

유량측정 기기별 측정성과에 대한 실험적 비교분석

이 재 혁* / 이 석 호** / 정 성 원*** / 김 태 웅****[†]

Experimental Comparison and Analysis of Measurement Results Using Various Flow Meters

Lee, Jae Hyug* / Lee, Suk Ho** / Jung, Sung Won*** / Kim, Tae-Woong****[†]

요약 : 유량자료는 물의 순환과정을 규명하고 효율적인 수자원 개발 및 이수·치수 계획 등에 매우 귀중하게 이용된다. 그러나 이러한 유량자료를 확보하는데 많은 시간과 경비 등이 요구되기 때문에 주요 수위에서 유량자료는 수위-유량관계곡선식(Stage-Discharge Curve)을 개발하여 유량을 산정하고 있다. 따라서 수위-유량관계곡선식의 신뢰도는 유량자료의 품질에 절대적인 영향을 미치는 요인으로 작용된다. 수문학을 전공하고 연구하는 많은 학자들은 고품질의 유량자료를 생산하여 신뢰성 있는 곡선식을 개발하고자 유량측정 방법과 기준, 장비개발 및 개량 등에 관한 연구를 수행하고 있다. 현재 국내에서는 다양한 유량측정기기를 사용하여 유량자료를 생산하고 활용하고 있으나, 측정기기별 정확도 및 실험적 측정성과에 대한 연구자료가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 규격화된 콘크리트 수로에 일정한 유량을 흘려보내는 조건에서 다양한 측정기기를 이용하여 유속을 측정하였다. 그리고 이 측정성과를 이용하여 유량을 산정하고 비교분석하였다. 실험을 위해서 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 측정기기로 프라이스 유속계(USGS Type AA Current Meter), 휴대용 유량계(Flow Meter), 초음파식 디지털 유속계(ADC), C2 유속계(C2 Small Current Meter), 플로우 트래커(Flow Tracker), 마그네틱 유속계(Electromagnetic Current Meter) 등의 장비를 사용하여 유량을 산정하였으며, 각 기기별 산정된 유량을 비교·분석 하였다. 비교검토에 적용하고자 측정 한 수심으로는 0.30 m, 0.35 m, 0.40 m, 0.45 m, 0.50 m, 0.55 m의 왕복측정 6-Case로 진행이 되었으며, 신뢰성과 정확도를 높이기 위해 도침법으로 수면에서 0.6d 지점의 유량측정방법(1점법)을 적용하였다. USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter는 유속측정기기의 검교정을 받았으므로 다른 실험유량측정치의 비교를 위한 기준값으로 사용하였다. 따라서 국내에서 널리 사용되는 측정기기(USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter, Flow Tracker, Electromagnetic Current meter)별 검토 결과 평균유량 및 평균유속에 있어 프라이스 유속계를 기준으로 마그네틱 유속계 $\pm 10\%$ 이상, 플로우 트래커 $\pm 10\%$ 미만, 휴대용 유량계, 초음파식 디지털 유속계 및 C2 유속계는 $\pm 5\%$ 미만의 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 수위-유량관계곡선식, 프라이스유속계, 휴대용유량계, 초음파식 디지털 유속계, C2유속계, 플로우트래커, 마그네틱유속계

Abstract : Discharge data examine the process of hydrologic cycle and used significantly in water resource planning and irrigation and flood control planning. However, it needs lots of time and money to get the discharge data. So discharge rating curve is usually used in converting discharge data. Therefore reliability of discharge rating curve absolutely depends on quality of discharge data. Many engineers who study hydrologic engineering make high quality discharge data to develop reliable discharge rating curve. And they carry out research on standard and method of discharge measurement, and equipment improvement. Now various flow meters are utilized to make

+ Corresponding author : twkim72@hanyang.ac.kr

* 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정/유량조사사업단 유량조사실 한강그룹 연구조원
Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engineering., Hanyang Univ, Seoul, 133-791, Korea

** 유량조사사업단 유량조사실 한강그룹 그룹장
Researcher, Kintexszone 301, 2239, Daehwa-Dong, Ilsans대-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-806, Korea

*** 유량조사사업단 단장
Senior Director, Kintexszone 301, 2239, Daehwa-Dong, Ilsans대-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-806, Korea

**** 교신저자·한양대학교 건설환경공학과 조교수

Corresponding Author, Assistant Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering., Hanyang Univ, Ansan 426-791, Korea

discharge data in Korea. However, accuracy of equipment and experimental research data from measurement are not enough. In this paper, constant discharge flowed through standard concrete channel, and the velocity is measured using various flow meters. Also Discharge is calculated by measured data to compare and analyze. The equipment for the experiment is Price AA(USGS Type AA Current meter), flow meter, ADC, C2 small current meter, flow tracker, Electromagnetic current meter. The discharge got form various flow meters which are widely used for discharge measurement. The various depths of water were examined and compared such as 0.30 m, 0.35 m, 0.40 m, 0.45 m, 0.50 m, 0.55 m. The experiment progresses a round-measurement on 6-case. Wading measurement(one point method : the 60 % height in surface of the water) was applied to improve creditability and accuracy among measurement methods. USGS Type AA current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current meter got the certificate of quality guaranteed. So the results of experiment were used to compare discharge. The Results showed the difference based on USGS Type AA current Meter at average discharge and velocity. Electromagnetic current meter made differences over $\pm 10\%$ and Flow Meter made differences under $\pm 10\%$. Also ADC, Flow Meter, C2 Small Current meter made differences under $\pm 5\%$.

Keywords : Stage-Discharge Curve, USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter, Flow Tracker, Electromagnetic Current Meter

1. 서 론

정확하고 신뢰성 있는 유량자료의 확보는 물의 순환과정을 규명하고 효율적인 수자원 개발 및 이수·치수 계획 등에 매우 귀중하게 이용된다. 하지만 이러한 유량자료의 확보에는 많은 시간과 경비 등이 요구되며, 유량측정이 이루어지는 전기간(평수위, 저수위, 갈수위) 중 국내에서 일반적으로 사용하는 USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter, Flow Tracker, Electromagnetic Current Meter 등의 장비를 이용하여 기기별 측정성과에 대한 유량을 검토하고자 한다. 6종의 측정기기를 사용하였으며, Flow Tracker 및 Electromagnetic Current Meter를 제외한 USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter는 검교정을 통한 검정식(USGS Type AA Current Meter의 검정식 $VA = 0.67348 \times (N/T) - 0.00350$)을 사용하여 유량을 산정하였다. 본 연구에서는 일정한 유량을 공급하고 각 측정기기로부터 측정된 유속과 산정된 유량을 비교 분석하였다.

2. 연구목적 및 방법

본 연구에서는 전기간 유량측정에 있어 각각의

측정 기기별 측정성과에 대한 실험적 유량의 차이를 알고자 규격화된 콘크리트 수로에서 유량공급 장치로부터 일정 유량을 공급하여 단계적인 수위 조절을 하였으며, 기기별 유량측정을 실시하였다. 본 연구의 목적은 실제 자연하천에서 유량 측정시 기기가 가지고 있는 기본적인 측정 자료를 고려하여 좀 더 정확하고 신뢰성 있는 유량 자료를 확보함과 동시에 수문학의 기초자료로 이용될 수 있도록 하는데 있다. 측정방법으로는 도섭법(Wading Measurement)에 의하거나 케이블웨이(Cableway), 교량법(Bridge Measurement), 보트법(boat Measurement) 등이 있으나, 신뢰성과 정확도를 높이기 위해 도섭법으로 수면에서 0.6d 지점의 유량측정방법(1점법)을 적용하였다.

3. 수리실험

3.1 수리실험 장치

본 연구에서 사용한 실험수로 제원은 Fig. 1과 같이 하천의 수위를 제시하며 정량화된 물의 흐름을 유도하여 유량을 재현 가능한 수위계 및 수문의 전경을 나타냈으며, Fig. 2는 수면폭 13 m, 하도길이 500 m이상의 하도 중 직선구간으로 구간의 흐름이 비교적 안정적이며 물리적인 간섭을 최소화 할 수 있는 하도의 일부 구간이다. 유량측정에 있어 국내에서 일반적으로 사용되고 있는

USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter, Flow Tracker, Electromagnetic Current Meter 등의 장비를 사용하였으며, 측정 수심은 0.30 m, 0.35 m, 0.40 m, 0.45 m, 0.50 m, 0.55 m의 왕복측정

6-Case로 다양한 유량확보를 위해 측정 간격을 조절하여 방류량을 증가하였고, 동일한 조건에서 도섭을 통한 유량측정을 실시하였다. Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4는 규격화된 콘크리트 수로 제원을 나타낸다.



Level meter Controller box

Fig. 1 Level meter Controller box

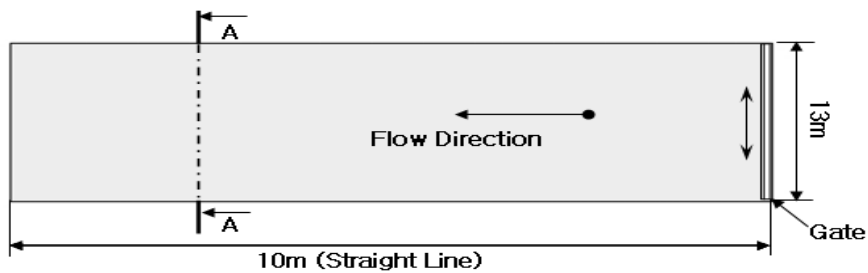


Fig. 2 Dimension of Hydraulic experiment

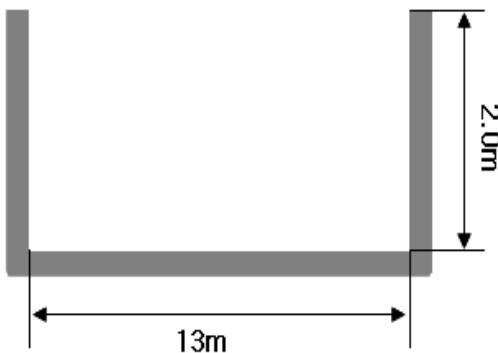


Fig. 3 A-A Cross section

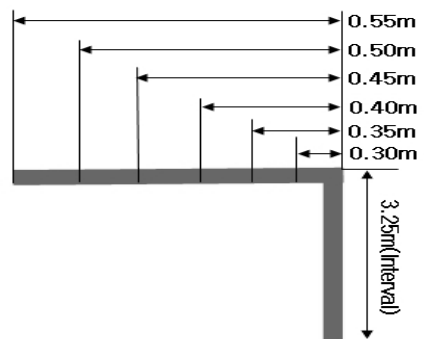


Fig. 4 Measurement range and distance

3.2 측정기기별 특성

본 연구에서 사용된 측정기기는 (a) USGS

Type AA Current Meter, (b) Flow Meter, (c) ADC, (d) C2 Small Current Meter, (e) Flow Tracker, (f) Electromagnetic Current Meter 등

의 기기를 사용하였다. Table. 1에 제시되어 있는 각 기기별 측정 가능한 수심, 유량측정에 있어 측정 지점에서의 현장온도 등 기기별 특성에 따른 유속의 범위 내에서 측정이 이루어 졌으며, 국내

에서 시행하는 검교정을 통한 일부 기기를 사용함으로써 실험적 측정성과를 얻을 수 있었다. Fig. 5는 수리실험 측정기기를 나타내었다.

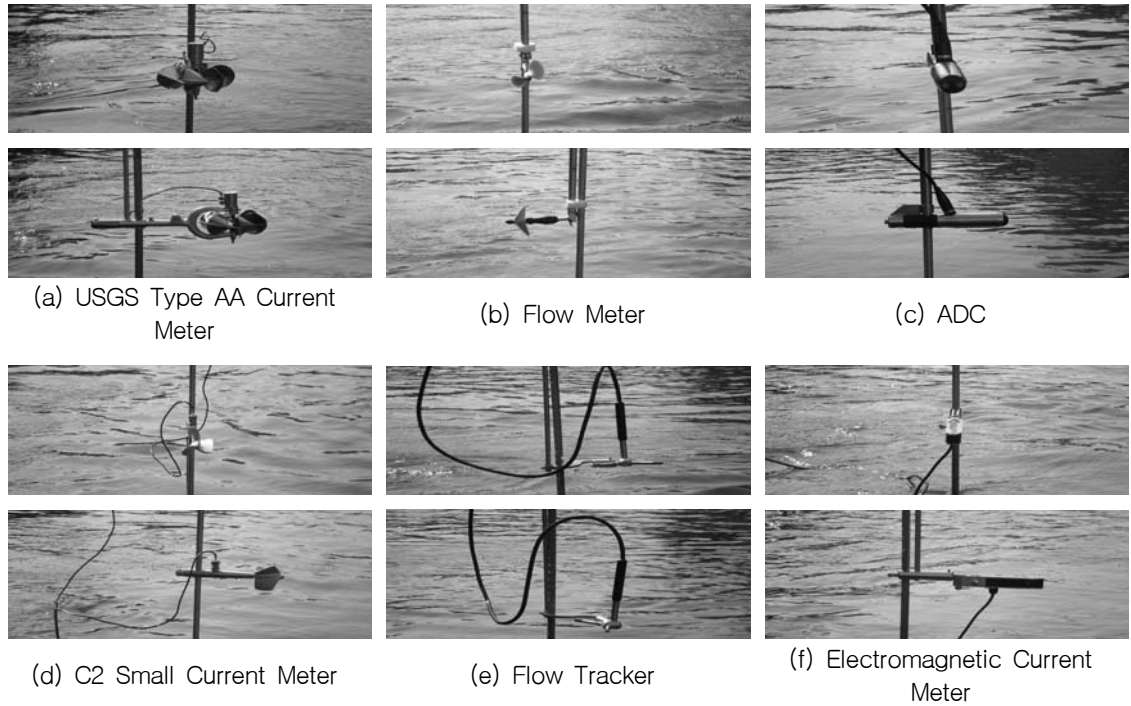


Fig. 5 Measuring instrument for Hydraulic experiment

Table. 1 Characteristics according to measuring equipment

Name	Water velocity measurement (Range)	Depth measurement (Range)	Temperature measurement (Range)	Accuracy	Test Report
USGS Type AA Current Meter(a)	0.03 m/s to 7.5 m/s	0 to 1.2 m	- 20 ℃ to 70 ℃	± 1 %	Yes
Flow Meter(b)	0.03 m/s to 7.5m/s	0 to 1.5 m	- 17.8 ℃ to 149 ℃	± 1 %	Yes
ADC(c)	- 0.2 m/s to 2.4 m/s	0 to 5.0 m	- 5 ℃ to 35 ℃	± 1 %	Yes
C2 Small Current Meter(d)	0.025 m/s to 2.0 m/s	0 to 1.5 m	- 20 ℃ to 60 ℃	± 0.01 % or ± 0.5 %	Yes
Flow Tracker(e)	0.001 m/s to 5.0 m/s	0 to 1.2 m	- 20 ℃ to 50 ℃	± 1 %	No
Electromagnetic Current Meter(f)	0.5 m/s to 5.0 m/s	0 to 1.2 m	0 ℃ to 50 ℃	-	No

3.3 수리실험 조건 및 방법

본 연구에서는 규격화된 콘크리트 수로에서 실험이 이루어 졌으며, 수위조절용 수문을 통하여 일정한 유량을 공급하여 기기별 측정성과를 얻었고, 다음과 같은 실험 조건으로 유량측정을 실시하였다.

수리실험에 이용된 수로는 규격화된 면적과 유량 조절이 가능한 배수갑문의 형태를 지닌다. 따라서 본 연구에서는 평균수위 0.30 m, 0.35 m, 0.40 m, 0.45 m, 0.50 m, 0.55 m의 왕복측정 6-Case로 단계적으로 방류량을 조절하여 유량측정이 이루어 졌으며, 도섭법을 통한 점적분법의 평균유속 산정 방법을 적용하였다. 평균유속 산정 방법(1점법 : 수면으로 부터 수심(d)의 0.6d 아래 $V_m = V_{0.6}$, 2점법 : 수면으로 부터 수심(d)의 0.2d, 0.8d 아래 $V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2}$, 3점법 : 수면

으로 부터 수심(d)의 0.2d, 0.6d, 0.8d 아래 $V_m = \frac{(V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8})}{4}$, 4점법 : 수면으로 부터 수심(d)의 0.2d, 0.4d, 0.6d, 0.8d 아래 $V_m = \frac{1}{5} [(V_{0.2} + V_{0.4} + V_{0.6} + V_{0.8}) + \frac{1}{2}(V_{0.2} + V_{0.8})]$, 5 점법 : 수면으로 부터 수심(d)의 0.2d, 0.6d, 0.8d와 수면, 하상바닥의 아주 가까운 위치 $V_m = 0.1(V_{surrace} + 3V_{0.2} + 3V_{0.6} + 2V_{0.8} + V_{abd})$, 6점법 : 수면으로 부터 수심(d)의 0.2d, 0.4d, 0.6d, 0.8d와 수면, 하상바닥의 아주 가까운 위치 $V_m = 0.1(V_{surrace} + 2V_{0.2} + 2V_{0.4} + 2V_{0.6} + V_{0.8} + V_{abd})$) 을 사용하여 수면에서 60 %의 1점법을 관계식으로 이용하여 유량을 산정하였다. Fig. 6은 수리실험 측정사진들로 규격화된 콘크리트 수로에서 단계적인 방류량 조절을 통한 기기별 유량측정 광경이며, Table. 2는 수리실험의 조건 및 범위의 예이다.

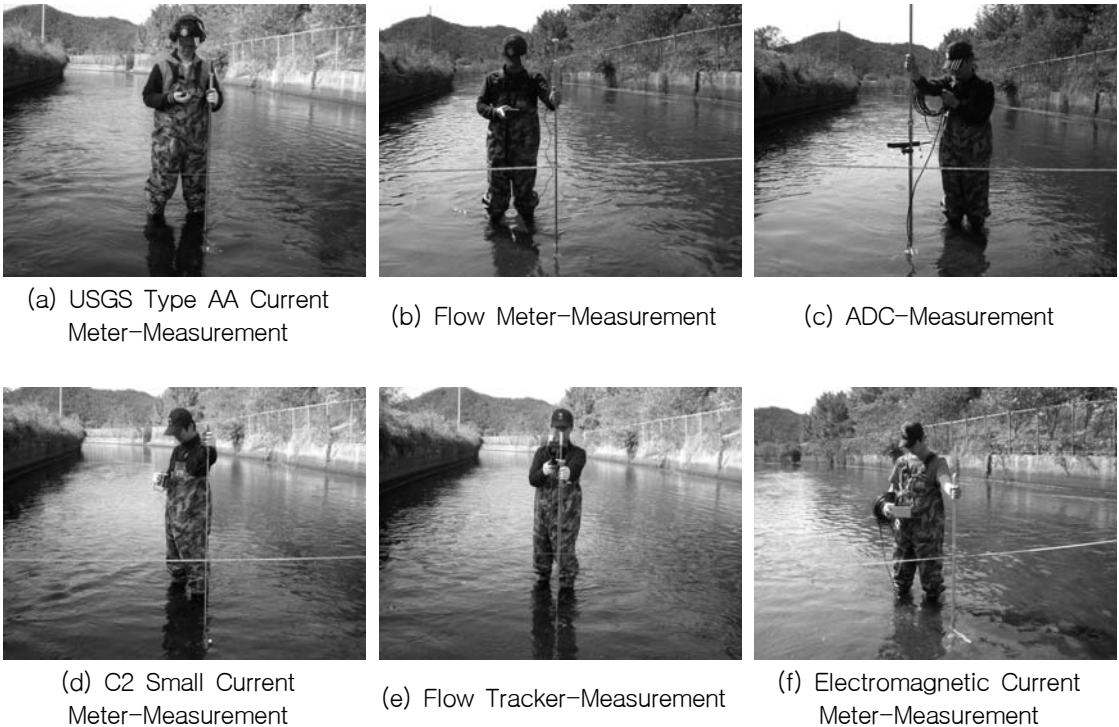


Fig. 6 Figure of Hydraulic experiment

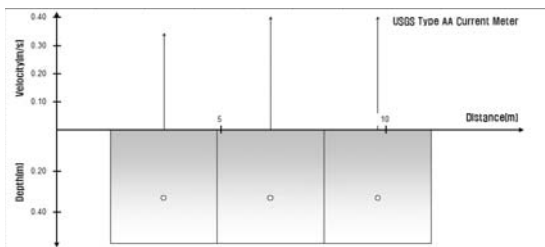
Table. 2 Condition and range of Hydraulic experiment (Ex: average water level 0.45 m)

Name	Width(m)	Cross Sectional Area(m ²)	Mean Velocity(m/s)	Average Flow(m ³ /s)
USGS Type AA Current Meter	13	4.388	0.326	1.429
Flow Meter	13	4.388	0.328	1.439
ADC	13	4.388	0.317	1.389
C2 Small Current Meter	13	4.388	0.338	1.481
Flow Tracker	13	4.388	0.330	1.447
Electromagnetic Current Meter	13	4.388	0.421	1.846

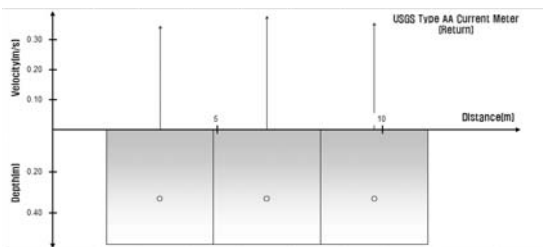
3.4 수리실험결과 검토

수리실험을 통해 방류량에 따른 기기별[USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, Small Current Meter, Flow Tracker, Electromagnetic Current Meter] 유량측정을 실시하였으며, 기기별 측정성과에 대한 비교분석을 하였다. 따라서 평균수위 0.35 m의 기기별 왕복 측정성과는 (a, a')프라이스 유속계(0.917 m³/s), (b, b')휴대용 유량계(0.915 m³/s), (c, c')초음파식 디지털 유속계(0.926 m³/s), (d, d')C2 유속계(0.937 m³/s), (e, e')플로우 트래커(1.027 m³/s), (f, f')마그네틱 유속계(1.246 m³/s)의 유량(Q)이 산정되었고, 평균유속은 프라이스 유속계(0.268 m/s), 휴대용 유량계(0.268 m/s), 초음파식 디지털 유속계(0.271 m/s), C2 유속계(0.275 m/s), 플로우 트래커(0.301 m/s), 마그네틱 유속계(0.385 m/s)의 유속(V)이 측정되었으며, 평균수위 0.45 m의 기기별 측정성과는 (a)프라이스 유속계(1.429 m³/s), (b)휴대용 유량계(1.439 m³/s), (c)초음파식 디지털 유속계(1.389 m³/s), (d)C2 유속계(1.481 m³/s), (e)플로우 트래커(1.447 m³/s), (f)마그네틱 유속계(1.846 m³/s)의 유량(Q)을 보였고, 평균유속은 프라이스 유속계(0.326 m/s), 휴대용 유량계(0.328 m/s), 초음파식 디지털 유속계(0.317 m/s), C2 유속계(0.338 m/s), 플로우 트래커(0.330 m/s), 마그네틱 유속계(0.421 m/s)의 유속(V)을 보여주었다. Fig. 7은 왕복측정성과에 대한 수심에 따른 유속 분포도이며, Fig. 8은 기기별 유량에 대한 그래프를 나타내었다.

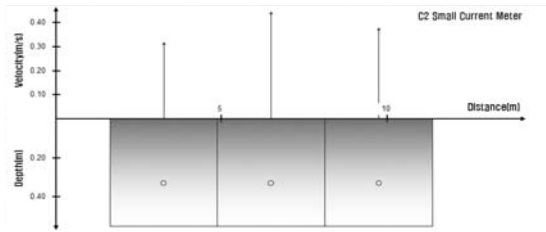
털 유속계(0.271 m/s), C2 유속계(0.275 m/s), 플로우 트래커(0.301 m/s), 마그네틱 유속계(0.385 m/s)의 유속(V)이 측정되었으며, 평균수위 0.45 m의 기기별 측정성과는 (a)프라이스 유속계(1.429 m³/s), (b)휴대용 유량계(1.439 m³/s), (c)초음파식 디지털 유속계(1.389 m³/s), (d)C2 유속계(1.481 m³/s), (e)플로우 트래커(1.447 m³/s), (f)마그네틱 유속계(1.846 m³/s)의 유량(Q)을 보였고, 평균유속은 프라이스 유속계(0.326 m/s), 휴대용 유량계(0.328 m/s), 초음파식 디지털 유속계(0.317 m/s), C2 유속계(0.338 m/s), 플로우 트래커(0.330 m/s), 마그네틱 유속계(0.421 m/s)의 유속(V)을 보여주었다. Fig. 7은 왕복측정성과에 대한 수심에 따른 유속 분포도이며, Fig. 8은 기기별 유량에 대한 그래프를 나타내었다.



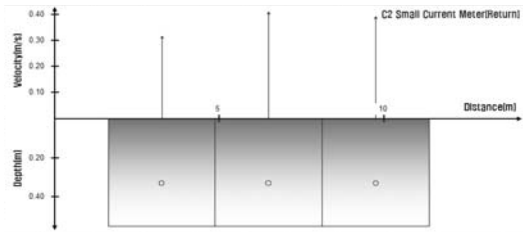
(a) USGS Type AA Current Meter Velocity distribution map



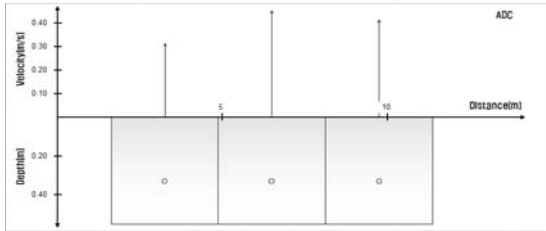
(a-a') USGS Type AA Current Meter Velocity distribution map



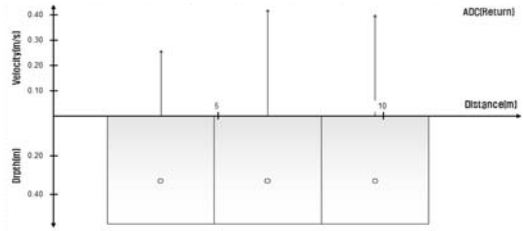
(b) C2 Small Current Meter Velocity distribution map



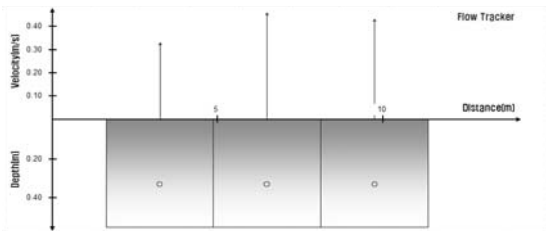
(b-b') C2 Small Current Meter Velocity distribution map



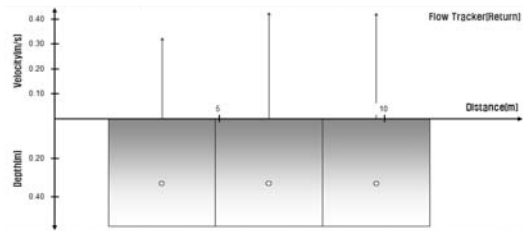
(c) ADC Velocity distribution map



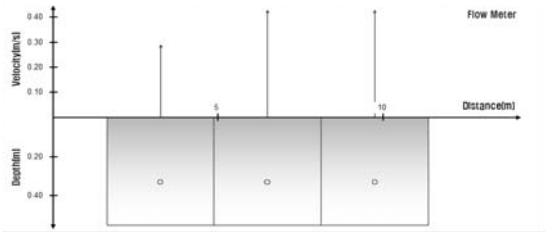
(c-c') ADC Velocity distribution map



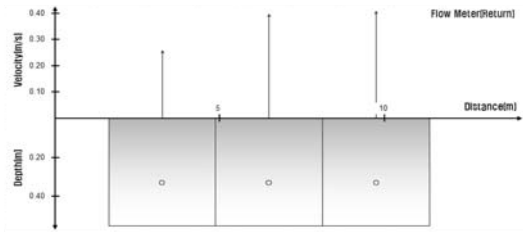
(d) Flow Tracker Velocity distribution map



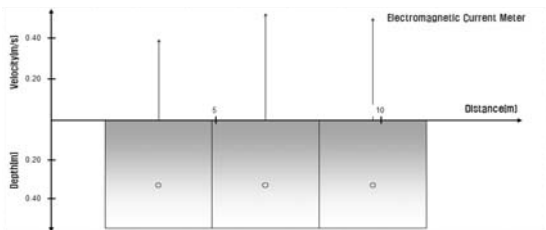
(d-d') Flow Tracker Velocity distribution map



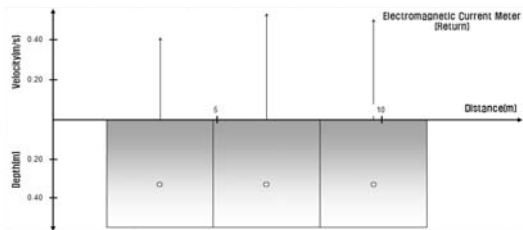
(e) Flow Meter Velocity distribution map



(e-e') Flow Meter Velocity distribution map

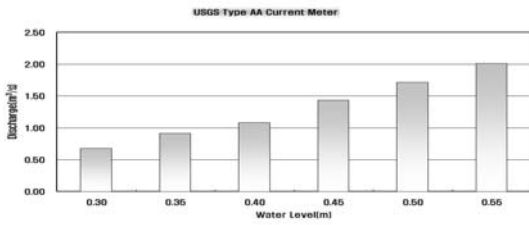


(f) Electromagnetic Current Meter Velocity distribution map

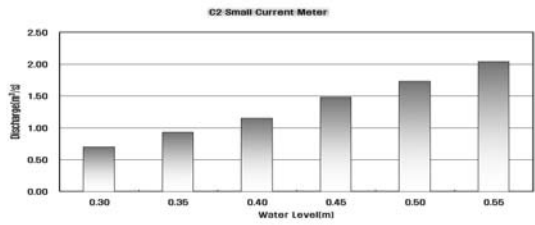


(f-f') Electromagnetic Current Meter Velocity distribution map

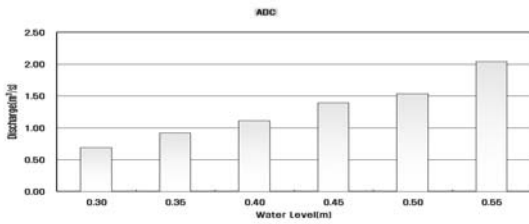
Fig. 8 Velocity distribution map about average depth 0.55m



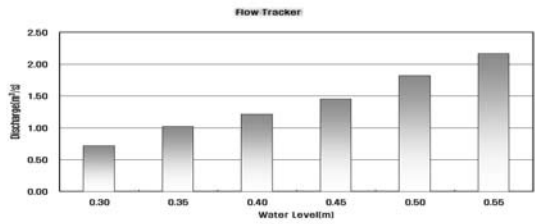
(a) USGS Type AA Current Meter measurement



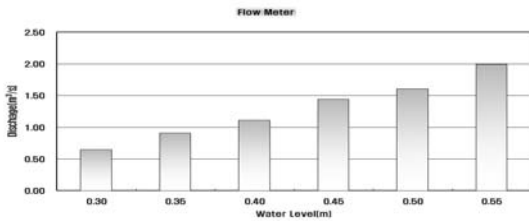
(b) C2 Small Current Meter measurement



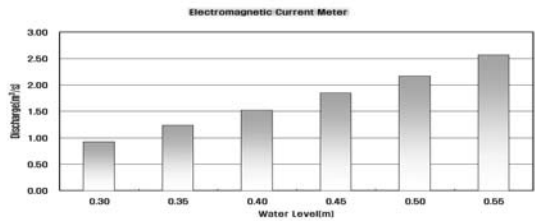
(c) ADC measurement



(d) Flow Tracker measurement



(e) Flow Meter measurement



(f) Electromagnetic Current Meter measurement

Fig. 8 Measurement graph

4. 결 론

본 연구에서는 규격화된 콘크리트 수로에서 일정한 유량을 공급하였으며, 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 측정기기로 USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter, Flow Tracker, Electromagnetic Current Meter 등의 측정기기를 사용하여 유량측정을 실시하였으며, 신뢰성과 정확도를 높이기 위해 도섭법으로 왕복측정을 하였으며, 수면에서 0.6d 지점의 유량측정방법(1점법)을 적용하였다.

Flow Tracker 및 Electromagnetic Current Meter를 제외한 USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter는 검교정을 통한 검정식(USGS Type AA Current Meter의 검정식 $VA = 0.67348 \times (N/T) - 0.00350$)을 사용하여 유량을 산정하였으며, 가장 널리 사용되는 USGS Type AA Current Meter를 기준 값으로 사용하였다. 따라서 국내에서 사용되는 측정기기(USGS Type AA Current Meter, Flow Meter, ADC, C2 Small Current Meter, Flow Tracker, Electromagnetic

Current meter)별 검토 결과 평균유량 및 평균유속에 있어 프라이스유속계를 기준으로 마그네틱유속계 $\pm 10\%$ 이상, 플로우트랙터 $\pm 10\%$ 미만, 휴대용유량계, 초음파식 디지털 유속계 및 C2유속계는 $\pm 5\%$ 미만의 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구에 협조해 주신 한국농촌공사(전북지역본부) 관계자들과 수위조절용 배수갑문이용과 수리실험을 할 수 있게 구조물 사용을 적극 협조하여 주심으로 본 실험을 가능케 할 수 있는 점 감

사드립니다.

참고 문헌

국토해양부(2007) 2007 유량조사보고서
 국토해양부 영산강홍수통제소(2007) 영산, 탐진강 유량측정용역 보고서
 윤용남(2007) 수문학 기초와 응용 청문각
 정중호, 윤용남(2008) 수자원설계실무 구미서관
 Streamflow Measurement Manual, TR 2004-01

- 논문접수일 : 09년 11월 03일
- 심사의뢰일 : 09년 11월 06일
- 심사완료일 : 10년 04월 30일