

ORIGINAL ARTICLE

## HEC-RAS 모델을 이용한 신천 시험유역의 하도 특성연구

박병기 · 이명구 · 홍창수 · 이재관 · 이영준\* · 최종대<sup>1)</sup>

국립환경과학원 한강물환경연구소, <sup>1)</sup>강원대학교 지역건설공학과

### Channel Characteristics of Sincheon Experimental Catchment using HEC - RAS model

Byeongky Park, Myunggu Lee, Changsu Hong, Jaekwan Lee, Young Joon Lee\*,  
Joongdae Choi<sup>1)</sup>

Han-River Environment Research Center, Yangpyeong 12585, Korea

<sup>1)</sup>Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

#### Abstract

In recent localized heavy rainfalls have been arising from abnormal climate change. People are concerning about damages with increasing the frequency of flooding. Therefore, we need to understand river hydraulic characteristics and management to reduce damage from flooding. To study hydraulic characterization of Sincheon experimental catchment HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) model which provided by U.S Army Corps of Engineers (USACE) was applied. This study analyzed and compared water level the frequency flood for 100 years and 200 years by Clark unit Hydrography. The change of the water level of Daejeon bridge, Sincheon bridge and Singi bridge showed increased for all conditions. The flow rate for the Daejeon bridge and the Sincheon bridge showed an increase, but the Singi bridge showed a decreasing flow rate overall, except for 1hour-100 years. The verification result showed that the model was able to simulate the water level with 0.4709 coefficient of determination and error ration ranging from 1 to 3%.

**Key words** : HEC-RAS, Channel characteristics, Sin-cheon experimental catchment

#### 1. 서론

최근 지구온난화현상과 기상이변 등 집중호우로 인해 수해가 증가되고 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위해서는 하천에서의 흐름특성에 대한 정확한 조사 및 분석이 필수적으로 요구되며, 발생할 수 있는 재난에 선제적으로 대응하기 위한 개선책으로 하천정비 계획에 따른 하도특성분석이 필요하다.

자연하천 정비에 따른 수리모델을 활용한 국외사례는 Hicks and Peacock(2005)가 캐나다의 Peace River를 대상으로 홍수예측을 위한 HEC-RAS 부정류 모의를 수행하였으며, 매개변수에 대한 불확실성을 평가하였다.

국내의 경우는 Kim and Lee(2009)는 하천 복원으로 인해 수리학적 요소가 급변한 하천에서 정확한 조도계수를 산정하기 위한 방법을 도출하기 위해 HEC-RAS와 2차원 수리해석 방법을 이용하였고, Lee et al.(2010)은

Received 28 May, 2015; Revised 18 December, 2015;

Accepted 31 December, 2015

\*Corresponding author : Young Joon Lee, Han-River Environment Research Center, Yangpyeong 12585, Korea  
Phone: +82-31-770-7220  
E-mail: 8djoon@hanmail.net, d8joony@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1차원 부정류 모형인 FLDWAV모형을 이용하여 낙동강 하류 홍수특성을 분석하였다. Kim et al.(2010)은 HEC-RAS 및 FLDWAV모형을 이용하여 한강을 대상으로 계획홍수위를 검토하였으며, Kang et al.(2011)은 HEC-RAS를 이용하여 극한홍수 사상에 대한 저류지의 홍수위 저감효과를 분석한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 2011년 태풍 메아리로 인해 홍수피해를 받은 신천시험유역의 하도특성 분석을 연구하고 HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System)모형을 이에 적용하였다. 하천정비 전·후의 하천단면 구축과 부정류 흐름 해석에 의한 흐름의 전이를 반영하여, 빈도별 수위 및 유속의 변화와 홍수범람 모의를 통한 하천정비사업 이후 제방의 안정성 여부를 검토하였다.

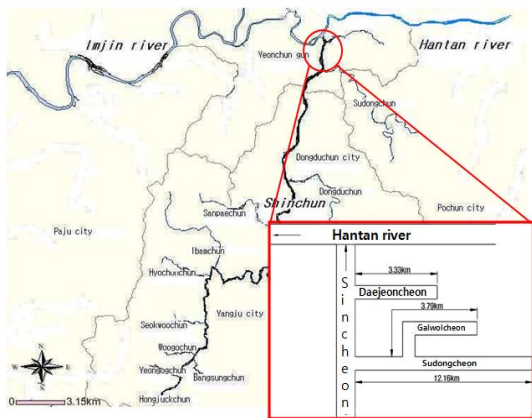


Fig. 1. Map of the Sincheon experimental catchment.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 대상유역 현황

본 연구의 대상구간인 신천 유역은 Fig. 1과 같이 한강유역의 북서쪽 동경 126°56'13" ~ 127°10'21", 북위 37°45'47" ~ 38°00'01"에 위치하고 있다. 동쪽으로는 포천군 포천읍이 위치하는 영평천과 접하고 있으며, 한탄강과 합류하는 한강 제 3지류로 유역면적 344.1 km<sup>2</sup>과 유로연장 38.8 km이다.

신천 본류는 동쪽에 위치하고 있으며, 신천유역의 중심부를 관류하고 있다. 또한 유로는 산지부의 영향으로 최단거리로 유하하지 못하고 유향을 급변시키며 흐르는

특성을 나타낸다. 한강의 제 2지류이며, 임진강의 제 1지류인 한탄강과 합류된다. 본 연구에서는 수동천과 신천이 만나는 합류 후부터 한탄강 본류의 합류점 전에 위치한 대전교까지 약 2.5 km 지점을 연구 대상으로 선정하였다.

### 2.2. HEC-RAS 모형

HEC-RAS모형은 미육군공병단이 개발한 하천 해석 모형으로, 수면곡선을 분석하는 HEC-2 모형의 확장된 시스템이다. HEC-2 모형이 자연하천이나 인공하천에서의 정상류 상태의 점변류 수면곡선을 계산하기 위해 개발되었다면 HEC-RAS 모형은 정상류뿐만 아니라 부정류, 유사현상 해석, 수온해석 기능, 교량의 세굴계산 및 수공구조물의 영향을 수면곡선에 반영, 하천의 홍수터 잠식과 제방의 영향을 모의하고 분석하는 등 현재 우리나라 실무에서 가장 많이 이용되는 하천 수리해석 모형이다.

### 2.3. 부등류 기본 방정식

수리모형에서 아래 두 방정식 (1), (2)는 각 단면에서 미지의 수위를 계산하기 위한 식이다. 기본 방정식의 에너지 방정식에는 시간 미분항을 포함하지 않고, 각 단면에서는 정수압 상태가 존재한다는 가정에 근거를 두고 있으므로 흐름은 정상부등류로 가정하고 있다. 또한 식 (1)은 하나의 단면 내의 모든 점에 대해서 총에너지 수두는 동일하다는 가정에 근거를 두고 있으므로 흐름은 1차원으로 가정한 것이다. 이동경계를 처리하는 능력은 없으며, 에너지 손실을 식 (2)에 포함된 항으로 정의할 수 있어야 한다는 제한성을 가지고 있다. 위의 가정을 위배하게 되면 프로그램의 결과상에 오류가 나타나게 된다.

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left( \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \quad (2)$$

여기서,

$WS_1, WS_2$  = 구간의 양단에서 수위

$V_1, V_2$  = 구간의 양단에서 평균 속도(유량/단면적)

$\alpha_1, \alpha_2$  = 구간의 양단에서 유속 및 속도와 에너지 보정 계수

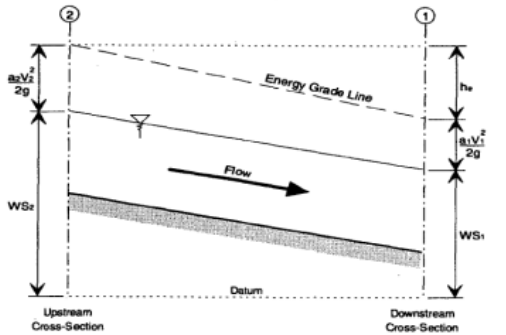


Fig. 2. Energy equation.

- $g$  = 중력가속도
- $h_e$  = 에너지 손실수두
- $L$  = 구간거리
- $S_f$  = 구간의 대표 마찰경사
- $C$  = 단면 확대 및 축소 손실계수

Fig. 2는 에너지 방정식 표준축차계산법에 의해서 상류부와 하류부 단면에 대해 반복적으로 계산한다(Han et al., 2004). 유량 가중 구간 거리  $L$ 은 구간의 양단에서 좌측 홍수터, 주수부 및 우측 홍수터에 서의 각각 유량을 이용하여 계산된다. 마찰경사는 식 (3)을 이용한다.  $K_1$ ,  $K_2$ 는 구간 상·하류부의 통수능을 의미한다.

$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (3)$$

- 여기서,
- $S_f$  = 구간의 대표 마찰경사
- $K$  = 통수능
- $Q$  = 유량

통수능은 Manning 식으로 다음 식 (4)와 같다.

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (4)$$

- 여기서,
- $K$  = 통수능
- $n$  = Manning계수
- $A$  = 유수단면적

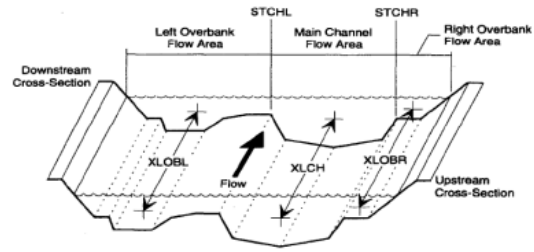


Fig. 3. River cross section.

- $R$  = 통수반경
- $S$  = 경사

Fig. 3은 하도단면에 관한 설명을 모식도로 나타내었으며, 한 단면에서 총 통수능은 좌측과 우측 홍수터에 그리고 주수로부에서 통수능의 합으로 얻어진다. 에너지 및 속도 보정계수 ( $a$ )는 다음 식 (5)로 구할 수 있다.

$$a = \left( \frac{A^2_T}{K^3_T} \right) \left( \frac{K^3_{LOB}}{A^2_{LOB}} + \frac{K^3_{CH}}{A^2_{CH}} + \frac{K^3_{ROB}}{A^2_{ROB}} \right) \quad (5)$$

- 여기서,
- $A$  = 에너지 및 속도 보정계수
- $K$  = 통수능
- $T$  = 전체 단면
- $LOB$  = 좌측 홍수터
- $CH$  = 수로
- $ROB$  = 우측 홍수터

### 3. 모형의 적용

#### 3.1. 자료 구축

본 연구의 대상구간은 수동천과 신천이 만나는 합류점부터 대전교와 신천하구까지 약 2.5 km 지점이며, 하천정비 전·후 단면을 적용하였다. 또한 국가수자원관리 종합시스템 (WAMIS)에서 제공하는 신천하천현황 자료를 활용하여 하천정비 후 단면을 추정하여 모델에 적용하였다.

수문자료는 2011년부터 2013년까지 기상청에서 제

공하는 강우자료를 이용하였다. 또한 신천시험유역에 위치한 청산수위관측소 등 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)자료를 기반으로 수위 및 유량 관측 자료를 구축하였다. 하지만 2011년 7월 27일~12월 14일에 발생한 집중호우로 인하여 청산수위관측소가 유실되었다. 이후 재설치 및 운용되고 있다.

신천유역은 한탄강 유역으로 합류되는 제2지류로서 확률홍수량은 재현기간 100년, 200년 빈도의 확률홍수량을 적용하였다. 재현기간별 확률홍수량 산정은 수자원 관리법개발연구소 보고서 제1권 한국확률 강우량도 작성(Ministry of Construction & Transportation, 2000)을 기반으로 사용하였다.

신천 시험유역 내 및 인근 기상관측소를 조사한 결과 특성파악에 적합한 기상관측소는 서울, 철원, 동두천관

측소 등 3개소가 운용되고 있다. 신천하천정비기본계획에서 제시한 각 관측소별 관측기간은 동두천관측소 11년, 서울관측소 102년, 철원관측소 21년으로 나타났다(Ministry of Construction & Transportation, 2011). 이 중 신천을 포함하는 동두천관측소의 강우자료를  $x^2$ -Test 및 K-S(Kolmogorov-Smirnov) Test를 통하여 검정을 실시하여 Extreme Type-I (Gumbel)을 본 연구에 적용하였으며, 식 (6)과 같이 나타내었다. Table 1~6은 1984년, 1998년, 2011년의 신천하천정비기본계획에 수록된 자료와 HEC-RAS 모델에 적용된 신천시험유역의 수문관측시설, 주요구조물, 하폭변경 등을 나타내었다.

유역 내 또는 인근의 우량관측소를 대상으로 양주(농촌진흥청), 연천(농촌진흥청), 포천(농촌진흥청), 의정부(국토부), 철원(기상청), 동두천(기상청) 등의 관측소가

**Table 1.** Sincheon measuring structure(Weather station)

Observatory	Type	Position			Altitude (EL.m)	Observation start (year)
		Nomination	Longitude	Latitude		
Dongducheon	T/M	16-47, Bangjuk-ro, Dongducheon-si, Gyeonggi-do, Korea (San 51-1, Saengyeon-Dong)	127-03	37-53	112.5	1998
Seoul	T/M	1, Jongno-gu Seoul Korea Seoul Weater station	126-58	37-34	85.5	1907
Cheorwon	T/M	964-2, Guntan-ri, Galmal-eup, Cheorwon-gun, Gangwon-do, Korea	127-18	38-08	154.9	1988

**Table 2.** Sincheon measuring Structure(Rainfall station)

Observatory	Type	Position			Altitude (EL.m)	Observation start (year)	Rainfall record (year)
		Nomination	Longitude	Latitude			
Dongducheon	T/M	16-47, Bangjuk-ro, Dongducheon-si, Gyeonggi-do, Korea (San 51-1, Saengyeon-Dong)	127-03	37-53	112.5	1998	1998 ~ Lately

**Table 3.** Sincheon measuring Structure Selection(Water level observatory)

Observatory	River	Type	Position			Altitude (EL.m)	Observation Start (year/month)	Ref.
			Administrative	Longitude	Latitude			
Cheongsan	Sincheon	T/M	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do, Korea	127-03	37-53	27.337	2008/11	Local Stream

**Table 4.** Sincheon measuring structure(Drainage clvert & Distributing pipe)

Structure	River	Administrative
Choseong 1Distributing pipe	Sincheon	Choseong-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do
Daejeon 1Distributing pipe	Sincheon	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do
Daejeon 1Distributing pipe	Sincheon	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do
Daejeon 2Drainage clvert	Sincheon	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do
Daejeon 2Drainage clvert	Sincheon	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do
Daejeon 3Drainage clvert	Sincheon	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do

**Table 5.** Sincheon major structure(Bridge)

Structure	River	Administrative	Full length (m)	Bridge breadth (m)	Construction period (year/month/day)	Order
Daejeon Bridge	Sincheon	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do	126	14	2005/03/09 ~ 2012/03/08	Gyeonggi-do Roads&Bridges Maintenance Office
Singi Bridge	Sincheon	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do	96	5.5	1992 (Completion)	Yeoncheon-gun County office
Sincheon Bridge	Sincheon	Daejeon-ri, Cheongsan-myeon, Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do	118	7.9	2011/10/14 ~ 2012/11/29	Gyeonggi-do Construction headquarters

있으며, 1984년, 1998년, 2011년의 신천하천정비기본 계획에 수록된 과거 기상자료와, 기상청에서 제공하는 신천시험유역의 동두천 기상관측소 2011년~2013년의 월 강우량과 동일기간의 국토부에서 제공하는 수문조사 연보 자료를 이용하여 모의구간 내 위치한 청산수위 관측소의 월 평균수위를 나타내었다.

Gumbel-chow 식 (6)과 같다.

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot \sigma \tag{6}$$

여기서,

$X_T$  = 확률수문변량

$\bar{X}$  = 평균치

$\sigma$  = 표준편차

$K_T$  = 조도계수

$T$  = 재현기간

### 3.2. 수치모형 입력자료 산정

#### 3.2.1. 지형자료

본 연구의 대상구간은 수동천과 신천이 만나는 합류점부터 대전교와 신천하구까지 약 2.5 km 지점이며, 각 단면특성은 Table 11과 같이 적용하였다. 신천하천정비 기본계획(Ministry of Construction & Transportation, 1984, 1998, 2011)에 제시된 자료 및 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)자료를 기반으로 하였다.

#### 3.2.2. 조도계수

조도계수(Roughness Coefficient)는 수로 내 흐르는 물에 대한 마찰저항을 나타내는 수리학적인 계수로서 일반적으로 Manning의 조도계수를 의미한다. 아래 Table 13 ~16은 신천하천정비기본계획(Ministry of Construction & Transportation, 1984, 1998, 2011)에 근거하여 자연

Table 6. Sincheon width Change(m)

Stream	Point (No)	1984(year)		1998(year)		2011(year)		Ref.
		Existing River	Plan River Width Change	Existing River	Plan River Width Change	Existing River	Plan River Width Change	
Sincheon	0	95.0	-	113	-	122	-	
	1	138	-	120	125	119	-	
	2	174	-	109	114	127	-	
	3	92	-	153	158	153	-	
	4	98	150	153	158	163	-	
	5	114	150	138	140	147	-	
	6	115	150	138	127	139	-	
	7	117	150	148	148	103	-	
	8	116	-	109	-	113	-	
	9	87	-	104	-	110	-	
	10	130	-	113	-	124	-	
	11	86.5	-	128	-	127	-	1984(year) (Sudongcheon Confluence)
	12	-	-	136	-	134	-	
	13	-	-	142	-	134	-	
	14	-	-	118	-	113	116	
	15	-	-	70	-	98	115	
	16	-	-	73	-	83	115	
	17	-	-	77	-	85	115	
	18	-	-	75	-	91	115	
	19	-	-	106	-	107	132	
20	-	-	175	-	172	193	1998/2011(year) (Sudongcheon Confluence)	

에서의 조도계수를 나타내었다. 일반적으로 첫째 하도상항 및 하도재료에 의한 추정 둘째 수위-유량자료를 이용한 추정, 셋째 홍수흔적을 조사하여 부등류 계산에 의해 추정한다. 또한 홍수흔적에 의한 값과 하상물질 구성재료와 하상상태 등을 고려하여 결정하였다. 조도계수는 하도의 종 횡단형상 변화 인위적인 하상굴착, 하천정비, 하상저하 및 상승과 사구의 발생 및 소멸, 유사량 등에 의한 하상변동으로 동일하천, 동일구간과 시기적, 경년적으로 변동되는 것으로서 정도가 높은 것을 얻기 위해서는 연속적인 관측과 검정이 필요하다(Ministry of Construction & Transportation, 1998).

### 3.2.3. 하도 구간경사

신천하천정비기본계획에서 제시된 자료를 이용하여 1998년, 2011년의 하도 구간경사를 비교해본 결과 Table 12와 같이 나타내었으며, 신천 하류부에서의 평면 변화는 거의 나타나지 않았다.

### 3.2.4. 수문자료

Table 9, 10은 기상청에서 제공하는 동두천기상자료를 나타낸 것이며, Table 7, 8은 국토부에서 제공하는 청산수위관측소지점의 2011년~2013년까지의 수위자료, 홍수량을 나타내었다. 또한 HEC-RAS 구축에 적용된 수문자료를 나타내었다.

**Table 7.** Sincheon flood Water level(m)

Stream	Frequency (year)	1984(year)		1998(year)		2011(year)		HEC-RAS Probable rainfall (Random time)
		Before Construction	After Construction	Before Construction	After Construction	Before Construction	After Construction	
Sincheon	100	33.89	33.89	33.02	33.02	33.89	33.89	33.9
	200	37.7	37.7	36.2	36.2	35.6	35.6	37.2

**Table 8.** Sincheon deasing flood discharge(m<sup>3</sup>/sec)

Stream	1984 (year)	Frequency (year)	1998 (year)	Frequency (year)	2011 (year)	Frequency (year)	HEC-RAS	Frequency (year)	Application of section
Sincheon	1,947	50	1,947	80	2,615	80	2,749	100	Mouth of Shincheon
							2,726	200	
	1,797	50	1,947	80	2,285	80	2,155	100	Sudongcheon Confluence
							2,306	200	

**Table 9.** Sincheon monthly total precipitation(mm)

Month	2011(year)	2012(year)	2013(year)
1	6.3	5.6	19.1
2	29.1	0.1	50.7
3	6.5	32.9	24.5
4	95.9	129.0	74.8
5	132.8	20.6	117.5
6	383.1	144.5	18.8
7	1,223.5	278.0	818.7
8	272.7	397.2	124.6
9	32.4	171.1	103.6
10	35.6	99.8	18.2
11	85.4	71.2	65.5
12	7.9	33.9	34.9

**Table 10.** Sincheon month average water level(m)

Month	2011(year)	2012(year)	2013(year)
1	0.86	0.84	1.56
2	0.86	0.84	1.49
3	0.85	1.07	1.47
4	0.85	1.32	1.47
5	1.00	1.20	1.50
6	1.07	1.35	1.48
7	1.59	1.59	1.83
8	-	1.75	1.29
9	-	2.00	1.18
10	-	1.89	1.07
11	-	1.64	1.06
12	0.87	1.69	1.06

**Table 11.** Comparison of properties for Sincheon major station

Stream	Major station	Basin area A(km <sup>2</sup> )	Rivers extended L(km)	Average width A/L(km)	Shape factor A/L <sup>2</sup>
Sincheon	Sincheon mouth (1984year)	344.10	38.80	8.87	0.23
	Sincheon mouth (1998year)	344.10	39.51	8.71	0.22
	Sincheon mouth (2011year)	344.10	38.80	7.58	0.23
	After Sudongcheon join (1984 year)	329.12	38.80	8.87	0.23
	After Sudongcheon join (1998year)	329.35	37.50	8.78	0.23
	After Sudongcheon join (2011year)	343.74	40.25	7.55	0.23

**Table 12.** Sincheon bed slope

Stream	Instrument Station	Section	Bed slope
Sincheon	No.0 ~ No.0+60	Sincheon mouth ~ Daejeoncheon confluence	1/70
	No.0+60 ~ No.20+10	Daejeoncheon confluence ~ Sudongcheon confluence	1/350
	No.20+10 ~ No.74+75	Sudongcheon confluence ~ Soyochon confluence	1/395

**Table 13.** Roughness factor in nature

River Conditions(Natural river)	Roughness factor range(n)
Small River Plains, No Scrub	0.025 ~ 0.033
Small River Plains, Weeds, Scrub	0.030 ~ 0.040
Small River Plains, Plenty Weeds, Semigravel ballast bad	0.040 ~ 0.055
Mountainous Catchment, Dornick	0.030 ~ 0.050
Mountainous Catchment, Dornick, Large Dornick	0.040 이상
Large River, Clay, Sandiness bad, Few Sandiness bad	0.018 ~ 0.035
Large River, Gravel bad	0.024 ~ 0.040

**Table 14.** Roughness factor (1984year)

Stream	Instrument station	Roughness factor (before/1984year)	Roughness factor (after/1984year)
Sincheon	No.0 ~ No.52	0.030 ~ 0.035	0.029 ~ 0.035



**Table 15.** Roughness factor (1998year)

Stream	Instrument station	Roughness factor
Sincheon	No.0 ~ No.8	0.028
	No.8 ~ No.62	0.027

**Table 16.** Roughness factor (2011year)

Stream	Instrument station	Roughness factor
Sincheon	No.0 ~ No.26	0.028

3.2.5. 경계조건

본 논문의 경계조건으로 상류단은 청산수위관측소 부근의 수동천과 신천이 합류점으로 선정하였으며, 하류단 경계조건으로는 한탄강과 신천의 합류점에 위치한 대전교 부근으로 선정하였다.

3.3. 유역면적, 유로연장, 유역평균 폭, 유역형상계수

신천 하천정비기본계획의 1984년, 1998년, 2011년 자료를 활용하여 유역면적, 유로연장, 유역평균 폭, 유역형상계수 등을 Table 11과 같이 비교하여 나타내었으며, 그 결과 1998년 신천하구지점의 유역면적은 변화가 없는 반면 유로연장은 1984년에 비해 1998년, 2011년은 0.71 L(km) 증가, 유역평균 폭은 1984년에 비해 1998년, 2011년에는 0.16 A/L(km) 감소, 유역형상계수는 1984년에 비해 1998년, 2011년에는 0.01 A/L<sup>2</sup> 감소하였다. 또한 수동천 합류 후 지점은 1984년에 비해 1998년, 2011년에는 0.23 A(km) 증가, 유로연장은 1984년에 비해 1998년, 2011년에는 0.30 L(km) 감소, 1984년에 비해 1998년, 2011년에는 유역평균 폭은 0.09 A/L(km) 감소하였으며, 유역형상계수는 변화가 없었다. 따라서 수동천 합류 후 유역면적은 증가된 반면 유로연장과 유역평균 폭은 감소하는 것으로 나타났다. 2011년 이후 신천 유역의 유역면적은 이전 정비사업과 큰 변화가 없었으나 유로연장이 길어지는 특성이 나타났다. 이것은 통수단면과 여유고 및 제정폭 등이 부족하여 축제(하도확폭) 및 유로연장을 함으로서 이를 보완하고자 하는 것으로 판단된다.

3.4. 홍수재해 관리

국가하천의 경우는 홍수 피해를 막기 위해 Table 17

과 같이 100년 및 200년의 재현기간을 기준으로 홍수 위험에 대한 하천정비를 실시하고 있다(Oh, 2003). 또한 Table 18은 수공 구조물에 따른 재현기간을 나타내었다.

**Table 17.** Rivers classification and recurrence interval of the bank

Rivers classification	Recurrence interval (year)
Rivers of state	100~200
Local river level 1	80~100
Local river level 2	50
Small river	30~50

**Table 18.** Bridge and recurrence interval of the bank

Structure	Recurrence interval (year)
Large Bridge	100
Small Bridge	50
River bank	2~50

3.5. HEC-RAS 구축

Fig. 4는 연구대상지역인 신천시험유역의 HEC-RAS 모의를 위한 단면 입력절차 및 빈도별 모의 결과이다.

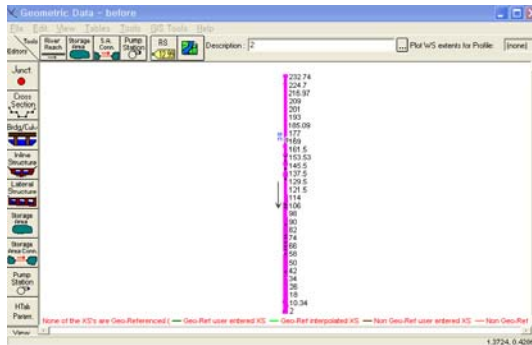
4. 모의 결과 및 고찰

4.1. 빈도별 홍수량 수위변화

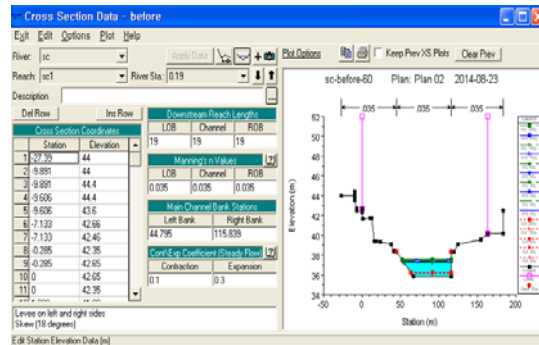
Fig. 5는 빈도별 홍수량에 따른 수위변화를 모의한 결과이다. 홍수범람 강우지속기간을 1시간 기준으로 분석한 결과 대전교의 하류에서의 수위변화는 100년, 200년 빈도 시 각각 0.590 m, 0.570 m 로 모두 증가, 신기교 하류는 각각 0.450 m, 0.500 m 증가하였으며, 신천교 하류는 각각 0.260 m, 0.230 m로 증가하였다.

강우지속기간 6시간 기준으로 모의한 결과 하천정비 전에 비해 대전교의 하류에서의 수위변화는 100년, 200년 빈도 시 각각 0.590 m, 0.580 m 증가하였고, 신기교 하류는 각각 0.440 m, 0.460 m 증가하였으며, 신천교 하류는 각각 0.260 m, 0.250 m 로 증가하였다.

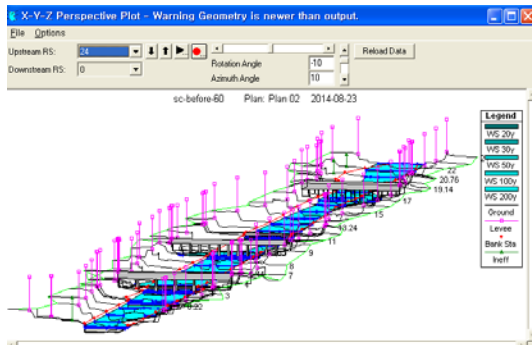
강우지속기간 12시간 기준으로 모의한 결과 하천정비 전에 비해 대전교의 하류에서의 수위변화는 100년, 200년 빈도 시 각각 0.600 m, 0.600 m 증가하였고, 신기교



(a) HEC-RAS diagram.



(b) HEC-RAS Input section.



(c) 3-D Perspective.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Ch W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m²)	Top Width (m)	Froude # Ch
sc1	5	100y	40.10	38.22	38.94	38.75	39.02	0.005139	1.28	31.40	63.57	0.58
sc1	4	100y	40.10	37.52	38.41	38.19	38.51	0.005103	1.35	29.81	54.11	0.58
sc1	3.77	100y	40.10	37.52	38.40	37.84	38.42	0.00645	0.65	61.34	70.00	0.22
sc1	3.762											
sc1	3.73	100y	40.10	36.61	38.15	36.93	38.16	0.000101	0.37	107.86	70.00	0.10
sc1	3	100y	40.10	36.30	37.96	37.31	38.03	0.003261	1.19	33.81	51.97	0.47
sc1	2	100y	40.10	36.13	37.70	37.18	37.77	0.001943	1.12	35.68	40.54	0.38
sc1	1	100y	40.10	36.02	37.55	36.95	37.60	0.001363	1.03	38.00	36.90	0.32
sc1	0.22	100y	40.10	36.02	37.52	36.42	37.53	0.000195	0.48	84.37	63.33	0.13
sc1	0.215											
sc1	0.19	100y	40.10	35.63	37.47	36.23	37.48	0.000147	0.44	91.93	63.42	0.12
sc1	0	100y	40.10	35.36	37.44	36.58	37.47	0.000800	0.69	57.36	57.45	0.22

(d) Encroachment output Table.

Fig. 4. Construction of HEC-RAS.

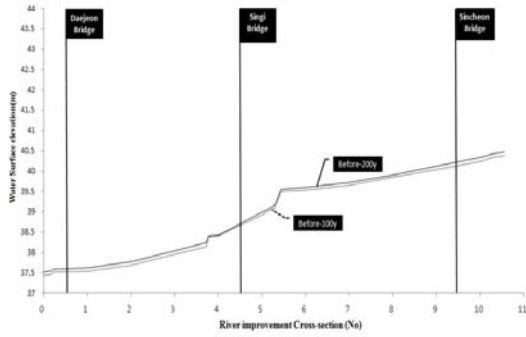
하류는 각각 0.410 m, 0.420 m 증가하였으며, 신천교 하류는 각각 0.300 m, 0.300 m 증가하는 것으로 나타났다.

이와 같이 빈도에 따른 수위증가의 원인은 하천정비 개수계획 시 하천을 정형화하고 직선화함에 따른 것으로 대전교 상류(No.1)부터 신기교 하류(No.7) 구간은 하폭이 100 m 이상으로 증대된 반면에, 대전교 (No.0+32) 및 신기교 (No.7+44) 부근은 하폭이 100 m 미만으로 좁아지게 됨에 따라 수위가 상승하는 것으로 결과를 얻었다. 또한 강우지속기간 12시간 일 때의 대전교 및 신기교 하류의 100년, 200년 빈도에 대한 분석결과 수위가 동일하게 모의되었는데 이는 대전교의 경우는 구대전교(No. 0+17)가 철거되고 하류부에 있는 잠수교하부 구조가 유입구와 유출구의 통수능이 일정한 사각형의 암거형태이어서 동일한 결과를 나타내었으며, 신천교 하류 (No.8 ~ No.17까지)의 경우는 주수로 하폭이 넓은 홍수터로 물이 흐르면서 충분한 통수능이 확보됨에 따라 안정화된

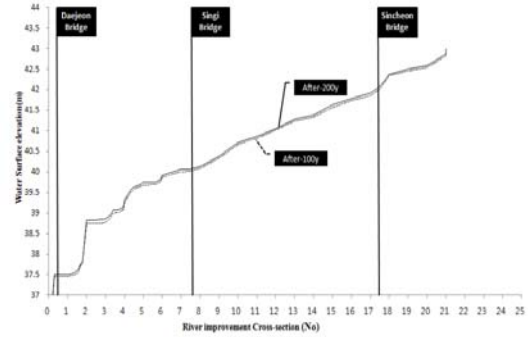
흐름이 나타난 것으로 판단된다. 대전교 계획홍수위는 33.31 m, 현 하폭 90 m, 신기교 계획홍수위는 33.82 m, 현 하폭 95 m, 신천교 계획홍수위 34.56 m, 현 하폭 85 m로 신천유역 내 평균하폭이 100 m를 넘는 것에 비교하면 각 구간의 하폭은 다소 좁은 것으로 나타났다. 또한 자연하천에서는 다양한 규모의 지류가 유입되고, 하천과 홍수터의 단면형이 변하며, 하상재료가 변함에 따라 마찰저항도 변한다. 홍수의 상승시에는 주수로에서 주변 홍수터로 물이 잠기게 되어 흐름변화가 일어나며, 반대로 홍수 하강시에는 홍수터에서 주수로로 물이 유입되어 흐름 변화를 가져온다(Woo, 2007).

4.2. 빈도별 홍수량 유속변화

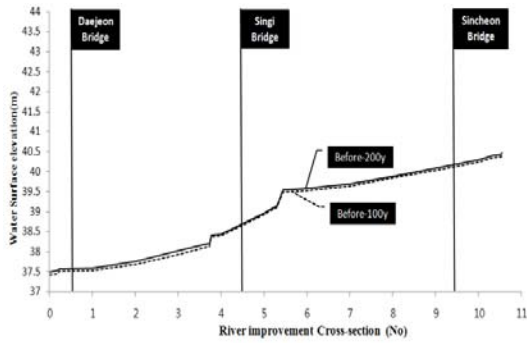
Fig. 6은 빈도별 홍수량에 따른 유속변화를 모의한 결과이다. 강우지속기간 1시간 기준으로 분석한 결과 대전교 하류의 유속변화는 100년, 200년 빈도 시 각각 0.550



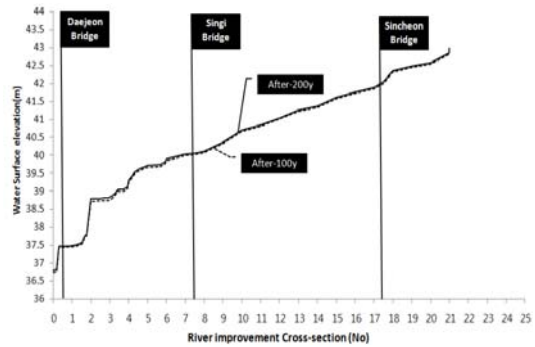
(a) 1hr Water level fluctuation (before).



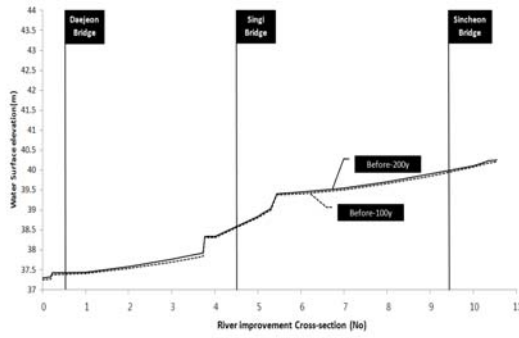
(b) 1hr Water level fluctuation (after).



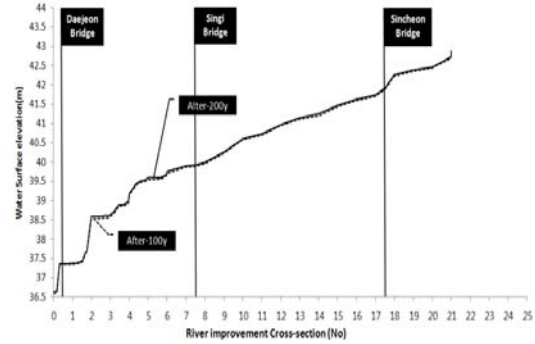
(c) 6hr Water level fluctuation (before).



(d) 6hr Water level fluctuation (after).



(e) 12hr Water level fluctuation (before).



(f) 12hr Water level fluctuation (after).

Fig. 5. Water level fluctuation (before/after).

m/sec, 0.540 m/sec로 증가하였고, 신기교 하류는 100년 빈도시 0.130 m/sec 증가한 반면에 200년 빈도에서는 오히려 -0.340 m/sec 감소한 결과를 나타냈다. 신천교 하류는 각각 0.210 m/sec, 0.270 m/sec로 증가하였다.

강우지속기간 6시간 기준으로 분석한 결과 대전교 하류의 유속변화는 100년, 200년 빈도 시 각각 0.520 m/sec, 0.540 m/sec 증가하였고, 신기교 하류의 경우는 각각 -0.190 m/sec, -0.260 m/sec 감소하였으며, 신천교 하류는 각각 0.220 m/sec, 0.270 m/sec로 증가하였다.

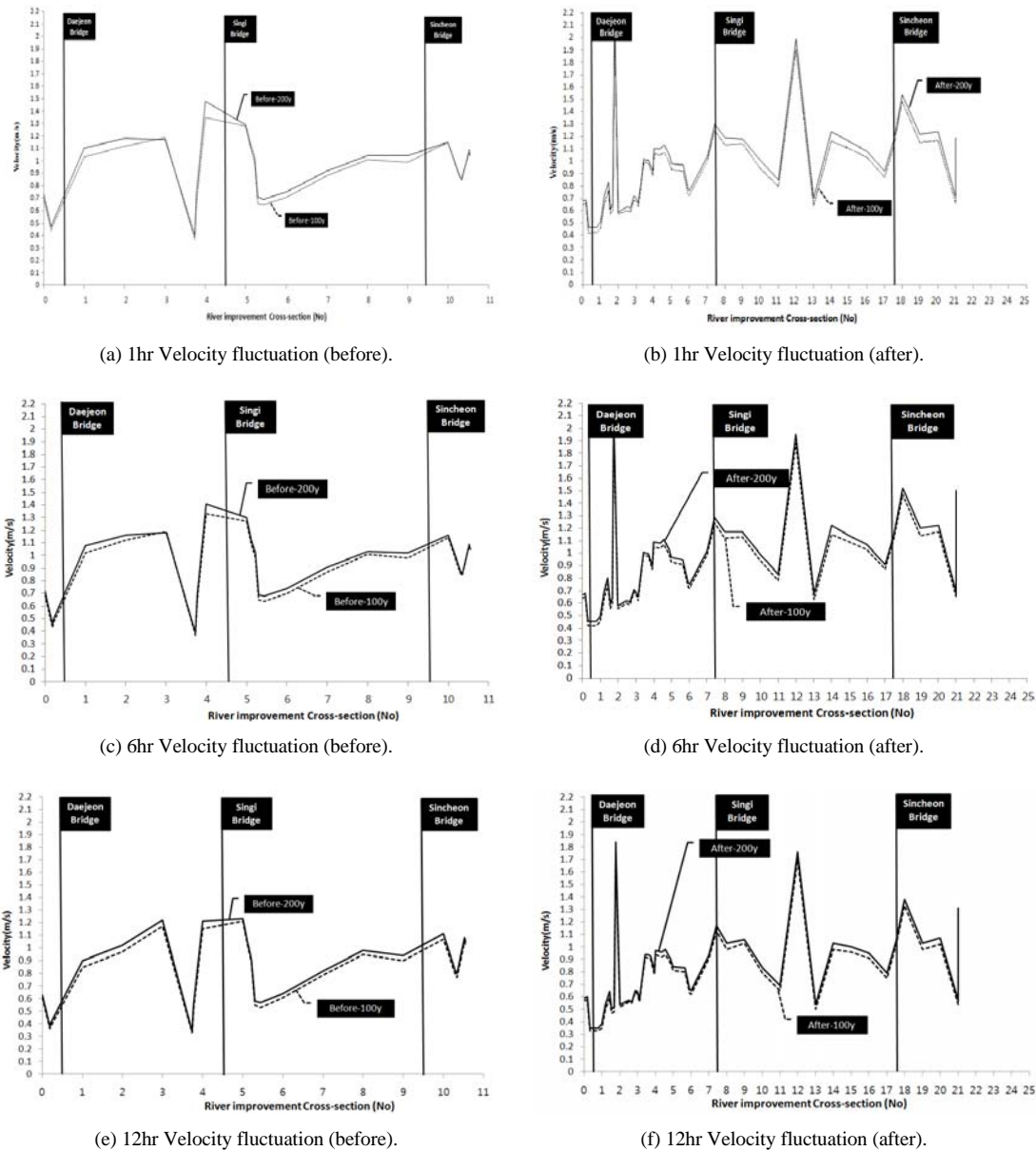


Fig. 6. Velocity fluctuation (before/after).

강우지속기간 12시간 기준으로 분석한 결과 대전교 하류의 유속변화는 100년, 200년 빈도 시 각각 0.460 m/sec, 0.480 m/sec로 증가하였고, 신기교 하류는 각각 -0.100 m/sec, -0.080 m/sec 감소, 신천교 하류는 각각 0.130 m/sec, 0.120 m/sec로 증가하였다. 유속변화의

요인으로 모의 구간 내 주수로 단면이 축소됨에 따라 대전교 및 신천교는 유속이 증가되는 것으로 모의되었으며, 신기교의 유속 감소 원인은 유속을 지배하는 면적이 확대된 홍수터의 영향과 신기교 상류부에 위치한 대전1배수암거 및 대전1배수통관이 설치되어있어 홍수시 배수

의 유입으로 인한 유속의 감소 원인으로 판단된다. 개수 전 대전교 부근 No.0 구간은 하폭이 113 m에서 개수 후 112 m로 1 m 축소, No.0+17 구간은 72 m에서 개수 후 No.0+18 구간은 110 m로 38 m 확대, No.0+32 구간은 개수 전 90 m에서 No.0+33 구간은 117 m로 27 m 확대, No.1 구간은 개수 전 120 m에서 개수 후 119 m로 1 m 축소되었다. 신기교 부근 No.7 구간은 개수 전 114 m에서 개수 후 103 m로 11 m 축소, No.7+44 구간은 개수 전 95 m에서 개수 후 No.7+46구간 96 m로 1 m 확대, No.8 구간은 개수 전 109 m에서 개수 후 No.8 구간 113 m로 4 m 확대 되었다. 신천교 부근 No.17 구간은 개수 전 77 m에서 개수 후 No.17 구간 85 m로 8 m 확대되었다. No.17+62 구간은 개수 전 85 m에서 개수 후 No.17+64 구간은 93 m로 8 m 확대, No.18 구간은 개수 전 75 m에서 개수 후 No.18 구간 91 m로 16 m 확대되었다. 이와 같이 단면의 축소 및 확대가 비교적 급히 이루어지는 경우 그에 따른 에너지 손실을 무시할 수 없으며, 확대구간의 경우 흐름은 천이 단면에서 분리되어 하류로 분류되고 천이 단면에서 분리된 흐름과 경계면 사이에는 와류가 형성된다(Woo, 2007). 또한 대전교와 신천교에서의 유속이 증가하는 것으로 모의 되었는데 개수 전 No.0~No.52 구간에는 0.03~0.035를 나타낸 반면 개수 후 동일 구간의 조도계수는 0.028~0.027로 조도계수가 감소된 원인으로 판단되며, 유속은 증가되었다.

저수지 유입부, 저류 유입부, 하도 협착물 등에서는 더욱 홍수파가 발생된다. 그러나 홍수터를 넘은 홍수류가 계곡의 큰 저류 공간을 찾은 경우 또는 저수지로 유입하

는 경우 상류에서 전파된 홍수파는 저류 현상 자체에 의해 파형이 변하며, 파고가 줄어든다. 이 경우 유속은 극단적으로 작아지고 바닥 마찰은 사실상 큰 기여를 할 수 없으며, 이에 따라 운동량은 소멸하고 흐름은 연속방정식에 의해 지배를 받는다(Woo, 2007). 신천시험유역의 연구대상구간에는 지류인 대전천이 신천으로 합류되고 대전1, 2배수암거와 대전1, 2, 3배수통관이 설치되어 신천 본류로 유입 시 유속이 감소하는 원인으로 사료된다.

### 4.3. 범람모의

신천시험유역의 홍수범람 모의는 Fig. 7 및 Fig. 8과 같다. (a)에서는 하천정비 전 제방이 수면곡선을 넘지 않는 것으로 나타났다. 반면 그림 (b)에서는 하천정비 후의 신천 종단면도에서와 같이 신천 하구로부터 744 m 지점인 신기교 부근에서 제방과 수면곡선이 가까이 모의되었다. 이 구간은 하천선형이 다소 불규칙하고 하천개수가 아직 끝나지 않은 구간이다. 또한 신기교가 위치하는 구간으로서 No.7 구간은 개수 전 114 m에서 개수 후 103 m로 11 m 축소, No.7+44 구간은 개수 전 95 m에서 개수 후 No.7+46구간 96 m로 1 m 확대, No.8구간은 개수 전 109 m에서 개수 후 No.8 구간 113 m로 4 m 확대 되었는데 이러한 단면의 축소 및 확대는 불규칙한 수위변화의 요인으로 나타났으며, 또한 신기교 교각으로 인한 유수소통에 영향을 주어 수면곡선이 가까이 모의된 것으로 나타났다. 하천정비가 종료된 후 복구가 이루어지는 것을 고려한다면 모의구간의 수면곡선은 안정화될 것으로 판단된다. 신기교 부근 제방의 여유고는 좌안 0.93 m, 우

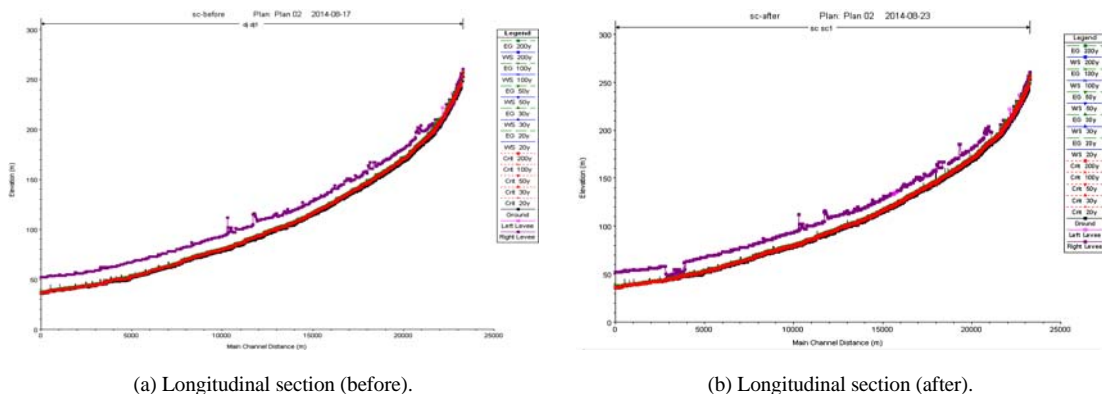


Fig. 7. Sincheon longitudinal section (before/after).



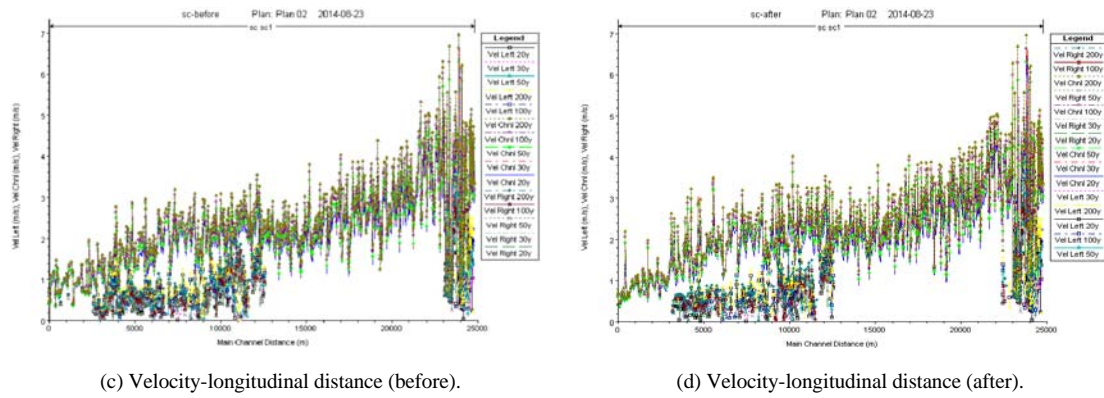


Fig. 8. Sincheon velocity-longitudinal distance (before/after).

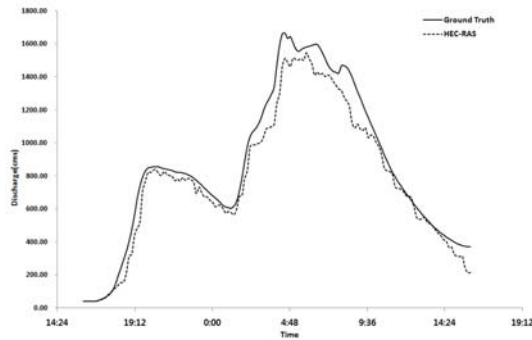


Fig. 9. Sincheon average flow rate time.

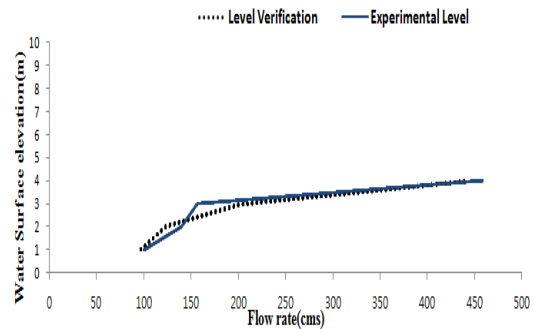


Fig. 10. Sincheon rating curve verification.

안 0.84 m로서 하천설계기준의 여유고 0.6 m이상 보다 높게 설계되어 있으며, 홍수시 제방은 안정된 것으로 모 의되었다.

4.4. 수위-유량곡선의 검증

신천 시험유역의 HEC-RAS 모형 적용에 따른 모의 결과를 검증하기 위해 청산수위관측소의 관측자료와 HEC-RAS 모의 결과를 Fig. 9에 나타내었으며, 수위값의 오차율을 분석하였다. 검증 방법은 오차율을 계산하였으며, 모의 구간 내 신천 시험유역에서는 청산 수위관측소가 위치한다. 신천 시험유역에 위치한 청산수위포에서 관측된 한강 홍수통제소에서 개발된 수위-유량곡선식과 HEC-RAS 모형을 통하여 산출된 결과 값을 Fig. 10과 같이 나타냈다. 모의결과 결정계수는 0.4709, 오차율 1~3%로 분석되었다.

5. 결론

본 연구는 신천 시험유역을 대상으로 HEC-RAS 모형을 통해 빈도별 수위변화, 유속변화, 범람가능성 등 하천 제방의 제원을 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

○ 신천 시험유역 내 빈도별 홍수량 수위변화는 하천 정비 전에 비해 대전교, 신기교 및 신천교 모두 증가하는 것으로 나타났다. 수위증가의 원인은 하천정비 개수 계획 시 하천을 정형화하고 직선화함에 따라 대전교 상류(No.1)부터 신기교 하류(No.7) 구간은 하폭이 100 m 이상으로 증가된 반면에, 대전교(No.0+32) 및 신기교(No.7+44) 부근은 하폭이 100 m 미만으로 좁아지게 되어 수위가 상승한 것으로 판단되었다. 또한 강우시간 12 hr 일 때의 대전교 및 신기교 하류의 100년, 200년 빈도에 대한 분석결과 수위가 동일하게 모의되었는데 이는 대전교의 경우는 (구)대전교(No.0+17)가 제거되고 하류

부에 있는 잠수교하부 구조가 유입구와 유출구의 통수능이 일정한 사각형의 암거형태이어서 동일한 결과가 나타났다. 신천교 하류 (No.8에서 No.17까지)의 경우는 주수로 하폭이 넓은 홍수터로 흐르면서 충분한 통수능이 확보됨에 따른 안정화된 흐름의 영향으로 판단되었다.

○ 대전교 및 신천교 부근 유속은 증가된 반면 신기교 부근에서는 감소하는 것으로 모의되었다. 유속변화의 요인으로 모의 구간 내 주수로 단배가 축소됨에 따라 대전교 및 신천교는 유속이 증가되는 것으로 모의되었으며, 조도계수의 영향 또한 기인한 것으로 나타났다. 신기교의 유속 감소 원인은 유속을 지배하는 면적이 확대된 홍수터의 영향과 신기교 상류부에 위치한 대전1배수암거 및 대전1배수통관이 설치로 인한 홍수시 배수의 유입으로 인한 유속의 감소 원인으로 판단된다. 또한 개수전 No.0~No.52 구간의 조도계수는 0.030~0.035를 나타낸 반면 개수 후 동일 구간의 조도계수는 0.028~0.027로 나타났다.

○ 신천 종단면도에서와 같이 신천 하구로부터 744 m 지점인 신기교 부근에서 제방과 수면곡선이 가까이 모의되었다. 이 구간은 하천선형이 다소 불규칙하고 하천개수가 아직 끝나지 않은 구간이다. 또한 신기교가 위치하는 구간으로서 No.7 구간은 개수전 114 m에서 개수후 103 m로 11 m 축소, No.7+44 구간은 개수전 95 m에서 개수후 No.7+46구간 96 m로 1 m 확대, No.8구간은 개수전 109 m에서 개수후 No.8 구간 113 m로 4 m 확대되었는데 이러한 단면의 축소 및 확대는 불규칙한 수위변화의 요인으로 나타났으며, 또한 신기교 교각으로 인한 유수소통에 영향을 주어 수면곡선이 가까이 모의된 것으로 나타났다. 하천정비가 종료된 후 복구가 이루어지는 것을 고려한다면 모의구간의 수면곡선은 안정화될 것으로 판단된다. 신기교 부근 제방의 여유고는 좌안 0.93 m, 우안 0.84 m로서 하천설계기준의 여유고 0.6 m 이상 보다 높게 설계되어 있으며, 홍수시 제방은 안정된 것으로 모의되었다.

○ 신천 시험유역 내 HEC-RAS 모형을 통하여 계산된 수위의 결과와 한강홍수통제소에서 개발한 수위-유량 곡선식과 비교한 결과 결정계수는 0.4709, 오차율은 1~3%로 나타났다.

## REFERENCES

- Han, K. Y., 2004, Theory and practical application of HEC-RAS, Korea Water Resource Association, Korea Water Resource Association Water Engineering Workshop, 205-377.
- Han River total pollutant management research reports, 2012.
- Hicks, F. E., Peacock, T., 2005, Suitability of HEC-RAS for flood forecasting, Canadian Water Resources Journal/Revue Canadienne des Ressources Hydriques, 30(2), 159-174.
- Jung, W. Y., Yang, S. K., Kim, D. S., 2014, Flood discharge to decision of parameters in Han Stream watershed, Journal of Environmental Science International, 23(4), 533-541.
- Kang, H. S., Kim, S. E., Hong, H. J., 2011, Numerical investigations of flood, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 11(6), 217-226.
- Kim, B. C., Lee, J. S., 2009, Evaluation of river flood stability after river restoration, Journal of Korea Contents Association, 9(10), 417-426.
- Kim, J. Y., Lee, J. K., Ahn, J. S., 2010, Optimization for roughness of river in Korea - review of application and Han River project water elevation, Journal of the Korean Society of Civil Engineers B, 30(6).
- Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr>.
- Lee, S. J., Shin, H. H., Kim, J. C., Hwang, M. H., 2010, Flood characteristics at Nakdong estuary with 1 dimensional unsteady model, Journal of The Korean Environmental Sciences Society, 19(2), 149-155.
- Lee, W. H., 1997, River Engineering. Dongmyung sa.
- Ministry of Construction & Transportation, 1984, Basic plan for Sincheon River Maintenance.
- Ministry of Construction & Transportation, 1998, Basic plan for Sincheon River Maintenance.
- Ministry of Construction & Transportation, 2000, Water management techniques developed research report 1, South Korea probability rainfall.
- Ministry of Construction & Transportation, 2011, Basic plan for Sincheon River Maintenance.
- Oh, S. J., 2003, A study about the flood overflow simulation through the HEC-RAS, Master thesis,

- Jeon-nam, Chonnam University.
- USACE-HEC. HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 3.0 : USACE-HEC, 2001.
- USACE-HEC. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 3.0 : USACE-HEC, 2001.
- USACE-HEC. HEC-RAS River Analysis System Application Guide Version 3.0 :USACE-HEC, 2001.
- Water Resources management information system, <http://www.wamis.go.kr>.
- Woo, H. S., 2007, River hydraulics, Chungmun gak, 329.
- Yang, S. C., Yang, S. K., Lee, J. H., Jung, W. Y., Ko, K. H., 2015, Flood discharge analysis on land use changes in Han Stream, Journal of Environmental Science International, 24(4), 425-435.