

**표준교정시스템에 의한 0.5 mm, 1 mm급 전도형 우량계의 특성 분석**

신강욱, 홍성택  
한국수자원공사 수자원연구원

**The Analysis of the 0.5 mm and 1 mm Rain-Gauges typed of Tipping Bucket by Standard calibration System**

Gang\_wook Shin, Sung-Taek Hong  
KOWACO KIWE

**Abstract** - 강우량계는 기상관측 장비중 비가 온 양을 측정하기 위한 장비로 전도형, 저수형, 중량형, 로드셀형 등 다양한 종류의 강우량계가 있다. 전도형 우량계의 경우 단순한 측정방법 및 유지보수의 용이성, 접점방식에 의한 신호의 디지털화 적용성이 우수하기 때문에 가장 널리 사용되고 있다. 전도형 우량계는 분해능에 따라 0.1mm, 0.2mm, 0.5mm, 그리고 1.0mm급으로 분류되며, 저수지 관리를 위해 사용되고 있는 우량계는 1.0mm 급을 주로 사용하고 있으며, 보다 정밀하게 측정하기 위하여 0.5mm 급 우량계도 사용하고 있다. 이러한 전도형 우량계의 정확도를 검증하기 위한 방법으로 수자원연구원에 질량측정에 의한 검·교정을 할 수 있는 표준교정시스템이 구축되어 있으며, 이 시스템을 이용하여 0.5mm 및 1.0mm 전도형 우량계에 대하여 강우강도를 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 mm/h로 가변하면서 강우강도의 변화에 따른 분해능이 다른 우량계의 오차특성을 비교·분석하고자 한다.

**1. 서 론**

기상 및 수문관측에 사용되는 강우량계의 측정 정확도를 향상시키기 위한 정밀형 강우량계 등의 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 기존의 전도형 우량계를 비롯한 중량식 우량계, 광학식 우량계 등 다양한 유형의 강우량 측정장치가 제시되고 있으나, 측정의 편의성과 강인성이라는 잇점에 따라 전도형 우량계가 전반적으로 설치 운영되고 있다. 이러한 기상 및 수문관측에 사용되는 강우량계의 정확도를 검증하기 위한 검교정기는 부피형 뷰렛을 이용한 방법과 질량을 측정하여 부피로 환산하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 한국수자원공사 수자원연구원에서 개발하여 국가교정기관으로 인정받은 질량에 의한 검·교정을 하는 표준교정장치를 이용하여 강우강도를 20 ~ 200 mm/h로 가변하면서 0.5 mm, 1 mm 우량계에 대한 특성을 분석하고자 한다.

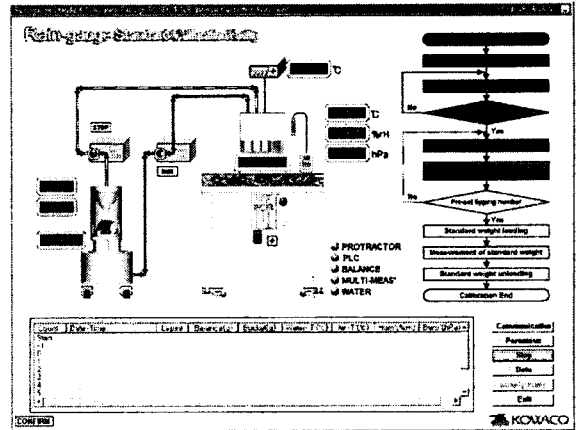
**2. 전도형 우량계 표준교정시스템**

전도형 우량계 표준교정시스템은 우량계의 단위 강우 및 강우강도에 따른 강우량계의 특성을 측정하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어로 구성되어 있으며, 전체 및 버킷당 질량을 측정하여 전도량과 비교함으로써 강우량의 오차를 산출하고, 강우강도에 따른 강우량계의 특성을 분석할 수 있도록 하며, 측정 데이터에 대한 측정불확도를 자동으로 산출하도록 하였다. 그림 1은 수자원연구원에서 개발한 표준교정장치이며, 우량계 표준교정장치의 하드웨어는 교정대상 우량계에 일정한 양의 물을 공급하는 기능을 구현하는 수조와 정속펌프, 교정에 필요한 물의 양을 측정하는 분동을 포함한 전자저울, 측정불확도 산출을 위한 수온계를 비롯한 온도·습도·기압계, 교정대상 우량계의 설치 운영조건에 대한 관정을 위한 경사도계, 그리고 취득하고자 하는 데이터의 디지털 및 아날로그 입력 기능을 갖는 모터·펌프 제어용 PLC와 데이터 처리장치 등으로 구성되어 있다.



〈그림 1〉 전도형 우량계 교정실용 표준교정시스템

그림 2는 표준교정절차에 따른 교정시스템의 운영, 데이터 분석 및 저장에 가능하도록 설계된 소프트웨어의 초기화면이며, 기능은 첫째, 자동으로 교정절차에 따라 데이터를 취득하는 기능과 둘째, 표준교정장치로부터 불확도 계산에 필요한 요소인 질량, 수온, 정속모터의 동작시간, 측정반복 횟수 및 실내의 온도, 습도, 기압 등을 읽어들이 불확도를 계산하는 기능, 그리고 불확도의 계산이 완료되면 출력양식에 맞추어 결과를 출력하는 기능, 그리고 교정이 진행중이거나 끝난 후 또는 불확도 계산 후에 취득된 데이터를 저장하며 자동으로 파일을 생성시키는 기능이 있으며, 피교정 우량계의 펄스 입력값과 분동을 포함한 정속펌프를 제어하기 위한 PLC의 운영 프로그램을 Ladder 로 개발하였다.



〈그림 2〉 표준교정시스템 소프트웨어 초기화면

**3. 최고측정능력 분석**

전도형 우량계의 강우량 산출을 다음 식과 같이 질량 측정에 의한 표현식으로 나타낼 수 있다. 또한, 우량계의 기준은 200 mm 직경을 갖는 1.0 mm 전도형 우량계를 기준으로 하였으며, y의 단위는 mm 이다.

$$y = (m_1 - m_2) \cdot s \cdot \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_b}\right) \cdot \left(\frac{1}{\rho_w - \rho_a}\right) \cdot \frac{40}{\pi D^2}$$

- $m_1$  : 물 배출전 저울지시값 (g)
- $m_2$  : 물 배출후 저울지시값 (g)
- $s$  : 저울 역감도 (g/÷.)
- $\rho_A$  : 저울 역감도 측정시 공기밀도 ( $g/cm^3$ )
- $\rho_a$  : 물 질량 측정시 공기밀도 ( $g/cm^3$ )
- $\rho_b$  : 표준분동의 밀도 ( $g/cm^3$ )
- $\rho_w$  : 물의 밀도 ( $g/cm^3$ )

강우량 산출을 위한 함수식에 따라, 각 파라메타에 대한 불확도를 산출하여 합성하도록 다음 식과 같이 합성 표준불확도를 구할 수 있다.

$$u_c^2 = u^2(m_1) + u^2(m_2) + u^2(s) + u^2(\rho_a) + u^2(\rho_b) + u^2(\rho_w)$$

- 여기서,
- $u(m_1)$  : 물 배출전 저울값의 불확도
- $u(m_2)$  : 물 배출후 저울값의 불확도
- $u(s)$  : 저울 역감도에 따른 불확도
- $u(\rho_a)$  : 공기밀도에 따른 불확도
- $u(\rho_b)$  : 표준분동 밀도에 따른 불확도
- $u(\rho_w)$  : 물의 밀도에 따른 불확도

최고측정능력이란 규정된 시험실 조건 하에서 기 확립된 교정 또는 교정 유형에 대하여 교정기관이 달성할 수 있는 최소의 측정불확도를 말하며, 이에 대한 기준은 국가표준기본법, 동법시행령, 국가교정기관 인정제도운영요령 제15조 인정 및 평가기준의 규정에 의하여 최고측정능력을 산출하고 유지 관리해야 하고, 이를 통하여 국제기준의 교정기관 운영이 가능하도록 인정하고 있다.

따라서, 수자원연구원에서는 국제공인 국가교정기관으로 인정받기 위하여 우량계 표준교정장치에 대한 최고측정능력을 표 1의 불확도 총괄표와 같이 산출하였다.

〈표 1〉 불확도 총괄표

No	양 $X_i$	추정 $x_i$	표준불확도 $u(x_i)$	자유도 $\nu_i$	감도계수 $c_i$	불확도 기여량 $u_i (g)$	확률 분포
1	$m_1 (g)$	3 140	0.086 6	$\infty$	0.032 0	0.002 8	사각
2	$m_2 (g)$	0	0.086 6	$\infty$	-0.032 0	-0.002 8	사각
3	$\beta (g/div.)$	1.000 8	$1.631 \times 10^{-4}$	$\infty$	1.003 5	0.000 16	사각
4	$\rho_a (g/cm^3)$	$1.174 \times 10^{-3}$	$1.704 7 \times 10^{-6}$	$\infty$	0.882 4	$1.50 \times 10^{-6}$	사각
5	$\rho_b (g/cm^3)$	8	0.23	$\infty$	$1.843 1 \times 10^{-5}$	$4.29 \times 10^{-6}$	사각
6	$\rho_w (g/cm^3)$	0.997 5	$6.364 6 \times 10^{-5}$	$\infty$	-1.007 9	$-6.41 \times 10^{-5}$	사각
7	반복도	20		19		$3.80 \times 10^{-3}$	정규
8	합성불확도			5 416	-	$0.55 \times 10^{-2}$	

4. 우량계 특성 실험 및 분석

강우강도에 따른 우량계의 특성시험을 위하여 앞 절에서 설명한 표준교정시스템을 이용하여 시험조건을 강우강도 20 ~ 200 mm/h 까지 20 mm/h 단위로 변경하면서 각각 10번을 측정하였으며, 데이터의 저장형태는 그림 3과 같으며, 전체적인 시험 결과는 표 2와 같다.

표 2와 그림 4의 결과에서 알 수 있듯이 0.5 mm 우량계 및 1 mm 우량계 모두 강우강도가 강할수록 측정되는 강우량이 많아짐을 알 수 있다. 또한 0.5 mm 우량계는 0.5 mm 강우를 약간 상회하는 특성을 나타내었고, 1 mm 우량계의 측정값은 1 mm 강우에 약간 못 미치는 특성을 보였다. 따라서 0.5 mm 우량계에 대해서는 물이 약간 덜 담길 수 있도록 조절나사를 약간 위로 올릴 필요가 있으며, 1 mm 우량계는 이와 반대로 물이 약간 더 담기도록 조절나사를 약간 아래로 내릴 필요가 있다.

원 데이터									
순서	강우강도 (mm/h)	측정값 (mm)	오차 (%)	불확도 (%)	수평 (mm)	수직 (mm)	비율 (%)	비율 (%)	비율 (%)
1	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	40	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	60	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	80	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
49	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	100	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
51	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
52	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
53	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
54	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
58	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
59	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	120	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
66	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
67	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
68	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
69	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	140	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
71	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
72	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
73	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
74	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
77	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
79	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	160	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
81	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
82	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
83	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
84	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
86	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
87	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
88	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
89	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	180	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
91	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
92	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
93	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
94	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
96	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
97	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
98	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
99	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	200	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

〈그림 3〉 0.5 mm 우량계의 22 mm 강우강도의 측정 데이터

〈표 2〉 강우강도 특성 데이터

1 mm 우량계			0.5 mm 우량계				
강우강도 (mm/h)	측정값 오차 (%)	측정불확도 (%)	강우강도 (mm/h)	측정값 오차 (%)	측정불확도 (%)		
21	0.972	2.82	2.3	22	0.535	-3.53	3.2
42	0.965	3.51	2.3	44	0.544	-4.41	3.3
62	0.971	2.90	3.0	66	0.551	-5.10	2.9
84	0.971	2.90	1.9	88	0.555	-5.50	3.5
104	0.980	2.04	2.3	110	0.559	-5.87	3.3
125	0.984	1.55	2.1	132	0.565	-6.47	3.9
146	0.988	1.22	2.1	154	0.563	-6.35	3.9
167	0.994	0.65	2.9	176	0.568	-6.78	3.6
188	0.998	0.21	2.4	198	0.571	-7.11	4.7
210	0.997	0.32	2.4	219	0.581	-8.09	5.8

그림 5는 기준값에 대한 측정 오차로 변환한 결과를 나타내며, 강우강도가 클수록 측정 오차는 마이너스 방향으로 커짐을 알 수 있다. 이는 그림 4에서 알 수 있듯이, 1 버킷당 강우량이 많을수록 1 mm 우량계의 경우 1.0 mm 단위로 카운터하지 못하고 그 이상인 경우에 펄스를 발생함으로써 덜 측정됨을 확인할 수 있다. 또한, 강우강도에 따른 보정을 위해서는 강우강도의 범위를 설정하고 교정되어야 함을 알 수 있다.

그림 6은 측정불확도로서 강우강도가 커질수록 증가하나, 매회 측정시의 버킷 상황에 따라 변화하는 경우가 더 큰 요인으로 작용하고 있다.