

수위계 표준시험장치를 이용한 수위계 특성 분석

홍성택, 신강욱
한국수자원공사 수자원연구원

The Property Analysis of Water-Level Gauges used the Standard Test Facility of Water-Level Gauges

Sung-Taek Hong, Gang-Wook Shin
Kwater KIWE

Abstract - 댐 및 저수지 운영시 가장 중요한 센서 중의 하나인 수위계는 댐의 수문조작에 있어 직접적으로 연관되기 때문에 수위계의 특성이 잘 관리될 필요가 있다. 따라서 수위 측정에 널리 사용되고 있는 부자식, 초음파식, 그리고 레이더식 수위계에 대한 특성시험이 가능하도록 수위계 표준시험장치를 개발하였고, 이를 이용하여 레이더식 수위계와 초음파식 수위계에 대하여 수위에 따른 특성시험을 실시하여 각 수위계에 대한 특성을 상호 비교·분석하고자 한다.

1. 서 론

댐 운영시 가장 중요한 센서 중의 하나인 수위계는 댐의 수문조작에 있어 직접적으로 연관되기 때문에 수위계의 특성이 잘 관리될 필요가 있다. 그러나 수위계에 대해서는 유지관리는 어느 정도 이루어지고 있으나, 센서의 정확도 여부를 판단할 수 있는 검정이나 보정 등의 행위는 한번 설치된 이후에는 이루어 지지 않고 있다.

따라서 수자원연구원에서는 댐 운영에 널리 사용되고 있는 부자식, 초음파식, 그리고 레이더식 수위계에 대한 특성시험이 가능하도록 수위계 표준시험장치를 개발하였다. 이를 통하여 댐 운영에 신뢰성 있는 자료확보가 가능하며, 일관성 있는 자료관리가 가능하도록 하였다.

개발한 표준시험장치를 이용하여 레이더식 수위계와 초음파식 수위계에 대하여 수위에 따른 특성시험을 실시하여 수위계에 대한 특성을 상호 비교·분석하고자 한다.

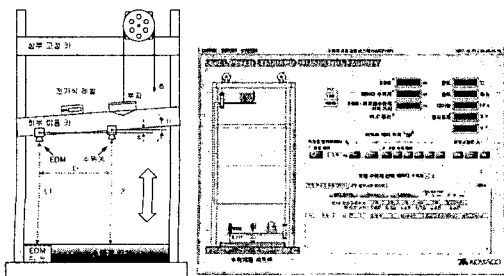
2. 수위계 표준시험장치

2.1 수위계 표준시험장치 구성

수자원연구원에서는 그림1과 같이 접촉식 수위계인 부자식 수위계와 비접촉식 수위계인 초음파식 및 레이더식 수위계를 대상으로 특성시험을 할 수 있도록, 레이저거리측정기(EDM : Electro-optic Distance Meter)를 이용하여 대상 수위계의 지시값을 상호 비교하는 방식인 수위계 표준시험장치를 개발하였다.

부자식 수위계를 시험할 경우에는 수위계의 풀리를 운반할 수 있는 상부 리프트와 부자를 이동할 수 있는 하부 리프트로 구성되어 있으며, 부자와 같은 하부 리프트에 설치된 레이저거리측정기와 레벨계를 이용하여 리프트의 이동에 따른 EDM의 지시값과 부자식 수위계의 지시값을 비교하고, 레벨계의 값은 리프트의 기울어짐 효과를 보정하기 위하여 사용된다. 비접촉식 수위계인 초음파식과 레이더식 수위계에 대한 표준시험장치 구성은 EDM을 대상 수위계와 함께 리프트에 설치한 후, 리프트를 수직으로 이동시키면서 대상 수위계와 EDM의 지시값을 동시에 읽어 비교함으로써 시험하도록 구성하였다.

그림 1의 우측 그림은 수위계 표준시험장치를 운영하기 위한 소프트웨어의 초기화면으로서, 세부적인 소프트웨어의 기능은 자동으로 시험절차에 따라 데이터를 취득하는 기능과 표준시험장치로부터 불확도 계산에 필요한 요소인 EDM, 피교정 수위계, 레벨계, 환경측정 센서 등을 읽어 들어 불확도를 계산하는 기능, 그리고 불확도의 계산이 완료되면 출력양식에 맞추어 결과를 출력하는 기능, 그리고 시험이 진행중이거나 끝난 후 또는 불확도 계산 후에 취득된 데이터를 저장하며 자동으로 파일을 생성시키는 기능이 있다.



<그림 1> 수위계 표준시험장치의 H/W 및 운영 S/W

2.2 최고측정능력

이동 리프트가 상하 운동을 하면서 기울어질 수 있는 현상이 발생할 경우 EDM과 수위계의 기준 높이를 정확히 일치시키기 위하여 레벨계를 설치하여 이동시 발생하는 경사각에 따른 측정오차를 보정하도록 하였다.

리프트가 이동 중에 경사각이 θ 인 경우, 그림 1과 같이, 수위계는 ϵ 만큼 더 큰 값을 측정하는 오류를 발생하게 된다. EDM과 수위계의 중심 거리를 d 라고 하면, 이 측정 오차는

$$\epsilon = d \times \tan \theta \tag{1}$$

이며, 수위계의 지시값 L_2 에 대한 보정값 b 는 다음과 같이 구한다.

$$b = (l_1 + \epsilon) - l_2 \tag{2}$$

식 (2)에 식 (1)을 대입하여 정리하면

$$b = l_1 + d \times \tan \theta - l_2 \tag{3}$$

여기서, b : 보정값 (m)

l_1 : EDM의 지시값 (m)

d : EDM과 피교정수위계와의 거리 (m)

θ : EDM과 피교정수위계와의 기울기($^\circ$), (+ : 수위계 > EDM)

l_2 : 수위계의 지시값 (m)

수위계 표준시험장치의 표준불확도 계산을 위한 모델식은 식 (3)이며, 불확도 전파법칙에 따라 이의 합성 표준불확도는 다음 식 (4)와 같이 주어진다.

$$u_c(b) = \sqrt{\left(\frac{\partial b}{\partial l_1} u(l_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial b}{\partial d} u(d)\right)^2 + \left(\frac{\partial b}{\partial \theta} u(\theta)\right)^2 + \left(\frac{\partial b}{\partial l_2} u(l_2)\right)^2} \tag{4}$$

여기서, $u(l_1)$: EDM의 지시값 (m)에 따른 불확도

$u(d)$: EDM과 피교정수위계와의 거리에 따른 불확도

$u(\theta)$: EDM과 피교정수위계와의 기울기에 따른 불확도

$u(l_2)$: 수위계의 지시값 (m)에 따른 불확도

각 불확도 성분의 표준불확도, 감도계수, 불확도 기여량 및 자유도를 계산하면 표 1의 불확도 총괄표와 같다.

<표 1> 불확도 총괄표

	1	2	3	4	5	6
입력량 X_i	추정값 x_i	표준불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 c_i	불확도기여량 $u_i(y)$	자유도 ν_i
A	l_1 14.926 m	0.789	정 규	1.0	0.789	∞
B	d 0.725 m	0.297	t	0.005	0.001 49	∞
C	θ 0°	0.001	정 규	725.02	0.725	∞
D	l_2 15.491 m	0.913	t	-1.0	0.913	∞
E	b				1.408	∞

확장불확도(U) : 최고측정능력(BMC)

$$U = k \times u_c = 2 \times 1.408 = 2.816 \approx 3 \text{ mm}$$

신뢰수준 95 %일 때, $k = 2$ 를 적용(포함인자 : 유효자유도 ∞)

<표 2> 수위계 표준교정장치 특성

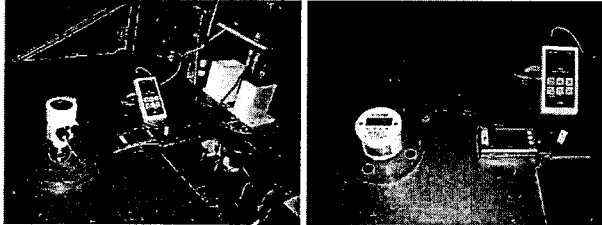
항 목	특 성
측정범위	수직 0 ~ 15 m
최고측정능력	3.0 mm
교정대상	레이더식, 초음파식, 부자식
방식	레이저 비교측정식

3. 수위계 특성시험

수위계 표준시험장치를 이용하여 레이더 수위계 및 초음파 수위계의 특성시험을 실시하였다. 시험에 실시된 수위계의 특성은 표 3과 같다.

<표 3> 수위계 특성표

특 성	레이더 수위계	초음파 수위계
제작사	VEGA	(주) 리테크
모델명	VEGAPLUS 62	LT-100
측정범위	0~30 m	0.3~6.5 m
정밀도	±3 mm	±0.25% F.S 이내
분해능	1 mm	1 mm
측정방식	26 GHz 주파수 반사방식	초음파펄스 반사방식
신호출력	4~20mA	4~20mA



<그림 2> 설치된 레이더 수위계 및 초음파 수위계

3.1 레이더 수위계 특성시험

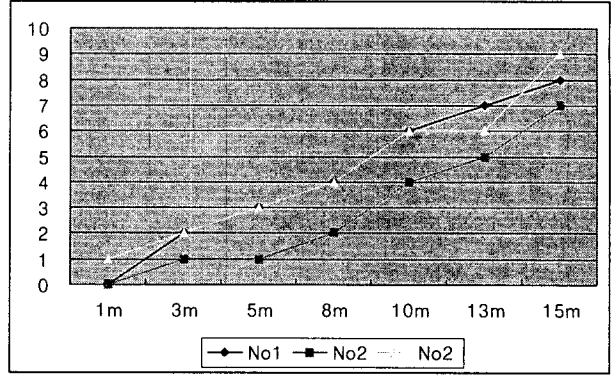
레이더 수위계를 이용하여 1, 3, 5, 10, 13, 15m 각 6곳에 대하여 리프트를 이동하면서 특성 시험을 실시하여 그림 3과 같은 측정결과를 얻었다. 표 4와 같이 측정된 데이터를 이용하여 보정값을 산출한 결과를 그래프로 나타내면 그림 4와 같으며, 보정값은 측정 높이가 증가함에 따라 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 높이에 따른 보정값이 선형적이지는 않지만 확장불확도 3mm를 고려하면 전체범위에서 단조 증가한다고 분석할 수 있다.

측정 높이 (m)	측정 시간 (min)	측정 위치 (°)	레이더 수위계 측정값 (m)	초음파 수위계 측정값 (m)	기준 수위 (m)	레이더 수위계 측정값 - 기준 수위 (m)	초음파 수위계 측정값 - 기준 수위 (m)	레이더 수위계 측정값 - 초음파 수위계 측정값 (m)	레이더 수위계 측정값 (m)	초음파 수위계 측정값 (m)	레이더 수위계 측정값 - 초음파 수위계 측정값 (m)	레이더 수위계 측정값 (m)	초음파 수위계 측정값 (m)
0	15	12:08:05	0.00	0.719	0.719 0	1.524							
	20	12:08:10	0.00	0.718		1.524							
	35	12:08:15	0.00	0.719		1.524							
	45	12:08:20	0.00	0.718		1.524							
	50	12:08:25	0.00	0.718		1.524							
	15	12:51:43	0.01	1.037	1.037 0	1.942							
1	20	12:51:46	0.00	1.037	1.037 0	1.942	0.942 0	0.318 0					
	35	12:51:53	0.01	1.037		1.942	0.942 0	0.318 0					
	45	12:51:58	0.00	1.037		1.942							
	50	12:52:00	0.01	1.037		1.942							
	15	12:52:10	0.01	1.998	1.998 0	2.278 0							
	20	12:52:14	0.01	1.998	1.998 0	2.278 0							
2	35	12:52:29	0.00	2.098	2.098 0	2.278 0	1.902 0	2.278 0					
	40	12:52:34	0.01	2.098		2.278 0	1.902 0						
	50	12:52:36	0.00	1.998	1.998 0	2.278 0							
	15	12:52:52	0.00	5.443	5.443 0	4.727 2	6.250 0	4.728 0					
	20	12:52:56	0.00	5.443		4.727 2	6.250 0						
	30	12:53:03	0.00	5.443		4.727 2	6.250 0						
3	40	13:24:38	-0.01	5.448	5.448 0	4.727 2	6.250 0	4.728 0					
	45	13:24:38	0.00	5.448		4.727 2	6.250 0						
	50	13:24:44	0.00	5.448		4.727 2	6.250 0						
	15	13:38:32	-0.01	1.089	1.089 0	0.771 0							
	20	13:38:37	-0.01	7.980	7.980 0	0.771 0							
	30	13:38:40	0.00	1.089	1.089 0	0.771 0	8.771 0	7.247 0					
4	45	13:38:47	0.00	1.088	1.088 0	0.771 0							
	50	13:38:52	0.00	1.088		0.771 0							
	15	13:48:25	0.01	6.937	6.937 0	18.328 0							
	20	13:48:30	0.00	1.037	1.037 0	18.328 0							
	30	13:48:38	0.00	6.937	6.937 0	18.328 0	18.338 0	6.814 0					
	40	13:48:40	0.00	1.037		18.328 0							
5	50	13:48:45	0.00	6.937	6.937 0	18.328 0							
	15	13:49:26	0.00	10.461	10.461 0	11.261 0							
	20	13:49:29	0.00	10.461		11.261 0							
	30	13:49:30	0.00	10.461	10.461 0	11.261 0	11.261 0	9.377 0					
	40	13:49:36	0.00	10.461		11.261 0							
	50	13:49:40	0.00	10.461	10.461 0	11.261 0							
6	15	13:58:12	0.00	13.927	13.927 0	13.208 0							
	20	13:58:17	0.01	13.927		13.208 0							
	30	13:58:22	0.01	13.927	13.927 0	13.208 0	14.725 0	11.261 0					
	40	13:58:27	0.00	13.927		13.208 0							
	50	13:58:32	0.00	13.927	13.927 0	13.208 0	14.725 0						
	15	13:58:36	0.00	13.927		13.208 0							

<그림 3> 측정된 데이터 시트

<표 4> 산출된 레이더 수위계 보정값

측정거리	측정횟수	No1	No2	No2
1m	0	0	0	1
3m	2	2	1	2
5m	3	3	1	3
8m	4	4	2	4
10m	6	6	4	6
13m	7	7	5	6
15m	8	8	7	9



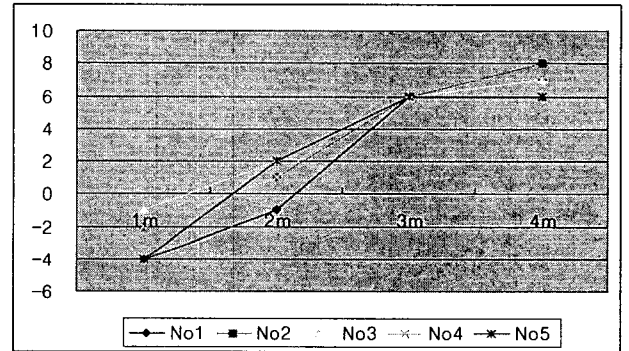
<그림 4> 레이더 수위계의 산출된 보정값 그래프

3.2 초음파 수위계 특성시험

초음파 수위계를 이용하여 1, 2, 3, 4m 각 4곳에 대하여 리프트를 이동하면서 특성 시험을 실시하였다. 표 5와 같이 측정된 데이터를 이용하여 보정값을 산출한 결과를 그래프로 나타내면 그림 5와 같으며, 보정값은 측정 높이가 증가함에 따라 커지는 것을 알 수 있다. 레이더 수위계와 마찬가지로 높이에 따른 보정값이 선형적이지는 않지만 확장불확도 3mm를 고려하면 전체범위에서 단조 증가한다고 분석할 수 있다.

<표 5> 산출된 초음파 수위계 보정값

측정거리 \ 측정횟수	No1	No2	No3	No4	No5
1m	-4	-2	-1	-2	-4
2m	-1	1	2	1	2
3m	6	6	6	7	6
4m	7	8	7	7	6



<그림 5> 초음파 수위계의 산출된 보정값 그래프

4. 결론

본 연구에서는 수위 데이터에 대한 실시간 자료확보와 신뢰성 있는 데이터가 필요한 현실을 고려하여 수위 측정에 많이 사용되고 있는 레이더 수위계 및 초음파 수위계에 대하여 수위계 표준시험장치를 이용하여 특성시험을 실시하였다. 시험 결과 보정값은 측정 높이가 증가함에 따라 커지는 것을 알 수 있었으며, 높이에 따른 보정값이 선형적이지 않지만 확장불확도 3mm를 고려하면 전체범위에서 단조 증가한다고 분석할 수 있다.

참고문헌

- [1] 건설교통부, “수문관측매뉴얼”, 2004.
- [2] 한국수자원공사, “수자원기초자료 신뢰도 제고를 위한 수위계 및 수량계 검보정 방안 연구(1차년도)”, 2000.
- [3] 한국수자원공사, “수자원기초자료 신뢰도 제고를 위한 수위계 및 수량계 검보정 방안 연구(2차년도)”, 2001.
- [4] Robert G. Skrentner, “Instrumentation Handbook for water & wastewater treatment plants”, Lewis Pub., 1988.
- [5] 한국교정시험기관인정기구, “측정불확도 추정사례집”, 2004.
- [6] 한국표준과학연구원, “불확도 평가 및 표현 사례집”, 2005.