

자연하천의 홍수범람 모의 및 가시화

Modeling and Visualization of Flood Inundation in Natural River

고태진* · 정태성**

Goh, Tae Jin · Jung, Tae Sung

Abstract

A modeling and visualization system of flood inundation in natural river, FloodViz, has been developed. Unsteady river flow and flood inundation are calculated by FLDWAV model. FLDWAV model and HEC-RAS model have been applied to a flood event at the same time to check model reliability. Simulation results of the two models showed good agreements. Flood propagation and inundation process can be analyzed accurately and easily by using visualization function of the FloodViz. Even though FloodViz users don't know well about both hydraulics and hydrology, they can understand flood inundation phenomena easily. This system can be used as a useful tool in forecasting flood inundation and observing the simulation results. Countermeasures for natural disaster prevention due to flood inundation can be established rapidly by using the FloodViz.

Key words : Flood inundation, Forecasting system, Visualization, FLDWAV

요 지

하천의 홍수범람 예보시스템개발을 위한 초기연구로 부정류 모형인 FLDWAV 모형을 사용하여 홍수범람을 해석하고, 모형결과인 홍수 범람 현상의 시간적 변화를 그래픽을 사용하여 효과적으로 볼 수 있도록 한 홍수범람 가시화 시스템을 개발하였다. FLDWAV를 이용한 모형결과의 신뢰성을 확인하기 위해 HEC-RAS 모형을 동시에 적용하여 모의결과를 비교한 결과, 두 모형에 의한 결과는 거의 일치하였다. 본 연구에서 개발된 가시화시스템을 활용하면, 강우로 인해 발생하는 자연하천에서 홍수와 전파와 하천 범람을 신속하고 자세하게 그래픽으로 관찰할 수 있다. 본 시스템은 수리학적 지식이 없는 사람들도 홍수범람 모의 결과를 쉽게 이해하게 하며, 홍수범람 예보와 하천 범람으로 인한 재해의 방지대책을 신속하게 수립하는 데 도움을 주어 홍수범람으로 인한 자연재해를 경감하는 데 기여할 것이다.

핵심용어 : 홍수 범람, 예보시스템, 가시화, FLDWAV

1. 서 론

우리나라는 매년 집중강우로 인해 발생하는 하천 범람으로 인해 많은 인명 피해와 함께 경제적 손실을 입고 있다. 이를 위해 정부에서는 하천 정비를 포함한 치수 및 방재 정책을 꾸준히 펼치고 있지만, 지구온난화 등으로 인한 기후변화로 인해 발생하는 자연재해는 예측치를 넘는 집중 호우로 인해 큰 효과를 보지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 홍수범람을 정확히 예측하기 위한 수치 모형에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 그러나 예측 모의결과가 수치적 자료 또는 도면으로 제시되어 재해관리자가 방대한 모의자료를 신속하게 검토하여 방재대책을 수립하는 데 어려움이 있다.

이와 같은 문제점을 개선하여 효과적으로 홍수 및 범람 예

측결과를 제공하기 위해서는 모형결과를 가시화하기 위한 연구가 필요하다. Okroj 등(2000)은 MIKE 11과 실시간 홍수예측 시스템인 MIKE 11 FF와 GIS 프로그램인 ArcView를 연계시켜 Flood Watch라는 실시간 홍수예측 관리지원 시스템을 개발하였으며, Krüger 등(2000)은 AVRas(ArcView - HEC-RAS)와 연계시킨 ArcView를 사용하여 GIS를 이용한 홍수 범람도를 작성한 바 있다. Thaveevouthti 등(2006)은 1차원 수리모형(NOAH 1D Modeling System)과 GIS 기술을 통합한 NOAH-GIS라는 홍수 범람도 작성 시스템을 개발하였다. Riverside Technology 사에서는 Real-Time Observed and Forecasted Flood Inundation Mapping System을 개발하여 웹 상에서 서비스하고 있다. 국내에서는 한건연 등(1998)은 GIS와 연계한 하천홍수범람시스템을 구축하였으며,

*정희원 · (주)웹솔루스 시스템사업부 과장 (E-mail: semicolon@paran.com)

**한남대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

배용훈(2005)은 스위스의 Beffa에 의해 개발된 FLUMEN 모형을 이용하여 구리시 유역의 홍수범람을 모의한 바 있다. 이와 더불어 홍수로 인한 재해를 방지하기 위한 홍수예경보 시스템 구축에 대한 연구가 인구가 집중되어 재해가능성이 높은 도시하천을 대상으로 진행되고 있다(도시홍수재해관리기술연구사업단, 2007). 현재 국내에서 연구되고 있는 홍수범람 예보시스템은 GIS와 연계하고 있어, 지형자료를 폭 넓게 활용할 수 있으나 시스템 구축을 위해서는 상용프로그램인 GIS 프로그램을 구입해야하고, 시스템을 효과적으로 활용하기 위해서는 GIS에 대한 지식을 필요로 하여 비전문가가 사용하는 데는 제한이 있다.

본 연구의 목적은 부정류 모형인 FLDWAV 모형을 사용하여 댐 하류 하천에서의 홍수범람을 모의한 후, 수치모형으로부터 나온 방대한 양의 수치적 결과를 GUI(Graphic User Interface)를 이용한 가시화시스템을 사용하여 홍수범람의 시간적 변화에 따른 양상을 연속적으로 쉽게 관찰할 수 있도록 하는 데 있다. 본 연구에서 개발된 가시화시스템(FloodViz)은 다른 상용소프트웨어를 사용하지 않아 추가적인 비용 없이 누구나 손쉽게 사용할 수 있다. 사용방법도 매우 간편하여 손쉽게 홍수범람 모의결과를 쉽게 관찰할 수 있다.

2. 홍수범람 수치모형

2.1 홍수범람 모형의 연구 동향

홍수범람 현상에 관한 수치모의는 국내외에서 많이 수행되어 왔다. 외국에서는 홍수범람에 대한 모형이 1970년부터 개발되기 시작하여 1980년대부터 비교적 양호한 모형을 구축하기 시작하였으며, 대표적인 모형으로 DWOPER(Fread, 1978), DWOPER를 개선한 FLDWAV(Fread 등, 1998), UNET(Barkau, 1997) 등이 있다. 국내에서는 이종태 등(1995)은 DFLOW-2라는 제내지에서의 범람홍수와 해석을 위한 수치모형을 개발하여 한강 하류부의 일산제 붕괴에 적용시킨 바 있으며, 이홍래 등(1998)은 DWOPER 모형에 제방월류 및 붕괴에 따른 홍수해석, 제내지에서의 범람해석 등을 처리할 수 있도록 프로그램을 개선하고 GIS와 연계시켜 남한강 유역에 적용시켰으며, 이홍래 등(1998)은 기존의 DWOPER 모형에 대해서 불확실도 기법을 이용한 홍수범람 해석을 위해 DWOPER-LEV 모형을 개발, 남한강 유역에 적용시켜 하천의 홍수범람에 따른 제방의 월류위험도와 가능 범람범위를 예측할 수 있도록 하였다. 전경수(1998)는 홍수터 흐름에 대해서는 각 구획에서의 수량보존에 관한 연속방정식 및 인접구획간 하도형 또는 월류형 수위-유량 관계식을, 하천 본류에 대해서는 1차원 부정류에 대한 Saint-Venant 방정식을 지배방정식으로 하여 흐름을 모의하는 준2차원 계산모형을 수립하였다.

2.2 FLDWAV 모형의 개요

본 연구에서는 홍수범람 모의를 위해 널리 활용되는 FLDWAV모형을 사용하였다. 홍수추적모델인 FLDWAV는 미국 NOAA의 National Weather Service에 의해 개발되어 왔다. 각종 수리학적 현상의 모의를 가능하게 하기 위하여, 그

동안 개발되어 온 DAMBRK와 DWOPER의 기능을 합하여 보강하였다. FLDWAV는 수리학적 구조물에 의해 제어되는 부정류의 모의에 관한 내부경계조건과 결부시킨 일차원 Saint-Venant 방정식을 음해법을 사용하여 계산한다. 지배방정식으로는 1차원 Saint-Venant 방정식을 사용한다. 모형은 완만하게 변화하는 흐름뿐만 아니라 홍수시 댐을 통한 방류 또는 댐과괴시 등의 급격하게 변화하는 흐름에 대해서 모의할 수 있는 프로그램이다. 수치해석은 지배방정식을 Preissmann (1961)에 의해 개발된 4점 음해법을 사용하여 안정적으로 계산한다.

수로의 확대·축소와 non-Newtonian 흐름을 고려한 부정류의 지배방정식을 보존 형태로 표현하면 다음과 같은 확장형 Saint-Venant 방정식이 된다(Fread 등, 1988).

$$\frac{\partial s_{co}(A+A_0)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (s_m Q)}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e - S_i \right) + L + W_f B = 0 \quad (2)$$

여기서, A = 주수로 단면적, A_0 = 저류 단면적, Q = 유량, t = 시간, x = 흐름방향의 공간좌표, q = 측방 유출입량, S_{co} 와 s_m = 사행계수(sinuosity factor), β = 운동량보정계수, g = 중력 가속도, h = 수위, S_f = 마찰경사, S_e = 수로의 확대·축소 경사, S_i = non-Newtonian 유체(진흙 또는 암석부스러기의 흐름에 의한 내부점성의 감쇄와 관련된 추가적인 마찰경사, 수로비탈 경사, L = 측방 유출입량의 운동량($L = -qV_x$), W_f = 바람마찰에 의한 영향, $B = h$ 에 대한 수면폭, V_x = 측방 유입 속도의 흐름에 직각성분이며, 마찰경사 S_f 는 Manning공식을 이용한다.

초기조건은 계산결과에 영향을 미치지 않을 정도의 유량을 초기에 일정시간 동안 지속적으로 방류하여 계산 결과가 안정되도록 한 다음에 모의를 시작하였다. 경계조건으로 상류단에서는 유량의 시간 변화를 사용하였으며, 하류단에서는 등류수심을 사용하였다. 지류로부터 유입되는 유량을 처리하는 간단한 방법은 유입지점에서 유입 홍수량을 입력단면 구간에 단순히 더하는 것이다. 그러나 이 방법은 지류로부터의 유입량이 본류 유량에 비하여 적은 경우는 적용 가능하나 본류의 면적보다 지류의 면적이 커서 상대적으로 유량이 큰 경우는 모형에서 불안정한 결과를 나타낸다(Fread 등, 1998). 따라서 안정된 모의결과를 얻기 위해 일정구간의 지류를 모의시 포함하였다.

홍수터는 그 면적이 작은 경우 하천의 일부분으로 간주하여 처리하였으며, 유역면적이 넓고 제내지의 수위가 하천제방에 비하여 크게 낮은 범람지는 연못으로 가정하여 처리하였다. 하천으로부터 연못으로 월류량은 다음과 같이 웨어공식을 사용하여 계산한다.

$$q_i^j = S_g c_i (\bar{h}_i - h_{c_i})^{3/2} \quad (3)$$

여기서, c_i 는 유량계수, h_{c_i} 는 제방의 높이, \bar{h}_i 는 하천단면

와 $i+1$ 의 평균수위이며, S_g 는 다음과 같다.

$$S_g = 0 \text{ if } \bar{h}_i \leq h_{c_i} \text{ and } h_{fp} \leq h_{c_i} \quad (4)$$

$$S_g = m(\bar{h}_i - h_{fp}) / (\bar{h}_i - h_{c_i}) \text{ if } \bar{h}_i > h_{c_i} \text{ and / or } h_{fp} > h_{c_i} \quad (5)$$

여기서, m 은 하천에 대해서는 -1 , 홍수터(연못)에 대해서는 1 , h_{fp} 는 홍수터에서의 수위이다.

3. FLDWAV 모형의 적용

3.1 입력자료의 구성

모형의 적용유역은 황성댐 하류지역으로 황성댐으로부터 원주천 합류전까지 약 27.5 km의 섬강 구간이며, 본류인 섬강에 대관대천, 금계천, 전천, 장양천 등 4개의 지류가 유입되고 있다(그림 1). 모형에 필요한 단면자료는 한국수자원공사(1999)의 하천단면 측량자료를 사용하였다. 그러나 홍수시 범람 예상유역에 대해서는 하천단면에 대한 측량성과 자료만으로는 부족하여, 범람 예상지역에 대한 지형을 1:5,000 지형도에서 독취하였다. 독취된 범람지역에 대한 단면자료는 수치화되어 측량성과와 함께 모형 입력자료로 사용되었다. 평균거리 200 m 간격의 단면에서 횡단 측량 자료(한국수자원공사, 1999)를 수치모의시 사용하였다. No. 89(하류)부터 No. 225(댐)까지 총 137개의 단면이 사용되었다.

FLDWAV 모형에서는 입력자료로 표고별 하천폭에 대한 자료가 필요하다. 따라서, 단면 지점별 표고로 표시된 횡단측량 자료(한국수자원공사, 1999)를 표고별 하천폭 자료로 환산하는 프로그램을 작성하여, 표고별 하천폭을 계산하여 모형 입력자료를 구성하였다. 지천으로부터 유입량을 측방유입으로 처리할 경우 발생하는 합류지점에서의 불안정 문제를 해결하기 위하여, 각 지천에 대해서 측면 유입으로 생각하지 않고

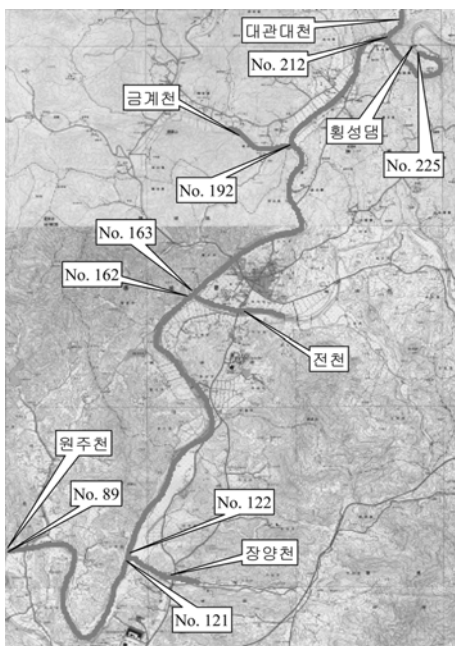


그림 1. 모형 적용 유역도 및 하천단면 위치도

일정거리의 하천구간을 설정하여 계산하였다. 즉, 각 지천에 대하여 합류점으로부터 상류방향으로 약 4 km의 하천구간의 단면을 지형도를 참고하여 설정하여 계산을 수행하였다. 결과적으로 모형 적용구간을 4개의 지천과 본류를 포함하는 5개 하천이 복합된 수계로 구성하였다. 고려된 4개 지류에 대해서는 하천단면에 대한 측량성과가 존재하지 않아 1:5,000 지형도로부터 대표단면과 평균경사를 구하여 모형에 입력하였다.

예상 범람유역에 대한 지형자료는 1차적으로 범람유역을 고려하지 않고 하천의 제방에 직각으로 높은 벽이 있어 월류하지 않는 것으로 가정하여 홍수위를 구하고, 계산 홍수위와 현장답사 결과를 참고하여 예상 범람유역을 결정한 후에 예상 범람유역에 대한 지형자료를 1:5,000 지형도로부터 단면자료의 일부로 입력하였다. 특히 범람면적이 큰 4개의 지역에 대해 범람유역은 연못으로 처리하였다. 처리한 범람 유역은 No. 206에서 193까지 구간의 우안, No. 162에서 156까지 구간의 좌안, No. 137에서 123까지 구간의 좌안, No. 121에서 113까지 구간의 좌안이다. 모델 경계조건으로는 본류와 지류의 상류단에서는 HEC-1 모형에 의해 구한 빈도별 홍수량 수문곡선(한국수자원공사, 1999)을 사용하였고, 하류단은 등류곡선에 의한 수심이 사용되었다. FLDWAV에서는 각 time step 별 등류수심을 하류단의 하상경사, 유량, 조도계수로 계산하여 모의를 수행한다. Manning의 조도계수로는 황성다목적댐 실시설계 수문·수리계산서(건설부, 1990)에 제시된 값 0.04를 사용하였다.

홍수사상은 HEC-1에 의해 계산된 5년, 10년, 25년, 50년, 100년, 200년 빈도의 총 6개 홍수유입량(한국수자원공사, 1999)에 대하여 범람을 검토하였다. 모의결과 중 뚜렷한 범람 현상은 25년보다 큰 빈도의 홍수사상시 발생하였다. 각각의 홍수사상에 대해 댐 건설전과 건설후의 두 가지 경우로 나누어 검토하였으며, 건설 후 방류량은 댐 하류 하천의 수리학적 현상 조사 연구(황성댐 유역)(한국수자원공사, 1999)를 참고하였다. 그림 2와 3은 각각 25년과 200년 빈도 홍수 사상에 대한 본류와 지류에서의 유입 수문곡선이다. 그림에서 S1은 대관대천, S2는 금계천, S3는 전천, S4는 장양천을 나타내며, uncontrolled는 댐 건설전, controlled는 댐 건설 후를 의미한다. 표 1은 댐에서의 빈도별 홍수유입량을 나타내고 있다. 여기서 굵은 숫자는 침투유량이다.

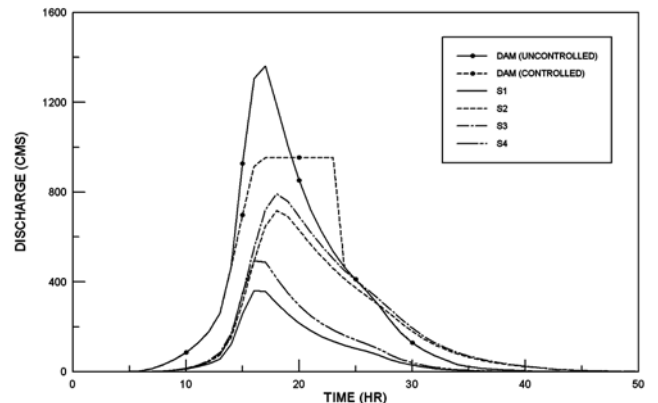


그림 2. 25년 빈도시 지점별 유입 수문곡선 (한국수자원공사, 1999)

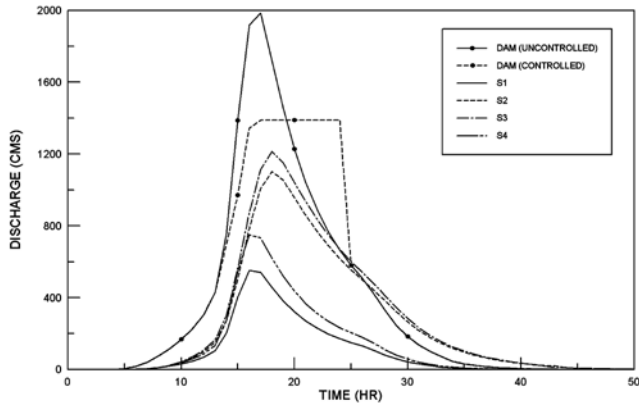


그림 3. 200년 빈도시 지점별 유입 수문곡선 (한국수자원공사, 1999)

3.2 모의 결과의 분석

댐건설전 25년 빈도 홍수시 황성댐 건설전 본류에서 최대 침투홍수량은 장양천 유입후로 3,301 CMS이다. 댐 건설에 따른 홍수조절로 침투홍수량은 3,010 CMS로 감소하며 예에 따라 범람유역도 감소한다. 모의결과에 의하면, 범람깊이는 최대 1.1m가 감소하며, 최대 홍수위는 홍수량 조절로 상류에서 약 0.8 m, 하류에서 약 0.4 m가 감소한다. 200년 빈도 홍수시 댐 건설 전 섬강에서 최대 홍수량은 5,094 CMS이며, 건설 후는 4,695 CMS이다. 댐 건설후에는 범람유역은 홍수조절로 감소하며, 홍수위는 상류에서 약 1 m, 하류에서 0.2~0.3 m가 감소한다(한국수자원공사, 1999).

표 1. 댐에서의 빈도별 홍수유입량

시간 (hr)	유량(CMS)											
	댐 건설 전						댐 건설 후					
	5년	10년	25년	50년	100년	200년	5년	10년	25년	50년	100년	200년
0	18	16	14	22	12	18	18	16	14	22	12	18
1	18	16	14	22	12	18	18	16	14	22	12	18
2	18	16	14	22	12	18	18	16	14	22	12	18
3	18	16	14	22	12	18	18	16	14	22	12	18
4	18	16	14	22	12	18	18	16	14	22	12	18
5	18	16	14	22	12	18	18	16	14	22	12	18
6	18	16	14	22	31	41	18	16	14	22	31	41
7	18	16	31	45	59	75	18	16	31	45	59	75
8	18	33	55	75	95	117	18	33	55	75	95	117
9	34	55	86	112	139	167	34	55	86	112	139	167
10	34	84	126	159	193	228	34	84	126	159	193	228
11	55	125	178	220	263	307	55	125	178	220	263	307
12	86	189	261	316	372	428	86	189	261	316	372	428
13	135	368	468	575	665	755	135	368	468	575	665	700
14	277	722	927	1081	1234	1386	277	722	700	757	864	970
15	561	1029	1306	1511	1716	1919	561	720	914	1058	1201	1343
16	811	1080	1362	1571	1779	1985	700	756	953	1100	1245	1390
17	752	945	1187	1367	1545	1722	700	756	953	1100	1245	1390
18	642	804	1007	1158	1308	1457	700	756	953	1100	1245	1390
19	547	683	853	980	1106	1230	700	756	953	1100	1245	1390
20	467	581	725	832	938	1042	467	756	953	1100	1245	1390
21	401	498	620	711	800	889	401	756	953	1100	1245	1390
22	348	431	535	612	688	764	348	756	953	1100	1245	1390
23	304	375	465	532	598	663	304	375	465	1100	1245	1390
24	268	330	409	467	524	581	268	330	409	467	524	581
25	235	289	357	407	457	507	235	289	357	407	457	507
26	197	242	298	340	382	423	197	242	298	340	382	423
27	154	189	233	266	298	330	154	189	233	266	298	330
28	115	141	174	198	223	246	115	141	174	198	223	246
29	85	105	129	147	165	183	85	105	129	147	165	183
30	63	78	96	109	122	136	63	78	96	109	122	136
31	47	57	71	81	90	100	47	57	71	81	90	100
32	34	42	51	58	65	72	34	42	51	58	65	72
33	22	26	32	37	41	45	22	26	32	37	41	45
34	15	19	23	26	29	32	15	19	23	26	29	32
35	11	19	16	19	21	23	11	19	16	19	21	23
36	11	19	16	19	15	16	11	19	16	19	15	16

4. HEC-RAS 모의결과와 비교

FLDWAV 모형을 적용한 결과의 신뢰성을 확인하기 위해서는 실측 수위 및 유량 관측자료와 비교하여야 하나 신뢰성있는 관측자료의 확보가 어려워, HEC-RAS 모형을 동시에 적용하고 그 결과를 비교하는 방법으로 모형의 신뢰성을 간접적으로 검토하였다. 이를 위해 댐건설 후 25년 빈도의 홍수량을 HEC-RAS의 부정류 해석 모듈인 UNET 모형을 사용하여 해석하였다. 모의결과로부터 추출된 최대 수위의 공간분포는 그림 4에서 보이는 바와 같이 상류단에서 전천 합류 전까지는 두 모형이 전반적으로 유사한 분포를 보였다. 자세히 살펴보면, 전천(S3) 합류 후부터 장양천(S4) 합류 전까지의 구간에서는 FLDWAV의 수위가 높게 나타났으며, 장양천(S4) 합류 후부터 하류단 경계까지의 구간에서는 HEC-RAS의 수위가 높게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. 전천 합류 지점에서 유량과 수위의 수문곡선(그림 5와 6)을 비교해보면, 유량은 HEC-RAS 모형의 모의결과가 약간 크게, 수위는 FLDWAV 모형의 모의결과가 약간 크게 나타났으나 그

차이는 크지 않았다. 첨두유량과 최고수위 발생시각은 두 모형의 결과가 거의 일치하였다. 두 모형결과가 차이 나는 지점은 지류가 유입되는 지점과 지형이 급격하게 변하는 지점이다. 따라서 두 모형결과 차이를 야기하는 원인은 지류와 본류와 접합하는 부분의 처리방법과 단면의 확장과 축소시의 처리방법의 모형간의 차이에 기인한다고 판단된다. 어느 모델이 우수한지는 추후 관측자료가 확보되면 검토가 가능할 것이다. 한편 정상류 모의결과는 본류와 지류의 첨두유량의 합을 모의시 사용함으로 인하여 본류에서 유량이 실제 유량보다 크게 계산되어 수위가 부정류 모의결과보다 크게 나타났다. 실제보다 하천수위와 유량을 과대하게 추정하는 정상류 모형이 가지는 문제점이 모의결과에 뚜렷이 나타난 것이다.

5. 범람 모의결과와 동적 가시화 프로그램 개발

5.1 동적 가시화 프로그램의 개요

위에서 언급한 바와 같이 범람현상을 숫자로 표기하거나 도표로 나타낼 경우 홍수범람 현상은 시간과 공간에 따라 변

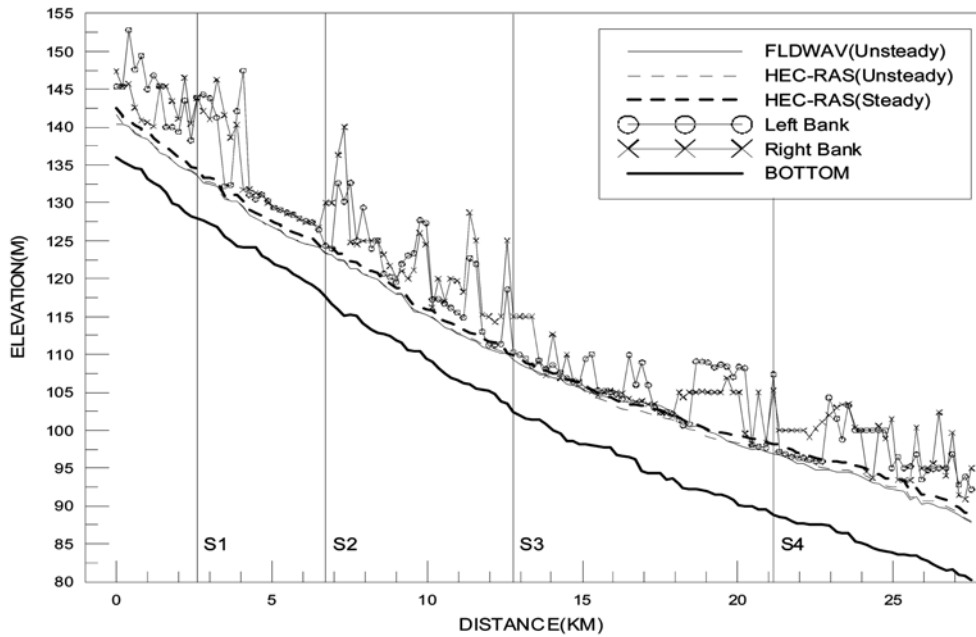


그림 4. 최대 수위 분포 비교(25년 빈도, 댐 건설 전)

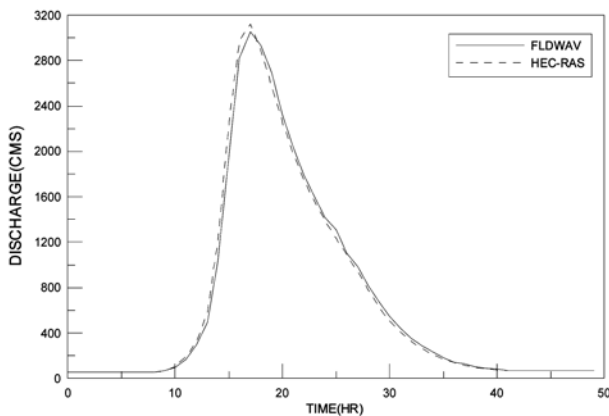


그림 5. 전천 합류 후 시간 별 유량 분포 비교 (25년 빈도, 댐 건설 전)

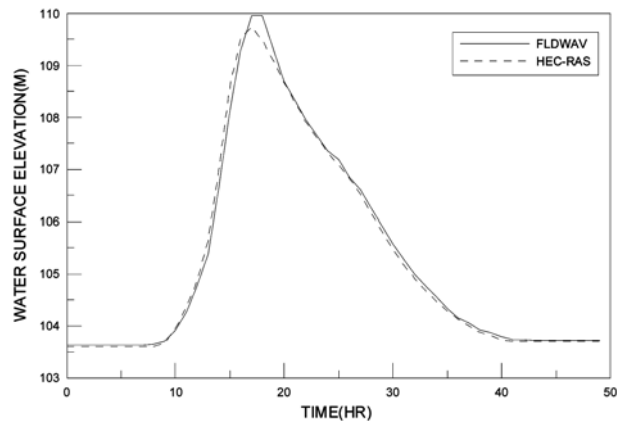


그림 6. 전천 합류 후 시간 별 수위 분포 비교 (25년 빈도, 댐 건설 전)

화하는 현상으로 많은 분량의 지면을 요구하게 된다. 이러한 문제점을 해결하여 시간적으로 변화하는 홍수범람 현상을 효과적으로 신속하게 분석할 수 있도록 하기 위하여 동적 가시화 프로그램을 개발하였다. 프로그램을 활용하면, 지형자료, 하상 단면자료, 범람자료 등을 PC 화면에서 편리하게 관찰할 수 있다.

프로그램의 원활한 구동을 위해 면적이 넓은 4개의 홍수터에 대해서는 10m 간격의 정사각형 격자를 구성하였고, 그 외의 지역, 즉 하도와 면적이 작은 홍수터에 대해서는 격자를 사용하지 않고 1:5,000의 지도에 도시된 하천의 횡단 측량성과로부터 각 단면의 좌표를 추출, 단면의 배열로서 지형을 2차원으로 구성하였다. 대신 이 방법은 지형이나 지물의 표현을 전혀 할 수 없기 때문에 1:25,000 지도의 비트맵 이미지를 프로그램 내에서 합성하여 격자를 사용하지 않음에 따른 지형·지물 표현의 한계를 극복하였다(그림 7).

동적 가시화 프로그램의 개발에 사용된 언어는 Visual C++ 6.0과 OpenGL 라이브러리(Fosner, 1997)이다. 프로그램은 크게 세 부분으로 구성되었다. 첫 번째는 구축한 데이터베이스를 읽어 들이는 부분이며, 두 번째는 읽어 들인 자료를 화면에 맞는 좌표로 변환하여 재구성하는 부분이고, 세 번째는 재구성된 자료를 컴퓨터 모니터 화면에 그리는 부분이다. 그림 8의 프로그램 흐름도에서와 같이 프로그램은 먼저 지형자료와 단면자료, 지도의 비트맵 이미지를 입력받아 주메뉴를 구성하며, 구성된 주메뉴에서 각 홍수사상에 대한 FLDWAV 모형에 의한 범람모의 결과자료를 입력받는다. 다음으로 입력받은 자료를 화면에 묘사하기 위해 프로그램 내에서 자료를 재구성한 후 범람지도와 수문곡선, 단면정보, 전체 하도에서의 수위변화를 화면상에 표시하여 주화면을 구성한다. 마지막으로 구성된 주화면에서의 범람 정보를 동적으로 표현하면, 사용자는 홍수 범람의 시작에서 종료까지 변화양상을 현실감 있게 연속적으로 관찰할 수 있다.

5.2 모의 결과의 동적 가시화 적용 예

FloodViz를 이용한 가시화 결과의 한 예로 25년 빈도 홍수시 최대 범람이 발생하는 시각의 홍수범람 모의결과를 가시화한 결과는 다음과 같다. 그림 9은 댐 건설 전 침투유량

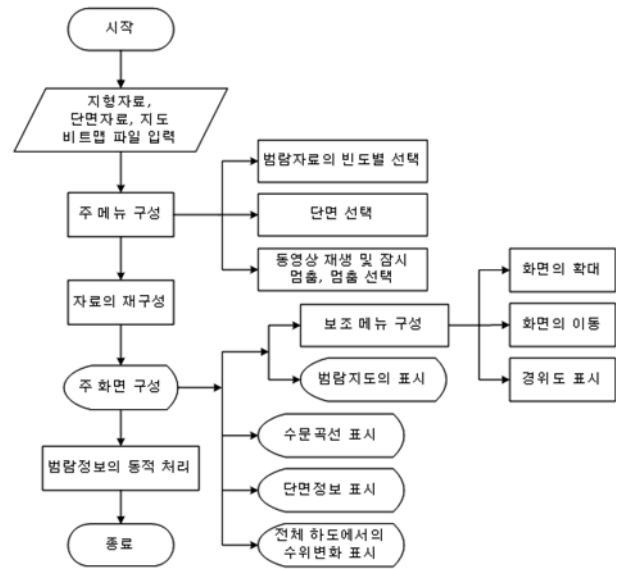


그림 8. 프로그램의 흐름도

발생시 범람이 가장 넓게 발생하는 시각에서 특정영역 확대 기능을 사용하여 도시한 그림이다. 129번 단면에서의 침투유량 발생시간은 수문곡선에서 19시에 해당된다는 것을 알려주고 있다. 또한 그 때의 유량은 2,690 CMS, 유속은 2.23 m/s, 수위는 99.17 m임을 표시하고 있다. 범람지도 표시부를 보면 129번 단면 주변이 넓게 침수됨을 알 수 있으며, 종방향 수위변화 표시부에서는 하천의 중류와 하류 지역의 제방에서 범람(그림의 역삼각형)이 발생한 모습을 볼 수 있다. 단면정보 표시부에서는 129번 단면에서 홍수위가 제방을 약간 넘어선 모습을 보여주고 있다. 그림 10의 수문곡선 표시부에서는 현재 시간이 침투유량 발생 후 유량감소시에 해당함을 수문곡선에서 점으로 나타내고 있으며, 전체 하도에서의 수위변화 표시부를 보면 하천 하류지역의 4개 단면만이 수위가 제방을 월류하여 범람하고 있음을 보여주고 있다. 그림 9과 10의 화면은 시간이 진행함에 따라 변화하는 과정을 연속적으로 볼 수 있으며, 범람구역도 또는 종단면도에서 임의 단면의 위치를 클릭하면, 선택된 단면에 대한 수문곡선, 하천단면이 선택된 단면으로 바뀐다.

6. 결론 및 연구 과제

FLDWAV 모형을 사용해서 횡성댐 하류지역의 홍수와 전파와 범람을 계산하고, 그 결과를 HEC-RAS 모형의 부정류 해석 모듈(UNET 모형)을 사용해서 모의한 결과와 비교하였으며, 모의결과를 가시화하는 홍수범람 동적가시화 프로그램을 개발하여 지형도에 범람 영역과 각 단면에서의 수위 변화양상 및 유량의 시공간적 변화를 효과적으로 표현하였다. 모의결과를 보면, 두 모형에 의한 모의결과(수위)는 일부 구간에서 약간의 차이를 제외하고는 전반적으로 서로 일치하는 결과를 보였다. 개발된 가시화 프로그램은 홍수에 의한 하천 주변의 범람현상을 모의한 결과를 신속하게 효과적으로 보여주어, 홍수범람 현상을 현실감 있게 파악할 수 있었다.

동적 가시화 시스템은 홍수시 하천 범람현상을 가시적으로

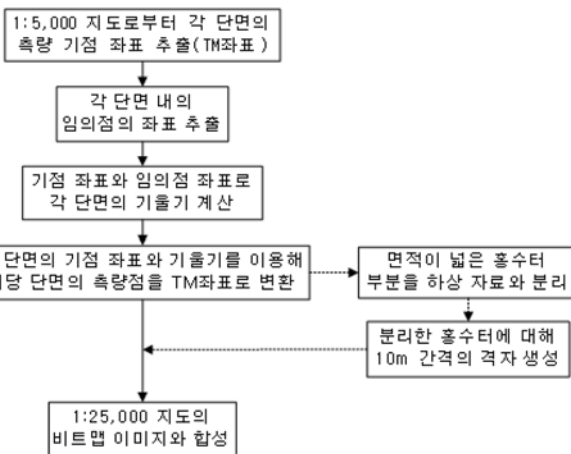


그림 7. 지형자료의 구축 순서

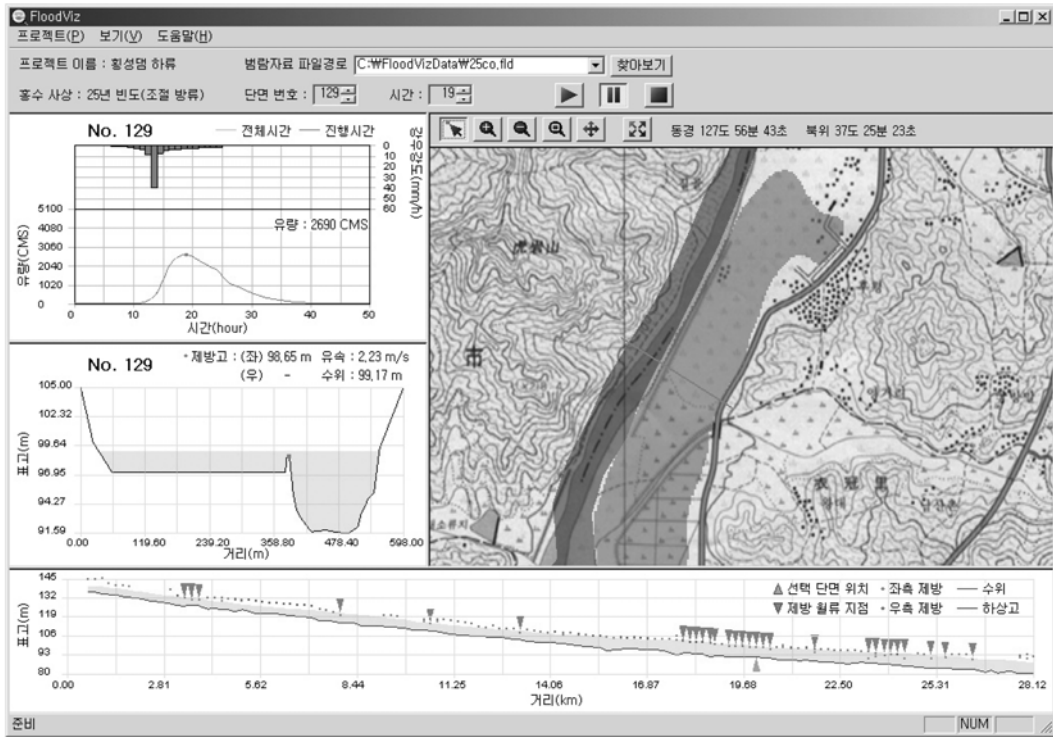


그림 9. 25년 빈도 홍수시 가시화 예 (첨두유량시)

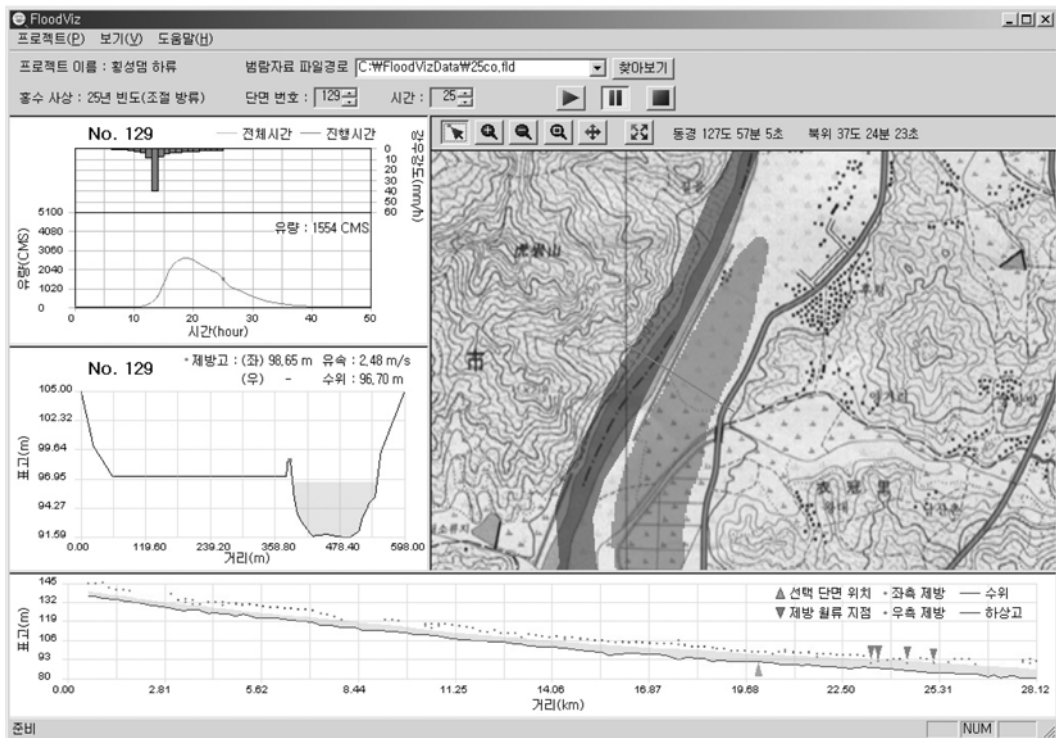


그림 10. 25년 빈도 홍수시 가시화 예 (유량감소시)

표현할 수 있으며, 방대한 양의 자료를 하나의 프로그램 내에서 일괄적으로 처리하고 모든 범람 양상을 동적으로 구현할 수 있어 복잡한 홍수범람 현상을 신속하고 정확하게 관찰하는 것을 가능하게 하였다. 이 프로그램을 활용하면, 하천모형 비전문가인 재해담당자도 홍수 범람모형에 의한 홍수범람 예측 결과를 보다 쉽게 파악할 수 있을 것이다. 향후 이 프로그램

은 실시간 수문관측 및 실시간 수문모의와 연계하는 실시간 범람예보 시스템으로 개선할 필요가 있으며, 나아가 웹 상에서도 본 프로그램이 구동될 수 있도록 하여 기상예보와 같이 홍수재해 관련자들이 홍수시 범람 현상을 실시간으로 쉽게 접하게 하면, 자연재해에 보다 신속하게 대처할 수 있어 홍수범람으로 인한 인명 및 재산 피해를 크게 줄일 수 있을 것이다.

참고문헌

- 건설부 (1990) **횡성다목적댐 실시설계 수리·수문계산서**.
 도시홍수재해관리기술연구사업단 (2007) 제16회 도시홍수 재해관
 리기술 세미나 -도시지역 홍수예보체계의 구축방안-.
- 배용훈 (2005) FLUMEN 모형을 이용한 홍수범람모의. **한국수자
 원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제5호, pp. 355-364.
- 이중태, 한건연, 윤세의, 박재홍 (1995) 제내지에서의 범람홍수와
 해석을 위한 수치모형의 개발. **한국수자원학회논문집**, 한국수
 자원학회, 제28권, 제5호, pp. 163-174.
- 이홍래, 한건연, 김상호 (1998) 하천 홍수범람해석을 위한 수치모
 형의 개발(II) : 불확실도 해석. **한국수자원학회논문집**, 한국수자
 원학회, 제31권, 제4호, pp. 429-437.
- 이홍래, 한건연, 김상호, 최현상 (1998) 하천 홍수범람해석을 위
 한 수치모형의 개발(I) : GIS와의 연계해석. **한국수자원학회논
 문집**, 한국수자원학회, 제31권, 제4호, pp. 415-427.
- 전경수 (1998) 준2차원 홍수범람 모형에 관한 연구. **한국수자원
 학회 논문집**, **한국수자원학회**, 제31권, 제5호, pp. 515-528.
- 한건연, 김상호 (1998) GIS와 연계한 하천홍수범람시스템의 구축.
 한국수자원학회 학술발표회 논문집, **한국수자원학회**, pp. 696-
 701.
- 한국수자원공사 (1999) **댐 하류 하천의 수리학적 현상 조사 연구(
 횡성댐 유역)**.
- Barkau, R.L. (1997) *UNET: one-dimensional unsteady flow through
 a full network of open channels, User's Manual*. US Army
 Corps of Engineers, HEC. Davis, CA.
- Fosner, R. (1997) *OpenGL Programming for Windows 95 and Win-
 dows NT*. Addison-Wesley Developers Press.
- Fread, D.L. (1978) *Theoretical Development of Implicit Dynamic
 Routing Model*. HRL-113, Hydrologic Research Laboratory,
 National Weather Service, San Diego, Calif., USA.
- Fread, D.L. and Lewis, J.M. (1998) *NWS FLDWAV MODEL*.
 National Weather Service, NOAA.
- Krätger, C.M. and de Camargo, A.S.G. (2000) Flood mapping using
 GIS - Case study of União da Vitoriaa City, Brazil. *Proc. of 4th
 International Conference on Hydrodynamics*, Iowa, USA, in
 CD-ROM.
- Okroj, T., Jorgensen, G.H. and Niedbala, J. (2000) Flood Watch
 aided real time river catchment modeling. *Proc. of 4th Interna-
 tional Conference on Hydroinformatics*, Iowa, USA, in CD-
 ROM.
- Preissmann, A. (1961) Propagation of transitory waves in channels
 and rivers. *Proc. of First Congress of France Assoc. for Compu-
 tation*, Grenoble, France, pp. 433-442.
- Thaveevouthti, T. and Kutija, V. (2006) An Integration of GIS and
 1D River Model in Floodplain Mapping. *Proc. of 7th Interna-
 tional Conference on Hydroinformatics*, Nice, France, in CD-
 ROM.

◎ 논문접수일 : 2007년 10월 01일
 ◎ 심사의뢰일 : 2007년 10월 02일
 ◎ 심사완료일 : 2008년 03월 12일