

강수량계 종류별 성능시험 및 불확도 분석

홍성택¹ · 박병돈¹ · 김종립¹ · 정희경^{2*}

Performance tests and uncertainty analysis of precipitation types

Sungtaek Hong¹ · Byungdon Park¹ · Jonglib Kim¹ · Hoekyung Jung^{2*}

¹K-water Convergence Institute, 125 1689 beon-gil, Yuseong-daero, Yuseong-Gu, Daejeon 34045, Korea

^{2*}Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 35345, Korea

요 약

정확한 강수량의 측정은 댐 및 하천의 운영, 농어촌 및 산림녹화, 안전관리 등 사용분야가 광범위하며, 재난재해를 대비하고 강우발생시 경제적인 효과를 얻기 위해서 필요하다. 본 연구에서는 집수형 강수량계의 성능을 분석할 수 있는 통합검증시스템에 의한 강수량계 종류별 특성시험을 실시하였다. 전도형 강수량계는 0.0041 mm, 무게식 강수량계는 0.0045 mm, 표면장력식 강수량계는 0.0039 mm으로 불확도가 산출되었으며, 강수량계의 종류 및 특성에 따른 불확도는 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 이러한 특성시험을 통하여 강수량계 종류에 따른 기상관측 및 수문관측 데이터의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

ABSTRACT

Precipitation has a wide range of applications, such as the management and operation of dams and rivers, supply of drinking water for urban and industrial complex, farming and fishing, forest greening, and safety management. In order to prepare for disasters and to obtain economical effects in case of flood damage, it is necessary to measure accurate precipitation. In this study, we carried out the characteristics tests for various types of rainfall gauge using integrated verification system, which can analyze the performance of collective type rainfall gauge. The uncertainty for tipping bucket rain gauge was 0.0041 mm, where weight type and surface tension type was 0.0045 mm and 0.0039 mm respectively. Therefore, the uncertainty according to the type and characteristics of the precipitation system is not significantly different. The uncertainty is also influenced greatly by the resolution.

키워드 : 강수량계, 무게식, 성능시험, 우량계, 전도형, 통합검증시스템

Key word : precipitation, weighing type, performance test, rain gauge, tipping bucket, rainfall integrated verification system

Received 20 April 2018, Revised 26 April 2018, Accepted 14 June 2018

* Corresponding Author Hoekyung Jung (E-mail:hkjung@pcu.ac.kr, Tel:+82-42-520-5640)

Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 35345, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.7.935>

pISSN:2234-4772

©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

최근 전세계적으로 지구온난화에 따른 기후변화로 홍수 및 가뭄 등 수재해 발생빈도가 높아짐에 따라 국내 지자체와 태국, 필리핀 등 동남아시아 및 아프리카의 알제리 등 해외에서 홍수재해 통합관리 등 수재해 관리에 대한 관심이 증가되고 있으며, 과학기술정보통신부는 9개 부처 합동으로 파리 기후변화협약 체결과 한국의 온실가스 감축 목표 설정 등을 계기로 ‘16년 6월에 “기후기술 확보 로드맵(CTR:Climate Technology Roadmap)”을 수립하였으며, 이는 기후기술 등이 현실에 직면한 중요한 이슈로 급부상하기 때문이다[1].

기상관측 및 댐과 하천의 운영·관리에 있어서 강수량을 측정하는 강수량계는 수재해 예측과 국지성 강우, 위험 기상 감시 등 악천후 관측, 재난 예방기술에 필요한 자립적인 기술력 확보가 필요한 센싱 기술이며, 기상청, 농진청, 산림청, 국토부 및 각 지자체 등에서 강수량을 측정하여 농어촌 및 산림녹화, 안전관리 등에 활용하고 있으며, 비의 양을 기록 관리하여 차년도 등에 예측, 활용하는 등 사용분야가 광범위하며, 재난재해를 대비하고 홍수피해시 경제적인 효과를 얻기 위해서는 정확한 강수량의 측정이 필요하다[2].

본 연구에서는 보통형, 전도형, 무게식 강수량계 등 집수형 강수량계의 성능을 분석할 수 있는 통합검증시스템에 의한 강수량계 종류별 특성시험을 통한 불확도를 산출하였으며, 이를 통하여 기상관측 및 수문관측 데이터의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

II. 강수량계

2.1. 강수량계 개요

강수(水)량은 비, 눈, 안개, 우박 등이 대기로부터 땅에 떨어지는 양을 뜻하고, 강우(雨)량은 순수하게 비만 내린 것을 측정한 양으로 단위는 mm를 사용한다. 강수량계는 비 뿐만 아니라 눈을 포함한 고체형태로 지면에 내리는 공기 중 수증기를 측정할 수 있는 계측기를 의미한다.

2.2. 강수량계 종류 및 특성

표 1과 같이 강수량 측정방식에 따라 깊이 측정, 무게 측정, 기타 측정으로 분류 할 수 있으며, 측정 원리에 따

라 보통형, 전도형, 무게식, 사이펀식, 레이더식, 압전식, 광학식으로 세분화 된다[3,4].

Table. 1 Type of precipitation according to measurement method

Type	Measurement Method	Kinds
Collection	Depth	Ordinary, Siphon, Float
	Weight	Tipping-bucket, Weighing
Non-collection	Radio wave	Radar
	Pressure	Pressure
	Infrared	Optical

2.2.1. 전도형 강수량계

눈이나 우박처럼 고체성 강수현상도 관측할 수 있으며, 일정량의 강수를 담을 수 있는 버킷의 전도 횟수를 카운트하여 강수량 측정하는 방식이다. 수수기에 집수된 강수가 두개의 소형 컵 중 하나의 컵에 일정량의 물이 고이면 물의 무게에 의해 한쪽으로 기울어지면서 빗물을 비우게 된다. 이 때 전기회로가 연결되면서 전기신호를 발생시켜 기록장치에 기록하기 때문에 디지털화하기 쉽고 자동관측이 용이하여 세계적으로 널리 사용되며, 강수량계의 개념 및 외형은 그림 1과 같다.

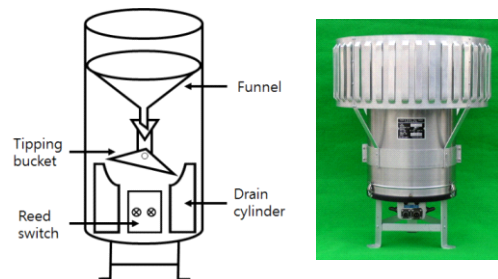


Fig. 1 Tipping bucket rain gauge

2.2.2. 무게식 강수량계

본체에 저수통이 있어 비, 눈 등이 수수기 상단을 통해 들어온 강수가 용기에 차오르면 무게 센서 또는 로드 셀에 의해 연속적으로 무게를 측정하는 방식으로, 물을 받는 용기 및 무게를 측정하는 장치로 구성된다. 무게식 강수량계는 비와 같은 액체 강수는 물론 눈과 같은 고체 강수까지 강수량을 관측할 수 있다. 운영에 있어서는 저장부의 물을 비워주는 것 이외에는 특별한 준비과정이 필요 없는 장점을 가지나, 저장부 내부에 기름을 섞거나

수막을 형성하는 방법 등으로 증발을 막는 방법이 있어야 한다. 강수량계의 개념 및 외형은 그림 2와 같다.

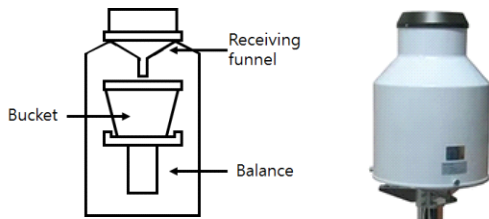


Fig. 2 Weighing rain gauge

2.2.3. 표면장력식 강수량계

수수구로부터 집수된 물은 일정한 크기의 구경의 관으로 천천히 통과하여 표면장력에 의해 물방울이 만들어진다. 이때 낙하되는 물방울의 수를 카운트하여 물방울의 질량과 물방울 수를 곱하여 강수량을 측정하는 방식이며, 강수량계의 개념 및 외형은 그림 3과 같다[5].

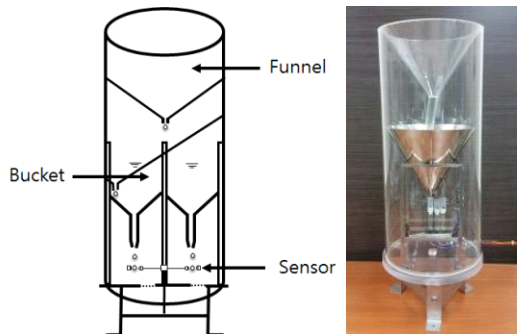


Fig. 3 Surface tension rain gauge

III. 통합검증시스템

3.1. 시스템 개요

K-water융합연구원에서 운영중인 ISO 17025 국제공인 강수량계 교정시스템은 전도형 강수량계를 대상으로 교정을 하는 시스템이다. 이 시스템을 보완하여 전도형 강수량계를 포함하여 무게식, 표면장력식, 부자식, 보통식 등 모든 종류의 강수량계의 성능을 검증할 수 있는 시스템을 그림 4와 같이 구축하였다[6,7,8,9].

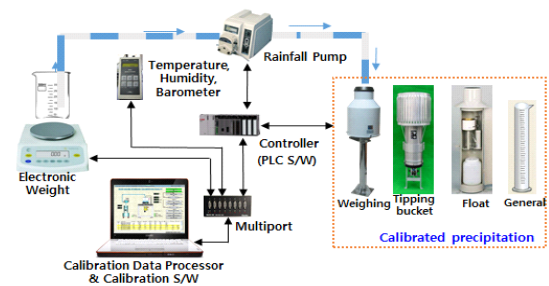


Fig. 4 Overview of integrated verification system

강수량계를 교정하는 일반적인 방법은 계량컵에서 쏟아진 물을 우량승(우량측정 실린더)으로 부피를 측정하여 강수량으로 환산하거나 교정된 자동피펫에 물을 담아 강수량계에 천천히 배출시켜 계량컵의 측정횟수와 비교하고 있다. 이러한 방법은 물로 교정된 실린더나 자동피펫을 사용하는 것으로 실린더나 자동피펫을 교정해야 하는 번거로움이 따른다. 통합검증시스템은 물을 담은 수조를 정밀저울 위에 놓고 이 수조에 담긴 물을 정속모터를 이용하여 일정한 강우강도를 유지하며 강수량계로 흘려보낸 후 물의 질량변화를 저울로 측정하여 강수량으로 환산하고 강수량계의 측정값과 비교하는 방식이다[10].

3.2. 통합검증 성능시험 소프트웨어

강수량계 통합검증시스템을 운영하기 위한 소프트웨어의 기능은 교정절차에 따라 데이터를 자동으로 취득하며, 통합검증시스템으로부터 불확도 계산에 필요한 요소인 질량, 수온, 정속모터의 동작시간, 측정반복 횟수 및 실내의 온도, 습도, 기압 등을 읽어 들여 불확도를 계산하고, 불확도의 계산이 완료되면 데이터를 저장하며 자동으로 파일을 생성시키는 기능을 한다. 소프트웨어의 초기화면은 그림 5와 같다.

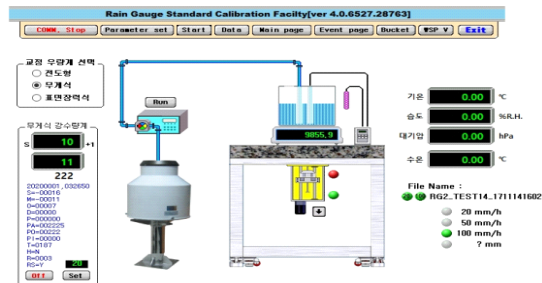


Fig. 5 Screen of integrated verification system (Weighing rain gauge)

IV. 성능시험 데이터 분석

4.1. 전도형 강수량계 성능시험

4.1.1. 시험 개요

피시험기인 전도형 강수량계의 특성은 표 2와 같으며, 1 mm 분해능인 강수량계이다. 좌우 버킷으로 구성되어 있기 때문에 버킷의 측정 편차가 크지 않아야 된다.

Table. 2 Characteristics of the tipping bucket rain gauge

Model	WDS-205
S/N	6793
Measurement	Tipping bucket
Resolution	1 mm
Accuracy	3 %

4.1.2. 성능시험 절차

전도형 강수량계의 세부 성능시험 방법은 그림 6과 같다. 전도형 강수량계의 측정에 필요한 파라메타인 버킷의 전도횟수(10회, 20회, 30회, 임의), 강우 강도(20, 50, 100, 임의 mm/h), 데이터 저장 파일명 등 측정에 필요한 값을 설정하여 측정준비를 완료하고, 측정에 필요한 물을 수조에 공급하여 측정에 필요한 물의 양이 적정 한지를 판단하고, 만약 물의 양이 모자라면 적정량을 추가 공급한다. 측정을 시작하여 정속펌프를 이용하여 수조의 물을 설정한 강우강도로 피고정 강수량계에 공급하며, 버킷이 젖어있는 상태가 좌우가 같도록 각 한번씩 2회 전도되도록 하고, 저울값이 안정화될 때까지 30초의 지연시간을 거친 후, 수조의 질량, 수온, 온도, 습도, 대기압 등의 데이터를 측정한다. 분해능에 따른 신호가 발생할 때마다 수조의 질량, 수온, 온도, 습도, 대기압을 측정한다. 버킷이 전도될 때마다 데이터를 측정하며, 9회 반복하며, 마지막 10회 전도가 완료되면 저울값이 안정화될 때까지 30초의 지연시간을 거친 후, 데이터를 측정한다. 표준분동을 추가하여, 표준분동을 포함한 수조의 질량을 측정 후, 표준분동을 제거한 후, 설정한 강우강도에 대한 불확도를 계산하고, 측정을 종료한다.

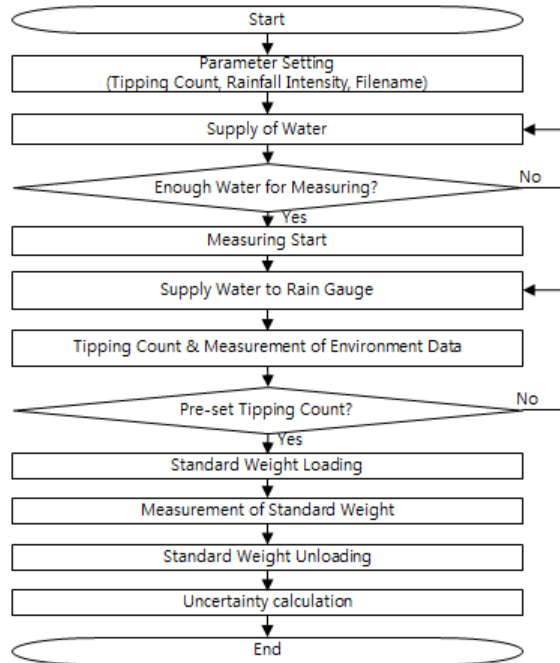


Fig. 6 Performance test procedure for tipping bucket rain gauge

4.1.3. 성능시험 데이터 취득

강우강도 20 mm/h를 기준으로 하여 전도형 강수량계에 대한 성능시험을 그림 7과 같이 실시하였다. 전도형 강수량계는 좌우 티핑 버킷에 담겨지는 물의 양(강수량)을 측정하는 것이기 때문에 좌우 각각 5회 씩 총 10회를 그림 8과 같이 측정하여 좌우 티핑 버킷의 편차 및 불확도를 계산하였다.

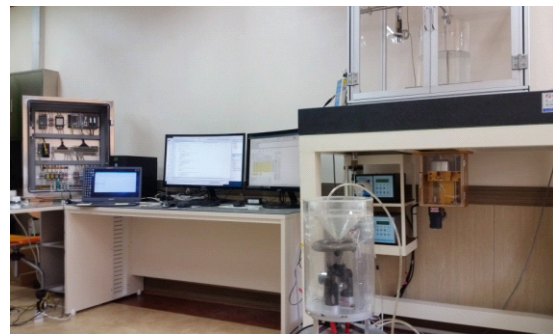


Fig. 7 Performance test of tipping bucket rain gauge

Count	Time (hh:mm:ss)	Measuring Time (s)	Weight (g)	Bucket (g)	Water Temp (°C)	Air Temp (°C)	Humidity (% R.H.)	Pressure (hPa)	Air Density (g/cm³)	Water Density (g/cm³)	Rainfall (mm)
-1	15:01:20.4	28.5	10 090.6	36.4	22.2	23.3	53.7	1 006.0	0.001 176	0.997 7	1.168 1
0	15:03:58.4	158.0	10 059.8	30.8	22.2	23.3	54.2	1 005.9	0.001 175	0.997 7	0.988 4
1	15:06:44.8	160.4	10 028.8	31.0	22.3	23.3	54.9	1 005.9	0.001 175	0.997 7	0.994 8
2	15:09:25.7	160.9	9 997.4	31.4	22.3	23.2	55.0	1 005.9	0.001 176	0.997 7	1.007 7
3	15:12:06.4	160.7	9 966.3	31.1	22.3	23.2	55.5	1 005.8	0.001 176	0.997 7	0.998 0
4	15:14:47.0	160.6	9 935.0	31.3	22.3	23.2	56.3	1 005.8	0.001 175	0.997 7	1.004 5
5	15:17:28.0	161.0	9 903.8	31.2	22.3	23.2	56.8	1 005.9	0.001 175	0.997 7	1.001 3
6	15:20:08.3	160.3	9 872.5	31.3	22.3	23.2	57.4	1 005.9	0.001 175	0.997 7	1.004 5
7	15:22:49.3	161.0	9 841.3	31.2	22.3	23.2	57.7	1 005.8	0.001 175	0.997 7	1.001 3
8	15:25:30.2	160.9	9 809.9	31.4	22.3	23.1	58.0	1 005.8	0.001 176	0.997 7	1.007 7
9	15:28:11.0	160.8	9 778.6	31.3	22.3	23.1	58.3	1 005.8	0.001 176	0.997 7	1.004 5
10	15:30:51.4	160.4	9 747.2	31.4	22.3	23.1	58.8	1 005.9	0.001 176	0.997 7	1.007 7

Fig. 8 Performance test data of tipping bucket rain gauge

4.1.4. 전도형 강수량계 불확도 추정

불확도를 추정하는 방법으로는 A형 및 B형 불확도를 추정하여 합성불확도를 구한다. A형 불확도의 추정은 유한 반복 측정값에 대한 평균 및 실험표준편차를 통하여 구하며, B형 불확도의 추정은 통계적으로 직접 구하지 않는 모든 불확도를 말하며, 제작자의 규격, 교정 및 기타 인증서에 주어진 데이터 등을 이용하여 구한다 [11,12,13,14].

성능시험 데이터에 의한 전도형 강수량계 평균(\bar{x})은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{10}}{10} \text{ mm} \\ &= \frac{0.994\ 8 + 1.007\ 7 + 0.998\ 0 + 1.004\ 5 + 1.001\ 3}{10} \\ &\quad + \frac{1.004\ 5 + 1.001\ 3 + 1.007\ 7 + 1.004\ 5 + 1.007\ 7}{10} \\ &= 1.003\ 2 \text{ mm} \end{aligned} \tag{1}$$

또한, 성능시험 데이터에 의한 전도형 강수량계 실험 표준편차(s)는 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ mm} \\ &= 0.004\ 3 \text{ mm} \end{aligned} \tag{2}$$

A형불확도(u_A)는 식 (2)에 의하여 구해진 실험표준편차와 측정 횟수인 10회를 식 (3)에 적용하여 계산한다.

$$\begin{aligned} u_A &= \frac{s}{\sqrt{n}} \text{ mm} \\ &= \frac{0.004\ 3}{\sqrt{10}} \text{ mm} \\ &= 0.001\ 4 \text{ mm} \end{aligned} \tag{3}$$

B형불확도(u_B)는 Kwater연구원에서 운영중인 강수량계 표준교정시스템의 측정능력산출보고서에서 산출된 데이터인 0.003 9 mm를 사용하며, 이는 강수량계의 성능을 검증하는 공통의 시스템이므로 모두 같은 값을 사용한다[15].

$$u_B = 0.003\ 9 \text{ mm} \tag{4}$$

합성불확도(u_c)는 A형불확도와 B형불확도로부터 식 (5)에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \text{ mm} \\ &= \sqrt{(0.001\ 4)^2 + (0.003\ 9)^2} \text{ mm} \\ &= 0.004\ 1 \text{ mm} \end{aligned} \tag{5}$$

4.2. 무게식 강수량계 성능시험

4.2.1. 시험 개요

피시험기인 무게식 강수량계의 특성은 표 3과 같으며, 강수량계의 동작상태를 점검한 후, 이상이 없으면 표준물질인 증류수를 수조에 넣은 후, 무게식 강수량계의 신호선을 검증시스템의 입력부인 PLC의 D/I 포트에 연결한다[16].

Table. 3 Characteristics of the weighing rain gauge

Model	WPG-A1
S/N	P170103
Measurement	weighing
Resolution	0.1 mm
Accuracy	±0.1 mm (< 10 mm)

4.2.2. 성능시험 데이터 취득

강우강도 20 mm/h를 기준으로 하여 무게식 강수량계에 대한 성능시험을 실시하였다. 무게식 강수량계는 0.1 mm의 강수량계 해당되는 물의 양을 관측시 1 펄스

를 출력하는 형태로 상온에서 3.14 g에 해당되는 강수량을 측정하는 분해능을 가지고 있다. 10 mm에 해당되는 강수량을 측정하여 그림 9와 같이 데이터를 취득하여 편차 및 불확도를 계산하였다.

Count	Time (hh:mm:ss)	Weight (g)	Water Temp. (°C)	Air Temp. (°C)	Humidity (% R.H.)	Pressure (hPa)	Weight value (g)	Air Density (g/cm³)	Water Density (g/cm³)	Volume (cm³)	Rainfall (mm)
0	11:53:25	1195.3									
1	11:59:05	1130.5	23.9	24.0	62.3	1008.7	31.6	0.001 174	0.997 3	31.73	1.011 0
2	12:04:55	11064.1	23.9	24.0	62.8	1008.7	31.8	0.001 174	0.997 3	31.87	1.015 6
3	12:10:35	10999.2	23.9	24.0	63.1	1008.7	31.4	0.001 174	0.997 3	31.46	1.002 5
4	12:16:16	10934.5	23.9	23.9	63.3	1008.7	32.1	0.001 175	0.997 3	32.17	1.024 9
5	12:21:55	10869.9	23.9	24.0	63.7	1008.6	31.4	0.001 174	0.997 3	31.47	1.002 9
6	12:27:35	10805.2	23.9	24.0	64.0	1008.5	31.4	0.001 174	0.997 3	31.52	1.004 4
7	12:33:26	10738.6	23.9	23.9	64.0	1008.5	31.4	0.001 174	0.997 3	31.50	1.003 8
8	12:39:05	10674.0	23.9	23.9	64.3	1008.4	31.7	0.001 174	0.997 3	31.79	1.013 0
9	12:44:45	10609.3	24.0	23.9	64.7	1008.5	31.6	0.001 174	0.997 3	31.68	1.009 5
10	12:50:26	10544.5	24.0	24.0	65.1	1008.4	31.5	0.001 174	0.997 3	31.57	1.006 0

Fig. 9 Performance test data of weighing rain gauge

4.2.3. 무게식 강수량계 불확도 추정

성능시험 데이터에 의한 무게식 강수량계 평균(\bar{x})은 식 (1)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$\bar{x} = \frac{1.011\ 0 + 1.015\ 6 + 1.002\ 5 + 1.024\ 9 + 1.002\ 9}{10} + \frac{1.004\ 4 + 1.003\ 8 + 1.013\ 0 + 1.009\ 5 + 1.006\ 0}{10} = 1.009\ 4\ \text{mm}$$

또한, 성능시험 데이터에 의한 무게식 강수량계 실험 표준편차(s)는 식 (2)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$s = 0.007\ 1\ \text{mm}$$

A형불확도(u_A)는 식 (2)에 의하여 구해진 실험표준편차와 측정 횟수인 10회를 식 (3)에 적용하여 계산하면 다음과 같다.

$$u_A = \frac{0.007\ 1}{\sqrt{10}} = 0.002\ 2\ \text{mm}$$

B형불확도(u_B)는 식 (4)에 의해 0.003 9 mm이며, 합성불확도(u_c)는 A형불확도와 B형불확도로부터 식 (5)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$u_c = \sqrt{(0.002\ 2)^2 + (0.003\ 9)^2}\ \text{mm} = 0.004\ 5\ \text{mm}$$

4.3. 표면장력식 강수량계 성능시험

4.3.1. 시험 개요

피시험기인 표면장력식 강수량계의 특성은 표 4와 같으며, 분해능이 0.116 mm로 진동이나 관이 막히지 않도록 주의하여 설치한 후 시험을 진행한다.

Table. 4 Characteristics of the surface tension rain gauge

Model	ST-1
S/N	ST-001
Measurement	Surface tension
Resolution	0.116 mm
Accuracy	± 0.1 %

4.3.2. 성능시험 데이터 취득

온도 20°C에서 증류수를 이용하여 배수관의 관경을 5 mm로 하고, 강우강도를 기준 강우강도인 20 mm/h로 하여 그림 10과 같이 측정하였다.

Count	Time (hh:mm:ss)	Weight (g)	Water Temp. (°C)	Air Temp. (°C)	Humidity (% R.H.)	Pressure (hPa)	Weight value (g)	Air Density (g/cm³)	Water Density (g/cm³)	Volume (cm³)	1Drop Weight (g)	Rainfall (mm)
0		2094.7										
300	16:39:47	2059.8	20.3	22.3	48.7	1 002.4	34.9	0.001 176	0.997 8	34.98	0.116 3	0.003 7
600	16:43:00	2024.8	20.3	22.4	48.6	1 002.3	35.0	0.001 176	0.998 1	35.07	0.116 7	0.003 7
900	16:46:23	1989.5	20.4	22.4	48.6	1 002.3	35.3	0.001 176	0.998 1	35.37	0.117 7	0.003 7
1,200	16:49:47	1954.3	20.4	22.4	48.6	1 002.3	35.2	0.001 176	0.998 1	35.27	0.117 3	0.003 7
1,500	16:53:09	1919.2	20.4	22.5	48.6	1 002.3	35.1	0.001 175	0.998 1	35.17	0.117 0	0.003 7
1,800	16:56:30	1883.8	20.5	22.5	48.5	1 002.3	35.4	0.001 175	0.998 1	35.47	0.118 0	0.003 8
2,100	16:59:51	1848.6	20.5	22.5	48.5	1 002.2	35.2	0.001 175	0.998 1	35.27	0.117 3	0.003 7
2,400	17:03:13	1813.7	20.5	22.6	48.5	1 002.2	34.9	0.001 175	0.998 1	34.97	0.116 3	0.003 7
2,700	17:06:35	1778.6	20.6	22.6	48.5	1 002.2	35.1	0.001 175	0.998 1	35.17	0.117 0	0.003 7
3,000	17:09:55	1743.8	20.6	22.6	48.4	1 002.2	34.8	0.001 175	0.998 1	34.87	0.116 0	0.003 7
3,300	17:13:15	1708.9	20.6	22.6	48.4	1 002.2	34.9					

Fig. 10 Performance test data of surface tension rain gauge

4.3.3. 표면장력식 강수량계 불확도 추정

성능시험 데이터에 의한 표면장력식 강수량계 평균(\bar{x})은 식 (1)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{0.0037 + 0.0037 + 0.0037 + 0.0037 + 0.0037}{10} \\ &+ \frac{0.0038 + 0.0037 + 0.0037 + 0.0037 + 0.0037}{10} \\ &= 0.0037 \text{ mm} \end{aligned}$$

또한, 성능시험 데이터에 의한 표면장력식 강수량계 실험표준편차(s)는 식 (2)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$s = 0.0 \text{ mm}$$

A형불확도(u_A)는 식 (2)에 의하여 구해진 실험표준편차와 측정 횟수인 10회를 식 (3)에 적용하여 계산한다.

$$u_A = \frac{0.0}{\sqrt{10}} = 0.0 \text{ mm}$$

B형불확도(u_B)는 식 (4)에 의해 0.0039 mm이며, 합성불확도(u_c)는 A형불확도와 B형불확도로부터 식 (5)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{(0.0)^2 + (0.0039)^2} \text{ mm} \\ &= 0.0039 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4. 강수량계별 성능시험 데이터 분석

전도형 및 무게식, 표면장력식 강수량계에 대한 성능시험 결과는 표 5와 같다.

Table. 5 Performance test results for precipitation

Precipitation Item	Tipping bucket	Weighing	Surface tension
Model	WDSD-205	WPG-A1	ST-1
S/N	6793	P170103	ST-001
Resolution	1 mm	0.1 mm	0.0037 mm
Accuracy	± 3 %	± 0.1 mm (< 10 mm)	± 0.003 mm
Uncertainty	0.0041 mm	0.0045 mm	0.0039 mm

V. 결론

지구온난화에 따른 기후변화는 전 세계적으로 홍수 및 가뭄, 한파, 폭설 등 많은 기상이변을 발생시키고 있으며, 이에 따른 각국에서는 수재해와 관련한 시스템 구축 등 자연재해 통합관리에 대한 관심이 증가되고 있다. 기상관측 및 댐과 하천의 운영·관리에 있어서 필수인자인 강수량은 수재해 예측과 국지성 강우, 위험 기상 감시 등 악천후 관측, 재난 예방기술에 필요한 요소이며, 자립적인 기술력 확보가 필요한 측정기술이다.

강수량계는 댐 및 하천의 운영, 농어촌 및 산림녹화, 안전관리 등 사용분야가 광범위하며, 재난재해를 대비하고 홍수피해시 경제적인 효과를 얻기 위해서는 정확한 강수량의 측정이 필요하다. 본 연구에서는 집수형 강수량계의 성능을 분석할 수 있는 통합검증시스템에 의한 강수량계 종류별 특성시험을 실시하였으며, 전도형 강수량계는 0.0041 mm, 무게식 강수량계는 0.0045 mm, 표면장력식 강수량계는 0.0039 mm으로 불확도가 산출되었다. 따라서 강수량계의 종류 및 특성에 따른 불확도는 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 이러한 특성시험을 통하여 강수량계 종류에 따른 기상관측 및 수문관측 데이터의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Industrial Strategic Technology Development Program (10065697, International standardization for specifications of hydrological and meteorological rainfall gauge) funded By the Ministry of Trad, Industry & Energy(MOTIE, Korea)

REFERENCES

[1] National science and technology council, "Climate technology roadmap," 2016.
 [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Annual Hydrological Report, 2013.
 [3] Current Status of Precipitation System for Meteorological Observatory, Korea Meteorological Administration, 2015.
 [4] G. W. Shin, S. T. Hong, J. R. Kim, H. H. Lee, I. H. Kim and

G. H. Yoo, *International standardization for specifications of hydrological and meteorological rainfall gauge*, K-water, 2017.

- [5] S. T. Hong et al, Surface tension type rain gauge and method for measuring a rainfall, KR Patent 10-1736678, Korean Intellectual Property Office, Daejeon, 2017.
- [6] G. W. Shin and S. T. Hong, "Development of Standard Calibration System for the Rain Gauges by Weighting Method", *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, vol. 12, no. 8, pp. 818-823, August 2006.
- [7] S. T. Hong, I. H. Kim, H. H. Lee and G. W. Shin, "Integrated Verification System for Rainfall Performance test," in *Proc. KICS Summer Conf.*, pp. 17-18, Jeju Island, Korea, June 2017.
- [8] S. T. Hong and G. W. Shin, "Improving efficiency through the hydrological observation equipment performance test center and program", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol 19, no. 11, pp. 2731-2738, Nov. 2015.
- [9] Dong Jo Kim, Deepa Sharma, "Implementation of Decision Based Fruits Protection System Using Classification and Clustering Techniques", *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, HSST, ISSN : 2508-9080, vol.2, no.4, pp. 23-31, Dec. 2016.
- [10] S. T. Hong, G. W. Shin, J. R. Kim, H. H. Lee, I. H. Kim and G. H. Yoo, *Development of new measurement method to improve the reliability of hydrological data*, K-water, 2016.
- [11] Korea Research Institute of Standards and Science, *Guidelines for the presentation of measurement uncertainty*, KRIS/SP-2010-105.
- [12] ISO 4373:2008(E), *Hydrometry - Water level measuring devices*, International Standard Organization, 2008.
- [13] WMO-No. 8, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, World Meteorological Organization, 2008.
- [14] ISO/IEC GUIDE 98-3:2008, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement(GUM:1995)*, KRIS/SP-2010-105.
- [15] Kwater Insutitute, *Accuracy improvement for water level · rain gauge*, KIWE-WFERRC-06-07, Kwater, ch 2, pp. 42-53, 2006.
- [16] I. H. Kim, S. T. Hong, G. H. Yoo and J. R. Kim, "Analysis of Performance test results for Weighted Precipitation," in *Proc. KICS Summer Conf.*, pp. 552-553, Jeju Island, Korea, June 2017.



홍성택(Sung-Taek Hong)

1996년 ~ 현재 한국수자원공사
 1993년 한밭대학교 전자공학과 학사
 1995년 한밭대학교 전자공학과 석사
 2007년 충북대학교 전파공학과 박사수료
 2018년 배재대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 ※관심분야 : 위성통신, 계측제어, USN, IoT, 원격감시제어 및 센서응용 기술



박병돈(Byung-Don Park)

1985년 충남대학교 전자교육공학과 학사
 2007년 충남대학교 정보통신공학과 석사
 2016년 배재대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 ※관심분야 : IoT, 네트워크



김종립(Jong-Lib Kim)

1995년 한국수자원공사
 1995년 경남대학교 전자공학과 학사
 2014년 전북대학교 제어계측공학과 석사
 ※관심분야 : 계측제어, IoT, 빅데이터, 인더스트리4.0 분야, 홍수예경보설비 운영 기술



정회경(Hoe-Kyung Jungg)

1985년 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
 1987년 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
 1993년 광운대학교 컴퓨터공학과 박사
 1994년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
 ※관심분야 : 멀티미디어정보처리, XML, Semantic Web, Ubiquitous Computing, USN, IoT