

## 비접촉식 수위계를 위한 이동형 교정시스템 개발

홍성택\* · 신강욱

### Development of Portable Calibration System for Non-Contact Water Meters

Sung-Taek Hong\* · Gang-Wook Shin

K-water Institute, 462-1, Jeonmin-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon, 34045, Korea

#### 요 약

댐 및 하천의 안정적인 운영은 국민의 생명 및 재산과 직결되는 상황으로 수문관측 데이터 신뢰성 확보는 안전재난 대비에 필수 요소이며, 과학적이고 신뢰성 있는 수자원 관리를 위하여 수위 데이터에 대한 실시간 자료 확보와 신뢰성 있는 데이터가 필요하나, 현재 운영되고 있는 댐이나 하천 상하류의 수위계는 신뢰성 확보를 위하여 현장에서 검교정이나 보정 등이 쉽지 않은 실정이다. K-water 연구원에서는 유량계, 우량계, 수위계에 대한 국제공인 교정기관으로 운영중에 있으며, 우량계는 표준교정실 및 현장교정시스템을 이용하여 표준실 및 현장교정을 하고 있으나, 수위계는 표준교정실에서 실내 교정만 수행하고, 현장교정은 현장교정 절차서 및 시스템의 부재로 현장 교정을 하지 못하는 실정이다. 따라서, 수위계를 현장에서 교정할 수 있는 표준교정절차서 및 시스템을 개발하여, 수문관측 데이터의 신뢰성을 향상시키고자 한다.

#### ABSTRACT

Stable operation of the dam and the river is directly related to the life and property of citizens, and hydrological observation data reliability is essential to the safety against disaster. Even though real-time data acquisition with high accuracy is needed for scientific and reliable water resources management, currently operating water gauges installed on the upper and down stream of dams or rivers are not easy to be calibrated or corrected on site to ensure higher reliability. K-water Institute has been operating an international accredited calibration laboratory for flows meters, rainfall and water gauges. Rainfall gauges are calibrated in the fixed standard room or on-site. However, due to the absence of on-site calibration procedure and system, on-site calibration for the water gauges are performed by an external agency. Therefore, a development of standard calibration procedure and system for on-site calibration of water gauges is needed to improve the reliability of observed hydrological data.

**키워드** : 수문관측, 이동형, 비접촉식, 수위계, 교정시스템

**Key word** : Hydrological Observation, Portable, Non Contact, Water Meter, Calibration System

Received 09 May 2016, Revised 12 May 2016, Accepted 01 June 2016

\* Corresponding Author Sung-taek Hong(E-mail: sthong@kwater.or.kr, Tel:+82-42-870-7681)

K-water Institute, 462-1, Jeonmin-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon, 34045, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.9.1808>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

강우와 수위 데이터는 홍수기를 비롯한 평상시의 댐 운영에 가장 중요한 자료로 활용되고 있으며, 우리나라에서 수문관측 시설물을 설치·운영중인 주요기관으로는 K-water를 비롯한 국토교통부, 행정자치부, 기상청 등으로 수위관측국은 표 1과 같이 약 620여 개소에 이른다[1, 2].

Table. 1 Water level observation station status

River	MOLIT	K-water	KRCC	NIER	KHNP	Total
Total	476	140	4	2	7	618
Han River	122	27			6	155
AnsungCheon	11					11
Namdaecheon	2					2
Ohsipcheon	1	1				2
Nakdong River	110	56		2		168
Hyeongsan	6	1				7
Taehwa River	5	4				9
Hoeya River	2					2
Geum River	80	14	2			96
Sapgyocheon	18		1			19
Mangyeung River	16	2				18
Dongjin River	13		1			14
Seomjin River	26	12			1	39
Yongsan River	43	2				45
Tamjin River	4	3				7
oher	16	19				35

※ 출처 : 국토교통부 수문조사연보(2014년 기준)

이러한 수문관측국에서 관측된 자료는 국가의 모든 이·치수계획, 설계, 운영 그리고 홍수예경보 등에 필요한 수자원 기초조사로서 매우 중요하게 활용되고 있다. 지금까지 수자원 기초자료의 신뢰성 제고를 위하여 수위계의 형식과 품질기준에 대한 연구가 진행되고 있다[3, 4].

수자원관리를 위하여 수위 데이터에 대한 실시간 자료 확보와 신뢰성 있는 데이터가 필요하나, 현재 운영되고 있는 댐 상하류의 수위계는 한번 설치되면 검정이나 보정 등의 신뢰성 확보를 위한 노력이 어려운 실정이다. K-water 연구원에서는 유량계, 우량계, 수위계에 대한 국제공인 교정기관으로 운영중에 있으며, 수위계는 표준교정실에서 실내 교정만 수행하고, 현장교정은 현장교정 절차서 및 시스템의 부재로 현장 교정을 하지

못하는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 댐 및 하천 운영에 많이 사용되고 있는 레이더식, 초음파식 수위계 등 비접촉식 수위계에 대하여 현장에서 교정이 가능하도록 이동형 교정시스템을 개발하였으며, 이를 바탕으로 댐 운영에 중요한 데이터로 활용되고 있는 수위 데이터의 신뢰성 있는 자료 확보와 일관성 있는 자료관리가 가능하도록 품질관리 기반을 구축할 예정이다.

## II. 수위계

### 2.1. 수위계의 분류

수위계는 물의 높이를 재는 기구를 총칭하며, 주로 하천이나 댐에서 물의 높이를 측정하거나, 하천의 유량을 얻기 위한 수단으로 사용되며, 표 2와 같이 운영방식과 측정방식으로 분류할 수 있다[5].

Table. 2 The type and operating principle of the water meters

Division	Type	Description
Direct reading	Staff gauge	Water level readings indicated a staff gauge
	Float	Water level read by the flute in line with buoyant
Pressure	Reed switch	Reed contacts used by the buzzer
	Differential pressure	Atmospheric pressure using differential pressure measurement
Electronic	Air purge	Pressure by using air pressure
	Electrostatic capacity	Capacitance measurement by the dielectric constant of the liquid above
Ultrasonic	Electrode	Electrical conductivity measured by the electrodes
	Ultrasonic wave	Ultrasonic transit time measurement
Radiation	Sound wave	Transmission time measurement of the sound wave
	Irradiation	The use of radiation reflected wave
Microwave	Transmission	Radiation transmittance measurement
	Laser	Transmission propagation time measurement of the microwave
Radar	Laser	Transmission time difference measurement of the laser
	Radar	Echo time difference measurements of radar signals

운영방식에 의하여 분류하면 연중 수위를 계속하여 관측하는 자기 수위계와 보통 수위계(수위표)가 있고,

홍수 등 특정 시기에 수위를 관측하는 보조 수위계가 있다. 보통 수위계는 기둥을 세우고 여기에 눈금판을 부착하여 고정하거나, 교량의 교각 또는 교대 등에 눈금판을 색인하며, 눈금판의 눈금단위는 1 cm로 되어 있다. 자기 수위계는 견고한 기초위에 설치하거나 교량의 교각 등에 매달아 설치하며, 자기 수위계 기기가 설치되어 있는 주요부는 최대 홍수위 발생시에도 침수되지 않는 높이로 설치하고, 기록부의 눈금 단위는 1 cm로 되어 있다. 측정방식에 의하여 분류하면 직접 눈금을 읽을 수 있는 직독식과 플루트의 부력에 의한 부자식, 대기압이나 공기압을 이용하는 압력식, 전기적인 성질을 이용하는 전자식, 음파 및 초음파를 이용하는 초음파식, 방사선을 이용하는 방사선식, 레이더를 매개체로 하는 레이더식 등이 있다.

2.2. K-water 수위계

K-water에서는 그림 1과 같이 소양강댐을 비롯한 20개의 다목적 및 15개의 용수공급댐의 수위를 관측할 수 있도록 주 182대, 보조 28대 등 210여대의 수위계를 설치하여 운영중에 있다. 또한 그림 2와 같이 부자식이 113대로 54%를 차지하며, 레이더식이 48대로 23%, 초음파식이 11대로 5%를 차지하고 있다.

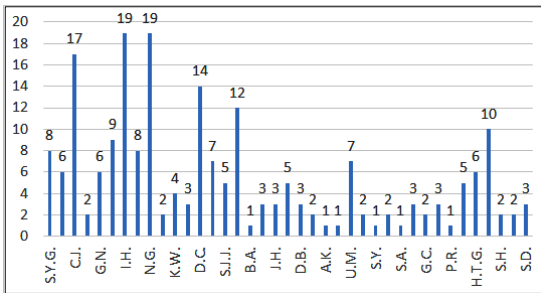


Fig. 1 K-water Dam water meters status

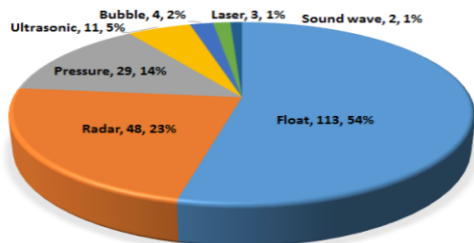


Fig. 2 K-water water meters type Status

2.3. 수위계 검정 유효기간

수문조사기기는 하천법 제 19조에 의하여 검정기관의 검정을 받아 합격한 것에 대하여 사용할 수 있다. 또한 하천법 시행규칙 제10조에 의하여 국가교정업무전담기관에서 교정을 받은 제품을 사용할 수 있고, 수위계의 검정 유효기간은 3년으로 규정되어 있다.

Ⅲ. 비접촉식 수위계 이동형 교정시스템

3.1. 교정 개념

레이더식 수위계 및 초음파식 수위계 등 비접촉식 수위계를 현장에서 교정하기 위한 이동형 교정시스템은 국가표준 소급성이 확보된 레이저거리측정기(EDM : Electro-optic Distance Meter)를 표준기로 정하고, EDM을 통하여 측정된 값과 비접촉식 피교정 수위계가 측정값을 상호 비교분석하여 불확도를 산출해 내는 개념이다. 이때 EDM 및 피교정수위계는 동일한 교정테이블에 위치하며, 동일한 타겟을 목표로 거리를 측정한다.

비접촉식 수위계 이동형 교정시스템의 교정 개념은 그림 3과 같이 표준기 및 피교정 수위계는 교정테이블에 고정되어 있고, 타겟을 수평방향으로 이동하면서 상호 측정되는 값을 이용하여 불확도를 산출하도록 되어 있다.

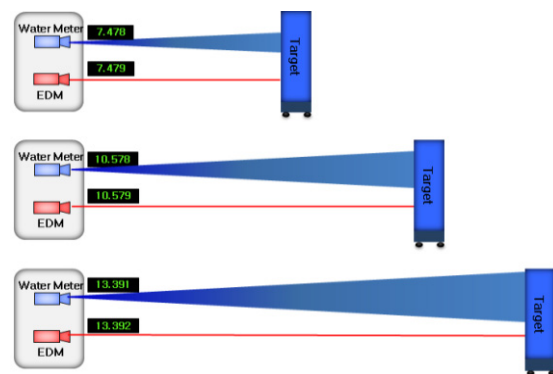


Fig. 3 The concept of mobile Non-contact water meters calibration system

3.2. 교정시스템 모델식 산출

비접촉식 수위계 이동형 교정시스템의 모델식은 그림 4의 개념도를 바탕으로 구해진다[6-8].

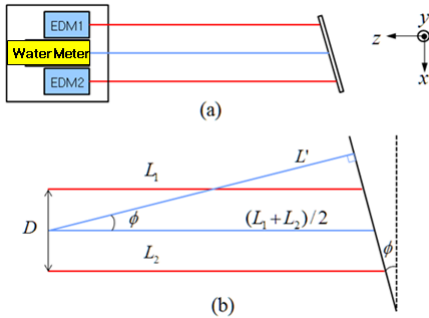


Fig. 4 The concept of the model calculation formula

x축에 의한 회전  $\theta$ 까지 추가로 고려하면  $L'$ 는 식 (1)과 같이 된다.

$$L' = \frac{L_1 + L_2}{2} \times \cos\phi \times \cos\theta \quad (1)$$

최종적으로,  $L'$ 는 식 (2)와 같이 된다.

$$L' = \frac{L_1 + L_2}{2} \times \cos \left[ \tan^{-1} \left( \frac{L_2 - L_1}{D} \right) \right] \times \cos\theta \quad (2)$$

따라서 수위계의 보정값은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B = \frac{L_1 + L_2}{2} \times \cos \left[ \tan^{-1} \left( \frac{L_2 - L_1}{D} \right) \right] \times \cos\theta - L' \quad (3)$$

### 3.3. 시스템 설계 및 구현

비접촉식 수위계 이동형 교정시스템은 기존 표준교정실의 수위계를 수직으로 측정하던 방식에서 수평으로 측정하는 개념으로 바꾸어 설계를 하였으며, 표준기와 피교정 수위계를 동일한 교정테이블에 위치시키고, 일정한 거리로 이동할 수 있는 타겟을 설치하도록 구성하였으며, 교정테이블의 표준기와 피교정 수위계로부터 타겟까지의 거리를 동시에 측정하여 불확도를 산출할 수 있도록 시스템을 구현하였다. 구성도는 그림 5와 같으며, 운영 PC에 교정 S/W를 탑재하고, 레이저식 및 초음파식의 수위계를 교정할 수 있도록 구성하였으며, 그림 6과 같이 비접촉식 수위계 이동형 교정시스템을 설계하였고, 그림 7과 같이 제작하였다.

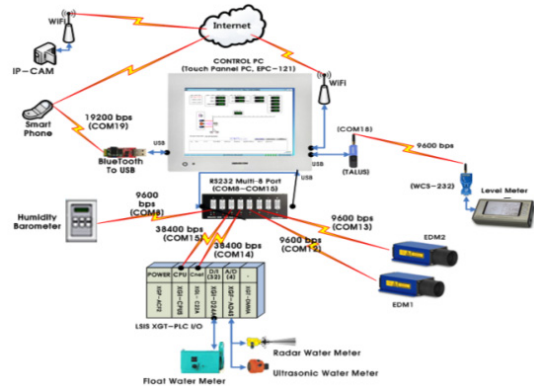


Fig. 5 Block diagram of the calibration system

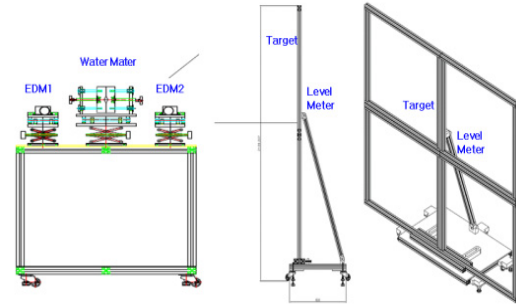


Fig. 6 Schematic of the calibration system

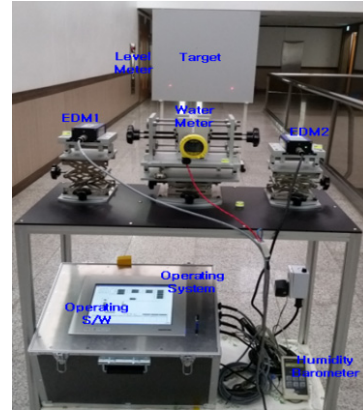


Fig. 7 The production calibration system

### 3.4. 시스템 특성

비접촉식 수위계 이동형 교정시스템의 측정범위는 0.5 m ~ 15 m이며, 교정방법은 기준 거리 측정기인 레이저거리측정기와 피교정 수위계의 측정값 상호 비교

하여 불확도를 계산하는 방식이다.

교정시스템에 필요한 표준장비는 표 3과 같으며, 기타 교정에 필요한 장비는 표 4와 같다.

**Table. 3** Standard equipment specifications and performance of the calibration system

Devices		Ranges
EDM		0 m ~ 300 m
Level Meter		+30 ° ~ -30 °
Humidity Barometer	Temperature	-40 °C ~ +60 °C
	Humidity	0 % R.H. ~ 100 % R.H.
	Pressure	225 hPa ~ 1 125 hPa
Straightedge		0 m ~ 1 m

**Table. 4** Other equipment specifications and performance of the calibration system

Device	Specification
Data Processing System	-Intel Atom D525 1.8GHz, 12.1 inch TFT LCD -Input : Finger/Gloved finger/Stylus pen
PLC (LSIS XGT)	-Power(XGP-ACF2) -CPU(XGI-CPUS) -C-NET(XGL-C22A) -D/I(XGI-D24A) -A/I(XGF-AD4S) -D/I Terminal Block -D/I Terminal Cable -Base(4slot)
Multiport (Multi-8U RS232)	-Interface : RS232 -Ports : 8 -Rates : 921.6Kbps(Max.)
Mode m	TALUS (USB to Bluetooth) -Bluetooth Spec. Ver4.0 + EDR -Ranges : Max. 100m -USB 2.0 Hi-Speed
	WCS-232 (Serial to Bluetooth) -Rates : 230.4Kbps(Max.) -RS232 to Bluetooth

**3.5. 교정 S/W**

(1) IoT 기반 교정데이터 처리 및 교정상황 서비스를 제공하기 위하여 다음과 같은 기능이 있다.

- IoT 기반의 교정 데이터 처리 기능
- 레벨계 등 IoT 기반 무선전송시스템을 통한 데이터 계측
- 교정 상황, 성적서 발급 등 SMS 및 영상 서비스 제공을 위한 전송시스템을 통한 교정상황 서비스 제공 기능

(2) 계측된 데이터를 수집하기 위하여 설비별 통신 프로토콜이 다음과 같이 개발되었다.

- 레이저거리측정기(EDM)의 계측신호 수집을 위한 프로토콜 개발
  - 초음파 및 레이더식 수위계의 계측신호(RS-232, 4~20mA, HART, 직독식을 위한 key-in 방안 등) 수집을 위한 프로토콜 개발
  - 레벨계의 계측신호 수집을 위한 프로토콜 개발
  - 계측된 데이터를 통한 보정값 환산 기능
- (3) 모든 통신 프로토콜 프로그램은 DLL로 작성하였으며, 입력-출력을 규격화하여 향후 추가 및 유지보수가 용이하다.

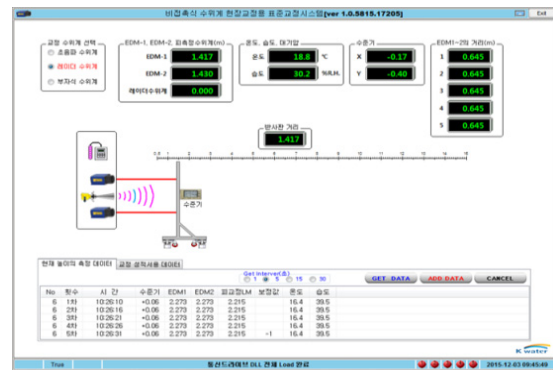
(4) GUI(Graphic User Interface) 프로그램 제작

- 수위계 현장교정을 실시하는 GUI 화면 제작
- 수위계 종류별로 교정을 할 수 있는 기능
- 프로그램 내부의 주요 파라메타에 대한 설정 및 변경을 하는 기능
- 기준기 값과 비교하여 보정값을 산출하는 기능

(5) 데이터 리포팅 기능

- 수위계 현장교정을 실시한 후 데이터를 저장하는 기능과 후에 이 데이터를 확인하는 기능
- 교정결과를 엑셀파일로 저장

비접촉식 수위계 이동형 교정시스템의 교정 S/W의 주화면은 그림 8과 같으며, 교정시스템의 측정센서들과 교정 S/W와는 실시간으로 RS-232C 통신, 무선 블루투스 통신 및 4~20 mA의 신호는 PLC와 통신하여 데이터를 취득한다.



**Fig. 8** Calibration Operating S/W

취득된 데이터는 엑셀프로그램으로 처리되어 그림 9의 교정성적서와 같이 자동으로 입력되고 저장되도록 제작되었다.

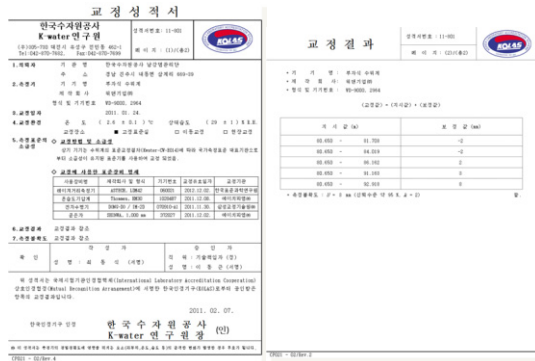


Fig. 9 Calibration certificate (example)

3.6. 교정절차

제작된 이동형 교정시스템을 이용하여 그림 10과 같이 비접촉식 수위계 교정절차서를 개발하였다.

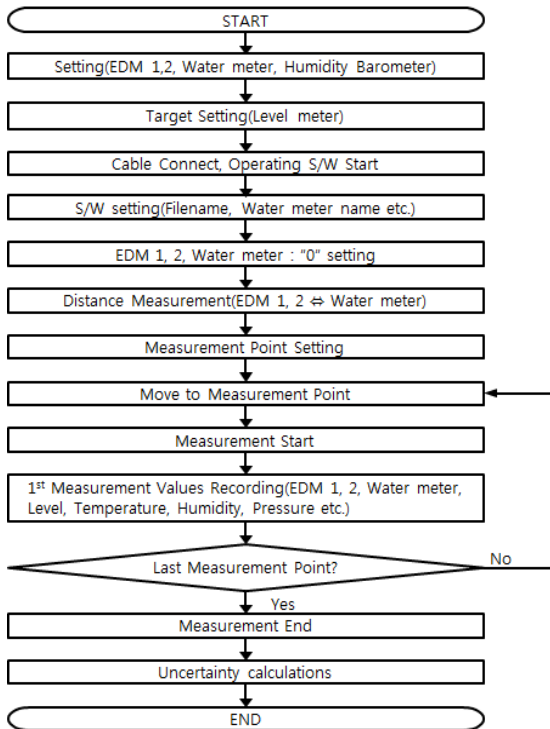


Fig. 10 Calibration Procedure Flowchart

IV. 성능시험 및 분석

4.1. 성능시험 개요

성능시험용으로 사용된 피교정 수위계는 K-water 연구원에서 보유하고 있는 레이더식 수위계로 특성은 다음과 같다.

- 기기명 : 레이더 수위계
- 제작회사 : VEGA
- 형식 및 기기번호 : VEGAPLUS 62, 15176708

4.2. 측정데이터

측정된 데이터는 표 5 ~ 8과 같으며, 표 5의 1차 시험 데이터와 표 6의 2차 시험데이터는 각각 2010년과 2013년에 측정심사용 제출된 데이터이며, K-water 연구원의 표준교정실에서 측정된 데이터이다[9].

표 7과 표 8의 데이터는 2015년도에 신규로 개발된 비접촉식 수위계 이동형 교정시스템으로 측정된 데이터이며, 시험은 그림 11과 같이 실시하였다.

Table. 5 1st Test (Measuring test data submitted in 2010)

Indication Values(m)		Correction Values(mm)	
1.506	-	2.255	1
1.506	-	3.454	2
1.506	-	5.920	1
1.506	-	6.843	2
1.506	-	9.281	3

Table. 6 2nd test (Measuring test data submitted in 2013)

Indication Values(m)		Correction Values(mm)	
1.517	-	2.262	1
1.517	-	4.151	1
1.517	-	5.927	1
1.517	-	7.701	1
1.517	-	9.928	2

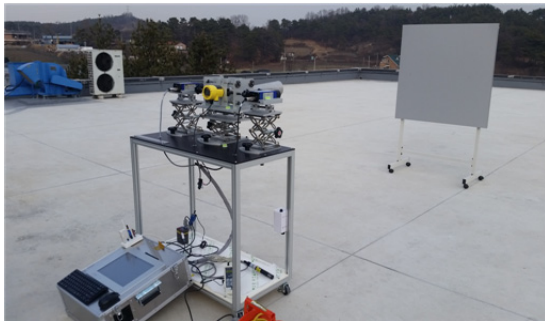
Table. 7 3rd test (Calibration System Data submitted in 2015)

Indication Values(m)		Correction Values(mm)	
0.612	-	2.423	-3
0.612	-	3.968	1
0.612	-	5.414	1
0.612	-	6.934	3
0.612	-	8.726	5



**Table. 8** 4th Test (calibration system data submitted in 2015)

Indication Values(m)		Correction Values(mm)
0.674	- 3.076	-1
0.674	- 6.153	0
0.674	- 9.126	3
0.674	- 12.087	5
0.674	- 14.926	7

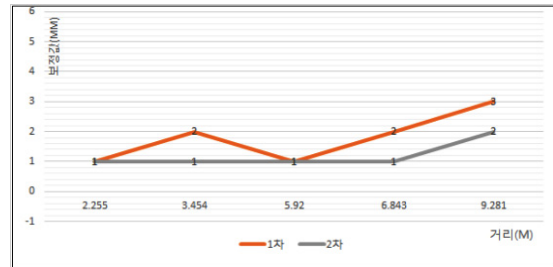


**Fig. 11** Performance tests of the calibration system

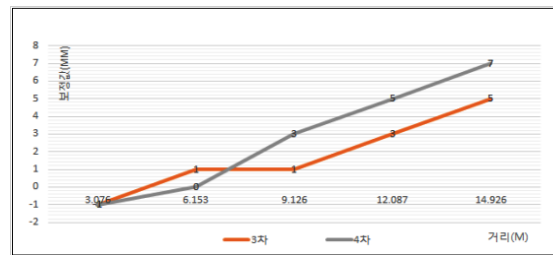
#### 4.3. 성능시험 결과분석

표 5의 2010년과 표 6의 2013년에 측정심사용으로 제출하였던 표준교정실의 데이터와 2015년 새로 제작된 이동형 교정시스템으로 교정한 결과인 표 7 및 표 8을 상호 비교하였으며, 성능시험은 측정거리가 멀어져도 보정값은 0이 되어야 가장 이상적이지만, 현실적으로는 어려운 상황이며, 측정거리가 멀어질수록 보정값이 약간씩 커지는 경향이 있다. 표 5와 표 6의 표준교정실의 데이터처럼 표 7과 표 8의 이동형 교정시스템에서도 같은 현상이 나타났다. 이는 표준교정실의 시스템만큼 이동형 교정시스템도 정밀하다는 뜻이다.

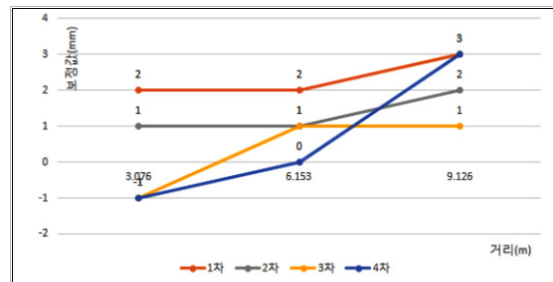
그림 12의 표준교정실의 보정값 그래프와 그림 13의 이동형 교정시스템의 보정값 그래프를 비교해 보면 이동형 교정시스템의 보정값이 더 크게 보일 수 있으나, 이는 측정 거리가 다르기 때문이다. 즉, 표준교정실의 측정거리는 약 10 m까지 였으나, 이동형 교정시스템에서는 측정거리는 약 15 m 정도이다. 따라서 약 10 m 거리의 보정값을 비교해 보면 그림 14와 같으며, 표준교정실의 데이터와 이동형 교정시스템의 데이터가 크게 다르지 않음을 알 수 있다.



**Fig. 12** The Standard Calibration System measured correction value



**Fig. 13** The Portable Calibration System measured correction value



**Fig. 14** Comparison of the correction value in the same interval

## V. 결 론

본 논문에서는 과학적이고 신뢰성 있는 수자원 관리를 위하여 수위 데이터에 대한 실시간 자료 확보와 신뢰성 있는 데이터가 필요성이 증가되는 시점에서 비접촉식 수위계에 대한 이동형 교정시스템 및 교정절차서 개발을 하였다. 개발된 교정시스템은 이동형으로 현장에 직접 가지고 가서 교정을 할 수 있는 시스템으로 측정데이터의 원격측정 및 교정상황 등을 실시간으로 전송하기 위한 IoT의 최신 기술을 접목시켰다.

본 연구를 통하여 수문관측 데이터의 신뢰성을 향상 시키자 하였다. 향후 한국인정기구(KOLAS)의 인정을 통하여 교정기관 인정을 받아 현장교정 등에 활용할 예정이다, 정부 3.0에 기반한 홍수재해 통합관리사업 및 유관기관간 자료연계를 하고자 한다.

## REFERENCES

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Korea Annual Hydrological Report," Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013.
- [2] National Emergency Management Agency, "Annual Report on Disaster," National Emergency Management Agency, 2013.
- [3] K-Water, "The basis for reliable water water meters and rain gauges sword compensation measures for improving research (2nd year)," K-Water, 2001.
- [4] K-Water, "water meters water meters using the standard test device characterization dml," K-Water, 2007
- [5] The Ministry of Construction and Transportation, "Hydrological observation manual," The Ministry of Construction and Transportation, 2004.
- [6] Korea Research Institute of Standards and Science, "Guide to the expression of uncertainty in measurement and length field practice," Korea Research Institute of Standards and Science, 2006.
- [7] Korea Laboratory Accreditation Scheme, "Guidelines for maintaining the traceability of the measurement results," Korea Laboratory Accreditation Scheme, 2012.
- [8] Korea Laboratory Accreditation Scheme, "Guidelines for field testing measurement uncertainty estimation," Korea Laboratory Accreditation Scheme, 2012.
- [9] G.W. Shin, S.T. Hong, "Best measurement capability and standard test facility for the water-level gauges," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, vol. 13, no. 10, pp. 1012-1017, Oct. 2007.



**홍성택(Sung-Taek Hong)**

1996.4 ~ 한국수자원공사 책임연구원  
 1993.2 한밭대학교 전자공학과 학사  
 1995.8 한밭대학교 전자공학과 석사  
 2007.8 충북대학교 전자공학과 박사수료  
 ※ 관심분야 : 위성통신, IoT, 원격감시제어 및 센서응용 기술



**신강욱(Gang-Wook Shin)**

1993.2 ~ 한국수자원공사 수석연구원  
 1987.2 동국대학교 전자공학과 학사  
 1993.2 홍익대학교 전자공학과 석사  
 2005.2 홍익대학교 전기공학과 박사  
 ※ 관심분야 : 플랜트제어 및 응용, 모델링, 지능제어, 원격감시제어, 센서응용