

결빙하천에서의 유량측정

Measurement of Discharge from Ice Cover

○윤 광 석*, 김 치 영**, 차 준 호**, 김 원***

1. 서론

본 연구는 국내에 있어 미흡한 것으로 알려진 결빙하천 유량측정기법 및 기준의 적용성 검토하기 위하여 외국의 기준을 조사·분석하고 그 기준에 따른 결빙하천에서의 유량측정을 수행하여 분석하는 것을 목적으로 한다. 결빙시에는 하천에서 수위와 유량의 관계만으로 유량의 예측이 어렵기 때문에 유량측정성과 의존할 수밖에 없다. 또한, 특정한 목적으로 유량측정을 수행하는 시기가 결빙기일 수도 있으므로 이에 대해서 구체적인 측정방법을 준비해 둘 필요성이 있다. 현재까지 국내에서 결빙 하천에 대한 유량측정을 수행했다는 보고는 없으며, 따라서 이에 대한 기준이나 기법도 전무한 것으로 조사되었다. 이를 위하여 본 연구에서는 결빙하천 유량측정에 관한 기준 및 기법에 대한 ISO, USGS 및 일본 건설성 기준을 조사하여 분석하였으며, 결빙기 유량측정을 수행하여 적용성을 검토하였다.

2. 결빙하천의 수리특성

하천이 결빙되는 경우 수위관측기기가 동작을 하지 않는 경우가 있으며, 수위계가 동작을 하더라도 비결빙시 수위 경향과 판이하게 틀려지므로 결빙시 유량측정을 수행하여 비결빙시와 결빙시의 유량변화를 보완해 줄 필요가 있다. 결빙하천에서의 유량측정은 비결빙시와 비교해서 유량측정 여건이 다르므로 측정 방법도 약간의 차이가 있는 것으로 조사되었으며, 빙판 밑에서는 그림 1과 같이 압력흐름 형태를 띠므로 연직유속분포 특성이 다르다는 것을 알 수 있다.

3. 관련 기준 검토

결빙하천 유량측정방법을 조사하기 위하여 ISO, USGS 및 일본 건설성 기준을 조사하여 비교하였다. 결빙하천에서의 유량측정방법이 비결빙시 유량측정방법과 크게 다른 점은 유효수심을 산정한다는 것과 평균유속 산정시 수면으로부터 수심의 60% 지점을 측정하는 1점법인 경우 유속보정계수를 고려한다는 점이 크게 다르다. 유효수심이란 실제 유속을 가짐으로써 유량에 기여하는 흐름의 수심으로서 빙판밑에서 하상까지의 거리로 정의된다. 일본의 경우, 1, 2점법에 대한 유속보정계수가 제안되어 있기는 하나 기준에서는 비결빙시 방법과 동일하게 평균유속을 산정하도록 되어 있으나, USGS와 ISO 기준에서는 1점법에 대해서 유속보정계수를 각각 0.92와 0.88~0.90을 제시하고 있다. 여기서, 1점법의 측정위치는 USGS와 ISO의 기준이 다른데, 각각 0.6d와 0.5d이다. USGS와 ISO 기준에 따르면, 결빙하천의 유량측정시 유속보정계수를 적용하지 않고 평균유속을 산정하는 경우 그 자체만으로 10~12%의 오차를 유발시킬 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 보다 정확한 결빙하천 유량측정기준을 결정하기 위해서는 빙판아래에서의 연직유속분포에 대한 많은 측정이 수행되어 대표적인 유속보정계수를 제시하는 것이 매우 중요하다 할 수 있다. 그림 2는 USGS 기준에 나타나 있는 결빙하천 유량측정시 유속측점 결정방법을 나타낸 것이다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원

표 1. 결빙하천유량측정에 대한 외국의 관련 기준 비교

구분	수문관측(일본)	USGS	ISO
측선 간격	-비결빙시의 간격(표준) -유량편재시 충분한 측선수 확보	-측정공 최소 20개 이상 -1개 측정공당 전체유량의 10% 이하가 되도록 간격 배치	-측정공 최소 20개 이상 -흐름구조와 하상형태를 잘 나타낼 수 있게 연속측선 결정 -연직측선의 거리는 프로펠레 직경보다 커야 함
연직 측점	-일반하천에서의 방법과 동일 -1점법(0.6d) -2점법(0.8d, 0.2d)	-1점법(0.6d) : 유효수심 2.5ft (0.762m) 미만 -2점법(0.2d, 0.8d) : 유효수심 2.5ft(0.762m) 이상	-1점법(0.5d) : 유효수심 0.3-1.0 m 미만 -2점법(0.2d, 0.8d) : 유효수심 1.0 m 이상 -3점법(0.15d, 0.5d, 0.85d) : 유효수심이 매우 큰 경우 -6점법(수면, 0.2d, 0.4d, 0.6d, 0.8d, 하상) : 고정확도 유량측정
수심 측정	-유속측선 및 그 중간점 -유효수심 측정 : 빙판 밑면으로부터 하상까지의 거리	- 유효수심측정 · 유효수심(c)=수심(b)-수면으로부터의 얼음두께(a)	- 유효수심측정 · 유효수심(c)=전체수심-수면에서 빙판밑면(또는 정빙깊이)까지의 거리
평균 유속 산정	-1,2점법에 대한 유속보정계수가 제안되어 있으나, 당 지침에서는 일반하천과 동일한 방법으로 산정	-1점법 : 유속보정계수 0.92적용 -2점법 : 산술평균(일반 하천과 동일)	-1점법 : $0.88 \sim 0.90 V_{0.5}$ -2, 3점법 : 산술평균 -6점법 : $\bar{v} = 0.1(v_{surface} + 2v_{0.2} + 2v_{0.4} + 2v_{0.6} + 2v_{0.8} + v_{bed})$

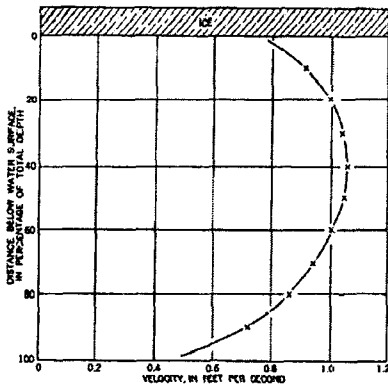


그림 1. 빙판하에서의 전형적인 연직유속분포

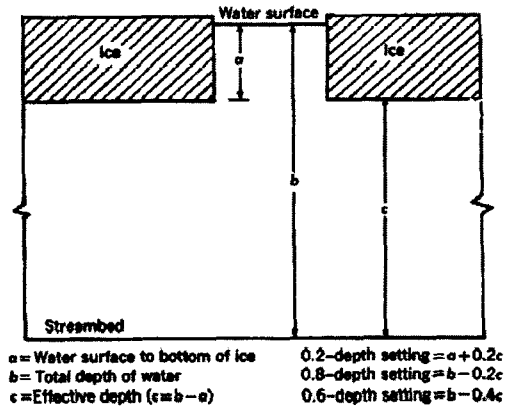


그림 2. 결빙하천에서의 유속측정 결정 방법

4. 결빙하천 유량측정 결과

4.1 측정 방법 및 절차

본 연구에서는 결빙하천 유량측정기법에 관한 적용성 검토를 위하여 결빙기에 섬강의 간헐 지점에 대해서 유량측정을 수행하였다. 측선은 각각 전체하폭의 2% 간격으로 하여 유량측정을 수행하였다. 또한, 결빙하에서의 연직유속분포를 조사하기 위하여 4 개 측선에 대하여 6~10점법으로 유속을 측정하였다. 그림 3은 결빙하천에서의 유속측정절차를 나타낸 것이다. 그림에 나타낸 바와 같이 유량을 측정하고자 하는 단면의 빙판위에 측선을 표시한 후(a), 표시된 측선 지점의 빙판을 천공한다(b). 유효수심을 측정하기 위해서 천공된 측선의 L-자형 자로 얼음두께와 수심을 측정한 후, 유속계를 내려 유속을 측정하는 절차로 유량측정이 수행되었다.

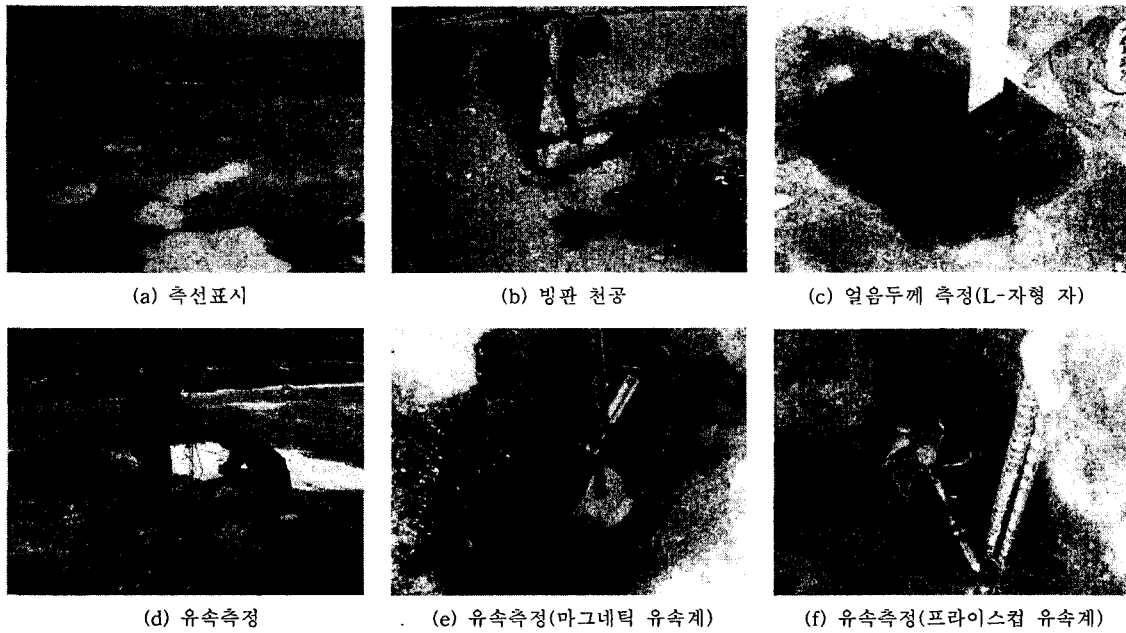


그림 3. 결빙하천에서의 유량측정 절차

4.2 측정 결과

그림 4는 측정지점중에서 비교적 수심이 깊고 유속이 큰 지점을 선정하여 연직유속분포를 측정된 결과이다. 빙판 아래에서의 전형적인 유속분포를 나타낸 그림 1과 같이 측정된 연직유속분포는 압력흐름하에서의 유속분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉, 결빙상태의 흐름특성을 고려하지 않고 비결빙시의 방법과 동일하게 평균유속 및 유량을 산정하는 경우 그 자체로 오차가 발생할 수 있다는 점을 예측할 수 있다.

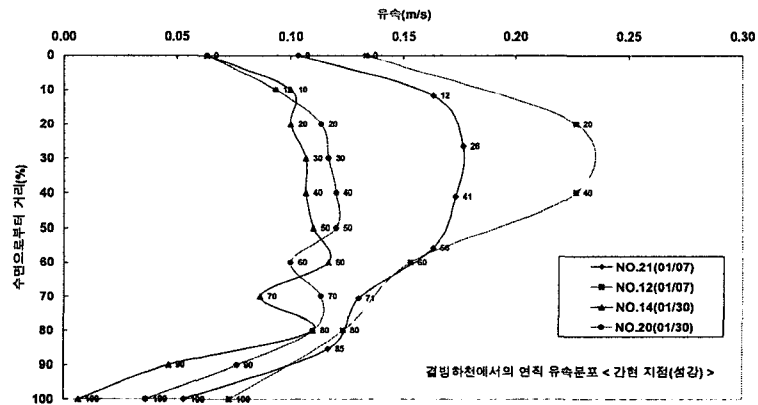


그림 4. 빙판하에서의 연직유속분포 측정 결과(성강 간헐지점)

표 2는 본 연구에서 측정된 4개 지점의 연직유속분포에 대한 유속보정계수 산정결과이다. 결빙 횟수와 측정시간의 제한 때문에 대표적인 유속보정계수를 결정하기에는 무리가 있으나 결빙하천에서 유속보정계수의 범위를 검토할 수는 있으리라 본다. 표에 나타낸 바와 같이 유속보정계수의 범위는 0.81~1.06으로 나타났으며, 4회 측정결과를 평균한 결과 0.94로 나타났다. 여기서 평균값 0.94는 USGS에서 제시하고 있는 유속보정계수 0.92보다 약간 크게 나타났다. 표에서 측정번호 3과 4의 경우, 유속보정계수의 편차가 크게 나타나는데, 이는 그림 4에 나타낸 바와 같이 0.6d 지점에서 유속이 진동하는 경향 때문에 나타난 결과라고 볼 수 있다. 유속의 진동

은 하도 형태나 하상재료의 영향을 받을 수도 있으며 유속계 자체의 측정오차일 가능성도 있다. 그림 4에 보인 바와 같이 상대적으로 유속이 작은 측선에서 연직방향으로 유속의 진동이 발생했다는 점에서 유속계 자체의 측정오차일 것이라는 것을 유추할 수도 있으나 명확한 원인 파악을 위해서는 앞으로 많은 측정이 수반되어야 할 것이다.

표 2. 측정결과를 이용한 유속보정계수 산정 결과

측정 번호	유효수심(m)	측점	평균유속 (m/s)	유속(0.6d) (m/s)	유속보정계수
1	0.68	8점	0.140	0.150	0.93
2	0.50	6점	0.150	0.160	0.94
3	1.10	10점	0.095	0.117	0.81
4	1.12	10점	0.106	0.100	1.06
평균	-	-	-	-	0.94

5. 결론

결빙하천에서의 유량측정 적용성 검토를 위하여 관련 외국 기준을 조사하고 각 기준들을 비교하였다. 조사된 기준의 일본 건설성, USGS, ISO 기준 등이며, 국내의 하천설계기준에는 결빙하천 유량측정에 관한 기준은 제시되어 있지 않았다. 기준 조사 결과, 결빙하천에서의 유량측정방법과 비결빙시의 방법간의 큰 차이점은 유속 분포가 다르다는 점 때문에 발생한다. 따라서, 비결빙시와 비교해서 수심과 평균유속을 결정하는 방법에 차이가 있었다. 수심은 실제 유량에 영향을 주는 빙판 아래부터 하상까지의 거리로 산정되며, 1점법에 대한 평균유속은 유속보정계수에 의해서 보정된다.

외국의 기준들을 분석하여 결빙하천 유량측정 절차를 수립하고 결빙시 유량을 측정하였다. 또한, 유속보정계수 산정을 위한 기초 자료 수집을 위하여 몇 개 지점에 대해서 연직 유속분포를 측정하였다. 그 결과, 자료의 개수가 제한적이기는 하나 빙판하에서 예측되는 연직유속분포를 나타냈고, 측정된 유속보정계수의 범위는 0.81~1.06이며 평균한 값은 0.94로 나타났다. 본 측정에서 얻어진 유속보정계수 0.94는 USGS에서 제시하고 있는 유속보정계수 0.92에 근접한 결과를 나타냈다.

본 연구에서의 측정결과는 일반적이고 대표적인 유속보정계수 산정을 위한 기초자료로 이용될 것이다. 향후 다양한 유량과 하도 및 하상 특성을 반영할 수 있는 측정이 수행되어 많은 자료가 축적된다면 대표적인 유속보정계수를 결정할 수 있으며, 결빙하천 유량측정시 발생할 수 있는 유량측정 오차를 최소화 할 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단이 연구비 지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었다.

참고 문헌

- 한국수자원학회, 2002, 하천설계기준
- ISO 748:1979, Liquid flow measurement in open channels - Velocity-area methods
- ISO 772:1988, Liquid flow measurement in open channels - Vocabulary and symbols
- ISO 9196:1992, Liquid flow measurement in open channels - Flow measurements under ice conditions
- USGS, 1983, Measurement and Computation of Streamflow
- USGS, 1984, Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey
- 建設省/全日本建設技術協會, 1996, 水文觀測

은 하도 형태나 하상재료의 영향을 받을 수도 있으며 유속계 자체의 측정오차일 가능성도 있다. 그림 4에 보인 바와 같이 상대적으로 유속이 작은 측선에서 연직방향으로 유속의 진동이 발생했다는 점에서 유속계 자체의 측정오차일 것이라는 것을 유추할 수도 있으나 명확한 원인 파악을 위해서는 앞으로 많은 측정이 수반되어야 할 것이다.

표 2. 측정결과를 이용한 유속보정계수 산정 결과

측정 번호	유효수심(m)	측점	평균유속 (m/s)	유속(0.6d) (m/s)	유속보정계수
1	0.68	8점	0.140	0.150	0.93
2	0.50	6점	0.150	0.160	0.94
3	1.10	10점	0.095	0.117	0.81
4	1.12	10점	0.106	0.100	1.06
평균	-	-	-	-	0.94

5. 결론

결빙하천에서의 유량측정 적용성 검토를 위하여 관련 외국 기준을 조사하고 각 기준들을 비교하였다. 조사된 기준의 일본 건설성, USGS, ISO 기준 등이며, 국내의 하천설계기준에는 결빙하천 유량측정에 관한 기준은 제시되어 있지 않았다. 기준 조사 결과, 결빙하천에서의 유량측정방법과 비결빙시의 방법간의 큰 차이점은 유속 분포가 다르다는 점 때문에 발생한다. 따라서, 비결빙시와 비교해서 수심과 평균유속을 결정하는 방법에 차이가 있었다. 수심은 실제 유량에 영향을 주는 빙판 아래부터 하상까지의 거리로 산정되며, 1점법에 대한 평균유속은 유속보정계수에 의해서 보정된다.

외국의 기준들을 분석하여 결빙하천 유량측정 절차를 수립하고 결빙시 유량을 측정하였다. 또한, 유속보정계수 산정을 위한 기초 자료 수집을 위하여 몇 개 지점에 대해서 연직 유속분포를 측정하였다. 그 결과, 자료의 개수가 제한적이기는 하나 빙판하에서 예측되는 연직유속분포를 나타냈고, 측정된 유속보정계수의 범위는 0.81~1.06이며 평균한 값은 0.94로 나타났다. 본 측정에서 얻어진 유속보정계수 0.94는 USGS에서 제시하고 있는 유속보정계수 0.92에 근접한 결과를 나타냈다.

본 연구에서의 측정결과는 일반적이고 대표적인 유속보정계수 산정을 위한 기초자료로 이용될 것이다. 향후 다양한 유량과 하도 및 하상 특성을 반영할 수 있는 측정이 수행되어 많은 자료가 축적된다면 대표적인 유속보정계수를 결정할 수 있으며, 결빙하천 유량측정시 발생할 수 있는 유량측정 오차를 최소화 할 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었다.

참고 문헌

- 한국수자원학회, 2002, 하천설계기준
- ISO 748:1979, Liquid flow measurement in open channels - Velocity-area methods
- ISO 772:1988, Liquid flow measurement in open channels - Vocabulary and symbols
- ISO 9196:1992, Liquid flow measurement in open channels - Flow measurements under ice conditions
- USGS, 1983, Measurement and Computation of Streamflow
- USGS, 1984, Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey
- 建設省/全日本建設技術協會, 1996, 水文觀測