

◆ 포스터 발표 ◆

하구의 보존성 오염물질 확산 예측

윤종수, 신찬기, 김용석, 박배경
(국립환경과학원 낙동강물환경연구소)

하구의 보존성 오염물질 확산 예측

Diffusive Estimation of Conservative Contaminant in River Estuary

윤종수, 신찬기, 김용석, 박배경
국립환경과학원 낙동강물환경연구소

I. 서론

우리나라 남동부 해안에 위치한 임랑해수욕장은 다수의 관광자원을 보유하고 있으며, 이들 자원들을 활용하여 지역경제 활성화 및 주민소득증대에 기여할 활로를 강구하고 있으나 많은 관광자원에 대한 체계적인 정비개발이 미흡한 실정이었다. 이에 부산광역시에서는 해수욕장의 관광상품화, 환경친화적 해안정비개발, 주변지역정비 및 기능도입, 지역주민의 적극적 참여유도를 목적으로 한 개발기본계획을 확정하여, 임랑해수욕장 내 남측에 위치한 좌광천 하구에 도류제를 설치함으로써 하천 내 퇴적방지 및 원활한 유수흐름을 제어하고 해안침식방지 및 오염원의 확산을 제어하고자 하였다.

본 연구에서는 좌광천 상류유역에 형성되고 있는 신도시 개발로 인해 다량으로 유입될 가능성이 높은 보존성 오염물질의 확산을 SMS모형을 이용하여 좌광천 하구부에서 2차원 수리모형실험을 행하고, 그 결과를 바탕으로 오염물 이송확산 계산을 통하여 오염물질의 거동을 예측하였다. 또한, 좌광천 하구 도류제가 하천으로부터 유입되는 오염원의 확산에 미치는 영향을 평가하였다.

- GFGEN : 지형파일 전처리(유한요소망 정보획득)
- RMA-2 : 수리학적 모의(수심방향으로 적분된 각 지점의 유속과 수위계산)
- RMA-4 : 오염물확산이송 모의(수심방향으로 적분된 각 지점의 농도계산)

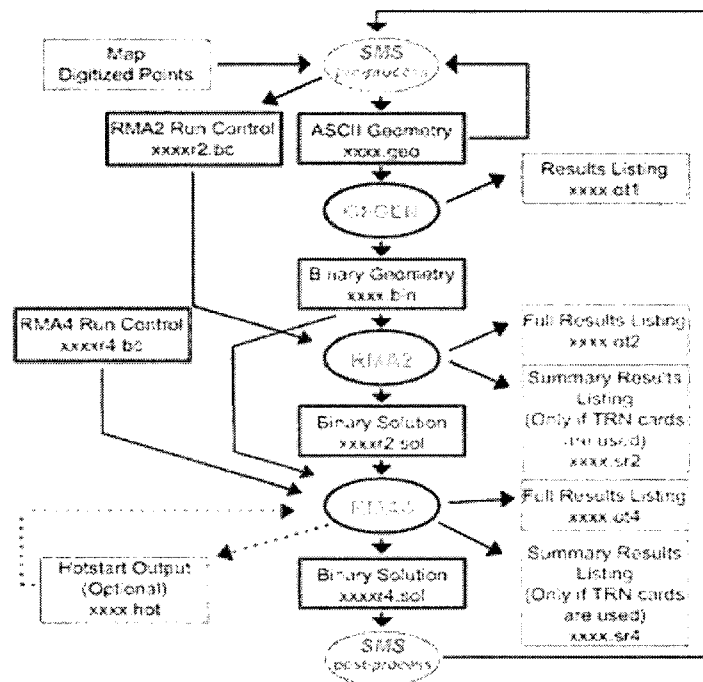


Fig. 143. 오염원 확산 모의를 위한 흐름도

2. SMS모형의 구성

2.1 지배방정식

수심평균을 취한 2차원 천수방정식은 자유수면을 가진 물의 운동을 기술하는 3차원 Navier-Stokes 방정식의 일반식을 수심방향으로 적분함으로써 유도될 수 있는데 이를 위해서는 연직방향의 가속도항은 무시하여 압력항을 정수압 분포로 처리하며, 유체는 비압축성이라고 가정한다. 2차원 천수방정식의 연속방정식과 운동방정식은 다음과 같다.

■ 연속방정식

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

■ 운동방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + g \frac{\partial a}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g \frac{\partial a}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \quad (3)$$

여기서, x, y, t : 좌표축과 시간
 g : 중력가속도
 u, v : x, y 방향의 수심 평균유속
 ρ : 물의 밀도
 h : 수심
 a : 하상표고
 τ_x, τ_y : x, y 방향으로 작용하는 외부응력
 ϵ : 확산계수

2.2 유한요소 방정식

식(1), 식(2), 식(3)과 같은 편미분 방정식을 풀이함으로써 수역에 대한 흐름을 계산할 수 있으나 해석적으로 풀이되는 경우는 특수한 경우에 한정된다. SMS에서는 가중잔차(Weighted Residual) 방법으로 지배방정식을 유한요소식으로 변환시킨다.

2.3 시간미분항의 처리

시간미분항에 대한 적분은 일반적으로 유한차분형으로 표현되며 가중치 θ 를 도입한 형태로 표현하면 식(4)와 같다.

$$\left(\frac{\partial A}{\partial t} \right)_2 = \frac{\alpha}{\Delta t} (A_2 - A_1) + (1 - \alpha) \left(\frac{\partial A}{\partial t} \right)_1 \quad (4)$$

여기서, α 는 시간 가중치로서 $\alpha=0$ 일때는 음해법, $\alpha=1.0$ 일때는 Crank-Nicholson 기법, $\alpha=2.0$ 일때는 완전 양해법이며 1은 현시간대를 의미한다. A_2 는 각 절점에서의 미지의 값을 나타내는 벡터이다.

3. 모형의 구축

본 연구의 대상지인 좌광천 하구 부근은 여름철 S계열 태풍의 영향과 NE계열에서 발달된 폭풍의 영향을 많이 받고 있다. 그러나 홍수와 같은 대출수시에는 하천류가 해빈류보다 탁월할 뿐만 아니라 오염물질도 다량으로 유출된다.

따라서 연구에서는 이러한 점을 고려하여 좌광천에서 유출되는 하천류가 천해역으로 진행하여 변형되는 양상을 정확히 파악하기 위하여 좌광천 하구를 중심으로 실험영역을 설정하여 Fig. 2.과 같이 계산격자망을 구성하였다.

수치계산시의 수심자료는 교통부 수로국 발행 해도 No.180(축척 1 : 10,000)와 수심측량도(축척 1 : 2,500)을 합성하여 작성된 수심도로 부터 독취하여 대상영역 중 최심부의 수심을 기준으로 Fig. 3.와 같이 수심도를 작성하였다.

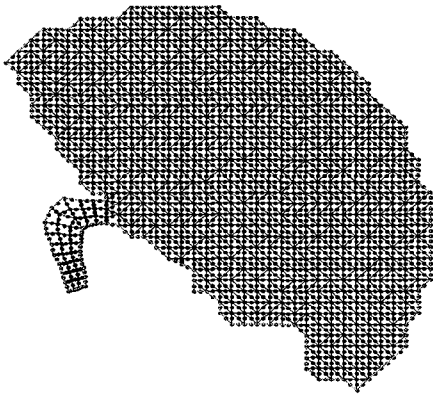


Fig. 2. 오염물질확산 모형의 계산격자망

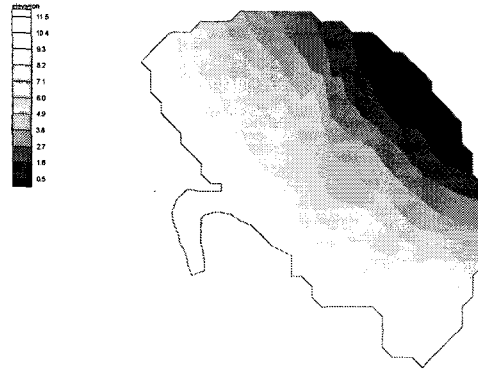


Fig. 3. 오염물질확산 계산을 위한 수심도

오염물질 확산계산을 위한 입력조건은 Table 1.과 같은 좌광천의 빈도별 홍수량(좌광천 하천 정비 기본계획, 2002)과 대변항의 평균해면(M.S.L)인 50.9cm, 그리고 좌광천에서 100이라는 농도의 보존성 오염물이 유출되는 것으로 고려하였다.

Table 10. 좌광천의 빈도별 홍수량

빈도(년)	평수량	1	30	50	100
유량(CMS)	0.72	135	474	530	605

III. 수치모형실험 결과

좌광천 하구 부근은 일반적으로 여름철 S계열 태풍의 영향과 NE계열에서 발달된 폭풍의 영향을 많이 받고 있으나 홍수와 같은 대출수시에는 하천류가 해빈류보다 탁월할 뿐만 아니라 오염물질도 다량으로 유출된다.

따라서 오염물질확산 수치모형실험에서는 이러한 점을 고려하여 좌광천에서 유출되는 하천류가 천해역으로 진행하여 변형되는 양상을 정확히 파악하기 위하여 좌광천 하구를 중심으로 그림 1과 같이 실험영역을 설정하여 2차원의 흐름 및 보존성 오염물에 대한 확산 모형실험을 수행하였다. 수치계산에서 유량은 표 1의 빈도별 홍수량에 대하여 정상상태에 도달 할 때(0.5시간 간격으

로 24시간 계산)까지 일정한 것으로 하여 49주기 수행하였다. 오염물의 농도는 평수시에는 일정한 것으로 가정하였으며, 1년 빈도 이상의 홍수시에는 출수초기에 오염물의 농도가 높고 시간이 지남에 따라 점차적으로 낮아지는 것을 고려하여 Fig. 4와 같이 오염물의 농도가 변하는 것으로 하여 0.5시간 간격으로 24시간 동안 49주기 수행하였다. 즉, 0~3시간까지는 오염물의 농도가 100으로 일정하며, 3~12시간까지는 농도가 직선적으로 감소하여 0이 되고, 12~24시간까지는 하천으로부터 오염물이 배출되지 않는 것으로 가정하여 각각의 시간동안의 오염물의 확산과정을 예측하고자 하였다.

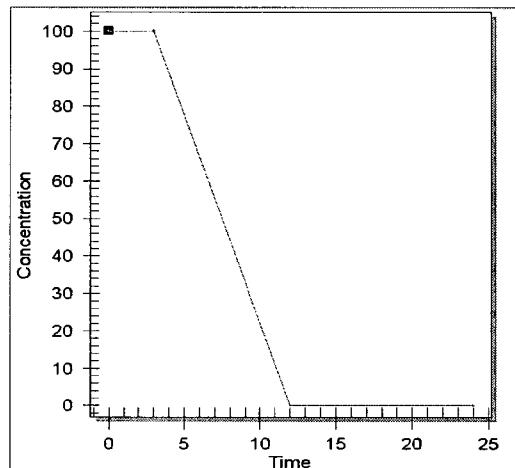


Fig. 4. 시간에 따른 농도변화(가정)

1. 현상태

Table 1.의 빈도별 홍수량을 입력조건으로 하여 계산한 흐름(유향과 유속)모형실험 결과를 Fig. 5.에 나타내었으며, 보존성 오염물확산 모형실험결과를 Fig. 6.에 시간별로 나타내었다. 오염물확산에 대한 모형실험의 결과는 평수시에는 일정한 농도의 오염물이 연속적으로 좌광천에서 유출되는 것으로 가정하여 오염물의 확산과정을 나타내었으며, 1년이상의 빈도별 홍수시에는 Fig. 4.와 같이 농도의 변화를 가정하여 확산 과정을 나타내었다.

흐름 계산결과를 보면 평수시의 주된 흐름은 하구 우안 방향이며 군데군데 지형적인 영향으로 와류가 발생하고 있다. 유속분포는 $0.01m/sec$ 전후로 좌광천에서의 유출로 인한 영향은 미미하다. 좌광천의 빈도별 유출량이 증가함에 따라 와류의 발생은 볼 수 없고, 흐름은 하구 우안측 외해 방향으로 형성되며 빈도에 따른 흐름방향의 변화는 거의 없다. 그러나 유속은 좌광천에서의 유출량이 증가함에 따라 좌광천 하구부근의 유속이 빨라지며 그 영향 범위도 넓어짐을 알 수 있다.

보존성 오염물확산 계산 결과를 보면, 평수시의 오염물 영향범위는 좌광천 하구부근으로 국한되나 좌광천의 유출량이 증가함에 따라 오염물의 농도가 일정하게 유지될 때(유출 개시 후 0~3시간)에는 좌광천 하구에서 우안 방향으로의 오염물 확산이 가속화 되며 그 영향범위도 점차 확대되나, 오염물의 농도가 감소하여 좌광천으로 부터의 오염물 배출이 없을 때(유출 개시 후 3~24시간)에는 우안 방향으로의 농도가 저감되어 유출량이 많을수록 저감속도는 빨라짐을 알 수 있었다. 이는 좌광천 하류 하구부의 유로의 만곡으로 인한 영향과 주흐름이 하구 우안 방향으로 형성되고 있고 유출량이 많아질수록 유속이 빨라지기 때문이다.

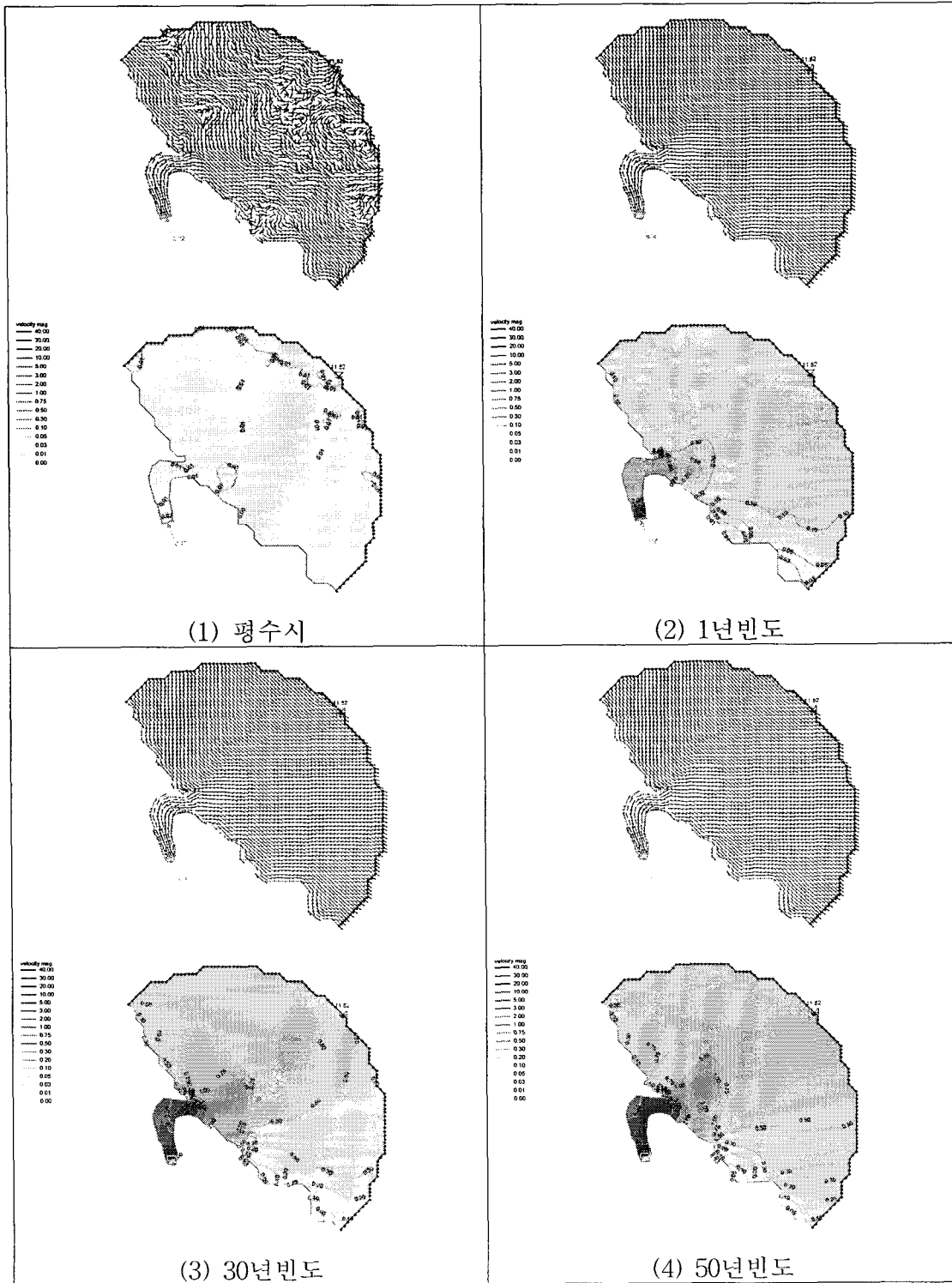


Fig.5. 현상태의 빈도별 유향 및 유속분포도

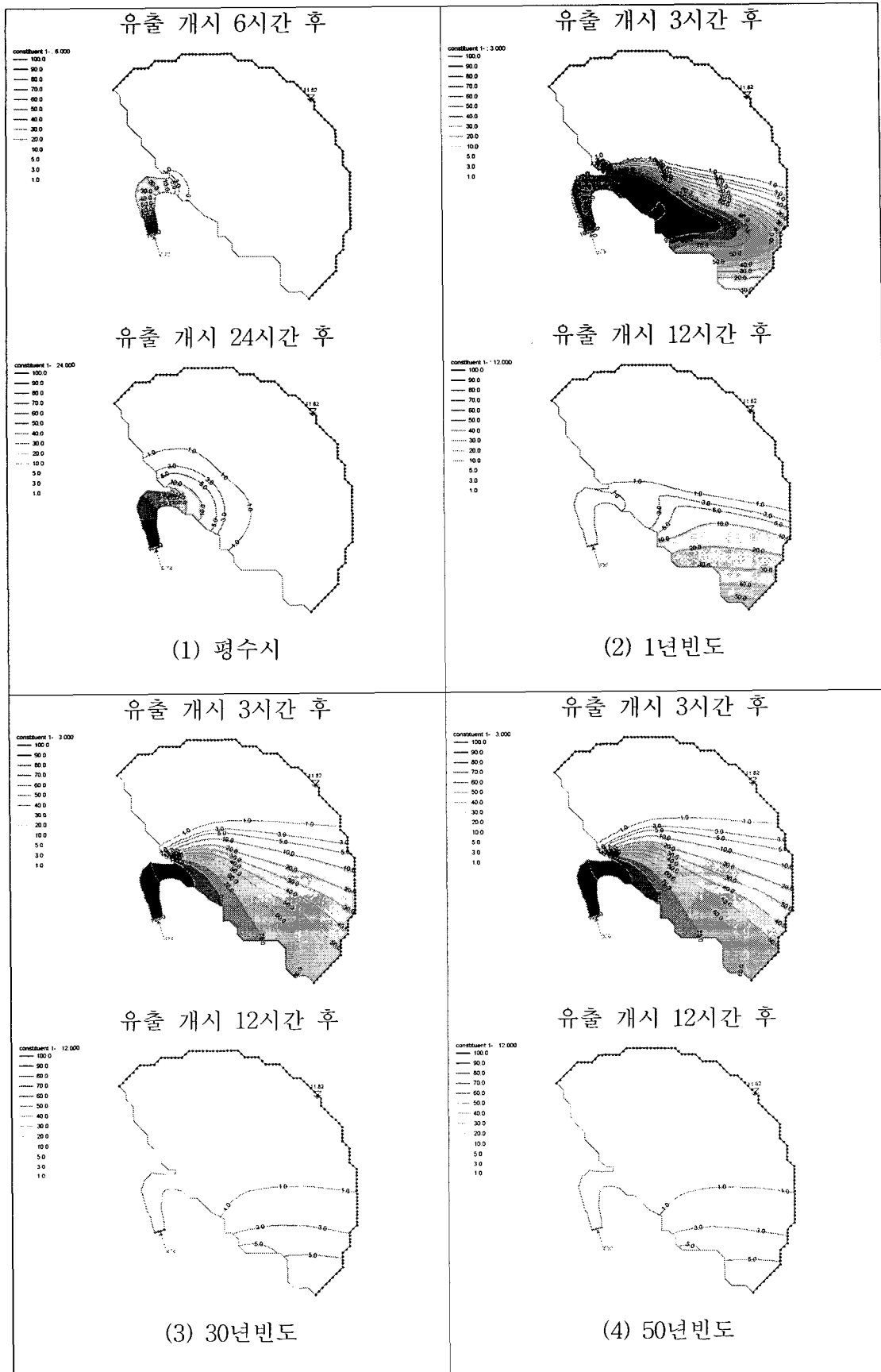


Fig. 6. 현상태의 빈도별 오염물 확산

2 도류제 완성 후

도류제 완성 후에 대한 흐름(유향과 유속)모형실험 결과를 Fig. 7에 나타내었으며, 보존성 오염물 확산 모형실험결과를 Fig. 8에 시간별로 나타내었다. 전항과 동일하게 오염물확산에 대한 모형실험의 결과를 나타내었다.

흐름 계산결과를 보면 평수시의 주된 흐름은 하구 좌안측으로 형성되고 우안측에서는 복잡한 와류가 형성되어 흐름은 미약하다. 유속분포는 $0.01m/sec$ 전후로 좌광천에서의 유출로 인한 영향은 미약하다. 좌광천의 빈도별 유출량이 증가함에 따라 우안 방향으로 치우쳐서 커다란 와류가 발생하고 흐름은 좌광천 하구부 전면해역의 외해 방향으로 형성되며 빈도에 따른 흐름방향의 변화는 거의 없다. 그러나 유속은 좌광천에서의 유출량이 증가함에 따라 좌광천 하구부근 및 좌안의 유속이 빨라지며 그 영향 범위도 넓어나 도류제 전면의 유속은 비교적 느림을 알 수 있다(단, 도류제 내부의 유속은 빨라짐).

보존성 오염물확산 계산 결과를 보면, 평수시의 오염물 영향범위는 양안에 도류제가 완성됨으로 인해 확산이 차단되어 도류제 내부의 오염물의 농도가 가중되고 도류제 전면해역으로의 오염물의 확산범위가 확대됨을 알 수 있다. 좌광천의 빈도별 유출량이 증가함에 따라 오염물의 농도가 일정하게 유지될 때(유출 개시 후 0~3시간)에는 좌광천 하구 도류제 전면해역의 외해 방향으로의 오염물확산이 가속화 되며, 그 영향범위도 점차 확대되어 확산이 진행된다. 오염물의 농도가 감소하여 좌광천으로 부터의 오염물 배출이 없을 때(유출 개시 후 3~24시간)에도 우안 방향으로 약간 치우쳐 농도가 점차적으로 저감되며 좌광천으로 부터의 유출량에 비례하여 저감속도가 빨라짐을 알 수 있다.

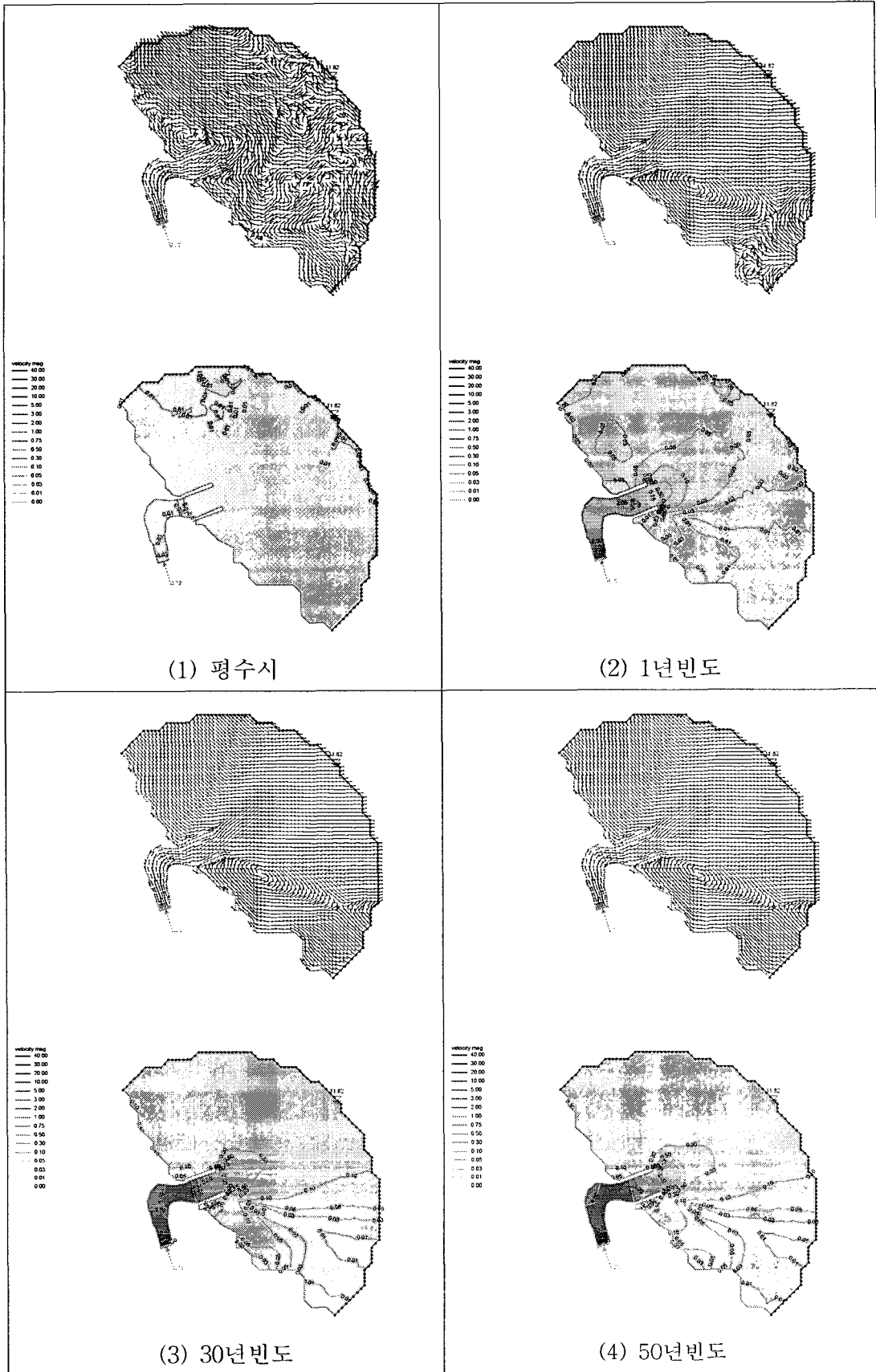


Fig. 7. 도류제 완성 후의 빈도별 유향 및 유속분포도

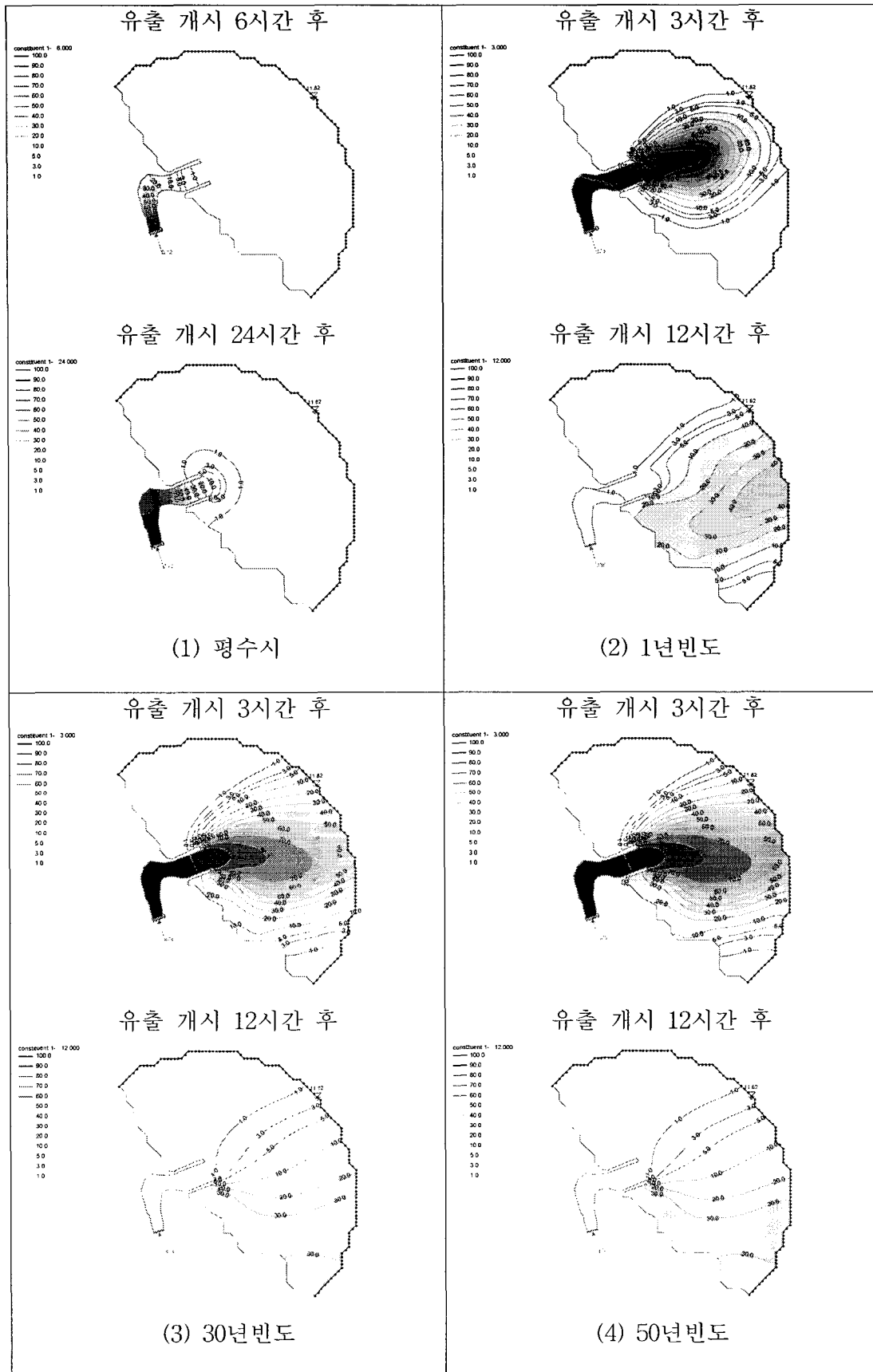


Fig. 8. 도류제 완성 후의 빈도별 오염물 확산

4. 결론

1. 오염물 확산 수치실험 결과, 도류제가 완성된 후 평수시의 주된 흐름은 좌광천 하구에서 좌안 방향으로 형성되며 우안 방향에서는 현상태보다 복잡한 와류가 형성되어 우안 방향으로의 흐름은 미약하며 유속분포는 $0.01m/sec$ 전후로 좌광천에서의 유출로 인한 영향은 미약하다. 좌광천의 빈도별 유출량이 증가함에 따라 현상태에서는 발생하지 않았던 와류가 도류제가 완성된 후에는 우안 방향으로 약간 치우쳐서 크게 발생하고 좌광천 하구부근 및 좌안 전면의 유속이 빨라지며 그 영향 범위도 넓어져 현상태보다는 하구 전면의 유속이 느려지나 도류제 내부의 유속은 빨라진다.
2. 보존성 오염물확산 계산 결과, 평수시의 오염물 영향범위는 양안에 도류제가 완성됨으로 인해 확산이 차단되어 현상태에 비해 도류제 내부의 오염물의 농도가 가중되고 도류제 전면해역으로의 오염물의 확산범위가 확대된다.
3. 좌광천의 빈도별 유출량이 증가함에 따라 오염물의 농도가 일정하게 유지될 때(유출 개시 후 0~3시간)에는 좌광천 하구 도류제 전면해역의 외해 방향으로의 오염물확산이 가속화 되며 그 영향범위도 점차 확대되나 우안 방향에 미치는 오염물 확산의 영향은 현상태보다 현저히 감소될 것으로 판단된다. 오염물의 농도가 감소하여 좌광천으로 부터의 오염물 배출이 없을 때(유출 개시 후 3~24시간)에도 좌광천으로 부터의 유출량에 비례하여 저감속도가 빨라진다.

참고문헌

1. 부산광역시 기장군 ; 일광·임랑해수욕장일원 개발기본계획, 2002
2. 부산광역시 기장군 ; 임랑해수욕장 좌광천주변 정비 기본 및 실시설계, 2004
3. 부산광역시, 대한주택공사 ; 좌광천 하천정비 기본계획, 2002
4. 대한주택공사 ; 좌광천의 하구폐색에 관한 수리모형실험, 2003
5. 부산대학교 생산기술연구소 ; 녹산 배수 펌프장 가동에 따른 서낙동강 수리·수문특성 분석연구, 2004
6. 경성대학교 산학협력단 ; 임하호 및 낙동강 탁도 예측모형 개발, 2005