(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0138223
(43) 공개일자 2024년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/02 (2024.01) *G01N 15/00* (2024.01)
G01S 17/08 (2006.01) *G01S 17/86* (2020.01)
G01S 17/88 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 15/0211 (2013.01)
G01S 17/08 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2023-0031666
(22) 출원일자 2023년03월10일
심사청구일자 2023년03월10일

(71) 출원인
국립한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
김덕현
대전광역시 유성구 배울1로 119, 1203동 1201호(용산동, 대덕테크노밸리12단지아파트)
노영민
부산광역시 남구 수영로 325번길 61, 103동 2101호(대연동, 대연 롯데캐슬)
(74) 대리인
특허법인도담

전체 청구항 수 : 총 12 항

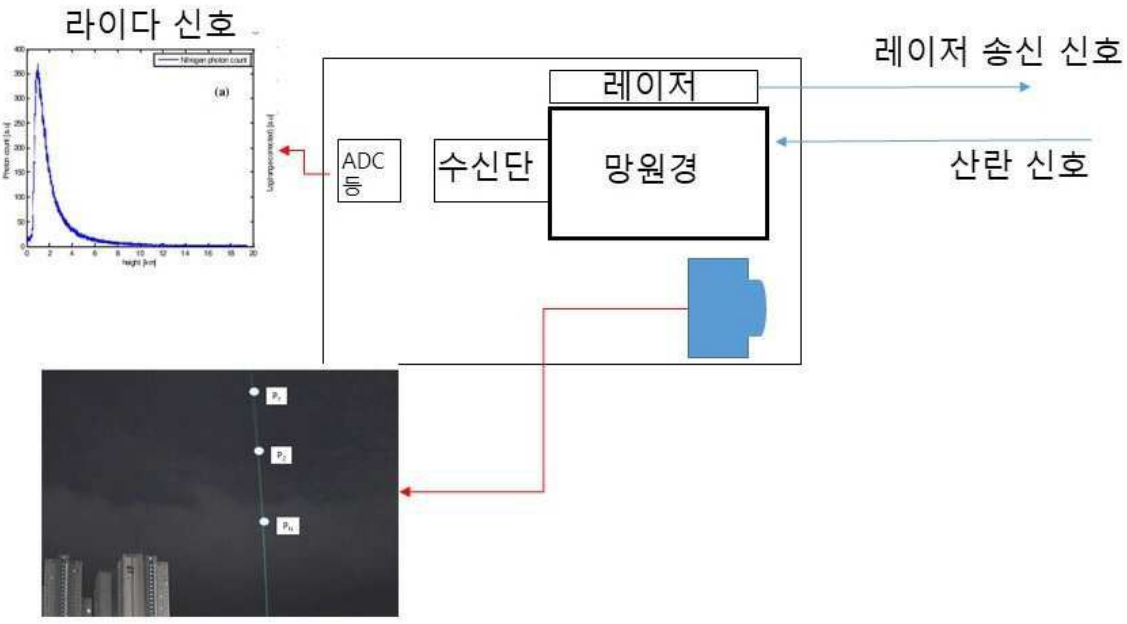
(54) 발명의 명칭 **소산계수와 후방산란신호 동시 측정을 통한 단일-파장 라이다(미세먼지) 측정 개선 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 라이다를 이용하여 미세먼지의 특성을 측정함에 있어 하나의 탄성 라이다 신호와 카메라를 이용하여, 기존 라이다의 단점인 근거리에서의 정보부재와, 라이다를 후방산란계수와 소산계수의 상관관계(비)를 알 수 없어 오차를 유발하는 문제를 해결할 수 있는 소산계수와 후방산란신호 동시 측정을 통한 단일-파장 라이다(미세먼

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



지) 측정 개선 시스템 및 방법에 관한 것이다.

원거리 신호의 신뢰도를 높이기 위하여 후방산란 계수와 소산계수의 관계를 결정짓는 둘의 관계가 비례관계가 아니라 후방산란계수는 소산계수의 고차 함수임을 가정하고 그 고차함수의 멱지수를 구하는 방법을 적용하였다. 즉 라이다 방정식의 해를 얻는데 반드시 사용되어야 하는 라이다 비와 관련된 멱지수를 라이다와 광센서모듈(카메라)을 동시에 활용하는 법을 제시한다. 다양한 대기 환경 상태에서 얻은 실험적으로 추출된 비례지수를 Klett 방정식에 적용하여 소산계수를 얻으면서, 이렇게 구산 새로운 소산계수를 다시 새롭게 라이다 비를 구하여 소산계수를 반복적으로 구하는 회귀 방법을 제시한다.

(52) CPC특허분류
G01S 17/86 (2020.01)
G01S 17/88 (2013.01)
G01N 2015/0096 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711117443
과제번호	2020R1F1A1048293
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	카메라를 활용한 특정 (도시) 공간의 미세먼지 핵심 물리량 및 3 차원 공간 분포 산출 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한밭대학교
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

측정공간으로 레이저를 조사하는 레이저모듈(101)과 상기 레이저의 산란신호를 수신하여 라이다신호를 생성하는 수신부(102)를 포함하는 단일-파장 라이다(100) 측정 개선 시스템으로서,

상기 레이저에 의한 산란 피사체 영상을 획득하되 산란 피사체 화소 밝기 신호를 획득하는 광센서모듈(110);

상기 레이저모듈(101)의 고도각 및 방위각과, 상기 광센서모듈(110)의 산란 피사체 화소각과, 상기 레이저모듈(101) 및 광센서모듈(110) 사이의 거리를 통해 산란 피사체의 거리를 산출하는 거리산출부(120);

단일-파장 라이다를 통해 산란 피사체의 거리에 따른 원거리 소산계수를 산출하는 제1소산계수산출부(130);

상기 산란피사체의 거리 및 화소 밝기 신호와 소산계수를 통해 원거리 후방산란계수를 산출하는 제1산란계수산출부(140);

상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수를 통해 얻은 라이다비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 신호를 산출하는 근거리신호산출부(150); 를 구비하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1산란계수산출부(140) 및 상기 제1소산계수산출부(130)는 레이저 경로상 복수의 지점에 대한 산란 피사체를 통해서 각각 후방산란계수 및 소산계수를 얻은 후 평균을 취하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수의 상관비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 소산계수를 산출하는 제2소산계수산출부(160);

상기 광센서모듈의 근거리 영상과 원거리 소산계수 정보를 설정된 시간 누적저장 후 분석하여 소산계수와 후방산란계수의 지수값을 산출 후 원거리 라이다 방정식에 반영하여 원거리 신호를 보정하는 지수산출부(170); 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

후방산란계수와 소산계수의 관계를 선형적으로 가정하여 원거리 소산계수 및 평균값을 계산하고, 계산된 소산계수를 이용하여 근거리 산란신호에서의 후방산란계수를 구하는 과정을 반복하며 소산계수와 라이다 비를 회귀적으로 바꾸어 가면서 일정 범위의 값으로 라이다의 소산계수가 수렴하도록 라이다비를 정하는 회기계산부(180); 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 단일-파장 라이다(100)의 신뢰있는 것으로 설정된 원거리 구간과 상기 광센서모듈(110)의 영상이 겹치는 중복구간에서 후방산란신호로부터 후방산란계수를 구하는 상수를 정하고 이를 다른 근거리 지역에 적용하여 근거리 소산계수를 얻는 제2소산계수산출부(160); 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 단일-파장 라이다(100)와 광센서모듈(110)의 중복구간에서, 상기 광센서모듈(110)의 신호에 있는 가중치를 나누어 광센서모듈(110)의 화소값을 규격화시키는 규격화부(190)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 시스템.

청구항 7

측정공간으로 레이저를 조사하는 레이저모듈(101)과 상기 레이저의 산란신호를 수신하여 라이다신호를 생성하는 수신부(102)를 포함하는 단일-파장 라이다(100) 측정 개선 방법으로서,

광센서모듈(110)을 통해 레이저에 의한 산란 피사체 영상을 획득하되 산란 피사체 화소 밝기 신호를 획득하는 신호획득단계(S 110);

상기 레이저모듈(101)의 고도각 및 방위각과, 상기 광센서모듈(110)의 산란 피사체 화소각과, 상기 레이저모듈(101) 및 광센서모듈(110) 사이의 거리를 통해 산란 피사체의 거리를 산출하는 거리산출단계(S 120);

단일-파장 라이다(100)를 통해 산란 피사체의 거리에 따른 원거리 소산계수를 산출하는 제1소산계수산출단계(S 130);

상기 산란피사체의 거리 및 화소 밝기 신호와 소산계수를 통해 원거리 후방산란계수를 산출하는 제1산란계수산출단계(S 140);

상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수를 통해 얻은 라이다비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 신호를 산출하는 근거리신호산출단계(S 150); 로 구성되는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1산란계수산출단계(S 130) 및 상기 제1소산계수산출단계(S 140)는 레이저 경로상 복수의 지점에 대한 산란 피사체를 통해서 각각 후방산란계수 및 소산계수를 얻은 후 평균을 취하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수의 상관비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 소산계수를 산출하는 제2소산계수산출단계(S 151);

상기 광센서모듈(110)의 근거리 영상과 원거리 소산계수 정보를 설정된 시간 누적저장 후 분석하여 소산계수와 후방산란계수의 지수값을 산출 후 원거리 라이다 방정식에 반영하여 원거리 신호를 보정하는 지수산출단계(S 152); 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

후방산란계수와 소산계수의 관계를 선형적으로 가정하여 원거리 소산계수 및 평균값을 계산하고, 계산된 소산계수를 이용하여 근거리 산란신호에서의 후방산란계수를 구하는 과정을 반복하며 소산계수와 라이다 비를 회귀적으로 바꾸어 가면서 일정 범위의 값으로 라이다의 소산계수가 수렴하도록 라이다비를 정하는 회기계산단계(S 154); 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 단일-파장 라이다(100)의 신뢰있는 것으로 설정된 원거리 구간과 상기 광센서모듈(110)의 영상이 겹치는 중복구간에서 후방산란신호로부터 후방산란계수를 구하는 상수를 정하고 이를 다른 근거리 지역에 적용하여 근거리 소산계수를 얻는 제2소산계수산출단계(S 155); 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 방법.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 단일-파장 라이다(100)와 광센서모듈(110)의 중복구간에서, 상기 광센서모듈(110)의 신호에 있는 가중치를 나누어 광센서모듈의 화소값을 규격화시키는 규격화단계(S 111); 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 것을 특징으로 하는 단일-파장 라이다 측정 개선 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 단일-파장 라이다 측정 기술에 관한 것으로, 자세하게는 라이다를 이용하여 미세먼지의 특성을 측정함에 있어 하나의 탄성 라이다 신호와 카메라를 이용하여, 기존 라이다의 단점인 근거리에서의 정보부재와, 라이다를 후방산란계수와 소산계수의 상관관계(비)를 알 수 없어 오차를 유발하는 문제를 해결할 수 있는 소산계수와 후방산란신호 동시 측정을 통한 단일-파장 라이다(미세먼지) 측정 개선 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 라이다는 원격측정장비의 하나로 원거리 미세먼지의 농도를 얻기 위하여 개발된 장비이다.

[0003] 이때 측정되는 라이다 신호를 결정하는 두 가지 변수는 공간에 존재하는 미세먼지에 의한 소산계수와, 후방산란계수로 이 두 변수는 입자의 크기, 입자의 성분(굴절률)에 따라 달라진다.

[0004] 입자의 성분은 그 지역의 환경에 의하여 결정되기 때문에 미세먼지의 농도에 무관하게 일정하나, 입자의 크기 분포는 입자의 성장 및 침강과 같은 미세먼지 발달 메커니즘에 의하여 매일 변하는 값이므로 소산계수와 후방산란계수는 시간-공간에 의존하는 함수가 된다.

[0005] 여기에서 질소에 의한 후방산란신호인 라만(Raman) 라이다 신호를 얻음으로, 즉 탄성산란신호와 라만 라이다 신호를 동시에 얻음으로, 두 개의 미지수(거리에 따른 소산계수와 후방산란계수)를 이론적으로 추출할 수 있게 되며 이 방법이 기존 대부분의 기술에 적용되는 방법이다.

[0006] 이때 특별히 가까운 거리를 측정하고자 할 경우 수신광학계를 부가하여 근거리용 신호를 따로 획득하는 방법을 사용하기도 하나, 광학계 구조에 따라 다르나 궁극적으로 수 백 미터 이하의 근거리에서는 신호를 얻을 수 없는 문제가 있다.

[0007] 근거리 신호를 얻을 수 없는 이유는 산란된 신호가 망원경의 FOV(시야, field of View)에 충분히 들어오지 못하기 때문으로, 망원경의 FOV를 크게 할 경우 태양광과 같은 배경신호가 센서로 많이 유입되어 SNR 값을 높일 수

없으며, 배경신호가 많은 상태에서 라이다 신호를 얻게 되면 센서의 선형성에 문제가 생긴다.

[0008] 또한, 공기분자에 의한 산란신호와 미세먼지에 의한 산란신호에 의하여 후방산란계수가 정해지는데, 공기분자의 산란신호는 항상 일정한데 비해(물론 압력에 따라 다르지만 그 차이는 미미함) 미세먼지의 산란신호는 공기 중의 미세먼지 농도에 따라서 변한다.

[0009] 그러므로 총 후방산란 계수와 총 소산계수의 비(이를 라이다 비라 함)는 에어로졸의 농도에 따라 달라짐에 따라 후방산란계수와 소산계수의 비를 일정하게 두고 계산하는 것은 문제가 있는 방법이라 할 수 있다.

[0010] 정리하면 탄성산란 라이다(Mie Lidar)를 이용하여 수십 km까지의 미세먼지의 농도를 측정하는 방법은 공지되어 있고, 상용화되어 많이 활용되고 있다. 그러나 단일 파장의 탄성 라이다 신호를 분석하거나 근거리의 미세먼지 농도를 산출함에 있어서는 여전히 문제가 존재하는 현실로, 근거리 측정에서는 정보가 부족한 것은 망원경의 FOV가 작기 때문에 발생하며, 라이다 신호로부터 부유 에어로졸의 농도를 추출하는 과정에서 발생하는 문제는 라이다 산란신호를 결정하는 것이 후방산란계수와 소산계수라는 두 요소가 상호 연관되어 라이다 신호를 결정하기 때문 이다.

[0011] 이 두 가지는 상용화된 모든 탄성 라이다의 한계로, 근거리 신호 문제는 이론적으로 효과를 계산-보정하여 가능한 가까운 거리까지 그 측정 영역을 넓혀 해결하려는 시도가 있으나, 라이다 시스템의 기계적 한계(정렬문제)로 이론적 접근이 사실상 불가능하다.

[0012] 또한, 두 변수인 즉 후방산란계수와 소산계수의 상호 연관된 원인 때문에 생기는 신호처리 문제는 두 변수 사이에 선형적인 비례관계에 있다고 가정하여 라이다 측정치로부터 미세먼지의 소산계수를 추출하여 사용하기 때문에 생기는 것으로 대부분의 대기 상태에서 두 신호는 비례관계에 있지 않고 시간-장소에 따라 그 값을 달리한다. 그러므로 이러한 비선형적인 효과를 매순간 측정하고 보정하여 사용하는 것이 전체 시스템의 신뢰도를 높일 수 있는 방법이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1012279호(2011.01.26)

비특허문헌

[0014] (비특허문헌 0001) James D. Klett , Lidar Inversion with Variable Backscatter/Extinction Ratios, APPLIED OPTICS / Vol. 24, No. 11 / 1 June 1985

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위하여 창출된 것으로, 본 발명의 목적은 라이다를 이용하여 미세먼지의 특성을 측정함에 있어서 기존 라이다의 단점인 근거리에서의 정보부재와, 라이다의 후방산란계수와 소산계수의 상관관계(비)를 알 수 없어 오차를 유발하는 문제를 해결하되, 넓은 영역에서 미세먼지의 공간적 분포를 얻고 에어로졸 밀도에 따라 다른 라이다 비를 이용하여 정확도를 높일 수 있는 소산계수와 후방산란신호 동시 측정을 통한 단일-파장 라이다(미세먼지) 측정 개선 시스템 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기와 같은 목적을 위한 본 발명 소산계수와 후방산란신호 동시 측정을 통한 단일-파장 라이다(미세먼지) 측정 개선 시스템은, 측정공간으로 레이저를 조사하는 레이저모듈과 상기 레이저의 산란신호를 수신하여 라이다신호를 생성하는 수신부를 포함하는 단일-파장 라이다 측정 개선 시스템으로서, 상기 레이저에 의한 산란 피사체 영상을 획득하되 산란 피사체 화소 밝기 신호를 획득하는 광센서모듈; 상기 레이저모듈의 고도각 및 방위각과, 상기 광센서모듈의 산란 피사체 화소각과, 상기 레이저모듈 및 광센서모듈 사이의 거리를 통해 산란 피사체의 거

리를 산출하는 거리산출부; 단일-파장 라이다를 통해 산란 피사체의 거리에 따른 원거리 소산계수를 산출하는 제1소산계수산출부; 상기 산란피사체의 거리 및 화소 밝기 신호와 소산계수를 통해 원거리 후방산란계수를 산출하는 제1산란계수산출부; 상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수를 통해 얻은 라이다비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 신호를 산출하는 근거리신호산출부; 를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 이때, 상기 제1산란계수산출부 및 상기 제1소산계수산출부는 레이저 경로상 복수의 지점에 대한 산란 피사체를 통해서 각각 후방산란계수 및 소산계수를 얻은 후 평균을 취하도록 구성되는 것이 바람직하다.

[0018] 또한, 상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수의 상관비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 소산계수를 산출하는 제2소산계수산출부; 상기 광센서모듈의 근거리 영상과 원거리 소산계수 정보를 설정된 시간 누적저장 후 분석하여 소산계수와 후방산란계수의 지수값을 산출 후 원거리 라이다 방정식에 반영하여 원거리 신호를 보정하는 지수산출부; 를 더 포함할 수 있다.

[0019] 또한, 후방산란계수와 소산계수의 관계를 선형적으로 가정하여 원거리 소산계수 및 평균값을 계산하고, 계산된 소산계수를 이용하여 근거리 산란신호에서의 후방산란계수를 구하는 과정을 반복하며 소산계수와 라이다 비를 회귀적으로 바꾸어 가면서 일정 범위의 값으로 라이다의 소산계수가 수렴하도록 라이다비를 정하는 회기계산부; 를 더 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 단일-파장 라이다의 신뢰있는 것으로 설정된 원거리 구간과 상기 광센서모듈의 영상이 겹치는 중복구간에서 후방산란신호로부터 후방산란계수를 구하는 상수를 정하고 이를 다른 근거리 지역에 적용하여 근거리 소산계수를 얻는 제2소산계수산출부; 를 더 포함할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 단일-파장 라이다와 광센서모듈의 중복구간에서, 상기 광센서모듈의 신호에 있는 가중치를 나누어 광센서모듈의 화소값을 규격화시키는 규격화부를 더 포함할 수 있다.

[0023] 상기와 같은 목적을 위한 본 발명 소산계수와 후방산란신호 동시 측정을 통한 단일-파장 라이다(미세먼지) 측정 개선 방법은, 측정공간으로 레이저를 조사하는 레이저모듈과 상기 레이저의 산란신호를 수신하여 라이다신호를 생성하는 수신부를 포함하는 단일-파장 라이다 측정 개선 방법으로서, 광센서모듈을 통해 레이저에 의한 산란 피사체 영상을 획득하되 산란 피사체 화소 밝기 신호를 획득하는 신호획득단계; 상기 레이저모듈의 고도각 및 방위각과, 상기 광센서모듈의 산란 피사체 화소각과, 상기 레이저모듈 및 광센서모듈 사이의 거리를 통해 산란 피사체의 거리를 산출하는 거리산출단계; 단일-파장 라이다를 통해 산란 피사체의 거리에 따른 원거리 소산계수를 산출하는 제1소산계수산출단계; 상기 산란피사체의 거리 및 화소 밝기 신호와 소산계수를 통해 원거리 후방산란계수를 산출하는 제1산란계수산출단계; 상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수를 통해 얻은 라이다비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 신호를 산출하는 근거리신호산출단계; 로 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0024] 이때, 상기 제1산란계수산출단계 및 상기 제1소산계수산출단계는 레이저 경로상 복수의 지점에 대한 산란 피사체를 통해서 각각 후방산란계수 및 소산계수를 얻은 후 평균을 취하도록 구성되는 것이 바람직하다.

[0025] 또한, 상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수의 상관비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 소산계수를 산출하는 제2소산계수산출단계; 상기 광센서모듈의 근거리 영상과 원거리 소산계수 정보를 설정된 시간 누적저장 후 분석하여 소산계수와 후방산란계수의 지수값을 산출 후 원거리 라이다 방정식에 반영하여 원거리 신호를 보정하는 지수산출단계; 를 더 포함할 수 있다.

[0026] 또한, 후방산란계수와 소산계수의 관계를 선형적으로 가정하여 원거리 소산계수 및 평균값을 계산하고, 계산된 소산계수를 이용하여 근거리 산란신호에서의 후방산란계수를 구하는 과정을 반복하며 소산계수와 라이다 비를 회귀적으로 바꾸어 가면서 일정 범위의 값으로 라이다의 소산계수가 수렴하도록 라이다비를 정하는 회기계산단계; 를 더 포함할 수 있다.

[0027] 또한, 상기 단일-파장 라이다의 신뢰있는 것으로 설정된 원거리 구간과 상기 광센서모듈의 영상이 겹치는 중복구간에서 후방산란신호로부터 후방산란계수를 구하는 상수를 정하고 이를 다른 근거리 지역에 적용하여 근거리 소산계수를 얻는 제2소산계수산출단계; 를 더 포함할 수 있다.

[0028] 또한, 상기 단일-파장 라이다와 광센서모듈의 중복구간에서, 상기 광센서모듈의 신호에 있는 가중치를 나누어 광센서모듈의 화소값을 규격화시키는 규격화단계; 를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명은 단일 파장의 탄성산란 라이다와 카메라를 결합하여 기존에 라이다 시스템으로 분석하기 어려웠던 근거리 지역의 소산계수를 분석할 수 있고, 장기 관측을 통하여 얻은 데이터를 이용하여 원거리의 신호를 분석함에 있어 기존 상수 취급하던 소산계수와 후방산란계수의 지수 값을 개선하여 추출되는 소산계수의 값에 대한 신뢰도를 높일 수 있는 효과가 있다.

[0030] 또한, 원거리의 소산계수와 근거리의 후방산란 신호를 동시에 측정할 수 있는 영역을 찾고 두 신호의 관계를 연결 짓는 비례상수를 그 중복된 지역에서 찾음으로써 다른 근거리 지역에도 같은 비례상수를 적용하는 방법을 통해 소산계수를 모르는 근거리 지역의 소산계수를 중복지역의 비례상수를 적용하여 구함으로써 라이다 방법의 한계인 근거리 신호의 부재를 개선할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 장치 구성도,

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 시스템 블록도,

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 개선 방법을 나타낸 순서도,

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 레이저의 산란 피사체를 카메라로 얻은 영상 사진,

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 레이저의 산란 피사체를 카메라로 얻은 영상으로부터 얻은 각기 다른 지점의 산란신호 및 그 신호를 거리 가중치를 이용하여 규격화한 신호 그래프,

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 근거리 산란신호와 원거리 소산계수의 관계도,(로그 스케일)

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 근거리의 산란신호와 소산계수를 이용하여 소산계수를 회기적(iteratively)으로 얻은 과정을 설명한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명 소산계수와 후방산란신호 동시 측정을 통한 단일-파장 라이다(미세먼지) 측정 개선 시스템 및 방법을 구체적으로 설명한다.

[0033] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 장치 구성도, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 시스템 블록도, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 개선 방법을 나타낸 순서도로서, 본 발명은 측정공간으로 레이저를 조사하는 레이저모듈(101)과 상기 레이저의 산란신호를 수신하여 라이다신호를 생성하는 수신부(102)를 포함하는 단일-파장 라이다(100) 측정을 개선하며, 이를 위한 주요 구성으로 광센서모듈(110)과, 거리산출부(120)와, 제1소산계수산출부(130)와, 제1산란계수산출부(140)와, 근거리신호산출부(150)와, 제2소산계수산출부(160)와, 지수산출부(170)와, 회기계산부(180) 및 규격화부(190)를 구비한다.

[0034] 먼저, 상기 레이저에 의한 산란 피사체 영상을 획득하되 산란 피사체 화소 밝기 신호를 획득하는 광센서모듈(110)을 통해 레이저에 의한 산란 피사체 영상을 획득하되 산란 피사체 화소 밝기 신호를 획득하는 신호획득단계(S 110)가 수행된다.

[0035] 다음으로, 상기 거리산출부(120)를 통해 상기 레이저모듈(101)의 고도각 및 방위각과, 상기 광센서모듈(110)의 산란 피사체 화소각과, 상기 레이저모듈(101) 및 광센서모듈(110) 사이의 거리를 통해 산란 피사체의 거리를 산출하는 거리산출단계(S 120)가 수행된다.

[0036] 상기 제1소산계수산출부(130)는 단일-파장 라이다를 통해 산란 피사체의 거리에 따른 원거리 소산계수를 산출하는 제1소산계수산출단계(S 130)를 수행한다.

[0037] 상기 제1산란계수산출부(140)는 상기 산란피사체의 거리 및 화소 밝기 신호와 소산계수를 통해 원거리 후방산란계수를 산출하는 제1산란계수산출단계(S 140)를 수행한다.

[0038] 상기 근거리신호산출부(150)는 상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수를 통해 얻은 라이다비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 신호를 산출하는 근거리신호산출단계(S 150)를 수행한다.

[0039] 즉 근거리 라이다 신호를 얻기 위하여 야간에 한정하여 광센서모듈(1차원 어레이 센서, 또는 이를 포함하는 카메라)를 통해 근거리에서 공기나-먼지에 의하여 후방산란된 신호를 획득하고 이로부터 그 지점의 후방산란계수를 얻는다.

[0040] 그리고 각 근거리 지점의 거리환산은 광센서모듈(110)을 중심으로 레이저의 위치 벡터, 레이저가 조사되는 방향과 각도, 그리고 광센서모듈(110)에서 얻은 영상의 각도를 이용하며, 임의의 산란 피사체의 거리 정보를 광센서모듈(110)의 좌표에서 얻을 수 있도록 한다. 즉 거리에 따라 후방 산란신호를 각 지점에서 다양하게 얻고 이의 평균을 취하고, 또한, 소산계수도 라이다 신호를 이용하여 다양한 거리에서 얻어 평균을 취한 후 광센서모듈(110)을 통하여 얻은 후방산란신호와의 비를 구한다.

[0041] 즉 상기 제1산란계수산출부(140) 및 상기 제1소산계수산출부(130)를 통해 수행되는 제1산란계수산출단계(S 130) 및 상기 제1소산계수산출단계(S 140)는 레이저 경로상 복수의 지점에 대한 산란 피사체를 통해서 각각 후방산란계수 및 소산계수를 얻은 후 평균을 취하도록 구성된다.

[0042] 이렇게 구한 두 값의 비는 라이다 비를 의미하며 이 값은 미세먼지의 크기와 굴절률에 의하여 결정되나, 일반적으로 소산계수에 따라 달라진다.

[0043] 많은 연구에서 소산계수와 후방산란계수를 얻고 있으나 대부분 짧은 기간에 사용된 것으로 다양한 에어로졸의 농도 굴절률 변화에 따른 정보는 아직 부족한 실정이며 게다가 선형적인 특성이 아님에도 선형으로 간주하고 있다.

[0044] 본 발명에서는 다양한 대기 상황에서 얻은 후방산란신호와 소산계수를 통하여 둘 사이의 함수 관계를 추출한다. 즉 라이다를 이용하여 얻게 되는 소산계수와 카메라를 통하여 얻게 되는 후방산란신호를 이용하여 소산계수에 따른 두 값의 비를 얻는다. 이 비의 값은 소산계수 의존 라이다 비와 관련된다.

[0045] 최종적으로는 이렇게 얻은 소산계수 의존 라이다 비를 라이다 방정식에 넣고 방정식의 해를 구하여 정확도를 높이게 된다.

[0046] 본 발명에서는 근거리 신호를 얻기 위하여 레이저를 조사하는 라이다 장치로, 측정공간으로 레이저를 조사하는 레이저모듈(101)과 상기 레이저의 산란신호를 수신하여 라이다신호를 생성하는 수신부(102)를 포함하는 단일-파장 라이다에 광센서모듈(110) 또는 이를 포함한 카메라(이하 광센서모듈을 카메라로 칭함)가 부착되며, 기존 펄스 라이다의 레이저를 그대로 사용함에 따라 별도의 연속 광원을 구축할 필요가 없다.

[0047] 근거리에서 산란된 신호는 라이다 장치의 주 망원경에서는 FOV가 통상 mrad 이하이므로 획득되지 않지만, 카메라에서는 FOV를 수 rad로 넓게 확장함에 따라 충분히 신호를 얻을 수 있다.

[0048] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 레이저의 산란 피사체를 카메라로 얻은 영상 사진으로, 도 1 및 4에는 일반적인 카메라를 이용하여 얻을 수 있는 라이다의 레이저에 의한 산란 피사체의 카메라 영상 신호가 포함되어 있다.

[0049] 첨부된 도면에서 각 산란 피사체(p1, p2,…pN)는 각각 다른 거리에서 산란된 신호를 의미하고 하나의 화소에 대한 정보는 다음과 같은 원인에 의하여 매우 민감하게 변한다.

[0050] 각 화소 밝기에 대응하는 피사체의 존재, 피사체의 후방산란 세기, 레이저와 피사체 사이에 있는 미세먼지의 밀도, 카메라의 imaging 성능(거리에 따라 희미하게 맺히는 부분과 그렇지 않은 부분이 있음), 레이저의 발산각, 그리고 레이저와 피사체 및 피사체와 카메라 사이에 있는 공기의 굴절률 변화 등이다.

[0051] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 근거리 산란신호와 원거리 소산계수의 관계도(로그 스케일)로서, 그러나 직선방향에 대하여 수직으로 자른 단면에 해당하는 양의 총합은, 미세먼지가 많은 경우 작은 거리에서 변할 수 있지만, 미세먼지가 없고 근거리에서는 거리에 따라 변화가 크지 않다.

[0052] 이렇게 얻은 산란 피사체의 밝기(특정 거리에서의 모든 화소의 총합)는 오직 그 거리에 있는 미세먼지의 후방산란계수에 의하여만 결정되며, 이러한 피사체의 후방산란 세기 즉 빛의 밝기는 거리에 따라 다른 화소에 상을 맺히므로 다른 화소 밝기 값으로 얻을 수 있다. 즉 거리에 따른 후방산란계수를 얻을 수 있다.

[0053] 1) 이러한 거리에 따른 후방산란계수와, 후술하는 2) 라이다 비와 소산계수의 상호관계를 이용하면 지금까지 라이다의 기하학적 요소(geometric factor) 때문에 얻지 못했던 근거리 신호를 얻을 수 있다.

[0054] 기존 대부분의 기술에서는 이러한 기하학적 요소들 때문에 근거리 신호를 포기하거나 이론적으로 얻은 값을 사용하였으나, 본 발명에서는 카메라를 통하여 얻은 후방산란신호와 펄스형 단일 파장 라이다에서 얻은 소산계수를 이용하여 라이다 비를 얻을 수 있다.

[0055] 라이다 비는 입자의 크기 변화에 가장 민감하며, 입자의 크기는 성장, 소멸하기 때문에 시간적, 공간적으로 변화가 심하다. 대부분의 단일파장의 혹은 다파장 탄성산란 라이다의 경우 소산계수와 후방산란계수의 관계를 일

정한 상수 값으로 두고 계산하고, 오직 라만 라이라만 라이다 비의 추출이 가능하다.

[0056] 하지만, 라만 라이다 신호를 얻기 위해서는 UV 영역의 짧은 파장이 필요할 뿐 아니라. 그 측정거리 및 관측시간에도 한계가 있어 드물게 사용되고 있으며, 가시광 영역을 사용하거나 파장이 달라지면 시스템 자체를 새롭게 구축하여야 하는 문제로 라이다 비를 얻기 위한 목적으로 라만 라이다를 사용하는 일은 거의 없다.

[0057] 본 발명은 다양한 날짜에서 얻은 후방산란신호와 라이다 신호를 이용하여 라이다 비를 획득하여 소산계수에 따른 라이다 비의 관계를 도출하고 이로부터 라이다 비를 상수가 아닌 변수 값으로 사용함으로써 역산되는 에어로졸의 거리에 따른 농도 분포의 정확도를 높일 수 있다.

[0058] 근거리에서 산란신호를 얻고 이로부터 라이다 신호를 이용하여 미세먼지의 소산계수를 오차 없이 얻기 위한 장치 구성은 도 1과 같다. 도 1은 레이저를 대기로 조사하여 그 산란신호를 고감도의 센서로, 즉 원거리의 라이다 신호를 얻는 부분과 이를 처리하는 컴퓨터 등을 나타내고 있으며, 앞서 언급한 측정공간으로 레이저를 조사하는 레이저모듈(101)과 상기 레이저의 산란신호를 수신하여 라이다신호를 생성하는 수신부(102)를 포함하는 단일-파장 라이다(100)와, 상기 레이저에 의한 산란 피사체 영상을 획득하되 산란 피사체 화소 밝기 신호를 획득하는 광센서모듈(110)이 이에 대응된다.

[0059] 근거리의 라이다 신호에 해당하는 산란신호를 얻는 방법은 카메라의 2차원 CCD를 이용하거나 1차원 어레이를 이용할 수 있다. 일반적으로 2차원 CCD 센서의 경우 근거리 라이다 산란 신호를 쉽게 얻을 수 있으나, 불필요한 영상을 포함하고 있기 때문에 분석과정에서 산란 피사체의 화소 세기만 따로 소프트웨어적으로 추출하는 과정이 필요하고, 1차원 센서를 이용하는 경우 근거리 라이다 신호가 정확히 센서의 1차원 어레이 방향과 일치하도록 정렬하는 과정이 필요하다.

[0060] 두 방법 모두 이용 가능하며, 최근 들어 1차원 엘에이의 감도가 매우 향상되었으므로 1차원 어레이를 카메라 대신에 사용하는 것도 측정 정밀도를 높일 수 있다.

[0061] 구체적인 실례로 라이다 측정에서 상기 광센서모듈(110)을 통해 도 4와 같은 영상을 얻을 수 있다.

[0062] 도 4에서 $P_1,P_2,..P_N$은 각각 다른 위치의 산란 피사체가 CCD 화소에 맺힌 것으로 각각의 피사체의 거리는 다른 거리에 해당한다. 각각의 거리는 카메라에 대한 레이저의 위치벡터(거리와 방향을 모두 알고 있어야 함), 그리고 레이저의 조사 방향(고도각, 방위각), 그리고 카메라 좌표계에서 본 피사체($P_1,P_2,..P_N$) 의 각도가 만드는 삼각형에서 얻을 수 있다. 즉 삼각형의 2각(레이저의 방위각 고도각, 피사체의 화소각)과 레이저와 카메라의 거리에 의하여 구체적으로 정의된다.

[0063] 그러므로 모든 지점($P_1, P_2, \ldots, P_N$)에서 화소는 그 경로(정의된 삼각형에 의하여 레이저에서 출발하여 카메라로 입사되는 경로)가 확실히 정의되기 때문에 각 화소의 밝기정보를 읽으면, 그 밝기와 함께 경로 상에 존재하는 소산을 고려한 규격화된 밝기를 알 수 있다. 반대로 피사체의 밝기가 정의되면 그 경로에 있는 부유 물질의 소산계수와 피사체의 후방산란계수 정보를 얻을 수 있다.

[0064] 피사체의 거리가 레이저와 카메라로부터 가까울 경우 부유 물질에 의한 소산은 거의 무시된다. 예를 들어 시정거리가 8km인 경우(서울의 평균 시정거리) 소산계수(α)가 $0.5km^{-1}$로 환산되며($V_{visibility} = 4/\alpha$ 이 경우 소산 1km(L)를 왕복하는데 35%의 소산이 발생하며($I/I_0 = e^{-2\alpha L}$), 200m 거리의 경우 20% 레이저 에너지가 소산된다. 그러므로 소산계수를 정확히 측정할 수 있으면, 특정 거리의 피사체에서 얻은 화소의 밝기로부터 그 지점의 거리 효과를 배제한 원래 위치에서의 후방산란신호를 얻을 수 있다.

[0065] 라이다 신호로부터 소산계수를 얻은 방법은 Klett방법이 가장 많이 사용되며, 본 발명에서는 후술되는 수학식을 통하여 설명이 이루어질 예정이다.

[0066] 상기 규격화부(190)는 상기 단일-파장 라이다(100)와 광센서모듈(110)의 중복구간에서, 상기 광센서모듈(110)의 신호에 있는 가중치를 나누어 광센서모듈(110)의 화소값을 규격화시키는 규격화단계(S 111)를 수행한다.

[0067] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 레이저의 산란 피사체를 카메라로 얻은 영상으로부터 얻은 각기 다른 지점의 산란신호 및 그 신호를 거리 가중치를 이용하여 규격화한 신호 그래프로, 도 4에서는 카메라의 렌즈 초점 길이와 CCD 크기, 레이저의 조사 방향을 정하고 라이다 시스템의 레이저에 얻어지는 주어진 점들, 예를 들어 도 1의 P1,. ..,PN 점들은 화소값을 거리로 환산하여 도면 5의 x축에 나타내고 있다. 각 화소값은 동일한 화소각(1개의 픽셀에 입사되는 카메라의 시야각)을 갖지만 피사체의 위치에 따라 다른 길이 범위의 피사체를 하나의 화소에

나타낸 것이므로, 거리 효과를 배제하는 규격화(Nornalization)와 평균거리 개념으로 다시 그리면 도 5와 같다.

[0068] 즉 도 5의 붉은색은 하나의 화소에 입사되는 피사체의 크기를 고려하지 않은 것이고, 파란색은 하나의 화소에 기여하는 피사체의 총 크기를 동일한 크기로 규격화(Normalization)한 후에 그린 것이다.

[0069] 구체적으로는 카메라에서 얻은 산란 피사체의 영상에서 거리를 구하는 방법은 다음과 같다.

[0070] 즉 카메라와 레이저와 피사체로 구성되는 삼각형은 카메라와 레이저의 거리(L_{C-L}), 그리고 카메라에서 피사체를 보는 단위벡터 ($\hat{P}_N$)와 카메라에서 레이저 방향의 단위벡터($\hat{P}_{C_L}$)가 만드는 각(Φ_N), 레이저에서 레이저 끝점 혹은 다양한 산란 피사체 위치로 향하는 방향의 단위벡터($\hat{P}_L$)와 레이저에서 카메라를 바라보는 각(Φ_2)에 의하여 하나의 변과 그 끝점의 두 각도에 의하여 삼각형이 결정되고, 서로 다른 산란 피사체의 점들은(N) 다른 각도를 의미하며, 다른 삼각형으로 정의된다.

[0071] 이때 도 1과같이 레이저가 진행하는 방향으로 정의되는 각각의 산란 피사체의 점 ($P_1, P_2, \ldots, P_N$)들이 영상화면에서 같은 간격으로 제시된다면 시작점과 끝점 그리고 같은 간격의 개수에 따라 하나의 거리의 화소 값으로 정의되고 이는 실제 3차원 공간에서 주어진 거리에서 산란된 총 빛의 밝기로 정의된다. 각 산란 피사체를 나타내는 점(p1,…)과 카메라, 그리고 레이저가 만드는 삼각형은 오직 두 각도(Φ_N, Φ_2)와 카메라와 레이저의 거리(L_{C-L})에 의하여 삼각형이 정의되고 공간상에서의 위치도 정의된다.

[0072] 삼각형을 이루는 3점을 찾는 과정에서, 레이저의 진행방향은 방위각과 고도각의 두 방향에 의하여 정의되므로 화면에서 레이저 산란 피사체의 산란 끝점을 찾음으로 쉽게 그 방위각과 고도각을 알 수 있다. 즉 화면 끝점의 화소 값을 읽고(P_{xL}, P_{yL}), 전체 화면의 중앙(카메라의 광축P_{xC}, P_{yC})에서 몇 픽셀 떨어져 있는지를 알아내고 한 개 화소의 FOV를 곱하면 레이저의 방위각 고도각을 정확히 알 수 있다.

[0073] 카메라와 레이저의 위치벡터는 3차원 공간에서 x 방향을 카메라의 광축이라고 할 때 레이저의 위치벡터는 Y_L, Z_L의 두 좌표만으로 표시되며, 이 중에서 두 값의 비율은 방향을 표시하므로 즉 두 값의 비가 달라지면 카메라 영상에서 레이저 산란 피사체의 방향이 달라지므로 획득한 영상에서 두 비의 값을 알 수 있어 하나의 변수만 존재한다.

[0074] 삼각형의 마지막 변수인 각도 Φ_2는 주어진 레이저의 방향벡터($\vec{L}_{C-L} = -\vec{L}_{L-C} = (0, Y_L, Z_L)$)의 단위벡터와 레이저 방향의 단위 벡터($\hat{P}_L$) 를 이용하여 구할 수 있으므로, 전체적으로 삼각형은 오직 하나의 미지수 즉 레이저와 카메라의 위치벡터에 의하여 결정된다.

[0075] 지금까지 살펴본 사실에서 레이저와 카메라와 산란 피사체 위의 임의의 점에서 얻을 수 있는 한점으로 구성된 삼각형은 원점인 카메라, 레이저와 카메라의 거리를 나타내는 값(L_{C-L})과 방향, 레이저에서 산란 피사체의 점(p1,…)들에 의하여 정확히 정의된다. 그러므로 레이저와 카메라의 거리(L_{C-L})만 알면 타 필수 파라미터 변수(레이저의 방향 벡터($\hat{P}_N$), 카메라에서 본 산란체 피사체의 각도(Φ_N), 레이저 방향과 레이저 카메라 방향의 각도(Φ))는 정의된다.

[0076] 레이저 진행 방향의 임의의 두 지점은 화소값으로 나타나며 그 지점을 N 등분하여 다양한 지점을 정의하면 각각의 지점은 레이저 산란 피사체가 되고, 그 지점의 3차원 위치는 오직 레이저와 카메라의 거리만 알면 알 수 있다.

[0077] 다양한 레이저 산란 피사체로 이루어진 다양한 삼각형에서 피사체의 위치가 바뀌면 삼각형의 모양이 바뀌고 이에 따라 산란 피사체에 해당하는 화소값도 바뀐다. 여기서 주의할 사항은 하나의 화소에 기여하는 산란 피사체의 총량(산란체의 크기)이 바뀐다는 것이다. 예를 들어 하나의 화소 값의 시야(FOV)가 $\Delta\theta_c$라면 레이저로부터 거리가 먼 산란 피사체일수록 많은 거리에 존재하는 산란 피사체가 하나의 화소로 수렴되어 상을 맺히게 된다. 이 값은 각 화소 $P_1, P_2, \ldots, P_N$ 에 기여하는 가중치를 ($\Delta L_1, \Delta L_2, \ldots, \Delta L_N$)라 한다면, 실제 각기 다른 위치에 있는 산란 피사체의 밝기 ($I_1, I_2, \cdots, I_N$)에서 가중치를 나눈 것이 그 지점에서 산란된 신호의 규격화된 후방산란신호에 해당한다. 물론 이 경우 근거리 신호이기 때문에 소산되는 정도는 고려되지 않는다.

[0078] 소산되는 정도를 고려한다면, 대기의 산란 조건이 레이저 진행방향에 대하여 일정, 즉 모든 레이저 산란 위치(N개)에서 동일한 후방산란계수를 가지고 있다면 각 지점에서 산란된 신호는 가중치를 고려하여 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

[0079] [수학식 0]

[0080] $$\frac{I_N}{\Delta R_N} = c\frac{e^{-2\alpha R_N}}{R_N^2} \approx c'(1-2\alpha R_N)$$

[0081] 여기서 거리(R_N)은 N 번째 레이저 산란 피사체를 나타낸 것이고, 이 값은 앞서 언급한 삼각형을 결정하는 파라미터의 변수이며 오직 거리(L_{c-L})만 모르는 값이다.

[0082] 그러므로 규격화된 N 개의 거리에서 얻어지는 화소의 밝기는 일정한 값을 보일 것이다. 주어진 카메라와 레이저의 거리(L_{c-L})에서 [수학식 0]을 각 N 개의 거리에서 그림으로 나타내면 일정한 값을 보일 것이고, 그렇지 않은 경우엔 증가 혹은 감소하는 모양을 지닐 것이다. 이러한 성질을 이용하여 L_{c-L} 을 최적화시킬 수 있을 것이다.

[0083] 라이다 방정식의 해는 Klett가 안정적인 해법을 제시한 후에 많은 사람이 사용해 오고 있는 해가 존재한다. 즉 원거리의 신호의 경우 [수학식 1]과 같이 각 거리에서 소산계수를 얻을 수 있다. 다만 [수학식 1]에서 k값은 미지수이며, 본 발명은 이러한 k값을 구하여 원거리에서의 소산계수를 더욱 정확히 구하는 방법을 적용한 것이다.

[0084] [수학식 1]

[0085] $$\alpha(r) = \frac{\exp((S-S_m)/k)}{\alpha_m^{-1} + \frac{2}{k}\int_r^{r_m}\exp((S-S_m)/k)\,dr'}$$

[0086] 여기서 α_m 은 라이다 미분 방정식의 경계조건을 나타내며 최대거리에서 소산계수를 의미하고 S(r)은 거리 r에서의 라이다 신호에 거리 제곱을 한 후 이를 로그 취한 것, Sm은 최대 거리에서의 S 값을 의미한다. 그러므로 라이다 신호를 얻을 수 있으면 각 지점에서의 소산계수를 [수학식 1]을 이용하여 얻을 수 있다는 의미이다.

[0087] [수학식 1]을 원거리에서 얻을 수 있다면, 평균 소산계수($\bar{\alpha} = \frac{\int_{r_1}^{r_2}\alpha(r)dr}{r_2-r_1}$)도 얻을 수 있으며 이 값은 근거리에도 근사적으로 사용이 가능하다.

[0088] 그러므로 1) 산란 피사체의 화소 밝기와 2) 그 피사체의 3차원 위치 정보 즉 레이저에서 피사체 그리고 다시 피사체에서 카메라까지의 거리를, 3) 피사체 근처의 평균 소산계수를 알고 있다면 근거리에 있는 N 개의 피사체의 후방산란계수(β)는 [수학식 2]와 같이 표현이 가능하다.

[0089] [수학식 2]

[0090] $$\beta_N = CP_N/(1-2\bar{\alpha}L_N)$$

[0091] 여기서 P_N은 피사체 N 번째의 화소 밝기, C는 calibration 상수, 피사체(N)와 카메라의 거리(L_N), $\bar{\alpha}$ 는 피사체와 카메라 사이의 평균 소산계수를 나타낸다.

[0092] 다양한 대기 조건에서 [수학식 1]과 [수학식 2]를 이용하여 소산계수와 후방산란계수를 얻을 수 있다면 대기의 조건에 따른 상대적인 라이다 비를 실험적으로 얻을 수 있다.

[0093] [수학식 1]은 라이다의 세기를 나타내는 [수학식 3]에서 주어진 라이다 비를 이용하여 변수를 소산계수 하나로 만들고 이를 이용하여 미분 방정식으로 바꾸면 그 해는 [수학식 1]과 같이 얻어진다.

[0094] [수학식 3]

[0095] $$P(r) = E\eta\beta(r)\frac{1}{r^2}\exp(-2\int_0^r \alpha(r')\,dr')$$

[0096] [수학식 3]에서 [수학식 1]을 유도하기 위해서는, 두 개의 미지수가 있기 때문에 둘 사이의 관계를 통하여 하나의 변수를 줄일 수 있으므로, $\beta = B_0\alpha^k$ 혹은 $\beta = B(r)\alpha^k$, $\beta = B(\alpha)\alpha^k$ 과 같은 가정(assumption)이 필요하다. Klett의 경우에 1981년 논문에서는 첫 번째 식으로 가정하고, 두 번째 논문 1985년에는 두 번째 가정을 한 것이

다.

[0097] 본 발명은 첫 번째 가정에서 필요한 k값을 산출하거나, 3번째 가정에 필요한 $B(\alpha)$을 구하거나, 두 번째에서 사용하는 B(r)에서 $B(\alpha(r))$로 생각하는 것과 동일한 것이다.

[0098] [수학식 3]에서 소산계수를 구하기 위하여 소산계수와 후방산란계수를 일반적으로 다음과 $\beta = B(r)\alpha(r)^k = B(\alpha)\alpha^k$로 두면 [수학식 3]을 만족하는 해는 [수학식 4] 와 같다.

[0099] [수학식 4]

[0100]
$$\alpha(r) = \frac{\left(B_m/B\right)^{1/k}\exp\left((S-S_m)/k\right)}{\alpha_m^{-1} + \frac{2}{k}\int_r^{r_m}\left(B_m/B\right)^{1/k}\exp\left((S-S_m)/k\right)dr'}$$

[0101] 여기서 Bm은 거리 rm에서의 상수 B(r)을 의미한다. S는 [수학식 1]에서 정의된 것과 동일하다.

[0102] 대부분의 연구나 상용 시스템은 $B(r)$ 을 거리나 소산계수에 의존하지 않는 상수로 두고 [수학식 4]를 적용하는데, 그러한 적용의 실례가 [수학식 1]이다.

[0103] 라이다 비를 소산계수의 함수로 나타내는 $\beta = B(\alpha)\alpha^k$ 식이 현실에 가장 합리적인 표현이라 할 수 있으나 이러한 관계를 얻는 것은 쉽지 않다. 이 관계식을 얻는 과정은 다음과 같다.

[0104] 도 6은 이러한 목적으로 구한 소산계수에 대한 후방산란계수와 소산계수의 관계를 대표적으로 나타내고 있다. 이러한 관계를 알기 위해선 후방산란계수와 소산계수를 동시에 측정하여야 한다. 실제로 이 방법은 라만 라이다를 사용하여 이루어질 수 있다. 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 근거리의 산란신호와 소산계수를 이용하여 소산계수를 회기적(iteratively)으로 얻은 과정을 설명한 순서도로서, 후방산란신호와 소산계수를 이용하여 이를 얻는 과정을 설명하고 있다. 즉 측정된 후방산란 밝기와 소산계수를 이용하여 이를 구하는 방법을 나타낸다.

[0105] 실제로 후방산란계수를 얻기 어려운 경우 본 발명과 같이 후방산란계수 대신에 후방산란신호를 얻고 거기에 상수를 곱하여 후방산란계수를 구하여 사용할 수 있다. 이 경우 실제 후방산란 피사체와 카메라의 거리를 고려하여야 한다.

[0106] 상기 제2소산계수산출부(160)는 상기 원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수의 상관비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 소산계수를 산출하는 제2소산계수산출단계(S 151)를 수행하고, 상기 지수산출부(170)는 상기 광센서모듈(110)의 근거리 영상과 원거리 소산계수 정보를 설정된 시간 누적저장 후 분석하여 소산계수와 후방산란계수의 지수값을 산출 후 원거리 라이다 방정식에 반영하여 원거리 신호를 보정하는 지수산출단계(S 152)를 수행할 수 있다.

[0107] 또는, 제2소산계수산출부(160)는 상기 단일-파장 라이다(100)의 신뢰있는 것으로 설정된 원거리 구간과 상기 광센서모듈(110)의 영상이 겹치는 중복구간에서 후방산란신호로부터 후방산란계수를 구하는 상수를 정하고 이를 다른 근거리 지역에 적용하여 근거리 소산계수를 얻는 제2소산계수산출단계(S 155)를 수행할 수 있다.

[0108] 즉 도 7의 최종 결과를 얻는 방법은 다양한 방법이 이용될 수 있다. 다만, 후방산란 계수를 추출하기 위해서 [수학식 2]에서 상수 C가 필요하기 때문에 본 발명도 6은 C를 임의의 값으로 가정하고 라이다 비와 소산계수의 관계를 나타내고 있다. 도 6에서 알 수 있는 것은 라이다 비와 소산계수가 비례관계가 아니라 소산계수에 따라 그 비가 달라진다는 것을 알 수 있다. 즉 log-log 그래프로 나타낸 그림에서 기울기는 $\beta = B_0\alpha^k$ 식에서 k값에 해당한다.

[0109] 도 6에서 볼 수 있듯이 소산계수에 따라 값이 바뀌어 라이다 비가 상수가 아니며, 소산계수를 얻기 위하여 가장 많이 사용되는 [수학식 1]의 k값이 위치에 따라 변하는 소산계수 값의 함수임을 나타낸다.

[0110] 이렇게 구한 k값을 [수학식 1]에 대입하여 원거리에서 거리에 따른 소산계수를 다시 얻을 수 있으며, 소산계수 값은 다시 k값의 함수이기 때문에 후방산란계수를 추출하는 [수학식 2]에 다시 대입하여 후방산란계수를 얻어야 하고, 이로부터 얻은 후방산란계수는 다시 도 6의 관계 그래프를 개선할 것이고 다시 k값이 정해지는 회기 분석법이 될 것이다.

[0111] 즉 상기 회기계산부(180)는 후방산란계수와 소산계수의 관계를 선형적으로 가정하여 원거리 소산계수 및 평균값을 계산하고, 계산된 소산계수를 이용하여 근거리 산란신호에서의 후방산란계수를 구하는 과정을 반복하며 소산

계수와 라이다 비를 회귀적으로 바꾸어 가면서 일정 범위의 값으로 라이다의 소산계수가 수렴하도록 라이다비를 정하는 회기계산단계(S 154)를 수행한다.

[0112] 도 7은 이러한 과정을 도식적으로 보여준다. 도 7은 본 발명의 가장 중요한 부분으로 그 과정을 서술하면, 먼저 1-1) 카메라의 영상으로부터 레이저의 산란 피사체의 신호 세기 얻고 1-2) 카메라(레이저)와 피사체의 거리 구하여, 1-3) 피사체의 크기 규격화(같은 화소점이더라도 거리에 따라 그 화소에 기여하는 거리 범위가 다르기 때문에 같은 거리 범위의 값으로 규격화 하여함)한다.

[0113] 2) k=1로 두고 후방산란계수와 소산계수 관계를 선형적으로 가정하고, 3-1) [수학식 4]를 이용하여 원거리에서 소산계수를 다시 계산하고, 3-2) 그 평균값도 다시 계산한다.

[0114] 4) 이렇게 회귀적으로(Iteratively) 계산된 소산계수를 이용하여 각 근거리에서의 산란신호(P_N)에서의 후방산란계수를 다시 얻는다.(수학식 2)

[0115] 5) 7-1 ~ 7-4과정을 되풀이하면서 소산계수와 라이다 비의 관계를 다양한 대기 조건에서 얻어 소산계수와 라이다 비를 결정하는 함수를 찾아낸다. 실례로 도 7의 부속 그래프인 7-5를 보면 x-축에서 소산계수(PM10) 값에 따라 기울기 k값이 달라진다는 것을 알 수 있다.

[0116] 또한, 도 7에서 보이는 경우와 같은 경우에는 [수학식 5]와 같은 두 가지 조건에서 [수학식 4]를 적용하여 거리에 따른 소산계수를 추출할 수 있다.

[0117] [수학식 5]

[0118] $$\beta(r) = B_0 \alpha^k \quad 단 \begin{bmatrix} k = k_0 & PM10(\alpha) < 20 \\ k = k_1 & PM10(\alpha) > 20 \end{bmatrix}$$

[0119] [수학식 5]는 실험적으로 얻은 값으로 실례를 든 것으로, 실제 라이다와 카메라를 이용하여 각각 소산계수와 후방산란계수에 비례하는 신호를 이용하는 경우 그래프의 모양이 다라서 다양한 구간으로 나누거나 연속적인 값으로 이루어질 수도 있다. 그러므로 식에서 $k_{1,2}$와 PM10 <20 에서 20은 임으로 정한 값으로 실제는 다른 값이 될 수 있다. [수학식 5]에서 양변을 로그 취하면 소산계수와 후방산란계수의 로그 스케일로 그린 그래프의 기울기가 k가 되고, 절편이 B_0가 된다. 그러므로 도 7-5와 같은 측정으로 얻은 그래프를 통하여 k와 B_0를 얻을 수 있다.

[0120] 카메라를 이용하여 얻는 후방산란신호와 얻고자 하는 후방산란계수는 [수학식 2]를 이용하여 얻을 수 있지만, 도 7의 7-5 그래프에서 라이다 비를 얻기 위하여 사용하는 후방산란 계수 대신에 후방산란신호를 사용해도 된다. 왜냐하면, 후방산란신호와 후방산란계수는 비례하기 때문에 7-5에서와같이 로그를 취하면 기울기는 [수학식 2]의 상수 C와 무관하게 정해지기 때문이다.

[0121] 실험적으로 얻은 [수학식 5]와 라이다 미분 방정식의 해를 정하는 [수학식 4]를 이용하여 거리에 따른 소산계수를 얻음에 있어서, [수학식 4]의 적분 과정은 되먹임에 의하여 소산계수가 결정되어야 함을 주의 하여야 한다.

[0122] 구체적으로 근거리에서의 소산계수는 후방산란신호를 통하여 얻을 수밖에 없는데, 그 방법은 다음과 같다.

[0123] 소산계수와 라이다 신호의 관계는 [수학식 5]를 이용하여 얻을 수 있으므로 소산계수를 알면 후방산란계수를 알 수 있고, 반대로 후방산란계수를 알 수 있으면 소산계수를 알 수 있다. 그러나 [수학식 2]와 같이 후방산란신호와 후방산란계수에는 미지의 상수 C가 존재한다. 결국, C 값을 찾는 것이 근거리 후방산란신호로부터 소산계수를 얻은데 매우 중요한 방법이 된다.

[0124] 지금까지 언급한 카메라를 통하여 얻을 수 있는 거리범위는, 근거리뿐만 아니라 카메라와 레이저의 거리 조건에 의하여 실제 상황에선 원거리의 라이다 신호를 포함한 근거리 모두에서 얻을 수 있다.

[0125] 즉 카메라를 통하여 얻은 산란신호는 0에서 무한대의 모든 산란신호를 얻을 수 있다. 일반적으로 수 km와 무한대의 거리에 있는 산란신호는 거의 같은 화소에 맺히므로 수 km와 무한대까지의 평균 산란신호를 얻을 수 있고, 이 거리에서는 라이다를 이용하여 소산계수를 얻을 있으며, 평균 소산계수도 얻을 수 있다.

[0126] 레이저 광원(일반적으로 레이저 광원과 카메라의 위치는 거의 동일한 지점이라 가정해도 무방)에 가까운 곳에서 산란된 산란 피사체는 카메라를 이용하여 산란신호로 화소 밝기로 획득되며 각각의 화소에서 추출되는 거리는 카메라와 레이저의 거리벡터와 카메라의 사양(초점거리, CCD 크기 및 화소 수)에 의하여 정의되므로 그 정의된

거리 범위($R_2 - R_1$)에 있는 모든 산란신호는 하나의 화소에 입력되고, 그 거리($R = \frac{R_1+R_2}{2}$)값을 카메라로 밝기 신호로 검출하게 된다.

[0127] 그러므로 카메라는 특정거리에서 산란된 모든 후방산란신호를 얻을 수 있다는 뜻이고, 그 값은 아래 [수학식 6]과 같이 표현된다. [수학식 6]에서 R2-R1(= ΔR_1)는 [수학식 0]에서 표현된 규격화를 위하여 사용되는 거리 범위를 의미한다.

[0128] [수학식 6]

[0129] $$P\left(R=\frac{R_1+R_2}{2}\right)=C\bar{\beta}(R)\frac{1}{R_1+R_2}\int_{R_1}^{R_2}\frac{1}{R'^2}e^{-2\int_0^{R'}\alpha(L)dL}dR'$$

[0130] 카메라와 라이다가 공통으로 정보를 얻을 수 있는 지역에서는 소산계수는 라이다를 통하여 구할 수 있고, 그 지역에서 후방산란신호를 얻을 수 있으므로 $P\left(R=\frac{R_1+R_2}{2}\right)$, [수학식 6]을 통하여 후방산란신호와 소산계수를 1:1로 대응시킬 수 있다.

[0131] [수학식 6]에서 후방산란계수($\bar{\beta}(R)$)는 $\beta = B(r)\alpha^k$의 관계를 표현한 도 6의 소산계수에서 얻어지며, 소산계수는 라이다 신호로부터 얻어진 것이고, 산란신호 $P\left(R=\frac{R_1+R_2}{2}\right)$는 카메라를 통하여 얻어진 것이다. 거리는 카메라와 레이저의 거리, 산란체의 각도, 레이저의 조사각도에 의하여 생기는 삼격형으로부터 얻어진다.

[0132] 그러므로 미지수 C 값을 [수학식 6]으로부터 얻을 수 있다. [수학식 6]에서 추출되는 C 값은 라이다와 카메라의 밝기가 중첩되지 않은 짧은 거리의 다른 근거리 지역에서도 같이 활용이 가능하므로 우리는 모든 근거에서 산란신호로부터 소산계수를 유도해 낼 수 있다.

[0133] 본 발명의 권리는 위에서 설명된 실시 예에 한정되지 않고 청구범위에 기재된 바에 의해 정의되며, 본 발명의 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 청구범위에 기재된 권리범위 내에서 다양한 변형과 개작을 할 수 있다는 것은 자명하다.

부호의 설명

[0134] 100: 단일-파장 라이다 101: 레이저모듈

102: 수신부 110: 광센서모듈

120: 거리산출부 130: 제1소산계수산출부

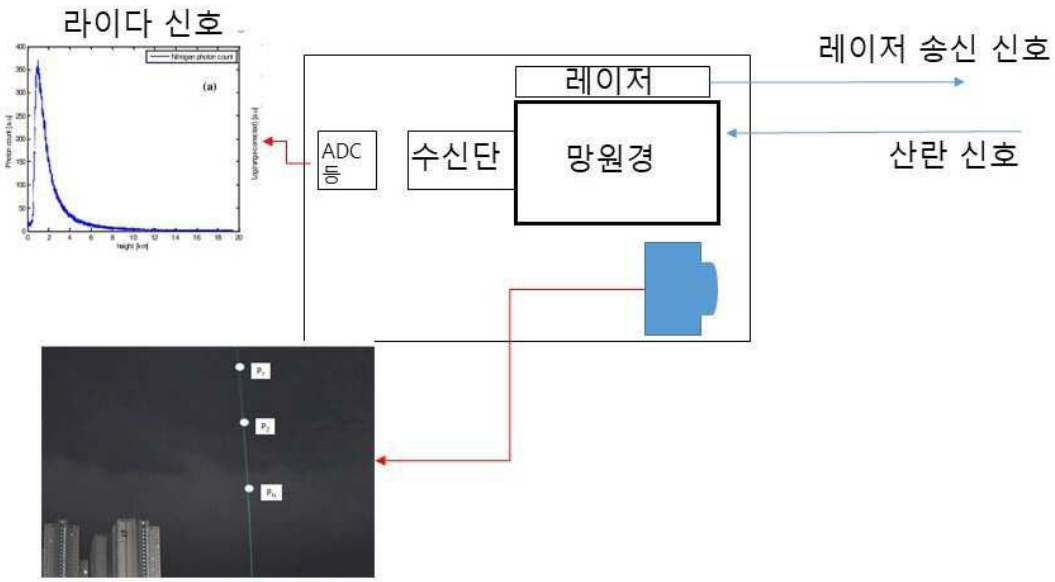
140: 제1산란계수산출부 150: 근거리신호산출부

160: 제2소산계수산출부 170: 지수산출부

180: 회기계산부 190: 규격화부

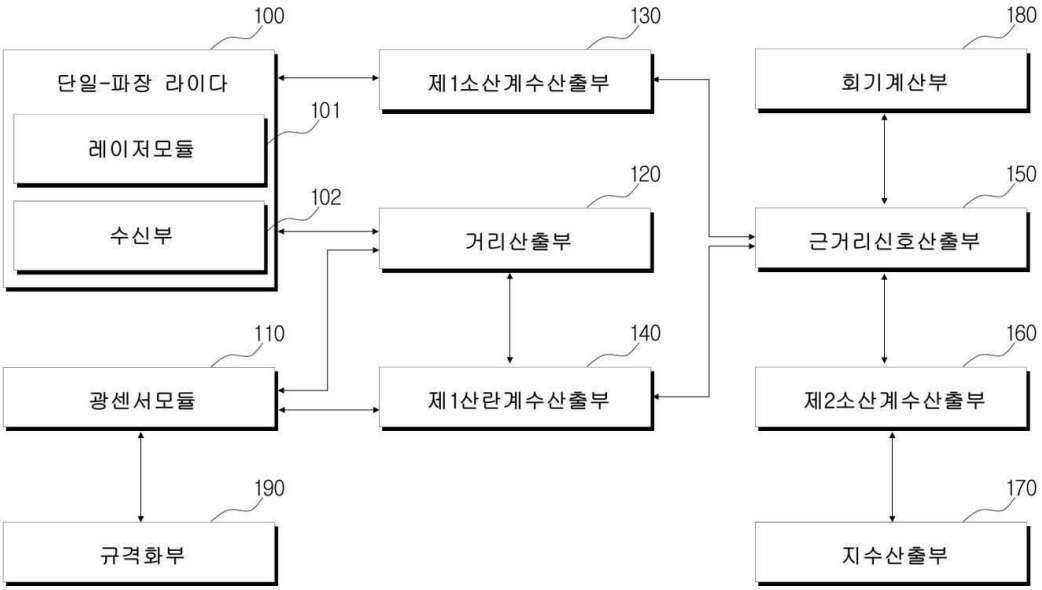
도면

도면1

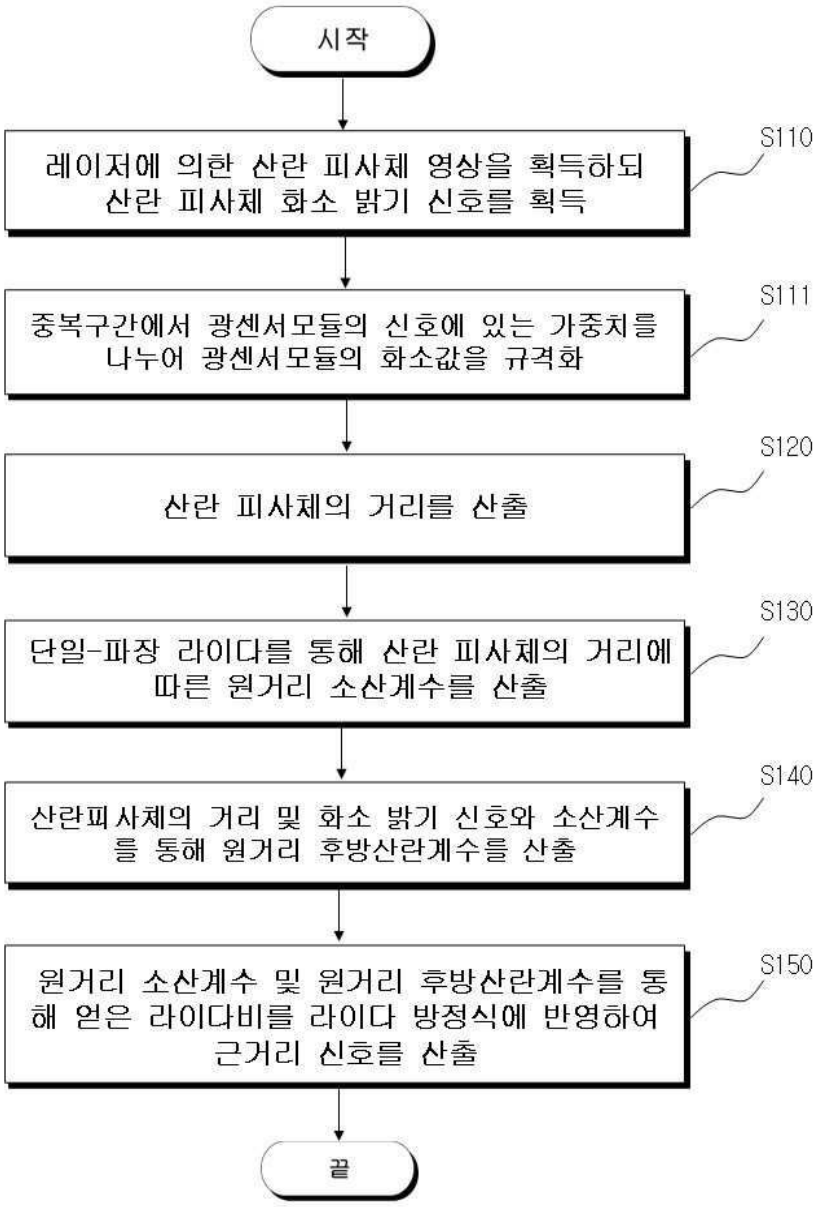


카메라로 얻은 각 거리의 산란 영상 신호

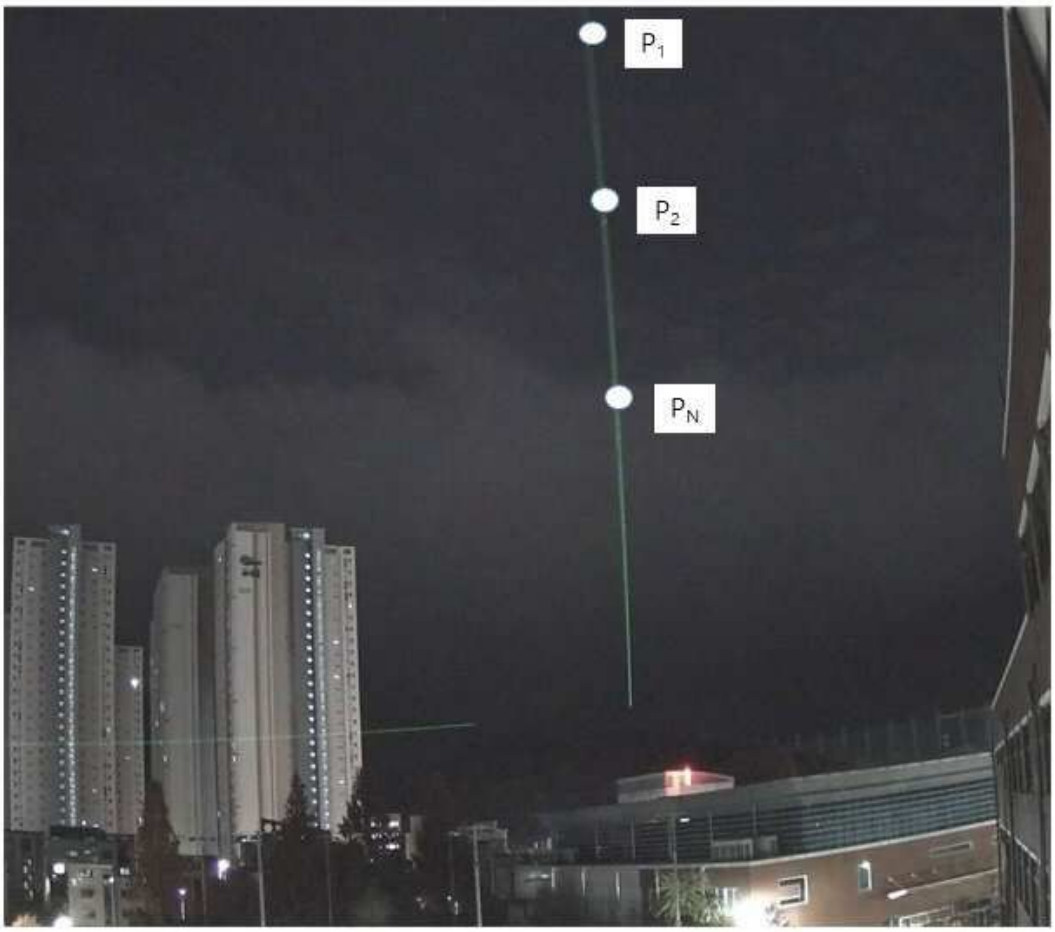
도면2



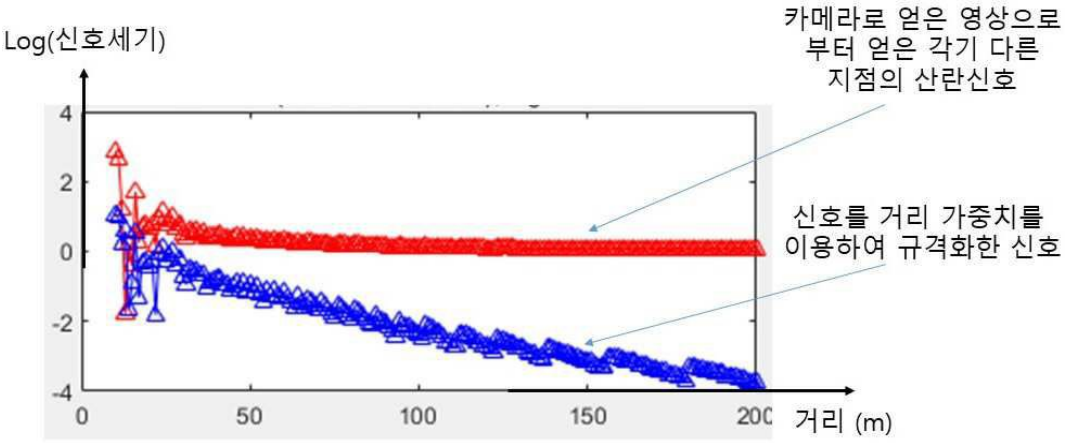
도면3


시작
레이저에 의한 산란 피사체 영상을 획득하되 산란 피사체 화소 밝기 신호를 획득
S110
중복구간에서 광센서모듈의 신호에 있는 가중치를 나누어 광센서모듈의 화소값을 규격화
S111
산란 피사체의 거리를 산출
S120
단일-파장 라이다를 통해 산란 피사체의 거리에 따른 원거리 소산계수를 산출
S130
산란피사체의 거리 및 화소 밝기 신호와 소산계수를 통해 원거리 후방산란계수를 산출
S140
원거리 소산계수 및 원거리 후방산란계수를 통해 얻은 라이다비를 라이다 방정식에 반영하여 근거리 신호를 산출
S150
끝

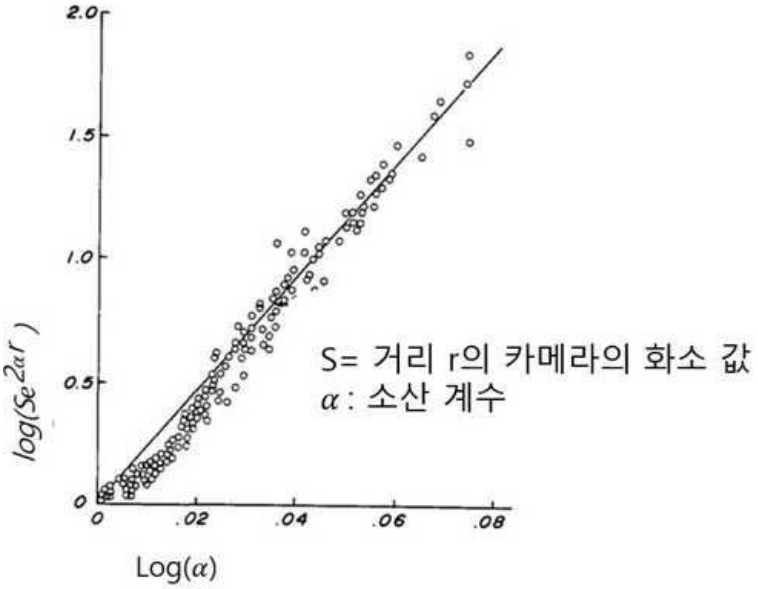
도면4


P_1
P_2
P_N

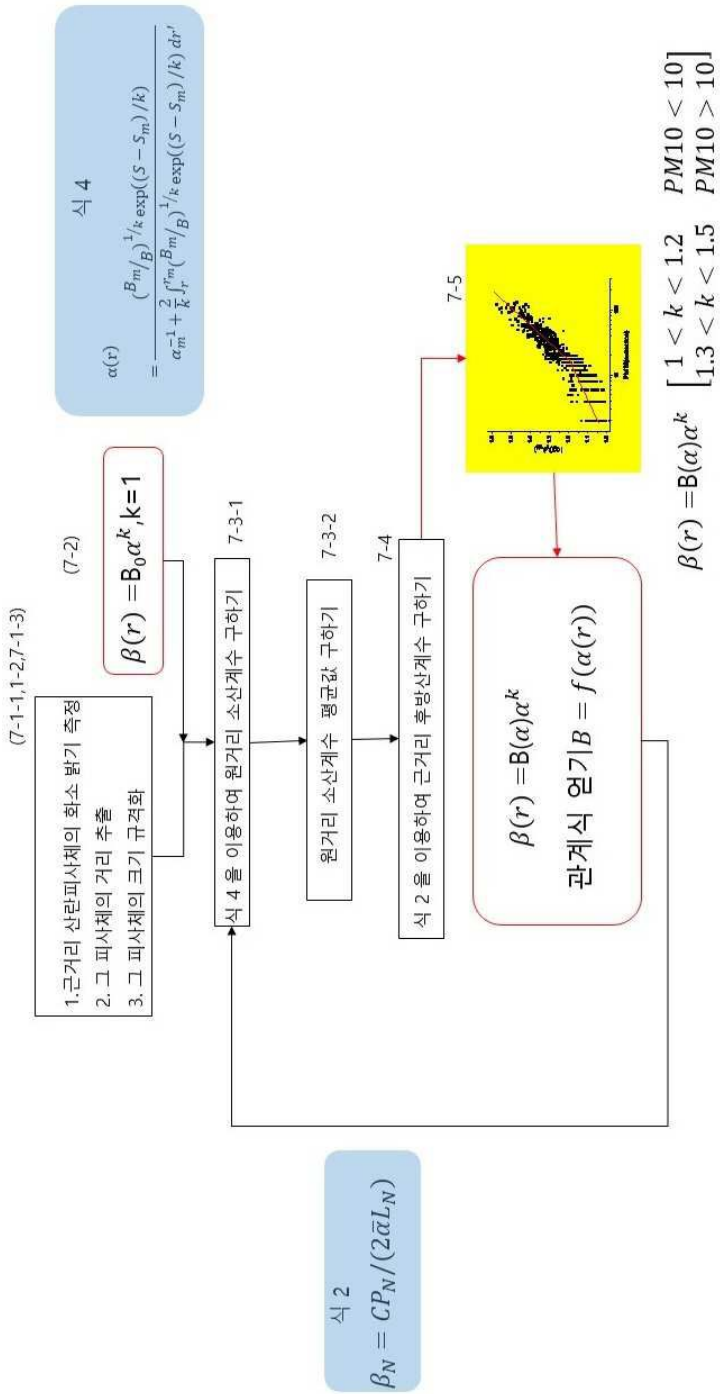
도면5


Log(신호세기)
카메라로 얻은 영상으로 부터 얻은 각기 다른 지점의 산란신호
신호를 거리 가중치를 이용하여 규격화한 신호
4
2
0
-2
-4
0
50
100
150
200
거리 (m)

도면6



도면7


식 4
$\alpha(r) = \frac{(B_m/B)^{1/k}\exp((S-S_m)/k)}{\alpha_m^{-1} + \frac{2}{k}\int_r^{r_m}(B_m/B)^{1/k}\exp((S-S_m)/k)\,dr'}$
(7-1-1,1-2,7-1-3)
1.근거리 산란피사체의 화소 밝기 측정
2. 그 피사체의 거리 추출
3. 그 피사체의 크기 규격화
(7-2)
$\beta(r) = B_0\alpha^k$, k=1
7-3-1
식 4 을 이용하여 원거리 소산계수 구하기
7-3-2
원거리 소산계수 평균값 구하기
7-4
식 2 을 이용하여 근거리 후방산계수 구하기
7-5
$\beta(r) = B(\alpha)\alpha^k$
관계식 얻기 $B = f(\alpha(r))$
$\beta(r) = B(\alpha)\alpha^k$ $\begin{bmatrix} 1 < k < 1.2 & PM10 < 10 \\ 1.3 < k < 1.5 & PM10 > 10 \end{bmatrix}$
식 2
$\beta_N = CP_N/(2\bar{\alpha}L_N)$