지자체 저수지 가뭄 예·경보를 위한 저가형 AWS 구축 및 평가

A Study of the Establishment and Assessment of Low-cost AWS for Reservoir Drought Forecasting and Warning System of the Local Government

최정렬* · 김병식** · 윤현철*** · 원창희****

Choi, Jung-Ryel*, Kim, Byung-Sik**, Yoon, Hyeon-Cheol***, and Won, Chang-Hee****

Abstract

Drought forecasting and warning is conducted by the Korean government for 167 cities and counties. The necessary rainfall data is required for coping with droughts in rural areas. In these areas, water is supplied from small reservoirs managed by the respective local governments located in regions such as islands and mountainous areas. The Automatic Weather Stations (AWSs) controlled by the Korea Meteorological Administration (KMA) were found to be expensive for installing and maintaining small reservoirs managed by the local governments. In this study, we investigated low-cost and high-efficiency AWSs, and the best AWS was selected through expert consultation and installed near the KMA center located at Samcheok (AWS 867). The results from the analysis of the error range of rainfall using the low-cost AWS were compared with the measured values of true rainfall. Hence, accuracy and error ranges were determined for all the products. Considering the results of the product prices and the test result accuracies, their applicability was suggested through the relative evaluation of each device.

Key words : Low-cost, AWS, Rainfall, Drought, Forecasting and Warning

요 지

현재 정부에서 시행하고 있는 가뭄 예·경보는 167개 시군을 대상으로 이루어지고 있으며, 지자체 관리 소형 저수지가 주 공급원인 도서·산간지역 및 내륙 오지 등 농촌 지역의 가뭄 대응을 위해서는 보다 조밀한 공간 범위의 강수량 자료가 필요하다. 기상청 등에서 사용하고 있는 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)를 조사해본 결과 고가의 설치비 및 유지관리 비용으로 인해 지자체 관리 저수지에 설치시 경제적 한계점이 도출되었다. 이에 본 연구에서는 국내외에서 상업적으로 사용되고 있는 저비용 고효율의 저가형 AWS를 조사하였으며, 전문가 자문을 통해 최적의 AWS 4기를 선정, 삼척 기상대(AWS 867) 부근에 설치하였다. 최종적으로 AWS 867에서 측정된 강수량 값을 참값으로 저가형 AWS 4기의 강수량 값의 정확성 및 오차 범위 등을 정량적으로 분석하였으며, 각 기기별 상대평가를 통해 활용 가능성을 제시하였다.

핵심용어 : 저가형, AWS (Automatic Weather Station), 강수, 가뭄, 예·경보

1. 서 론

가뭄은 홍수와 달리 시작과 종료 시점이 모호하며, 진행속도가 느리므로 시공간적으로 인지하기 쉽지 않다(Kim et

al., 2011). 또한, 가뭄으로 인한 영향은 상당 기간 완만히 누적되어 나타나고, 해갈된 후에도 수년 동안 파급효과가 나타날 수 있으므로 모니터링 및 예·경보에 어려움이 있다(NDMI, 2017a). 우리나라의 경우 '14~'15년 43년 만의 유례

*정회원, (주)SDM ENC 기술연구소 과장(E-mail: lovekurt82@gmail.com)

Member, Research Engineer, R&D Dept., SDM ENC Co., Ltd.

**교신저자, 정회원, 국립강원대학교 도시환경재난관리전공 교수(Tel: +82-33-570-6819, Fax: +82-33-570-6501, E-mail: hydrokbs@kangwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Dep. of Urban & Environmental Disaster Prevention Engineering, Kangwon National University

***정회원, 국립재난안전연구원 시설연구소(E-mail: hcyoon82@korea.kr)

Member, Researcher, Disaster Prevention Research Div., National Disaster Management Research Institute

****정회원, 국립재난안전연구원 선임연구원(E-mail: wonch1027@korea.kr)

Member, Senior Researcher, Disaster Prevention Research Div., National Disaster Management Research Institute

없는 극심한 가뭄으로 여름철(6~9월)의 강수량이 평년의 50%였으며, 특히 보령댐의 경우 저수율이 18.9%로 떨어져 이를 상수원으로 하는 충청남도 시군에서는 생공용수 공급 제한 등 큰 피해가 발생한 바 있다(NDMI, 2017b). 이에 따라 정부에서는 국가 차원의 가뭄 대응의 필요성을 인지하고 '16년 3월부터 167개 시군을 대상으로 기상, 생공용수, 농업용수로 구분하여 관계 부처 합동 가뭄 예·경보를 시행하고 있다. 부처별로 살펴보면 기상청은 전국단위 유인, 무인 기상대 자료를 기반으로 현재 및 1, 3개월 후의 기상 가뭄 지수를 산정하며, 농림축산식품부는 한국농어촌공사 관리 저수지 기준 농업 가뭄 지수, 환경부는 한국수자원공사 관리 댐 기준 생활·공업 가뭄 지수를 산정한다. 국립재난안전연구원에서는 이를 취합하며 수요량·공급량 간의 관계 분석을 바탕으로 실시간 가뭄지수(Real-time Drought Index, RDI)를 산정하며, 행정안전부에서 최종적으로 지자체 의견을 반영하여 가뭄 상태를 결정한다. 이때, 각 부처별 현재 가뭄 판단은 각 부처에서 관리하는 측정지점의 현 상태를 기반으로 산정되지만(예를 들어 한국농어촌공사 관리 저수지의 현재 저수량을 바탕으로 현재 농업 가뭄 판단), 1, 3개월 후의 가뭄 예·경보는 부처에 상관없이 기상청에서 제공하는 1, 3개월 후의 월별 강수량 예측값을 바탕으로 산정된다. 따라서 가뭄 예·경보의 정확도를 높이기 위해서는 관측 간격이 조밀하고 많은 양의 관측자료들이 필요하다(Ha et al., 2016). 특히, 지자체 관리 소형 저수지가 주 공급원인 도서·산간지역 및 내륙 오지 등 농촌 지역의 가뭄 대응을 위해서는 현재 기상청 등에서 운영 중인 관측장비의 공간분포보다 조밀한 공간 범위의 강수량 자료가 필요하다.

현재 기상청에서는 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 96개소, 자동기상관측장비(AWS) 494개소를 운영하고 있으며(KMA, 2018), 지방자치단체에서는 AWS 1,766개소를 운영하는 것으로 조사되었다(NDMI, 2018a). 그러나 전도형 자기우량계(Tipping Bucket) 원리를 사용한 AWS는 아주 약하거나 강한 강수가 내릴 때 정확한 강수량을 측정하기 어려우며(Ha and Im, 1997), 강수량의 초기 및 종말 시각에 대한 정확도가 떨어지는 등 품질관리에 대한 문제점이 지적되었다(Kim and Moon, 2015). 이러한 문제점을 극복하기 위해 강수 자료 품질관리를 위한 여러 연구가 진행되었다. Ha and Im (1997)은 광학강우강도계에서 측정된 강수량 값을 참값으로 자동기상관측장비(AWS)에서 관측된 강수량 자료를 비교·분석하여 전도형 자기우량계(Tipping Bucket)의 활용 가능성을 평가하였으며, Ha et al. (2016)은 기상청 AWS의 기압 값을 참값으로 Mini-AWS에서 수집된 기압 값을 선형, 다층신경망, 지지 벡터, 기계학습 기법 등을 이용하여 보정하여 활용 가능성을 평가하였다. 또한, Kim and Moon (2015)은 기상청의 종관기상관측장비(ASOS)의 강수 값을 참값으로 역거리법을 이용하여 반경 10 km 이내 자동기상관측장비(AWS)의 분 단위 강수 자료의

상관 분석을 통해 보정하여 평가한 바 있다.

현재 우리나라의 저수지(총 17,313개소)는 한국농어촌공사에서 3,397개소, 지자체에서 13,916개소를 관리하고 있다(MAFRA, 2016). 한국농어촌공사 관리 저수지는 수위 및 저수량에 관한 계측기 및 DB가 잘 구축되어 있으나, 지자체 관리 저수지는 자동수위계 등 계측기가 설치된 곳이 447개소로 전체의 3%에 불과하며, 저수량 등을 파악할 수 없는 것으로 나타났다(NDMI, 2018b). 이에 따라 지자체 관리 저수지의 계측기 확대 구축이 필요하나 전문가 자문 결과 기존 기상청 등에서 사용하는 강수량 관측 장비 설치시 고가의 설치비 및 유지관리 비용으로 인해 지자체에서 관리하는 데 경제적인 한계점이 있을 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 기존 상업적으로 개발된 국내외 저비용 고효율의 저가형 AWS를 조사하여 선정하였으며, 이를 기존 기상청 AWS 부근에 설치·운영하여 설치비용, 강수량 값의 정확성 및 오차범위 등 비교·분석을 통한 활용 가능성을 평가하였다.

2. 저가형 AWS 선정 및 구축

2.1 저가형 AWS 선정

저가형 AWS 장비 선택은 국내외 제품 분석을 통해 이루어졌다. 저가형 AWS 제품의 가격을 알아본 결과 국내의 경우 1,500~2,000만 원 내외로 조사되었으며, 국외 제품의 경우 100만 원 내외로 조사되었다. 이에 따라 본 연구에서 지향하는 저가형 AWS의 가격 범주에 있는 국외 제품을 대상으로 실제 구매 및 배송 가능 여부를 우선적으로 고려하여 현황 조사가 이루어졌다. 또한, 각 제품별 전문가 자문 의견, 기능, 가격, 스펙, 측정항목, 액세서리, 통신 안정성 및 설치 위치 등을 조사하였으며, 조사 결과와 제품 매뉴얼 검토 결과를 종합하여 3개사(D사, A사, E사)의 4개 제품(Vantage Vue & Pro2, 01079M, HP3500B)을 선정하였다(Table 1). 전문가 자문 결과 4개 제품중 D사의 2개 제품은 유무선 모뎀을 이용한 독자적 통신 환경 구축이 가능하나 통신료(약 5천 원/월)가 발생할 것으로 나타났으며, A사 및 E사의 제품은 독자적 통신 환경 구축이 불가능하며, PC 및 와이파이(Wireless Fidelity, WiFi) 통신 환경이 필요한 것으로 나타났다.

2.2 대상지역 선정 및 저가형 AWS 구축

선정된 저가형 AWS 장비 설치를 위해 기상청에서 제공하는 전국 AWS 위치자료를 바탕으로 적지 분석을 시행하였다. 이때, 우선 고려사항으로 강수량 정확성 비교·검증을 위해 기상청 AWS와 가까운 거리에 위치해야 하며, AWS 설치시 유무선 통신 환경을 이용할 수 있고, 주변에 건물이나 나무 등 기상자료에 영향을 최소화할 수 있는 지역을 선정하였다. 최종적으로 기상청 AWS (867)에서 약 600 m 거리에 있는 국립강원대학교 제2공학관 옥상을 대상지역으로 선정하였다(Fig. 1). 저가형 AWS의 설치는 각 AWS 간의 간섭을

Table 1. Specifications of Low-cost AWS

Category		Product			
		D Company		A Company	E Company
		Vantage Vue	Vantage Pro2	01079M	HP3500B
The whole view
Accuracy	Temperature	± 0.5 ($^{\circ}\text{C}$)	± 0.5 ($^{\circ}\text{C}$)	± 2.0 ($^{\circ}\text{F}$)	± 1.0 ($^{\circ}\text{C}$)
	Humidity	± 5.0 (%)	± 5.0 (%)	± 5.0 (%)	± 5.0 (%)
	Wind speed	± 5.0 (%)	± 5.0 (%)	± 5.0 (Mph)	± 10.0 (%)
	Rain volume	± 4.0 (%)	± 4.0 (%)	± 0.05 (")	± 10.0 (%)
Sensor reporting interval		10 (Minutes)	10 (Minutes)	12 (Minutes)	5 (Minutes)
Rain collector diameter		121.5 (mm)	165.1 (mm)	Elliptical	115.0 (mm)
Network infrastructure		Independent wireless network	Independent wireless network	Need PC & WiFi network	Need PC & WiFi network
Reference		DAVIS, 2017	DAVIS, 2017	ACURITE, 2018	ECOWITT, 2018

(a) Low-cost AWS

(b) KMA's AWS (867)

(c) Aerial map in this study site provided by Daum

Fig. 1. (a): Low-cost AWS installed in this study, (b): The Korean Meteorological Administration's AWS (867), (c): Aerial map of the study site

최소화하기 위하여 2 m 간격으로 배치하였으며, 바람의 영향을 최소화하기 위하여 베이스 프레임으로 그레이팅(Grating) 4기와 와이어(Wire)를 연결하여 상부에 삼각대를 고정한 후 레벨(Level)을 이용하여 강수계의 수평을 확인하였다(Fig. 1(a)). 이때, D사의 제품의 경우 옵션으로 선택할 수 있는 솔라독립전원키트(6V/12Ah)를 추가적으로 설치 가능하였으나 A사의 제품(AA 배터리 4개) 및 E사의 제품(AA 배터리 2개)의 경우 추가적인 옵션이 없어 기본적인 전원만을 사용하였다.

저가형 AWS 운영을 위하여 국립강원대학교 제2공학관 3층에 자동 수집 서버를 구축하였다. 기상자료는 자동수집 서버를 통해 엑셀 형태로 구축되며, 이와 별개로 D사 제품의 경우 자체 서버인 weatherlink.com으로 10분 간격으로 자동 전송되게 하였으며, A사 및 E사 제품의 경우 wunderground.com으로 각각 12분, 5분 간격으로 자동 전송되도록 설정하였다.

3. 저가형 AWS 강수량 정확도 평가

저가형 AWS의 강수량 정확도 평가는 두 단계로 나누어 진행되었다. 우선 기상청 한국기상산업기술원에서 강수량계를 검정하였으며, 이를 기존 기상청 AWS 부근에 설치하여 기상청 AWS의 강수량을 참값으로 실 강수 사상에 대한 정확도를 평가하였다.

3.1 기상청 한국기상산업기술원 검정

본 연구에서는 기상법 제3조제3항에 따른 기상관측표준

화법에 의거 기상청 산하 한국기상산업기술원에서 저가형 AWS 강수량계를 검정하였다. 검정 단계는 먼저 기상청 강수검정기(HLRFC-5100)를 이용하여 일정간격으로 강수를 발생시켜 수수기로 통과시키며 통과된 강수는 Tipping Bucket의 한쪽 면으로 들어가 일정량 이상이 되면 시소처럼 아래로 내려가게 되어 강수량이 측정된다(Vantage Pro2의 경우 Fig. 2의 (c)와 같이 Tipping Bucket의 한쪽 면이 가득 채워지는 양이 0.2 mm이며, 내려간 횟수를 바탕으로 기기에서 측정). 측정된 강수량은 직경 200 mm를 기준으로 각 제품 직경에 따라 환산되며, 검정점 20 mm/h 및 50 mm/h에서 기준값과 환산값의 차이가 산출된다.

산출 결과 검정점 20 mm/h 및 50 mm/h에서 D사의 Vantage Vue는 기준값과 측정값의 차이가 각각 1.5 mm/h, 0.7 mm/h로 나타났으며, Vantage Pro2 (각각 0.9 mm/h, 1.7 mm/h), ECOWITT사의 HP3500B는 각각 1.5 mm/h, 2.6 mm/h로 나타났다(Table 2). 또한, A사의 01079M모델의 경우 수수기 모양이 타원형으로 검정 불가능 판정을 받았다.

3.2 실 강수량 비교 · 분석

저가형 AWS 4기를 국립강원대학교 제2공학관 옥상에 설치 후 실제 자연조건에서 저가형 AWS의 정확도 검토를 위하여 2018년 10월 16일~2019년 7월 31일의 기간 동안 기상청(삼척 기상대 AWS 867)에서 제공하는 일별 강수량과 저가형 AWS의 일 강수량을 통계적 기법 및 도시적 기법을 이용하여 비교 · 분석하였다(Fig. 3).

분석 기간 삼척 기상대 AWS의 강수량 값을 참값으로

Fig. 2. (a): KMA's Rainfall Calibrator, (b): Rain collector, (c): Tipping bucket of DAVIS Vantage Pro2

Table 2. Accuracy Evaluation of Low-cost AWS Rain Sensor

Product		Category			
		Evaluation Standard (mm/h)	Reference Value (mm/h)	Measure Value (mm/h)	Difference of Reference and Measure Value (mm/h)
D Company	Vantage Vue	20	20.0	21.5	1.5
		50	50.0	50.7	0.7
	Vantage Pro2	20	20.0	20.9	0.9
		50	50.0	51.7	1.7
E Company	HP3500B	20	20.0	21.5	1.5
		50	50.0	52.6	2.6
A Company	01079M	Evaluation Impossible			

저가형 AWS의 성능 평가를 위해 국내외에서 대표적으로 이용되는 4가지 통계적 지표를 이용하였다(Eqs. (1)~(4)).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [O_i - P_i]^2} \quad (2)$$

$$PBIAS = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (O_i) \right]} \quad (3)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (4)$$

여기서, O_i 는 기상청 AWS 867의 일별 강수량, P_i 는 저가형 AWS의 일별 강수량, $\bar{O}$ 와 $\bar{P}$ 는 각각 기상청 AWS 867과 저가형 AWS의 분석 기간 평균값이다.

Nash and Sutcliffe Efficiency (NSE)는 수문학 분야에서 널리 사용되는 통계적 지표로 Eq. (1)과 같이 계산되며, 1.0의 값에 가까울수록 참값의 경향성을 잘 반영하는 것을 의미한다(Nash and Sutcliffe, 1970; Song, 2017). 기상청 AWS의 일별 강수량 값을 참값으로 저가형 AWS 4기의 NSE 지수를 평가해본 결과 01079M (0.96), HP3500B (0.90), Vantage Vue (0.38), Vantage Pro2 (0.29) 순으로 기상청 강수량 값과의 경향성이 높은 것으로 나타났다(Table 3).

Root Mean Square Error (RMSE)는 참값과 대조 값 간의 차이가 얼마인지를 알려주는 지표로 Eq. (2)와 같이 계산되며, 0의 값에 가까울수록 참값과의 정밀도가 높다는 것을 의미한다. RMSE 지수를 평가해본 결과 01079M (1.38), HP3500B (2.99), Vantage Vue (5.61), Vantage Pro2 (5.98) 순으로 기상청 강수량 값과의 정밀도가 높은 것으로 나타났다(Table 3).

Percent BIAS (PBIAS)는 참값과 대조 값 간의 총합의 크기를 비교하는 지표로 Eq. (3)과 같이 계산되며, 0의 값에 가까울수록 최적값을 보이며, 양수 및 음수로 각각 과대, 과소 평가되는 것을 의미한다(Gupta et al., 1999). PBIAS 지수를 평가해본 결과 01079M (2.20), HP3500B (16.70), Vantage Vue (-16.50), Vantage Pro2 (-51.00) 순으로 기상청 강수량 값과 총합의 크기가 유사한 것으로 나타났다(Table 3).

Coefficient of Determination (R^2)은 참값과 대조 값 간의 회귀식의 적합도를 비교하는 지표로 Eq. (4)와 같이 계산되며, 최적값에 가까울수록 1.0에 가까워진다. R^2 지수를 평가해본 결과 01079M (0.96), HP3500B (0.92), Vantage Vue (0.41), Vantage Pro2 (0.31) 순으로 기상청 강수량 값과 회귀식의 적합도가 높은 것으로 나타났다(Table 3).

통계적 지표와 더불어 저가형 AWS 일별 데이터의 오류를 분석하였다(Table 3). 오류는 크게 두 가지 형태로 구분하였다. 첫 번째는 기상청 AWS의 강수량이 존재하나 대조군인 저가형 AWS의 값이 0이거나 기상청 AWS의 강수량이 0일 때 저가형 AWS의 값이 0이 아닌 일수로 Vantage Pro2 (26), HP3500B (23), 01079M (22), Vantage Vue (20) 순으로 오류가 자주 발생한 것으로 나타났다. 두 번째는 값이 Na로 표시되는 경우로 Vantage Vue (7), Vantage Pro2 (6)와 01079M (6), HP3500B (2) 순으로 나타났다. 두 경우를 합쳤을 때 Vantage Pro2 (32), 01079M (28), Vantage Vue (27), HP3500B (25) 순으로 오류가 발생한 것으로 나타났다.

Table 3. Statistical Evaluation Results of KMA and Low-cost AWS Rainfall ('18.10.16~'19.07.31)

Category		Product			
		D Company		E Company	A Company
		Vantage Vue	Vantage Pro2	HP3500B	01079M
NSE		0.38	0.29	0.90	0.96
RMSE		5.61	5.98	2.99	1.38
PBIAS		-16.50	-51.00	16.70	2.20
R ²		0.41	0.31	0.92	0.96
Error (N)	Error (0)	20	26	23	22
	No data (Na)	7	6	2	6
	Total	27	32	25	28

기상청 AWS와 저가형 AWS의 시계열 그래프는 Fig. 3과 같다. Fig. 3(a)는 Vantage Vue의 시계열과 산포도 그래프로 2019년 6월 6일 기상청 AWS의 강수량이 13.5 mm, 6월 7일 85.5 mm일 때, Vantage Vue의 강수량 값은 0으로 오류가 나타났으며, 이후 계속적인 오류가 나타났다. Fig. 3(b)는 Vantage Pro2의 시계열과 산포도 그래프로 기상청 AWS의 강수량이 2019년 4월 25일 7.5 mm, 4월 26일 33.5 mm일 때, Vantage Pro2의 강수량은 0으로 오류가 나타났으며, 이후 계속적인 오류가 나타났다. Vantage Vue와 Vantage Pro2의 통계 지수 값이 낮은 이유는 Fig. 3의 시계열 및 산포도 그래프에서 볼 수 있듯이 비가 많이 왔을 때 센서 오류 등의 이유로 값이 0으로 표시되어 기상청 AWS값과의 편차가 크게 발생한 것으로 판단된다. Figs. 3(c)-(d)는 각각 HP3500B와 01079M의 시계열과 산포도 그래프로 기상청 AWS의 강수량의 일별 변화를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

3.3 저가형 AWS 상대 평가

본 절에서는 앞에서 분석된 기상청 강수량계 검증 결과, 설치 가격, 통계 분석 결과를 이용하여 각 기기별 순위를 상대평가하였다. 상대평가 기준으로 기상청 AWS와 저가형 AWS의 일별 강수량 상관관계, 강수량계 센서의 정밀도 검정 결과, 설치 가격, 강수량 오차의 4가지 지표를 선정하였다(Table 4).

기상청 AWS와 저가형 AWS의 일별 강수량의 상관관계 순위는 NSE와 R² 지수를 이용하여 평가하였으며, 01079M, HP3500B, Vantage Vue, Vantage Pro2 순으로 높게 나타났다(Fig. 4(a)). 저가형 AWS 강수량계 센서의 정밀도는 기상청 한국기상산업기술원에서 제공한 20 mm/h, 50 mm/h에서의 강수량계 검정 결과를 이용하여 평가하였으며, Vantage Vue, Pro2, HP3500B, 01079M 순으로 높게 나타났다(Fig. 4(b)). 설치 가격은 낮은 순으로 평가하였으며, 01079M, HP3500B, Vantage Vue, Vantage Pro2 순으로 나타났다(Fig. 4(c)). 마지막으로 강수량 오차는 PBIAS 지수와 오차 발생일수를 고려하여 평가하였으며, 01079M, HP3500B, Vantage Vue, Vantage Pro2 순으로 낮게 나타났다(Fig. 4(d)). Figs. 4(e)-(h)는 각각

Vantage Vue, Vantage Pro2, 01079M, HP3500B에 대한 상대 평가 기준으로 각각의 저가형 AWS에 대해 기상청 AWS와 저가형 AWS의 일별 강수량 상관관계, 강수량계 센서의 정밀도 검정 결과, 설치 가격, 강수량 오차의 4가지 지표 순위를 제시하였다.

4. 결론 및 토의

지자체 저수지는 가뭄 예·경보 등 관리를 위한 강수량 예측기가 설치되어 있지 않아 확대 구축이 필요하나 기존 기상청 등에서 사용하는 강수량 관측 장비는 고가의 설치비 및 유지관리 비용이 발생하여 지자체에서 유지·관리가 어려울 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 기존에 국내외에서 많이 쓰이는 상업적으로 개발된 저비용 고효율의 저가형 AWS를 조사하여 선정하였으며, 이를 기존 기상청 AWS 부근에 설치·운영하여 설치비용, 통신 안정성, 강수량 오차 범위 비교·분석을 통해 확장 및 활용 가능성을 평가하였다. 이에 따른 시사점은 다음과 같다.

- (1) 저가형 AWS 제품별 전문가 의견(신뢰성), 기능, 가격, 스펙, 측정항목, 액세서리, 통신 안정성 및 설치 위치 등의 조사 결과를 바탕으로 3개사(D사, A사, E사)의 4개 제품(Vantage Vue & Vantage Pro2, 01079M, HP3500B)을 선정하였으며, 제품가격은 10~20만 원 대인 A사 및 E사의 모델이 D사의 Vantage Vue, Vantage Pro2 모델(50~60만 원) 보다 상대적으로 저렴하였다.
- (2) 통신 안정성 평가 결과 D사 제품은 유무선 모뎀을 사용하여 독자적인 통신 환경을 갖출 수 있었으나 A사 및 E사 제품의 경우 별도의 PC 및 WiFi 환경이 필요하였으며, 통신 연결이 끊어지는 경우도 발생하였다. 또한, D사 제품의 경우 태양광 패널 등 보조 배터리를 추가 구축할 수 있었으나 A사 및 E사 제품의 경우 AA 배터리를 이용하여 상대적으로 전력 공급이 불안정할 것으로 나타났다.

(a) Time Series of KMA (867) and Vantage Vue's Daily Rainfall ('18.10.16~'19.07.31)

(b) Time Series of KMA (867) and Vantage Pro2's Daily Rainfall ('18.10.16~'19.07.31)

(c) Time Series of KMA (867) and HP3500B's Daily Rainfall ('18.10.16~'19.07.31)

(d) Time Series of KMA (867) and 01076M's Daily Rainfall ('18.10.16~'19.07.31)

Fig. 3. Time Series of KMA (867) and Low-cost AWS's Daily Rainfall ('18.10.16~'19.07.31)

Table 4. Relative Evaluation Results of Low-cost AWS

Category	Product			
	D Company		A Company	E Company
	Vantage Vue	Vantage Pro2	01079M	HP3500B
Correlation with KMA's Daily Rainfall (High Order)	3	4	1	2
Accuracy of Low-cost AWS's Rain Sensor (High Order)	1	2	4	3
Installation Price (Low Order)	3	4	1	2
Error of Low-cost AWS's Daily Rainfall (Low Order)	3	4	1	2

Fig. 4. Ridial Graph of Low-cost AWS's Relative Evaluation Results

- (3) 기상법에 의거 기상청 산하 한국기상산업기술원에서 강수량계 검정 결과 D사의 Vantage Vue 제품의 경우 검정점 20 mm/h 및 50 mm/h에서 각각 1.5 mm/h, 0.7 mm/h로 5% 이내의 양호한 검정 결과를 보였으며, Vantage Pro2 및 E사의 HP3500B 제품은 강수량 기차가 7.0% 이내로 상대적으로 높게 나타났다. 또한, A사의 제품은 수수기 모양이 타원형으로 검정이 불가하였다.
- (4) 기상청 AWS(삼척, 867)의 강수량을 참값으로 2018년 10월 16일 ~ 2019년 7월 31일의 일별 강수량을 통계적 기법 및 도시적 기법을 이용하여 분석하였다. 이를 위해 국내외에서 대표적으로 많이 이용되는 NSE, RMSE, PBIAS, R^2 지수를 이용하였으며, 기상청 AWS의 강수량과의 경향성, 정밀도, 총합의 크기, 회귀식의 적합도를 정량적으로 제시하였다.
- (5) 기상청 AWS와 저가형 AWS의 일별 강수량 상관관계, 강수량계 센서의 정밀도 검정 결과, 설치 가격, 강수량 오차의 4가지 지표로 바탕으로 각 저가형 AWS별 순위를 상대평가하였으며, 이를 정량적으로 제시하였다.

본 연구에서는 실제 구매 및 배송 가능한 제품에 한해 전문가 의견, 기능, 가격, 스펙, 측정항목, 액세서리, 통신 안정성 및 설치 위치 등을 폭넓게 조사하고 분석하였다. 실제 지자체 관리 저수지의 경우 독자적인 PC 및 WiFi 통신 환경이 구축되기 힘들며, 독립적인 통신 환경의 저가형 AWS의 활용성이 높을 것으로 판단된다. 본 연구에서 제시된 저가형 AWS 구축 및 강수량 데이터 분석 결과는 지자체 관리 저수지 확대 구축에 있어 불필요한 시행착오로 인한 시간과 비용을 줄일 수 있을 것으로 판단되며, 이를 통해 AWS 구축 및 유지관리 비용을 크게 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부(국립재난안전연구원)의 국가 가뭄 정보 통합 예·경보 기술 개발사업의 연구비지원(주요연구 2018-01-01)에 의해 수행되었습니다.

References

ACURITE. (2018). *AcuRite PC connect weather station 02032 instruction manual (Model: 01076M)*.

DAVIS. (2017). *Precision weather instruments 2017 catalog-global (Model: Vantage Pro2, Vantage Vue)*.

ECOWITT. (2018). *TFT color display wifi weather station operation manual (Model: HP3500)*.

Gupta, H.V., Sorooshian, S., and Yapo, P.O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration.

Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 135-143.

Ha, J.H., Kim, Y.H., Im, H.H., Choi, D.W., and Lee, Y.H. (2016). A method for correcting air-pressure data collected by Mini-AWS. *Journal of Korean Institute of Intelligent System*, Vol. 26, No. 3, pp. 182-189.

Ha, H.Y., and Im, K.H. (1997). Comparison of rainfall intensity meter and AWS about rainfall observation data. *Proceedings of 1997 Fall Conference*, Korean Meteorological Society, pp. 53-55.

Kim, B.S., Kwon, H.H., and Kim, H.S. (2011). Impact assessment of climate change on drought risk. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-11.

Kim, M.S., and Moon, Y.I. (2015). A study on quality control method for minutely rainfall data. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 35, No. 2, pp. 319-326.

Korea Meteorological Administration (KMA). (2018). *2017 Yearbook*.

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). (2016). *2016 Yearbook of agricultural land and water development statistics*.

Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I : A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Vol. 10, No. 3, pp. 282-290.

National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2017a). *Development of assessment techniques for drought forecasting-warning information (I)*.

National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2017b). *Development of integrated forecasting and warning platform for national drought information (I)*.

National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2018a). *Development of integrated forecasting and warning platform for national drought information (II)*.

National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2018b). *The development of surveying techniques for the regional customizing drought information*.

Song, J.H. (2017). *Hydrologic analysis system with multi-objective optimization for agricultural watersheds*. Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.

Received	April 15, 2019
Revised	April 19, 2019
Accepted	November 4, 2019