(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년05월24일
(11) 등록번호 10-1623688
(24) 등록일자 2016년05월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/14 (2006.01) *G01S 13/95* (2006.01)
G01S 7/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01W 1/14 (2013.01)
G01S 13/95 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0077376
(22) 출원일자 2015년06월01일
심사청구일자 2015년06월01일
(56) 선행기술조사문헌
JP11183615 A
KR101512015 B1
강미영 외 6인, '이중 편파레이더를 이용한 정량적 강우량 추정', 한국기상학회 가을학술대회 논문집, 2005.10.,pp.154-155.
전병국 외 2인, '이중편파 레이더의 강우관측 능력 평가', 한국방재학회 논문집, 제12권, 제2호, 2012.04., pp.215-224.

(73) 특허권자
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
이동인
부산 남구 용소로 45, 4호관 4309호 (대연동, 부경대학교대연캠퍼스)
정성아
부산 남구 용소로 45, 4호관 4324호 (대연동, 부경대학교대연캠퍼스)
정종훈
부산 남구 용소로 45, 4호관 4324호 (대연동, 부경대학교대연캠퍼스)
(74) 대리인
특허법인 아이피에스

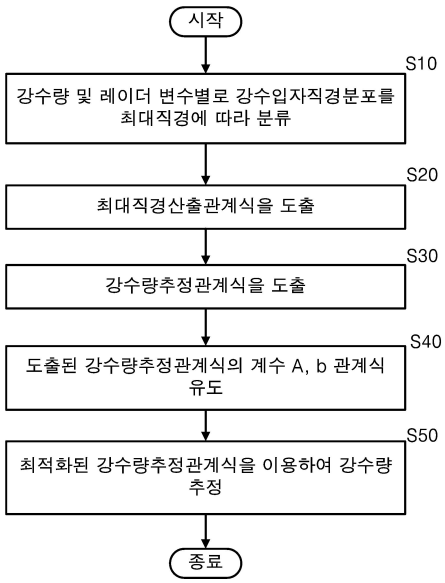
전체 청구항 수 : 총 4 항 심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 **이중편파레이더를 이용한 정량적 강수량 추정 방법**

(57) 요 약

본 발명은, 이중편파레이더에서 관측된 레이더 변수와 강수량이 각각 가지는 강수입자직경분포(DSD)의 변동 특성을 기반으로 강수입자의 최대직경에 따른 강수량추정관계식의 변화를 정량화하여 강수량을 추정할 수 있는 강수량 추정 방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01S 7/024 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 C-D-2014-0177
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 부경대학교
연구사업명 글로벌연구실
연구과제명 동지나해 공동해역에서의 대기 강수시스템 및 호우 발달에 관한 연구
기 여 율 1/2
주관기관 부경대학교
연구기간 2014.04.01 ~ 2015.03.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 C-D-2014-0108
부처명 환경부
연구관리전문기관 부경대학교
연구사업명 기상씨앗기술개발사업
연구과제명 S밴드 이중편파레이더를 이용한 강수계 분석 및 한국의 지형효과를 고려한 레이더 강수량 예측 기술개발
기 여 율 1/2
주관기관 부경대학교
연구기간 2014.03.01 ~ 2015.02.28
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

강수량과 수평반사도(Z_{HH}), 차등반사도(Z_{DR}) 및 비차등위상변위(K_{DP})을 포함하는 이중편파레이더의 레이더 변수 각각에 대해 강수입자직경분포(Drop Size Distrbution; DSD)를 최대직경에 따라 분류하는 단계;

분류된 최대직경과 수평반사도(Z_{HH}) 및 차등반사도(Z_{DR})의 관계를 이용하여 최대직경산출관계식을 도출하는 단계;

도출된 최대직경산출관계식을 통해 산출된 최대직경을 일정 크기별로 분류하고, 분류된 크기별 강수량과 비차등위상변위(K_{DP})의 관계를 이용하여 계수 A 및 지수 b를 갖는 강수량추정관계식을 도출하는 단계;

도출된 강수량추정관계식의 상기 계수 A 및 지수 b를 최대직경에 따른 관계식으로 유도하는 단계;

유도된 계수 A 및 지수 b 각각의 관계식을 상기 도출된 강수량추정관계식에 적용하여 최적화된 강수량추정관계식을 도출하는 단계; 및

도출된 최적화된 강수량추정관계식을 이용하여 강수량을 추정하는 단계;

를 포함하는 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 최대직경산출관계식을 도출하는 단계는, 상기 수평반사도(Z_{HH})를 기반으로 하고 상기 차등반사도(Z_{DR})를 보정계수로 사용하는 최대직경산출관계식을 도출하며, 상기 도출된 최대직경산출관계식은 수학식 1로 표현되는 것을 특징으로 하는 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정 방법.

수학식 1:
$$D_{\max}=0.2429+0.0755\,Z_{HH}\,10^{0.0491\,Z_{DR}}-0.0016\,Z_{HH}^{2}\,10^{-1.5882\,Z_{DR}}$$

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 도출된 강수량추정관계식은 수학식 2로 표현되는 것을 특징으로 하는 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정 방법.

수학식 2:
$$R=A\,K_{DP}^{\,b}$$

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 유도된 계수 A 및 지수 b 각각의 관계식은 수학식 3 및 4로 표현되는 것을 특징으로 하는 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정 방법

수학식 3:
$$A=75.74-36.96\,D_{\max}+11.88\,D_{\max}^{2}-2.06\,D_{\max}^{3}+0.13\,D_{\max}^{4}$$

수학식 4:
$$b=0.59-0.59\,D_{\max}-0.32\,D_{\max}^{2}+0.07\,D_{\max}^{3}+0.01\,D_{\max}^{4}$$

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 강수량 추정 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 이중편파레이더에서 관측된 레이더 변수와 강수량 각각이 가지는 강수입자직경분포의 변동 특성을 기반으로 강수입자의 최대직경에 따른 강수량추정관계식의 변화를 정량화하여 강수량을 추정할 수 있는 강수량 추정 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 다양한 기상기술과 기상장비의 발달로 기상예보에서의 많은 발전이 이루어 졌지만 기후변화에 따른 집중호우와 위험기상의 빈번한 발생으로 인해 자연재해에 의한 피해가 매년 증가하고 있다.

[0003] 집중호우와 같은 위험기상은 좁은 지역에 많은 양의 강수가 집중되고 강수의 비상관거리(decorrelation distance)가 짧아 고분해능의 시공간자료를 획득하는 것이 무엇보다 중요하다.

[0004] 레이더는 다른 원격기상장비에 비해 관측반경 및 관측주기가 우수하고 실시간으로 위험기상 현상을 모니터링 할 수 있지만 실제 강수량을 직접 관측하는 것이 아니라 레이더에서 관측된 변수와 강수량의 관계식을 이용하여 강수량을 추정한다.

[0005] 특히, 레이더를 이용한 강수량 추정에서 강수량과 레이더 변수가 가지는 강수입자직경분포(rainDrop Size Distribution; DSD)의 적률(Moment)이 다르기 때문에 구름미세물리 및 강수역학과정의 변화에 기인하는 강수입자직경분포의 변동성에 의해 강수량 추정의 오차가 발생한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 상술한 종래의 문제를 해소하기 위해, 본 발명은, 최대직경에 따른 강수입자직경분포(DSD)의 변동 특성이 강수량과 이중편파레이더 변수에 미치는 영향을 고려하여 이중편파레이더 관측자료에 최적화된 강수량추정관계식을 도출함으로써 최대직경에 따른 강수량추정관계식의 변화를 정량화하여 강수량을 더욱 정확하게 추정할 수 있는 강수량 추정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시 형태는, 강수량과 수평반사도(Z_{HH}), 차등반사도(Z_{DR}) 및 비차등위상변위(K_{DP})을 포함하는 이중편파레이더 변수 각각에 대해 강수입자직경분포(Drop Size Distrbution; DSD)를 최대직경에 따라 분류하는 단계; 분류된 최대직경과 수평반사도(Z_{HH}) 및 차등반사도(Z_{DR})의 관계를 이용하여 최대직경산출관계식을 도출하는 단계; 도출된 최대직경산출관계식을 통해 산출된 최대직경을 일정 크기별로 분류하고, 분류된 크기별 강수량과 비차등위상변위(K_{DP})의 관계를 이용하여 계수 A 및 지수 b를 갖는 강수량추정관계식을 도출하는 단계; 도출된 강수량추정관계식의 상기 계수 A 및 지수 b를 최대직경에 따른 관계식으로 각각 유도하는 단계; 유도된 계수 A 및 지수 b 각각의 관계식을 상기 도출된 강수량추정관계식에 적용하여 최적화된 강수량추정관계식을 도출하는 단계; 및 도출된 최적화된 강수량추정관계식을 이용하여 강수량을 추정하는 단계;를 포함하는 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정 방법일 수 있다.

[0008] 또한, 상기 최대직경산출관계식을 도출하는 단계는, 상기 수평반사도(Z_{HH})를 기반으로 하고 상기 차등반사도(Z_{DR})를 보정계수로 사용하는 최대직경산출관계식을 산출하며, 상기 도출된 최대직경산출관계식은 수학식 1로 표현될 수 있다.

[0009] 수학식 1:

$$D_{\max}=0.2429+0.0755\,Z_{HH}\,10^{0.0491\,Z_{DR}}-0.0016\,Z_{HH}^{2}\,10^{-1.5882\,Z_{DR}}$$

[0010] 또한, 상기 도출된 강수량추정관계식은 수학식 2로 표현되며, 상기 유도된 계수 A, b의 관계식은 수학식 3 및 4로 각각 표현될 수 있다.

[0011] 수학식 2: $$R=AK_{DP}^{b}$$

[0012] 수학식 3: $$A=75.74-36.96D_{max}+11.88D_{max}^{2}-2.06D_{max}^{3}+0.13D_{max}^{4}$$

[0013] 수학식 4: $$b=0.59-0.59D_{max}-0.32D_{max}^{2}+0.07D_{max}^{3}+0.01D_{max}^{4}$$

발명의 효과

[0014] 본 발명에 따르면, 최대직경에 따른 강수입자직경분포 특성을 이용하여 이중편파레이더 관측자료에 최적화된 강수량추정관계식을 적용함으로써 단일강수량추정관계식을 적용하였을 때보다 각 강수구간에서의 변동폭이 감소하고 전 강수영역에서 균일한 강수량을 산출할 수 있다.

[0015] 이로써 본 발명은, 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정의 정확성을 향상시키고, 강수예측의 단기예보 정확도를 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 최대직경에 따른 강수입자직경분포 특성을 이용한 정량적 강수량 추정 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 2는, 강수입자의 최대직경에 따른 강수량, 수평반사도(Z_{HH}), 차등반사도(Z_{DR}) 및 비차등위상변위(K_{DP}) 각각의 강수입자분포특성의 변동 특성을 도시한 도면이다.

도 3은, 본 발명에 따른 최대직경산출관계식으로 계산된 최대직경과 관측된 최대직경의 산포도를 도시한 도면이다.

도 4는, 최대직경에 따라 분류된 강수량과 비차등위상변위(K_{DP})의 산포도를 도시한 도면이다.

도 5는, 최대직경에 따라 분류된 계수 A 및 지수 b 각각의 유도방정식을 나타낸 도면이다.

도 6은, 종래 단일 강수량추정관계식과 본 발명에 따른 최적화된 강수량추정관계식을 각각 적용하여 강수량을 추정한 결과를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

[0018] 본 발명은, 강수입자직경분포(DSD)가 강수입자의 형성과 성장에 미치는 구름미세물리과정 및 구름역학과정의 최종결과물로써 강수입자직경분포(DSD)의 변동성이 강수의 변동성과 직결되며, 강수입자직경분포(DSD)의 최대직경이 각 레이더 변수 크기에 많은 영향을 미친다는 점을 고려하여, 최대직경에 따른 강수입자직경분포(DSD) 변동 특성에 기반하는 강수량 추정 방법을 제안하고자 한다.

[0019] 즉, 본 발명은, 최대직경에 따른 강수입자직경분포(DSD)의 변동 특성이 강수량추정관계식에서 일정한 변화 경향으로 나타나므로, 최대직경에 따른 강수량추정관계식의 변화를 정량화하여 레이더 강수량을 추정하는 방법을 제안한다.

[0020] 도 1은, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 이중편파레이더를 이용한 정량적 강수량 추정 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0021] 도 1을 참조하면, 본 발명의 정량적 강수량 추정 방법은, 강수량 및 이중편파레이더 변수 각각에 대해 강수입자

직경분포(DSD)를 강수입자 최대직경에 따라 분류하는 과정(S10), 최대직경산출관계식을 도출하는 과정(S20), 강수량추정관계식을 도출하는 과정(S30), 강수량추정관계식의 계수 A 및 지수 b 각각의 관계식을 유도하는 과정(S40), 최적화된 강수량추정관계식을 이용하여 강수량을 추정하는 과정(S50)을 포함할 수 있다.

[0022] 구체적으로, 먼저, 강수량 및 이중편파레이더 변수 각각에 대해 강수입자직경분포(DSD)를 강수입자 최대직경에 따라 분류하는 과정(S10)은, 관측된 강수량 및 이중편파레이더 변수별로 강수입자직경분포(DSD)를 강수입자의 최대직경(Dmax)에 따라 분류하는 것에 의해 이루어질 수 있다. 여기서, 이중편파레이더 변수는 이중편파레이더에서 관측된 수평반사도(Horizontal reflectivity, Z_{HH}), 차등반사도(Differential reflectivity, Z_{DR}) 및 비차등위상변위(Specific differential phase, K_{DP})를 포함할 수 있다.

[0023] 최대직경에 따른 강수입자직경분포의 분류 결과, 강수량과 레이더 변수가 가지는 강수입자직경분포(DSD)의 적률(Moment)이 다르며 최대직경에 따른 강수입자직경분포(DSD)의 변동 특성은 최대직경에 따라 일정한 변화 경향을 나타내는데 강수량 및 이중편파레이더 변수 각각에서 다른 변동 특성으로 나타난다. 강수량 및 이중편파레이더 변수 각각에 대한 강수입자직경분포(DSD)의 변동 특성에 대해서는 도 2를 참조하여 설명하도록 한다.

[0024] 참고로, 강수입자직경분포(DSD)를 최대직경에 따라 분류하였을 때, 상대적으로 작은 최대직경에서 강수입자직경분포(DSD)의 모양은 위로 볼록한 형태로 보이는 반면 최대직경이 증가할수록 강수입자직경분포(DSD)의 모양이 선형에 가까워지고, 6mm 이상의 최대직경에서는 아래로 볼록한 형태를 나타낸다.

[0025] 도 2는, 강수입자의 최대직경에 따른 강수량, 수평반사도(Z_{HH}), 차등반사도(Z_{DR}) 및 비차등위상변위(K_{DP}) 각각의 강수입자분포특성의 변동 특성을 도시한 도면으로, (a)는 강수량, (b)는 비차등위상변위(K_{DP}), (c)는 수평반사도(Z_{HH}), (d)는 차등반사도(Z_{DR}) 각각의 최대직경에 따른 분포도이다.

[0026] 도 2의 (a) 내지 (d)를 참조하면, 이중편파레이더 변수, 즉, 수평반사도(Z_{HH}), 차등반사도(Z_{DR}) 및 비차등위상변위(K_{DP})와 강수량의 평균값이 최대직경이 증가할수록 증가함을 알 수 있다.

[0027] 또한, 강수량과 비차등위상변위(K_{DP})는 최대직경이 증가할수록 변동폭이 커지며, 차등반사도(Z_{DR})는 작은 최대직경에서 가장 큰 변동폭이 나타나고 이후 일정한 변동폭을 가지며, 수평반사도(Z_{HH})는 최대직경이 증가할수록 변동폭이 선형으로 감소함을 알 수 있다.

[0028] 이와 같이 강수량과 이중편파레이더 변수가 가지는 강수입자직경분포(DSD)의 적률(Moment) 및 변동 특성이 다르게 나타나므로, 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정시 강수입자직경분포(DSD)의 변동성에 의한 강수량 추정의 오차가 발생할 수 있다.

[0029] 특히, 강수입자직경분포(DSD)의 최대직경은 각 변수 크기에 많은 영향을 미치기 때문에 최대직경의 변화는 강수량과 이중편파레이더 변수의 차이를 증폭시킨다.

[0030] 따라서 본 발명에서는, 강수입자직경분포(DSD)의 변동 특성을 기반으로 최대직경에 따른 강수량추정관계식의 변화를 정량화함으로써 강수량 추정의 오차를 줄일 수 있다.

[0031] 다음으로, 최대직경산출관계식을 도출하는 과정(S20)은, 최대직경과 수평반사도(Z_{HH}) 및 차등반사도(Z_{DR})의 관계를 이용하여 최대직경산출관계식을 도출하는 것에 의해 이루어질 수 있다.

[0032] 본 발명에 있어서, 최대직경에 따라 상대적으로 선형 증가하는 수평반사도(Z_{HH}) 및 차등반사도(Z_{DR})를 이용하여 최대직경을 산출할 수 있다.

[0033] 예를 들어, 최대직경산출관계식은 비선형최소자승적법(Non-linear least squares curve fitting)인 IDL(Interactive Data Language)의 MPFIT(Markwardt, 2009) 모듈을 이용하여 산출될 수 있다.

[0034] 즉, 본 발명에 따른 최대직경산출관계식은 선형적으로 변동폭이 감소하는 수평반사도(Z_{HH})를 기반으로 하고 차등반사도(Z_{DR})를 보정계수로 하여 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

[0035] 수학식 1: $$D_{\max}=0.2429+0.0755\,Z_{HH}\,10^{0.0491\,Z_{DR}}-0.0016\,Z_{HH}^{2}\,10^{-1.5882\,Z_{DR}}$$

[0036] 이러한 최대직경산출관계식의 오차검증에 대해서는 도 3을 참조하여 설명하도록 한다.

[0037] 도 3은, 본 발명에 따른 최대직경산출관계식으로 계산된 최대직경과 관측된 최대직경의 산포도를 도시한 도면이다.

[0038] 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 최대직경산출관계식의 평균제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 0.346, 정규오차(Normalized Error, NE)는 0.113임을 알 수 있다.

[0039] 즉, 본 발명에 따른 최대직경산출관계식에 의해 계산된 최대직경의 변동성이 작음을 알 수 있다.

[0040] 다음으로, 강수량추정관계식을 도출하는 과정(S30)은, S20 과정에서 도출된 최대직경산출관계식에서 회수된 최대직경을 일정 구간별로 분류하고 분류된 구간별로 강수량추정관계식을 도출하는 것에 의해 이루어질 수 있다.

[0041] 예를 들어, 도출된 최대직경산출관계식을 통해 회수된 최대직경을 0.5 mm 간격으로 분류하고 분류 결과로부터 강수량(R)과 비차등위상변위(K_{DP})의 관계를 이용하여 최소자승법을 통해 강수량추정관계식을 도출할 수 있고, 도출된 강수량추정관계식은 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

[0042] 수학식 2: $$R=A\,K_{DP}^{\,b}$$

[0043] 그리고, 도출된 최대직경산출관계식을 통해 회수된 최대직경을 0.5 mm 간격으로 분류한 결과는 도 4와 같다.

[0044] 도 4는, 최대직경에 따라 분류된 강수량과 비차등위상변위(K_{DP})의 산포도를 도시한 도면이며, (a) 내지 (l)은 1.5 mm 내지 7.0 mm의 최대직경에 대한 강수량과 비차등위상변위(K_{DP})의 산포도이다.

[0045] 도 4의 (a) 내지 (l)을 참조하면, 0.5 mm 간격으로 분류된 최대직경에 따라 상수 A값은 43.94에서 5.97로 감소하였다가 6 mm 이상에서 10.59로 증가하고, 지수 b값은 전체적으로 0.98에서 1.27로 증가하였다가 6 mm 이상에서 0.77로 감소하고 있음을 알 수 있다.

[0046] 다음으로, 강수량추정관계식의 계수 A 및 지수 b 각각의 관계식을 유도하는 과정(S40)은, 도출된 강수량추정관계식의 계수 A 및 지수 b를 최대직경에 따른 관계식으로 유도하는 것에 의해 이루어질 수 있다.

[0047] 예를 들어, 도출된 강수량추정관계식의 계수 A 및 지수 b를 비선형최소자승적법인 IDL의 MPFIT 모듈을 이용하여 최대직경에 따른 4차방정식으로 유도할 수 있고, 수학식 3 및 4와 같이 각각 표현될 수 있다.

[0048] 수학식 3: $$A=75.74-36.96\,D_{\max}+11.88\,D_{\max}^{2}-2.06\,D_{\max}^{3}+0.13\,D_{\max}^{4}$$

[0049] 수학식 4: $$b=0.59-0.59\,D_{\max}-0.32\,D_{\max}^{2}+0.07\,D_{\max}^{3}+0.01\,D_{\max}^{4}$$

[0050] 여기서, 도출된 강수량추정관계식의 계수 A 및 지수 b 각각의 유도방정식은 도 5와 같다.

[0051] 도 5는, 최대직경에 따른 상수 A 및 지수 b 각각의 유도방정식을 나타낸 도면으로, (a)는 상수 A, (b)는 지수 b를 각각 나타낸다.

[0052] 도 5의 (a) 및 (b)를 참조하면, 상수 A 값은, 최대직경이 커짐에 따라 감소하다가 6 mm 이상에서 다시 증가하며, 지수 b 값은, 최대직경이 커짐에 따라 점차 증가하다가 6 mm 이상에서 감소하는 경향을 보임을 알 수

있다.

[0053] 이와 같이 최대직경의 4차방정식으로 표현된 상수 A 및 지수 b를 도출된 강수량추정관계식에 적용함으로써 관측자료에 최적화된 강수량추정관계식을 도출할 수 있다.

[0054] 다음으로, 최적화된 강수량추정관계식을 이용하여 강수량을 추정하는 과정(S50)은, 유도된 상수 A 및 지수 b 관계식을 도출된 강수량추정관계식에 적용하여 관측자료에 최적화된 강수량추정관계식($R(K_{DP})D_{MAX}$)을 도출하고, 도출된 최적화된 강수량추정관계식을 이용하여 강수량을 추정하는 것에 의해 이루어질 수 있다.

[0055] 이와 같이, 본 발명에 따른 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정 방법은, 이중편파레이더에서 관측된 레이더변수와 강수량이 각각 가지는 강수입자직경분포(DSD)의 변동 특성에 기초하여 최대직경에 따른 강수량추정관계식의 변화를 정량화함으로써 각 관측자료의 최적화된 강수량추정관계식을 도출할 수 있고, 이를 통해 정량적인 강수량 추정을 가능하게 할 수 있다.

[0056] 도 6은, 종래 단일 강수량추정관계식과 본 발명에 따른 최적화된 강수량추정관계식을 각각 적용하여 강수량을 추정한 결과를 도시한 도면으로, (a)는 종래 단일강수량추정관계식($R(K_{DP})$)을 적용한 경우, (b)는 본 발명에 따른 최적화된 강수량추정관계식($R(K_{DP})_{Dmax}$)을 적용한 경우를 각각 나타낸다.

[0057] 도 6의 (a) 및 (b)를 참조하면, 단일 강수량추정관계식으로 산출된 강수량 추정 결과와 본 발명에 따른 최적화된 강수량추정관계식으로 산출된 강수량 추정 결과를 비교해 보면, 단일강수량추정관계식의 경우 강수량이 증가할수록 커졌던 변동폭이, 본 발명에 따른 최적화된 강수량추정관계식의 경우 전체구간에서 감소하였으며, 강수량이 증가할수록 커졌던 변동폭이 감소하였으며 과소추정되었던 강수량이 실제 강수량과 근사한 값으로 산출되었음을 알 수 있다.

[0058] 또한, 평균제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 2.15에서 0.827로, 정규오차(Normalized Error, NE)는 0.2에소 0.1로 각각 감소하였음을 알 수 있다.

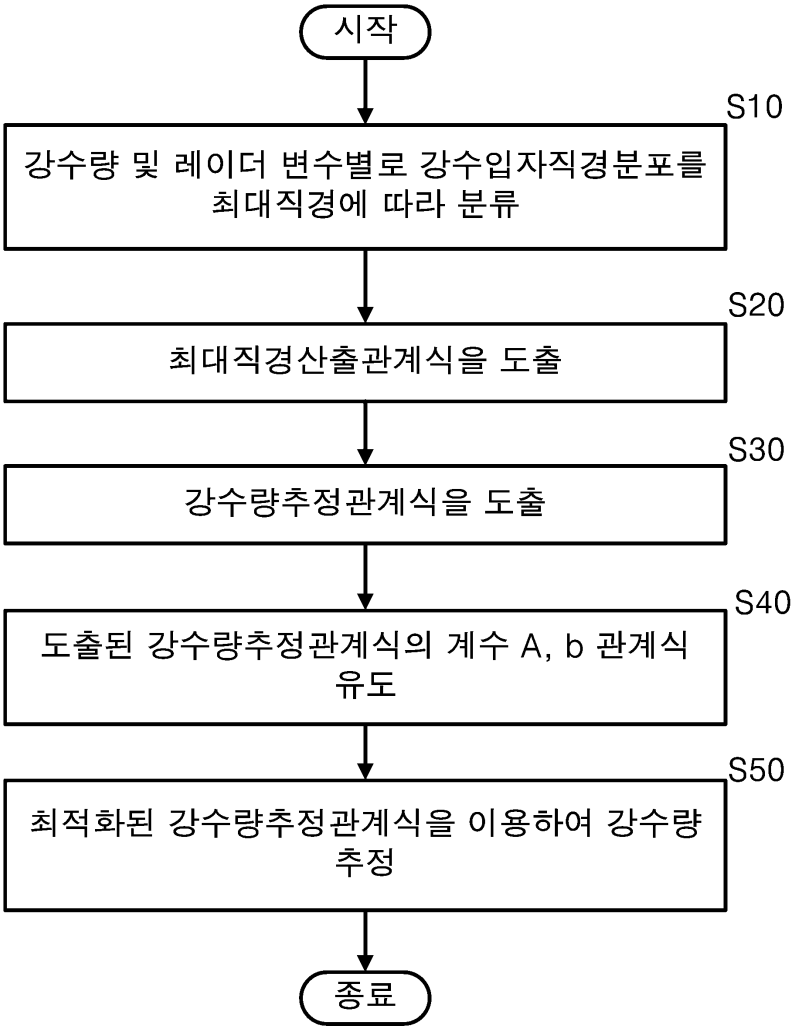
[0059] 즉, 본 발명에 따른 이중편파레이더를 이용한 강수량 추정 방법은, 단일 강수량추정관계식에 따른 강수량 추정 결과보다 강수량 추정 정확도가 향상되었음을 알 수 있다.

[0060] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들을 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 한다.

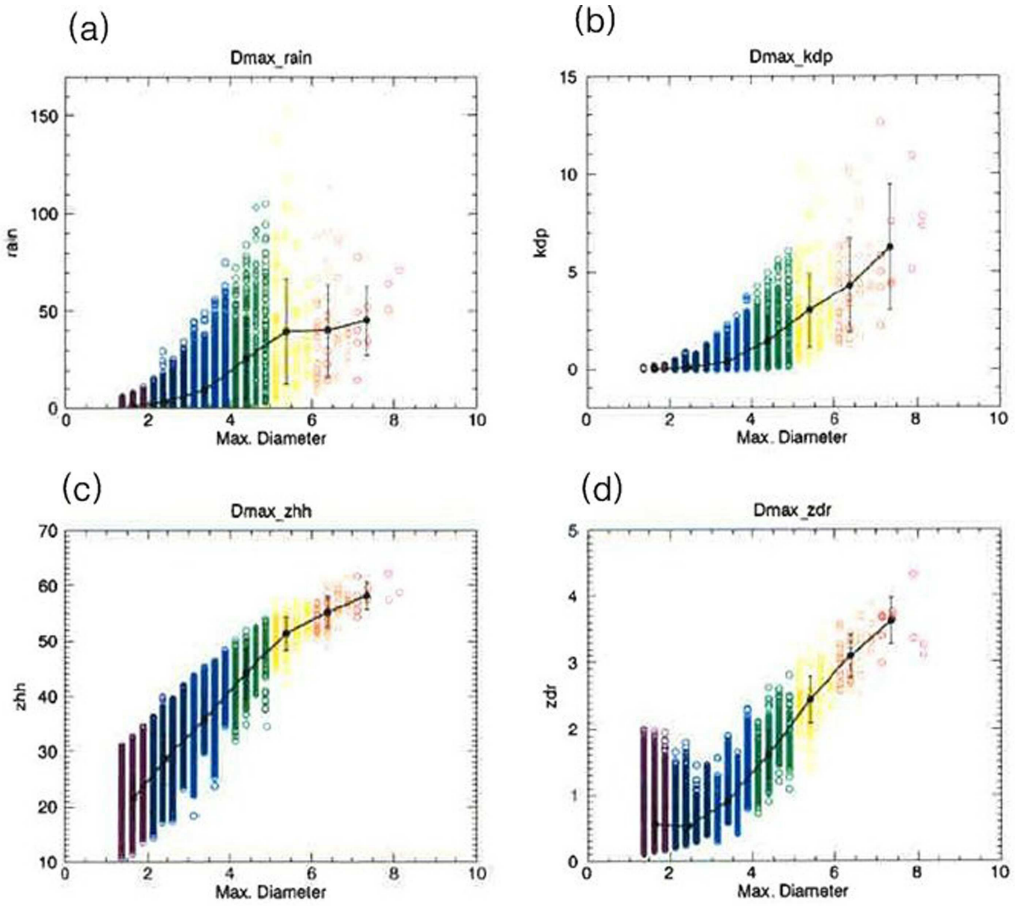
[0061] 또한, 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

도면

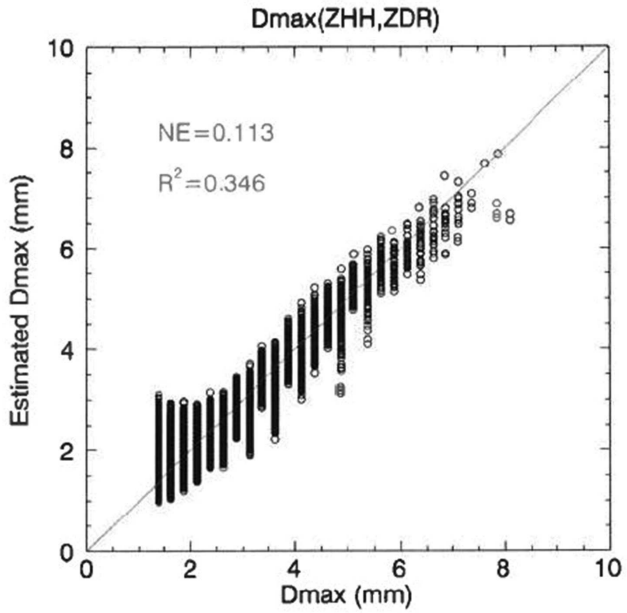
도면1


시작
S10
강수량 및 레이더 변수별로 강수입자직경분포를 최대직경에 따라 분류
S20
최대직경산출관계식을 도출
S30
강수량추정관계식을 도출
S40
도출된 강수량추정관계식의 계수 A, b 관계식 유도
S50
최적화된 강수량추정관계식을 이용하여 강수량 추정
종료

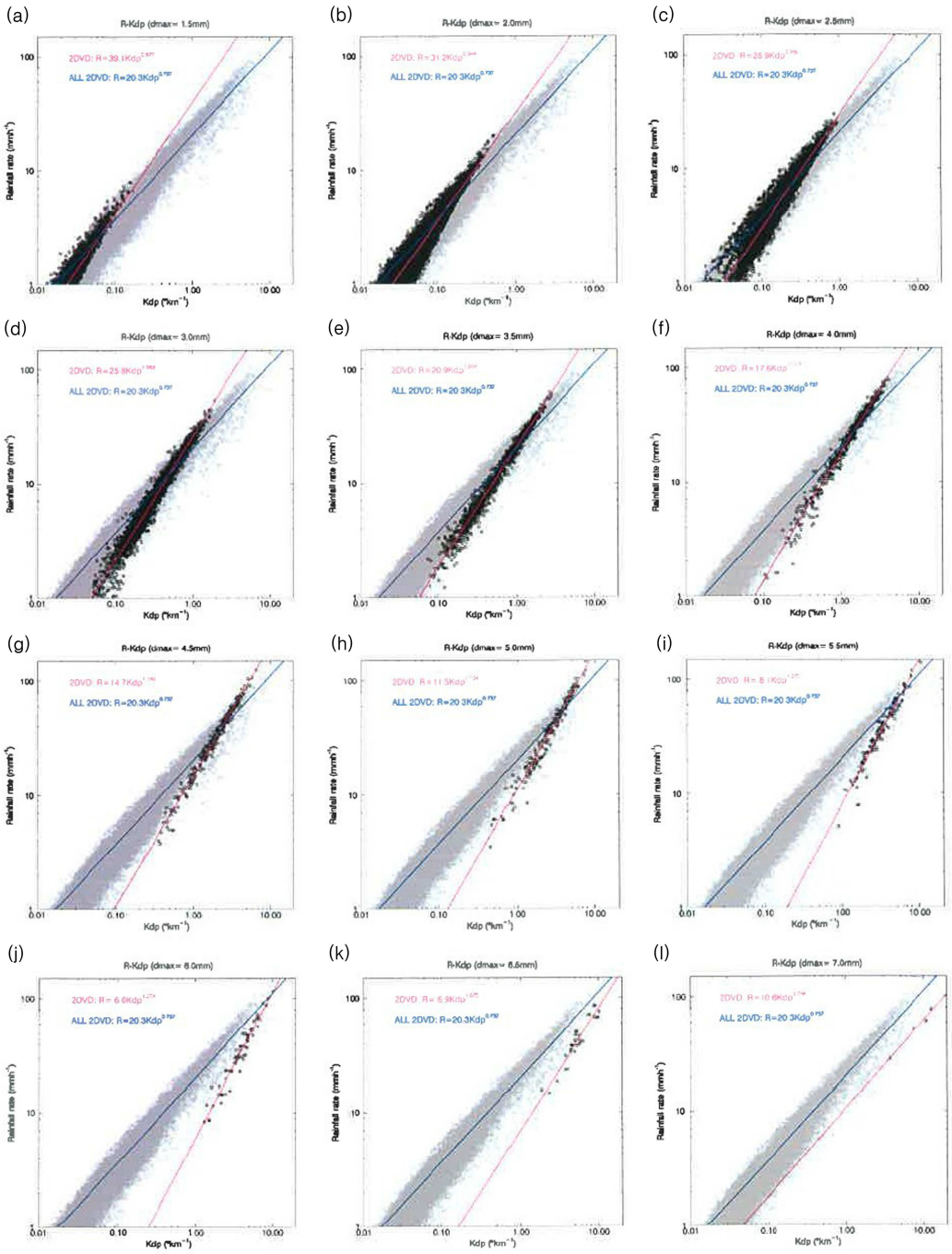
도면2


(a)
Dmax_rain
rain
Max. Diameter
(b)
Dmax_kdp
kdp
Max. Diameter
(c)
Dmax_zhh
zhh
Max. Diameter
(d)
Dmax_zdr
zdr
Max. Diameter

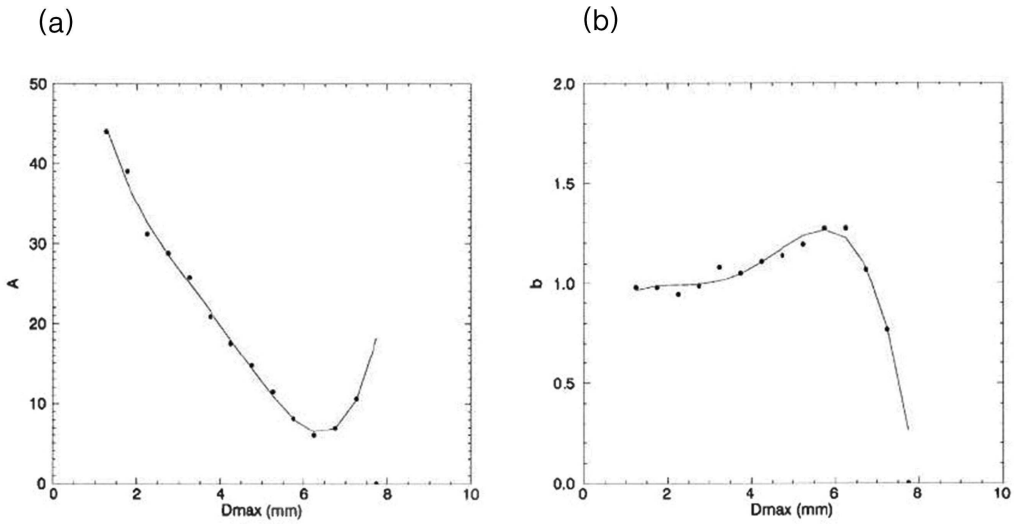
도면3


Dmax(ZHH,ZDR)
NE=0.113
R²=0.346
Estimated Dmax (mm)
Dmax (mm)

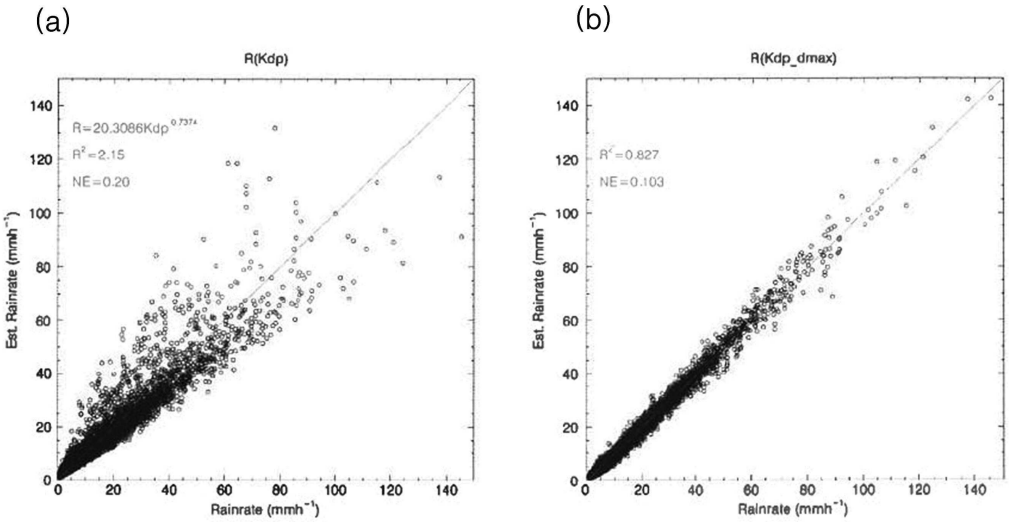
도면4


(a)
R-Kdp (dmax= 1.5mm)
2DVD: R=39.1Kdp^2.977
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(b)
R-Kdp (dmax= 2.0mm)
2DVD: R=31.2Kdp^2.944
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(c)
R-Kdp (dmax= 2.5mm)
2DVD: R=28.9Kdp^2.876
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(d)
R-Kdp (dmax= 3.0mm)
2DVD: R=25.8Kdp^2.868
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(e)
R-Kdp (dmax= 3.5mm)
2DVD: R=20.9Kdp^2.777
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(f)
R-Kdp (dmax= 4.0mm)
2DVD: R=17.6Kdp^2.
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(g)
R-Kdp (dmax= 4.5mm)
2DVD: R=14.7Kdp^2.745
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(h)
R-Kdp (dmax= 5.0mm)
2DVD: R=11.5Kdp^2.734
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(i)
R-Kdp (dmax= 5.5mm)
2DVD: R=8.1Kdp^2.725
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(j)
R-Kdp (dmax= 6.0mm)
2DVD: R=6.6Kdp^2.724
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(k)
R-Kdp (dmax= 6.5mm)
2DVD: R=6.9Kdp^2.675
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
(l)
R-Kdp (dmax= 7.0mm)
2DVD: R=10.6Kdp^2.734
ALL 2DVD: R=20.3Kdp^0.737
Rainfall rate (mmh^-1)
Kdp (°km^-1)
100
10
0.01
0.10
1.00
10.00

도면5


(a)
(b)
A
Dmax (mm)
b
Dmax (mm)

도면6


(a)
(b)
R(Kdp)
R=20.3086Kdp^0.7374
R²=2.15
NE=0.20
Est. Rainrate (mmh⁻¹)
Rainrate (mmh⁻¹)
R(Kdp_dmax)
R²=0.827
NE=0.103
Est. Rainrate (mmh⁻¹)
Rainrate (mmh⁻¹)