

하천 · 해안에서의 SED2D모형의 적용성 검토

곽준성* / 강준구** / 여운광***

1. 서 론

해안과 하천의 자연 지형은 흐름의 변화에 대해서 어느 정도 자체적으로 조절할 수 있는 능력을 가지고 있다. 그러나 이러한 능력을 초과하는 외부환경변화, 예로서 대규모 구조물의 건설, 급격한 유량의 증감, 통수단면 또는 유로의 변화 등은 주변의 수리학적 특성, 유사특성 등의 변화를 초래하여 기존의 평형상태가 깨어질 수 있다. 이러한 영향으로 인해 구조물의 시공 시 뿐 아니라 완공 후에도 제 기능을 발휘하지 못하는 경우가 종종 발생되고 있다.

이러한 지형 변동에 대한 문제를 설명하고 규명하기 위해서는 현장조사, 수리모형실험, 수치모형실험 등이 사용된다. 이들 방법들은 각각의 장·단점을 갖고 있으나 현재 경제적이고 시간적 제약이 덜하며 장래에 대한 예측 및 현상을 규명하기 위해 가장 효율적인 방법으로 수치모형실험이 사용되고 있다.

본 연구에서는 단면 평균으로 수위와 유속을 결정하는 1차원 모형에 비해 종·횡단으로 모의할 수 있고 mesh의 분할이 자유로와 구조물 주변등 중요한 부분의 세밀한 모의와 복잡한 경계선의 흐름을 자연스럽게 표현할 수 있는 2차원 유한요소모형을 사용하였다. 사용된 모델로는 SMS (Surface water Modeling System)로서 그중 흐름모형으로 RMA-2를 사용하였고 RMA-2의 결과를 입력자료로 사용하는 SED2D모형으로 지형변동을 모의하였다.

또한 본 연구에서는 수치모형실험과 함께 현장관측과 수리모형실험도 병행하였다. 이들 2차원 유한요소모형에서 얻은 결과와 하천과 연안해역에서 지형의 변화를 현지관측과 수리모형실험에서 얻어진 계산 결과와 상호 비교·검토하였으며 이 결과로부터 SED2D모형의 현지 적용성을 검토하였다.

2. 모형의 개요

유한요소망에서 SED2D의 계산은 Ariathurai(1974)과 Arithurai, MacArthur, and Krone(1977)이 제안한 다음과 같은 네 가지 과정에 의해 이루어진다.

- a. 이송-확산방정식을 이용한 부유물농도에 관한 것
- b. 하상전단응력에 관한 것
- c. 하상근원(bed source)의 양에 관한 것
- d. 하상모델에 관한 것

이송확산 방정식, 하상전단응력 및 하상제원을 구하는 식은 식(1)~식(3)과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2 \quad (1)$$

여기서, C = 농도(kg/m³, ppt), t = 시간(sec), u = x방향 유속(m/sec), v = y방향유속(m/sec)

x = 주흐름방향(m), y = x축에 수직인 방향(m), D_x = x축 방향의 유사확산계수(m²/sec), D_y = y

축 방향의 유사확산계수(m²/sec), α₁ = bed source 계수(1/sec), α₂ = bed source의 평형농도부분(kg/m³/sec=

- α₁C_{eq}),

$$\tau_b = \rho(u^*)^2 \quad (2)$$

여기서, ρ = 물의 밀도, u* = 전단속도(shear velocity)

$$S = \frac{C_{eq} - C}{t_c} \quad (3)$$

여기서 S = bed source항, C_{eq} = 평형농도, C = 유사농도, t_c = 천이에 영향을 주는 특성시간

* 명지대학교 대학원 토목공학과 석사
 ** 명지대학교 대학원 토목공학과 박사
 *** 명지대학교 공과대학 SOC공학부 교수

3. 하천에서의 모형적용

본 연구의 대상지역은 우리나라 최대 하천인 한강의 북한강수계중 하류부분인 삼봉천 합류점부터 남한강과의 합류점까지 약 5.4km 구간이다. 모형실험을 수행하는데 필요한 상·하류부 경계조건은 상류부에는 각 빈도별 유량을, 하류부에는 각 빈도별 수위로 결정하였다.

표 1. 상하류 경계조건

빈 도(Year)	계획홍수량
홍수량(CMS)	20,000
수 위(m)	28.67

유사이동 모의를 위하여 RMA-2 모형으로부터 얻은 동역학적 출력화일을 기초자료로 이용하였고 TABS 형태에 맞게 유사 인자를 입력하여 SED2D 모형을 실행하였다. 유사확산계수는 $100\text{m}^2/\text{sec}$ 을 사용하였다.

계획홍수량에 대한 SED2D모형의 결과인 지형변화량을 다음의 그림에 나타내었다. 전체적인 결과를 보면 유속이 작은 부분, 즉 1, 2, 3, 5번 단면 우안에서 단면이 확대되는 부분에서는 퇴적이 일어나고 단면 축소부, 즉 5번단면 과 교량부분인 4+180단면에서 볼 수 있는 바와 같이 유속이 빠른 부분에서 침식이 되는 경향이 잘 나타나고 있다. 각 단면을 좀더 세밀하게 살펴보면 각 단면별로 50년 빈도와 침식과 퇴적의 양상은 비슷하나 5번 단면의 경우 보다 넓은 지역에서 침식이 일어났고 4+180번 단면에서는 교각에 의한 영향을 좀더 뚜렷이 볼 수 있다. 3번 단면에서는 유심부에서 50년빈도 홍수량 보다 많은 침식이 일어났음을 볼 수 있다.

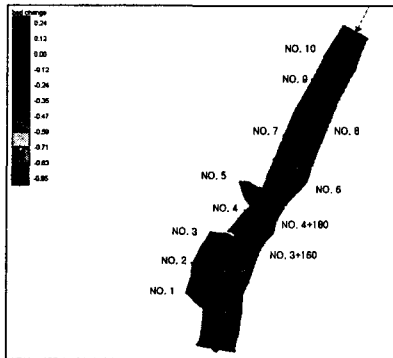


그림 1. 지형변화도

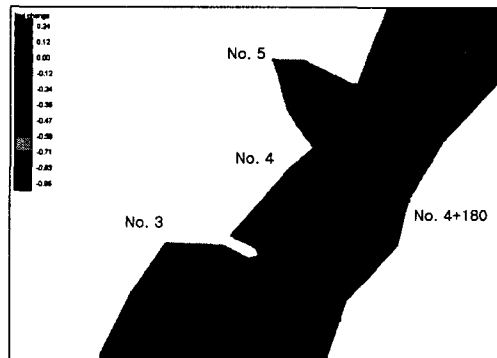


그림 2. 상세한 지형변화도

4. 해안에서의 모형적용

해안지형에서의 모형을 검토하기 위하여 아산만에 적용하였다. 수치모형실험의 대상지역인 아산만은 한반도 중부 서해안쪽의 경기도 평택군과 화성군 그리고 충청남도 아산군과 당진군에 둘러싸여 있으며 수면적은 약 100km^2 에 달한다.

아산만해역은 아산항 공업지하 항만공사 및 기타공사가 1990년도 6월에 착공하여 현재까지 진행되고 있다. 본 연구에서는 공사 진행에 따라 흐름장이 바뀌어 지형변동에 영향을 줄 것으로 예상되는 바 아산만 주변역의 공사진행상황을 고려하여 공사단계별로 지형변화를 모의하였으며 각각의 모의CASE에 대하여 다음 표 2에 설명하였다.

표 2. CASE의 분류

CASE	비 고
CASE I	공사가 착공되기 이전의 자연상태
CASE II	외항 호안 공사중
CASE III	외항 호안 완공
CASE IV	내항 호안의 1단계 공사 완료

경계조건 및 입력조건으로는 하천에서와 마찬가지로 RMA-2 모형을 수행하는데 있어 모의 시간간격은 0.2시간이며, 각 모의 시간마다 6회의 반복연산을 통해 흐름특성을 파악하였다. 모의 시간의 설정은 각 CASE I은 극대조일 경우 3주기를 반복 시행하여 약 37시간을 적용하였고 CASE II ~ CASE IV는 소조-중조-대조를 이루는 15일 약 359시간을 적용하였다. 그리고, 중력가속도는 9.8 m/sec^2 , 경계조건인 조위는

국립해양조사원에서 제공하는 인터넷상의 조위예측을 이용하여 15일의 조위곡선을 만 입구의 경계조건으로 이용하였다. 하상재료를 살펴보면 본 연구구간은 평균입경 0.15mm의 세사가 모의 대상구간의 많은 부분을 차지하고 있어 하상 재료를 모래로 가정하였다.(한국도로공사, 1998)

(1) CASE I

자연상태의 모의는 단기간의 모의에서는 조류에 의하여 하상변동이 일어날 수 있으나 장기간을 고려할 경우 하상이 안정되었다는 가정하에 흐름모형만을 수행하였다.

(2) CASE II

CASE II에 대하여 1분조인 15일 동안을 수치모의 하였으며 모의 결과를 관측한 기간 동안의 지형변화량에 맞추어 계산하였다. SED2D모형의 결과인 지형변화량을 다음의 그림에 나타내었고 지점별 지형변화량은 표 3에 나타내었다.

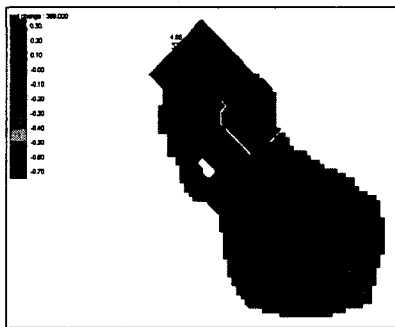


그림 3. 지형변화도 (CASE II)

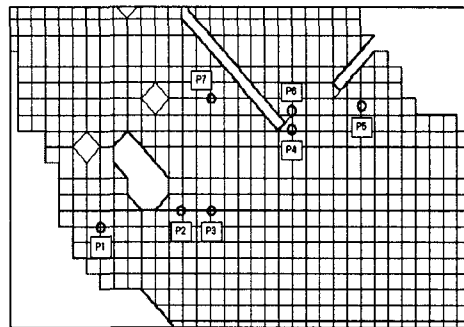


그림 4. 관측지점

표 3. 각 지점의 지형변화량(CASE II)

측정위치	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
지형변화량(m)	-0.11	-0.32	-0.23	-0.87	0.20	-1.09	0.2

(3) CASE III



그림 5. 지형변화도 (CASE III)

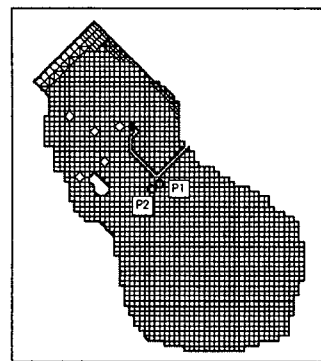


그림 6. 관측지점

표 4. 각 지점의 지형변화량(CASE III)

측정위치	P1	P2
지형변화량 (m)	-5.664	-1.27

(4) CASE IV



그림 7. 지형변화도 (CASE IV)

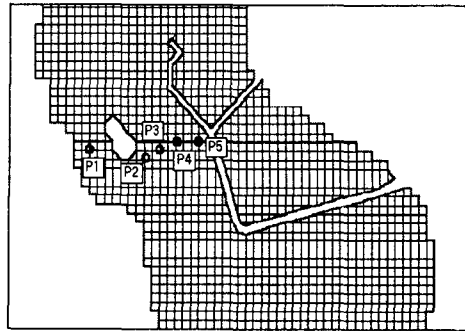


그림 8. 관측지점

표 5. 각 지점의 지형변화량(CASE IV)

측정위치	P1	P2	P3	P4	P5
지형변화량(m)	0.58	2.26	2.32	1.60	0.79

5. 수리모형실험

본 연구에서의 수리모형 실험의 경우에는 하천에 대하여 빈도별 홍수에 따른 지형변동을 검토하기 위한 것으로 고정상 실험과 이동상 실험으로 구분하여 실시하였다.

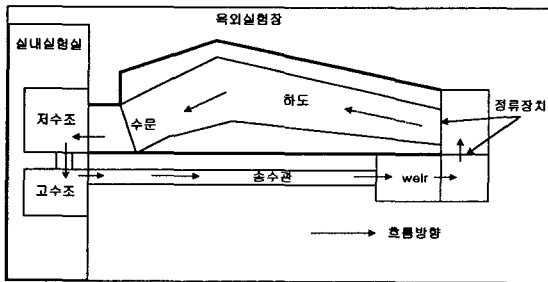


그림 9. 모형시설 평면도

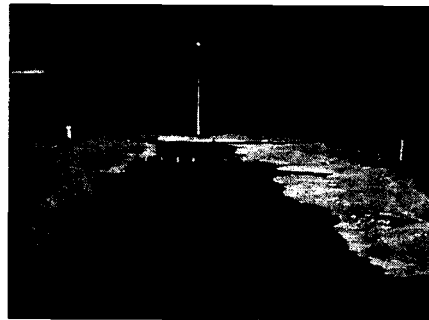


그림 10. 수리모형 전경

표 6. 축척

	표 시	비 율
수 평 축 척	L_r	1/200
연 직 축 척	y_r	1/80
왜 곡 도	$a = y_r / L_r$	2.5

표 7. 모형의 유량조건

	계획홍수량
유 량(CMS)	20,000
실험유량 (l/s)	139.754

고정상 실험을 통해 결정된 수리학적 조건들을 이동상 실험에 적용하여 대상지역에 대한 하상변동 상황을 재현하였다.

초기 유량 공급시 일어날 수 있는 급격한 하상변동을 방지하기 위해서 일정한 간격으로 설계 유량에 도달하도록 유량을 조금씩 증가시켜 나갔고, 계획홍수량에 의한 하상변동 상황을 관측하였다.

각 단면에 따른 지형 변화량을 다음 표에 나타내었다.

표 8. No. 3에서의 지형변화량

측 점	1	2	3	4	5	6
지형변화량(m)	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	0.001	0.001

표 9. No. 4에서의 지형변화량

측 점	1	2	3	4	5	6
지형변화량(m)	0	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.002

표 10. No. 4+180에서의 지형변화량

측 점	1	2	3	4	5	6	7
지형변화량(m)	-0.003	-0.003	-0.004	-0.004	-0.004	-0.003	-0.003
측 점	8	9	10	11	12	13	
지형변화량(m)	-0.002	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	

표 11. No. 5에서의 지형변화량

측 점	1	2	3	4	5	6
지형변화량(m)	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	0.001	0.001

6. 결과 비교 및 분석

6.1 하천에서 수리모형실험과 수치모형실험결과와의 비교

유사이동을 해석하기 위한 수리모형실험과 수치모형실험의 결과를 정량적으로 정확하게 비교하는 것은 현재로서는 아직 이른다. 가장 큰 이유는 유사를 이동시키는 기구(mechanism)가 너무 많은 인자들에 의하여 이루어져 매우 복잡하기 때문이다. 예로서 수리모형실험의 경우 적합한 상사율을 만족시키는 모형을 구하기 어려우며 유사의 평형상태를 유지하기 위해서는 상류로부터 지속적인 유사공급이 이루어져야하나 실제 실험에서는 이를 재현하기가 매우 어렵다. 수치모형실험의 경우에도 유사이동에 관계되는 수많은 입력변수 값을 알기 어렵다. 또한 모형을 검증하기 위한 절차도 쉽지 않은 일이다. 따라서 본 연구에서는 정량적인 비교보다는 정성적인 비교에 초점을 맞추었다. 즉 각 빈도별로 지형변화량을 평균화상고로 나누어 무차원화시킨 후 수치모형실험과 수리모형실험의 결과를 정성적으로 비교하였다. 빈도별, 단면별로 비교하여 보았을 때 아래 그림에서 나타나듯 퇴적과 침식의 양상은 지점에 따라 약간의 차이는 있으나 비교적 유사한 형상을 보임을 알 수 있다.

(1) 계획홍수량

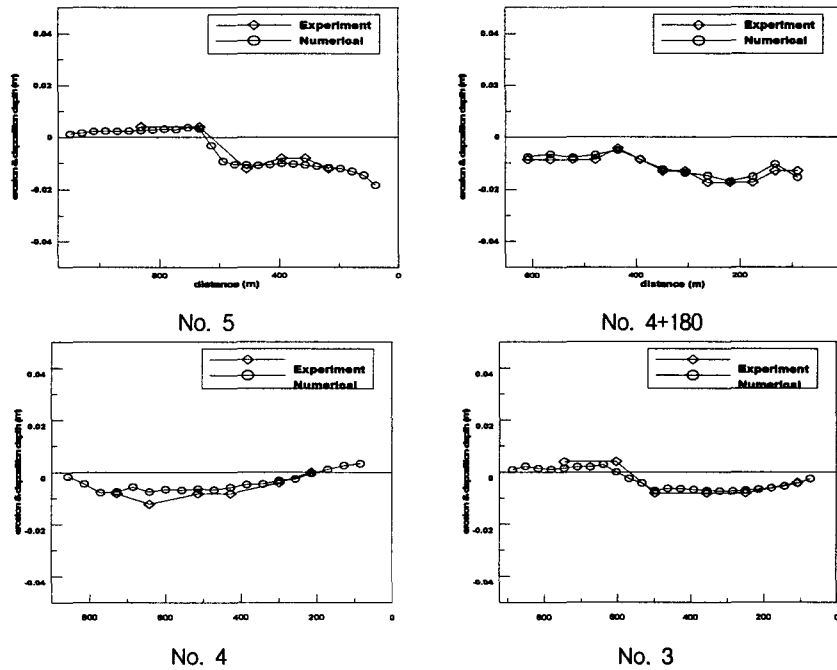


그림 11. 무차원수의 비교

6.2 해안에서 관측치와 수치모형실험결과와의 비교

(1) CASE II

외항 호안의 체질이 완공되지 않아 유속의 증가는 있었으나 중앙 천퇴부 양쪽 유심부의 수로는 변화가 없었고 침식량이 많은 곳이 약 1m 내외로 많은 지형변화를 보이지는 않고 있다. 수치모형실험과 관측치를 그림 12에 나타내었는데 그림에 나타나듯 다소의 오차를 보이고는 있으나 관측치와 수치모형 실험의 결과는 비교적 비슷한 경향을 보이고 있다.

(2) CASE III

외항 호안의 완공으로 인하여 중앙 천퇴부 양쪽의 수로 중 한곳이 막히게 되고 그로 인한 유향의 변화로 인해 유속의 급격한 증가를 가져오게 되어 4m 이상의 지형변화를 보이고 있다. 그림 12에서 볼 수 있듯이 관측치와 수치모형실험 결과는 다소간 오차를 보이고 있으나 경향은 잘 나타나고 있다.

(3) CASE IV

외항 호안이 완공된 후 지형의 변화로 인하여 통수 단면적이 확대되고 침식과 퇴적이 점차 안정을 찾아 내항이 완공된 후에는 CASE III보다는 지형변화량이 적음을 볼 수 있다. 관측치와 수치모형 실험의 결과를 보면 비교적 비슷한 경향을 보이고 있으나 P5의 경우에는 많은 오차를 보이고 있는데 이는 방사제나 측도등 구조물 부근을 제대로 표현하지 못한 것으로 판단된다.

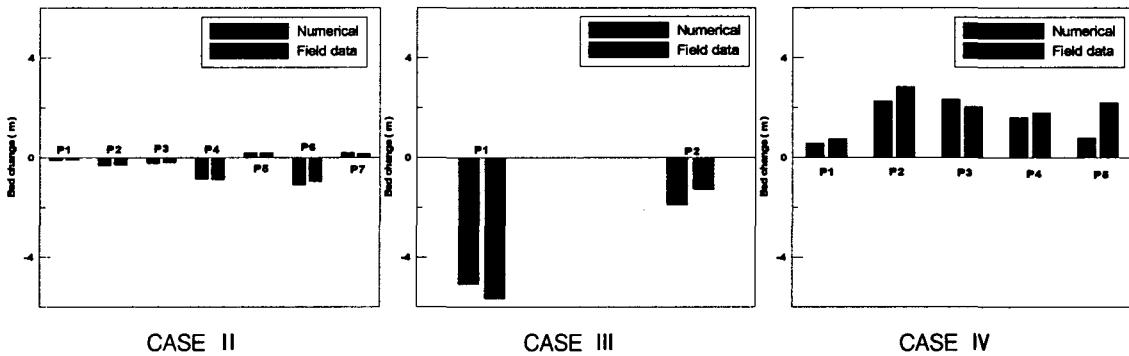


그림 12. 지형변화량 비교

7. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 지형변동모형인 SED2D를 하천과 해안에 적용시켜 관측치와 수치모형실험 결과의 비교를 통하여 그 효용성을 입증하는데 목적이 있다. 이들 모형은 2차원 유한 요소 모형으로서 이용자가 사용하기 편리하고 뛰어난 그래픽기능과 애니메이션 효과 등 결과 분석에 매우 탁월한 능력을 가지고 있다. 이 모형들의 계산 결과를 하천의 경우 수치모형실험과 그리고 해안의 경우에는 관측치와 상호 비교하여 모형의 장·단점을 파악하고 현지지형에 적용하는데 있어서 문제점등을 검토하였다.

- 1) 지형 변동 모형인 SED2D는 유속에 따른 침식과 퇴적의 양상이 잘 나타나므로 하상변동 경향은 제대로 모의된다고 판단된다. 그러나 아직 정량적으로 비교하기에는 어려움이 많다.
- 2) 하천의 경우 수치모형실험과 수치모형실험 간의 정량적인 비교가 어려워 무차원화 시킨 후의 정성적인 비교는 비교적 비슷한 경향이 나타남을 알 수 있다. 정량적인 비교를 위해서는 적절한 모형사의 선택과 제반 입력변수들의 실제값에 대한 연구가 선행되어야 한다.
- 3) 아산만의 경우 각 CASE별로 지형변동이 잘 모의됨을 알 수 있었고 호안의 시공으로 인한 주호류의 변화로 지형변동이 크게 일어났으나 호안의 완공 후에는 지형변동 후의 통수 단면적의 확대에 의해 지형변동이 작아져 안정을 찾아가는 모습을 볼 수 있었다.

8. 참고문헌

- 인천지방해양수산청, 인천항건설사무소 (1997). "아산항 수리현상 조사보고서".
 한국도로공사, (1998). "서해대교 교각주변의 세굴예측 및 방호대책"
 Ackers, P., and White, W. R. 1973(Nov). *Sediment Transport: New Approach and Analysis*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE. No.HY11