



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년10월16일
(11) 등록번호 10-0922129
(24) 등록일자 2009년10월09일

(51) Int. Cl.

G01S 13/95 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0031088

(22) 출원일자 2009년04월10일

심사청구일자 2009년04월10일

(56) 선행기술조사문헌

장민, 이동인, 유철환, "POSS를 이용한 강수입자
분석과 Z-R 관계식 산출", 한국기상학회지 40,
vol. 5, pp. 557-570, 2004.

JP15344556 A

(73) 특허권자

부경대학교 산학협력단

부산 남구 용당동 산 100번지 부경대학교내

(72) 발명자

이동인

부산광역시 남구 용호동 LG메트로시티 205동 802
호

장 민

부산광역시 기장군 철마면 장전리 159-1번지

(74) 대리인

특허법인부경

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 장석환

(54) 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법

(57) 요약

본 발명은 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법에 관한 것으로서, POSS 반사도를 관측하여 강수입자의 직경분포를 추정하는 제1단계와, 강수입자의 직경분포에 따른 수농도를 추정하기 위하여 다수의 모멘트 조합 (① M012, ② M234, ③ M246, ④ M346, ⑤ M456)으로 감마분포 매개변수(μ, Λ, N_0)를 구하는 제2단계와, 상기 다수의 모멘트 조합을 이용해 각각의 강수입자 직경분포를 시뮬레이션하여 산출된 수농도를 감마분포식 $N(D)=N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$ 에 넣어 재계산하여 새로운 강우강도와 반사도를 산출하는 제3단계와, 상기 제3단계에서 산출된 강우강도와 반사도의 통계적인 오차를 계산하고 가장 오차가 적은 모멘트 조합을 최적의 시뮬레이터로서 결정하는 제4단계와, 상기 제1단계에서 관측된 값과 상기 제2단계 내지 제4단계에서 계산된 값의 오차를 최소자승법을 이용하여 피팅(fitting)시킴으로써 오차를 최소화하여 최적의 강수입자 직경분포를 산출하는 제5단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

따라서 강수입자 직경분포의 수농도를 정확하게 분포식으로 결정함으로써, 수치예보의 초기입력 자료로서 활용 가치가 높고, 나아가 레이더를 이용한 강수량 추정의 정확성 향상과 대기오염 물질의 세정과 관련된 기초자료로 활용할 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 K20607010000

부처명 국제과학기술협력재단(KICOS)

연구사업명 글로벌연구실사업

연구과제명 동지나해 공동해역에서의 대기 강수시스템 및 호우 발달에 관한 연구

주관기관 부경대학교

연구기간 2009년 04월 01일~2010년 03월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

강수입자 직경분포의 이론적 수농도 분포를 구하기 위한 최적 추정함수 산출 방법에 있어서,

POSS 반사도를 관측하여 강수입자의 직경분포를 추정하는 제1단계;

강수입자의 직경분포에 따른 수농도를 추정하기 위하여 다수의 모멘트 조합 (①M012, ②M234, ③M246, ④M346, ⑤M456)으로 감마분포 매개변수(μ, Λ, N_0)를 구하는 제2단계;

상기 다수의 모멘트 조합을 이용해 각각의 강수입자 직경분포를 시뮬레이션하여 산출된 수농도를 감마분포식 $N(D)=N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$ 에 넣어 재계산하여 새로운 강우강도와 반사도를 산출하는 제3단계;

(단. $N(D)$ 는 수농도이고, 인터셉트(intercept, $N_0(\text{mm}^{-1-m} \text{m}^{-3})$), 기울기(slope, $\Lambda(\text{mm}^{-1})$), 그리고 셰이프(shape) μ 는 감마분포에서 산출되는 매개변수로서 모멘트 접근방식으로 계산한다.)

상기 제3단계에서 산출된 강우강도와 반사도의 통계적인 오차를 계산하고, 가장 오차가 적은 모멘트 조합을 최적의 시뮬레이터로서 결정하는 제4단계;

상기 제1단계에서 관측된 값과 상기 제2단계 내지 제4단계에서 계산된 값의 오차를 최소자승법을 이용하여 피팅(fitting)시킴으로써, 오차를 최소화하여 최적의 강수입자 직경분포를 산출하는 제5단계;를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제2단계에서 다수의 모멘트 조합에 사용되는 식은,

①M012

$$m = \frac{M_1^2}{M_0 M_2} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 2$$

$$\Lambda = \frac{M_0}{M_1} (\mu + 1) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+1)} M_0}{\Gamma(\mu+1)}$$

②M234

$$m = \frac{M_3^2}{M_2 M_4} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 4$$

$$\Lambda = \frac{M_2}{M_3} (\mu + 3) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+3)} M_2}{\Gamma(\mu+3)}$$

③M246

$$m = \frac{M_4^2}{M_2 M_6} \quad \mu = \frac{(7-11m) - (m^2 + 14m + 1)^{\frac{1}{2}}}{2(m-1)}$$

$$\Lambda = \left[\frac{M_2}{M_4} (\mu+3)(\mu+4) \right]^{\frac{1}{2}} \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+3)} M_3}{\Gamma(\mu+3)}$$

④M346

$$m = \frac{M_4^3}{M_3 M_6} \quad \mu = \frac{(8-11m) - (m^2 + 8m)^{\frac{1}{2}}}{2(m-1)}$$

$$\Lambda = \frac{M_3}{M_4} (\mu+4) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+4)} M_3}{\Gamma(\mu+4)}$$

⑤M456

$$m = \frac{M_5^2}{M_4 M_6} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 6$$

$$\Lambda = \frac{M_4}{M_5} (\mu+5) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+5)} M_4}{\Gamma(\mu+5)}$$

인 것을 특징으로 하는 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 제4단계의 통계적인 오차는 Fractional Standard Error (FSE)를 사용하며, 그 식은

$$FSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{fit}(\text{or } Z_{fit}) - R_{obs}(\text{or } Z_{obs}))^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{obs}(\text{or } Z_{obs})}$$

인 것을 특징으로 하는 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법.

(단, R_{obs} 와 Z_{obs} 는 실제 관측에서 얻어진 수농도 분포를 이용하여 구한 강우강도(mm/hr)와 반사도(dBZ)이고, R_{fit} 와 Z_{fit} 는 모멘트 접근으로 구한 수농도 분포를 강우강도와 반사도로 환산하여 구한 것이다.)

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 강수입자 직경분포(DSD: Drop Size Distribution)의 이론적 수농도 분포를 구하기 위한 최적의 함수를 결정하여 실제 관측값과 가장 유사한 결과를 갖는 추정식을 산출할 수 있는 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 일반적으로 기상(氣象)레이더는 전자기파를 발사하여 기상학적 목표물에 반사 또는 산란되어 오는 전파신호의 크기를 계산하는 장비로써, 넓은 영역(유효관측반경: 240km)을 매우 빠르게(10분) 감시할 수 있기 때문에 넓은 영역의 강수량을 산출하는 가장 효율적인 원격탐사장비 중 하나이다.
- <3> 목표물에 산란되어 오는 신호(반사도)는 기상레이더에서 발사되는 펄스 볼륨 내에 존재하는 물방울의 크기분포와 관계가 있으며, 지상에 떨어지는 강수량도 물방울의 크기분포의 함수이므로 레이더 반사도와 지상 강수량과의 일정 관계식(Z-R 관계식; $Z=aR^b$)을 사용하면 레이더 반사도로부터 지상 강수량을 추정해 낼 수 있다.
- <4> 이러한 기상레이더가 산출하는 반사도와 강우강도는 강수입자 직경분포(DSD: Drop Size Distribution)의 함수로서 강우강도에 따라 변동성이 커지므로 강수입자 직경분포의 이론적 추정은 레이더를 이용한 강수량 추정의 정확도 향상, 수치예보 모델의 입력자료, 강수에 의한 대기오염 물질의 세정 효과에 대한 기초 자료로서 활용 가능하기 때문에 강수입자 분포를 최적화하는 과정이 중요하게 요구되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <5> 본 발명은 강수입자 직경분포의 이론적 수농도 분포를 구하기 위한 감마함수를 적용하여 다양한 모멘트 접근 방법으로 최적의 추정함수를 구할 수 있는 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법을 제공하는 것을 주목적으로 한다.

과제 해결수단

- <6> 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 방법으로, 본 발명의 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법은, POSS 반사도를 관측하여 강수입자의 직경분포를 추정하는 제1단계와, 강수입자의 직경분포에 따른 수농도를 추정하기 위하여 다수의 모멘트 조합 (①M012, ②M234, ③M246, ④M346, ⑤M456)으로 감마분포 매개변수(μ, Λ, N_0)를 구하는 제2단계와, 상기 다수의 모멘트 조합을 이용해 각각의 강수입자 직경분포를 시뮬레이션하여 산출된 수농도를 감마분포식 $N(D)=N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$ 에 넣어 재계산하여 새로운 강우강도와 반사도를 산출하는 제3단계와, (단, $N(D)$ 는 수농도이고, 인터셉트(intercept, $N_0(\text{mm}^{-1}\text{m}^{-3})$), 기울기(slope, $\Lambda(\text{mm}^{-1})$), 그리고 셰이프(shape) μ 는 감마분포에서 산출되는 매개변수로서 모멘트 접근방식으로 계산한다.) 상기 제3단계에서 산출된 강우강도와 반사도의 통계적인 오차를 계산하고 가장 오차가 적은 모멘트 조합을 최적의 시뮬레이터로서 결정하는 제4단계와, 상기 제1단계에서 관측된 값과 상기 제2단계 내지 제4단계에서 계산된 값의 오차를 최소자승법을 이용하여 피팅(fitting)시킴으로써 오차를 최소화하여 최적의 강수입자 직경분포를 산출하는 제5단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- <7> 바람직한 실시 예에 따르면, 상기 제2단계에서 다수의 모멘트 조합에 사용되는 식은,

<8>

①M012

$$m = \frac{M_1^2}{M_0 M_2} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 2$$

$$\Lambda = \frac{M_0}{M_1} (\mu+1) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+1)} M_0}{\Gamma(\mu+1)}$$

<9>

<10>

②M234

$$m = \frac{M_3^2}{M_2 M_4} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 4$$

$$\Lambda = \frac{M_2}{M_3} (\mu+3) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+3)} M_2}{\Gamma(\mu+3)}$$

<11>

<12>

③M246

$$m = \frac{M_4^2}{M_2 M_6} \quad \mu = \frac{(7-11m) - (m^2 + 14m + 1)^{\frac{1}{2}}}{2(m-1)}$$

$$\Lambda = \left[\frac{M_2}{M_4} (\mu+3)(\mu+4) \right]^{\frac{1}{2}} \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+3)} M_3}{\Gamma(\mu+3)}$$

<13>

<14>

④M346

$$m = \frac{M_4^3}{M_3^2 M_6} \quad \mu = \frac{(8-11m) - (m^2 + 8m)^{\frac{1}{2}}}{2(m-1)}$$

$$\Lambda = \frac{M_3}{M_4} (\mu+4) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+4)} M_3}{\Gamma(\mu+4)}$$

<15>

<16>

⑤M456

$$m = \frac{M_5^2}{M_4 M_6} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 6$$

$$\Lambda = \frac{M_4}{M_5} (\mu+5) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+5)} M_4}{\Gamma(\mu+5)}$$

<17>

<18> 인 것을 특징으로 한다.

<19> 바람직한 실시 예에 따르면, 상기 제4단계의 통계적인 오차는 Fractional Standard Error (FSE)를 사용하며, 그 식은

$$FSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{fit}(\text{or } Z_{fit}) - R_{obs}(\text{or } Z_{obs}))^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{obs}(\text{or } Z_{obs})}$$

<20>

<21> 인 것을 특징으로 한다.

<22> (단, R_{obs} 와 Z_{obs} 는 실제 관측에서 얻어진 수농도 분포를 이용하여 구한 강우강도(mm/hr)와 반사도(dBZ)이고, R_{fit} 와 Z_{fit} 는 모멘트 접근으로 구한 수농도 분포를 강우강도와 반사도로 환산하여 구한 것이다.)

효 과

<23> 상술한 바와 같이 본 발명의 실시 예에 따른 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법에 의하면, 여러 분야에 다양하게 사용되는 강수입자 직경분포의 수농도를 정확하게 분포식으로 결정함으로써, 수치예보의 초기입력 자료로서 활용 가치가 높고, 나아가 레이더를 이용한 강수량 추정의 정확성을 향상시키고, 수치예보 모델에 입력하여 강수예측의 단기예보 정확도를 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

<24> 또한 대기오염 물질의 세정과 관련된 기초 자료로서 활용되어 대기오염 물질의 제어나 수송 등에 관련된 정보를 얻을 수 있어 국민의 생명과 재산을 보호하는데 기여할 수 있는 장점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<25> 이하에서는 본 발명의 실시 예에 따라 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법에 대해 상세히 설명하도록 한다.

<26> 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

<27> 또한, 하기 설명에서 구체적인 구성요소 등과 같은 특정 사항들 없이도, 본 발명이 실시될 수 있음은 이 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게는 자명하다 할 것이다.

<28> 강수입자의 이론적 수농도 분포는 Marshall and Palmer (MP) 분포식과 감마분포 함수를 이용하여 구할 수 있다.

<29> 상기 감마분포 함수는 모멘트 접근 방법으로 감마분포 변수를 구하여 강수입자의 수농도를 회수하는데, 여러 가지 모멘트를 조합하여 감마분포 변수를 구하여 이론적 수농도 분포를 추정하고 실제 관측값과 비교하여 최적의 모멘트 조합을 구하고 시뮬레이션을 통하여 이론적 강수입자의 수농도를 추정하는 것이다.

<30> 이를 위하여 본 발명에서는 다음과 같은 과정을 수행하게 되며, 본 발명의 실시 예에 따라 기상레이더의 강수입자 직경분포 산출 방법에 대해 설명하도록 한다.

<31> 일반적으로 강수입자의 직경분포 특성을 알아보기 위하여 감마분포 함수를 이용한 연구가 많이 수행되고 있으며 아래와 같은 식으로 정의한다.

<32>
$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$$

<33> 여기서 $N(D)$ 는 수농도이고, 인터셉트(intercept, $N_0(\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3})$), 기울기(slope, $\Lambda(\text{mm}^{-1})$), 그리고 셰이프(shape) μ 는 감마분포에서 산출되는 매개변수로서 모멘트 접근방식으로 계산하는 것이 바람직하다.

<34> 감마분포는 다양한 모멘트를 사용하여 시뮬레이션하고 실제 관측으로 얻어진 강수입자의 직경분포와 비교하여 모델의 결과로서 강수입자 직경분포를 추정한다.

<35> 감마분포 함수 모델에 따르면, 강수입자 직경분포의 n번째 모멘트, M_n 은 아래의 식으로 표현된다.

$$M_n = N_0 \frac{\Gamma(\mu + n + 1)}{\Lambda^{\mu + n + 1}}$$

<36>

<37> 강수입자의 직경분포에 따른 수농도를 추정하기 위하여 다양한 모멘트(①M012, ②M234, ③M246, ④M346, ⑤M456)로 감마 매개변수(μ, Λ, N_0)를 아래의 식을 이용하여 구한다.

<38> ①M012

$$m = \frac{M_1^2}{M_0 M_2} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 2$$

$$\Lambda = \frac{M_0}{M_1} (\mu + 1) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+1)} M_0}{\Gamma(\mu + 1)}$$

<39>

<40> ②M234

$$m = \frac{M_3^2}{M_2 M_4} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 4$$

$$\Lambda = \frac{M_2}{M_3} (\mu + 3) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+3)} M_2}{\Gamma(\mu + 3)}$$

<41>

<42> ③M246

$$m = \frac{M_4^2}{M_2 M_6} \quad \mu = \frac{(7-11m) - (m^2 + 14m + 1)^{\frac{1}{2}}}{2(m-1)}$$

$$\Lambda = \left[\frac{M_2}{M_4} (\mu + 3)(\mu + 4) \right]^{\frac{1}{2}} \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+3)} M_3}{\Gamma(\mu + 3)}$$

<43>

<44> ④M346

$$m = \frac{M_4^3}{M_3^2 M_6} \quad \mu = \frac{(8-11m) - (m^2 + 8m)^{\frac{1}{2}}}{2(m-1)}$$

$$\Lambda = \frac{M_3}{M_4} (\mu + 4) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+4)} M_3}{\Gamma(\mu + 4)}$$

<45>

<46> ⑤M456

$$m = \frac{M_5^2}{M_4 M_6} \quad \mu = \frac{1}{(1-m)} - 6$$

$$\Lambda = \frac{M_4}{M_5} (\mu + 5) \quad N_0 = \frac{\Lambda^{(\mu+5)} M_4}{\Gamma(\mu+5)}$$

<47>

<48> 앞서 언급한 다양한 모멘트 중에서 최적의 모멘트 조합을 찾기 위하여 ①M012, ②M234, ③M246, ④M346, ⑤M456을 사용하여 각각의 강수입자 직경분포를 시뮬레이션하여 산출된 수농도를 감마분포식 $N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$ 에 넣어 재계산하여 새로운 강우강도와 반사도를 계산한다.

<49> 이렇게 산출된 강우강도와 반사도의 비교를 위해 실제 관측으로 얻어진 강우강도와 반사도와의 통계적인 오차를 Fractional Standard Error (FSE)를 사용하여 계산한다.

<50> 각각의 모멘트를 적용하여 나온 결과에 대한 FSE를 상호 비교하여 가장 오차가 적은 모멘트 조합을 최적의 시뮬레이터로서 결정하며, 통계 오차를 구하기 위한 FSE는 아래 식으로 계산된다.

$$FSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{fit}(\text{or } Z_{fit}) - R_{obs}(\text{or } Z_{obs}))^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{obs}(\text{or } Z_{obs})}$$

<51>

<52> 여기서 R_{obs} 와 Z_{obs} 는 실제 관측에서 얻어진 수농도 분포를 이용하여 구한 강우강도(mm/hr)와 반사도(dBZ)이고, R_{fit} 와 Z_{fit} 는 모멘트 접근으로 구한 수농도 분포를 강우강도와 반사도로 환산하여 구한 것이다.

<53> 이와 같이 실제 관측에서 얻어진 수농도 분포와 가장 유사한 분포를 보이는 추정함수를 결정하고, 관측값과 계산된 값과의 최소자승법(least square method)을 이용하여 피팅(fitting) 시킴으로써 오차를 최소화시켜 최적의 강수입자 직경분포를 산출하는 것이다.