

2차원 모형을 이용한 장·단기의 하상변동 분석

An Analysis of Long & Short Term River Bed Changes using 2-D Model

○최민하¹⁾·안재현²⁾·윤용남³⁾

1. 서론

하상변동이란 일반적인 하천의 일정구간을 고려할 경우, 구간의 상류단면으로부터 유입하는 유입토사량과 구간의 하류단면을 통한 유출 토사량과의 차이에 의해 그 구간에 하상상승이나 하상저하가 발생하게 되는 현상을 말한다. 하상변동은 단기적인 측면에서는 하천에서의 취수, 배수의 하천관리에 직접적인 영향을 주며, 장기적인 측면에서는 하천 시설물의 안정, 홍수위, 홍수터와 같이 하천에 미치는 영향이 막대하다고 하겠다. 이러한 하천에서 발생하는 대규모의 하상변동을 예측하는 모형은 일반적으로 1차원 해석이 적용되어 왔는데 이러한 1차원 모형으로 하상변동을 예측할 경우, 하천의 사행의 진행이나 유사의 횡방향 분포는 고려할 수 없다. 또한 하상변동을 계산시 이동상 전체가 균일하게 상승 또는 하강하는 것으로 가정하기 때문에 흐름이 급변하는 곳에는 적용에 무리가 발생한다. 따라서, 홍수터와 사주의 형성 및 소멸, 지류 유입부에서의 퇴적 등을 고려해야할 경우에는 2차원 모형의 개발이 필수적이라 하겠다. 기존의 하상변동에 관한 연구는 1970년대 이후 하상변동의 이론적 연구 방법은 컴퓨터의 발달로 인해 컴퓨터 수치해석에 의한 수학 모형의 개발이 이루어져 왔으며, 미국 공병단에서 개발한 HEC-6 모형이 대표적인 하상변동 프로그램 중의 하나로서 가장 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 2차원 하상변동 모형인 SMS(Surface-water Modeling System)를 사용하여 임진강 유역내 포천천의 하상변동을 모의하였으며, 모형의 검증을 위해 모형의 모의기간을 하상단면 자료가 존재하는 '86년부터 '98년까지로 정하고, '86년 단면을 초기조건으로 하여 대상기간동안 모형을 실행시킨 후 '98년 실측단면과 비교 및 검토하였다. 또한, 이 기간동안에 유량자료가 전무하므로 장기유출모형인 NWS-PC 모형으로 장기 유량자료를 생성하였으며, 이를 이용하여 장기하상변동의 모의를 실시하였다.

1) 정회원, 고려대학교 부설 방재과학기술연구센터 연구원

2) 정회원, 서경대학교 토목공학과 전임강사

3) 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수

2. SMS 모형

SMS(Surface-water Modeling System)는 1차원, 2차원, 그리고 3차원 동수역학적 모형(hydrodynamic modeling)으로서 미국 육군공병단의 WES(Waterways Experiment Station)와 미연방도로국(U. S. Federal Highway Administration)이 연계하여 Brigham Young University의 EMRL(Environmental Modeling Research Laboratory, 2000a, 2000b, 2000c, 2000d)에서 개발하였으며, GFGEN 모형, RMA-2 모형, RMA-4 모형, SED-2D 모형 등으로 구성되어 있다.

2.1 GFGEN 모형

ASCII 지형파일을 RMA-2에서 사용가능한 2진파일(binary file)의 형태로 바꾸어주는 일종의 전처리기로써, 유한요소망(finite element mesh)을 구성하는 격점(node) 및 요소(element)에 관한 정보를 읽어들이어 오류확인 및 계산소요시간의 단축을 위해 격점 번호를 다시 매겨주는(renumbering) 기능을 담당한다.

2.2 RMA-2 모형

RMA-2 모형은 2차원 수심 평균한 유한요소 수치 모형으로서 2차원 흐름 영역에서 자유표면, 상류흐름의 수평방향 유속성분과 수위를 계산하며, Navier-Stokes 방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한요소의 해를 계산한다. 마찰력은 Manning 방정식의 조도계수나 Chezy 방정식의 평균유속계수로 계산되고, 와점성계수(eddy viscosity coefficient)는 난류의 특성을 정하는데 사용되며, 정상류 뿐만 아니라 부정류에서도 모의 가능하다. RMA-2 모형의 지배방정식은 수심 적분한 유체의 연속방정식과 2차원 운동량 방정식을 사용한다.

2.3 SED-2D 모형

SED-2D는 STUD-H라고 불리우는 프로그램의 개정판으로서 자체내에서 수위와 유속을 계산하지 못하기 때문에 RMA-2에서 수위와 유속을 계산한다. 이 때 SED-2D에서 계산되는 하상의 침전이나 퇴적으로 인해 흐름에 막대한 영향을 미치는 않는다는 기본 가정이 주어져 있다. SED-2D의 기본 유한요소 공식은 다음과 같은 4가지의 중요계산으로 요약할 수 있다.

- ① 하상에서 이송-확산 방정식을 이용한 부유사 농도
- ② 하상 전단응력
- ③ 하상 제원
- ④ 하상 모델

3. 모형의 적용

3.1 대상유역

본 연구의 대상유역은 임진강 유역내에 위치한 포천천 유역이며, 포천천은 유로연장 32.0km, 유

역면적 239.55km²인 임진강-한탄강-영평천-포천천으로 이어지는 임진강의 제3지류이다. 포천천은 포천군 소흘읍 무봉리 천보산맥에서 시작하여 북동방향으로 평행하게 흐르며 고모천, 금현천, 우금천, 좌의천, 구읍천 및 명덕천과 우안에서 합류하고 명덕천 합류 후에는 북쪽으로 흐름이 바뀌며 포천군 영중면 양문리에서 영평천과 합류하는 하천으로, 본 연구에서는 영평천 합류점(No.0)에서 상류방향으로 10.4km 떨어진 신신북대교(No.52)에서부터 시작하여 상류로 3.6km 떨어진 지점(No.70)까지의 구간을 대상구간으로 이용하였다.

3.2 입력자료

본 연구에서는 장기하상변동 모의기간을 하천단면 측량자료가 존재하는 '86년에서 '98년까지로 정하였으며, '86년 하천단면을 초기조건으로 하여 지형자료를 구성하고 모형을 실행시킨 후 '98년 실측 하천단면 자료와 비교하였다. 모형의 모의를 위해서는 대상구간의 유량 및 유사량 자료가 입력자료로서 필요하며, 본 대상구간내의 모의 기간동안에 유량자료가 전무한 실정이므로 장기유출 모형인 NWS-PC 모형을 사용하여 모의 기간동안의 유량자료를 생성하였다. 또한, 경계조건으로 필요한 수위 자료는 “임진강 유역 홍수피해 원인분석 및 항구대책 수립 용역보고서(건설교통부, 2001)”에 수록된 수위-유량곡선에 유량을 입력하여 수위를 역으로 환산하였으며, 유사량 자료도 같은 보고서에 수록된 자료를 이용하였다.

대상구간내의 유한요소망은 “포천천 하천정비기본계획(경기도, 1986, 1998)”에 수록된 종·횡단 및 평면도 자료를 이용하여 구성하였으며, 총 11263개의 노드(node)와 3659개의 요소(element)가 생성되었다. 또한, SMS모형은 현재까지 흐름의 불연속(flow discontinuity)이 발생하는 콘크리트 구조물을 모의하지 못하므로 제3취수보가 존재하는 No.67 지점을 기준으로 대상구간을 상부구간과 하부구간으로 나누어 각각 유한요소망을 구성하였다.

4. 하상변동 분석 결과

상부구간과 하부구간에 대해 RMA-2를 사용하여 부정류 해석하였으며, 이의 동력학적 결과과일을 사용하여 RMA-2에서와 동일한 시간간격으로 SED-2D를 실행하였다. SED-2D의 모의결과 상부구간과 하부구간에서 대체로 침식이 우세하였으며, 실측 최심하상고의 변동량과 SMS 모형에 의해 계산된 최심하상고의 변동량을 표 1에 나타내었다.

표 1을 보면 신신북대교 지점에서 실측최심하상고는 침식되었지만 계산최심하상고는 퇴적된 것으로 모의되었다. 또한 제3취수보 하류부분에서 실측치는 거의 침식되지 않았지만 계산치는 상당한 침식이 발생한 것으로 모의하였다. 그러나, 신신북대교 지점과 제3취수보 하류부분을 제외한 모든 구간에서 실측최심하상고와 계산최심하상고의 변동양상은 거의 일치하며, 하상고 변동의 전체적인 경향에 있어서 SMS 모형의 모의결과가 실측치에 매우 근사함을 알 수 있다. 또한, '86년 실측하상고에 비해 '98년 실측하상고는 모든 구간에서 침식되었음을 알 수 있으며, 신신북대교 지점과 제3취수보 하류부분을 제외하고는 거의 모든 구간에서 매우 근사하게 실측치를 모의하였다.

표 1. 축점별 최심하상고

축점(No.)	누가거리 (m)	86최심하상고 (m)	98최심하상고 (m)	실측 최심하상고 변동 (m)	계산 최심하상고 변동 (m)
52	10,400	82.12	81.48	-0.64	-0.31
신신북대교	10,440	82.10	81.56	-0.54	0.11
53	10,600	83.45	81.94	-1.51	-0.80
54	10,800	84.15	82.03	-2.12	-0.81
55	11,000	83.77	82.23	-1.54	-0.58
구신북대교	11,100	83.52	82.78	-0.74	-1.11
56	11,200	84.99	82.96	-2.03	-1.12
57	11,400	84.37	83.73	-0.64	-0.35
58	11,600	84.37	84.07	-0.30	-0.28
59	11,800	84.68	84.06	-0.62	-0.08
60	12,000	85.26	83.99	-1.27	-1.27
61	12,200	85.83	84.14	-1.69	-1.44
62	12,400	86.22	84.80	-1.42	-1.23
63	12,600	86.73	85.30	-1.43	-0.82
64	12,800	87.20	86.99	-0.21	-0.79
65	13,000	87.58	86.02	-1.56	-0.78
66	13,200	87.32	87.31	-0.01	-0.91
제3 취수보	13,400	90.11	90.11	0.00	0.00
68	13,600	89.67	88.94	-0.73	-0.70
69	13,800	89.64	89.34	-0.30	-0.65
70	14,000	89.69	88.61	-1.08	-0.55
평균				-0.97	-0.69

표 2. 축점별 하상변동량

축점(No.)	누가거리 (m)	실측 하상변동량(ton)			계산 하상변동량(ton)		
		침식량	퇴적량	변동량	침식량	퇴적량	변동량
52	10,400	-	-	-	-	-	-
신신북대교	10,440	-6582.6	275.6	-6307.0	-3307.2	-	-3307.2
53	10,600	-32096.8	2268.4	-29828.4	-15497.2	-	-15497.2
54	10,800	-39882.5	1855.0	-38027.5	-17728.5	-	-17728.5
55	11,000	-45845.0	0.0	-45845.0	-27295.0	-	-27295.0
구신북대교	11,100	-22511.8	0.0	-22511.8	-13647.5	-	-13647.5
56	11,200	-20497.8	622.8	-19875.0	-9394.3	-	-9394.3
57	11,400	-30952.0	0.0	-30952.0	-16960.0	-	-16960.0
58	11,600	-30581.0	4028.0	-26553.0	-14018.5	-	-14018.5
59	11,800	-23532.0	8268.0	-15264.0	-16509.5	-	-16509.5
60	12,000	-19875.0	0.0	-19875.0	-20113.5	-	-20113.5
61	12,200	-39220.0	0.0	-39220.0	-18735.5	-	-18735.5
62	12,400	-52311.0	0.0	-52311.0	-23982.5	-	-23982.5
63	12,600	-54961.0	0.0	-54961.0	-22790.0	2676.5	-20113.5
64	12,800	-44573.0	0.0	-44573.0	-21544.5	-	-21544.5
65	13,000	-45712.5	0.0	-45712.5	-25095.5	-	-25095.5
66	13,200	-35987.0	4849.5	-31137.5	-23214.0	-	-23214.0
제 3취수보	13,400	-7234.5	0.0	-7234.5	-12190.0	-	-12190.0
68	13,600	-16297.5	1431.0	-14866.5	-14813.5	-	-14813.5
69	13,800	-17384.0	14257.0	-3127.0	-27295.0	-	-27295.0
70	14,000	-9725.5	15714.5	5989.0	-26712.0	-	-26712.0
합계		-595762.4	53569.8	-542192.7	-370843.7	2676.5	-368167.2

각 단면별로 하상변동량을 알아보기 위해 단면별로 침식량과 퇴적량을 구하여 단면과 단면사이의 하상변동량을 산정하였으며, 이를 표 2에 나타내었다. 또한, 하상의 횡단변동을 파악하기 위해서, No.55, No.57, No.60 및 No.64 지점 하상의 횡단변화를 그림 1에 도시하였으며, 전반적인 변동양상을 잘 모의하고 있음을 알 수 있다.

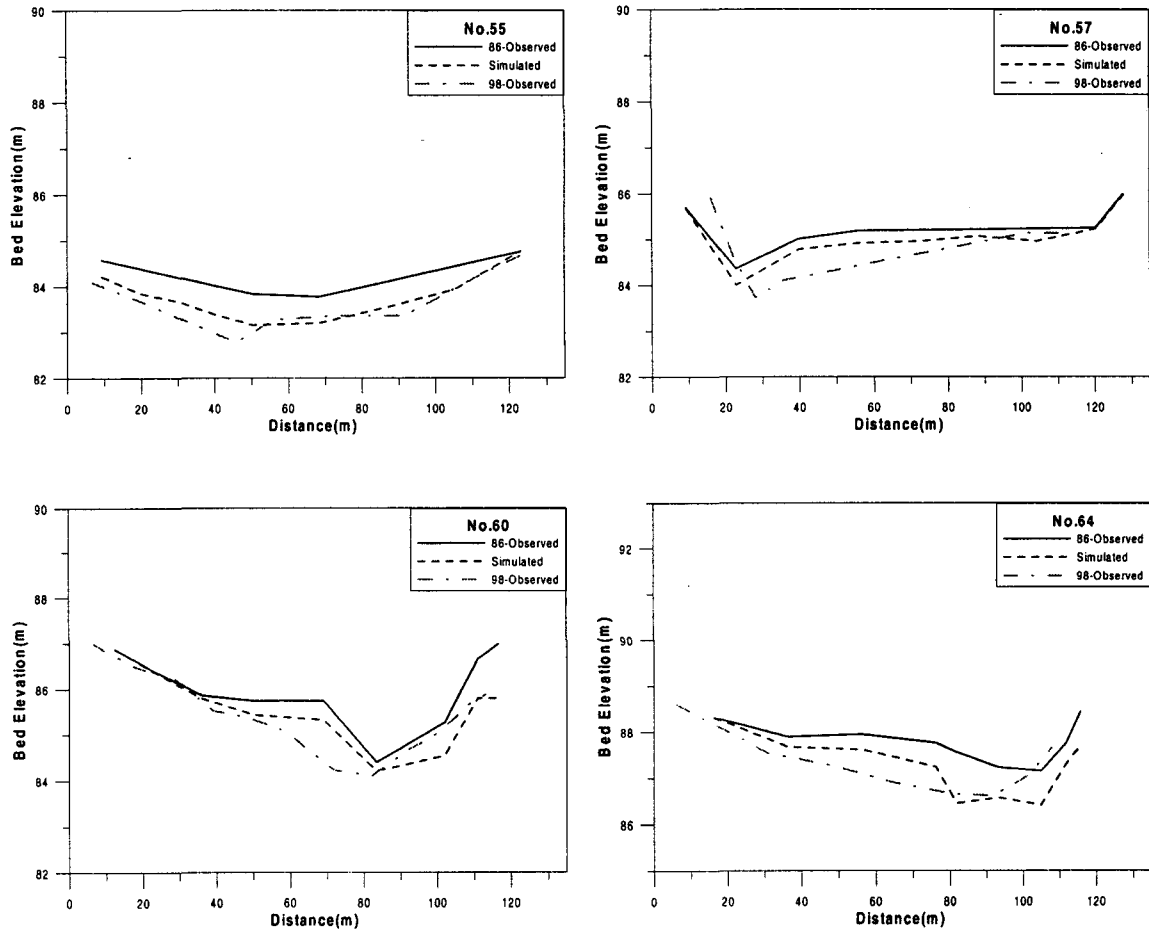


그림 1. 축점별 장기하상변동량의 비교

5. 결론

임진강 유역내 포천천의 대상구간(No.52~No.70)에서 장기하상변동을 모의하기 위해 '87년도부터 SED-2D 모형을 실행하였으며, 이의 결과로서 생성된 새로운 지형파일을 그 다음 해인 '88년도에 사용하였고, 이후 연도에도 동일하게 적용함으로써 연속적으로 하상변동을 모의하였다.

SED-2D 모형에서 산정된 최종적인 하상변동고는 상부구간은 0.046m~-0.761m, 하부구간은 0.308m~-1.549m로 산정되었으며 전체구간에서 침식이 우세하게 발생하였다. 특히, 구신북대교 지점에서 침식이 크게 발생하였다. 모형의 검증을 위해 '98년 실측최심하상고와 모형에서 산정된 최심하상고를 비교해 도시하였는데, 하상고 변동의 전체적인 경향에 있어 모형의 모의결과가 실측치에 근사함을 알 수 있었으며, 국부적으로 신신북대교 지점과 제3취수보 하류부분을 제외한 전체구간에서 실측치가 침식된 부분은 모형도 침식된 것으로 모의하였다.

2차원 모형의 경우 단면의 횡방향 분포도 모의할 수 있으므로 주요지점에 대해 횡방향 하상변동고를 실측치와 비교하여 도시하였는데, 전체적인 경향에서 모형에 의한 하상변동고의 양상이 실측치에 근사하게 나타났으나 하상변동량은 과소하게 산정되었다. 전체구간의 실측 총 하상변동량은 -542192.7tons이며, 계산 총 하상변동량은 -368167.2tons로 산정 됨으로서 실측 총 하상변동량의 47.26%을 나타내었다.

이와 같이 2차원 모형으로 하상변동을 모의함으로써 기존의 1차원 모형으로 모의할 수 없었던 부분들을 개선할 수 있으며, 장기적인 수리 및 하상변동의 분석에 대한 적용가능성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(2001). 입진강유역 홍수피해 원인분석 및 항구대책수립용역 보고서.
- 경기도(1986). 포천천 하천정비기본계획 보고서.
- 경기도(1998). 포천천 하천정비기본계획 보고서.
- Environmental Modeling Research Laboratory(2000a). "SMS(SurfaceWater Modeling System) GFGEN version 4.27 User's Manual", Brigham Young University.
- Environmental Modeling Research Laboratory(2000b). "SMS(SurfaceWater Modeling System) RMA-2 version 4.3 User's Manual", Brigham Young University.
- Environmental Modeling Research Laboratory(2000c). "SMS(SurfaceWater Modeling System) SED-2D-WES version 4.3 User's Manual", Brigham Young University.
- Environmental Modeling Research Laboratory(2000d). "SMS(SurfaceWater Modeling System) tutorials version 7.0", Brigham Young University.