

남한강 홍수기 댐 방류수 추적

Dam Discharge Routing During Storm Periods in Nam-Han River

황의호*, 안소라**, 이을래***, 고덕구****
Eui-Ho HWANG, So-Ra AHN, Eul-Rae LEE, Deuk-Koo KOH

요 지

본 연구에서는 HEC-RAS 모형을 이용한 부등류 모의를 통하여 댐 방류수의 유하시간을 산정하고 이를 실시간 댐 방류수의 봉부자 추적실험에서 산정된 유하시간과 비교검증 하였다. 대상구간은 충주댐지점부터 여주대교까지 총 63.6km에 이르는 남한강 본류 구간으로 164개 단면으로 나누어 부등류 모의를 하였다. 유하 시간 실험은 센서가 내장된 봉부자를 최초 시작지점에 투척하여 주요 교량에서 봉부자를 관측하여 최초 투척된 시간으로부터 교량을 통과하는 시간을 관측하는 방법을 사용하였다. HEC-RAS 부등류 모의 결과 2007년 8월 7일 방류량(680CMS)의 유하시간은 약 13시간으로 산정되었고 봉부자 추적자 실측자료를 통한 유하 시간은 11.5시간으로 산정되어 실측치가 모의치보다 유하시간이 빠른 것으로 나타났다. 구간별로 살펴보면 HEC-RAS 모형의 모의결과는 수행교에서 충주조정지는 1.4시간 느리게, 목계교에서 남한강교는 1.0시간 빠르게 모의되었으나 나머지 구간에서는 실측치와 대체로 일치하였다. 본 연구는 유하시간 실험 구간 및 구간과 동일한 조건으로 모의함으로서 모형을 보정하기 위한 실측 유하시간 자료를 확보하였으며, 이러한 실측자료를 토대로 보정된 모형의 매개변수를 이용함으로서 대상 수계의 방류량별 유하시간을 산정하는데 정확성을 제고하고 홍수기 댐 운영 및 홍수예경보에 반영될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : HEC-RAS, 부등류 모의, 유하시간, 센서봉부자

1. 서 론

홍수 방류량 하류 도달시간 산정은 댐 운영 및 홍수예경보의 기초자료로 인식되고 있어 정확한 유하시간 산정이 필요하다. 수자원공사에서는 댐운영실무편람('06)에 있는 자료를 이용하여 댐 방류에 따른 하류 도달 시간 근거자료 제시 및 댐 운영에 활용하고 있다. 남한강 및 금강 하류부의 경우 '86년 한강 홍수예경보 자료와 '97년 금강 홍수예경보 자료를 활용하고 있으나, 수치모형 결과 자료로 실측에 의한 검증이 이루어지지 않았다. 또한 댐 방류수의 하류도달 시간에 대한 실측 자료의 확보는 수치모형의 검증 및 보완을 위해 중요하다. 보정된 수치모형을 이용하여 홍수도달시간 실시간으로 예측하게 되면 댐 운영의 효율성 확보 및 대내외 검증된 결과의 제시가 가능할 것이다. 이처럼 댐 방류에 따른 하류도달 시간에 대한 실측이 요구되고 있으나, 관련 기술에 대한 국내외 개발 및 적용 사례가 전무한 실정으로 본 연구에서 현장계측과 수치모형을 연계하여 신뢰성 높은 도달시간을 분석하고자 한다. 이러한 실제 도달시간 계측자료를 이용하여 수치모형의 매개변수를 보정하고 신뢰성 높은 예측결과를 홍수예경보 및 댐 운영에 활용함으로써 홍수 재해로부터 안전성을 확보하고 물 관리의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

2. 기본 이론

2.1 HEC-RAS 모형

HEC-RAS(River Analysis System) 모형은 미육군공병단이 개발한 하천 해석 모형으로 수면곡선을 분석

* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원·E-mail : ehhwang@kwater.or.kr
** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원·E-mail : ahnsora@kwater.or.kr
*** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원·E-mail : erlee@kwater.or.kr
**** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 연구위원·E-mail : dkkoh@kwater.or.kr

하는 HEC-2 모형의 윈도우형 버전이라 할 수 있으며 1차원 정상부등류 해석 뿐 아니라 부정류와 유사현상 해석 기능까지 포함한 종합 하천 해석모델이다. 미육군공병단에서는 기존의 정상류 흐름해석 모형에 복잡한 하도망에 대해 부정류모의를 수행할 수 있는 UNET 모형을 추가하여 HEC-RAS 4.0을 제공하고 있다. 이 모형은 하천 횡단면 및 하도의 개수에 제한이 없으며, 수문, 여수로, 교량, 보 등 하천 수리구조물의 영향을 고려할 수 있다. 특히 복잡한 하도망에 많은 횡단면이 있는 경우의 흐름해석에 매우 효과적이다.

2.2 도달시간 계측을 위한 센서기술

본 연구에서는 도달시간을 실측할 수 있는 센서기술을 설계·제작하였다. 도달시간 계측용 USN 센서가 장착된 지관부자가 떠내려 오면 센서인식 MOTE가 설치된 곳에서 USN망이 연결되고 USN 네트워크를 통해서 Gateway나 PDA로 도달시간 계측용 USN 센서정보가 전달된다. 인식된 정보는 PDA를 통해서 바로 확인할 수 있으며 Gateway에 연결된 CDMA모듈을 거쳐 Internet에 연결된 서버에 데이터가 저장된다. 후에 모니터링 PC에서 데이터를 확인 할 수 있다. 그림 1~2는 도달시간 계측을 위한 모바일 시스템의 구성이다.

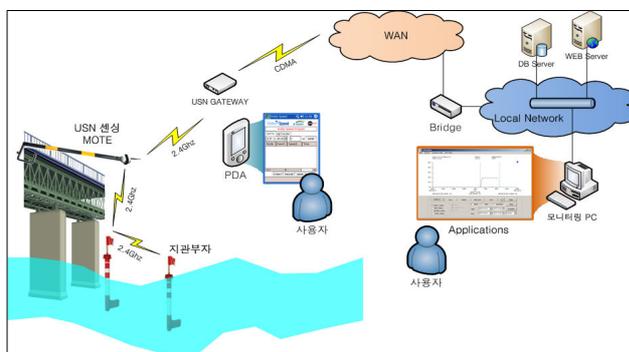


그림 1. 도달시간 계측용 모바일 시스템

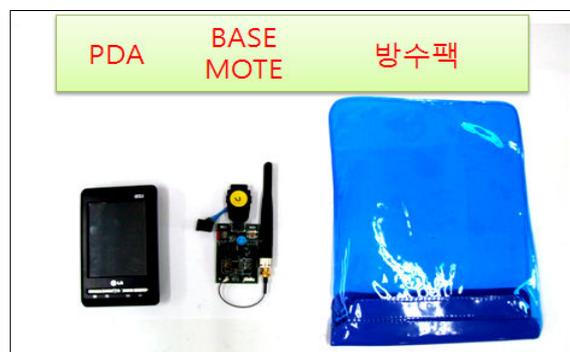


그림 2. 모바일 계측시스템 구성

3. 모형의 구축

3.1 대상유역 및 대상구간

댐 방류량에 따른 유하시간을 산정하기 위한 연구 대상 구간은 한강 수계의 충주댐 지점부터 이포대교까지 총 79.6km에 이르는 남한강 본류 구간이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 주요 계측 지점은 충주댐 지점부터 수행교, 충주조정지댐, 목계교, 남한강교, 이호대교, 여주대교 및 이포대교까지 총 6지점이다. 지류유입량을 산정할 수 있는 수위관측소는 상류에서부터 달천에 달천수위관측소, 섬강에 문막관측소, 청미천에 청미수위관측소가 있다.



그림 3. 남한강 수계 연구 대상 구간 (충주댐~이포대교)

3.2 지형자료 구축

자연하천 상태에서의 흐름을 해석하기 위해서는 전 모의 구간에 대하여 각 단면별 하천단면의 종횡단 측량자료가 입력되어야 하는데 본 과업에서는 하천정비기본계획상의 측량자료를 이용하였다. 종단면은 선정된 횡단면과 횡단면 사이의 측정된 거리로서 설정되며 횡단면은 하천 단면을 따라 설정된 간격을 두고 위치하게 되며 하천의 유량 소통 능력과 인접 홍수터를 산정하는데 사용된다. 횡단면 자료가 필요한 지점으로는 전 하천구간을 대표할 수 있는 위치와 유량, 하상경사, 형상, 조도계수 등이 변화하는 지점, 제방의 시점과 종점, 교각 및 위어와 같은 하천 구조물이 있는 지점 등이다. 수치모형을 이용하여 하천의 흐름을 해석하기 위한 지형자료의 구축은 한강수계치수기본계획(건설교통부, 1992)의 측량자료를 이용하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 전반적인 수리특성 분석을 위하여 충주댐 지점(No.272 단면)부터 팔당댐 지점(No.0 단면)까지 약 0.1 ~ 0.5km 간격으로 372개의 하천단면 자료를 구축하였다.

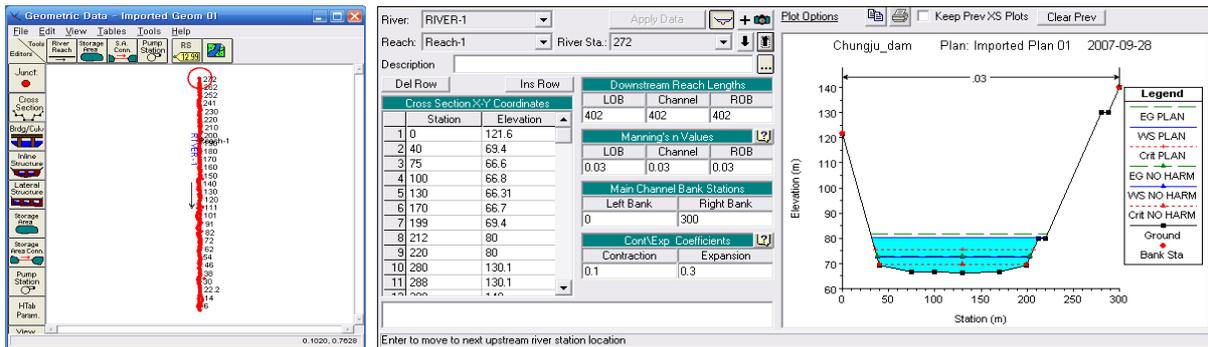


그림 4. 남한강 수계의 지형자료 구축

3.3 경계조건

남한강 수계의 경우 충주댐 지점부터 팔당댐 지점까지 국가 하천 및 지방2급 하천을 포함하여 총 37개의 지류(4개 국가하천: 달천, 섬강, 청미천, 복하천, 33개 지방2급하천: 조동천~하정천)가 유입된다. 부등류 모의는 2006년 7월 28일(충주댐 방류량: 716 CMS)과 2007년 8월 7일(충주댐 방류량: 680 CMS)의 충주댐 방류조건에 대하여 유하시간을 모의하였다. 이는 센서가 내장된 봉부자를 이용한 유하시간 실험 구간 및 기간과 동일한 조건에 대하여 모의하기 위함이다. 유량 경계조건은 하천구간에서 유량이 현저하게 변화되는 지점을 대상으로, 즉 충주댐 지점, 달천 유입부, 충주조정지댐 지점, 섬강 유입부, 청미천 유입부, 양화천 유입부, 복하천 유입부, 흑천 유입부로 8개의 유량조건을 구축하였다. 남한강 수계의 흐름조건은 양화천을 제외하고 지류 유입부 근방의 수위관측소 관측 유량값을 사용하였다. 표 1은 남한강의 실험구간에 대한 HEC-RAS 부등류 모의를 위한 흐름 경계조건을 나타낸 것이다.

표 1. 부등류 모의를 위한 흐름 경계조건

수계	날짜	지점명	단면번호	방류량 및 유입량 (CMS)	누적값 (CMS)	유량출처
남한강	1차 실험 (2006.07.28)	충주댐	272	716	716	충주댐 방류량
		달천 합류부	242	2,561	3,277	달천 수위관측소
		충주조정지댐	224	2,707	5,984	조정지댐 방류량
		섬강	154	1,642	7,626	문막 수위관측소
		청미천	146	1,846	9,472	청미 수위관측소
		양화천	92	113	9,585	유역면적비 유량
	2차 실험 (2007.08.07)	복하천	86	193	9,778	홍천 수위관측소
		충주댐	272	680	680	충주댐 방류량
		달천 합류부	242	143	823	달천 수위관측소
		충주조정지댐	224	918	1,741	조정지댐 방류량
		섬강	154	217	1,958	문막 수위관측소
		청미천	146	148	2,106	청미 수위관측소
		양화천	92	9	2,115	유역면적비 유량
		복하천	86	16	2,131	홍천 수위관측소

3.4 흐름관련 계수

Manning 조도계수의 계산에는 식생의 형태와 양, 수로의 형상과 수위와 같은 인자에 영향을 받는데 다양한 조도계수의 지정을 위해서 3개의 조도계수 값으로 수로 내의 조도계수, 좌안 및 우안 홍수터의 조도계수 값을 입력하였다. 본 연구에서는 한강수계치수기본계획(건설교통부, 1992)에서 현지조사 시 판단된 하상상태, 하천 종횡단 측량성과 등을 종합적으로 고려하여 3개의 조도계수 값을 모두 0.03으로 설정하였다. 단면의 확대/축소 계수는 수로 단면의 변화에 따라 흐름이 축소, 확대 되는 구간에서의 에너지 손실을 고려하기 위하여 입력된다. 두 단면 사이의 속도 수두차의 절대값에 이 계수를 곱하여 천이부에서 발생하는 에너지 손실을 계산하게 된다. 축소 계수로서 0.1을 사용하였으며 확대 계수로서 0.3을 사용하였다.

4. 모형의 적용 및 분석

4.1 남한강수계 유하시간 비교·분석

본 연구에서 실시한 댐 방류수의 봉부자 추적실험에서 산정된 도달시간은 위의 침투유량 도달시간과는 다르며 엄밀히 말해 유하시간이라고 할 수 있다. HEC-RAS 모형을 이용한 부등류 해석 모의를 통하여 대상구간의 유하시간을 산정하였으며, 결과의 검증은 2006년부터 2007년에 걸쳐 수행한 유하시간 실험결과를 이용하여 검증하였다. 그림 5와 표 2는 남한강의 부등류 모의 결과이다.

남한강 수계의 부등류 모의 결과 충주댐으로부터 여주대교까지 총 63.6km에 대하여 1차 방류량(716CMS)의 유하시간은 약 10시간, 2차 방류량(680CMS)은 약 13시간으로 산정되었다. 유속분포를 살펴보면 1차 모의실험에서 충주댐으로부터 약 18km와 56km 부근의 유속이 3.5m/s 이상으로 갑자기 빨라지는 것을 보이는데 18km 부근의 유속은 약 2,700CMS의 충주조정지댐 방류량에 의하여 증가한 것이며 56km 부근은 상하류 단면에 비해 통수단면적이 현저하게 줄어들어 유속이 증가한 것으로 판단된다. HEC-RAS 부등류 모의 결과를 봉부자 추적자 실측자료를 통한 유하시간 결과를 비교한 결과 충원교 지점에서 여주대교 지점까지 봉부자 유하시간은 11.5시간으로 산정되었고 HEC-RAS 모의 결과는 12.5시간으로 산정되어 실측차가 모의치보다 유하시간이 빠른 것으로 나타났다. 구간별로 살펴보면 HEC-RAS 모형의 결과는 수행교~충주조정지에서 1.4시간 느리게, 목계교~남한강교에서 1.0시간 빠르게 모의되었으나 나머지 구간에서는 실측치와 대체로 일치하였다(그림 6).

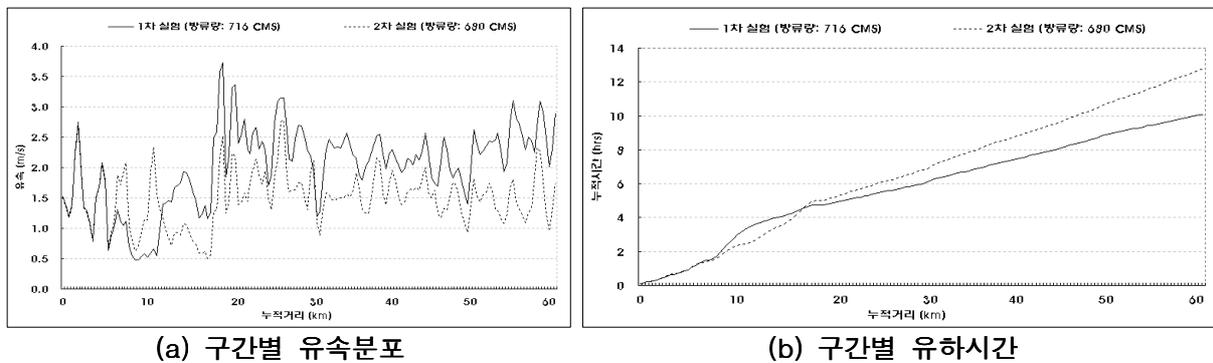


그림 5. 남한강 수계의 흐름특성 분석

표 2. 남한강 수계의 부등류 모의 결과

주요 지점	누적거리 (km)	1차 실험 (2006년 7월 28일) (충주댐 방류량: 716 CMS)		2차 실험 (2007년 8월 7일) (충주댐 방류량: 680 CMS)	
		구간 평균유속 (m/s)	누적 유하시간 (hrs)	구간 평균유속 (m/s)	누적 유하시간 (hrs)
충주댐	0	-	-	-	-
충원교	1.5	1.39	0.3	1.36	0.3
수행교	5.8	1.44	1.6	1.60	1.5
충주조정지댐	17.2	1.23	4.8	1.01	5.0
목계교	21.8	2.65	5.3	1.76	5.8
남한강교	45.6	2.25	7.9	1.65	9.4
이호대교	59.6	2.22	9.7	1.46	12.1
여주대교	63.6	2.53	10.1	1.58	12.8

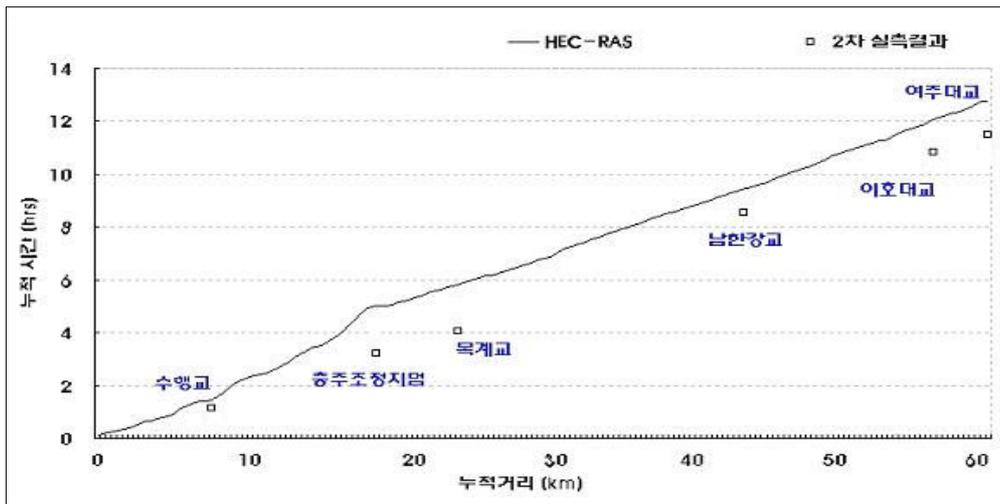


그림 6. 남한강 유하시간 실측 및 모의 누적시간 비교

5. 결 론

본 연구에서는 HEC-RAS 모형을 이용한 부등류 모의를 통하여 댐 방류수의 유하시간을 산정하고 이를 실시간 댐 방류수의 봉부자 추적실험에서 산정된 유하시간과 비교·검증하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

1. 도달시간을 자동계측을 위한 센서기술을 설계·제작하였다. USN 센서가 장착된 지관부자를 하천에 투척하면 Gateway나 PDA로 도달시간 정보가 전달되며, Gateway에 연결된 CDMA모듈을 거쳐 Internet에 연결된 서버에 데이터가 저장된다.
2. HEC-RAS 모형의 부정류 모의를 통해 대상 구간의 유하시간을 산정하였다. 하천단면 지형자료는 하천정비기본계획보고서 상의 하천단면 측량자료를 이용하였으며, 유량경계조건은 댐 방류량, 지류 유입량을 사용하였다.
3. HEC-RAS 모의 결과와 지관부자를 이용한 유하시간 실측자료와 비교한 결과 충원교 지점에서 여주대교 지점까지 실측 유하시간은 11.5시간으로 산정되었고, HEC-RAS모형의 모의 결과는 12.5시간으로 산정되어 실측치가 모의치보다 유하시간이 빠른 것으로 나타났다.
4. 본 연구를 통한 유하시간의 실측자료를 토대로 보정된 모형의 매개변수를 이용함으로써 대상 수계의 방류량별 유하시간을 산정하는데 정확성을 제고하고 홍수기 댐 운영 및 홍수예경보에 반영될 수 있을 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1994 ~ 2003), “한강 홍수예경보”, 한강홍수통제소..
2. 박봉진, 강권수, 정관수(1997), “대청댐 방류에 따른 금강 하류부의 홍수추적”, 한국수자원학회지, 제30권, 제2호, pp.131-141.
3. 박승창, 남상엽, 류영달, 이기혁, 김완석(2005), “유비쿼터스 센서네트워크 기술”, pp. 42-210.
4. 채동현, 한규호, 임경수, 안순신,(2004) “센서 네트워크의 개요 및 기술동향”, 정보과학회지 제 22권 제 12호.
5. 한국수자원공사(2006), “댐운영 실무편람”.
6. Fred, D.L.(1998), "National Weather Service operational dynamic wave model", National Weather Service, NOAA, Silver Spring, Md.
7. J. Syrjarinne(2001), "Studies of Modern Technologies for Personal Positioning", Doctor of Technology Thesis Work, Tampere University of Technology.