(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년04월28일
(11) 등록번호 10-1616481
(24) 등록일자 2016년04월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 13/95 (2006.01) *G01W 1/14* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0142569
(22) 출원일자 2014년10월21일
심사청구일자 2014년10월21일
(56) 선행기술조사문헌
KR100922130 B1*
KR1020120125900 A*
KR101263121 B1
KR101451548 B1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
이동인
부산광역시 남구 용소로 45, 4호관 4309호(대연동, 부경대학교대연캠퍼스)
유철환
부산광역시 남구 용소로 45, 4호관 4324호(대연동, 부경대학교대연캠퍼스)
이정태
부산광역시 남구 용소로 45, 4호관 4324호(대연동, 부경대학교대연캠퍼스)
(74) 대리인
특허법인부경

전체 청구항 수 : 총 4 항 심사관 : 변영석

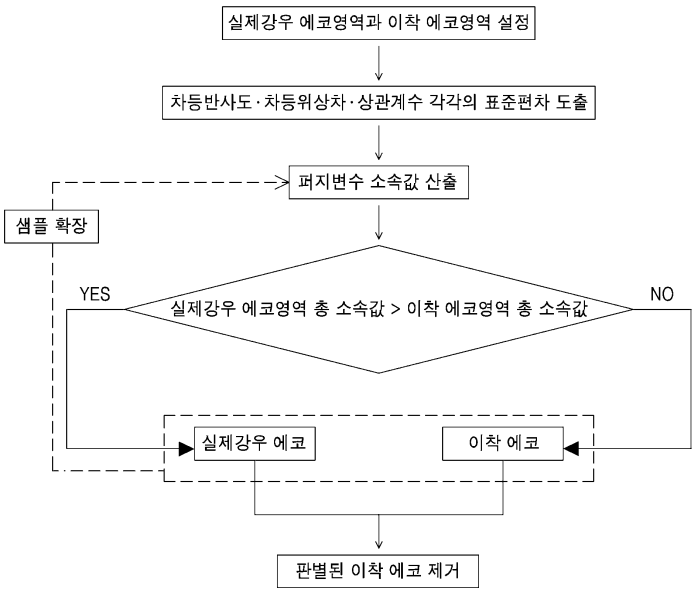
(54) 발명의 명칭 **정량적 강우량 추정을 위한 이착 에코 완화방법**

(57) 요 약

본 발명은 정량적 강우량 추정을 위한 이착 에코 완화방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 이중편파 레이더 시스템에서 관측되는 반사도로부터 산출되는 변수들을 이용하여 판별되는 이착 에코를 제거할 수 있는 정량적 강우량 추정을 위한 이착 에코 완화방법에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



이러한 본 발명은, 이중편파 레이더 시스템의 실시간으로 관측되는 레이더 반사도에서 실제강우 에코영역과 이착 에코영역을 설정하는 제1단계; 상기 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 반사도 표준편차, 차등반사도 표준편차, 차등위상차 표준편차, 상관계수 표준편차를 포함하는 제1퍼지함수들을 도출하는 제2단계; 및 상기 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 제1퍼지함수들에 가중치를 적용하여 상기 각각의 제1퍼지함수들의 총 소속값을 산출하고, 상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값과 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값을 비교하여 실제강우 에코와 이착 에코를 판별한 후, 상기 판별된 이착 에코를 상기 레이더 반사도로부터 제거하는 제3단계;를 포함하되,

상기 제3단계는, 상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값이 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값보다 크면 실제강우 에코로 판별하고, 상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값이 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값보다 작으면 이착 에코로 판별하는 것을 특징으로 하는 정량적 강우량 추정을 위한 이착에코 완화방법을 기술적 요지로 한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 K200603874
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 부경대학교 산학협력단
연구사업명 국제공동연구사업-글로벌연구실
연구과제명 동지나해 공동해역에서의 대기 강수시스템 및 호우 발달에 관한 연구
기 여 율 1/2
주관기관 부경대학교 산학협력단
연구기간 2014.04.01 ~ 2015.03.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 CATER 2012-2071
부처명 환경부
연구관리전문기관 부경대학교 산학협력단
연구사업명 기상기술개발사업
연구과제명 한국의 지형효과를 고려한 레이더강수량예측 기술개발
기 여 율 1/2
주관기관 부경대학교 산학협력단
연구기간 2014.03.01 ~ 2015.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

이중편파 레이더 시스템의 실시간으로 관측되는 레이더 반사도에서 실제강우 에코영역과 이착 에코영역을 설정하는 제1단계;

상기 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 반사도 표준편차, 차등반사도 표준편차, 차등위상차 표준편차, 상관계수 표준편차를 포함하는 제1퍼지함수들을 도출하는 제2단계; 및

상기 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 제1퍼지함수들에 가중치를 적용하여 상기 각각의 제1퍼지함수들의 총 소속값을 산출하고, 상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값과 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값을 비교하여 실제강우 에코와 이착 에코를 판별한 후, 상기 판별된 이착 에코를 상기 레이더 반사도로부터 제거하는 제3단계;를 포함하되,

상기 제3단계는,

상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값이 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값보다 크면 실제강우 에코로 판별하고, 상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값이 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값보다 작으면 이착 에코로 판별하는 것을 특징으로 하는 정량적 강우량 추정을 위한 이착에코 완화방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제3단계의 가중치는,

상기 이중편파 레이더 시스템에서 과거의 레이더 반사도 자료를 수집하여, 상기 수집된 과거의 레이더 반사도 자료로부터 반사도에 대한 차등반사도의 표준편차, 차등위상차의 표준편차, 상관계수의 표준편차를 포함하는 제2퍼지함수들을 이용하여 분포함수를 도출하는 단계; 및

상기 도출된 분포함수로부터 제2퍼지함수들 각각의 가중치를 구하는 단계;를 포함하여 산출되는 것을 특징으로 하는 정량적 강우량 추정을 위한 이착에코 완화방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 가중치는,

상기 도출된 분포함수가 중첩하는 영역에 반비례하는 관계이며, 하기 수학식 1에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 정량적 강우량 추정을 위한 이착에코 완화방법.

[수학식 1]

$$W_{zdr}=\frac{1}{AD},W_{phi}=\frac{1}{BD},W_{rhv}=\frac{1}{CD},D=\frac{1}{A}+\frac{1}{B}+\frac{1}{C}$$

(여기서, W는 가중치를, zdr은 차등반사도를, phi는 차등위상차를, rhv는 상관계수를, A, B, C는 실제강우 에코와 이착 에코의 제2퍼지함수 각각에 대한 분포함수의 중첩 영역, D는 실제강우 에코와 이착 에코에 대한 분포함수의 중첩 영역 합을 나타낸다.)

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 총 소속값은,

상기 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 제1퍼지함수 소속값들의 총합이며, 하기 수학식 2에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 정량적 강우량 추정을 위한 이착에코 완화방법.

[수학식 2]

$$MV_t = \sum_{k=1}^{n} MV_k \times W_k$$

(여기서, MV_t는 총 소속값을, MV_k는 제1퍼지함수 각각 소속값을, W는 가중치를 나타낸다.)

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 정량적 강우량 추정을 위한 이착 에코 완화방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 이중편파 레이더 시스템에서 관측되는 반사도로부터 산출되는 변수들을 이용하여 판별되는 이착 에코를 제거할 수 있는 정량적 강우량 추정을 위한 이착 에코 완화방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 이중편파 기상레이더는 관측전략에 따라 여러 분야로 활용될 수 있는 유용한 기기로 알려져 있다. 최근, 국내에 빈번하게 발생하는 국지성 집중 호우에 의한 피해를 줄이기 위하여 이중편파 기기의 필요성이 대두되고 있으며, 점차적으로 모든 기종의 레이더를 이중편파 레이더로 교체하는 과정에 있다.

[0003] 상기한 이중편파 레이더를 활용한 종래 기술로는 다수 출원되어 있으며, 특히 '이중편파 레이더를 이용한 기상 및 비기상 에코 분류 방법(출원번호: 10-2011-0043-636)'은, 실시간 관측 자료로부터 퍼지변수들을 산출하고 통계분석방법에 기초한 퍼지논리를 통하여 미리 구한 소속함수 및 가중치를 산출한 퍼지변수들에 적용하여 총 소속값을 산출한 후 산출된 총 소속값과 임계치를 비교하여 기상 및 비기상 에코를 판별하고자 하였다.

[0004] 한편, 이러한 이중편파는 여러 가지로 산출된 변수들을 활용하여 대기수상체를 분류하거나 변수들의 특징을 사용한 자료품질 향상으로 정확한 지상 강우량을 산출할 수 있다는 장점이 있다.

[0005] 외국의 경우, 각 변수들의 특징을 통해 자료의 품질을 향상시키고 보다 신뢰성 있는 강우량을 산출할 수 있다는 특징을 잘 활용한 연구들이 많이 진행되고 있다. 그러나, 국내의 경우 아직은 많이 부족한 실정이며, 특히 이착에코 발생에 따른 제거 가능한 기술은 아직 연구와 이에 따른 활용이 활성화되지 않고 있다.

[0006] 이착 에코는 기상레이더의 최대탐측범위 밖에 있는 강우가 관측되어 탐측범위 내에 존재하는 강우로 오인되는 에코를 의미하며, 지형클러터나 채프, 청천에코를 의미하는 비기상에코와는 구분되는 특징을 가진다.

[0007] 여기서, 레이더 기기의 특성상 탐측 고도각이 낮을수록 이착 에코가 빈번하게 관측되곤 하는데, 이 경우에 이착에코를 실제강우 에코로 오인하여 강우량 산출에 오차를 더욱 크게 만드는 요인이 될 수 있으므로 이착 에코는 필수적으로 제거 되어야 한다.

[0008] 그러나, 현재로써는 관측 범위 밖에 위치하면서 관측 범위 안에 있는 것처럼 보이는 이착에코를 소프트웨어적으로 제거 및 완화할 수 있는 방안이 활성화되어 있지 않은 실정이므로, 이와 관련된 기술개발이 절실히 요구되는 시점이다.

[0009] 즉, 국내의 경우 각 부처에서 다양한 목적을 위해 레이더를 운영하고 있는데, 기상청은 예보 및 위험기상 감시, 국방부는 군사작전을 위한 기상지원, 국토교통부는 홍수예보, 항공우주연구원은 우주발사체 기상지원을 위한 기상레이더를 중점으로 운영하고 있다. 이에 따라, 수입에만 전적으로 의지하던 기상레이더를 국산화하려는 시도가 이어지고 있어, 앞으로 관련시장의 규모는 더욱 커질 것으로 예상되므로 이와 관련된 연구가 시급한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) KR 10-1221773 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기한 문제점을 해소하기 위하여 발명된 것으로, 이중편파 레이더의 최대탐측범위 밖에 위치하면서도 최대탐측범위 안에 위치하는 것으로 오인되는 이착 에코를 제거할 수 있는 정량적 강우량 추정을 위한 이착에코 완화방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 이중편파 레이더 시스템의 실시간으로 관측되는 레이더 반사도에서 실제강우 에코영역과 이착 에코영역을 설정하는 제1단계; 상기 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 반사도 표준편차, 차등반사도 표준편차, 차등위상차 표준편차, 상관계수 표준편차를 포함하는 제1퍼지함수들을 도출하는 제2단계; 및 상기 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 제1퍼지함수들에 가중치를 적용하여 상기 각각의 제1퍼지함수들의 총 소속값을 산출하고, 상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값과 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값을 비교하여 실제강우 에코와 이착 에코를 판별한 후, 상기 판별된 이착 에코를 상기 레이더 반사도로부터 제거하는 제3단계;를 포함하되, 상기 제3단계는, 상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값이 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값보다 크면 실제강우 에코로 판별하고, 상기 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값이 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값보다 작으면 이착 에코로 판별하는 것을 특징으로 하는 정량적 강우량 추정을 위한 이착에코 완화방법을 기술적 요지로 한다.

[0013] 삭제

[0014] 상기 제3단계의 가중치는, 상기 이중편파 레이더 시스템에서 과거의 레이더 반사도 자료를 수집하여, 상기 수집된 과거의 레이더 반사도 자료로부터 반사도에 대한 차등반사도의 표준편차, 차등위상차의 표준편차, 상관계수의 표준편차를 포함하는 제2퍼지함수들을 이용하여 분포함수를 도출하는 단계; 및 상기 도출된 분포함수로부터 제2퍼지함수들 각각의 가중치를 구하는 단계;를 포함하여 산출되는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 가중치는, 상기 도출된 분포함수가 중첩하는 영역에 반비례하는 관계이며, 하기 수학식 1에 의해 산출되는 것을 특징으로 한다.

[0016] [수학식 1]

[0017] $$W_{zdr}=\frac{1}{AD},\ W_{phi}=\frac{1}{BD},\ W_{rhv}=\frac{1}{CD},\ D=\frac{1}{A}+\frac{1}{B}+\frac{1}{C}$$

[0018] (여기서, W는 가중치를, zdr은 차등반사도를, phi는 차등위상차를, rhv는 상관계수를, A, B, C는 실제강우 에코와 이착 에코의 제2퍼지함수 각각에 대한 분포함수의 중첩 영역, D는 실제강우 에코와 이착 에코에 대한 분포함수의 중첩 영역 합을 나타낸다.)

[0019] 상기 총 소속값은, 상기 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 제1퍼지함수 소속값들의 총합이며, 하기 수학식 2에 의해 산출되는 것을 특징으로 한다.

[0020] [수학식 2]

[0021] $$MV_t = \sum_{k=1}^{n} MV_k \times W_k$$

[0022] (여기서, MV_t는 총 소속값을, MV_k는 제1퍼지함수 각각 소속값을, W는 가중치를 나타낸다.)

발명의 효과

[0023] 상기 과제의 해결 수단에 의한 본 발명에 따른 정량적 강우량 추정을 위한 이착 에코 완화방법은, 산출된 실제 강우 에코영역의 소속값들이 산출된 이착 에코영역의 소속값들보다 작으면 이착 에코로 판별한 후에 레이더 반사도 상에서 제거함으로써 정확한 강우량을 추정할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 순서도.

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 실제강우 에코영역과 이착 에코영역을 설정한 레이더 PPI 화상도.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 각 변수들의 표준편차에 대한 확률밀도 함수를 도시한 레이더 PPI 화상도.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 각 변수들의 표준편차를 도시한 그래프.

도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 이착 에코 제거 전과 후의 실시영상도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명을 기술하기에 앞서, 현재 기상청의 이중편파 기상레이더는 테스트 베드를 설치하여 운영중에 있으며 이중편파 레이더 자료 품질관리의 경우 시작단계에 있다. 이에, 향후 교체될 레이더를 고려하여 자료의 품질관리에 노력을 많이 기울여야 할 시점에 도달하였다.

[0026] 구체적으로, 관측기기를 이용한 원격탐사는 뛰어난 시공간적 분해능을 가진 자료를 얻을 수 있으므로 여러 분야에 활용되고 있다. 특히, 기상레이더를 이용한 대기 원격탐사의 경우 광범위한 공간 내에 존재하는 강우의 위치와 강도를 즉시 파악할 수 있으며, 연속적으로 감시하여 그 변화나 이동 상태를 포착하고 예측에 활용될 수 있는 장점이 있다.

[0027] 하지만, 광범위한 대기 공간을 탐측하기 때문에 기상레이더의 목표가 되는 강우 외 비 강우 물체가 관측되어 강우로 오인될 수 있을 뿐만 아니라 탐측공간범위를 초과하는 위치에 있는 강우가 관측되는 경우 탐측공간 내에 존재하는 강우로 잘못 인지(range aliasing)되는 경우가 발생한다.

[0028] 이러한 경우로 잘못 인지된 오류를 이착 에코(second-strip echo)라 하며, 정량적인 강우량을 측정하고 예측하는데 있어서 많은 오차를 가져오기 때문에 제거되어야 하는 대상이 된다.

[0029] 이에 따른 오류를 제거하기 위해서 탐측 후 실시되는 signal processing이나 관측전략 수정방법이 사용될 수 있는데, 그러한 과정을 거친 자료라 하더라도 제대로 제거되지 못할 가능성이 있다.

[0030] 따라서, 이착 에코에 대해 분석된 특징을 통하여 실제강우 에코와 이착 에코의 구별을 가능하게 함으로써 자료 재생산을 통해 오류를 제거하는 과정은, 정량적인 강우량 추정을 위한 필수적인 기술이라 할 수 있다.

[0031] 또한, 기술의 적용대상이 되는 이중편파 기상레이더는 다양한 변수를 산출해 낼 수 있으므로, 이착 에코의 특성을 다양한 변수의 관점에서 분석할 수 있는 특징이 있다. 더욱이, 국내 기상레이더의 경우 향후 몇 년 뒤 대부분 이중편파 기상레이더로 교체될 계획이어서 앞으로의 활용도가 높아질 것이므로, 이착 에코로 인한 강우량 과대평가를 방지하고자 본 발명을 제시하고자 한다.

[0032] 아울러, 본 발명은 물리·기계적 방법(Dual-PRF, Signal processing)에서 제거하지 못한 이착 에코에 대하여 자료품질 향상 단계에서 퍼지 논리(Kasabok, 1996)에 근거하여 이착 에코에 대한 각 변수들의 특성을 분석하여 이착 에코를 완화하고자 하는 것이다.

[0033] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세하게 설명하면 다음과 같다.

[0034] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 순서도이다. 도 1을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 정량적 강우량 추정을 위한 이착 에코 완화방법은 제1, 2 및 3단계로 나눌 수 있다.

[0035] 먼저, 제1단계에 대하여 설명하고자 한다.

[0036] 제1단계는 이중편파 레이더 시스템의 실시간으로 관측되는 레이더 반사도에서 실제강우 에코영역과 이착 에코영역을 설정하는 단계이다. 이에 앞서, 이착 에코는 레이더 반사도 화상에서 ray에 따라 길게 늘어지는 형태를 보이는데, 육안으로 확인할 경우 이착 에코의 패턴을 명확하게 구분할 수 있지만 시스템 상 자료 품질 향상 단계에서의 구별에는 어려움이 따르며, 탐측영역 내에서 언제 어디서 패턴이 나타날지 예측하지 못하는 단점이 발생할 수 있다.

[0037] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 실제강우 에코영역과 이착 에코영역을 설정한 레이더 PPI 화상도이다. 도 2를 참조하여, 본 발명에서는 1차적인 육안 감별을 통해 이착 에코를 판단하여 이착 에코영역(second-trip echo)으로 설정한 후, 이착 에코를 실제강우 에코와의 직접적인 비교를 위하여 이착 에코와 같은 거리상에 있는 실제강우 에코영역(real echo)을 설정하는 단계를 실시하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다. 즉, 이착 에코는 육안으로도 판명이 가능하기 때문에 이착 에코영역과 이와 동등한 범위로 실제강우 에코영역을 설정할 수 있게 되는 것이다.

[0038] 다음으로, 제2단계에 대하여 설명하고자 한다.

[0039] 제2단계는 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 반사도 표준편차, 차등반사도 표준편차, 차등위상차 표준편차, 상관계수 표준편차를 포함하는 제1퍼지함수를 도출하는 단계이다.

[0040] 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 각 변수들의 표준편차에 대한 확률밀도 함수를 도시한 레이더 PPI 화상도이다. 도 3을 참조하면, 도 3-(a)는 실제강우 에코영역과 이착 에코영역에서 나타나는 반사도(Z_h)의 표준편차, 도 3-(b)는 실제강우 에코영역과 이착 에코영역에서 나타나는 차등반사도(zdr)의 표준편차, 도 3-(c)는 실제강우 에코영역과 이착 에코영역에서 나타나는 차등위상차(phi)의 표준편차, 도 3-(d)는 실제강우 에코영역과 이착 에코영역에서 나타나는 상관계수(rhv)의 표준편차를 나타낸 것임을 알 수 있다. 이때, 반사도 표준편차, 차등반사도 표준편차, 차등위상차 표준편차, 상관계수 표준편차에 대한 확률분포함수(probability density function)를 구할 수 있다.

[0041] 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 각 변수들의 표준편차를 도시한 그래프이다. 도 4-(a)는 제2단계에 따른 차등위상차 표준편차에 대한 확률분포함수를, 도 4-(b)는 제2단계에 따른 차등반사도 표준편차에 대한 확률분포함수를, 도 4-(c)는 제2단계에 따른 상관계수 표준편차에 대한 확률분포함수를 도시하였다. 부가적으로, 검은색 실선은 실제강우 에코를 가리키고 파란색 파선은 이착 에코를 가리킨다. 즉, 산출된 확률분포는 제1퍼지함수로 적용된다.

[0042] 상기한 반사도(Z_h, reflectivity)는 대기 중의 강우 입자가 레이더의 수평편파에 의해 반사되어 돌아오는 신호강도를 의미하는 것으로, 큰 강우 입자일 경우 반사도가 크다는 것을 의미한다. 여기서, D는 입자 크기를, N(D)는 D의 크기를 가지는 입자의 개수를 나타낸다. 이러한 반사도는 아래의 수학식에 의해 도출될 수 있다.

[0043] $$Z_h = \int_0^{D_{max}} N(D) D_h^6 dD$$

[0044] 상기한 차등반사도(zdr, differential reflectivity)는 수평편파(Zh)와 수직편파(Zv)에 의한 반사도의 비를 의미하는 것으로, 아래의 수학식에 의해 도출될 수 있다.

[0045] $$zdr = 10\log(Zh/Zv)$$

[0046] 상기한 차등위상차(phi, differential phase)는 전자기파가 대기 중의 강우에 의해 위상이 바뀔 때, 수평편파 및 수직편파에 의한 위상 변화의 차이를 의미하는 것으로, 강우가 강할시 강우 입자 모양이 타원형으로 형성되는데, 강우가 강할수록 그 수치는 증가한다. 이러한 차등위상차는 아래의 수학식에 의해 도출될 수 있다.

[0047] $$phi = \Phi_{HH} - \Phi_{VV}$$

[0048] 상기한 상관계수(rhv, correlation coefficient)는 이중편파 레이더가 관측하는 샘플부피 내에서 수평편파와 수직편파에 의해 산란된 신호 간의 상관도를 의미하는 것으로, 아래의 수학식에 의해 도출될 수 있다.

[0049] $$rhv = \frac{< S_W S_{hh} >}{\sqrt{[<|S_{hh}|^2><|S_W|^2>]}}$$

[0050] 추가로, 표준편차는 각 변수값들이 얼마나 균일하게 분포하는가를 나타내는 것이다. 예를 들어, 반사도 표준편차는 설정된 일정 게이트 주변 5개의 게이트 각각의 반사도 차이를 사용하여 구할 수 있다. 이와 같이, 실제강우 에코영역의 경우 공간적인 분포가 균일하게 이루어져 표준편차가 작게 도출되고, 이착 에코영역의 경우 공간적인 분포가 균일하지 않아 실제강우 에코영역에 비하여 표준편차가 크게 도출된다.

[0051] 마지막으로, 제3단계에 대하여 설명하고자 한다.

[0052] 제3단계는 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 제1퍼지함수들에 가중치를 적용하여 각각의 제1퍼지함수들의 총 소속값을 산출하고, 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값과 상기 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값을 비교하여 실제강우 에코와 이착 에코를 판별한 후, 판별된 이착 에코를 레이더 반사도로부터 제거하는 단계이다.

[0053] 즉, 판별된 이착 에코와 실제강우 에코를 이용하여 시공간적 샘플의 확장을 통해 좀더 향상된 제2퍼지함수를 도출 및 생산한 후 이를 사용해 비교함으로써, 이착 에코를 레이더 반사도로부터 제거하는 단계이다.

[0054] 특히, 제3단계에서는 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값이 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값보다 크면 실제강우 에코로 판별하고, 산출된 실제강우 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값이 산출된 이착 에코영역의 제1퍼지함수들의 총 소속값보다 작으면 이착 에코로 판별하는 것이 특징이라 할 수 있다.

[0055] 즉, 이착 에코 판별은 실제강우 에코영역과 이착 에코영역 각각의 자료로부터 도출된 반사도 표준편차, 차등반사도 표준편차, 차등위상차 표준편차, 상관계수 표준편차를 포함하는 제1퍼지함수들에 가중치를 적용하여 실제강우 에코영역 제1퍼지함수들 각각의 총 소속값과 이착 에코영역 제1퍼지함수들 각각의 총 소속값을 산출하여 실시할 수 있다.

[0056] 여기서, 가중치를 산출하는 방법에 대하여 더욱 상세하게 설명해 보도록 하겠다.

[0057] 앞서, 가중치란 도출된 제2퍼지함수의 분포함수가 중첩하는 영역에 반비례하는 관계로써, 아래의 수학식에 의해 산출된다. 여기서, W는 가중치를, zdr은 차등반사도를, phi는 차등위상차를, rhv는 상관계수를, A, B, C는 실제강우 에코와 이착 에코의 제2퍼지함수 각각에 대한 분포함수의 중첩 영역, D는 실제강우 에코와 이착 에코에 대한 분포함수의 중첩 영역 합을 나타낸다.

[0058] $$Wzdr = \frac{1}{AD}, Wphi = \frac{1}{BD}, Wrhv = \frac{1}{CD}, D = \frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C}$$

[0059] 이러한 가중치는, 이중편파 레이더 시스템에서 과거의 레이더 반사도 자료를 수집하여, 수집된 과거의 레이더 반사도 자료로부터 반사도에 대한 차등반사도의 표준편차, 차등위상차의 표준편차, 상관계수의 표준편차를 포함하는 제2퍼지함수들을 이용하여 분포함수를 도출한 후, 도출된 분포함수로부터 제2퍼지함수 각각에 대하여 구해진 값을 의미한다.

[0060] 즉, 이중편파 레이더로부터 미리 수집된 과거의 레이더 반사도 자료를 이용해 실제강우 에코와 이착 에코 각각

에 대한 제2퍼지함수들의 가중치를 구하는 과정을 통해 얻어진 값을 일컫는다.

[0061] 상세하게는, 제한된 영역에서 도출되었던 제1퍼지함수에 대해 좀더 정확한 퍼지함수 도출을 위해, 분석영역을 레이더 탐측 전범위로 확대하여 한 시각의 관측자료뿐만 아니라 이착 에코가 의심되는 전 시각 자료(본원 발명에서는, 2011년 7월~2012년 7월 자료에서 선별한 128개의 자료를 사용하였다.)에 대한 분석을 실시하여 제2퍼지함수를 도출한다.

[0062] 참고로, 3단계에서는 2단계와 달리 이착 에코와 실제강우 에코를 구분할 수 있으므로, 레이더 탐측 전범위에 대한 이착 에코와 실제강우 에코의 제2퍼지함수 도출이 가능하다. 그리고, 제2퍼지함수는 제1퍼지함수와 마찬가지로 반사도의 표준편차, 차등반사도의 표준편차, 차등위상차의 표준편차, 상관계수의 표준편차 등이 포함될 수 있다.

[0063] 아울러, 총 소속값에 대하여 기술해보도록 하겠다.

[0064] 실제강우 에코영역의 경우, 실제강우 에코영역 제1퍼지함수들 각각의 소속값(MV_k)에 가중치(W)를 곱한 값들의 합으로 계산될 수 있다. 이착 에코영역의 경우, 이착 에코영역 제1퍼지함수들 각각의 소속값(MV_k)에 가중치(W)를 곱한 값들의 합으로 계산될 수 있다. 이러한 총 소속값(MV_t)은 아래의 수학식으로부터 산출된다.

[0065]
$$MV_t = \sum_{k=1}^{n} MV_k \times W_k$$

[0066] 본 발명의 실제강우 에코영역 총 소속값 및 이착 에코영역 총 소속값은 0~1 범위의 값을 가질 수 있다.

[0067] 이후, 산출된 실제강우 에코영역 및 이착 에코영역의 총 소속값 각각을 비교하여 이착 에코를 판별한다. 내용인즉, 실제 강우에코 영역과 이착에코 영역의 확률분포를 기준으로 가중치 값을 부여하여, 실제강우 에코영역과 이착에코 영역의 정해진 퍼지변수 소속값을 구하여 비교한다. 따라서, 가중치가 부여된 소속값들의 합에 대한 비교를 통하여 실제강우 에코와 이착 에코의 일차적인 구별이 이루어진다.

[0068] 아울러, 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 각 변수들의 표준편차에 대한 분포함수를 도시한 도 4를 참조하면, 도 4-(d)는 차등위상차 표준편차의 확률분포함수를, 도 4-(e)는 차등반사도 표준편차의 확률분포함수를, 도 4-(f)는 상관계수 표준편차의 확률분포함수를 나타내었다. 부가적으로, 검은색 실선은 실제강우 에코를 가리키고 파란색 파선은 이착 에코를 가리킨다. 이에 따라, 제2퍼지함수가 도출되었음을 알 수 있으며 제1퍼지함수보다 실제강우 에코와 이착 에코가 좀 더 뚜렷이 구분됨을 확인할 수 있다.

[0069] 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 이착 에코 제거 전과 후의 실시영상도이다. 도 5를 참조하면, 도 5-(a)는 본 발명의 기술을 적용하기 전의 레이더 영상이고 도 5-(b)는 본 발명의 기술을 적용한 후의 레이더 영상이다. 따라서, 실제강우 에코영역의 총 소속값과 이착 에코영역의 총 소속값을 서로 비교한 후, 실제강우 에코영역의 총 소속값보다 더 큰 이착 에코영역의 총 소속값에 해당되는 이착 에코를 제거함으로써, 정량적 강우량 추정이 가능하게 된다.

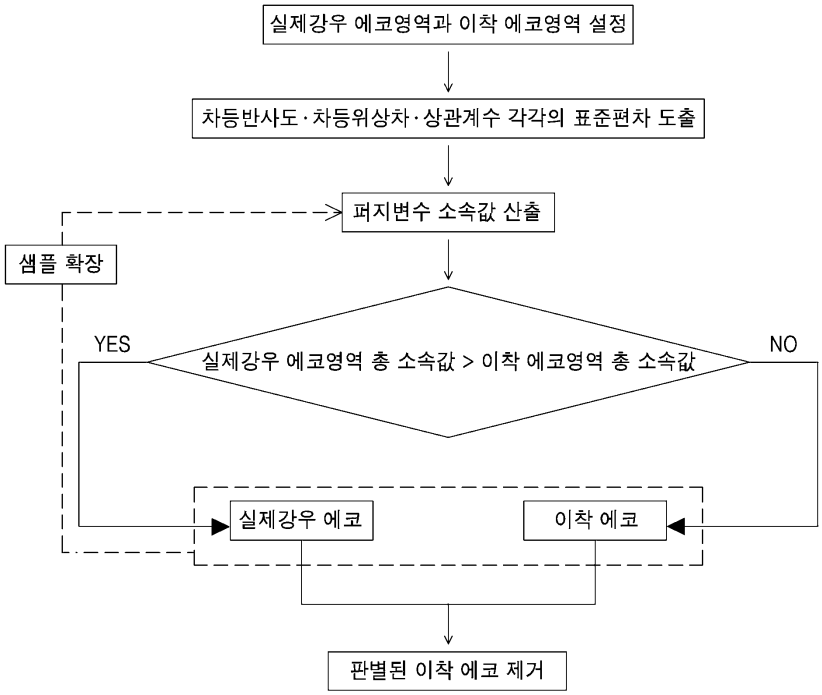
[0070] 또한, 본 발명을 통하여 이착 에코의 특성을 구분할 수 있음으로써 다른 영역에서도 이착 에코의 특성이 동일하게 나타나면 그 영역을 이착 에코로 판별할 수 있다.

[0071] 이상과 같이 본 발명에 따른 정량적 강우량 추정을 위한 이착 에코 완화방법은, 이중편파 기상레이더의 다양한 변수들의 특징을 이용하여 자료품질 개선단계에서 이착 에코를 제거하기 위한 기술로써, 실제강우 에코의 총 소속값과 이착 에코영역의 총 소속값을 서로 비교함으로써 이착 에코를 용이하게 판별하여 레이더 반사도 상에서 제거할 수 있다.

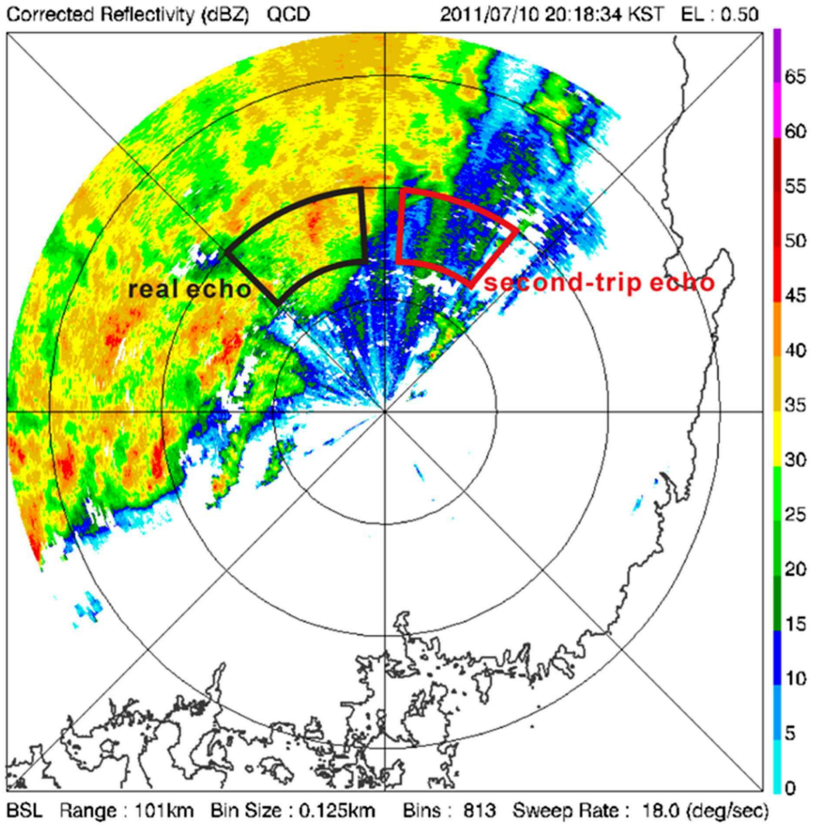
[0072] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예는 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라, 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것도 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래 특허청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

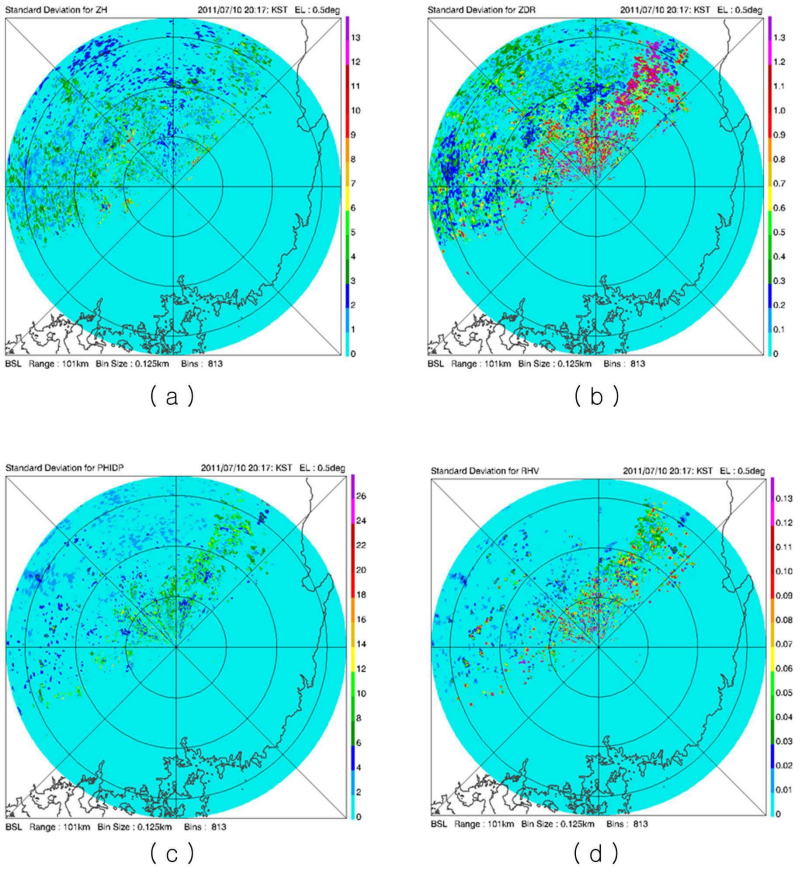
도면1


실제강우 에코영역과 이착 에코영역 설정
차등반사도·차등위상차·상관계수 각각의 표준편차 도출
퍼지변수 소속값 산출
샘플 확장
YES
실제강우 에코영역 총 소속값 > 이착 에코영역 총 소속값
NO
실제강우 에코
이착 에코
판별된 이착 에코 제거

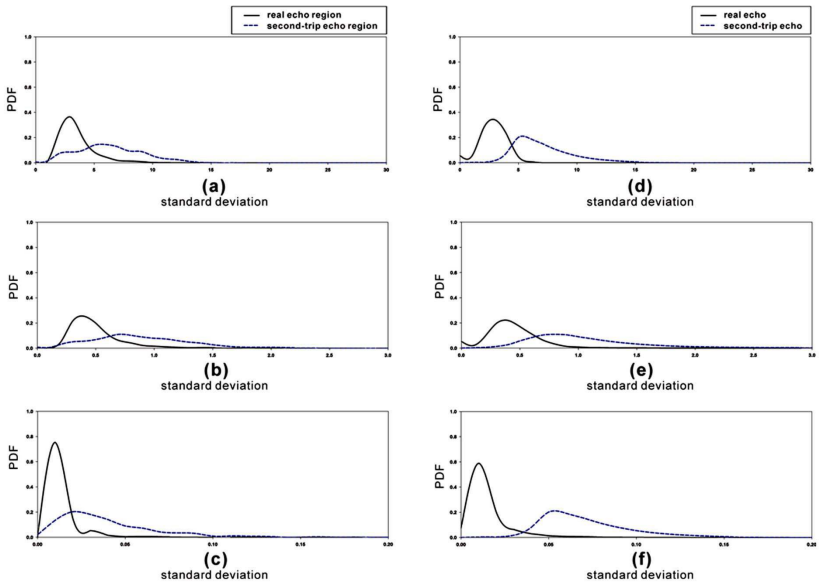
도면2


Corrected Reflectivity (dBZ) QCD
2011/07/10 20:18:34 KST EL : 0.50
real echo
second-trip echo
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
BSL Range : 101km Bin Size : 0.125km Bins : 813 Sweep Rate : 18.0 (deg/sec)

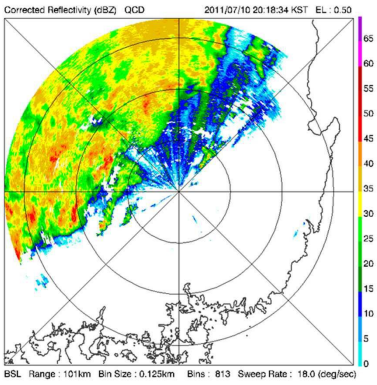
도면3


Standard Deviation for ZH
2011/07/10 20:17: KST EL : 0.5deg
BSL Range : 101km Bin Size : 0.125km Bins : 813
(a)
Standard Deviation for ZDR
2011/07/10 20:17: KST EL : 0.5deg
BSL Range : 101km Bin Size : 0.125km Bins : 813
(b)
Standard Deviation for PHIDP
2011/07/10 20:17: KST EL : 0.5deg
BSL Range : 101km Bin Size : 0.125km Bins : 813
(c)
Standard Deviation for RHV
2011/07/10 20:17: KST EL : 0.5deg
BSL Range : 101km Bin Size : 0.125km Bins : 813
(d)

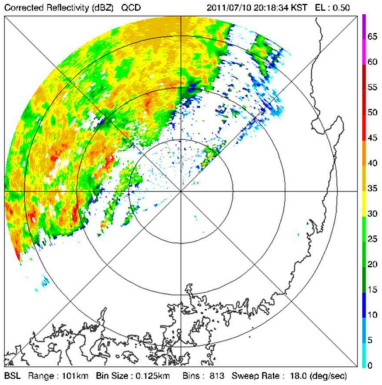
도면4


real echo region
second-trip echo region
PDF
(a)
standard deviation
(b)
standard deviation
(c)
standard deviation
real echo
second-trip echo
(d)
standard deviation
(e)
standard deviation
(f)
standard deviation

도면5


Corrected Reflectivity (dBZ) QCD
2011/07/10 20:18:34 KST EL : 0.50
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
BSL Range : 101km Bin Size : 0.125km Bins : 813 Sweep Rate : 18.0 (deg/sec)

(a)


Corrected Reflectivity (dBZ) QCD
2011/07/10 20:18:34 KST EL : 0.50
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
BSL Range : 101km Bin Size : 0.125km Bins : 813 Sweep Rate : 18.0 (deg/sec)

(b)