

# 3차원 흐름해석을 통한 소하천 원격유량측정시설의 적정성 연구

## Study on Appropriateness of a Remote Facility for Discharge Measurement in Small Stream by 3-Dimensional Flow Analysis

김종찬\*, 홍기훈\*\*, 고재민\*\*\*, 김진민\*\*\*\*

Jong Chan Kim, Kee Hoon Hong, Jae Min Ko, Chin Min Kim

### 요 지

소하천에서의 효율적인 유량측정 수행을 위해서 K-water(한국수자원공사) 충청지역본부에서는 금강유역의 보청천 지류인 곰쟁이천에 원격유량측정시설 개념의 위어(weir)를 이용한 고정단면 시설물을 2006년도에 설치하였으며, 2007년부터 2009년까지 시설물 직하류에서 도섭을 통한 유량측정을 실시하였고 3차원 흐름해석 결과와의 비교를 통해 소하천 원격유량측정시설의 적정성을 분석하였다. 총 55회의 유량측정 성과를 이용하여 수위-유량 관계곡선식을 산정하였으며, FLOW-3D를 이용하여 3차원 흐름해석을 실시하였다. Francis 유량산정 공식인  $Q=1.84bH^{3/2}$ 을 통해 계산되는 수위별 유량, 유량측정 성과에 의한 수위-유량 관계곡선식, 그리고 FLOW-3D로부터 계산된 수위별 유량을 비교하였으며, 실측유량과 계산된 유량의 차이를 비교 검토하였다. 이러한 비교 검토를 통해 소유량 구간에 대해서는 원격유량측정시설의 적정성을 확인할 수 있었으며, 갈수시 미소유량이 흐르는 소하천에 위치한 지점에 대해서는 인력 및 비용이 많이 소요되는 도섭을 통한 직접 유량측정 수행보다는 검증된 유량측정시설(위어, 파살플룸 등)을 통한 유량측정이 더욱 효과적인 것으로 판단되었다.

**핵심용어** : 위어(weir), 원격유량측정시설, 수위-유량 관계곡선식, FLOW-3D

### 1. 서 론

수자원개발 계획을 수립하는 데 있어서 가장 기본이 되는 것이 수위, 우량, 유량 등의 수문자료이며, 이러한 수문자료의 신뢰도 제고 및 효율적인 측정을 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 특히, 수문자료의 효율적 획득을 위해 무선통신 및 자료처리 기술을 활용한 실시간 원격측정 기술 개발 및 적용이 증가하는 추세이다. 그러나 수위 및 우량과 달리 하천의 유량 측정은 다양한 연구에도 불구하고 불특정한 하천흐름의 특성 때문에 원격으로 유량을 측정하는 방법은 실무적으로 적용하기가 쉽지 않은 것이 현실이며, 도섭 및 부자 등을 이용한 직접 유량측정이 가장 신뢰성 있는 방법으로 인정되고 지속되어지고 있다.

한국수자원공사(이하 “K-water”라 한다) 충청지역본부에서는 소하천에서의 유량측정 방법을 효율적으로 개선하기 위해서 금강유역의 보청천 지류이며 소하천인 곰쟁이천에 위어를 이용한 고정단면 시설물과 수위계를 2006년도에 설치하고 2007년부터 2009년까지 유량측정을 수행하였으며, 이러한 결과를 이용하여 소하천 유량측정 시설물의 적정성을 분석하였다.

\* 정회원 · K-water 충청지역본부 대리 · E-mail : jchan@kwater.or.kr  
\*\* 정회원 · K-water 충청지역본부 팀장 · E-mail : hohoo@kwater.or.kr  
\*\*\* 정회원 · K-water 충청지역본부 차장 · E-mail : kjm999@kwater.or.kr  
\*\*\*\* 정회원 · K-water 댐 · 유역관리처 과장 · E-mail : beaver@kwater.or.kr

## 2. 원격유량측정시설 개요

위어 형식의 유량측정시설은 충북 보은군 내북면 두평리 소하천인 곰쟁이천의 두평이라는 지점에 설치되어 있다. 특히 두평 지점은 댐건설장기계획(2007~2011)(’07.7)상 소규모 용수전용댐 후보지(두평댐)로 선정됨에 따라 댐건설예정지에 대한 지속적인 수자원관측자료 확보를 위하여 2006년 12월에 K-water 충청지역본부에서 수문관측시설을 설치하였고, 현재는 대청댐관리단에서 운영하고 있다.



그림 1. 두평댐 예정지



그림 2. 원격유량측정시설

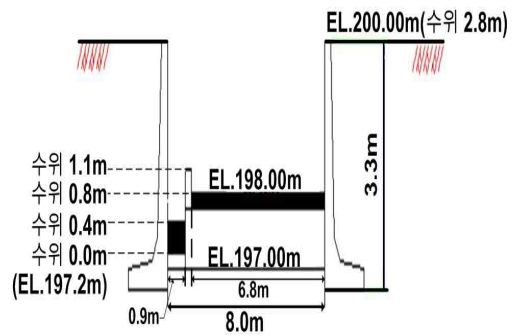


그림 3. 구조물 정면도

위어 형식의 고정단면에 기포식 수위계를 설치하였고 측정되는 수위는 K-water DB 서버에 저장될 수 있도록 CDMA 무선통신을 이용하였다. 그리고 위어를 통해 흐르는 하천의 수위에 따라 위어공식 또는 수위-유량 관계곡선식이 적용되어 유량이 산정될 수 있도록 시스템을 적용하였다. 또한 유량측정 시설물에 세가지의 오차저감 요소 도입을 통해 측정성과의 신뢰도 향상을 도모하였다. 첫번째는 소유량(수위 0.4m~0.8m 구간), 중유량(수위 0.8m~1.1m 구간) 및 고유량(수위 1.1m~2.8m) 발생시 모두 측정이 가능하도록 합성위어의 개념을 도입하였고, 두번째는 검증된 경험식이 적용 가능하도록 칼날형(예연) 위어를 설치하였으며, 세번째는 고정단면 중간에 분리벽을 설치하여 단면수축 제거 및 구간간 영향제거 효과를 고려하였다. 이러한 오차저감 요소를 도입한 위어 시설물 설치, 실시간 무선통신을 적용한 수위 계측 및 유량 산정 등을 통해 소하천에서의 원격유량측정시설의 개념을 적용시킬 수 있었다.

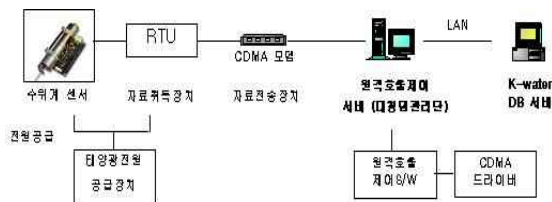


그림 4. 무선통신 계통도



그림 5. 오차저감 요소 및 효과

## 3. 유량측정성과 및 위어공식 적용 검토

### 3.1 유량측정성과를 활용한 수위-유량 관계곡선식 산정

댐건설예정지에 대한 유량측정자료 확보 및 원격유량측정시설의 적정성을 검토하기 위해 시설물 직하류에서 2007년부터 2009년까지 프로펠러 유속계를 이용한 도섭법으로 총 69회의 유량측정을 수행하였으며, 이 중 소유량 구간 위어 상단에 해당하는 수위 0.4m를 초과하는 55회의 측정성과를 이용하여 표 1과 같이 수위-유량 관계곡선식을 산정하였다. 수위-유량 관계곡선식 산정시에는 K-water에서 개발한 HydroToolKit을 적용하였으며, 곡선식의 불확실도(ISO 1100-2:1998, 2S<sub>mr</sub>)는 3.59%로 산정되었다.

표 1. 수위-유량 관계곡선식

지점	적용수위(m)	곡선식	상관계수(r)	비고
두평	0.407 ≤ h ≤ 0.842	$Q = 1.978 \times (h - 0.382)^{1.545}$	0.982	- 위어 상단에 해당하는 수위 0.4m 초과 성과 적용
	0.842 < h ≤ 1.147	$Q = 10.311 \times (h - 0.417)^{3.332}$	0.988	- 2007년~2009년까지 측정 성과 55회 적용

### 3.2 위어공식의 적용 및 비교 검토

사각형 위어공식 (1)로부터 산정된 Francis 유량산정 공식 (2)를 적용하였으며, 오차저감 요소 도입에 따라 단수축 수  $n=0$ 이므로 위어공식 (3)을 적용하였다.  $C$ 는 유량계수,  $b$ 는 흐름폭,  $H$ 는 수위를 나타낸다. 수위에 따라 적용된 공식은 표 2와 같다.

$$Q = \frac{2}{3} C b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

$$Q = 1.84 \left( b - \frac{nH}{10} \right) H^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

$$Q = 1.84 b H^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

표 2. 수위별 적용된 위어공식

지점	적용수위(m)	위어공식	비고
두평	0.4 ≤ h ≤ 0.8	$Q_1 = 1.84 \times 0.9 \times (h - 0.4)^{\frac{3}{2}}$	- 소유량 구간
	0.8 ≤ h ≤ 1.1	$Q_2 = Q_1 + 1.84 \times 6.8 \times (h - 0.8)^{\frac{3}{2}}$	- 중유량 구간
	1.1 ≤ h ≤ 2.8	$Q_3 = Q_2 + 1.84 \times 8.0 \times (h - 1.1)^{\frac{3}{2}}$	- 고유량 구간

그림 6과 그림 7은 수위별 실측유량, 유량측정 성과에 의한 수위-유량 관계곡선식, 위어공식을 통해 계산되는 수위별 유량을 각각 대수(對數)도표와 산술도표로 나타낸 것이다. 소유량 구간(수위 0.407m~0.8m)에서는 동일 수위에 대해서 위어공식에 적용된 유량이 실측유량 및 수위-유량 관계곡선식 환산유량보다 과소하게 산정되고 있고 수위-유량 관계곡선식 환산유량을 기준으로 한

위어공식에 적용된 유량의 상대오차는 약 26.4%로 산정되었으며, 중유량 구간(수위 0.8m~1.147m)에서는 상대오차가 약 7.8%로 산정되었다. 소유량 구간에서의 오차는 하천에 인접한 농경지로부터 시설물 직하류로 측방 유입되는 미소한 회귀수량( $0.005\text{m}^3/\text{s}$  이하)이 유량측정 성과에 포함됨에 따라 나타나는 것으로 판단된다.

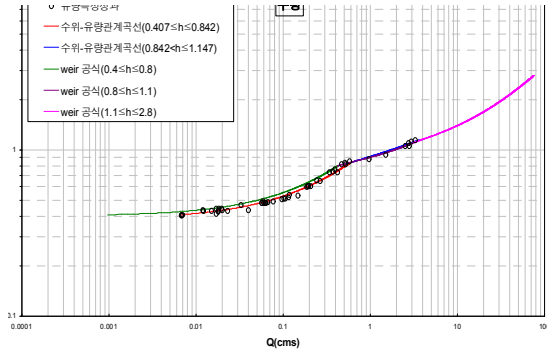


그림 6. h-Q 관계 대수(對數)도표

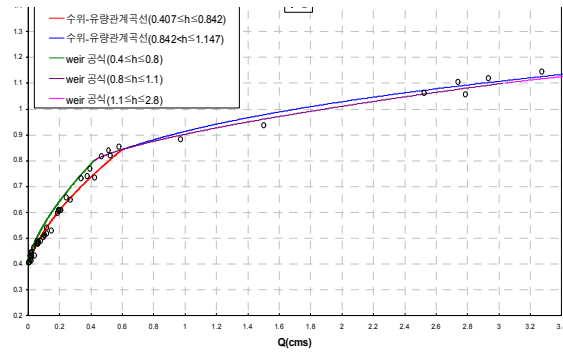


그림 7. h-Q 관계 산술도표

#### 4. 3차원 흐름해석 및 검토

위어에서의 3차원 흐름해석을 위하여 FLOW-3D를 적용하여 수위별 유량을 계산하였으며, 이를 수위-유량 관계곡선식 및 위어공식으로부터 산정된 수위별 유량과 비교 검토하였다. 소하천의 특성상 위어를 넘어서는 유량이 적으므로 계산유량의 오차를 최소화하기 위해서 흐름구간에 대한 격자를 조밀하게 생성시켰고(50만개, 격자크기 약  $0.08\text{m} \times 0.06\text{m} \times 0.06\text{m}$ ), 소유량 구간, 중유량 구간 및 고유량 구간별 모두 7가지 CASE를 모의하여 구간별 흐름특성을 파악하였다.

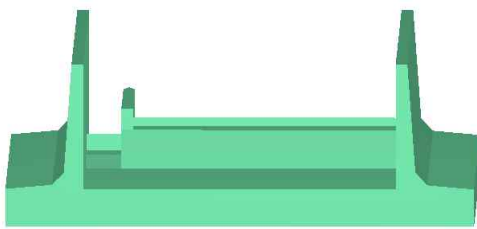


그림 8. 구조물 3차원 형상

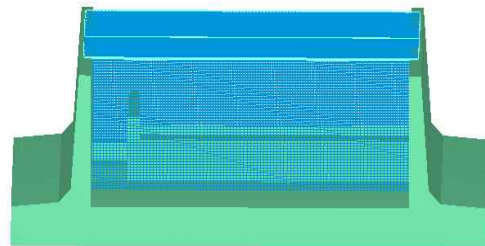


그림 9. 구조물 3차원 격자

3차원 흐름해석을 통한 CASE별 산정된 유량은 표 3에 나타내었으며, 소유량 구간(수위 0.8m~0.9m)까지는 FLOW-3D를 통한 유량을 기준으로 위어공식에 적용된 유량의 상대오차는 약 10% 이하로 산정되었으며, 수위-유량 관계곡선식에 의해 산정된 유량과도 유사한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나, 중유량 구간(수위 0.8m~0.9m 초과)에서는 유량값들이 차이를 나타내고 있으며, 3차원 흐름해석 결과에서는 수위가 상승할수록 유량은 오히려 감소하는 현상 또한 나타나고 있다. 이는 소유량과 중유량 구간을 분리하기 위해 설치된 분리벽으로 인해 하천흐름이 방해를 받아서 흐름특성이 변하여 위어공식에 의해 산정된 유량값과 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

표 3. CASE별 산정된 유량

CASE	유량(m <sup>3</sup> /s)			상대오차 (②-③)÷③	비고
	수위-유량 관계곡선식 ① (0.407 ≤ h ≤ 1.147)	위어공식 ②	FLOW-3D ③		
1 (수위 0.6m)	0.188	0.148	0.155	-4.5%	① ≃ ② ≃ ③
2 (수위 0.8m)	0.514	0.419	0.468	-10.5%	① ≃ ② ≃ ③
3 (수위 0.9m)	0.912	0.981	0.916	7.1%	① ≃ ② ≃ ③
4 (수위 1.0m)	1.708	1.889	2.844	-33.6%	① ≃ ②
5 (수위 1.1m)	2.895	3.026	2.187	38.4%	① ≃ ②
6 (수위 1.8m)	30.375	23.876	6.104	291.2%	수위-유량 관계곡선식
7 (수위 2.5m)	118.898	57.156	5.721	899.1%	환산유량은 외삽

## 5. 결 론

실측유량을 이용하여 산정된 수위-유량 관계곡선식, 위어공식 및 FLOW-3D를 통한 3차원 흐름해석 결과의 비교 검토를 실시하였으며, 유량측정 성과를 통해서는 중유량 구간(수위 1.1m)까지, 3차원 흐름해석 결과로부터는 소유량 구간(수위 0.8m~0.9m)까지 위어공식 적용의 적정성을 확인할 수 있었다. 농경지로부터 유입되는 미소유량으로 인해 소유량 구간에서는 실측치와 위어공식에 의한 환산유량 사이에서 오차가 나타나고, 중유량 구간 상단에서는 분리벽에 대한 흐름방해로 인해 흐름특성이 변하여 위어공식과 3차원 수치해석 계산치의 오차가 나타나는 것으로 보인다. 그러나 이러한 비교 검토를 통해 소유량 및 중유량 구간에 대해서는 원격유량측정시설의 적정성을 확인할 수 있었다. 향후, 농경지 회귀수량의 측정, 고수위 구간(수위 1.1m 초과)의 유량측정 및 분리벽 상단 증고를 통한 3차원 흐름해석의 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

원격유량측정시설의 3차원 흐름해석 및 유량측정성과와의 비교를 통해 갈수시 미소유량이 흐르는 소하천에 위치한 지점에 대해서는 인력 및 비용이 많이 소요되는 도섭법을 통한 직접 유량 측정 수행보다는 검증된 유량측정시설(위어, 파샬플롭 등)을 통하여 원격측정(TM, Telemetry)된 수위를 이용한 유량을 측정하는 방법이 더욱 효과적인 것으로 판단된다.

## 감 사 의 글

본 연구는 K-water 수자원·환경기초조사의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 이한구, 오병동 등(2003). 사용자설명서-수문자료상시평가프로그램/Rating개발시스템, K-water.
2. 박홍성(2006). 3차원 수치모형에 의한 저류지의 수리학적 평가, 석사학위논문, 경북대학교.