



## Development of relationship equation for vehicle sensor signal and observed rainfall

Lee, Suk Ho<sup>a</sup> · Kim, Young Gon<sup>a</sup> · Kim, Byung Sik<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Department of Urban and Environmental Disaster Prevention Engineering, Kangwon National University

Paper number: 16-091

Received: 25 October 2016; Revised: 25 November 2016; Accepted: 25 November 2016

### Abstract

A vehicle rainfall sensor is made to control the operating speed of wipers depending on rainfall. Therefore this is the apparatus to determine the velocity phase of the wipers roughly based on the amount of rainfall. However, the technology which can judge the size of rainfall amount besides determining speed level of the wipers is developing according to the development of the function of rainfall sensor due to the development of technology. In this study, a rainfall measurement by using light scattering by precipitation particles was used. This measurement is to use light signal reflection from front glass and the bigger particle is the less detection of light by light scattering. The detection area of the rainfall sensor and detection channel were extended sizes to increase the accuracy of the rainfall. Also the W-S-R relational expression was developed by using a relationship between the specific precipitation (R) and the amount of sensor detection (S) when there is speed change of the wipers (W) and an indoor rainfall apparatus was used to convert sensing signal to rainfall. The signal system of vehicle rainfall sensor can be converted to the actual rainfall amount by using this formula and if this is provided to users then the vehicle observation network can produce higher-resolution than actual observation network can be produced.

**Keywords:** Vehicle Rain Sensor, Detecting area, Detecting channel, W-S-R Relationship

## 차량용 강우센서의 Signal과 관측강우의 관계식 개발

이석호<sup>a</sup> · 김영곤<sup>a</sup> · 김병식<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>국립강원대학교 방재전문대학원 도시·환경방재공학과

### 요 지

차량용 강우센서는 강우에 따라 와이퍼의 동작 속도를 제어하기 위해 만들어졌다. 따라서 강수의 많고 적음을 대략적으로 판단하여 와이퍼의 속도단계를 결정하기 위한 장치이다. 하지만 기술의 발달로 인하여 강우센서의 성능이 개선됨에 따라 와이퍼의 속도단계 결정 외에 강우량의 크기를 좀 더 정확히 판단할 수 있는 기술이 개발되고 있다. 본 연구에서는 강우입자로 인한 빛의 산란을 이용한 강우계측 방법을 이용하였다. 센서에서 광신호를 보내고 전면부 유리창에 반사되어 돌아오는 광신호를 이용하는 방법으로 물방울 입자가 커지면 빛의 산란으로 센서의 광 감지량이 줄어들게 된다. 강우량의 정확도를 높이기 위하여 강우센서의 검지면적과 검지채널을 기존 강우센서에 비해 크게 확장하였다. 또한 센서의 감지 신호(Signal)를 강우량으로 환산하기 위하여 실내 강우발생 실험 장치를 이용하여 와이퍼의 속도단계(W)에 따른 특정 강우(R) 발생시 센서 감지량(S)과의 관계를 이용한 W-S-R 관계식을 개발하였다. 이 관계식을 통하여 차량 강우센서의 신호체계를 실제 강우량으로 환산하여 사용자에게 제공한다면 차량관측망이 강우측정망이 되어 실제 강우측정정보보다 고해상도의 강우정보를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어:** 차량용 강우센서, 검지면적, 검지채널, W-S-R 관계식, 강우측정망

\*Corresponding Author. Tel: +82-33-570-6819  
E-mail: hydrokbs@kangwon.ac.kr (B. S. Kim)

### 1. 서론

최근 들어 지구온난화 등의 환경적 요인과 지역별 온도차 등으로 인해 국지성 호우가 빈발하고 있다. 많은 양의 폭우가 좁은 지역에 집중적으로 비를 뿌리는 국지성 호우는 저지대 침수와 범람, 산사태, 축대 붕괴 등의 위험성 등을 증가시킨다. 특히 도시지역은 개발로 인한 지표면의 포장 등 자연공간이 감소하여 개발 전 지표면의 유역 내 저류 및 자연효과가 현저히 감소하고 있다. 이러한 국지성 호우에 의한 피해는 점점 다양해지고 대형화되고 있으며, 버스정류장 한 두 개 정도의 거리에서도 호우형태가 크게 달라지고 있다. 또한 집중호우로 인한 도심 도로의 순간 침수는 교통 문제를 야기한다. 2011년 7월 집중호우로 인한 강변북로와 광화문 침수는 도심지 침수 재해의 대표적인 사례라 할 수 있다.

이렇듯 도심권에서 집중호우로 인하여 도로침수 피해를 막기 위해서는 도시배수시스템의 설계기준을 강화하여 배수 구조물의 통수능을 확보해야 한다. 그러나 기존 배수시설의 용량을 단기간에 늘리는 것은 현실적으로 불가능하다. 하지만 침수된 도로정보를 신속히 차량 운전자에게 제공하면 도로 침수로 인한 피해를 최소화할 수 있을 것이다. 집중호우로 인한 도로통제, 교통관련 재해관리를 위해서는 고해상도의 실시간, 단기간 이동성 강우정보가 필요하다. Chandrasekar et al. (2012)은 도시홍수예방을 위해 높은 시공간의 해상도를 가지는 강우 데이터의 필요성을 강조하였다. 그러나 현재 기상청에서 운용 중인 고정식 지상관측망과 권역별 지역 예보는 도로경로별 기상서비스에 부적합하다. 따라서 집중적이고 이동적인 강우를 관측할 수 있는 방법이 필요하다.

기존 지상강우계를 이용한 강우측정 방법은 집중적이고 이동적인 강우를 측정하기 어렵다. 또한 Seo et al. (2013)이 제시한 초음파식 유량측정 기술을 이용하여 강수량을 측정하는 방법과, 라디오 주파수를 이용하여 강우분포와 전파 주파수 감쇠 확률을 이용하여 강수량을 측정하는 방법(Leijnse et al., 2007) 등 새로운 강우측정 기술이 나오고 있으나 고해상도의 이동성 강우정보를 생산하는데는 어려움이 있다. 또한 강우레이더를 이용한 이동성 강우정보를 생산하는 기술은 Kim et al. (2010)에 의해 많은 연구가 진행되어 왔으나 해상도가 1 × 1 km로 도시지역에서의 고해상도 정보를 제공하기에는 부족한 면이 있다.

도시지역에서 많은 정보를 가지고 이동하는 매체는 휴대폰이나 차량일 것이다. 이런 이동하는 매체에 강우정보를 적용할 수 있다면 위치정보를 이용하여 고해상도의 강우정보를 제공할 수 있을 것이라고 판단된다. 따라서 강우측정에 가장

적합한 방법이 차량이라고 판단하였으며 현재 사용중인 와이퍼 동작용 강우센서를 개선하여 강우계측을 할 수 있다면 전국 수십만대의 차량이 강우관측망이 됨으로 고해상도의 실시간 강우정보를 사용할 수 있게 된다. 차량의 강우정보가 기상청 강우관측소만큼의 정확도는 나올 수 없다. 다만 다수의 정확도가 떨어지는 우량계가 소수의 매우 정확한 우량계보다 더 신뢰성 있는 강우 정보를 제공할 수 있다(Haberlandt and Sester, 2010).

따라서 본 연구에서는 차량용 레인센서를 강우관측에 용이하도록 개선하였으며 실내 강우발생장치를 이용하여 와이퍼 속도단계(W)에 따른 발생된 강우(R)와 센서 감지량(S)을 이용한 W-S-R 관계식을 개발하여 차량에서 실시간으로 강우정보를 생산할 수 있는 기본 기술을 개발하였다.

### 2. 연구방법

본 연구를 위해 Fig. 1과 같은 강우발생 실험장치를 제작하였다. 강우발생 실험장치의 주 구성요소는 강우를 발생시키는 펌프와 노즐, 출력을 조절하는 인버터, 레인센서가 부착된 차량, 강우량 보정을 위한 유량계 등으로 구성되어 있다. 연속된 강우를 모의하기 위하여 부피 1 m<sup>3</sup>을 가지는 챔버를 이용하여 지속적으로 유량공급을 할 수 있도록 하였으며, 인버터를 이용하여 펌프출력을 조절함으로써 발생 강우량을 조절할 수 있도록 하였다. 또한 차량 전면창 내측에 레인센서를 부착하여 유선으로 연결된 노트북을 이용하여 센서의 강우감지신호를 다운받을 수 있다.

W-S-R 관계식을 만들기 위한 강우분석 방법은 Fig. 2와 같

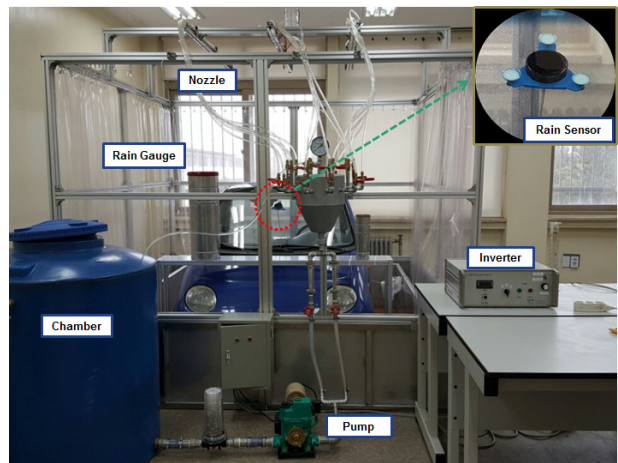


Fig. 1. Specifications of the rainfall generator

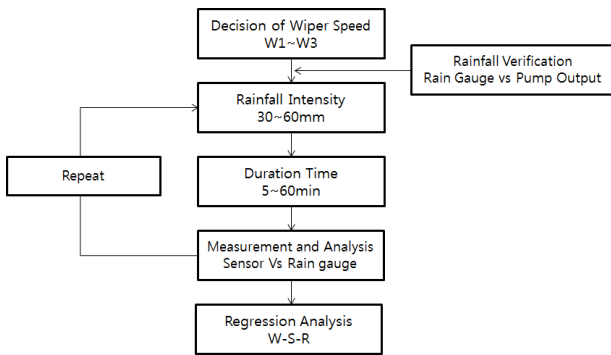


Fig. 2. Rainfall analysis flow chart

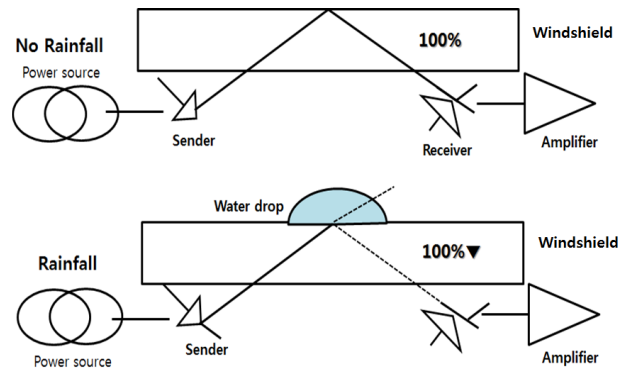


Fig. 3. Operating principle of rain sensor

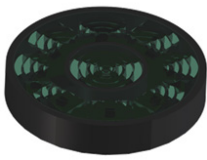

다. 레인센서의 시그널은 와이퍼가 물방울을 닦아내게 되면 초기화되기 때문에 와이퍼의 속도 단계에 따라 값이 달라지며 대부분의 차량은 3단계의 속도 단계를 가지고 있다. 본 연구는 집중적인 강우를 측정하는 목적이 크기 때문에 높은 강우강도에서 실험을 진행하였다. 따라서 실험을 하기 위해서 기본적인 와이퍼 속도단계인 3단계의 속도 단계를 이용하여 실험을 진행하였다. 와이퍼 속도 단계를 결정하면 다음은 발생강우 강도를 결정한다. 현재 강우발생장치에서 실험 가능한 강우 강도 범위는 30~60 mm/hr이며 30 mm부터 약 5 mm 단위로 증가시켰으며 강우발생시간은 1시간 단위로 발생시켰다. 발생된 강우량을 Fig. 1의 우량계와 차량용 강우센서를 이용하여 측정된 값을 비교 분석, 최종적인 W-S-R 관계식을 도출하게 된다.

### 3. 이론적 배경

#### 3.1 레인센서의 동작원리

Rabiei et al. (2013)은 차량와이퍼 속도단계와 강우량의 관계를 이용한 강우를 측정하는 연구를 진행하였다. Rabiei의 연구가 와이퍼속도(W)와 강우량(R)의 관계를 이용하였다면, 본 연구에서는 한 단계 더 나아가 와이퍼의 속도단계(W)에 따른 강우센서의 신호감지(S)를 이용하여 강우강도(R)로 환산하는 방법을 모색하였다. 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 차량전면 스크린에 전체가 반사되어 돌아오는 전반사가 이루어진다. 따라서 이 경우는 송광부에서 보낸 광신호가 전부 돌아오나 강우 발생시 차창에 떨어지는 우적에 의하여 센서에서 보낸 광신호가 산란

Table 1. Sensor comparison

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

되기 때문에 수광부로 입사되는 광량이 줄어들게 된다. 따라서 우적 크기 증감에 따른 수광부로 입사되는 광신호의 관계를 해석하면 수광부의 입사광량을 이용하여 강우강도로 환산이 가능하다. Fig. 3은 레인센서의 동작원리를 나타내고 있으며, 수광부의 입사광량을 측정하면 환산식(W-S-R관계식)을 이용하여 강우강도로 환산이 가능하다.

#### 3.2 강우측정용 레인센서

자동 와이퍼 기능을 위해 차량에 탑재된 기존 레인센서는 와이퍼 동작을 위한 우적 유무를 계속하는 기능만 가지고 있다. 하지만 본 연구에서 필요한 강우관측을 위한 레인센서는 기존 레인센서보다 좀 더 정확한 측정값이 필요하게 된다. 따라서 개선된 레인센서는 강우측정을 위하여 강우를 탐지할 수 있는 검지면적, 그리고 송·수광부를 가지고 있는 검지채널 등을 확장하여 측정값의 정도를 높여야 한다. 본 연구에 사용된 레인센서와 기존 차량에 사용되고 있는 레인센서의 비교는 Table 1과 같다.

### 4. 적용 및 결과

#### 4.1 강우량 보정

실제 강우 발생을 위하여 Fig. 1과 같이 실내강우발생 장비를 제작하였다. 2×2×2 m의 입방체 구조에 상단에 분사노즐을 설치하여 강우가 고르게 분포되도록 하였다. 노즐의 분사량은 펌프출력을 조절함으로써 전체적인 발생강우량을 조절

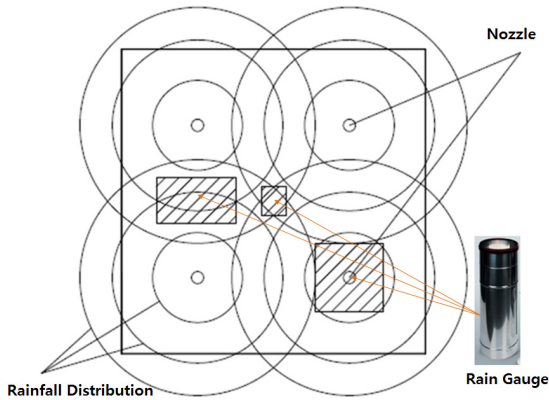
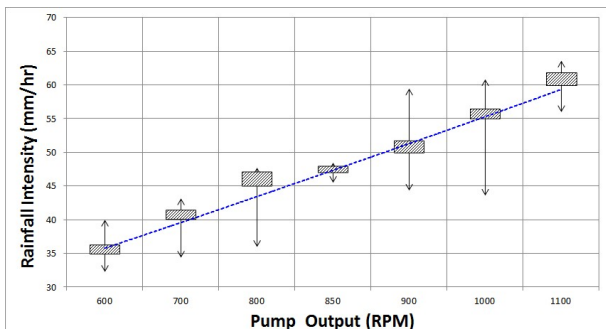


Fig. 4. Variety of rainfall distribution

Event	RPM	Rainfall Intensity (mm/hr)						
	600	700	800	850	900	1000	1100	
1	35.0	34.5	37.2	45.6	45.4	44.5	60.5	
2	33.0	38.3	36.1	46.8	46.0	43.7	58.1	
3	34.5	41.5	47.2	48	48.5	50.3	62.2	
4	34.1	39.0	46.1	47	44.4	51.2	63.7	
5	32.9	38.0	42.6	48.2	48.6	51.8	61.1	
6	32.4	41.0	46.9	47.1	59.5	53.5	61.1	
7	33.2	43.3	43.2	48.6	51.3	56.5	63.3	
8	36.6	42.1	46.5	47.7	52.5	56.5	60.1	
9	40.1	37.7	47.8	46.5	51.9	56.8	56.1	
10	38.8	40.6	47.2	45.9	48.	60.9	58.5	

(a) Measurement Result



(b) Rainfall vs Pump Output

Fig. 5. Calculation of rainfall intensity equation

하게 된다. 그러나 실제 강우량은 Fig. 4와 같이 노즐강우의 상호 중첩에 따라 변하게 되어 우량계의 위치에 따라 실제 강우량은 변하게 된다.

따라서 원하는 강우량을 만들기 위해서 실험을 통하여 인버터를 이용한 펌프출력과 실제 강우강도간의 관계식을 개발할 필요가 있다. 강우량 보정을 위하여 레인센서 위치 주변에 표준우량계를 설치하여 실제 발생된 강우량을 측정하고자 하였다. Fig. 5는 펌프출력에 대한 실제 우량계의 측정결과를 나타낸 결과이다. 이 결과를 회귀분석하여 강우강도-펌프출력 관계식을 산정하였다.

$$R = -0.02238P^2 + 3.7381P + 32 \quad (R^2 = 0.9784) \quad (1)$$

여기서, P는 펌프출력이고 R은 강우강도이다.

#### 4.2 W-S-R 관계식 개발

차량에 와이퍼는 강우량에 따라 여러 속도 단계로 나누어 움직이게 되어 있다. 따라서 각 단계별로 와이퍼의 이동주기 내의 강우센서가 감지하는 광신호를 강우량으로 환산하면 강우량 산정이 가능하다. 따라서 Fig. 6과 같이 와이퍼속도단계 (W), 강우센서 감지량(S), 강우강도(R)의 관계를 이용하여 W-S-R관계식을 개발하였다. 현재는 초기 실험 단계로 와이퍼속도 1단계에서 실험을 진행하였다.

Fig. 7은 실제 레인센서의 측정결과와 한 데이터(예시)이다. 강우량이 증가할수록 센서의 시그널은 증가하게 되고 와이퍼가 닦아내면 다시 초기화된다. 그러나 와이퍼가 닦아내어 초기화 되는 순간 와이퍼가 주변에 남아있는 물을 끌고와 순간적으로 레인센서의 신호량이 급감하게 된다(Fig. 7 Outlier 참조). 따라서 이 값을 이상치로 제거하고 구간별 데이터를 평균하게 되면 일정 강우강도에서의 평균 시그널을 찾을 수 있

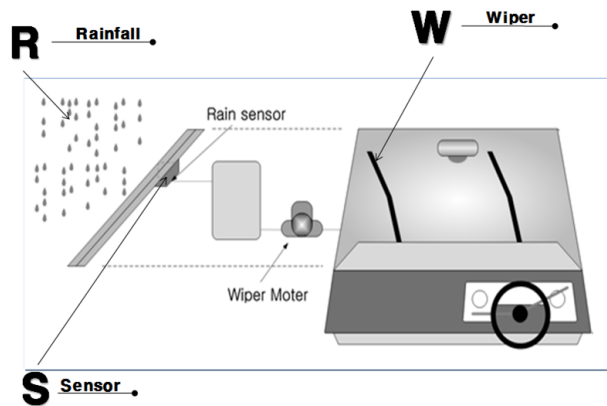


Fig. 6. Concept of W-S-R relationship

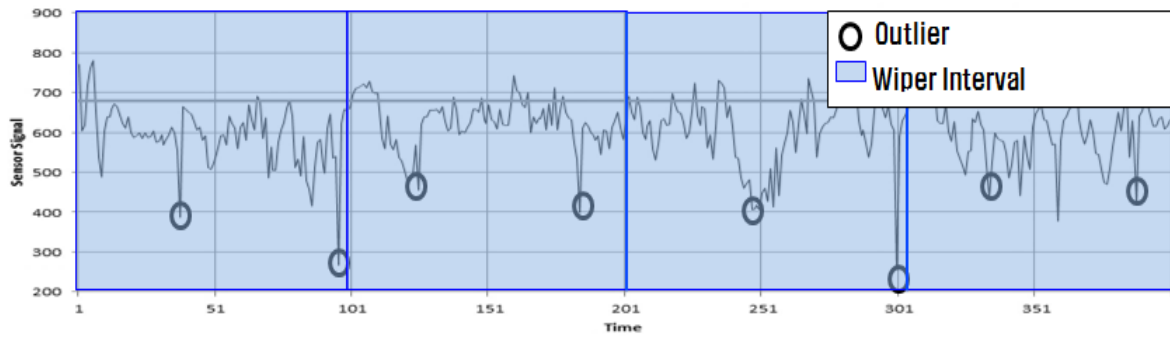


Fig. 7. The time series of rain sensor signal

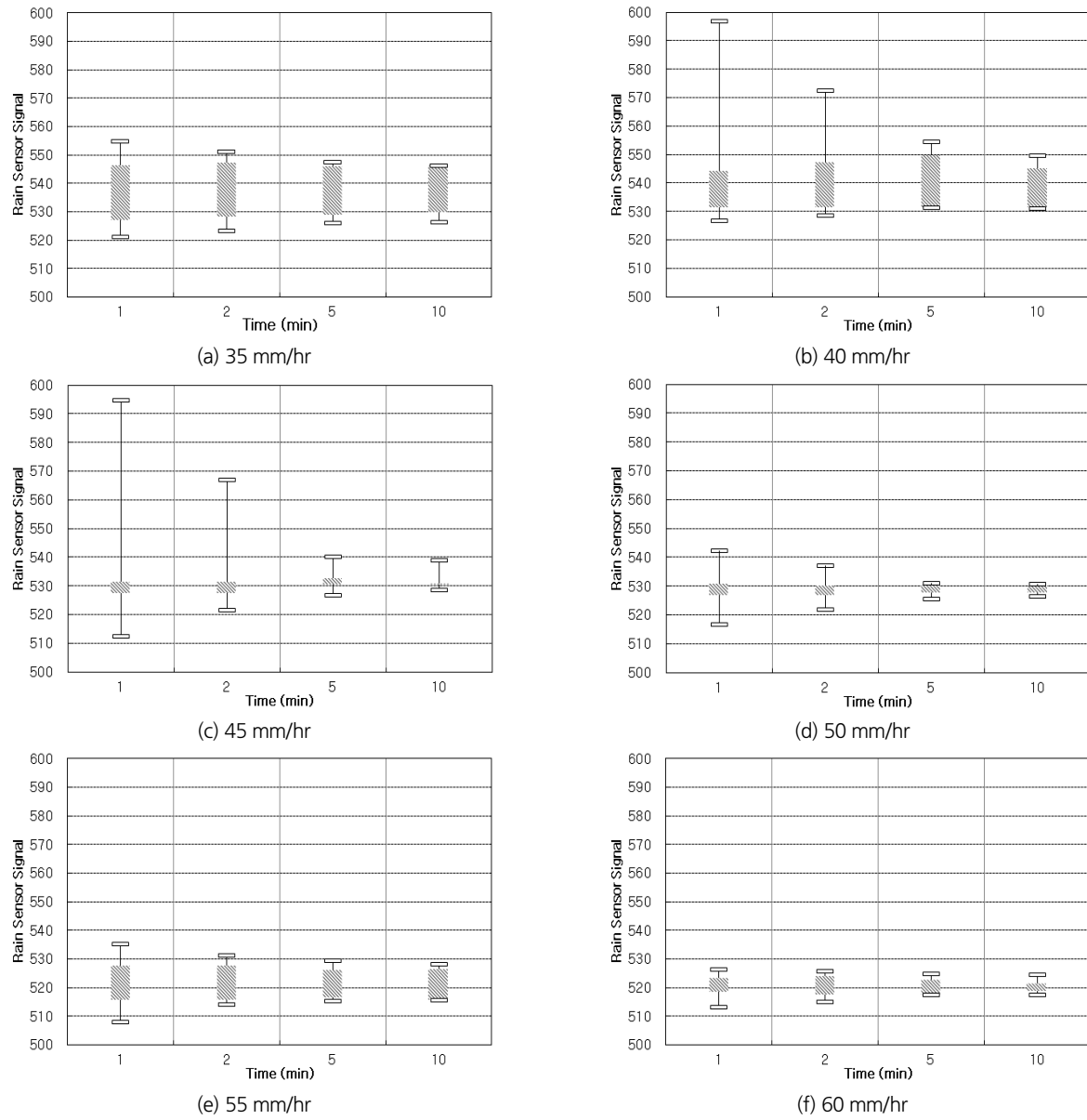


Fig. 8. Box plot (signal vs rainfall)

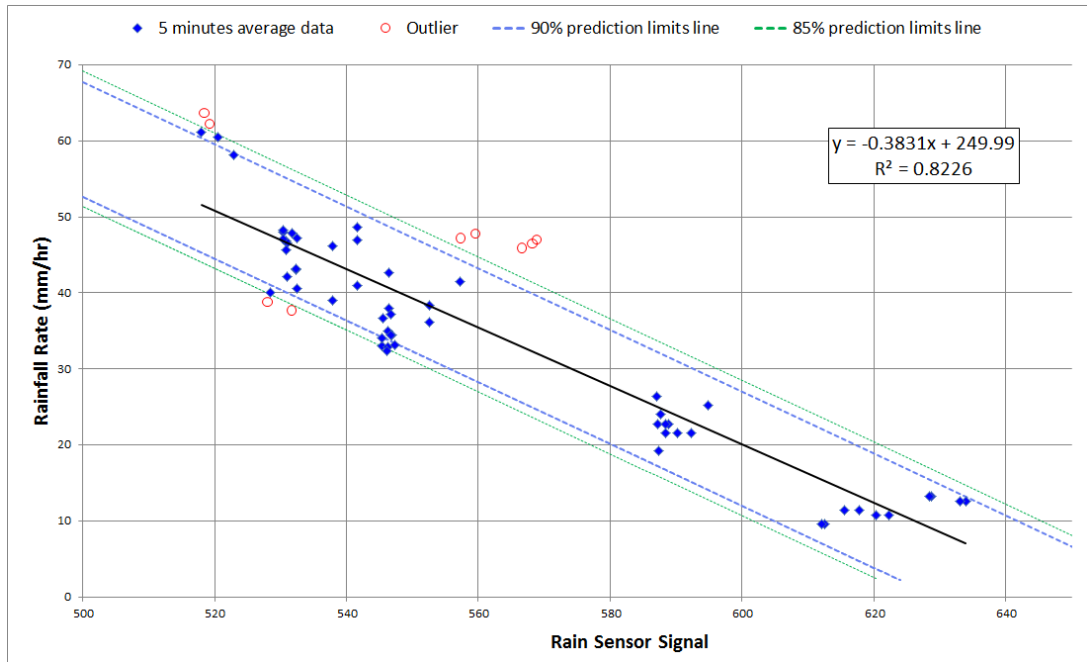


Fig. 9. Development of W-S-R relationship

다. Fig. 8은 실험 데이터를 1, 2, 5, 10분 간격으로 평균하였을 때 나타나는 값들을 Box Plot으로 나타낸 것이다. 강우센서의 데이터는 초당 250개의 신호를 수집하게 된다. 수집된 데이터는 대표적인 빅데이터로 작은 구간에서 보면 데이터의 연관성이 적게 나타나고 있지만, 시간 간격을 늘려 그 평균값을 분석하게 되면 그 값들은 일정 범위를 나타내는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8에서 시간 간격이 커질수록 평균 데이터의 분포가 조밀하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 더 긴 시간 간격을 가지고 데이터의 평균값을 사용하면 좀 더 정확한 강우량이 나올 것으로 판단된다. 실제 기상청 강우정보 시간 간격인 10분임을 감안하여 5분 단위 시간 간격을 기준으로 강우강도별 센서강우량 자료를 생성하였다.

레이더강우의 정확도가 약 80%임을 고려하여 W-S-R 관계식의 오차범위를 85%로 적용했을 때 Outlier는 9개로 80개의 데이터에서 약 90%의 정확도를 보이고 있다. 이 관계식을 기준으로 실제 강우 발생시 실외에서 수집된 레인센서 측정 데이터를 실제 강우량으로 환산하면 5분 단위의 강우정보를 생산할 수 있다. Fig. 9는 강우측정 자료를 도시한 결과이며 Eq. (2)는 회귀 분석한 결과를 나타낸 것이다.

$$R = -0.3831S + 249.99 \quad (2)$$

여기서, S는 센서감지량이고 R은 강우강도이다.

### 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 와이퍼 동작용 레인센서를 개선하여 강우측정이 가능한 레인센서를 개발하고 이를 이용하여 실제 강우량을 예측하고자 하였다. 레인센서의 시그널을 강우강도로 환산하기 위하여 실내실험을 통하여 일정 강우강도를 가지는 인공강우를 발생시켰으며 강우강도와 센서의 시그널의 관계를 분석하였다. 수집된 시그널 데이터를 1, 2, 5, 10분 간격으로 평균하여 시간의 증가에 따라 시그널이 일정 범위를 갖는 것을 확인하였으며 5분 데이터를 기준으로 와이퍼 속도 1단계에서 W-S-R관계식을 개발하였다. 향후 와이퍼속도 단계를 2~3단계로 증가시켜 W-S-R 관계식을 추가 개발할 계획이며, 개발된 관계식을 이용하여 실제 강우 발생시 실외에서 수집된 레인센서 측정 데이터를 실제 강우량으로 환산하여 5분 단위의 강우정보와 비교 분석을 통해 관계식을 검증·보정할 계획이다. 또한 단일 차종으로 실험을 했기 때문에 다양한 차량에서의 비교 분석 또한 필요할 것으로 판단된다. 그리고 데이터의 수집 및 분석방법을 개선하여 실제 차량이동을 통해 데이터를 수집하고 강우량으로 환산하는 기술이 적용된다면 시·공간적인 고해상도의 강우정보를 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 기상청 See-At 기상산업지원 및 활용기술개발 사업(KMIPA 2015-4030)의 지원으로 수행 되었습니다.

## 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.
- 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.
- Leijnse, H., Uijlenhoet, R., and Stricke, 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. "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.