(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0004680
(43) 공개일자 2020년01월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G01N 15/02* (2006.01) *G01N 21/47* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*G01N 15/0227* (2013.01)
*G01N 15/0211* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0077855
(22) 출원일자 2018년07월04일
심사청구일자 2018년07월04일

(71) 출원인
**한발대학교 산학협력단**
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
**김덕현**
대전광역시 유성구 배울1로 119 대덕테크노밸리12단지아파트 1203동 1201호
(74) 대리인
**특허법인도담, 김대영**

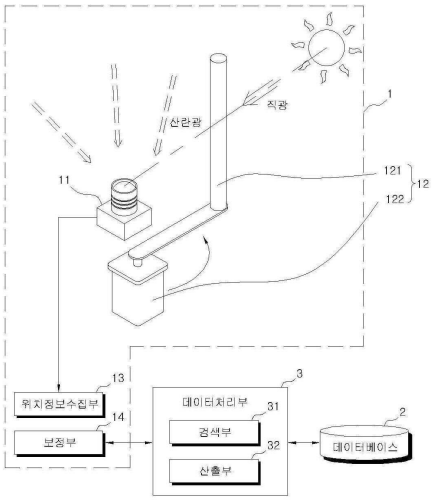
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 **하늘 영상을 이용한 미세먼지 측정 시스템**

## (57) 요 약

본 발명은 데이터획득부와 이론적 데이터베이스 그리고 미세먼지 광학 깊이를 찾는 알고리즘을 구비한 데이터처리부의 3가지 구성요소로 이루어진다. 먼저, 데이터획득부는 어안렌즈가 장착된 카메라와 카메라에서 태양광을 차단하는 장치 및 얻은 영상으로부터 카메라 영상의 지구 자전축으로부터 카메라의 위치 및 방향을 고려한 각 픽셀에서의 영상정보를 말하며, 이론적 데이터베이스는 데이터 분석을 위하여 태양의 다중산란 효과를 고려하여 계산한 각기 다른 태양의 고도, 미세먼지의 양, 하늘의 각기 다른 방위각/고도각에서 얻은 산란광의 세기 정보를 가지고 있는 데이터베이스로 구성된다. 마지막으로 하늘 촬영으로부터 특정 고도각/방위각에서 의 빛의 세기를 다양한 데이터베이스의 값과 가장 알맞은 근접한 값을 갖는 미세먼지 광학 깊이을 찾는, 즉 데이터를 비선형적 핏팅 알고리즘으로 분석하는 방법으로 구성된다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*G01N 21/47* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1365002630
부처명 기상청
연구관리전문기관 한국기상산업기술원
연구사업명 기상ㆍ지진See-At기술개발연구
연구과제명 카메라를 이용한 기상인자 측정 장치 기술개발 기반연구
기 여 율 1/1
주관기관 한밭대학교 산학협력단
연구기간 2017.07.15 ~ 2018.07.14

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

어안렌즈 및 RGB 센서를 장착한 카메라로 구성되어 하늘을 촬영하는 촬영부(11)와, 태양으로부터 상기 촬영부(11)로의 직달광을 차단하도록 상기 어안렌즈를 덮는 그림자를 형성하는 차단부(12)로 이루어지는 데이터획득부(1);

태양의 고도와, 미세먼지의 양과, 방위각 및 고도각에 따른 산란광의 분포에 대한 정보가 저장되어 구축된 데이터베이스(2);

상기 촬영부(11)를 통해 얻은 영상으로부터 RGB 파장의 빛의 세기 분포를 얻어 상기 데이터베이스(2)에 저장된 정보와 가장 근접한 값을 갖는 빛의 세기 분포를 찾는 검색부(31)와, 검색된 빛의 세기 분포에 따른 미세먼지 양을 도출하는 산출부(32)를 구비하는 데이터처리부(3); 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 하늘 영상을 이용한 미세먼지 측정 시스템.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 차단부(12)는 상기 어안렌즈와 동일한 축을 통해 촬영부 주변을 회전하도록 구성된 차단막대(121)와, 상기 차단막대를 태양의 방위각에 대응하여 회전시키는 모터(122)로 이루어지는 것을 특징으로 하는 하늘 영상을 이용한 미세먼지 측정 시스템.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 데이터획득부(1)는 상기 촬영부(11)를 통해 설정된 셔터 속도로 촬영한 복수의 태양 영상을 활용하여 각기 다른 시간에 다른 방향으로 존재하는 태양의 위치정보를 카메라 좌표계의 픽셀 좌표값들을 얻는 위치정보수집부(13)와,

얻어진 복수의 픽셀 좌표값들과 지구중심 좌표계의 이론값과 비교를 위하여  오일러각도를 적용하여 정남향 및 천정방향 대비 설치된 촬영부(11)의 회전 뒤틀림을 보정하는 보정부(14)를 더 포함하고,

상기 검색부(31)는 상기 보정부(14)를 통해 보정된 영상으로부터의 계산되는 특정 방향으로 입사되는 빛의 세기 분포와 상기 데이터베이스(2) 상의 빛의 세기 분포를 비교하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 하늘 영상을 이용한 미세먼지 측정 시스템.

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 하늘 영상을 통한 미세먼지를 측정하는 기술에 관한 것으로서, 자세하게는 하늘을 촬영하여 얻은 태양 산란광의 3가지 파장에서 얻은 특정 픽셀의 빛의 세기 분포를 통해 경계 고도에 존재하는 미세먼지의 양을 산출하는 하늘 영상을 이용한 미세먼지 측정 시스템에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 대기중 미세먼지는 국민건강과 기후변화에 미치는 영향이 매우 크고 반도체 산업 등 많은 분야의 산업에서도 생산성과 제품의 품질에 좋지 않은 영향을 끼치는 문제로 최근 국내외적으로 많은 관심을 받고 있다. 이러한 미세먼지는 지역/시간별 밀도의 편차가 클 뿐 아니라 필요로 하는 모든 지역마다 측정장비를 구축하는데 어려움이

있어 장치가 설치된 지점을 제외한 장소에서 정확한 측정정보를 얻는 것은 매우 어렵다.

[0003] 이러한 미세먼지를 측정하는 대표적인 방식으로는 광학적 방식과 포집 방식을 들 수 있는 가운데, 광학적 미세먼지 측정은 포집 방식에 비하여 실시간으로 데이터를 얻을 수 있기 때문에 다른 비접촉 방식에 비하여 선호되는 기술이다.

[0004] 종래 사용되는 광학적 방식 중 라이다를 이용하는 방법은 고도별로 미세먼지의 정보를 얻을 수 있으나, 장비 가격이 매우 높아 넓은 지역을 동시에 모니터링할 수 없으며, 광학적 입자계자 계수기는 최저 입자 크기에 한계(0.2~0.3㎛)가 있어 초미세먼지와 같이 인체에 더욱 치명적인 것으로 알려진 입자의 측정은 불가능하다. 또한, CPC(condensed particle counter)의 경우는 나노 크기의 입자를 측정할 수 있으나, 역시 가격이 매우 높아 네트워크를 통한 구역 측정이 불가능한 문제가 있었다.

[0005] 기본적으로 미세먼지 농도가 높은 날은 밖의 풍경을 보거나 하늘을 보면 맑은 날 대비 그 색상 및 빛의 강도 특징이 다르다는 것을 알 수 있다. 즉 수평방향으로는 멀리 있는 풍경이 희미하게 보이거나, 수직방향으로는 푸른 하늘이 뿌옇게 보이는 경우가 해당 예라고 할 수 있다.

[0006] 그러나 육안으로는 이러한 변화를 정량적으로 알 수 없으며 또한 같은 미세먼지 분포를 지닌 날이라 하더라도 보는 방향에 따라서 시계나 하늘의 색깔이 달라진다.

[0007] 이는 태양광의 고도나 방향에 따라서 같은 미세먼지 분포를 하고 있더라도 느끼는 미세먼지의 농도가 다르다는 것을 의미하며 태양의 방향과 관측자의 방향을 고려해야하고 이를 정량적으로 분석할 수 있어야 한다는 것을 의미한다.

[0008] 태양의 빛이 지표면에 도달하기까지는 미세먼지에 의한 다중산란효과와 같은 복잡한 빛의 산란 효과로 빛이 사방으로 퍼지게 되고, 공기 분자나 특정 분자(예를 들어 오존/수증기/산소)에 의한 흡수 때문에 눈에 보이는 파장 영역에서도 파장에 따라 그 세기가 달라진다. 또한, 같은 양의 미세먼지나, 흡수 가스가 있더라도 태양광의 고도 각이 달라지면, 태양광이 지표면에 도달되는 광학적 깊이가 달라져 관측자가 느끼는 하늘 영상이나 수평방향의 시계가 달라진다. 이러한 이유로 하늘 색상이나 빛의 세기 변화를 감지하여 미세먼지의 양을 정량화하는 것은 쉽지 않다.

[0009] 태양광이 특정 방향으로 대기권에 진입하는 경우 먼지나 공기 분자에 의하여 다중산란 및 흡수가 일어나는 현상을 규명하기 위한 많은 연구가 이루어져 있다. 이러한 연구는 고속의 컴퓨터 계산에 의하여 주로 이루어진 것으로, 이론적 계산 결과는 주어진 태양 고도, 파장, 미세먼지 총량(AOD: Aerosol Optical depth)에서 모든 공간(고도각/방위각)으로 산란되는 빛의 광량을 추출하도록 해준다. 즉 1) 파장, 2) 태양의 고도, 3) AOD, 4) 방위각, 그리고 5) 고도각 등의 5가지 변수에 의하여 빛의 광량이 결정된다.

[0010] 이러한 계산법 중에서 DISORT(Discrete Ordinates Radiative Transfer) 모델은 간단하면서도 가장 아직까지 가장 많이 활용되는 계산법으로 태양광의 고도각이 10도 이상일 경우엔 복잡한 다른 계산과도 그 계산 값이 거의 같아서, 자주 사용되고 있는 계산법이다. 이 방법은 기상조건(미세먼지, 온도, 기압 등 )이 수평적으론 같고, 고도에 따라서만 변하며, 지구가 평평하다는 가정하에서만 계산이 가능하다.

[0011] 그밖에 Monte Carlo 방법은 광자 하나하나를 추적하면서 지표면에 도달하는 특성을 계산하는 것으로 계산 시간이 긴 특징이 있다.

[0012] 본 발명은 이러한 계산 결과를 5차원의 어레이(ARRAY)로 저장하여 데이터베이스를 확보한 후 카메라에서 얻은 각 픽셀 정보에서 고도각과 방위각을 추출하고 그 픽셀의 신호 크기를 각 RGB(파장 변수 결정) 신호로부터 얻는 방법을 사용하고자 한다.

[0013] 즉 태양광의 고도(태양의 고도 변수 결정)는 사진이 촬영된 시간을 고려하여 이론적으로 계산하였으므로 빛의 세기를 결정하는 5개의 변수 중 4가지의 변수(태양의 고도, 파장, 방위각, 고도각)가 결정되었기 때문에 마지막 변수인 AOD는 주어진 고도각과 방위각에 가장 잘 부합하는(Fitting)되는 AOD를 찾는 것으로 결정이 된다.

[0014] 그러나 카메라의 각 R(Red), G(Green), B(Blue) 센서의 감도가 같지 않고, RGB 센서의 감도가 하나의 파장에만 반응하지 않고 넓은 범위에서 감도가 있으며, 각 센서의 감지 영역에서 가스의 흡수 효과도 동시에 존재하고 흡수가스의 농도가 시간적 공간적으로 변하기 때문에 각 센서의 감도는 상수가 아니라 측정 시간이나 위치에 따라 다르게 변한다. 그러므로 AOD와 더불어 유효 감도를 가정하고 그 유효 감도도 AOD와 함께 측정되어야 한다.

[0015] 정리하자면 본 발명에서는 5가지 변수에 의하여 이론적으로 계산되는 빛의 세기(Watt/(nm-㎡-Srad)를 4가지 다

른 변수에서 빛의 세기를 여러 방향에서 측정하여 나머지 미지수인 AOD와 각 센서의 유효 감도를 측정하는 방법을 사용한다.

[0016] 이러한 방법과 유사하게 미세먼지를 측정하는 종래의 기술로는 AERONET의 미세먼지 측정네트워크가 있으며, 태양광의 빛을 이용하고(Sun-photometer) 미리 정해놓은 주어진 특정 방향으로 산란된 빛의 세기를 이용하고 있으나, 여러 개의 필터를 사용하고 태양을 추적하기 위하여 정밀 제어 시스템이 필요하며, 주어진 각도에 구름이 존재하는 경우 데이터 추출이 불가능하다.

[0017] 이에 카메라를 활용한 미세먼지 측정 방식이 구현된다면 쉽게 이동 가능하여 임의의 지역에서 누구나 측정 가능하고 실시간으로 필요한 미세먼지 정보를 얻을 수 있어 매우 유용한 측정도구로 활용될 수 있다. 특히 최근 각 개인이 고해상도의 CCD가 장착된 휴대전화를 소지하고 있어 언제든지 하늘을 촬영할 수 있어 휴대용 사진기의 활용도 가능하다. 이러한 측면에서 비교적 쉽게 얻을 수 있는 카메라 영상을 이용하거나, 기 관측소의 카메라를 데이터를 활용하여 미세먼지의 정보를 실시간으로 얻을 수 있고 이를 네트워크로 구축하여 그 정보를 수집한다면 전국적인 미세먼지 분포의 변화와 흐름까지도 추적할 수도 있어 기존 장치의 활용 가치도 높이고 누구나 언제든지 미세먼지의 정보를 얻을 수 있어 그 활용가치가 높아질 것이다.

[0018] 현재는 구름의 고도 및 운량을 측정하기 위하여 기상청에서는 어안렌즈(fish-eye lens)가 장착된 카메라를 각 측정소에 설치하여 촬영된 영상을 이용하여 측정지점의 해동고도뿐만 아니라 운량을 측정하고 있으나 이는 단순히 카메라의 영상 정보로부터 운량만을 산출하고 있을 뿐 미세먼지에 대한 정보는 얻고 있지 못하고 있는 실정이다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0019] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2010-0012377호(2010.02.08)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0020] 본 발명은 상기와 같은 요구를 반영하여 기존의 장비 대비 이동이 용이하고 저가로 미세먼지 정보를 추출하기 위해 창출된 것으로, 본 발명의 목적은 하늘을 촬영한 영상 중 촬영시간을 바탕으로 태양의 고도를 파악하여 그에 맞는 데이터베이스를 이용하되, 영상의 각 픽셀에 대응되는 고도/방위각과 일치되는 빛의 강도 변화를 읽고 각 RGB 영상에 맞는 데이터베이스의 파장을 읽어 이를 측정된 하늘영상의 특정 픽셀의 값과 비교하여 미세먼지의 AOD를 산출하는 하늘 영상을 이용한 미세먼지 측정 시스템을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0021] 상기와 같은 목적을 위해 본 발명은 어안렌즈 및 RGB 센서를 장착한 카메라로 구성되어 하늘을 촬영하는 촬영부와, 태양으로부터 상기 촬영부로의 직달광을 차단하도록 상기 어안렌즈를 덮는 그림자를 형성하는 차단부로 이루어지는 데이터획득부; 태양의 고도와, 미세먼지의 양과, 방위각 및 고도각에 따른 산란광의 분포에 대한 정보가 저장되어 구축된 데이터베이스; 상기 촬영부를 통해 얻은 영상으로부터 RGB 파장의 빛의 세기 분포를 얻어 상기 데이터베이스에 저장된 정보와 가장 근접한 값을 갖는 빛의 세기분포를 찾는 검색부와, 검색된 빛의 세기에 따른 미세먼지 양을 도출하는 산출부를 구비하는 데이터처리부; 로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0022] 이때 상기 차단부는 상기 어안렌즈와 동일한 축을 통해 촬영부 주변을 회전하도록 구성된 차단막대와, 상기 차단막대를 태양의 방위각에 대응하여 회전시키는 모터로 이루어지는 것이 바람직하다.

[0023] 또한, 상기 데이터획득부는 상기 촬영부를 통해 설정된 셔터 속도로 촬영한 복수의 태양 영상을 활용하여 각기 다른 시간에 다른 방향으로 존재하는 태양의 위치정보를 카메라 좌표계의 픽셀 좌표값들을 얻는 위치정보수집부와, 얻어진 복수의 픽셀 좌표값들과 지구중심 좌표계의 이론값과 비교를 위하여 오일러각도를 적용하여 정남향 및 천정방향 대비 설치된 촬영부의 회전 뒤틀림을 보정하는 보정부를 더 포함하고, 상기 검색부는 상기 보정부를 통해 보정된 영상으로부터의 계산되는 특정 방향으로 입사되는 빛의 세기 분포와 상기 데이터베이스 상의 빛의 세기 분포를 비교하도록 구성되는 것이 바람직하다.

## 발명의 효과

[0024] 본 발명을 통해 특히 태양의 위치를 모른 상태에서도 간단히 하늘 방향으로 사진을 촬영하는 것만으로도, 대기 중 미세먼지의 AOD를 알 수 있으며, 휴대전화의 통신기능을 이용하여 각 휴대전화 소지자 하늘을 촬영함으로 전국적인 미세먼지 분포를 얻을 수 있다.

[0025] 또한, 태양광 산란관련 데이터베이스를 이용하고 기존의 시정계와 같은 장비로 활용함으로 단순히 그 시정계가 측정한 방향으로의 시정정보만 알려주는 종래의 정적인 시정계의 한계를 넘어 시정의 정도를 관측자의 시야 방향과 결합한 동적인 시정계로 활용도 가능하다.

## 도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 구성도,

도 2는 2018년 5월 17일 한밭대학교에서 바라본 태양의 고도 및 방위각을 나타낸 그래프,

도 3(a)는 시간의 순서대로 나타낸 고정된 카메라에서 받은 태양의 영상, 도 3(b)는 자동으로 태양의 중심 위치를 찾는 과정을 나타낸 영상,

도 4는 도 3 에서 얻은 태양의 픽셀 좌표로 값들로부터 좌표 변환 행렬을 구하는 과정을 나타낸 도면,

도 5는 임의의 오일러 각으로 뒤틀린 카메라의 영상에 지구 좌표계의 16x32=512 방향을 점으로 표시한 도면,

도 6은 태양광 스펙트럼,

도 7은 다양한 변수 결합 중에서 얻어지는 빛의 세기의 변화를 나타낸 도면,

도 8은 등고도면(Almucantar plane)에서  방위각에 따른 빛의 세기를 나타낸 도면,

도 9는 주요면(Principal plane)에서 고도각에 따른 빛의 세기를 3 파장에서 나타낸 도면,

도 10은 촬영 지역의 연직 방향에서의 빛의 세기 특성을 나타낸 도면,

도 11(a)는 등고도면( Almucantar plane:705)에서의 빛의 세기 특성을

도 12는 주어진 태양의 고도 및 파장에서 주요면(principal plane)을 따른 빛의 세기를 나타낸 도면,

도 13은 태양의 방향에서 벗어난 고도각에 따라 빛의 세기가 어떻게 변하는지를 보여주는 도면,

도 14는 [수학식 4] 에 주어진 4가지의 값을 구하는 과정을 도식적으로 나타낸 도면,

도 15는 RGB 세 파장에서 얻은 AOD와 각 센서(RGB)의 이득(gain)을 계산한 결과 그래프이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명 하늘 영상을 이용한 미세먼지 측정 시스템의 구성을 구체적으로 설명한다.

[0028] 본 발명에서 하늘 영상을 통해 미세먼지 양을 확인하기 위해 해결해야 하는 과제는 크게 1) 태양의 직광을 차단, 2) 카메라 뒤틀림 정도를 추적, 3) 지구좌표계의 특정 방향으로 입사되는 빛의 세기를 임의 방향으로 뒤틀린 카메라로 얻은 영상에서 RGB 신호 값을 추출하는 방법, 4) 지구좌표계의 특정 방향으로 산란되어 카메라로 입사되는 각 파장의 빛의 세기를 계산한 데이터베이스, 5) 3)과 4)에서 얻은 두 신호를 비교하여 미세먼지의 AOD 값과 3파장 영역에서의 RGB 센서의 유효 감도를 구하는 과정이 될 수 있으며, 이러한 과정을 토대로 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

[0029] 기본적으로 태양광은 직달되거나, 대기중의 산란 물질에 의하여 산란되는 형태로 카메라에 도달된다. 직달되는 신호가 산란된 신호보다 훨씬 크기 때문에 카메라로 직달된 신호와 산란 신호를 동시에 받게 되면 직달 신호 근처의 픽셀 신호는 왜곡이 심하게 일어난다.

[0030] 본 발명에서는 이러한 것을 방지하기 위하여 직달된 태양광을 막기 위하여 차단물체인 차단막대(121)를 모터(122)에 설치하여 상기 차단막대(121)의 그림자가 촬영부(11)의 렌즈에 도달하도록 하고 상기 차단막대(121)는 태양의 방위각과 같은 속도로 모터(122)에 의하여 회전할 수 있도록 구성된다.

[0031] 이때 회전하는 차단막대(121)의 속도는 그 축이 지구자전축과 일치하지 않을 경우 일정하기 않기 때문에 촬영부(11)의 설치위치 위도를 고려하여 그 속도를 변화시켜야 한다. 단 상기 모터(122)의 회전축이 지구 자전축과 같게 설치될 경우 자전속도와 같은 속도로 등속회전하여도 된다.

[0032] 직달되는 태양광을 막기 위해 태양을 추적하기 위한 구체적인 구성은 본 출원인의 등록특허 제10-1742431호 "개회로 및 폐회로 방식의 고 내구성 자체 검정 경위 태양광 추적방법 및 그를 위한 시스템"의 내용을 참조하여 구현할 수 있다.

[0033] 상기 촬영부(11) 즉 카메라의 뒤틀림 정도를 알기 위하여 카메라를 고정하고 태양을 적정 간격을 촬영한다. 태양의 위치는 주어진 시간 지구좌표계에서 일정한 방위각과 고도각으로 주어진다. 단 방위각은 측정한 지점의 남중 고도를 중심으로 회전한 각도로 주어진다. 즉 경도가 135도인 지점은 정확히 12시에 태양이 남쪽 방향에 존재하며 기타 지역은 그 지역의 경도를 통하여 더 늦은 혹은 빨리 남쪽 방향으로 위치하게 된다. 1 ~ 2시간 동안 적절한 간격으로 촬영한 영상에서 태양의 위치를 픽셀 단위로 얻을 수 있고, 카메라 렌즈의 초점과 CCD의 크기를 고려하면, 촬영된 태양의 픽셀 좌표와 이론적으로 유추되는 고도/방위각은 1:1 관계에 있어 카메라 픽셀 좌표로부터 카메라 좌표에서 태양의 방위/고도각을 얻을 수 있다.

[0034] 이렇게 얻은 태양의 방위/고도각은 촬영한 시간을 고려하여 얻은 방위/고도각과 오일러각도만큼 회전한 양이 된다. 이 회전량(3가지 종류의 회전)을 찾으면, 카메라가 어떤 방향으로 설치되었는지 알 수 있게 되고 반대로 픽셀 좌표로부터 방향벡터를 유추하고 이로부터 오일러 회전 매트릭스를 곱하면 지구 중좌표계에 대한 방위/고도각을 얻을 수 있다.

[0035] 즉 이론적 좌표에서 오일러 회전 매트릭스를 곱하여 얻은 좌표와 실제 측정한 좌표를 비교하여 그 값이 최소가 되도록 오일러 각을 조절하면 오일러 각을 얻을 수 있다.

[0036] 이와 더불어 미세먼지양의 판단기준이 되는 산란광의 분포가 미리 데이터베이스(2)로 구축되어 비교가 이루어질 수 있도록 구성하되, 태양의 고도와, 방위각 및 고도각에 따른 산란광의 분포에 대응한 미세먼지 양에 대한 정보가 이론적 내지는 실험적인 방법으로 작성되어 데이터베이스(2)에 저장된다.

[0037] 또한, 이론적으로 계산한 특정시간대의 고도/방위각에 대한 빛의 세기 분포와 촬영부(11)로부터 얻은 각 픽셀에 대한 빛의 세기 분포를 비교하기 위하여 주어진 시간의 데이터베이스(2)의 정보와 일치하는 촬영된 영상의 픽셀 정보를 찾을 수 있어야 한다.

[0038] 이를 위하여 이론적으로 주어진 시간/각도에서 방향벡터를 정하고 여기에 오일러 회전 매트릭스를 곱하면, 실제로 측정된 위치에 대한 방향벡터가 나오고 이 값을 이용하여 촬영된 카메라의 픽셀 위치를 정보를 얻을 수 있다.

[0039] 주어진 시간에 주어진 방향으로의 태양광의 세기 분포는 주로 미세먼지에 의한 AOD에 의하여 결정된다. 그러므로 주어진 시간은 태양의 고도로 주어지고 대한민국의 최대 남중고도와 태양에 의한 산란 신호를 이론적 계산하는 가장 간단한 방법(DISORT 모델 적용)을 적용하기 위하여 태양의 고도가 20도 이상 되어야 한다는 것을 고려한다면 10단계 이상의 고도각만으로 모든 태양 위치를 모사할 수 있다.

[0040] 주어진 파장은 카메라의 RGB 센서의 중심 파장에 의하여 결정되므로 3가지로 정해지며, 미세먼지의 AOD는 실제 관측되는 AOD의 최소 ~ 최대값과 원하는 분해능으로 정해지며, 미세먼지의 양을 14단계로 하면 모든 대기상태에서 충분히 내삽으로 결정 가능하며, 고도/방위각에 대한 분해능은 실제 산란광의 공간 의존성에 의하여 결정된다.

[0041] 계산하는 각도의 수를 $(\theta,\phi) = 16x32$ 각도 정도의 분해능이면 충분히 하늘 영상의 모든 각도에서 얻어지는 신호를 모사할 수 있다.

[0042] 본 발명은 이러한 점을 고려하여 5가지의 변수(파장, 태양의 천정각, 미세먼지의 AOD, 고도각, 방위각)에서 $(\lambda, \Phi_{SZA}, \tau_{AOD}, \theta, \phi) = (3,13,14,16,32)$ 즉 3 x 13 x 14 x 16 x 32 데이터를 구축하여 이론값으로 구축하여 미세먼지를 구하는 것을 실례로 설명한다.

[0043] 마지막으로 주어진 시간에 주어진 방향에서 얻은 신호와 이론값의 비교는 3유효파장에서의 감도와 미세먼지의 AOD 결정을 목표로 한다. 즉 미지수가 4개를 찾는 문제로 귀결된다. 4개의 미지수 추출에 사용되는 측정신호도 (사진이 촬영된 주어진 하나의 일정시간에서의 미세먼지의 AOD를 구하고자 하는 경우)는 다른 시간에 촬영한 영상 정보를 이용할 수 없기 때문에 하나의 영상에서 2가지 이상 다른 지점(픽셀)에서 얻은 신호를 이용해야

한다. 2지점의 픽셀은 파장을 고려하면 6개의 데이터를 이용하기 때문에 4가지의 미지수를 역산하는데 충분한 지점이다. 한편으로는 미지수보다 많은 지점을 산란 신호를 이용하면 더 정확한 미지수를 추출할 수 있으나, 불필요한 지점의 픽셀 값을 쓰거나 선택된 지점의 값이 다른 위치라고 하더라도 실질적으로 중복되거나 중복되지는 않더라도 주요점(Principal point)에 먼 값을 택하면 나쁜 역산 결과를 가져온다. 즉 작은 픽셀 정보의 오차가 구하고자 하는 미지수에 대한 해의 수렴값이 발산할 수 있다. 이에 대한 구체적인 내용을 이하에서 서술한다.

[0044] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 구성도로서, 태양광 주변의 산란 신호를 받기 위한 장치 구성을 나타내고 있다. 본 발명은 기본적으로 데이터획득부(1)와, 데이터베이스(2) 및 미세먼지 광학 깊이를 찾는 알고리즘을 구비한 데이터처리부(3)의 3가지 구성요소로 이루어진다.

[0045] 상기 데이터획득부(1)는 어안렌즈가 장착된 카메라로 구성된 촬영부(11)와, 상기 촬영부(11)로 직접 조사되는 태양광을 차단하는 차단부(12)와 함께 얻은 영상을 카메라 영상의 지구 자전축으로부터 카메라의 위치 및 방향을 고려하여 보정하는 위치정보수집부(13) 및 보정부(14)를 통해 각 픽셀에서의 영상정보를 얻게 된다.

[0046] 즉 상기 차단부(12)는 태양의 자전 속도와 지구 자전축을 고려하여 일정하지 않게 회전하는 태양으로부터 지표면에 도달하는 태양빛이 카메라로 직접 입사되는 것을 차단하는 차단막대(121)를 구비하며, 이는 하나의 모터(122)를 통해 회전 가속운동을 하게 된다.

[0047] 앞서 언급한 바와 같이 태양광이 카메라의 렌즈를 통하여 센서로 바로 입력되면, CCD에는 과도한 전류가 발생하여 이웃한 픽셀로 그 효과가 번지게 된다. 상기 차단부(12)는 모터(122)와 차단막대(121)로 구성되며 상기 차단막대(121)의 높이와 폭 그리고 회전축에서의 거리는 남중고도에서 태양의 그림자가 촬영부(11)를 구성한 카메라의 렌즈를 모두 가릴 수 있도록 렌즈의 크기보다 약간 크게 정하게 된다.

[0048] 이때 모터(122)의 회전축과 카메라 렌즈의 광축은 일치하여야 하며, 모터의 회전 속력은 시간과 계절에 따라 달리 설정하는데, 측정 지점의 카메라 좌표계에서의 태양의 시간에 따른 위치벡터( $\vec{S}(t)$ )는 측정 지점의 천정이 지구중심 회전축과 이루는 천정각( $\theta_H = 90 - \text{위도}$ )과 지구의 자전 속력( $\dot{\phi}$ ), 그리고 측정 지점의 태양 남중고도( $\theta_{st}$ )에 의하여 [수학식 1] 과 같은 방법으로 표현된다.

*수학식 1*

$$\vec{S}(\Delta t) = R_x(\theta_H) \cdot \left(\sin(\theta_{ST})\sin(\Delta t\dot{\phi}),\ \sin(\theta_{St})\cos(\Delta t\,\dot{\phi}), \cos(\theta_{St})\right)^T$$

[0049]

$$\begin{pmatrix} \sin(\theta_{ST})\sin(\Delta t\dot{\phi}) \\ \cos(\theta_H)\sin(\theta_{ST})\cos(\Delta t\,\dot{\phi}) - \sin(\theta_H)\cos(\theta_{St}) \\ \sin(\theta_{ST})\sin(\Delta t\dot{\phi}) + \sin(\theta_{ST})\sin(\theta_H)\cos(\Delta t\,\dot{\phi}) \end{pmatrix}$$

[0050]

$$R_x(\theta_H) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_H) & -\sin(\theta_H) \\ 0 & \sin(\theta_H) & \cos(\theta_H) \end{pmatrix}$$

[0051]

[0052] 이렇게 정해진 측정 지점에서의 태양의 방향벡터로부터 태양의 남중고도에서 벗어난 시간( $\Delta t$ )을 중심으로 태양의 위치를 구할 수 있어서 방위각을 알 수 있다.

[0053] [수학식 1] 은 태양이 남중 고도에 있을 시간에 카메라에서 태양의 위치가 y 축에 있는 경우를 예를 든 것이다.

[0054] 도 2는 수학식 1을 이용하여 2018.5.17 일 날짜의 한밭대학교에서 바라본 태양의 고도 및 방위각을 예로 나타낸 것이다.

[0055] 도 3(a)는 시간의 순서대로 나타낸 고정된 카메라에서 받은 태양의 영상이다. 해당 영상은 2018년 1월 19일에 생성한 것으로 태양의 중심 위치는 수동 혹은 자동으로 찾을 수 있도록 할 수 있다.

[0056] 도 3(b)는 자동으로 태양의 중심 위치를 찾는 과정을 나타낸 영상으로, 이렇게 얻은 태양의 위치정보와 각 영상에 대응되는 촬영 시간 정보는 카메라의 3축 회전 뒤틀림을 추적하는데 사용 가능하다.

[0057] 즉 카메라를 설치함에 있어 상기 촬영부(11)의 위치가 정남향 및 천정방향으로 정확하게 정렬이 되지 않기 때문에 발생하는 오차를 보정하는 알고리즘이 필요하며, 구체적으로 상기 데이터획득부(1)는 상기 촬영부(11)를 통해 설정된 셔터 속도로 촬영한 복수의 태양 영상을 활용하여 각기 다른 시간에 다른 방향으로 존재하는 태양의 위치정보를 카메라 좌표계의 픽셀 좌표값들을 얻는 위치정보수집부(13)와, 얻어진 복수의 픽셀 좌표값들과 지구중심 좌표계의 이론값과 비교를 위하여 오일러각도를 도입하여 정남향 및 천정방향 대비 설치된 촬영부(11)의 회전 뒤틀림을 보정하는 보정부(14)를 구비한다.

[0058] 촬영 시간은 태양의 정확한 위치 벡터 정보를 지구 좌표계에서 태양의 위치를 결정할 수 있도록 해주고, 촬영된 태양의 픽셀 좌표는 카메라에 대한 태양의 상대적인 위치 즉 카메라 좌표계에서의 태양의 방향을 알 수 있게 해준다. 이러한 두 정보를 조합하면 카메라의 회전 좌표 변환 행렬을 구할 수 있다.

[0059] 태양 주위 방향에서 산란되어 카메라로 입사되는 산란광은 카메라 좌표계보다는 실제 대기를 어떤 방향으로 투과/산란 되었는지 중요하므로 카메라 영상의 태양 방향 주위의 각 픽셀 값을 지구 좌표계로 변환하거나, 지구 좌표계의 특정 방향을 카메라의 어떤 픽셀 값으로 변환하여 그 방향에 해당하는 값을 찾는 것은 중요하다. 이는 지구 좌표와 카메라 좌표를 연결하는 좌표변환 행렬을 구하면 가능하다.

[0060] 즉 변환 행렬을 각 지구 좌표계의 방향벡터에 곱하거나 역행렬(Inverse matrix)을 카메라 픽셀의 해당 방향벡터에 곱하여 지구 좌표계 방향벡터를 얻을 수 있다.

[0061] 상기 데이터베이스(2)는 데이터 분석을 위하여 태양의 다중산란 효과를 고려하여 이론적으로 계산한 각기 다른 태양의 고도, 미세먼지의 양, 하늘의 각기 다른 방위각/고도각에서 얻은 산란광의 강도에 관한 정보가 저장된다.

[0062] 상기 데이터처리부(3)는 하늘 촬영 영상으로부터 특정 고도각/방위각에서의 빛의 분포를 데이터베이스(2)에 저장된 다양한 값과 비교하여 가장 알맞은 근접한 값을 갖는 미세먼지 광학 깊이를 찾는, 즉 데이터를 비선형적 핏팅 알고리즘으로 분석하는 구성이다.

[0063] 이러한 데이터처리부(3)의 구성을 통해 미세먼지를 산출함에 있어 태양광이 촬영부(11)로 직접 입사되면, 태양 주위로 넓게 얻어지는 픽셀의 빛의 세기에 해당하는 값에 큰 영향을 주기 때문에 산란된 태양광을 차단하게 되고, 이로 인해 얻어진 영상으로부터 태양의 정확한 위치를 찾는 불가능하게 된다.

[0064] 그러므로 태양이 직접적으로 찍힌 영상 없이도 이론적으로 정확하게 태양 위치를 찾고 또한 태양의 위치뿐 아니라 데이터베이스(2)를 이용하기 위하여 태양의 위치를 결정하는 지구좌표계 관점에서 카메라 좌표계 관점까지 각 방향에서 산란된 태양 신호의 위치를 정하는 것은 무엇보다 중요하다. 또한, 1) 5가지 변수인 파장(3가지), 태양고도(13가지), 고도각(16가지), 방위각(32가지), 그리고 미세먼지 AOD(14가지)에서 빛의 강도가 어떻게 되는지 계산하여 지구중심 좌표계에서 얻어질 수 있는 데이터베이스()를 구축하여야 하며, 2) 촬영부()의 각도 정렬이 완벽하지 않기 때문에 카메라의 뒤틀림 각도(오일러각도)를 추출할 수 있는 알고리즘을 활용하며, 3) 지구중심에서 회전된(정남향 및 수직 천정 방향, 그리고 자체 회전) 카메라의 각도에서 촬영된 영상의 각 픽셀에서, 지구중심 좌표계에서 이론적으로 구한 태양의 산란 신호와 비교하기 위하여, 원하는 각도로 입사되는 산란 신호의 크기를 정할 수 있는 알고리즘을 이용하며, 4) 다양한 각도에서 구축된 데이터베이스()로부터 얻어지는 신호와 촬영부()를 통하여 얻은 R, G, B 3파장의 신호와 이론적 신호의 차이를 최소화시키는 미세먼지의 AOD 값과 각 RGB 센서의 유효 감도를 찾는 프로그램을 사용할 수 있어야 한다.

[0065] 정리하면 상기 데이터베이스(2)는 카메라로 얻은 영상 정보를 분석하기 위하여 태양광이 지표면으로 입사되면서 공기분자와 미세먼지에 의하여 여러 번 산란이 일어나고 이렇게 다중 산란된 신호가 지표면에서 고도각과 방위각에 따라 어떻게 변하는지를 이론적으로 계산한 빛의 세기분포를 제공하는 데이터 값을 통해 구축된다. 이러한 데이터베이스(2)는 카메라의 세 가지 중심파장(R, G, B) 센서에서 각각 계산되되, 태양의 다양한 고도에서도 계산되며, 또한 미세먼지의 다양한 밀도에서도 계산되어 구축된다.

[0066] 상기 데이터처리부(3)는 촬영부(11)의 영상 3파장에서 얻은 특정 산란 방향의 빛의 분포와 데이터베이스(2)의 계산에 의하여 구한 빛의 분포를 비교하여 원하는 미세먼지의 광학 깊이를 3파장에서 추출하는 알고리즘을 구비하며, 상기 촬영부(11)를 통해 얻은 영상으로부터 RGB 파장의 빛의 세기 분포를 얻어 상기 데이터베이스에 저장된 정보와 가장 근접한 값을 갖는 빛의 세기분포를 찾는 검색부(32)와, 검색된 빛의 세기에 따른 미세먼지 양을

도출하는 산출부(32)를 구비한다. 또한, 이러한 3파장의 AOD로부터 입자 크기를 유추하는 구성을 포함할 수 있다.

[0067] 도 4 는 도 3 에서 얻은 태양의 픽셀 좌표(401)로부터 좌표 변환 행렬(R(α,β,γ))을 어떻게 구하는지 그 과정을 나타낸 것이다.

[0068] 카메라의 좌표계와 지구중심의 좌표계는 단순히 태양 영상신호획득 시간(402)과 측정 지점의 위도 경도(403)정보로 정해진다. 지구중심과 카메라의 좌표계가 완벽하게 정렬되어 단순히 두 좌표계는 촬영 장소의 위도에 해당하는 천정각 만큼만 회전된 것이라 가정한다면, 카메라 좌표계에서의 카메라 입사각 $(\theta_c, \phi_c)$은 [수학식 1] 에서 방향벡터가 정해지기 때문에 쉽게 구할 수 있다.

[0069] 이렇게 구한 각도를 직접 회전변환 행렬에 이용하는 것은 불가능하기 때문에 각도를 방향벡터로 변환식(404)와 같이 변환하여 방향벡터($\vec{V}$:405)를 구한 후 이를 좌표변환 행렬을 곱해서(406) 카메라 좌표계로 변환한 후(407) 다시 카메라 좌표계의 각도($\theta_{th}, \phi_{th}$:408)로 변환하여 실험적으로 구함 각도( $\theta_m, \phi_m$:411)와 비교한다.

[0070] 실험적으로 구한 각도($\theta_m, \phi_m$)는 측정된 태양의 픽셀 위치에서 실험적으로 구해 놓은 식 $\theta = f\left(\sqrt{P_x^2 + P_y^2}\right)$(410)을 이용하여 구한다. 함수 f는 사용한 카메라의 초점 거리와 카메라의 종류에 의존하며, Nikon 7500을 사용하였고, 같은 회사의 초점거리 10.5㎜(AF DX)인 어안렌즈를 사용할 경우, 도 4의 (412)와 같은 모양을 띤다.

[0071] 좌표변환 행렬에는 3개의 회전량에 해당하는 미지수($\vec{X} = \alpha, \beta, \gamma)^T$)가 있으며, 이를 구하는 과정은 비선형회기기법(nonlinear Regressive Iteration Method)이 사용된다. 구체적으로는 3개의 미지변수를 구하는 과정은 [수학식 2] 와 같다.

*수학식 2*

$$\Delta\vec{X} = \vec{X} + (K^T K)^{-1}(\vec{Y} - \vec{F}(\vec{X}))$$

[0072]

$$K_{i,j} = \frac{\partial F_i}{\partial X_j} \quad j = R, G, B; i = 1, 2, \ldots 2N$$

[0073]

$$F_{2i} = \theta_{th}^i$$

[0074]

$$F_{2i+1} = \phi_{th}^i$$

[0075]

$$Y_{2i} = \theta_m^i$$

[0076]

[0077] $Y_{2i+1}$

[0078] [수학식 2] 에서 N은 도 4 (401)에서 사용한 태양 측정에 사용한 태양의 위치 즉 영상의 수이며, F(x)는 구체적인 함수로 표현되지 않지만, 주어진 시간에 태양의 방향 위치($\theta_c, \phi_c$)를 찾고(403), 그것으로 방향벡터를 계산하고(405), 회전 행렬을 이용하여 새로운 좌표계에서 방향벡터를 찾아서(407) 다시 방향을 고도 및 방위각(408)을 구하는 과정의 함수로 인지할 수 있다.

[0079] 이러한 과정에 해당하는 것을 도 4의 (413)에 그 개념적인 도식을 나타내었으며, (414)는 회전좌표를 사용하지 않을 경우 측정된 ($\theta_m, \phi_m$ )와 계산된 $(\theta_c, \phi_c$ )관계를 나타내며, (415)는 회전변환 행렬로 보정을 한 후($\vec{V'}$) 이론적으로 얻는 태양의 방향 ($\theta_{th}, \phi_{th}$ )와 측정된 태양의 방향($\theta_m, \phi_m$ )의 관계를 보여준다.

[0080] 카메라의 지구 좌표계에 대한 회전 뒤틀림각($\alpha, \beta, \gamma$)을 이용하면 주어진 시간에 지구 좌표계의 모든 방향으로 입사되는 산란광의 세기는 위도를 고려한 완벽한 정렬 상태의 [수학식1] 과 뒤틀림 회전 행렬(406)을 이용하여 카메라 좌표계의 방향벡터로 전환 가능하고 이로부터 카메라 영상의 특정 픽셀을 정할 수 있다.

[0081] 도 5는 상기 [수학식 1] 과 임의의 하늘 촬영한 영상과 지구 좌표계에서 고도각을 태양을 중심으로 16 등분하고 방위각을 32 등분한 경우, 임의의 오일러 각으로 뒤틀린 카메라의 영상에 지구 좌표계의 16 x 32 = 512 방향을 점으로 표시한 것이다.

[0082] 점으로 표시된 512개 방향에 해당하는 점에서 영상의 픽셀 정보를 얻어오면 주어진 태양의 고도에서 태양을 중심으로 얻어지는 512개의 방향으로의 산란 신호를 얻는 것이 된다. 영상에서는 RGB 세 파장에서 따로 그 빛의 세기가 저장되므로 총 1536개의 데이터 빛의 세기 정보를 얻을 수 있다. 태양을 중심으로 방위각이 180도 다른 영역은 도면에 나타나지 않는데, 이는 태양을 중심으로 대칭적인 구조이기 때문에 같은 값을 나타낸다.

[0083] 만약 영상에 구름이 있거나 장애물이 포착된다면 180도 다른 지역을 택할 수 있어, 충분한 양의 데이터를 확보할 수 있다. 그렇지 않으면 그 부분의 영상 정보는 버리면 된다.

[0084] 선택된 픽셀의 RGB 밝기값은 그대로 사용하는 것이 불가능하다. 이는 각 픽셀의 3개의 센서는 넓은 영역의 파장에 감도가 있으며, 넓은 파장 영역에서 센서의 감도는 파장에 따라 다르며, 또한 태양광의 세기도 파장에 따라 다르기 때문이다.

[0085] 따라서 카메라 센서의 3가지 파장 영역은 R, G, B로 표현되나, 실제 카메라 센서의 감도는 넓은 영역에서 감도가 있으며, 또한 태양의 광원 자체도 넓은 영역에서 그 빛을 복사하고 그 빛의 세기도 다르다.

[0086] 그러므로 카메라에 특정 필터를 적용하지 않는 경우 산란효과를 제외한 기여도를 고려하여 가중치를 두어 빛의 세기($I_{sun}(\lambda)$), 센서의 감도($S_{R,G,B}(\lambda)$), 그리고 렌즈 및 대기 가스에 의한 투과도($T(\lambda)$)를 고려하면 각 R, G, B 센서의 유효 파장으로 다음과 같이 정의하여 사용 가능하다.

*수학식 3*

[0087]
$$\lambda_R^{eff} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \lambda I_{sun}(\lambda) S_R(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_{-\infty}^{\infty} I_{sun}(\lambda) S_R(\lambda) T(\lambda) d\lambda}$$

[0088]
$$\lambda_G^{eff} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \lambda I_{sun}(\lambda) S_G(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_{-\infty}^{\infty} I_{sun}(\lambda) S_G(\lambda) T(\lambda) d\lambda}$$

[0089]
$$\lambda_B^{eff} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \lambda I_{sun}(\lambda) S_B(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_{-\infty}^{\infty} I_{sun}(\lambda) S_B(\lambda) T(\lambda) d\lambda}$$

[0090] [수학식 3] 에서 태양광의 파장에 따른 빛의 세기는 잘 알려있으므로 도 6 ( 601)과 같은 형태의 태양광 스펙트럼을 사용하거나, 혹은 (602)와 같은 흑체 복사 모양의 태양광 스펙트럼을 사용한다. RGB 센서의 감도는 카메라의 종류에 따라 다르며, 측정하여 사용하여야 하는데, 실례로 NIKON 7500의 경우는 도 6 (603)과 같은 형태를 지닌다.

[0091] 마지막으로 가스나 렌즈 등에 의한 투과도의 경우 가시관의 파장영역에서 1 에 가깝기 때문에 1로 두거나 도 6의 (604)와 같이 표준 대기 투과 모델을 사용하여 그 투과도를 결정하여 사용할 수 있다.

[0092] [ 이론적 배경]

[0093] 기존의 다양한 대기 복사전달모델(Radiative Transfer Model)을 이용하면 지표면에 도달하거나 산란되어 우주로 방출되는 빛의 세기는 파장, 대기 중의 미세먼지 AOD, 태양의 고도, 그리고 산란되는 두 방향인 고도각 및 방위각 5가지의 변수에 에 의하여 결정된다.

[0094] 도면 7은 다양한 변수 결합 중에서 주어진 3개 고정값 즉 AOD와 태양의 고도, 그리고 3가지 파장에서 얻어지는 빛의 세기가 두 방향($\theta, \Phi$)에 따라 어떻게 변하는지를 보여 주는 것이다.

[0095] 즉 SZA는 30도이고 AOD가 0.3인 경우에 대해서 방위각(x-축)과 고도각(y-축)에서 빛의 세기가 어떻게 변하는지를 보여 준다. 방위각은 태양의 방향을 기준으로 그 상대적인 값을 매긴 것이며. 고도각은 SZA로 천정각과 벗어난 정도를 나타내며, y축의 0을 나타내는 부분은 천정 방향으로 입사되는 것을 의미한다.

[0096] Y축은 90도를 16 등분한 지표(index)를 나타낸 것으로 y축의 16의 경우 수평방향으로 입사되는 것, y축의 1은 수직 입사를 의미하며 중간 값은 90도를 16등분 한 값의 어느 하나를 나타낸다.

[0097] x축도 같은 방법으로 태양의 위치가 1이고 180도 방위각은 32를 나타낸다. 중간 값은 마찬가지로 방위각을 32등분한 것을 의미한다,

[0098] 도 7에서 볼 수 있듯이 파장에 관계없이 태양에서 많이 벗어난 지역에서는 빛의 세기 변화가 크지 않으나, 태양 주위에서는 파장과 각도에 따라 다른 크기의 빛의 세기가 분포한다. 그리고 파장이 짧은 청색 계열에서 상대적으로 더 많은 산란이 일어나고 특정 방향(각도)를 따라 분포하는 모양도 다르다는 것을 볼 수 있다. 본 도면은 태양의 에너지가 모든 파장에서 같고 센서의 감도 같은 경우에만 해당한다.

[0099] 도 8 및 도 9는 도 7을 다시 그린 것으로 도 8은 등고도면(Almucantar plane)에서  방위각에 따른 빛의 세기를 보여주고, 도 9는 주요면(Principal plane)에서 고도각에 따른 빛의 세기를 3파장에서 나타낸 것이다.

[0100] 도 7에서 알 수 있듯이 태양 근처에서 빛의 세기 변화는 파장, 각도 등에 따라서 변하나, 태양에서 벗어나면 그런 변화가 약해진다는 것을 알 수 있다.

[0101] 도 8은 다양한 변수 결합 중에서 주어진 태양고도와 파장에서 3가지 다른 AOD에서 빛의 세기를 방향에 따라 나타낸 것으로, 도면에서 볼 수 있듯이 주어진 파장과 태양 고도에서 AOD가 증가함에 따라 산란광이 넓은 각도로 골고루 존재한다는 것을 알 수 있다. 또한, AOD가 너무 크거나 너무 작으면 최고의 산란값을 같은 방향에서 최대값을 나타내는 빛의 강도가 줄어든다는 것을 알 수 있다.

[0102] 이러한 점은 AOD 값과 특정 대기 방향에서의 빛의 세기 값이 선형적으로 증가하거나 감소하지 않고 증가했다가 감소하는 방법으로 변하기 때문에 AOD와 특정 지역의 빛의 세기는 1:1 관계에 있지 않다는 점을 의미하므로 결론적으로 한 방향에서 빛의 세기만 으로는 AOD를 얻을 수 없고 여러 방향에서 산란된 빛의 세기를 동시에 이용해야 한다는 것을 말한다.

[0103] 도 9는 다양한 변수 결합 중에서 주어진 파장과 AOD에서 3가지 다른 태양광의 고도에서 빛의 세기를 방향에 따라 나타낸 것이다. 마찬가지로 y축은 천정방향에 대한 기울어진 각도를 x축은 방위각을 나타낸다. 태양은 각각 10도, 25도, 그리고 35도에 대하여 그린 것이다. 도면에서 볼 수 있듯이 그림에서 태양이 수직면에 가까운 경우(SZA=10) 방위각 방향으로는 빛의 세기가 거의 변화가 없는데, 이는 태양이 연직방향으로 존재할 경우엔 방위각으로 빛의 세기가 변화가 없다는 것을 말하며, 실제 경험과 일치한다. 반면 각도가 커지면(도면에서 SZA=35) 방위각이 변하면 빛의 세기도 변한다는 것을 알 수 있다. 전체적으로는 AOD가 같기 때문에 유사한 빛의 세기를 보인다. 그래프에서 원점(1,1)에서의 빛의 세기는 연직방향으로의 빛의 세기를 의미하며, SZA각도가 클수록 적어진다. 이 또한 실제 경험과 일치한다.

[0104] 도 10은 촬영 지역의 연직 방향에서의 빛의 세기 특성을 나타낸다. AOD에 따른 연직 방향으로의 빛의 세기 변화는 AOD가 1보다 작은 경우엔 빛의 세기가 AOD에 비례하게 증가하나 그보다 커지면 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보인다. 특히 태양이 연직 방향에 대하여 작게 기울어진 경우 즉 정오 무렵에는 빛의 세기가 AOD에 매우 민감하다는 것을 볼 수 있다. 반면에 정오에서 벗어난 시간일수록 빛의 시기가 AOD의 변에 민감하지 않는 특성을 보인다.

[0105] 그러므로 정오의 경우엔 AOD 값이 작더라도 어렵지 않게 빛의 세기 변화를 통하여 AOD 값을 유추할 수 있다는 것을 보여준다.

[0106] 도면 10(b)는 연직 천정방향의 빛의 세기 변화를 태양의 각도 변화에 대하여 어떻게 변하는지를 보여준다. 도면에서 알 수 있듯이 AOD 값이 큰 경우엔 SZA 값이 변할수록 그 빛의 세기도 크게 변하나, 반드시 비례하지는 않는다는 것을 알 수 있다. 즉 AOD 값이 0.9인 경우가 2.1 보다 더 민감하게 SZA에 따라 변한다는 것을 보여준다.

[0107] 이러한 도면 특성을 고려한다면, 휴대용 카메라와 같이 태양의 방향 주위의 픽셀 정보를 정확히 얻기 곤란한 경우는 비교적 그 방향성을 알기 쉬운 연직 천정 방향의 픽셀 값을 이용하는 것이 더 유리하다는 것을 알 수 있다.

[0108] 도 11은 등고도면(Almucantar plane: a)에서의 빛의 세기 특성을 보인다. 도면에서 알 수 있듯이 SZA이 작을 경

우엔 방위각이 변해도 빛의 세기 변화는 그리 크지 않으나, SZA 값이 클 경우엔 방위각이 20도 이상 커지면(도면에서 SZA=60 일때) AOD에 관계없이 그 빛의 세기 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 그러므로 AOD를 추적할 때 사용하는 산란광의 세기는 태양 근처의 그것 값만 이용하여야 한다는 것을 의미한다.

[0109] 도 12는 주어진 태양의 고도 및 파장에서 주요면(principal plane)을 따라 빛의 세기가 어떻게 되는지를 보여준다. 태양을 중심으로 천정방향과 수평방향으로의 빛의 세기는 같지 않으며, 비 대칭적 성질을 가지고 있음을 알 수 있으며, 태양에서 멀어질수록 감소하는 신호의 세기에 대한 기울기도 AOD와 상관없이 비대칭적으로 변한다는 것을 알 수 있다.

[0110] 특히 도면에서 미세먼지가 극히 작은 경우(AOD=0.05)와 매우 많은 경우(AOD=3)에서 두 신호의 모두 신호의 크기가 줄어든다는 것을 알 수 있는데, 전자는 산란신호가 적어서 줄어들고, 후자는 빛의 소산이 많이 일어나서 줄어든 것이다. 두 경우 고도각에 따른 분포 특성은 대략 같은 모양을 지닌다.

[0111] 그러나 전체적으로 태양 근처의 중심부분의 기울기는 유사한 형태를 지니고 있으나, AOD가 낮은 경우엔 태양에서 멀어질수록 그 기울기가 급격히 감소하는 경향을 보이고 있으나 즉 보는 고도에 관계없이 빛의 세기가 비슷한 경향을 보인다.

[0112] 반면 AOD가 높은 경우엔 그렇지 않다는 것을 알 수 있다. 즉 가우시안 모형에서 AOD가 많은 경우 그 가우시안 함수의 폭이 AOD가 높을 경우 더 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 도 12의 특성을 고려한다면, AOD를 구하기 위하여 전체 모양과 신호의 최대 세기 그리고 태양 주위의 신호 전부를 적분한 값 등을 모두 고려해야 한다는 것을 알 수 있다.

[0113] 도 11과 도 6의 고찰에 의하면 태양 근처에서 산란된 신호만 AOD 정보를 갖고 있고, 태양에서 멀리 벗어난 입사되는 빛은 정보가 적다는 것을 알 수 있다.

[0114] 도 13은 태양의 방향을 0으로 한 상태에서 벗어난 고도각에 따라 빛의 세기가 어떻게 변하는지를 보여준다. 도면에서는 실제 AOD를 나타낸 것이 아니라 유효 AOD를 나타낸 것으로 유효 AOD는 $\mathbf{AOD_{eff}} = \frac{\mathbf{AOD}}{\cos(\theta_{SZA})}$로 정의된 것이다. 유효 $\mathbf{AOD_{eff}}$ 값이 작을 경우엔 도 10에서 언급하였듯이 특정 방향의 빛의 세기 절대값이 AOD 결정에 중요한 영향을 미치고(도 13(a) 및 13(b)) 유효 AOD 값이 큰 경우엔(도 13(c), 13(d)) 그 절대 값으로 유효 $\mathbf{AOD_{eff}}$를 결정하기엔 곤란하고 그 분포 특성이 중요하다.

[0115] 즉 태양을 중심으로 천정과 가까운 쪽과 수평면과 가까운 쪽의 대칭성의 정도나 기울기 값이 AOD의 값과 관련이 있다는 것을 의미한다.

[0116] 도 7 내지 13의 이론적인 특성 조사에서 알 수 있듯이 미세먼지의 양이 적은 경우는 천정방향 태양 빛의 세기 변화만으로도 AOD의 정보를 얻을 수 있으나. 전체적으로는 태양 중심 부근에서 신호의 크기나 모양(기울기)를 동시에 고려하여 AOD를 결정해야 한다는 것을 말해준다.

[0117] 도 7에서는 여러 가지(5 지) 변수에 대한 빛의 세기분포는 태양광의 자체 즉 태양 스펙트럼 자체가 파장에 관계없이 모두 같은 값이고, 센서의 감도도 파장에 관계없이 같다고 가정하고 얻은 것이다.

[0118] 그러나 태양광의 세기는 파장에 따라 다르며, 센서의 감도는 카메라의 종류 심지어는 같은 카메라여도 제작과정에서 다른 파장에 대한 감도 특성을 나타낼 수 있다. 그러므로 미세먼지의 AOD를 역 추출하는 과정에서 각 유효 파장에서의 센서의 감도와 태양광의 세기를 고려한 이득(Gain)도 추출할 필요가 있다.

[0119] 즉 최종적으로 얻어지는 영상의 픽셀 정보는 이론적인 값에서 태양광의 세기와 센서의 감도를 동시에 고려한 이득을 동시에 고려한 유효 이득도 추출해야 한다는 것을 의미한다. 이러한 점에서 추출하고자 하는 미지수는 아래 [수학식 4]와 같이 4차원 벡터로 표현이 가능하며, 이를 추출하는 과정에 대한 상세설명을 기술한다.

*수학식 4*

[0120] $$\vec{\mathbf{X}} = (\mathbf{AOD}, \mathbf{GAIN_{RED}}, \mathbf{GAIN_{GREEN}}, \mathbf{GAIN_{BLUE}})$$

[0121] 도면 14는 [수학식 4] 에 주어진 4가지의 값을 구하는 과정을 도식적으로 나타낸 것이다. 먼저, 카메라를 통하여 영상(801)을 얻게 되면 하늘 영상을 얻은 시간을 추출하게 되고 그 시간으로부터 태양각( $\theta_{SZA}$)과 상대적인

방위각을 알 수 있다. 또한, 그것으로부터 계산에 필요한 픽셀 위치는, 데이터 베이스에 있는 계산 값과 동일한 것을 이용하여야 하기 때문에 데이터베이스(2)의 원하는 ($\theta_{th}^{min} < \theta_i < \theta_{th}^{max}, \phi_{th}^{min} < \phi_j < \phi_{th}^{max}$) 이론각(802) 중에서 필요한 각도를 취합하고 이들 각도 값에서 방향벡터를 구하여, 오일러 회전 행렬을 곱하면(803) 카메라 좌표계에서의 방향벡터가 얻어지고 이로부터 카메라의 픽셀 정보를 얻으면 원하는 픽셀 값을 얻을 수 있다.

[0122] 여기서 카메라 좌표계에서의 방향각으로부터(804) 카메라의 픽셀 정보를 얻은 방법은 도 4에서 설명하였듯이 픽셀정보에서(409) 카메라의 렌즈 및 CCD 크기 정보를 이용하여(410) 카메라의 각도 정보(411)를 얻은 과정의 반대 과정이다.

[0123] 이렇게 얻은 카메라의 픽셀 밝기 정보(805)는 RGB 등 3종류가 있으며, 이 값을 이론적으로 구한 각 방향에서의 밝기(802) 정보와 비교하기 위하여 데이터베이스(2)에서 구한 값에 유효 파장과 대응되는 RGB 센서의 유효 이득을 픽셀 값을 곱하여 비교 값(806)을 정한다.

[0124] 이론적인 값(807: $I_{th}^{i,j} = (\lambda_{R,G,B}, \theta_{SZA}, \tau_{AOD}, GAIN_{RGB}, \theta_{th}^{i}, \phi_{th}^{j})$ )과 실험적인 측정값(805: $P_m^{i,j}(RGB, P(\theta_m^i, \phi_m^j))$ )을 비교하여 그 차이가 최소가 되는 미지 벡터($\vec{x}$)값을 찾으면 원하는 것을 얻게 된다. 이론적인 값을 계산하는데 필요한 초기값 ($\vec{X}_i = (\tau_i, GAIN_R, GAIN_G, GAIN_B)$ 은(806) 임으로 정하여도 되는 양이다.

[0125] 이렇게 정한 임의 값($\vec{x_i}$)은 되먹임에 의하여 수정 보완(808)된다. 미지수의 벡터 값은 이론적인 값과 측정 값의 차이가 어느 한계 이하를 만족하면(809) 수정 보완을 정지하게 되고 계산 과정은 끝을 맺는다. 또한, 되먹임에 의하여 수정 보완되는 값($\Delta\vec{X}$)은 즉 미지수 벡터($\tau_{AOD}, GAIN_R, GAIN_G, GAIN_B$) 는 다음 [수학식 5] 와 같이 회기 분석법으로 찾을 수 있다.

*수학식 5*

$$\Delta\vec{X} = \vec{X} + (K^T K)^{-1}(\vec{Y} - \vec{F}(\vec{X}))$$

[0126]

[0127] 여기서 $\vec{Y}$는 촬영된 영상 중에서 도 5에 나타낸 것과 같이 점($\theta_i, \phi_j$)들을 적절히 취하여 얻은 픽셀의 밝기값과 연직 천정 방향의 픽셀의 밝기를 촬영된 영상의 RGB 센서에서 얻은 값(총 M개)을 나타낸 것이고, F($\vec{X}$)는 주어진 태양의 고도, 미세먼지의 AOD, 주어진 파장, 그리고 방위각과 고도각에서 계산되는 태양 산란광의 세기를 주어진 벡터($\vec{X}$)를 매게 변수로 이용하여 구해지는 값이다.

[0128] 그 이론적 계산에서 소요되는 시간을 고려하고, 휴대용 카메라나 핸드폰과 같이 컴퓨터가 없는 시스템에 적용을 위하여 본 발명에서는 미리 구해놓은 데이터베이스의 값에서 내삽을 통하여 원하는 모든 매게 변수에서 구할 수 있도록 한다. 마지막으로 [수학식 5] 에서 커넬 K는 다음과 같이 [수학식 6] 으로 정의된다.

*수학식 6*

$$K_{i,j} = \frac{\partial F_i}{\partial X_j} \quad j = AOD, GAIN_{R,G,B}; i = 1,2,\ldots M$$

[0129]

[0130] M은 영상에서 비교 계산을 위하여 선택한 픽셀 수의 3배에 해당하는 값이다. 지금까지 기술한 미세먼지의 AOD를 구하는 방법은 3가지 파장에서 미세먼지의 AOD 값이 같다고 가정하고 그 값을 출하는 과정을 기술한 것이다.

[0131] 그러나 실제 미세먼지는 입자의 크기에 따라 다른 AOD값을 지니고 있기 때문에 각 유효파장(R, G, B)에서 다른 AOD를 도출하여 그 크기 정보를 얻을 필요가 있다. 다른 3파장에서 각각 AOD를 추출함에 있어 [수학식 5] 와 같은 방법을 이용하며, 이때 커넬 K는 수학식 7과 같이 주어진다.

*수학식 7*

$$K_{i,j} = \frac{\partial F_i}{\partial X_j} \quad j = AOD_{\lambda_R}, GAIN_R; i = 1,2,\ldots M/3$$

[0132]

$$K_{i,j} = \frac{\partial F_i}{\partial X_j} \quad j = AOD_{\lambda_G}, GAIN_G; i = 1,2,\ldots M/3$$

[0133]

$$K_{i,j} = \frac{\partial F_i}{\partial X_j} \quad j = AOD_{\lambda_B}, GAIN_B; i = 1,2,\ldots M/3$$

[0134]

[0135] [수학식 7] 에서 보여주듯이 입자의 크기를 추출하기 위하여 3 파장에서 각각 미세먼지의 AOD를 구하는 방법을 따른다. 각각의 경우는 미지수가 AOD와 유효 이득 두 가지가 된다. 이렇게 구한 3개의 AOD 값은 [수학식 8] 과 같은 값의 옴스트롬 지수 값을 찾는데 사용 가능하다.

*수학식 8*

$$AOD(\lambda) = B\left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^{-A}$$

[0136]

[0137] 이를 만족하는 지수 값 A는 일반적으로 입자의 크기에 관계되는데, 그 값이 클수록 입자의 크기 분포가 작고, 작을수록 입자의 크기분포가 크다. 여기서 B는 Green에서의 미세먼지의 AOD를 나타낸다. 그러므로 영상의 RGB에서 얻은 3파장에서의 AOD를 이용하면 [수학식 7] 의 두 상수 A와 B를 쉽게 얻을 수 있다.

[0138] 도 15는 RGB 세 파장에서 얻은 AOD와 각 센서(RGB)의 이득(gain)을 계산한 결과를 보인 것이다. 도면에서 사진은 실제 관측한 하늘 전경과 태양을 나타내고 있으며(a), 계산에 사용한 지점은 방위각 방향으로는 태양을 중심으로 3지점(3-5), 고도각 방향으로는 4개(2-5)지점을 실례로 나타낸 것이다. 도면에서 우측 중간의 값들은 RGB에서 이득(c:16.15,16.23,17.89)과 그 파장에서의 AOD(d:0.97, 1.18. 1.346)를 보이고 있으며, 최종적으로는 AE(e:1.2394) 값도 [수학식 7] 을 이용하여 구한 것을 실례로 나타낸 것이다. 아래쪽에서 그래프(g-i)에서 x축은 이론적인 값이고, y축은 사진에서 추출한 각 픽셀의 값이다. R(red)에 해당하는 값은 도면의 (g)에, G(Green)에 해당하는 것은 (h)에 그리고 B(Blue)에 해당하는 것은 (i)908에 그 실례를 보여주고 있다.

[0139] 지금까지 본 발명에 따른 구체적인 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서는 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허 청구의 범위뿐 아니라 이 특허 청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

## *부호의 설명*

[0140] 1: 데이터획득부 11: 촬영부

12: 차단부 121: 차단막대

122: 모터 13: 위치정보수집부

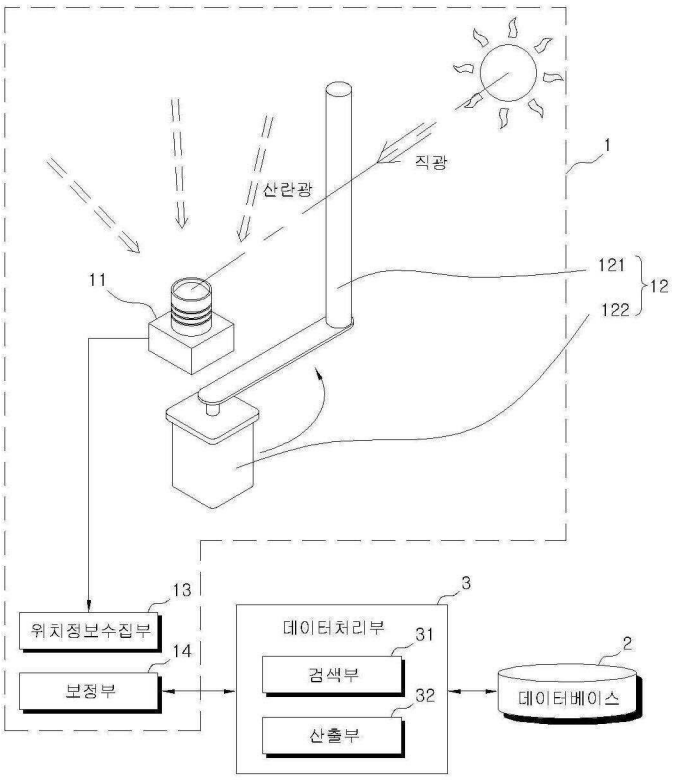
14: 보정부 2: 데이터베이스

3: 데이터처리부 31: 검색부

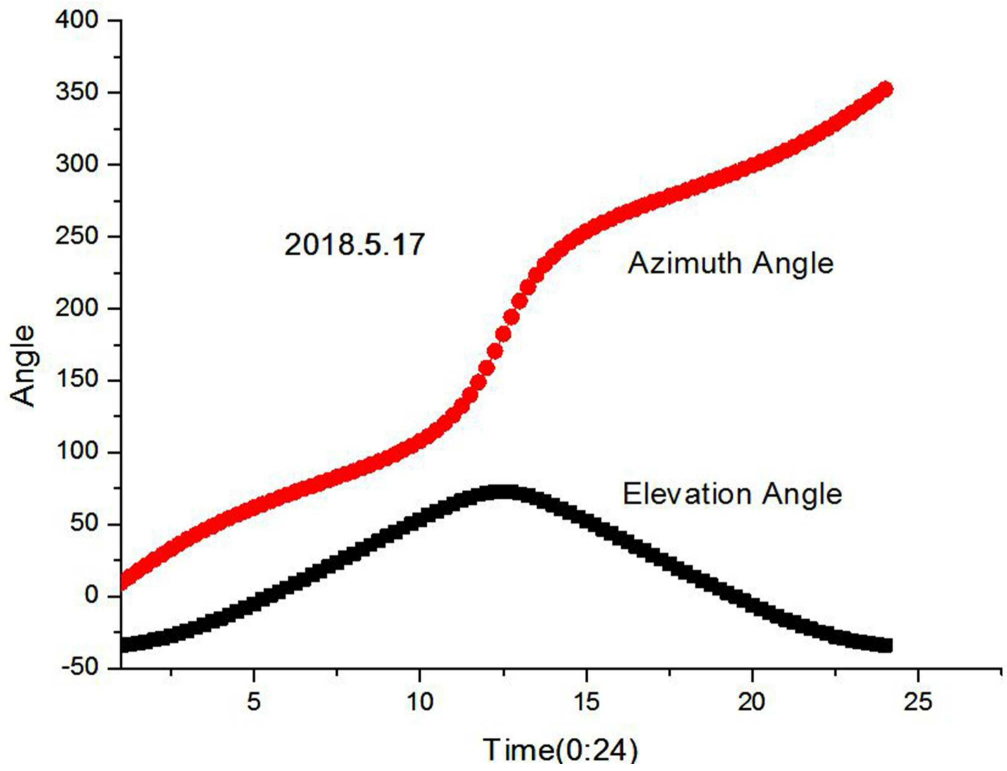
32: 산출부

## 도면

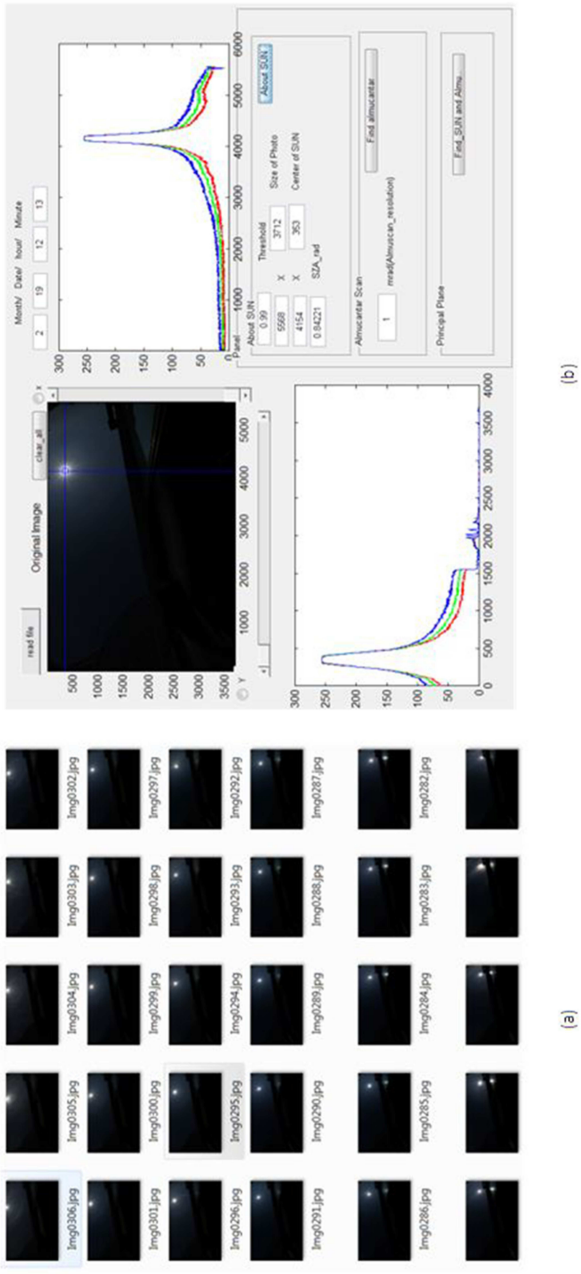
### 도면1


산란광
직광
1
11
121
122
12
13
위치정보수집부
14
보정부
3
데이터처리부
31
검색부
32
산출부
2
데이터베이스

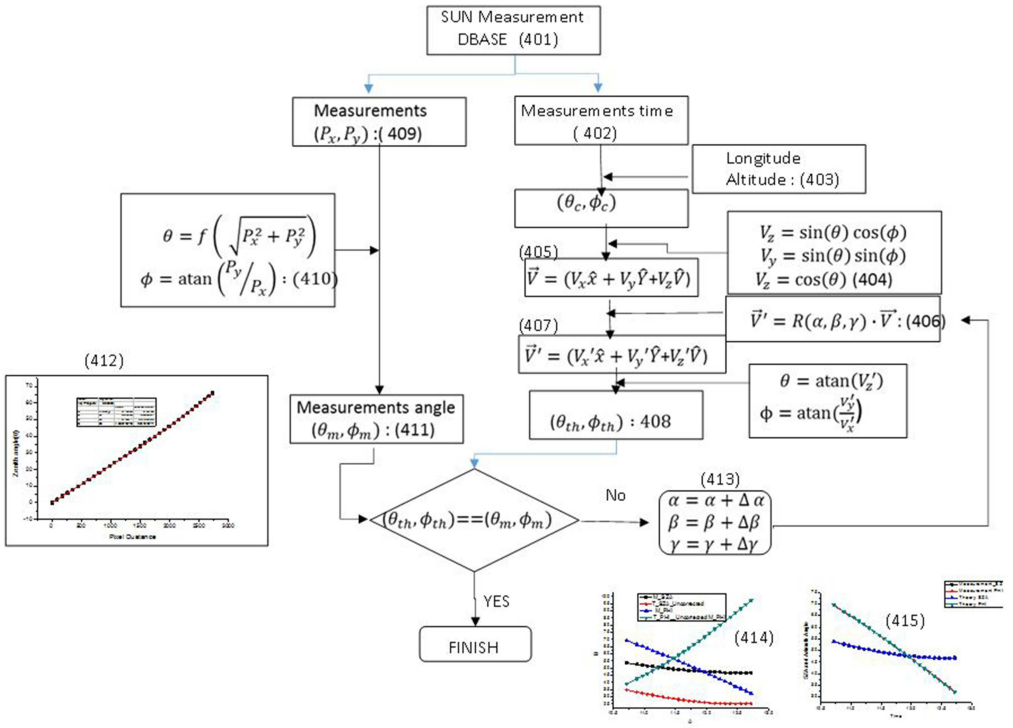
도면2


400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
Angle
2018.5.17
Azimuth Angle
Elevation Angle
5
10
15
20
25
Time(0:24)

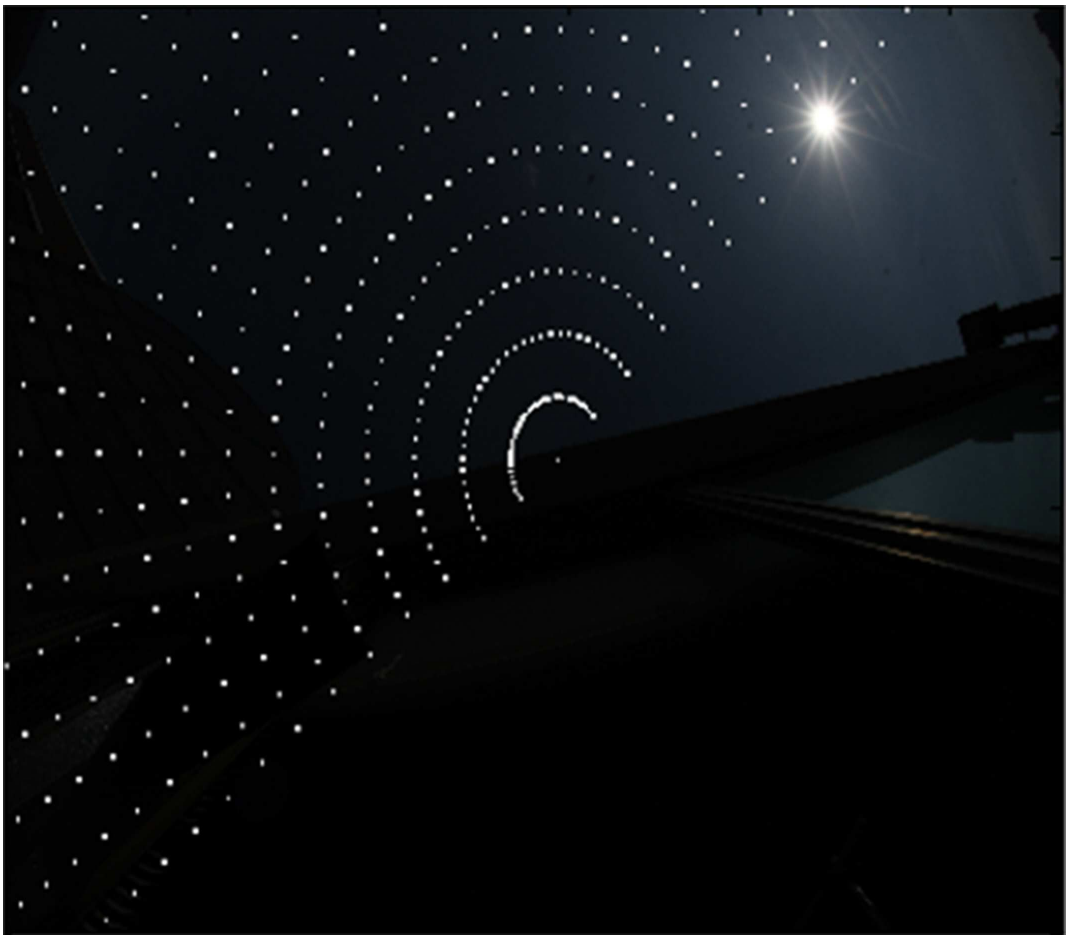
도면3


(a)
(b)
read file
Original Image
clear_all
Month/ Date/ hour/ Minute
Threshold
Size of Photo
Center of SUN
About SUN
Almucantar Scan
Find almucantar
Principal Plane
Find_SUN and Almu

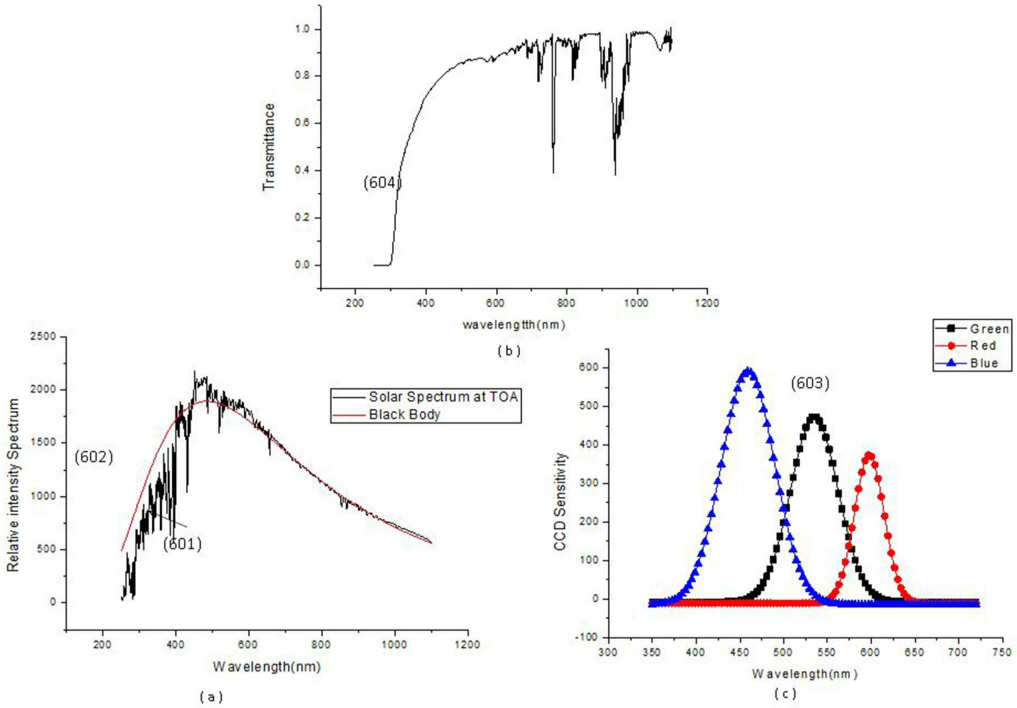
도면4


SUN Measurement DBASE (401)
Measurements $(P_x, P_y)$ :( 409)
Measurements time ( 402)
Longitude Altitude : (403)
$(\theta_c, \phi_c)$
$\theta = f\left(\sqrt{P_x^2 + P_y^2}\right)$
$\phi = \text{atan}\left(P_y/P_x\right)$ : (410)
(405)
$\vec{V} = (V_x\hat{X} + V_y\hat{Y} + V_z\hat{V})$
$V_z = \sin(\theta)\cos(\phi)$
$V_y = \sin(\theta)\sin(\phi)$
$V_z = \cos(\theta)$ (404)
$\vec{V}' = R(\alpha, \beta, \gamma) \cdot \vec{V}$ : (406)
(407)
$\vec{V}' = (V_x'\hat{X} + V_y'\hat{Y} + V_z'\hat{V})$
$\theta = \text{atan}(V_z')$
$\phi = \text{atan}(V_y'/V_x')$
$(\theta_{th}, \phi_{th})$ : 408
(412)
Measurements angle $(\theta_m, \phi_m)$ : (411)
$(\theta_{th}, \phi_{th}) == (\theta_m, \phi_m)$
No
(413)
$\alpha = \alpha + \Delta\alpha$
$\beta = \beta + \Delta\beta$
$\gamma = \gamma + \Delta\gamma$
YES
FINISH
(414)
(415)

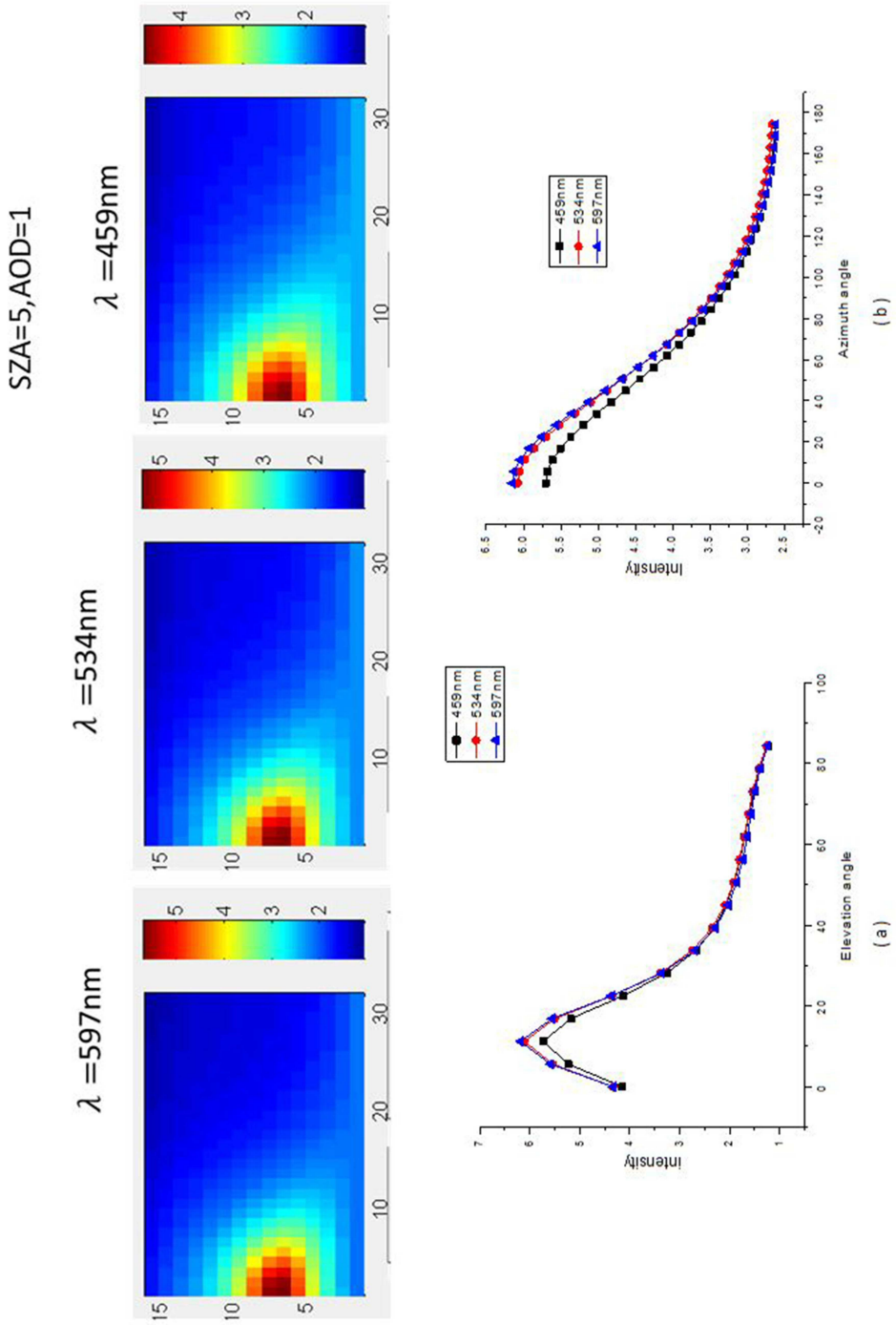
도면5



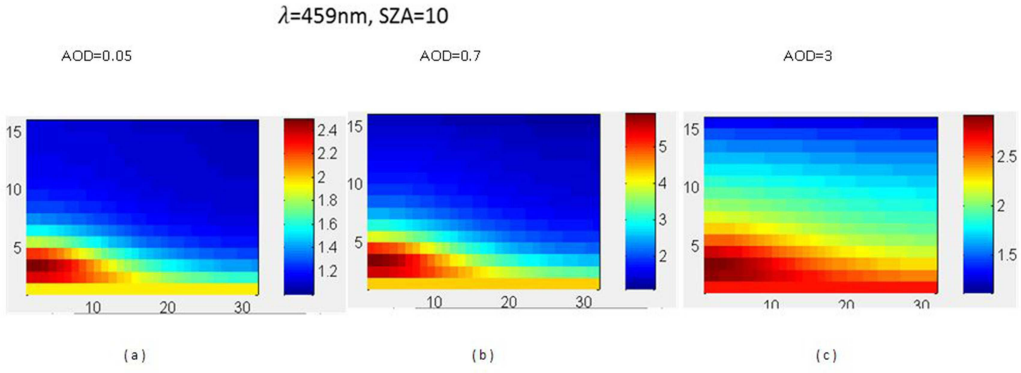
도면6


Transmittance
wavelengtth(nm)
(604)
(b)
Relative intensity Spectrum
Wavelength(nm)
Solar Spectrum at TOA
Black Body
(602)
(601)
(a)
CCD Sensitivity
Wavelength(nm)
Green
Red
Blue
(603)
(c)

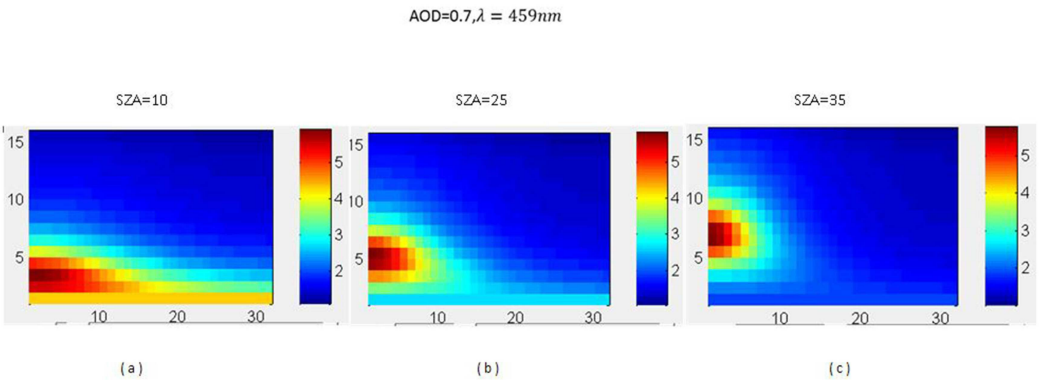
도면7


SZA=5,AOD=1
λ =459nm
λ =534nm
λ =597nm
459nm
534nm
597nm
Intensity
Elevation angle
( a )
Azimuth angle
( b )

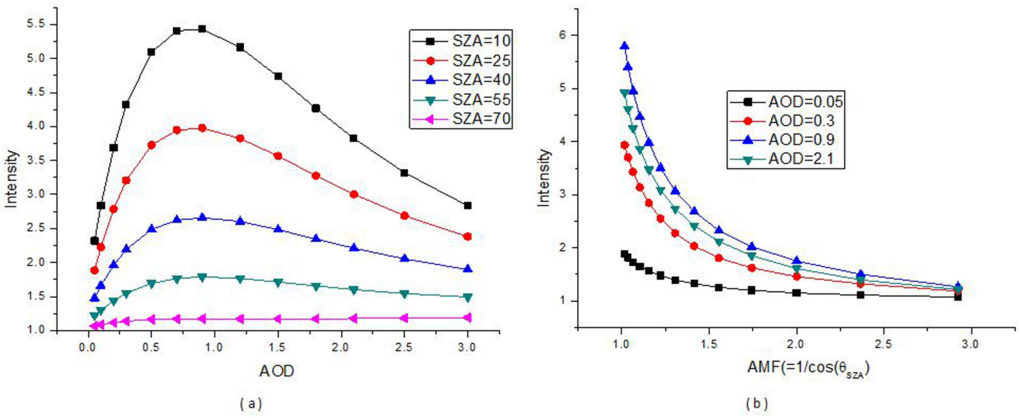
도면8


λ=459nm, SZA=10
AOD=0.05
AOD=0.7
AOD=3
(a)
(b)
(c)

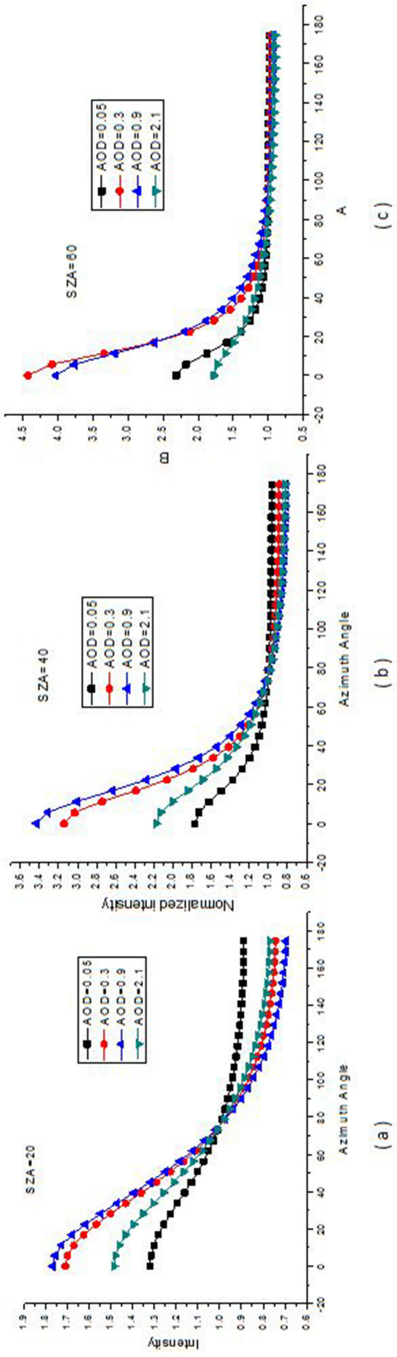
도면9


AOD=0.7,λ = 459nm
SZA=10
SZA=25
SZA=35
(a)
(b)
(c)

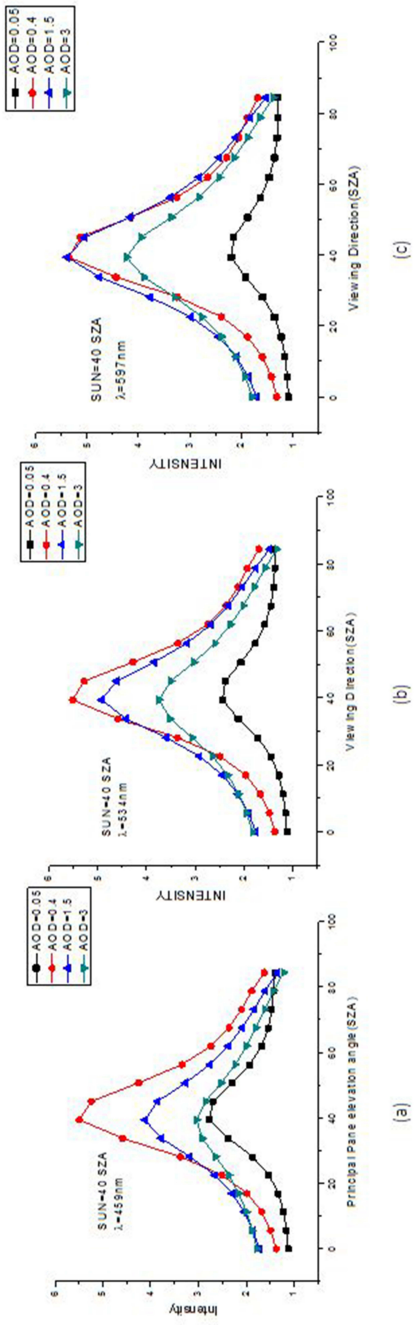
도면10


SZA=10
SZA=25
SZA=40
SZA=55
SZA=70
Intensity
AOD
(a)
AOD=0.05
AOD=0.3
AOD=0.9
AOD=2.1
Intensity
AMF(=1/cos(θSZA))
(b)

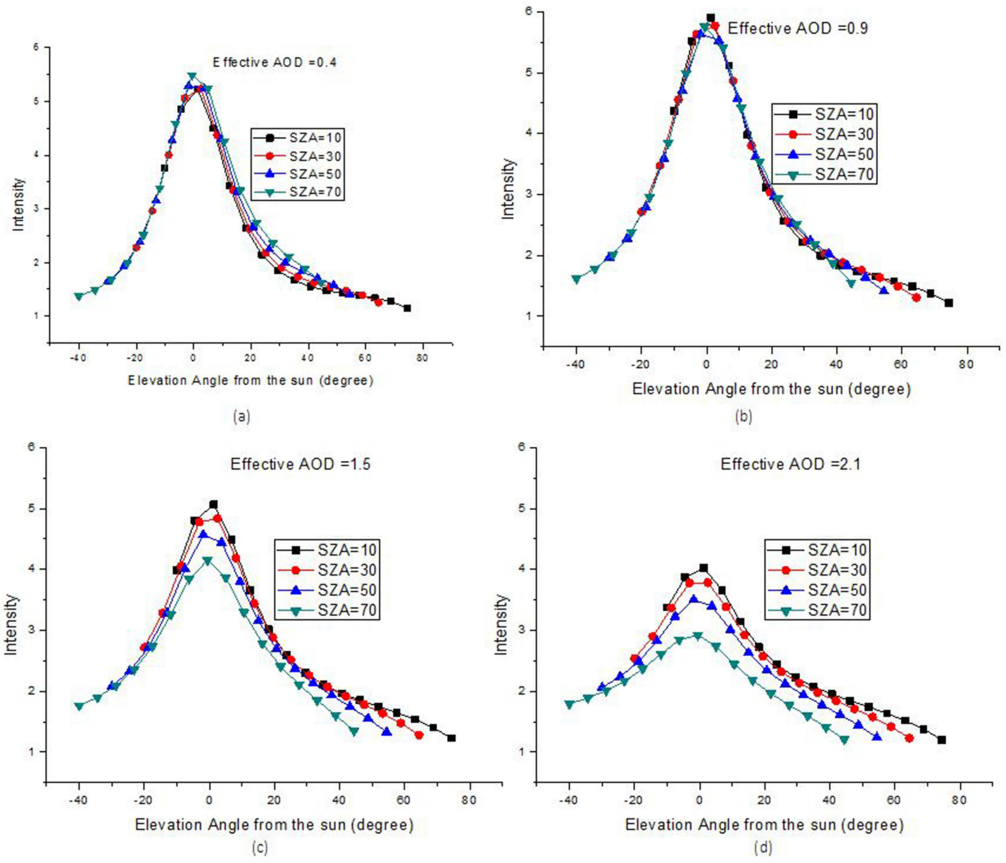
도면11


SZA=20
AOD=0.05
AOD=0.3
AOD=0.9
AOD=2.1
Intensity
Azimuth Angle
( a )
SZA=40
Normalized Intensity
( b )
SZA=60
B
A
( c )

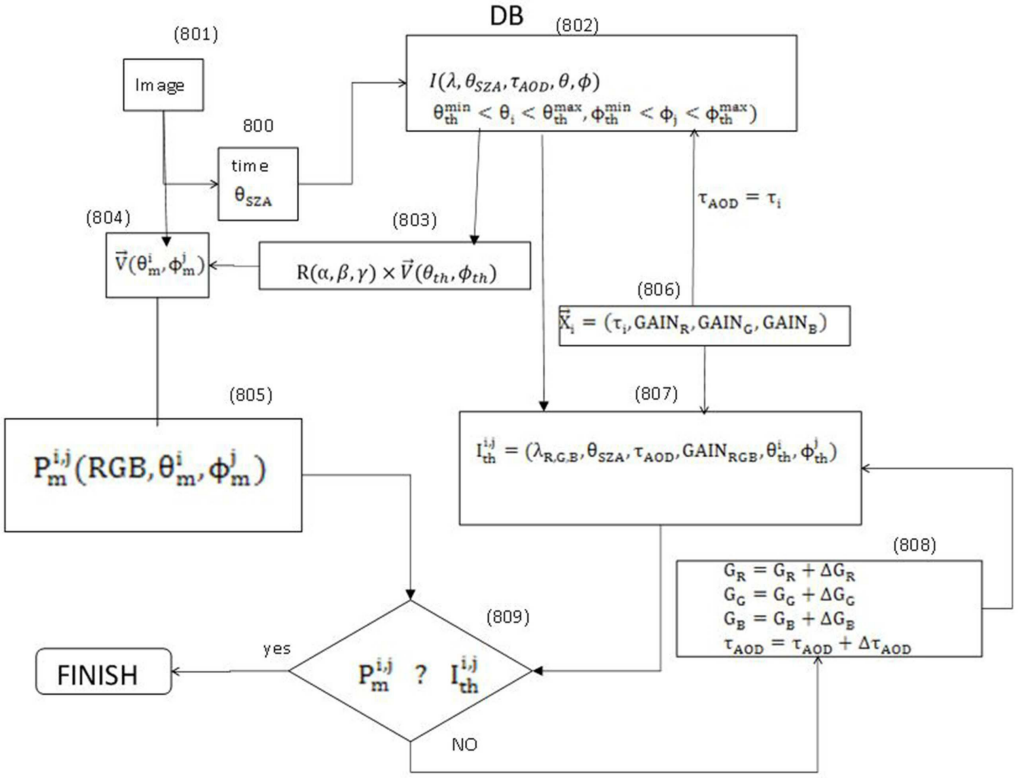
도면12


AOD=0.05
AOD=0.4
AOD=1.5
AOD=3
SUN=40 SZA
λ=459nm
Intensity
Principal Pane elevation angle(SZA)
(a)
SUN=40 SZA
λ=534nm
INTENSITY
Viewing Direction(SZA)
(b)
SUN=40 SZA
λ=597nm
INTENSITY
Viewing Direction(SZA)
(c)

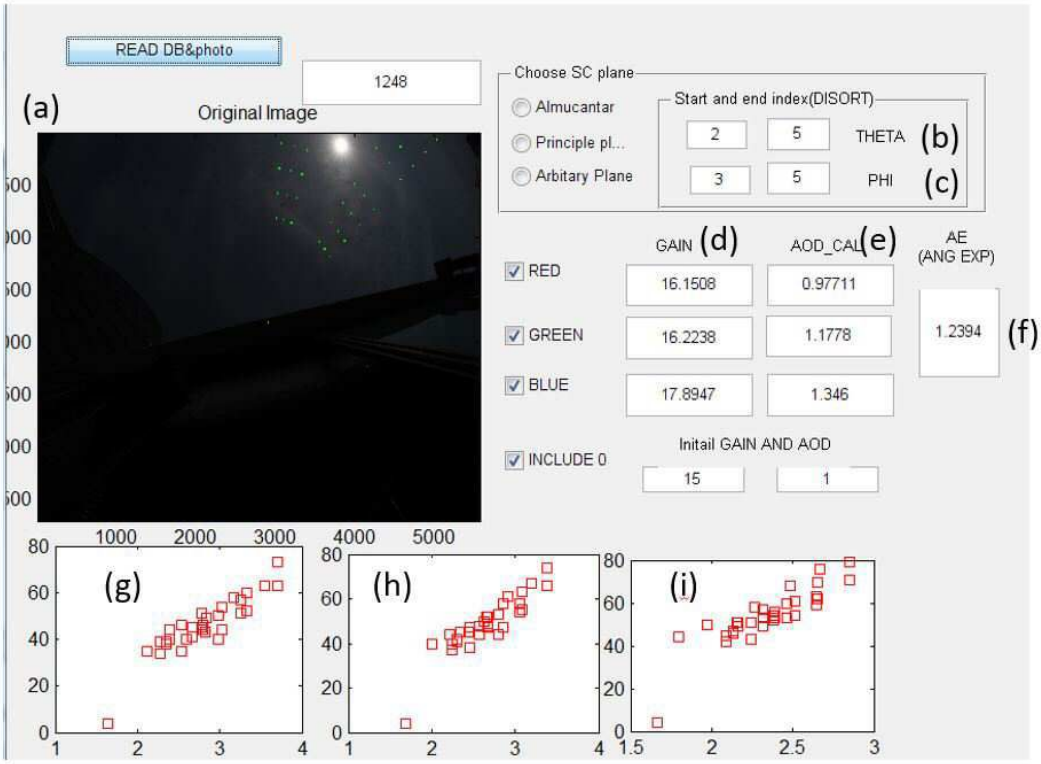
도면13


Effective AOD =0.4
SZA=10
SZA=30
SZA=50
SZA=70
Intensity
Elevation Angle from the sun (degree)
(a)
Effective AOD =0.9
(b)
Effective AOD =1.5
(c)
Effective AOD =2.1
(d)

도면14


DB
(801)
Image
(802)
$I(\lambda, \theta_{SZA}, \tau_{AOD}, \theta, \phi)$
$\theta_{th}^{min} < \theta_i < \theta_{th}^{max}, \phi_{th}^{min} < \phi_j < \phi_{th}^{max}$
800
time
$\theta_{SZA}$
$\tau_{AOD} = \tau_i$
(804)
$\vec{V}(\theta_m^i, \phi_m^j)$
(803)
$R(\alpha, \beta, \gamma) \times \vec{V}(\theta_{th}, \phi_{th})$
(806)
$\vec{X}_i = (\tau_i, GAIN_R, GAIN_G, GAIN_B)$
(805)
$P_m^{i,j}(RGB, \theta_m^i, \phi_m^j)$
(807)
$I_{th}^{i,j} = (\lambda_{R,G,B}, \theta_{SZA}, \tau_{AOD}, GAIN_{RGB}, \theta_{th}^i, \phi_{th}^j)$
(808)
$G_R = G_R + \Delta G_R$
$G_G = G_G + \Delta G_G$
$G_B = G_B + \Delta G_B$
$\tau_{AOD} = \tau_{AOD} + \Delta \tau_{AOD}$
(809)
$P_m^{i,j}$ ? $I_{th}^{i,j}$
yes
FINISH
NO

도면15


READ DB&photo
1248
(a)
Original Image
Choose SC plane
Almucantar
Principle pl...
Arbitary Plane
Start and end index(DISORT)
2
5
THETA
(b)
3
5
PHI
(c)
GAIN
(d)
AOD_CAL
(e)
AE
(ANG EXP)
RED
16.1508
0.97711
GREEN
16.2238
1.1778
1.2394
(f)
BLUE
17.8947
1.346
INCLUDE 0
Initail GAIN AND AOD
15
1
(g)
(h)
(i)