

부자식 수위계를 위한 이동형 교정시스템의 수학 모델

홍성택* · 신강욱

Mathematical Model Expression of Portable Calibration System for Float Type Water Level Meters

Sung-taek Hong* · Gang-wook Shin

K-water Convergence Institute, 125 1689 beon-gil, Yuseong-daero, Yuseong-Gu, Daejeon, 34045, Republic of Korea

요 약

K-water에서는 2008년부터 부자식 및 초음파, 레이더식의 수위계에 대한 ISO 17025 국제공인 교정기관을 운영하고 있다. 현재까지 수위계의 교정은 고정표준실에서 실내 교정만이 가능하였으며, 이는 현장 등의 실외에서 교정하는 시스템의 부재가 원인이었다. 따라서 현장에서도 교정이 가능하도록 2015년에 이동형 교정시스템을 개발하였으며, 2016년에 각종 심사 및 위원회를 거쳐 한국인정기구(KOLAS)로부터 인정을 받았다. 본 논문에서는 한국인정기구로부터 인정받은 수위계 이동형 교정시스템 중 부자식 수위계를 현장에서 교정할 수 있는 교정시스템에 대하여 표준기 및 측정과 관련한 제반 사항에 대하여 검토하였다. 또한 설계의 기반이 되는 수학 모델을 도출하였으며, 이동형 교정시스템 구축을 통하여 수문관측 데이터에 대한 과학적인 시스템 운영으로 측정 데이터의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

ABSTRACT

K-water have been operating as an International accredited calibration organization for ISO 17025 regarding float, ultrasonic and radar type since 2008. Due to the absence of on-site calibration system, water level meter could only be calibrated from a laboratory. Therefore K-water institute developed an mobile calibration system for water-level meter in 2015 to calibrate the water-level meter on site. The mobile calibration system was certificated by KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme) in 2016. In this paper a mobile calibration system, which is a method to calibrate float type water level meter on site, is established. A mathematical equation was derived by reviewing characteristics of standard equipment and measurement. By developing the mobile calibration system, it is possible to achieve reliability of data through scientific system operation on hydrological data

키워드 : 부자식, 수위계, 이동형, 교정시스템, 수학 모델

Key word : Float Type, Water Level Meter, Portable, Calibration System, Mathematical Model

Received 09 June 2017, Revised 05 July 2017, Accepted 18 July 2017

* 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 <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1964>

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. 서 론

수문관측 데이터는 국가의 모든 이·치수계획, 설계, 운영 그리고 홍수예경보 등에 필요한 수자원 기초조사로서 매우 중요하게 활용되고 있다. 이 때문에 수문조사기기는 하천법 제 19조에 의하여 검정기관의 검정 또는 교정기관의 교정을 받아 적격된 것에 대하여 사용할 수 있다. 또한 하천법 시행규칙 제10조에 의하여 국가교정업무전담기관에서 교정을 받은 제품을 사용할 수 있고, 수위계의 검정 유효기간은 3년으로 규정되어 있다.

수위 데이터는 댐 및 하천 운영에서 가장 중요한 자료로 활용되고 있으며, 우리나라에서 수문관측 시설물을 설치·운영중인 수위관측국은 표 1과 같이 약 650여 개소에 이르며, 주요기관으로는 K-water를 비롯한 국토교통부, 환경부, 한국수력원자력, 한국농어촌공사 등이 다[1,2].

Table. 1 Water level observation station status

Basin	Total	MOLIT	K-water	KRCC	NIER	KHNP
Total	649	486	148	7	2	6
Han	169	135	28	6	-	-
Ansung Cheon	11	11	-	-	-	-
Namdae Cheon	3	3	-	-	-	-
Ohsip Cheon	3	2	1	-	-	-
Nakdong	180	110	68	-	2	-
Hyeongsan	7	6	1	-	-	-
Taehwa	9	5	4	-	-	-
Hoeya	2	2	-	-	-	-
Geum	105	83	19	-	-	3
Sapgyo	20	18	-	-	-	2
Mangyeung	19	16	2	-	-	1
Dongjin	14	14	-	-	-	-
Seomjin	51	30	20	1	-	-
Yongsan	49	47	2	-	-	-
Tamjin	7	4	3	-	-	-

※ 출처: 국토교통부 수문조사연보(2015년 기준)

신뢰성 있는 수위 데이터의 실시간 자료 확보는 수자원 관리를 위한 필수적인 요소이나, 현재 운영되고 있는 댐 및 하천 상하류의 수위계는 한번 설치되면 검정

이나 보정 등의 신뢰성 확보를 위한 노력이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 댐 및 하천 운영에 많이 사용되고 있는 부자식 수위계에 대하여 현장에서 교정이 가능하도록 측정값 및 보정값 검토사항 등을 바탕으로 수학 모델을 도출하였으며, 이를 토대로 이동형 교정 시스템을 개발하였다. 이를 바탕으로 댐 운영에 중요한 데이터로 활용되고 있는 수위 데이터의 신뢰성 있는 자료 확보와 일관성 있는 자료관리가 가능하도록 하였다.

II. 부자식 수위계

2.1. 수위계의 종류

수위계는 접촉식 및 비접촉식으로 분류할 수 있으며, 그 종류는 표 2와 같다.

Table. 2 The type of the water level meters

Item	Type	Description
contact	Float	Water level read by the flute in line with buoyant
	Reed switch	Reed contacts used by the buzzer
	Differential pressure	Atmospheric pressure using differential pressure measurement
	Air purge	Pressure by using air pressure
	Electrostatic capacity	Capacitance measurement by the dielectric constant of the liquid above
	Electrode	Electrical conductivity measured by the electrodes
Non contact	Ultrasonic wave	Ultrasonic transit time measurement
	Sound wave	Transmission time measurement of the sound wave
	Microwave	Transmission propagation time measurement of the microwave
	Laser	Transmission time difference measurement of the laser
	Radar	Echo time difference measurements of radar signals

2.2. K-water 수위계 현황

K-water에서 관리·운영중인 다목적댐 20개 및 용수 공급댐 15개의 유역 및 하천과 4대강 16개보의 수위를

관측할 수 있도록 240대의 수위계를 설치하여 운영 중에 있다. 또한 표 3 및 그림 1과 같이 부자식이 129대로 53.8%를 차지하며, 레이더식이 66대로 27.5%, 압력식이 24대로 10%, 초음파식이 10대로 4.2%, 소량으로는 수정식 6대, 음파식 2대, 기포식 1대로 4.6%를 차지하고 있다[3].

Table. 3 K-water water level meters quantity by type

Type	Quantity	Ratio(%)
Float	129	53.8
Radar	66	27.5
Pressure	24	10.0
Ultrasonic	10	4.2
Crystal	6	2.5
Soundwave	2	0.8
Laser	2	0.8
Bubble	1	0.4
Total	240	100

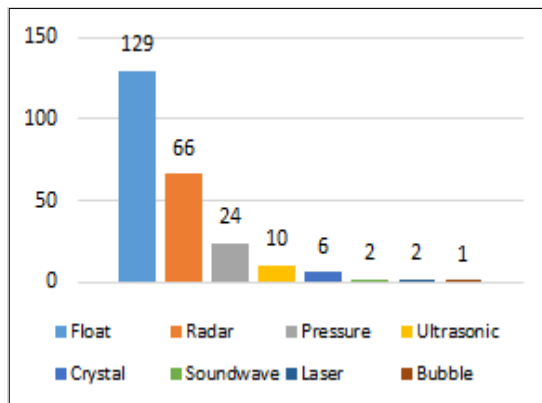


Fig. 1 K-water water level meters type status

2.3. 부자식 수위계

부자식 수위계는 액체의 표면에 부자를 띄어서 그 위치로부터 액면을 측정하는 원리를 이용하며, 그림 2와 같이 수면에 뜨는 부자와 이의 무게에 비례하는 추를 와이어로 연결하여 그 와이어를 휠에 걸고, 수면의 상승·하강으로 부자가 상승·하강됨에 따라서 휠이 회전하여 수위가 계측 및 기록이 되며, 수위는 RS-AD Converter의 기어 기능에 의해서 아날로그 신호를 디지

털 신호로 BCD부호로 하여 통신장비에 직결되어 전송하고 있다[4].

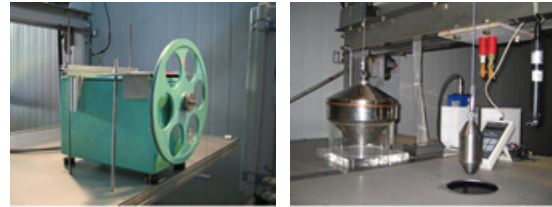


Fig. 2 Float water level meter

III. 수학 모델

3.1. 교정 개념 및 수학 모델

부자식 수위계는 기준자를 표준기로 하여 교정할 수 있는 방안으로 시스템을 설계하였다. 부자식 수위계의 와이어에는 20 cm 마다 볼이 박혀 있는데, 이를 이용하여 교정을 실시한다.

교정할 눈금의 간격이 1 m (= 1000 mm) 라고 하면, 실제로는 교정시스템의 크기가 너무 커지는 것을 고려하여 500 mm 씩 두 번에 나누어 교정하는 것이 타당하며, 기준자의 길이는 500 mm 보다 조금 길어야 되기 때문에 위와 아래쪽으로 10 mm 여유 있도록 600 mm의 기준자를 사용하였다.

기준자의 위와 아래에 기준 눈금을 정한다. 이 예에서는 10 mm와 510 mm를 기준 눈금으로 정하도록 하며, 수위계 와이어에 500 mm 마다 표시를 하는 것이다. 와이어에는 200 mm 간격으로 볼이 있으므로, 500 mm의 위치에는 볼이 없다. 그러므로 500 mm, 1,500 mm, 2,500 mm 등의 위치를 표시하기 위해 가는 유성펜 등으로 끈게 표시를 하도록 한다[5].

3.2. 교정방법

3.2.1 초기 설정 (i=0)

수위계 와이어의 첫 번째 볼이 기준자의 위쪽 기준 눈금 근처에 오도록 줄을 푼 상태에서 수위계의 영점 세팅을 한다. 이 때 카메라로 볼의 위치를 읽어 기록한다. 이 눈금값을 $d_{0,1}$ 이라고 하며, 읽은 눈금값의 단위를 mm로 한다.

3.2.2. 와이어 500 mm 이동 (i=1)

그림 3은 교정하는 방법의 예이며, 와이어를 풀어 500 mm 위치에 그어 놓은 선이 기준자의 위쪽 기준 눈금 근처에 오도록 하고, 이 선에 해당하는 자의 눈금값 ($d_{1,1}$)과 510 mm 눈금 근처에 위치한 볼의 위치를 기준자로부터 읽는다($d_{1,2}$). 그렇다면 실제로 줄이 이동한 거리는 $d_{1,2} - d_{0,1}$ 이 된다.

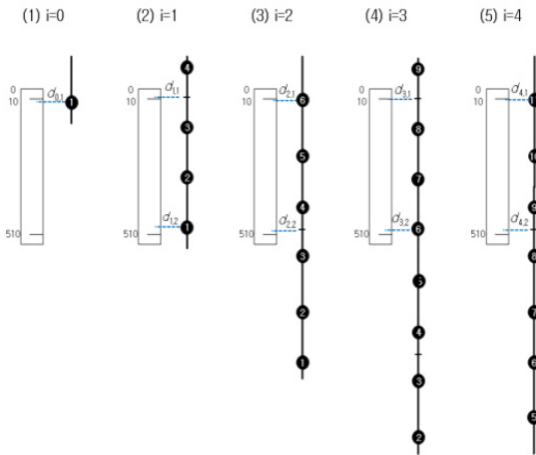


Fig. 3 Method of calibration(example)

3.2.3. 와이어 500 mm 추가 이동 (i=2)

수위계의 지시값이 1 m 가 될 때까지 와이어를 아래로 잡아당긴다. 지시값이 1 m 가 되었을 때 위와 아래 기준 눈금 근처에 있는 볼과 선의 높이값을 기준자로부터 읽는다. 이를 각각 $d_{2,1}$ 과 $d_{2,2}$ 라고 하면, 실제 와이어가 이동한 거리는 $d_{2,2} - d_{2,1}$ 가 되며, 누적 이동 거리는 $d_{2,2} - d_{1,1} + d_{1,2} - d_{0,1}$, 즉, $\sum_{i=1}^2 (d_{i,2} - d_{i-1,1})$ 이 된다.

3.2.4. 와이어 500 mm 추가 이동 (i=3)

같은 방법으로 와이어를 더 아래로 당겨 1,500 mm 근방에 그어 놓은 선이 기준자의 위쪽 기준 눈금 근처에 오도록 하고, 이 선에 해당하는 기준자의 눈금값 ($d_{3,1}$)과 510 mm 눈금 근처에 위치한 볼의 위치를 기준자로부터 읽는다($d_{3,2}$). 실제로 줄이 이동한 거리는 $d_{3,2} - d_{2,1}$ 이 된다. 누적 이동 거리는 $\sum_{i=1}^3 (d_{i,2} - d_{i-1,1})$ 이 된다.

3.2.5 와이어 500 mm 추가 이동 (i=4)

수위계의 지시값이 2 m 가 될 때까지 와이어를 아래로 잡아당긴다. 지시값이 2 m 가 되었을 때 위와 아래 기준 눈금 근처에 있는 볼과 선의 높이값을 기준자로부터 읽는다. 이를 각각 $d_{4,1}$ 과 $d_{4,2}$ 라고 하면, 실제 와이어가 이동한 거리는 $d_{4,2} - d_{4,1}$ 가 되며, 누적 이동 거리는 $\sum_{i=1}^4 (d_{i,2} - d_{i-1,1})$ 이 된다.

3.2.6. 와이어 500 mm 추가 이동 (i=5, 6, ..., 30)

이와 같은 방법으로 계속 반복하여 15 m 까지 교정한다. 부자식 수위계의 지시값이 n m 일 때의 와이어의 실제 누적 이동거리는

$$l_n = \sum_{i=1}^{2n} (d_{i,2} - d_{i-1,1}) \quad (n=1,2,\dots,15) \quad (1)$$

가 되며, 따라서 보정값 b_n ($n=1,2,\dots,15$)은

$$b_n = l_n - 1000 \times n = \sum_{i=1}^{2n} (d_{i,2} - d_{i-1,1}) - 1000 \times n \quad (2)$$

이 된다(단위는 mm임). 이 식(1)과 (2)는 이상적인 경우의 수식이다.

3.3. 기준자의 보정값 검토 사항

위의 식(1)로부터 교정시스템의 수학 모델을 유도한다. 식(1)은 기준자의 눈금이 이상적이고, 기준자 및 부자식 수위계의 와이어 설치도 이상적인 경우에만 성립하는 수식이다.

실제로는 기준자의 눈금이 이상적이지 않아 보정을 하여 사용하여야 하며, 따라서 단순히 눈금을 읽은 값을 d 라고 한다면, 실제로 와이어가 이동한 거리를 구하기 위해서는 이에 눈금에 대한 보정값 b 를 더해야 한다. 따라서 식(1)은 식(3)과 같이 바뀌게 된다.

$$l_n = \sum_{i=1}^{2n} \{(d_{i,2} + b_2) - (d_{i-1,1} + b_1)\} \quad (3)$$

여기서, b_1 과 b_2 는 각각 기준자의 위쪽과 아래쪽의 기준자 눈금의 보정값을 말한다.

3.3.1. 카메라의 정렬 오차

기준자와 와이어는 서로 평행하게 잘 정렬이 되어 있다고 가정하고, 카메라의 방향이 살짝 수직에서 벗어난 경우를 고려할 경우, 이 때 각도의 부호는 그림 4와 같이 정의한다.

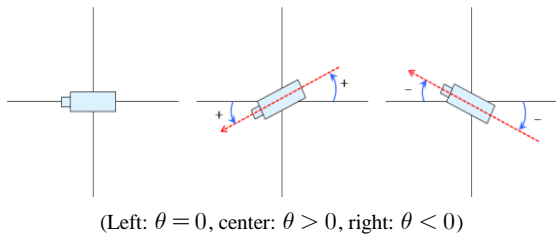


Fig. 4 Sign of camera angle

그림 5에 나타난 것과 같이, 위쪽과 아래쪽 카메라가 각각 기준자와 와이어의 수직방향으로부터 벗어난 각을 θ_1 과 θ_2 라고 하자. 이 경우, 카메라는 와이어의 볼을 결상할 때 수직으로 설치되었을 때 읽어야 할 눈금 d 대신에 $d + S \times \tan \theta$ 에 해당하는 눈금값을 읽게 된다. 여기서 S 는 와이어와 기준자 사이의 거리를 나타낸다.

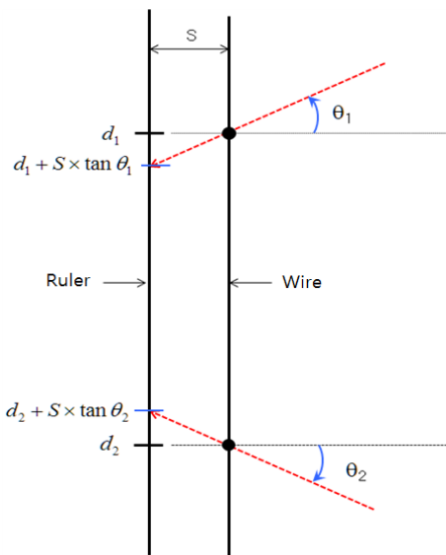


Fig. 5 Camera alignment error

그림 5의 예에서는 θ_1 은 양의 값이고 θ_2 는 음의 값을 가지므로, 위 눈금은 d_1 보다 크게, 아래 눈금은 d_2 보다 작은 눈금이 읽히게 된다. 이러한 카메라의 정렬 오차에 의한 측정오차를 보정하려면 보정값 $S \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$ 을 더해주어야 한다. 식(3)은 식(4)와 같이 수정되어야 한다.

$$l_n = \sum_{i=1}^{2n} \left\{ \begin{array}{l} (d_{i,2} + b_2 - S \times \tan \theta_2) \\ -(d_{i-1,1} + b_1 - S \times \tan \theta_1) \end{array} \right\} \quad (4)$$

3.3.2. 기준자와 와이어의 평행도 오차

기준자와 와이어가 서로 평행하지 않다고 가정할 경우, 상대적으로 기울어진 각도를 ϕ 라고 하면, 이 경우 와이어가 l 만큼 진행하였을 때 측정되는 길이는 이와 다른 길이가 된다. 이런 측정오차를 코사인 오차라고 하며, 그림 6과 같이 실제로 측정되는 길이는 $l \times \cos \phi$ 가 된다.

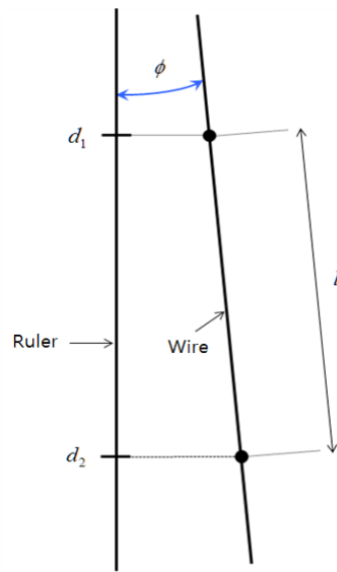


Fig. 6 Cosine error: parallel to the ruler and wire (side view)

그림 6은 측면에서 본 모습이며, 와이어와 기준자가 상대적으로 ϕ 만큼 기울어져 있다면, 실제 와이어가 이동한 길이가 l 이라고 할 때, 측정되는 길이는 $\Delta d = d_2 - d_1$ 이 되고, 이 값이 $l \times \cos \phi$ 에 해당하는

것이다. 따라서 이 오차를 보정하기 위해서는 보정값인 $l \times (1 - \cos\phi)$ 를 더해줘야 한다. 기울어진 각 ϕ 는 매우 작으므로 $(1 - \cos\phi)$ 는 매우 작은 값이다. 그래서 l 대신 명목값인 500 mm를 사용하여도 되며, n m에서의 코사인 오차에 대한 보정값은 식(5)와 같이 된다.

$$b_{n,\phi} \approx 2n \times 500 \times (1 - \cos\phi) = 1000n \times (1 - \cos\phi) \quad (5)$$

그런데 이 코사인 오차는 다른 방향에 대해서도 발생할 수 있다. 즉, 그림 7과 같이 정렬 과정에서 자와 와이어의 상대 각도가 ψ 라고 하면, 실제 와이어가 이동한 길이가 l 이라고 할 때, 측정되는 길이는 $\Delta d = d_2 - d_1$ 이 되고, 이 값이 $l \times \cos\psi$ 에 해당하는 것이다.

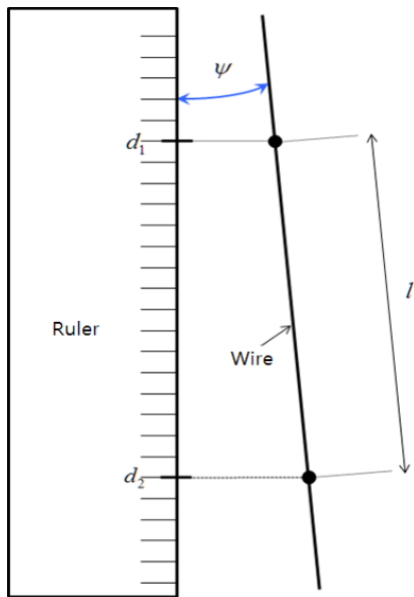


Fig. 7 Cosine error: parallel to the ruler and wire (front view))

따라서 n m에서의 코사인 오차에 대한 보정값은 식(6)과 같이 된다.

$$b_{n,\psi} \approx 2n \times 500 \times (1 - \cos\psi) = 1000n \times (1 - \cos\psi) \quad (6)$$

이 두 가지의 코사인 오차가 동시에 존재한다고 가정하면 보정값은

$$b_{n,\cos} = l \times (1 - \cos\phi \times \cos\psi) \approx 1000n \times (1 - \cos\phi \times \cos\psi) \quad (7)$$

가 되며, 따라서 이를 적용하면 식(4)는 식(8)과 같이 표현되게 된다.

$$l_n = \sum_{i=1}^{2n} \left\{ (d_{i,2} + b_2 - S \times \tan\theta_2) - (d_{i-1,1} + b_1 - S \times \tan\theta_1) \right\} + 1000n(1 - \cos\phi \times \cos\psi) \quad (8)$$

3.3.3. 카메라의 시차에 의한 측정오차

기준자와 수위계 와이어는 거리 S 만큼 서로 떨어져 있기 때문에, 볼이 카메라의 중심에 위치하지 않는 경우에는 카메라의 시차에 의하여 측정 오차가 발생하게 된다.

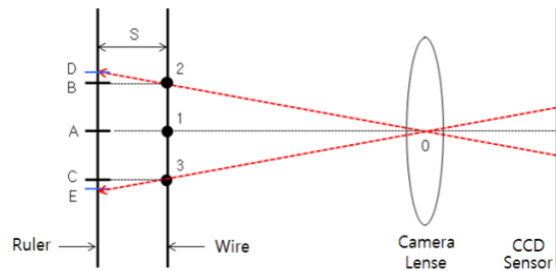


Fig. 8 Error due to camera visual difference

그림 8에서 볼이 위치 1에 있을 경우는 눈금 A와 동일한 높이로 결상이 된다. 그런데 볼이 2번 위치에 있는 경우에는 볼과 동일한 높이의 눈금인 B가 아닌 D와 나란한 것처럼 결상이 되므로, 덜 이동한 것처럼 측정될 것이다. 볼이 3번 위치에 있는 경우에도 C 눈금 대신 E와 나란한 것처럼 잘못 측정될 것이다.

렌즈와 와이어 사이의 거리를 a , 카메라의 중심과 일치하는 눈금을 d_c , 카메라에 의하여 눈금 d 와 나란한 것으로 측정된 볼의 실제 눈금을 얻기 위하여 측정 눈금에 더해야할 보정값을 b_{par} 라고 하면 이는 식(9)와 같이 표현된다.

$$b_{par} = -S \times \frac{d-d_c}{S+a} = \frac{d_c-d}{1+a/S} \quad (9)$$

따라서 이를 적용하면 와이어가 이동한 거리인 l_n 는 식(10)과 같이 표현된다.

$$l_n = \sum_{i=1}^{2n} \left\{ \begin{aligned} & \left(d_{i,2} + b_2 - S \times \tan\theta_2 + \frac{d_{c,2} - d_{i,2}}{1+a/S} \right) \\ & - \left(d_{i-1,1} + b_1 - S \times \tan\theta_1 \right) \\ & + \left(\frac{d_{c,1} - d_{i-1,1}}{1+a/S} \right) \end{aligned} \right\} + 1000n \times (1 - \cos\phi \times \cos\psi) \quad (10)$$

식(10)을 정리하면 식(11)과 같이 표현된다.

$$l_n = \sum_{i=1}^{2n} \frac{d_{i,2} - d_{i-1,1}}{1+S/a} + 2n \left\{ b_2 - b_1 + S(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) + \frac{500}{1+a/S} \right\} + 1000n \times (1 - \cos\phi \cdot \cos\psi) \quad (11)$$

3.3.4. 열팽창 효과

길이의 교정은 기준온도인 20 °C에서 하도록 되어 있다. 만일 기준자의 온도 t_s 와 부자식 수위계의 와이어의 온도 t_w 가 기준온도와 다르다면, 열팽창효과에 의한 측정오차가 발생하게 된다.

와이어의 온도가 t_w 일 때, 이동 거리를 측정할 자의 눈금차가 Δd 라고 하자. 만일 와이어의 온도가 20 °C였다면 이 값은 $\frac{\Delta d}{1 + \alpha_w(t_w - 20)}$ 가 될 것이며, 이때의 기준자의 온도가 t_s 이므로, 이 열팽창 효과도 보정하면, 와이어와 기준자가 모두 20 °C일 때의 눈금차는

$$\Delta d_{20} = \Delta d \times \frac{1 + \alpha_s \Delta t_s}{1 + \alpha_w \Delta t_w} \quad (12)$$

와 같이 된다. 여기서 $\Delta t_s = t_s - 20$, $\Delta t_w = t_w - 20$ 이다. 따라서 이를 적용하면 식(11)은 식(13)과 같이 표현된다.

$$l_n = \sum_{i=1}^{2n} \frac{d_{i,2} - d_{i-1,1}}{1+S/a} \times \frac{1 + \alpha_s \Delta t_s}{1 + \alpha_w \Delta t_w} + 2n \left\{ b_2 - b_1 + S(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \right\} + \frac{500}{1+a/S} \times \frac{1 + \alpha_s \Delta t_s}{1 + \alpha_w \Delta t_w} + 1000n \times (1 - \cos\phi \cdot \cos\psi) \quad (13)$$

여기서, $\frac{1 + \alpha_s \Delta t_s}{1 + \alpha_w \Delta t_w} \approx 1 + \alpha_s \Delta t_s - \alpha_w \Delta t_w$ 가 성립하므로, 이를 적용하면 식(13)은

$$l_n = \frac{1 + \alpha_s \Delta t_s - \alpha_w \Delta t_w}{1 + S/a} \sum_{i=1}^{2n} (d_{i,2} - d_{i-1,1}) + 2n \{ b_2 - b_1 + S(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \} + 1000n \times \frac{1 + \alpha_s \Delta t_s - \alpha_w \Delta t_w}{1 + a/S} + 1000n \times (1 - \cos\phi \times \cos\psi) \quad (14)$$

와 같이 된다.

3.4. 수학 모델

부자식 수위계 이동형 교정시스템에서 이상적인 경우의 모델식은 식(1)과 같으나, 보정값에 대한 검토사항으로 카메라의 정렬 오차, 기준자와 와이어의 평행도 오차, 카메라의 시차에 의한 측정오차, 열팽창 효과 등을 고려하면 식(14)가 부자식 수위계 이동형 교정시스템의 최종 모델식이 된다[6-8].

IV. 교정시스템

4.1. 시스템 제작

부자식 이동형 교정시스템은 그림 9와 같으며, 제작된 실물은 그림 10과 같고, 세부 제원은 표 4와 같다.

600 mm의 강철자(기준자)를 표준기로 사용하고 있으며, 기준자의 눈금을 정확하게 읽기 위하여, 즉 500 mm 간격으로 위, 아래로 볼의 위치를 읽기 위하여 2대의 카메라를 설치하였다. 또한 와이어의 움직임이 용이하도록 아래 부분에 휠을 설치하여 와이어의 가이드 역할을 하도록 하였다.

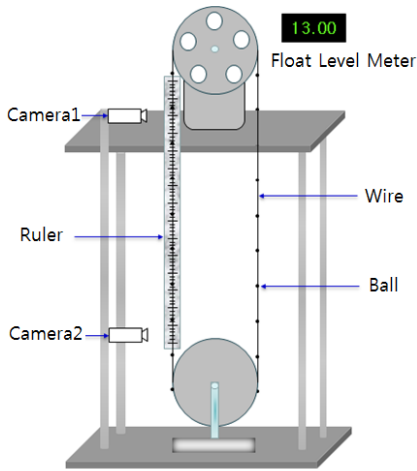


Fig. 9 Diagram of calibration system



Fig. 10 Manufactured of calibration system

Table. 4 Specification of calibration system

Item	Content
Spec.	Size · 400(W)×400(D)×1,200(H)(mm)
	Weight · 20 kg
Standard Device	Ruler · 600 mm(accuracy: 1 mm)
	Temperature · -40 ~ 60 °C
	Humidity · 0 ~ 100 % rH
Camera & Lens	Camera · Image device: 1/3" Sony Super HAD CCD · Horizontal resolution: 560 TV Lines) · Min. illumination: 0.1 Lux @ F1.2
	Lens · range: 0.2 m ~ ∞ · Magnification: ×10 · Lens Angle: 64.2°~ 6.9°(D),

4.2. 교정절차

부자식 수위계 이동형 교정시스템 교정절차는 그림 11과 같다.

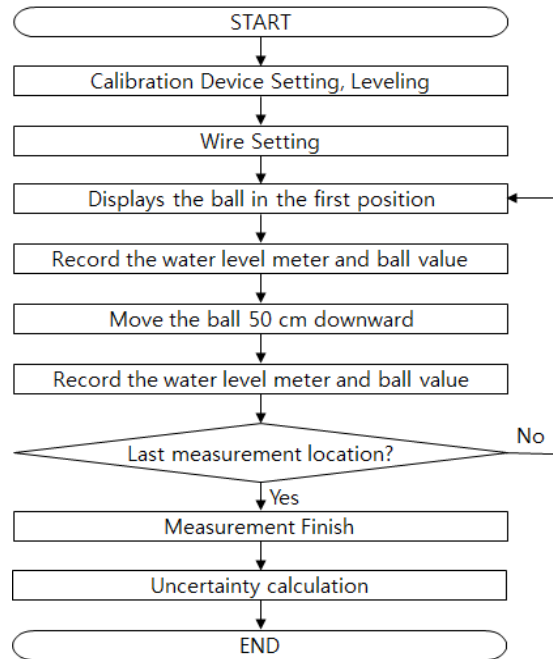
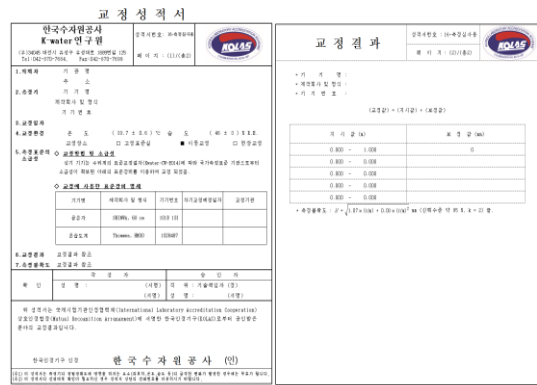


Fig. 11 Procedure of calibration

4.3. 교정성적서

부자식 수위계 이동형 교정시스템에 의한 교정성적서는 그림 12와 같다.



Calibration certificate #1 Calibration certificate #2

Fig. 12 Calibration certificate

V. 결 론

본 논문에서는 부자식 수위계 이동형 교정시스템 설계 및 제작을 위하여 표준기에 대한 국가소급성 확보 방안, 측정값 적용 방안, 카메라의 정렬 오차, 기준자와 와이어의 평행도 오차, 카메라의 시차에 의한 측정오차, 열팽창 효과 등 보정값 적용을 고려한 이동형 교정시스템의 수학 모델을 도출하였다.

도출된 수학 모델을 바탕으로 이동형 교정시스템을 제작하였으며, 각종 심사 및 위원회를 거쳐 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인기관 인정을 받았다. 이를 통하여 수문관측 데이터에 대한 과학적인 시스템 운영으로 측정 데이터의 신뢰성을 확보할 수 있을 것이라고 판단된다.

REFERENCES

[1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Korea Annual Hydrological Report," Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015.

[2] National Emergency Management Agency, "Annual Report

on Disaster," National Emergency Management Agency, 2015.

[3] S. T. Hong, G. W. Shin, "Development of Portable Calibration System for Non-Contact Waters," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 9, pp. 1808-1815, Sep. 2016.

[4] 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.

[5] S. T. Hong, I. H. Kim, J. W. Choi, G. W. Shin, "Development of Float Water Level Meter Portable Calibration Systems," in *2016 Autumn Conference on Information and Communication Engineering*, Daejeon, pp. 411-414, Oct. 2016.

[6] Korea Research Institute of Standards and Science, ISO/IEC GUIDE 98-3:2008, "Guide to the expression of uncertainty in measurement," GUM:1995, 2010.

[7] Korea Laboratory Accreditation Scheme, "Guidelines for maintaining the traceability of the measurement results," Korea Laboratory Accreditation Scheme, 2016.

[8] Korea Laboratory Accreditation Scheme, "Guidelines for field testing measurement uncertainty estimation," Korea Laboratory Accreditation Scheme, 2016.



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, 계측제어, 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