creative commons
COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

碩士學位論文

제주도 한천의 홍수유출 흐름해석

濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

梁 元 碩

2013 年 2 月

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주도 한천의
홍수유출 흐름해석

指導敎授 楊 城 基

梁 元 碩

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2013 年 2 月

梁元碩의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2013 年 2 月

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Stream Flow Analysis of Han Stream, Jeju Island on Flood Runoff

Won-Seok Yang

(Supervised by Professor Sung-Kee Yang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering

2013. 2.

This thesis has been examined and approved.

Department of construction & Environmental Engineering

GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

목 차 ····· i

표 목 차 ····· iii

그 림 목 차 ····· iv

Summary ····· vi

Ⅰ. 서론 ····· 1

1. 연구의 배경 ····· 1

2. 연구의 목적 ····· 3

Ⅱ. 연구대상 지역 및 연구방법 ····· 4

1. 연구대상 지역의 선정 ····· 4

2. 연구대상 지역의 현황 ····· 7

2.1 하상 경사 현황 ····· 8

2.2 평균고도 및 평균경사 ····· 10

3. 연구의 방법 ····· 12

Ⅲ. 모형의 이론적 배경 ····· 14

1. HEC-RAS 모형의 기본이론 ····· 14

2. HEC-GeoRAS 모형의 기본이론 ····· 19

3. SMS-RMA2 모형의 기본이론 ····· 22

3.1 유한요소망의 구성 ····· 24

3.2 경계조건 및 초기조건 ····· 24

Ⅳ. 하천의 흐름해석을 위한 입력자료 구축 ····· 26

1. 하천단면의 결정 ····· 26

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 매개변수와 경계조건의 설정 ····· 29
2.1 매개변수의 결정 ····· 29
2.2 경계조건의 설정 ····· 30
3. 하천경계선의 설정 ····· 39

Ⅴ. 하천 흐름해석 모형의 결과와 비교 ····· 43
1. HEC-RAS와 HEC-GeoRAS 모형의 결과와 비교 ····· 43
2. SMS-RMA2 모형의 결과 ····· 50
2.1 1차원해석 모형과 SMS-RMA2 모형의 결과와 비교 ····· 50
2.2 현장관측 자료의 SMS-RMA2 적용 결과 ····· 55

Ⅴ. 결론 및 제언 ····· 60

참고문헌 ····· 62

감사의 글 ····· 64

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 목 차

Table Ⅱ-1. Status of the flow-form on stream in Jeju island ····· 5
Table Ⅱ-2. Status of the drainage system ····· 7
Table Ⅱ-3. General characteristics of the basin ····· 7
Table Ⅱ-4. The mean altitude and slope of the basin ····· 11
Table Ⅳ-1. Eddy-viscosity of the stream condition ····· 29
Table Ⅳ-2. Boundary conditions of the frequency-year ····· 30
Table Ⅳ-3. Result of velocity observed by Electromagnetic Surface Current Meter ····· 32
Table Ⅳ-4. Result of runoff observed by Electromagnetic Surface Current Meter ····· 34
Table Ⅳ-5. Result of observations using Kalesto ····· 37
Table Ⅴ-1. Analysis of HEC-RAS and HEC-GeoRAS ····· 45
Table Ⅴ-2. Comparison of 1 dimension flow analysis ····· 48
Table Ⅴ-3. Distinction of flow area at section-bridge ····· 48
Table Ⅴ-4. Analysis of SMS-RMA2 ····· 51
Table Ⅴ-5. Comparison of 1 dimension and 2 dimension flow analysis ····· 54
Table Ⅴ-6. Analysis of SMS-RMA2 using observations ····· 56
Table Ⅴ-7. Result of SMS-RMA2 using observations ····· 59

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그 림 목 차

Fig. Ⅱ-1. Area for the study ····· 6
Fig. Ⅱ-2. Bed slope using lever of deepest bed ····· 9
Fig. Ⅱ-3. Flow chart of stream flow analysis ····· 13
Fig. Ⅲ-1. Theory of computation method of water surface profiles ····· 14
Fig. Ⅲ-2. Flow chart of HEC-GeoRAS model ····· 21
Fig. Ⅳ-1. Representation cross-section of basic plan for river maintenance ····· 26
Fig. Ⅳ-2. Analysis of TIN(Trianulated Irregular Network) ····· 27
Fig. Ⅳ-3. Regeneration of cross-section using TIN ····· 28
Fig. Ⅳ-4. Observed section in DongSan second bridge ····· 31
Fig. Ⅳ-5. Velocity and runoff observed by Electromagnetic Surface Current Meter ····· 36
Fig. Ⅳ-6. Weter depth and runoff observed by Kalesto ····· 38
Fig. Ⅳ-7. Analysis of water depth and inundation area(frequency-30yr) ····· 40
Fig. Ⅳ-8. Analysis of water depth and inundation area(frequency-50yr) ····· 40
Fig. Ⅳ-9. Analysis of water depth and inundation area(frequency-80yr) ····· 41
Fig. Ⅳ-10. Analysis of water depth and inundation area(frequency-100yr) ···· 41
Fig. Ⅳ-11. Analysis of water depth and inundation area(frequency-200yr) ···· 42
Fig. Ⅳ-12. Analysis of water depth and inundation area(typhoon-Muifa) ····· 42
Fig. Ⅴ-1. Comparison of the stream linear using HEC-RAS(left) and HEC-GeoRAS(right) ····· 44
Fig. Ⅴ-2. Comparison of the stream cross-section using HEC-RAS(up) and HEC-GeoRAS(down) ····· 44
Fig. Ⅴ-3. Analysis of water surface elevation by section(between HEC-RAS and HEC-GeoRAS) ····· 47

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. Ⅴ-4. Analysis of water surface velocity by section(between HEC-RAS and HEC-GeoRAS)····· 47
Fig. Ⅴ-5. Distinction of flow area at section-bridge NO.79 using HEC-RAS(up) and HEC-GeoRAS(down)····· 49
Fig. Ⅴ-6. Analysis of water surface elevation by section(between HEC-GeoRAS and SMS-RMA2)····· 53
Fig. Ⅴ-7. Analysis of water surface velocity by section(between HEC-GeoRAS and SMS-RMA2)····· 53
Fig. Ⅴ-8. Result map of SMS-RMA2 analysis····· 54
Fig. Ⅴ-9. Analysis of SMS-RMA2 water surface elevation using observations ····· 58
Fig. Ⅴ-10. Analysis of SMS-RMA2 water surface velocity using observations ····· 58
Fig. Ⅴ-11. Result map of SMS-RMA2 analysis using observations····· 59

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Summary

As for the dry streams in Jeju island, there are virtually no researches on the analysis of 2 dimensional flow of stream, and the 1 analysis executed by river maintenance basic plan was the only on in practice. In addition, dry streams in island areas tend to show the characteristics of mountain stream and abrupt flood runoff, so they require field observation suitable for flood runoff characteristics, establishment of data and analysis of flow utilizing it.

In this study, the water surface elevation and water velocity upon flood runoff were observed on Han stream a dry stream of Jeju island, and after the water surface elevation and water velocity at the cross-section used at establishment of river maintenance basic plan and those at the cross-section of actual terrain were compared with the use of HEC-RAS and the HEC-GeoRAS based GIS, the 1 dimensional analysis model, the lateral hydraulic characteristics and curved channel of stream were analyzed by applying SMS-RMA2 a 2 dimensional model.

The results of analysis using HEC-RAS model and HEC-GeoRAS model indicated that the distribution ranges of water surface elevation and water velocity were similar, but the water surface elevation by section showed difference of 0.7～2.18 EL.m and 0.88～1.16 EL.m respectively, and water velocity also showed differences of maximum 1.58m/sec and 2.67m/sec. SMS-RMA2 analysis was done with the sphere of Muifa the typhoon as boundary condition, and as a result, water velocity distribution was found to be 1.440 through 3.626 m/sec, and the difference of lateral water velocity in No. 53 and 61 the curved channel of stream was analyzed to be 1.222 and 1.181 m/sec.

In conclusion it is anticipated that the flow analysis of 2 dimension model of stream can reflect the hydraulic characteristics by the stream curved channel or width and shape, and can be applied effectively in the establishment of river maintenance basic plan or management and designing of stream.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경

최근의 이상기상 현상은 국지적 집중형의 호우나 초대형 태풍을 발생시켜 하천 범람과 침수 등으로 인한 막대한 피해를 입히고 있다. 이러한 재해를 방지하기 위하여 하천정비기본계획은 하천의 통수단면과 유로의 안정성 확보를 위한 기본 홍수량 및 홍수위를 설정하여 홍수로 인한 피해를 저감시키며, 교량 및 배수로 등의 수공 구조물의 설계나 하천관리 계획을 위한 홍수위와 유속의 흐름해석을 수행하고 있다.

자연하천 및 인공수로의 흐름해석은 정류에 대한 1차원 해석모형인 HEC-RAS를 주로 사용하고 있으며 측량자료에 의한 단면해석에 국한되고 있다. 하천흐름의 1차원 해석은 하천 단면에 따른 횡적인 유속분포를 해석할 수 없으며, 하천의 만곡부나 합류부에서의 흐름을 해석하기 어렵다. 또한 홍수유출시 흐름은 부정류이므로 하상 및 홍수터의 변화로 인한 흐름해석에 오차가 발생할 수도 있어, 2차원 또는 3차원 해석이 필요하다(안 등, 2008, 2012).

홍수유출에 대한 2차원 흐름 해석에서는 지형자료를 쉽게 적용하여 실제 지형에 적합한 유한요소망을 구축할 수 있으며 각 절점에 대한 수위와 2차원 유속벡터를 계산하여 하천 횡방향의 흐름 분포를 파악할 수 있다. 또한 시간에 따른 모의뿐 아니라 조도계수, 난류교환계수, 격자크기, Coriolis 힘, 등 1차원 모형보다 많은 매개변수를 이용하여 다양한 수리학적 검토와 분석이 가능하다(황 등, 2009). 용 등(2003)은 하천에서의 1차원 및 2차원 모형의 결과를 비교하고 격자크기와 조도계수, 난류확산계수에 대한 매개변수 변화를 검토하였으며 황 등(2009)은 지형학적인 단면 변화에 따른 흐름의 변화를 고려하여 계획홍수량을 검증하였다. 안 등(2011)은 SMS-RMA2 모형을 이용하여 만곡부에 대한 적용성을 검토하고 각 만곡부의 유속·편수위를 포함한 수리학적 분석과 유량사상별 만곡

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

부의 특성에 대한 검토를 실시하였다. 또한, 서 등(2011)은 RAM2 와 RMA2 수치모형을 사용하여 홍수시 흐름특성을 분석하고 모의결과를 항공사진을 이용한 영상분석을 통해 모형을 검증하였다.

하천의 흐름해석에 대한 많은 연구에도 불구하고 제주도와 같은 도서지역의 건천에서는 이 같은 연구가 거의 없으며 하천정비기본계획에서 수행된 1차원 해석이 유일한 실정이다. 따라서 하천의 경사가 급하고 만곡이 심한 산지형 하천으로, 평상시는 건천의 형태를 보이지만 집중호우시는 돌발성 홍수유출이 발생하고 있는 제주도의 하천 유출특성에 적합한 현장관측의 실시와 데이터의 구축 및 이를 활용한 흐름의 해석이 필요한 실정이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 연구의 목적

일반적으로 유역의 홍수와 갈수피해를 경감시키고, 유수와 유로의 이용도를 향상시키며, 유역의 수자원개발 및 이용을 위해서는 각종 하천관련 자료들을 참고하여 하천의 자연, 사회, 문화, 경제적 조건을 종합적으로 고려하는 유역 및 하천정비사업계획 수립이 필요하다(경기도 건설교통국, 2004). 또한, 유역전체에 대한 체계적이며 효율적인 종합계획 수립을 위해서는 충분한 사전 현장조사와 적합한 검토 및 분석이 수행하여야 하며, 유역의 특성과 자연적 현황, 사회·문화적 현황, 하천의 치수, 이수, 환경현황 등을 고려하는 연구가 필요하다(양: 2001, 김 등: 2004, 우:2004). 이러한 배경 하에 제주도 전역 하천에 적합한 홍수분석이 필요하며 분석의 적정성을 평가하고 치수안전도 기준에 대한 종합적인 검토 및 홍수방어 대책을 수립하여 대책의 타당성을 검토함으로서 제주도 하천의 항구적인 수해방지에 대한 계획 수립이 필요하다.

본 연구에서는 제주도의 건천인 한천을 대상으로 홍수유출시 수위 및 유속을 관측하고, 1차원 수치해석모형인 HEC-RAS와 GIS 기반의 HEC- GeoRAS를 이용하여 하천정비기본계획 수립 시 사용된 단면과 실제 지형 단면의 수위와 유속을 비교하였으며, 2차원 모형인 SMS-RMA2에 적용하여 하천의 횡적인 수리특성 및 만곡부의 흐름해석을 수행하였다.

이와 같은 연구는 하도의 만곡부나 하폭의 형태에 따른 수리특성을 반영할 수 있으며 하천정비기본계획이나 하천관리 설계에서 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅱ-1. Status of the flow-form on steam in Jeju island

구 분	하 천 연 장(㎞)				하천밀도 (㎞/㎢)
	계	실폭하천	세류	건천	
계	1,907.1 (100.0)	86.3 (4.5)	626.5 (32.9)	1,194.3 (62.6)	1.04
200m이하	662.4 (34.7)	65.4 (75.8)	186.6 (29.8)	410.4 (34.4)	0.67
200~600m	845.2 (44.3)	17.8 (20.6)	373.2 (59.6)	454.2 (38.0)	1.43
600m 이상	399.5 (21.0)	3.1 (3.6)	66.7 (10.6)	329.7 (27.6)	1.62

연구대상 하천은 제주도 북부지역 제주시 도심지를 유과하는 한천으로 선정하였다. 한천은 평상시 건천에 속하지만, 호우시 세류 또는 실폭하천으로 변하며, 태풍 또는 집중호우로 인하여 유출량이 급격하게 증가할 경우, 하천제방까지 수위가 상승하기도 한다. 홍수유출은 장기간의 호우나 수백 ㎜이상의 집중호우에만 단발적으로 발생하며, 제주시에서는 이러한 돌발적인 유출로 인한 하천재해를 대비하기 위하여 레이더식 수위-유속계와 하천감시용 CCTV 등을 운영하고 있다. 한천에 설치된 하천감시용 CCTV는 총 6대이며, 상류를 시작으로 탐라교, 제2저류지(상, 하단), 제1저류지, 제2동산교, 한천교에 위치하고 있고, 이 중 제2동산교, 한천교에는 레이더식 수위-유속계가 추가적으로 설치되어 있다. 따라서, 수문자료의 확보가 가능한 제2동산교와 한천교 구간을 연구대상 지역으로 선정하고 현장관측 자료를 보완하여 한천의 흐름해석을 시행하였다.

한천 총연장은 11.5㎞이고, 연구대상 구간은 「한천 외 3개 하천기본계획(제주시, 2009)」의 NO.44~120 구간인 1.58㎞이며, 제2동산교와 한천 사이에는 동산교와 제4한천교가 위치하고 있다(Fig. Ⅱ-1).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

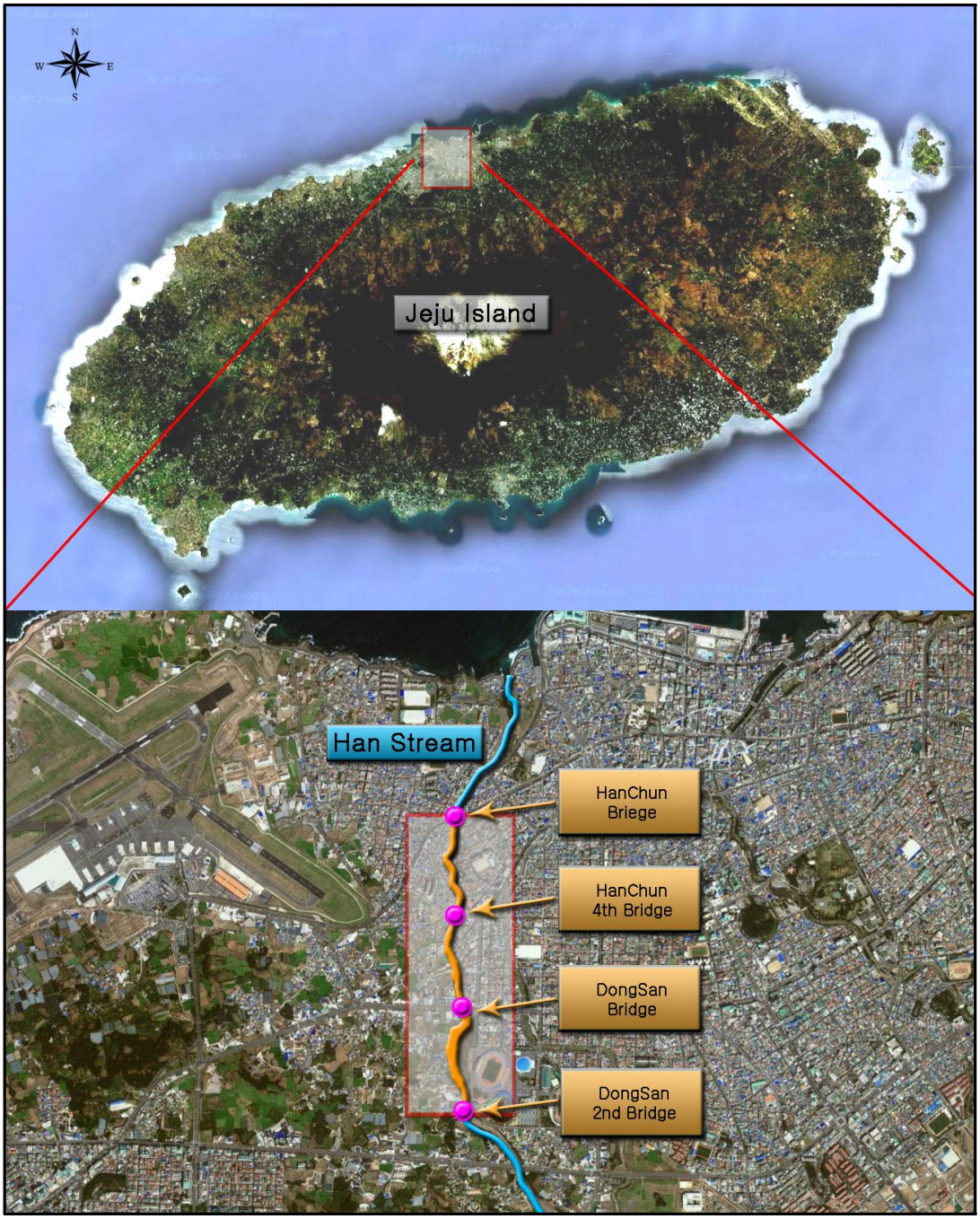

Fig. Ⅱ-1. Area for the study

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 연구대상 하천의 현황

한천은 한라산 EL.1,950m 고지에서 발원하여 용담동 해안으로 유출되며, 유로연장은 19.9㎞, 유역면적은 34.57㎢이다. 서쪽으로 인접해 있는 토천을 제외하면 지류의 유입이 거의 없어, 유역 형상은 수지상에 가까운 형태를 갖는다(Table Ⅱ-2). 하천의 하류부에는 시가지가 발달되어 있고 중류부에는 과수원과 밭 등의 경작지가 형성되어 있으며 상류부의 대부분은 산림으로 구성되어 있다. 하천의 상류부는 자연형태의 제방이 주를 이루지만, 하류부에 위치한 도심지와 주거지역 구간에서는 하천정비기본계획에 의한 전석제방과 옹벽제방이 축조되어 있고, 하상은 대부분 암반이나 큰 암석으로 형성되어 유로 내 식생이 발달하지 못하였다. 하천의 하류인 한천교를 시점으로 하천복개가 약 341m 정도 되었으며 이는 도로 및 주차장으로 이용되고 있다.

Table Ⅱ-2. Status of the drainage system

하천명	수계			하천의 구간		하천 연장 (㎞)
	본류	제1지류	제2지류	기점	종점	
한천	한천	토천		제주시 오라동 378	제주시 용담동 433	19.9

유역의 형상계수는 유역의 형태를 나타내는 무차원 단위의 수치로서 형상계수가 1에 가까울수록 유역의 형상은 정방향에 근접하여 유출의 집중성향이 크다. 한천 유역의 형상계수는 0.09로 수지상에 가까운 형태를 보이므로 유출의 집중성향은 낮고 첨두홍수량이 비교적 적게 나타날 것으로 예측할 수 있다(Table Ⅱ-3).

Table Ⅱ-3. General characteristics of the basin

하 천	유역면적 A(㎢)	유로연장 L(㎞)	유역평균폭 A/L	형상계수 A/L^2
한천	34.57	19.9	1.74	0.09

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.1 하상 경사 현황

하천의 유로는 일부구간을 제외하고 대체적으로 자연적 요인인 강수, 지형 및 지질 등과 인공적 요인인 유역의 입상, 제방축조, 하천구조물설치, 하천골재채취 등의 복합적 요인에 의해 3차원적으로 많은 변화가 있다.

그 중 하천의 종단현상은 장기간에 걸쳐 일어나는 자연적 하천의 유수작용(세굴, 운송, 퇴적작용)에 의해 형성되며 평형하상이 이루어질 때까지 변화를 계속하고 있으며, 상기한 평형하상이란 세굴 및 퇴적량이 동일하여 세굴 및 퇴적이 일어나지 않는다는 것을 의미한다.

그러나 자연하천에 있어서 하상은 홍수규모의 변화에 따라서 세굴 및 퇴적작용이 교대로 일어나므로 엄밀한 의미의 평형하상은 존재하지 않는다. 이와 같이 하상의 세굴, 운송 및 퇴적은 유수작용에 기인하고 있으며, 이로 인해 형성되는 하상구성물질은 하천의 유수작용에 따른 자연적 체분석 작용에 의하여 상류로 가면 갈수록 입도가 커지는 경향을 보여주고 있다. 그러나 하상 구성물질의 입도분포는 인위적 수문, 수리량의 조정, 인위적 하천구조물의 설치(댐, 보, 제방 및 교량설치) 및 하천골재의 난굴 등에 의해서도 많은 영향을 받기 때문에 전구간에 걸쳐 뚜렷한 체분석 작용을 보여주지 못하는 경우도 많다.

한천의 하상분포 산정을 위한 현장조사 내용에 따르면, 하상의 대부분은 제주도의 형성과정에서 발생한 것으로 예측되는 현무암 재질의 암반으로 구성되어 있는 것으로 조사되었다. 지형도 및 하천정비기본계획을 이용하여 입력자료를 구축하고, GIS model을 사용하여 최심하상고 및 하상경사를 산정한 결과, 상류부의 최심하상고는 EL.457.719m, 하류부의 최심하상고는 EL.0.55m로 나타났으며 최심하상고 경사는 4.13%로 분석되었다(이, 2012).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

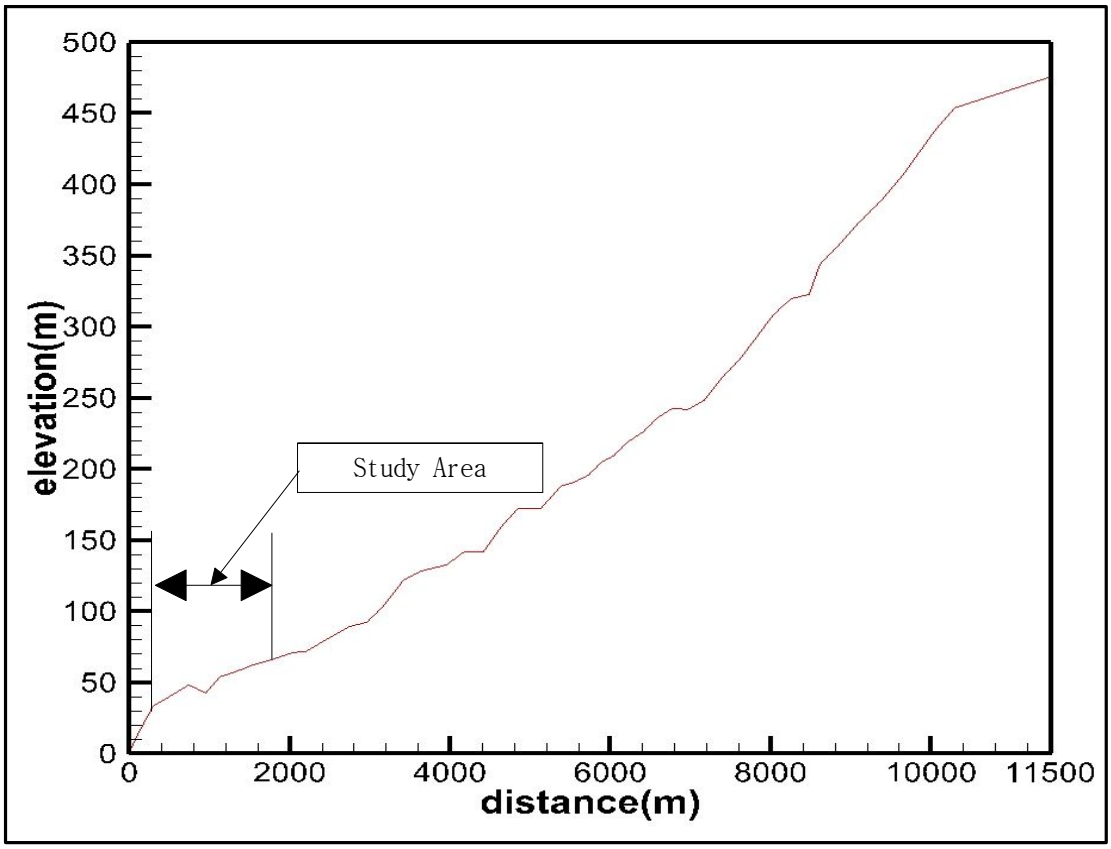

Fig. Ⅱ-2. Bed slope using lever of deepest bed

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2 평균고도 및 평균경사

유역의 평균고도는 교점법에 의해 구하며, 교점법은 유역의 지형도를 조밀한 눈금의 그래프 용지로 덮고 눈금과 일정한 간격으로 교차되는 점의 등고선에 대한 고도의 누계를 구한 다음 그 교점의 수로 나누어 유역의 평균고도를 산출하는 방법이다.

$$h_m = \frac{\sum h}{\sum N}$$

여기서, h_m : 유역의 평균고도(EL.m)

h : 그래프선과 교차되는 등고선의 고도(EL.m)

N : 그래프선과 등고선의 교차지점

유역의 평균경사는 유출, 토사의 침식 등과 관계가 깊은 인자로서 Horton의 방법으로 주로 산정하게 된다. Horton 방법은 다음과 같다.

해당 지역의 지형평면도를 조밀한 눈금의 그래프용지로 덮고 고도차 $\triangle H$인 등고선을 기입하고 등고선과 그래프 선과의 교점을 표시한 후, 교점의 총 수를 N'이라 하면, 서로 인접한 등고선 사이에 끼는 그래프선의 선분 수는 N'개가 된다. 또한 이들 선분의 길이를 ℓ이라고 하고 이 선분과 등고선 사이의 각을 α라 하면 등고선 간격은 $\ell \sin\alpha$이다. 그러므로 등고선의 수평거리는 다음과 같다.

$$d = \frac{1}{N'} \sum \ell \sin\alpha$$

Horton은 N'을 충분히 많이 취했을 때 α는 0°에서 90°까지 균일하게 분포되어 있는 것으로 가정하였으며 $\sin\alpha$를 평균하여 다음을 도출하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$d = \frac{\sum \ell}{N'} \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\alpha d\alpha = \frac{2}{\pi} \frac{\sum \ell}{N'}$$

따라서, 유역의 표면경사는 다음과 같이 표시된다.

$$J = \frac{\triangle H}{d} = \frac{\pi}{2} \frac{\triangle H N'}{\sum \ell}$$

여기서, J : 유역의 평균경사

ℓ : 등고선 사이에 까인 선분의 길이

$\triangle H$: 등고선 간격

N' : 등고선과 그래프선과의 교차점

한천유역의 평균표고와 평균경사를 산정하였으며, 이는 다음 Table Ⅱ-4와 같다.

Table Ⅱ-4. The mean altitude and slope of the basin

하 천	하구부 표고 (EL.m)	평균표고 (EL.m)	평균경사 (%)
한천	43.2	822	8.62

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 연구의 방법

한천의 수리학적 특성을 분석하기 위해 지형자료는 하천정비기본계획의 1:1,000 측량자료를 활용하였으며, 실제지형을 최대한 반영하기 위해 GIS 기반의 HEC-GeoRAS를 이용하여 TIN(Triangular Lrregular Network)과 DTM(Digital Terrain Models)을 구축하고 하천정비기본계획의 HEC-RAS에 의한 결과와 비교하였다.

제주도의 하천은 평상시 건천을 형성하고 있지만 홍수시에는 돌발성 하천유출이 발생하는 특성을 가지고 있어 수위에 따른 하천의 침수면적을 산정하기가 매우 어렵다. 따라서 분석된 HEC- RAS의 수위를 HEC-GeoRAS로 Export하여 침수심과 침수선을 생성한 후 SMS-RMA2 모의를 위한 하천경계선을 작성하였다.

흐름해석 모형의 적용에서 유체의 유입부에는 유량이나 유속이 경계조건으로 지정이 되며, 유출부에는 수위가 유출 경계조건으로서 필요하다. 1차원 흐름해석의 경계조건은 「한천 외 3개 하천기본계획(제주시, 2009)」의 200년 빈도에 해당하는 계획홍수량과 기점홍수위를 상·하류단의 경계조건으로 사용하였으며, 이 조건을 2차원 흐름해석에 적용하여 모형을 비교·분석하였다.

또한, 이 연구에서는 모형의 유입부의 경계조건으로 2011년 태풍 무이파 상륙시 전자파표면유속계로 관측한 현장 수위-유속 자료를 실제 적용하였으며, 유출부의 경계조건은 제주도 수자원본부의 레이더식 수위-유속계(Kalesto) 자료를 사용하였다.

연구내용의 흐름도는 다음 Fig. Ⅱ-3과 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

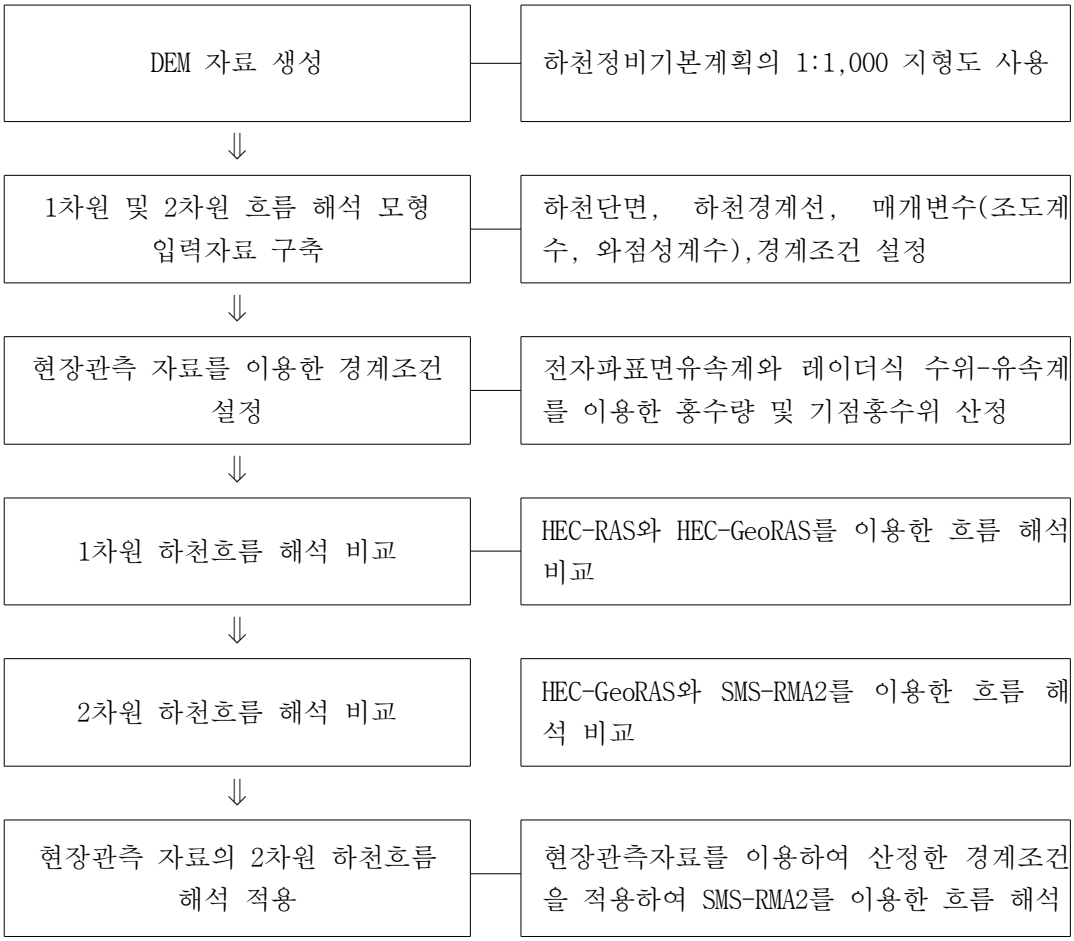

Fig. Ⅱ-3. Flow chart of stream flow analysis

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅲ. 모형의 이론적 배경

1. HEC-RAS 모형의 기본이론

홍수위를 산정할 수 있는 방법은 기왕 홍수흔적수위를 이용한 방법이 가장 신뢰성이 높지만 계획빈도 홍수량의 흔적수위를 찾기란 실제로는 불가능하므로 홍수량에 따른 이론적 계산에 의하여 홍수위를 산정하게 된다.

HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) Model은 미육군공병단에 의해 개발된모형으로 HEC-RAS Model의 수면형 개념은 Fig. Ⅲ-1과 같다.

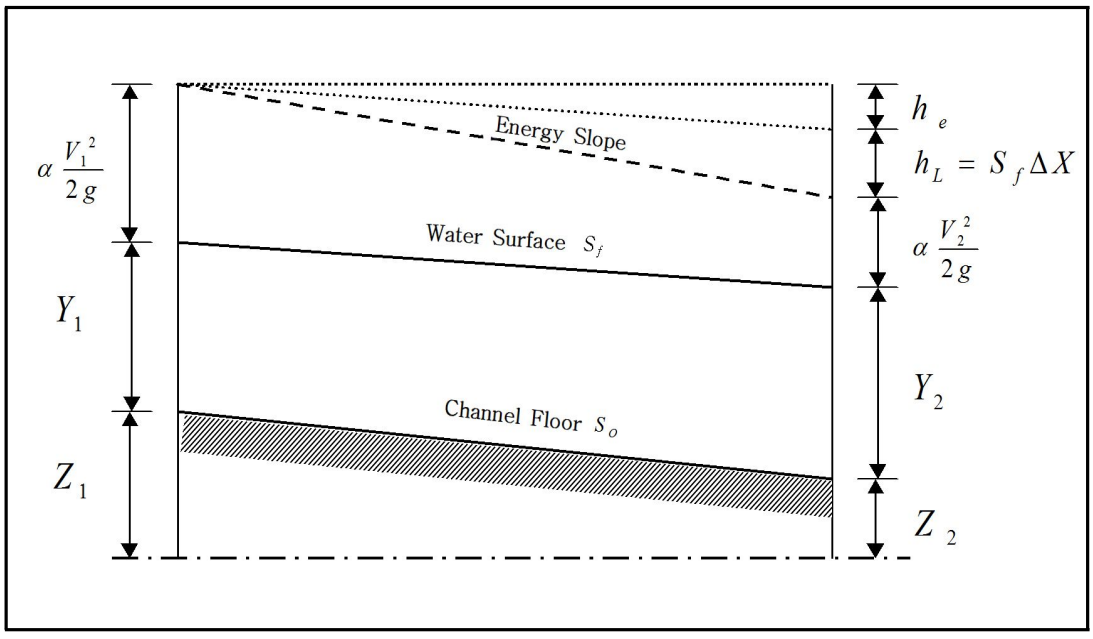

Fig. Ⅲ-1. Theory of computation method of water surface profiles

HEC-RAS 프로그램은 자연하도 또는 인공하도에서 정류상태 점변류에 대한 1차원 수면형을 계산하기 위해 개발되었으며, 상류, 사류, 상류와 사류가 혼합된 흐름 상태의 수면형을 계산할 수 있게 설계되었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

수면형은 표준축차계산법이라 불리는 반복 계산과정을 가진 에너지 방정식의 해법에 의해 하나의 단면으로부터 다음 단면의 수면형이 계산되며, 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

여기서, Y_1, Y_2 : 구간 양단에서의 수심

Z_1, Z_2 : 구간 양단에서의 하상까지의 높이

V_1, V_2 : 구간 양단에서의 평균 유속(= 총유량 / 총유수단면적)

α_1, α_2 : 구간 양단에서 흐름의 유속계수

g : 중력가속도

h_e : 에너지 손실수두

두 단면 사이의 에너지 손실수두(h_e)는 마찰 손실과 수축 또는 확대 손실을 포함하고 있으며 에너지 손실에 대한 방정식은 다음과 같다.

$$h_e = LS_f + C\left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right)$$

여기서, L : 유량 가중구간 길이

C : 단면확대 또는 축소에 의한 손실계수

S_f : 구간에서의 대표 마찰경사 값

유량 가중구간 길이는 다음과 같이 계산된다.

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}}$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

여기서, L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : 각각 좌측 제방, 본수로, 우측 제방에서의 흐름에 대한 구간 길이

Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob} : 각각 좌측 제방, 본수로, 우측 제방에 대한 구간 양단에서의 산술평균유량

교량 교각에 의한 상승수위 계산은 에너지 방정식(standard step method), 운동량 평형법, Yarnell 공식, FAWA WSPRO법으로 계산된다.

가. 에너지 방정식(Standard step method)

에너지를 기초로 한 방법은 교량을 수면 아래의 교량 부분을 전체 면적으로부터 뺀 다음, 자연 하천 단면과 같은 방법으로 다루고, 윤변은 교량 구조와 접할 때 증가한다. 앞에서 설명한 것처럼, 프로그램은 교량 내부에 단면의 기하학적 정보와 연관지어 교량의 형상에 따라, 두 단면을 공식화한다.

에너지 방정식 방법은 마찰 손실 계산을 위해 Manning의 n 값을 필요로 하며, 변화 손실을 계산하기 위해서는 수축·확장 계수를 필요로 한다(Manning의 값은 가정치를 사용). 자세한 결과는 입력한 교량의 수축·확장의 영향을 받지 않는 상하류의 두 단면은 물론 교량 내부의 두 단면에 대해서도 적용할 수 있다.

나. 운동량 평형법

운동량 평형은 3단계를 거쳐 실행된다.

① 단면 2로부터 단면 BD로 운동량 평형을 잡아나가는 과정

$$A_{BD}\overline{Y_{BD}}+\frac{\beta_{BD}Q_{BD}^2}{gA_{BD}}=A_2\overline{Y_2}-A_{P_{BD}}\overline{Y_{P_{BD}}}+\frac{\beta_2 Q_2^2}{gA_2}+F_f-W_X$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

여기서, A_2, A_{BD} : 단면2와 BD의 실제흐름

$A_{P_{BD}}$: 하류 쪽의 교각에 의해 흐름이 가로막히는 영역

$\overline{Y_2}, \overline{Y_{BD}}$: 수면으로부터 흐름의 면적 A_2와 A_{BD}의 도심 사이의 수직거리

$\overline{Y_{P_{BD}}}$: 하류쪽의 수면으로부터 물에 젖은 교각의 도심사이의 수직거리

β_2, β_{BD} : 운동량 방정식에 대한 속도 가중 계수

Q_2, Q_{BD} : 유출량

g : 중력가속도

F_f : 물의 단위 중량에 대한 마찰에 의한 외력

W_x : 물의 단위 중량에 대한 흐름의 방향에 따른 물의 당위 중량에 의한 힘

② 단면 BD로부터 단면 BU로 운동량 평형을 잡아나가는 과정

$$A_{BD}\overline{Y_{BD}} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_{P_{BD}} Y_{P_{BD}} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} + F_f - W_X$$

③ 단면 BU로부터 단면 3으로 운동량 평형을 잡아나가는 과정

$$A_3\overline{Y_3} + \frac{\beta_3 Q_3^2}{g A_3} = A_{BU}\overline{Y_{BU}} + \frac{\beta_{BU} Q_B^2}{g A_{BU} U} + A_{P_{BU}}\overline{Y_{P_{BU}}} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{P_{BU}} Q_3^2}{g A_3^2} + F_f - W_X$$

여기서, C_D : 흐름이 교각 주위를 흐를 때의 항력 계수

운동량 평형법은 마찰력을 산정하기 위한 조도계수와 교각에 작용하는 항력을 산정하기 위한 항력 계수를 필요로 한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

다. Yarnell 공식

Yarnell 공식은 교량의 하류(단면 2)와 상류(단면 3)의 수면 번호를 예측하기 위해 사용하는 경험 공식이다.

$$H_{3-2} = 2K(K+10\omega-0.6)(\alpha+15\alpha^4)\frac{V_2^2}{2g}$$

여기서, H_{3-2} : 단면 3과 2의 수위차

K : Yarnell의 교각 형성계수

ω : 단면 2의 수심에 따른 속도비

α : 단면 2에서 교각에 의해 흐름이 방해되는 면적을 흐름이 방해되지 않는 전체면적으로 나눈 값

V_2 : 단면 2에서의 유속

라. FHWA WSPRO 법

미연방 고속도로 관리국(FHWA)의 저수위 흐름 계산법을 HEC-RAS에 적용한 것이다. WSPRO 방법론은 HEC-RAS의 계산과정에 적합하도록 수정되었다. 출구 단면으로부터 유입 단면으로의 일반적인 에너지 평형 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$h_4 + \frac{\alpha_4 V_4^2}{2g} = h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_{L(4-1)}$$

여기서, h_1 : 단면 1의 수위

V_1 : 단면 1의 속도

h_4 : 단면 4의 수위

V_4 : 단면 4의 속도

h_L : 단면 4로부터 1까지의 에너지 손실

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. HEC-GeoRAS 모형의 기본이론

미육군공병단(Army Corps of Engineers)에서 개발된 HEC-GeoRAS는 Geospatial 데이터를 HEC-RAS 프로그램에서 사용하기 위한 Arc/INFO, ArcView GIS의 확장모형이다. DTM(digital terraim model) 데이터로부터 만들어진 지형공간정보 데이터와 HEC-RAS 프로그램에서 나온 결과도 HEC- GeoRAS에서 볼 수 있다.

주요 적용 방법 및 절차를 살펴보면 다음과 같다.

첫 번째는 GIS 자료를 이용한 TIN망의 생성 단계이다. ArcView상에서 하천주변 지역을 나타내기 위해 낮은 해상도의 수치고도 모형(DEM)과 하천내부와 홍수터를 나타내는 높은 해상도의 벡터 자료를 합성하여 정확한 지형을 나타내게 된다.

두 번째는 RAS Theme의 생성 및 속성처리 단계이다. RAS Theme는 수리 분석을 위한 자료를 추출하기 위해서 생성되며, Stream Centerline, Banks, Flow Path Centerlines, Cross Section Cut Lines, Land Use의 다섯 개 Theme를 필요로 한다. 자료의 전처리 단계인 preRAS 메뉴를 사용하여 하천 수로망(Stream Centerline)과 홍수터 구간(Banks)을 결정하고, 수로와 홍수터 영역에서의 횡단면간 하류부에와의 구간거리를 결정하는 Flow Path를 생성한다. Flow Path는 특별한 사상에 대한 흐름의 질량중심을 나타낼 수 있도록 위치시켜야 하며, 상류부에서 하류부로 생성하도록 한다. 생성된 Flow Path에 대하여 이름을 부여하고 각각의 Flow Path에 대하여 Left Overbank, Channel, Right Overbank 중 정확한 라벨을 지정해 준다. 다음은 어느 지점의 횡단 자료가 TIN으로부터 추출되는 것을 결정하기 위해 Cross Section Cut Lines을 정해주며, 지점위치, 하류부 구간거리 및 토지 이용계산을 수행하기 위해 사용된다. 마지막으로, XS Elevations을 적용하여 TIN으로부터 고도값을 추출하여 Cross Section Cut Lines(2D)으로부터 3D Shapefile(XS Surface Line)을 생성한다.

세 번째는 RAS GIS Import 단계이다. 3D Stream Centerline과 3D XS Surface Lime Theme이 생성되면, Generate RAS GIS Import Flie 메뉴를 사용하여 Header, SteamNetwork 및 Cross Section Information을 모두 포함하는 Import파일을 산출한다. Import된 파일은 HEC-RAS로 수리학적 자료가 적용되며, 이후

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제방, 장애물, 교량이나 암거 등과 같은 수공구조물의 수리자료를 고려하여 계산을 수행한다. 최종적으로, HEC-RAS에서 수행된 결과는 RAS GIS Expoort File로 다시 ArcView로 보내지며, postRAS에서 해석 과정이 이루어진다.

HEC-GeoRas의 입력자료는 다음과 같다.

가. 수치지형모델(Digital Terrain Model, DTM)

HEC-GeoRas는 불규칙삼각망(triangulated irregular network, TIN) 형태의 DTM 자료를 필요로 하며, 불규칙삼각망은 하천바닥 지표면과 인접한 홍수터를 나타내고 있고, 횡단면의 지형정보가 DTM 자료로부터 추출된다.

나. 등고선(Contours) 자료

HEC-GeoRas를 이용한 지형자료 구축을 위해 먼저 불규칙삼각망으로부터 등고선 자료를 생성한다. 불규칙삼각망도는 하천망과 홍수터 등에 대해 보다 자세한 시각적인 지형정보를 제공하지만, 자료의 확대, 이동, 도시 등에 많은 시간이 소요되므로 빠른 화면의 제공을 위해 등고선 자료를 이용하게 되며 이는 실제 지형정보를 추출할 때는 이용되지 않는다.

다. 흐름중심도(Stream centerline theme)

하천망은 흐름중심도(stream centerline theme)로 표현되며, 하천망은 하천과 하천의 연결로 이루어지며 각각의 하천은 오직 합류점(junction)에서만 연결되며 흐름중심선은 상류에서 하류방향으로 향하며 합류점이 아닌 곳에서는 교차하지 않는다.

라. 주흐름 제방도(Main channel banks theme)

주흐름과 홍수터(overbank)는 제방(bank)으로 구분되고, 제방은 하천의 좌우

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

양쪽으로 생성되며 횡단면 지점에서 횡단면선과 한번씩만 교차한다.

HEC-GeoRas 모형의 해석 흐름도는 다음 Fig. Ⅲ-2와 같다.

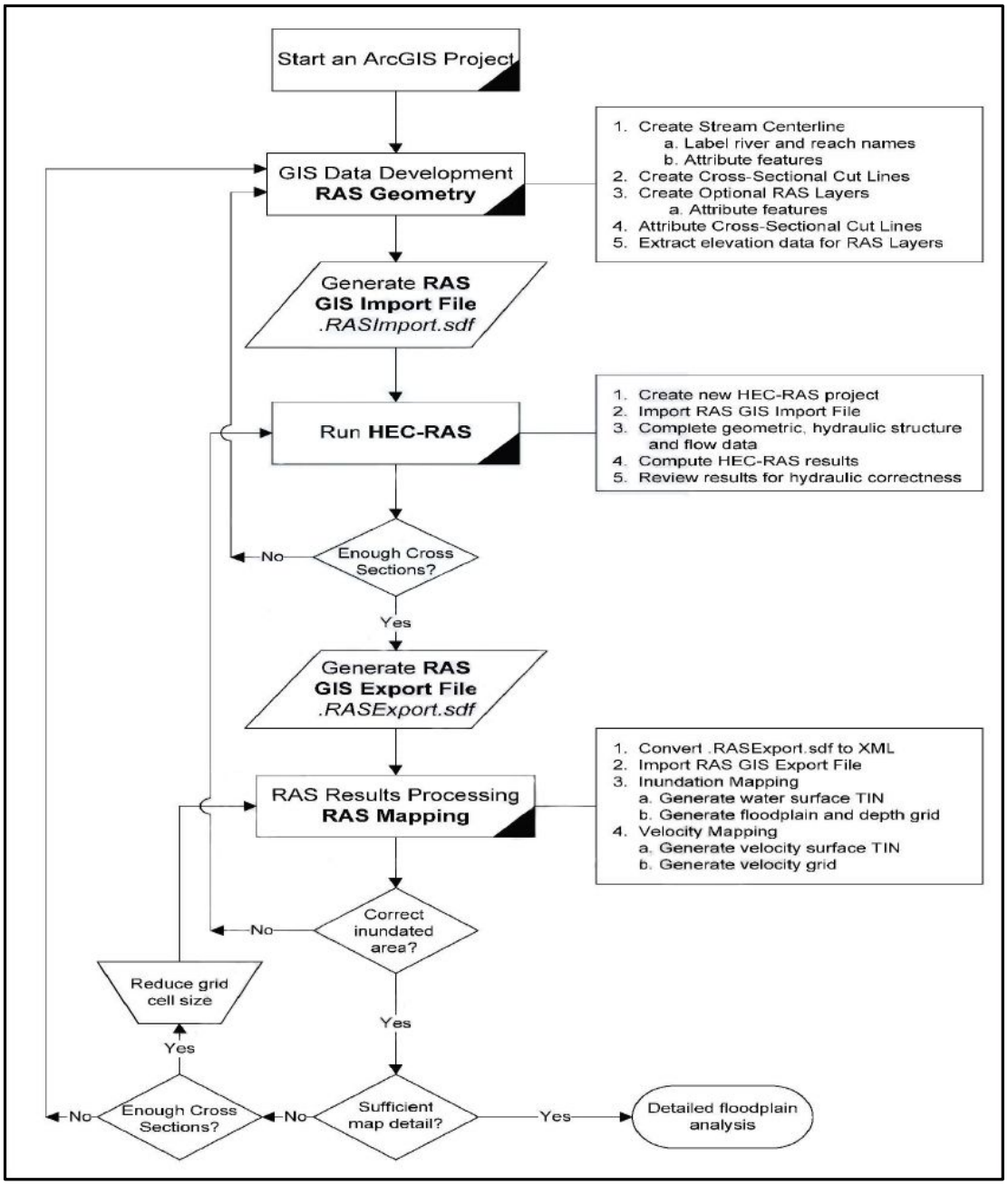

Fig. Ⅲ-2. Flow chart of HEC-GeoRAS model

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. SMS-RMA2 모형의 기본이론

RMA-2 모형은 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 계산되며, 와점성계수는 난류의 특성을 정하는데 사용되며, 정상류뿐만 아니라 부정류에서도 모의 가능하다. 하지만 RMA-2는 수심 평균한 2차원 모형이므로 수심방향으로 층을 형성하는 흐름 특성을 모의할 수 없다. 즉, 수심방향으로 유속이나 그 밖의 흐름특성이 변하는 흐름에 대해서는 3차원 모형인 RMA-10을 사용하여 모의하여야 한다.

수심평균을 취한 2차원 천수방정식은 자유 수면을 가진 물의 운동을 기술하는 3차원 Navier-Stokes 방정식의 일반식을 수심방향으로 적분함으로서 유도될 수 있다. 이때 연직방향의 가속도항은 무시하여 압력항을 정수압 분포로 처리하며, 유체는 비압축성이라 가정한다. 수심 적분된 2차원 천수방정식의 연속방정식과 운동량 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t}+u\frac{\partial h}{\partial x}+v\frac{\partial h}{\partial y}=0$$

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

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

여기서, x, y, z : 좌표축과 시간

g : 중력가속도

u,v : x,y 방향의 수심 평균유속

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

ρ : 물의 밀도

h : 수심

a : 하상표고

t : 시간

τ_x, τ_y : x, y 방향으로 작용하는 마찰응력항

ϵ_{xx} : x방향으로의 법선 난류확산계수

ϵ_{xy} : y방향으로의 법선 난류확산계수

ϵ_{yx} : x방향으로의 접선 난류확산계수

ϵ_{yy} : y방향으로의 접선 난류확산계수

마찰 응력항은 다음의 식과 같이 바닥마찰, 바람영향 및 Coriolis 효과를 나타낸다.

$$\tau_x = \frac{gu}{C^2 h}(u^2+v^2)^{1/2} - \frac{\xi}{h} V_a^2 \cos\psi - 2wv sin\Phi$$

$$\tau_y = \frac{gv}{C^2 h}(u^2+v^2)^{1/2} - \frac{\xi}{h} V_a^2 \cos\psi - 2wv sin\Phi$$

위의 두 식은 Galerkin의 가중 잔차법(weighted residual method)을 이용한 유한요소법에 의해 계산된다. 유한요소는 1차원 혹은 2차원일 수 있으며 곡선 형태일 수도 있다. 형태 방정식은 유속에 대한 2차방정식이며, 수심에 대한 선형 방정식이다. 공간에 대한 적분은 Gaussian 적분에 의하며 시간에 대한 도함수는 비선형 유한차분 근사치에 의해 계산된다. 이에 대한 해는 완전 음해(fully implicit)이며 연립방정식은 Newton-Raphson 반복법에 의해 산정된다.

각 격자별 초기조건은 관리수위를 기준으로 하여 수위가 극치일 때 x, y방향의 유속을 각각 0으로 하여 계산하도록 되어있다. 이 조건은 실제 상태와 동일하지 않기 때문에 초기계산 결과는 그 오차의 영향을 받게 되어 정확성에 문제가 있으므로 일정 계산 시간이 경과한 후의 결과가 이용되어야 한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.1 유한요소망의 구성

수리학적 모의에 이용되는 유한요소망은 격점(node)와 요소로 구성된다. 하나의 유한요소망은 여러 개의 삼각형 또는 사각형 요소로 대표되는 대상지역의 표면으로 생각할 수 있다. 여기서 격점들은 망의 지형학적 형태를 정의하는 x, y, z 좌표들이며, 요소는 이러한 격점들을 연결함으로써 망의 평면적인 형태를 정의하게 된다. 수리학적 모의를 위한 전체의 과정에서 유한요소망의 구성이 차지하는 비중이 매우 크며, 이것은 구성된 유한요소망의 질이 계산결과의 수렴문제와 신뢰도에 결정적인 영향을 미치기 때문이다.

3.2 경계조건 및 초기조건

유한요소망이 구성되면 다음 절차로서 구성된 망에 경계조건을 입력해야 한다. 경계조건과 하상재료특성은 지형자료와 별개로 ASCⅡ 형식으로 RMA-2 모의를 위한 입력조건의 파일로 저장이 된다. 경계조건은 직접적으로 SMS 화면상에서 입력할 수도 있으며 간접적으로 직접경계조건에 관련된 ASCⅡ 파일을 찾아서 입력 및 수정할 수 있다. 일반적인 경계조건의 유형은 유량, 수위-유속 등이며 유량 및 유속 경계조건은 상류단에 주어지며 수위 경계조건은 하류단에 주어진다.

일반적으로 하천의 적용에 있어서, 유체가 유입하는 부분에는 유량이나 유속이 유입경계조건으로 지정이 되며, 유체가 유출하는 부분에는 수위가 유출경계조건으로 입력이 된다. 만약 경계조건이 특별히 지정되지 않는 다른 부분은 경계면에서는 유체가 흐르지 않는 no-flow의 조건이 자동으로 지정되며 그 부분에서는 경계면에 평행하게 유체가 흐르게 된다. BQL은 경계유량선(Boundary Flow Line)을 의미하며 일련의 격자점열에 유량을 부여하는데 이용된다. 이렇게 입력된 유량값은 RMA-2에서 자동적으로 그 열의 격자점들에 대해 격점 유량경계조건으로 내부적으로 변환된다. BHL은 경계수두선(Boundary Head Line)을 의미하고, BQL과 비슷한 방법으로 일련의 격점열에 수위를 입력하고, 절점들에 대한 수위값으로 전환된다. 수위경계조건에서는 가중치에 대한 의미가 없기 때문에 지

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

정된 격점열의 모든 절점에서 같은 수위값을 가지게 된다. GC string은 그것이 위치한 단면에서 유량을 확인하거나 BQL/BHL 경계조건을 정의하는데 이용되는 일련의 구석 격점(corner node)이다. BQL/BHL 경계조건은 GC string과 연관되는 고유번호와 유량 또는 수위 값에 의해 정의되며 SMS에 의해 대화식으로 부여될 수 있다. GC string은 또한 그것이 위치한 단면에서의 유입 및 유출 유량이 같다는 것을 보장한다.

동수역학 모델을 정의하는데 있어 경계조건과 더불어 일련의 재료특성이 필요하다. 유한요소망에 있는 개개의 요소는 재료고유번호를 갖게 되며 개개의 재료는 4개의 난류교환계수와 1개의 Manning의 n값을 갖게 된다.

난류교환계수는 와점성(eddy viscosity)계수라고도 불리며 대부분의 경우 4개의 난류교환계수는 같은 값을 갖는다. 적절한 난류교환계수를 부여하는 것은 모형의 검정에 중요한 요소 중 하나이다. 일반적으로 계산과정 중 안정성(stability)에만 문제가 발생하지 않는다면 가능한 낮은 값을 유지하여야 한다. 난류교환계수가 너무 높으면 안정된 해는 가능하지만 적합한 모형흐름분포는 나타내지 못하는 경우가 있으며, 너무 낮은 경우에는 해가 불안정하여 심각한 동요를 유발할 수 있다.

난류교환계수는 단지 물리현상에 근거하는 것이 아니며 이는 안정성을 위해 필수적으로 필요한 수치점성까지 포함한다. 유한요소망의 간격, 예상유속, 동역학적특성 등이 모두 초기 난류교환계수 선정에 반영되어야 하며 모형의 초기에는 일정범위 이상의 값에서 시작하여 계산 값이 수렴할 때까지 값을 감소시켜 가는 것이 일반적이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅳ. 하천의 흐름해석을 위한 입력자료 구축

1. 하천단면의 결정

하천흐름 해석에 있어서 하천단면의 결정은 가장 기본적이고 중요한 요소로써, 본 연구에서는 두가지의 하천단면을 모의하였다.

첫 번째, 하천정비기본계획의 횡단면을 이용하여 연구대상 구간의 횡단면 자료로 사용하였다. 연구대상 구간은 「한천 외 3개 하천기본계획(제주시, 2009)」의 NO. 44~120 지점에 해당되며, 횡단면간 거리는 20m이고 종단의 길이는 1.58㎞이다. 이 구간중 하천기본계획에 포함되는 부분은 NO.44~95+18까지이며, NO.95+18~120 구간은 1:1,000 지형도를 이용하여 보완하였다(Fig. Ⅳ-1).

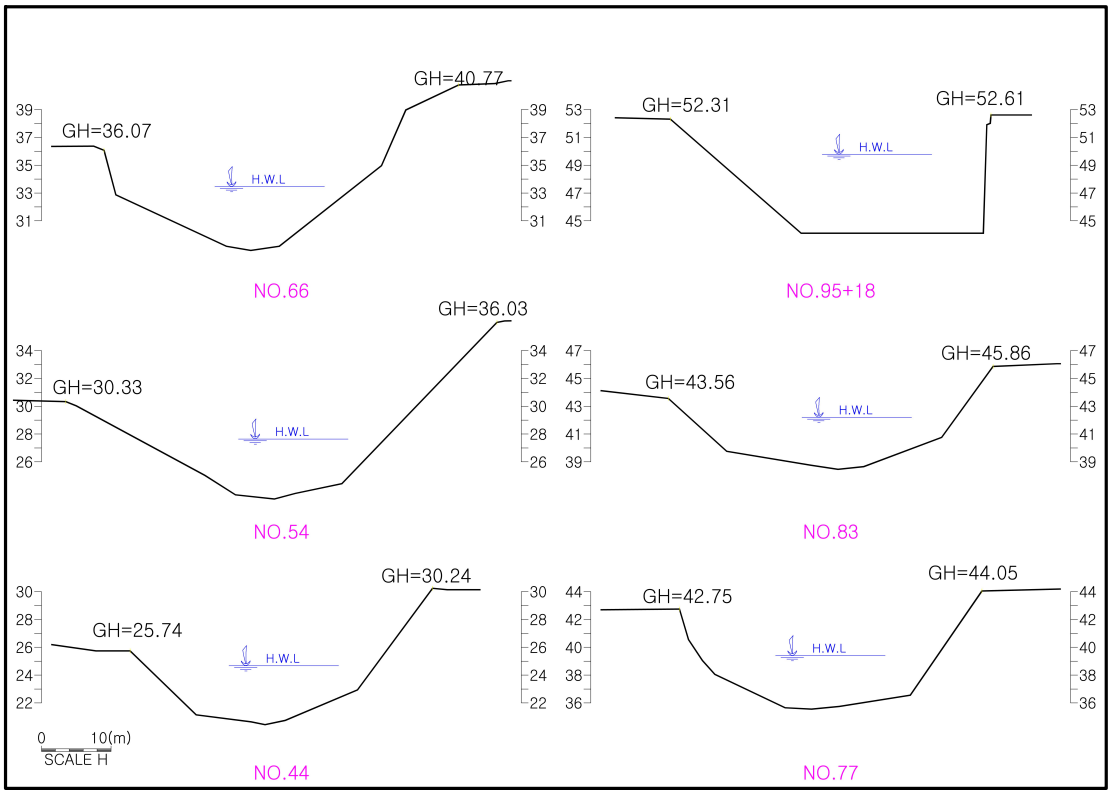

Fig. Ⅳ-1. Representation cross-section of basic plan for river maintenance

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

두 번째는 DEM 자료를 이용하여 TIN을 구축하고, 이를 재생성한 단면이다. 하천의 횡단면과 종단면을 생성하기 위해 「한천 외 3개 하천기본계획(제주시, 2009)」의 1:1,000 측량자료와 1:5,000 지형도의 고도측점자료를 이용하여 한천의 표고와 경사를 고려한 하천형태를 모의하였다(Fig. Ⅳ-2).

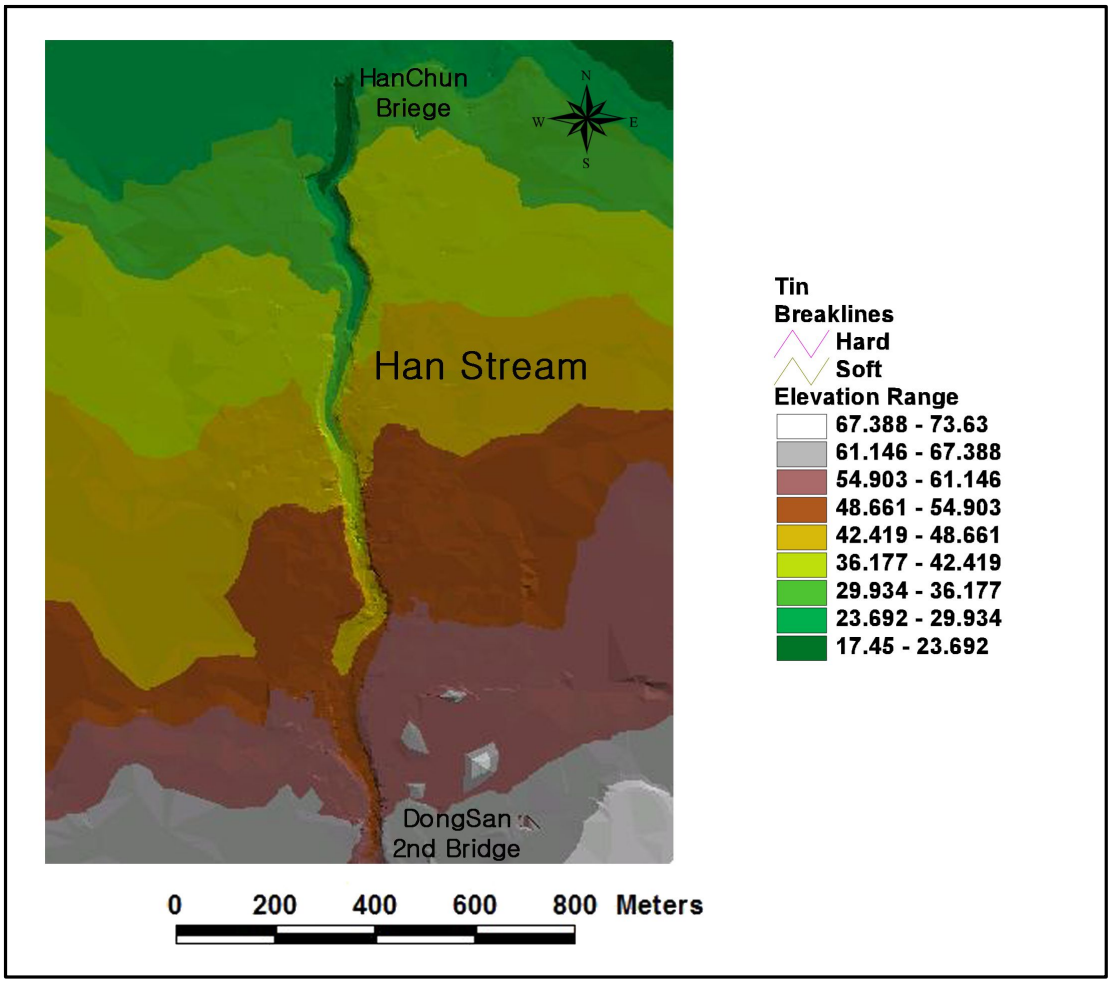

Fig. Ⅳ-2. Analysis of TIN(Trianulated Irregular Network)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

하천의 횡단면과 종단면은 하천정비기본계획의 단면과 동일하게 구축하였다. 횡단면간 거리는 20m이고, 종단의 길이는 하천정비기본계획의 NO.44~120 구간인 1.58㎞이며, 대상구간의 최대하상고는 NO.120 단면의 EL.53m, 최저하상고는 NO.44 단면의 EL.21m로 분석되었다(Fig. Ⅳ-3).

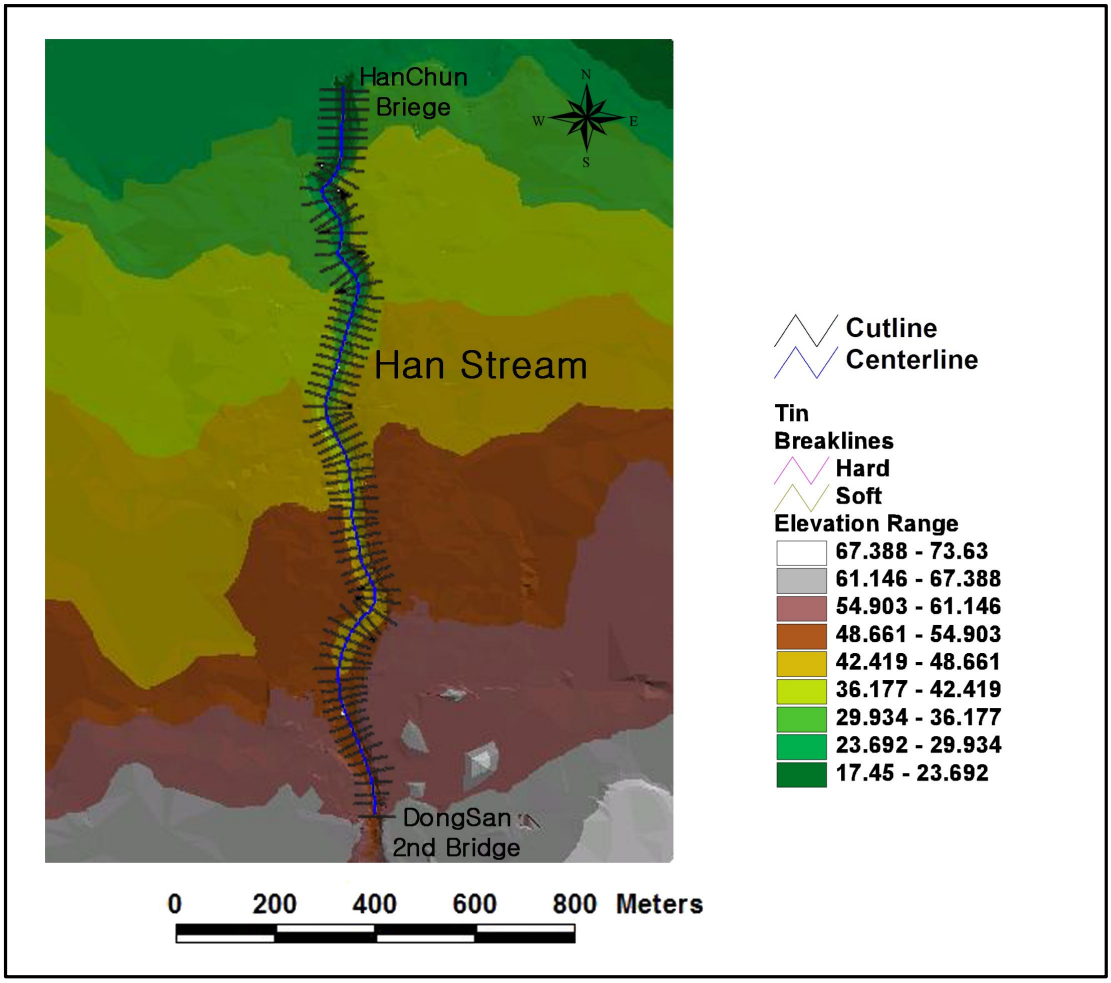

Fig. Ⅳ-3. Regeneration of cross-section using TIN

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 매개변수와 경계조건의 설정

2.1 매개변수의 결정

HEC-RAS와 SMS-RMA2 모형에 사용되는 대표적인 매개변수는 하상의 조도계수를 나타내는 Manning의 n과 유체의 밀도, 속도구배 등, 유체조건에 따라 변하는 성질인 와점성계수가 있다. Manning의 n은 「한천 외 3개 하천기본계획(제주시, 2009)」에서 사용한 0.03을 이용하였으며, 와점성계수는 적합한 흐름 분포를 결정하기 위해 Table Ⅳ-1의 조건에 따라 깊은 하천의 14,400$N{\cdot}\sec/m^2$을 적용하고 흐름이 안정될 때까지 계수를 감소시켜 3,600$N{\cdot}\sec/m^2$까지 해석을 수행하였다.

Table Ⅳ-1. Eddy-viscosity of the stream condition

Conditions	ϵ value ($lb{\cdot}\sec/ft^2$)	ϵ value ($N{\cdot}\sec/m^2$)
flow separation around structures	1 ~ 5	50 ~ 240
shallow river(slow current)	5 ~ 25	240 ~ 1200
shallow river(fast current)	25 ~ 50	1200 ~ 2400
deep estuary(small elements)	50 ~ 100	2400 ~ 4800
wetland with tidal wetting and drying	100 ~ 200	4800 ~ 9500
deep estuary(large elements)	200 ~ 300	9500 ~ 14400

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2 경계조건의 설정

1) 1차원 흐름해석의 경계조건 설정

HEC-RAS와 HEC-GeoRAS를 이용한 1차원 흐름해석의 경계조건은 「한천 외 3개 하천기본계획(제주시, 2009)」을 이용하였다. 하천정비기본계획에서 산정한 30년, 50년, 80년, 100년, 200년 빈도의 계획홍수량을 상류단인 NO.98+18 지점(동산교)의 경계조건으로 사용하였으며, 하류단인 한천교의 경계조건으로 NO. 43 지점의 빈도별 홍수위를 기점홍수위로 설정하였다. 200년 빈도의 홍수량은 하천정비기본계획에서 주로 채택되는 100년 빈도의 홍수량 보다 81CMS가 많은 580CMS이며, 기점홍수위는 EL.25.33m인 것으로 나타났다(Table Ⅳ-2).

Table Ⅳ-2. Boundary conditions of the frequency-year

빈도	상류단 경계조건(계획홍수량) (CMS)	하류단 경계조건(기점홍수위) (EL.m)
30 yr	362	23.93
50 yr	420	24.30
80 yr	474	24.65
100 yr	499	24.82
200 yr	580	25.33

2) 2차원 흐름해석의 경계조건 설정

2차원 흐름해석 모형인 SMS-RMA2의 경계조건은 태풍 무이파(2011.8.7) 통과시 한천 하류부의 제2동산교에서 현장관측한 전자파표면유속계의 시간별 수위-유속자료와 하류단인 한천교에서 관측한 제주도수자원본부의 레이더식 수위-유속계(Kalesto) 자료를 이용하였다.

태풍 무이파는 2011년 7월 28일 북태평양에서 발생한 9번째 태풍으로, 중심 기압은 998 hPa, 최대 풍속 18 m/s, 강풍 반경 200km 크기의 소형의 열대폭풍이다. 발생 이후 4일만에 대형의 가한 태풍으로 발달하였으나, 이후 태풍의 규모가 주춤하면서 서진을 시작했고, 대부분의 예보는 중국으로 상륙할 것으로 예상했다. 하지만 예상보다 일찍 북진하면서 제주도를 통과하게 되었고, 태풍이 지나가

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

는 8월 7일에는 산간지역 최대호우인 626.5㎜를 발생했으며, 최대풍속 38m/s의 강한 바람을 동반하였다.

가. 전자파표면유속계를 이용한 경계조건 설정

태풍으로 인한 홍수유출을 관측하기 위하여 한천 하류부에 위치한 제2동산교에서 현장관측을 시행했으며, 관측장비는 유출수의 유속을 관측할 수 있는 전자파표면유속계를 이용하였다. 관측시간은 8월 7일 오전 10시 30분경에 시작하였으며, 30분간격으로 시행하여 유출이 크게 감소할 때까지 진행하도록 하였으나, 폭우와 돌풍으로 인한 관측의 어려움이 발생하여 1시간 간격으로 관측이 시행되었다. 관측위치는 제2동산교에서 5개 지점을 선정하여 각 지점에서의 표면유속을 관측하였으며, 관측시간과 동일한 시간의 수위표를 목측하여 시간별 수위-유속을 조사하였다(Table Ⅳ-3).

Fig. Ⅳ-4는 제2동산교의 측량 단면이며, NO. 1~5는 관측 지점을 나타내고 있다. 관측지점을 포함하는 5개의 구간으로 구분하였고, 시간별 수위를 적용하여 통수단면을 산정하였다. 시간별 수위는 제2동산교 상단을 기준으로 하였으며, 동일 시간대의 표면유속을 평균유속으로 환산하여 구간별 통수유량을 산정하여 총 홍수유량을 도출하였다(Table Ⅳ-4).

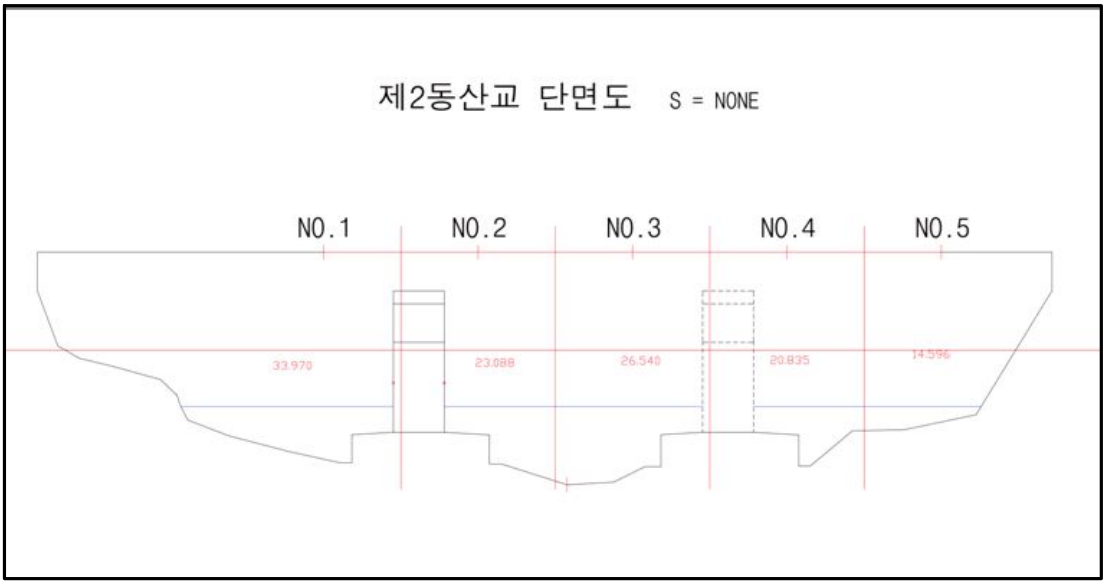

Fig. Ⅳ-4. Observed section in DongSan second bridge

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅳ-3. Result of velocity observed by Electromagnetic Surface Current Meter

구간	관측시간 (년-월-일 시간:분)	표면유속 (m/sec)	평균유속 (m/sec)
1회-NO.1	2011-08-07 10:33	1.4114	2.1193
1회-NO.2	2011-08-07 10:34	2.3940	
1회-NO.3	2011-08-07 10:35	2.5412	
1회-NO.4	2011-08-07 10:36	2.5148	
1회-NO.5	2011-08-07 10:37	1.7354	
2회-NO.1	2011-08-07 11:55	2.6304	2.5562
2회-NO.2	2011-08-07 11:55	3.2324	
2회-NO.3	2011-08-07 11:56	2.1476	
2회-NO.4	2011-08-07 11:57	2.7494	
2회-NO.5	2011-08-07 11:58	2.0211	
3회-NO.1	2011-08-07 13:02	0.6570	1.9336
3회-NO.2	2011-08-07 13:03	2.3116	
3회-NO.3	2011-08-07 13:04	2.2768	
3회-NO.4	2011-08-07 13:04	2.3391	
3회-NO.5	2011-08-07 13:05	2.4014	
4회-NO.1	2011-08-07 14:04	2.0049	2.5595
4회-NO.2	2011-08-07 14:05	2.0723	
4회-NO.3	2011-08-07 14:06	2.2834	
4회-NO.4	2011-08-07 14:07	3.2185	
4회-NO.5	2011-08-07 14:08	3.2185	
5회-NO.1	2011-08-07 15:03	2.8568	3.1287
5회-NO.2	2011-08-07 15:04	2.6093	
5회-NO.3	2011-08-07 15:07	3.7021	
5회-NO.4	2011-08-07 15:08	3.7261	
5회-NO.5	2011-08-07 15:08	2.7496	

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅳ-3. Result of velocity observed by Electromagnetic Surface Current Meter(Continued)

구간	관측시간 (년-월-일 시간:분)	표면유속 (m/sec)	평균유속 (m/sec)
6회-NO.1	2011-08-07 16:03	2.3413	
6회-NO.2	2011-08-07 16:04	4.4913	
6회-NO.3	2011-08-07 16:05	5.2705	3.4241
6회-NO.4	2011-08-07 16:06	3.1455	
6회-NO.5	2011-08-07 16:07	1.8721	
7회-NO.1	2011-08-07 17:04	2.6628	
7회-NO.2	2011-08-07 17:04	4.3121	
7회-NO.3	2011-08-07 17:04	4.4232	3.7479
7회-NO.4	2011-08-07 17:05	4.0341	
7회-NO.5	2011-08-07 17:06	3.3071	
8회-NO.1	2011-08-07 18:03	1.1462	
8회-NO.2	2011-08-07 18:04	3.0452	
8회-NO.3	2011-08-07 18:05	3.1355	2.3383
8회-NO.4	2011-08-07 18:06	2.7653	
8회-NO.5	2011-08-07 18:07	1.5995	
9회-NO.1	2011-08-07 19:02	1.1005	
9회-NO.2	2011-08-07 19:02	1.1005	
9회-NO.3	2011-08-07 19:07	2.4585	1.5062
9회-NO.4	2011-08-07 19:08	1.9438	
9회-NO.5	2011-08-07 19:08	0.9276	
10회-NO.1	2011-08-07 19:30	0.8416	
10회-NO.2	2011-08-07 19:30	2.4282	
10회-NO.3	2011-08-07 19:31	2.1328	1.5895
10회-NO.4	2011-08-07 19:32	1.4563	
10회-NO.5	2011-08-07 19:32	1.0884	

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅳ-4. Result of runoff observed by Electromagnetic Surface Current Meter

구간	상부기준 수위 (m)	통수구간 단면적 (㎡)	통수 총단면적 (㎡)	구간유량 (CMS)	총유량 (CMS)
1회-NO.1	-2.0	15.908	61.262	19.085	111.449
1회-NO.2		12.894		26.237	
1회-NO.3		16.346		35.307	
1회-NO.4		10.641		22.746	
1회-NO.5		5.4730		8.073	
2회-NO.1	-0.9	26.552	97.395	59.365	214.274
2회-NO.2		19.49		53.550	
2회-NO.3		22.942		41.880	
2회-NO.4		17.237		40.283	
2회-NO.5		11.1740		19.196	
3회-NO.1	-1.9	16.79	75.071	9.377	124.950
3회-NO.2		13.494		26.514	
3회-NO.3		16.945		32.793	
3회-NO.4		10.641		21.156	
3회-NO.5		17.2010		35.110	
4회-NO.1	-0.6	30.136	108.060	51.357	224.128
4회-NO.2		21.289		37.499	
4회-NO.3		24.741		48.019	
4회-NO.4		19.036		52.077	
4회-NO.5		12.8580		35.176	
5회-NO.1	-0.3	33.970	119.029	82.488	317.310
5회-NO.2		23.088		51.206	
5회-NO.3		26.540		83.515	
5회-NO.4		20.835		65.988	
5회-NO.5		14.596		34.113	

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅳ-4. Result of runoff observed by Electromagnetic Surface Current Meter(continued)

구간	상부기준 수위 (m)	통수구간 단면적 (㎡)	통수 총단면적 (㎡)	구간유량 (CMS)	총유량 (CMS)
6회-NO.1	-0.7	28.9	104.458	57.514	313.501
6회-NO.2		20.69		78.985	
6회-NO.3		24.141		108.150	
6회-NO.4		18.437		49.294	
6회-NO.5		12.2900		19.557	
7회-NO.1	-1.0	25.439	93.935	57.578	297.738
7회-NO.2		18.891		69.241	
7회-NO.3		22.342		84.000	
7회-NO.4		16.638		57.052	
7회-NO.5		10.6250		29.867	
8회-NO.1	-2.0	15.908	61.262	15.499	124.892
8회-NO.2		12.894		33.375	
8회-NO.3		16.346		43.565	
8회-NO.4		10.641		25.012	
8회-NO.5		5.4730		7.441	
9회-NO.1	-2.6	10.742	42.505	10.049	59.131
9회-NO.2		9.296		8.696	
9회-NO.3		12.748		26.639	
9회-NO.4		7.043		11.637	
9회-NO.5		2.6760		2.110	
10회-NO.1	-2.8	9.054	36.334	6.477	53.014
10회-NO.2		8.096		16.710	
10회-NO.3		11.548		20.935	
10회-NO.4		5.844		7.234	
10회-NO.5		1.7920		1.658	

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

현장관측 결과, 홍수유출량은 관측시작 이후 증가하다 11시 50분경에 가동된 상부 저류지의 영향으로 다소 감소하였으며, 13시경 이후 다시 증가하여 15시경에 첨두유량이 발생하고 차츰 감소하였다. 관측유속은 홍수유출량과 비슷한 경향을 보였으나, 최대유속이 발생한 시각은 17시 30분경으로 조사되었다(Fig. Ⅳ-5).

태풍 무이파로 인한 한천의 첨두홍수량은 317.31CMS이며 이를 SMS-RMA2 모형의 상류단인 제2동산교의 경계조건으로 결정하였다.

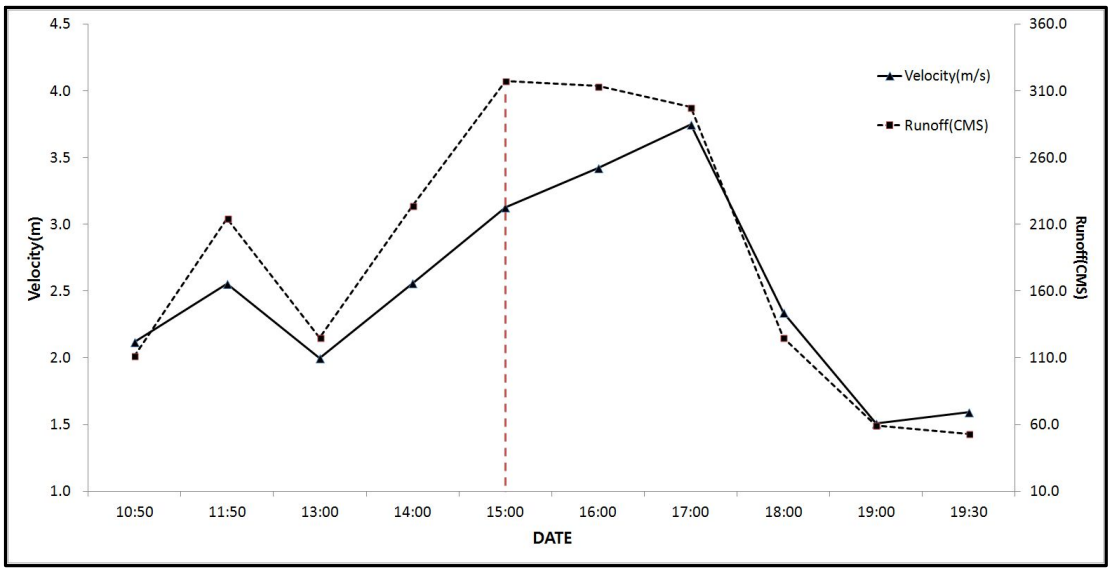

Fig. Ⅳ-5. Velocity and runoff observed by Electromagnetic Surface Current Meter

나. 레이더식 수위-유속계(Kalesto)를 이용한 경계조건 설정

제2동산교 하류부인 한천교에서는 제주도수자원본부에서 운영중인 레이더식 수위-유속계(Kalesto)가 설치되어 있으며, 본 연구에서는 SMS-RMA2 모델링을 위한 하류단의 경계조건으로 Kalesto의 관측치를 이용하였다. 태풍 무이파시 관측된 레이더식 수위-유속계의 결과를 보면 8월 7일 6시 50분에 수위 0.45m, 유속 0.87m/sec로 유출이 시작되었으며, 8월 8일 오후까지 유출이 지속되었으나, 본격적인 유출은 8월 7일 21시까지이며 약 14시간 정도 지속되었다.

Table Ⅳ-5는 레이더식 수위-유속계의 관측 결과이고, 유출이 시작된 8월 7일 6시 50분부터 8월 7일 24시까지의 관측 수심과 유속을 나타내었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅳ-5. Result of observations using Kalesto

시간	수심 (m)	유속 (m/sec)	시간	수심 (m)	유속 (m/sec)	시간	수심 (m)	유속 (m/sec)
6:50	0.45	0.87	12:40	2.32	2.57	18:30	2.08	2.71
7:00	0.50	0.93	12:50	2.35	2.17	18:40	1.96	3.17
7:10	1.71	2.02	13:00	2.50	2.11	18:50	1.87	2.71
7:20	1.64	1.96	13:10	2.59	2.27	19:00	1.78	2.51
7:30	1.55	2.10	13:20	2.58	2.96	19:10	1.62	2.80
7:40	1.51	2.21	13:30	3.42	4.69	19:20	1.52	2.64
7:50	1.45	2.00	13:40	3.40	3.96	19:30	1.54	2.50
8:00	1.39	2.17	13:50	3.47	3.77	19:40	1.59	2.88
8:10	1.34	1.96	14:00	3.11	3.38	19:50	1.52	2.52
8:20	1.37	2.23	14:10	3.61	3.46	20:00	1.45	2.36
8:30	1.43	2.06	14:20	3.77	4.10	20:10	1.37	2.34
8:40	1.68	2.07	14:30	3.84	3.59	20:20	1.35	2.32
8:50	1.77	2.11	14:40	3.95	4.11	20:30	1.25	2.47
9:00	1.91	2.72	14:50	3.46	4.29	20:40	1.21	2.26
9:10	2.03	2.95	15:00	4.07	4.22	20:50	1.15	2.06
9:20	2.08	2.48	15:10	4.06	3.95	21:00	1.16	2.06
9:30	2.09	2.57	15:20	4.03	4.28	21:10	1.11	1.85
9:40	2.08	2.80	15:30	3.84	3.9	21:20	1.10	2.13
9:50	2.12	2.92	15:40	3.50	3.31	21:30	1.09	2.04
10:00	2.39	2.36	15:50	3.34	3.75	21:40	1.04	1.80
10:10	2.43	2.47	16:00	3.52	3.93	21:50	1.04	1.84
10:20	2.58	2.83	16:10	3.44	4.33	22:00	0.96	1.80
10:30	2.53	2.60	16:20	3.24	3.52	22:10	0.96	1.69
10:40	2.71	2.65	16:30	3.51	4.27	22:20	0.94	1.75
10:50	2.76	2.82	16:40	3.35	3.64	22:30	0.92	1.59
11:00	3.05	4.41	16:50	3.41	3.70	22:40	0.89	1.66
11:10	3.15	4.62	17:00	3.41	3.97	22:50	0.90	1.67
11:20	3.35	3.64	17:10	3.50	3.80	23:00	0.88	1.61
11:30	3.30	3.58	17:20	3.34	4.22	23:10	0.86	1.55
11:40	3.70	3.97	17:30	3.28	4.36	23:20	0.82	1.54
11:50	3.40	4.27	17:40	2.74	2.98	23:30	0.83	1.52
12:00	3.56	4.16	17:50	2.60	2.62	23:40	0.81	1.54
12:10	3.03	4.57	18:00	2.37	2.11	23:50	0.78	1.36
12:20	2.79	2.75	18:10	2.24	2.92	24:00	0.77	1.51
12:30	2.67	2.36	18:20	2.19	2.73			

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

레이더식 수위-유속계(Kalesto)의 시간별 수위-유속 관측 결과를 이용하여 한천교에서의 홍수유출량을 산출하였다. 이는 제2동산교의 홍수유출량 산정과 동일하게 한천교에서의 통수단면적을 산정하고 관측된 표면유속을 평균유속으로 보정하여 도출하였다. 또한, Kalesto에서 관측되는 수위는 홍수 표면의 수심으로써 이를 수위로 보정하기 위하여 Kalesto의 관측위치점의 elevation을 하천정비기본계획의 측량자료에서 추출하여 보정하였다.

관측자료의 분석 결과, 홍수유출량은 제2동산교의 결과와 거의 동일하였다. 11시 50분경을 기점으로 증감의 변화가 있었고 첨두유량 또한 15시경에 발생하였으며, 유량은 301.57CMS로 분석되었다. 제2동산교의 첨두유량인 317.31CMS 보다 15.74CMS 작은 결과를 보였으며, 이는 관측장비의 차이와 통수단면의 분할에서 생긴 오차라고 판단된다. 최대수심은 첨두유량이 발생한 시간과 동일하게 15시경에 발생하였으며 4.07m로 관측되었다(Fig. Ⅳ-6). 하천정비기본계획에서 추출한 관측지점의 하상 표고는 EL.21m이며 수심 4.07m를 고려하여 EL.25.07m를 SMS-RMA2 모형의 하류단인 한천교의 경계조건으로 결정하였다.

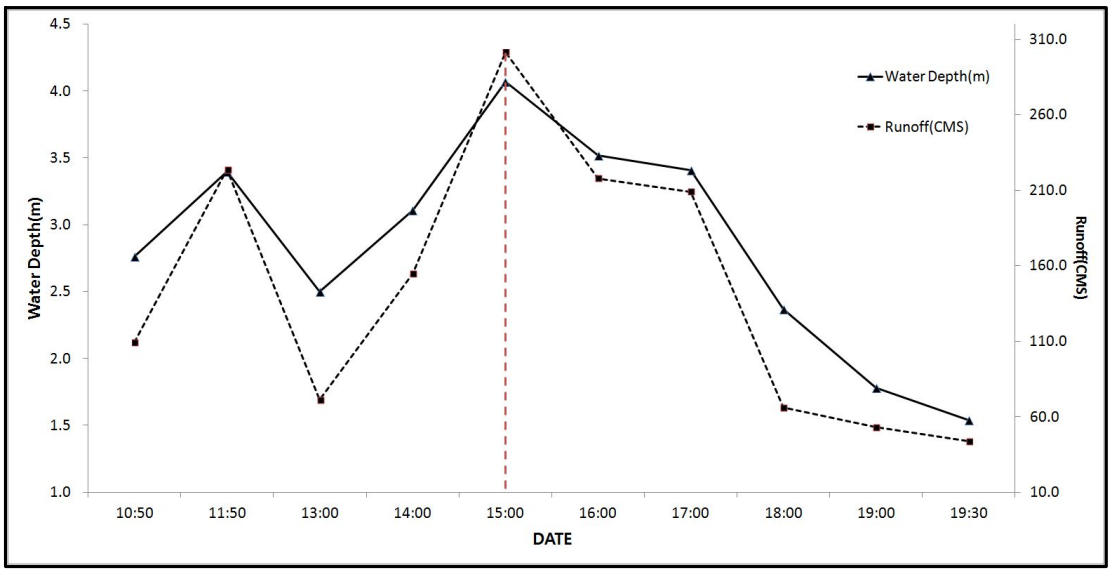

Fig. Ⅳ-6. Weter depth and runoff observed by Kalesto

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 하천경계선의 설정

SMS-RMA2 분석에는 하천 지형과 침수면적을 고려한 하천경계선이 필요하다. 한천은 평상시에 건천을 형성하고 있지만 홍수시에는 돌발성 하천유출이 발생하는 특성을 가지고 있어 수위에 따른 하천의 침수면적을 산정하기가 매우 어렵다. 따라서 HEC-GeoRAS를 이용하여 실제지형에 적합한 하천 단면을 구축한 후, HEC-RAS로 import하여 수위를 모의하였다. 이 결과를 HEC-GeoRAS로 Export하고, 수위에 따른 침수심과 침수선을 생성하여 SMS-RMA2 모의를 위한 하천경계선을 작성하였다. 침수심과 침수선의 모의에서는 앞 절에서 설정된 경계조건을 사용하였다. 상류단에서는 30년, 50년, 80년, 100년, 200년 빈도와 태풍 무이파의 홍수량을 사용하였으며, 하류단은 NO. 43 지점의 빈도별 홍수위와 태풍 무이파시 홍수위를 기점홍수위로 설정하였다.

각 경계조건에 따른 침수심과 침수선의 면적을 분석한 결과, 30년 빈도에 비해 200년 빈도의 최대침수심은 약 1.9m 깊고, 침수면적은 약 8,000㎡ 증가하였으며, 태풍 무이파로 인한 최대 침수심은 5.151m, 평균침수심은 2.281m로 분석되었다.

산출된 침수면적의 boundary는 홍수유출시 수위에 의해 형성되는 하천의 경계와 일치하므로 이를 하천경계선으로 사용하였으며, HEC-GeoRAS를 이용하여 강우사상별 침수심과 침수면적을 산정한 결과는 Fig. Ⅳ-7~12와 같다.

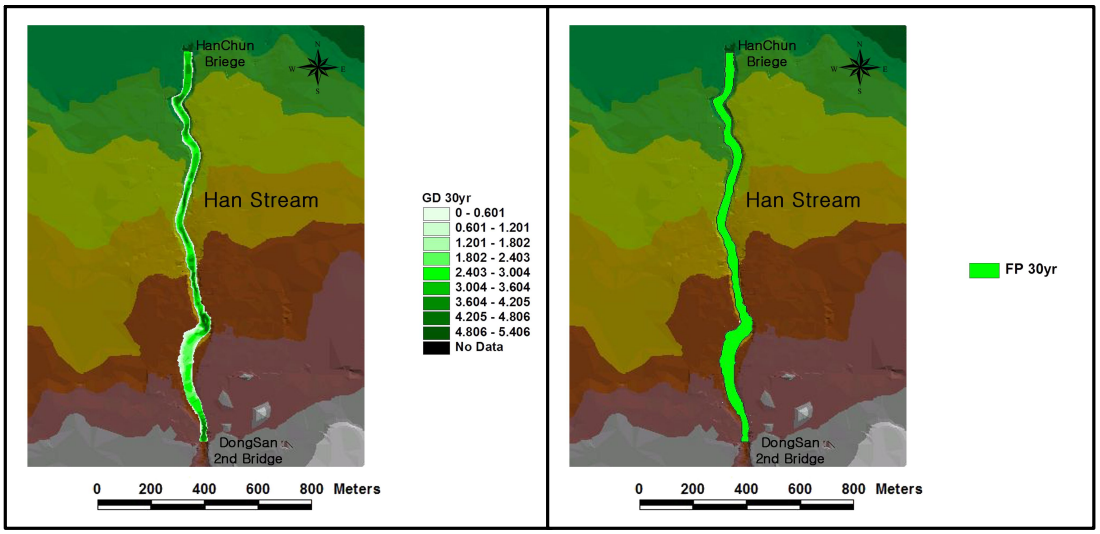

Fig. Ⅳ-7. Analysis of water depth and inundation area(frequency-30yr)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

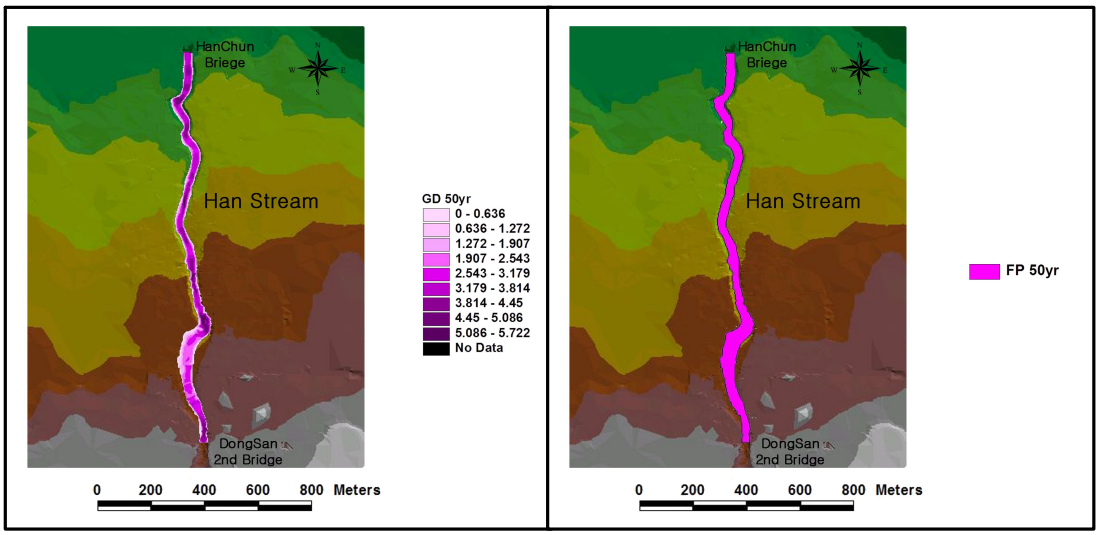

Fig. Ⅳ-8. Analysis of water depth and inundation area(frequency-50yr)

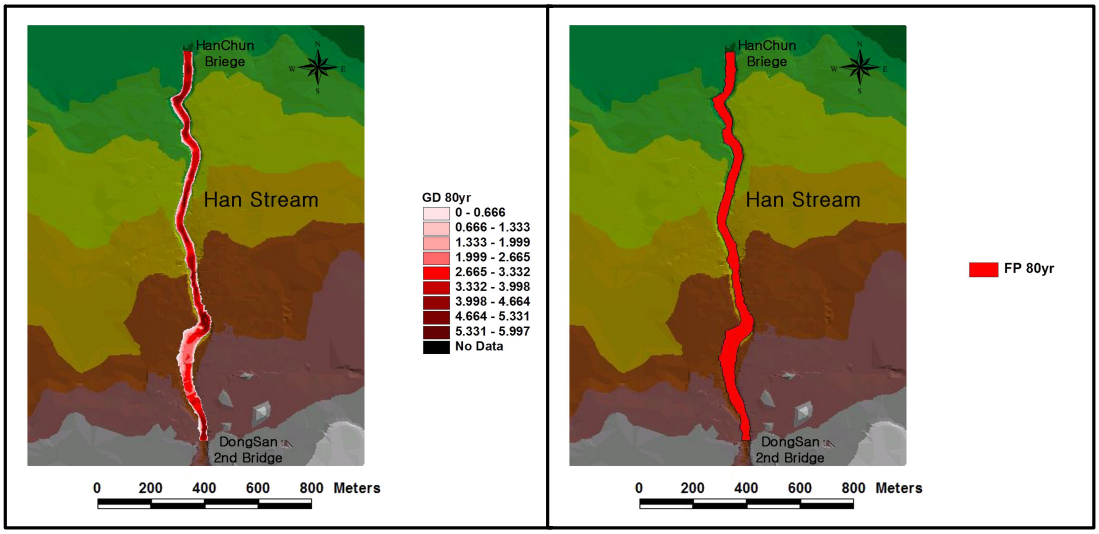

Fig. Ⅳ-9. Analysis of water depth and inundation area(frequency-80yr)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

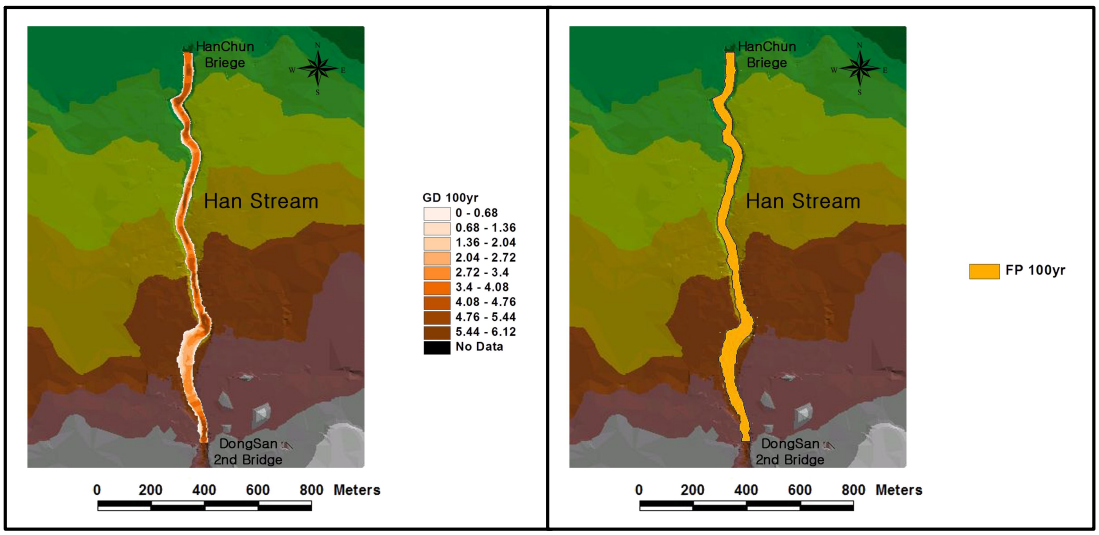

Fig. Ⅳ-10. Analysis of water depth and inundation area(frequency-100yr)

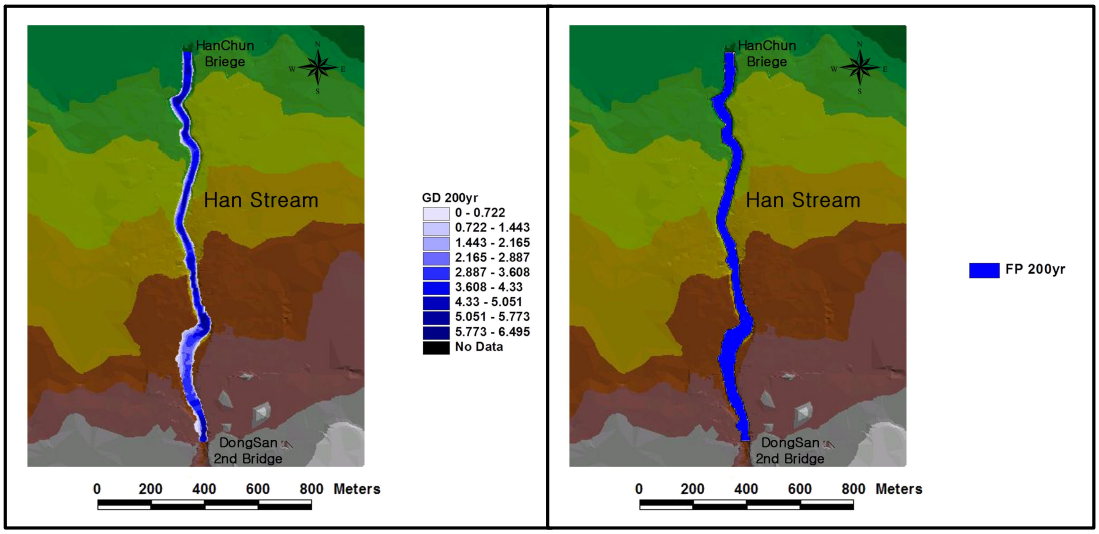

Fig. Ⅳ-11. Analysis of water depth and inundation area(frequency-200yr)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

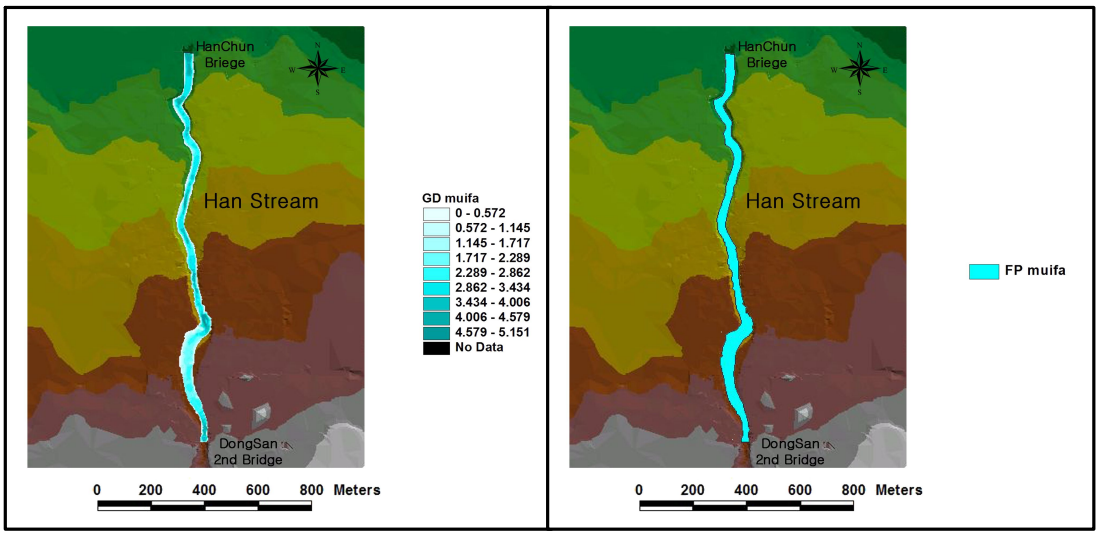

Fig. Ⅳ-12. Analysis of water depth and inundation area(typhoon-Muifa)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅴ. 하천 흐름해석 모형의 결과와 비교

1. HEC-RAS와 HEC-GeoRAS 모형의 결과와 비교

「한천 외 3개 하천기본계획(제주시, 2009)」에서는 대부분의 하천정비기본계획에서 사용하는 하천의 1차원 흐름해석 모형인 HEC-RAS 모형을 이용하여 수위와 유속을 분석하였다. 본 연구에서는 HEC-RAS 모형과 GIS를 연계한 HEC-GeoRAS 모형을 이용하여 하천의 흐름을 해석하고, 두 모형의 해석 결과를 비교하였다.

HEC-RAS 모형을 이용한 하천정비기본계획의 1차원 흐름해석은 빈도별 홍수량과 기점수위를 경계조건으로 하여 수위와 유속을 계산하였으며, Geometric Date 구축은 직선형의 하천을 가정하여 해석하였다. 하천횡단면은 측량 측정후 계획된 단면을 이용하였으며, 기본적으로 하천중심선과 이루는 각이 직각이 되도록 하였으나, 교량부에서는 교량 단면과 평행한 단면을 사용하였다.

HEC-GeoRAS 모형을 이용한 해석의 경계조건은 하천정비기본계획과 동일하게 구축하였으며, 하천의 선형은 하천정비기본계획의 횡단측량 자료와 수치지형도를 입력자료로 하여 Arcview GIS 프로그램을 이용한 TIN과 DTM을 구축함으로써 하천의 굴곡을 고려하도록 하였다. 따라서, Geometric Data는 하천의 실제형상을 보여주며 횡단면의 형상은 DEM 분석에 따른 하천의 형상을 고려하여 하천단면을 재생성하였다.

Fig. Ⅴ-1은 HEC-RAS 모형을 이용한 하천정비기본계획의 하천선형과 HEC-GeoRAS를 이용한 하천선형의 차이를 보여주고 있으며, Fig. Ⅴ-2는 두 모형의 NO.44 지점 횡단면을 나타낸 것으로 형상은 크게 다르지 않지만 HEC-GeoRAS를 이용하여 재생성된 횡단면은 하상을 연결하는 절점의 수가 보다 많았다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

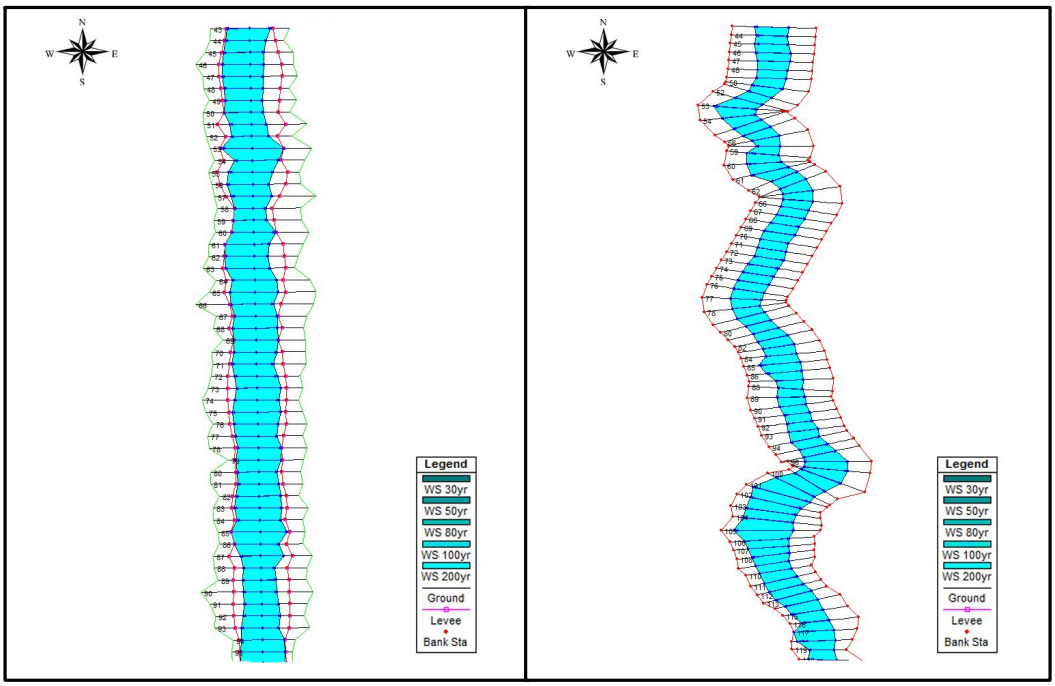

Fig. Ⅴ-1. Comparison of the stream linear using HEC-RAS(left) and HEC-GeoRAS(right)

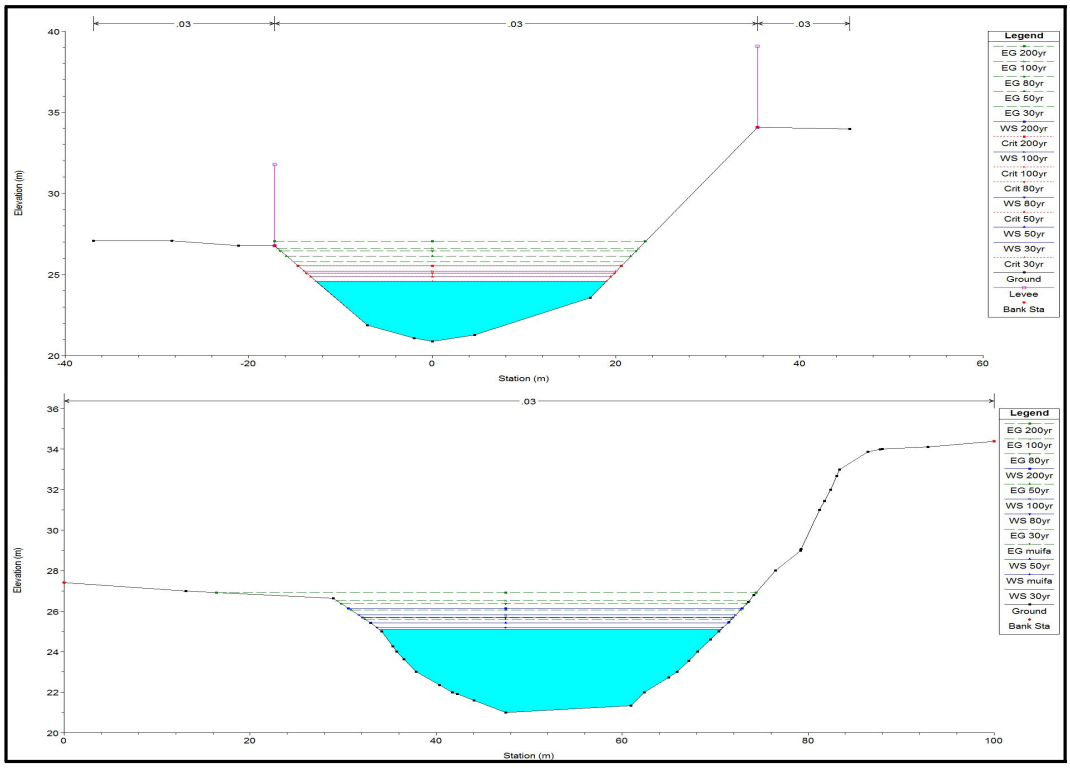

Fig. Ⅴ-2. Comparison of the stream cross-section using HEC-RAS(up) and HEC-GeoRAS(down)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅴ-1은 200년 빈도의 홍수량과 기점홍수위를 경계조건으로 하는 HEC-RAS와 HEC-GeoRAS 모델링의 하상고, 홍수위, 유속 결과이다. 하천정비기본계획에서는 연구대상 구간으로 설정한 NO.43～120 중에서 NO.43～98+18까지의 단면만 구축되어 있으므로, 이에 해당하는 단면의 흐름특성을 비교하였다.

HEC-GeoRAS를 이용한 모델링 결과, 하상고의 범위는 EL.21～44.51m이며, 유속은 2.96～5.95m/sec, 수위는 EL.25.32～50.15m로 나타났으며, HEC-RAS 모형을 이용한 결과와 유사한 흐름특성을 보였다.

Table Ⅴ-1. Analysis of HEC-RAS and HEC-GeoRAS

Station (NO.)	HEC-RAS			HEC-GeoRAS		
	Channel floor elevation (EL.m)	Water velocity (m/sec)	Water elevation (EL.m)	Channel floor elevation (EL.m)	Water velocity (m/sec)	Water elevation (EL.m)
95.18	44.21	2.69	50.12	44.00	3.53	50.15
95	44.21	2.70	50.10	44.51	5.37	49.17
94	44.03	2.88	50.03	43.33	5.41	47.85
93	43.51	5.61	48.68	43.00	5.40	47.35
92	42.38	5.68	47.47	42.00	5.70	46.77
91	40.28	5.77	46.17	40.33	5.68	46.36
90	39.33	5.85	45.49	40.00	5.58	45.72
89	39.17	5.83	44.98	40.00	5.54	45.46
88	38.85	5.97	44.65	39.00	5.80	44.65
87	39.04	5.38	43.51	39.00	5.64	43.65
86	38.88	4.08	43.80	39.00	4.26	43.61
85	38.51	3.24	43.98	39.00	3.33	43.81
84	38.55	5.39	42.88	39.00	5.38	42.74
83	38.46	5.24	42.50	38.49	5.29	42.30
82	37.53	5.32	41.87	37.45	5.27	41.88
81	35.91	5.48	41.28	36.00	5.47	41.14
80	35.72	5.54	40.65	36.00	5.58	40.73
79	35.72	3.10	41.25	36.00	4.52	40.90
78	35.92	5.35	40.13	36.00	5.53	40.23
77	35.55	5.45	39.71	36.00	5.39	39.92
76	35.06	5.31	39.34	34.81	5.31	39.15
75	34.41	5.19	38.91	33.80	5.28	38.43
74	33.11	5.31	38.09	32.00	4.57	38.29
73	31.75	4.39	37.63	32.00	5.36	37.75
72	31.57	5.38	37.00	32.00	5.35	37.26
71	31.43	5.45	36.68	32.00	5.46	36.56
70	30.58	5.39	35.94	31.00	5.45	36.14

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅴ-1. Anlysis of HEC-RAS and HEC-GeoRAS(continued)

Station (NO.)	HEC-RAS			HEC-GeoRAS		
	Channel floor elevation (EL.m)	Water velocity (m/sec)	Water elevation (EL.m)	Channel floor elevation (EL.m)	Water velocity (m/sec)	Water elevation (EL.m)
74	33.11	5.31	38.09	32.00	4.57	38.29
73	31.75	4.39	37.63	32.00	5.36	37.75
72	31.57	5.38	37.00	32.00	5.35	37.26
71	31.43	5.45	36.68	32.00	5.46	36.56
70	30.58	5.39	35.94	31.00	5.45	36.14
69	29.73	5.32	34.50	29.81	5.30	34.23
68	28.99	4.41	34.51	29.00	5.43	33.63
67	28.72	4.31	34.47	29.00	5.48	33.31
66	28.87	5.42	33.77	29.00	5.51	33.14
65	26.68	3.79	34.00	29.00	5.41	32.99
64	28.54	5.33	33.14	29.00	5.39	32.87
63	28.78	5.33	32.81	28.32	5.30	32.30
62	28.32	5.39	32.58	28.00	5.32	32.05
61	27.43	5.34	31.29	27.85	4.92	31.61
60	26.54	4.43	31.43	26.48	4.32	31.43
59	25.11	5.86	30.50	25.33	5.30	30.80
58	24.75	5.99	29.89	25.00	5.95	29.77
57	24.59	5.49	29.55	25.00	5.47	29.35
56	24.21	5.42	28.90	24.92	5.27	28.91
55	23.72	5.34	28.48	24.00	5.25	28.40
54	23.33	5.34	27.97	23.22	5.20	27.93
53	22.05	2.67	28.40	22.00	2.96	27.96
52	21.96	5.02	27.35	22.00	4.17	27.43
51	21.77	5.67	26.85	22.00	5.65	26.53
50	21.64	4.88	26.63	22.00	4.94	26.50
49	21.48	5.63	26.08	22.00	4.67	26.50
48	21.25	5.58	25.83	22.00	5.42	25.97
47	21.33	5.48	25.73	21.00	3.90	26.20
46	20.87	5.45	25.52	21.00	3.91	26.15
45	20.51	5.53	25.27	21.00	5.23	25.39
44	20.44	5.50	25.00	21.00	4.65	25.32
43	20.08	4.25	25.33	21.00	4.36	25.33

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

구간별 하천의 흐름에서는 상류부 NO. 92~95와 중류부 NO. 65~68에서 수위의 차이가 각각 0.7~2.18m, 0.88~1.16m로 크게 나타났으며, 상·하류부에서 최대 2.67m/sec, 1.58m/sec의 유속 차이를 보였다(Table Ⅴ-2, Fig. Ⅴ-3, 4).

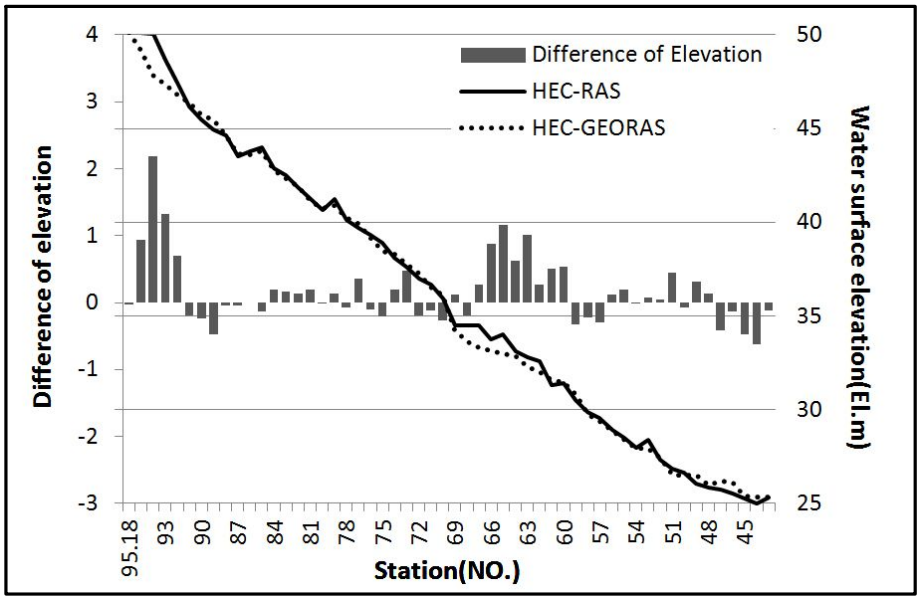

Fig. Ⅴ-3. Analysis of water surface elevation by section(between HEC-RAS and HEC-GeoRAS)

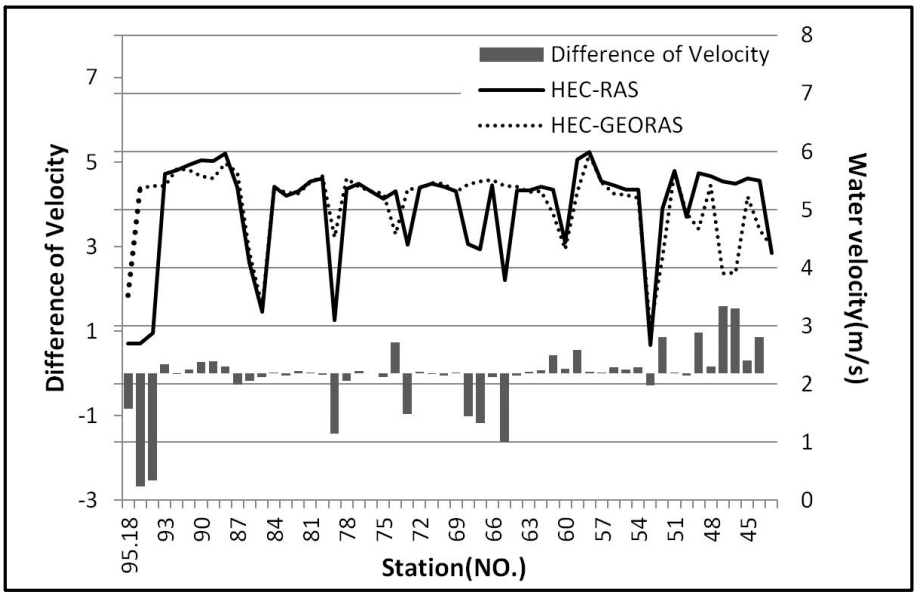

Fig. Ⅴ-4. Analysis of water surface velocity by section(between HEC-RAS and HEC-GeoRAS)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅴ-2. Comparison of 1 dimension flow analysis

Analysis models	Max. Elevation (EL.m)	Min. Elevation (EL.m)	Max. Difference of Elevation (EL.m)	Max. Velocity (m/sec)	Min. Velocity (m/sec)	Max. Difference of Velocity (m/sec)
HEC-RAS	50.12 (NO.95+18)	25.00 (NO.44)	2.18 (NO.94)	5.99 (NO.58)	2.67 (NO.53)	2.67(NO.95) 1.42(NO.79) 1.62(NO.65) 1.58(NO.47)
HEC-GeoRAS	50.15 (NO.95+18)	25.32 (NO.44)	1.16 (NO.67)	5.95 (NO.58)	2.96 (NO.53)	

HEC-GeoRAS를 이용하여 재생성한 하천의 횡단면은 수치지형도의 표고 특성을 갖기 때문에 일부 단면에서 하천기본계획의 횡단면과 하상고의 차이가 발생하며, 이 차이만큼 수위차가 생기지만, 수심차는 거의 발생하지 않았다. 대상구간의 교량지점인 NO.70, 79, 95 지점에서는 수위 및 유속의 차이가 큰 폭으로 나타났으며, 이는 하천횡단면의 통수단면적의 차이 때문에 발생한 것으로 판단된다. 하천정비기본계획에서의 하천횡단면은 기본적으로 하천중심선과 이루는 각이 직각이 되도록 하지만, 교량부에서는 교량 단면과 평행한 단면을 사용하기 때문에 실제적인 횡단면이 될 수 없다. 즉, 하천과 직각인 교량은 횡단면도 하천의 흐름과 직각이 되지만 하천과 직각이 아닌 교량의 횡단면은 마찬가지로 하천의 흐름과 직각이 되지 못하여 통수단면적에서 차이가 발생하게 된다.

교량 지점의 통수단면적 차이를 비교한 결과, NO.70지점 이외의 두 지점의 교량에서는 통수단면적의 차이가 타 횡단면에 비해 크게 나타났으며, 이로 인하여 수위와 유속의 차이가 발생한 것으로 판단된다(Table Ⅴ-3, Fig Ⅴ-5).

Table Ⅴ-3. Distinction of flow area at section-bridge

Station (NO.)	Flow Area(HEC-RAS) (m^2)	Flow Area(HEC-GeoRAS) (m^2)	Difference flow area (m^2)
NO.95	214.8	108.05	106.75
NO.79	186.95	128.24	58.71
NO.70	107.54	106.47	1.07

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

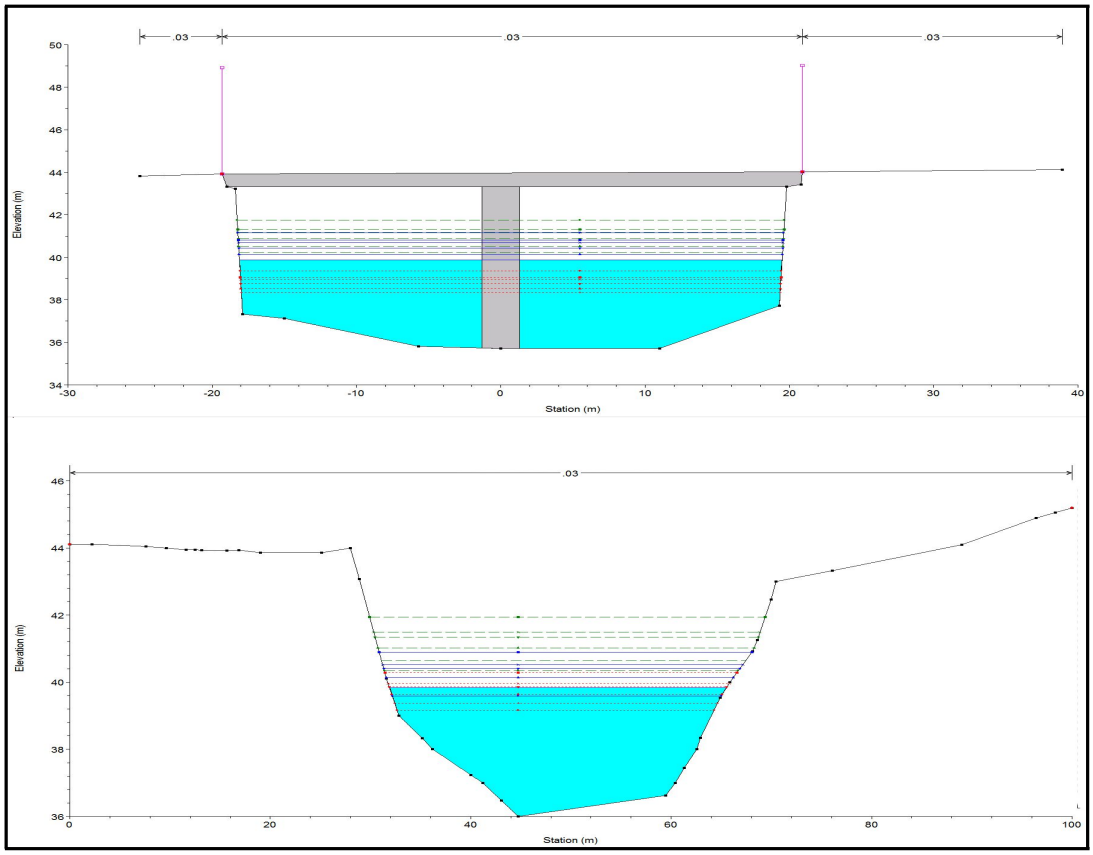

Fig. V-5. Distinction of flow area at section-bridge NO.79 using HEC-RAS(up) and HEC-GeoRAS(down)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. SMS-RMA2 모형의 결과

2.1 1차원해석 모형과 SMS-RMA2 모형의 결과와 비교

1차원 흐름해석 모형의 경계조건 및 입력자료를 SMS-RMA2 모형에 적용하였다. 분석구간은 하천정비기본계획의 상류부 종점인 NO.95+18(한천교)에서 제2동산교의 NO.120까지 확장하였으며, 총구간은 NO.43~120이다. 하천정비기본계획에서는 NO.120 지점의 홍수량을 산정하지 않았으나, 확장구간은 지류의 유입이 없고 우수관거에 의한 유입은 미비하여 NO.95+18 지점과 동일한 홍수량을 유입부의 경계조건으로 사용하였다. 따라서 상류단의 경계조건은 200년 빈도의 홍수량인 580CMS를 사용하였으며, 하류단은 기점수위 EL.25.33m를 사용하였고, 해당 빈도의 침수면적 boundary를 하천경계선으로 설정하였다. 유한요소 격자망의 vertices를 5m 간격으로 설정하여 하천의 횡단면을 4개의 구간으로 나누었으며, 1차원흐름해석과의 비교를 위해 하천정비기본계획의 횡단면과 동일한 지점의 vertices를 추가하여 분석한 결과, 생성된 격자망의 노드 수는 1101개이고, 312개의 유한요소망으로 구성되었으며, 하천의 평균 폭은 약 40m, 최대 하폭은 75.41m로 산정되었다. 또한, 1차원 흐름해석과 동일 단면에서의 X, Y 벡터별 유속 결과를 산출하였고, 이를 스칼라의 유속으로 변환하여 node별 유속을 구하였으며, 각 횡단면을 구성하고 있는 9개의 노드별 유속을 평균하여 평균유속을 산정하였다. SMS-RMA2 모형은 HEC-GeoRAS 모형을 이용한 침수선과 침수면적을 하천경계선으로 사용하므로 분석된 수위는 1차원해석의 결과와 동일하며, 횡단면의 편수위에 따라 근소한 차이가 발생한다.

해석결과, 최대유속은 NO.58에서 6.638m/sec이며, 최저유속은 NO.101의 2.623m/sec로 분석되었고, 기본적으로 하천의 직선부에서 횡단면의 편수위는 하천 중심부가 높고 양안이 낮은 결과를 보였으며, 만곡부에서는 만곡내측이 낮고 외측으로 갈수록 높아지는 것을 확인하였다.

Table Ⅴ-4는 SMS-RMA2 모형을 이용하여 해석된 한천의 유속과 수위 결과이며, 이를 HEC-GeoRAS를 이용한 1차원 흐름해석 결과와 비교하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table V-4. Analysis of SMS-RMA2

Station (NO.)	평균유속 (m/sec)	수위 (EL.m)	편수위차 (m)	
			최대	최소
120	5.805	58.21	0.07263	-0.05801
119	6.197	57.73	0.01862	-0.01692
118	4.586	58.00	0.00514	-0.00392
117	4.172	57.88	0.00890	-0.00358
116	5.312	57.03	0.00828	-0.01074
115	5.339	56.06	0.00253	-0.00297
114	4.462	54.69	0.00128	-0.00132
113	4.195	54.95	0.00337	-0.00168
112	4.132	54.28	0.00425	-0.00286
111	4.547	53.90	0.00193	-0.00258
110	4.710	53.36	0.00102	-0.00248
109	4.609	53.06	0.00316	-0.00387
108	4.331	52.72	0.00065	-0.00035
107	4.008	52.49	0.00076	-0.00039
106	3.614	52.21	0.00153	-0.00310
105	3.011	52.00	0.00373	-0.00191
104	3.028	51.17	0.00163	-0.00109
103	3.140	50.71	0.00151	-0.00316
102	2.888	50.57	0.00196	-0.00411
101	2.623	50.66	0.00433	-0.00267
100	2.985	50.49	0.00400	-0.00370
99	3.371	50.49	0.00082	-0.00138
98	3.486	50.54	0.00622	-0.00843
97	3.652	50.56	0.00736	-0.01697
96	3.911	50.55	0.01195	-0.01172
95+18	4.662	50.21	0.00377	-0.00600
95	5.193	49.23	0.00449	-0.00432
94	5.433	47.90	0.00675	-0.00998
93	5.659	47.40	0.00377	-0.00341
92	6.036	46.82	0.00122	-0.00067
91	6.323	46.40	0.00099	-0.00247
90	5.897	45.77	0.00266	-0.00174
89	6.012	45.51	0.00597	-0.00368
88	6.443	44.69	0.00134	-0.00303
87	6.153	43.69	0.00319	-0.00783
86	4.772	43.66	0.00107	-0.00081
85	4.170	43.87	0.00930	-0.00398
84	4.975	42.79	0.00120	-0.00198
83	5.209	42.34	0.00577	-0.00886
82	4.946	41.93	0.00504	-0.00238

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅴ-4. Analysis of SMS-RMA2(continued)

Station (NO.)	평균유속 (m/sec)	수위 (EL.m)	편수위차 (m)	
			최대	최소
81	5.456	41.18	0.00109	-0.00095
80	5.749	40.77	0.00116	-0.00304
79	5.484	40.94	0.00620	-0.00383
78	5.603	40.27	0.00778	-0.01288
77	5.451	39.96	0.00817	-0.00969
76	5.047	39.19	0.00438	-0.00354
75	5.009	38.47	0.00124	-0.00105
74	5.010	38.33	0.00094	-0.00055
73	5.176	37.79	0.00136	-0.00200
72	5.253	37.30	0.00418	-0.00383
71	5.432	36.60	0.00309	-0.00293
70	5.434	36.18	0.00373	-0.00617
69	5.149	34.27	0.00294	-0.00183
68	5.388	33.67	0.00035	-0.00069
67	5.626	33.35	0.00184	-0.00202
66	5.615	33.17	0.00213	-0.00368
65	5.466	33.03	0.00597	-0.00673
64	5.296	32.91	0.00916	-0.01061
63	5.231	32.34	0.00834	-0.01102
62	4.958	32.09	0.00777	-0.00846
61	4.369	31.65	0.00711	-0.00353
60	4.677	31.46	0.00765	-0.01495
59	5.533	30.83	0.01760	-0.01457
58	6.638	29.78	0.00658	-0.01405
57	6.077	29.35	0.02129	-0.02810
56	4.827	28.93	0.00420	-0.00243
55	4.973	28.41	0.00082	-0.00111
54	4.598	27.94	0.00786	-0.01769
53	4.123	27.97	0.01868	-0.02856
52	5.312	27.43	0.01179	-0.01057
51	6.011	26.52	0.00567	-0.01078
50	5.548	26.50	0.01051	-0.01303
49	5.349	26.50	0.00514	-0.00469
48	5.311	25.97	0.00119	-0.00205
47	4.931	26.20	0.00243	-0.00253
46	4.710	26.15	0.00447	-0.00218
45	4.904	25.39	0.00296	-0.00173
44	5.133	25.32	0.00146	-0.00288
43	4.825	25.33	0.00048	-0.00111

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

횡단간의 수위차와 편수위차는 상류부에서 하류부로 갈수록 작아지는 결과를 보였으며, 유속은 만곡부인 상류부의 NO.95+18~112 구간과 하류부의 NO.46~53 구간에서 최대 1.53m/sec의 차이를 보였다(Table Ⅴ-5, Fig. Ⅴ-6, 7).

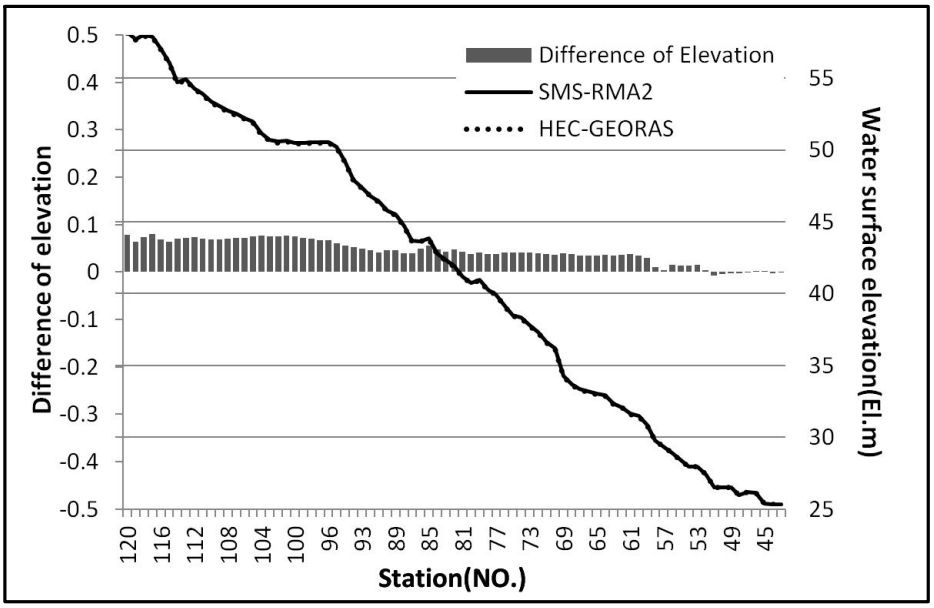

Fig. Ⅴ-6. Analysis of water surface elevation by section(between HEC-GeoRAS and SMS-RMA2)

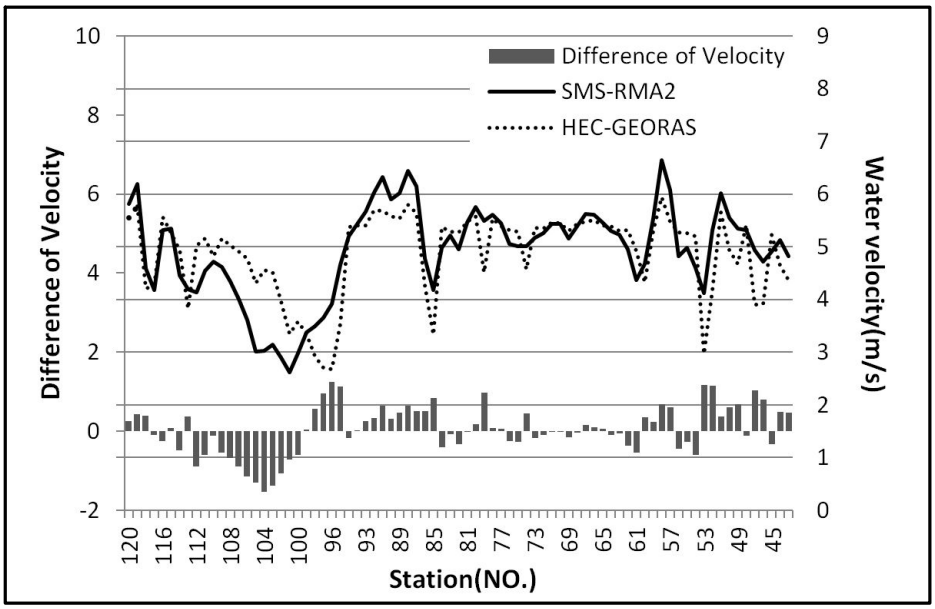

Fig. Ⅴ-7. Analysis of water surface velocity by section(between HEC-GeoRAS and SMS-RMA2)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table V-5. Comparison of 1 dimension and 2 dimension flow analysis

Analysis models	Max. Elevation (EL.m)	Min. Elevation (EL.m)	Max. Difference of Elevation (EL.m)	Max. Velocity (m/sec)	Min. Velocity (m/sec)	Max. Difference of Velocity (m/sec)
HEC-GeoRAS	58.13 (NO.120)	25.32 (NO.44)	0.08 (NO.117)	5.95 (NO.58)	2.67 (NO.96)	1.53 (NO.95+18~112)
SMS-RMA2	58.21 (NO.120)	25.32 (NO.44)		6.638 (NO.58)	2.623 (NO.101)	1.16 (NO.46~53)

NO.95+18～112 구간은 대상구간의 최대 만곡부이며, NO.46～53 구간은 NO.60 지점에서 시작한 연속적인 만곡이 끝나는 부분이다. 이와 같은 만곡부에서는 1차원 해석과 2차원해석의 결과가 상이하게 분석되었으며, SMS-RMA2 모형을 이용한 2차원 분석에서는 하천의 만곡형태를 고려한 해석이 가능하다.

Fig. V-8은 1차원 흐름해석의 경계조건과 입력자료를 적용한 SMS-RMA2 모형의 2차원 흐름해석 결과 모식도이다. 2차원 흐름해석 모형은 1차원 흐름해석과는 달리 하천의 횡적인 유속의 분포와 수위차를 분석할 수 있으며, 하천의 만곡부나 합류부의 지형적 여건을 고려하여 실제 지형에 적합한 해석이 가능한 것을 알 수 있다.

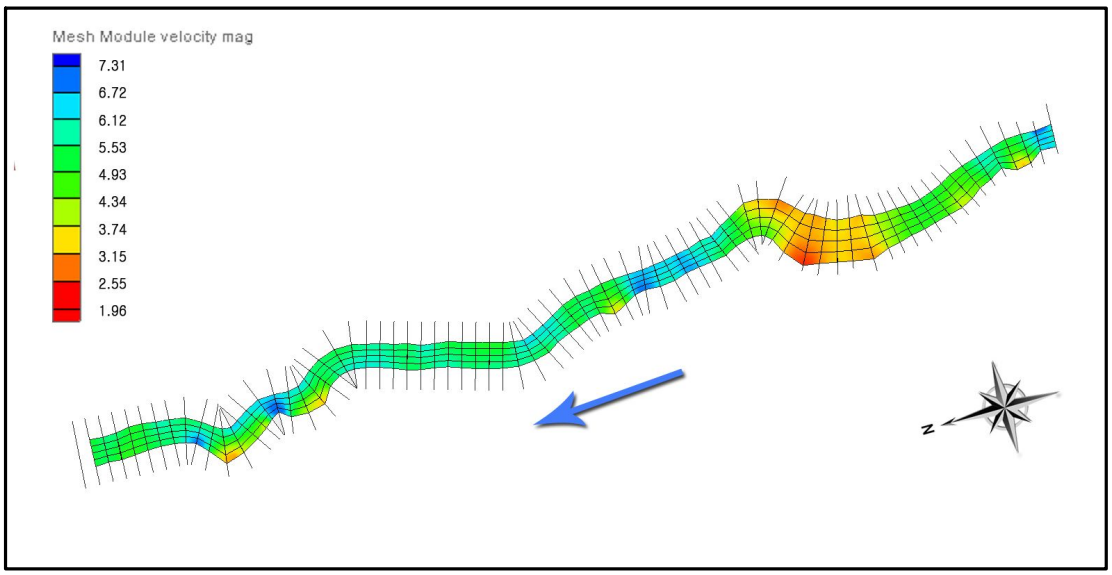

Fig. V-8. Result map of SMS-RMA2 analysis

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2 현장관측 자료의 SMS-RMA2 적용 결과

SMS-RMA2 모형의 실제 적용을 위해 2011년 8월 7일 제주도를 통과한 태풍 무이파로 인하여 발생한 홍수유출의 2차원 흐름해석을 수행하였다. 분석구간은 현장관측을 시행한 한천 하류부의 제2동산교에서 레이더식 수위-유속계(Kalesto)가 설치된 한천교 구간으로, 하천정비기본계획의 NO.43~120 구간이다. 상류단의 경계조건은 태풍 무이파로 인하여 발생한 첨두홍수량인 317.31CMS를 사용하였으며, 하류단은 Kalesto로 관측한 한천교의 홍수위인 EL.25.02m를 적용하였다. 하천경계선은 무이파의 홍수량과 홍수위를 이용하여 산정한 한천 침수면적의 boundary를 사용하였고, 유한요소망의 격자크기와 횡단면의 vertices 지점, 노드와 격자망의 수는 계획홍수량 및 홍수위를 입력자료로 한 2차원 흐름해석과 동일하게 적용하였다. 하천의 횡단면을 구성하고 있는 9개의 node 중에 1, 5, 9 번째 node를 좌안, 중안, 우안으로 설정하고 대상 지점의 유속과 수위를 산출하여 횡적인 수리특성을 분석하였다.

Table Ⅴ-6은 SMS-RMA2 모형을 이용하여 해석한 태풍 무이파 시 홍수유출의 유속과 수위 결과이다. 최대유속은 NO.58의 3.626m/sec, 최저유속은 NO.101의 1.440m/sec로 나타났으며, 수위는 EL.24.88~57.08m의 범위를 보였다. 또한, node별 유속과 수위를 해석한 결과, 하천의 만곡 및 지형적 특성에 따라 횡적인 차이를 알 수 있었다. 직선형의 흐름에서는 횡단면 중안의 유속이 빠르고 수위가 높으며, 하천의 만곡부에서는 만곡내측의 유속이 느리고 수위가 낮은 결과를 보이지만, 외측으로 갈수록 반대의 결과가 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅴ-6. Analysis of SMS-RMA2 using observations

Station (NO.)	수위(EL.m)				유속(m/sec)			
	좌안	중안	우안	평균	좌안	중안	우안	평균
120	57.096	57.099	57.118	57.08	3.187	3.188	3.249	3.181
119	56.286	56.289	56.284	56.29	3.156	3.399	3.663	3.359
118	56.296	56.297	56.298	56.30	1.900	2.617	2.808	2.515
117	56.002	55.997	55.997	56.00	1.893	2.392	2.614	2.317
116	55.540	55.544	55.546	55.54	2.823	2.935	2.757	2.898
115	54.890	54.892	54.892	54.89	2.710	2.924	3.065	2.905
114	53.703	53.704	53.704	53.70	2.321	2.485	2.546	2.460
113	53.863	53.864	53.865	53.86	2.162	2.309	2.378	2.289
112	53.306	53.304	53.304	53.30	2.075	2.280	2.461	2.274
111	52.924	52.924	52.923	52.92	2.424	2.482	2.562	2.489
110	52.423	52.423	52.422	52.42	2.565	2.583	2.606	2.581
109	52.064	52.063	52.062	52.06	2.514	2.535	2.516	2.526
108	51.703	51.703	51.703	51.70	2.440	2.383	2.276	2.371
107	51.604	51.604	51.604	51.60	2.218	2.205	2.177	2.201
106	51.364	51.364	51.363	51.36	1.925	1.992	1.951	1.972
105	51.206	51.205	51.204	51.20	1.530	1.730	1.628	1.656
104	50.306	50.305	50.305	50.31	1.648	1.668	1.669	1.663
103	49.905	49.905	49.904	49.90	1.702	1.698	1.774	1.719
102	49.495	49.495	49.493	49.49	1.454	1.604	1.639	1.580
101	49.476	49.475	49.475	49.48	1.174	1.511	1.562	1.440
100	49.136	49.134	49.133	49.13	1.560	1.659	1.655	1.636
99	48.964	48.964	48.962	48.96	1.972	1.835	1.693	1.841
98	49.032	49.033	49.035	49.03	2.305	1.891	1.596	1.914
97	49.076	49.082	49.084	49.08	2.168	1.994	1.796	1.994
96	49.077	49.081	49.085	49.08	2.239	2.206	1.956	2.157
95+18	48.867	48.869	48.870	48.87	2.408	2.571	2.649	2.552
95	48.045	48.047	48.049	48.05	2.679	2.865	2.982	2.849
94	46.708	46.706	46.703	46.71	2.767	2.984	3.144	2.971
93	46.307	46.305	46.304	46.31	3.115	3.126	3.056	3.105
92	45.514	45.514	45.514	45.51	3.404	3.318	3.226	3.317
91	45.011	45.013	45.012	45.01	3.448	3.440	3.433	3.440
90	44.464	44.464	44.463	44.46	3.162	3.248	3.295	3.237
89	44.166	44.164	44.163	44.16	3.248	3.297	3.351	3.299
88	43.312	43.312	43.312	43.31	3.625	3.527	3.459	3.534
87	42.468	42.471	42.472	42.47	3.277	3.366	3.338	3.344
86	42.342	42.343	42.344	42.34	2.246	2.696	2.818	2.618
85	42.479	42.475	42.475	42.48	1.819	2.376	2.644	2.297
84	41.703	41.703	41.703	41.70	2.609	2.742	2.799	2.729
83	41.268	41.272	41.273	41.27	2.874	2.838	2.778	2.831
82	40.792	40.792	40.794	40.79	2.649	2.748	2.760	2.726

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table V-6. Analysis of SMS-RMA2 using observations(continued)

Station (NO.)	수위(EL.m)				유속(m/sec)			
	좌안	중안	우안	평균	좌안	중안	우안	평균
81	39.881	39.881	39.882	39.88	2.923	2.983	3.057	2.988
80	39.528	39.530	39.530	39.53	3.062	3.133	3.202	3.133
79	39.612	39.610	39.610	39.61	2.821	3.028	3.208	3.020
78	39.112	39.110	39.106	39.11	2.961	3.058	3.177	3.065
77	38.892	38.889	38.885	38.89	3.002	2.988	2.923	2.976
76	38.102	38.100	38.099	38.10	2.883	2.783	2.636	2.771
75	37.371	37.370	37.370	37.37	2.851	2.737	2.620	2.736
74	37.041	37.040	37.041	37.04	2.801	2.750	2.695	2.749
73	36.471	36.470	36.469	36.47	2.873	2.829	2.787	2.830
72	35.989	35.990	35.991	35.99	2.989	2.883	2.760	2.879
71	35.448	35.449	35.451	35.45	2.973	2.989	2.976	2.983
70	34.989	34.989	34.986	34.99	2.850	2.963	3.064	2.960
69	33.111	33.109	33.109	33.11	2.837	2.848	2.796	2.831
68	32.449	32.449	32.449	32.45	3.005	2.947	2.898	2.949
67	32.258	32.258	32.258	32.26	3.135	3.076	3.028	3.079
66	32.187	32.188	32.188	32.19	3.134	3.073	3.019	3.074
65	32.126	32.128	32.129	32.13	3.089	2.989	2.896	2.991
64	31.825	31.828	31.831	31.83	3.025	2.891	2.805	2.903
63	31.284	31.288	31.290	31.29	2.887	2.849	2.838	2.856
62	30.964	30.968	30.970	30.97	2.509	2.728	2.849	2.707
61	30.660	30.658	30.659	30.66	1.819	2.432	2.999	2.418
60	29.909	29.908	29.903	29.91	2.138	2.501	3.037	2.541
59	29.301	29.295	29.290	29.30	2.907	3.072	3.161	3.050
58	28.396	28.398	28.399	28.40	3.589	3.661	3.538	3.626
57	28.202	28.215	28.221	28.21	3.072	3.362	3.361	3.294
56	27.798	27.797	27.799	27.80	2.114	2.734	3.110	2.671
55	27.267	27.267	27.269	27.27	2.389	2.689	3.102	2.717
54	26.828	26.827	26.823	26.83	2.108	2.479	2.974	2.514
53	26.303	26.298	26.287	26.30	1.679	2.267	2.901	2.265
52	25.907	25.902	25.898	25.90	2.858	3.012	2.894	2.951
51	25.236	25.239	25.240	25.24	3.523	3.263	3.002	3.262
50	25.374	25.379	25.382	25.38	3.186	3.040	2.906	3.042
49	25.398	25.399	25.402	25.40	2.846	2.930	3.009	2.928
48	24.879	24.879	24.879	24.88	2.809	2.896	2.991	2.899
47	25.229	25.230	25.230	25.23	2.679	2.709	2.688	2.696
46	25.180	25.180	25.182	25.18	2.542	2.598	2.587	2.581
45	24.991	24.990	24.990	24.99	2.597	2.684	2.785	2.688
44	25.070	25.070	25.068	25.07	2.792	2.797	2.829	2.804
43	25.069	25.069	25.069	25.07	2.622	2.670	2.599	2.640

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

일반적으로 하천의 흐름은 만곡부나 하천폭이 감소하는 구간에서는 강한 흐름을 보이고, 최대 하폭 구간에서는 완만한 흐름을 갖으며, 해석 결과 이러한 현상을 확인하였다. NO.53과 NO.61 구간은 한천의 연속적인 만곡형태로 인한 횡단간의 유속차가 각각 1.222m/sec, 1.181m/sec로 나타났고, 양안간의 편수위가 큰 폭으로 발생하고 있었으며, 대상구간의 상류단은 교량 직후 암반의 낙차가 생기는 곳으로, NO. 119 단면에서는 3.36m/sec의 빠른 유속분포를 보였다(Table Ⅴ-7, Fig. Ⅴ-9. 10).

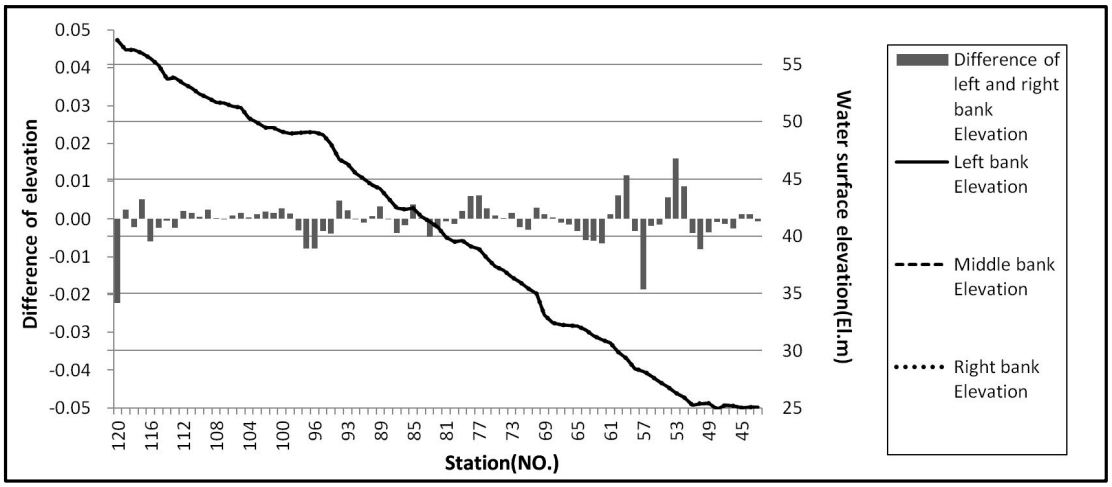

Fig. Ⅴ-9. Analysis of SMS-RMA2 water surface elevation using observations

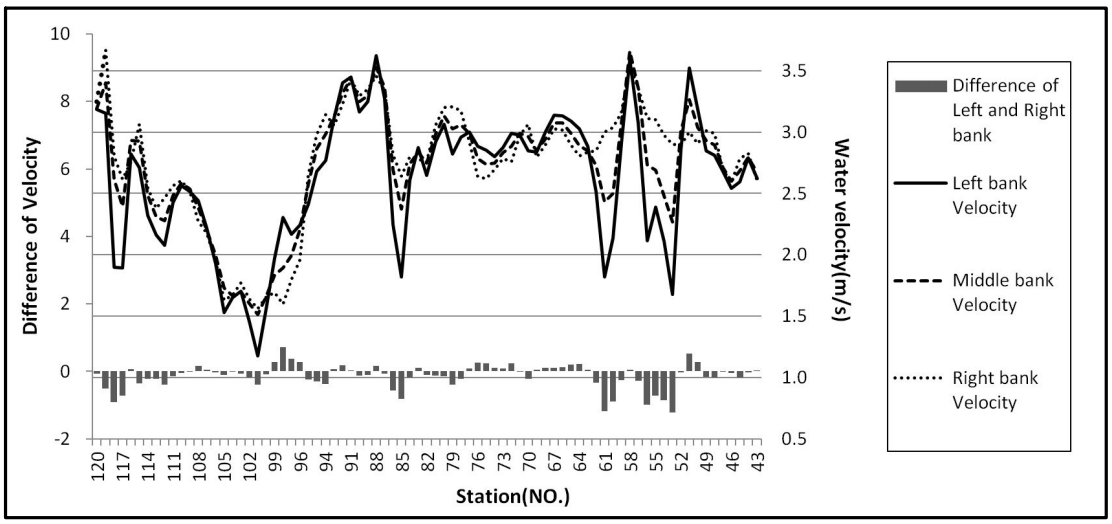

Fig. Ⅴ-10. Analysis of SMS-RMA2 water surface velocity using observations

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table Ⅴ-7. Result of SMS-RMA2 using observations

Analysis models	Max. Elevation (EL.m)	Min. Elevation (EL.m)	Max. Difference of Left and Right Bank Elevation (EL.m)	Max. Velocity (m/sec)	Min. Velocity (m/sec)	Max. Difference of Left and Right Bank Velocity (m/sec)
SMS-RMA2	57.08 (NO.120)	24.88 (NO.48)	0.0186 (NO.53~61)	3.626 (NO.58) 3.36 (NO.119)	1.440 (NO.101)	1.222 (NO.53~61)

Fig. Ⅴ-11은 태풍 무이파 시 발생한 홍수유출의 경계조건과 입력자료를 적용한 SMS-RMA2 모형의 2차원 흐름해석 결과 모식도이다. 이처럼 2차원 흐름해석 모형은 전체적인 흐름의 연계성을 보여주며, 실제 지형 및 하천특성을 반영하고 있는 것을 확인하였다.

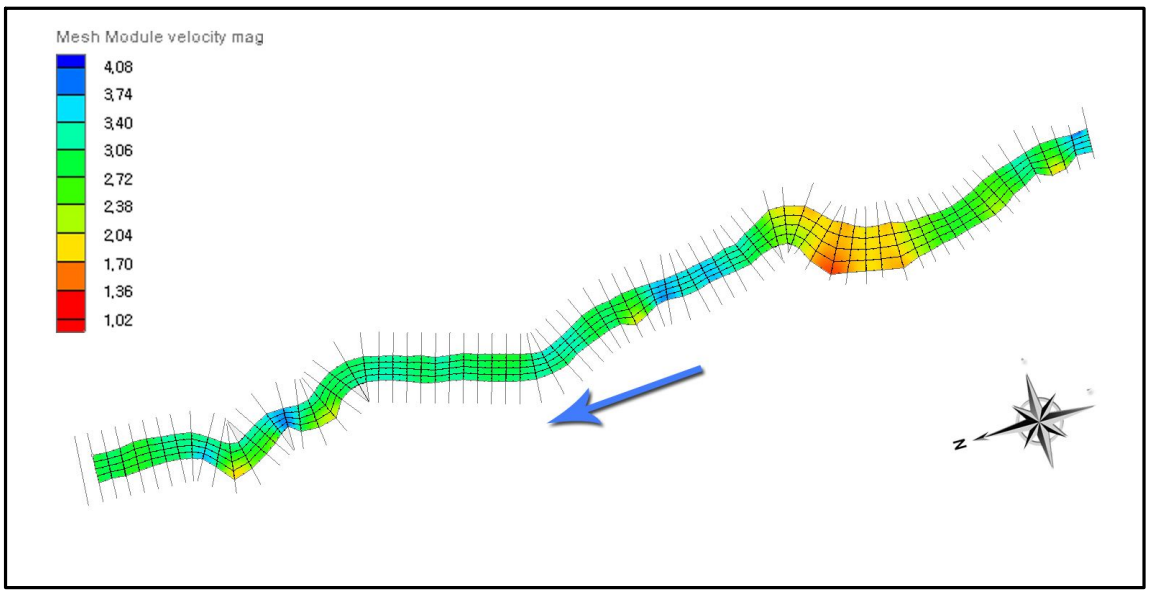

Fig. Ⅴ-11. Result map of SMS-RMA2 analysis using observations

본 연구에서는 SMS-RMA2 모형을 이용한 한천의 2차원 흐름해석을 시행하였으며, 1차원 흐름해석 모형과의 비교를 통해 실제하천 적용의 적합성을 제시하였다. 하지만, 관측구간 이외의 실측 자료를 확보할 수 없기 때문에 검·보정이 필요하며, 추후 이같은 보정이 수행된다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅴ. 결론 및 제언

제주도의 대표적인 하천인 한천을 대상으로 하여 하천정비기본계획 수립시 이용하고 있는 HEC-RAS 모형과 GIS 기반의 HEC-GeoRAS 모형을 사용하여 1차원 하천흐름의 유속과 수위를 분석·비교하였다. 또한, 1차원 하천흐름의 수리특성과 SMS-RMA2 모형의 결과를 비교하여 2차원 흐름해석의 실제 하천의 적용성을 검증하였고, 현장관측 자료를 적용한 한천의 2차원 흐름해석을 시행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) HEC-RAS 모형과 HEC-GeoRAS 모형을 이용한 해석결과 수위 및 유속의 분포범위는 비슷한 양상을 보였으나, 구간별 수위는 상류부와 중류부에서 각각 EL.0.7~2.18m, EL.0.88~1.16m의 차이가 나타났으며, 유속은 상·하류부에서 각각 최대 1.58m/sec, 2.67m/sec의 차이를 보였다. HEC-GeoRAS는 수치지형도의 특성을 포함하므로 하상고의 변화가 발생하게 되며, 이로 인한 수위의 차이가 생긴 것으로 보인다. 또한, 대상구간의 교량지점에서 수위 및 유속의 차이가 큰 폭으로 나타났으며, 이는 HEC-RAS의 횡단면 입력자료 구축시 하천 횡단면이 아닌 교량 횡단면을 사용하여 발생한 통수단면적의 차이로 나타났다.

2) SMS-RMA2 모형을 이용하여 1차원 흐름해석과 동일한 경계조건 및 입력자료를 적용한 결과, 최대유속은 NO.58에서 6.638m/sec이며, 최저유속은 NO.101의 2.623m/sec로 분석되었고, 기본적으로 횡단면의 편수위는 하천 중심부가 높고 양안이 낮은 결과를 보였으며, 하천의 만곡부에서는 만곡내측이 낮고 외측으로 갈수록 높아지는 것을 확인하였다. 또한, 횡단간의 수위차와 편수위차는 상류부에서 하류부로 갈수록 작아지는 결과를 보였으며, 만곡부인 상류부의 NO.95+18~112 구간과 하류부의 NO.46~53 구간에서 최대 1.53m/sec의 차이를 보였다.

3) 모형의 실제 적용을 위해 태풍 무이파의 사상을 경계조건으로 입력하여

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

SMS-RMA2 해석을 수행한 결과 최대유속은 NO.58의 3.626m/sec, 최저유속은 NO.101의 1.440m/sec로 나타났으며, 수위는 EL.24.88~57.08m의 범위를 보였다. 또한, node별 유속과 수위를 해석한 결과, 하천의 만곡 및 지형적 특성에 따라 횡적인 차이를 알 수 있었다. 직선형의 흐름에서는 횡단면 중안의 유속이 빠르고 수위가 높으며, 하천의 만곡부에서는 만곡내측의 유속이 느리고 수위가 낮은 결과를 보이지만, 외측으로 갈수록 반대의 결과가 나타났다. NO.53과 NO.61 구간은 한천의 연속적인 만곡형태로 인한 횡단간의 유속차가 각각 1.222m/sec, 1.181m/sec로 나타났고, 양안간의 편수위가 큰 폭으로 발생하고 있었으며, NO.119 단면은 교량 직후 암반의 낙차가 생기는 곳으로, 3.36m/sec의 빠른 유속분포를 보였다.

4) 일반적으로 하천의 흐름은 만곡부나 하천폭이 감소하는 구간에서는 강한 흐름을 보이고, 최대 하폭 구간에서는 완만한 흐름을 갖는다. SMS-RMA2를 이용한 한천의 2차원 흐름해석 결과, 이러한 현상을 확인할 수 있으며, 2차원 흐름해석 모형은 1차원 흐름해석과는 달리 하천의 횡적인 유속의 분포와 수위차를 분석할 수 있고, 하천의 만곡부나 합류부의 지형적 여건을 고려하여 실제 지형에 적합한 해석이 가능한 것을 알 수 있다.

이와 같이 하천의 2차원 모형 흐름해석은 하천정비기본계획이나 하천관리 설계에서 유용하게 적용될 수 있을 것이다. 하지만, 관측구간 이외의 실측 자료를 확보할 수 없기 때문에 검·보정이 필요하며, 추후 이같은 보정이 수행된다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참고문헌

- 경기도 건설교통국, 2004, 자연친화적 하천정비 지침(시안), pp. 110~121
- 한국수자원학회, 2009, 하천설계기준・해설
- 제주도・한국수자원공사, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사 보고서, pp.186~201
- 제주시, 2009, 한천 외 3개 하천기본계획
- 제주도, 1993, 수자원종합개발계획수립 보고서
- 제주도, 1997, 중산간지역 종합조사
- 제주특별자치도, 2009, 하천수계별 유역종합치수계획
- 우효섭, 2001, 하천수리학, 청문각, pp. 843~844
- 양희경, 2001, 지형 및 인위적 변수에 의한 산지 하천의 분류, 서울대학교 박사학위논문, pp. 35~53
- 김규호, 이찬주, 이두한, 우효섭, 2004, 지형인자를 이용한 하천분류 체계의 적용성 검토, 한국수자원학회 제37권 제1호, pp. 1~11
- 김미령, 2003, 제주도 하천의 하계망 분석, 제주대학교 교육대학원 석사학위논문, pp. 15~19.
- 황재홍, 한건연, 남기영, 최승용, 2009, GIS를 이용한 낙동강-금호강 합류부의 2차원 유한요소해석, 한국지리정보학회지, 12(3), pp. 21-34.
- 안승섭, 이상일, 박동일, 김위석, 2011, 하도만곡형상에 따른 수리특성분석, 한국환경과학회지, 20(10), pp. 1309-1317.
- 김문기, 2011, 금호강 수중보 구간의 수리거동 특성에 관한 연구 : 2차원 수치모형 분석을 중심으로, 영남대학교 석사학위논문, pp. 29-36.
- 김위석, 2012, 2차원 수치해석 모형을 이용한 만곡하도의 하상변동 특성 연구, 경일대학교 석사학위논문, pp. 50-54.
- 조완희, 한건연,김영주, 2010, GIS를 활용한 2차원 침수해석에서의 건물영향분석, 한국지리정보학회지, 13(2), pp. 119-132.
- 안승섭, 임동희, 서명준, 이효정, 2008, 하도 합류부의 수리학적 특성을 고려한 RMA2 모형 매개변수의 민감도 분석, 한국환경과학회지, 17(7), pp.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

783-793.

- 용창진, 박남희, 김철, 2003, 1차원 및 2차원 모형을 이용한 하천의 흐름 해석과 결과의 비교, 대한토목학회 정기학술대회, pp. 2673-2679.
- 안승섭, 정도준, 이상일, 김위석, 2012, 2·3차원 모형을 이용한 자연하도 만곡부에서의 흐름특성 연구, 한국환경과학회지, 21(4), pp. 471-478
- 서일원, 김성은, Minoura, Yasuhisa, Ishikawa, Tadaharu, 2011, 항공사진분석 자료를 이용한 2차원 하천흐름 해석모형의 검증, 대한토목학회논문집, 31(6B), pp. 515-522.
- 이준호, 2012, 하천의 대표입경을 이용한 조도계수 산정, 제주대학교 석사학위논문, pp. 10-11.
- Environmental Modeling Research Laboratory, 2000, SMS RMA-2 User's Manual, Brigham Young University.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

감사의 글

논문을 마치며 '감사의 글'을 작성하려고 보니 지난 학창시절과 대학원 생활이 주마등처럼 떠오릅니다. 뒤늦은 졸업에 많은 지지와 격려를 아끼지 않으셨던 지인들과 더불어 감사의 마음으로 2012년, 뜻 깊은 한해를 마감하고 있습니다.

10여년의 기나긴 학부생활을 마치고 사회에 한발 내딛었을 때부터 항상 배움에 대한 부족함을 느낀 저에게 대학원이라는 한줄기 빛을 찾아 주시고, 아낌없는 지도와 사랑으로 지금까지 이끌어주신 양성기 교수님께 깊은 감사의 말씀 드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 논문 심사에 참석하여 검토해 주신 김남형 교수님, 김상진 교수님, 박원배 박사님께도 감사드리며 많은 배움으로 인도해주신 이병걸 교수님, 박상렬 교수님, 이동욱 교수님께도 감사의 말씀 드립니다.

또한 논문의 작성에 있어 도움을 주신 연구실 선.후배님들, 항상 동생들 챙겨주는 인생 선배 정우열 형님, 덩치만 컸지 마음 여린 강명수, 동생이자 친구 같은 이준호, 항상 잔소리만 해서 미안한 김용석, 앞으로 대학원 생활의 활력소인 동생들 강보성, 고성용, 최현근... 감사합니다.

마지막으로 항상 말썽만 피우는 못난 막내아들을 아무 말없이 지켜보면서 믿음으로 이끌어주신 아버지, 어머니... 그리고, 물질적으로 정신적으로 항상 챙겨주시는 형님, 형수님, 누님, 매형과 조카들에게 사랑한다고 전해드리며, 항상 옆에 없어서 미안한, 그래도 이해해주는 사랑하는 아내 이민경에게 감사합니다. 그리고 올해 태어난 우리 딸 연우야, 아빠가 못한만큼 더 큰 사랑으로 미래를 함께하자.

여기까지 많은 도움을 주신 모든 분들에게 다시 한번 감사의 말씀 드리며 앞으로도 끊임없이 정진하는 모습 변치 않겠습니다.

2012년 12월

양 원 석 배상

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY