

# 유비쿼터스 기술을 이용한 금강 홍수도달시간 계측

## Measurement of floodwater reach time in Gum river using Ubiquitous technology

황의호\*, 권형중\*\*, 이근상\*\*\*, 고덕구\*\*\*\*

Eui-Ho Hwang, Hyung-Joong Kwon, Geun-Sang Lee, Deuk-Koo Koh

### 요 지

홍수 방류량 하류 도달시간 산정은 댐운영 및 홍수예경보의 기초자료로 인식되고 있어 정확한 유하시간 산정이 필요하다. 수자원공사에서는 댐 방류에 따른 하류도달시간을 댐운영실무편람('06)에 있는 자료를 활용하여 댐 운영에 활용하고 있다. 금강 하류부의 경우 '97년 금강홍수예경보 자료를 활용하고 있으나, 수치모형 결과 자료로 실측에 의한 검증이 이루어지지 않았다. 댐 방류수에 대한 하류도달 시간에 대한 실측 기술을 확보하여 실측을 통한 수치모형의 검증 및 보완 필요하며, 보정된 수치모형을 이용한 홍수도달시간 실시간 예측을 통한 댐운영의 효율성 확보 및 대내외 검증된 결과 제시가 요구되고 있다.

현재 댐 방류에 따른 하류도달 시간에 대한 실측이 요구되고 있으나, 관련 기술에 대한 국내외 개발 및 적용 사례가 전무한 실정으로 본 연구에서는 현장계측과 수치모형을 연계한 신뢰성 높은 도달시간을 분석하는 기술을 개발하고자 하였다. 이를 위해 장구간 내에서 홍수의 흐름과 동일하게 하천에 흘러갈 수 있는 부유물을 개발하였으며, 주야간에 상관없이 주요 계측지점에서 도달시간 산정을 위해 자동 인식될 수 있는 센서기술을 개발하였다. 또한, 인식된 센서를 안정적으로 통신망에 연동하여 실시간 계측이 가능하며, GIS 기반의 원격 모니터링이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 나아가, 기존 수치모형에 의존하여 예측된 도달시간 산정방법을 개선하기 위하여 수치모형의 매개변수를 검보정을 위한 시계열 및 지속적으로 자료를 취득하였다.

이러한 센서기술, 모니터링기술, 분석기술을 융합하여 향후 매개변수를 보정한 홍수도달시간 수치모형을 이용하여 신뢰성 높은 예측결과를 홍수예경보 및 댐 운영에 있어 활용함으로써 홍수 재해로부터 안전성을 확보하고 물관리의 효율화를 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어 : USN, 홍수도달시간, 홍수예경보, GIS**

### 1. 서 론

홍수 방류량 하류 도달시간 산정은 댐운영 및 홍수예경보의 기초자료로 인식되고 있어 정확한 유하시간 산정이 필요하다. 수자원공사에서는 댐 방류에 따른 하류도달시간을 댐운영실무편람('06)에 있

\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 · E-mail : ehwang@kwater.or.kr  
\*\* 정회원 · 국립환경과학원 한강물환경연구소 전문위원 · E-mail : kwonhj@me.go.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 · E-mail : ilovegod@kwater.or.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 연구위원 · E-mail : dkkoh@kwater.or.kr

는 자료를 활용하여 대내외 도달시간에 대한 근거자료 제시 및 댐 운영에 활용하고 있다. 금강 하류부의 경우 '97년 금강홍수예경보 자료를 활용하고 있으나, 수치모형 결과 자료로 실측에 의한 검증이 이루어지지 않았다. 또한, 댐 방류수에 대한 하류도달 시간에 대한 실측 기술을 확보하여 실측을 통한 수치모형의 검증 및 보완 필요하며, 보정된 수치모형을 이용한 홍수도달시간 실시간 예측을 통한 댐운영의 효율성 확보 및 대내외 검증된 결과 제시가 요구되고 있다.

현재 댐 방류에 따른 하류도달 시간에 대한 실측이 요구되고 있으나, 관련 기술에 대한 국내의 개발 및 적용 사례가 전무한 실정으로 본 연구에서 현장계측과 수치모형을 연계한 신뢰성 높은 도달시간을 분석하는 기술을 개발하고자 하였다. 이를 위해 장구간 내에서 홍수의 흐름과 동일하게 하천에 흘러갈 수 있는 부유물이 개발되어야 하며, 주야간에 상관없이 주요 계측지점에서 도달시간 산정을 위해 자동 인식될 수 있는 센서기술이 필요하다. 또한, 인식된 센서를 안정적으로 통신망에 연동하여 실시간 계측이 가능하여야 하며, GIS 기반의 원격 모니터링이 가능하도록 시스템 구성이 필요하다. 나아가, 기존 수치모형에 의존하여 예측된 도달시간 산정방법을 개선하기 위하여 수치모형의 매개변수를 검보정을 위한 시계열 및 지속적인 자료취득이 요구된다.

## 2. 유비쿼터스 기술을 이용한 댐방류수 추적

### 2.1 유비쿼터스 기술 적용

본 연구에서 적용한 u-IT 적용 센서 및 기술은 크게 4가지로 USN RF 방류노드, USN Gateway 및 CDMA 기술, 친환경 지관부자, 하류도달 시간 모의를 위한 수치모형(HEC-RAS) 기술로 분류된다.

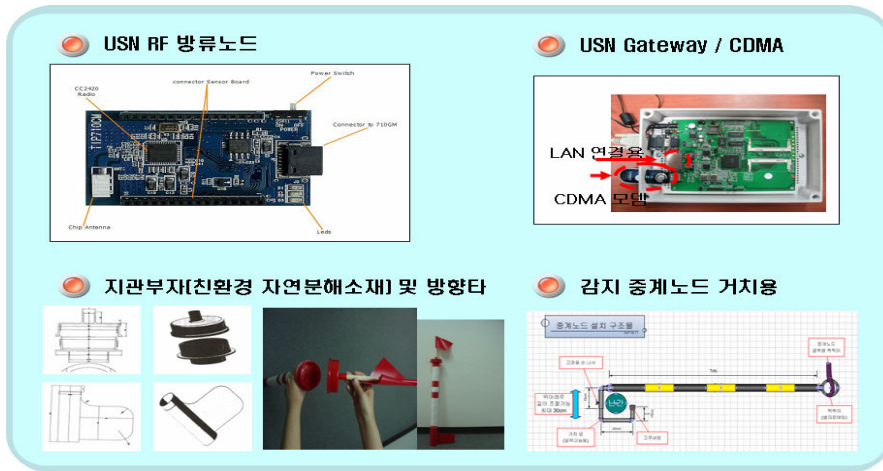


그림 1. 홍수파 추적을 위한 센서 적용 기술

### 2.2 실시간 홍수도달시간 계측 시스템 구축

도달시간 계측용 USN 센서가 지관부자에 장착이 되어서 떠내려 오면 센서인식 MOTE가 설치된 곳에서 USN망이 연결되고 USN 네트워크를 통해서 Gateway나 PDA로 도달시간 계측용 USN 센서정보가 전달된다.

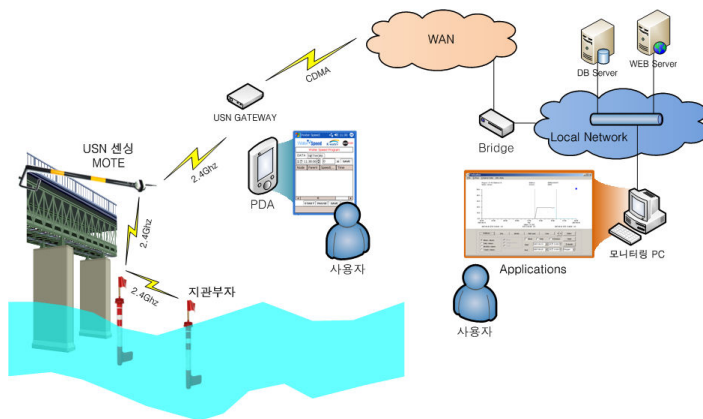


그림 2. 도달시간 계측용 모바일 시스템 구성

인식된 정보는 PDA를 통해서 바로 확인할 수 있으며 Gateway에 연결된 CDMA모듈을 거쳐 Internet에 연결된 서버에 데이터가 저장된다. 후에 모니터링 PC에서 데이터를 확인할 수 있다. 특히 야간이나 안개가 많거나 비가 많이 오는 악천후에서도 데이터 유실 없이 측정 가능한 시스템으로 작업자가 지키고 있지 않아도 되기에 인력손실을 막을 수 있다.

### 2.3 댐방류수 유하시간 산정

본 연구에서는 댐방류수 유하시간 실측결과를 이용하여 지속적인 댐운영업무에 활용하기 위하여 HEC-RAS 모형을 적용하였다. HEC-RAS 모형의 주된 개발 목적이 주어진 흐름 조건에 대하여 하천의 전 모의 구간에 대한 수심 및 유속을 계산하기 위함이다. 이러한 계산을 수행하기 위해서는 전 모의 구간에 대한 단면 지형자료(하도 단면, 구간 거리 등), 흐름경계조건(상류단 입력 유량조건, 하류단 수위조건, 지류 유입량 조건), 흐름을 모의하기 위한 다양한 계수(에너지 손실계수, manning 조도계수, 단면 축소/확대계수)가 필수적으로 준비되어야 한다. 이를 위해 금강 수계의 지형자료는 대청댐 지점(130.47번 단면)부터 금강 하류부(0번 단면)까지 322개의 하천단면 자료(교량 단면 포함)를 구축하였다. 흐름 경계조건에 있어 금강 수계는 대청댐 지점부터 금강하구둑 지점까지 총 62개의 지류(3개 국가하천: 갑천, 미호천, 논산천, 5개 지방1급하천: 길산천 외 4개, 54개 지방2급하천: 용호천~화산천)가 유입된다. 유량 경계조건은 하천구간에서 유량이 현저하게 변화되는 지점을 대상으로, 즉 3개의 국가하천 유입부와 5개의 지방1급하천, 유역면적이 상대적으로 큰 지방2급하천 유입부에 대하여 유량조건을 구축하였다.

부등류 모의를 위해서 산정된 지형자료, 유량 경계조건 및 흐름관련 계수 등을 이용하여 HEC-RAS 모형을 적용하고 유하시간을 산정하였다. 유하시간 산정을 위한 대상 구간은 남한강 수계의 충주댐부터 이포대교까지, 금강 수계의 대청댐부터 왕진교까지 2개의 구간을 대상으로 모의하였다. 금강 수계 구간은 2007년 8월 9일(대청댐 방류량: 65 CMS)과 2007년 9월 3일(대청댐 방류량: 1,002 CMS)의 대청댐 방류조건에 대하여 HEC-RAS 부등류 모의를 통하여 유하시간을 모의하였다. 이는 센서가 내장된 봉부자를 이용한 유하시간 실험 구간 및 기간과 동일한 조건에 대하여 모의하기 위함이다.

유하시간 산정과 관련된 기존의 연구를 살펴보면 다양한 수리 모형을 이용하여 유하시간을 모의하는데 모형을 보정하기 위한 실측 자료로서 주요 지점의 수위 및 유속을 이용하고 있는 실정이다. 이는 관측된 수위는 수위관측소의 수위자료로서 HEC-RAS 모형에서 모의되는 최대 수위와는 상이하며 유속은 대상 지점의 실측자료가 확보되지 못하는 경우가 대부분이어서 실제적으로 모형의 보정이 적절하게 이루어지지 못하고 있다.



그림 3. 유하시간 실험구간(대청댐 ~ 왕진교)

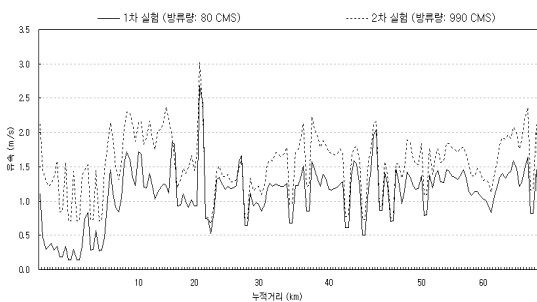
본 연구에서는 유하시간 실험 구간 및 기간과 동일한 조건으로 모의함으로서 모형을 보정하기 위한 실측 유하시간 자료가 확보된 상태이며 이러한 실측자료를 토대로 보정된 모형의 매개변수를 이용함으로서 대상 수계의 방류량별 유하시간을 산정하는데 정확성을 제고할 수 있을 것이다. 유하시간 실험은 센서가 내장된 봉부자를 최초 시작지점에 투척하여 하류구간의 교량에서 관측하는 방법을 사용하였다. 그림 3 및 표 1은 유하시간 실험을 수행한 대상 구간 및 주요 관측 지점을 나타내고 있다.

표 1. 대상구간의 주요 지점의 누적거리 (km)

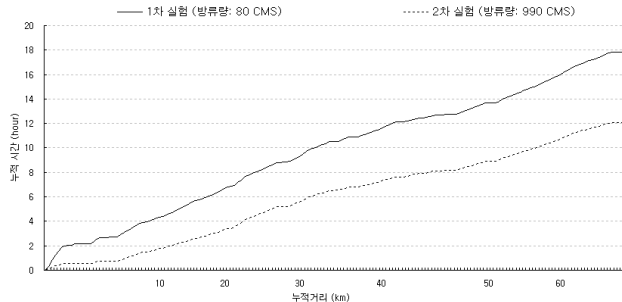
금강 수계	주요 계측 지점 (모의 보정 지점)									
	대청조정지댐	현도교	가교	금남교	청벽대교	공주대교	왕진교			
	0	2.5	16.9	27.9	35.8	42.8	68			
금강 수계	유량 경계조건 지점 (댐 및 지류 합류부)									
	대청조정지댐	갑천	미호천	용수천	대교천	정안천	유구천	용성천	어천	치성천
	0	5.6	21.8	31.6	32.7	45.8	51.0	56.9	59.4	63.6

## 2.4 댐방류수 유하시간 산정 결과

HEC-RAS를 이용한 부등류 모의를 통하여 대상 구간의 유하시간을 산정하였다. 단면의 축소 계수는 0.1을 확대계수는 0.3을 적용하였고 manning 조도계수는 모든 구간에 대하여 0.03으로 동일하게 적용하였다. 금강 수계는 대청 조정지댐부터 왕진교까지 총 68.7 km에 대하여 176개의 단면으로 모의하였다. 그림 4는 금강 수계의 흐름특성을 모의한 결과이며, 표 2는 금강 수계의 모의 결과를 정리한 것이다.



(a) 구간별 유속분포



(b) 구간별 유하시간

그림 4. 금강 수계의 흐름특성 분석

**표 2. 금강 수계의 부등류 모의 결과**

주요 지점	누적거리 (km)	1차 실험 (2007년 8월 9일) (조정지댐 방류량: 80 CMS)		2차 실험 (2007년 9월 3일) (조정지댐 방류량: 990 CMS)	
		구간 평균유속 (m/s)	누적 유하시간 (hour)	구간 평균유속 (m/s)	누적 유하시간 (hour)
대청조정지댐	0	-	-	-	-
현도교	2.5	0.53	2.0	1.56	0.5
가교	16.9	1.05	5.8	1.81	2.7
금남교	27.9	1.19	8.8	1.42	5.2
청벽대교	35.8	1.12	10.6	1.48	6.5
공주대교	42.8	1.32	12.1	1.87	7.6
왕진교	68	1.23	17.8	1.71	12.1

금강 수계는 1차 모의, 실험에서는 모의 유하시간은 17.8시간으로 산정되었으나 실험 유하시간은 24시간으로 약 6시간 20분 빠르게 모의되었으며 2차 모의 유하시간은 12.1시간으로 산정되었고 실험 유하시간은 13.8시간으로 약 1시간 40분 빠르게 모의되어 1, 2차 모의 모두 실측자료보다 빠르게 모의되었다. 구간별로 살펴보면 대청조정지댐부터 현도교 지점까지는 모의 및 실험 유하시간이 거의 일치하였으나 하류부로 진행할수록 실측시간이 모의시간보다 점점 더 길어짐을 확인하였다.

**4. 요약 및 결론**

현재 수자원공사 및 홍수통제소에서는 홍수 도달시간에 대하여 홍수예경보 자료의 홍수 도달 시간표를 활용하여 대내의 도달시간에 대한 근거자료 제시 및 댐 운영에 활용하고 있다. 그러나 실제 검증이 이루어지지 않았으며 댐 하류 전구간에 걸쳐 실측할 수 있는 기술이 전무하였다. 이에 본 연구에서는 전 구간에서 실측할 수 있는 센서기술을 개발하였으며, 개발된 센서부자를 이용하여 대청댐하류(금강)에 대하여 2회에 걸쳐 실험을 수행하였다. 실험결과는 HEC-RAS 모형을 이용한 유하시간 산정 결과와 2~4시간 정도의 도달시간 차이가 발생하였으며, 향후 지속적인 예측을 위해 수치모형의 매개변수를 보정하여 대청댐~금강하구 전 구간에 대하여 홍수 도달시간표를 제작하였다. 이로써 기존 홍수예경보 자료를 보완할 수 있는 유비쿼터스 기반 실측기술을 개발하고 이를 적용할 수 있는 기반을 구축함으로써 홍수예경보의 신뢰성을 확보하고 홍수기 댐 운영의 효율성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. HEC-RAS 모형을 이용한 유하시간 산정 연구를 통하여 유하시간 산정시 조도계수의 보정 과정은 유하시간 산정에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였으며 또한, 시계열 실측자료의 확보와 정확한 지류유입량 산정 과정이 선행되어야 정확한 유하시간의 산정이 이루어 질 것으로 판단된다.

**참고문헌**

1. 건설교통부(2000), “금강 홍수예경보”, 금강홍수통제소..
2. 김영만(2004), "센서 네트워크 미들웨어 구조 및 연구 현황," 한국정보과학회지, 제 22권 제 12호 통권 제 187호.
3. 박봉진, 강관수, 정관수(1997), “대청댐 방류에 따른 금강 하류부의 홍수추적”, 한국수자원학회지, 제30권 제2호, pp.131-141.
4. 박승창, 남상엽, 류영달, 이기혁, 김완석(2005), “유비쿼터스 센서네트워크 기술”, pp. 42-210.
5. 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(2004), "하천 유량측정 지침”.

6. 채동현, 한규호, 임경수, 안순신,(2004) “센서 네트워크의 개요 및 기술동향”, 정보과학회지 제 22권 제 12호.
7. 한국수자원공사(2006), “댐운영 실무편람”.
8. Bob Heile(2004), "Emerging Standards: Where does ZigBee fit", ZigBee Alliance.
9. Brett Sheppard(2005), CEO & Founder, Absolutely Inc. "Leading ZigBee Applications in 2005-2006 and Beyond", ZIGBEE OPEN HOUSE.
10. Fred, D.L.(1998), "National Weather Service operational dynamic wave model”, National Weather Service, NOAA, Silver Spring, Md.
11. J. Syrjarinne(2001), "Studies of Modern Technologies for Personal Positioning”, Doctor of Technology Thesis Work, Tampere University of Technology.