



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년12월08일
(11) 등록번호 10-1469860
(24) 등록일자 2014년12월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/14 (2006.01) G01S 13/95 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0119358

(22) 출원일자 2013년10월07일

심사청구일자 2013년10월07일

(56) 선행기술조사문헌

JP2000502794 A

JP1994214024 A

KR100922130 B1

김주연 외 2인, 'X 밴드 이중 편파레이더 1분자료를 이용한 대류성 강수시스템의 통계적 분석', 2012년도 한국기상학회 가을학술대회 논문집, 2012.11.

(73) 특허권자

부경대학교 산학협력단

부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)

(72) 발명자

이동인

부산광역시 남구 분포로 113, 205동 802호(용호동, 엘지메트로시티)

김지현

부산광역시 동래구 충렬사로51번가길 12

김주연

부산광역시 수영구 수영로741번길 20, 101동 1407호(수영동, 현대아파트)

(74) 대리인

특허법인부경

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우 특성 정보를 얻는 방법

(57) 요약

본 발명은 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우 특성 정보를 얻는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 1분 단위의 기상 레이더 자료를 이용하여 수집된 각각의 강수샘플에 대한 강우피크개수, 피크에서의 강우강도, 누적강우량, 강수지속시간 등의 대류성 강우특성정보를 얻는 방법에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

> 1분 강우강도 레이더 자료 생성

1. 1분 레이더 강우강도 산출

2. 극좌표계에서 직교 좌표계로 전환

3. Cressman 내삽법을 이용한 합성 레이더 자료 산출

>> 강수에 대한 시간적 주기 산출

4. 누적 강수량 데이터 생성

5. 불필요한 노이즈값 제거를 위한 FIR 필터 설계

6. 격자마다 시간에 따른 강우강도 피크 분류

본 발명의 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법은, 기상레이더를 통해 레이더 강우강도를 산출하는 단계; 상기 강우강도에 대한 극 좌표계에서의 기상자료를 직교좌표계에 대한 기상자료로 변환하는 단계; Cressman 내삽법을 이용하여 각각의 지리학적 단위 격자마다의 합성 레이더 자료값을 산출하는 단계; 상기 지리학적 단위 격자마다의 각각의 강수샘플에 대한 누적강우량(R_{ac}) 데이터를 생성하는 단계; 각각의 강수샘플에 대해서, 불필요한 노이즈 값 제거를 위해, 시간에 따른 강우강도를 FIR(Finite Impulse Response) 필터링하는 단계; 및 각각의 강수샘플에 대해서, 상기 필터링된 시간에 따른 강우강도를 이용하여 강우피크개수(N_{peak})를 포함한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2006-03874

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 국제공동연구사업-글로벌연구실

연구과제명 동지나해 공동해역에서의 대기 강수시스템 및 호우 발달에 관한 연구(동지나 북부해역에서의 강수시스템에 관한 연구)

기 여 율 1/2

주관기관 부경대학교 산학협력단

연구기간 2013.04.01 ~ 2014.03.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 CATER 2012-2071

부처명 환경부

연구관리전문기관 (재)기상기술개발원

연구사업명 기상기술개발사업

연구과제명 한국의 지형효과를 고려한 레이더강수량예측 기술개발

기 여 율 1/2

주관기관 부경대학교 산학협력단

연구기간 2012.03.08 ~ 2015.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

기상레이더를 통해 레이더 강우강도를 산출하는 단계;

상기 강우강도에 대한 극 좌표계에서의 기상자료를 직교좌표계에 대한 기상자료로 변환하는 단계;

Cressman 내삽법을 이용하여 각각의 지리학적 단위 격자마다의 합성 레이더 자료값을 산출하는 단계;

상기 지리학적 단위 격자마다의 각각의 강수샘플에 대한 누적강우량(R_{ac}) 데이터를 생성하는 단계;

각각의 강수샘플에 대해서, 불필요한 노이즈 값 제거를 위해, 시간에 따른 강우강도를 FIR(Finite Impulse Response) 필터링하는 단계; 및

각각의 강수샘플에 대해서, 상기 필터링된 시간에 따른 강우강도를 이용하여 강우피크개수(N_{peak})를 포함하는 대류성 강우의 강우특성 정보를 얻는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 기상레이더에서 얻는 강우강도는 1분 단위의 강우강도인 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 산출된 강우강도는 비차등 위상 변위(K_{DP})에 따른 강우강도인 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 누적강우량(R_{ac}) 데이터를 생성하는 단계에서,

강우강도가 0.5 mmhr^{-1} 이상인 경우의 강수샘플에 대해서만 누적강우량 데이터를 생성하는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 FIR 필터링은 해밍창 함수법을 이용하여 차단 주파수 $1/180 \text{ Hz}$ 로 강우강도의 단주기 성분을 제거하는 저역통과 필터가 사용되는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 대류성 강우의 강우특성 정보는 강우피크의 수(N_{peak}), 피크 강우강도(R_{peak}), 누적강우량(R_{ac}), 강수 지속시간(T_{rain}), 강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간(T_{peak})를 포함하는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 강우특성정보 중 강우피크의 개수(N_{peak})가 1개인 경우만을 추출하는 단계; 및

추출된 강우피크의 개수가 1인 경우의 강우특성정보를 이용하여, 누적강우량과 다른 강우특성정보와의 상관 관계를 도출하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 강수샘플은 5분 이상의 강수 지속시간을 지닌 경우에 한정되는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 9

기상레이더를 통해 1분 단위의 레이더 강우강도를 산출한 후, 산출한 강우강도를 이용하여 지리학적 단위격자마다의 합성 레이더 자료값을 산출하고, 이를 바탕으로 각각의 강수샘플에 대한 누적강우량(R_{ac}) 데이터를 생성하여, 강우피크개수(N_{peak})별로 강우특성정보를 분류하는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 강우피크개수가 1인 경우만을 추출하여, 상기 강우특성정보 중 누적강우량과 다른 강우특성정보와의 상관 관계를 도출하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 강우특성정보는 강우피크의 수(N_{peak}), 피크 강우강도(R_{peak}), 누적강우량(R_{ac}), 강수 지속시간(T_{rain}), 강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간(T_{peak})을 포함하는 것을 특징으로 하는 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우 특성 정보를 얻는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 1분 단위의 기상 레이더 자료를 이용하여 수집된 각각의 강수샘플에 대한 강우피크개수, 피크에서의 강우강도, 누적강우량, 강수지속시간 등의 대류성 강우특성정보를 얻는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 기상 레이더는 전파를 이용하여 강수의 입자와 크기를 측정하는 원격 관측 장비로써, 시공간적 해상도를 가지고 유효반경 240 km 이내 10분 정도로 넓은 영역의 강수량을 산출하는 기상 장비 중 하나이다. 따라서 중규모 강수시스템인 태풍이나 장마, 홍수 등 넓은 범위에 대한 전체적인 기상상태를 실시간 파악할 수 있고, 비구름의 발달 구조 상태를 관측할 수 있다.

[0003] 그러나 지금까지 기상 레이더를 이용한 대류성 강우에 대한 연구는 5분에서 10분 정도의 3차원 볼륨데이터를 이용하여 강수량의 변화에 대해 분석해오고 있으나, 이는 현재 빈번히 발생하고 있는 국지적 대류성 강우에 대한

시간적 주기 분석에 대한 해석이 어렵다. 이를 해결하기 위해서는 고해상도 자료인 강우 레이더가 필수적이다.

- [0004] X 밴드 레이더는 S 밴드나 C 밴드에 비해 파장이 짧고, 주파수가 높기 때문에 목표물을 식별하고 변별하기 위한 고해상도 이미지 레이더를 만들 수 있는 장점이 있다. 특히 이중편파인 경우 수직편파와 수평편파를 교대로 발사하여 목표물을 관측함으로써 좁은 지역에서 돌발적으로 발생하는 대류성 호우를 정확히 예측할 수 있다.
- [0005] 현재 우리나라 국립기상연구소에서는 고해상도 자료를 산출하는 X 밴드 이중편파 레이더를 연구목적으로 운용하고 있으나, 강수 보정에 대한 기술적인 부분이 미흡하여 현업에는 쓰이지 못하는 실정이다.
- [0006] 아울러, 국지성 강우인 대류성 강우에 정확한 예측을 위해서, 대류성 강우에 대한 특성 정보의 수집 또한 미흡한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 공개번호 10-20120040025(2012.04.26공개)(발명의 명칭: 선박 레이더를 이용하여 국지 강수를 추정하는 시스템 및 그 추정방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은 일본 국토교통성이 운용하고 현업에 쓰이고 있는 X 밴드 이중 편파 레이더(X-band polarimetric radar rainfall data)를 이용하여 1분마다 관측되는 강우강도를 통해 각 지리학적 격자마다 시간에 따른 강우강도 변화를 파악하여 대류성 강우 특성 정보를 얻는 방법을 제공하는 것이다.
- [0009] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또다른 목적들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기의 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우특성정보를 얻는 방법은, 기상레이더를 통해 레이더 강우강도를 산출하는 단계; 상기 강우강도에 대한 극 좌표계에서의 기상자료를 직교좌표계에 대한 기상자료로 변환하는 단계; Cressman 내삽법을 이용하여 각각의 지리학적 단위 격자마다의 합성 레이더 자료값을 산출하는 단계; 상기 지리학적 단위 격자마다의 각각의 강수샘플에 대한 누적강우량(R_{ac}) 데이터를 생성하는 단계; 각각의 강수샘플에 대해서, 불필요한 노이즈 값 제거를 위해, 시간에 따른 강우강도를 FIR(Finite Impulse Response) 필터링하는 단계; 및 각각의 강수샘플에 대해서, 상기 필터링된 시간에 따른 강우강도를 이용하여 강우피크개수(N_{peak})를 포함하는 대류성 강우의 강우특성 정보를 얻는 단계;를 포함한다.
- [0011] 바람직한 실시예에 따르면, 상기 기상레이더에서 얻는 강우강도는 1분 단위의 강우강도이며, 상기 산출된 강우강도는 비차등 위상 변위(K_{dp})에 따른 강우강도이다.
- [0012] 바람직하게는 상기 누적강우량(R_{ac}) 데이터를 생성하는 단계에서, 강우강도가 $0.5mmhr^{-1}$ 이상인 경우의 강수샘플에 대해서만 누적강우량 데이터를 생성하며,
- [0013] 바람직하게는 상기 FIR 필터링은 해밍창 함수법을 이용하여 낮은 주파수 영역을 통과시키고, 높은 주파수 영역을 차단하는 저역통과 필터가 사용된다.
- [0014] 바람직하게는 상기 대류성 강우의 강우특성 정보는 강우피크의 수(N_{peak}), 피크 강우강도(R_{peak}), 누적강우량(R_{ac}), 강수 지속시간(T_{rain}), 강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간(T_{peak})를 포함한다.

발명의 효과

- [0015] 이상에서 상술한 바와 같이, 본 발명은 1분 단위의 기상 레이더를 이용하고, 수직좌표계로 전환, 내삽법, 필터링 등을 통해 아주 정확한 대류성 강우의 특성정보를 얻을 수 있으며, 강우피크 1인 경우만을 다시 추출하여 이를 바탕으로 매우 높은 상관관계를 얻을 수 있어 대류성 강우를 보다 정확히 예측할 수 있다는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른, 기상 레이더 자료를 이용한 강수 특성 분류 방법에 대한 순서도.
 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른, 두 레이더의 낮은 두 고도각을 이용한 1분 강우강도 합성 PPI SCAN 사진 (2010년 9월 28일 11시 40분).
 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른, 실험에서의 레이더 위치 및 분석영역을 표시하는 지도.
 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른, 11시간 누적강우량에 대한 피크별로 분류하여 나타낸 사진.
 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른, 4시간 누적강우량과, 한 지점(+ 지점)상에서의 시간에 따른 강우강도 변화 그래프.
 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른, 한 지점(+)상 위·경도에 따른 시계열 강우강도 변화를 나타내는 사진.
 도 7은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른, 강수 샘플의 모식도.
 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 R_{ac} 에 대한 R_{peak} , T_{rain} , and T_{peak} 의 상관분석 및 회귀분석 그래프.
 도 9는 도 8에서의 상관계수와 선형회귀분석 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 이하에서는 본 발명의 기상 레이더 자료를 이용한 대류성 강우 특성 정보를 얻는 방법에 대해서 보다 상세히 설명하기로 한다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른, 기상 레이더 자료를 이용한 강수 특성을 얻는 방법에 대한 순서도로써, 먼저, 도 1을 기준으로 상세히 설명하기로 한다.
- [0019] 본 발명은 1분 강우강도 레이더 자료 생성을 위하여 ① X 밴드 레이더의 1분 강우강도 산출, ② 레이더 자료 격자 전환, ③ Cressman 내삽법을 이용한 합성 레이더 자료를 산출하고, ④ 강수에 대한 시간적 주기를 산출하기 위해 누적 강수량 데이터 생성, ⑤ 불필요한 노이즈 값 제거를 위한 FIR(Finite Impulse Response) 필터 설계, ⑥ 각 지리학적 격자마다 시간에 따른 강우강도 피크 분류(대류성 강우특성정보를 얻는 단계)로 구성되어 진다.
- [0020] 1. X 밴드 이중 편파 레이더의 1분 강우강도 산출
- [0021] 먼저, X 밴드 이중 편파 기상레이더를 통해 1분 단위의 레이더 강우강도를 산출한다.
- [0022] X 밴드 이중 편파 레이더의 매개변수 중 차등위상변화(differential phase change, Φ_{dp})는 실제로 전파경로(propagation path) 상의 주어진 지점에서 수평편파의 위상변이(Φ_{hh})와 수직편파의 위상변이(Φ_{vv})와의 차이를 말하는 것으로, 일반적으로 빗방울은 편구(oblate spheroid) 형상으로 근사할 수 있으며, 수평축이 연직축(수직축)보다 더 길다. 따라서 레이더파의 전파경로(propagation path)가 연직보다는 수평방향으로 더 길다. 이로 인해서 수평편파의 위상과 연직편파의 차이가 생기며, $\Phi_{hh} > \Phi_{vv}$ 가 되는 것이다. 따라서 이를 보정해 주기 위해서, 비차등 위상 변위(Specific differential phase shift, K_{dp})에 따른 강우강도를 추정하고 있다.
- [0023] K_{dp} 는 단위 거리에 대한 차등위상변위로 정의되며 다음과 같이 표현된다.

$$K_{DP} = \frac{\Phi_{DP}(r_2) - \Phi_{DP}(r_1)}{2(r_2 - r_1)} \quad (\text{식 1})$$

[0024]

[0025]

여기서, r_1 과 r_2 는 각각 레이더로부터 레인지 bin 1과 bin 2까지의 거리(km)를 의미하며, K_{DP} 의 단위는 deg/km이다. 차등위상변위는 관측거리에 비례하여 증가하고, 분모의 2는 레이더파가 주어진 레인지까지의 왕복경로에 따른 Φ_{DP} 의 증가를 고려한 것이다.

[0026]

기상학적으로 에코가 가지는 일반적인 K_{DP} 값의 범위는 $-1 \sim 6$ deg/km 이고, K_{DP} 는 등방성입자에 대해 민감하지 않다. 그 이유는 이들 입자들은 거의 구형이므로 수평편파와 수직편파의 위상속도에 차이가 없기 때문이다. 따라서 K_{DP} 는 비와 우박이 혼재되어 있는 경우 강우량 추정을 하는데 매우 효율적으로 이용될 수 있다. 또한 K_{DP} 를 이용한 강우량 추정은 레이더 반사도 인자를 이용하는 경우보다 좀 더 효율적인 면이 있다. 즉, 부분적인 빔차폐가 발생할 경우, 레이더반사도 인자는 감소하지만 K_{DP} 는 전파가 산란되고 되돌아오는 한 부분적인 빔차폐의 영향을 받지 않는다는 점이다. 일반적으로 X 밴드 편파 레이더는 비의 감쇠가 크다는 단점이 있다. 그러나 역으로 취하면 빔방울이 편평하게 되었을 때의 연직과 수평 편파의 관측 값의 차이가 쉽게 나타난다는 것을 알 수 있다.

[0027]

Maesaka et al. (2011)은 강우에 의한 감쇠의 영향을 줄이고 정확한 강우 강도 산출이 가능한 K_{DP} 와 일반적으로 강우강도를 추정하는데 사용되는 Z_H 를 이용하여 강우강도를 산출하였다. 특히 추정된 K_{DP} 는 지상 우량계와 비교하였을시 과소평가되어 1.3배 보정하여 계산된다.

[0028]

표 1은 X 밴드 편파 레이더에서 사용된 $R(K_{DP})$ 와 $R(Z_H)$ 의 관계식을 나타낸 것이다. 즉, 표 1은 레이더 안테나 고도각(θ)을 고려한 강우강도 추정식이다.

[0029]

약한 비의 경우 편파 파도 위상차 변화율 측정이 매우 작아지므로, 이때는 일반적으로 강우강도를 추정하는 $R(Z_H)$ 로 계산한다. 이때 $R(Z_H)$ 는 사용되는 a_1 , a_2 는 사용되는 레이더의 시스템에 따라 식이 달라진다. 30 dBz의 반사도를 기준으로 약한 비(< 30 dBz)의 경우 $R(Z_H)$ 관계식을, 강한 비(≥ 30 dBz)의 경우 $R(K_{DP})$ 관계식으로 강우강도를 추정한다.

표 1

[0030]

Equation	Factor
$R(k_{DP}) = c \times a_1 k_{DP}^{b_1}$	$a_1 = 19.6 + 2.71 \times 10^{-2}\theta + 1.68 \times 10^{-3}\theta^2 + 1.11 \times 10^{-4}\theta^3$ $b_1 = 0.815$ $c = 1.3$
$R(Z_H) = a_2 k_{DP}^{b_2}$	a_2 and b_2 depend on individually radar system

[0031]

2. 레이더 자료 격자 변환

[0032]

다음으로, 지리학적 단위 격자로서의 변환을 위해서, 상기 강우강도에 대한 극 좌표계에서의 기상자료를 직교좌표계에 대한 기상자료로 변환한다.

[0033]

기상레이더 관측 네트워크에서 관측된 반사도(dBZ)자료는 QC(Quality Check) 과정을 거쳐 3차원 반사도장 CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator)으로 생산한다. 이때, 3차원 반사도장 자료가 수치 모형의 배경장을 보정하기 위해서는 일정한 간격을 가지는 격자의 변환이 필요하다. 따라서 격자의 크기가 일정치 않은 극 좌표계(Polar coordinate)형식의 3차원 반사도장은 내삽을 통해 일정한 간격을 가지는 직교 좌표계(Cartesian coordinate)로 변환한다.

[0034]

본 발명에서는 '격자'란 지리학적 격자를 의미하는 것으로, 예컨대 평면상 250 m $\times$ 250 m의 지리학적 격자를 의미한다.

[0035] **3. Cressman 내삽법을 이용한 합성 레이더 자료 산출**

[0036] 다음으로, 근가중치 보정(가까운 레이더에서 수집된 레이더 자료에 가중치를 부여하는 보정) 및 레이더 자료 중 단위 격자 상에서 빠진 정보 보완을 위해서, Cressman 내삽법을 이용하여 합성 레이더 자료를 산출한다.

[0037] 레이더 자료는 12개의 고도각을 가진 3차원 볼륨 데이터를 1분당 3번의 PPI(Plan Position Indicator)를 스캔하지만, 이 중 가장 낮은 고도각(θ_1 , θ_2)이 매 1회씩 관측되므로 분당(per minute) 낮은 고도각의 PPI 관측 데이터를 얻을 수 있다. 따라서 관측된 낮은 고도각(θ_1 , θ_2)의 분당 자료로 두 레이더의 PPI 자료를 합성하여 강우강도 값을 산출한다.

[0038] 사용된 X 밴드 이중 편파 레이더는 일본 동경에 위치한 사이타마(Saitama, STM)와 신요코하마(Shimiyokohama, SYK)에 위치한 두 대의 레이더로써, STM는 1.4° 와 2.4° , SYK는 1.7° 과 2.6° 의 가장 낮은 두 고도각을 이용하여 평균하여 내삽 및 합성되어진다. 이때 낮은 두 고도각을 사용하여 평균되어지기 때문에 1분 강우강도 데이터는 최소한 2분 정도의 계산 소요시간이 필요하다.

[0039] 각 레이더 사이트에서의 추정된 강우강도는 내삽 되어지며, 해상도인 경도 $45/4^\circ$, 위도 $30/4^\circ$ (대략 250 m)에 의한 지리학적 격자에 합성되어진다. 수정된 Cressman 내삽법은 다음과 같다. Sampling Radius = R_s (m)는 레이더로부터의 거리(r)의 선형방정식에 의해 정의되었다.

$$R_s = a_3 r + b_3 \quad (\text{식 } 2)$$

[0041] 레이더의 특성과 지리적인 조건을 고려하여 a_3 은 0.013, b_3 은 150 m로 정의하였다.

[0042] Cressman 내삽법에서의 가중함수는 다음과 같이 정의 되었다.

$$W = w_h \times w_a \quad (\text{식 } 3)$$

[0044] w_h 은 수평 가중값, d 는 격자와 bin 범위 사이의 거리, C_h 는 w_h 의 통제·지배계수 0.5이며, bin 범위가 샘플링 범위에서 벗어났을 때 ($d < R_s$), bin은 샘플링하지 않는다 ($w_h=0$).

[0045] w_a 은 고도 가중값, h 는 지면보다 높은 고도값, C_a 는 w_a 의 통제·지배계수 20이며, H 는 Maximum 고도 내삽 5000 m이며, bin 고도의 h 가 H 보다 높으면 ($H < h$), bin은 샘플링하지 않는다 ($w_a=0$).

[0046] 예를 들어, 도 2는 2010년 9월 28일 11시 40분에 대한 1분 레이더 강우강도 합성 이미지이다. 이 때 θ_1 인 STM 1.4° 와 SYK 1.7° 은 11시 38분 PPI이며, θ_2 인 STM 2.4° 와 SYK 2.6° 은 11시 39분 PPI이다. 이를 평균 합성하여 11시 40분 강우강도가 계산되어진다. (a)와 (b)는 STM 레이더, (c)와 (d)는 SYK 레이더이며, 회색영역은 전파 감쇄영역이며, 빨간색은 레이더로부터 20 km씩 거리를 표시하였다. (e)는 1분 레이더 강우강도의 합성 이미지를 나타내며 점선은 레이더의 반경(80 km)를 나타낸다.

[0047] **4. 누적 강수 데이터 생성**

[0048] 다음으로, 지리학적 단위 격자마다의 각각의 강수샘플에 대한 누적강수량(R_{ac}) 데이터를 생성한다.

[0049] 도 3은 실시예에서의 레이더 위치 및 분석영역을 표시하는 지도이다.

[0050] X 밴드 이중 편파 레이더는 $300 \text{ m} \times 250 \text{ m}$ 의 공간해상도와 1분 강우강도를 산출하는 고해상도 레이더 자료이며, X 밴드 레이더의 강우감쇠를 고려하여 $50 \text{ km} \times 90 \text{ km}$ 범위(실선) 내에서 발생하는 대류성 강우를 분석하였다[도 3 참조]. 따라서 본 발명의 실시예에서 생성되는 격자수는 약 6만개이다.

[0051] 분석 영역에서 강수가 시작된 시점부터 소멸까지 1분 레이더 강우강도 자료를 통해 각 지리학적 격자마다의 누적된 강수 데이터를 생성한다. 하나의 격자에 대한 강우강도 임계값은 0.5 mmhr^{-1} 로 하여 시간변화에 따른 강우강도 값을 저장한다.

[0052] **5. FIR 필터 설계**

[0053] 다음으로, 각각의 강수샘플에 대해서, 불필요한 노이즈 값 제거를 위해, 시간에 따른 강우강도를 FIR(Finite Impulse Response) 필터링한다.

[0054] X 밴드 이중 편파 레이더의 강우강도는 불필요한 단주기 성분이 포함되어 있어 이를 제거하고자 유한 임펄스 응답 필터인 FIR 필터를 사용하여 단주기 성분을 제거한다. 따라서 해밍창 함수법을 이용하여 낮은 주파수 영역을 통과시키고, 높은 주파수 영역을 차단하는 저역통과 필터를 사용하며, 필터 길이 31, 차단 주파수는 1/180 Hz 로 강우강도의 단주기 성분을 제거한다.

[0055] 하나의 강수 샘플은 5분 이상의 강수 지속시간을 보였을 때로 정의한다.

[0056] 도 4는 11시간 누적강우량에 대한 피크별로 분류하여 나타낸 사진이다.

[0057] 즉, 2010년 7월 5일 12시부터 22시까지 저장된 11시간 누적강우량(accumulated rainfall)과, 각 격자마다 FIR 필터를 통해 얻어진 대류성 강우의 분당 강우강도 변화를 피크가 하나(single peak)일 때의 강우 샘플(cell)의 수(number of single-peak cell)와, 두 개 이상(multi peak)일 때의 강우 샘플의 수(number of multi-peak cell)와, 그리고 피크가 하나 이상일 때의 총 강우 샘플의 수(즉, 피크가 하나일 때의 샘플의 수와 피크가 두개 이상일 때의 샘플의 수의 합(number of total cell))에 대해서 지도상에 표시하였다.

[0058] 도 4를 통해 하나의 대류성 강우가 발생하였을 때 각 격자마다의 대류성 피크 분포를 파악할 수 있다.

[0059] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른, 4시간 누적강우량과, 한 지점(+ 지점)상에서의 시간에 따른 강우강도 변화 그래프이다. 즉, 도 5는 도 2에서의 11시간 누적강우량 중 대류성 강우가 활발히 발생했던 17시 30분부터 21시 30분까지의 4시간 누적강우량과, 한 지점(+로 표시된 지점) 상에서의 시간에 따른 강우강도 변화를 나타낸 것이다.

[0060] 시계열 그래프에서 검은선은 초기 레이더 자료값, 초록선은 FIR 필터에 의한 자료값, 노란선은 피크개수를 나타내고 있다. 특히 빨간 테두리에서의 강우강도 변화는 FIR 필터를 통해 불필요한 단주기 성분이 제거되는 것을 보여준다. 또한 도 6과 같이, 위도와 경도에 따른 시계열 분석도 가능하다.

[0061] **6. 피크 분류 - 대류성 강우특성정보 획득**

[0062] 다음으로, 각각의 강수샘플에 대해서, 상기 필터링된 시간에 따른 강우강도를 이용하여 강우피크개수(N_{peak})를 포함하는 대류성 강우의 강우특성 정보를 얻는다.

[0063] 강수는 보통 대류성과 층류형으로 나누어지는데, 특히 자연재해 및 인간에게 직접적인 영향을 미치는 강한 강수가 대류성 강우이다. Short et al. (1993)과 Rosenfeld and Amitai (1995)는 대류성과 층류형 강수의 분류 기준을 10 mmhr^{-1} 의 임계값으로 정의하였다.

[0064] 따라서 본 기술에서는 하나의 연속적인 강수가 발생하였을 때 최소한 최대 강우강도가 10 mmhr^{-1} 이상이었을 때 하나의 대류성 강우 샘플로 정의한다.

[0065] 최대 강우강도 값에 의해 분류된 대류성 강우 샘플은 피크의 개수에 따라 각각 분류된다. 피크가 하나 (single peak)일 때의 강우샘플의 수와, 피크가 두 개 이상(multi peak) 일 때로 분류하여 누적된 강수 분포와 이에 대한 피크 분포에 대해 비교할 수 있다.

[0066] 하나의 강수 샘플은 도 7과 같이 5가지 변수로 강수의 특성을 파악할 수 있다.

[0067] 도 7은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른, 강수 샘플의 모식도이다.

[0068] 도 7에서, 각각의 변수는 피크개수(N_{peak}), 피크강우강도(R_{peak}), 누적강우량(R_{ac}), 강수지속시간(T_{rain}), 강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간(T_{peak})의 5가지 변수를 나타낸다. 검은선은 관측된 강우강도(mmhr^{-1}), 빨간선은 FIR 필터를 통해 얻어진 강우강도(mmhr^{-1})이며, 초록선은 피크 수를 나타낸다.

[0069] 또한 ASCII 파일로 각 지리학적 격자마다 발생된 대류성 강수 샘플에 대해서, 피크개수(N_{peak}), 강수 시작시간, 소멸(소강)시간, 경도($^{\circ}$ E), 위도($^{\circ}$ N), 강수 지속시간(T_{rain}), 강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간(T_{peak}), 누적강우량(R_{ac}), 최대 강우강도(R_{max}), 각 피크에서의 강우강도(R_{peak}) 등 다양한 변수들을 저장하여 강수 피크별로 대류성 강수의 특성을 분류할 수 있다.

[0070] 따라서, 각 지리학적 격자에 대해서 강우강도 임계값인 10 mmhr^{-1} 을 통해 대류성 강수에 대한 강우특성을 분류하였으며, 피크 개수에 따른 각 변수 값들이 ASCII 파일로 저장된다.

[0071] 표 2는 도 3에서의 모든 지리학적 격자(약 6만개)에 대한 각각의 강수 샘플에 대한 강우특성을 분류한 표로서, 각각의 강수샘플에 대한 피크 개수에 따른 강우특성 정보가 저장된다.

표 2

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
1	3	201007050401	201007050417	139.7422	35.97187	17	5	1.371	8.6
2	1	201007051041	201007051052	139.3328	35.44479	12	6	1.153	19.8
3	3	201007221441	201007221451	139.6078	35.63021	11	9	1.14	12.2
4	10	201007310416	201007310532	139.3297	35.79688	77	11	8.691	27.3
5	5	201008160831	201008160903	139.7734	35.87188	33	17	3.476	38.7
6	2	201008270853	201008270908	139.6266	36.04271	16	5	1.373	14.9
7	1	201009280211	201009280219	139.5641	35.33229	9	3	0.216	3.8
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
345,948	2	201009280357	201009280405	139.9078	36.11562	9	4	0.218	3.4

[0073] 상기 표 2에서, ① 강수샘플 ID(강수 샘플 번호), ② 피크개수(N_{peak}), ③ 강수 시작시간, ④ 강수 소강시간, ⑤ 경도($^{\circ}$ E), ⑥ 위도($^{\circ}$ N), ⑦ 강수 지속시간(T_{rain}), ⑧ 강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간(T_{peak}), ⑨ 누적강우량(R_{ac}), ⑩ 피크강우강도(R_{peak})을 나타낸다.

[0074] 8. 강우피크의 개수가 1인 경우 추출

[0075] 다음으로, 상기 강우특성정보 중 강우피크의 개수(N_{peak})가 1개인 경우만의 강우특성정보를 추출한다. 즉, 상기 와 같은 방법으로 얻어진 강수 샘플들에 대한 대류성 강우특성 정보 중에 N_{peak} 가 단일 피크 (Single peak)일 때의 대류성 강수만을 추출한다.

[0076] 단일 피크($N_{peak}=1$)일 때의 강수샘플 중에서, 피크 강우강도 R_{peak} 의 최대치는 128.1 mmhr^{-1} 였고, 누적강우량 R_{ac} 의 최대치는 40.4 mm 였으며, 강수 지속시간 T_{rain} 의 최대치는 42 min. , 강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간 T_{peak} 의 최대치는 21 min. 으로 나타났다.

[0077] 강우피크의 개수가 1일 경우만을 추출하는 이유는 하기에서와 같이, 대류성 강우특성정보들의 상관성이 매우 높기 때문이다.

[0078] 9. 상관관계 도출

[0079] 다음으로, 추출된 강우피크의 개수가 1인 경우의 강우특성정보를 이용하여, 누적강우량과 다른 강우특성정보와의 상관 관계를 도출한다.

[0080] 단일피크($N_{peak}=1$) 일 때의 강수 샘플 수는 전체 강수 샘플 수(345,948개) 중에서 약 25%인 88,036개였다. 즉, 88,036개의 단일피크($N_{peak}=1$) 강수샘플을 이용하여, 피크 강우강도 R_{peak} , 누적강우량 R_{ac} , 강수 지속시간 T_{rain} ,

강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간 T_{peak} 에 대한 상관관계 분석을 실시하였다.

[0081] 단일 피크($N_{peak}=1$)일 때의 강수 샘플에 대한 통계분석은 피어슨 상관관계 분석법을 이용하여 실시하였다. 표 3은 피어슨 상관관계 분석 결과를 나타낸다.

표 3

[0082]

	R_{peak}	R_{ac}	T_{rain}	T_{peak}
R_{peak}	-	0.93	0.62	0.49
R_{ac}	0.93	-	0.67	0.52
T_{rain}	0.62	0.67	-	0.76
T_{peak}	0.49	0.52	0.76	-

[0083] 상기 표 3의 피어슨 상관관계 분석결과, $R_{ac} - R_{peak}$ 는 0.9 이상의 매우 높은 상관 값을 보였으며, 또한 $T_{peak} - T_{rain}$ 도 0.75 이상의 높은 상관값을 나타내었다.

[0084] 여기서, 주목할 점은 4개의 변수(R_{peak} , R_{ac} , T_{rain} , T_{peak}) 중 R_{ac} 가 다른 세 변수(R_{peak} , R_{ac} , T_{rain} , T_{peak})와의 상관성이 다른 변수들간의 상관성보다 높다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 누적강우량 R_{ac} 는 피크 강우강도 R_{peak} 과의 상관값은 0.93, 강수 지속시간 T_{rain} 과의 상관값은 0.67, 강수시작에서 피크 강우강도까지의 시간 T_{peak} 와의 상관값은 0.52였으므로, 모두 0.5이상의 높은 상관관계를 나타내었다.

[0085] 따라서, 누적강우량 R_{ac} 를 통해 다른 변수들(R_{peak} , T_{rain} , T_{peak})을 예측가능하다는 사실을 확인할 수 있었다.

[0086] 한편, 일반적인 대류성 강우와 강한 대류성 강우의 특성을 보다 구체적으로 살펴보기 위해, 표 2의 자료에 대해서 피크 강우강도를 10 mmhr^{-1} 과 50 mmhr^{-1} 의 이상으로 재분류하여 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다

[0087] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 R_{ac} 에 대한 R_{peak} , T_{rain} , and T_{peak} 의 상관분석 및 회귀분석 그래프이다.

[0088] 도 8에서는 (a), (b), (c)는 일반적인 대류성 강우(피크강우강도 $R_{peak} \geq 10 \text{ mmhr}^{-1}$)에 대한 그래프로써, (a)는 누적강우량 R_{ac} 와 R_{peak} 과의 상관분석, 회귀분석 그래프, (b)는 누적강우량 R_{ac} 와 T_{rain} 과의 상관분석, 회귀분석 그래프, (c)는 누적강우량 R_{ac} 와 T_{peak} 과의 상관분석, 회귀분석 그래프이며, (d), (e), (f)는 강한 대류성 강우(피크강우강도 $R_{peak} \geq 50 \text{ mmhr}^{-1}$)에 대한 그래프로써, (d)는 누적강우량 R_{ac} 와 R_{peak} 과의 상관분석, 회귀분석 그래프, (e)는 누적강우량 R_{ac} 와 T_{rain} 과의 상관분석, 회귀분석 그래프, (f)는 누적강우량 R_{ac} 와 T_{peak} 과의 상관분석, 회귀분석 그래프이다.

[0089] 도 8을 참조하면, 두 변수 R_{ac} 와 R_{peak} 에서는 피크 강우강도가 10 mmhr^{-1} 과 50 mmhr^{-1} 의 이상일 때 0.93, 0.77의 높은 상관성을 보였고, R_{ac} 와 T_{rain} 에서도 0.80, 0.78의 높은 상관값을 나타냈다. 피크 강우강도가 50 mmhr^{-1} 이상일 때의 R_{ac} 와 T_{peak} 에서는 0.49의 다소 낮은 상관성을 보였으나, 피크 강우강도가 10 mmhr^{-1} 이상에서는 0.68의 다소 높은 상관성을 보였다.

[0090] 한편, 표 4 및 표 5에서는 도 8에서 나타낸 R_{ac} 에 대한 R_{peak} , T_{rain} , and T_{peak} 의 선형 회귀 분석식을 표로 나타내었다.

[0091] 표 4는 $R_{peak} \geq 10 \text{ mmhr}^{-1}$ 에서의 최소, 최적, 최대의 선형 회귀 분석식이며, 표 5는 $R_{peak} \geq 50 \text{ mmhr}^{-1}$ 에서의 최소, 최적, 최대의 선형 회귀 분석식이다.

표 4

	Min.	Opt.	Max.
R_{peak}	$7.18R_{ac}^{0.77}$	$14.61R_{ac}^{0.67}$	$29.14R_{ac}^{0.54}$
T_{rain}	$3.05R_{ac}^{0.66}$	$9.79R_{ac}^{0.35}$	$30.18R_{ac}^{0.11}$
T_{peak}	$0.75R_{ac}^{0.81}$	$5.16R_{ac}^{0.33}$	$19.44R_{ac}^{0.03}$

표 5

	Min.	Opt.	Max.
R_{peak}	$8.66R_{ac}^{0.71}$	$29.31R_{ac}^{0.40}$	$33.79R_{ac}^{0.47}$
T_{rain}	$3.05R_{ac}^{0.66}$	$7.13R_{ac}^{0.46}$	$9.97R_{ac}^{0.50}$
T_{peak}	$0.91R_{ac}^{0.74}$	$4.50R_{ac}^{0.37}$	$13.50R_{ac}^{0.15}$

아울러, 도 9는 도 8에서의 상관계수와 선형회귀분석 그래프로서, (a)는 $R_{peak} \geq 10 \text{ mmhr}^{-1}$ 의 경우(일반 대류성 강우의 경우)를, (b)는 $R_{peak} \geq 50 \text{ mmhr}^{-1}$ 의 경우(강한 대류성 강우의 경우)를 각각 나타낸다.

이상과 같이, 대류성 강우에서의 단일피크의 특성을 활용하여 향후 현업에서의 국지성 호우에 대한 단시간 예보 및 nowcasting에 대한 능력을 향상시키는데 도움이 될 것으로 사료된다.

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 실시예들은 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

> 1분 강우강도 레이더 자료 생성

1. 1분 레이더 강우강도 산출

2. 극좌표계에서 직교 좌표계로 전환

3. Cressman 내삽법을 이용한 합성 레이더 자료 산출

>> 강수에 대한 시간적 주기 산출

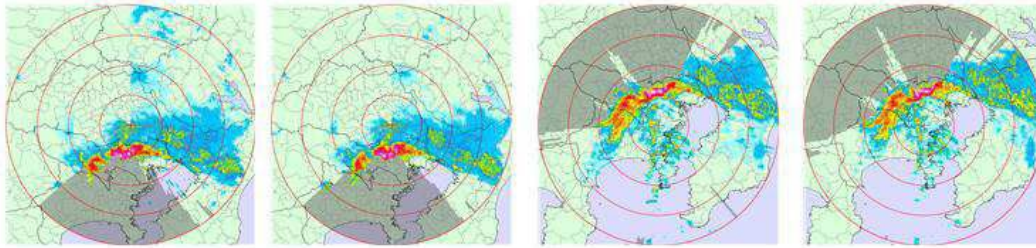
4. 누적 강수량 데이터 생성

5. 불필요한 노이즈값 제거를 위한 AR 필터 설계

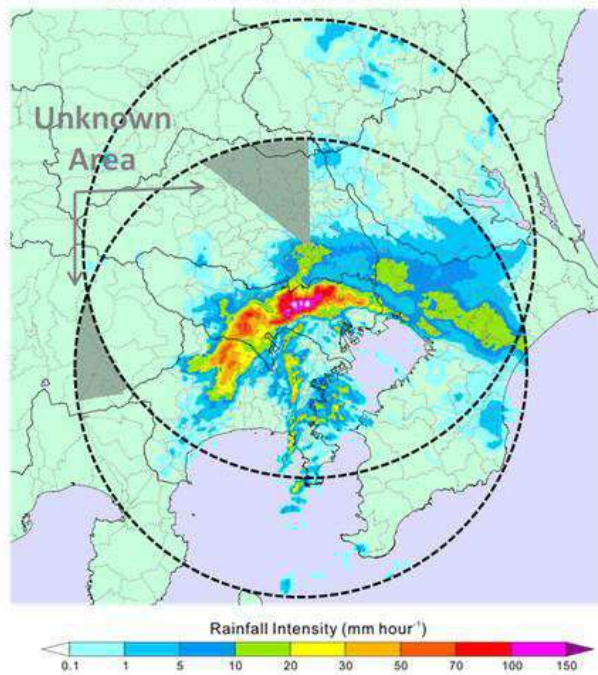
6. 격자마다 시간에 따른 강우강도 피크 분류

도면2

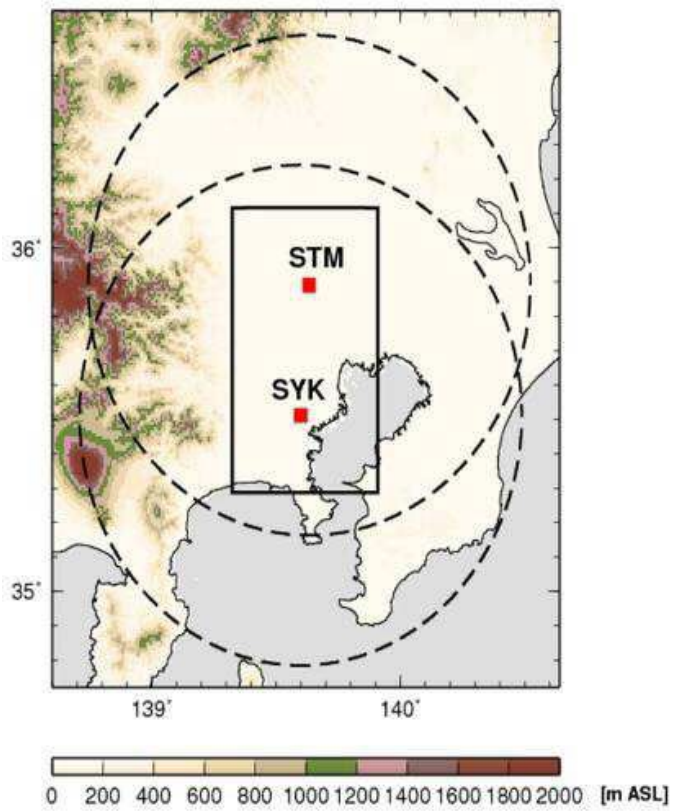
(a) STM : 1.4 ° (b) STM : 2.4 ° (c) SYK : 1.7 ° (d) SYK : 2.6 °



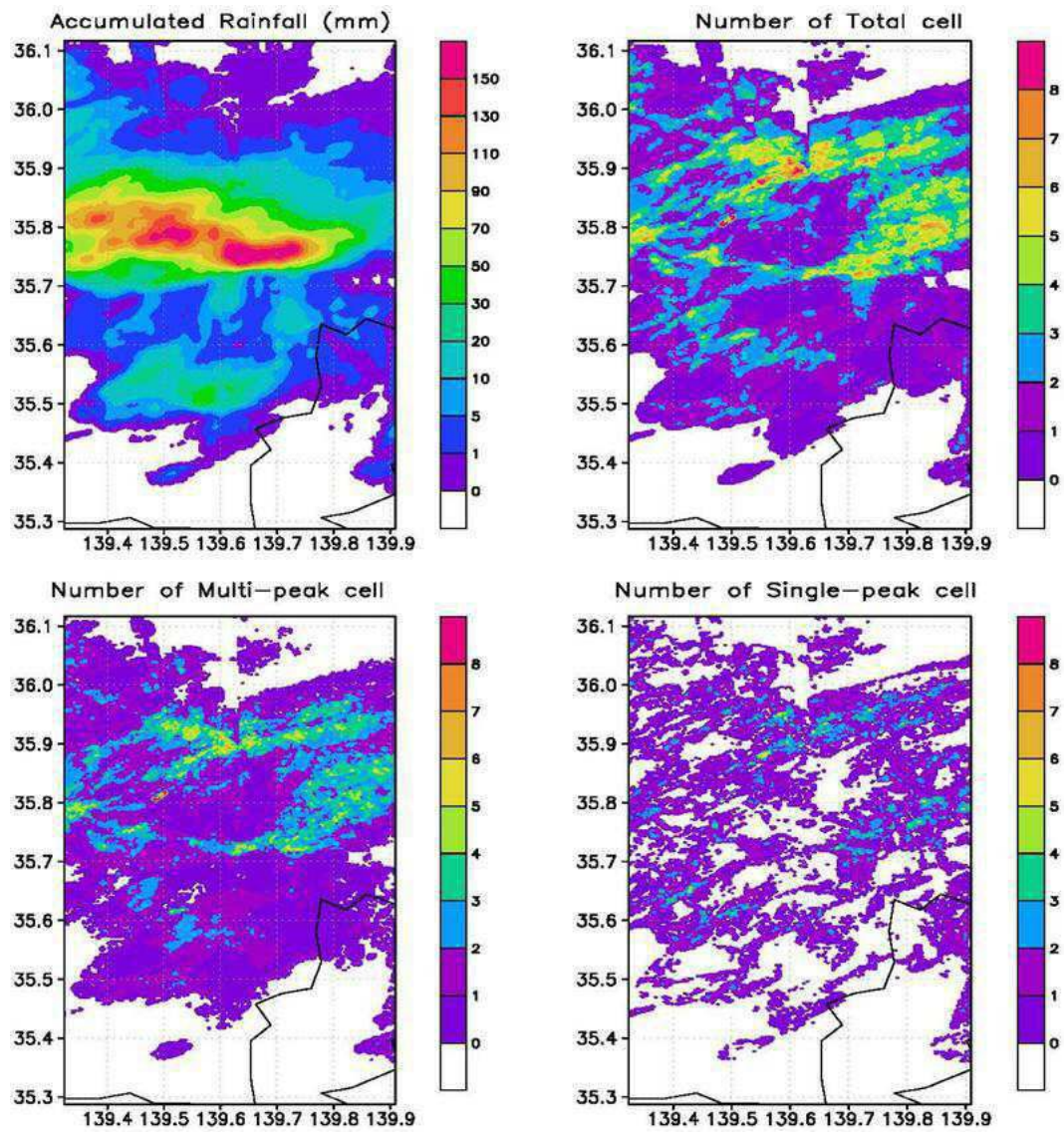
(e) 1 minute rainfall intensity



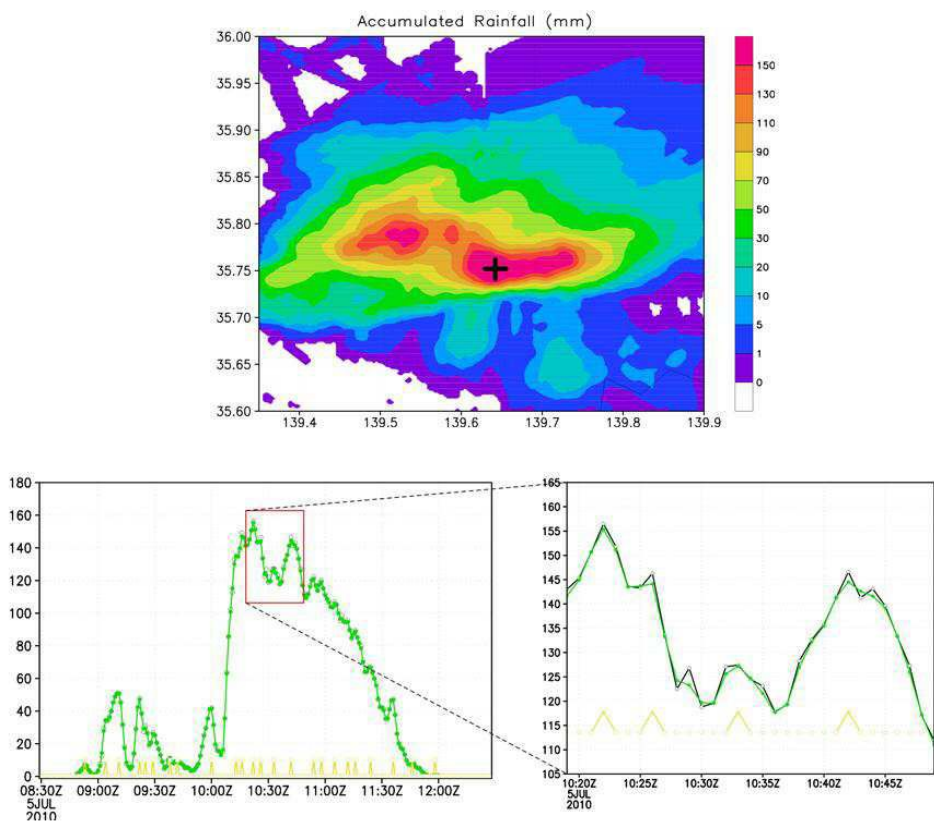
도면3



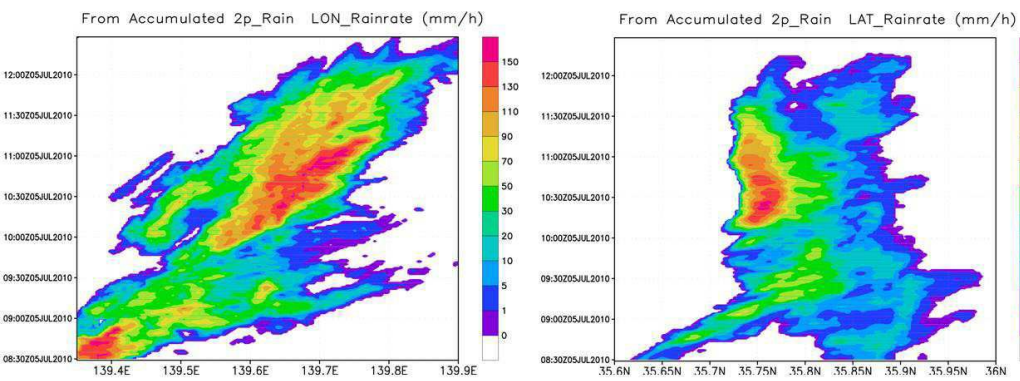
도면4



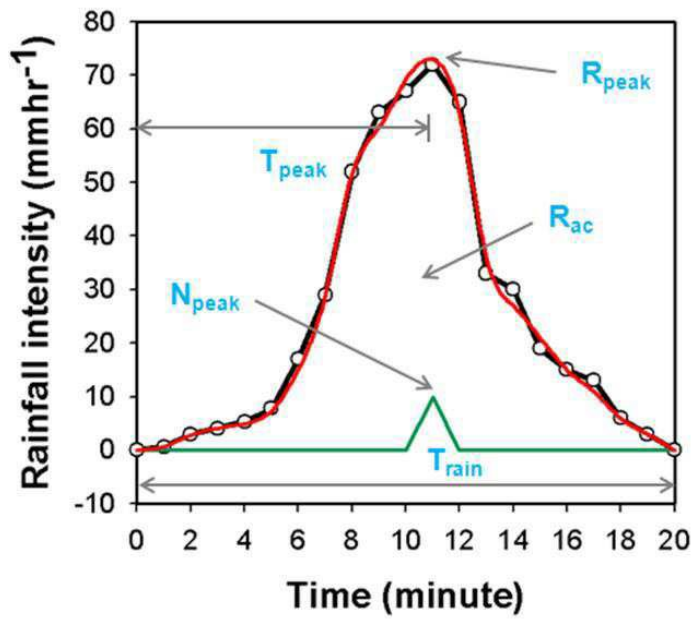
도면5



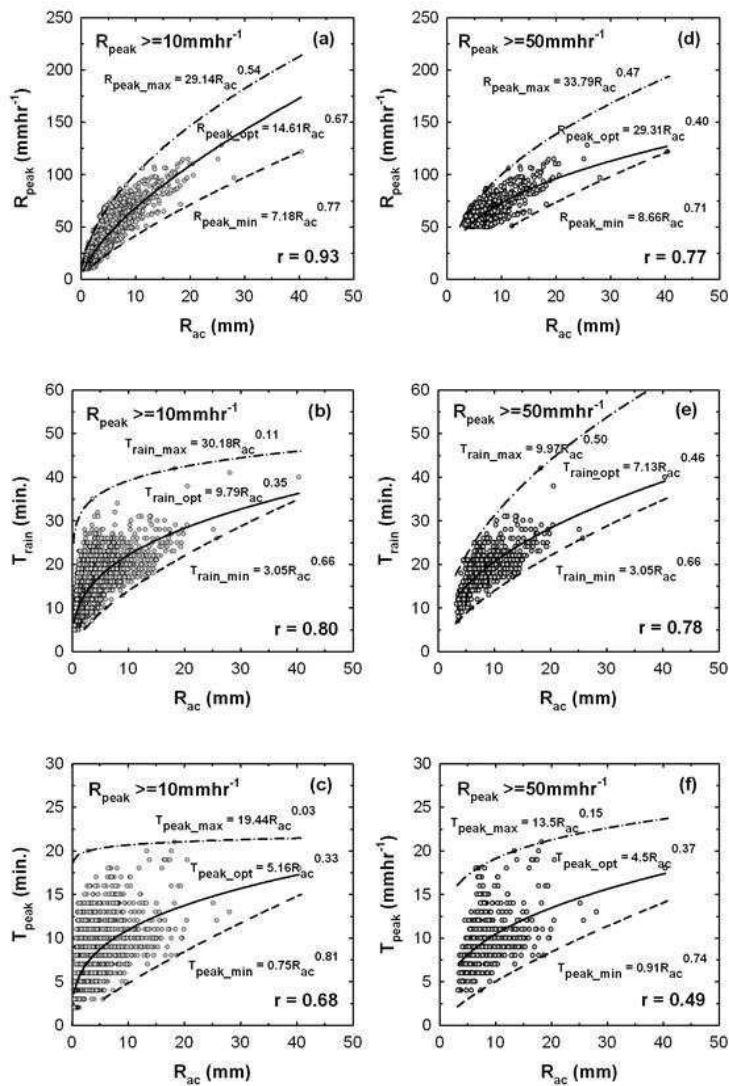
도면6



도면7

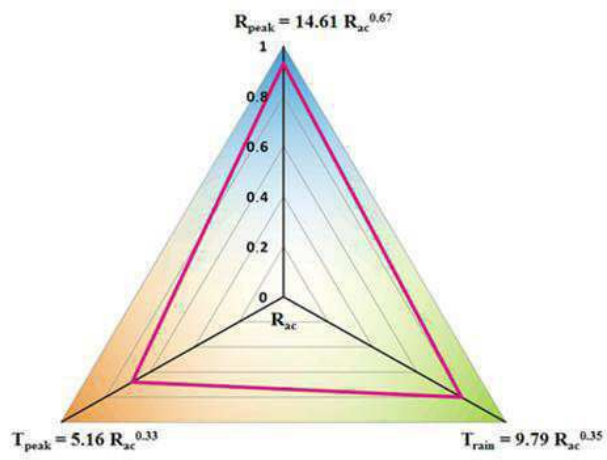


도면8



도면9

(a)



(b)

