

강수량계 통합검증시스템 개발에 의한 무게식 강수량계 성능시험 결과 분석

홍성택*, 김일한*, 유기현*, 이호현*, 김종립*, 신강욱*

Performance Evaluation of Weighing Precipitation Gauge by Developed Test Facility

Sung-teak Hong*, Il-han Kim*, Gi-hyun Yoo*, Ho-hyun Lee*, Jong-rib Kim*, Gang-wook Shin*

요약

최근 전 세계적으로 지구온난화에 따른 기후변화로 국지적인 호우발생, 도시홍수 등 물에 대한 피해가 날로 증가하고 있는 실정이다. 따라서 과학적이고 신뢰성 있는 관측을 위해서는 정확한 측정 센서가 필요하며, 수문관측 및 기상관측의 필수 요소인 강수량 측정을 위해서는 강수량계의 정확도가 매우 중요하다. 본 논문에서는 모든 종류의 강수량계에 대하여 질량측정에 의한 방법으로 성능시험을 실시할 수 있는 통합검증시스템을 개발하였으며, 이를 바탕으로 강수량 데이터의 신뢰성 있는 자료 확보와 일관성 있는 자료관리가 가능하도록 품질관리 기반을 구축하고자 하였다. 또한 강수량계 중 집수형의 무게식 강수량계에 대하여 강우강도를 20 ~ 100 mm/h에서 20 mm/h 간격으로 변화시켜 측정값의 정도차이를 분석하는 성능시험을 실시하였다. 시험결과 강우강도에 따른 측정값과 계산값의 오차는 기준값 $\pm 5\%$ 이내인 $-0.01 \sim -0.03\%$ 로 미미하게 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통하여 강수량 데이터의 신뢰성 확보와 과학적인 수자원 관리를 도모하고자 하였다.

Key Words : rain gauge, test facility, weighing precipitation, performance test

ABSTRACT

In recent years, global climate change due to global warming has caused a great deal of damage, such as regional torrential rains and urban floods. Therefore, accurate measurement sensors are required for scientific and reliable observation, and accuracy of precipitation gauge is significantly important for measuring precipitation. In this paper, we developed an integrated verification system that can perform performance test on all types of precipitation gauges by mass measurement method to obtain reliable precipitation data. In addition, a performance test was conducted to analyze the difference in the measured value by varying the rainfall intensity for the weighted precipitation system. As a result, the calculated value and measured value according to the rainfall intensity were not significantly different. Therefore it is possible to obtain reliable precipitation data and manage water resources efficiently.

※ 본 연구는 2017년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(10065697)

• First and Corresponding Author : K-water, K-water Convergence Institute, sthong@kwater.or.kr, 정회원

* K-water, K-water Convergence Institute, {ilhan, ghy135, lhh, kjr8963, gwshin}@kwater.or.kr

논문번호 : KICS2017-09-271, Received September 27, 2017; Revised November 13, 2017; Accepted November 25, 2017

I. 서 론

댐 및 하천 운영에서 정확한 강수량의 측정은 평상시 및 홍수기에 댐 및 하천 운영에 중요한 요소이며, 우리나라에서 수문 및 기상관측 시설물을 설치·운영 중인 주요기관으로는 표 1과 같이 K-water를 비롯한 국토교통부, 행정자치부, 기상청 등으로 강수량 관측국은 약 5,700 여개 소에 이른다^{1,2)}. 정확한 수자원 관리와 기상관측을 위해서는 강수량 데이터에 대한 실시간 자료 확보와 신뢰성 있는 데이터가 필요하다.

본 연구에서는 수문관측 및 기상관측에서 사용되고 있는 집수형의 강수량계에 대하여 성능시험을 할 수 있는 강수량계 통합검증시스템을 개발하였으며, 이중 무게식 강수량계에 대하여 강우강도의 변경에 따른 성능시험을 실시하여 강우강도 변화에 따른 측정값의 정도차이를 분석하였고, 이를 바탕으로 강수량 데이터의 신뢰성 있는 자료 확보가 가능하도록 하였다^{3,4)}.

표 1. 기관별 강수량 관측국 현황
Table 1. Current status of precipitation observation stations

No.	Agency	Quantity
1	Ministry of Land, Infrastructure and Transport	447
2	Korea Meteorological Administration	591
3	Ministry of Environment	43
4	Local Government	1,918
5	Rural Development Administration	169
6	Korea Forest Service	126
7	K-water	184
8	Korea Railroad Corporation	193
9	Korea Highway Corporation	2
10	Korea National Park Service	137
11	Korea Hydro & Nuclear Power Co,	5
12	SK Planet	1,906
계		5,721

II. 강수량계

2.1 강수량계 현황

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

기를 의미한다. 측정방식에 따라 깊이 측정, 무게 측정, 기타 측정으로 분류 할 수 있으며, 측정 원리에 따라 그림 1과 같이 보통형, 전도형, 무게식, 사이펀식, 레이더식, 압전식, 광학식으로 세분화 된다.

수문조사기기는 하천법 제 19조에 의하여 검정기관의 검정을 받아 합격한 것에 대하여 사용할 수 있다. 또한 하천법 시행규칙 제10조에 의하여 국가교정업무 전담기관에서 교정을 받은 제품을 사용할 수 있고, 수위계의 검정 유효기간은 3년으로 규정되어 있다.



그림 1. 강수량계 종류
Fig. 1. Types of rain gauges

2.2 무게식 강수량계

무게식 강수량계는 본체에 저수통이 있어 비, 눈 등이 수수기 상단을 통해 들어온 강수가 용기에 차오르면 무게 센서 또는 로드셀에 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 형성하

표 2. 무게식 강수량계 특성
Table 2. Characteristics of a weighted precipitation system

Item	Specification
Measuring Method	weight
Measuring unit	0.1 mm
Accuracy	± 0.1 mm (<10 mm)

는 방법 등으로 증발을 막는 방법이 있어야 한다.

무게식 강수량계는 보통 0.1 mm 단위로 측정하며, 정확도는 10 mm미만에서 ± 0.1 mm의 오차를 나타낸다. 표 2는 본 연구에서 시료로 사용하였던 무게식 강수량계의 특성이다.

III. 강수량계 통합검증시스템

3.1 시스템 개요

K-water 융합연구원에서 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 2와 같이 개발하였다.

통합검증시스템은 물을 담은 수조를 정밀저울 위에 놓고 이 수조에 담긴 물을 정속모터를 이용하여 일정한 강우강도를 유지하며 강수량계로 흘려보낸 후 물의 질량변화를 저울로 측정하여 강우량으로 환산하고 강수량계의 측정값과 비교하는 방식이다.

강수량계를 교정하는 일반적인 방법은 계량컵에서 쏟아진 물을 우량측정 실린더로 부피를 측정하여 강우량으로 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 질량측정에 의한 방법을 이용하였으며, 강수량계 검증은 부피계의 교정이 필요 없고 강수량을 저울로 직접 측정하는 장점이 있으며, 정확

도가 기존 방법보다 향상된 방법이다.

3.2 시스템 일반 사항

통합검증시스템에 필요한 표준기는 그림 3 및 표 3과 같으며, 이러한 표준기들은 각각 정해진 주기에 따라 교정을 받아 국가소급성을 확보하여 사용하고 있다⁵⁻⁸⁾. 또한 표준기 이외에 사용되는 기기들은 그림 4 및 표 4와 같다.



그림 3. 통합검증시스템 표준기
Fig. 3. Standard equipment for integrated verification system

표 3. 통합검증시스템 표준기

Table 3. Standard equipment for integrated verification system

Facility	Model	Specification
Electronic scale	Mettler toledo SB16001	16,10kg (Resolution 0.1g)
Weight	Doojin, SUS	3,111.94g
Humidity barometer	Thommen, HM30	Temperature:-40~60 °C Humidity:0~100% rH Pressure:225~1,125 hPa

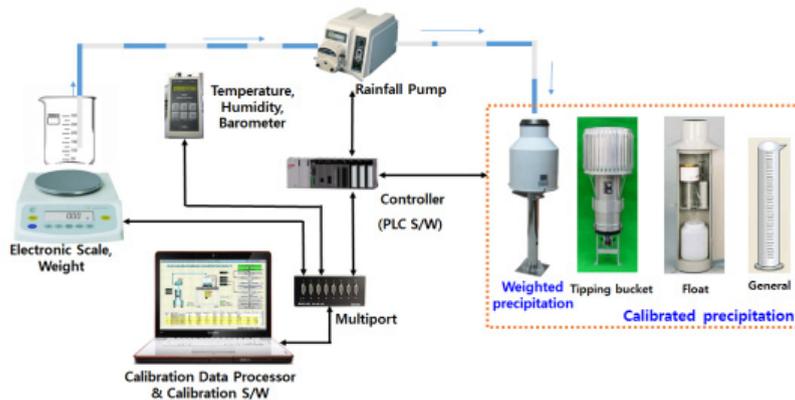


그림 2. 통합검증시스템의 개요도
Fig. 2. Overview of Integrated Verification System



그림 4. 통합검증시스템 장비
Fig. 4. General equipment of integrated verification system

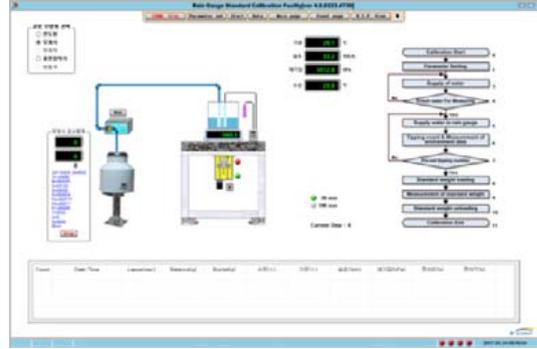


그림 5. 강수량계 통합검증시스템 운영 소프트웨어
Fig. 5. Operating S/W of rainfall integration verification system

표 4. 통합검증시스템 장비
Table 4. General equipment of integrated verification system

Facility	Model	Specification
Rain pump	MP-150	10 ~ 200 mm/h
Controller	LS XGT Series	XGI-CPUE XGP-ACF2
Multiport	Multi-8u	USB to RS232 8 Ports
Data processor	i7-3610QM, CPU2 : 30GHz, RAM : 4GB, HDD : 750GB	

3.3 통합검증 성능시험 소프트웨어

강수량계 통합검증시스템을 운영하기 위한 소프트웨어는 C#을 이용하여 개발하였으며, 세부적인 소프트웨어의 기능으로는 자동으로 교정절차에 따라 데이터를 취득하는 기능, 통합검증시스템으로부터 불확도 계산에 필요한 요소인 질량, 수온, 정속모터의 동작시간, 측정반복 횟수 및 실내의 온도, 습도, 기압 등을 읽어 들여 불확도를 계산하는 기능, 불확도의 계산이 완료되면 출력양식에 맞추어 결과를 출력하는 기능, 그리고 교정이 진행중이거나 끝난 후 또는 불확도 계산 후에 취득된 데이터를 저장하며 자동으로 파일을 생성시키는 기능이 있다. 소프트웨어의 초기화면은 그림 5와 같으며, 피교정 강수량계의 펄스 입력값과 분동을 포함한 정속펌프를 제어하기 위한 PLC의 운영 프로그램을 개발하였다⁹⁾.

소프트웨어의 주요 기능으로는 강수량계 종류를 선택하는 기능과 강수량계 종류에 적절한 성능시험 화면 구성, 해당 강수량계 파라미터 설정 및 확인 기능, 강우강도 조절에 의한 다중 성능시험 포인트에서 성능분석 실시, 성능시험 시작부터 끝까지 원클릭으로 수행, 성능시험 결과 데이터 저장 및 확인, 성능시험

Count	Date-Time	Loose	Balance(g)	Bucket(g)	Water-T(°C)	Air-T(°C)	Hum(%)	Baro(hPa)
17	2005-08-26 13:44:15	39	7083.2	30.3	21.919	23.2	69.3	1004.3
18	2005-08-26 13:44:53	38	7083.3	29.9	21.922	23.2	68.1	1004.3
19	2005-08-26 13:45:32	39	7082.5	30.8	21.924	23.2	68.9	1004.3
20	2005-08-26 13:46:10	38	7083.2	29.3	21.924	23.2	67.5	1004.4
2005-08-26 13:46:22			7082.2					
2005-08-26 13:46:40			10111.1					
2005-08-26 13:46:57			7082.2					

그림 6. 측정 데이터 화면
Fig. 6. Screen of measurement data

성적서 발급 기능 등을 가지고 있다.

측정 데이터는 그림 6과 같이 측정시마다 화면에 표시되며, 측정이 완료되면 자동으로 데이터가 엑셀 파일로 DB화 된다.

IV. 무계식 강수량계 성능 시험 및 결과 분석

4.1 성능시험 준비사항

첫 번째로 검증 전에 검증실의 환경을 유지하기 위하여 항온항습 장치를 가동하는 등 검증실의 이상 유무를 점검하며, 피교정 강수량계의 검증을 위하여 외관의 이상 유무를 확인하며, 강수량계에 사용할 수 있는 환경의 온도 영역과 주위 온도 영역 내에서 시험 가능 여부를 확인한다.

두 번째로 피교정 강수량계를 설치하는데, 주어진 성능을 유지하기 위하여 피교정 강수량계를 견고한 교정실의 바닥에 수평을 유지하도록 하여 설치하고, 강수량계로부터 신호가 PLC로 잘 전송될 수 있도록 신호선을 연결한다.

세 번째로 검증시스템의 동작을 점검한다. 물 공급 펌프의 동작상태가 양호한지와 일정하게 물이 공급되는지를 확인하며, 물의 공급관 및 이음매 부분에 누수가 되는 부분은 없는지 살펴보고, 강수량계의 중심이

전후에 연결되는 배관의 중심과 일치하도록 배관하고, 저울이 수평을 유지하는지와 0점이 제대로 세팅 되었는지를 확인한다.

네 번째로는 증류수에 대한 소급성을 점검하기 위하여 검증에 사용되는 표준물질(증류수)에 대하여 밀도표준의 소급성을 유지하기 위해 1회/2년 국가교정 기관에서 교정을 받는다.

4.2 성능시험 절차

무계식 강수량계의 성능시험 절차는 그림 7과 같으며, 세부 성능시험 방법은 다음과 같다.

첫 째, 무계식 강수량계의 측정에 필요한 파라메타인 측정횟수(10, 20, 30, 임의) 또는 측정시간(30s, 60s, 임의), 강우 강도(20, 50, 100, 임의 mm/h), 데이터 저장 파일명 등 측정에 필요한 값을 설정하여 측정 준비를 완료한다.

둘 째, 측정에 필요한 물을 수조에 공급하여 측정에 필요한 물의 양이 적정한지를 판단하고, 만약 물의 양이 모자라면 적정량을 추가 공급한다.

세 째, 측정을 시작하여 정속펌프를 이용하여 수조의 물을 설정한 강우강도로 피교정 강수량계에 공급한다.

네 째, 분해능에 따른 신호가 발생할 때마다 수조의 질량, 수온, 온도, 습도, 대기압을 측정한다.

다섯째, 설정한 측정횟수가 될 때까지 반복한다.

여섯째, 표준분동을 추가하여, 표준분동을 포함한 수조의 질량을 측정 후, 표준분동을 제거한다.

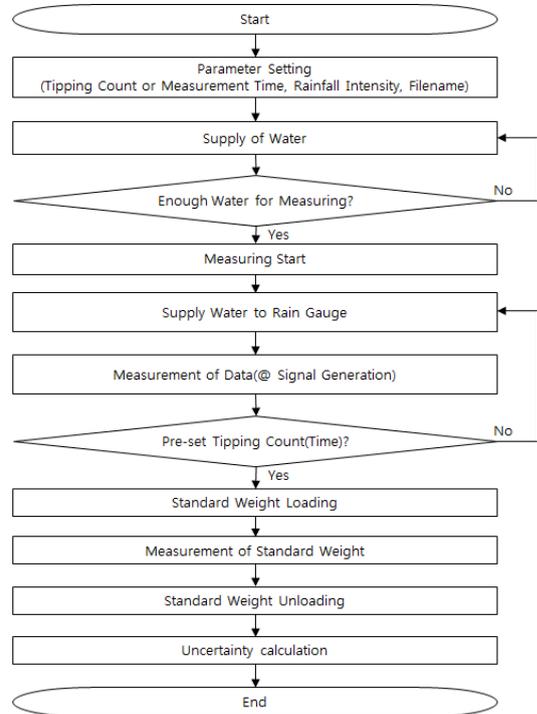


그림 7. 무계식 강수량계 성능시험 절차
Fig. 7. Performance test procedure of weighted precipitation

일곱째, 설정한 강우강도에 대한 불확도를 계산하고, 측정을 종료한다.

표 5. 강우강도에 따른 측정값
Table 5. Measured values at a rainfall intensity

No.	20 mm/h			40 mm/h			60 mm/h			80 mm/h			100 mm/h		
	Time (s)	Weight (g)	Rainfall (mm)	Time (s)	Weight (g)	Rainfall (mm)	Time (s)	Weight (g)	Rainfall (mm)	Time (s)	Weight (g)	Rainfall (mm)	Time (s)	Weight (g)	Rainfall (mm)
1	352	65.0	1.9	169	62.7	1.9	121	67.2	1.9	101	71.2	1.8	60	56.7	1.8
2	341	64.0	2.0	170	63.0	2.0	110	62.2	1.9	89	66.9	2.1	69	65.1	1.9
3	330	62.3	2.0	170	62.8	2.0	120	66.9	2.0	80	60.2	1.9	70	65.9	2.1
4	340	63.6	2.0	169	62.7	2.0	119	67.0	2.1	80	60.4	1.9	70	66.0	2.1
5	330	62.2	2.0	170	63.1	1.9	110	62.1	2.0	90	67.4	2.2	60	56.8	1.8
6	339	63.7	2.0	171	63.0	2.0	111	62.3	2.0	80	60.3	1.9	70	65.8	2.1
7	331	61.9	2.0	170	62.6	2.0	110	62.1	2.0	91	67.8	2.1	70	65.9	2.1
8	340	64.0	2.0	180	66.6	2.1	110	62.2	1.9	80	60.2	1.9	60	56.5	1.8
9	339	63.5	2.0	170	63.0	2.0	120	67.4	2.1	90	67.6	2.1	70	65.9	2.1
10	331	62.1	2.0	169	62.3	2.0	100	56.7	1.9	80	60.1	2.0	70	65.9	2.1
Total	3,373	632.3	19.9	1,708	631.8	19.9	1,131	636.1	19.8	861	642.1	19.9	669	630.5	19.9

4.3 성능시험

무게식 강수량계에 대한 성능시험은 그림 8과 같이 표준교정실에서 실시하였다^[10]. 성능시험은 기상관측 표준화법에서 제시하고 있는 강수량 측정 강우강도 기준인 20 mm/h에서부터 100 mm/h까지 표 5와 같이 20 mm/h 간격으로 5회를 측정하여 비교하였다.



그림 8. 무게식 강수량계 성능시험
Fig. 8. Performance test of weighted precipitation

4.4 성능시험 결과

표 6과 같이 강우강도가 증가함에 따라 측정시간이 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며, 그림 9와 같이

표 6. 강우강도에 따른 측정값과 계산값
Table 6. Measured and calculated values according to rainfall intensity

Item Rainfall Intensity	Time (s)	Weight (g)	Measured value (mm)	Calculated value (mm)	Error rate (%)
20 mm/h	3,373	632.3	19.90	20.13	-0.01
40 mm/h	1,708	631.8	19.90	20.11	-0.01
60 mm/h	1,131	636.1	19.80	20.25	-0.02
80 mm/h	861	642.1	19.90	20.44	-0.03
100 mm/h	669	630.5	19.90	20.07	-0.01

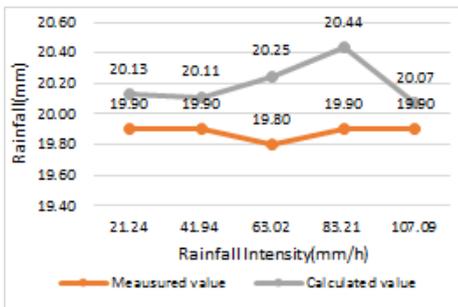


그림 9. 강우강도에 따른 측정값과 계산값 비교
Fig. 9. Comparison of measured and calculated values according to rainfall intensity

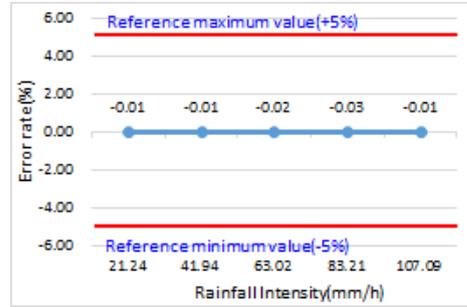


그림 10. 강우강도에 따른 에러율
Fig. 10. Error rate according to rainfall intensity

각각의 강우강도에서 무게식 강수량계의 측정값은 19.80 ~ 19.90 mm, 계산된 강수량 값은 20.07 ~ 20.44mm 로 나타났다. 또한 그림 10과 같이 측정값과 계산값의 오차는 강수량계 기준값인 $\pm 5\%$ 이내를 충족하는 -0.01 ~ -0.03 % 인 것을 확인 하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 수문관측 및 기상관측의 중요 요소인 강수량계에 대하여 모든 종류의 강수량계의 성능을 시험할 수 있는 강수량계 통합검증시스템을 개발하였으며, 국가소급성을 확보하기 위하여 표준기에 대한 주기적인 교정을 실시하고 있다. 통합검증시스템을 통한 무게식 강수량계에 대하여 측정된 데이터가 신뢰성이 있는지의 여부를 판단하기 위하여 강우강도를 변화시켜 측정값의 차이를 분석하는 성능시험을 강우강도 20 ~ 100 mm/h에서 20 mm/h 간격으로 실시하였으며, 강우강도가 증가함에 따라 측정시간이 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 강우강도 20 ~ 100 mm/h에서 무게식 강수량계의 측정값은 19.80 ~ 19.90 mm, 계산된 강수량 값은 20.07 ~ 20.44 mm로 측정값과 계산값의 오차는 기준값인 $\pm 5\%$ 이내를 충족하는 -0.01 ~ -0.03 % 인 것을 확인 하였다.

또한 본 연구에서 개발한 통합검증시스템을 통하여 강수량 데이터의 신뢰성 있는 자료 확보와 일관성 있는 자료관리가 가능하도록 품질관리 기반을 구축하고자 하였으며, 무게식 강수량계에 대한 성능시험을 통하여 강수량 데이터의 신뢰성 확보와 과학적인 수자원 관리를 도모하고자 하였다.

References

[1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport,

Korea Annual Hydrological Report, 2013.

- [2] *Current Status of Precipitation System for Meteorological Observatory*, Korea Meteorological Administration, 2015.
- [3] G. W. Shin and S. T. Hong, "Development of standard calibration system for the rain gauges by weighting method," *J. CASE*, vol. 12, no. 8, pp. 818-823, Aug. 2006.
- [4] 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.
- [5] Korea Laboratory Accreditation Scheme, *How to operate the National Calibration Agency Designation System*, KOLAS-R-001: 2015.
- [6] Korea Laboratory Accreditation Scheme, *Calibration measurement capability calculation and maintenance guideline*, KOLAS-G-004: 2016.
- [7] Korea Laboratory Accreditation Scheme, *Guidelines for maintaining traceability of measurement results*, KOLAS-G-020: 2016.
- [8] Korea Research Institute of Standards and Science, *Guidelines for the presentation of measurement uncertainty*, KRISS/SP-2010-105.
- [9] 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, Jun. 2017.
- [10] 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, Jun. 2017.

홍 성 택 (Sung-teak Hong)



1991년 2월 : 한밭대학교 전자공학과 학사
 1995년 8월 : 한밭대학교 전자공학과 석사
 2007년 8월 : 충북대학교 전파공학과 박사수료
 1996년~현재 : 한국수자원공사 K-water융합연구원 책임연구원
 <관심분야> 위성통신망, 원격감시제어, 센서응용

김 일 한 (Il-han Kim)



2006년 2월 : 우송대학교 컴퓨터과학과 학사
 2010년~현재 : 한국수자원공사 K-water융합연구원 대리
 <관심분야> 수문관측센서, 센서응용, 교정기관 운영

유 기 현 (Gi-hyun Yoo)



2014년 2월 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부 학사
 2014년~현재 : 한국수자원공사 K-water융합연구원 대리
 <관심분야> 데이터 계측 및 감지, 센서응용 기술, 지능제어

이 호 현 (Ho-hyun Lee)



1998년 2월 : 원광대학교 전자공학 학사
 2010년 2월 : KAIST 로봇학제 석사
 2017년 2월 : 충북대학교 제어로봇공학 박사
 1998년~현재 : 한국수자원공사 K-water융합연구원 책임위원
 <관심분야> 퍼지, 머신러닝, 최적화

김 종 립 (Jong-rib Kim)



1995년 2월 : 경남대학교 전자
공학과 학사
2014년 8월 : 전북대학교 제어
계측공학과 석사
1995년~현재 : 한국수자원공사
K-water융합연구원 차장

<관심분야> 원격감시제어, 센서응용, 빅데이터, 인공지능

신 강 옥 (Gang-wook Shin)



1987년 2월 : 동국대학교 전자
공학과 학사
1993년 2월 : 홍익대학교 전자
공학과 석사
2005년 2월 : 홍익대학교 전기
공학과 박사
1993년~현재 : 한국수자원공사
K-water융합연구원 수석연구원

<관심분야> 플랜트제어 및 응용, 모델링, 지능 제어,
원격감시제어, 센서응용