

u-IT 장비를 활용한 상류 유하량에 따른 하류지점 도달시간 예측에 관한 연구

김진영¹, 이창구^{2*}

¹K-water 물관리센터, ²전북대학교 전자공학부

A study on the estimation of the downstream arrival time with the upstream flow by utilizing u-IT equipments

Jin-Young Kim¹ and Chang-Goo Lee^{2*}

¹K-water Water Resources Operation Center

²Division of Electronics Engineering, Chonbuk National University

요 약 본 연구의 목적은 수치모형에 의해 이론적으로 산출된 기존 홍수도달 시간표를 보완하여 정확한 홍수도달 시간을 예측, 산정하기 위한 기술을 연구하고 제시하는데 있다. 이를 위해 u-IT 기술을 적용한 센서 부자를 이용하여 남한강 하천의 유출량에 따른 도달시간 측정을 시행하였으며, 계측 결과를 토대로 현재 활용하고 있는 산출식에서 고려하지 않았던 지류의 유입량을 고려한 유출량별 평균도달시간 관계식을 보완, 제시하였다. 본 연구를 통해 기존 홍수예정보 자료를 보완할 수 있는 u-IT 기반 실측기술을 개발하고, 이를 유출량-평균도달시간 산정에 적용할 수 있는 기반을 구축함으로써 홍수피해 절감 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract The purpose of this study is complementing existing flood-reaching timetable by theoretically determined numerical model and suggesting techniques for calculating the exact arrival time of flood. For this, according to the discharge of Namhan River, arrival time measurements, using u-IT technology applied sensor buoys, were performed. Based on the results of measurements, this study proposed complementary relation of average reach time by the discharged water considering tributary inflow, which was not considered established expression. With this study, u-IT based actual technology that is complementing the existing flood forecasting-warning data was developed. Applying this technology to the average reach time calculation by the discharged water, it is expected to reduce flood-oriented damage.

Key Words : u-IT Technology, USN sensor, Buoy, Flood-warning

1. 서 론

최근 기후변화에 따른 집중호우와 하천에 인접한 제내지에서의 토지이용도 극대화 등으로 인하여 하천에서의 홍수피해로 인한 자연재해가 날로 증가하고 있다. 이러한 홍수피해를 줄이기 위해서 시행하는 제한구역의 설정, 각종 수공구조물 건설, 홍수예경보시스템 개발과 같은 홍수방어 대책은 인명 및 재산피해를 줄이는데 크게 기여하고 있다. 이러한 상황에서 기존 댐의 방류 및 다양한 조

건에 대해서 하천흐름의 정확한 해석을 통한 합리적이고 과학적인 수자원관리를 도모하게 되는 비구조적 대책 수립이 절실히 요구되고 있다[1].

강우 및 유출 분석에서부터 관측자료의 체계적인 분석 및 관리, 홍수방어시설의 설계기준 강화, 응급재해시스템 구축 등의 비구조적 대책 수립을 위해 정교한 하천홍수 해석이 수행되고 다양한 수리현상을 모의할 수 있는 수학적 모형의 개발 및 운영이 필수적이다[2]. 따라서, 하천에서의 상류 유량변화에 따른 하류 도달시간 산정은 댐

*교신저자 : 이창구(changgoo@jbnu.ac.kr)

접수일 11년 05월 31일

수정일 (1차 11년 07월 20일, 2차 11년 08월 04)

게재확정일 11년 08월 11일

운영 및 홍수예정보의 기초자료이며, 이를 위한 정확한 유하시간 산정이 필요하다[3]. 4대강 하류부의 경우 각 홍수통제소 홍수예정보 및 한국수자원공사의 댐운영실무 편람에서 분석, 제시한 자료를 활용하고 있으나, 저류함 수법 및 단위도법이나 수리학적 모형인 운동과 방법을 적용한 결과 자료로 지류유입량 미고려 및 분석결과에 대한 실측자료를 이용한 검증이 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

본 연구를 통해 주요하천의 상류 유량변화에 따른 하류 평균도달시간을 산정하고 이를 통해 이수, 치수, 환경적인 측면을 고려하여 유역의 유하량별 하류지점의 도달시간을 실측하고 측정자료를 근거로 수학적모델링을 하여 지류 및 본류의 시나리오별 유출량-평균도달시간 관계를 분석함으로 수자원의 개발·이용과 보전·관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

본 연구는 지류 및 본류의 시나리오별 유출량-평균도달시간 관계 분석을 위하여 유비쿼터스 기술을 적용하여 예측결과를 검증하였고, 취득된 정보를 효율적으로 활용하기 위한 분석기법과 운영방법을 제시하였다. 주요 연구 내용으로는 최신 센서기술동향 및 사례 분석, 적용 대상 지역 선정, u-IT 기술 적용, 유출량별 유역의 도달시간 측정, 유출량-평균도달시간 산정이다.

2. 이론적 고찰

2.1 도달시간 산정 방법

2.1.1 도달시간의 정의 및 개선 필요성

강우에 의한 유역의 유출반응을 유역반응이라 하고 유역 반응을 나타내는 기산매개변수는 도달시간, 집중시간 및 지체시간 등으로 사용되고 있다. 원론적으로는 도달시간은 하도시점에서 유역출구점까지 유수가 흘러가는 유하시간, 집중시간은 유역 최원점에서 유역 출구점까지 유수가 흘러가는 유하시간 등으로 달리 정의되어왔다. 하지만 우리나라의 경우 대부분 도달 시간을 집중시간 개념으로 사용하고 수공학용어집에서도 “도달시간(time of concentration)”으로 정의하고 있다[4]. 이와 같이 현실적으로 도달시간이 집중시간과 동일한 개념으로 통용되고 있으므로 적용상의 혼선을 피하고 일관성 있는 용어 사용을 위하여 가급적 집중시간은 사용하지 않는 것으로 하고, 원론상의 집중시간 개념은 도달시간(time of concentration)으로 통일하고 원론상의 개념은 유하시간(travel time)으로 통일하는 것으로 정의하였다. 유역최원점에서 유역출구점인 하도중점까지 유수가 흘러가는 전

체 시간인 도달시간(time of concentration)은 유역최원점에서 하도시점까지 표면류 흐름의 유하시간(overland flow travel time)의 합으로 구성 되므로 식(1)과 같이 표현된다.

$$T_c = T_{ov} + T_{ch} \quad (1)$$

여기서 T_c 는 도달시간, T_{ov} 는 표면흐름의 유하시간, T_{ch} 는 하도흐름의 유하시간이다.

한편, 지체시간은 일반적으로 유효우량 중심에서 직접 유출수문곡선의 중심까지의 시간 또는 유효우량 중심에서 직접 유출수문곡선의 첨두부분까지 시간으로 정의되며, 실무에서는 도달시간과의 관계를 이용하여 산정하는 방법을 주로 채택하고 있다. 도달시간, 지체시간 등과 같은 시간매개변수의 결정은 수문모형을 구축할때나 설계 시 매우 중요한 선행작업이며 수문분석에 한 개 이상의 시간매개 변수가 반드시 필요하게 된다[5].

2.1.2 기존 도달시간 산정 방법 검토

우리나라의 경우 자연유역의 도달시간 산정에는 다음과 같이 외국에서 개발된 Kirpich 공식, Rziha 공식, Kraven 공식(I), Kraven 공식(II) 등의 경험공식들을 주로 사용하고 있다. 기존 경험공식중에서 Kraven 공식이 많이 사용되고 있으며 일반적인 경우에는 Kraven 공식(I)을 우선적으로 사용되되, 하천평균경사가 급하여 유속이 3.5m/s를 크게 상회하거나 매우 완만하여 유속이 약 2.0m/s를 크게 하회하는 경우에는 Kraven 공식(II)를 사용하는 것으로 구분하여 적용하는 방안이 무난한 것으로 판단된다.

- Kraven 공식(I)

$$T_c = 0.0074 \frac{L}{S^{0.515}} \quad (2)$$

- Kraven 공식(II)

$$T_c = \frac{L}{3.6V} \quad (3)$$

($S < 1/200$: $V = 2.1$ m/s, $1/200 \leq S \leq 1/100$: $V = 3.0$ m/s, $S > 1/100$: $V = 3.5$ m/s)

여기서 T_c 는 도달시간(hr), L 은 유로연장(km), S 는 평균경사(무차원), V 는 평균유속(m/s)이다.

기존 도달시간 경험공식을 대상유역에 적용하여 보면 대부분 산정 결과의 차이가 매우 크게 나타나지만 적절한 채택 기준은 아직까지 제시되지 않고 있다. 이에 따라

기존 경험공식의 도달시간 산정 결과를 유속 등의 검토 없이 임의적으로 채택하는 경우가 많다. 따라서 경험 공식으로 산정된 도달시간에서 유속을 계산하여 홍수시 발생 가능한 유속의 범위인 2.0~3.5m/s 정도에 포함되는 지 여부 등을 검토하여 적절한 결과를 나타내는 경험공식을 채택하는 것이 가장 합리적인 방안이다. 이와 같이 유속을 계산하여 도달시간 공식 채택의 적정성을 검토하는 것이 가장 직접적이고 현실적인 방안이므로 기존 도달시간 공식의 특성을 사전에 파악하는 것이 필요하다.

2.2 하도추적

하도추적(channel routing)은 어떤 하도구간으로 들어오는 유입수문곡선을 하도구간에서 나가는 유출수문곡선으로 전환하는 절차이다. 하도구간의 저류량과 유출량간의 관계는 저수지와 같이 단일 관계가 성립되지 않고, 환형(loop type) 관계로 나타나므로 복잡하다. 또한, 동일 유출량의 경우에도 홍수위 상승시 저류량은 홍수위 하강시 저류량 보다 크게 된다. 하상에 평행한 선 아래에 있는 저류량을 대형저류량(prism storage)이라 하고 위에 있는 저류량을 썸기저류량(wedge storage)이라 한다[6].

2.2.1 Muskingum 방법

Muskingum 방법은 McCarthy가 미국 육군공병단 산하의 Muskingum Conservancy District의 홍수조절계획의 수립을 위해 사용한 홍수추적 방법이다. 하천의 추적구간 내 저류량에 미치는 홍수유입량의 영향을 고려하기 위하여 구간내의 총저류량을 대형저류량과 썸기저류량으로 구분하고, 대형저류량은 유출량에만 비례하나 썸기저류량은 유입량과 유출량의 차에 비례한다고 가정하면, 총저류량은 대형저류량과 썸기저류량의 합으로 식(4)와 같이 표현된다[6].

$$S = KO + K_x(I - O) = K[xI + (1 - x)O] \quad (4)$$

여기서 K 는 구간내 저류량의 유출량에 대한 비를 나타내는 저류상수(storage constant)로서 차원은 시간(hr), x 는 추적구간의 총저류량에 기여하는 유입량과 유출량의 상대적 중요성을 표현하는 무차원 가중계수이다.

이와 같은 관계를 저류방정식에 대입하여 추적구간 상류단의 유입수문곡선으로부터 하류단의 유출수문곡선을 추적적으로 계산하는 것이 Muskingum 방법이다[6].

2.2.2 Muskingum-Cunge 방법

Muskingum-Cunge 방법은 홍수추적 매개변수 계산을

통하여 운동파에 근거한 Muskingum 방법을 수문곡선의 감쇠(attenuation)를 예측할 수 있는 유사확산모형(quasi diffusion model)으로 수정한 것이다. Muskingum-Cunge 방법에서 측방유입이 있는 연속방정식은 x-t 평면에서 이산화되므로 식(5)와 같이 표시된다[6].

$$Q_{i+1}^{n+1} = C_0 Q_i^{n+1} + C_1 Q_i^n + C_2 Q_{i+1}^n + C_3 Q_L \\ C_0 = \frac{-(Kx - 0.5\Delta t)}{K - Kx + 0.5\Delta t}, C_1 = \frac{Kx + 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t} \\ C_2 = \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t}, C_3 = \frac{0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t} \\ Q_L = q_L \Delta x \quad (5)$$

여기서, 계수 C_0, C_1, C_2 는 Muskingum 방법과 동일함을 알 수 있으며, q_L 은 단위길이당 평균 측방유입량이다.

3. u-IT 적용센서 및 기술 개발

3.1 u-IT 적용 기술

기존 도달시간 예측의 문제점을 해결하기 위하여 도달시간을 실측할 수 있는 센서 기술을 개발하고, 개발된 센서를 활용하여 현장 계측을 통해 관측된 도달시간을 이용하여 기존 댐 운영에 활용되고 있는 홍수예경보 자료 및 단위도법, 수리학적 모형 등 기존 분석 방법에 의해 도출된 결과를 검증하고자 한다. 또한, 실측된 자료를 수치모형의 매개변수 조정에 활용하여 신뢰성 높은 유출량별 도달시간표를 제작하여 댐 운영업무에 활용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

센서기술 적용에 있어 방류된 센서부자는 수거가 불가능하므로 친환경적인 소재를 사용하여 자연상태에서 분해될 수 있도록 하며, 최소의 인력 투입될 수 있는 계측체계를 구축하여야 한다. 또한, 센서의 인식은 주야간에 상관없이 주요 계측지점에서 지능화된 네트워크(Mesh 네트워크 또는 Ad-hoc 네트워크)를 형성하여 센서인식 거리(100~150m) 내외에서 자동인식 될 수 있는 상황인식 기술 개발이 필요하다[7,8].

본 연구에서 적용할 u-IT 적용 센서 및 기술은 크게 3가지로 분류되며, USN RF 및 GPS 방류노드, USN Gateway 및 CDMA 기술, 친환경 지관부자 기술로 분류된다[9].

3.2 u-IT 적용 센서 기술 개발

3.2.1 유비쿼터스 센서 네트워크 기술

본 연구를 진행하면서 도달시간 예측에 필요한 USN 노드를 개발하였으며, USN 노드는 ZigBee 스택 구조로 구성되어 있다. ZigBee는 IEEE 802.15.4 기반으로 저전력과 저가격을 목표로 하는 저속 근거리 개인 무선통신의 국제 표준 스펙이다. ZigBee는 전력소모가 적고 칩 가격이 저렴하고 통신의 안정성이 높아 최근 가장 급속한 발전을 하고있는 기술이다[10]. ZigBee는 IEEE 802.15.4 표준의 물리 PHY와 매체접근제어 MAC 계층 위에 그 상위계층으로 네트워크 계층, 응용지원 계층과 보안 및 응용을 규격화하였다.

여기서, PHY는 Physical, MAC: Medium Access Control, APS는 Application Service, APL은 Application Layer를 의미한다.

ZigBee 통신의 가장 중요한 특징은 배터리 하나로 수년을 견딜 수 있고 시스템 구조가 간결하여 8비트 마이크로 구현이 가능하다. 물론 무선의 장점인 설치비용이 많이 드는 백본이나 인프라가 필요 없어 설치나 관리가 쉽다. 국내의 u-IT839 전략과 더불어 홈 오토메이션과 유비쿼터스 센서네트워크 환경 구축에 중추적 역할을 담당할 신 기술로 전망된다[11].

ZigBee 네트워크는 Star형, Cluster Tree형, 그리고 Mesh형으로 구분할 수 있다. Star형에서 노드는 PAN 코디네이터에게 모든 패킷을 전달하여 통신이 이루어지며, 네트워크 구성이 간단하지만 노드간의 경로가 하나만 존재한다는 단점이 있다. Mesh형은 노드간 여러 개의 경로가 존재하고 하나의 경로가 실패시 다른 경로로 전달하지만 구현이 보다 복잡하고 보다 많은 메모리의 사용하며 전원을 항상 공급해야 한다. Cluster Tree형은 Parent Node, Child Node으로 구성되어 Child Node는 상위 Parent Node에게 패킷을 전달하고 Parent Node는 자신의 Child node 테이블을 검색한 후 일치한 테이블이 존재하면 해당 Child node에게 전달하고 일치하지 않으면 Tree 경로에 따라 Coordinator에게 패킷을 전달하게 된다. 유연한 네트워크 구성과 복잡한 알고리즘의 장단점을 포함하고 있다.

ZigBee는 역할에 따라 FFD, RFD 두가지로 나눌 수 있는데 FFD는 ZigBee Coordinator, ZigBee Router, ZigBee End Device 어떤 디바이스든 될 수 있고 Star, Peer to Peer, Cluster Tree 네트워크를 모두 지원한다[12]. ZigBee Coordinator는 네트워크 당 1개가 존재하고 네트워크를 형성하는 기초가 되고 FFD이며 ZigBee Router로 동작하고, Network address를 할당하는 역할을 한다. ZigBee Router는 ZigBee 네트워크의 구성요소로 FFD이며 Multi-hop 라우팅 메시지를 전달하는 역할을 한다 [8,9]. 본 연구에서는 도달시간 예측시 하천과 같이 장 구

간에서 센서부자의 손실이 발생하지 않도록 하기 위하여 ZigBee 네트워크 중 Mesh형을 적용하였다.

3.2.2 홍수기 도달시간 예측용 USN 노드

홍수기 도달시간 예측용 USN 노드는 방류용 친환경 지관부자에 장착되어 물의 흐름에 따라 흘러가다 센서인식 MOTE와 연결되어 데이터를 전달하게 된다. 부자에 들어가기 위해서는 작은 크기를 가져야 하며 저전력으로 동작해야 한다[13]. 이러한 조건을 만족하는 USN MOTE는 다음과 같은 특징을 갖는다.

홍수기 도달시간 예측용 USN 노드는 TI사의 MSP430F1611 MicroController Unit과 ChipCon사의 CC2420을 사용한 Sensor Network module이다.

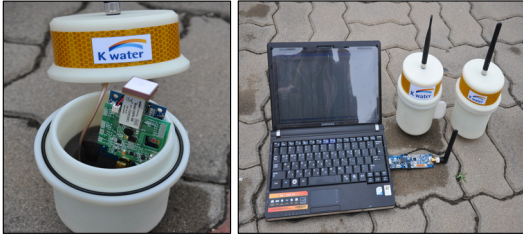
CC2420은 IEEE802.15.4/ZigBee를 지원하는 RF chip으로 2400~2483.5MHz 대역을 지원하며, Direct Sequence Spread Spectrum(DSSS)방식으로 동작하며, O-QPSK 변조 방식과 250Kbps Data Rate를 지원한다. 각각 128Bytes의 transmit/receive data FIFO 버퍼를 가지고 있다. PC와의 Interface는 전용 Interface 보드를 사용하면 USB를 사용하여 연결이 간단하며, application의 다운로드가 쉽다. 또한 도달시간 예측용 USN 센서의 특징으로는 J테그 port, Chip Antenna의 사용, 작은 사이즈 등을 들 수 있다. 도달시간 예측용 USN 센서는 AA size 배터리 2개를 사용하며 SB 인터페이스와의 연결로 모듈에 전원을 인가할 수 있다. 동작전원은 DC 2.1V~3.6V범위에서 동작 한다. 단 USB 인터페이스로 프로그래밍 할 때에는 반드시 최소 2.7V의 전원 인가가 필요하며 USB 인터페이스로 연결 되어 있을 시는 배터리 전원이 불필요한 특징이 있다. 이는 USB를 통하여 전원을 공급받을 수 있기 때문이다. 도달시간 예측용 USN 노드는 센서의 인터페이스, MCU의 MODE, RF의RX/TX, RF의 on/off에 따라 전류소비가 다르다.

3.2.3 평수기 도달시간 예측용 GPS 노드

평수기는 유량이 적고 비교적 수심이 낮아 하천 유탄에 맞는 센서부자가 필요하며, 본 연구에서는 평수기 도달시간 예측에 필요한 흘수 20cm 표면부자와 실시간 위치추적이 가능하도록 USN mote에 GPS 모듈이 탑재된 센서를 개발하였다. 위치정보(X, Y, Z)의 업데이트 속도는 1초 간격으로 진행되며 장시간 동안 지속적인 모니터링을 위해서는 배터리 소모량을 고려한 적절한 위치정보 수집 간격의 설정이 필요하다[14]. 종착지에서 GPS 노드를 수거하여 노드에 저장된 위치정보를 분석하였다.

그림 1은 평수기 도달시간 예측을 위해 제작된 GPS 센서 부자이며 구성요소는 GPS/USN Mote, Base Node,

모바일시스템(PDA, NetBook)이다.



[그림 1] USN/GPS 센서부자
[Fig. 1] USN/GPS Sensor Buoys

3.2.4 인식 MOTE

인식 MOTE 무선 센서 인터페이스 보드는 다리나 교각 등의 난간 부분에 설치되어 있다가 도달시간 계측용 USN 노드가 장착된 지관부자가 방류수 또는 홍수파와 함께 흘러오면서 RF송수신 범위 안까지 접근하였을 때 도달시간 계측용 USN 노드와의 네트워크를 스스로 형성하여 데이터를 취득하는 MOTE이다. 주로 홍수기에 활용하였으며, 센서인식 MOTE은 TI사의 MSP430F1611 Micro Controller Unit과 ChipCon사의 CC2420을 사용한 Sensor Network 모듈이다. CC2420은 IEEE 802.15.4/ZigBee를 지원하는 RF chip으로 2400~2483.5 MHz 대역을 지원한다.

센서로는 Hamamatsu사의 S1087(Photodiode for visible range), S1087-1(Photodiode for visible to IR range)과 Sensirion의 SHT 11 (Humidity & Temperature)를 사용하였다.

인식 MOTE를 다리 난간에 고정하기 위해선 방수케이스와 거치대가 필요하다. 방수케이스는 우천시 또는 짙은 안개가 형성되었을 때라도 인식 MOTE의 동작을 원활하게 하는 역할을 한다.

또한 인식 MOTE 거치대는 약 1m의 길이에 인식 MOTE를 케이스와 함께 한쪽 편에 장착하고 다른 편에는 다리 난간을 걸 수 있는 구조로 되어있다. 이러한 구조를 가지게 되는 이유는 대부분의 다리는 금속과 콘크리트 구조물로서 RF의 송신과 수신에 영향을 주기 마련이다. 인식 MOTE가 다리위에 올려져 있다면 전파방해로 인해 수신율이 떨어지며 정확한 측정이 불가능하기 때문에 다리에서 1m정도 센서인식 MOTE를 떨어뜨리고 수면에 좀 더 가까이 붙임으로서 RF의 송신과 수신을 좀 더 원활하게 할 수 있다. 또한 다리의 종류에 따라 난간의 형태와 굵기가 각각 다르기 때문에 다리 걸착 부위를 손 나사를 통해 길이를 조절하게 만들어 다리 종류에 관계없이 쉬운 설치와 제거를 가능하게 한다. 그리고 센서

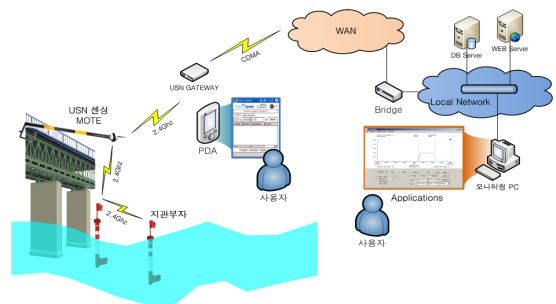
인식 MOTE를 지지할 수 있게 단단하면서도 유연한 PVC 바디를 채택하여 다리의 흔들림으로 인한 센서인식 MOTE의 충격을 최소화하고 금속재질로 거치암을 제작하였다. 이는 다리가 흔들리거나 하더라도 용이하게 작용하는 이점이 있다. 인식 MOTE를 장착하는 부분은 PVC 재질의 고리와 벨크로 테잎으로 되어 있어서 센서인식 MOTE를 고리에 넣고 벨크로 테잎을 한번 감싸주는 것만으로 쉬운 장착이 가능하게 된다. PVC바디 중간 중간에 반사테이프가 달려 있어서 차량이 많이 다니는 다리에서도 작업자와 기구의 안전을 도모한다.



[그림 2] 센서인식 MOTE 거치대
[Fig. 2] MOTE mount for sensor recognition

3.2.5 도달시간 계측시스템

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. PDA를 통해서 바로 확인 할 수 있으며 Gateway에 연결된 CDMA모듈을 거쳐 Internet에 연결된 서버에 데이터가 저장된다. 후에 모니터링 PC에서 데이터를 확인 할 수 있다. 특히 야간이나 안개가 짙거나 비가 많이 오는 약천 후에서도 데이터 유실 없이 측정 가능하다. 작업자가 지키고 있지 않아도 되기에 인력투입량을 줄일 수 있다. 그에 대한 구성도는 그림 3와 같다.



[그림 3] 도달시간 계측용 모바일 시스템 구성
[Fig. 3] Mobile system configuration for measuring arrival time

PDA를 이용한 모바일 시스템은 PDA, BASE MOTE, 방수팩으로 구성된다. PDA에는 모바일 계측 프로그램이 설치되어있다. 커넥터를 사용하여 PDA와 BASE MOTE를 연결 후 PDA의 프로그램을 실행하면 PDA와 BASE MOTE가 연결되고 이때부터 데이터를 측정가능하다. 방수팩은 작업자가 악천후에 있을 때 PDA와 BASE MOTE를 보호하기 위해 사용된다.

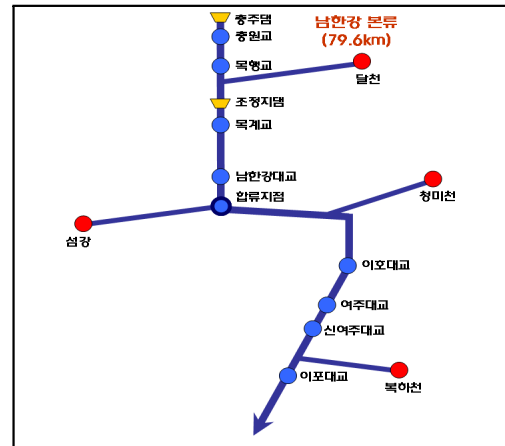
PDA에서 실행되는 모바일 계측 프로그램은 도달시간 계측용 USN 센서가 감지되었을 때의 정보를 보여주며 이때 투하시간과 거리를 설정하면 유속을 바로 확인할 수 있는 프로그램이다. 프로그램을 실행시키면 추후에 도달시간 계측용 USN 센서를 감지하게 되면 이곳에 감지했다는 문구가 나오게 된다. PDA의 'DATA' 탭은 유속정보를 포함한 도달시간 계측용 USN 센서의 경로를 시간을 보여주며, 'NETWORK' 탭을 통해 도달시간 계측용 USN 센서로부터 들어오는 시간정보와 전압정보를 얻을 수 있다. 시간정보와 거리정보의 입력이 가능한데 여기에 도달시간 계측용 USN 센서를 투척한 시간과 투척지점으로부터 관측지점이 얼마나 떨어져 있는지를 설정한 후에 SAVE하면 시간정보가 저장된다. 후에는 정확한 유속데이터를 계산하여 디스플레이 하게 된다.

4. 유출량-평균도달 시간 계측

4.1 대상 구간 선정

본 연구에서는 치수, 이수, 수질 측면을 고려하여 유역의 유하량별 하류지점의 도달시간을 측정하고, 측정자료를 근거로 하여 모델링을 통해 지류 및 본류의 시나리오별 유출량-평균도달시간 관계를 분석하고자 하였다. 이를 위해 4대강 유역중 남한강 유역을 대상으로 하여 평수기, 홍수기 유출량별 도달시간 계측을 계획하였다. 도달시간 계측은 평수기, 홍수기를 고려하여 원활한 계측이 가능한 대상 구간 선정이 필수적이며 이를 위해 현장조사를 통하여 하천지형, 수질 이슈 지역, 유량 조건 등을 종합적으로 판단하여 선정 하였다[1,15].

계측 구간 선정 가능 지점의 지형적 여건과 조위영향 및 사회·경제적 조건을 고려하여 최종 계측구간은 충주댐~여주구간으로 결정하였다.



[그림 4] 대상지역 모식도
[Fig. 4] Schematic of the target area

4.2 도달시간 계측 현황

4.2.1 도달시간 계측 과정

본 연구에서는 평수기, 홍수기 도달시간 계측을 위해 센서기술을 적용하였으며, 방류노드(RF송수신, 인식거리 200~250m), GPS 센서부자, USN Gateway 및 CDMA 기술, 모바일시스템(PDA, Netbook) 등의 기술을 적용하였다. 방류노드의 경우 평수기, 홍수기 계측을 고려하여 홀수 20cm, 70cm, 1m 등 하천의 유량에 따라 적용이 가능하도록 하였다.



[그림 5] 도달시간 계측 장비-PDA, 방류노드, 센서부자
[Fig. 5] Arrival time measuring equipments

도달시간 계측 과정은 평수기, 홍수기 계측 장비 및 구성내용, 계측시스템이 유기적으로 작동하고 계측하기 위하여 준비과정과 계측과정, 분석과정으로 구성되어 있다.

4.2.2 도달시간 계측 결과

계측 방법은 하천수질사고 및 홍수재해 관리 주요 관심 지역에 대하여 도달시간 측정이 이루어 졌으며, RF, GPS를 부착한 센서부자를 상류에 투척하여 우수 흐름을 추적하였으며, 주요교량에서 센서 정보 수신을 통한 도달

시간을 계측하였다. 계측은 총 4회(평수기 2회, 홍수기 2회) 수행하였다. 평수기는 조정지댐~신여주대교 구간(45.9km), 홍수기는 충주댐~이포대교(79.6km) 구간에 대하여 계측을 수행하였다. 구체적인 계측결과는 표 1과 같다. 상류 유량과 지류 유입량에 따라 도달시간을 계측할 수 있었으며 하상경사, 하폭, 식생, 하천구조물, 기상조건 등 다양한 요인에 의해 계측 결과가 매우 다양하게 나타남을 확인 할 수 있었다.

[표 1] 유하량별 평균도달시간 계측 결과('09)

[Table 1] Average arrival time with the upstream flow('09)

구분	일시	거리(km)	도달시간(h)	평균유속(m/sec)	유량(CMS)	상류
평수기	7. 8	45.9	29시간14분	0.49	113	조정지댐
	10.26	45.9	36시간35분	0.38	63	조정지댐
홍수기	7.14	79.6	10시간13분	2.23	2,128	조정지댐
	7.20	79.6	15시간59분	1.44	903	조정지댐

5. 지류유입량을 고려한 유하량-평균도달시간 관계 분석

계측결과를 이용하여 유하량별 평균도달시간 관계를 분석하기 위해서는 대상 구간별 많은 실측자료를 기초로 하여 분석이 수행되어야 한다. 그러나, 본 연구에서는 현재까지 관측된 결과만을 이용하여 관계 분석을 수행하였으며, 이를 통해 향후 과업을 통해 추가적인 계측이 수행될 경우 적용할 수 있는 방법론에 대한 방향을 제시하고자 하였다.

평수기, 홍수기 분리하여 관계 분석을 실시하였다. 홍수기 남한강의 경우 '09년도 계측은 3회 수행하였지만 '08년까지 K-water 연구원에서 기 수행한 홍수기 계측결과를 분석결과에 반영하여 정리하였다.

5.1 홍수기(남한강) 유하량별 도달시간 분석 결과

5.1.1 유하량별 도달시간(홍수기)

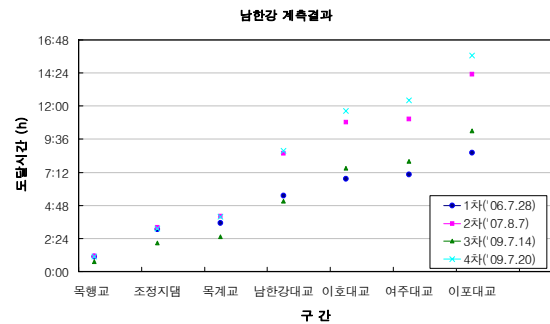
남한강의 유하량별 도달시간 관계 분석을 위하여 4회 관측된 자료를 이용하여 표 2와 같이 관측시점의 방류량, 지류유입량 반영하여 정리하였다. 전체 구간은 충주댐에서 이포대교까지 79.6km이지만 남한강 본류의 도달시간의 영향은 조정지댐의 방류량에 의해 지대한 영향을 받으므로 유하량별 도달시간 관계는 충주댐에서 조정지댐 구간(17.2km)을 제외한 62.4km 구간을 대상으로 분석을 수행하였다.

대상구간의 주요 지류유입 하천은 지방1급 섬강, 청미천, 복하천으로 구성되어 있으며, 수위관측소는 문막, 청미, 홍천으로 유량은 관측소의 수위-유량관계곡선식에 의해 산정된 결과를 반영하였다.

[표 2] 유하량별 평균도달시간(홍수기)

[Table 2] Average arrival time(Flood duration)

일시	방류량		지류유입량				도달시간	비고
	본댐	조정지댐	달천	섬강	청미천	복하천		
'06.7.28	716	2,707	2,561	1,642	1,846	193	8시간37분	79.6km
'07.8. 7	680	918	143	217	148	16	14시간18분	
'09.7.14	2,000	2,128	110	317	19	121	10시간13분	
'09.7.20	730.3	903	78	183	4	23	15시간59분	

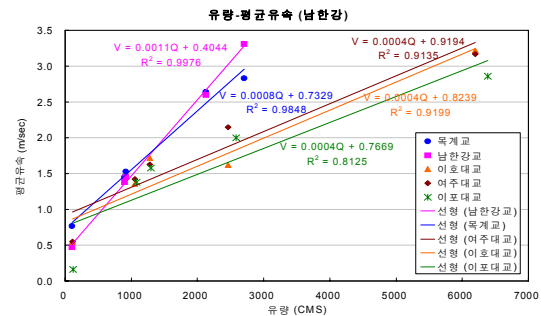


[그림 6] 구간별 유량-평균도달시간 계측 결과

[Fig 6] Sectional Flow-The average arrival time results

5.1.2 지점별 유하량별 도달시간 관계 분석

유하량별 도달시간 관계 분석을 위해 계측 자료를 기초로 하여 지점별 유량과 평균유속 관계를 정리하였다. 세부 구간별 유하량과 평균유속 관계를 근거로 남한강 홍수기에 대한 유하량과 평균도달시간 관계식을 도출하여 적용성을 검토하도록 하였다.



[그림 7] 유량-평균유속 관계 분석

[Fig 7] analysis of the Flow-Average velocity relationship

[표 3] 유하량별 평균도달시간 관계식(홍수기)

[Table 3] Equation of average arrival time with the flow

구분	관계식	상관계수(R)	결정계수(R ²)
목계교	$V = 0.0008Q1 + 0.7329$	0.99	0.98
남한강대교	$V = 0.0011Q2 + 0.4044$	0.99	0.99
이호대교	$V = 0.0004Q2 + 0.8239$	0.96	0.92
여주대교	$V = 0.0004Q2 + 0.9194$	0.96	0.91
이포대교	$V = 0.0004Q3 + 0.7669$	0.90	0.81

여기서, Q1은 조정지댐 방류량, Q2는 조정지댐 방류량, 섬강 유입량, 청미천 유입량의 합, Q3는 조정지댐 방류량, 섬강 유입량, 청미천 유입량, 복하천 유입량의 합을 나타낸다.

산정된 관계식의 적용성을 검증하기 위하여 기존 사상에 반영하여 결과를 검증하였으며, 검증 대상은 남한강의 홍수사상에 대하여 적용하였다.

본 연구에서 제시한 지류유입량을 고려한 유하량-평균 도달시간 관계 분석 모형결과에 기존 홍수사상 발생시 유량조건을 모형에 적용하여 적합성을 분석 하였다. 비교 분석한 홍수사상은 남한강에서 발생한 대홍수로 1990, 1995, 2002년도 대표적인 사례를 적용하였으며 그 결과는 표 4와 같다.

지류유입량의 경우 섬강, 청미천, 복하천 모두 고려야 하나 관측시기의 차이로 인하여 홍수사상시 계측 결과가 없어 관측 자료가 존재하는 시기 자료만 적용하였다.

[표 4] 기존 홍수사상 모형 적용 결과

[Table 4] The results of applying the existing flood model

구분	목계교 (46km)		지류유입		남한강대교 (23.8km)		이호대교 (14km)	
	유속	유량	감천	청미천	유속	유량	유속	유량
'90.9.12	14.0	16,586	1,732	-	20.1	18,318	8.2	18,318
'95.8.25	3.6	3,541	1,275	1,223	7.1	6,039	3.2	6,039
'02.8.8	8.9	10,261	2,447	230	14.6	12,938	6.00	12,938

구분	여주대교 (4km)		지류유입	이포대교 (16km)		평균 유속	도달 시간 (62.4km)
	유속	유량	복하천	유속	유량		
'90.9.12	8.3	18,318	-	8.1	18,318	11.8	1시간35분
'95.8.25	3.3	6,039	-	3.2	6,039	4.1	4시간14분
'02.8.8	6.1	12,938	-	5.9	12,938	8.3	2시간10분

적용결과를 이용하여 한강홍수에경보(국토부 한강홍수통제소) 및 댐운영실무편람(수자원공사)에서 제시한 도달시간 결과와 비교 분석을 수행하였다[16]. 비교 분석 결과 본 연구결과물에 의해 산정된 도달시간은 여주까지

1시간, 2시간50분, 1시간25분으로 산정되었으나, 댐운영 실무편람의 분석 자료에서는 4시간, 6시간30분, 4시간30분으로 도달시간 차이가 크게 나타남을 확인하였다. 이는 홍수에경보의 경우 지류유입량을 고려하지 않은 상태에서 수치모형에 의해 결과값을 도출하여 실측을 통한 검보정이 정확하게 이뤄지지 못한 것에 기인한 것으로 사료된다.

[표 5] 남한강 기준지점별 도달시간(홍수에경보 도달시간표)
[Table 5] Reference of arrival time(Flood warning timetable)

방류량	단위	소양강댐				충주댐		
		의암	청평	팔당	한강대교	여주	팔당	한강대교
1,000	hr	2.00	8.17	12.84	20.59	8.33	17.58	25.33
2,000	hr	1.73	7.23	11.21	18.38	7.50	15.75	22.92
3,000	hr	1.56	6.64	10.27	16.94	7.00	14.40	21.07
5,000	hr	1.41	5.96	9.19	15.11	6.00	12.35	18.35
7,500	hr	1.29	5.51	8.46	13.79	5.25	10.73	16.06
10,000	hr	1.21	5.14	7.91	12.83	4.75	9.62	14.44
15,000	hr	1.11	4.70	7.15	11.32	4.17	8.34	12.51
20,000	hr	1.06	4.56	6.89	10.56	3.58	7.33	11.00
누가거리	km	21.60	66.30	90.80	127.10	61.70	118.00	154.30

6. 결론

본 연구에서는 남한강의 상류 유량변화에 따른 하류 평균도달시간을 산정하고 이를 통해 이수, 치수, 환경적인 측면을 고려하여 유역의 유하량별 하류지점의 도달시간을 실측하고, 측정자료를 근거로 하여 수학적모델링을 통해 지류 및 본류의 시나리오별 유출량-평균도달시간 관계를 분석하여 수자원의 개발·이용과 보전, 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 이를 위해 하천 전 구간에서 실측할 수 있는 센서기술을 개발하였으며, 개발된 센서부자를 이용하여 계측을 수행하였다. 본 연구는 USN, GPS 센서를 이용하여 정확한 계측을 수행할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 다른 분야에 적용하는 경우와 비교시 측정 특성상 센서 부자를 흐르는 물에 흘려보내야 하므로 홍수기에는 USN 센서 부자의 수거가 불가하며, 평수기에도 하천 지장물, 식생 등의 이유로 GPS 센서 부자의 유실율이 높아 센서부자의 재활용도가 낮은 단점이 있다. 부자와 연관되는 센서외의 측정시스템은 재활용이 가능하므로, 비용을 감안한 적절한 수량의 센서부자를 활용·측정하는 것이 필요하다.

계측 분석결과 유출량-평균도달시간에 영향을 미치는 요인으로는 하상경사, 하폭, 지류유입량, 강우량, 식생, 하천구조물 등이 있으며, 이러한 요인을 수리학적 모형을

적용하여 모든 사상에 대해 정확한 해석을 한다는 것은 매우 어려운 일이다. 이로 인해 유출량-평균도달시간과의 관계 분석을 위해서는 많은 계측이 수반되어야 한다. 그러나, 본 연구는 적은 횟수이지만 계측된 데이터를 토대로한 남한강 하천의 유출량별 평균도달시간 관계를 새롭게 도출하고자 하였다.

본 연구의 계측결과를 통한 관계식은 평갈수기 수질 사고로 인한 위기상황 대처시 도달시간 참조 자료로 활용이 가능할 것이며, 향후 지속적이고 정확한 예측을 위해 더 많은 실측 데이터를 근거로 수치모형의 매개변수를 보정하여 홍수 도달시간표를 제작이 가능할 것이다. 본 연구를 통해 기존 홍수예경보 자료를 보완할 수 있는 u-IT 기반 실측기술을 개발하고 이를 적용할 수 있는 기반을 구축하였으며, 보정된 데이터를 토대로 홍수기 댐 방류시 하류도달거리 예측에 활용함으로써 홍수예경보의 신뢰성을 확보하고 홍수기 댐 운영의 효율성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Hydrological Society of Korea, "Water Engineering Glossary", 1991.
- [2] Ministry of Construction and Transportation, "A study to improve flood forecasting system" Han River Flood Control Center. 2007.
- [3] B.J. Park, K.S. Kang, "Daecheong dam discharged downstream of the flood, according to the Keum River downstream", Journal of Korea Water Resources, the 30th-2nd, pp.131-141, 1997.
- [4] Ensuring sustainable water resources R & D Center, "River flow measurement guidelines", 2004.
- [5] J.H. Jang, Y.N. Yoon, "Water Resources Design Practice", 2008.
- [6] D.H. Chae, K.H. Han, K.S. Lim "Overview of sensor networks and technology trends", Journal of Information Science, the 22nd-12th, 2004.
- [7] Ministry of Environment, "Tracking and analysis of water pollution incidents: Assessment", 2009.
- [8] Korea Water Resources Corporation, "Practical Manual of dam operations", 2010.
- [9] Brett Sheppard, CEO & Founder, Absolutely Inc. "Leading ZigBee Applications in 2005-2006 and Beyond", ZIGBEE OPEN HOUSE, 2005.
- [10] J. Syrjarinne, "Studies of Modern Technologies for Personal Positioning", Doctor of Technology Thesis

Work, Tampere University of Technology, 2001.

- [11] S.C. Park, S.Y. Nam, "Ubiquitous Sensor Network Technology", 2005.
- [12] Ensuring sustainable water resources R & D Center, "Sustainable Water Resources Development Project Phase 1 operational reports secured", 2004.
- [13] Water Resources Association corporation, "River design criteria. Commentary", 2009.
- [14] L. Mateu and F. Moll, "Review of Energy Harvesting Techniques and Applications for Microelectronics", in Proc. of SPIE, 2005.
- [15] E. Fasolo, M. Rossi, J. Widmer, and M. Zorzi, "In-Network Aggregation Techniques for Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Wireless Communications, Vol. 2, Apr, 2007.
- [16] J.A. Paradiso and T. Starner, "Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics", IEEE Pervasive computing, 2005.

이 창 구(Chang-Goo Lee)

[정회원]



- 1983년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1983년 ~ 1991년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1991년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1992년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 전자공학부 교수

<관심분야>

현대제어, 퍼지제어, 지능형시스템, 홈 제어시스템

김 진 영(Jin-Young Kim)

[정회원]



- 2001년 8월 : 전북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2011년 8월 : 전북대학교 정보기술학 제어계측공학 (공학석사)
- 2011년 7월 ~ 현재 : 한국수자원공사 재직

<관심분야>

제어계측 기술, 수자원 설비, 상하수도 설비