

# 1차원 수리모형들을 이용한 수위모의결과 비교연구

## Comparison of Water Levels from 1 Dimensional Water Surface Profile Models

정철훈\*.박종윤\*\*.정인균\*\*\*.김성준\*\*\*\*

Chul Hoon Jung, Jong Yoon Park, In Kyun Jung, Seong Joon Kim

### 요 지

치수 계획수립시 홍수위는 홍수량의 산정결과를 수리해석모형에 적용함으로써 계산한다. 본 연구에서는 강우-유출모형으로부터 산정된 홍수량산정결과를 수리해석모형과 연계하여 모의할 수 있는 수리수문통합모형개발의 사전연구로, 수면 곡선해석모형 중 현재 실무에서 가장 많이 이용되고 있는 HEC-RAS 모형과 WSPRO, WSP-2 모형의 정상류해석결과를 비교하였다. 하천정비기본계획을 참고로 하도단면을 구축하고 고시된 홍수량을 적용하여 수위와 유속을 비교·분석하였다. 대상하도의 적용 결과 HEC-RAS 모형과 WSPRO 모형은 평균표준오차 0.09로 큰 차이를 나타내지 않았지만, WSP-2 모형은 0.90으로 HEC-RAS 모형과의 정확도에서 차이를 나타내는 것으로 분석되었다.

**핵심용어** : 1차원 수리모형, 정상류해석, 수리해석비교

### 1. 서 론

일반적으로 홍수위 산정은 컴퓨터 프로그램에 의하여 산정하고 있으며, 다양한 종류의 1차원 수리해석 모형이 있으나, 현재 실무에서는 대부분 미 공병단(US Army Corpds of Engineers)에서 개발된 HEC-RAS(the Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)를 활용하고 있다. 수위해석 결과의 비교와 관련된 연구로 국내에서는 배준한(2001)이 1차원 수리모형인 HEC-2와 WSPRO(Water Surface Profile Computations) 모형을 50년, 100년, 200년 빈도와 계획 홍수량으로 비교·분석한 바 있으며, 김지호 등(2000)은 1차원 모형인 HEC-RAS와 2차원 모형인 RMA-2 모형을 이용, 흐름변동 특성을 분석하여 적용성을 판단한 바 있다. 또한 국외에서는 Gary and John(1995)이 HEC-RAS와 HEC-2, WSPRO 모형을 이용하여 교량을 통과하는 흐름의 수면 곡선을 비교·분석한 바 있다. 1차원 수리해석모형의 개발에도 많은 연구가 있었으며, 국내에서는 김원 등(2006)이 1차원 수리해석과 관련하여 SNS(super and sub-critical flow)를 개발한 바 있

\* 정회원·건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정·E-mail : chuloon@konkuk.ac.kr

\*\* 정회원·건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정·E-mail : bellyon@konkuk.ac.kr

\*\*\* 정회원·건국대학교 사회환경시스템공학과 박사수료·E-mail : nemoik@konkuk.ac.kr

\*\*\*\* 정회원·건국대학교 사회환경시스템공학과 교수·E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

다. 또한 최근에는 강우-유출해석 모형과 수리해석모형을 연계하여 정상류 및 부정류 모의에 따른 홍수해석등의 연구가 수행되고 있다. 이에 본 연구에서는 강우-유출 모형의 모의결과를 1차원 수면곡선해석 모형과 연계하는 경우 정상류해석에서 어떠한 모형이 적합한지를 판단하기 위한 사전연구로 수행되었다. 이를 위해, 1차원 수리해석 모형은 HEC-RAS, WSPRO, WSP-2 모형을 선정하여 진위천 상류인 성은천 중하류(2.4km) 구간에 대한 정상류 해석결과의 평균절대오차를 비교함으로써 모형의 계산특성을 파악하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 적용모형

HEC-RAS(HEC, 2001)은 에너지 방정식을 지배방정식으로 하며, 자연하천이나 인공수로에서 정상 점변류(steady gradually varied flow)의 수면형 계산과 상류나 사류의 수면형 및 교량, 암거, 위어 홍수터에서의 구조물 등 장애물의 영향을 고려할 수 있는 범용화된 프로그램으로, 사용자의 편리기능과 자료 입·출력도구, 모의결과의 도시 등을 통한 작업시간의 최소화를 목적으로 설계된 GUI를 활용한다. 따라서 사용자는 흐름과 흐름의 상태를 더욱 자세히 확인할 수 있게 되었고, 하천형상에 대한 3 차원 도시도 가능하게 되었으며, 상류 및 사류 모의가 가능하고, 교량, 수문, 암거 등에 대한 부정류 및 부정류해석도 처리할 수 있게 되었다. 특히, 하나의 프로젝트에 대한 입력 자료들을 일괄적으로 처리할 수 있어 자료관리, 결과도시 기능 등이 편리하게 구성되어 현재 널리 사용되고 있다. 또한, HEC-GeoRAS를 이용한 GIS의 자료활용이 가능하다.

WSPRO 모형(L. A. Arneson and J. O. Sheaman, 1998)은 교량으로 인한 수면변화를 계산할 수 있는 수면형 계산 모형이다. 교량을 계산하지 않을 때의 수면 변화, 교각이 없는 경우, 교각이 있는 경우, 수제가 있는 경우, 제방의 월류를 고려하는 경우 등의 교각 주위 흐름, 여러 가지 교량 설계에 따른 흐름의 변화등을 해석할 수 있다. 교량을 통과하는 자유수면흐름 계산은 교량의 형태 변화에 따른 영향을 고려한다. 부분적으로나 완전하게 물이 교량에 차서 흐르는 압력 흐름의 경우에는 미연방 도로청(FHWA : Federal High way Administration) 의 방법을 사용한다.

WSP-2 모형(NRCS, 1993)은 홍수량에 따른 수위와 범람 면적을 계산하는 개수로의 수면곡선 계산모형이다. 미국 토양보전국(NRCS, Natural Resources Conservation Service)의 National Engineering Handbook(NRCS, 1997)에 기술된 방법을 사용하고 있으며 교량으로 인한 수두손실은 미 교통성 공공도로국(Bureau of Public Roads)의 수리설계집중 "교량수로의 수리" 부분을 기본으로 하고 있다. 배수위영향 계산을 위해 표준축차법을 사용하고 있다. 특정한 지점에 대한 수위, 유량, 흐름면적, 범람면적 등에 대한 정보를 계산 할 수 있고 최대 50개의 구간에 대해서 15개의 수면형을 계산할 수 있다. 하도단면은 48개까지의 좌표로 표시될 수 있으며 단면 특성에 따라 6개의 구간으로 구분될 수 있다. 하천이 도로와 만나는 점에서는 교량이나 암거로 인한 손실수두를 계산할 수 있다.

### 2.1 자료구축 및 적용방법

본 연구의 대상지역은 안성시 원곡면 성은리를 시점으로하여 용인시 남사면 진목리에서 진위천(지방 2급 하천)과 합류하는 하천연장 4.6km의 지방하천인 성은천으로, "진위천 하천정비기본계획"(경기도 제2008-98호)을 참고하여 성은천 중하류부의 2.4km구간의 자료를 구축하였다. 해당 기본계획은 최근 수립되어 근래에 측량된 하천단면 자료를 구축할 수 있었다. 대상구간 내에는 5개의 교량과 3개의 낙차공, 1개의 수중보가 위치하고 있으며, 모형 구축시 이와 같은 하천횡단 구조물을

고려하여 입력자료를 구축하였다. 또한, 성은천의 설계홍수량은  $170\text{m}^3/\text{s}$ (50년빈도)이며 기점 홍수위는 진위천과 합류되는 지점의 80년 빈도 홍수위인 EL.22.30m를 적용하였다. 조도계수는 보고서에 제시되어 있는 0.032를 적용하였다. 그림 1은 진위천 유역내 대상구간의 위치 및 종단면도를 도시한 것이다.

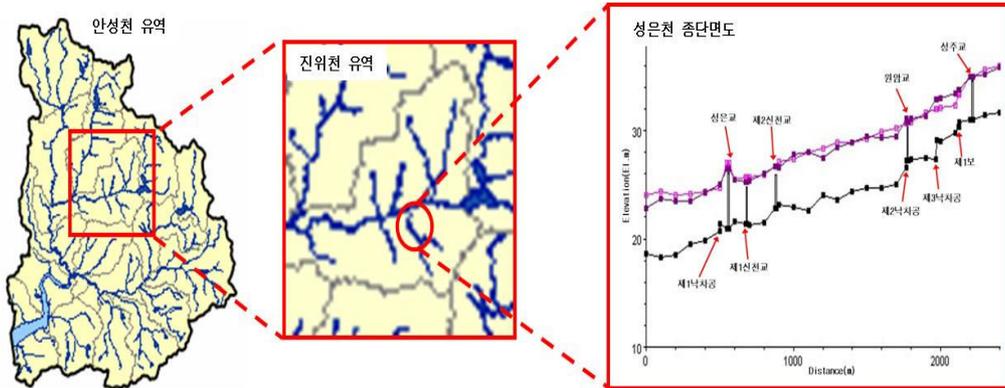


그림 1. 연구대상지역 및 하천종단면도

### 3. 결과 및 고찰

성은천의 대상구간(2.4km)에 대한 WSPRO 및 WSP-2 모형의 수위 계산을 HEC-RAS 모형의 결과와 비교·검토했었다. 표 2는 HEC-RAS 모형의 결과를 기준으로 수위 및 유속에 대한 평균 절대오차 결과를 정리하였으며, 대표적으로 하천횡단구조물이 배치된 구간의 모형간 결과차이를 표 1에 정리하였다.

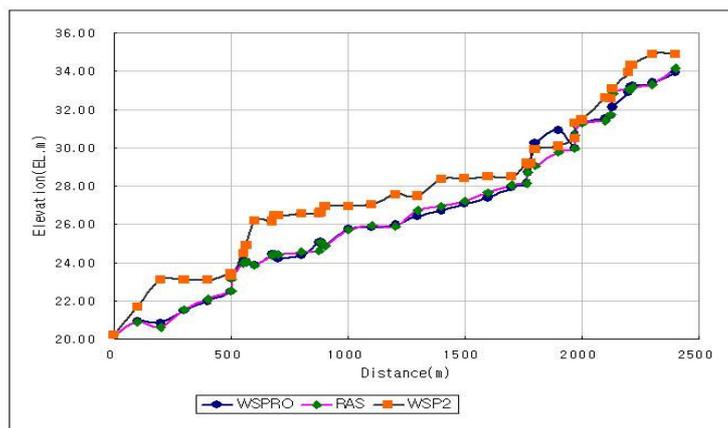


그림 3. 모형별 수위해석결과 비교

그림 3은 대상구간에 대하여 계산된 각 모형의 수위해석결과를 도시한 것으로, WSPRO 모형은 HEC-RAS 모형과 비교적 비슷한 수위해석을 모의하는데 반해, WSP-2 모형은 다른 두 모형에 비해 다소 높은 수위를 모의하는 것으로 나타난다,

표 1. 하천횡단구조물 구간의 수위분포

| Section   | HEC-RAS        | WSPRO          |          | WSP-2          |          |
|-----------|----------------|----------------|----------|----------------|----------|
|           | Water-Level(m) | Water-Level(m) | Error(m) | Water-Level(m) | Error(m) |
| 제1 낙차공 하단 | 22.50          | 22.46          | 0.04     | 23.41          | 0.91     |
| 제1 낙차공 상단 | 23.15          | 23.15          | 0.00     | 23.29          | 0.14     |
| 성은교 하류    | 23.96          | 24.01          | 0.05     | 24.48          | 0.52     |
| 성은교 상류    | 24.01          | 24.03          | 0.02     | 24.91          | 0.90     |
| 제1 신촌교 하류 | 24.38          | 24.41          | 0.03     | 26.16          | 1.78     |
| 제1 신촌교 상류 | 24.41          | 24.41          | 0.00     | 26.46          | 2.05     |
| 제2 신촌교 하류 | 24.58          | 25.05          | 0.47     | 26.55          | 1.97     |
| 제2 신촌교 상류 | 25.05          | 25.09          | 0.04     | 26.62          | 1.57     |
| 제2 낙차공 하단 | 28.13          | 28.12          | 0.01     | 29.21          | 1.08     |
| 제2 낙차공 상단 | 28.69          | 28.69          | 0.00     | 29.21          | 0.52     |
| 원암교 하류    | 29.12          | 29.19          | 0.07     | 29.12          | 0.00     |
| 원암교 상류    | 29.19          | 29.22          | 0.03     | 29.18          | 0.01     |
| 제3 낙차공 하단 | 29.93          | 29.93          | 0.00     | 30.49          | 0.56     |
| 제3 낙차공 상단 | 30.63          | 30.63          | 0.00     | 31.28          | 0.65     |
| 제1 보 하류   | 31.70          | 31.66          | 0.04     | 32.56          | 0.86     |
| 제1 보 상류   | 32.81          | 32.13          | 0.68     | 33.08          | 0.27     |
| 성주교 하류    | 33.04          | 33.19          | 0.15     | 34.30          | 1.26     |
| 성주교 상류    | 33.19          | 33.23          | 0.04     | 34.33          | 1.14     |
| MAE       | -              | -              | 0.09     | -              | 0.90     |

또한 하천횡단구조물이 배치된 단면에서 WSPRO 모형과 WSP-2 모형의 수위계산결과, HEC-RAS 모형과의 평균절대오차(MAE : Mean Absolute Error)의 값은 각각 0.09, 0.90으로 WSP-2 모형에 비해 WSPRO 모형이 HEC-RAS 모형과의 정확도가 높은 것으로 분석되었다.

표 2. 수위·유속의 절대평균오차

| 모형    | Water-Level | Velocity |
|-------|-------------|----------|
| WSPRO | 0.16        | 0.42     |
| WSP-2 | 1.07        | 1.67     |

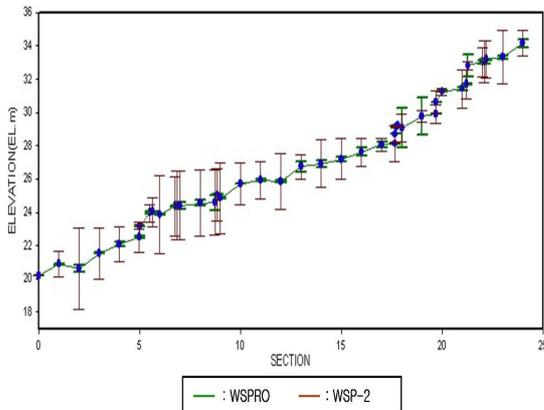


그림 4. 모형별 수위 평균절대오차

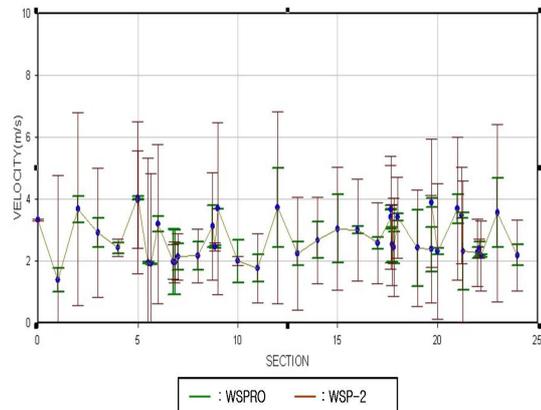


그림 5. 모형별 유속 평균절대오차

표 2는 대상구간 내 모의단면에 대한 WSPRO, WSP-2 모형과 HEC-RAS 모형과의 수위 및 유속 정확도에 대한 비교를 나타낸다. WSPRO 모형과 WSP-2 모형의 수위계산결과, HEC-RAS 모형과의 평균절대오차(MAE : Mean Absolute Error)의 값은 각각 0.16, 1.07로 모의 되었으며 유속은 0.42, 1.67로 모의되었다. 또한, 그림 4와 5는 HEC-RAS 모형 모의결과에 대한 각 모형의 구간별 수위와 유속에 대한 평균절대오차의 범위를 나타내었다.

이에 본 연구는 평균절대오차의 비교-분석를 통하여 WSP-2 모형보다는 WSPRO 모형이 HEC-RAS 모형과 유사한 모의결과를 나타내고 있음을 알 수 있었으며, DOS형 1차원 수리해석 모형을 강우-유출모형의 홍수량과 연계하는 경우 WSP-2 모형에 비해 WSPRO 모형이 비교적 활용가능성이 높음을 파악할 수 있었다.

## 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 건설부 서울지방국토관리청 (1990). 북한강 하천조사 보고서, OTMCRP-237, 건설교통부
2. 김원(1997). 일차원 하천흐름 모형의 소개, 건설기술정보, 한국건설기술연구원, 160('97.3), pp. 26-30
3. 김원, 김종우(2006), 일차원 하천 흐름모형 SNS의 개발, 한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집, pp.391-395
4. 김지호, 서 아, 정용태, 송재우(2000). 소하천에서의 수리특성에 대한 1차원 모형과 2차원 모형의 적용, 대한토목학회 논문집, Vol. 2000, No.3, PP. 597-600
5. 배준환(2001). 수치 및 수리모형실험을 이용한 북한강하류의 빈도별 수위예측 및 유속분포에 관한 연구, 석사학위논문, 명지대학교
6. Gary W. Brunner and John H. Hunt (1995), A Comparison of the One-Dimensional Bridge Hydraulic Routines from: HEC-RAS, HEC-2 and WSPRO, Research Document No. 41, U.S Army Corps of engineers
7. Hydrologic Engineering Center (2001). HEC-RAS Analysis System User's Manual, U.S Army Corps of engineers
8. L. A. Arneson and J. O. Sheaman (1998). User's Manual for WSPRO-A Computer Model for Water Surface Profile Computations, FHWA-SA-98-080, Federal Highway Administration
9. Natural Resources Conservation Service (1993), Computer Program for Water Surface Profiles, part 630, National Engineering Handbook
10. Natural Resources Conservation Service (1997), National Engineering Handbook, 630-Hydrology, Natural Resources Conservation Service, National Engineering Handbook