



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0022249
(43) 공개일자 2014년02월24일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/08 (2006.01) G01N 21/47 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2012-0088617
(22) 출원일자 2012년08월13일
심사청구일자 2012년08월13일
- (71) 출원인
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
- (72) 발명자
김덕현
대전 유성구 배울1로 119, 1203동 1201호 (용산동, 대덕테크노밸리12단지아파트)
- (74) 대리인
특허법인무한

전체 청구항 수 : 총 15 항

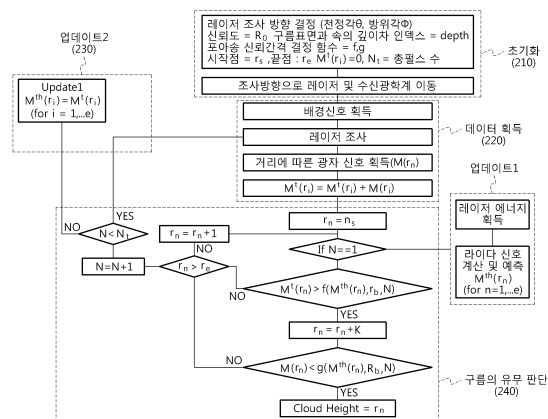
(54) 발명의 명칭 구름의 유무 결정 장치 및 방법

(57) 요약

구름의 유무를 자동으로 감지하기 위하여 배경신호를 포함하여 레이저에 의하여 수신되는 광자의 수를 예측 및 측정하여 시간이 지남에 따라 구름이 특정 위치에서 발생할 경우 그 위치에서 산란되는 광자의 수를 두 지점에서 동시에 통계적 제한을 만족하는 지점을 파악하여 최소의 레이저만 대기 중에 조사하고도 원하는 신뢰도로 구름의 유무를 결정할 수 있는 구름의 유무 결정 장치 및 방법을 개시한다.

일실시예로서, 구름의 유무 결정 장치 및 방법은, 배경신호와 구름이 없는 라이다 신호 크기를 실험적-이론적으로 얻어 그 각 고도에서 얻어지는 광자의 평균 수, 표준편차 등을 추출하고 이를 근거로 실제 상황에서 즉 구름의 유무 및 고도를 알 수 없는 미지의 상황에서 각 고도에서 얻어진 신호를 얻고, 획득된 구름에 의한 신호 크기를 모집단의 특성(평균, 표준편차)과 비교하여 구름의 존재 여부를 알 수 있고, 구름이 관측되면 바로 그 방향으로의 거리를 측정하고 다른 방향 혹은 다른 시간에 다시 측정이 이루어지도록 하고, 이를 통하여 장비의 내구성을 높이고, 측정 속도를 빨리할 수 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 CATER 2012-6170

부처명 기상청

연구사업명 기상기술개발사업

연구과제명 구름 특성 관측기법과 구름 관측자료 분석기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한밭대학교 산학협력단

연구기간 2012.03.15 ~ 2015.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

각 적분시간간격(BT, Bin time)에서 발생하는 예상 광자 수를 산출하는 산출부;

레이저 펄스를 구름에 조사하고, 상기 구름에 의해 산란되는 산란 신호를 이용하여, 상기 적분시간간격(BT) 별로 광자 수를 측정하는 측정부; 및

상기 광자 수와 상기 예상 광자 수에 기반하여, 상기 구름의 유무를 결정하는 결정부를 포함하는 구름의 유무 결정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 산출부는,

상기 구름으로 최초 레이저 펄스를 조사하고, 상기 최초 레이저 펄스의 에너지 및 배경신호를 이용하여, 상기 적분시간간격(BT)와 연관된 거리에 따른 상기 예상 광자 수를 산출하는 구름의 유무 결정 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 산출부는,

임의 방향으로 최초 레이저 펄스를 조사하고,

상기 조사된 최초 레이저 펄스의 수가 선정된 횟수(N_t)이고, 상기 최초 레이저 펄스에 의해 구름이 검출되지 않는 경우, 상기 최초 레이저 펄스에 따른 N_t 회 누적된 라이다 신호를 이용하여, 상기 적분시간간격(BT)와 연관된 고도에 따른 상기 예상 광자 수를 산출하는 구름의 유무 결정 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 측정부는,

상기 적분시간간격(BT) 별로 광센서로 입사되는 광자를 카운트하는 광자계수기

를 포함하고,

상기 광자계수기에서 카운트한 값을 합산하여 상기 광자 수를 측정하는 구름의 유무 결정 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 결정부는,

상기 광자 수와 상기 예상 광자 수의 차가 미리 선정된 값을 초과하면, 상기 측정된 광자 수가 상기 구름에서 산란된 라이다 신호에 의한 것으로 판단하고 상기 구름의 유무를 결정하는 구름의 유무 결정 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 결정부는,

라이다 신호에 관한 평균값을 추정한 값이, 카이제곱표에서 정한 값을 초과하면, 상기 측정된 광자 수가 구름 존재여부에 의한 값으로 판단하고 상기 구름의 유무를 결정하는 구름의 유무 결정 장치.

청구항 7

각 적분시간간격(BT, Bin time)에서 발생하는 예상 광자 수를 산출하는 단계;

레이저 펄스를 구름에 조사하고, 상기 구름에 의해 산란되는 산란 신호를 이용하여, 상기 적분시간간격(BT) 별로 광자 수를 측정하는 단계; 및

상기 광자 수와 상기 예상 광자 수에 기반하여, 상기 구름의 유무를 결정하는 단계를 포함하는 구름의 유무 결정 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 예상 광자 수를 산출하는 단계는,

상기 구름으로 최초 레이저 펄스를 조사하는 단계; 및

상기 최초 레이저 펄스의 에너지 및 배경신호를 이용하여, 상기 적분시간간격(BT)와 연관된 거리에 따른 상기 예상 광자 수를 산출하는 단계

를 포함하는 구름의 유무 결정 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 거리에 따른 상기 예상 광자 수를 산출하는 단계는,

$$M^{th}(r_n) = C_c \frac{\xi(r_n)}{r_n^2} \beta(r_n) e^{-\int_0^{r_n} \alpha(r') dr'} + Back$$

를 만족하여 상기 예상 광자 수를 산출하는 단계

- 상기 $M^{th}(r_n)$ 은 예상 광자 수이고, 상기 C_c 는 상수이며, 상기 $\xi(r)$ 은 변수이고, 상기 r_n 은 레이저로부터 거리이며, 상기 β 는 후방산란계수값이고, 상기 $\alpha(r)$ 은 레이저로부터 거리 r 에 있는 지점에서의 레이저의 소광 계수이며, 상기 Back은 배경신호임 -

를 포함하는 구름의 유무 결정 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 예상 광자 수를 산출하는 단계는,

임의 방향으로 최초 레이저 펄스를 조사하는 단계; 및

상기 조사된 최초 레이저 펄스의 수가 선정된 횟수(Nt)이고, 상기 최초 레이저 펄스에 의해 구름이 검출되지 않는 경우, 상기 최초 레이저 펄스에 따른 Nt회 누적된 라이다 신호를 이용하여, 상기 적분시간간격(BT)와 연관된 고도에 따른 상기 예상 광자 수를 산출하는 단계

를 포함하는 구름의 유무 결정 방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 광자 수를 측정하는 단계는,

상기 적분시간간격(BT) 별로 광센서로 입사되는 광자를 카운트하는 단계; 및

상기 카운트한 값을 합산하여 상기 광자 수를 측정하는 단계
를 포함하는 그룹의 유무 결정 방법.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 그룹의 유무를 결정하는 단계는,

상기 광자 수와 상기 예상 광자 수의 차가 미리 선정된 값을 초과하는지를 비교하는 단계; 및

상기 비교 결과, 상기 차가 미리 선정된 값을 초과하면 상기 측정된 광자 수가 상기 그룹에서 산란된 라이다 신호에 의한 것으로 판단하고 상기 그룹의 유무를 결정하는 단계

를 포함하는 그룹의 유무 결정 방법.

청구항 13

제7항에 있어서,

상기 그룹의 유무를 결정하는 단계는,

라이다 신호에 관한 평균값을 계산하는 단계;

상기 평균값을 추정한 값이, 카이제곱표에서 정한 값을 초과하는지를 비교하는 단계; 및

상기 비교 결과, 초과하면, 상기 측정된 광자 수가 그룹 존재여부에 의한 값으로 판단하고 상기 그룹의 유무를 결정하는 단계

를 포함하는 그룹의 유무 결정 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 라이다 신호에 평균값을 계산하는 단계는,

$$p(n) = \frac{\langle n \rangle^n e^{-\langle n \rangle}}{n!}$$

을 이용하여 상기 평균값을 계산하는 단계를 포함하고,

- p(n)은 평균값이고, 상기 <n>은 평균 입자수이며, 상기 n은 광자수임 -

상기 평균값을 추정한 값은,

$$\langle M^n(r_n) \rangle - 1.96 \frac{\sqrt{M^n(r_n)}}{\sqrt{N}} \leq M(r_n) \leq \langle N \rangle + 1.96 \frac{\sqrt{M^n(r_n)}}{\sqrt{N}}$$

을 만족하여 계산하는

- 상기 $M^n(r_n)$ 은 예측된 광자수이고, 상기 <N>은 측정된 광자 수이며, 상기 N은 레이저의 펄스 수이고, 상기 $M(r_n)$ 은 평균값을 추정한 값임 -

그룹의 유무 결정 방법.

청구항 15

제7항에 있어서,

상기 광자 수를 측정하는 단계는,

$$\frac{\chi^2\left(\frac{a}{2}; 2N\right)}{2} \leq \left(\frac{M^{th}(r_n) - M^t(r_n)}{M^{th}(r_n)/(N-1)} \right)^2 \leq \frac{\chi^2\left(1 - \frac{a}{2}; 2N+2\right)}{2}$$

을 이용하여 상기 광자 수를 측정

하는 단계

- 상기 $\chi^2(a, N)$ 은 카이제곱표에서 얻은 값이고, 상기 a는 신뢰도이면, 상기 N은 레이저의 펄스 수이고, 상기 $M^{th}(r_n)$ 은 예측된 광자수이며, 상기 $M^t(r_n)$ 은 측정된 광자 수임 -

를 포함하는 구름의 유무 결정 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 펄스형 레이저를 이용하여 고도에서 구름의 유무를 결정하는 구름의 유무 결정 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 구름이나 물체의 3 차원 분포를 측정하는 장치는 기상(기후)과 로봇, 자동차, 토목, 그리고 군사적인 목적으로 자주 사용되는 장치이다. 레이저를 이용한 구름이나 물체의 3 차원 분포 측정은 레이저를 한 지점에 고정시키고 레이저를 3 차원 공간에 일정한 간격으로 조사(scanning)함으로써 이루어 진다. 이러한 목적에 사용되는 레이저는 전체 3 차원 분포 정보를 가능한 빠르게 얻는 것이 중요하며 그러므로 고반복률(10khz 이하)이고 펄스 에너지가 높을수록 유리하다. 그러나 고반복 고에너지 레이저는 상당히 고가이고 크기가 커서 상용장치로는 단점이 많이 있다. 이런 이유 때문에 고반복률 낮은 에너지의 레이저가 주로 사용되고 있다.

[0003] 지금까지는 구름의 고도 혹은 원하는 방향에서의 구름의 위치를 얻기 위하여 낮은 에너지의 레이저를 한 지점에 구름의 고도에 관계 없이 일정 수만큼 조사하고 사람의 판단이나 경험에 의하여 신호를 분석하여 구름의 유무와 거리를 판단하거나 혹은 일정 크기 이상의 아날로그 신호가 들어오면 분별기(discriminator)를 이용하여 디지털화시킴으로써(2 bit) 구름 유무를 판단하고 시간 지연을 이용하여 그 거리를 측정하였다.

[0004] 그러나 이러한 측정 방법으로는 각기 다른 고도에 있는 구름을 측정함에 있어서 최적의 펄스 수만을 사용할 수 없고, 무작위소음(random noise)에 의한 신호가 들어오는 경우 오판을 피할 수 없다. 또한, 측정 방법은 항상 주어진 펄스 수에 따라 레이저를 조사하기 때문에 구름이 관측 가능한 이후에도 불필요한 레이저를 조사함으로써 빠른 속도로 구름의 3 차원 분포를 얻을 수 없으며, 항상 이동하는 구름의 경우 측정 오차들이 발생할 여지가 있다.

[0005] 따라서 레이저의 에너지나 펄스 반복률에 의존하지 않으면서 최소의 펄스 수만으로도 무작위소음에 의한 오판단을 제거하는 알고리즘을 구성함으로써 원하는 방향에서 최적의 펄스로 구름의 위치를 보다 정확히-빠르게 얻을 수 있는 장치 및 방법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 일실시예는 레이저를 조사하는 미리 선정된 방향으로, 구름이나 기타 목표물(장애물)의 유무를 측정할 때 가장 적은 펄스 수의 레이저를 조사하고 원하는 신뢰도에서 구름의 유무를 결정하는 구름의 유무 결정 장치 및 방법을 제공한다.

[0007] 또한, 본 발명의 일실시예는 레이저의 에너지나 펄스 반복률 그리고 주위의 환경에 관계 없이 자동으로 필요한 레이저 펄스 수와 구름까지의 거리를 정확하게 결정하는 구름의 유무 결정 장치 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기의 일실시예를 이루기 위한, 구름의 유무 결정 장치는, 각 적분시간간격(BT, Bin time)에서 발생하는 예상 광자 수를 산출하는 산출부; 레이저 펄스를 구름에 조사하고, 상기 구름에 의해 산란되는 산란 신호를

이용하여, 상기 적분시간간격(BT) 별로 광자 수를 측정하는 측정부; 및 상기 광자 수와 상기 예상 광자 수에 기반하여, 상기 구름의 유무를 결정하는 결정부를 포함한다.

[0009] 또한, 상기 일실시예를 달성하기 위한 기술적 방법으로서, 구름의 유무 결정 방법은, 각 적분시간간격(BT, Bin time)에서 발생하는 예상 광자 수를 산출하는 단계; 레이저 펄스를 구름에 조사하고, 상기 구름에 의해 산란되는 산란 신호를 이용하여, 상기 적분시간간격(BT) 별로 광자 수를 측정하는 단계; 및 상기 광자 수와 상기 예상 광자 수에 기반하여, 상기 구름의 유무를 결정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명의 일실시예에 따르면, 미리 선정된 방향에서 구름의 유무를 결정함에 있어서 레이저의 조사 펄스 수를 효율적으로 관리할 수 있어 측정 시간을 줄이고 레이저의 사용 횟수를 줄임으로써 전체 시스템의 내구성을 좌우하는 레이저의 수명을 늘릴 뿐만 아니라 전체적으로는 시스템의 내구성을 향상시킬 수 있으며 무엇보다도 원하는 물체의 거리를 빠른 속도로 원하는 신뢰도로 얻을 수 있다.

[0011] 또한, 본 발명의 일실시예에 따르면, 구름에 의하여 후방산란 신호가 커져 통계적으로 이상 징후를 보이는 부분과 구름에 의하여 소광계수가 커진 신호가 줄어들어 통계적으로 이상 징후를 보인 부분을 동시에 만족하는 부분을 찾음으로써 고도에서 구름의 유무를 한가지 제한 조건을 주는 것 보다 더 정확히 결정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 구름의 유무 결정 장치의 구성을 보인 블록도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 구름의 유무 결정 방법의 동작 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 구름이 존재하지 않는 경우 예측되는 라이다 신호의 모양을 보인 예시도이다.

도 4a는 본 발명의 일실시예에 따른 광자의 수에 따른 검출 확률을 나타낸 예시도이다.

도 4b는 본 발명의 일실시예에 따른 광자의 수가 많아지면 측정되는 광자의 수 분포는 가우시안 분포를 하게 된다는 것을 보여주는 예시도이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 구름이 존재하는 경우 예측되는 라이다 신호의 모양을 보인 예시도이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 구름의 존재할 경우 예측되는 광자 수와 통계적으로 어떤 확률로 존재하는지 보여주는 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0014] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 구름의 유무 결정 장치의 구성을 보인 블록도이다.

[0015] 도 1을 참조하면, 구름의 유무 결정 장치는 예상 광자 수를 산출하는 산출부(110), 레이저를 조사하여 광자 수를 측정하는 측정부(120), 측정된 광자 수와 산출된 예상 광자 수에 기반하여 구름의 유무를 결정하는 결정부(130)를 포함한다.

[0016] 라이다에서 산란하는 구름의 거리는 빛이 왕복하는데 걸린 시간으로 정의되며 빛의 양이 미약할 경우 측정부(120)는 광자계수기(Photon counter)로 빛의 신호를 측정한다. 광자계수기는 일정 시간 동안에 센서로 수신되는 광자의 수를 적절한 적분시간간격(BT: Bin time)으로 잘라서 순서대로 기억장치에 저장하기 때문에 각 적분시간간격은 장치로부터 거리를 말하고 분해능은 적분시간간격의 시간에 의하여 결정된다. 예를 들어, 100nsec 간격으로 광자를 적분하여 메모리에 저장한다면, 각 100 번째 메모리에 저장된 광자는 레이저가 조사된 위치에서 $100 \times 100 \times 10^{-9} \text{ sec} \times 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ 즉 3 km 에서 산란되어 센서로 입사된 광자수를 말한다.

[0017] 결정부(130)는 라이다 신호의 예측 값과 실제 값의 차이를 구별하여 구름의 유무를 판단한다. 즉, 결정부(130)는 예측되는 라이다 신호와 측정된 라이다 신호의 차이를 통계적으로 비교함으로써 이상 유무를 판단하고 이로부터 구름의 유무를 결정하는데, 예측되는 신호 및 관측되는 신호가 여러 가지 요인에 의하여 시간적으로 변

하기 때문에 능동적으로 대처하여야 한다.

- [0018] 신호의 시간적 변화는 크게 레이저의 에너지, 주위 빛 환경, 그리고 거리 측정을 위하여 구축한 광학계의 구조에 의존하며 변화게 된다.
- [0019] 레이저의 에너지는 레이저 동작 시간, 주위 온도, 레이저의 전기적 특성 등의 환경 변화에 민감하여 장기적으로는 수 분에서 수시간 단위로 변화한다.
- [0020] 주위환경은 주변의 태양광의 위치를 포함한 임의의 광신호 세기 변화 혹은 레이저 조사 방향에 따라서 달라지는 양이며 신호변화에 가장 영향력이 큰 것이다.
- [0021] 장치의 광학적인 구조는 장비에 인위적인 변화나 비정상적인 정렬 상태로 되지 않는 한 변화가 없다. 그러므로 레이저의 에너지와 주위 환경과 레이저의 에너지 변화를 모니터링하는 것은 매우 중요하며, 또한 이를 통하여 신호의 크기를 예측하고 이로부터 구름의 유무를 결정하고 거리를 측정하는 것은 장치의 오차를 줄이고 효율을 높이는 데 필요한 일이다.
- [0022] 그러므로 측정부(120)는 주위의 환경변화를 자동으로 관측하는 부분과 레이저의 에너지를 측정하는 부분이 있어야 원래의 펄스형 레이저에 의하여 산란된 신호만 추출할 수 있다. 주위 환경변화는 배경신호 변화를 의미하며 측정부(120)는 레이저가 조사되기 전에 배경신호를 감지하는 부분이 있어야 하며, 배경신호를 전체 신호에서 제거된 신호만으로 라이다 신호의 단기적인 변화를 얻어야 한다.
- [0023] 또한 산출부(110)는 센서로 입력되는 신호의 거리에 따른 크기는 이론적으로 예측된 모양과 배경신호만으로도 알거나, 레이저 펄스를 적정 횟수 조사하여 얻은 라이다 신호 중에서 근거리 신호를 통하여 알 수 있다. 일단 라이다 신호의 거리에 따른 크기가 결정되면, 결정부(130)는 이 신호 크기로부터 예측되는 각 적분시간간격 동안 얻어지는 광자의 평균 수와 그 값이 얼마나 벗어나 있는가는 포아송 통계를 통하여 얻을 수 있다. 결정부(130)는 측정값이 예측 값에서 얼마나 벗어나는지(deviation)를 통하여 각 적분시간간격에서 얻은 신호는 물체의 타겟(구름, 장애물)에서 산란된 신호인지 아닌지를 판단할 수 있어야 하는데, 한가지 조건보다는 여러 조건을 동시에 만족하도록 설정하는 것이 더 불확실성을 줄일 수 있다.
- [0024] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 구름의 유무 결정 방법의 동작 흐름도이다.
- [0025] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 구름의 유무 결정 방법의 동작 순서는 1) 시스템을 초기화하는 단계(210), 2)신호를 획득하는 단계(220), 3) 각 적분시간간격(Bt)에서의 예상 광자 수를 산출하는 단계(Update)(230), 4) 구름의 유무를 결정하는 단계(240)를 포함한다.
- [0026] 시스템을 초기화하는 단계(210)는 구름이 없는 경우 최대 조사 펄스 수(N_t), 이론적으로 예측되는 각 적분시간간격에 따른 광자의 수($M^{th}(r_n)$), 구름 표면과 구름 속에서의 거리 차를 나타내는 거리 계수(K_{depth}), 구름 유무 판단에 관련된 신뢰도와 관련된 값(R_b), 포아송 분포에서, 주어진 신뢰도에서 얻어지는 최대 광자계수를 결정하는 함수(f), 최소 광자계수를 계산하는 함수(g), 구름의 최저 높이를 제한하는 거리(r_s), 구름의 최대 높이를 제한하는 거리(r_e), 라이다 신호를 합하여 저장하는 변수($M^i(r_n)$), 한 지점에서 구름 측정을 위해서 사용하는 최대 레이저 펄스 수(N_i) 등을 초기화한다.
- [0027] 신호를 획득하는 단계(220)는 레이저가 조사되기 전에 배경신호를 얻는 단계와 레이저를 조사하는 단계 그리고 조사된 레이저에 의하여 산란된 신호를 각 주어진 적분시간간격 별로 광자 수를 세어서 메모리에 저장하는 단계 및 기 저장된 광자 수에 최근에 받은 신호를 합치는 단계 등으로 나눌 수 있다. 펄스 레이저의 에너지는 광센서와 아날로그 신호 적분기, ADC등을 통하여 얻을 수 있으며, 배경신호는 레이저가 조사되기 전에 충분한 배경신호-적분시간간격을 두고 센서로 입사되는 광자를 광자계수기(photon counter)로 얻은 후 전부 더하여 얻는다. 라이다 신호를 저장하는 각 적분시간간격(Bt)은 배경신호-적분시간간격보다 충분히 작아야 정확히 측정할 수 있으며 임의로 조절이 가능하다.
- [0028] 거리에 따른 각 적분시간간격에서의 예상 광자 수($M^{th}(r_n)$)를 산출하는 단계(Update)(230)는 두 가지 방법으로 얻어지는데, 레이저를 처음으로 조사하는 경우에 레이저 에너지와 근거리 신호, 그리고 수학식1을 이용하여 이론적으로 구하는 경우(업데이트 1)와 원하는 수(N_i)로 펄스의 레이저를 조사하여 신호를 합하여도 구름이 모니터링되지 않았을 경우(업데이트 2) 얻어진 신호의 크기가 그것 이다.

[0029] 레이저가 처음으로 조사되는 경우는(업데이트 1) 레이저 에너지 모니터링을 통하여 이론적으로 계산되는 거리 (r_n)에 따른 예측되는 광자 수를 계산하는 것으로 수학적 1 과 같은 모양으로 나타내며 이를 이용한다.

수학적 1

$$M^{th}(r_n) = C_c \frac{\xi(r_n)}{r_n^2} \beta(r_n) e^{-\int_0^{r_n} \alpha(r') dr'} + Back$$

[0030]

[0031] 수학적 1에서 첫 번째 항은 상수(C_c)를 나타내며 레이저의 에너지가 커지면 비례해서 커진다. 레이저 에너지 측정을 통하여 C_c 값을 알 수 있다. 두 번째 항($\xi(r)$)은 레이저 빛과 수신 렌즈의 초점거리와 두 광학계의 광축 거리, 그리고 레이저의 발산각과 수신광학계의 시각에 의하여 거리에 따라 다른 값을 나타내며 이 수학적 1의 함수는 장치가 설치되어 고정되면 변하지 않으며 근거리에서는 0에 가까운 작은 값을 원거리에서는 1을 나타낸다. 이 수학적 1의 함수 $\xi(r)$ 는 레이저를 수평으로 조사함으로써 얻을 수 있다. back은 배경신호에 해당하며 레이저가 조사되기 전에 미리 그 값을 측정하여 얻는다. 그밖에 $\alpha(r)$ 은 레이저로부터 거리 r 에 있는 지점에서의 레이저의 소광계수(extinction coefficient)를, 그리고 r_n 은 레이저로부터 거리를 각각 나타낸다. 소광계수와 후방산란계수 등은 구름이 없는 일반 대기 상태에서 그 비가 일정하며(라이다비) 도 3에서와 같이 "후방산란계수 및 소광계수 추출 단계"의 신호를 이용하여 얻을 수 있다.

[0032]

일반적으로 거리에 따라 예상되는 광자의 수는 도 3과 같은 모양을 지니게 된다. 도 3에서 알 수 있듯이 근거리에서는 0 에 가까운 값을 나타내고 원거리에서도 0을 나타내며 최고점이 존재하는 그런 함수의 모양이다. 즉 후방산란계수와 소광계수는 공기분자와 에어로졸의 표준데이터를 이용하여 사용할 수도 있고, 도 3처럼 "후방산란계수 및 소광계수 추출 단계"를 이용할 수도 있으며, 미리 구름이 없을 날을 택하여 원하는 방향으로 측정하여 컴퓨터의 메모리에 저장하여 사용할 수도 있다.

[0033]

두 함수 즉 소광계수 값(α)과 후방산란계수값(β)는 시간적으로 변하게 되어 수시로 그 함수 모양을 보완(update)하여야 한다.

[0034]

고도에 따른 광자 수 예측 값을 업데이트하는(업데이트2) 단계(230)는 도 2처럼 원하는 측정거리(r_e)까지 구름이 검출되지 않았을 경우 라이다를 통하여 얻은 라이다 신호($M^l(r)$) 자체를 예측 값으로 활용($M^{th}(r)$)하는 경우이다.

[0035]

구름이 없을 경우 즉 레이저 펄스 수를 최대 N_L 회 조사하여도 구름이 주어진 신뢰도에서 검출되지 않고 또한 의심되는 지점이 있더라도 구름 내부로 생각되는 깊이에서 신호 크기가 충분히 작은 지점이 나타나지 않는 경우 레이저가 조사된 방향으로 구름이 없는 것으로 하고 N_L 회 누적한 라이다 신호는 차후 모든 거리에서의 예측되는 신호의 크기로 업데이트(update 2)한다. 이 값을 이용하면 실제 측정에서 사용 펄스 수가 다른 경우 N_L 회 레이저를 조사하여 얻어진 라이다 신호를 통하여 1 회 측정에서 예상되는 신호를 알 수 있고, 2 회, ... N_L 회 레이저를 조사했을 때 얻을 수 있는 라이다 신호의 크기를 예측할 수 있다.

[0036]

구름의 유무를 결정하는 단계(240)는 레이저를 이용하여 대기 중으로 조사된 빛을 산란시키고 다시 받는 것을 기본으로 하는 라이다, 운고계 혹은 기타 거리 측정기의 신호크기 즉 광자의 수는 통계적 분포를 하게 되며 아래의 수학적 2과 같은 포아송 통계를 따른다. 수학적 2는 평균 입자수 $\langle n \rangle$ 에서 실제 얻어지는 광자수 n 에 따른 얻어지는 확률 분포를 나타낸 것이고, 도 4a는 이를 그림으로 나타낸 것이다. 수학적 2를 이용하면 광자의 표준편차와 평균 값을 이론적으로 계산할 수 있다.

수학식 2

$$p(n) = \frac{\langle n \rangle^n e^{-\langle n \rangle}}{n!}$$

[0037]

[0038] 계산에 의하면, 광자 수의 통계적 오차는 $\sqrt{\langle n \rangle}$ 이 된다.

[0039] 도 4b는 기대되는 입자의 수가 많은 20일때 포아송 통계에 따른 광자수의 분포와 가우시안 통계를 따르는 광자의 분포를 보여준다. 도 4b에서 알 수 있듯이 두 통계 분포는 같지는 않지만 거의 유사한 모양을 지니고 있음을 알 수 있다.

[0040] 레이저가 조사된 방향에 구름이 존재하는 경우 대표적으로 도 5와 같은 라이다 신호가 얻어진다. 도 5에서 보듯이 구름이 시작되는 지점에서는 후방산란계수가 커서 산란신호가 예측된 신호의 크기보다 커진다는 것을 알 수 있으며, 구름에서 깊이가 더해질수록 예측된 신호보다 그 광자의 수가 줄어든다는 것을 알 수 있다. 예측되

는 광자의 수는 이미 알고 있고 그 오차는 언급하였듯이 예측된 광자 수 $M^{th}(r_n)$ 의 제곱근에 $\sqrt{M^{th}(r_n)}$ 비례한다. 즉, 특정고도 r_c 에 구름이 존재하면 r_c 에서 얻어지게 되는 광자의 수는 적정한 신뢰도에서

$M^{th}(r_c) + \sqrt{M^{th}(r_c)}$ 보다 많은 광자가 입사되게 되어 예측 값을 벗어나게 된다고 판단할 수 있으며, 동시에 구름이라 판단된 곳보다 보다 더 먼 곳에서 즉 구름 속에서 산란된 신호는($r_{c+Kdepth}$ 에서의 광자수)

$M^{th}(r_{c-Kdepth}) - \sqrt{M^{th}(r_{c-Kdepth})}$ 수 보다 작은 값을 지닐 수 있다.

[0041] 도 6에서 판단한다면 구름이 존재한다면 구름 표면에서는 주어진 신뢰도에서(R_b) 예측된 값보다 큰 값을 보이고, 구름 속에서 얻어지는 신호는 반대로 작은 값을 지닌다.

[0042] 구체적으로는 도 4b에서 알 수 있듯이 광자 수가 충분히 큰 값이면 광자는 근사적으로 가우시안 분포를 하게 되어 정규 분포를 하게 되어, 주어진 광자의 기대 평균치 즉 이론적으로 예측된 광자수 $\langle n \rangle$ 와 표준편차 σ_n 에서 실제 레이저 조사로 측정된 광자의 수가 $\langle n \rangle$ 일 때 95% 신뢰도에서 수학식 3과 같이 쓸 수 있다.

수학식 3

$$\langle M^{th}(r_n) - 1.96 \frac{\sqrt{M^{th}(r_n)}}{\sqrt{N}} \leq M(r_n) \leq \langle N \rangle + 1.96 \frac{\sqrt{M^{th}(r_n)}}{\sqrt{N}}$$

[0043]

[0044] 여기서, N은 조사된 레이저의 횟수를 의미한다. 물론 신뢰도가 달라지면 예를 들어, 99% 신뢰도에서는 수학식 3에서 1.96 대신에 2.58과 같은 수로 대체되며, 사용자가 원하는 값으로 선정하여 판단이 가능하다.

[0045] 광자의 수가 충분하지 않는 거리에서, 원거리에서 수신된 신호는 광자의 수가 충분히 크기 음, 수신된 신호는 비대칭 포아송 분포를 하기 때문에 95% 신뢰에서($R_b = 0.95$) 신뢰도에서는 기대되는 광자수는 수학식 4와 같이 쓸 수 있다.

수학식 4

$$\frac{\chi^2(\frac{a}{2}; 2N)}{2} \leq \left(\frac{M^{th}(r_n) - M^l(r_n)}{M^{th}(r_n)/(N-1)} \right)^2 \leq \frac{\chi^2(1 - \frac{a}{2}; 2N + 2)}{2}$$

[0046]

[0047] 여기서, $\chi^2(R_b, N)$ 는 카이제곱표에서 얻을 수 있는 값이며, R_b 는 신뢰도, N 는 자유도(degree of freedom)를 말하며 본 발명에서는 사용한 레이저의 펄스 수에 해당한다. 즉 한 방향에서 레이저를 조사하면서 라이다 신호를 누적하여 $M^i(r_n)$ 을 구하고 (도 3에서는 최대 자유도는 N_t)이 값을 평균하여 규격화된 평균값을 구하고 이 값을 이론적으로 추정한 값 ($M^{th}(r_n)$)과 카이제곱표와 비교하여 특정 고도에서 측정된 광자 수가 주어진 신뢰도(R_b)를 통하여 구름이 존재하여 광자의 수가 증가한 것인지 통계적인 현상인지 밝혀 구름의 존재 여부를 알아낸다.

[0048] 일반적으로 대기환경과 레이저를 포함한 장치의 사양에서 구름 측정에 필요한 최대 펄스 수(N_t)는 경험적으로 구하여 입력하여 불필요한 레이저를 조사하지만, 본 발명의 장점은 두 가지 조건을 동시에 만족하는 경우를 고려하여 최대의 레이저 펄스 수가 되기 전에 구름의 유무를 결정하고 거리를 판단한다. 구름이 존재하지 않는 경우는 항상 최대 펄스 수로 레이저를 동작하고 이로부터 예측되는 라이다 신호의 크기를 업데이트(update)한다. 도 3에서 최대 광자계수를 결정하는 함수(f)와 최소 광자계수를 계산하는 함수(g)는 수학식 4에 의하여 결정된다.

[0049] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

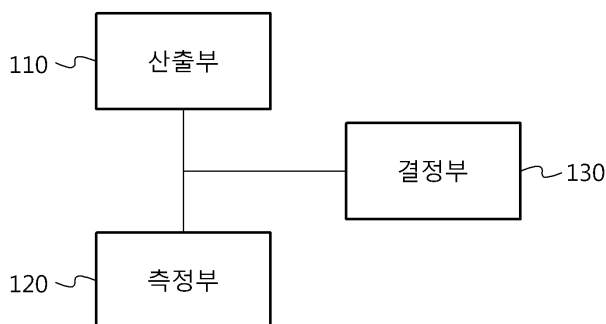
[0050] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

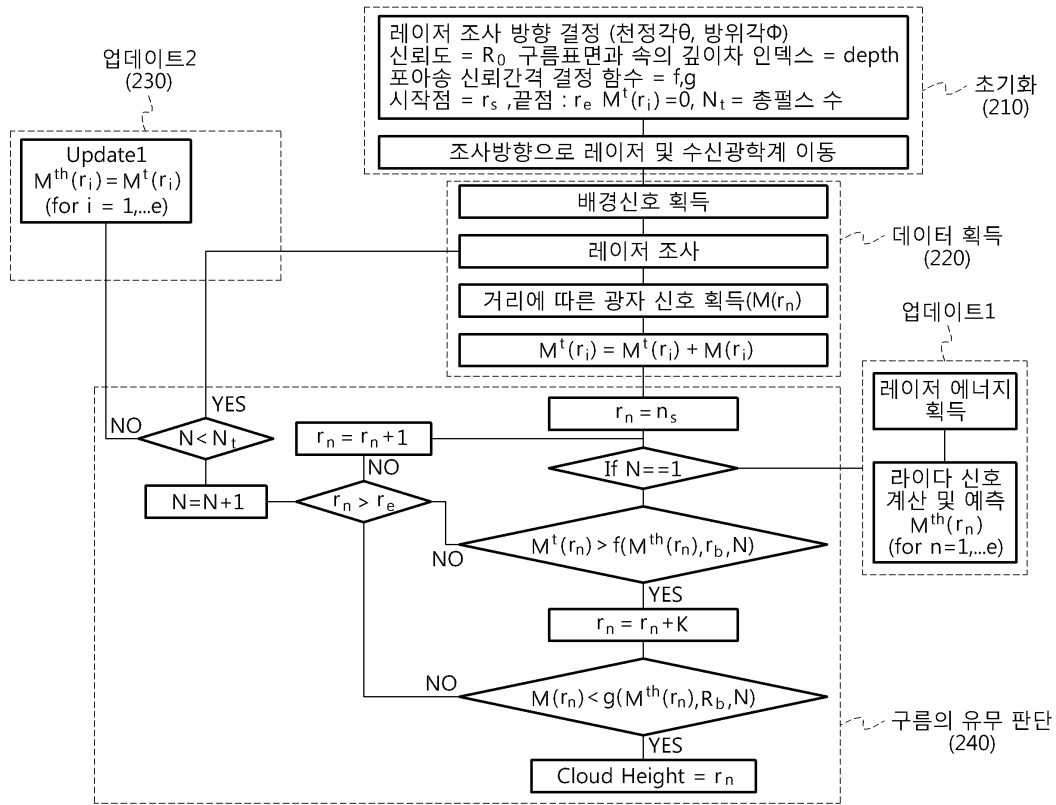
[0051] 110 : 산출부
120 : 측정부
130 : 결정부

도면

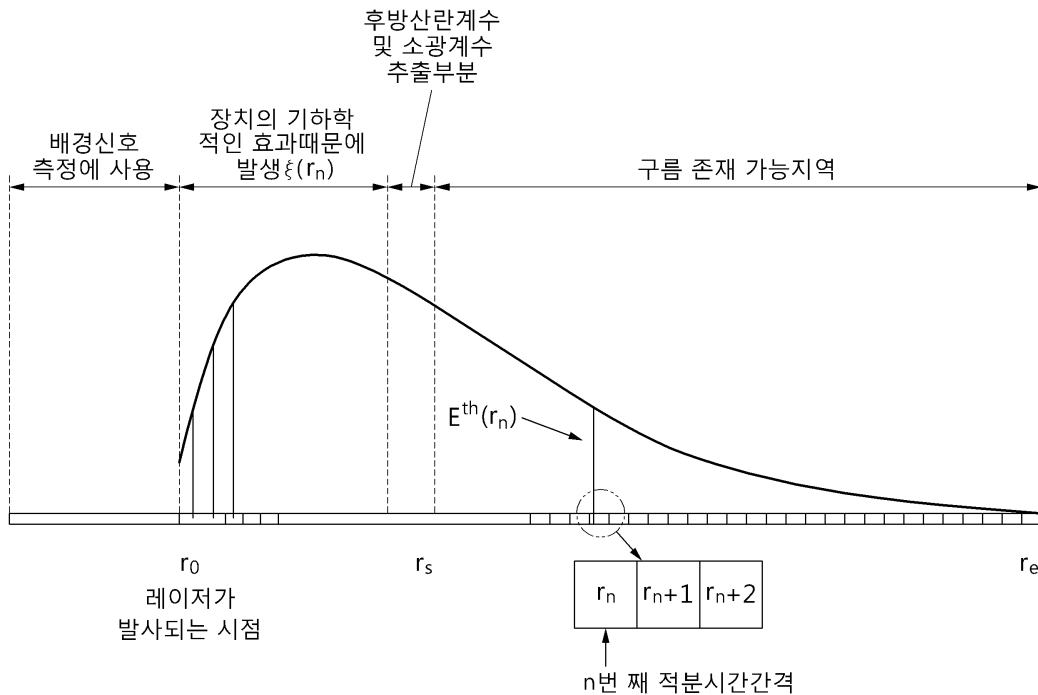
도면1



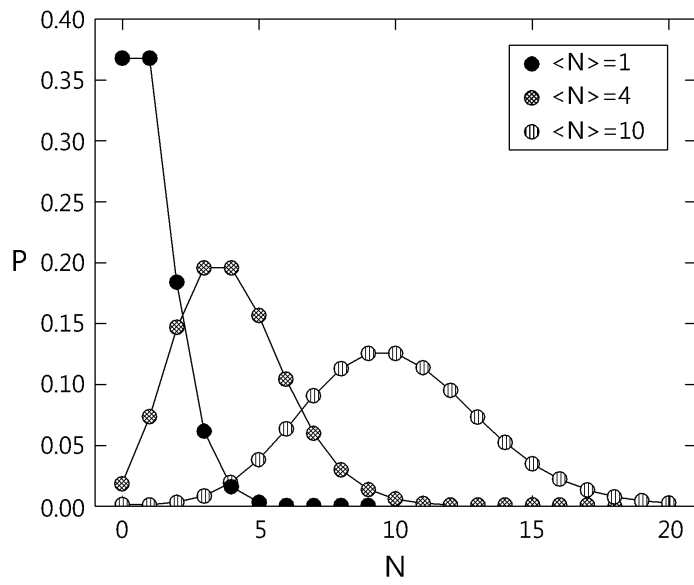
도면2



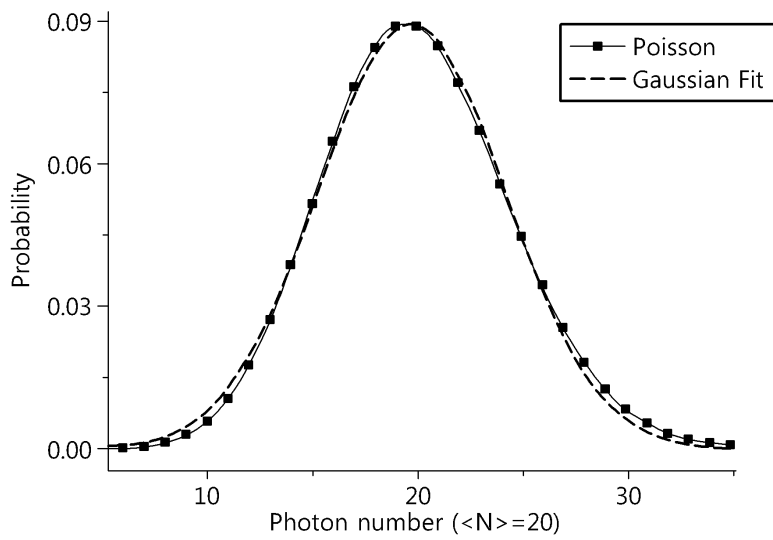
도면3



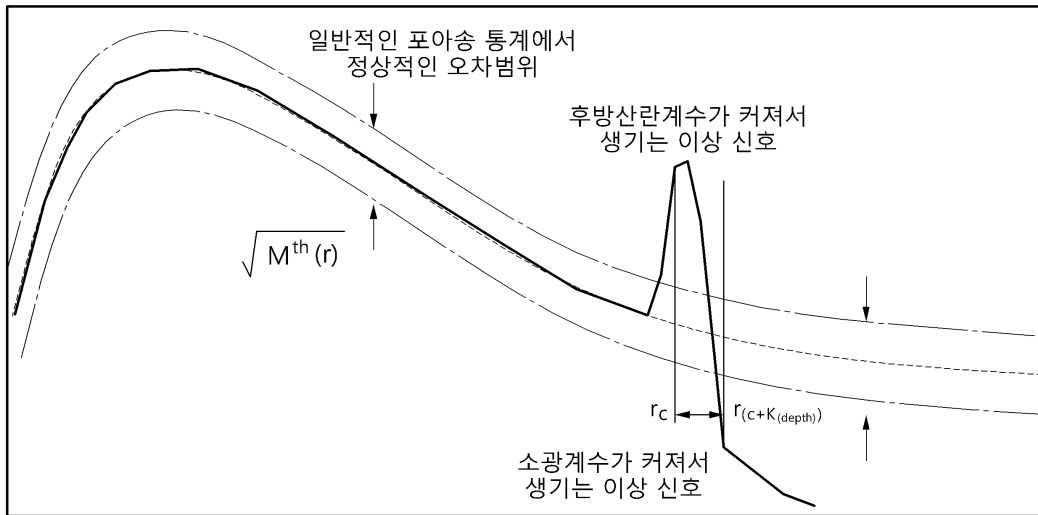
도면4a



도면4b



도면5



도면6

