

유도를 설치에 따른 하천의 수리학적 특성 분석*

김형산, 맹승진**, 이승욱, 심지훈, 정지혜

본 연구에서는 하천의 환경 기능을 개선하고자 하천에 설치되는 유도들의 안정성을 분석하였다. 유도들의 기능은 첫째, 하천의 선형을 유도하고, 둘째, 유속의 감소로 인하여 제방이나 산사면이 깎이는 것을 막아주며, 셋째, 유도를 사이에 둑방이 형성되어 많은 생물들의 보금자리가 된다. 이러한 기능을 유지하기 위해서는 하천의 유속변화로 인한 유도들의 안정성 분석이 필요하다. 수리모형실험을 통한 분석은 시간과 비용, 여러 가지 조건일 경우의 결과 값을 알아내는 것은 한계가 있기 때문에 현재는 주로 1차원 수치모의 또는 2차원 수치모의를 적용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2차원 수치모의를 적용하기 위해 강우-유출모형인 SSARR와 HEC-HMS를 통한 모의유출량을 산정하고, 1차원 수치해석모형인 HEC-RAS를 이용한 수위를 산정하였다. 최대 홍수량 775.1 m^3/s 를 조건으로 유도들을 설치하기 전과 후, 그리고 평수량 6.18 m^3/s 를 조건으로 유도들을 설치하기 전과 후에 대한 2차원 흐름형상을 모의하기 위해 RMA-2모형으로 수리분석을 실시하였다. 유도를 주변의 유속분포를 분석한 결과, 최대 홍수량일 경우에 유도들을 설치하기 전과 후의 최고 유속은 4.11 m/s 와 3.65 m/s 로 모의 되었으며, 평수량일 경우에 유도들을 설치하기 전과 후의 최고 유속은 0.24 m/s 와 0 m/s 로 모의 되었다. 현재 분석구간내 시공되어 있는 유도들의 허용한계 유속이 4.0 m/s 인 것을 고려하면, 유도들이 설치된 후에 최대 유속 3.65 m/s 가 발생하였기 때문에 유도들의 안정성에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 수리수문학적 분석을 실시하여 물리적 특성을 분석하고 유도들의 안정성을 검토하는 것은 향후 유도를 설치와 운영에 필요한 기초자료로 활용될 것이다.

주제어: 유도들, HEC-HMS, RMA-2

1. 서론

오늘날 수리시설물은 이수와 치수 목적으로 구분되어 관리된다. 과거 수리학적 분석은 수리모형 실험에 의해 분석되어졌기 때문에 경제여건이 열악한 우리나라에서 적용하는 것은 많은 어려움이 따랐다. 그러나 근래 컴퓨터가 발달됨으로 인해 이러한 문제가 어느 정도 해결되어 수치모형에 의한 수리

* 이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

** 교신저자.

학적 특성 분석이 가능하게 되었다.

하천 수리 구조물의 수치 해석 연구로 한건연 외(1993)는 홍수시 교량에 의한 수위 상승 효과를 해석하기 위하여 에너지 보존법칙을 적용한 BPR(Bureau of Public Road) 방법을 이용하여 유량계수와 조도계수 및 하상경사에 따른 장애물로 인한 수위상승 영향에 대하여 연구하였다. 정용태 외(1994)는 선형관계식과 지수관계식을 적용하여 횡방향 하상경사에 대한 새로운 식을 산출하였으며, 송재우 외(1994)는 유로만곡부의 횡방향 하상경사 산정에 있어서 기존 횡방향 하상경사 예측 모형들을 연구대상유역 만곡부와 만곡 정점부에 적용, 분석하였다. 맹승진 외(2007)는 화천댐 직하류부에 어도를 설치할 지점을 선정하기 위해 화천댐 하류부에 대한 수리특성을 분석하였다.

본 논문에서 사용된 유도들은 수제의 일종으로서 수제에 관한 국내연구로는 김중우 외(2009)는 수제 설치에 따른 친환경적인 하천개수에 대해 연구하여 하천의 상황에 따라 정해지는 돌출수제와 평행수제 그리고 호안보호를 위한 수제 등을 적절히 사용할 경우 수변지역 내의 생태공간을 만들 수 있고, 수생태계 서식처 기능 및 물질순환 기능이 복원하는 것에 대한 연구를 검토하였다. 박효길 등(2011)은 수제설치로 변화되는 수제역 주변의 흐름을 3D 수치해석 프로그램인 Delft-3D-MOR 프로그램을 이용하여 2차원 난류와 3차원 난류로 시뮬레이션을 실시하고 2차원 수심평균 모델을 적용하여 수평대와 류 모의를 비교·분석하였다.

국외의 연구로서 山本(1996)은 수제의 설계 및 설치를 위한 분석을 위해 수제 설치 구간의 하도특성을 파악하는 것이 중요하다고 지적하면서 토사의 운동형태와 각 입경단계마다의 수송형식, 하도형성에 미치는 역할 및 사행형태 그리고 하안 침식 위치에 대한 연구를 수행하였다. Sukhodolov *et al.*(2002)는 독일 Elbe 강에 설치된 횡수제에 대한 현장측정을 실시한 결과, 수제역 내에서의 흐름양상은 수제의 길이와 수제 간의 간격에 의존됨을 분석하였다. Weiming *et al.*(2005)는 식물과 나무가 우거진 강에서의 유량, 유속 및 하상 지형변화를 모의하기 위해서 이차원수치모형을 개발하였다. 이 모형은 부유사 및 토사 운송 방정식의 대수적 모델을 채용하였고 지배방정식은 곡선격자를 이용한 유한체적법을 채택하였으며 모의치와 실측치를 비교한결과 유속, 토사 운송 비율 및 하상지형변화와 잘 일치하는 것으로 분석되었다.

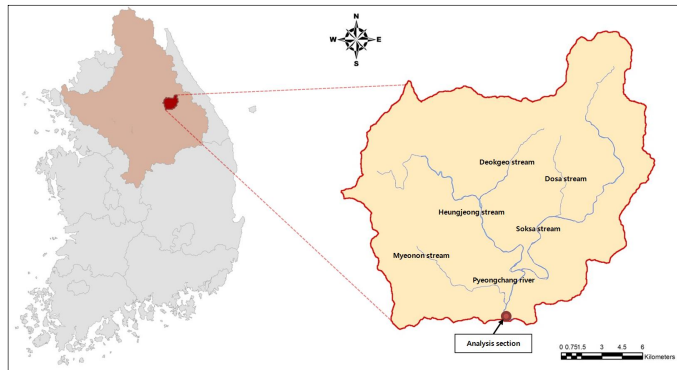
본 연구에서는 하천시설물, 즉 유도들의 설치 전과 후의 유속을 모의, 비교함으로써 유도들의 안정성을 분석하는데 목적이 있다. 유속분포를 모의하기 위한 유출량 및 수위값 산정은 SSARR(Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation), HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) 및 HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)를 사용하였다. 이를 바탕으로 2차원 수치모형인 RMA-2(Resource Management Associates)를 사용하여 최종적인 유속분포를 도출하고 유도를 주변의 수리특성을 파악하고자 하였다.

현재 국내에서도 1차원 흐름 해석에 대한 한계를 인식하여 과학적이고 정교한 하천흐름을 모의하기 위한 2차원 해석의 도입이 시행되고 있으며, 이를 위해서 RMA-2의 도입은 하천설계를 위한 새로운 방법을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 분석대상 및 연구방법

1. 대상유역 특성

본 연구의 대상지역이 위치한 평창강은 한강의 제1지류로서 통칭 서강으로도 불리어지고, 한강유역에 포함되어있다. 평창강은 강원도 평창군 진부면 계방산에서 발원한 지방하천인 속사천과 평창군 대화면과 봉평면 흥정산에서 발원한 흥정천이 합하여 지방하천인 평창강이 되고 대화면 하안미리에서 지방하천인 대화천과 합류하여 평창강을 이루고 평창읍을 지나 영월군인 한강으로 유입된다. 평창강은 60km의 직선거리를 지나 220km나 꾸불꾸불 돌아 흐르는 것으로 유명하며, 지방하천인 평창강 외에 28개의 지방하천으로 이루어져 있다. 평창강에 위치한 연구의 분석 대상 구간의 유역도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Watershed map of analysis section

유역면적 및 유로연장은 유역 및 하천의 특성을 이해하고 분석함에 있어 중요한 인자로서 유역특성 분석시 사용되는 가장 기본적인 자료이다. 대상 구간의 유역면적 및 유로연장과 유역평균폭, 형상계수는 <표 1>과 같다.

<표 1> Flat character of analytical objective segment

Watershed	Locality	Area (km ²)	Distance (km)	Mean width (A/L)	Shape factor (A/L ²)	River density (L/A)	River-Grade
Pyeongchang River	Upper Pyeongchang River	323.04	29.79	8.96	0.30	0.11	Local River

2. 유도들의 개요

1) 수제와 유도들의 정의

수제는 유수를 적극적으로 제어하는 구조물이므로 수제의 위치 및 공법이 적절하면 효과가 현저하지만 부적절하면 하안과 상하류에 미치는 영향이 크고 수제 자체의 유지도 곤란해지므로 설치 위치와 구조 채택에 신중을 기하여야 한다. 본 연구에서 사용된 유도들은 수제의 일종으로서 유속 감소, 흐름 방향의 변경에 의한 유로 제어, 하상 세굴방지, 토사 침전 유발, 수위상승 등의 기능과 하안의 세굴 및 호안의 파손방지, 저수로법선 수정 및 유로고정, 생태계보전, 경관개선, 주운을 위한 수심확보 및 유량확보의 목적으로 시공되어 진다.

2) 유도를 설치구간

유도들이 설치되는 구간은 사주부로 유수의 흐름에 의해 퇴적되는 구간인 동시에 설치되는 부분이 하상이기 때문에 유속에 의한 피해는 미미할 것으로 사료되나 홍수시 피해가 발생하는 만곡부로 지정된 곳으로 원심력에 의해 수위가 증가하고, 더 빠른 유속이 형성되어 도로, 하천 제방 등의 세굴피해를 야기할 수 있는 곳이다. 다음 <그림 2>는 유도들이 설치된 구간을 위성사진으로 촬영한 것이다.



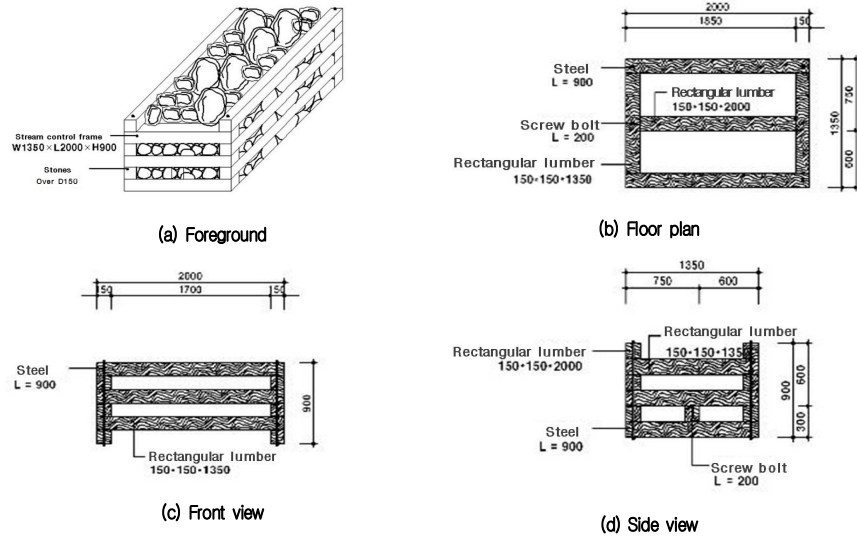
<그림 2> Map of the constructed section for Stream Control Frame

3) 유도물 재료 및 규격

본 연구를 위해 분석 구간내 설치된 유도물의 재료와 규격은 <표 2> 및 <그림 3>과 같다.

<표 2> Stream Control Frame material by one piece

Name	Standard	Quantity(EA)
Wood(Width)	150mm × 150mm × 2000mm	7
Wood(Length)	150mm × 150mm × 1350mm	6
Steel	M20 × L900	4
Screw bolt	1/2 × L200	2
Accouplement	M12 × L300	2
Stones	Over D150	



<그림 3> Standard of Stream Control Frame

3. 적용모형

본 연구에서 적용된 수문모형은 강우-유출 모형인 SSARR 및 HEC-HMS이며, 수리모형은 HEC-RAS 및 RMA-2모형이다.

수문모형인 SSARR모형은 미국 공병단에서 1956년 처음 개발되어 지속적으로 보정이 이루어지고

있는 모형으로서 저수지조작, 대유역의 실시간 일유출예측 등의 목적으로 널리 사용되고 있다 (USACE, 1991). HEC-HMS는 1967년 미국 공병단 산하 수문공학연구소(Hydrologic engineering center)에서 개발된 HEC-1 모형을 GUI(Graphical User Interface)가 보강된 윈도우 환경으로 개발된 모형으로 각각의 유출 성분을 모의하기 위해 유출량, 직접유출량, 기저유출량을 모의하며 하도구간에 서의 흐름을 모의하기 위해 하천 홍수추적 모듈을 제공한다(USACE, 2000).

수리모형인 HEC-RAS는 미육군공병단(Army Corps of Engineers) 수문기술센터에서 개발된 수문 해석 전산프로그램의 하나이며, 하천의 1차원 정상 부등류 해석프로그램으로 세계적으로 널리 사용되었던 HEC-2의 후속모델로 개발되었다(USACE, 2010). RMA-2 모형은 USACE-WES(U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station)와 FHWA(U.S. Federal Highway Administration)가 연계하여 Brigham Young University의 EMRL(Environmental Modeling Research Laboratory)에서 개발하였으며, 2차원 흐름영역에서 자유수면, 상류흐름의 수평방향 유속성분과 수위를 계산하고, Navier-Stoke 방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한요소해를 계산하며, 정상류뿐만 아니라 부정류에서의 모의도 가능하다(USACE, 1996).

4. 연구방법

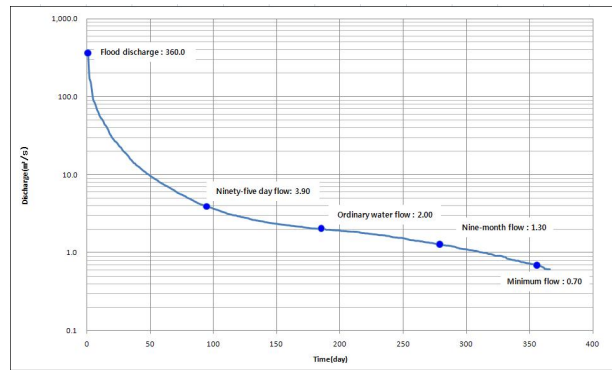
본 연구에서는 유도물의 수리학적 특성 분석을 위해 다음 절차에 의한 연구를 수행하고자 한다.

- 가. 대상 유역에 대한 강우관측소의 일강우 및 시강우 자료를 확보한다.
- 나. 면적강우량을 산정하기 위한 Thissen망도를 작성하여 지배면적비를 산출한다.
- 다. 대상유역의 면적강우량을 산정하여 SSARR 모형의 입력자료로 하고, 기 보정된 각각의 매개변수에 의해 유량을 산정한다.
- 라. SSARR 모형에 의해 산정된 유량을 기반으로 유황분석을 실시한다.
- 마. 시강우 자료를 입력자료로 하여 과거 호우사상을 대상으로 HEC-HMS의 매개변수를 보정한 후 최대 홍수량을 산정한다.
- 바. 단면자료 x, y, z좌표와 SSARR 및 HEC-HMS에서 추출한 평수량과 최대홍수량을 입력자료로 하여 HEC-RAS에 의한 1차원 수리특성 분석을 실시한다.
- 사. 유입량 및 말단부 수위를 경계조건으로 하여 RMA-2에 의한 2차원 수리특성 분석을 실시한다.
- 아. RMA-2 모형에 의해 산정된 유도물이 설치된 구간의 유속분포를 기반으로 유도물이 설치된 분석구간에 대한 수리특성 분석을 실시한다.

III. 결과 및 고찰

1. SSARR 모형에 의한 모의유출량 산정

SSARR 모형의 모의유출량을 산정하기 위하여 Thiessen 망도를 작성하여 지면면적비를 산정하였다. 원래 30년 이상의 강우자료를 이용하여 유출량을 산정하는 것이 보다 신뢰성이 높은 유출분석을 수행할 수 있으나 분석하고자 하는 유역대상 지역의 봉평, 진부 강우관측소의 자료가 1997년 이전은 없기 때문에 1997년~2010년의 강우 자료를 이용하여 산정하였다. 1997년~2010년의 강우 자료와 내부처리 매개변수를 산정하고 유출량을 모의하여 유출분석을 실시한 결과는 <그림 4>와 같다. 장기유출 모의를 통하여 산정된 평수량은 2.0m³/s로 산정되었다.



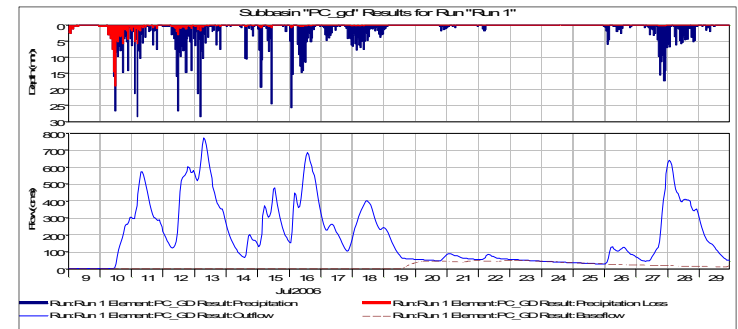
<그림 4> Flow duration analysis

2. HEC-HMS 모형에 의한 모의유출량 산정

HEC-HMS 모형 수행을 위해서는 HEC-HMS 모형의 매개변수별로 초기값을 결정하여 입력하여야 한다. 결정된 매개변수 초기값은 매개변수의 물리적 특성에 따른 최적화 값을 찾는 데 있어서 중요할 뿐만 아니라 유출량 산정에 많은 영향을 미친다. 본 연구에서 매개변수의 초기값 산정은 유역특성인자를 고려하여 합리적이라고 판단되는 경험식을 통해 매개변수를 산정하였다(성충현, 2004; 황주하, 2010).

강우사상의 경우 강원도 평창군의 1997년부터 2010년까지의 14개년에 대한 주요 홍수피해 현황을 고려하여 선정하였다. 분석결과 2006년 발생한 집중호우의 피해가 태풍 루사 및 매미보다 월등히 크게 조사 되었으며, 2003년 태풍 매미의 강우보다 2006년 7월 집중호우시의 강우량이 많은 것으로 분석되어 최대홍수량 산정을 위한 호우사상을 2006년 7월 9일부터 7월 29일까지의 시강우량으로 선정하였다. 산정된 매개변수 및 강우사상을 이용하여 분석지점의 유출량을 모의하였다. 분석기간 동안의 총

유출량을 <그림 5>와 같이 산정하였으며 최대홍수량이 발생한 시간을 기준으로 <표 3>과 같이 나타내었다. 분석 지점의 경우 최대 홍수량은 775.1m³/s로 산정 되었다.



<그림 5> Estimation of runoff by HEC-HMS

<표 3> Estimation of maximum runoff using HEC-HMS model

Date	Time(hr)	Runoff (m ³ /s)	Date	Time(hr)	Runoff (m ³ /s)
July. 13, 2006	01:00	536.6	July. 13, 2006	10:00	684.8
	02:00	521.3		11:00	635.3
	03:00	534.4		12:00	586.8
	04:00	583.6		13:00	536.4
	05:00	649.2		14:00	487.4
	06:00	731.4		15:00	449.5
	07:00	775.1		16:00	413.8
	08:00	762.6		17:00	387.4
	09:00	730.0		18:00	377.7

3. HEC-RAS 모형에 의한 1차원 수리분석

HEC-RAS 모형의 각 변수의 초기조건으로는 하천단면, 주수로와 좌우 홍수터의 마찰 손실계수, 단면의 확대·축소 손실계수, 위어 손실계수 등의 지형적 조건과 유량 등의 흐름조건이 필요하다.

본 연구에서 마찰손실계수는 실험결과에 많은 영향을 끼치는 중요한 요소이므로 일반적으로 알려진 경험적 계수와 대상 하천의 현장을 통해 산정한 값을 사용하였고, 단면 확대·축소 손실계수는 기본적으로 권장하는 계수값인 0.3과 0.1을 사용하였다. 조도계수의 경우 연구 대상구간의 특성을 고려하여 선정하였다. 분석구간은 자연하천에 해당하며 폭은 30m 이하이고 산지하천중에 자갈, 조약돌보다는 흙의 비중이 높으며 직선하도보다는 약간의 굴곡이 있는 지형이므로 조도계수의 값은 0.03으로 결정

하였다(Barnes, 1967). 또한, 하천 단면 자료는 측량을 통한 값을 사용하였고 보간이 필요한 부분에선 프로그램내의 보간 프로그램을 이용하여 보간하였으며 유량은 SSARR 에서의 평수량 및 HEC-HMS 에서의 최대 홍수량인 2.0m³/s 및 775.1m³/s인 값을 적용하였다.

산정된 유량 및 매개변수를 이용하여 평수량과 최대 홍수량의 경우에 따라 각각의 수위를 산정하였다. 다음 <표 4>는 조건별 모의 결과를 정리한 것이다.

<표 4> Simulation results according to conditions

	Maximum flood flow	Ordinary water flow
Discharge(m ³ /s)	775.1	2.0
Elevation(EL.m)	409.9	406.0

이상의 결과로 볼때, 최대 홍수량인 775.1m³/s일 경우의 하류 구간에서의 평균수위는 EL.409.9m의 값으로 모의되었으며, 평수량인 2.0m³/s의 경우의 평균수위는 EL.406.0m로 모의되었다.

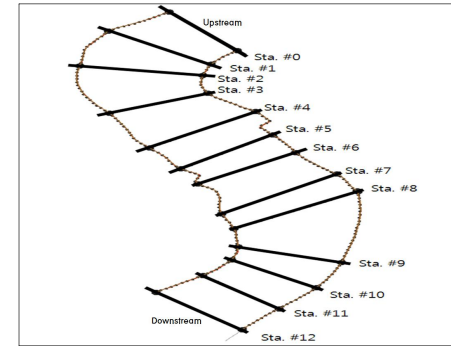
지금까지 산정된 유량과 수위를 통해 2차원 수치해석 모형인 RMA-2에 적용하였으며, 최대 홍수량과 평수량일 경우의 유도틀 설치 전·후를 비교 모의하였다.

4. RMA-2 모형에 의한 2차원 수리분석

연구 대상구간인 평창강 금당계곡에 최대 홍수량 775.1m³/s를 조건으로 유도틀을 설치하기 전과 후, 그리고 평수량 2.0m³/s를 조건으로 유도틀을 설치하기 전과 후에 대한 2차원 흐름 형상을 모의하기 위해 유한요소법에 기반을 둔 RMA-2모형의 범용프로그램인 SMS 모형에 의해 수리특성을 분석하고, 유도틀의 안정성을 검토하였다.

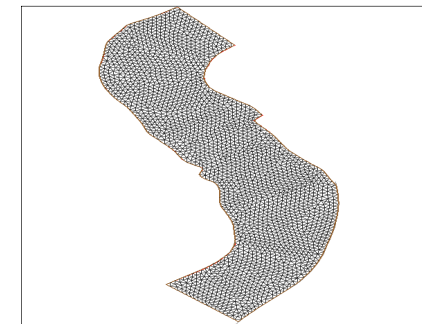
1) 지형자료 구축 및 격자망 구성

본 연구에서는 모의 대상구간의 단면별 지형자료를 <그림 6>과 같이 구축 하였으며, 하상재료의 특성을 Sta. #0~Sta. #12구간으로 구분하였다. 조도계수는 HEC-RAS에서 사용된 0.03값을 이용하였다.



<그림 6> Topographic data constructing for main cross-sections

복잡한 지형을 좀 더 정확하게 표현하기 위해 <그림 7>과 같이 최대 홍수량일 경우에 유도틀을 설치하기 전에는 4,387개의 요소와 5,993개의 절점으로 구성하고, 유도틀을 설치한 후에는 4,403개의 요소와 5,941개의 절점으로 구성된 삼각형 격자망을 구성하여 2차원 수치모의 분석을 실시하였다. <그림 7>에서 구성된 격자망의 각 절점에 대한 표고값은 <그림 7>의 공간 보간된 지형자료를 내삽 기법을 통하여 산정하였다.



<그림 7> Mesh organized of 2D simulation analysis section

2) 경계조건 및 초기조건

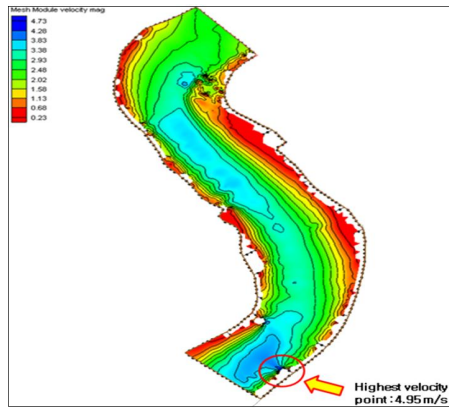
본 연구에서 상류단의 경계조건은 최대 홍수량, 775.1m³/s에 대한 측정수위자료를 이용하여 수위자료를 생성하였으며, EL.409.9m를 하류단의 경계조건으로 하였다. 또한 평수량, 2.0m³/s에 대해서는 EL.406.0m를 하류단의 경계조건으로 하였다. 여기에서 하류단 경계조건인 수위는 유출모형에 의해 산

정된 유량과 수위의 관계식에 의해 산정하였다.

모의 대상구간에서의 초기조건을 이와 같은 값으로 하여 2차원 수치모의 분석을 실시하였다.

3) 유도틀 설치 전 최대 홍수량 모의결과

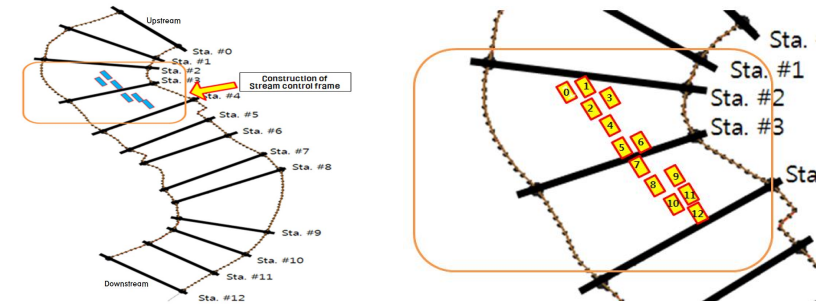
최대 홍수량 775.1m³/s에 대한 모의결과 4m/s 이상의 고유속을 보이는 구간은 Sta. #10~Sta. #12 구간에서 발생하였으며, 이 외의 지역에서는 약 0m/s~3.8m/s의 유속분포가 나타났다. 분석구간의 상·하류 전구간에서 최고 유속은 4.95m/s로 산정되었다(<그림 8>).



<그림 8> Highest velocity point of flow under the condition of maximum flood flow(775.1 m³/s)

분석대상 구간에서 주요 단면별 평균 수위변화는 EL.411.69m~EL.409.98m 이고, 최대 유속은 3.77m/s로서 Sta. #5에서 발생하였으며, 최소 유속은 0m/s를 제외하면 0.08m/s로 Sta. #2에서 발생하였다. 단면 평균 유속분포는 1.62m/s~2.52m/s 이며, 최대 평균 유속이 2.52m/s로 Sta. #11번 단면에서, 최소 유속 평균은 1.62m/s로 Sta. #8번 단면에서 발생하였다.

이상의 분석 결과를 바탕으로 유도틀 설치 예정 지점인 <그림 9>에 대한 수리특성을 살펴보면 다음과 같다.



<그림 9> Plan section for Stream Control Frame construction

유도틀 설치 예정 구간에서 유도틀별 평균 수위변화는 약 EL.410.02m~EL.411.19m로 나타났으며 유도틀별 평균 유속 분포는 1.84m/s~3.57m/s이고, 유도틀 주변의 최대 유속은 4.11m/s로 유도틀 No.1의 우상단에서, 최소 유속은 1.40m/s으로 유도틀 No.12의 우하단에서 발생하였다.

유도틀의 허용한계 유속이 4.0m/s인 것을 고려하면 No. 1 유도틀이 설치되는 지점의 지형을 완만하게 하여 유도틀 설치시 4.0m/s 이하의 유속이 발생되도록 하여야 할 것이다.

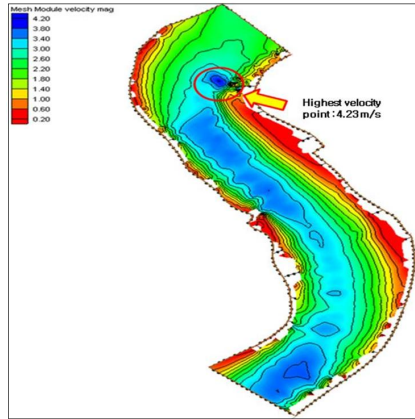
4) 유도틀 설치 전 평수량 모의결과

평수량 2.0m³/s에 대한 모의결과 분석대상 구간에서 단면별 평균 수위변화는 EL.406.08m~EL.406.74m이고, 평균 유속분포는 0.07m/s~0.18m/s이며, 최대 유속이 0.42m/s로 Sta. #0번 단면에서 발생하였다.

5) 유도틀 설치 후 최대 홍수량 모의결과

본 분석에서는 유도틀이 설치되었을 때의 평창강 금당계곡 상·하류 구간의 유속분포와 유도틀이 설치되어 있는 구간(Sta. #3~Sta. #5)의 유속분포를 모의하고자 한다.

최대 홍수량 775.1m³/s에 대한 모의결과 약 4.03m/s의 고유속을 보이는 구간은 Sta. #1~Sta. #3이며 이 외의 지역에서는 약 0m/s~3.66m/s의 유속분포가 나타났다. 분석구간의 상·하류 전구간에서 최고 유속 4.23m/s로 산정되었다(<그림 10>).



<그림 10> Highest velocity point of flow under the condition of maximum flood flow(775.1m³/s)

분석대상 구간에서 단면별 평균 수위변화는 EL.409.97m~EL.411.62m이고, 최대 유속은 4.03m/s로 Sta. #2에서 발생하였고, 0m/s를 제외한 최소 유속은 0.20m/s로 Sta.#1에서 발생하였다. 단면 평균 유속분포는 1.34m/s~3.17m/s이며, 단면 최대 평균 유속이 3.17m/s로 Sta. #1번 단면에서, 단면 최소 유속 평균은 1.34m/s로 Sta. #12번 단면에서 발생하였다.

유도틀을 설치한 후의 수심, 수위 및 유속에 대한 값으로 유도틀 설치지점에 대한 수리 특성을 분석하기 위해 <그림 9>에서 현재 분석구간내 시공되어 있는 유도틀 번호별로 각각의 절점을 4개(좌상단, 우상단, 좌하단, 우하단)씩 선별하여 수위, 수심 그리고 유속을 산정하였다. 유도틀에 대한 분석대상 구간에서 평균 수위 변화는 EL.410.69m~EL.411.09m이고, 평균 유속 분포는 2.96m/s~3.50m/s 이며, 최대 유속은 3.58m/s로 유도틀 No.8의 좌하단에서, 최소 유속은 2.72m/s로 유도틀 No. 11의 우상단에서 발생하였다.

따라서 유도틀의 허용한계 유속이 4.0m/s인 것을 고려한다면, 최대 홍수량이 발생하여도 유도틀의 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

6) 유도틀 설치 후 평수량 모의결과

평수량 2.0m³/s에 대한 모의결과 분석대상 구간의 수위는 최소 약 EL.406.00m에서 최대 약 EL.410.65m 까지 분포하고 있으며 최대 수위는 분석대상구간 중 하류측인 Sta. #11~Sta. #12 구간의 우측부에서 발생하였다. 유도틀을 설치하기 전과 마찬가지로 2차원 수치모의에서는 최대 홍수량과는 달리 단면에서 유속 및 수심의 변화가 없는 지점도 발생하였다.

분석대상 구간에서 단면별 평균 수위변화는 EL.406.09m~EL.406.45m이고, 평균 유속분포는 0.06m/s

~0.17m/s이며, 최대 유속이 0.46m/s로 Sta. #0번에서 발생하였다.

5. 조건별 유도틀의 수리특성 결과

분석구간의 상·하류에서 유도틀 설치 전과 후를 대상으로 최대 홍수량 775.1m³/s와 평수량 2.0m³/s 이 흐른다는 가정 하에 유도틀이 설치된 주변에 대한 수리 특성을 분석하였다.

유도틀 설치 전 유량이 775.1m³/s인 경우에 유도틀 주변 최대 유속은 4.11m/s로 모의 되었으며, 동일한 조건에서의 최소 유속은 1.4m/s로서 유도틀 위치에 따른 유속의 차이가 나타났음을 알 수 있다.

유도틀 설치 후 유량이 775.1m³/s인 경우에는 유도틀 주변 최대 유속은 3.65m/s로 모의 되었으며, 동일한 조건에서의 최소 유속은 2.72m/s로서 유도틀을 설치하기 전보다 유속의 차이는 현저히 줄어들었다.

또한 평수량 2.0m³/s인 경우에는 유도틀을 설치하기 전과 후의 유속의 차이는 거의 없었다. 유도틀 주변의 수리 특성은 <표 5>와 같다.

<표 5> Hydraulic characteristics before and after Stream Control Frame construction

Division	Before		After	
	No. Stream control frame		No. Stream control frame	
	Max Velocity (m/s)	Min Velocity (m/s)	Max Velocity (m/s)	Min Velocity (m/s)
Discharge(m³/s)				
775.1	No. 1 4.11	No. 12 1.40	No. 5 3.65	No. 11 2.72
2.0	No. 0 0.24	- 0.00	- 0.00	- 0.00

<표 5>의 결과로 유도틀이 설치되기 전의 최고 유속은 4.11m/s이고, 유도틀이 설치된 후의 최고 유속이 3.65m/s가 발생하였기 때문에 유도틀의 허용한계유속이 4.0m/s인 것을 고려하면 유도틀의 안정성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 평창강 금당계곡의 유도틀 안정성 분석을 위하여 강우-유출 모형에 의한 수문량을 산정하고, 1차원 수치해석 모형으로 수위값을 산정하였다. 수위-유량에 따른 2차원 수치해석 모형으로 조건별 수리특성을 분석하였으며 결과는 다음과 같다.

전체 구간에서 평수량일때는 유량이 미미하여 유도틀을 설치하기 전과 후의 유속분포는 거의 비슷

한 경향을 나타내었다. 최대 홍수량일때의 최고 유속은 유도를 설치 후 감소하였으며 전체적으로 평균유속도 감소하였다. 유도들이 설치된 구간에서의 최고유속은 유도들의 허용한계유속에 포함되어 유도들의 안정성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

수치모의분석 결과 정량적으로 정확한 예측이 곤란했던 각종 원인을 보다 정밀 분석하여 수치모의 프로그램에 반영함으로써 본 연구 대상유역 뿐만 아니라 타 유역에 대해서도 보다 신뢰도 높은 수치모의 결과를 유도할 수 있도록 보다 기초적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 김종우, 윤세의. 2009. 수생태계를 위한 수제설치에 따른 친환경적인 하천개수. 대한토목학회지. 57(3): 32-36.
- 맹승진, 이배성. 2007. 어도설치를 위한 댐하류 수리특성 분석. 한국농공학회논문집. 4(5): 11-20.
- 박효길, 정성순, 김철문, 안원식, 지흥기. 2011. 총적하천에서의 수제에 의한 안정하도 확보기술에 관한 연구. 한국습지학회지. 13(1): 79-94.
- 성충현. 2004. HEC-HMS 모형을 이용한 단위도 모형 비교연구. 서울대학교 석사학위논문.
- 송계우, 박영진, 이용환. 1994. 유로 만곡부 특성과 단면형상. 대한토목학회논문집. 14(5): 1191-1197.
- 정용태, 최인호, 송계우. 1994. 유로 만곡부의 횡방향 하상경사에 관한 연구. 대한토목학회논문집. 14(1): 143-150.
- 한건연, 조홍제, 손광익, 김광섭. 1993. 교량에 의한 하천 홍수위의 변동해석. 한국수자원학회지. 26(4): 35-46.
- 황주하. 2010. HEC-HMS의 유출곡선번호 변동에 의한 가능최대홍수량 비교 분석. 충북대학교 석사학위논문.
- 山本. 1996. 日本の水制. 山海堂. 日本(in Japanese).
- Barnes. H. H. 1967. *Roughness Characteristics of Natural Channels*. USGS Water Supply Paper.
- Sukhodolov A., S. J. Wim, and E. Christof. 2002. On the Correspondence between Morphological and Hydrodynamical Patterns of Groyne Fields. *Earth Surface Processes and Landforms*. 27(3): 289-305.
- U.S. Army Corps of Engineers. 1991. *SSARR User Manual*. North Pacific Div.
- U.S. Army Corps of Engineers. 1996. *Users Guide to RMA2 Version 4.3. WexTech Systems*.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2000. *HEC-HMS Technical Reference Manual*.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2010. *HEC-RAS River Analysis System User's Manual*.
- Weiming Wu, F. Douglas Shields, J. Bennett Sean, and Sam S. Y. Wang. 2005. A Depth-averaged

Two-dimensional Model for Flow, Sediment Transport, and Bed Topography in Curved Channels with Riparian Vegetation. *Water Resources Research* 41(3): DOI: 10.1029/2004WR003730.

金炯山: 충북대학교 지역건설공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 공학석사 학위를 취득하였다(2011. 2). 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 박사과정 중이다(kimhs@cbnu.ac.kr).

孟昇辰: 충북대학교에서 “LH-모멘트의 적정 차수 결정에 의한 설계홍수량 추정”으로 농학박사 학위를 취득하였으며(2002. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과 부교수로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 수문통계, 강우-유출 모형 개발, 수문자료 측정 분야이며, 현재 한국농공학회 이사, 한국수자원학회 편집위원 등으로 활동 중이다(maeng@cbnu.ac.kr).

李昇昱: 충북대학교에서 공학석사 학위를 취득하였으며(2012. 2), 현재는 ㈜웹솔루스 수자원시스템본부 주임으로 재직 중이다(sulee@websolus.co.kr).

沈智燦: 충북대학교 지역건설공학과에서 공학사 학위를 취득하였으며(2012. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다(jhshim@cbnu.ac.kr).

鄭至惠: 충북대학교 지역건설공학과에서 공학사 학위를 취득하였으며(2012. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다(jeongjihye@cbnu.ac.kr).

투 고 알: 2013년 11월 11일

심 사 알: 2013년 11월 21일

게재확정일: 2013년 12월 01일

Analysis of Hydraulic Characteristics by Stream Control Frame at River

Hyung San Kim, Seung Jin Maeng, Seung Wook Lee, Ji Hoon Shim, Ji Hye Jeong

In this study, the stability of the Stream Control Frame constructed in a river to improve the environmental features of the watercourse was analyzed. The main functions of the Stream Control Frame are to induce a linear stream and to reduce the flow rate, thereby preventing the erosion of the river bank and hillside slopes and helping form small irrigation ponds that will serve as home to many aquatic organisms. To maintain these functions, the stability of the Stream Control Frame according to the changes in the flow rate of the river needs to be analyzed. As in the analysis through hydraulic-model experiments there is a limitation in determining the results of cases with various time and cost conditions, one- or two-dimensional numerical simulation is currently being applied. In this study, to apply two-dimensional numerical simulation, the simulation discharge was calculated using the rainfall-runoff models SSARR and HEC-HMS, and the elevation was estimated using HEC-RAS, a one-dimensional numerical analysis model. Hydraulic analysis was carried out using the RMA-2 model, to simulate the two-dimensional flow shapes before and after the construction of the Stream Control Frame under the conditions of maximum flood(775.1 m^3/s) and normal stream flow(6.18 m^3/s). From the analysis of the flow rate distribution around the Stream Control Frame, the simulated maximum flow rates before and after the construction of the Stream Control Frame were found to be 4.11 and 3.65 m/s in the case of the maximum flood, and 0.24 and 0 m/s in the case of the normal stream flow. Considering that the acceptable-limit flow rate of the Stream Control Frame constructed within the analysis section is 4.0 m/s , the Stream Control Frame is judged to be quite stable because the maximum flow rate after the construction of the Stream Control Frame turned out to be 3.65 m/s . The analysis data on the physical characteristics obtained via hydraulic/hydrological analysis of Stream Control Frame is expected to be utilized for making basic materials required for the operation of the Stream Control Frame that will be constructed in the future.

Key words: stream control frame, HEC-HMS, RMA-2