저수 유량측정 정확도 제고 방안 검토

○김치영* 차준호* 윤광석** 김원***

1. 서론

일반적으로 평·저수기의 유량측정은 유량측정 구조물에 의한 방법, 유속계 측정에 의한 유속-면적법, 희석법 등이 사용된다. 이들 방법 중 유속-면적법은 일반 하천에서 유량측정을 위해 가장 많이 사용되는 방법으로 오래 전부터 사용되어진 전통적인 방법이다. 평·저수기의 유량측정 방법은 물의 흐름이 비교적 안정된 정상류 흐름이기 때문에 일반적인 유속계에 의해 비교적 정확한 유속 측정이 이루어진다. ISO 분석에 의하면 유량측정법 중 유속-면적법은 ±5%의 정확도를 지니는 것으로 알려져 있다.

유속-면적법에서 유량측정의 정확도에 영향을 미치는 요소는 첫째, 측정 단면의 면적을 산정하는데 발생하는 오차로 거리 측정과 수심 측정 그리고 수심측정 측선 수(Verticals)와 관련이 있다. 둘째, 평균유속에 관련된 오차로 유속측정 측선수, 측정시간, 한 측선당 유속측정 측점수에 영향을 받는다. 셋째, 기타 정확도에 영향을 미치는 요소로는 계산방법과 관련된 오차, 측정 중의 수위변화, 경계효과, 얼음, 장애물, 바람, 부적절한 장비, 부적절한 측정방법, 측선의 부적절한 분포, 부주의 등으로 인해 발생하는 오차 등으로 나누어 볼 수 있다.

정확도에 영향을 미치는 주요소는 면적 및 평균유속에 대한 오차이다. 평균유속산정과 관련된 오차는 ① 유속측점에서의 측정시간에서 기인하는 오차 ② 측선당 유속 측점수에 의해 발생하는 오차 ③ 면적산정 및 유량계산에 있어 제한된 측선수에 의해 생기는 오차이다. ISO 연구자들은 위 세가지에 대한 불확실도 분석을 시행하여 각 개별요소의 불확실도를 제시하고 있으나 사용자에 의해 각각의 불확실도 값을 구하여 사용할 것을 권하고 있다.

본 연구에서는 유량측정의 정확도에 영향을 미치는 세 가지 요소에 대한 분석을 위해 하상 구성물질, 유속범위, 유량범위 등을 고려하여 10개 측정지점을 선정하여 현장 정밀 유량측정을 시행하였다. 유량측정에 있어 측선수는 2%를 기준으로 하고 측점은 6점법을 기준으로 하여 수심과 현장상황을 고려하여 가감하였다. 측점수와 측선수에 따른 분석을 위해서는 측정시간을 60초, 측정시간에 따른 오차 분석을 위해서는 측정시간을 120초로 하였다.

2. 관련문헌의 검토

(1) 유속측정시간

유량측정시 평균 유속의 산정을 위해 필요한 시간간격에 대해서는 오래 전에 연구가 진행된 바 있다. Pierce(1941)는 실험실 수로에서 두가지 유속에 대한 시간별 변동을 조사하여 그림 1과 같은 결과를 얻은 바 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 유속은 시간적으로 일정하지 않고 지속적으로 변화하고 있는데 유속이 작은 경우 그 변화폭이 커서 평균값을 기준으로 약 +20%에서 -10%의 변동을 보이고 있다. Carter와 Anderson(1963)은 23개 하천에서의 실측결과를 통해 유속의 진동을 분석하고 진동오차는 측정시간과 측정수심에 따라 변화한다고 밝힌 바 있다. 이와 같은 측정결과는 실제 유속이 끊임없이 변화하기 때문에 유량계산을 위한 유속으로는 일정 시간 동안의 유속측정 결과에 대한 평균이 필요하다는 것을 나타내고 있는 것이다. 이와 같은 결과를 바탕으로 오래 전부터 많은 나라에서 유속측정에 필요한 시간을 유량측정기준에 정하고 있다. 국제표준기구(ISO)에서는 회전식 유속계의 경우 30초 이상, 전자기 유속계의 경우 10초 이상 한 지점에서 유속을 측정하도록 권고하고 있으며 유속이 주기적 진동을 나타낼 경우 관측시간을 증가하도록 정하고

* 한국건설기술연구원 수자원환경부 연구원
** 한국건설기술연구원 수자원환경부 선임연구원
*** 한국건설기술연구원 수자원환경부 수석연구원

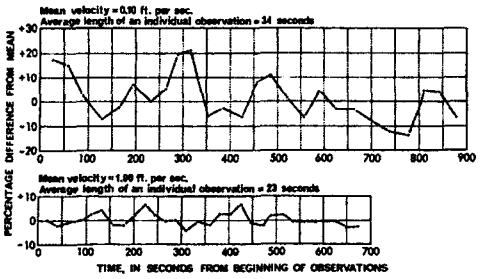

그림 1 실험실 수조에서의 유속의 시간적 변화(Pierce, 1941)

있다(ISO, 1997). 미국 지질기상국(USGS)((Rantz 등, 1982)와 세계기상기구(WMO)(WMO, 1980)에서는 한 지점에서의 유속측정 시간으로 40~70초를 권장하고 있다. 일본의 경우 1회 유속측정 시간으로 20초 이상을 권장하고 있으며 정밀측정법에서는 60초 이상을 권장하고 있다(社團法人 全日本建設技術協會, 1986). 우리나라의 경우 유량측정기준을 정하고 있는 하천설계기준에는 유속측정시간에 대한 내용이 없다.

(2) 한 측선에서의 측점수

일반적으로 하나의 측선에서 평균유속은 일점법 또는 이점법으로 결정된다. 일점법은 한 측선 내의 평균유속이 수면아래 0.6D에 해당하는 지점에서의 유속과 동일한 것으로 가정한 것이다. 마찬가지로 이점법은 측선내의 평균유속은 수면아래 0.2D 수심과 0.8D 수심의 산술평균과 동일한 것으로 간주한 것이다. 유속측정 방법 중 가장 정확한 것은 수면에서 하상까지 0.1D 간격으로 유속을 측정하는 방법으로 수직유속분포법이라한다. Carter와 Anderson(1963)은 100여개 이상의 측정지점에서 1800개의 측선에 대한 자료를 사용하여 한 측선에서 평균유속의 표준오차가 일점법의 경우 11.2%, 이점법의 경우 4.3%가 된다고 밝힌 바 있다. 이 오차는 일점법이나 이점법으로 계산된 평균유속과 진값으로 가정된 수직유속분포법으로부터의 차이에 근거를 두고 있다. 그림 2는 10점법에 의해 계산된 평균유속과 1점법, 2점법, 3점법에 의해 계산된 평균 유속과의 차이를 보여준다.

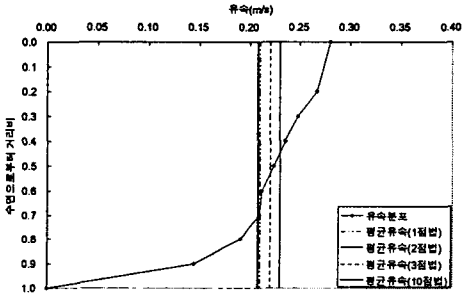

그림 2 수직 유속분포 및 평균유속

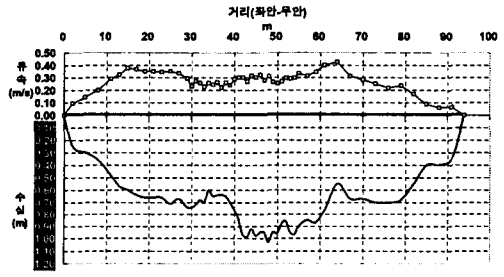

그림 3 수평 유속분포(간현)

(3) 제한된 측선수에 따른 오차 분석

그림 3은 54개의 측선에 대하여 수심과 유속에 대한 수평분포를 나타낸 것이다. 유속-면적법은 측선사이의 수심과 유속에 대하여 선형성과 균일성을 가정한 것이다. 일반적으로 유량계산은 제한된 측선수에 의해 계산이 이루어진다. USGS는 20개 이상의 측선을 사용하여 유량을 계산하도록 하고 있으며, 국내 하천설계기준은 하폭별로 10% 내외의 측선수를 이용하여 유량을 계산하도록 규정하고 있다. 따라서 측선사이의 수심과 유속의 선형성의 가정으로 인하여 오차가 발생하며, 이와 같은 가정에 따른 오차분석은 Carter와 Anderson(1963), Hershy(1971) 등을 포함한 연구자들에 연구된 바가 있다. ISO(1979)는 연구자들의 결과를 바탕으로 수평분포 오차에 대한 표준을 제안한 바 있다.

3. 현장 정밀 유량측정

본 연구에서 유량측정시 제한된 측정시간, 한 측선에서의 제한된 측점수, 제한된 측선수에 따른 오차를 분석하기 위하여 탄천 등 9지점에서 총 11회 현장 정밀 유량측정을 시행하였다. 표1은 측정지점 및 측정지점의 현황을 나타낸 것이다.

제한된 측정시간에 따른 오차분석을 위하여 유속범위별로 120초동안 10초 단위로 측정하였으며, 한측선에서 제한된 측점수에 따른 오차분석을 위하여 6점법에 의하여 시행하였다. 그리고 제한된 측선에 따른 오차분석을 위하여 하폭의 2%이하 측정을 원칙으로 하고, 현장상황에 따라 감하여 측정하였다.

(1). 제한된 측정시간에 따른 오차

표 1 현장 정밀 유량측정 지점

측정지점	하폭(m)	유속범위 (m/s)	최대수심 (m)	유량 (cms)	하상
탄천(3회)	약 90m	0.2-0.3	0.9	13	모래
섬진강(죽곡)	약 30m	0.2-0.3	0.8	2.5	호박돌
섬진강(송정)	약 60m	0.2-1.0	0.8	14.8	호박돌
섬진강(압록)	약 35m	0.2-1.0	0.6	9.4	모래+호박돌
복하천(복하교)	약 40m	0.1-0.2	0.6	2.2	모래
청미천(원부교)	약 40m	0.3-0.6	0.6	6.4	모래
섬강(간현)	약 60m	0.3-0.8	0.9	12.4	호박돌
달천(괴산댐)	약 80m	0.2-0.4	1.0	13.9	호박돌
섬강(횡성댐)	약 40m	0.3-0.4	0.5	3.5	자갈+모래

그림 4는 제한 측정시간에 따른 오차를 분석한 결과이다. 측정시간이 짧을수록 상대편차가 큰 것을 알 수 있다. 특히 유속이 0.2m/sec 보다 작은 경우에는 10초 동안 측정한 값은 120초 동안 측정한 값에 비해 ±18%의 편차를 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 경향은 측정시간이 늘어날수록 줄어들어 40초 평균유속에 대해서는 ±10%의 편차를 가지는 것으로 나타났다. 유속규모별로 편차가 크게 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 유속이 빨라질수록 편차의 폭은 줄어들며 특히 0.9m/sec 이상인 경우 측정시간 10초에서도 편차가 ±5%로 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 4는 이와 같은 경향을 정리한 것으로서 유속규모에 따른 편차를 보여주고 있다. 전체적으로 ±10% 이내의 편차를 가지기 위해서는 40초 이상의 측정시간이 필요한 것으로 나타나고 있는데 이와 같은 결과는 USGS에서 측정시간으로 권장하고 있는 40~70초와 유사한 것이다. 반면 일본이나 ISO 기준보다는 필요한 측정시간이 좀더 길게 나타났다.

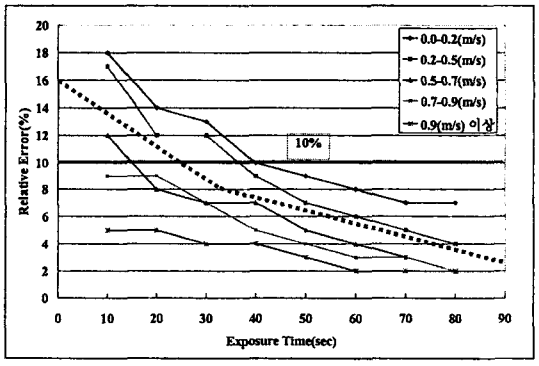

그림 4 제한된 측정시간에 따른 상대오차

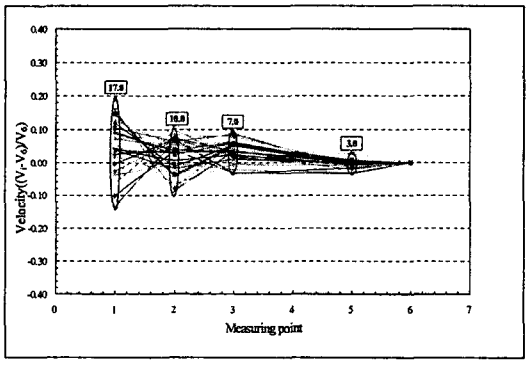

그림 5 제한된 측점수에 따른 상대오차

표 2 측선수에 따른 불확실도

측선수	ISO	본 연구
10	9	10.5
15	6	8.0
20	5	5.0
25	4	3.0
30	3	2.5
35	2	2.0
40	2	1.5
45	2	1.0

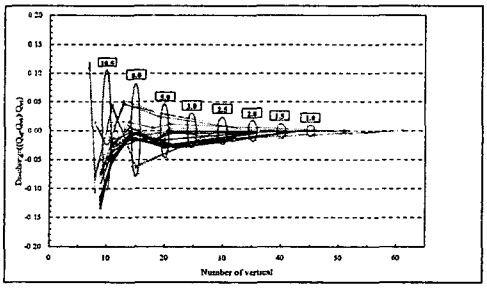

그림 6 제한된 측선수에 따른 상대오차

(2) 제한된 측점수에 따른 오차

그림 5은 6점법에 의해 계산된 평균유속을 한 측선에서 진평균유속으로 가정하고 상대오차를 분석한 결과이다. 진평균유속으로 가정한 6점법에 의해서 산정된 평균유속에 대하여 1점법, 2점법, 3점법의 상대오차는 17.0, 10.0, 7.0%로 나타났으며, 이는 ISO 분석결과인 15, 7, 6%보다 조금 높은 값을 나타냈다. 대부분의 국내외 기준의 경우 수심에 따라 1점법, 2점법을 결정하여 사용하도록 규정하고 있다. 이는 수심에 따라 1점법, 2점법에 의해 계산된 평균유속이 유속분포법에 의해

계산된 결과와 가까운 값을 가진다는 결과에 기초하고 있다. 향후 이에 대한 연구를 통하여 1점법, 2점법, 3점법 결정에 대한 선택에 대한 기준을 제시해 줄 필요가 있다.

(3) 제한된 측선수에 따른 오차

제한된 측선수에 따른 오차분석을 위하여 측선간격이 2%이하가 되도록 측정하여야 한다. 그러나 측정조건에 있어 어려움이 있는 측정지점의 경우 측선수를 감소시켜 측정을 시행하였다. 측정된 측선수에 의해 산정된 유량을 진유량으로 가정하고 측선수를 감소시켜 가정된 진유량과의 상대오차를 구하였다. 산정된 결과는 그림 6 제시하였다. 표 2에 제시한 ISO 결과와 유사한 결과를 얻었으며, 5%이하의 정확도를 확보하기 위해서는 20개 이상의 측선이 필요한 것으로 나타났다. 이는 USGS의 기준과 유사한 결과이다.

4. 결론

본 연구에서는 유량측정을 위해 가장 많이 사용되는 유속-면적법에서 제한된 유속측정시간에 따른 오차, 제한된 측점수에 따른 오차, 제한된 측선수에 따른 오차분석을 현장 실측을 통하여 분석하였다. 분석결과 측정시간과 관련해서는 유속규모별로 편차의 크기가 많이 다르게 나타났는데 유속이 빠를수록 측정시간에 대한 편차는 작게 나타났으며 유속이 느릴수록 편차는 크게 나타났다. 따라서 유속이 느린 경우에는 비교적 긴 시간 동안 유속을 측정해야만 적절한 정확도의 평균유속을 측정할 수 있는 것으로 판단되며, 유속이 1.0m/sec 이하인 경우 측정편차를 ±10% 이내로 줄이기 위해서는 최소 40초 이상 유속을 측정해야 하는 것으로 나타났다. 또한 측점수와 관련하여서는 일반적으로 사용하고 있는 1점법, 2점법, 3점법에 대하여 분석한 결과 각 17%, 10%, 7%로 ISO에서 제시하고 있는 값과 유사하게 나왔으며, 이후 수심에 따른 제한된 측점수 분석을 통하여 1점법과 2점법 혹은 3점법 사용의 경계가 되는 수심 기준을 제시할 수 있을 것이다. 제한된 측선수 분석 결과 5% 이하의 정확도를 얻기 위해서는 20개 이상의 측선수를 요구하는 것으로 나타났다.

위의 개별요소들의 불확실도 분석은 개별요소의 조합에 의해 전체 불확실도로 해석될 수 있다. 유량 측정자는 위의 연구를 기반으로 개별 측정에 대하여 정확도 수준을 결정할 수 있어 개별 유량측정의 정확도 등급을 판단할 수 있다. 정확도 판단에 따라 적정 수준의 유량측정 정확도를 확보한 유량측정을 수행할 수 있을 것이며, 이에 따라 국내 저수유량 측정 정확도를 제고할 수 있을 것으로 사료된다. 참고로 USGS는 다음과 같은 등급을 사용하고 있다.

① Excellent(2% 이내의 불확실도), ② Good(5% 이내) ③ Fair(8%이내) ④ Poor(8% 이상)

5. 감사의 글

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

6. 참고문헌

Carter, R.W., and Anderson, I.E.(1963) Accuracy of current meter measurement, Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, HY4, Part 1, pp.105-115.

ISO(1997) ISO748 Liquid flow measurement in open channels by velocity area methods

Pierce, C.H.(1941) Investigations of methods and equipment used in stream gauging, Part 1, Performance of current meters in water of shallow depth, U.S. Geological Survey Water supply Paper 868-A, pp.35.

Rantz and others(1982) Measurement and computation of streamflow : Volume 1. Measurement of stage and discharge, U.S. Geological Survey Water-supply Paper 2175.

Sauer, V.B, and Meyer, R.W.(1992) Determination of error in individual discharge measurements, Open-File Report 92-144, U.S. Geological Survey.

社團法人 全日本建設技術協會(1986) 水文觀測