5⑤	241.0⑥	242.5⑦	244.0⑧	246.0⑨
①(32,4)	0.6	1.2	1.5	1.0	0.4	1.4	1.4	0.8	0.6
②(56,19)	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3
③(31,20)	0.9	3.2	4.4	3.1	0.5	4.0	4.3	2.6	1.1
④(32,33)	0.6	3.9	5.7	4.3	0.6	5.0	5.5	3.5	0.9
⑤(30,46)	0.4	6.0	9.2	7.4	1.6	8.0	9.6	6.6	0.9
⑥(22,55)	0.5	1.8	2.7	2.1	0.5	1.9	1.9	1.3	0.6
⑦(29,65)	1.1	15.1	25.6	22.3	6.7	20.5	26.0	19.7	0.5
⑧(26,73)	1.6	13.0	22.9	20.4	6.7	18.1	23.8	18.5	0.1
⑨(20,78)	1.2	3.9	7.2	6.6	2.3	5.1	7.2	6.0	1.0
⑩(21,86)	12.5	52.8	95.8	89.9	35.1	83.1	117.5	95.5	5.3

(태화강 하구 수위 0.00m)

Table. 1 Tidal current velocity according to times at point

Unit(cm/sec)

Time Coord.	233.5①	235.0②	236.5③	238.0④	239.5⑤	241.0⑥	242.5⑦	244.0⑧	246.0⑨
①(32,4)	0.8	0.9	1.3	0.7	0.7	1.8	1.8	1.3	0.8
②(56,19)	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2
③(31,20)	1.3	1.0	3.3	2.0	2.0	5.4	5.4	3.7	1.2
④(32,33)	1.8	0.7	4.2	2.8	2.2	6.7	6.9	5.0	1.6
⑤(30,46)	3.9	0.7	6.9	5.0	3.2	11.1	12.1	9.3	3.5
⑥(22,55)	0.8	0.5	1.9	1.3	1.1	2.4	2.3	1.8	0.7
⑦(29,65)	12.7	0.1	18.9	15.4	7.0	28.4	32.4	26.8	11.6
⑧(26,73)	12.2	0.4	16.8	14.2	5.8	25.4	29.6	25.0	11.2
⑨(20,78)	4.2	1.0	5.3	4.6	1.7	7.3	9.1	8.1	3.9
⑩(21,86)	63.0	6.1	70.2	63.4	21.8	117.3	144.8	126.0	58.3

(태화강 하구 수위 0.09m)

Table. 2 Tidal current velocity according to times at point

Unit(cm/sec)

Time Coord.	233.5①	235.0②	236.5③	238.0④	239.5⑤	241.0⑥	242.5⑦	244.0⑧	246.0⑨
①(32,4)	1.3	1.1	1.1	0.6	1.4	2.2	2.2	1.8	1.2
②(56,19)	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.1	0.2
③(31,20)	2.7	1.4	1.7	0.4	4.3	6.6	6.2	4.8	2.6
④(32,33)	3.7	1.9	2.0	0.7	5.2	8.2	8.0	6.4	3.6
⑤(30,46)	7.2	3.9	3.3	1.5	8.3	13.8	14.0	11.8	6.9
⑥(22,55)	1.4	0.8	1.0	0.4	2.1	2.7	2.6	2.2	1.4
⑦(29,65)	21.4	12.4	8.6	5.3	20.6	35.1	37.3	33.0	20.6
⑧(26,73)	20.2	11.9	7.6	5.1	18.1	31.6	34.2	30.8	19.4
⑨(20,78)	6.7	4.1	2.3	1.7	5.1	9.3	10.2	9.9	6.5
⑩(21,86)	100.3	59.3	31.5	24.5	77.9	145.5	157.8	152.2	96.6

(태화강 하구 수위 0.18m)

Table. 3 Tidal current velocity according to times at point

Unit(cm/sec)

Time Coord.	233.5①	235.0②	236.5③	238.0④	239.5⑤	241.0⑥	242.5⑦	244.0⑧	246.0⑨
①(32,4)	1.5	1.3	1.1	0.9	1.8	2.5	2.4	2.0	1.5
②(56,19)	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1
③(31,20)	3.5	2.4	0.7	1.5	5.4	7.3	6.6	5.3	3.4
④(32,33)	4.8	3.3	0.5	1.8	6.7	9.1	8.5	7.0	4.7
⑤(30,46)	9.2	6.4	1.0	2.6	10.8	15.4	14.9	13.0	8.9
⑥(22,55)	1.8	1.3	0.2	0.8	2.4	2.9	2.7	2.4	1.7
⑦(29,65)	26.5	18.9	3.2	6.1	26.9	39.0	39.5	36.1	25.8
⑧(26,73)	24.9	17.8	3.1	5.3	23.9	35.2	36.2	33.6	24.3
⑨(20,78)	8.2	5.9	1.1	1.5	6.8	10.4	10.4	10.4	8.0
⑩(21,86)	121.6	86.5	15.0	21.1	104.1	156.0	161.7	158.0	118.4

(태화강 하구 수위 0.241m)

Table. 4 Tidal current velocity according to times at point

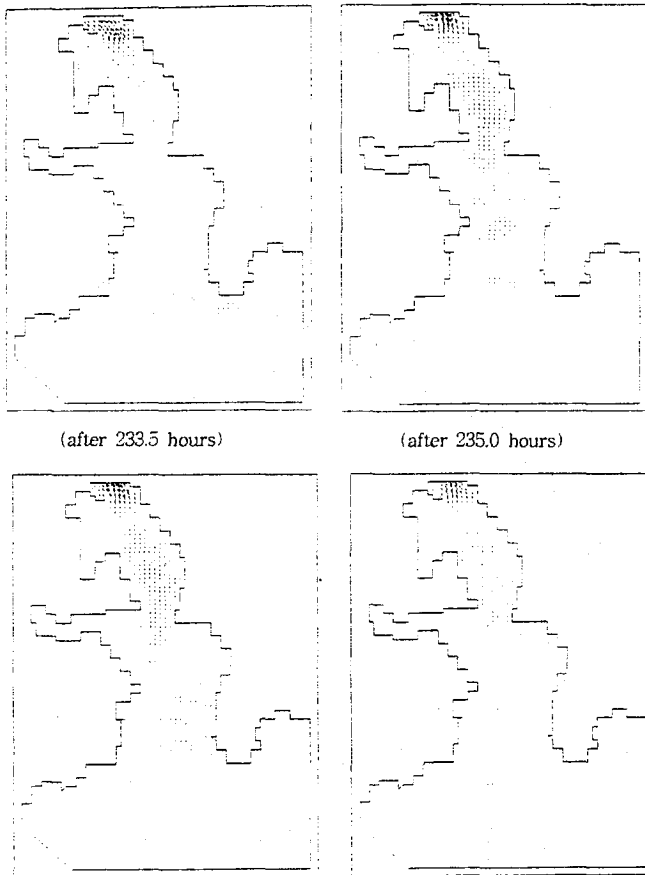
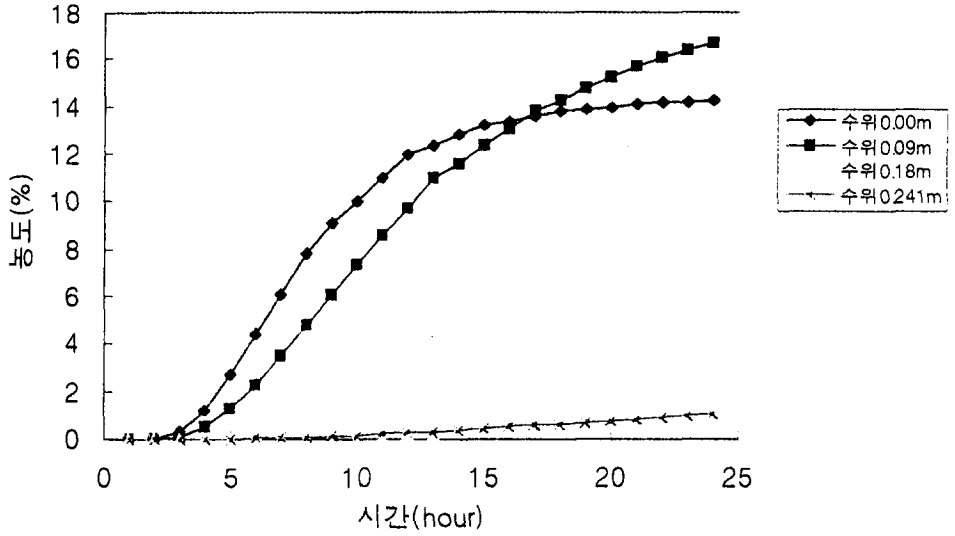


Fig 4 A sample of tidal current velocity vectors (하구 초기수위 0.00m)

Time dependent concentration influence point 73



Time dependent concentration influence point 61

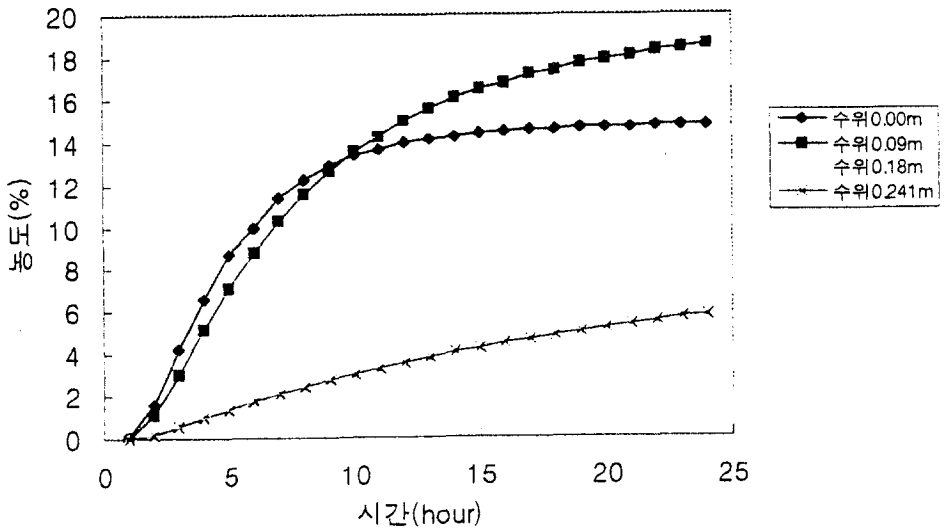


Fig. 5 특정지점의 시간에 따른 농도분포

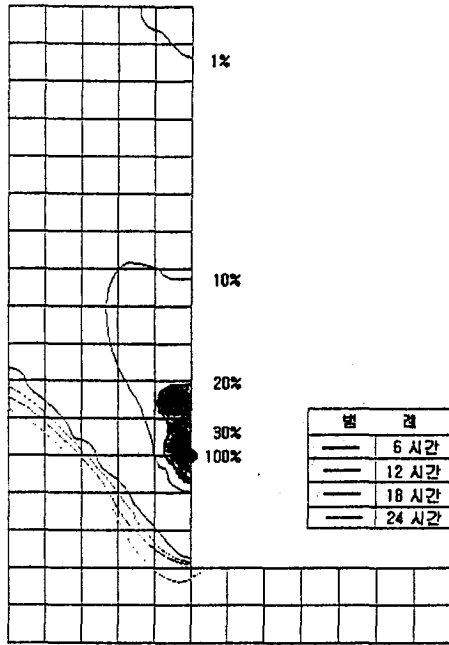


Fig. 6 등농도 영향선 (하구 수위 0.00m일 경우)

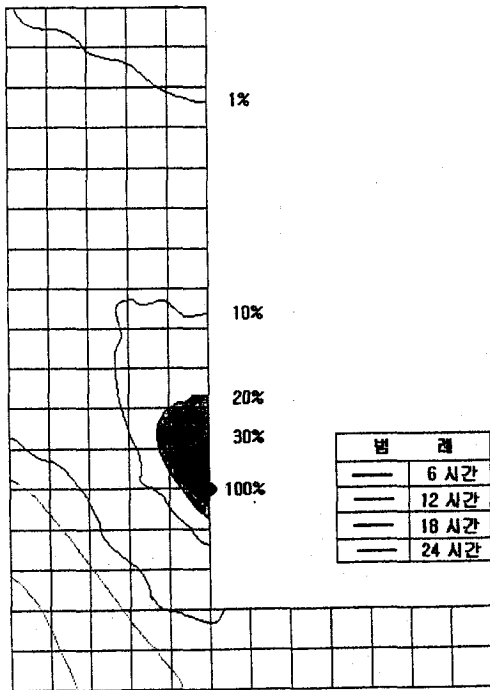


Fig. 7 등농도 영향선 (하구수위 0.09m일 경우)

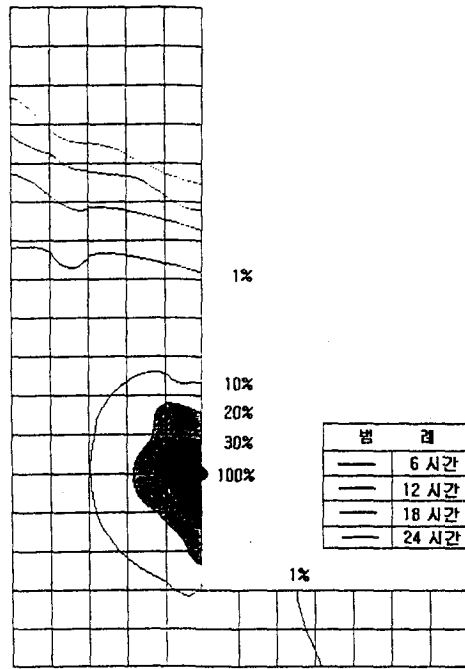


Fig. 8 등농도 영향선 (하구 수위 0.18m일 경우)

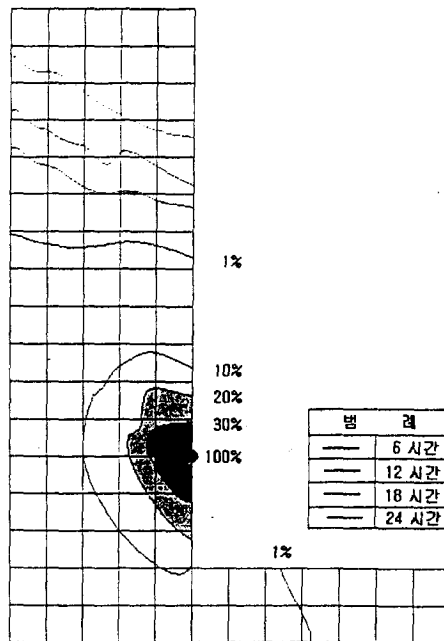


Fig. 9 등농도 영향선 (하구수위 0.241m일 경우)