

# 하천결빙시 유량측정 정확도 제고를 위한 관측방법 및 기기 현장적용평가(산지 소하천 유역을 중심으로)

## Field application assessment of observation methods and gauging instruments for improvement of the accuracy of discharge measurement at ice cover (Review of small mountainous catchment)

김동필 \*, 황석환 \*\*, 정성원 \*\*\*

Dong Phil Kim, Seok Hwan Hwang, Sung Won Jung

### 요 지

산지 소하천 유역에서 하천결빙이 발생하는 시기의 유량측정은 평상시의 유량측정 방법으로는 정확한 유량측정성적을 기대하기는 어렵다. 하천결빙시의 유량측정 자료의 정확도를 높이기 위해서는 관측방법의 개발과 다양한 관측기기의 현장적용평가가 필요하다. 본 논문에서는 관측방법의 새로운 기준 적용과 다양한 관측기기를 이용하여 유량측정을 수행하고 측정성적을 비교·검토함으로써 현장적용평가를 실시하였으며, 현장평가의 적용을 통해 산지 소하천 유역특성에 적합한 유량측정기술 및 기기의 개발을 이루고자 하였다.

**핵심용어** : 산지 소하천 유역, 하천결빙, 유량측정성적, 관측방법, 관측기기, 현장적용평가

## 1. 서 론

수문학의 연구에서 가장 어려움을 겪고 있는 것은 정도 높은 수문자료의 부족에 있다. 이들 자료 중에서 유량측정 자료는 가장 기초가 되는 자료로 신뢰도와 정확성을 기본으로 자료의 측정이 이루어져야 한다. 유량측정과 관련된 통계자료를 볼 때 ISO 기준에 의한 수위-유량관계곡선의 평균 표준오차와 유량측정성적의 불확실도는 각각  $\pm 113\%$ ,  $\pm 12\%$ (2000년)에 달하고, 일부지점의 경우에는 20배의 유량차이가 발생함을 알 수가 있다(수자원의지속적확보기술개발사업단, 2002년).

상기에서 언급된 값은 홍수기 및 평·갈수기를 포함한 년중의 유량측정성적에서 비롯된 것으로, 하천결빙시의 유량측정성적은 거의 포함되지 않은 경우이며 측정이 전무한 상태이다. 따라서 대부분의 결과로 제시된 유량측정관련 자료의 값은 동절기 특히, 하천결빙시 측정자료를 포함하지 않고 있으며 또한 수위관측의 어려움이 존재하고 있어 많은 부분이 결여된 상황이다. 유량측정 자료를 통해 생성되는 수문자료가 신뢰도와 정확성에 근간하기 위해서는 최소한 전기간을 포함하는 대표성 있는 자료의 선택이 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 자료의 선택이 상대적으로 적은 동절기 중 하천결빙이 발생한 시기인 산지 소하천 유역인 설마천 시험유역에 적용해 보고자 한다. 하천결빙시의 유량측정방법을 적용하고, 다양한 측정기기와 구조물을 이용하여 현장적용평가를 실시하고자 하며, 이를 통하여 유량측정 정확도를 개선시키고자 함에 그 목적이 있다.

## 2. 현장적용평가

\* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · Email : dpkim@kict.re.kr

\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · Email : sukany@kict.re.kr

\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · Email : swjung@kict.re.kr

## 2.1 대상유역

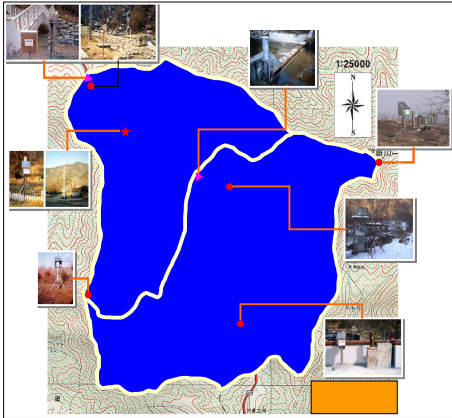


그림 1. 설마천 시험유역도

설마천 시험유역은 임진강 하구에서 약 46km 상류에 위치한 임진강 제1지류로서, 영국군 전적비교를 출구로 하는 유역면적 8.50km<sup>2</sup>, 유로연장 5.80km인 전형적인 산지 소하천 유역이다. 유역의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 유역의 동쪽엔 시험유역에서 가장 높은 감악산(EL.675m)이 위치하고 있다. 하천의 형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 보인다. 본 시험유역에 설치된 관측기기로는 우량관측소 6개소, 수위관측소 2개소, 기상관측소 1개소로 관측단위는 10분으로 운영되며, 우량관측소의 밀도는 1.42km<sup>2</sup>/개소이다.

## 2.2 적용방법 및 고찰

본 논문에서 적용한 유량측정방법으로 유속 측선수 분할과 측정수는 ISO(국제표준기구) 기준을, 하천결빙에서의 관측기기 세팅방법과 수직-속도 곡선의 보정계수 이용은 USGS(미국지질조사국) 기준을, 유속측정시간은 ISO 및 USGS 기준을 조합한 60초 이상을 적용하였다. 그리고 유량측정을 위해 사용한 측정기기는 프라이스킵(USGS Type AA meter, USGS Pygmy meter), 마그네틱 및 미니어처(프로펠러 회전식) 유속계 등이며, 유량측정에 사용한 구조물은 유수단면(유속 및 수심)확보가 가능한 구조물과 위어 등이다. 상기에서 언급한 유량측정방법을 각 관측기기별로 동일하게 적용하고, 각 관측기기별 측정값과 기 개발된 수위-유량관계 곡선식 및 위어공식을 적용하여 측정값을 비교·검토하고 각 측정값에 대한 불확실도를 분석하였다.

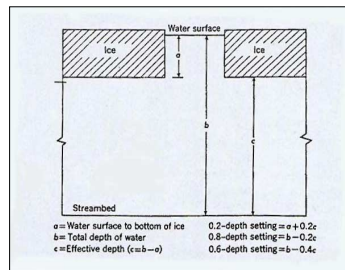


그림 2. 하천결빙에서의 계측기 세팅 계산 방법

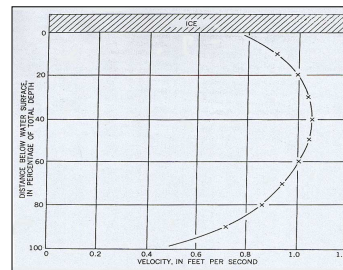


그림 3. 하천결빙에서의 전형적인 수직-속도 곡선

## 2.3 적용결과

2.2절에서 언급한 기준과 방법을 적용하여 수행한 결과는 표 1~3과 같다. 전적비교 지점은 유수단면을 동결 이전에 확보하여 유량측정을 수행하였으며, 유량측정시의 관측수위는 보정과정을 거쳐(대기압의 영향으로 Shift된 목측 관측치 보정) 확정을 하였으며, 2003년 수위-유량 관계곡선식(전적비교)과 비교함으로써 유량측정 정확도 및 관측기기의 적용성을 검토하였다.

사방댐 지점은 위어의 월류수심을 기록한 후 하류부 적정지점에서 동결된 얼음을 제거한 후 유속계에 의한 유량측정을 실시하였다. 그리고 관측한 월류수심값에 근거하여 수위로 환산(위어의 면수측 보정량 적용)하여 2003년 수위-유량 관계곡선식(사방댐)과 비교·검토 하였다. 그리고 각각의 유량측정성과에 대한 불확실도(ISO-748 기준적용)를 산정하였다. 전적비교 및 사방댐의 보정유량에 대한 관측오차율은 20% 및 16%(위어대비 24%)이었으며, 평균 불확실도도 전적비교 ±14.53%, 사방댐 ±11.60%로 모두 4등급(ISO, 8%<불확실도)을 보였다.

전적비교와 같이 우수단면을 확보한 동절기 유량측정성과는 비교적 양호한 결과를 얻었으나, 사방댐의 위어를 이용한 유량산정결과는 양호한 결과를 얻지 못하였다. 사방댐 위어는 위어로서의 충분한 기능을 발휘하지 못하는 것으로 판단되었으며, 중력의 흐름에 의해 영향을 받는 구간임을 알 수 있다. 그리고 불확실도는 측선수와 유속에 많은 영향을 받고 있으므로, 하천결빙이 발생한 설마천의 2개 지점은 매우 불리한 상황에 위치해 있다. 하천결빙이 발생한 구간에서의 측선수 확보의 어려움과 유속의 저하는 불확실도를 가중시키는 요인이 되고 있다. 그림 4~6은 하천결빙시 전적비교의 우수단면 확보 지점과 수위관측소 현황을 보여주고 있으며, 그림 7~9는 하천결빙시 사방댐의 위어와 유량검증지점 및 수위관측소 현황을 보여주고 있다.

표 1. 유량측정성과 분석(전적비교)

측정일시	관측수위(m)	보정수위(m)	관측유량(cms)	보정유량(cms)	관측오차율(%)	유량오차등급	전체 불확실도(%)	측정기기	수표면-Ice하단(m)	비고
04-01-06 14:50	0.394	0.377	0.0181	0.0232	22	3	±20.25%	프라이스 AA	0.033	- 등급적용기준(자체) · 1등급 :10%미만 · 2등급 :10%초과~20%미만 · 3등급 :20%초과~30%미만 · 4등급 :30%초과 - 보정유량산정은 2003년 수위-유량 관계곡선식(전적비교) 적용 - 유속보정계수(Ice-Cover시) : 0.92
04-01-06 15:15	0.392	0.375	0.0148	0.0222	33	4	±20.25%	프라이스 Pygmy	0.033	
04-01-06 15:40	0.390	0.373	0.0204	0.0212	4	1	±18.12%	마그네틱	0.033	
04-01-17 13:55	0.416	0.361	0.0147	0.0160	8	1	±12.04%	프라이스 AA	0.055	
04-01-17 14:25	0.416	0.361	0.0090	0.0160	44	4	±14.54%	프라이스 Pygmy	0.055	
04-02-05 15:00	0.420	0.347	0.0079	0.0112	30	3	±14.11%	프라이스 AA	0.145	
04-02-13 15:10	0.460	0.355	0.0146	0.0138	6	1	±10.67%	프라이스 AA	0.210	
04-02-13 15:36	0.459	0.354	0.0106	0.0135	21	3	±12.15%	마그네틱	0.210	
04-02-13 16:20	0.459	0.354	0.0172	0.0133	29	3	±10.69%	미니어처	0.210	
04-02-20 11:00	0.372	0.347	0.0114	0.0113	0	1	±12.44%	프라이스AA	0.050	
평균	-	-	-	-	20	2	±14.53%	-	-	

표 2. 유량측정성과 분석(사방댐)

측정일시	관측수위(m)	보정수위(m)	월류수심(m)	관측유량(cms)	보정유량(cms)	위어유량(cms)	관측오차율(%)		유량오차등급		전체 불확실도	측정기기	비고
							보정	위어	보정	위어			
04-01-07-11:50	1.980	1.980	0.047	0.0153	0.0156	0.0223	2	32	1	4	±9.69%	프라이스 AA	- 등급적용기준 : 표 1. 비고 참조 - 직사각형 위어 · 폭(b):1.0m · 유량계수(c):0.62 - 보정유량산정은 2003년 수위-유량 관계곡선식(사방댐) 적용
04-01-07 13:05	1.980	1.980	0.047	0.0193	0.0156	0.0223	24	14	3	2	±9.11%	마그네틱	
04-01-16 15:35	1.951	1.971	0.038	0.0115	0.0112	0.0162	4	29	1	3	±12.31%	프라이스 AA	
04-01-16 16:05	1.951	1.971	0.038	0.0089	0.0112	0.0162	20	45	2	4	±12.78%	프라이스 Pygmy	
04-01-16 16:40	1.950	1.970	0.037	0.0113	0.0107	0.0156	5	28	1	3	±13.87%	미니어처	
04-02-12 14:55	1.948	1.968	0.035	0.0101	0.0099	0.0144	2	30	1	3	±12.28%	프라이스 AA	
04-02-12 15:20	1.948	1.968	0.035	0.0104	0.0099	0.0144	6	27	1	3	±12.19%	프라이스 Pygmy	
04-02-12 15:37	1.948	1.968	0.035	0.0130	0.0099	0.0144	32	9	4	1	±11.24%	마그네틱	
04-02-12 16:00	1.948	1.968	0.035	0.0112	0.0099	0.0144	14	22	2	3	±13.43%	미니어처	
04-02-20 14:05	1.945	1.965	0.032	0.0133	0.0087	0.0126	53	6	4	1	±9.10%	프라이스 AA	
평균	-	-	-	-	-	-	16	24	2	3	±11.60%	-	

표 3에서 보는 바와 같이 관측기기의 적용성 평가에서 전적비교는 프라이스 AA와 마그네틱, 사방댐(보정 유량의 경우)은 미니어처 및 프라이스 AA와 Pygmy가 우수한 것으로 나타났다. 따라서 프라이스 AA는 2개 지점에서 적용성이 우수하였으며, 다른 관측기기는 보통 및 미흡한 것으로 나타났다. 하천결빙시 유량측정은 많은 불확실성을 포함하고 있음을 볼 때, 비교적 양호한 결과를 얻었다고 할 수 있으나, 이러한 불확실성을 개선하기 위해서는 지속적인 관측방법의 개발과 현장적용평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

표 3. 관측기기의 적용성 평가

관측기기명	관측기기별 오차율(%)			등급			관측기기 적용성		비고
	전적비교(보정)	사방댐(보정)	사방댐 위어	전적비교(보정)	사방댐(보정)	사방댐 위어	전적비교	사방댐	
프라이스 AA	13	15	24	2	2	3	G	G/F	- 등급적용기준 : 표 1. 비고 참조 - 1등급(Excellent), 2등급(Good) 3등급(Fair), 4등급(Poor)으로 표시
프라이스 Pygmy	39	13	36	4	2	4	P	G/P	
마그네틱	13	28	11	2	3	2	G	F/G	
미니어처	29	9	25	3	1	3	F	E/F	



그림 4. 유수단면 확보 지점  
(전적비교, 부분결빙시)



그림 5. 유수단면 확보 지점  
(전적비교, 완전결빙시)



그림 6. 하천결빙시의  
전적비교 수위관측소



그림 7. 위어 지점  
(사방댐, 동결 후)



그림 8. 위어 유량 검증  
(사방댐 하류 50m 지점)



그림 9. 하천결빙시의  
사방댐 수위관측소

### 3. 결 론

하천 유량자료 중 특히 하천결빙시의 유량측정 자료의 정확도를 높이기 위해서는 측정 방법의 개발과 다양한 관측기기의 현장적용평가가 이루어져야 한다. 본 논문에서는 측정방법의 새로운 기준 적용과 다양한 관측기기를 이용하여 측정을 수행하고 측정성과를 비교·검토하였다. 하천결빙시의 유량측정은 많은 불확실성이 내포하고 있음을 인지할 때 유량측정의 정확도 향상을 위한 노력을 기울이게 될 것이며, 지속적인 현장평가의 적용을 통해서만이 정확도 향상을 위한 유량측정기술 및 관측기기의 개발이 이루어 질 것으로 기대된다.

### 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프런티어개발연구사업인 수자원의지속적확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. Techniques of Water Resources Investigations of the USGS(1984), Ch. A8 Discharge Measurements of Gaging Stations, p.42~p.44
2. GUIDE to Hydrological Practices(1994), World Meteorological Organization, p.147~p.150
3. Streamflow Measurement(1985), Elsevier Applied Science Publishers Ltd, p.234~p.238
4. Hydrology Handbook, 1996, ASCE, p.340
5. 한국건설기술연구원, 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구, 건기연 2003-051
6. ISO, Measurement of Liquid Flow in Open Channels -Velocity-Area Methods(1997), ISO-748:1997(E)