

# 차량용 레인센서에서 생성된 센서시그널을 이용한 강우량 측정

김영곤\* · 이석호\*\* · 김병식\*\*\*

Kim, Young Gon\*, Lee, Suk Ho\*\*, Kim, Byung Sik\*\*\*

## Measurement of Rainfall using Sensor Signal Generated from Vehicle Rain Sensor

### ABSTRACT

In this study, we developed a relational formula for observing high - resolution rainfall using vehicle rain sensor. The vehicle rain sensor consists of eight channels. Each channel generates a sensor signal by detecting the amount of rainfall on the windshield of the vehicle when rainfall occurs. The higher the rainfall, the lower the sensor signal is. Using these characteristics of the sensor signal generated by the rain sensor, we developed a relational expression. In order to generate specific rainfall, an artificial rainfall generator was constructed and the change of the sensor signal according to the variation of the rainfall amount in the artificial rainfall generator was analyzed. Among them, the optimal sensor channel which reflects various rainfall amounts through the sensitivity analysis was selected. The sensor signal was generated in 5 minutes using the selected channel and the representative values of the generated 5 - minute sensor signals were set as the average, 25th, 50th, and 75th quartiles. The calculated rainfall values were applied to the actual rainfall data using the constructed relational equation and the calculated rainfall amount was compared with the rainfall values observed at the rainfall station. Although the reliability of the relational expression was somewhat lower than that of the data of the verification result data, it was judged that the experimental data of the residual range was insufficient. The rainfall value was calculated by applying the developed relation to the actual rainfall, and compared with the rainfall value generated by the ground rainfall observation instrument observed at the same time to verify the reliability. As a result, the rain sensor showed a fine rainfall of less than 0.5 mm And the average observation error was 0.36mm.

**Key words** : Rainfall rate, Rain sensor, Artificial rainfall generator, Sensor signal

### 초록

본 연구에서는 차량용 레인센서를 이용하여 고해상도의 강우관측을 위한 관계식을 개발하였다. 차량용 레인센서는 8개의 채널로 이루어져 있으며, 각 채널은 강우발생시 차량의 전면유리창에 내리는 우적량을 감지하여 센서시그널을 생성하는데, 강우량이 높을수록 센서시그널은 낮은 값으로 형성된다. 레인센서에서 생성되는 센서시그널의 이러한 특징을 이용하여 관계식을 개발하였다. 특정강우를 발생시키기 위하여 인공강우 발생장치를 제작하였으며, 인공강우발생장치에서 분사되는 강우량의 변화에 따른 센서시그널의 변화 값을 분석하였다. 이 중 민감도 분석을 통해 다양한 강우량을 잘 반영하는 최적의 센서 채널을 선정하였다. 선정된 채널을 이용하여 5분 단위 센서시그널을 생성하였고 생성된 5분 단위 센서시그널의 대표 값을 평균, 25분위, 50분위, 75분위로 설정하여 관계식을 구축하였다. 구축된 관계식을 이용하여 실강우 데이터에 적용하여 강우량 값을 환산하였고, 환산된 강우량은 지상강우관측소에서 관측된 강우량 값과의 비교를 통해 관계식의 신뢰도를 검증하였다. 검증결과 데이터의 이상치가 발견되어 관계식의 신뢰도는 다소 떨어졌지만, 해당 잔차 범위의 실험 데이터가 부족한 것으로 판단되었다. 개발된 관계식을

\* 정희원 · 국립강원대학교 방재전문대학원 도시·환경방재공학전공 (Kangwon National University · [kyg@kangwon.ac.kr](mailto:kyg@kangwon.ac.kr))

\*\* 정희원 · 국립강원대학교 방재전문대학원 도시·환경방재공학전공 (Kangwon National University · [esoco@kangwon.ac.kr](mailto:esoco@kangwon.ac.kr))

\*\*\* 정희원 · 교신저자 · 국립강원대학교 방재전문대학원 도시·환경방재공학전공

(Corresponding Author · Kangwon National University · [hydrokbs@kangwon.ac.kr](mailto:hydrokbs@kangwon.ac.kr))

Received November 23, 2017/ revised December 6, 2017/ accepted February 7, 2018

실감우에 적용시켜 강우량 값을 환산한 하였고, 신뢰도 검증을 위해 동시간에 관측된 지상강우 관측 장비에서 생성된 강우량 값과 비교를 하였고 관측 결과 레인센서는 0.5mm 이하의 미세한 강우량까지 측정하였고 평균 관측 오차는 0.36mm로 나타났다.

**검색어** : 우적량, 레인센서, 인공강우발생장치, 센서시그널

## 1. 서론

국지성 호우는 많은 비가 한 곳에 집중적으로 발생하는 것으로 저지대 침수 뿐만 아니라 도로침수로 인한 인명 피해 및 차량 피해를 일으키고 있다. 또한 한 곳에 집중적으로 내리는 강우는 신호등 몇 개 구간에서의 거리에서도 강우량의 크기가 달라지고 있다. 과거 장마기간에 국한되었던 강우 집중현상이 연 중 불규칙적으로 발생하고 있고, 그 발생빈도도 높아지는 등 국내 강우발생 특성이 변하고 있다(Lee et al., 2017). 국지성 호우로 인한 피해를 감소시키려면 무엇보다도 국지성 호우를 제대로 관측하는 것이 선행되어야 한다. 그러나 근거리의 강우량의 차이를 측정하기 위해서는 고해상도의 강우 관측망이 필요하나 기상청 강우관측소, AWS 등의 지상강우관측의 관측망으로는 근거리에서 편차가 큰 강우량을 측정하기에 한계가 있다(Kim et al., 2010). 따라서 고해상도의 강우 관측망을 형성할 수 있는 방법을 연구하였다. 차량에 부착된 레인센서를 이용하여 강우량을 관측하면 고정형 관측장치인 AWS와는 달리 관측위치를 변경하기도 쉽고, 가격도 저렴하여 고해상도의 실시간 강우정보를 구축할 수 있다(Kim et al., 2017). 본 연구에서는 차량에 부착된 레인센서를 이용하여 강우정보를 생산하고 강우정보 환산식인 W-S-R 관계식을 개발하였고, 실감우 데이터에 관계식을 적용시켜 환산된 강우량 값과 지상강우관측소에서 관측된 강우량 값과의 비교를 통해 관계식의 신뢰도를 검증하였다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 고해상도의 강우 관측망을 형성하기 위해 차량용 레인센서를 이용하여 강우 환산식을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 강우 환산식을 개발하기 위한 연구절차는 크게 5단계로 구성되어 있고, 단계별 내용은 Fig. 1과 같다. 1단계는 인공강우를 발생시키기 위한 강우발생장치를 제작한다. 2단계는 강우정보의 신뢰도 분석 단계이다. 연구자가 임의로 강우강도를 조절하여, 강우를 발생시킬 수 있는 강우발생장치를 구축한다. 구축된 강우발생장치를 이용하여 강우를 발생시키고 레인센서에서 생성되는 센서시그널 데이터의 민감도 분석을 실시한다. 강우 환산식을 개발하기 위해서는 센서시그널과 관측 강우량간의 상관관계가 높아야 한다. 따라서 민감도 분석을 통해 강우가 센서시그널에 미치는 영향을 분석하였다. 다음 3단계에서는 와이퍼의 속도단계를 설정한

다. 와이퍼의 속도단계가 높을수록 차량에 부착된 레인센서로 물방울을 빠르게 닦아내기 때문에 센서시그널 데이터의 이상치가 발생하기 쉽다(Haberlandt and Sester, 2010). 따라서 본 연구에서는 와이퍼 속도단계 중 가장 느린 1단계로 설정하였다. 강우발생장치를 통해 5분 강우를 발생시키고, 레인센서와 자기우량계로 관측하여, 센서시그널 데이터와 자기우량계 관측 강우량 데이터를 생산한다. 4단계는 W-S-R 관계식 개발단계로 W-S-R은 와이퍼의 속도단계(W)와 레인센서에서 생성되는 센서시그널(S) 그리고 강우량(R)을 의미한다. 와이퍼의 속도단계(W)는 1단계를 기준으로 한다. 센서시그널(S)은 무차원의 수이며, 센서시그널의 평균, 25분위, 50분위, 75분위 값을 관계식 개발에 이용한다. 강우량(R)은 자기우량계의 관측 강우량 값이며, 상수 값으로 나타나는 센서시그널에 단위(강우량)를 부여하는 역할이다. 예를 들어 강우발생장치에서 60분간 분사된 강우를 레인센서와 자기우량계로 측정 했을 때 60분 동안 생성된 센서시그널 평균 값이 500, 관측강우량은 30mm로 측정이 되었다면, 센서시그널 값 500은 5분 동안 2.5mm의 강우량을 의미한다. 마지막으로 5단계에서는 개발한 W-S-R 관계식을 대상으로 잔차분석과 실외 데이터를 관계식에 대입하여 환산 강우량을 구하고 지상우량관측소에서 관측된 강우량 값과 비교하여 관계식의 신뢰도를 검증하였다.

강우 환산식을 개발하기 위해 레인센서가 부착된 차량과 다양한

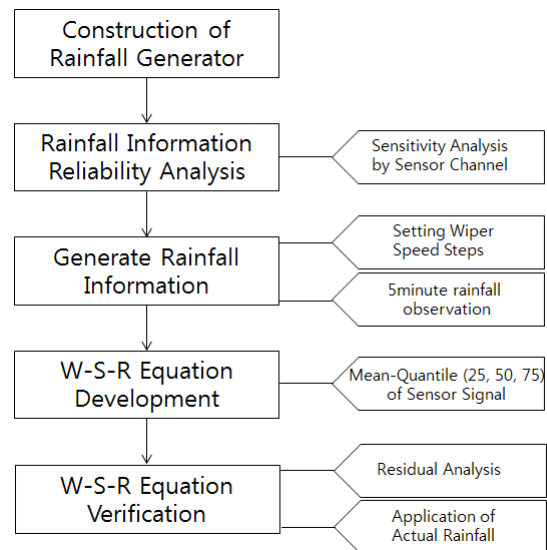


Fig. 1. W-S-R Equation Development Study Flow Chart

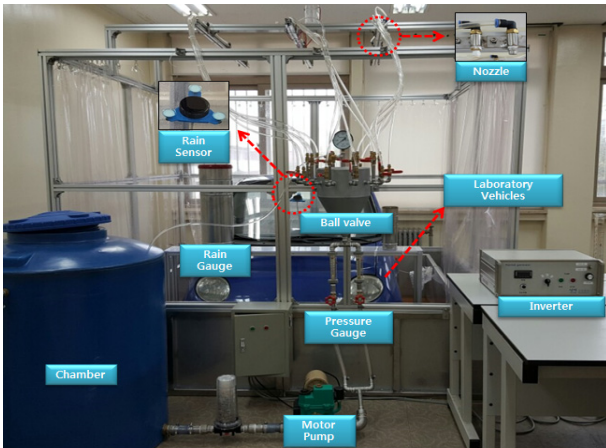


Fig. 2. Indoor Laboratory Foreground

Table 1. Specification of Rainfall Generator

| Product Name | purpose of Use        | Product Name        | purpose of Use                  |
|--------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|
| Nozzle       | Rainfall Injection    | Laboratory Vehicles | Rainfall observation            |
| Chamber      | Supply Water          | Rain Sensor         | Rainfall observation            |
| Ball Valve   | Supply and block flow | Pressure Gauge      | Internal Pressure Measurement   |
| Motor Pump   | Motor Pump            | Inverter            | Rain and Wiper Speed Adjustment |

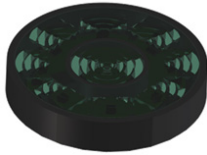

강우강도를 구현할 수 있는 강우발생장치를 Fig. 2와 같이 제작하였다. 물을 지속적으로 분사하기 위해 챔버를 설치하였고, 다양한 강우량을 구현하기 위해 인버터를 모터펌프에 유선으로 연결하여 모터펌프의 RPM을 조절할 수 있도록 설치하였다. 또한 인버터에 실내 실험용 차량 와이퍼 속도단계를 조절할 수 있는 기능을 추가하여, 와이퍼의 속도단계 변화에 따른 센서시그널의 변화 값을 분석할 수 있도록 하였다. 챔버에 물이 공급되고 인버터를 이용하여 모터펌프의 RPM 및 와이퍼의 속도단계를 설정하여 출력이 발생되면, 물은 호스를 타고 강우발생장치 상단에 있는 노즐을 통해 분사된다. 분사된 물의 양은 실내 실험용 차량에 설치된 레인센서와 자기우량계를 이용하여 관측한다. 강우발생장치의 자세한 제원은 Table 1과 같다.

### 3. 이론적 배경

#### 3.1 레인센서의 동작원리

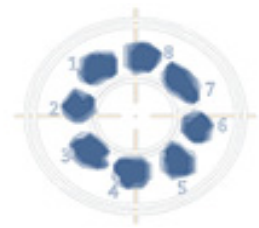
자동 와이퍼 기능을 위해 차량에 탑재된 기존 레인센서는 와이퍼 동작(Auto Wiping)을 위한 우적 유무를 계측하는 기능만 가지고

Table 2. Sensor Comparison (Kim et al., 2017)

| 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             |  |  |



(a) Rain Sensor



(b) Raindrop Detection Area

Fig. 3. Automotive Rain Sensor

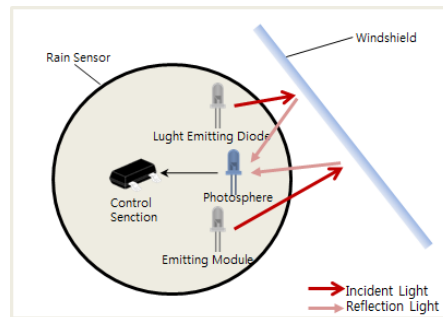


Fig. 4. Rain Sensor Oerformance Property

있다. 기존 레인센서의 오토와이핑 기능에서 더 나아가 빗방울의 크기를 이용하여 강우정보를 생산할 수 있도록 기존 레인센서를 개선하였다(Kim et al., 2017).

레인센서는 광을 이용하여 빗물의 강도를 측정하는 센서이다. 감지면적은 400mm<sup>2</sup>이며, 총 8개의 채널로 이루어져 있으며, 초당 250개의 센서시그널을 수집한다. 레인센서를 이용한 강우량 측정 방법은 광신호를 보내는 발광부와 차량의 전면유리창에 반사되는 광신호를 받는 수광부의 반사율을 이용한다. 수광부로 들어온 광량은 제어부로 전송되고, 제어부에서는 광량을 센서시그널로 변화하여 출력한다.

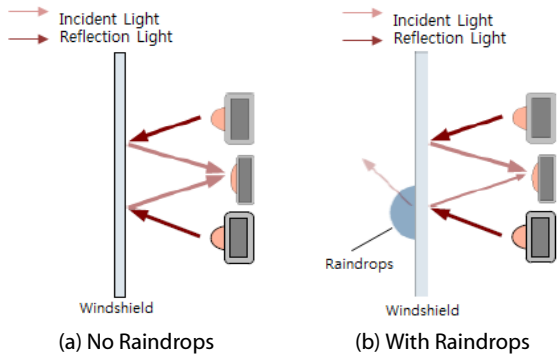


Fig. 5. Change of Reflected Light according to Existence of Raindrops

Table 3. Rain Sensor Specification

| Product name         | Function  |
|----------------------|---|
| Light emitting diode | Light emitted from the vehicle glass  |
| Emitting module      | Light emitted from the vehicle glass  |
| Photosphere          | Light emitted from the light emitting diode and the emission module to receive the light reflected from the vehicle glass |
| Control section      | Outputs the light received by the light receiving part as a sensor signal   |

강우가 없는 경우 우적이 없기 때문에 센서에서 보낸 광신호가 차량 전면유리창에 있는 광신호 전체가 들어오는 전반사가 이루어진다. 이와 반대로 강우가 발생하게 되면 송광부에서 보내는 광량은 일정하지만, 레인센서 위에 우적이 있기 때문에 광신호가 산란된다. 따라서 우적 크기의 증감에 따라 수광부로 입사되는 광신호의 관계를 해석하면 수광부의 입사광량을 이용하여 강우강도로 환산이 가능하다. Figs. 3~5와 Table 3은 레인센서의 동작원리와 우적 유·무에 따른 반사광의 변화에 대해 설명한다.

#### 4. 실험 데이터 수집

실내 실험은 다음과 같은 순서로 진행된다. 먼저 인버터를 이용하여 강우발생장치의 강우량을 조절한다. 그리고 와이퍼의 속도단계와 측정 시간을 결정한다. 본 실험에서 와이퍼의 속도단계는 기본속도인 1단계로 고정하였다. 강우가 발생하면, 레인센서에 측정되는 광신호 값을 노트북을 이용하여 수집하고 동시에 실제 강우량을 검증하기 위해 표준우량계를 이용하여 강우량을 측정하였다. 다양한 강우강도를 가진 강우정보를 생성하기 위해 인공강우발생장치의 강우강도를 변화시켜 실험을 진행하였다.

W-S-R 관계식을 만들기 위하여 실험 시나리오를 설정하였다.

Table 4. Specifications of Rain Gauge

| Measure          | Measuring range          | Unit of measure | Error range | Data usage                  |
|------------------|--------------------------|-----------------|-------------|-----------------------------|
| Rainfall         | 0 ~ 1,600mm              | 0.2mm           | ± 1         | Matching with sensor signal |
| Observation time | Year, Month, Day, Second | .               | .           | Check observation time      |

Table 5. 5-min Rainfall Measurement Using Rain Gauge

|                     | RPM |     |     |     |     |      |      |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                     | 600 | 700 | 800 | 850 | 900 | 1000 | 1100 |
| 5-min Rainfall (mm) | 0.6 | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.4 | 2.8  | 3.4  |
|                     | 0.6 | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.4 | 3    | 3.4  |
|                     | 0.8 | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.4 | 3    | 3.4  |
|                     | 0.8 | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.6 | 3    | 3.6  |
|                     | 0.8 | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.6 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 0.8 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 2.6 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 0.8 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 2.6 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 0.8 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 2.6 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.8 | 2.6 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.8 | 2.8 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 1.8 | 2.8 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 1.8 | 2.8 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.8 | 3.2  | 3.6  |
|                     | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 2.2 | 2.8 | 3.4  | 4.4  |
|                     | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 2.2 | 2.8 | 3.4  | 4.4  |
|                     | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 2.4 | 2.8 | 3.4  | 5.2  |

일정강우강도를 발생시키기 위해 펌프 출력이 안정적인 구간인 600~1,100RPM에서 100단위로 총 7개의 강우강도를 발생시켰으며, 레인센서 자료수집 단위는 5분 단위로 설정하여 동일 강우강도 내 10개의 실험군으로 총 119개의 사상을 수집하였다. 펌프출력에 대한 강우강도를 산정하기 위하여 각 펌프출력의 인공 강우발생장치기 우량계를 설치하여 강우를 측정하였다. 자기 우량계의 강우량 분해능은 0.2mm이며, 관측 시간이 표시되므로 강우발생장치에서 분사된 5분 강우량을 정확하게 구분할 수 있다.

측정결과 강우량은 최소 2.9mm에서 최대 5.2mm까지 관측되었다. 측정 강우량은 5분 강우량이며, 강우강도로 환산시 최대 63mm/hr 이상으로, 매우 많은 양의 강우이다. 본 연구의 목적은 국지성호우로 인해 발생하는 피해를 막기 위해 관계식을 개발하는 것이다. 국지성호우로 인해 피해가 발생될 당시의 평균 강우강도가

40mm/hr 이상임을 고려하여 높은 강우강도를 가진 사상을 생성하였다.

값을 모두 이용하여 관계식을 개발하는 것은 어렵다고 판단하였다. 따라서 일정 강우를 대상으로 센서시그널의 이상치가 가장 적게

## 5. W-S-R 관계식 개발

### 5.1 레인센서 채널 민감도 분석

레인센서는 총 8개의 채널에서 초당 250개의 데이터를 수집하고, 10분이면 약 120만개의 데이터가 생성된다. 생성된 데이터의 형태는 Fig. 6과 같다. 레인센서 데이터는 와이퍼 주기에 따라 주기적으로 센서시그널의 감소와 초기화를 지속적으로 반복하게 된다. 레인센서의 채널마다 센서시그널이 다르게 생성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 동일 강우에서도 채널마다 센서시그널의 형성 범위가 개별성을 보이고 있기 때문에 센서 채널 1~8 번의

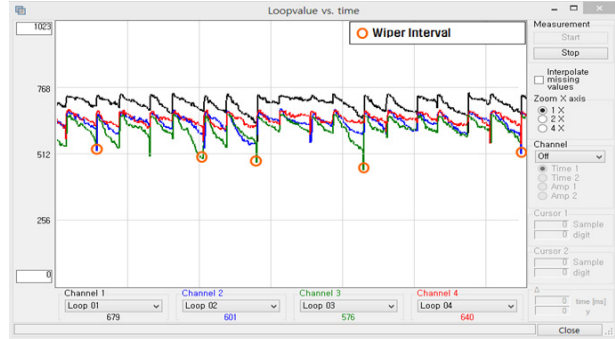
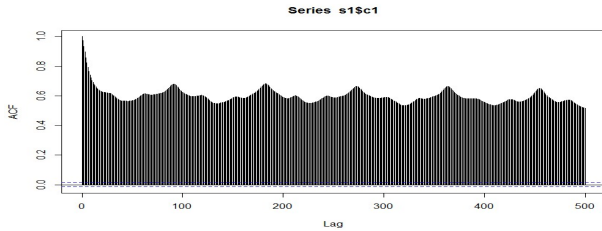
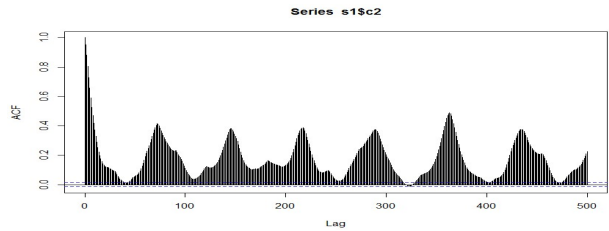


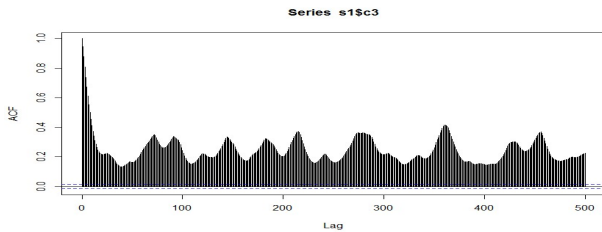
Fig. 6. Sensor Signal Outlier



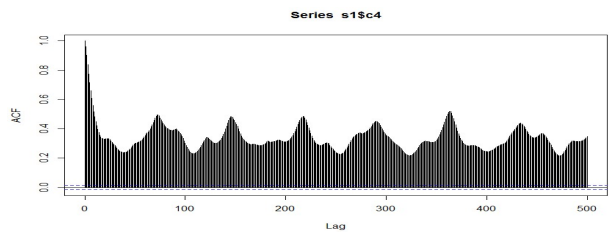
(a) Channel 1



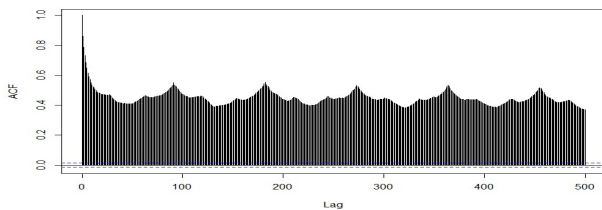
(b) Channel 2



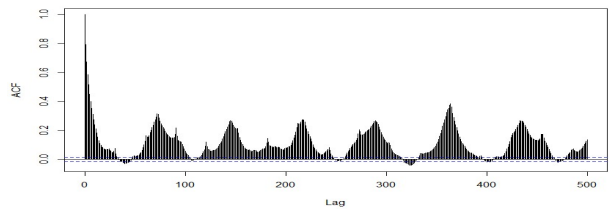
(c) Channel 3



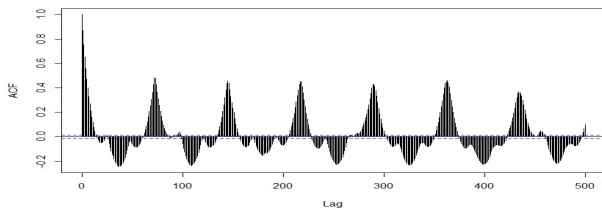
(d) Channel 4



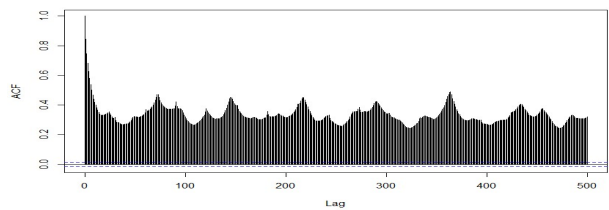
(e) Channel 5



(f) Channel 6



(g) Channel 7



(h) Channel 8

Fig. 7. Auto Correlation Function According to Channel

발생한 최적의 센서 채널을 선정하고, 선정된 채널의 센서시그널만을 이용하여 W-S-R 관계식 개발에 이용하였다.

최적의 센서 채널을 선정하기 위해, 채널별 자기상관함수(Auto Correlation Function, ACF)를 그렸다. 자기상관함수는 어떤 무작위의 신호가 두 시각에 취하는 값의 상관 관계를 나타내는 함수이며, 여기서 무작위의 신호는 센서시그널이고, 두 시각은 데이터 생성주기이다. 센서시그널의 생성주기는 8ms (0.008s)이다. 자기상관함수를 사용하는 이유는, T (맨 처음 데이터가 생성되는 시점)의 시점에서 센서시그널과 T-d (8ms)시점에서 생성된 센서시그널간의 상관관계가 있는지를 분석하는 것이다. 이 때 d는 시간 차분 또는 지연(lag)라 한다. Fig. 7의 좌측 범례에 ACF는 상관계수이며, -1에서 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까워질수록 상관성이 있고, -1에 근접할수록 역상관성이 있음을 나타낸다. 여기서 상관계수는 피어슨 적률 상관계수를 사용하며, 공분산을 각 변수의 표준편차의 곱으로 나눈 값이다. 피어슨 적률 상관계수를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\gamma_{xy} = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x)(y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

여기서, Eq. (1)의  $\mu_x$ 는 모집단 X의 평균,  $\mu_y$ 는 모집단 Y의 평균,  $\sigma_x$ 는 모집단 X의 표준편차,  $\sigma_y$ 는 모집단 Y의 표준편차,  $m$ 은 모집단의 개체수를 나타낸다. 자기상관함수에 사용한 데이터는

5분 강우량 3mm인 강우사상 사용하였으며, 데이터의 개수는 300개로 4s에 해당되는 시간이다. 분석 결과는 Fig. 7과 같다. 모든 채널에서 보이듯이 T시점에서는 d가 없기 때문에 상관계수가 1로 표현된다. 1, 2, 4, 5, 6, 8번 채널의 경우 양의 상관관계는 나타났지만 음의 상관관계가 나타나지 않았다. 레인센서의 특성상 차량에 부착되어 운용이 되고, 강우가 발생하면 차량은 와이퍼를 작동하여 빗물을 제거한다. Fig. 6을 보면 와이퍼가 지나갈 당시에 센서시그널이 급격하게 떨어지는 현상을 보인다. 그러나 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8번센서는 음의 상관관계가 나타나지 않았으므로 와이퍼로 인해 발생하는 이상치를 잘 반영한다고 볼 수 없기 때문에, 관계식 개발에 이용한 채널로 선정하지 않았다. 7번 채널의 경우 양의 상관관계와 음의 상관관계 모두 나타났다. 양의 상관관계는 이상치를 제거한 센서시그널과 상관성이 높다는 의미이고, 음의 상관관계는 와이퍼가 작동했을 때 발생하는 이상치를 잘 반영한다는 의미이다. 따라서 7번 채널을 사용하여 W-S-R 관계식을 개발하였다.

### 5.2 회귀분석

회귀분석은 변수와 변수 사이의 관계를 알아보기 위한 통계적 분석방법으로, 종속변수와 독립변수로 구성되어 있다. 회귀분석을 W-S-R 관계식에 적용하면 독립변수는 센서시그널, 종속변수는 강우량이 된다. 센서시그널의 변화에 따라 관계식의 신뢰도가 결정되기 때문에 센서시그널의 포맷이 매우 중요하다. 분석에 사용되는 센서시그널 및 강우량은 5분 데이터 기준이며 센서시그널의 포맷은

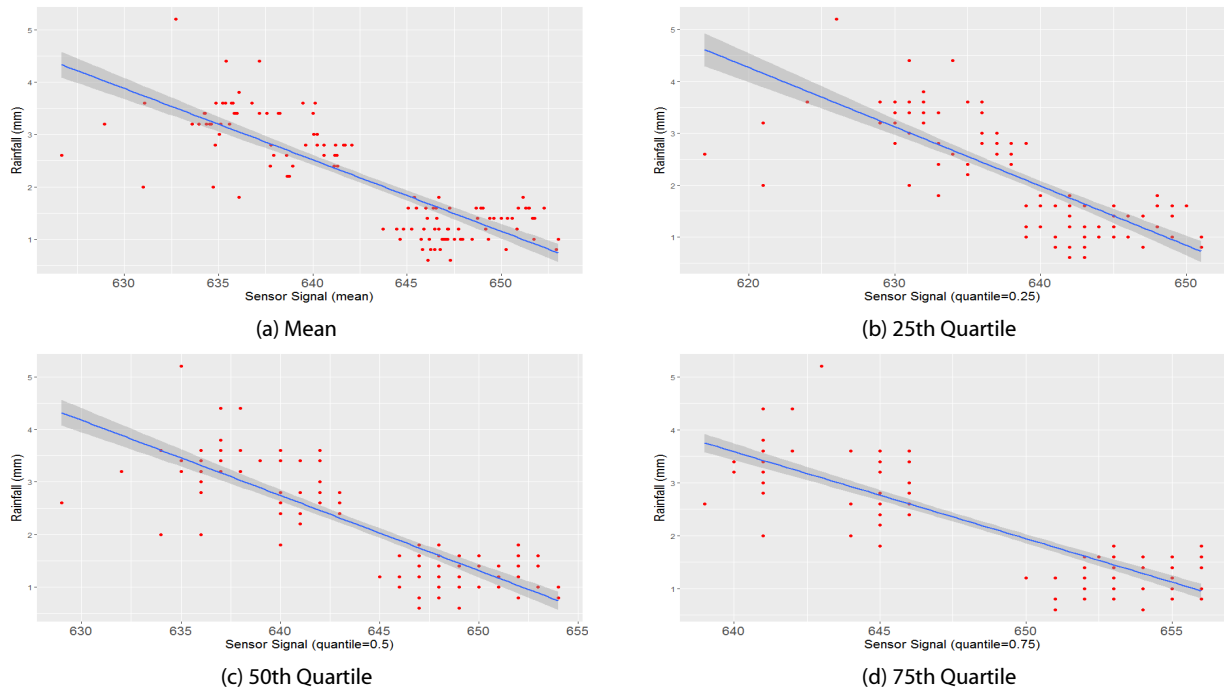


Fig. 8. W-S-R Equation by Format

Table 6. W-S-R Equation by Format and  $R^2$

| Sensor signal format | Equation                | $R^2$<br>(Correlation coefficient) |
|----------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Mean                 | $y = -0.1362x + 89.687$ | 0.675                              |
| 25th Quartile        | $y = -0.1145x + 75.231$ | 0.604                              |
| 50th Quartile        | $y = -0.1429x + 94.208$ | 0.672                              |
| 75th Quartile        | $y = -0.1643x + 108.75$ | 0.724                              |

Table 7. Residual Analysis Contents

| Analysis name         | Analysis contents  |
|-----------------------|--|
| Residuals vs Fitted   | Show predicted residuals with linear regression          |
| Q-Q Plot              | Whether the normal distribution of residuals is formed   |
| Scale-Location        | Show normalized residuals predicted by linear regression |
| Residuals vs Leverage | Indicates the degree to which residuals are affected     |

총 4가지 종류로 설정하였다. Lee et al.(2017)이 제시한 센서시그널의 5분 평균 데이터를 이용한 포맷을 포함하여, 5분 센서시그널의 25분위, 50분위, 75분위로 이루어져 있다. 분석결과는 Fig. 8와 같다. 그래프의 x축은 센서시그널, y축은 5분 강우량이다. 파란 선은 회귀직선이며 회색 경계는 회귀직선의 95% 신뢰구간을 나타낸다. Table 6을 보면  $R^2$ 가 가장 높게 형성된 관계식은 센서시그널의 75분위 값을 이용한 관계식이다. 75분위 관계식이 다른 분위 값을 이용하여 생산한 관계식에 비해 센서시그널의 최댓값, 최솟값 등 이상치를 보다 낮게 구현하는 것을 볼 수 있다.

### 5.3 잔차분석을 통한 W-S-R 관계식 검증

회귀분석에서 추정된 관계식의  $R^2$ 는 갈더라도 소수의 이상치는 관계식의 신뢰도에 크게 영향을 미치기 때문에  $R^2$ 가 높다고 해서 W-S-R 관계식이 완성되는 것은 아니다. 단순회귀분석에서는 이상치에 대한 분석은 이루어지지 않기 때문에 일종의 추정치인 잔차를 가지고 잔차분석을 통해 W-S-R 관계식을 검증하였다. Fig. 9는 단순회귀분석으로 도출된 4가지(평균, 25분위, 50분위, 75분위)

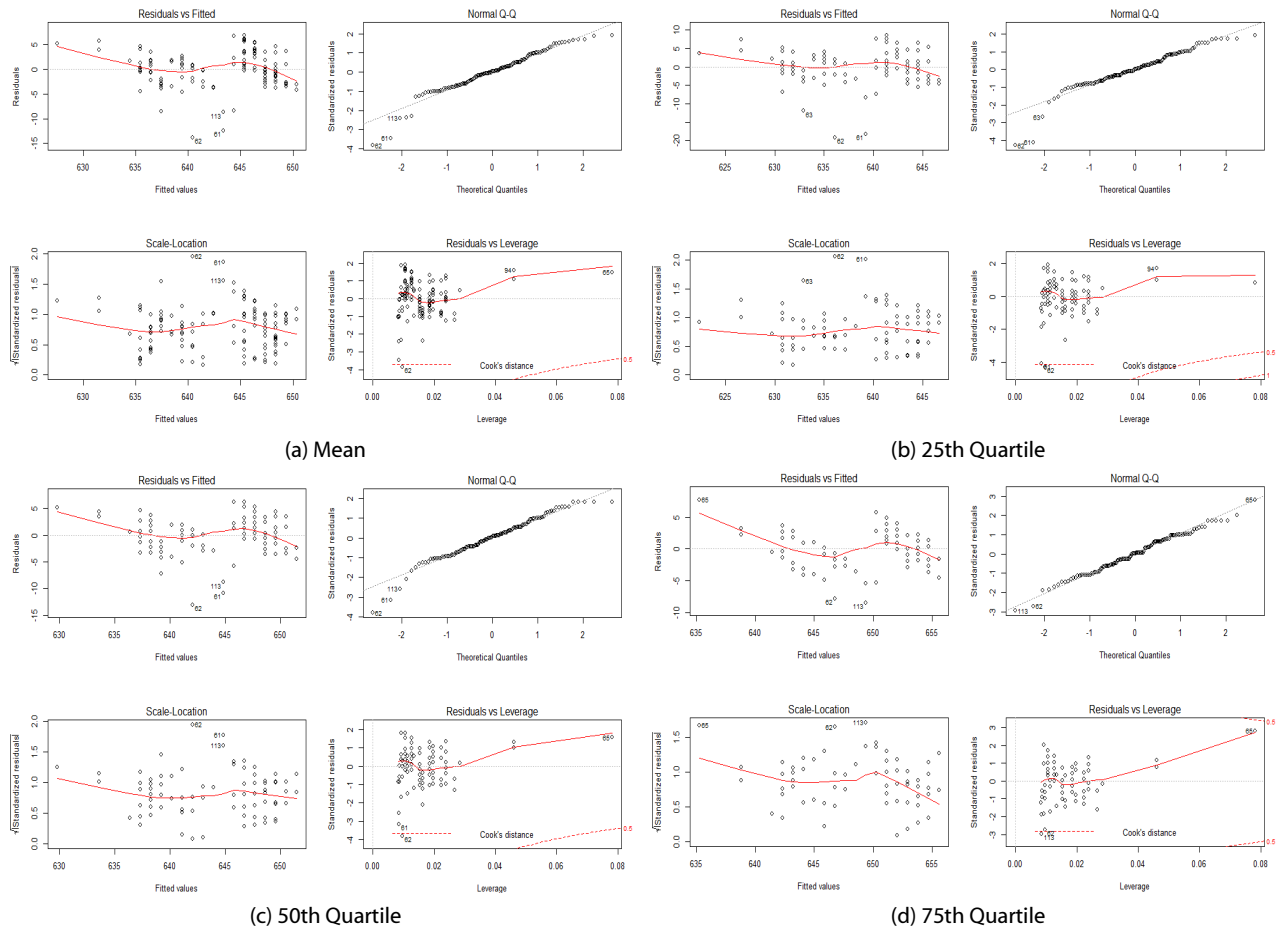


Fig. 9. Residual Analysis According to W-S-R Equation Type

관계식의 잔차분석을 한 결과이다. 잔차분석에 대한 내용은 Table 7과 같다.

$R^2$ 가 가장 높게 형성된 센서시그널 75분위 관계식을 기준으로 잔차분석을 결과를 검토하였다. Residuals vs Fitted는 예측된  $y$  값과 무관하게 잔차의 평균은 0이고 분산은 일정해야 한다. 따라서 이 그래프에서는 기울기가 0인 직선이 관측되는 것이 이상적이다. 그러나 75분위 관계식에서는 잔차가 많이 기울어져 있는 형태를 보이고 있다. 이는 센서시그널이외에 추가적인 독립변수가 필요하다는 가능성을 보여준다. 두 번째로 Q-Q plot을 보면 비교적 정규분포를 잘 따르고 있는 것을 확인 할 수 있다. 세 번째로 Scale-Location도 Residuals vs Fitted과 마찬가지로 기울기가 0인 직선이 이상적이다. 검토결과 표준화 잔차가 크게 나타나 회귀 직선이 해당  $y$  값을 포함하지 못하는 것으로 보아 이상치가 많이 발생한 것으로 보인다. 마지막으로 Residuals vs Leverage는 독립 변수의 영향성을 분석한 차트이다. 차트의 우측 상단 및 우측 하단에는 Cook's distance가 표시되어 있다. Cook's distance가 넓게 형성되어 있으면 해당 범위의 독립변수 값을 가진 데이터를 보충해야 한다는 의미이다. 검토결과 75분위 관계식은 Cook's distance가 넓게 형성되어 있으므로 해당범위의 추가적인 센서시그널 데이터를 보충해야 될 것으로 판단된다.

#### 5.4 실강우 데이터 적용을 통한 W-S-R 관계식의 신뢰도 검증

회귀분석에서 추정된 4가지의 관계식을 이용하여 실강우에서 생성된 레인센서 데이터를 환산하였다. 대상 실강우는 2016년 08월 29일 16시 10분부터 17시 10분 약 1시간 동안 발생한 강우이

며, 레인센서 관측위치는 강원대학교 삼척캠퍼스이다. W-S-R 관계식을 이용하여 환산된 강우량 값은 차량 옆에 위치시킨 자기우량계와 레인센서 관측위치로부터 400m 떨어진 지점에 기상청에서 운용중인 AWS에서 측정된 강우량과의 비교를 통하여 신뢰도를 검증하였고 분석결과는 Table 8과 같다. AWS와 자기우량계의 경우 전도우량계로서 좌우에 위치한 전도용기가 좌우로 움직일 때 발생하는 신호 값을 이용하여 강우량을 측정한다. 레인센서의 경우 AWS 및 자기우량계와 반대로 즉각적인 센서의 반응에 따라 센서시그널이 변화한다. 이에 따라 실강우를 측정함에 있어 레인센서와 지상강우측정 장치간의 오차가 다소 발생한 것으로 보인다. W-S-R 관계식 중에서는 75분위 관계식이 지상강우측정 장치와 가장 유사하게 강우량 값을 형성하였다.

#### 6. 분석 및 고찰

레인센서에 있는 8개의 채널 중 신뢰도가 높은 채널을 선별하기 위해 자기상관함수를 이용하였고, 선별된 채널을 W-S-R 관계식 개발에 이용하였다. W-S-R 관계식을 개발하는데 있어서 독립변수인 센서시그널을 5분 단위 평균, 25분위, 50분위, 75분위로 나눠 4가지의 독립변수를 생산하였다. 4가지의 독립변수를 이용하여 각각의 관계식을 개발하였으며, 개발된 관계식은 잔차분석을 통해 관계식의 신뢰도를 검증하였다. 검증결과 데이터의 이상치가 발견되어 관계식의 신뢰도는 다소 떨어졌지만, 해당 잔차 범위의 실험 데이터가 부족한 것으로 판단되었다. 개발된 관계식을 실강우에 적용시켜 강우량 값을 환산한 하였고, 신뢰도 검증을 위해 동시간에 관측된 지상강우 관측 장비에서 생성된 강우량 값과 비교를 하였다.

Table 8. Actual Rainfall Data Converted using W-S-R Equation (Measurement unit: mm)

| Observation section | Applied W-S-R equation |               |               |               | Observation equipment |            |
|---------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|------------|
|                     | Mean                   | 25th Quartile | 50th Quartile | 75th Quartile | AWS                   | Rain gauge |
| 16:10               | 2.57                   | 2.98          | 2.46          | 1.79          | 0                     | 0.2        |
| 16:15               | 1.52                   | 2.29          | 1.75          | 1.13          | 0                     | 0.2        |
| 16:20               | 2.45                   | 2.63          | 2.18          | 1.62          | 0.5                   | 0.2        |
| 16:25               | 4.02                   | 4.12          | 4.18          | 3.92          | 0                     | 0.2        |
| 16:30               | 5.09                   | 4.81          | 5.18          | 5.24          | 0.5                   | 0.4        |
| 16:35               | 5.59                   | 5.38          | 5.75          | 5.89          | 2.5                   | 0.8        |
| 16:40               | 6.50                   | 6.30          | 5.89          | 5.24          | 0.5                   | 0.8        |
| 16:45               | 3.50                   | 3.43          | 3.75          | 3.59          | 0                     | 0.4        |
| 16:50               | 1.81                   | 2.18          | 2.03          | 1.62          | 0.5                   | 0.4        |
| 16:55               | 1.66                   | 1.95          | 1.75          | 1.29          | 0.5                   | 0.4        |
| 17:00               | 1.86                   | 1.95          | 1.89          | 1.64          | 0.5                   | 0.4        |
| 17:05               | 1.80                   | 2.06          | 1.89          | 1.62          | 0                     | 0.8        |
| 17:10               | 1.87                   | 2.18          | 1.89          | 1.62          | 0                     | 0.8        |



비교 결과 순간적인 빗방울의 크기를 이용하여 강우량 값을 환산하는 레인센서에 비해 강우를 누적시켜 강우량 값을 관측하는 지상강우측정 장치와는 오차가 다소 발생하였다.

## 7. 결론

인공강우를 분사시켜 생성된 센서시그널 데이터를 이용하여 W-S-R 관계식을 개발하였고, 분석결과 센서시그널의 75분위 값을 이용하여 생성한 관계식이  $R^2$ 가 0.724로 가장 높게 형성되었다. 생성된 관계식의 신뢰도 검증을 위해 실강우에 적용시켜 강우량을 환산하였다. 그 결과 0.5mm 단위로 측정되는 AWS에 비해 레인센서는 0.5mm 이하의 강우량 측정이 가능했고 평균 관측 오차는 0.36mm로 나타났다. 추후에는 부족한 범위에 해당되는 실험데이터를 대량으로 생산하고, 레인센서의 특성에 대해 면밀히 분석하고 관계식을 다시 구축한다면 보다 신뢰도가 높은 관계식을 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술개발사업(KMIPA

2017-5010)의 지원으로 수행 되었습니다.

## References

- Haberlandt, U. and Sester, M. (2010). "Areal rainfall estimation using moving cars as rain gauges a modelling study." *Hydrol. Earth Syst*, 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." *Korean Wetlands Society*, Vol. 12, No. 3, pp. 63-73 (in Korean).
- Kim, B. S., Kim, Y. G. and Lee, S. H. (2017). "Development of rainfall information manufacturing technology by using signal of a vehicle rainfall sensor." *Advanced Science and Technology Letters*, Vol. 141, pp. 133-138.
- 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 Korean Water Resour Assoc*, Vol. 49, No. 1, pp. 29-35 (in Korean).