

차량용 강우센서와 강우관측소 관측자료 비교분석

이충대* · 이병현** · 조형제*** · 김병식****

Lee, Chung Dae*, Lee, Byung Hyun**, Cho, Hyeong Je***, Kim, Byung Sik****

Comparison and Analysis of Observation Data of Rainfall Sensor for Vehicle and Rainfall Station

ABSTRACT

The biased estimation of low density rainfall network and radar rainfall has limited application to extreme rainfall in a small area. To improve this, more rainfall information needs to be produced. In this study, we analyzed the applicability of the vehicle rainfall sensor developed and used recently. The developed rainfall sensor was attached to the vehicle to observe the rainfall according to the movement of the vehicle. The analytical method used time series and average rainfall values for observations of rainfall sensors and nearby rainfall stations. The results show that the trend of observed values according to rainfall events shows a certain pattern. It is analyzed that it is caused by various causes such as the difference between the observation position of the rainfall sensor and the nearby rainfall station, the moving speed of the vehicle, and the rainfall observation method. This result shows the possibility of rainfall observation using a rainfall sensor for a vehicle, and it is possible to observe rainfall more precisely through experiments and improvement of rainfall sensors in various conditions in the future.

Key words : Vehicle rain sensor, Rainfall station, Time series, Average rainfall value

초 록

낮은 밀도의 강우관측망과 레이더 강우의 편향적인 추정은 좁은 지역에서 발생하는 돌발홍수에 대한 적용에는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해서는 더 많은 강우정보의 생산이 필요하다. 본 연구에서는 최근에 개발되어 활용되고 있는 차량용 강우센서를 이용하여 적용성을 분석하였다. 개발된 강우센서를 차량에 부착하여 차량의 이동에 따른 강우 관측을 수행하였다. 분석 방법은 강우센서와 인근 강우관측소의 관측값에 대하여 시계열 및 평균 강수량을 이용하였다. 차량별로 부착된 센서(1~10번)의 관측 강우를 분석한 결과 전체적으로 센서별로 상대적으로 차이가 발생하고 있으나 강우 사상에 따른 관측값의 경향은 일정한 패턴을 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 이는 강우센서의 관측위치와 인근 강우관측소와의 거리 차이, 차량의 이동 속도, 강우관측 방법 등 다양한 원인에 의해 발생하는 것으로 분석되었다. 이 결과는 차량용 강우센서를 이용한 강우관측의 가능성을 보여주었으며 향후 다양한 조건에서의 실험 및 강우센서 개선을 통하여 보다 정밀한 강우관측이 가능할 것으로 검토되었다.

검색어 : 차량용 강우센서, 강우관측소, 시계열 분석, 평균 강수량

* 종신회원 · 한국수자원조사연구원 영산강조사실 (Korea Institute of Hydrological Survey · chungdea@kihs.re.kr)

** 정회원 · 국립강원대학교 도시환경·재난관리 전공 (Kangwon National University · hydrobh2@kangwon.ac.kr)

*** 한국수자원조사연구원 영산강조사실 (Korea Institute of Hydrological Survey · brother@hsc.re.kr)

**** 정회원 · 교신저자 · 국립강원대학교 도시환경·재난관리 전공 (Corresponding Author · Kangwon National University · hydrokbs@kangwon.ac.kr)

Received October 1, 2018/ revised October 30, 2018/ accepted November 5, 2018

1. 서론

전 세계적으로 기후변화로 인한 이상기후 발생이 점차 심각해짐에 따라 국지성 집중호우가 자주 발생하고 있다. 많은 양의 폭우가 좁은 지역에 집중적으로 내리는 국지성 집중호우는 인간의 삶에 다양한 문제를 발생시키고 있다. 특히 도시지역은 개발로 인한 온실효과로 인해 국지적으로 많은 강우가 발생하고 지표면의 포장으로 인한 자연 공간 감소영향으로 저류효과가 현저히 낮아지고 있다. 이로 인하여 현재에도 국지성 집중호우에 대한 재해를 방지하기 위하여 끊임없는 연구가 이뤄지고 있다.

우리나라에서도 강우의 정량적인 양을 관측하기 위하여 지점 기반을 이용한 연속적인 모니터링을 실시하여 왔다(Kim et al., 1999; Kim et al., 2014a). 그러나 지점 기반의 강우 관측은 국지성 집중호우를 관측하기에는 관측소간 거리 차이가 많이 발생하고 있어 적재적소에 관측자료를 제공하기에는 한계가 있다. 또한 집중호우로 인한 도심 도로의 순간 침수는 교통 문제를 발생하며 2011년 7월 집중호우로 인한 강변북로와 광화문 침수는 도심지 침수 재해의 대표적인 사례라 할 수 있다(Lee et al., 2017). 집중호우로 인한 도로통제, 교통관련 재해관리를 위해서는 고해상도의 실시간, 단기간 이동성 강우정보가 필요하다. 이를 위한 선행연구로는 도시홍수 예방을 위해 높은 사공간의 해상도를 가지는 강우정보의 필요성을 강조하였다(Chandrasekar et al., 2012). 또한 초음파식 유량측정 기술을 이용하여 강수량을 측정하는 방법을 제시하였고(Seo et al., 2013), 라디오 주파수를 이용하여 강우분포와 전파 주파수 감쇠확률을 이용하여 강수량을 측정하는 방법을 제시하였다(Leijnse et al., 2007). 강우관측망과 강우레이더 자료를 결합하기 위해 크리깅(kriging) 기법을 제시하였다(Verworm et al., 2010). 또한 강우레이더를 이용한 이동성 강우정보를 생산하는 기술을 제시하였으며(Kim et al., 2010), 강우정보 생산을 위한 측정 기술에서는 위성을 이용한 관측 방법(Diop et al., 2003), 마이크로파를 이용한 관측 방법(Upton et al., 2005), 음파를 이용한 관측 방법(De Jong, 2010) 등의 몇 가지 혁신적인 방법을 제시하였다. 그러나 현재 환경부(홍수통제소) 및 기상청에서 운영하는 강우관측망과 권역별 지역 예보로는 도로경로에 따른 기상서비스를 제공하기에는 충족하지 못하고 있다. 강우관측망을 이용한 강우측정 방법은 국지적이고 이동적인 강우를 측정하기에는 한계가 있으며 이를 해결하기 위해서 다양한 연구가 진행되고 있다.

특히 강우관측 장치로서 움직이는 자동차를 이용하여 국지성 집중호우가 발생 지역에서 수십만 대의 차량이 강우정보를 생산하게 된다면 보다 고해상도의 실시간 강우정보를 사용할 수 있게 된다. 차량용 강우센서가 강우관측소 만큼의 정확도는 나올 수 없지만 다수의 정확도가 떨어지는 우량계가 소수의 매우 정확한

우량계보다 더 신뢰성 있는 강우 정보를 제공할 수 있다(Haberlandt and Sester, 2010). 따라서 차량용 강우센서에 대한 정확도 개선의 필요성이 증가 되고 현장 적용성에 대한 검증이 필요하다.

본 연구에서는 강우센서를 차량에 부착하여 전국 단위의 강우 데이터를 수집하였으며, 강우관측소의 관측 데이터와 비교 분석하여 차량용 강우센서의 적용성을 평가하였다.

2. 연구방법

2.1 연구지역

본 연구에서는 차량용 강우센서 자료 확보를 위하여 대한민국을 연구지역(면적:99,461km²)으로 선정하였으며, 연구지역 내에서 기상청(http:kma.go.kr/) 및 4대(한강, 낙동강, 금강, 영산강) 홍수 통제소에서 관리하는 강우관측소로부터 관측된 강우자료를 이용하였다. 차량용 강우센서 자료의 분석을 위해 2016년 7월 1일부터 8월 31일까지에 대한 자료를 활용하였으며, 강우관측소 강우자료는 기상청 72개소, 환경부(홍수통제소) 38개소의 자료를 사용하였다(Fig. 1).

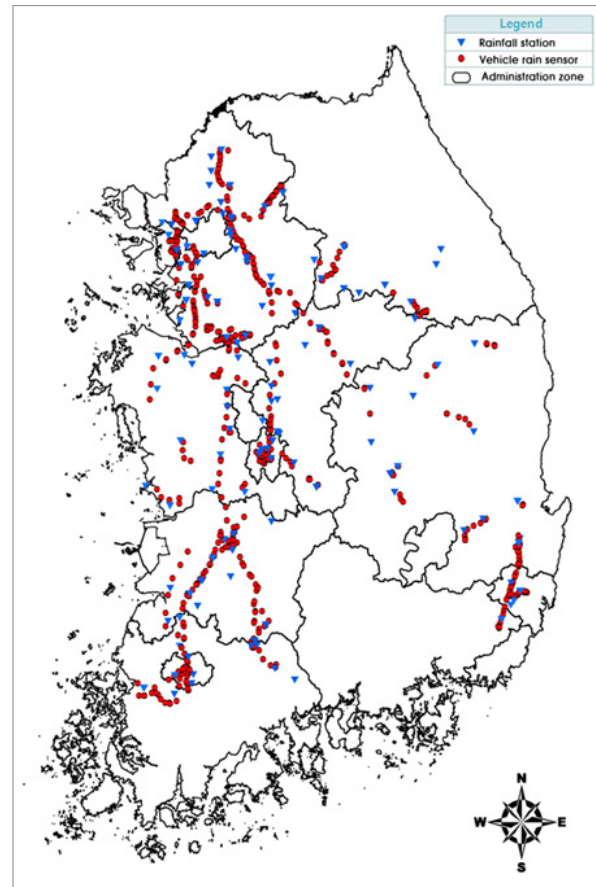


Fig. 1. Study Area and Sites Using This Study

2.2 차량용 강우센서

차량용 와이퍼 속도단계와 강우량의 관계를 이용한 강우를 측정하는 연구를 진행하였다(Rabiei et al., 2013). Rabiei의 연구가 와이퍼속도(W: 와이퍼 작동 1회 속도)와 강우량(R)의 관계를 이용하였다면, 본 연구에서 활용한 차량용 강우센서는 와이퍼의 속도단계(W)에 따른 강우센서의 신호감지(S)를 이용하여 강우강도(R)로 환산하는 장비를 이용하였다(Lee et al., 2017). 강우센서를 이용한 강우량 측정방법은 센서에서 광신호를 보내는 송광부(Sender)와 차량의 전면유리창에 반사되는 광신호를 받는 수광부(Receiver)의 광신호 반사율을 이용한다.

강우가 없는 경우 우적(빗방울)이 없기 때문에 센서에서 보낸 광신호가 차량 전면 스크린에 전체가 반사되어 돌아오는 전반사가 이루어진다. 따라서 이 경우는 송광부에서 보낸 광신호가 전부 돌아오나 강우 발생시 차창에 떨어지는 우적에 의하여 센서에서 보낸 광신호가 산란되기 때문에 수광부로 입사되는 광량이 줄어들게 된다.

따라서 우적 크기 증감에 따른 수광부로 입사되는 광신호의 관계를 해석하면 수광부의 입사광량을 이용하여 강우강도로 환산

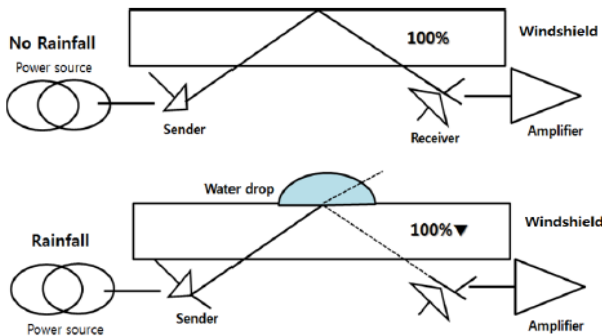
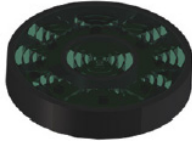



Fig. 2. Operating Principle of Vehicle Rain Sensor

Table 1. Comparison of Existing Rainfall Sensor and Developed Rainfall Sensor

Division	Rain Sensor	
	Development	Existing
Purpose	Rainfall Estimates	Wiper Operation
Detecting Area	400mm ²	100mm ²
Detecting Channel	8Channel	2Channel
Size	Ø 70mm	Ø 32mm
Types		

이 가능하다. Fig. 2는 강우센서의 동작원리를 나타내고 있으며 수광부의 입사광량을 측정하면 환산식(W-S-R관계식)을 이용하여 강우강도로 환산이 가능하다. 또한 기존 강우센서는 와이퍼 동작을 위한 우적 유무를 계측하는 기능만 가지고 있다. 본 연구에서 필요한 강우관측을 위한 강우센서는 기존 강우센서 보다 좀 더 정확한 측정값이 필요하게 된다. 따라서 개선된 강우센서는 강우측정을 위하여 강우를 탐지할 수 있는 검지면적, 그리고 송·수광부를 가지고 있는 검지체널 등을 확장하여 측정값의 정도를 높인 장치이다. 본 연구에 사용된 강우센서와 기존 차량에 사용되고 있는 강우센서의 비교는 Table 1과 같다.

2.3 자료의 검증 및 비교

2.3.1 ROC (Receiver Operating Characteristic) 분석

강우센서와 강우관측소의 관측 반응 특성을 분석하는 방법으로 강우센서 관측과 주변 강우관측소의 관측 유무를 판단하여 강우센서의 적용성을 확인할 수 있다. Table 2에서 보면 강우센서를 기준으로 강우관측소에서 강우가 관측되었을 경우 Hit로 강우가 관측되지 않은 경우에는 False로 표기하여 총 관측 개수에서 Hit (H)의 비율과 False (F)의 비율을 산정하여 동일성을 검토하였다.

2.3.2 시계열 분석

강우센서에서 생산되는 데이터는 초당 60개이며 분당 3800개의 데이터가 생산된다. 수집된 데이터는 대표적인 빅데이터로 작은 구간에서 보면 데이터의 연관성이 적게 나타나지만 시간 간격을 늘려 그 평균값을 분석하게 되면 그 값들은 일정 범위를 나타내는 것을 확인할 수 있다(Lee et al., 2017). 또한 강우관측소에서 관측되는 데이터는 기관별로 기상청은 15분 누적 강우 데이터를 제공하고 있으며, 환경부(홍수통제소)는 10분 누적 강우 데이터를 제공하고 있다. 각 기관에서 제공하는 15분, 10분 누적 강우와 강우센서의 관측 데이터에 대한 시계열 분석을 위하여 각 관측자료 별로 5분 누적 강우로 변환하여 시계열 분석을 수행하였다. 이러한 방법은 강우센서에서 관측된 데이터의 적정성을 확인할 수 있다.

2.3.3 평균값 분석

동일 기간에 관측된 강우의 합리성을 분석하기 위하여 산술평균 방법을 이용하였다. 이 방법은 동일한 관측 기간 동안 강우센서에서 관측된 데이터의 평균과 인근 강우관측소에서 관측된 데이터의

Table 2. Receiver Operating Characteristic Method

Verifying analysis		Rainfall Station	
		Rain	No Rain
Rain Sensor	Rain	Hit (H)	False (F)

평균값에 대하여 비교하는 방법으로 차량의 이동에 따른 강우센서의 관측 데이터를 평가 할 수 있다.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n \quad (1)$$

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n O_i / n \quad (2)$$

여기서, n 은 관측된 자료의 개수를 의미하며, X_i 는 강우센서의 관측 자료를 나타내고, O_i 는 지점 강우관측소의 관측 자료를 의미한다.

3. 결과

3.1 ROC 분석 결과

차량용 강우센서와 강우관측소 간의 동질성을 검토하기 위하여 전국에서 관측된 10대의 강우센서 자료와 인근 강우관측소의 자료를 검토한 결과 Table 3과 같다.

Table 3의 분석결과를 보면 강우센서 1, 4, 10번 센서에서 50% 이상의 Hit가 발생하였으며 나머지 2, 3, 5, 6, 8번에서는 40%, 7, 9번에서는 30%가 발생하였다. 이는 강우의 발생 패턴 및 강우강도에 따라 Fig. 3에서 나타난 것과 같이 다양한 특성을 보이고 있다. Fig. 3에서 1, 4, 10번 센서의 경우에는 강우 이동

Table 3. Results of Receivers Operating Characteristic

Sensor No	Number of data			Ratio (%)	
	H	F	total	H	F
Sensor 1	24	14	38	63	37
Sensor 2	24	36	60	40	60
Sensor 3	29	40	69	42	58
Sensor 4	28	5	33	85	15
Sensor 5	11	16	27	41	59
Sensor 6	21	24	45	47	53
Sensor 7	6	15	21	29	71
Sensor 8	11	13	24	46	54
Sensor 9	22	40	62	35	65
Sensor 10	12	5	17	71	29
Total	188	208	396	47	53

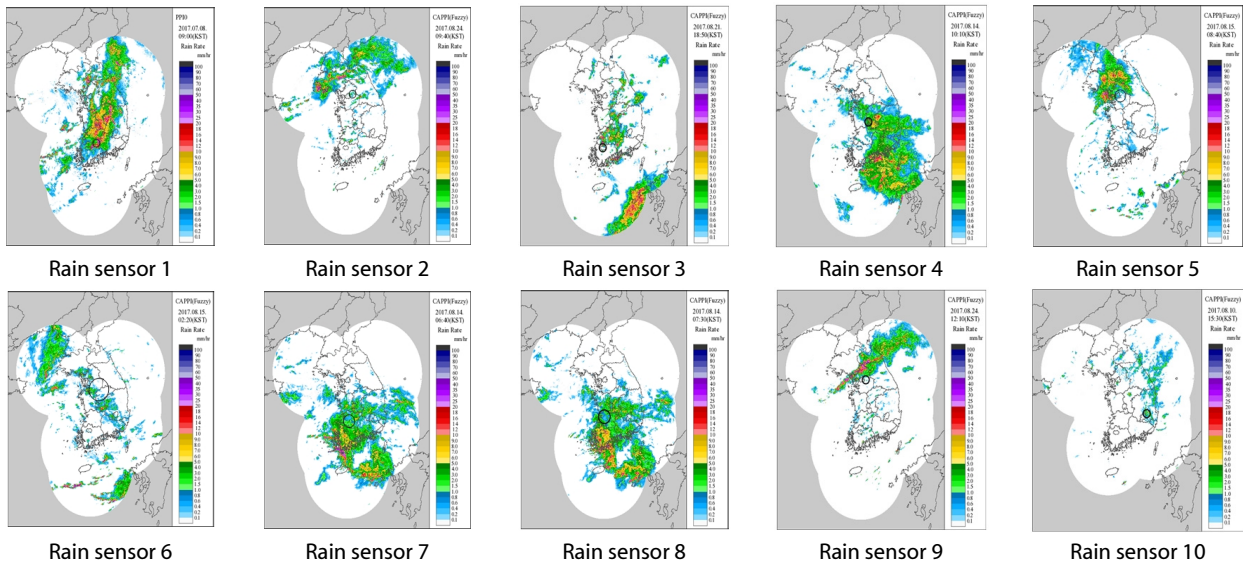
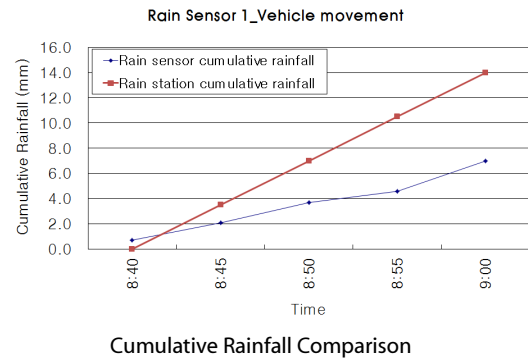
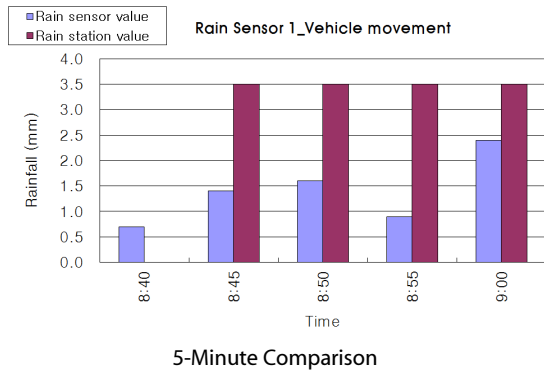


Fig. 3. Observation Radar Image by Rain Sensor

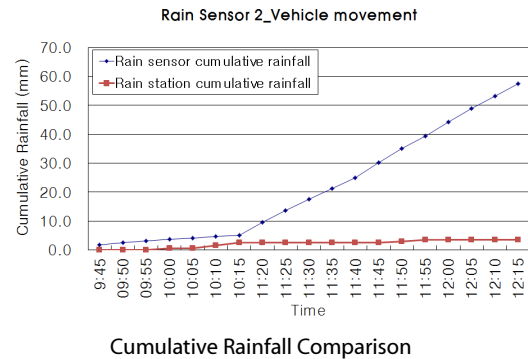
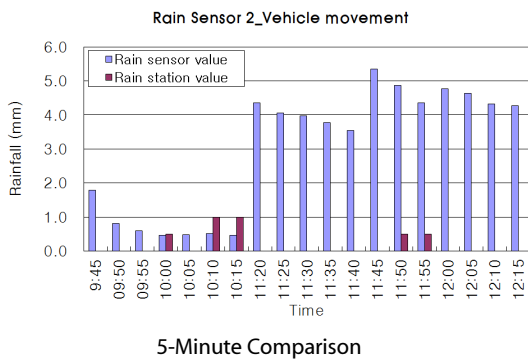
및 강우강도가 높은 지역으로 강우센서와 인근 강우관측소에서 모두 높은 관측율을 보이고 있다. 하지만 2, 3, 5, 6, 8번 센서에서는 적은 강우강도와 강우의 이동에 따라 관측 밀도가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 7, 9번 센서에서는 적은 강우강도와 차량의 이동거리가 많기 때문에 강우센서의 관측율은 높고 인근 강우관측소의 관측율은 낮은 것으로 분석되었다. 이는 강우센서의 경우 0.1mm 이하의 낮은 강우에도 반응을 보이지만 기상청 및 환경부(홍수통제소) 강우관측소에서는 0.5mm 이상에서 관측이 되기 때문에 민감도의 문제도 발생하는 것으로 분석되었다.

3.2 시계열 분석 결과

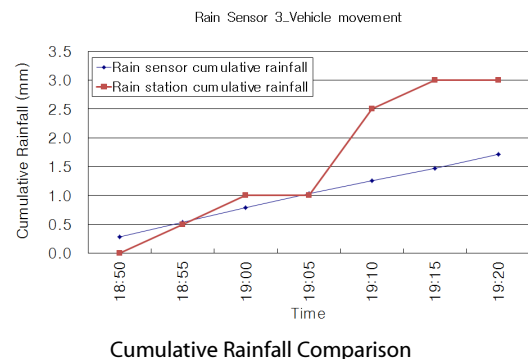
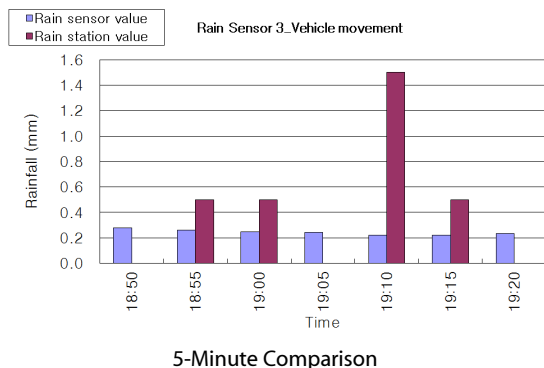
강우센서 관측자료의 적정성을 확인하기 위해서 위에 언급한 것과 같이 강우센서와 인근 강우관측소의 관측 데이터를 이용하여 시계열 분석 결과를 나타내었다(Fig. 4). 각 센서별로 관측한 자료에 대하여 확인하면 정량적인 측면에서는 차이가 발생하고 있지만 관측에 따른 경향성은 타당한 것으로 판단된다. 이는 인근 강우관측소의 위치와 차량의 이동에 따른 거리변화로 인하여 발생하는 것이며 특히 관측 방법 및 범위에 따른 영향인 것으로 분석 되었다.



(1) Rain Sensor 1 Observation Comparison



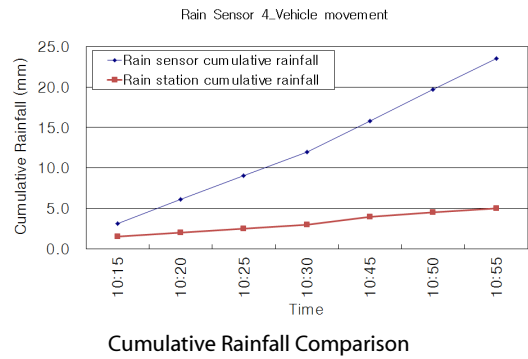
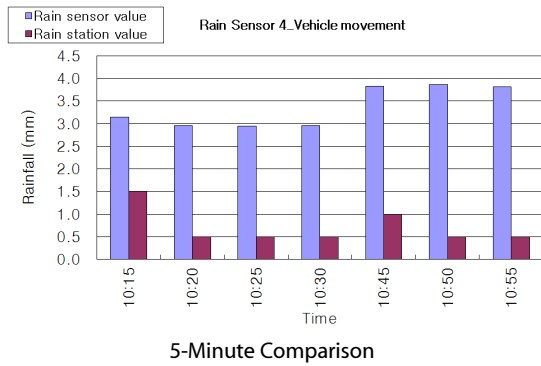
(2) Rain Sensor 2 Observation Comparison



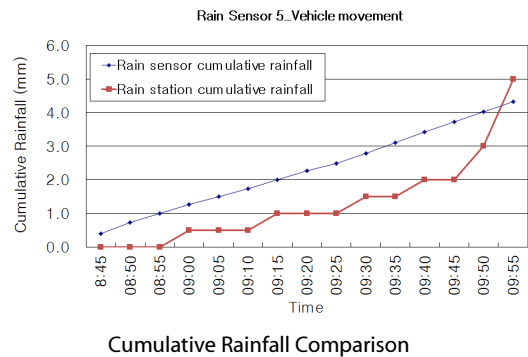
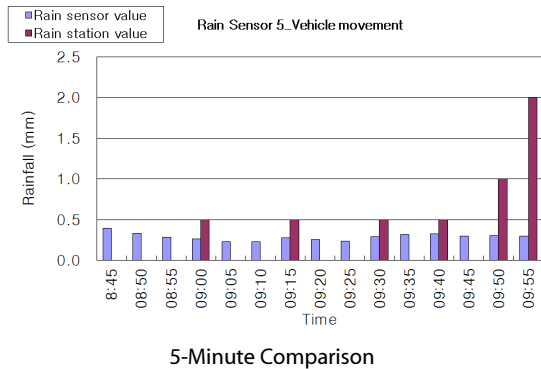
(3) Rain Sensor 3 Observation Comparison

Fig 4. Rain Sensor and Station Rainfall Comparison

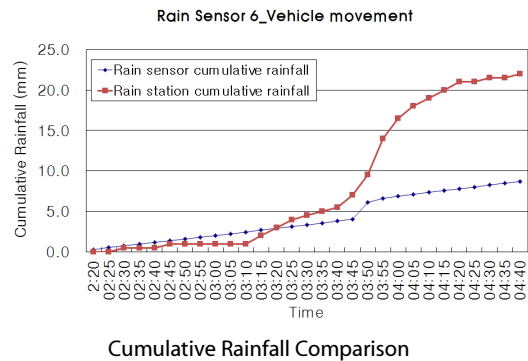
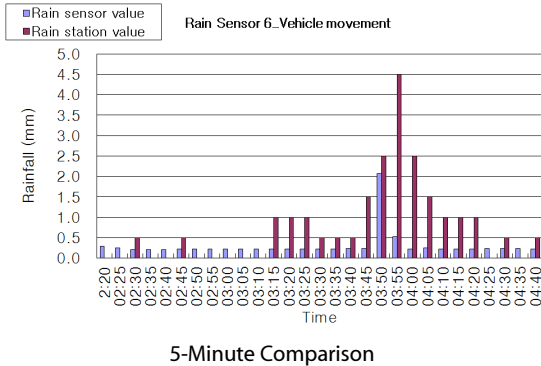
차량용 강우센서와 강우관측소 관측자료 비교분석



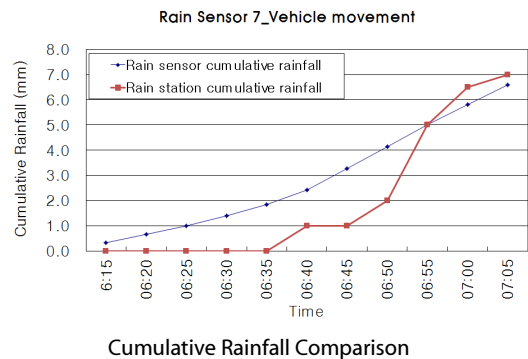
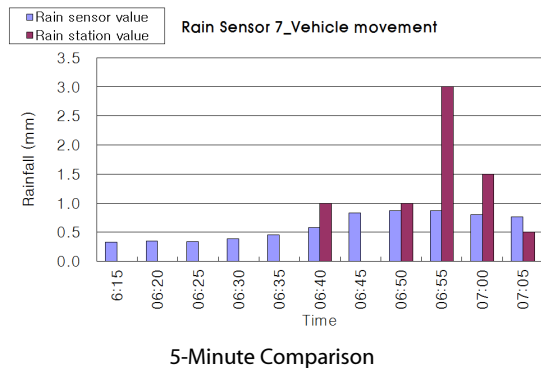
(4) Rain Sensor 4 Observation Comparison



(5) Rain Sensor 5 Observation Comparison

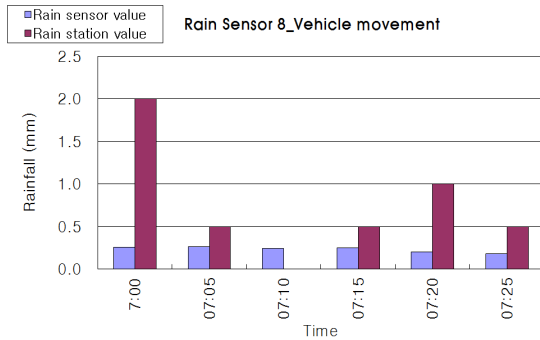


(6) Rain Sensor 6 Observation Comparison

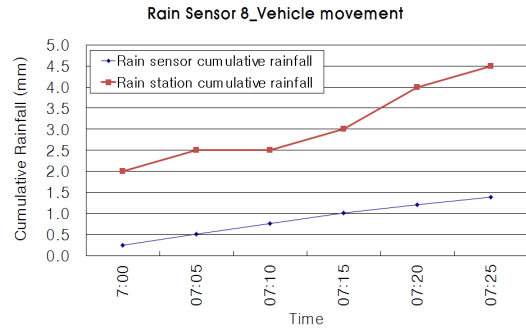


(7) Rain Sensor 7 Observation Comparison

Fig 4. Rain Sensor and Station Rainfall Comparison (Continue)

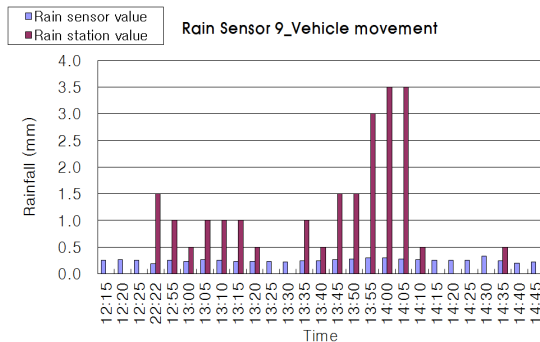


5-Minute Comparison

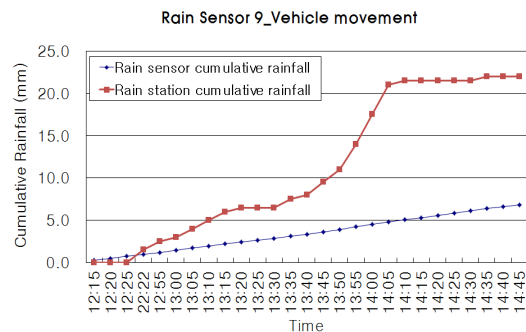


Cumulative Rainfall Comparison

(8) Rain Sensor 8 Observation Comparison

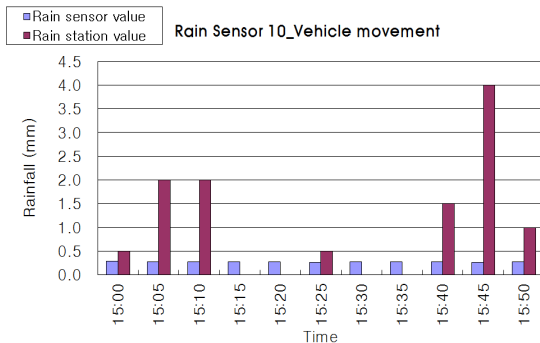


5-Minute Comparison

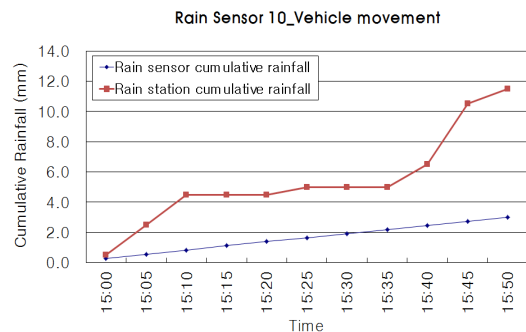


Cumulative Rainfall Comparison

(9) Rain Sensor 9 Observation Comparison



5-Minute Comparison



Cumulative Rainfall Comparison

(10) Rain Sensor 10 Observation Comparison

Fig 4. Rain Sensor and Station Rainfall Comparison (Continue)

3.3 평균값 분석 결과

강우센서와 인근 강우관측소에서 동일 사상에서 관측된 강우 데이터를 이용하여 관측 자료의 평균값 검도를 수행하여 Table 4에 나타내었다. 일부 센서에서 평균값의 차이가 크게 발생하고 있지만 대부분의 센서에서는 유사한 값을 나타내고 있다. 이는 앞 절에서도 언급했듯이 관측위치의 차이와 강우강도의 변화에 따른 특성으로 판단할 수 있다.

4. 결론 및 고찰

강우센서에 의한 강우 관측은 일부 부정확성을 내포하고 있지만 강우관측소와 레이더 강우 보다 도로 및 특정지역에 대해서는 보다 우수한 자료를 생산할 것으로 판단된다. 그렇기 때문에 각 관측방법에 대한 강점을 혼용하여 사용한다면 보다 좋은 강우정보를 산출할 수 있다. 본 연구에서는 강우센서와 강우관측소에서 관측된 데이터를 이용하여 강우 사상에 대한 검증을 실시하였다.

Table 4. Result of Receiver Operating Characteristic

Sensor No	Rain Sensor Average Rainfall (mm)	Rain Station Average Rainfall (mm)
Sensor 1	1.40	2.80
Sensor 2	3.02	0.18
Sensor 3	0.24	0.43
Sensor 4	3.35	0.71
Sensor 5	0.29	0.33
Sensor 6	0.30	0.76
Sensor 7	0.60	0.64
Sensor 8	0.23	0.75
Sensor 9	0.25	0.81
Sensor 10	0.27	1.05
Total	9.95	8.46

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 나타낼 수 있다.

- (1) ROC 분석을 통하여 동일 강우 사상에서 관측한 자료에서도 강우센서와 강우관측소 간의 관측 반응은 다르게 나타나는 것으로 판단된다. 이는 강우센서가 작은 강우에도 민감하게 반응하는 특징을 가지고 있고, 좁은 지역에 집중호우가 발생한 경우 간격이 크게 떨어진 강우관측소에서 관측이 이루어지지 않은 경우로 판단된다. 따라서, 강우센서를 이용한 관측은 강우 관측소 보다 좁은 지역 및 적은 강우에서도 어느 정도 특성을 반영할 수 있다는 것을 알 수 있다.
- (2) 강우센서와 강우관측소의 관측 데이터를 동일 시간을 기준으로 분석할 결과 각 센서별로 관측한 자료에 대하여 확인하면 정량 양적인 측면에서는 차이가 발생하고 있지만 관측에 따른 경향성은 타당한 것을 알 수 있다.
- (3) 강우센서와 강우관측소의 동일 사상 평균값 분석을 통하여 강우센서의 적정성을 분석한 결과 강우자료의 정확도를 판단할 수 없지만 동일 사상에서 관측된 데이터의 평균값이 유사한 것으로 나타나고 있어 향후 강우센서의 개선이 진행 된다면 보다 정교한 강우정보를 생산할 수 있을 것이다.

본 연구에서 제시한 결론을 종합하자면, 강우센서를 이용하여 차량의 이동에 따른 강우관측이 가능할 것으로 확인할 수 있으며, 특히 강우관측소가 설치되어 있지 않은 도로 및 특정지역에서 보다 정확한 강우정보를 생산할 수 있을 것이다. 추후 연구에서는 보다 많은 강우센서를 활용하여 다양한 지역에서 강우정보를 검증하고 공간특성을 분석한다면 고해상도의 강우정보를 생산할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 개발된 강우센서를 이용하여 많은 차량에서 시공간 강우정보를 생산할 수 있다면, 생산된 자료를

이용하여 도로 강우정보를 제공하고 강우에 따른 도로 위험지역을 실시간으로 표출하여 국민 생활에 안전을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 기상청의 기상·지진 See-At 기술개발연구/융합서비스기술(KMIPA 2017)의 지원으로 수행 되었습니다.

이 논문은 행정안전부장관의 재난관리분야 전문인력 양성사업으로 지원되었습니다.

References

Chandrasekar, V., Wang, Y. and Chen, H. (2012). "The CASA quantitative precipitation estimation system: a five year validation study." *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 12, pp. 2811-2820.

De Jong, S. (2010). *Low cost disdrometer*. Master thesis report, TU Delft, Delft, the Netherlands.

Diop, M. and Grimes, D. I. F. (2003). "Satellite-based rainfall estimation for river flow forecasting in Africa." II: African Easterly Waves, convection and rainfall, *Hydrology Sciences Journal*, Vol. 48, pp. 585-599.

Haberlandt, U. and Sester, M. (2010). "Areal rainfall estimation using moving cars as rain gauges a modelling study." *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 14, pp. 1139-2010.

Kim, B. S., Kim, H. S. and Yang, D. M. (2010). "Comparison of spatial distributions of rainfall derived from rain gages and a radar." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 12, No. 3, pp. 63-73.

Kim, J. P., Lee, W. S., Cho, H. and Kim, G. (2014a). "Estimation of high resolution daily precipitation using a modified PRISM model." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 4, pp. 1139-1150 (in Korean).

- Kim, S. J., Shin, S. C. and Suh, A. S. (1999). "Satellite rainfall monitoring: recent progress and its potential applicability." *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 1, No. 2, pp. 142-150 (in Korean).
- Lee, S. H., Kim, Y. G. and Kim, B. S. (2017). "Development of rainfall information production technology using the optical signal of windshield rain sensors." *An International Interdisciplinary Journal*, Vol. 20, No. 6(B), pp. 4521-4533.
- Lee, S. H., Kim, Y. G. and Kim, B. S. (2017). "Development of relationship equation for vehicle sensor signal and observed rainfall." *Journal Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 49, No. 1, pp. 29-35 (in Korean).
- Leijnse, H., Uijlenhoet, R. and Stricker, J. N. M. (2007). "Rainfall measurement using radio links from cellular communication networks." *Water Resources Research*, Vol. 43, No. 10, pp. 1029-1056.
- Rabiei, E., Haberlandt, U., Sester, M. and Fitzner, D. (2013). "Rainfall estimation using moving cars as rain gauges laboratory experiments." *Hydrol and Earth System Sciences*, Vol. 17, pp. 4701-4712.
- Seo, G. D., Sung, T. R., Lee, K. W. and Ji, Y. C. (2013). "Development of a precipitation gauge using ultrasonic measuring technique." *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 17, No. 11, pp. 2745-2752 (in Korean).
- Verworn, A. and Haberlandt, U. (2011). "Spatial interpolation of hourly rainfall - effect of additional information." variogram inference and storm properties, *Hydrol and Earth System Sciences*, Vol. 15, pp. 569-584.