

질량측정에 의한 우량계 표준교정시스템 개발

Development of Standard Calibration System for the Rain Gauges by Weighting Method

신강욱*, 홍성택

(Gang-Wook Shin and Sung-Tack Hong)

Abstract : Because the rain gauges of tipping bucket type can easily use the digital signal, the rain gauges are widely used for the meteorological observation. In general, the resolution of rain gauges of tipping bucket type can be categorized by the 0.1mm, 0.5mm, and 1.0mm classes. But, the error of the tipping bucket rain gauges is made by the intensity of rainfalls and is expected to make the standard calibration method for error measurement. Thus, we developed the hardware of standard calibration facility for rain gauges by weighting measurement method and proposed the standard procedure by rainfall intensity in this study. Also, we calculated the uncertainty for the rainfall intensity and obtained useful result through the proposed calibration method.

Keywords : rain gauges, standard calibration, rainfall, uncertainty

I. 서론

기상관측을 위한 다양한 분야의 관측장비 가운데 강우량 측정에 사용되는 우량계는 세계기상기구(WMO)에서 측정방법 및 측정장치에 대하여 기준을 정하여 권고하고 있다[1,2].

기상 및 수문관측에 사용되는 우량계의 측정 정확도를 향상시키기 위한 정밀형 우량계등의 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 기존의 전도형 우량계를 비롯한 광학식, 저수형, 중량형, 로드셀형 등 다양한 종류의 우량계가 개발되고 있으나, 전도형 우량계의 단순한 측정방법과 신호의 디지털화 적용이 용이함에 따라 가장 널리 사용되고 있다[3]. 전도형 우량계는 분해능에 따라 0.1mm, 0.2mm, 0.5mm, 그리고 1.0mm급으로 분류된다. 기상관측에서는 0.5mm 급 우량계가 가장 많이 사용되고 있으나, 저수지관리를 위해 사용되고 있는 우량계는 1.0mm 급을 주로 사용하고 있다[4].

이러한 정밀도를 갖는 전도형 우량계는 평균 강우강도에 따른 오차를 최소화하도록 선정되나 정확한 강우강도에 따른 오차 인자를 구하기가 쉽지 않다. 이는 강우강도에 따라 전도 관성이 달라져서 전도에 따른 강우손실이 발생되기 때문이다.

이러한 기상 및 수문관측에 사용되는 우량계의 정확도를 검증하기 위한 검교정기기는 부피형 뷰렛을 이용한 방법과 질량을 측정하여 부피로 환산하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 질량에 의한 검 · 교정방법을 갖는 표준교정시스템 및 절차에 대하여 제안하였으며, 표준교정실 뿐만 아니라 현장교정이 가능한 표준교정시스템을 개발하였다.

위에서 개발된 우량계 표준교정시스템의 측정능력을 제시하기 위하여 표준교정시스템의 구성을 이루는 하드웨어

및 소프트웨어의 불확도 인자를 도출하여 최고측정능력을 분석하여 불확도 측정 총괄표를 제시하였다.

이를 바탕으로 본 연구에서는 강우강도에 따른 측정불확도를 산출하여 품질관리를 위한 강우량 측정 보정인자를 제시할 수 있는 기반을 구축하고, 우량계에 대한 표준화된 검 · 교정체계를 제안하고자 한다.

II. 강우량 측정

1. 전도형 우량계

강우량은 일정한 면적에 빗물이 쌓인 높이를 의미하며, 이 높이를 일정한 용기로 간단히 측정할 수 있도록 제작한 것이 우량계이다. 이러한 강우량을 측정하는 우량계 중 전도형 우량계의 구조는 그림 1과 같이 빗물을 수집하는 실린더의 수수구와 측정용 계량컵, 그리고 접점신호를 생성하는 펄스 센서 등으로 이루어져 있다. 실린더의 수수구는 200mm를 포함하여 227.5mm, 447.2mm 등 다양하게 사용되지만 가장 많이 사용되고 있는 수수구의 직경은 200mm이다. 계량컵은 수수구 직경의 면적에 빗물이 1mm 쌓였을 때의 양을 측정하기 위하여 물을 담을 수 있는 그릇을 의미

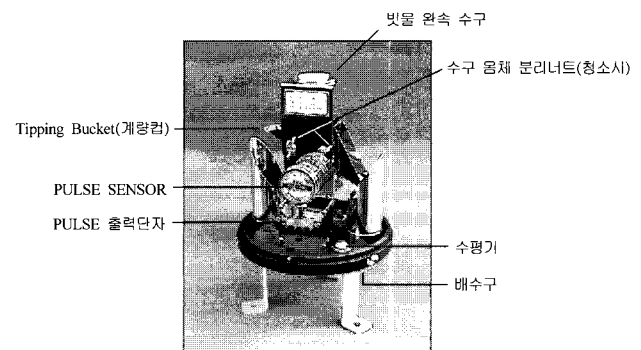


그림 1. 우량계 외형도.

Fig. 1. Rain gauges.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 3. 31., 채택확정 : 2006. 5. 31.

신강욱, 홍성택 : 한국수자원공사 수자원연구원

(gwshein@kwwater.or.kr/sthong@kwwater.or.kr)

하며 그림 1에서와 같이 2개를 직렬로 설치하여 강우량을 담았을 때 계량컵이 자동으로 기울어져 물이 밖으로 쏟아지고 다시 다른 쪽의 계량컵으로 빗물을 받도록 구성되어 있다. 이와 같이 빗물을 연속적으로 받을 수 있고 기울어진 횟수를 기록계에 나타나도록 한 것이 전도형 우량계의 원리이다.

강우강도는 비나 눈이 내리는 상태의 강도로서 단위시간 동안의 강수량을 뜻하며, 단위시간은 통상 1분을 취하나 이것을 1시간당 강수량으로 추산해서 mm/h로 나타내며 강수 강도라고도 한다.

2. 질량측정 방법

우량계를 교정하는 방법은 일반적으로 계량컵에서 쏟아진 물을 우량승(우량측정 실린더)로부터 부피를 측정하여 강수량으로 환산하거나 교정된 자동피펫에 물을 담아 우량계에 천천히 배출시켜 계량컵의 측정횟수와 비교하고 있다. 이러한 방법은 물로 교정된 실린더나 자동피펫을 사용하는 것으로 실린더나 자동피펫을 교정해야 하지만, 질량측정에 의한 우량계 교정은 부피계의 교정이 필요 없고 우량을 저울로 직접 측정하는 장점이 있어 정확도가 기존 방법보다 향상된 방법이다.

질량측정방법을 이용하여 우량계를 교정하는 원리는 진동 및 수평의 영향을 최소화하기 위한 정반 위에 정밀저울을 설치하고, 물을 담은 수조를 이 저울 위에 놓고, 이 수조에 담긴 물을 정속모터를 이용하여 우량계로 흘려 보낸 후 물의 질량변화를 저울로 측정하여 강수량으로 환산하고 우량계의 계량컵의 측정 횟수와 비교하는 원리이다.

이때 물의 질량은 상용질량으로 측정 된 것이므로 이를 교정하기 위해 교정된 표준분동을 사용하여 정확한 물의 질량을 측정하여 강수량을 얻을 수 있다.

다음 식은 수수구 직경 200mm 일 경우의 수학적 모델식이다.

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

- 여기서, y : 강수량(mm)
- m_1 : 물을 흘려 보내기 전 저울지시값(g)
- m_2 : 물을 흘려 보낸 후 저울지시값(g)
- S : 저울의 역감도(g/div.)
- ρ_A : 저울 역감도 측정시 공기밀도(g/cm³)
- ρ_b : 저울 감도 측정을 위한 표준분동 밀도(g/cm³)
- ρ_w : 물의 밀도(g/cm³)
- ρ_a : 물의 질량을 측정할 때의 공기밀도(g/cm³)
- D : 우량계 수수구 직경(cm)

위 식에서 공기밀도는 온도, 습도, 기압측정으로부터 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$\rho_a = \frac{0.00348444P - H(0.00252t - 0.020582)}{(t + 273.15) \cdot 1000} \quad (g/cm^3) \quad (2)$$

- 여기서, P : 기압(Pa),
- H : 상대습도 (% R.H.),
- t : 온도(°C)

물(순수한 물)의 밀도는 임의 온도(t)를 대입하여 다음 식을 이용하여 구한다.

$$\rho(t)/\rho(\max) = 1 - \frac{(t - 3.98152)^2(t + 96.18534)(t + 32.28853)}{609628.6(t + 83.12333)(t + 30.24455)}$$

$$\rho(\max) = 999.9734kg/m^3 \quad (3)$$

우량계 측정시 사용된 물의 양에 따른 저울의 특성을 나타내는 저울의 역감도(s)는 (4)로 구한다. 사용할 표준분동은 가능한 흘려 보낸 물의 질량과 비슷한 것을 사용한다.

$$s = \frac{m_s}{L} \quad (4)$$

- 여기서, m_s : 표준분동의 질량
- L : 상대습도(% R.H.),
- t : m_s 의 표준분동을 저울의 팬 위에 놓기 전과 후의 저울눈금의 변화량

III. 우량계 표준교정시스템

1. 하드웨어 구성

본 연구에서 개발한 우량계 표준교정시스템의 주요 구성 요소는 교정대상 우량계에 공급되는 물을 저장하고 질량을 측정하는 수조와 정밀저울과 감도분동, 임의의 강우강도에 따라 물의 양을 자동으로 조절하는 정속 펌프와 제어기, 환경 인자를 측정하는 온도와 습도 및 기압센서, 그리고 데이터 측정을 총괄하는 PC급 데이터 취득장치로 이루어져 있다.

또한, 표준교정시스템이 갖추어야 할 주요 기능으로는 첫째, 상온에서 물저장 수조로부터 시험용기에 교정할 양만큼의 물을 채울 수 있어야 하며, 둘째, 강우량 및 강우강도에 따른 불확도를 측정하기 위하여 상온에서 설정된 시간에 따라 일정량의 물을 일정속도로 교정대상 우량계에 공급하는 기능을 갖는다. 셋째, 시험용기로부터 물을 공급한 량과 교정대상 우량계에서 측정된 데이터를 상호 비교하는 기능을 갖는다. 넷째, 표준교정시스템으로부터 질량, 수온, 정속모터의 동작시간, 측정반복 횟수 및 실내의 온도, 습도, 기압 등을 읽어 교정대상 우량계에 대한 측정 불확도를 계산하는 기능을 갖는다.

그림 2는 이와 같은 기능을 갖는 우량계 표준교정시스템의 전체 구성을 나타낸다.

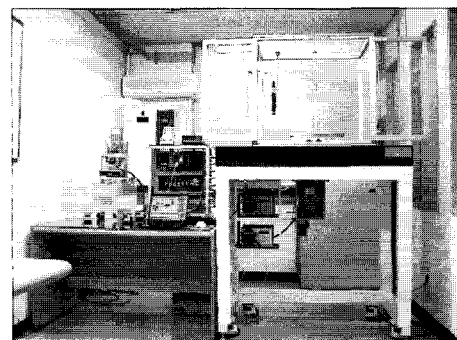


그림 2. 우량계 표준교정장치.
Fig. 2. Standard calibration facility for rain gauges.

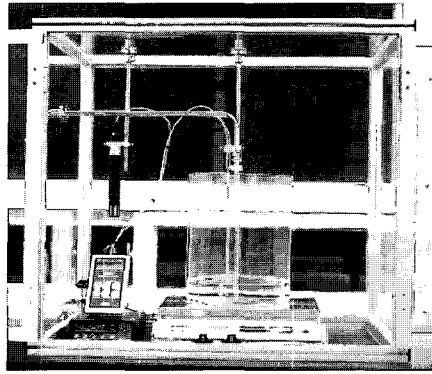


그림 3. 수조 · 정밀저울.
Fig. 3. Water vessel & precision balance.

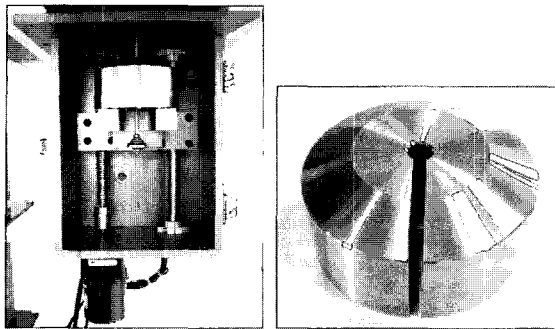


그림 4. 표준 분동장치.
Fig. 4. Standard weight.

1.1 수조 및 정밀저울

우량계 교정을 위해 물을 저장하는 수조의 구조는 직경 235mm 높이 300mm인 유리 수조를 제작하여 최대 13 l까지 시험용 물을 공급할 수 있도록 하였다.

정밀 저울은 우량계 표준교정장치에서 핵심적인 측정장치로서, 설치된 저울은 Mettler Toledo Co.의 제품으로서 최대 측정용량이 16,100g 이며, 최소 지시값이 0.1g 이므로 최대 300mm의 강우량에 필요한 약 10kg의 물과 약 1kg의 잔유물, 그리고 약 3kg의 용기 질량을 합한 질량 14kg까지 측정할 수 있으며, 100mm 강우량의 측정의 오차를 1% 이내에서 측정이 가능하다. 본 저울의 주요 특징은 RS-232C 통신이 가능하고, 유지보수가 용이하다.

1.2 감도분동

저울은 사용시간에 따라 지시값의 흐름이 발생하여 측정시 오차를 유발하기 때문에 정확한 질량측정을 위해서는 항상 표준분동과 비교되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 3kg의 분동을 제작하여 저울의 역감도를 구할 수 있도록 하였다. 그림 4는 표준분동과 분동을 저울에 로딩하는 장치를 나타낸 것으로 분동 캐리어를 상.하로 매우 천천히 움직이면서 분동이 매달림 접시(pan)에 로딩(loading) 또는 언로딩(unloading) 하도록 하였다. 분동은 실린더(cylinder) 모양이고 가는 슬롯(slot)를 내어 분동을 쉽게 설치할 수 있도록 하였다. 그리고 분동은 STS316의 비자성체인 스테인레스로 제작되어 자성의 영향을 최소화하였다.

1.3 정속 펌프

시험용 물의 공급은 정속 펌프를 이용하여 일정량의 물을 수조로부터 공급하기 위한 용도와, 사용된 물을 재사용하기 위한 수급용으로 각각 펌프를 사용하였다.

공급용 펌프는 최대 150ml/min 공급 가능하도록 하고, 강우강도의 설정에 따라 공급량을 가변할 수 있도록 하였으며, 사용된 호스의 규격은 LS16으로 가는 것을 사용하여 물을 펌핑할 때 수조안의 물 흔들림이 적도록 하였다.

수급용 펌프는 사용된 물을 수조에 재충전하기 위한 것으로, 최대 펌핑량을 300ml/min으로 할 수 있도록 호스 규격이 LS17인 굵은 것을 사용하여 공급용 펌프보다 펌핑량이 2배정도 커지도록하여 짧은 시간 내에 물을 수조에 담아 다음 시험이 가능하도록 설계 하였다.

일정한 속도로 물을 공급하기 위한 정속 펌프의 주요 특징은 첫째, 현재의 유량값 및 회전속도를 LED로 표시하여 유량 설정을 간단히 할 수 있으며, 재현성이 용이하다. 둘째, 펌프 헤드를 2단까지 장착 가능하여 채널 수를 확장하여 1대의 펌프로 2대의 효과를 얻을 수 있다. 셋째, 각 튜브별 부하 변동값을 자동체크할 수 있으며, 튜브의 크기를 자유롭게 선택할 수 있다.

1.4 환경계측장치 및 테이블

시험용 수조와 저울 및 계측장비가 외부의 환경적인 요인으로부터 영향을 받지 않도록 하기 위하여 저울 테이블을 제작하였다. 이 저울 테이블은 저울을 안정된 상태에서 사용할 수 있으며, 측정 동안에 주위의 진동이 저울에 전달되지 않도록 1200(가로)×700(세로)×1100(높이)mm 크기로 사각 철 구조물로 제작하고 구조물 안에 모래를 충전하여 테이블을 무겁게 하고 외부로부터 전달된 진동이 감쇄되도록 설계하였다. 그리고 테이블 위에는 두께 120mm인 석정판을 설치하여 저울지시값이 안정될 수 있도록 하였다.

온도계는 물의 부피를 알기 위한 해당 수온의 밀도를 측정하는 장치로서 정확도가 상온에서 ±0.01°C 이상이며, RS-232C 통신이 가능하며, 유지보수가 용이하다.

습도습기압계의 실내 온도, 습도, 기압측정은 공기밀도를 보정하기 위한 것으로 센서 1로는 공기를 온도센서 2에서는 물과 부드러운 물질, 금속 및 기타 물체 등의 온도를 측정할 수 있다.

2. 소프트웨어 구성

우량계 표준교정시스템을 운영하기 위한 소프트웨어는 마이크로소프트 Visual Studio .Net 2003 Enterprise Developer를 이용하여 작성되었으며, 세부적인 소프트웨어의 기능은 첫째, 자동으로 교정절차에 따라 데이터를 취득하는 기능과 둘째, 표준교정시스템으로부터 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, 소프트웨어의 초기 화면은 그림 5와 같다.

또한, 피교정 우량계의 펄스 입력값과 분동을 포함한 정

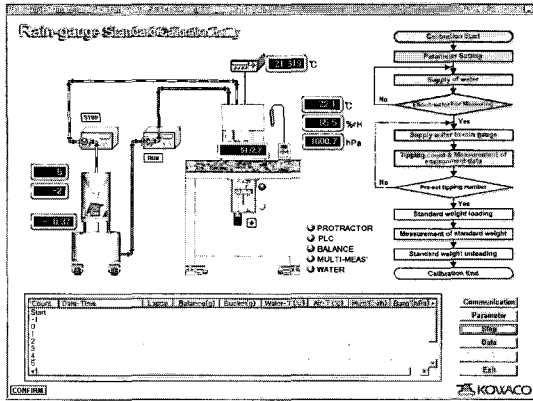


그림 5. 표준교정장치 초기화면.
Fig. 5. The initial screen of standard calibration facility.

속펌프를 제어하기 위한 PLC의 운영 프로그램을 ladder 로 개발하였다.

표준실에서의 표준교정시스템을 이용한 우량계 표준교정 방법에 대한 전체 흐름도는 그림 6과 같으며, 교정을 시작하기 전에 표준 교정실에 대한 환경조건 및 피교정 우량계에 대한 표준화된 준비 상태를 유지하여야 한다.

표준 교정실의 환경조건은 피교정 우량계에 대한 교정이 시작되기 최소 12시간 이전에 환경기준에 적합하도록 온도와 습도를 조절하여 최적의 표준 교정실에 대한 환경조건을 유지하도록 하여야 한다.

또한, 피교정 우량계의 교정 조건은 수평계를 이용하여 피교정 우량계의 수평상태를 확인하여야 하며, 수평 유지방법은 우량계 수평 점검용 장치를 설치하고 세 방향에서의 수평을 경사도계를 이용하여 최적이 되도록 하부의 나사를 조정한다. 위의 환경기준 및 설치조건을 만족한 경우 다음의 절차에 따라 표준 교정실에서의 교정이 이루어진다.

- ① 전도형 우량계의 측정에 필요한 파라메타인 바켓의 전도 횟수(n), 강우 강도, 데이터 저장 파일명 등 측정에 필요한 값을 설정하여 측정준비를 완료한다. 전도 횟수(n)는 예를 들면 1.0mm 계량척으로 100mm 우량을 측정할 때는 100회를 설정하면 프로그램에서 자동적으로 시작부분의 두 개 데이터는 오차가 발생할 소지가 있으므로 버리고 100회 측정하게 된다. 강우강도는 펌프 A의 배출량을 나타내는 것으로 시험에 의해 강우강도에 적합한 정속값을 입력하며, 일례로 20mm/h, 50mm/h, 100mm/h, 150mm/h에 해당되는 정속값을 설정하여 각각 측정하여야 한다.

- ② 측정에 필요한 물의 양을 다음 식에 의하여 계산하고 저울을 확인하여 현재 필요한 물의 양을 계산한다.

$$\text{물의 양} = \text{전도형 바켓의 전도 횟수}(n) \times \text{측정횟수}(m) \times 31.4\text{cc}$$

- ③ 측정에 필요한 준비가 끝났으면 펌프 B를 동작시켜 설정된 양만큼의 물을 시험수조에 채운다.
- ④ 측정에 필요한 물의 양이 적정함을 판단하고, 만약 물의 양이 모자라면 ②항부터 다시 시작 계산하여 필요한 물의 양을 확보한다.

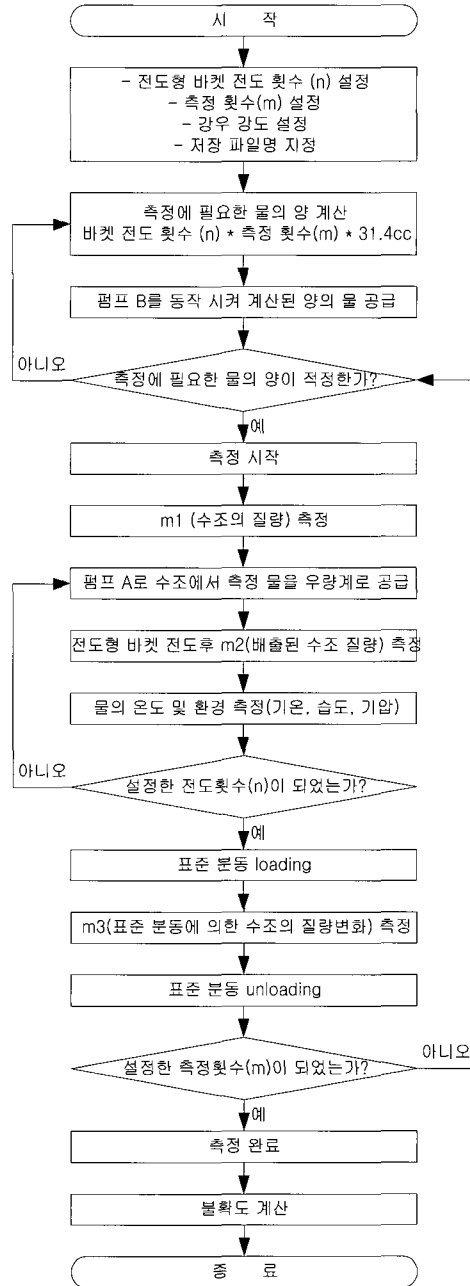


그림 6. 우량계 표준교정 알고리즘.
Fig. 6. Standard calibration algorithm for rain gauges.

- ⑤ 데이터 처리장치를 통하여 측정을 시작한다.
- ⑥ 현재 상태의 수조 질량(m1)을 저울 값을 읽어 측정한다.
- ⑦ 펌프 A로 수조에서 물을 우량계로 공급한다.
- ⑧ 피교정 우량계의 전도형 바켓이 전도된 후 배출된 수조의 질량(m²)을 측정한다.
- ⑨ 물의 온도 및 기온, 습도, 기압 등의 환경 데이터를 측정하여 저장한다.
- ⑩ 설정한 전도 횟수(n)가 되었는지를 판단한다. 만약 전도 횟수(n)가 되지 않았다면 ⑦항부터 다시 시작한다.
- ⑪ 표준분동을 loading 한다.
- ⑫ 표준분동에 의한 수조의 질량(m³) 변화를 측정한다.

- ⑬ 표준분동을 unloading 한다.
- ⑭ 설정한 측정 횟수(m)가 되었는지를 판단한다. 만약 측정 횟수(m)가 되지 않았다면 ④항부터 다시 시작한다.
- ⑮ 측정을 완료한다.
- ⑯ 불확도를 계산하고 끝낸다.

IV. 최고측정능력 분석

최고측정능력이란 규정된 시험실 조건 하에서 기 확립된 교정 또는 교정 유형에 대하여 교정기관이 달성할 수 있는 최소의 측정불확도를 말한다[5,6].

우량계 표준교정시스템의 표준불확도 계산식은 다음 식과 같이 강우량 산출을 위한 함수식으로부터 이의 합성 표준불확도에 의해서 구할 수 있다.

$$y = f(m_1, m_2, s, \rho_a, \rho_b, \rho_w) \quad (5)$$

$$u_c^2 = u^2(m_1) + u^2(m_2) + u^2(s) + u^2(\rho_a) + u^2(\rho_b) + u^2(\rho_w) \quad (6)$$

- 여기서, $u(m_1)$: 물 배출전 저울지시값에 따른 불확도
- $u(m_2)$: 물 배출후 저울지시값에 따른 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

각 불확도 성분의 표준불확도, 감도계수, 불확도 기여량 및 자유도, 그리고 합성 표준불확도를 총괄하여 나타낸 것이 표 1의 불확도 총괄표가 된다.

불확도 총괄표에 따라 측정결과의 확률분포가 정규분포 또는 유효자유도가 10보다 큰 t 분포인 경우에는 관례에 따라 포함인자 2를 합성표준불확도에 곱하여 확장불확도(신뢰수준 약 95% 로 보고)를 구한다.

불확도는 확장불확도로 보고하는 것을 원칙으로 하되 관습적인 경우 또는 합의된 경우에는 합성 표준불확도로 보고할 수 있다. 확장불확도로 보고할 때에는 신뢰수준, 확률분포, 및 포함인자와 함께 보고한다. 단, 정규분포를 사용하는 경우에는 확률분포의 보고는 생략할 수 있다. 불확도의 유효자유수는 두 개 이하로 하며, 한 개로 하는 경우에는 그 아래자리에서 올림을 하고, 두 개로 하는 경우에는 그 아래자리에서 반올림을 한다.

표 1. 불확도 총괄표.

Table 1. Uncertainty table.

No	양 X_i	추정 x_i	표준불확도 $u(x_i)$	자유도 ν_i	감도계수 c_i	불확도기여량 $u_i(q)$	확률 분포
1	$m_1(g)$	3 140	0.086 6	∞	0.032 0	0.002 8	사각
2	$m_2(g)$	0	0.086 6	∞	-0.032 0	-0.002 8	사각
3	$s(g/div.)$	1.000 8	1.631×10^{-4}	∞	1.003 5	0.000 16	사각
4	$\rho_a(g/cm^3)$	1.174×10^{-3}	$1.704 \cdot 7 \times 10^{-6}$	∞	0.882 4	1.50×10^{-6}	사각
5	$\rho_b(g/cm^3)$	8	0.23	∞	1.8431×10^{-5}	4.29×10^{-6}	사각
6	$\rho_w(g/cm^3)$	0.997 5	6.3646×10^{-5}	∞	-1.007 9	-6.41×10^{-5}	사각
7	반복도	20		19		3.80×10^{-3}	정규
8	합성불확도			5416	-	0.55×10^{-2}	

V. 강우강도별 특성시험

강우강도에 따른 우량계의 특성시험을 위하여 시험조건을 강우강도 20mm/h부터 20mm/h 단위로 약 230mm/h까지 변경하면서 측정하고, 우량계의 평형을 유지하도록 설치하였다. 전체적인 시험은 그림 7의 결과에서 알 수 있듯이 2회 실시하였으며, 초기조건을 20mm/h 에서의 측정값을 각각 다르게 설정하였다. 20mm/h에서 1 버킷당 측정량이 0.97 mm 및 0.99mm인 경우 230mm/h까지 단조증가하며 전체 측정량의 차이는 각각 0.026mm 0.036mm를 나타냄을 알 수 있다.

그림 8은 기준값에 대한 측정 오차로 변환한 결과를 나타내며, 강우강도가 클수록 측정 오차는 마이너스 방향으로 커짐을 알 수 있다. 이는 그림 7에서 알 수 있듯이 1 버킷당 강우량이 많을수록 1.0mm 단위로 카운터하지 못하고

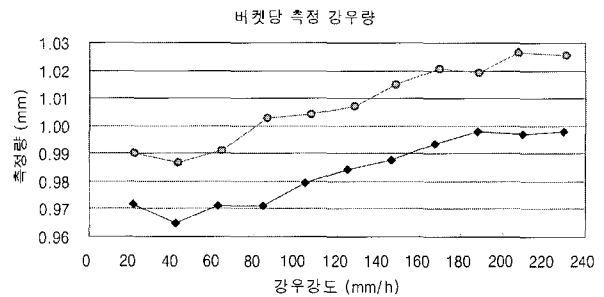


그림 7. 강우강도에 따른 측정량.

Fig. 7. The measurement value according to rainfall intensity.

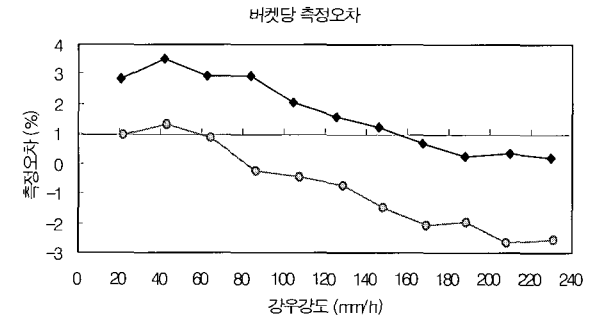


그림 8. 강우강도에 따른 측정 오차.

Fig. 8. The measurement error according to rainfall intensity.

표 2. 강우강도 특성 데이터.

Table 2. Characteristic data of rainfall intensity.

강우 강도 (mm/h)	측정값 (mm)	오차 (%)	측정 불확도 (%)	강우 강도 (mm/h)	측정값 (mm)	오차 (%)	측정 불확도 (%)
21	0.972	2.82	2.3	22	0.990	0.98	0.9
42	0.965	3.51	2.3	43	0.987	1.33	1.0
62	0.971	2.90	3.0	64	0.991	0.89	1.1
84	0.971	2.90	1.9	86	1.003	-0.27	1.0
104	0.980	2.04	2.3	107	1.004	-0.44	1.0
125	0.984	1.55	2.1	128	1.007	-0.74	1.3
146	0.988	1.22	2.1	148	1.015	-1.50	1.5
167	0.994	0.65	2.9	169	1.021	-2.09	2.4
188	0.998	0.21	2.4	188	1.019	-1.95	1.8
210	0.997	0.32	2.4	208	1.027	-2.65	1.8
229	0.998	0.20	3.5	231	1.026	-2.56	3.1

그 이상인 경우에 펄스를 발생함으로써 덜 측정됨을 확인할 수 있다. 또한, 강우강도에 따른 보정을 위해서는 강우강도의 범위를 설정하고 교정되어야 함을 알 수 있다.

표 2는 이 시험의 결과 데이터로서 불확도의 경우 강우강도에 따른 불확도 변화가 거의 없이 비슷한 결과를 나타내었다.

VI. 결론

본 연구에서는 전도형 우량계의 교정이 가능한 표준교정시스템 및 교정방법을 개발하여 표준화하였다. 이러한 교정시스템과 교정방법을 이용하여 표준교정시스템의 최고측정

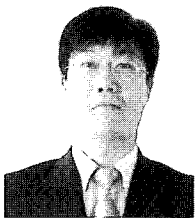
능력을 산출하였으며, 표 1에서와 같이 합성불확도와 확장 불확도가 각각 0.55×10^{-2} , 1.10×10^{-2} 으로 분석하였다.

또한, 전도형 우량계에 있어서 강우강도에 따른 특성을 본 연구에서 개발한 표준교정시스템으로부터 쉽게 확인할 수 있었다. 시험 결과와 같이 전도형 우량계의 강우강도별 특성은 시간당 강우량 20mm/h부터 약 230mm/h까지의 결과 1 버킷당 측정량이 230mm/h까지 단조증가하며 전체 측정량의 차이는 각각 0.026mm, 0.036mm를 나타냄을 알 수 있었다. 두 가지 경우의 초기설정 조건에 대한 영향을 알 수 있어 강우강도에 따른 전도형 우량계의 측정 오차를 예상할 수 있었다.

본 연구에서 개발한 표준교정시스템 및 교정방법은 ISO/IEC 17025 국제공인 국가교정기관으로 인정받았으며, 이를 통하여 기상관측분야 및 수문관측분야의 기초자료의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 계기를 마련하였다.

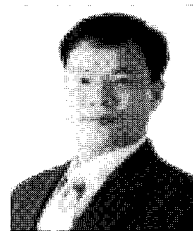
참고문헌

- [1] 우덕모, “전도형 우량계의 강우강도별 특성,” 한국기상학회지, vol. 38, no. 5, pp. 479-491, 2002.
- [2] WMO, “Guide to meteorological instruments and methods of observation,” WMO-no. 8. 1996.
- [3] 김대원, 이부용, “우량계 개발과 측정 오차,” 한국환경과학회지, vol. 11, no. 10, pp. 1055-1060, 2002.
- [4] 건설교통부, “수분관측매뉴얼,” 2004.
- [5] 한국교정시험기관인정기구, “측정불확도 추정사례집,” 2004.
- [6] 한국표준과학연구원, “불확도 평가 및 표현 사례집,” 2005.



신 강 욱

1987년 동국대 전자공학과 졸업. 1993년 홍익대 대학원 석사. 2005년 동 대학원 박사. 1993년~현재 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원. 관심분야는 플랜트제어 및 응용, 모델링, 지능제어, 원격감시제어, 센서응용.



홍 성 택

1993년 한밭대 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 석사. 2005년 충북대 대학원 박사과정. 1996년~현재 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원. 관심분야는 전자회로설계, 위성통신망, 원격감시제어, 센서응용.