(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년11월06일
(11) 등록번호 10-1915665
(24) 등록일자 2018년10월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/14 (2006.01) *G01D 1/02* (2006.01)
G01S 13/95 (2006.01) *G01W 1/18* (2006.01)
G06F 17/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01W 1/14 (2013.01)
G01D 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0007766
(22) 출원일자 2018년01월22일
심사청구일자 2018년01월22일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020170097249 A
KR1020080052400 A
JP2004354080 A
JP09189760 A

(73) 특허권자
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
김민성
부산광역시 남구 용소로 45, 환경대기과학과 충무관4320호실(대연동.부경대학교)
권병혁
부산광역시 남구 용소로 45, 환경대기과학과 충무관4320호실(대연동.부경대학교)
(74) 대리인
특허법인 대아

전체 청구항 수 : 총 20 항 심사관 : 김홍래

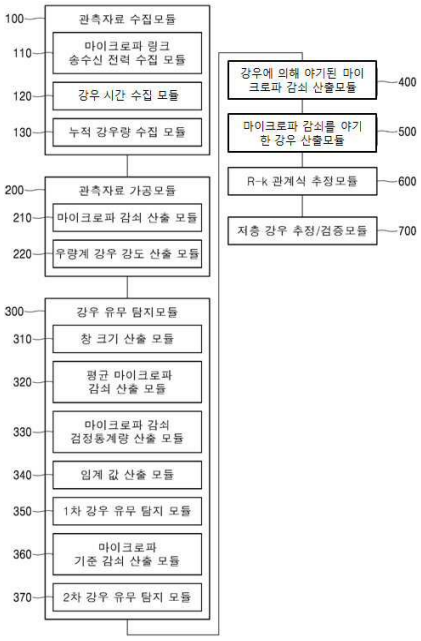
(54) 발명의 명칭 **강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템 및 그 방법**

(57) 요 약

본 발명은 강우에 따른 마이크로파 감쇠 특성을 이용한 강우 유무 탐지 및 저층 강우 산출 시스템 및 그 방법에 대한 것으로서, 특히 강우에 의해 마이크로파의 송신 전력이 감쇠하는 특성을 이용하여 강우 유무 탐지 및 저층 강우를 추정하는 마이크로파 링크를 이용한 강우 유무 탐지 및 저층 강우 산출 시스템 및 그 방법에 관한

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



것이다. 본 발명은 관측 자료 수집 모듈과 관측 자료 가공 모듈, 관측 자료 가공 모듈에서 산출된 마이크로파 감쇠 자료를 기반으로 창 크기, 평균 마이크로파 감쇠, 마이크로파 감쇠의 검정통계량, 임계 값, 마이크로파 기준 감쇠를 강우 유무 탐지 및 검증 모듈에 적용하여 강우 유무 탐지 및 검증한다. 또한, 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출된 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠(Rain-caused attenuation, k)와 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈(500)에서 산출된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)를 R-k관계식 추정 모듈에 적용하여 마이크로파 링크별 R-k관계식을 추정한다. 최종적으로 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠를 저층 강우 추정 및 검증 모듈에 적용하여 저층 강우를 추정하고 검증한다.

(52) CPC특허분류
G01S 13/951 (2013.01)
G01W 1/18 (2013.01)
G06F 17/10 (2013.01)
G01W 2201/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 17AWMPB07976404000000
부처명 국토교통부
연구관리전문기관 국토교통부
연구사업명 물관리연구사업
연구과제명 Microwave link를 활용한 수문정보 생성기술
기 여 율 1/1
주관기관 부경대학교산학협력단
연구기간 2017.04.01 ~ 2018.01.31
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력을 수집하고, 상기 마이크로파 링크 주변에 설치되어 있는 적어도 하나 이상의 기상청 AWS(Automatic Weather System)의 강우 감지기(rain detector)와 우량계에 1분 간격으로 기록된 누적 강우량 자료와 강우 시간 자료를 수집하는 관측 자료 수집 모듈과,

상기 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력간의 차이를 이용하여 마이크로파 감쇠를 연산하고, 상기 우량계에 기록된 누적 강우량을 이용하여 1분 강우 강도를 산출하는 관측자료 가공 모듈,

상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수를 기반으로 최소 지연 시간을 창 크기로 결정하는 창 크기 산출 모듈과, 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 상기 강우 강도를 산출한 시간 간격으로 평균 마이크로파 감쇠를 산출하는 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈, 산출되는 평균 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 감쇠의 차이로 마이크로파 감쇠의 검정통계량을 산출하는 검정통계량 산출 모듈, 마이크로파 감쇠의 검정통계량의 임계값 초과 여부로 1차 강우 유무를 탐지하는 1차 강우 유무 탐지 모듈을 가지는 강우 유무 탐지 모듈을 포함하는 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 강우 유무 탐지 모듈은,

상기 평균 마이크로파 감쇠와 1차 강우 유무 탐지 결과를 기반으로 마이크로파 기준 감쇠를 실시간으로 산출하는 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈, 및

상기 마이크로파 감쇠와 마이크로파 기준 감쇠간의 초과 여부를 통해 상기 1차 강우 유무 탐지 결과를 보정하여 2차 강우 유무를 결정하는 2차 강우 유무 탐지 모듈을 더 포함하는 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출되는 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈에서 산출된 마이크로파 기준 감쇠의 차이가, 마이크로파 감쇠 크기의 2.5%보다 클 때 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠로 결정하는, 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈,

상기 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나를 기준으로 산출된 유효 반경 내에 설치되어 있는 우량계에서 산출된 모든 우량계 강우 강도 자료를 역거리 가중 평균하여 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 산출하는, 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈,

상기 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출된 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠와, 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈에서 산출된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 이용하여 마이크로파 링크별 R-k 관계식을 추정하는 R-k 관계식 추정 모듈,

상기 R-k 관계식 추정 모듈에서 사용되지 않았던 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 자료를 추정된 R-k 관계식에 적용하여 저층 강우 강도를 추정하고 R-k 관계식 추정 모듈에서 사용되지 않았던 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도 자료로 검증하는 저층 강우 추정/검증 모듈을 포함하는 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 유효반경은,

$$2\gamma(h)=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N_h}[z(x_j)-z(x_j+h)]^2$$ 이며,

상기 h는 우량계 간에 떨어져 있는 거리(분리 거리), 상기 $\gamma(h)$는 분리 거리 h에 따른 semi-variogram이며 variogram $2\gamma(h)$의 절반에 해당한다. 상기 $z(x_j)$는 임의의 위치 x_j에서의 우량계 강우 강도이며 $z(x_j+h)$는 $z(x_j)$에서 분리 거리 h만큼 떨어진 위치의 우량계 강우 강도,

상기 N_h는 공간적으로 분포한 영역 내에서 각각의 분리 거리에 50%의 허용 한계를 둔 완화된 분리 거리 h만큼 떨어져 위치한 모든 자료쌍의 총 개수인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠를 야기한 강우는,

$$dist_weight_i=\begin{cases}\frac{1}{d_i^2} & d_i\le D\\ 0 & d_i>D\end{cases}$$ 이며,

상기 d_i는 특정 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나로부터 각각의 i번째 우량계 지점 사이의 거리,

상기 D는 유효 반경인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠를 야기한 강우는 특정 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나로부터 각각의 우량계간의 거리에 따라 연산된 가중치가 적용되며, 가중치가 연산된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도는,

$$r_w=\sum_{j=1}^{n}(r_j/dist_weight_j^2)/\sum_{j=1}^{n}(dist_weight_j^2)$$ 이며,

상기 r_j는 위치 x_j에서의 우량계 강우 강도인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수는,

$$R_{AA}(L)=\frac{\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_k-\overline{A}_k)(A_{k+j}-\overline{A}_{k+j})]}{\left[\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_k-\overline{A}_k)^2\right]^{\frac{1}{2}}\left[\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_{k+j}-\overline{A}_{k+j})^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

이며,

상기 $\overline{A}_k$는 $\frac{1}{N-j}\sum_{k=0}^{N-j-a}A_k$,

상기 $\overline{A}_{k+j}$는 $\frac{1}{N-j}\sum_{k=0}^{N-j-1}A_{k+j}$,

상기 N은 자료 총 개수이며,

상기 j는 지연 거리(0,1,2, ... $j<N/2$),

상기 $j\triangle t$는 지연 시간(L), 여기서 $\triangle t$는 자료의 시간 해상도,

상기 A_k는 시간 k에서의 마이크로파 감쇠 크기,

상기 A_{k+j}는 시간 $k+j$에서의 마이크로파 감쇠 크기인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 평균 마이크로파 감쇠는,

$\overline{A}_{W_t}=\frac{1}{N_W}^{2}\sum_{k\in W_t}A(k)$ 이며,

상기 A는 실시간 측정되는 마이크로파 감쇠 크기,

상기 N_W는 창 크기(W_t)내의 마이크로파 감쇠 자료 개수인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠의 검정통계량은,

$S_{W_t}=\left[\frac{1}{N_W}\sum_{k\in W_t}(A(k)-\overline{A}_{W_t})^2\right]^{\frac{1}{2}}$ 이며,

$S_{W_t}\geq\sigma_0$, 비$(rain)$이고,

$S_{W_t}<\sigma_0$, 건조(dry)이며,

상기 σ_0는 임계값인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 마이크로파 기준 감쇠는,

$t\in DRY, A_d(t)=\overline{A}_{W_t}$

$t \in Rain, A_d(t) = A_d(t-k)$, 여기서 $k = \min(t-kINDRY)$인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템.

청구항 11

마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력을 수집하고, 상기 마이크로파 링크 주변에 설치되어 있는 적어도 하나 이상의 기상청 AWS(Automatic Weather System)의 강우 감지기(rain detector)와 우량계에 일정 간격으로 기록된 누적 강우량 자료와 강우 시간 자료를 관측 자료 수집 모듈이 수집하는 단계와,

상기 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력간의 차이를 이용하여 관측자료 가공 모듈이 마이크로파 감쇠를 연산하고, 상기 우량계에 일정 간격으로 기록된 누적 강우량을 이용하여 관측자료 가공 모듈이 강우 강도를 간출하는 단계,

상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수를 기반으로 최소 지연 시간을 창 크기 산출 모듈이 창 크기로 결정하며, 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈이 평균 마이크로파 감쇠를 산출하고, 산출되는 평균 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 감쇠의 차이로 검정통계량 산출 모듈이 마이크로파 감쇠의 검정통계량을 산출하며, 마이크로파 감쇠의 검정통계량의 임계값 초과 여부로 1차 강우 유무 탐지 모듈이 1차 강우 유무를 탐지하는 단계를 포함하는 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수를 기반으로 최소 지연 시간을 창 크기 산출 모듈이 창 크기로 결정하며, 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈이 평균 마이크로파 감쇠를 산출하고, 산출되는 평균 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 감쇠의 차이로 검정통계량 산출 모듈이 마이크로파 감쇠의 검정통계량을 산출하며, 마이크로파 감쇠의 검정통계량의 임계값 초과 여부로 1차 강우 유무 탐지 모듈이 1차 강우 유무를 탐지하는 단계, 이후,

상기 평균 마이크로파 감쇠와 1차 강우 유무 탐지 결과를 기반으로 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈이 마이크로파 기준 감쇠를 실시간으로 산출하는 단계, 및

상기 마이크로파 감쇠와 마이크로파 기준 감쇠간의 초과 여부를 통해 2차 강우 유무 탐지 모듈이 상기 1차 강우 유무 탐지 결과를 보정하여 2차 강우 유무 탐지를 결정하는 단계를 더 포함하는 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠와 마이크로파 기준 감쇠간의 초과 여부를 통해 2차 강우 유무 탐지 모듈이 상기 1차 강우 유무 탐지 결과를 보정하여 2차 강우 유무 탐지를 결정하는 단계, 이후,

상기 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출되는 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈에서 산출된 마이크로파 기준 감쇠의 차이가, 마이크로파 감쇠 크기의 2.5%보다 클 때 마이크로파 감쇠 산출 모듈이 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠로 결정하는 단계,

상기 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나를 기준으로 산출된 유효 반경 내에 설치되어 있는 모든 우량계에서 산출된 우량계 강우 강도 자료를 강우 산출 모듈이 역거리 가중 평균하여 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 산출하는 단계,

상기 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출된 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠와, 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈에서 산출된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 이용하여 R-k 관계식 추정 모듈이 마이크로파 링크별 R-k 관계식을 추정하는 단계,

상기 R-k 관계식 추정 모듈에서 사용되지 않았던 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 자료를 추정된 R-k 관계식에 적용하여 저층 강우 추정/검증 모듈이 저층 강우를 추정하고 R-k 관계식 추정 모듈에서 사용되지 않았던 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도 자료로 검증하는 단계를 포함하는 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이

용한 강우 모니터링 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 유효반경은,

$$2\gamma(h)=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N_h}[z(x_j)-z(x_j+h)]^2$$ 이며,

상기 h는 우량계 간에 떨어져 있는 거리(분리 거리), 상기 $\gamma(h)$는 분리 거리 h에 따른 semi-variogram이며 variogram $2\gamma(h)$의 절반에 해당한다. 상기 $z(x_j)$는 임의의 위치 x_j에서의 우량계 강우 강도이며 $z(x_j+h)$는 $z(x_j)$에서 분리 거리 h만큼 떨어진 위치의 우량계 강우 강도,

상기 N_h는 공간적으로 분포한 영역 내에서 각각의 분리 거리에 50%의 허용 한계를 둔 완화된 분리 거리 h만큼 떨어져 위치한 모든 자료쌍의 총 개수인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠를 야기한 강우는,

$$dist_weight_i=\begin{cases}\frac{1}{d_i^2} & d_i\le D\\ 0 & d_i>D\end{cases}$$ 이며,

상기 d_i는 특정 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나와 각각의 i번째 우량계 지점 사이의 거리,

상기 D는 유효 반경인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠를 야기한 강우는 특정 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나로부터 각각의 우량계간의 거리에 따라 연산된 가중치가 우량계 강우 강도에 적용되며, 가중치가 연산된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도는,

$$r_w=\sum_{j=1}^{n}(r_j/dist_weight_j^2)/\sum_{j=1}^{n}(dist_weight_j^2)$$ 이며,

상기 r_j는 위치 x_j에서의 우량계 강우 강도인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수는,

$$R_{AA}(L)=\frac{\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_k-\overline{A}_k)(A_{k+j}-\overline{A}_{k+j})]}{\left[\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_k-\overline{A}_k)^2\right]^{\frac{1}{2}}\left[\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_{k+j}-\overline{A}_{k+j})^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

이며,

상기 $\overline{A}_k$는 $\frac{1}{N-j}\sum_{k=0}^{N-j-a}A_k$,

상기 $\overline{A}_{k+j}$는 $\frac{1}{N-j}\sum_{k=0}^{N-j-1}A_{k+j}$,

상기 N은 자료 총 개수이며,

상기 j는 지연 거리(0,1,2, ... $j<N/2$),

상기 $j\triangle t$는 지연 시간(L), 여기서 $\triangle t$는 자료의 시간 해상도,

상기 A_k는 시간 k에서의 마이크로파 감쇠 크기,

상기 A_{k+j}는 시간 $k+j$에서의 마이크로파 감쇠 크기인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 평균 마이크로파 감쇠는,

$\overline{A}_{W_t}=\frac{1}{N_W}^2\sum_{k\in W_t}A(k)$ 이며,

상기 A는 실시간 측정되는 마이크로파 감쇠 크기,

상기 N_W는 창 크기(W_t)내의 마이크로파 감쇠 자료 개수인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 마이크로파 감쇠의 검정통계량은,

$S_{W_t}=\left[\frac{1}{N_W}\sum_{k\in W_t}(A(k)-\overline{A}_{W_t})^2\right]^{\frac{1}{2}}$ 이며,

$S_{W_t}\geq\sigma_0$, 비$(rain)$이고,

$S_{W_t}<\sigma_0$, 건조(dry)이며,

상기 σ_0는 임계값인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 마이크로파 기준 감쇠는,

$t \in DRY, A_d(t) = \overline{A}_{W_t}$

$t \in Rain, A_d(t) = A_d(t-k)$, 여기서 $k = \min(t-k \in DRY)$인, 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템 및 그 방법에 대한 것으로서, 특히 강우에 의해 마이크로파의 송신 전력이 감쇠하는 특성을 이용하여 강우 유무 및 저층 강우를 추정하는 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 강우는 기온, 풍속과 같은 기상 요소와 달리 시공간적으로 변동성이 상대적으로 매우 크다. 기상 레이더의 전자파 빔은 거리에 따라 빔의 최고고도가 높아지고 빔의 부피는 지수적으로 증가하기 때문에 실제 저층 강우와의 오차를 내포하고 있다. 지형 특성에 따른 국지성 강우와 도심지역의 빈번한 돌발 홍수의 관측 실패는 강우 감시 시스템의 한계를 시사하고 있다.

[0003] 전도형 우량계는 0.1㎜, 0.5㎜ 두 종류가 주로 사용되고 있다. WMO는 관측 최소 단위를 가능하면 0.1㎜ 단위로 관측하도록 권고하고 있으나 집중호우가 발생하면 bucket 크기를 초과하게 되어 관측 불능 상태가 되는 경우가 빈번하다. bucket의 크기가 0.5㎜인 우량계는 약한 강우를 탐지하기 어렵고, 100㎜h^{-1}정도의 집중 호우일 경우, bucket을 모두 비우지 못하고 반복 작동하기 때문에 강우 산출 오차가 발생한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1291980호(2013.07.25. 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 기존의 강우 관측망의 한계를 보완할 수 있는 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 목적을 달성하기 위해 본 발명은, 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력을 수집하고, 상기 마이크로파 링크 주변에 설치되어 있는 적어도 하나 이상의 기상청 AWS(Automatic Weather System)의 강우 감지기(rain detector)에 일정 간격으로 기록된 강우 시간과 우량계에 일정 간격으로 기록된 누적 강우량과 강우 시간을 수집하는 관측 자료 수집 모듈과, 상기 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력간의 차이를 이용하여 마이크로파 감쇠를 연산하고, 상기 우량계에 상기 일정 간격으로 기록된 누적 강우량을 이용하여 강우 강도를 간출하는 관측자료 가공 모듈, 상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수를 기반으로 최소 지연 시간을 창 크기로 결정하는 창 크기 산출 모듈과, 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 상기 일정 간격으로 평균 마이크로파

감쇠를 산출하는 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈, 산출되는 평균 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 감쇠의 차이로 마이크로파 감쇠의 검정통계량을 산출하는 검정통계량 산출 모듈, 마이크로파 감쇠의 검정통계량의 임계값 초과 여부로 1차 강우 유무를 탐지하는 1차 강우 유무 탐지 모듈을 가지는 강우 유무 탐지 모듈을 포함하는 강우에 따른 마이크로파 감쇠 특성을 이용한 강우 유무 탐지 및 저층 강우 산출 시스템을 제공한다.

[0007] 상기 강우 유무 탐지 모듈은, 상기 평균 마이크로파 감쇠와 1차 강우 유무를 기반으로 마이크로파 기준 감쇠를 실시간으로 산출하는 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈, 및 상기 마이크로파 감쇠와 마이크로파 기준 감쇠간의 초과 여부를 통해 상기 1차 강우 유무를 보정하여 2차 강우 유무를 결정하는 2차 강우 유무 탐지 모듈을 더 포함할 수 있다.

[0008] 상기 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출되는 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈에서 산출된 마이크로파 기준 감쇠의 차이가, 마이크로파 감쇠 크기의 2.5%보다 클 때 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠로 결정하는 마이크로파 감쇠 산출 모듈, 상기 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나를 기준으로 산출된 유효 반경 내에 설치되어 있는 모든 우량계에서 산출된 우량계 강우 강도 자료를 역거리 가중 평균하여 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 산출하는 강우 산출 모듈, 상기 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출된 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠와, 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈에서 산출된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 이용하여 마이크로파 링크별 R-k 관계식을 추정하는 R-k 관계식 추정 모듈, 상기 R-k 관계식 추정 모듈에서 사용되지 않았던 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 자료를 추정된 R-k 관계식에 적용하여 저층 강우 강도를 추정하고 R-k 관계식 추정 모듈에서 사용되지 않았던 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도자료로 검증하는 저층 강우 강도 추정/검증 모듈을 포함할 수 있다.

[0009] 또한, 본 발명은 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력을 수집하고, 상기 마이크로파 링크 주변에 설치되어 있는 적어도 하나 이상의 기상청 AWS(Automatic Weather System)의 강우 감지기(rain detector)와 우량계에 일정 간격으로 기록된 누적 강우량 자료와 강우 시간 자료를 관측 자료 수집 모듈이 수집하는 단계와, 상기 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력간의 차이를 이용하여 관측자료 가공 모듈이 마이크로파 감쇠를 연산하고, 상기 우량계에 일정 간격으로 기록된 누적 강우량을 이용하여 관측자료 가공 모듈이 강우 강도를 간출하는 단계, 상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수를 기반으로 최소 지연 시간을 창 크기 산출 모듈이 창 크기로 결정하며, 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈이 1분 간격으로 평균 마이크로파 감쇠를 산출하고, 산출되는 평균 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 감쇠의 차이로 검정통계량 산출 모듈이 마이크로파 감쇠의 검정통계량을 산출하며, 마이크로파 감쇠의 검정통계량의 임계값 초과 여부로 1차 강우 유무 탐지 모듈이 1차 강우 유무를 탐지하는 단계를 포함하는 강우에 따른 마이크로파 감쇠 특성을 이용한 강우 유무 탐지 및 저층 강우 산출 방법을 제공한다.

[0010] 상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수를 기반으로 최소 지연 시간을 창 크기 산출 모듈이 창 크기로 결정하며, 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈이 1분 간격으로 평균 마이크로파 감쇠를 산출하고, 산출되는 평균 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 감쇠의 차이로 검정통계량 산출 모듈이 마이크로파 감쇠의 검정통계량을 산출하며, 마이크로파 감쇠의 검정통계량의 임계값 초과 여부로 1차 강우 유무 탐지 모듈이 1차 강우 유무를 탐지하는 단계, 이후, 상기 평균 마이크로파 감쇠와 1차 강우 유무를 기반으로 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈이 마이크로파 기준 감쇠를 실시간으로 산출하는 단계, 및 상기 마이크로파 감쇠와 마이크로파 기준 감쇠간의 초과 여부를 통해 2차 강우 유무 탐지 모듈이 상기 1차 강우 유무 탐지 결과를 보정하여 2차 강우 유무 탐지를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0011] 상기 마이크로파 감쇠와 마이크로파 기준 감쇠간의 초과 여부를 통해 2차 강우 유무 탐지 모듈이 상기 1차 강우 유무 탐지 결과를 보정하여 2차 강우 유무 탐지를 결정하는 단계, 이후, 상기 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출되는 마이크로파 감쇠와 상기 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈에서 산출된 마이크로파 기준 감쇠의 차이가, 마이크로파 감쇠 크기의 2.5%보다 클 때 마이크로파 감쇠 산출 모듈이 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠로 결정하는 단계, 상기 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나를 기준으로 산출된 유효반경 내에 설치되어 있는 모든 우량계에서 산출된 우량계 강우 강도 자료를 강우 산출 모듈이 역거리 가중 평균하여 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 산출하는 단계, 상기 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈에서 산출된 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠와, 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈에서 산출된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 이용하여 R-k 관계식 추정 모듈이 마이크로파 링크별 R-k 관계식을 추정하는 단계, 상기 R-k 관계식 추정 모듈에서 사용되지 않았던 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 자료를 추정된 R-k 관계식에 적용하여 저층 강우 강도 추정/검증 모듈이 저층 강우 강도를 추정하고 R-k 관계식 추정 모듈에서 사용되지 않았던 마이

크로파 감쇠를 야기한 강우 강도 자료로 검증하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 유효반경은, 일정한 분리 거리에 있는 자료들이 평균적으로 얼마나 다른지를 정량적으로 나타내는 베리오그램(Variogram)을 이용하여 유효 반경을 산출한다. $2\gamma(h)=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N_h}[z(x_j)-z(x_j+h)]^2$ 이며, 상기 h는 우량계 간에 떨어져 있는 거리(분리 거리), 상기 $\gamma(h)$는 분리 거리 h에 따른 semi-variogram, 상기 $z(x_j)$는 임의의 위치 x_j에서의 우량계 강우 강도이며 $z(x_j+h)$는 $z(x_j)$에서 분리 거리 h만큼 떨어진 위치의 우량계 강우 강도, 상기 N_h는 공간적으로 분포한 영역 내에서 분리 거리 h만큼 떨어져 위치한 모든 자료쌍의 총 개수이다.

[0013] 상기 마이크로파 감쇠를 야기한 강우는,

[0014] $$dist_weight_i=\begin{cases}\frac{1}{d_i^2} & d_i\le D\\ 0 & d_i>D\end{cases}$$ 이며,

[0015] 상기 d_i는 특정 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나와 각각의 i번째 우량계 지점 사이의 거리, 상기 D는 유효반경(10 km)이다.

[0016] 상기 마이크로파 감쇠를 야기한 강우는 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나로부터 각각의 우량계간의 거리에 따라 연산된 가중치가 우량계 강우 강도에 적용되며, 가중치가 연산된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도는,

[0017] $$r_w=\sum_{j=1}^{n}(r_j/dist_weight_j^2)/\sum_{j=1}^{n}(dist_weight_j^2)$$ 이며, 상기 r_j는 x_j에서의 우량계 강우 강도이다.

[0018] 상기 마이크로파 감쇠의 자기상관계수는,

[0019] $$R_{AA}(L)=\frac{\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_k-\overline{A}_k)(A_{k+j}-\overline{A}_{k+j})]}{\left[\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_k-\overline{A}_k)^2\right]^{\frac{1}{2}}\left[\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_{k+j}-\overline{A}_{k+j})^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$ 이며, 상기 $\overline{A}_k$는 $\frac{1}{N-j}\sum_{k=0}^{N-j-a}A_k$, 상기 $\overline{A}_{k+j}$는 $\frac{1}{N-j}\sum_{k=0}^{N-j-1}A_{k+j}$, 상기 N은 자료 총 개수이며, j는 지연 거리(0,1,2, ... $j<N/2$), $j\triangle t$는 지연 시간(L)을 나타낸다. 여기서 $\triangle t$는 자료의 시간 해상도, 상기 A_k는 시간 k에서의 마이크로파 감쇠 크기, 상기 A_{k+j}는 시간 $k+j$에서의 마이크로파 감쇠 크기이다.

[0020] 상기 평균 마이크로파 감쇠는, $\overline{A}_{W_t}=\frac{1}{N_W}^2\sum_{k\in W_t}A(k)$ 이며, 상기 A는 실시간 측정되는 마이크로파 감쇠 크기, 상기 N_W는 창 크기(W_t)내의 마이크로파 감쇠 자료 개수이다.

[0021] 상기 마이크로파 감쇠의 검정통계량은,

[0022] $$S_{W_t}=\left[\frac{1}{N_W}\sum_{k\in W_t}(A(k)-\overline{A}_{W_t})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$ 이며,

[0023] $S_{W_t} \geq \sigma_0$, 비$(rain)$이고, $S_{W_t} < \sigma_0$, 건조(dry)이며, 상기 σ_0는 임계값이고 기상 레이더, 우량계, 강우 감지기 등에 기록된 관측 자료 등으로 결정할 수 있으며 본 발명에서는 최적의 σ_0를 결정하기 위해서 창 크기(W_t)에 따라 산출된 강우 유무 결과와 강우 감지기에 기록된 강우 시간 자료와 비교하여 90% 이상 일치를 보이는 σ_0를 결정하였다.

[0024] 상기 마이크로파 기준 감쇠는, $t \in DRY, A_d(t) = \overline{A}_{W_t}$

[0025] $t \in Rain, A_d(t) = A_d(t-k)$, 여기서 $k = \min(t - kINDRY)$이다.

발명의 효과

[0026] 본 발명은 기존의 강우 관측망의 한계를 보완할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명에 따른 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템의 블록도.

도 2 내지 도 9는 2016년 6월 15일 5시부터 7시까지 강우가 있었고 13시부터 17시까지 두번째 강우가 발생한 사례이며 서울시에 설치되어 있는 8개의 마이크로파 감쇠 자료를 90분의 창 크기(W_t)에 적용하여 산출한 평균 마이크로파 감쇠($\overline{A}_{W_t}$) 시계열과 각각의 마이크로파 링크에 인접한 AWS의 강우 감지기에 1분 간격으로 기록된 강우 시간과 우량계에 기록된 강우 시간을 막대로 상단(회색)과 하단에 막대 바로 나타낸 그래프.

도 10은 MH 링크의 마이크로파 감쇠를 60분의 창 크기(W_t)에 적용하여 산출한 $\overline{A}_{W_t}$(검은색 실선)와 S_{W_t}(회색 실선)의 시계열.

도 11은 MH 링크의 마이크로파 감쇠를 90분의 창 크기(W_t)에 적용하여 산출한 $\overline{A}_{W_t}$(검은색 실선)와 S_{W_t}(회색 실선)의 시계열.

도 12 내지 도 15는 10회의 강우 사례의 마이크로파 링크 감쇠 자료를 90분의 창 크기(W_t)에 적용하여 마이크로파 링크별 강우 유무 탐지 성능을 나타낸 상자 그림(Box plot).

도 16 내지 도 23은 8개의 마이크로파 링크별 강우에 의해 야기된 감쇠(Rain-caused attenuation, k)와 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 산포도.

도 24 내지 도 27은 최대 강우 강도가 20 mmh^{-1} 이하로 약한 비가 내린 사례 4와 최대 강우 강도가 220 mmh^{-1} 이상으로 강한 비가 내린 사례 7에서 MH 링크의 마이크로파 감쇠 자료를 이용하여 추정한 저층 강우 강도와의 검증 결과.

도 28은 링크 별로 산출된 R-k 관계식의 검증을 위해 R-k관계식 산출에 사용되지 않은 사례 4, 7, 10의 마이크로파 감쇠 자료를 링크 별로 R-k 관계식에 적용하여 산출한 저층 강우 강도와 역거리 가중 평균 방법으로 산출한 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 상관 계수.

도 29는 링크 별로 산출된 R-k 관계식의 검증을 위해 R-k관계식 산출에 사용되지 않은 사례 4, 7, 10의 마이크로파 감쇠 자료를 링크 별로 R-k 관계식에 적용하여 산출한 저층 강우 강도와 역거리 가중 평균 방법으로 산출한 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 Mean bias.

도 30은 링크 별로 산출된 R-k 관계식의 검증을 위해 R-k관계식 산출에 사용되지 않은 사례 4, 7, 10의 마이크로파 감쇠 자료를 링크 별로 R-k 관계식에 적용하여 산출한 저층 강우 강도와 역거리 가중 평균 방법으로 산출한 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 RMSE.

도 31은 본 발명에 따른 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 도면상의 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다.

[0029] 도 1은 본 발명에 따른 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템의 블록도이다.

[0030] 본 발명에 따른 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템은 도 1에 도시된 바와 같이, 마이크로파 링크의 송수신 전력과 강우 정보를 수집하는 관측자료 수집모듈(100)과, 마이크로파 감쇠와 강우 강도를 산출하는 관측자료 가공모듈(200), 마이크로파 감쇠를 이용하여 강우 유무를 탐지하고 검증하는 강우 유무 탐지 모듈(300), 강우에 의한 마이크로파 감쇠를 산출하는 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈(400), 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 산출하는 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도 산출 모듈(500), 강우 강도를 이용하여 R-k 관계식을 추정하는 R-k 관계식 추정 모듈(600), 및 마이크로 감쇠를 이용한 저층 강우 강도를 추정하는 저층 강우 추정/검증 모듈(700)을 포함한다.

[0031] 관측자료 수집 모듈(100)은 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력을 수집하고 마이크로파 링크 주변에 설치되어 있는 기상청의 자동기상관측장비(Automatic Weather System, AWS)의 강우 감지기에 기록된 강우 시간과 우량계에 기록된 누적 강우량과 강우 시간 자료를 수집한다. 이를 위해서, 관측자료 수집 모듈(100)은 마이크로파 링크 송ㅇ수신 전력 수집 모듈(110)과, 강우 감지기에 기록된 강우 시간을 수집하는 강우 시간 수집 모듈(120), 및 우량계에 기록된 누적 강우량을 수집하는 누적 강우량 수집 모듈(130)을 포함한다.

[0032] 관측자료 가공모듈(200)은 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력 간의 차이를 이용하여 마이크로파 감쇠를 계산하고 우량계에 기록된 누적 강우량을 이용하여 강우 강도를 산출한다. 이러한 관측자료 가공모듈(200)은 마이크로파 링크 송수신 전력 수집 모듈(110)에 수집된 15초 해상도의 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력 간의 차이를 이용하여 마이크로파 감쇠를 산출하고 1분 평균하는 마이크로파 감쇠 산출 모듈(210)과, 우량계에 기록된 1분 누적 강우량을 15분 이동 평균하여 1분 간격으로 강우 강도(mmh^{-1})로 변환하는 우량계 강우 강도 산출 모듈(220)을 포함한다.

[0033] 강우 유무 탐지 모듈(300)은 관측자료 가공 모듈(200)에서 산출된 마이크로파 감쇠 자료를 기반으로 창 크기, 평균 마이크로파 감쇠, 마이크로파 감쇠의 검정 통계량, 임계값 산출, 마이크로파 기준 감쇠 등을 이용하여 마이크로파 감쇠를 이용한 강우 유무를 탐지하고 검증한다. 이를 위해서, 강우 유무 탐지 모듈(300)은 창 크기 산출 모듈(310)과, 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈(320), 마이크로파 감쇠 검정통계량 산출 모듈(330), 임계 값 산출 모듈(340), 1차 강우 유무 탐지 모듈(350), 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈(360), 및 2차 강우 유무 탐지 모듈(370)을 포함한다.

[0034] 창 크기 산출 모듈(310)은 관측자료 가공 모듈(200)에서 산출된 마이크로파 감쇠 자료를 기반으로 마이크로파 감쇠의 자기상관계수가 통계학적으로 유의미한 수치, 예를 들어, 0.6을 보이는 최소 지연 시간을 창 크기(moving time window, W_t)로 결정한다. 즉, 본 실시예는 강우 세포의 특성이 동일하다고 판단할 수 있는 마이크로파 감쇠의 자기상관계수가 통계학적으로 유의미한 수치, 예를 들어, 0.6을 보이는 최소 지연 시간인 90분을 창 크기 산출 모듈이 창 크기로 결정한다. 창 크기 산출 모듈(310)에서 산출되는 창 크기는 $W_t=[t-w,t]$이며, t는 특정 시각이고 $w>0$이어야 한다. 또한, 산출되는 창 크기는 예를 들어, 10분, 60분, 90분 등으로 설정될 수 있으며, 본 실시예는 창 크기 산출 모듈(310)에서 설정되는 창 크기가 90분인 것으로 예시한다. 여기서, 창 크기가 90분이라는 의미는, 현재로부터 90분전까지가 이후 연산될 평균 마이크로파 감쇠 등을 연산 범위를 의미하는 것이다. 즉, 창 크기는 연산 시간 범위를 의미하는 것으로서, 창 크기를 90분으로 설정한다면 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈(320)은 현재부터 90분전까지의 평균 마이크로파 감쇠를 연산한다. 또한, 현재로부터 1분 후에는 1분 후부터 90분전까지의 평균 마이크로파 감쇠를 연산한다. 결국, 창 크기를 90분으로 설정한다는 것은, 90분으로 고정된 창 크기가 실시간으로 이동하며 현재로부터 90분전까지의 범위 내의 값을 기준으로 연산을 수행한다. 여기서, 창 크기 산출 모듈(310)에서 창 크기는 마이크로파 감쇠 측정 데이터의 잡음을 제거하면서 물리량의 동적인 변화를 제대로 반영하기 위해 설정되며, 마이크로파 감쇠는 비정상성(nonstationary) 특성이 있다. 즉, 창 크기 설정은 몇 개의 마이크로파 감쇠 데이터(1분 시간 해상도)를 평균해야 잡음을 제거하면서 뚜렷한 물리량의 동적인 변화를 반영할 수 있을지를 결정하게 된다. 결국, 후술될 수학식

2의 평균 마이크로파 감쇠($\overline{A}_{W_t}$)와 수학식 3의 마이크로파 감쇠의 검정통계량(S_{W_t})을 연산할 때 창 크기 설정에 따라 값이 달라지게 된다. 최종적으로 창 크기는 후술될 수학식 1에 의해 연산되는 자기상관계수를 이용하여 결정된다.

[0035] 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈(320)은 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 1분 간격으로 평균 마이크로파 감쇠($\overline{A}_{W_t}$)를 산출한다. 여기서, 마이크로파 감쇠를 1분 간격으로 평균하는 것은 서버에 저장되는 마이크로파 감쇠 자료의 시간 해상도와 우량계 강우량 자료의 해상도가 상이하기 때문이다. 즉, 서버에 바로 저장되는 마이크로파 감쇠 원시 자료의 시간 해상도는 15초인데, 우량계 강우량 자료 해상도가 1분이기 때문에 강우 유무 탐지 결과를 검증할 때와 R-k 관계식을 추정할 때 상호 대응하여 비교하기 위해서 마이크로파 감쇠 자료(15초 시간해상도)를 1분 평균한다.

[0036] 마이크로파 감쇠 검정통계량 산출 모듈(330)은 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠 산출 모듈(210)에서 산출되는 마이크로파 감쇠와 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈(320)에서 산출되는 평균 마이크로파 감쇠와의 차이를 이용하여 마이크로파 감쇠의 검정통계량을 산출한다.

[0037] 검정 통계량(S_{W_t}, 수학식 3)은 창 크기 내의 마이크로파 감쇠 자료들의 표준편차이다. 일반적으로 통계학에서 사용되는 표준편차는 표준편차가 클수록 자료 중에서 평균에서 떨어진 자료가 많다는 걸 의미한다. 표준 편차 정의를 적용하면 창 크기 내의 마이크로파 감쇠의 평균은 청천일 때의 마이크로파 감쇠일 확률이 크고, 창 크기 내의 마이크로파 평균과 차이가 큰 마이크로파 감쇠는 강우가 내렸을 때의 마이크로파 감쇠일 확률이 크다. 따라서 검정 통계량(S_{W_t})을 이용하여 1차적으로 강우 유무 탐지를 판별할 수 있다.

[0038] 임계값 산출 모듈(340)은 마이크로파 감쇠를 이용한 강우 유무를 1차적으로 판단하기 위해 필요한 임계값(threshold vale)을 결정한다. 여기서, 결정되는 임계값은 0.09를 예시하며, 결정된 임계값은 1차 강우를 탐지하는데 이용된다.

[0039] 1차 강우 유무 탐지 모듈(350)은 마이크로파 감쇠의 검정통계량과 임계값 간의 초과 여부를 통해 1차적으로 강우 유무를 탐지한다.

[0040] 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈(360)은 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈(320)에서 산출된 평균 마이크로파 감쇠와 1차 강우 유무 탐지 모듈(350)에서 결정된 강우 유무 탐지 결과를 이용하여 마이크로파 기준 감쇠(Dry attenuation, A_d)를 실시간으로 산출한다.

[0041] 2차 강우 유무 탐지 모듈(370)은 마이크로파 감쇠와 마이크로파 기준 감쇠간의 초과 여부를 통해 1차적으로 결정된 강우 유무 탐지 결과를 보정하는 2차적으로 강우 유무를 결정한다. 여기서, 마이크로파 기준 감쇠는 창 크기 내의 마이크로파 감쇠의 평균이며, 창 크기 내의 마이크로파 기준 감쇠와 큰 차이를 보이는 마이크로파 감쇠는 강우가 내렸을 때의 마이크로파 감쇠로 결정하기 위해 사용된다. 최종적으로 2차 강우 유무 탐지 모듈(370)에서 마이크로파 감쇠를 이용한 강우 유무 탐지를 결정한다. 그리고 마이크로웨이브 링크의 송신 및 수신 안테나로부터 가장 가까이 설치되어 있는 AWS의 강우 감지기에 강우로 기록된 시간 자료를 통해 검증한다.

[0042] 여기서, 자기상관계수($R_{AA}(L)$)는 아래의 수학식 1과 같다.

수학식 1

[0043]
$$R_{AA}(L)=\frac{\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_k-\overline{A}_k)(A_{k+j}-\overline{A}_{k+j})]}{\left[\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_k-\overline{A}_k)^2\right]^{\frac{1}{2}}\left[\sum_{k=0}^{N-j-1}[(A_{k+j}-\overline{A}_{k+j})^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

[0044] 수학식 1에서, $\overline{A}_k$는 $\frac{1}{N-j}\sum_{k=0}^{N-j-a} A_k$이고, $\overline{A}_{k+j}$는 $\frac{1}{N-j}\sum_{k=0}^{N-j-1} A_{k+j}$이다. 상기 N은 자료 총 개수이며, j는 지연 거리(0,1,2, ... $j<N/2$), $j\triangle t$는 지연 시간(L)을 나타낸다. 여기서 $\triangle t$는 자료의 시간 해상도, 상기 A_k는 시간 k에서의 마이크로파 감쇠 크기, 상기 A_{k+j}는 시간 $k+j$에서의 마이크로파 감쇠 크기이다.

[0045] 또한, 마이크로파 감쇠의 자기상관계수가 통계학적으로 유의미한 수치, 예를 들어, 0.6을 보이는 최소 지연 시간을 창 크기(moving time window, W_t)로 결정하였다. 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 1분 간격으로 평균 마이크로파 감쇠($\overline{A}_{W_t}$)를 아래의 수학식 2와 같이 산출한다.

수학식 2

[0046] $$\overline{A}_{W_t}=\frac{1}{N_W}^{2}\sum_{k\in W_t} A(k)$$

[0047] 수학식 2에서, A는 실시간 측정되는 마이크로파 감쇠 크기이며, N_W는 창 크기(W_t)내의 마이크로파 감쇠 자료 개수이다.

[0048] 또한, 마이크로파 감쇠의 검정통계량(S_{W_t})은 아래의 수학식 3과 같다.

수학식 3

[0049] $$S_{W_t}=\left[\frac{1}{N_W}\sum_{k\in W_t}(A(k)-\overline{A}_{W_t})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

[0050] 마이크로파 감쇠는 비정상성(nonstationary)이기 때문에 S_{W_t}와 마이크로파 감쇠의 표준 편차는 상호 수렴하지 않는다. 창 크기(W_t) 내의 마이크로파 감쇠의 평균이다. 창 크기(W_t)가 결정되면 임계값(σ_0)이 결정되고, 아래의 수학식 4에 의해 1차적으로 강우 유무 탐지가 결정된다.

수학식 4

[0051] $S_{W_t}\geq\sigma_0$, 비(rain)

[0052] $S_{W_t}<\sigma_0$, 건조(dry)

[0053] 마이크로파 기준 감쇠(Dry attenuation, A_d)는 1차적으로 결정된 강우 유무 탐지 결과와 평균 마이크로파 감쇠 크기를 이용하여 아래의 수학식 5를 이용하여 실시간으로 산출한다.

수학식 5

[0054] $$t \in DRY, A_d(t) = \overline{A}_{W_i}$$

[0055] $$t \in Rain, A_d(t) = A_d(t-k), \text{여기서 } k = \min(t-k \in DRY)$$

[0056] 마이크로파 감쇠 크기(A)가 실시간으로 산출된 마이크로파 기준 감쇠(Dry attenuation, A_d)를 초과할 때 강우에 의해 야기된 감쇠(Rain-caused attenuation)로 결정한다. 마이크로파 감쇠 크기(A)와 마이크로파 기준 감쇠(Dry attenuation, A_d) 초과 여부에 따라 1차적으로 결정된 강우 유무 탐지 결과를 보정하는 2차적으로 강우 유무를 결정한다.

[0057] 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈(400)은 마이크로파 감쇠 산출 모듈(210)에서 산출되는 마이크로파 감쇠가 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈(360)에서 산출된 마이크로파 기준 감쇠와의 차이가 마이크로파 감쇠 크기의 2.5%보다 클 때 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠로 결정한다.

[0058] 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈(500)은 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나를 기준으로 산출된 유효 반경 내에 설치되어 있는 우량계 강우 강도 산출 모듈(220)에서 산출된 모든 우량계 강우 강도 자료를 이용하여 역거리 가중 평균하여 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 산출한다.

[0059] R-k 관계식 추정 모듈(600)은 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈(400)에서 산출된 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠와 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈(500)에서 산출된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)를 이용하여 마이크로파 링크별 R-k 관계식을 추정한다. R-k 관계식에서 R은 예측된 강우량이며, k는 마이크로파 기준 감쇠값을 의미한다. 또한, 현실적으로 우량계가 설치된 지역이 모두 상이, 즉, 동일한 축 상에 없기 때문에 이를 일치시킨다.

수학식 6

[0060] $$2\gamma(h) = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N_h}[z(x_j) - z(x_j+h)]^2$$

[0061] 여기서, h는 우량계 간에 떨어져 있는 거리(분리 거리), 상기 $\gamma(h)$는 분리 거리 h에 따른 semi-variogram이며 variogram $2\gamma(h)$의 절반에 해당한다. 상기 $z(x_j)$는 임의의 위치 x_j에서의 우량계 강우 강도이며 $z(x_j+h)$는 $z(x_j)$에서 분리 거리 h만큼 떨어진 위치의 우량계 강우 강도, 상기 N_h는 공간적으로 분포한 영역 내에서 분리 거리 h만큼 떨어져 위치한 모든 자료쌍의 총 개수이다. 분리 거리는 각각의 분리 거리에 50%의 허용 한계를 둔 완화된 분리 거리를 적용하였다. 분리 거리가 일정한 거리 이상이면 대부분의 자료들은 아무런 유사성을 나타내지 않는다. 즉, variogram은 분리 거리 h만큼 일정하게 떨어져 있는 자료들이 평균적으로 얼마나 다른지를 나타내는 비유사성(dissimilarity)의 척도로 정량적 지표를 나타낸다. 이와 같이 자료들이 상관관계를 보이는 최대 분리 거리를 상관 거리라 하고 상관 거리를 유효 반경으로 사용한다.

수학식 7

[0062] $$dist_weight_i = \begin{cases} \frac{1}{d_i^2} & d_i \le D \\ 0 & d_i > D \end{cases}$$

[0063] 수학식 7에서, d_i는 특정 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나와 각각의 i번째 우량계 지점 사이의 거리이다. 가중치는 일반적으로 거리의 제곱에 반비례한다. D는 유효 반경이며 수학식 6으로 산출되었다(10 km).

[0064] $$r_w = \sum_{j=1}^{n}(r_j/dist_weight_j^2) / \sum_{j=1}^{n}(dist_weight_j^2)$$

[0065] 여기서 r_w는 특정 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나로부터 각각의 우량계 간의 거리에 따라 계산된 가중치가 적용되어 결정된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도이다.

[0066] 저층 강우 추정/검증 모듈(700)은 R-k관계식 추정 모듈(600)에서 사용되지 않았던 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 자료를 추정된 R-k관계식에 적용하여 저층 강우 강도를 추정하고 R-k관계식 추정 모듈(600)에서 사용되지 않았던 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도 자료로 검증한다.

[0067] 표 1은 본 발명에 따른 관측 자료 입력 모듈에 입력될 8개의 마이크로파 링크의 특성과 각각의 마이크로파 링크의 중심 거리에서 가장 가까이 설치된 AWS 자료의 예시이다.

[0068] 본 발명은 0.01dB 해상도로 15초 간격으로 8개의 마이크로파 링크의 송신 전력과 수신 전력을 집록하고, 상대적으로 파장이 긴 10GHz 이하의 마이크로파를 활용하여, 기상 레이더와 우량계 관측에 제약이 많은 대도시 저층에서 강우 유무 탐지 및 저층 강우 강도를 1분 간격으로 실시간 산출하였고 검증하였다.

표 1

[0069]

Link name	Nearest AWS	Frequency (GHz)	Power (dBm)	LinkLength (km)	Signal resolution	Time resolution
HG	419	8.06	29	21.1	0.01 dBm	15 sec
GH	413	7.75	29	21.1		
WM	401	6.32	29	5.7		
MW	401	6.06	29	5.7		
MH	401	8.26	30	17.6		
HM	421	7.95	30	17.6		
MB	425	6.23	30	37.4		
MG	572	8.1	29	13.4		

[0070] 본 발명에서는 2016년 5월에서 7월까지 강우 단속 시간이 6시간 이내인 일련의 강우 사건을 하나의 사례로 구분하여 총 10 사례를 선정하였다. 표 2는 사례별, 지점별 우량계에 1분 간격으로 기록된 누적 강우량 및 강우 시간 그리고 강우 감지기에 기록된 강우 시간을 나타낸 것이다. 특히 사례 7에서는 같은 사례임에도 불구하고 우량계 간의 누적 강우량 차이가 최고 60mm 이었으며, 강우 시간 차이가 약 100분 이상이었다. 우량계와 강우 감지기에 기록된 강우 시간 차이는 최고 9배 이상이었는데 이것은 강우 유무 탐지에 있어서 우량계의 한계를 보이는 결과였다.

표 2

[0071]

CASE	Total rainfall (mm)					Duration of rain gauge (minute)					Duration of precipitation detect sensor (minute)				
	401	413	419	421	425	401	413	419	421	425	401	413	419	421	425
1	53.0	55.5	44.0	49.0	72.5	106	111	88	98	145	1383	966	1213	1280	1372
2	8.5	9.5	13.0	13.0	8.0	17	19	26	26	16	305	214	565	480	395
3	14.0	13.5	6.0	13.0	16.0	28	27	12	26	32	621	456	318	649	666
4	44.5	42.0	41.5	35.5	55.0	89	84	83	71	110	764	557	676	710	730
5	30.5	31.0	35.5	35.5	41.5	61	62	71	71	83	644	525	635	603	626
6	35.0	30.0	17.5	25.5	35.5	63	59	33	51	67	447	268	461	403	450
7	114.5	118.5	57.0	112	133.5	180	238	109	224	206	1006	554	1076	860	967
8	138.0	155.0	124.0	134.5	154.0	244	255	196	219	254	1764	820	1033	1404	1509

9	46.5	47.5	31.0	50.0	63.5	93	95	62	98	126	1092	472	843	1218	1371
10	23.0	38.0	33.0	35.0	32.5	39	44	50	49	56	332	137	254	301	386

[0072] 도 2 내지 도 9는 2016년 6월 15일 5시부터 7시까지 강우가 있었고 13시부터 17시까지 두번째 강우가 발생한 사례이며 서울시에 설치되어 있는 8개의 마이크로파 감쇠 자료를 90분의 창 크기(W_t)에 적용하여 산출한 평균 마이크로파 감쇠($\overline{A}_{W_t}$) 시계열과 각각의 마이크로파 링크에 인접한 AWS의 강우 감지기에 1분 간격으로 기록된 강우 시간과 우량계에 기록된 강우 시간을 막대로 상단(회색)과 하단에 막대 바로 나타낸 그래프이다.

[0073] 도 2 내지 도 9에서, 특히 하단의 막대 바는 우량계와 강우 감지기에 동시에 강우로 기록된 시간에는 검은 색으로 나타내었고, 강우 감지기에만 강우로 기록된 시간에는 회색 막대 바로 나타내었다.

[0074] 도 2 내지 도 9를 참조하면, MW 링크에서 가장 인접한 거리에 설치되어 있는 AWS(401)의 우량계에 강우가 6월 15일 5시 53분부터 6월 15일 7시 47분까지 관측되었고, 6월 15일 13시 2분부터 6월 15일 17시 20분까지 강우가 다시 관측되었다. 강우 시간은 총 63분이었으며 누적 강우량은 35mm 이었다. 하지만 AWS(401)에 설치된 강우 감지기에 기록된 강우는 6월 14일 20시 13분부터 6월 15일 21시 27분까지 총 447분 관측되었다. 우량계에 강우로 기록된 시간보다 앞서고 강우 시간도 훨씬 길기 때문에 약한 비가 오랜 시간 동안 내리고 있었다는 사실을 의미하며 전도형 우량계의 한계를 보인 결과였다.

[0075] 도 10은 MH 링크의 마이크로파 감쇠를 60분의 창 크기(W_t)에 적용하여 산출한 $\overline{A}_{W_t}$ (검은색 실선)와 S_{W_t} (회색 실선)의 시계열을 나타낸 그래프이다.

[0076] 도 10에서, 검은 막대 바는 MH 링크에서 가장 인근에 설치되어 있는 AWS의 우량계와 강우 감지기에 동시에 강우가 기록된 시간을 나타낸 것이며, 회색 막대 바는 강우 감지기에만 강우가 기록된 시간을 나타낸 것이다. 검은색 파선은 실시간으로 산출되는 마이크로파 기준 감쇠(Dry attenuation, A_d)크기의 시계열을 나타낸 것이며, 회색 파선은 임계값(σ_0)이며 0.09 이다.

[0077] 도 10을 참조하면, 5월 15일 0시 0분에 S_{W_t}가 0.01로 σ_0보다 작기 때문에 마이크로파 기준 감쇠는 A값인 65.7dB로 결정된다. 5월 15일 2시 3분에 S_{W_t}가 0.097로 σ_0를 초과하자 마이크로파 기준 감쇠는 수학식 4, 5에 따라 2시 2분의 A값인 65.7 dB로 소폭 증가한다. 그리고 2016년 5월 15일 3시 8분에 S_{W_t}가 0.084로 감소하자 마이크로파 기준 감쇠는 A값인 65.7 dB로 소폭 감소한다. 15일 23시 18분에 S_{W_t}가 0.087로 감소하자 마이크로파 기준 감쇠는 A값인 67 dB로 상대적으로 급격하게 증가하여 2016년 5월 15일 23시 19분부터 2016년 5월 16일 3시 19분까지 실제로 강우가 기록되었음에도 불구하고 A크기가 마이크로파 기준 감쇠 보다 낮기 때문에 강우로 탐지하지 못하였다. MH 링크에서 가장 인접한 AWS(401)의 강우 감지기에 기록된 강우 시간은 764분이었다. 마이크로파 기준 감쇠로 판별된 강우 시간은 521분이었다. 마이크로파 기준 감쇠를 이용한 강우 탐지의 정확도(RR)는 68.2%이었으며, 실제 강우가 왔을 때 청천으로 탐지한 경우(RD)는 31.8%이었다. 실제 청천일 때 청천으로 탐지한 경우(DD)는 100%이었으며, 실제 강우가 내리지 않았을 때 강우로 탐지한 경우(DR)는 0%이었다.

[0078] 도 11은 MH 링크의 마이크로파 감쇠를 90분의 창 크기(W_t)에 적용하여 산출한 $\overline{A}_{W_t}$(검은색 실선)와 S_{W_t}(회색 실선)의 시계열을 나타낸 그래프이다.

[0079] 도 11에서, 검은 막대 바는 MH 링크에서 가장 인근에 설치되어 있는 AWS의 우량계와 강우 감지기에 동시에 강우가 기록된 시간을 나타낸 것이며, 회색 막대 바는 강우 감지기에만 강우가 기록된 시간을 나타낸 것이다. 검은색 파선은 마이크로파 기준 감쇠(Dry attenuation, A_d) 크기의 시계열을 나타낸 것이며, 회색 파선은 임계 값(σ_0)으로 0.09 이다.

[0080] 도 11을 참조하면, 15일 23시 18분에 S_{W_t}는 0.15로 마이크로파 기준 감쇠는 수학식 4, 5에 따라 S_{W_t} 크기를 초과하기 바로 직전의 시점인 5월 15일 23시 17분에서의 A 값인 65.7dB로 결정되었다. 따라서 강우 시간은 869분이 되어 RR은 97.9%로 증가하였고, RD는 2.1%으로 감소하였다.

[0081] 도 12 내지 도 15는 10회의 강우 사례의 마이크로파 링크 감쇠 자료를 90분의 창 크기(W_t)에 적용하여 마이크로파 링크별 강우 유무 탐지 성능을 상자 그림(Box plot)으로 나타낸 것이다. 또한, 도 12는 실제 강우가 왔을 때 강우로 탐지한 비율(RR)을 나타낸 것이며, 도 13은 실제 강우가 내리지 않았을 때 청천으로 탐지한 비율(DD)을 나타낸 것이다. 도 14는 실제 강우가 내리지 않았을 때 강우로 탐지한 비율(DR)을 나타낸 것이며, 도 15는 실제 강우가 내렸을 때 청천으로 탐지한 비율(RD)을 나타낸 것이다.

[0082] 도 12 내지 도 15를 참조하면, RR의 중앙값은 GH 링크의 65%를 제외하고, 모두 80% 이상의 정확도를 보였으며, DD의 중앙값은 8개 링크 모두 80%에서 95% 사이의 정확도를 보였다. RD의 중앙값은 GH 링크의 35%를 제외하고 5%에서 18%이었으며, DR의 중앙값은 3%에서 14%이었다. 8개의 모든 마이크로파 링크에서 10개 강우 사례에 대한 강우 유무 탐지율의 성능은 우수하였고 마이크로파 감쇠 자료만으로도 실시간으로 저층에서의 강우 유무 탐지를 결정할 수 있음을 보여 기상청에서 사용하고 있는 강우 감지기를 보완 및 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

[0083] 도 16 내지 도 23은 8개의 마이크로파 링크별 강우에 의해 야기된 감쇠(Rain-caused attenuation, k)와 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 산포도를 각각 나타낸 것이다.

[0084] 이를 최소제곱법에 적용하여 표 3에 나타난 바와 같이, 각각의 마이크로파 링크별 R-k 관계식을 산출하였다. 본 발명에서 산출한 R-k관계식은 선형 관계식이며 마이크로파 감쇠 1 dB의 변화는 약 2.5 ~ 4.5 mmh^{-1}의 강우에 상응하였다.

표 3

[0085]

Link	Number of data	R-k relationship
MW	536	R=3.8303k+0.035
MB	642	R=3.3400k-1.983
WM	577	R=4.7773k-0.068
GH	665	R=2.9458k+3.176
HM	1244	R=2.4468k+0.932
HG	491	R=3.3026k+0.257
MG	1042	R=4.3736k-1.448
MH	1733	R=2.8256k-0.765

[0086] 도 24 내지 도 27은 최대 강우 강도가 20 mmh^{-1} 이하로 약한 비가 내린 사례 4와 최대 강우 강도가 220 mmh^{-1} 이상으로 강한 비가 내린 사례 7에서 MH 링크의 마이크로파 감쇠 자료를 이용하여 추정한 저층 강우 강도와의 검증 결과이다.

[0087] 도 24와 도 25는 사례 4와 사례 7에서 MH 링크의 마이크로파 감쇠 자료를 R-k관계식에 적용하여 산출한 저층 강우 강도와 역거리 가중 평균으로 산출한 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 산포도이다.

[0088] 도 26과 도 27은 사례 4와 사례 7에서 MH 링크의 마이크로파 감쇠 자료를 R-k관계식에 적용하여 산출한 저층 강우 강도(검은색 실선)와 역거리 가중 평균으로 산출한 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 시계열이다.

[0089] 도 24 내지 도 27에서, 검은 막대 바는 MH 링크에서 가장 인근에 설치되어 있는 AWS의 우량계와 강우 감지기에 동시에 강우가 기록된 것을 의미하며, 회색 막대 바는 강우 감지기에만 강우가 기록된 것을 의미한다.

[0090] 도 24 내지 도 27을 참조하면, 사례 4에서 시간 변화에 따른 저층 강우 강도의 변화는 매우 정확하게 산출되었으며, 사례 7에서는 7월 2일 0시에서 9시까지 우량계가 감지하지 못한 강우 강도도 산출하였다. 사례 4의 상관계수는 0.9, RMSE는 1.5 mmh^{-1}, Mean bias는 -0.5 mmh^{-1} 으로 마이크로파 감쇠 자료를 이용하여 산출한 저층 강

우 강도의 정확도가 높음을 확인하였고, 강한 비 사례인 사례 7에서도 상관 계수는 0.9, RMSE는 2.1 mmh^{-1}, Mean bias는 -0.2 mmh^{-1}으로 매우 높은 정확도를 보였다.

[0091] 도 28은 링크 별로 산출된 R-k 관계식의 검증을 위해 R-k관계식 산출에 사용되지 않은 사례 4, 7, 10의 마이크로파 감쇠 자료를 링크 별로 R-k 관계식에 적용하여 산출한 저층 강우 강도와 역거리 가중 평균 방법으로 산출한 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 상관 계수이다. 또한, 도 29는 링크 별로 산출된 R-k 관계식의 검증을 위해 R-k관계식 산출에 사용되지 않은 사례 4, 7, 10의 마이크로파 감쇠 자료를 링크 별로 R-k 관계식에 적용하여 산출한 저층 강우 강도와 역거리 가중 평균 방법으로 산출한 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 Mean bias이다. 도 30은 링크 별로 산출된 R-k 관계식의 검증을 위해 R-k관계식 산출에 사용되지 않은 사례 4, 7, 10의 마이크로파 감쇠 자료를 링크 별로 R-k 관계식에 적용하여 산출한 저층 강우 강도와 역거리 가중 평균 방법으로 산출한 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(Attenuation-caused rain rate, R)와의 RMSE이다.

[0092] 도 28 내지 도 30을 참조하면, 먼저 상관 계수는 HG 링크를 제외하고 모든 마이크로파 링크에서 0.6 이상을 보였고 Mean bias가 다소 크게 산출되었는데 이것은 주파수가 가장 작은 MW 링크에서 약한 비에 대한 민감도가 떨어져서 큰 Bias를 보인 결과였다.

[0093] 다음은 본 발명에 따른 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링방법에 대해 도면을 참조하여 설명한다.

[0094] 도 31은 본 발명에 따른 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 방법의 순서도이다.

[0095] 본 발명에 따른 강우에 따른 마이크로파감쇠 특성을 이용한 강우 모니터링 시스템은 도 31에 도시된 바와 같이, 관측 자료 수집 단계(S1)와 관측 자료 가공단계(S2), 강우 유무 탐지 및 검증 단계(S3), 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 단계(S4), 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 단계(S5), R-k관계식 추정 단계(S6), 저층 강우 추정 및 검증 단계(S7)를 포함한다.

[0096] 관측 자료 수집 단계(S1)는 관측 자료 수집 모듈(100)을 통해서 관측 자료를 수집한다. 여기서, 관측 자료 수집 단계(S1)는 마이크로파 링크 송수신 전력을 수집하는 단계(S1-1)와 강우 감지기에 기록된 강우 시간을 수집하는 단계(S1-2)와 우량계에 기록된 누적 강우량과 강우 시간을 수집하는 단계(S1-3)를 포함한다.

[0097] 관측 자료 가공단계(S2)는 관측 자료 가공 모듈(200)을 통해서 관측 자료가 가공된다. 여기서, 마이크로파 링크 송수신 전력 입력 모듈(110)에 입력된 15초 해상도의 마이크로파 링크의 송신 전력, 수신 전력 간의 차이를 이용하여 마이크로파 감쇠를 산출하고 1분 평균하는 마이크로파 감쇠 산출 단계(S2-1)와 우량계에 기록된 1분 누적 강우량을 15분 이동 평균하여 1분 간격으로 강우 강도(mmh^{-1})로 변환하는 우량계 강우 강도 산출 단계(S2-2)를 포함한다.

[0098] 강우 유무 탐지 및 검증 단계(S3)는 관측자료 가공 모듈(200)에서 산출된 마이크로파 감쇠 자료를 기반으로 마이크로파 감쇠의 자기상관계수가 통계학적으로 유의미한 수치, 예를 들어, 0.6을 보이는 시간을 창 크기(moving time window, W_t)로 결정하는 창 크기 산출 단계(S3-1)와, 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠를 평균하여 1분 간격으로 평균 마이크로파 감쇠($\overline{A}_{W_t}$)를 산출하는(수학식 2)평균 마이크로파 감쇠 산출 단계(S3-2)와, 결정된 창 크기 동안의 마이크로파 감쇠 산출 모듈(210)에서 산출되는 마이크로파 감쇠와 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈(320)에서 산출되는 평균 마이크로파 감쇠와의 차이를 이용하여 마이크로파 감쇠의 검정통계량을 산출하는(수학식 3)마이크로파 감쇠의 검정통계량 산출 단계(S3-3)와, 마이크로파 감쇠를 이용한 강우 유무를 판단하기 위한 임계값을 결정하는 임계 값(σ_0) 산출단계(S3-4)와, 마이크로파 감쇠의 검정통계량과 임계값간의 초과 여부를 통해 1차적으로 강우 유무를 탐지하는(수학식 4)1차 강우 유무 탐지 단계(S3-5)와, 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈(320)에서 산출된 평균 마이크로파 감쇠와 1차 강우 유무 탐지 모듈(350)에서 결정된 1차적으로 결정된 강우 유무 탐지 결과를 이용하여 마이크로파 기준 감쇠(Dry attenuation, A_d)를 실시간으로 산출하는(수학식 5) 마이크로파 기준 감쇠 산출 단계(S3-6)와, 마이크로파 감쇠와 마이크로파 기준 감쇠간의 초과 여부를 통해 1차적으로 결정된 강우 유무 결과를 보정하는 2차적으로 강우 유무를 탐지하는 2차 강우 유무 탐지 단계(S3-7)를 포함한다.

[0099] 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 단계(S4)는 마이크로파 감쇠 산출 모듈(210)에서 산출되는 마이크로

파 감쇠가 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈(360)에서 산출된 마이크로파 기준 감쇠와의 차이가 마이크로파 감쇠 크기의 2.5%보다 클 때 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠로 결정한다.

[0100] 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 단계(S5)는 마이크로파 링크의 송신 및 수신 안테나를 기준으로 산출된 유효 반경(수학식 6) 내에 설치되어 있는 우량계 강우 강도 산출 모듈(220)에서 산출된 모든 우량계 강우 강도 자료를 이용하여 역거리 가중 평균하여 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도(수학식 7)를 산출한다.

[0101] R-k관계식 추정 단계(S6)는 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈(400)에서 산출된 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠와 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출 모듈(500)에서 산출된 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도를 이용하여 마이크로파 링크별 R-k 관계식을 추정한다.

[0102] 저층 강우 추정 및 검증 단계(S7)는 R-k관계식 추정 모듈(600)에서 사용되지 않았던 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 자료를 추정된 R-k관계식에 적용하여 저층 강우 강도를 추정하고 R-k관계식 추정 모듈(600)에서 사용되지 않았던 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도 자료로 검증한다.

[0103] 이상에서는 도면 및 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 기술적 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0104] 100: 관측 자료 수집 모듈

110: 마이크로파 링크 송수신 전력 수집 모듈

120: 강우 지속 시간 수집 모듈 130: 누적 강우량 수집 모듈

200: 관측자료 가공 모듈 210: 마이크로파 감쇠 산출 모듈

220: 우량계 강우 강도 산출 모듈 300: 강우 유무 탐지 모듈

310: 창 크기 산출 모듈

320: 평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈

330: 마이크로파 감쇠 검정통계량 산출 모듈

340: 임계값 산출 모듈 350: 1차 강우 유무 탐지 모듈

360: 마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈

370: 2차 강우 유무 탐지 모듈

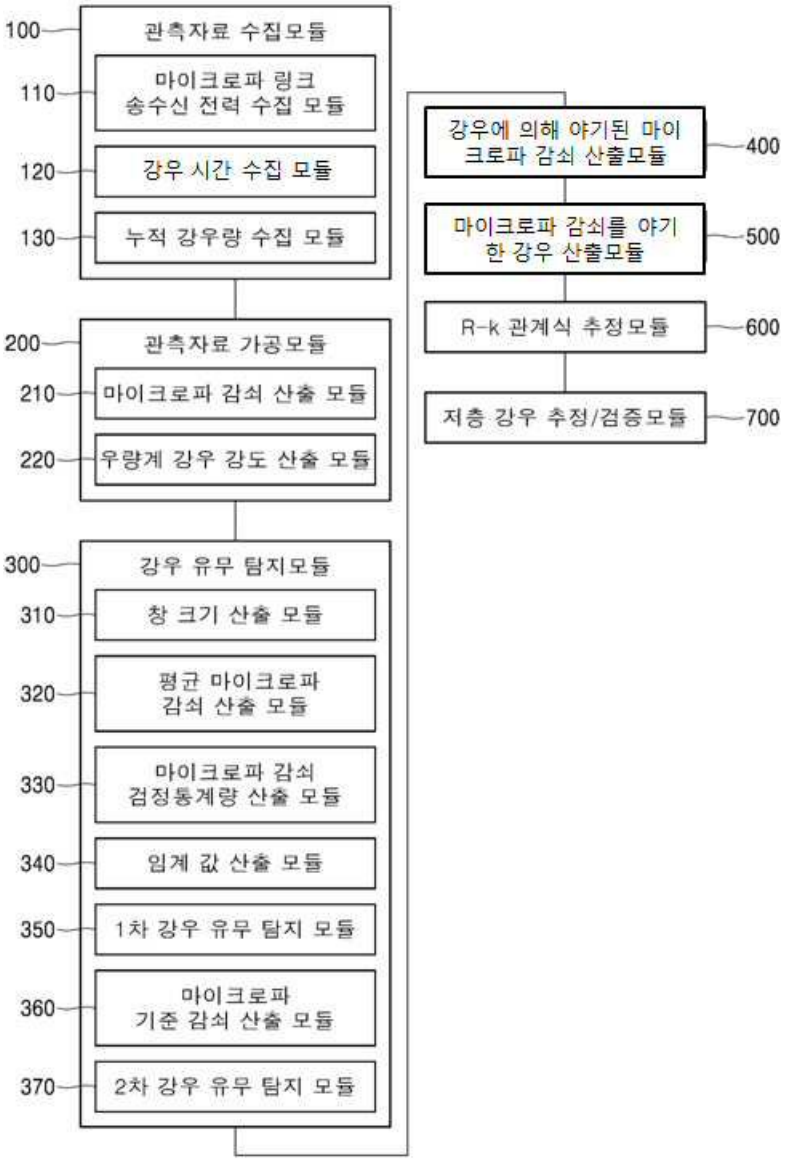
400: 강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출 모듈

500: 마이크로파 감쇠를 야기한 강우 강도 산출 모듈

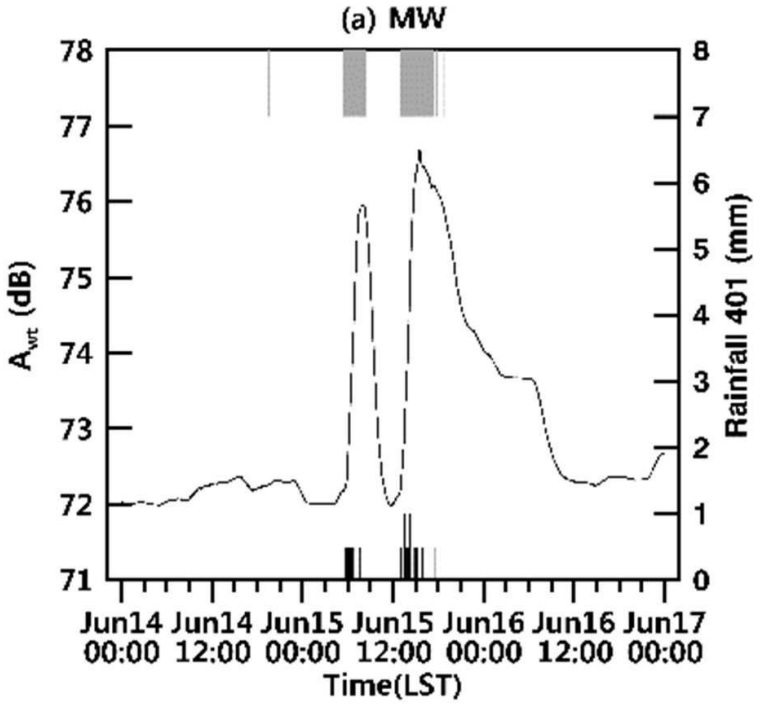
600: R-k관계식 추정 모듈 700: 저층 강우 추정/검증 모듈

도면

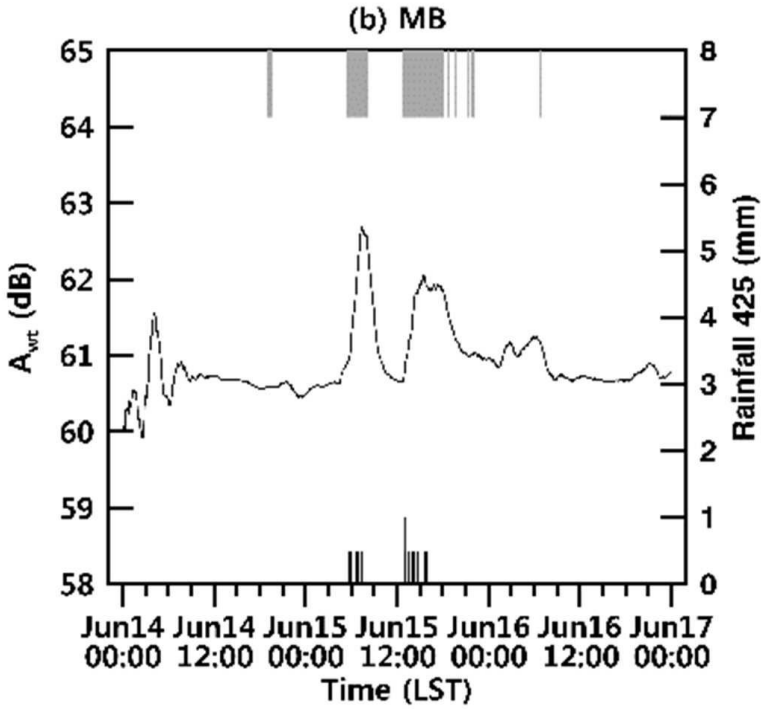
도면1


100
관측자료 수집모듈
110
마이크로파 링크 송수신 전력 수집 모듈
120
강우 시간 수집 모듈
130
누적 강우량 수집 모듈
200
관측자료 가공모듈
210
마이크로파 감쇠 산출 모듈
220
우량계 강우 강도 산출 모듈
300
강우 유무 탐지모듈
310
창 크기 산출 모듈
320
평균 마이크로파 감쇠 산출 모듈
330
마이크로파 감쇠 검정통계량 산출 모듈
340
임계 값 산출 모듈
350
1차 강우 유무 탐지 모듈
360
마이크로파 기준 감쇠 산출 모듈
370
2차 강우 유무 탐지 모듈
강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출모듈
400
마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출모듈
500
R-k 관계식 추정모듈
600
저층 강우 추정/검증모듈
700

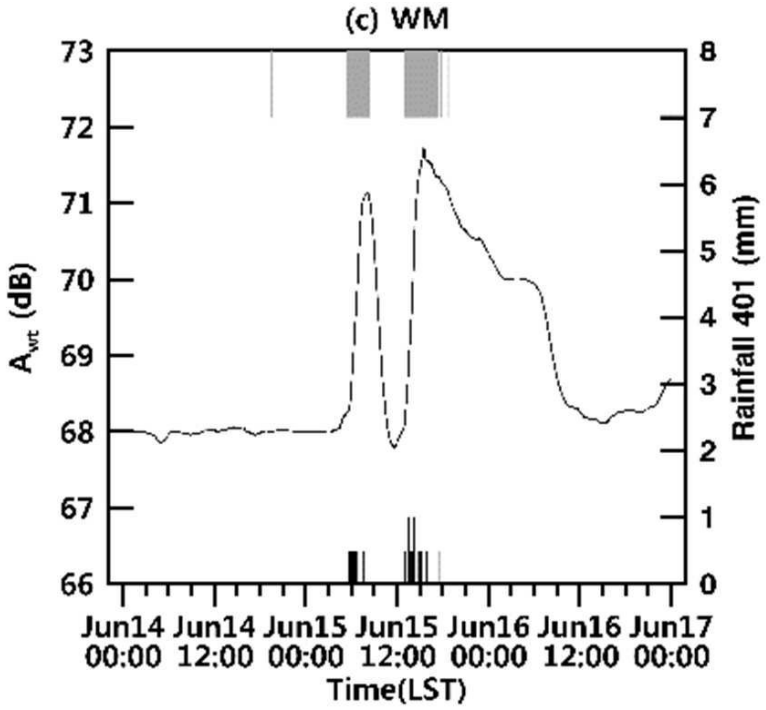
도면2


(a) MW
78
77
76
75
74
73
72
71
A_{wt} (dB)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Rainfall 401 (mm)
Jun14 00:00
Jun14 12:00
Jun15 00:00
Jun15 12:00
Jun16 00:00
Jun16 12:00
Jun17 00:00
Time(LST)

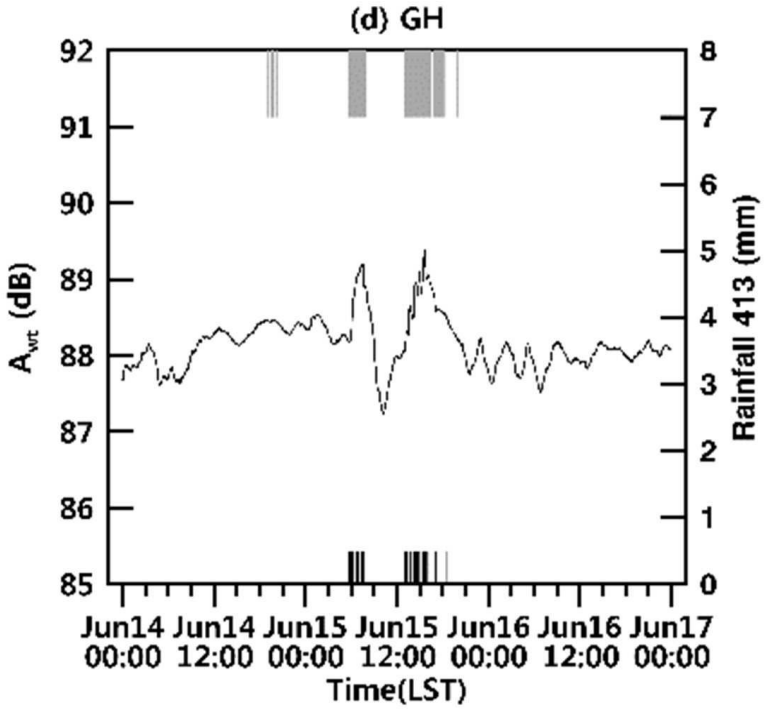
도면3


(b) MB
65
64
63
62
61
60
59
58
A_{wt} (dB)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Rainfall 425 (mm)
Jun14 00:00
Jun14 12:00
Jun15 00:00
Jun15 12:00
Jun16 00:00
Jun16 12:00
Jun17 00:00
Time (LST)

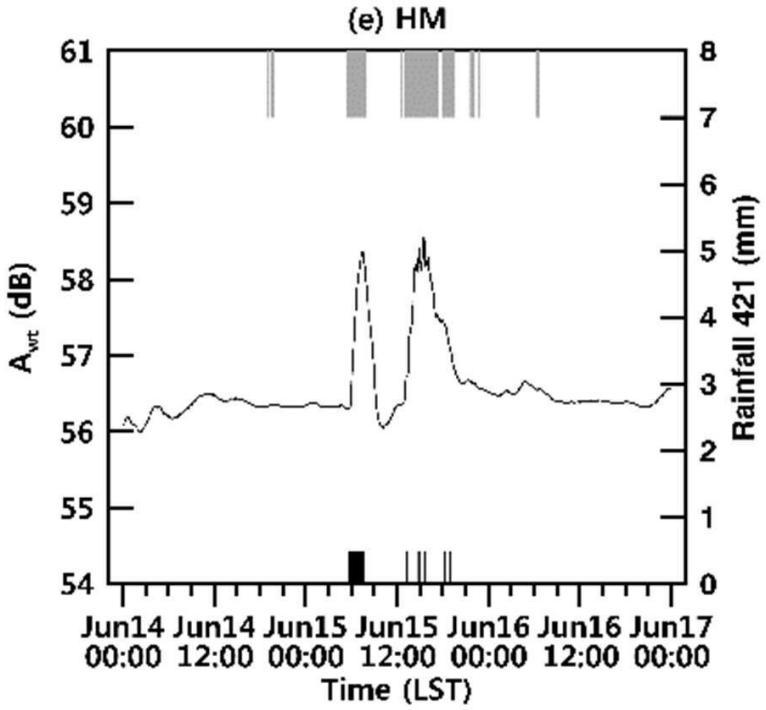
도면4


(c) WM
73
72
71
70
69
68
67
66
A_{wt} (dB)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Rainfall 401 (mm)
Jun14 00:00
Jun14 12:00
Jun15 00:00
Jun15 12:00
Jun16 00:00
Jun16 12:00
Jun17 00:00
Time(LST)

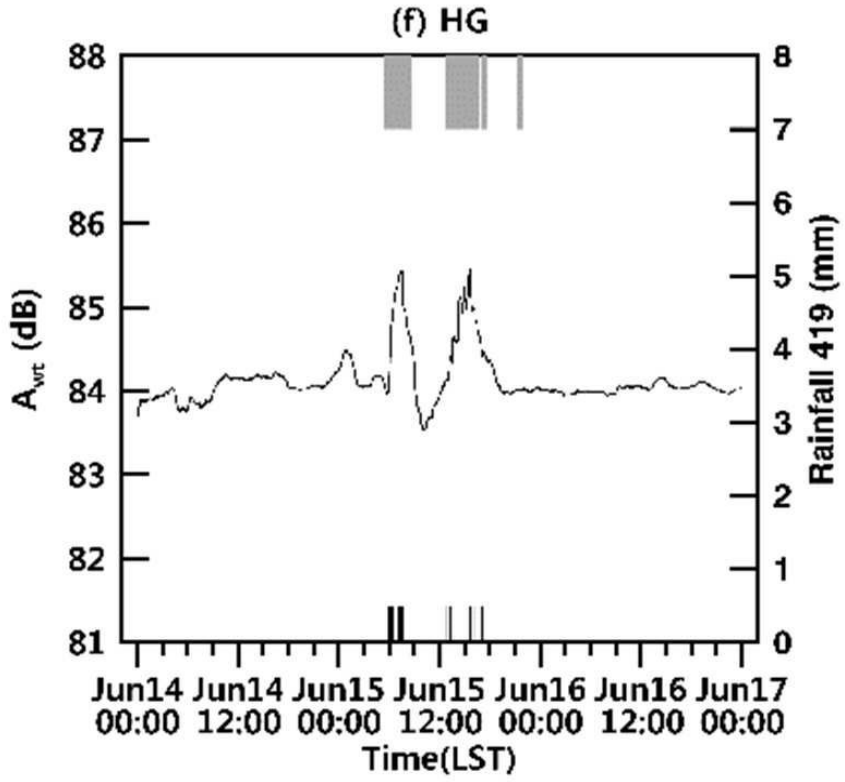
도면5


(d) GH
92
91
90
89
88
87
86
85
A_{wt} (dB)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Rainfall 413 (mm)
Jun14 00:00
Jun14 12:00
Jun15 00:00
Jun15 12:00
Jun16 00:00
Jun16 12:00
Jun17 00:00
Time(LST)

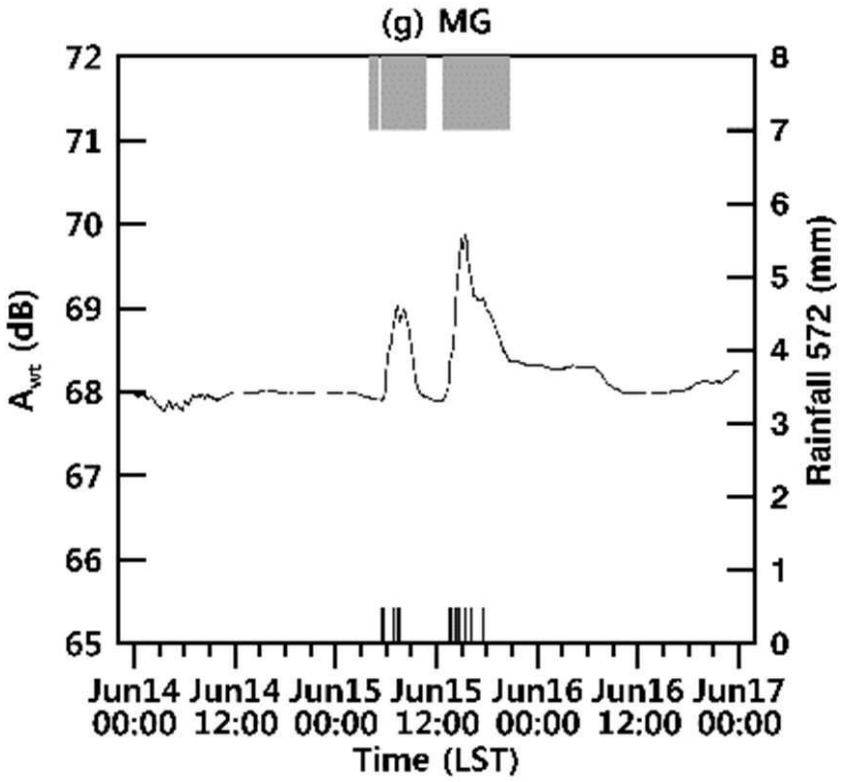
도면6


(e) HM
61
60
59
58
57
56
55
54
A_{wt} (dB)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Rainfall 421 (mm)
Jun14 00:00
Jun14 12:00
Jun15 00:00
Jun15 12:00
Jun16 00:00
Jun16 12:00
Jun17 00:00
Time (LST)

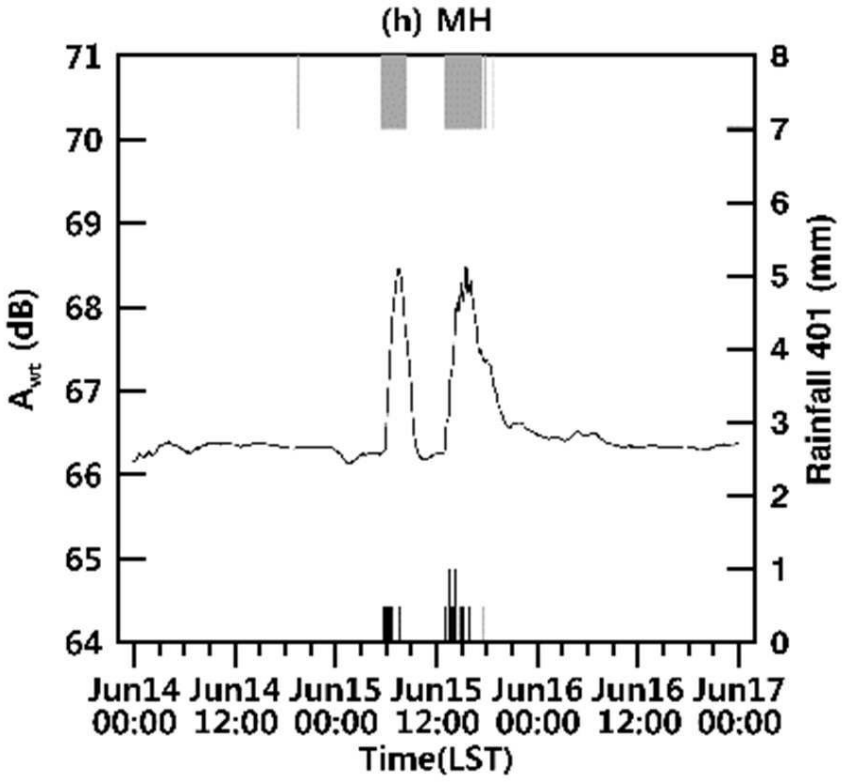
도면7


(f) HG
88
87
86
85
84
83
82
81
A_{wt} (dB)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Rainfall 419 (mm)
Jun14 00:00
Jun14 12:00
Jun15 00:00
Jun15 12:00
Jun16 00:00
Jun16 12:00
Jun17 00:00
Time(LST)

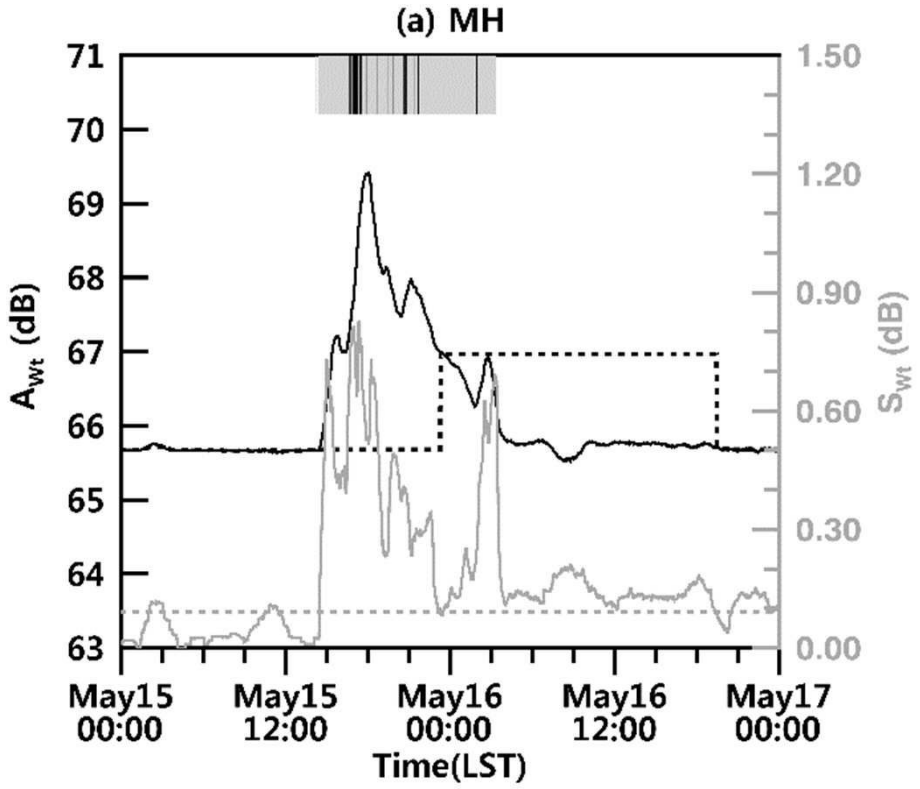
도면8


(g) MG
72
71
70
69
68
67
66
65
A_{vrt} (dB)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Rainfall 572 (mm)
Jun14 00:00
Jun14 12:00
Jun15 00:00
Jun15 12:00
Jun16 00:00
Jun16 12:00
Jun17 00:00
Time (LST)

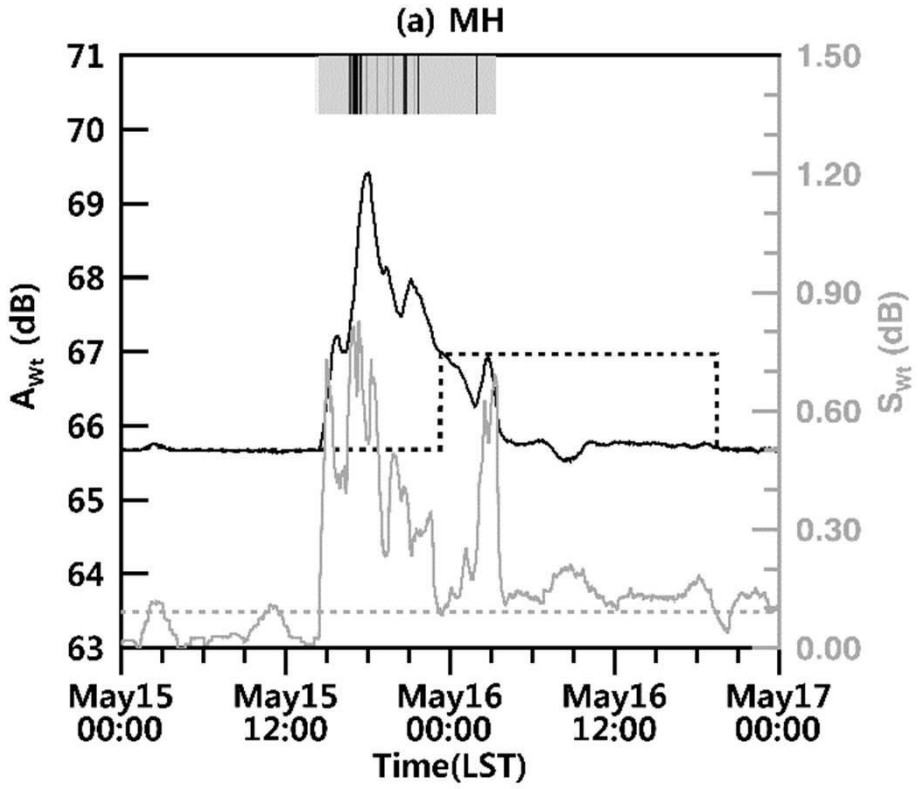
도면9


(h) MH
71
70
69
68
67
66
65
64
A_{vrt} (dB)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Rainfall 401 (mm)
Jun14 00:00
Jun14 12:00
Jun15 00:00
Jun15 12:00
Jun16 00:00
Jun16 12:00
Jun17 00:00
Time(LST)

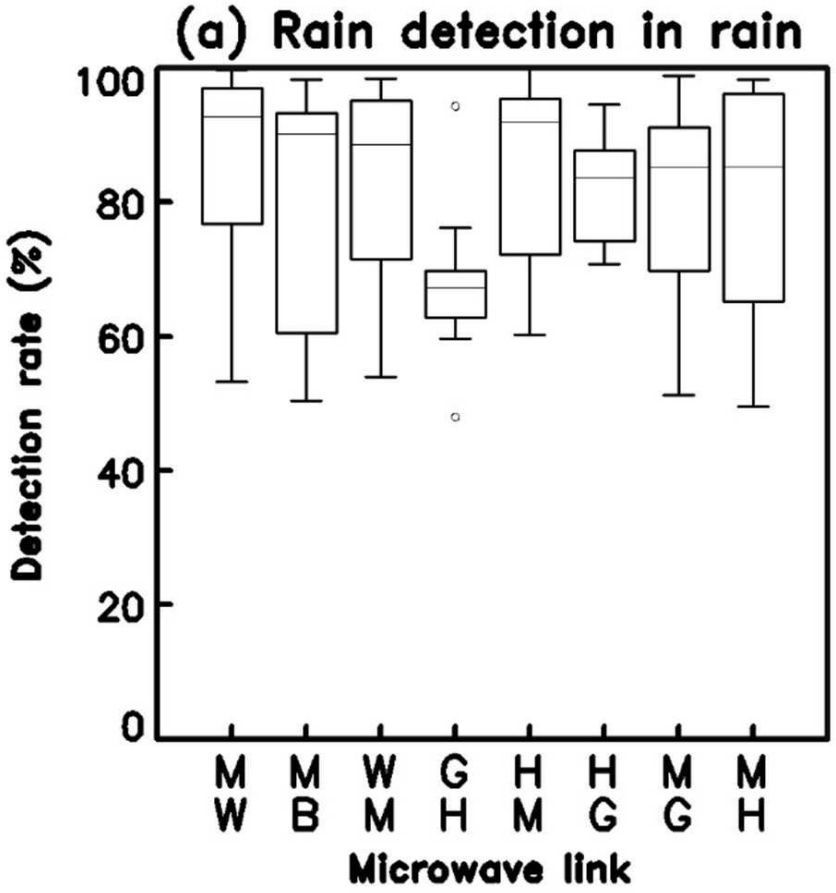
도면10


(a) MH
71
70
69
68
67
66
65
64
63
A_{wt} (dB)
1.50
1.20
0.90
0.60
0.30
0.00
S_{wt} (dB)
May15 00:00
May15 12:00
May16 00:00
May16 12:00
May17 00:00
Time(LST)

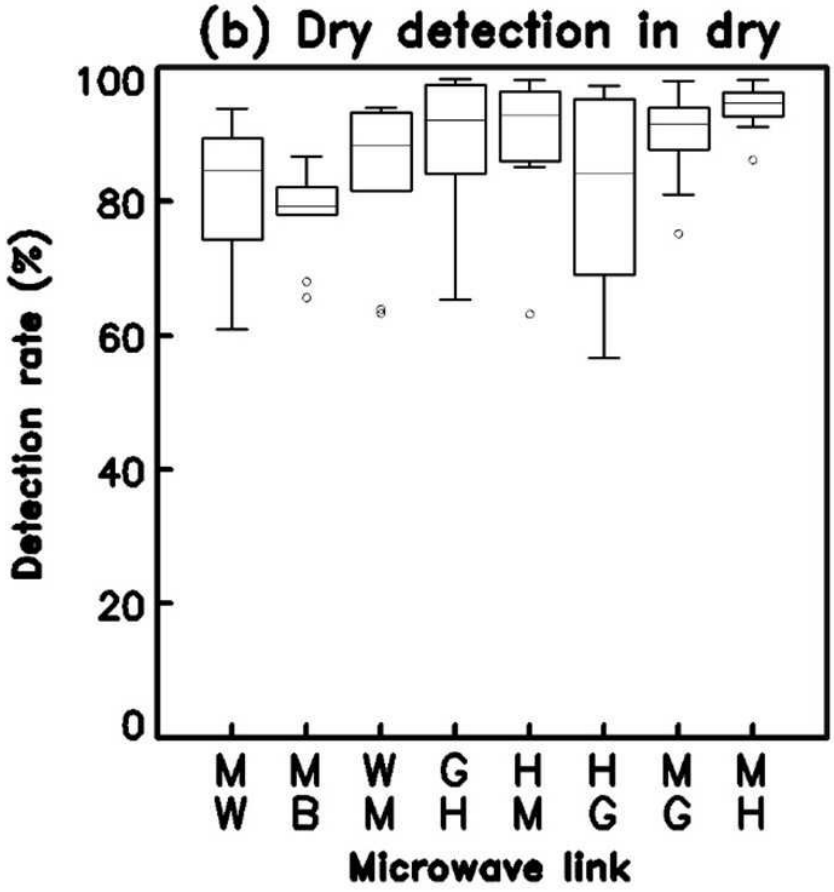
도면11


(a) MH
71
70
69
68
67
66
65
64
63
A_{wt} (dB)
1.50
1.20
0.90
0.60
0.30
0.00
S_{wt} (dB)
May15 00:00
May15 12:00
May16 00:00
May16 12:00
May17 00:00
Time(LST)

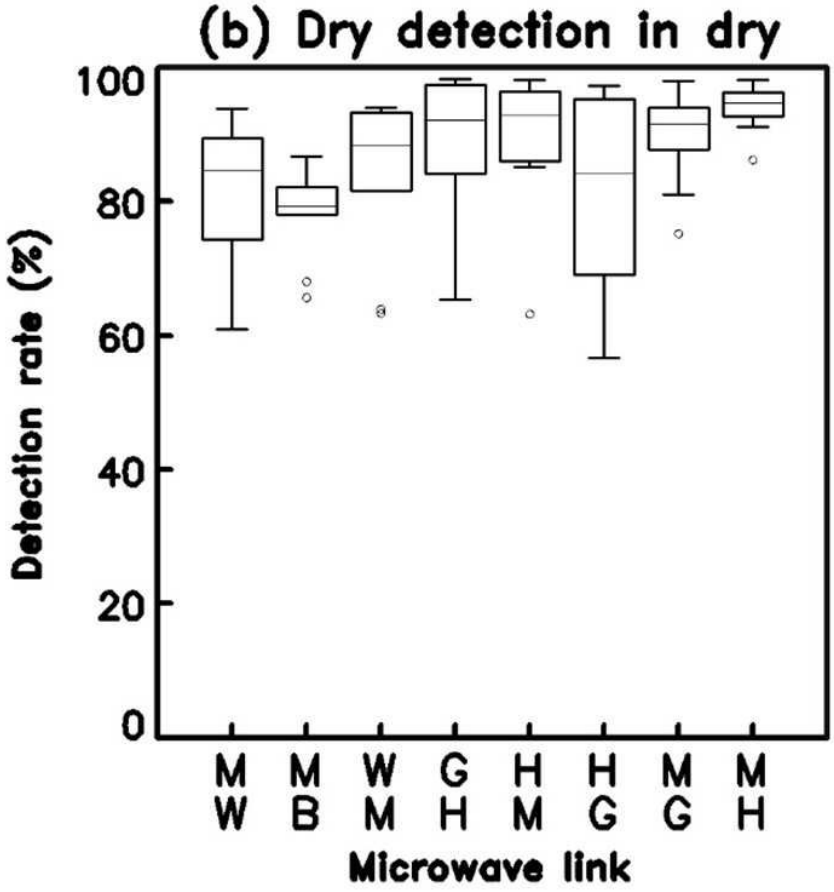
도면12


(a) Rain detection in rain
Detection rate (%)
100
80
60
40
20
0
MW
MB
WM
GH
HM
HG
MG
MH
Microwave link

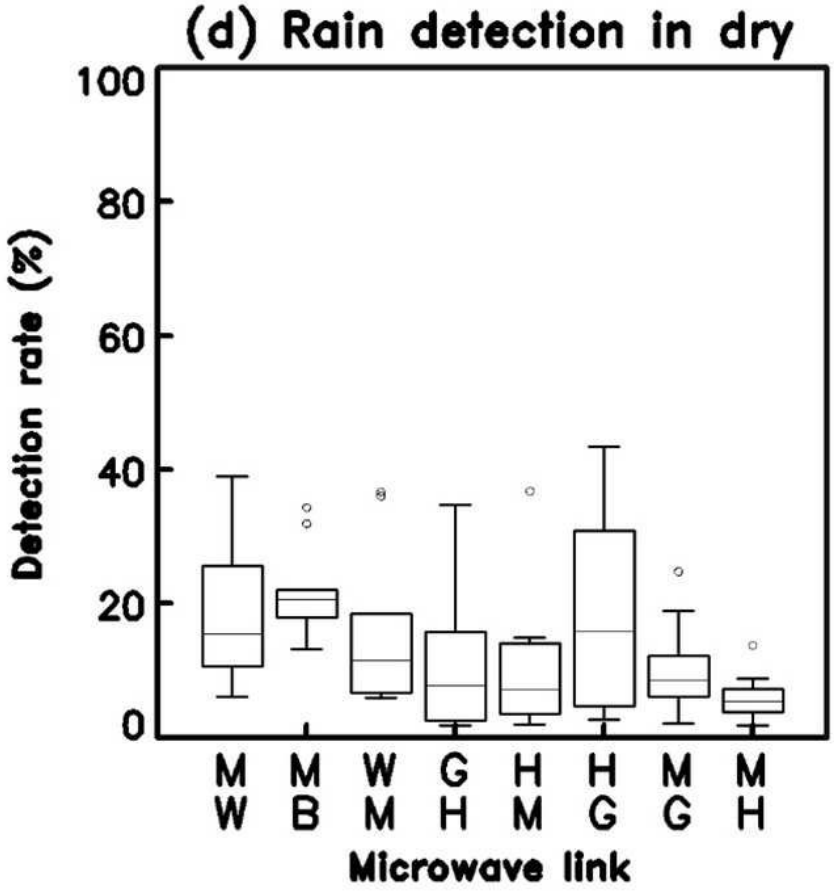
도면13


(b) Dry detection in dry
Detection rate (%)
100
80
60
40
20
0
MW
MB
WM
GH
HM
HG
MG
MH
Microwave link

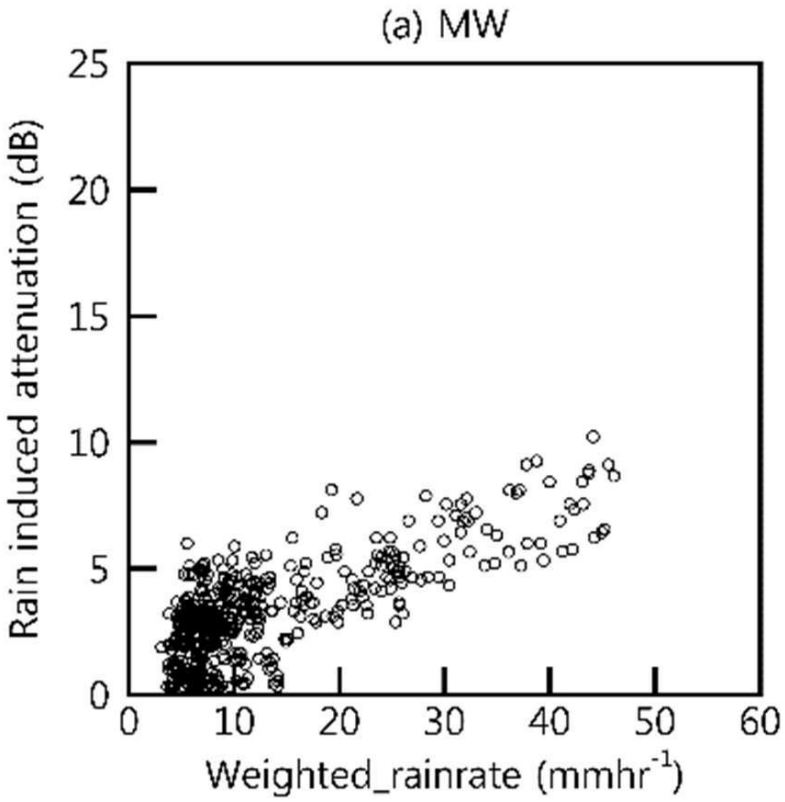
도면14


(b) Dry detection in dry
Detection rate (%)
100
80
60
40
20
0
M W
M B
W M
G H
H M
H G
M G
M H
Microwave link

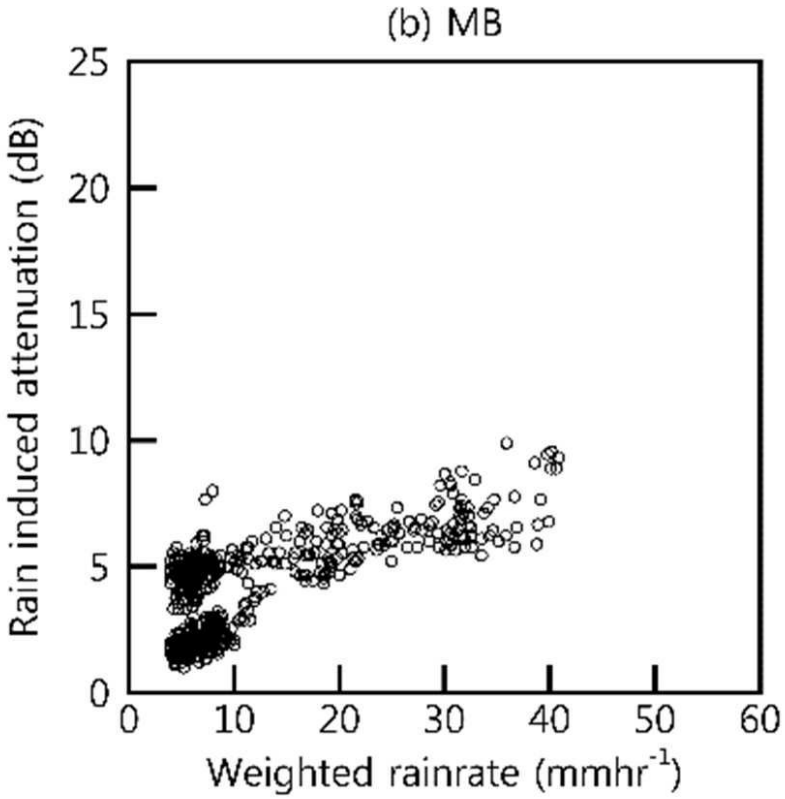
도면15


(d) Rain detection in dry
Detection rate (%)
100
80
60
40
20
0
M W
M B
W M
G H
H M
H G
M G
M H
Microwave link

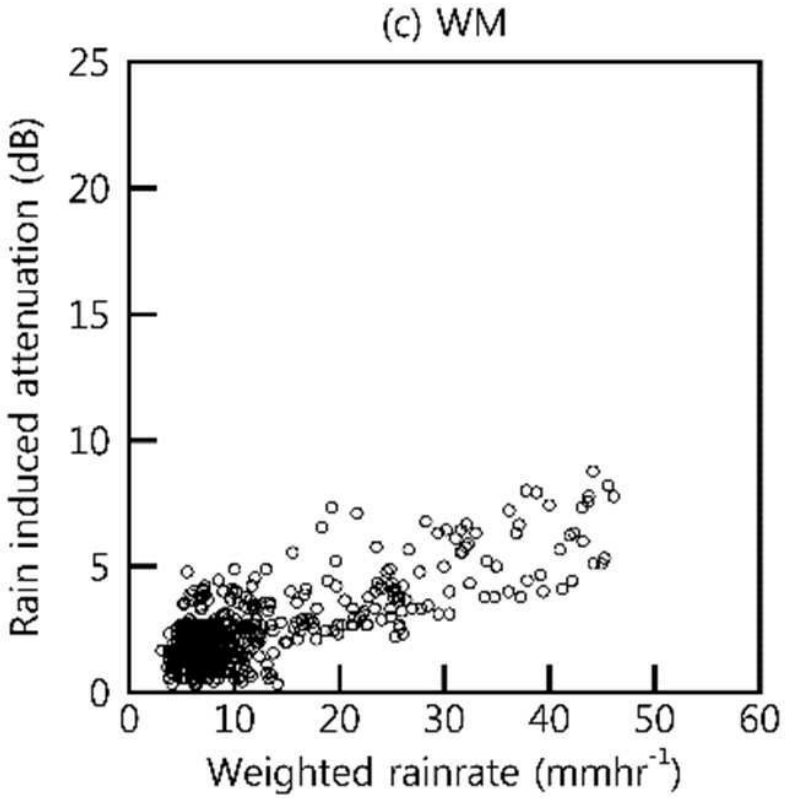
도면16


(a) MW
Rain induced attenuation (dB)
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
Weighted_rainrate (mmhr-1)

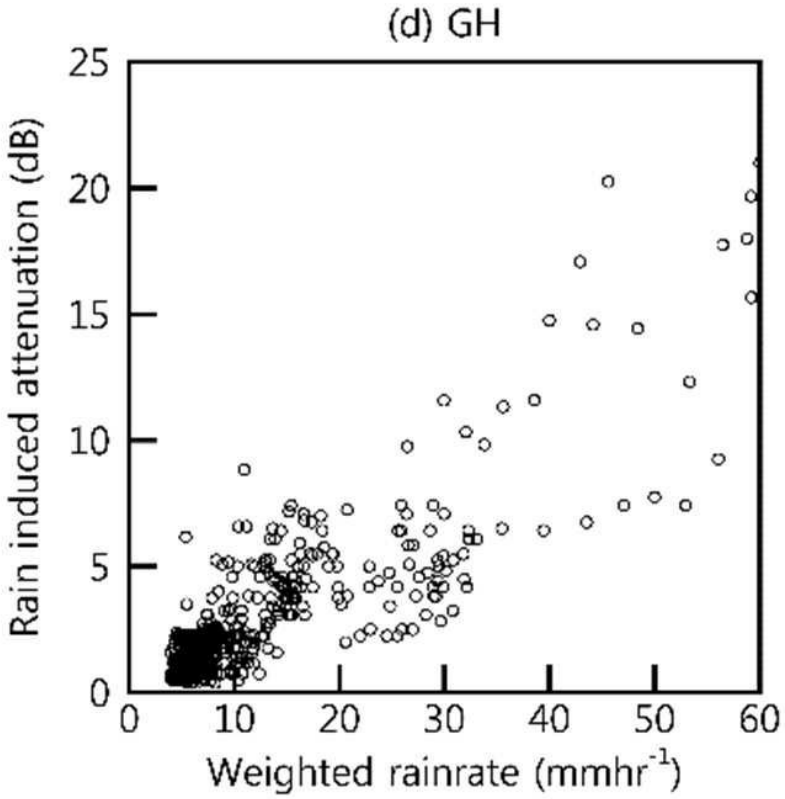
도면17


(b) MB
Rain induced attenuation (dB)
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
Weighted rainrate (mmhr-1)

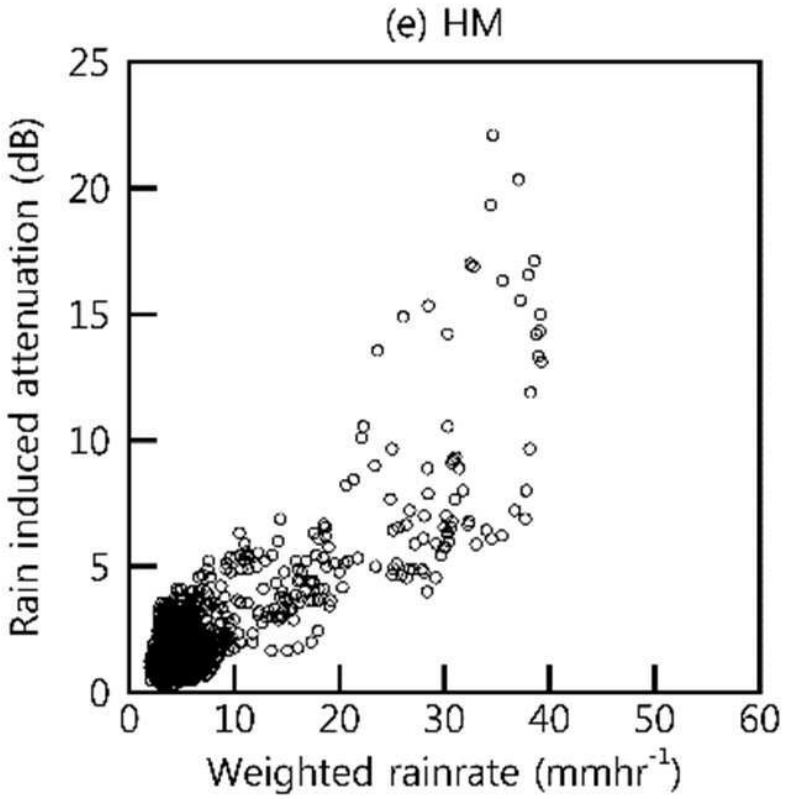
도면18


(c) WM
Rain induced attenuation (dB)
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
Weighted rainrate (mmhr-1)

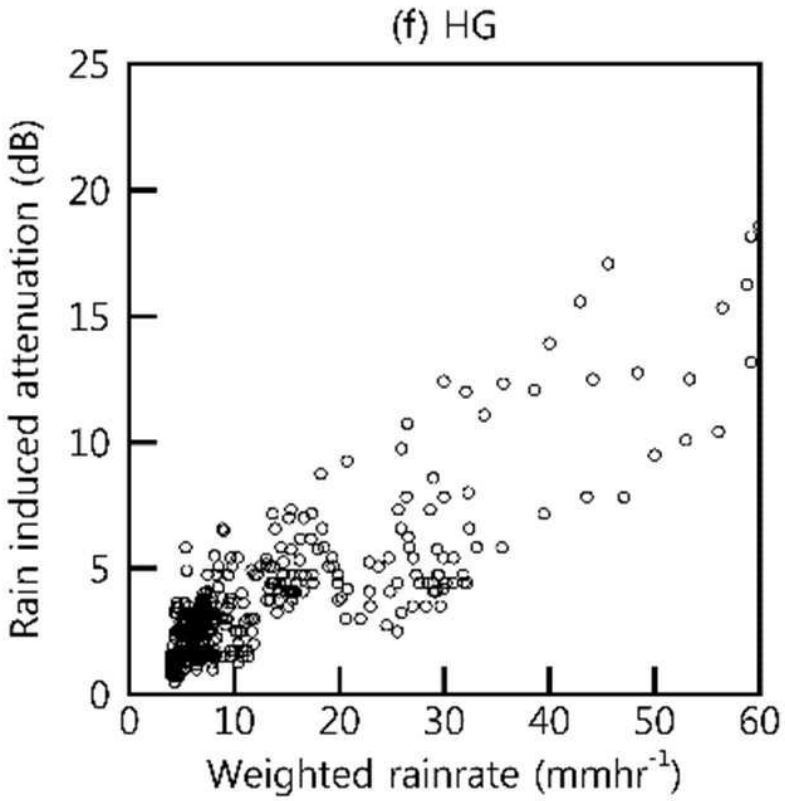
도면19


(d) GH
Rain induced attenuation (dB)
Weighted rainrate (mmhr-1)
0
5
10
15
20
25
0
10
20
30
40
50
60

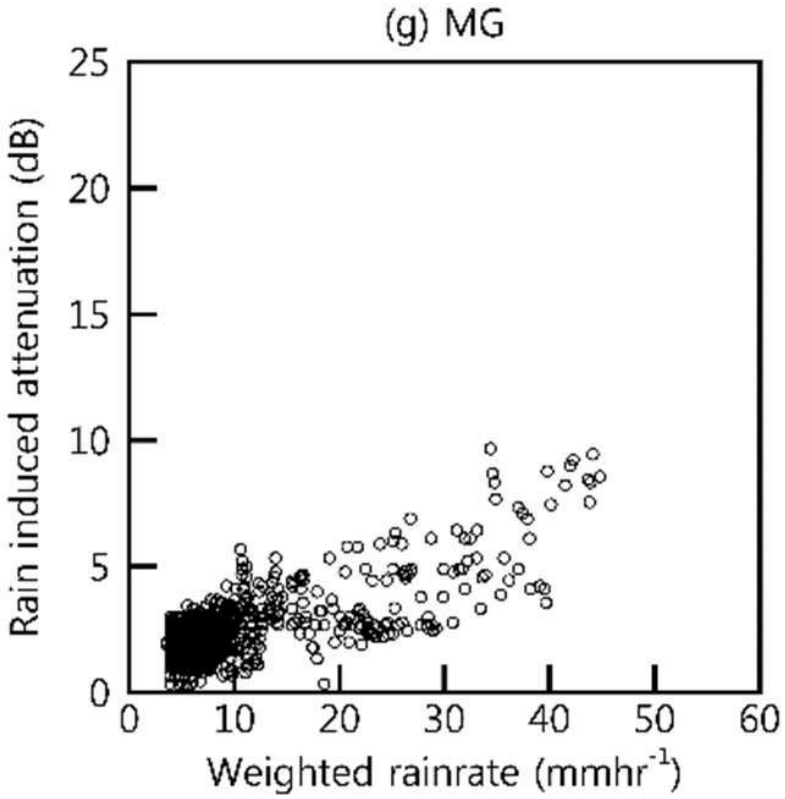
도면20


(e) HM
Rain induced attenuation (dB)
Weighted rainrate (mmhr-1)
0
5
10
15
20
25
0
10
20
30
40
50
60

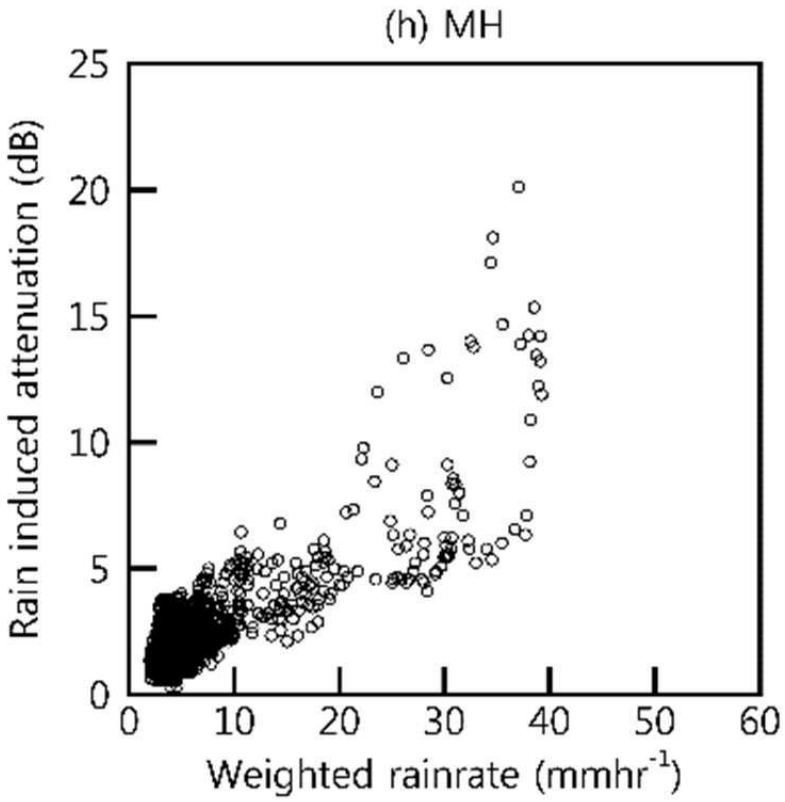
도면21


(f) HG
Rain induced attenuation (dB)
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
Weighted rainrate (mmhr-1)

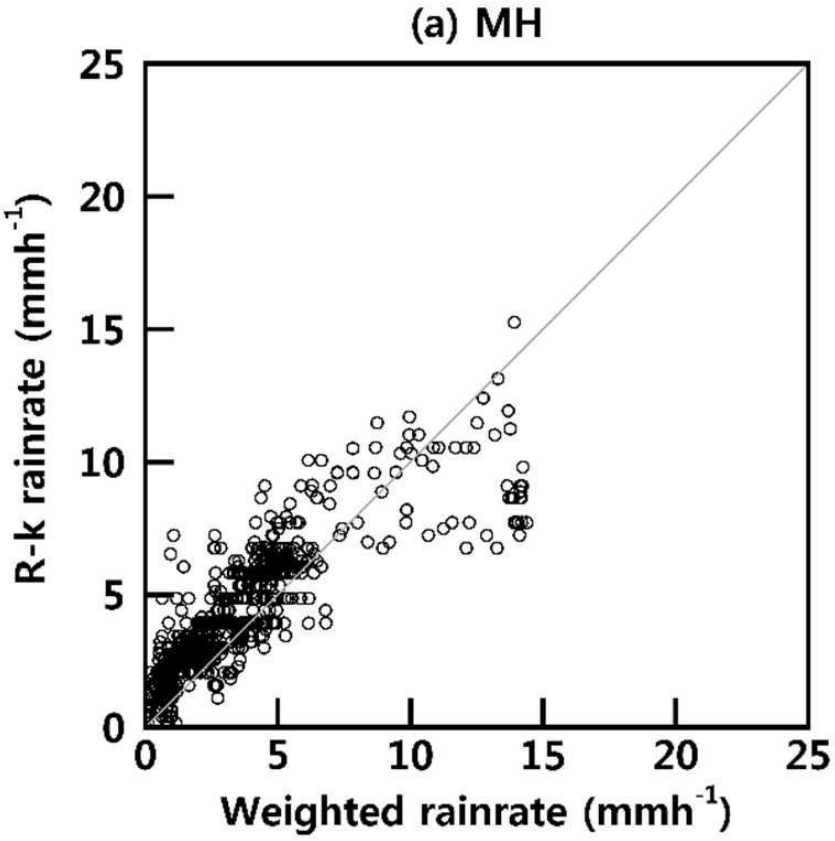
도면22


(g) MG
Rain induced attenuation (dB)
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
Weighted rainrate (mmhr-1)

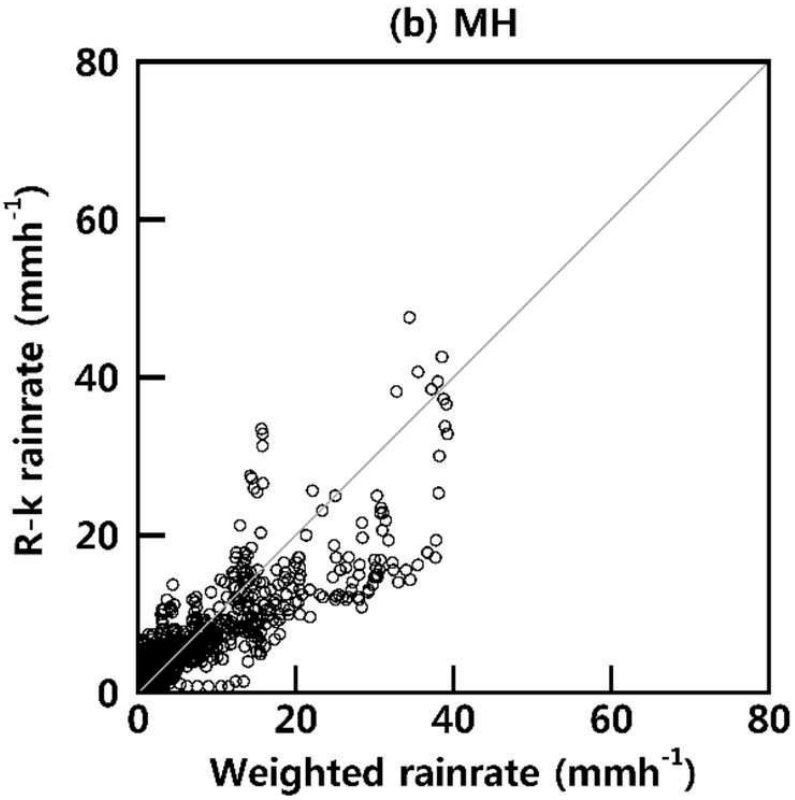
도면23


(h) MH
Rain induced attenuation (dB)
Weighted rainrate (mmhr-1)
0
5
10
15
20
25
0
10
20
30
40
50
60

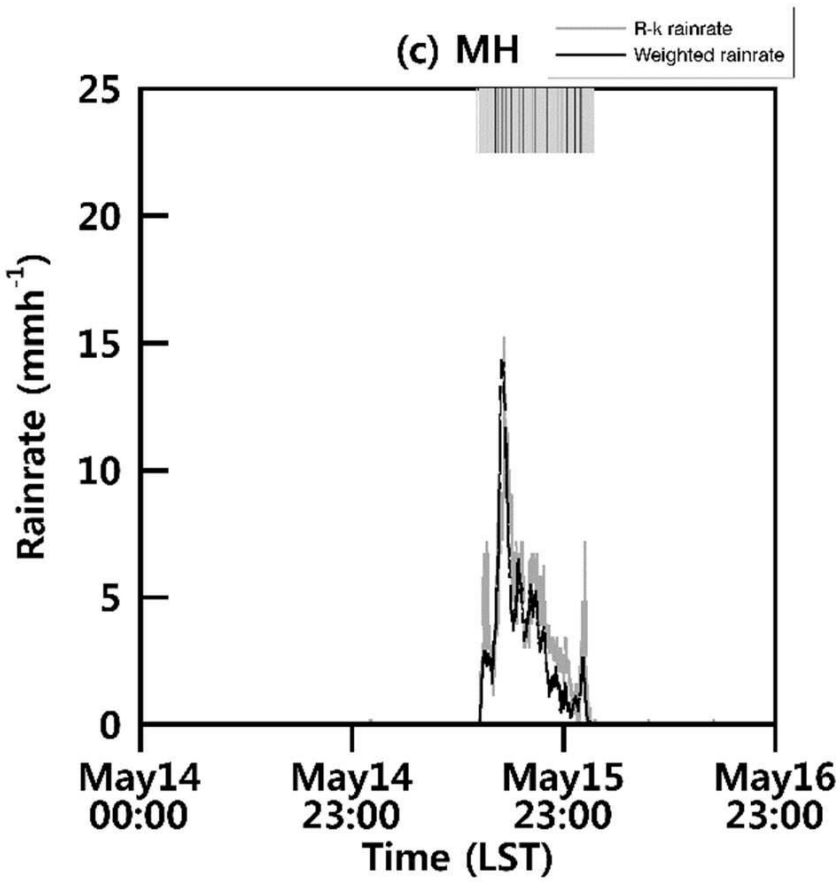
도면24



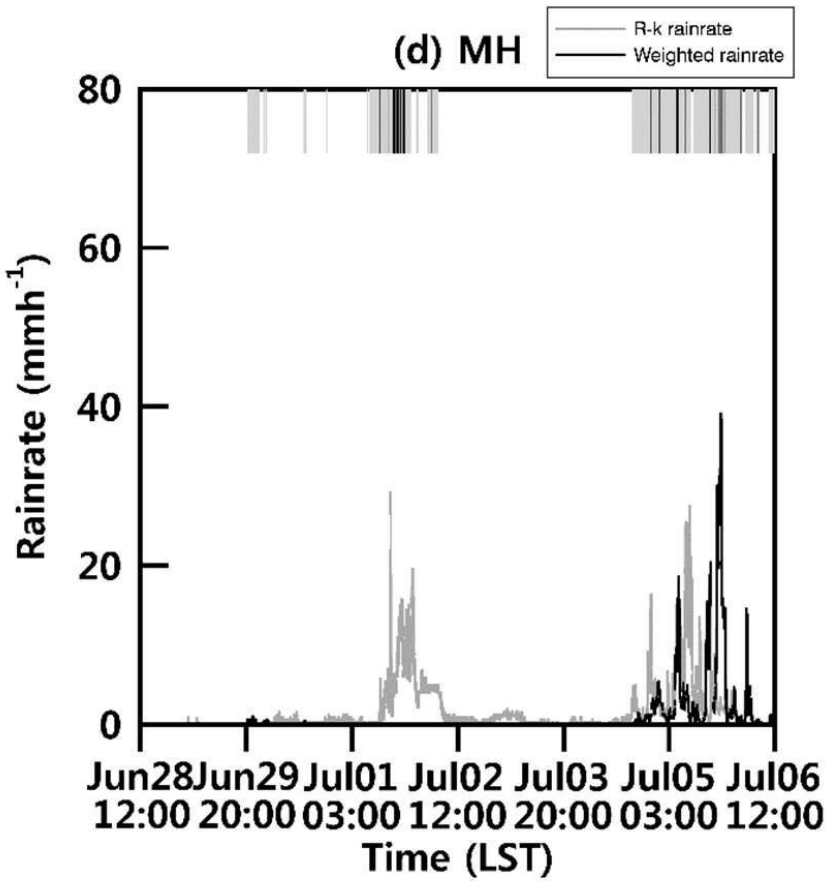
도면25



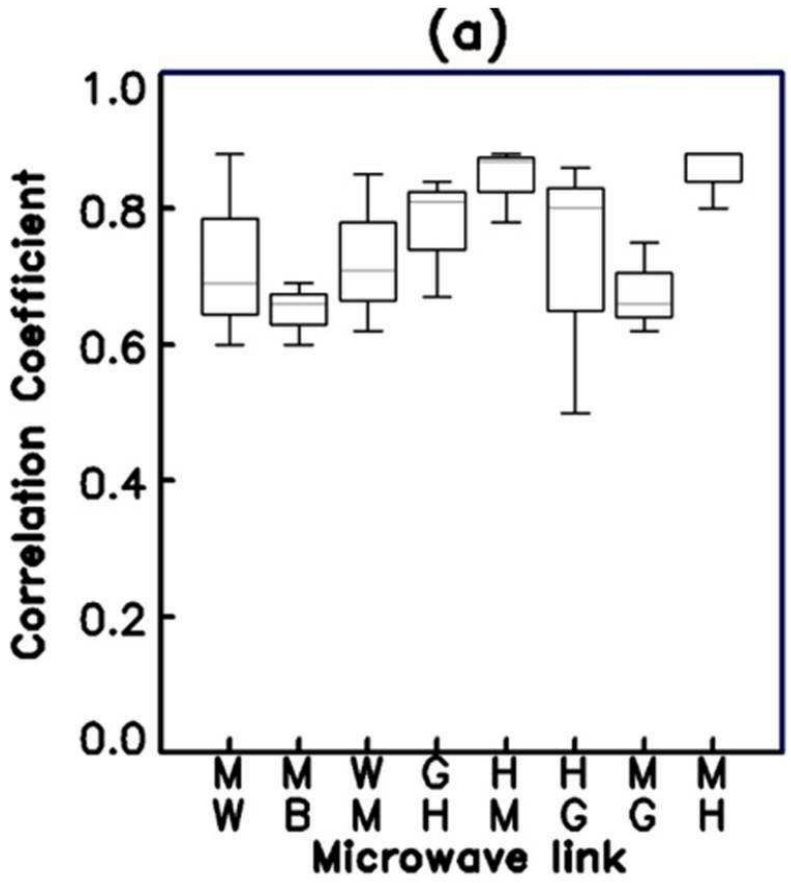
도면26


(c) MH
R-k rainrate
Weighted rainrate
Rainrate (mmh-1)
25
20
15
10
5
0
May14 00:00
May14 23:00
May15 23:00
May16 23:00
Time (LST)

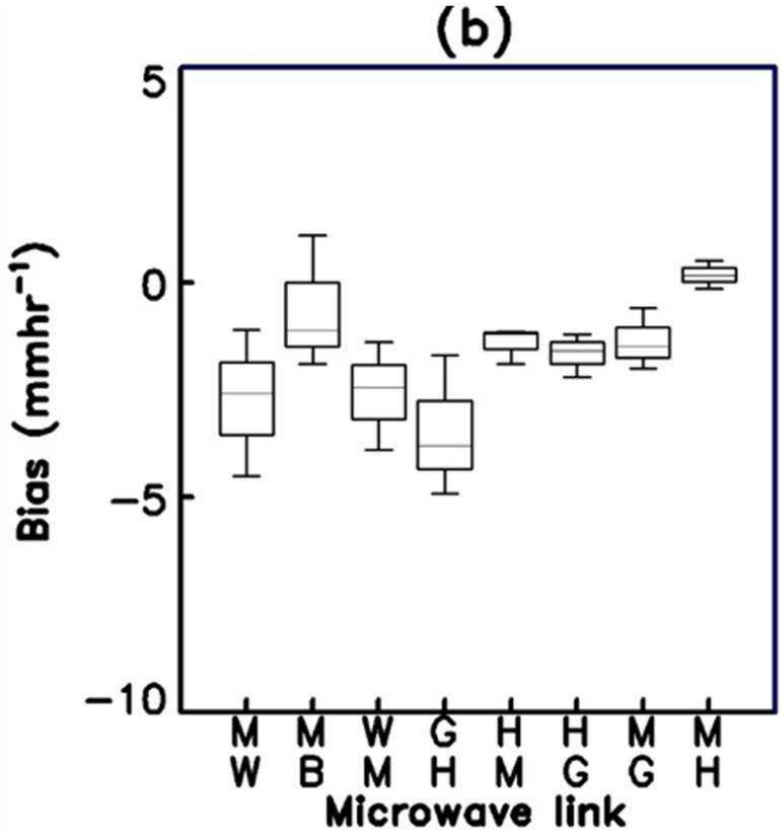
도면27


(d) MH
R-k rainrate
Weighted rainrate
Rainrate (mmh-1)
80
60
40
20
0
Jun28 12:00
Jun29 20:00
Jul01 03:00
Jul02 12:00
Jul03 20:00
Jul05 03:00
Jul06 12:00
Time (LST)

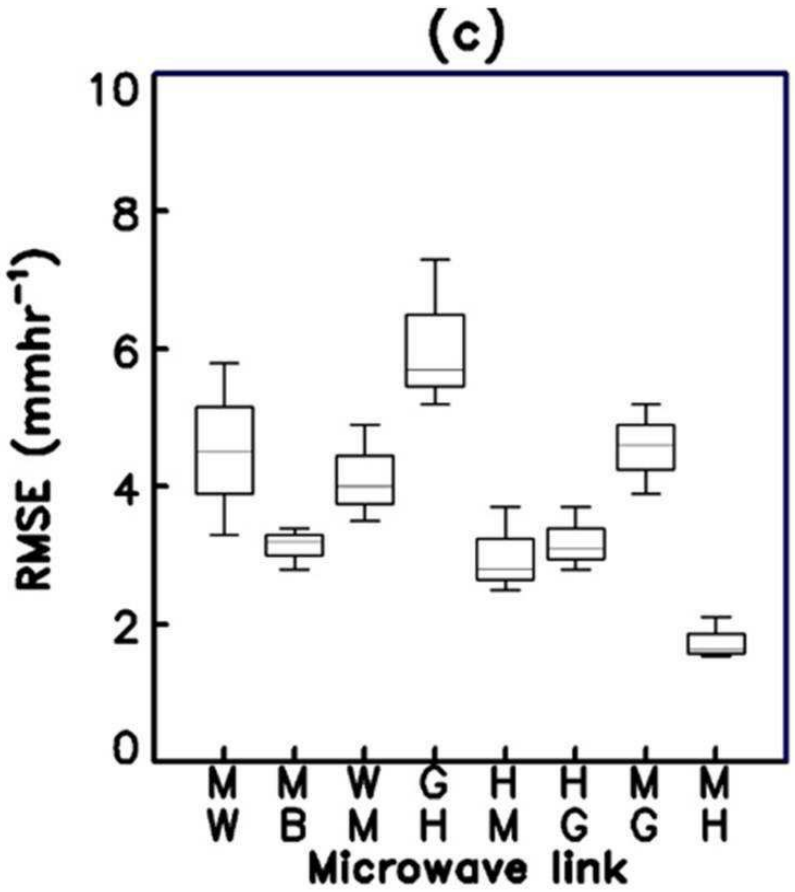
도면28


(a)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
Correlation Coefficient
M W
M B
W M
G H
H M
H G
M G
M H
Microwave link

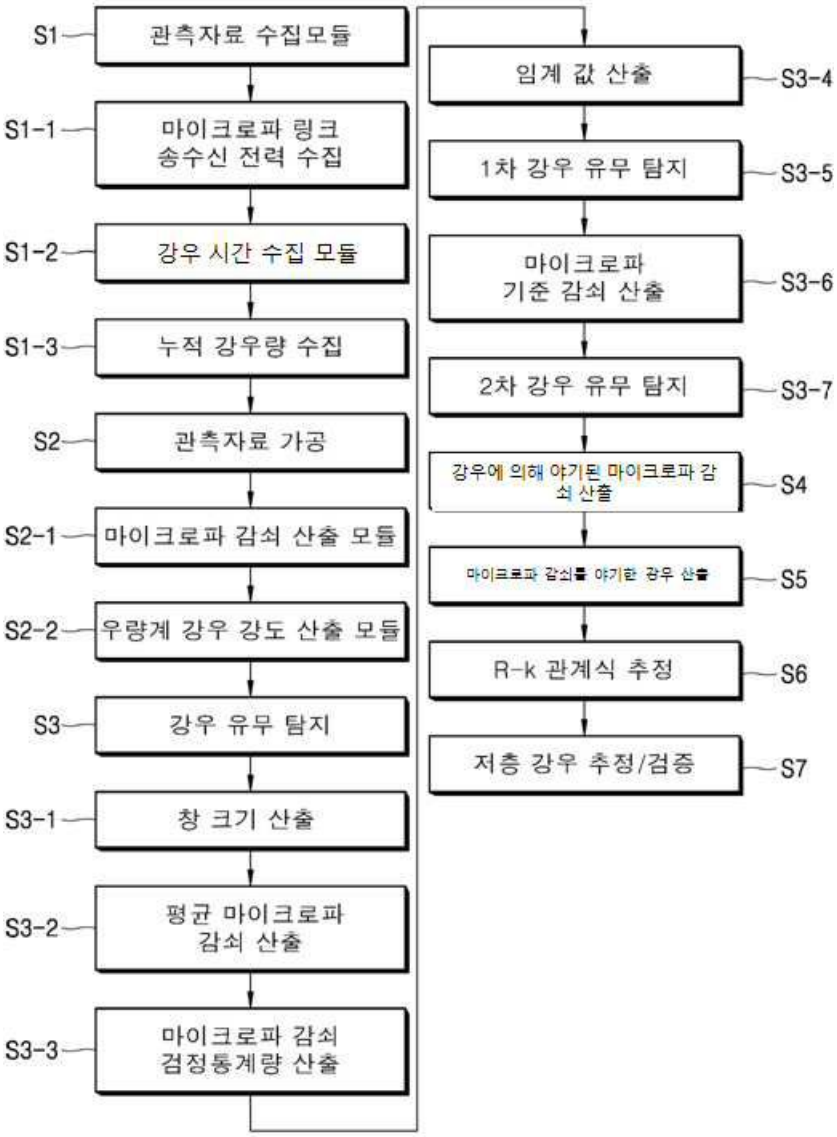
도면29


(b)
5
0
−5
−10
Bias (mmhr⁻¹)
M W
M B
W M
G H
H M
H G
M G
M H
Microwave link

도면30



도면31


S1
관측자료 수집모듈
S1-1
마이크로파 링크
송수신 전력 수집
S1-2
강우 시간 수집 모듈
S1-3
누적 강우량 수집
S2
관측자료 가공
S2-1
마이크로파 감쇠 산출 모듈
S2-2
우량계 강우 강도 산출 모듈
S3
강우 유무 탐지
S3-1
창 크기 산출
S3-2
평균 마이크로파
감쇠 산출
S3-3
마이크로파 감쇠
검정통계량 산출
S3-4
임계 값 산출
S3-5
1차 강우 유무 탐지
S3-6
마이크로파
기준 감쇠 산출
S3-7
2차 강우 유무 탐지
S4
강우에 의해 야기된 마이크로파 감쇠 산출
S5
마이크로파 감쇠를 야기한 강우 산출
S6
R-k 관계식 추정
S7
저층 강우 추정/검증