



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0060483
(43) 공개일자 2019년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 3/28 (2006.01) G01J 1/42 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01J 3/28 (2013.01)
G01J 2001/4266 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0158732
(22) 출원일자 2017년11월24일
심사청구일자 2017년11월24일

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
강민아
서울특별시 강서구 양천로 731, 303동 1703호 (염창동, 동아3차아파트)
안명환
서울특별시 서초구 나루터로4길 28, 309동 703호 (잠원동, 신반포한신아파트)
(74) 대리인
특허법인 무한

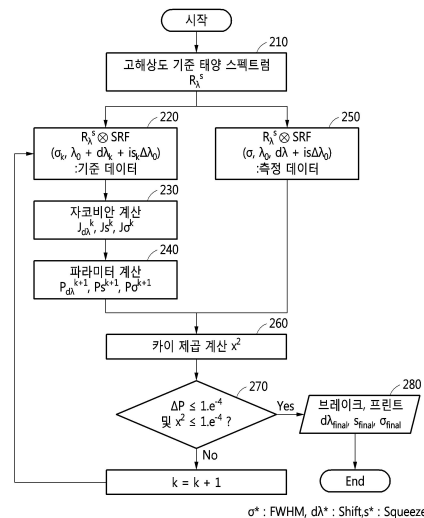
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 분광 보정 방법 및 장치

(57) 요약

분광 보정 방법 및 장치가 개시된다. 개시된 분광 보정 방법은 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 GEMS의 SRF에 기초하여 시뮬레이션된 기준 스펙트럼을 결정하고, GEMS를 통해 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 측정 스펙트럼을 획득하며, 기준 스펙트럼 및 측정 스펙트럼 간 차이가 최소화되도록 스펙트럼 피팅을 수행한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01J 2003/2866 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1485014582

부처명 환경부

연구관리전문기관 한국환경산업기술원

연구사업명 환경기술개발사업-환경정책기반공공기술개발사업

연구과제명 환경위성탐재체 표준 모의자료 생산 및 검보정 고도화

기 여 율 1/1

주관기관 이화여자대학교 산학협력단

연구기간 2017.04.11 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 GEMS(Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer)의 SRF(Spectral Response Function)에 기초하여 시뮬레이션된 기준 스펙트럼을 결정하는 단계;

상기 GEMS을 통해, 상기 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 측정 스펙트럼을 획득하는 단계; 및

상기 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼 간 차이가 최소화되도록 스펙트럼 피팅을 수행하는 단계를 포함하는 분광 보정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 스펙트럼 피팅을 수행하는 단계는

상기 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼 간 차이가 임계 기준보다 큰 경우, 스펙트럼 파라미터를 업데이트하는, 분광 보정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 스펙트럼 피팅을 수행하는 단계는

상기 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 자코비안을 계산하는 단계;

상기 계산된 자코비안에 기초하여 스펙트럼 파라미터를 계산하는 단계;

상기 계산된 스펙트럼 파라미터를 상기 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 적용하여 상기 측정 스펙트럼과 비교하는 단계;

수렴 조건 내에서 상기 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼 간의 차이가 최소가 될 때의 스펙트럼 파라미터의 값을 결정하는 단계; 및

상기 결정된 스펙트럼 파라미터의 값에 기초하여 새로운 파장격자 정보를 다항식 계수로 제공하는 단계를 포함하는, 분광 보정 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 스펙트럼 파라미터는

기준 태양 스펙트럼, SRF, 시프트, 스퀴즈, SNR, 피팅 윈도우 중 적어도 하나를 포함하는, 분광 보정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 스펙트럼 파라미터는 상기 SRF의 폭 및 형태의 변동을 포함하는, 분광 보정 방법.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 비교하는 단계는

카이 제곱(chi-square)을 이용하여 상기 계산된 스펙트럼 파라미터의 값이 적용된 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼을 비교하는, 분광 보정 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 카이 제곱은

비선형 최소자승 피팅(non-linear least square fitting)에 대한 각 파라미터의 자코비안 및 오차 공분산을 이용하는 Levenberg-Marquardt 기법에 의해 최소화되는, 분광 보정 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 기준 스펙트럼을 결정하는 단계는

비대칭 및 확장 가우시안 또는 슈퍼 가우시안을 이용하여 상기 기준 스펙트럼을 결정하는, 분광 보정 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 스펙트럼 피팅은

복사 조도 및 복사 휘도에 대한 분광 보정하는 과정인, 분광 보정 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 복사 조도에 대한 분광 보정은

미니 윈도우 기반의 시프트 또는 시프트 다항식에 기반한 SRF 피팅에 기초하여 수행되는, 분광 보정 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 복사 휘도에 대한 분광 보정은 파장 할당 및 스펙트럼 피팅의 조합에 기반하여 수행되는 분광 보정 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 복사 휘도에 대한 분광 보정은 대기 흡수(atmospheric absorption), 레일리 산란(rayleigh scattering), 링 효과(ring effect) 중 적어도 하나에 기초하여 수행되는, 분광 보정 방법.

청구항 13

프로세서; 및

상기 프로세서에 의해 실행 가능한 적어도 하나의 명령어를 포함하는 메모리

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 명령어가 상기 프로세서에서 실행되면, 상기 프로세서는 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 GEMS의 SRF에 기초하여 시뮬레이션된 기준 스펙트럼을 결정하고, 상기 GEMS를 통해 상기 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 측정 스펙트럼을 획득하며, 상기 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼 간 차이가 최소화되도록 스펙트럼 피팅을 수행하는

분광 보정 장치.

발명의 설명

기술분야

[0001] 아래의 설명은 분광 보정 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] GEMS는 하이퍼 스펙트럼 자외선 가시 광선 천문 관측 기기일 수 있다. GEO-KOMPSAT 프로그램은 쌍무 정지 궤도 위성과의 관련이 있으며, 기상학, 해양 및 대기 환경에서 우선 순위가 높은 임무를 지원할 수 있다. GEMS 기기는 대기에서 후방 산란된 방사선을 측정하고 지구 표면에서 반사된 방사능을 측정하고, 300 nm에서 500nm 범위에서 0.2nm 샘플링과 0.6nm 분해능으로 매일 태양 방사를 측정하도록 설계된 이미징 분광계일 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명은 관측값의 과장 변동 및 탑재체 기기함수의 폭과 모양의 변동을 정확히 제시함으로써, 분광 보정의 정확도를 효과적으로 향상시킬 수 있다.

[0004] 본 발명은 초분광 센서 원시 자료의 정확도 확보에 기여할 수 있다.

[0005] 본 발명은 초분광 센서의 관측 자료의 정밀도 요구사항이 매우 높고, 분광 보정이 필수적이므로 본기술을 통해 초분광 센서를 사용하는 지상 기반 및 위성 기반 탑재체와 항공기용 탑재체의 분광 보정에도 활용될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 일실시예에 따른 분광 보정 방법은 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 GEMS(Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer)의 SRF(Spectral Response Function)에 기초하여 시뮬레이션된 기준 스펙트럼을 결정하는 단계; 상기 GEMS를 통해, 상기 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 측정 스펙트럼을 획득하는 단계; 및 상기 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼 간 차이가 최소화되도록 스펙트럼 피팅을 수행하는 단계를 포함한다.

[0007] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 스펙트럼 피팅을 수행하는 단계는 상기 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼 간 차이가 임계 기준보다 큰 경우, 스펙트럼 파라미터를 업데이트할 수 있다.

[0008] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 스펙트럼 피팅을 수행하는 단계는 상기 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 자코비안을 계산하는 단계; 상기 계산된 자코비안에 기초하여 스펙트럼 파라미터를 계산하는 단계; 상기 계산된 스펙트럼 파라미터를 상기 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 적용하여 상기 측정 스펙트럼과 비교하는 단계; 수렴 조건 내에서 상기 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼 간의 차이가 최소가 될 때의 스펙트럼 파라미터의 값을 결정하는 단계; 및 상기 결정된 스펙트럼 파라미터의 값에 기초하여 새로운 과장격자 정보를 다항식 계수로 제공하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 스펙트럼 파라미터는 기준 태양 스펙트럼, SRF, 시프트, 스퀴즈, SNR, 피팅 윈도우 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0010] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 스펙트럼 파라미터는 상기 SRF의 폭 및 형태의 변동을 포함할 수 있다.

[0011] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 비교하는 단계는 카이 제곱(chi-square)을 이용하여 상기 계산된 스펙트럼 파라미터의 값이 적용된 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼을 비교할 수 있다.

[0012] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 카이 제곱은 비선형 최소자승 피팅(non-linear least square fitting)에 대한 각 파라미터의 자코비안 및 오차 공분산을 이용하는 Levenberg-Marquardt 기법에 의해 최소화될 수 있다.

[0013] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 기준 스펙트럼을 결정하는 단계는 비대칭 및 확장 가우시안 또는 슈퍼 가우시안을 이용하여 상기 기준 스펙트럼을 결정할 수 있다.

[0014] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 스펙트럼 피팅은 복사 조도 및 복사 휘도에 대한 분광 보정하는 과정일 수 있다.

- [0015] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 복사 조도에 대한 분광 보정은 미니 윈도우 기반의 시프트 또는 시프트 다항식에 기반한 SRF 피팅에 기초하여 수행될 수 있다.
- [0016] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 상기 복사 휘도에 대한 분광 보정은 파장 할당 및 스펙트럼 피팅의 조합에 기반하여 수행될 수 있다.
- [0017] 일실시예에 따른 분광 보정 방법에서 기 복사 휘도에 대한 분광 보정은 대기 흡수(atmospheric absorption), 레일리 산란(rayleigh scattering), 링 효과(ring effect) 중 적어도 하나에 기초하여 수행될 수 있다.
- [0018] 일실시예에 따른 분광 보정 장치는 프로세서; 및 상기 프로세서에 의해 실행 가능한 적어도 하나의 명령어를 포함하는 메모리를 포함하고, 상기 적어도 하나의 명령어가 상기 프로세서에서 실행되면, 상기 프로세서는 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 GEMS의 SRF에 기초하여 시뮬레이션된 기준 스펙트럼을 결정하고, 상기 GEMS을 통해 상기 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 측정 스펙트럼을 획득하며, 상기 기준 스펙트럼 및 상기 측정 스펙트럼 간 차이가 최소화되도록 스펙트럼 피팅을 수행한다.

발명의 효과

- [0019] 일실시예에 따르면, 관측값의 파장 변동 및 탑재체 기기함수의 폭과 모양의 변동을 정확히 제시함으로써, 분광 보정의 정확도를 효과적으로 향상시킬 수 있다.
- [0020] 일실시예에 따르면, 초분광 센서 원시 자료의 정확도 확보에 기여할 수 있다.
- [0021] 일실시예에 따르면, 초분광 센서의 관측 자료의 정밀도 요구사항이 매우 높고, 분광 보정이 필수적이므로 본 기술을 통해 초분광 센서를 사용하는 지상 기반 및 위성 기반 탑재체와 항공기용 탑재체의 분광 보정에도 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1 내지 도 3은 일실시예에 따라 분광 보정 방법이 도시된다.
- 도 4는 일실시예에 따라 카이 제곱을 계산하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5 및 도 6은 일실시예에 따른 자코비안을 나타낸 도면이다.
- 도 7은 일실시예에 따라 스펙트럼 파라미터를 나타낸 도면이다.
- 도 8은 일실시예에 따른 분광 보정 장치를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 실시예들에 대한 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 예시를 위한 목적으로 개시된 것으로서, 다양한 형태로 변경되어 실시될 수 있다. 따라서, 실시예들은 특정한 개시형태로 한정되는 것이 아니며, 본 명세서의 범위는 기술적 사상에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0024] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 이런 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 해석되어야 한다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0025] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0026] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설명된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로써 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0027] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지

않는다.

- [0028] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 아래의 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 실시예의 범위가 본문에 설명된 내용에 한정되는 것으로 해석되어서는 안된다. 관련 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 또한, 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타내며, 공지된 기능 및 구조는 생략하도록 한다.
- [0029] 도 1 내지 도 3은 일실시예에 따라 분광 보정 방법이 도시된다.
- [0030] 도 1을 참조하면, 일실시예에 따른 분광 보정 장치의 프로세서에 의해 수행되는 분광 보정 방법이 도시된다.
- [0031] 단계(110)에서, 분광 보정 장치는 고해상도 태양 스펙트럼(high resolution solar spectrum)을 획득할 수 있다. 단계(120)에서, 분광 보정 장치는 고해상도 태양 스펙트럼을 SRF(Spectral Response Function)와 컨볼루션할 수 있다. 단계(130)에서, 분광 보정 장치는 카이 제곱 값(chi-square value)을 추정할 수 있다. 단계(140)에서, 분광 보정 장치는 추정된 카이 제곱 값이 수렴하는지 여부를 판단할 수 있다. 만약 수렴하지 않는 경우, 단계(150)에서 분광 보정 장치는 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 자코비안(Jacobians)을 계산할 수 있다. 단계(160)에서, 분광 보정 장치는 스펙트럼 파라미터(spectral parameter)를 업데이트할 수 있다. 그리고, 다시 단계(120)가 수행될 수 있다. 만약 단계(140)에서 카이 제곱 값이 수렴하는 경우, 단계(170)에서 분광 보정 장치는 새로운 파장을 결정할 수 있다.
- [0032] 고정형 다목적 위성에 탑재될 예정인 GEMS(Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer)는 300~500 nm 범위의 지구 대기에서 반사 및 반사된 태양 방사 및 방사를 측정할 수 있다. GEMS 원시 데이터의 품질을 향상시키기 위해 분광 보정 방법이 개발될 수 있다. 이것은 비선형, Levenberg-Marquardt 최적 추정에 적용된 스펙트럼 피팅을 기반할 수 있다. 이 연구에서는 스펙트럼 파라미터 불확실성이 기법에 미치는 영향을 특성화하기 위해 다양한 스펙트럼 파라미터에 대한 일련의 민감도 테스트가 수행될 수 있다. 이 테스트는 보정이 SRF의 불확실성과 고해상도 기준 스펙트럼에 민감하다는 것을 보여줄 수 있다. 위성 발사 후 궤도 상 우주공간에서의 SRF는 경험적 함수에 의해 잘 예측될 수 있으므로 SRF의 불확실성을 감소시킬 수 있다. 그럼에도 불구하고 분광 보정 알고리즘은 고해상도 기준 태양 스펙트럼의 선택에 매우 민감할 수 있다. GEMS에 대한 최적의 기준 태양 스펙트럼을 준비하기 위한 상세한 분석 및 추가 최적화가 진행 중일 수 있다. 결과에 기반한 기법의 더 상세한 개선은 GEMS 운영 기법에 적용될 것이다.
- [0033] GEOS는 하이퍼 스펙트럼 자외선 가시 광선 천문 관측 기기일 수 있다. GEO-KOMPSAT 프로그램은 쌍무 정지 궤도 위성과의 관련이 있으며, 기상학, 해양 및 대기 환경에서 우선 순위가 높은 임무를 지원할 수 있다.
- [0034] GEMS 기기는 대기에서 후방 산란된 방사선을 측정하고 지구 표면에서 반사된 방사능을 측정하고, 300 nm에서 500nm 범위에서 0.2nm 샘플링과 0.6nm 분해능으로 매일 태양 방사를 측정하도록 설계된 이미징 분광계일 수 있다. 태양 복사 조도는 밤에 하루에 한 번 측정될 수 있다. 예를 들어, 하루에 8 번 측정 한 지구 복사도를 30 분에 걸쳐 공동 첨가하여 신호 대 잡음비(SNR; signal to noise ratio)를 높일 수 있다. GEMS는 미량 가스의 경우 7km x 8km의 기온에서 명목 샘플링을 통해 매일 대기 환경을 관측할 수 있다. GEMS의 분야는 5° S에서 45° N이며, 30 분간의 데이터 수집 기간 동안 적도에서 동서 방향으로 5000km에 이를 수 있다.
- [0035] 예를 들어, 일련의 보정 조립 및 스캔 메커니즘 후, 측정된 GEMS 신호는 슬릿에 초점을 맞추고 3개의 거울 Schmidt 망원경과 Offner 분광기로 분산될 수 있다. 분광계는 스펙트럼 및 공간 값에 대해 1033 x 2048 픽셀 배열을 갖는 단일 2차원 전하 결합 소자(CCD)를 사용할 수 있다. 분광기로부터의 신호는 초점면에 이미징되고, 계측기 제어 전자 장치를 통과하며, 마침내 호스트 우주선으로 전송되어 지상으로 전송될 수 있다. 이러한 전송된 원시 데이터(레벨-0)는 물리적으로 의미 있는 레벨-1b 데이터 품질을 보장하기 위해 처리 소프트웨어를 통해 단계별로 처리될 수 있다(GEMS, 16 단계). 레벨 0 ~ 레벨 1b 데이터 프로세서가 존재할 수 있다.
- [0036] 미량 기체 및 에어로졸의 농도는 GEMS의 주요 생성물일 수 있다. 대기 중의 미량 기체의 양은 너무 적어서 조심스럽고 상세하고 정확한 분석 및 산출 기법이 요구된다. 이러한 가스의 농도를 정확하게 얻기 위해 GEMS는 서로 다른 광학 경로 길이를 갖는 측정의 비율로부터 대기의 미량 기체의 농도를 측정하는 데 널리 사용되는 DOAS(Differential Optical Absorption Spectroscopy)을 활용할 수 있다.
- [0037] 신뢰할 수 있는 레벨-1b(복사 조도 및 복사 휘도) 측정이 레벨-2의 정확도를 결정하는 점에서 방사 측정 및 스펙트럼 보정된 원시 데이터를 보장하는 것이 중요할 수 있다. 예를 들어, 분광 보정은 각 미량 기체의 총 칼럼

흡수율을 얻는 정확도와 강하게 관련이 있다.

- [0038] GEMS 분광 보정을 위한 접근법은 지구 오존 모니터링 기기(GOME), 대기지도 작성을 위한 스캐닝 이미징 흡수 분광계(SCIAMACHY), Ozone Monitoring Instrument(OMI) 및 Ozone Monitoring Profiler Suite(OMPS)에서 스펙트럼 파라미터의 특성을 반영하기 위해 고려된 몇 가지 추가 요소가 포함되어 있다. 예를 들어, 파장의 변화는 선택적 파라미터(시프트, 시프트와 스퀴즈 또는 시프트 다항식(shift polynomial) 등)로 설명할 수 있으며, 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 SRF(Spectral Response Function)의 정확한 유도는 아직 준비 중일 수 있다. prototype GEMS 분광 보정 기법을 사용하여 파라미터의 특성을 이해하기 위한 사전 민감도 연구를 조사할 수 있다. 개별 파라미터의 전반적인 행동은 이전 연구에서 파악될 수 있다. 결과에 따라 기법의 초기 버전이 업데이트되고, 성능 측면에서 최적화될 수 있다. SRF의 형태 및 비대칭과 같은 추가 피팅 파라미터를 포함하는 Levenberg-Marquardt 프로세서를 업데이트하면, 계산 시간 및 보정 정확도를 향상시킬 수 있다. 여기에서는 파장의 변화에 따른 합성 데이터를 사용하여 스펙트럼 파라미터의 불확도에 대한 현재 보정의 민감도를 검사하기 위한 자세한 테스트를 수행하고자 한다.
- [0039] 이하에서는, 현재의 GEMS 분광 보정 방법과 운용 전략에 대한 설명과 함께 민감도 시험의 상세한 과정을 제시한다.
- [0040] 일일시예에 따른 분광 보정은 미량 가스 및 에어로졸 회수에 필수적인 레벨-1b의 품질 데이터를 생성하는 단계 중 하나일 수 있다. 분광 보정의 주요 목적은 각 CCD 픽셀에 특정 파장을 할당하는 것일 수 있다. 각 픽셀에 대한 정확한 파장을 갖는 측정은 정확한 기법을 필요로 하는 검색에서 잔차의 최소화(minimization of residual)를 보장할 수 있다.
- [0041] 각 검출기의 열(column)은 특정 파장과 관련이 있다. 파장은 일반적으로 검출기 픽셀 지수의 개수의 증가에 따라 증가한다. 그럼에도 불구하고 검출기 열 번호와 파장 사이의 연관성은 스펙트럼 스마일(spectral smile) 현상으로 인해 감지기 행 번호에 의존할 수 있다. 따라서, 파장 스케일은 검출기 행의 함수로서 상이할 수 있다. 스펙트럼 방출선 소스로 널리 알려진 가변 레이저(tunable laser)의 스펙트럼은 GEMS의 사전 발사 분광 보정(pre-launch wavelength calibration)에 사용될 수 있다. 모든 시야각에 대해 Pt-Cr-Ne 중공 음극 램프와 같은 스펙트럼 소스를 사용할 때 입구 슬릿을 균일하고 순간적으로 조명할 수 있다. 이것은 도플러 확장 효과에 둔감하고 특정 파장 범위에서 매우 선명하고 강한 방출 선을 가지고 있는데, 이러한 장점에도 불구하고 사용 가능한 방출선의 제한과 중복으로 인한 한계가 존재할 수 있다. 예컨대, GEMS 궤도 분광 보정에 요구되는 정확도가 0.01픽셀(즉, 0.002 nm) 정도이므로 추가적인 보정이 필요할 수 있다.
- [0042] 파장의 크기는 스펙트럼 스마일(spectral smile)뿐만 아니라 온도 구배(temperature gradient), 관측 장면의 불균일성(inhomogeneous scene)으로 인한 유효 SRF의 변화 및 도플러 효과로 인해 바뀔 수 있다. 영향은 크지만 도플러 효과는 우주선과 태양의 방향을 고려하여 쉽게 수정될 수 있다. 그리고, GEMS는 코딩(coding)(예컨대, 2.83초)동안 거의 균일한 장면이 수집되는 단계 및 응시 측정 모드를 가지고 있기 때문에, GEMS 측정 광도에 대한 이질적인 슬릿 조명의 영향은 무시할 수 있다. 따라서, 온도 보정 및 추가 시프트를 보정하기 위해 분광 보정이 수행될 수 있다.
- [0043] GEMS 운영 모드(GEMS operational technique)에 대한 분광 보정은 두 단계로 구성될 수 있다. 첫 번째는 계측기에 적용 가능한 전체 온도 범위에 기반한 파라미터화된 계수를 사용하는 조건표 또는 보간법 방법일 수 있다. 온도 구배의 변화는 대부분 파장 가변성에서 발생할 수 있다. 록업 테이블은 궤도 테스트에서 GEMS가 온도 구배의 함수로 결정될 것이며, 전체 수명 동안 주기적으로 그 유효성을 검사할 수 있다. 이전 연구에서 관찰된 파장 변동은 온도 변화에 의해 유도된 파장 변동보다 훨씬 클 수 있다. 이러한 첫 번째 단계 후에도 불충분하게 보정된 파장 편이는 DOAS 산출물에서 용납할 수 없는 오류를 일으킬 수 있다. 따라서 만족스러운 데이터 품질을 위해서는 추가 접근 방식으로 실시간 스펙트럼 맞춤이 필요할 수 있다.
- [0044] 2 차 분광 보정(Secondary wavelength calibration)은 초기 파장 할당과 관련하여 결정되는 파장 가변성(wavelength variability)을 설명하기 위해 비선형 피팅(nonlinear fit)을 기반으로 하는 상호 상관 기법(cross-correlation technique)을 이용할 수 있다. 비선형 피팅은 스펙트럼 스케일 파라미터(예컨대, 시프트와 스퀴즈(a shift and a squeeze) 또는 시프트(shifts))를 얻기 위한 Levenberg-Marquardt 방법을 포함할 수 있다. 지상 보정 데이터(on-ground calibration data)를 첫 번째 추측으로 이용하여, 보정 기법(calibration algorithm)은 자코비안과 카이 제곱을 계산할 수 있다. 비용 함수에 대한 최소 제곱값이 최소화되고, 기법이 수렴할 때까지 스펙트럼 파라미터를 업데이트함으로써, 각 단계에서 파장 스케일(wavelength scale)이 추정될 수 있다.

[0045] 도 2를 참조하면, 보다 구체화된 분광 보정 방법이 도시된다.

[0046] 단계(210)에서, 분광 보정 장치는 고해상도 기준 태양 스펙트럼을 획득할 수 있다. 단계(220)에서, 분광 보정 장치는 고해상도 기준 태양 스펙트럼과 SRF를 컨볼루션함으로써, 기준 데이터를 획득할 수 있다. 단계(230)에서, 분광 보정 장치는 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 자코비안을 계산할 수 있다. 단계(240)에서, 분광 보정 장치는 계산된 자코비안에 기초하여 스펙트럼 파라미터를 계산할 수 있다. 단계(250)에서, 분광 보정 장치는 GEMS를 통해 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 측정 스펙트럼을 측정 데이터로서 획득할 수 있다. 단계(260)에서, 분광 보정 장치는 계산된 스펙트럼 파라미터가 적용된 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 측정 스펙트럼에 기초하여 카이 제곱을 계산할 수 있다. 단계(270)에서, 분광 보정 장치는 기준 스펙트럼 및 측정 스펙트럼 간의 차이가 임계 기준보다 작은지 여부를 판단할 수 있다. 만약 차이가 임계 기준보다 작지 않은 경우, 단계(220) 내지 단계(240)가 다시 수행되어 수렴 조건 내에서 기준 스펙트럼 및 측정 스펙트럼 간의 차이가 최소가 될 때의 스펙트럼 파라미터의 값이 결정될 수 있다. 만약 단계(270)에서 차이가 임계 조건보다 작은 것으로 판단된 경우, 단계(280)에서, 분광 보정 장치는 스펙트럼 파라미터에 기초하여 새로운 파장격자 정보를 다항식 계수로 제공할 수 있다.

[0047] 도 2에는 GEMS 스펙트럼 피팅(GEMS spectral fitting)의 흐름도가 도시된다. 주요 입력(primary inputs)은 위에서 언급한 고해상도 기준 스펙트럼(high-resolution reference spectrum)과 GEMS의 SRF일 수 있다.

[0048] GEMS의 SRF는 각 CCD 픽셀에 대한 시야각 및 파장의 함수로서 가변 레이저의 출력을 측정함으로써 지상에서 특성화될 수 있다. 지상에서 충분히 특성화된 반면, SRF의 형태와 폭은 궤도에서 파장 및/또는 공간 차원에 따라 달라질 수 있다. 온도의 변화뿐만 아니라 기기 열화(instrument degradation)는 SRF의 유효 형태와 폭(effective shape and width)의 변화를 일으킬 수 있다. SRF의 변화는 주로 SRF가 측정된 스펙트럼 구조를 결정한다는 점에서 DOAS 분석 및 분광 보정의 불확실성을 유도할 수 있다. 따라서, SRF의 비행 중 변형을 정확하게 특성화하고 유도해야 한다. 보정 기법은 파장의 변화량(예컨대, 시프트/스퀴즈 또는 시프트)을 나타내는 파장 스케일 파라미터뿐만 아니라, SRF의 폭과 형태에도 적합해야 할 수 있다. 아래의 수학적 식 1은 피팅 파라미터

를 사용하여 분광 보정에 사용된 모의 복사량 $I_M(\lambda)$ 을 나타낸다. 지구 복사는 대기 중의 흡수(오존)와 산란(예컨대, 링 효과(Ring effect), 레일리 및 미에 산란(Rayleigh and Mie scattering))에 의해 영향을 받기 때문에, 추가적인 피팅 파라미터가 포함될 수 있다.

수학적 식 1

$$I_M(\lambda) = [I_R(\lambda + \Delta\lambda)][S_o + S_1 \times dG + S_2(dG)^2 + S_3(dG)^3], (1)$$

[0049]

[0050] 위의 수학적 식 1에서, $I_R(\lambda)$ 는 SRF(ϕ)와 컨볼루션된 시뮬레이션된 고해상도 태양 기준 스펙트럼(simulated high-resolution solar reference spectrum) $I_H(\lambda)$ 의 기준 스펙트럼일 수 있다.

[0051] 피팅 기법은 SRF를 정확하게 특성화하기 위해 SRF의 형태, 폭 및 비대칭에 대한 파라미터도 추정할 수 있다. SRF 시뮬레이션을 위한 모델인 비대칭 및 확장된 가우시안(asymmetric and broadened Gaussian) 또는 슈퍼-가우시안(Super-Gaussian)과 같은 실험적 기능을 사용하여 SRF를 정확하게 알 수 있다.

[0052] 실험을 위해 경험적 함수인 비대칭 슈퍼 가우시안 함수가 이러한 파라미터를 계산할 수 있다. S는 I_R 에 대한 스케일링 파라미터를 나타내며, $dG(\lambda - \lambda_{avg})$ 는 초기 파장 스케일(λ) - 평균값(λ_{avg})을 의미할 수 있다.

수학식 2

$$I_R(\lambda') = \frac{\int I_H(\lambda') \phi(\lambda') d\lambda'}{\int \phi(\lambda') d\lambda'}$$

수학식 3

$$\phi(\lambda') = \frac{k}{2\omega\Gamma(1/k)} \begin{cases} \exp\left[-\left|\frac{\lambda'}{\omega-a_\omega}\right|^{k-a_k}\right] \\ \exp\left[-\left|\frac{\lambda'}{\omega+a_\omega}\right|^{k+a_k}\right] \end{cases}$$

[0053]

[0054]

[0055] SG 함수는 감마 함수(Γ)와 함께 ω 와 k 로 구성될 수 있다. $\frac{k}{2\omega\Gamma(1/k)}$ 는 with에 반비례하고, k 가 2일 때 SG 함수는 가우시안 함수가 될 수 있다. $k < 2$ 인 경우, 함수는 긴 꼬리가 있는 더 뾰족한 형태를 가질 수 있다. 비대칭성은 추가 파라미터 a_ω 및 a_k 로 파라미터화할 수 있다.

[0056] 시뮬레이션된 스펙트럼은 GEMS SRF를 사용하여 고해상도 태양 기준 스펙트럼의 컨볼루션된 스펙트럼이고, 측정된 스펙트럼에 최적으로 맞춰질 때까지 GEMS 측정과 직접 비교될 수 있다. 기법 기반 최적 추정은 각 반복 단계에서 각 피팅 파라미터에 대한 가중치 함수를 계산할 수 있다.

[0057] 분광 보정 운영 계획은 태양 및 지구 측정의 특성을 고려하여 정의될 수 있다.

[0058] 태양은 가장 중요한 보정 소스일 수 있다. GEMS가 밤에만 매일 태양을 관찰한다는 사실은 스펙트럼 피팅 기법을 통해 태양 관측 값을 자세히 조사해야 함을 암시할 수 있다. 따라서 태양 복사 조도에 대한 보정 기법은 미니 윈도우(mini windows) 기반 시프트 또는 시프트 다항식(shift polynomial)과 함께 정확한 SRF 피팅을 포함할 수 있다.

[0059] 한편, L0~L1b 복사 휘도의 분광 보정 방법은 파장 할당과 스펙트럼 피팅의 조합을 기반으로 할 수 있다. 모든 실시간 복사 휘도 측정(radiance measurements)은 파라미터화된 계수를 기반으로 하는 파장 할당과 같이 빠르고 간단한 보정에 적용될 수 있다. 온도의 함수로서의 계수 또는 하루 중의 시간 등은 궤도 시험 중에 결정되어야 한다. 또한, 파라미터화가 유효한지 확인하기 위해 모니터링 및 감시가 반복될 수 있다.

[0060] 스펙트럼 피팅(Spectral fitting)은 스펙트럼의 서브 세트를 모니터링하기 위해 선택된 측정 또는 측정의 선택된 주기(예컨대, 특정 및/또는 모든 공간 샘플)에 선택적으로 적용될 수 있다. 고해상도 태양 기준 스펙트럼의 스펙트럼 컨볼루션은 계산 시간의 주된 동인(main driver)이라는 점에 유의해야 한다. 따라서, 복사 휘도의 분광 보정을 위해, 사전 측정된 공칭 SRF(pre-measured nominal SRF)를 사용하는 사전 컨볼루션된 기준 스펙트럼(pre-convolved reference spectrum)이 SRF의 업데이트가 엄격하게 필요하지 않은 경우에 활용될 수 있다.

[0061] 복사 조도(irradiance) 및 복사 휘도(radiance)의 연속적인 분광 보정으로 인해, GEMS의 전반적인 안정성이 조사될 수 있다. 또한, 온도 구배 및 기기 노화에 의해 야기된 SRF의 장기 변동(long-term variations)도 감시해야 한다.

[0062] 기법의 스펙트럼 파라미터에서 불확실성(uncertainty)의 영향을 조사하기 위해 합성 스펙트럼(synthetic spectrum)이 구성될 수 있다. 이는 GEMS 관측 범위(예컨대, 300~500nm)에 대해 가정된 파장 가변성(assumed wavelength variability)(예컨대, 표 1)을 갖는 SG 함수를 갖는 고해상도 기준 태양 스펙트럼의 컨볼루션에 의해 얻어질 수 있다. 비선형 최소 제곱 피팅 기법(nonlinear least-squares fitting algorithm)은 파장 가변성 파라미터(시프트(Sh), 스쿼즈(Sq) 및 FWHM(FH))에 대한 예상 불확도(expected uncertainty) 내에서 양호한 일

치를 보여줄 수 있다. 파장 스케일 파라미터를 제외한 입력 스펙트럼 파라미터에 추가적인 섭동(perturbation)이 없으면 기법의 정확도는 신뢰할 수 있으며, 보정 프로세스는 주어진 시뮬레이션된 스펙트럼 및 측정에 대해 최적 값을 생성할 수 있다. 그러나, 스펙트럼 파라미터의 추가 불확실성은 기법의 성능에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 우리는 스펙트럼 파라미터의 불확실성이 보정 성능(calibration performance)에 미치는 영향을 평가할 수 있다. 민감도 분석에서 고려된 파라미터가 표 2에 나타난다. 우리는 기본 설정을 유지하고 각 파라미터의 불확실성을 추가하여 테스트를 수행할 수 있다. 각 테스트에 대한 각 기법의 출력을 파라미터의 보정 민감도를 알아 내기 위해 기본값과 비교할 수 있다.

[0063] 아래 표 1은 GEMS 기기의 특성을 예시적으로 나타낸다.

표 1

[0064]

Spectral range	300-500 nm
Spectral sampling	0.2 nm
Spectral resolution (FWHM)	0.6 nm (3 pixel)
Cross-track swath field of view	7.78° east-west direction with a fixed north-south field 192° radian
Along-track flight field instantaneous of view	67.21 μ radian
Ground pixel size	7 km x 7.54 km at Seoul
CCD detectors	1032 x 2048
Operational CCD temperature	253 K
Operational optical bench temperature	285 K
Duty cycle	10 years
Average data rate	10 Mbps
Power	200 watts over 30-minute imaging period
Mass	110 kg
Field of regard	5° S to 45° N latitude, E-W covers 5000 km at the equator

[0065]

아래 표 2는 기본 설정으로 피팅 후 알고리즘 입력 섭동 및 출력을 예시적으로 나타낸다. 아래에서, Sh는 시프트[nm], Sq는 스쿼즈[unitless], FH는 FWHM[nm]을 나타내고, X2는 최소 카이 제곱 값에 10^{-6} 을 곱한 값일 수 있다.

표 2

[0066]

Simulated Input			Algorithm Output			
Sh	Sq	FH	Sh	Sq	FH	χ^2
-0.010	0.005	0.700	-0.010	0.005	6.997	5.456

[0067]

도 3에는 일실시에에 따라 스펙트럼 등록부터 시작되는 분광 보정 방법이 도시된다.

[0068]

도 4는 일실시에에 따라 카이 제곱을 계산하는 과정을 설명하기 위한 도면이다. 도 4에서 기준 스펙트럼은 검정으로 표시되고, 측정 스펙트럼은 빨강으로 표시되며, 시뮬레이션된 스펙트럼은 파랑으로 표시될 수 있다.

[0069]

도 5 및 도 6은 일실시에에 따른 자코비안을 나타낸 도면이다.

[0070]

일실시에에 따르면, 도 5에는 시프트 자코비안이 도시되고, 도 6에는 스쿼즈 자코비안이 도시될 수 있다.

[0071]

도 7은 일실시에에 따라 스펙트럼 파라미터를 나타낸 도면이다.

[0072]

도 7을 참조하면, 일실시에에 따른 민감도 테스트에서 고려된 스펙트럼 파라미터가 예시적으로 도시된다.

[0073]

파장 스케일 파라미터(Wavelength Scale Parameters)

[0074]

시프트 및 스쿼즈는 일반적으로 초기 파장 스케일과 관련하여 실제 파장 스케일을 나타내기 위해 사용될 수 있

다. 시프트는 파장 스케일의 선형 변화를 나타내며, 스퀴즈는 비선형 변화를 나타낼 수 있다(수학식 4 참조). 초기 파장 스케일에 대한 각 검출기 픽셀의 파장 변동 정도는 스퀴즈의 존재 하에서 다르게 나타난다. 이 수학적식을 바탕으로 실제 파장 그리드는 시프트가 0이고 스퀴즈가 1 일 때, 초기 그리드와 완전히 동일하며 온도 또는 계측 저하의 변동이 없음을 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\Delta\lambda = shift + (\lambda - \lambda_{avg})(sq - 1)$$

그러나, 실제 파장 가변성의 정량화를 위해 스퀴즈 인자를 이용하는 것은 종종 단점이 있다. 어떤 피팅 윈도우에서 알고리즘이 스퀴즈 값을 계산할 때, 이 값을 전체 파장의 변화가 어떻게 그리고 어느 정도 발생했는지 완전히 이해하기 어려울 수 있다. 또한, 파장 변동을 실제 파장 변동을 단일 시프트와 스퀴즈로 분리하는 것이 현실적이지 않은데, 이는 실제 파장 변동이 5~10차 다항식에 의해 주어진 비선형이라는 것을 고려해야 할 수 있다. 그러므로, 파장 변동을 이해하기 쉽고 검색 프로세스에서 보다 직관적인 이용을 위해, 시프트 파라미터만이 사용될 수 있다. 시프트 파라미터만으로 전체 관측 파장 범위에 걸친 파장 변동을 설명하고, 파장 변동의 비선형 부분을 충분히 설명하기 위해 수학식 5의 시프트 다항식 계수가 유도될 수 있다.

수학식 5

$$\Delta\lambda = Sh_0 + Sh_1 \times dG + \dots + Sh_4 \times dG^4 + Sh_5 \times dG^5$$

교정에 대한 파장 스케일 파라미터의 선택의 영향을 조사하기 위해, 합성 데이터 및 알고리즘을 위해 파장 스케일 파라미터가 다르게 적용될 수 있다. 시프트 및 스퀴즈 파라미터 또는 시프트 다항식에 해당하는 알고리즘의 성능 비교가 수행될 수 있다.

획득된 최소 카이 제곱 및 맞춤 파라미터 값은 알고리즘이 시프트 및 스퀴즈보다 시프트 다항식을 사용할 때 출력이 시뮬레이션된 입력과 일치함을 나타낼 수 있다(표 3 참조). 시프트 다항식을 포함하는 알고리즘은 시프트와 스퀴즈의 합성인 시뮬레이션된 파장 변동을 성공적으로 따르지만 반대의 경우는 그렇지 못할 수 있다. 스퀴즈 파라미터가 시프트 다항식의 1차항(수학식 4 참조)과 관련되어 있기 때문에, 시프트 및 스퀴즈의 사용은 실제 파장 변동을 완벽하게 나타내지 않는다고 가정할 수 있다. 시프트와 스퀴즈만을 사용하는 알고리즘은 고차원의 파장 이동을 선형 이동 구성 요소로 제어할 수 있다. 복사 회도와 같이 상당한 파장 변동이 예상되는 경우, 시프트 다항식 파라미터를 적용하고 시간 요구 사항을 허용하는 것이 좋을 수 있다.

아래 표 3은 파장 스케일 파라미터에 대한 알고리즘 민감도의 비교(시프트/스퀘즈 또는 시프트 다항식 사용)가 도시된다. 시프트 다항식에서 얻은 알고리즘의 출력은 시프트 및 스퀴즈보다 시뮬레이션된 입력과 현저한 일치를 보일 수 있다. 시프트 다항식은 시프트 및 스퀴즈보다 알고리즘 출력을 보장할 수 있다.

표 3

Simulated Input			Algorithm Output			
Sh	Sq	FH	Sh(0)	Sh(1)	FH	χ^2 [e-6]
-0.010	0.005	0.700	-0.010	0.005	6.989	5.456
Simulated Input			Algorithm Output			
Sh(0)	Sh(1)	Sh(2)	Sh	Sq	FH	χ^2
-0.010	1e-3	2e-4	0.038	1e-4	0.711	188.1

피팅 윈도우(fitting window)

- [0083] 파장 스케일 테스트는 예상되는 파장 변동량이 중요할 때 시프트 및 스퀴즈보다는 시프트 다항식 파라미터를 선호할 수 있다. 그러나 계산 효율 및 처리 시간 면에서 측정된 각 지구 복사 강도에 대해 보정을 수행할 수 없다. 레벨-0에서 레벨-1b 프로세서의 계산 요구는 보정 정확도와 알고리즘 계산 시간 간의 균형을 필요로 할 수 있다. 시프트 다항식 계수를 최적 피팅에 사용하면 시프트 및 스퀴즈를 사용하는 경우보다 계산 시간이 초과될 수 있다. 피팅 파라미터 수가 증가하면 처리 시간이 증가하는 경향이 있기 때문일 수 있다.
- [0084] OMI는 GEMS의 유산 임무 중 하나로서, 분광 보정을 위해 여러 시프트 다항식 파라미터를 사용하는 전체(단일) 범위를 사용하는 대신 여러 개의 작은 피팅 창에 대해 단일 시프트 파라미터로 스펙트럼을 맞추 수 있다. 그 후, 각 미니 윈도우에서 파생된 시프트에 기반한 다항식 피팅은 모든 픽셀에 대한 파장의 변화를 제공할 수 있다. 동일한 파장 범위(예컨대, 400-450 nm에서 410-460 nm)를 갖는 피팅 창을 단순히 파장 영역만 변경하는 것은 계산 시간에 중요하지 않으므로 계산 시간 및 알고리즘 결과에 있어서 상이한 결과를 가져오지 않는다. 작은 창을 사용하면 처리 시간이 향상될 수 있다. 그러나 시프트 다항식과 비교할 때 신뢰할 수 있는 결과를 얻으려면 적절한 다항식 피팅이 있는 적합한 샘플(윈도우)이 필수적일 수 있다.
- [0085] TROPospheric Monitoring Instrument21 (TROPOMI)과 일반적인 다항식에 적용될 Chebyshev 다항식 피팅을 비교하여 다항식 피팅 방법으로 인한 차이를 계산할 수 있다. 보정은 GEMS 관측 범위를 고려하여 선택되는 5개의 작은 피팅 창에서 반복적으로 수행될 수 있다. 바탕으로 전체 파장 범위의 실제 파장 변동을 반영 할 수 있는 충분한 수의 피팅 창이 필요할 수 있다. 그럼에도 불구하고 샘플의 주파수가 원래의 신호의 두 배보다 커야 함을 의미하는 나이 쿼스트 샘플링 이론을 기반으로 예상 파장 가변성이 완화 될 때 피팅 윈도우가 줄어들 수도 있다. 각 파장에 대한 파장 편이의 값은 인접한 적합 시프트 값이 존재하지 않는 영역에서 선택된 다항식 방법에 의존 할 수 있다. 미니 윈도우 기반의 시프트 피팅이 계산 시간면에서 유리하지만, 획득된(피팅된) 시프트를 기반으로 다항식 계수가 도출되는 방법을 완전히 이해하기 위해서는 보다 자세한 분석이 진행 중일 수 있다. 또한, 피팅 윈도우의 수뿐만 아니라 그 범위도 개선된 보정 결과를 얻기 위해 최적화 될 필요가 있다. 파장의 실제 변화에 대한 모니터링은 이러한 최적화를 위한 것일 수 있다.
- [0086] SRF
- [0087] 모든 픽셀에 대한 SRF의 결정은 사전 발사 보정에 필수적인 부분일 수 있다. SRF의 정확한 지표 특성은 제한된 개별 파장 세트에 대한 측정을 포함하며, 각 픽셀(파장)에 대한 SRF는 섹션 1에서 언급 한 것처럼 보간법에 의해 결정될 수 있다. 궤도에서 SRF의 형상과 폭은 작동 중 파장 및 시야각에 특정한 변화가 발생할 수도 있다. SRF는 주로 측정된 복사 조도와 복사 강도의 스펙트럼 구조를 결정하며, SRF의 변화는 검색 오류를 유발하는 측정 사이의 중요한 스펙트럼 불일치에 영향을 줄 수 있다. 따라서 각 픽셀에 대한 도구 SRF의 정확한 승인이 매우 중요할 수 있다. 그리고 SRF 불확실성이 보정에 미치는 영향을 조사하여 알고리즘 성능을 보다 잘 이해해야 할 수 있다. 민감도 테스트를 위해 완전 가우시안 SRF에서 벗어난 시뮬레이션된 SRF가 준비될 수 있다. 그런 다음 각 합성 스펙트럼은 준비된 SRF와 함께 고해상도 태양 기준 스펙트럼의 컨볼루션에 의해 유도될 수 있다.
- [0088] SRF의 형상 불확도에 대한 알고리즘의 민감도는 수퍼 가우시안 분석 함수를 적용하지 않고 조사될 수 있다. 그런 다음 보정을 위한 기준 스펙트럼으로 간주되는 시뮬레이션된 스펙트럼은 완전 가우스 SRF를 기반으로 하기 때문에 각 합성 스펙트럼에 대한 최소 카이 제곱 및 알고리즘 출력은 피팅 프로세스에 대한 SRF 불확실성의 영향을 설명할 수 있다.
- [0089] 표 4에 주어진 결과는 폭의 변동보다 형태의 변동으로 인해 훨씬 더 민감하다는 것을 나타낸다. 이는 SRF의 폭이 스펙트럼의 분해능과 관련이 있고 SRF 스펙트럼의 형태가 대표적인 스펙트럼 특성을 제공하기 때문일 수 있다. 따라서 SRF의 형태 불확실성은 알고리즘 정확도를 결정하는 중요한 요소이다.
- [0090] 또한, 비대칭성에 대한 민감도를 알아보기 위해 피크의 중심선에서 트레일링 에지까지의 거리를 피크의 중심선에서 정면으로 나눈 거리의 비율로 정의되는 SRF의 비대칭 인자를 변경할 수 있다. 기울기이며 모든 피크는 최대 피크 높이의 10 %로 선택될 수 있다. SRF의 비대칭 성의 영향은 시프트와 밀접한 관련이 있다. 시프트 값은 비대칭 인자에 따라 증가할 수 있다. SRF의 비대칭 성의 변화는 파장의 선형 변화에 영향을 미칠 수 있다.
- [0091] 이 결과를 바탕으로 SRF의 불확실성이 다른 스펙트럼 파라미터와 비교할 때 알고리즘 오류의 주 요인이 될 수 있다. 따라서 SRF의 사전 발사 특성을 정확히 인식하고 출시 후에도 실제 SRF를 모니터링하는 것은 매우 어려운 작업일 수 있다.
- [0092] 그럼에도 불구하고 SRF의 비행 중 특성화 및 변형/보정은 SG 분석 함수와 같은 경험적인 기능을 사용하여 묘사될 수 있다. 이는 형상과 폭을 충분한 정확도로 동시에 맞추 수 있기 때문일 수 있다. 비대칭 가우시안 함수

의 확장된 SG 함수 또는 하이브리드 조합은 비대칭 인자를 추가적으로 파라미터화하여 운전 중에 변동될 수 있는 계측기 SRF의 불확실성을 감소시킬 수 있다.

[0093] 고해상도 태양 기준 스펙트럼

[0094] 태양열 기준 스펙트럼의 적용은 프라우호퍼선(Fraunhofer lines)의 흡수 특성, 위성 기반 기기의 보정 원천, 기후 모델에 대한 필수 입력 등을 이용한 미량 기체의 연구를 다룰 수 있다. 다양한 태양 기준 스펙트럼이 현재 여러 그룹에서 제공되어 이용 가능하지만 복사율 정확도, 원래의 스펙트럼 해상도, 파장 대역 및 기타 스펙트럼 특성은 출처에 따라 다를 수 있다.

[0095] 제공된 스펙트럼 중 태양 광 기준 스펙트럼의 적절한 선택을 위해, GEMS의 특성을 설명 할 필요가 있다. GEMS 태양열 기준 스펙트럼에 대한 요구 사항은 다음과 같다. 첫째, 절대 복사 측정 불확도는 GEMS 복사 정확도(예컨대, 4 %)보다 작아야 할 수 있다. 둘째, 태양 기준 스펙트럼의 분해능은 GEMS 분해능(예컨대, 0.6 nm)보다 높아야 할 수 있다. 마지막으로, 완벽하게 나이 퀴스트 샘플링된 스펙트럼이 선호될 수 있다. 따라서 Dobber 등이 개발 한 Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) 스펙트럼이 적용될 수 있다. GEMS의 가능한 기준 스펙트럼으로 OMI 기기의 태양 광 기준 스펙트럼으로 활용될 수 있다. 또한 GEMS 태양 광 기준 스펙트럼 후보로 또 다른 고해상도 태양 스펙트럼인 SAO2010을 고려할 수 있다. 유산 위성 임무 프로그램에 널리 적용되었던 SAO9828의 업데이트된 버전일 수 있다. 이 두 스펙트럼과 관련된 차이를 특성화하고 GEMS에 대한 최적의 태양 기준 스펙트럼을 선택하기 위해 GEMS 해상도에서 두 가지를 간단하게 비교할 수 있다. 각 스펙트럼은 비슷한 복사율 정확도(예컨대, GEMS 관측 범위에 대해 4 % 미만의 불확도)를 가지고 있는 반면 짧은 파장에서는 8 %까지 현저한 차이가 있을 수 있다. 또한, 보정은 고해상도 태양 기준 스펙트럼의 선택에 상당히 민감할 수 있다.

[0096] 합성 데이터와 시뮬레이션된 스펙트럼(예컨대, 기준 스펙트럼)을 준비하기 위해 다른 고해상도 태양 기준 스펙트럼을 사용할 때, 두 스펙트럼 사이의 큰 불확실성은 알고리즘의 성능 저하를 초래하고 파생된 시프트 값은 실제 파장 변동을 나타내지 않을 수 있다. 동일한 시뮬레이션된 파장 섭동 및 SRF에도 불구하고 알고리즘 출력이 현저하게 감소한다는 사실은 보정에 대한 태양 기준 스펙트럼의 불확실성의 영향이 상당하고 태양 스펙트럼 간의 스펙트럼 특징의 불일치가 피팅 알고리즘을 통해 보상 될 수 없다는 것을 의미할 수 있다. 두 태양 기준 스펙트럼 사이의 프라우호퍼 선의 상대 강도와 파장의 불일치는 원하지 않는 알고리즘 출력에 가장 큰 원인이 될 수 있다. 두 개의 고해상도 태양 기준 스펙트럼 사이의 중요한 불일치는 파장 그리드 및 스펙트럼 해상도의 불일치로 인해 프라우호퍼 선의 다른 강도가 발생하는 다양한 데이터 소스와 밀접하게 관련될 수 있다. 따라서, 참고 스펙트럼의 신중한 준비와 상세한 분석은 매우 중요할 수 있다.

[0097] 도 8은 일실시에에 따른 분광 보정 장치를 나타낸 도면이다.

[0098] 분광 보정 기법은 차세대 정지 궤도기구를 위한 것일 수 있다. 보정은 SRF와 컨볼루션된 고해상도 태양 기준 스펙트럼을 기반으로 한 시뮬레이션된 기준 스펙트럼과 GEMS의 측정된 스펙트럼 간의 차이를 최소화하도록 설계된 스펙트럼 피팅 접근법일 수 있다. 보정에 대한 여러 스펙트럼 파라미터의 비교 영향은 피팅된 값과 최소 카이 제곱 값을 사용하여 평가될 수 있다. 계측기의 최대 몇 픽셀 이상 정도의 예상 가능한 파장 변동 및 불확실성 하에서 알고리즘은 상당히 만족할만한 수준의 보정을 하며, 민감도도 낮게 나타날 수 있다. 그러나 보정은 SRF와 함께 고해상도 태양 스펙트럼의 불확실성에 상당히 민감할 수 있다. SRF의 불확실성은 경험적 함수의 파라미터화로 감소될 수 있다. 이 기법은 GEMS에 대한 고품질, 고해상도 태양 기준 스펙트럼의 미래 개발, SRF에서의 불안정성 보정 및 최적 파장 스케일 파라미터의 결정에 의해 더욱 개선될 수 있다. 최적화된 분광 보정을 적용하면 온도 변화 및 기기 성능 저하에 취약한 기내 계측기의 일관성을 모니터링 할 수 있다.

[0099] 도 8을 참조하면, 일실시에에 따른 분광 보정 장치(800)는 메모리(810) 및 프로세서(820)를 포함한다. 메모리(810) 및 프로세서(820)는 버스(bus)(830)를 통하여 서로 통신할 수 있다.

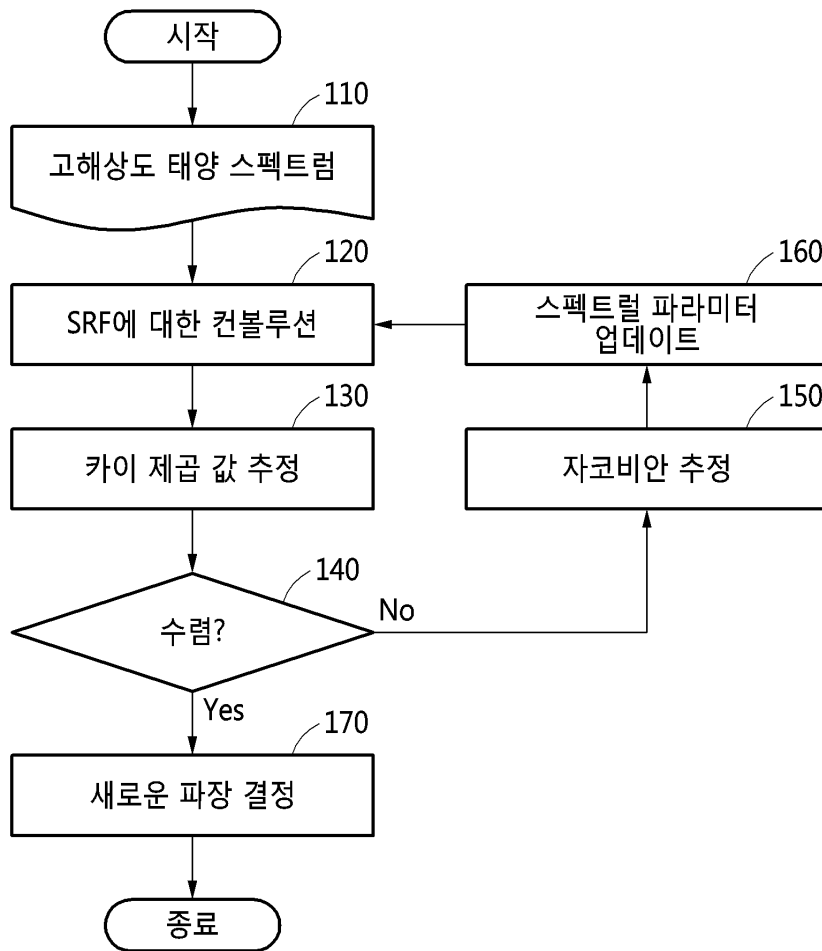
[0100] 메모리(810)는 컴퓨터에서 읽을 수 있는 명령어를 포함할 수 있다. 프로세서(820)는 메모리(810)에 저장된 명령어가 프로세서(820)에서 실행됨에 따라 앞서 언급된 동작들을 수행할 수 있다. 메모리(810)는 휘발성 메모리 또는 비휘발성 메모리일 수 있다.

[0101] 프로세서(820)는 명령어들, 혹은 프로그램들을 실행하거나, 분광 보정 장치(800)를 제어하는 장치를 포함할 수 있다. 프로세서(820)는 고해상도 태양 기준 스펙트럼 및 GEMS의 SRF에 기초하여 시뮬레이션된 기준 스펙트럼을 결정하고, GEMS를 통해 고해상도 태양 기준 스펙트럼에 대한 측정 스펙트럼을 획득하며, 기준 스펙트럼 및 측정 스펙트럼 간 차이가 최소화되도록 스펙트럼 피팅을 수행한다.

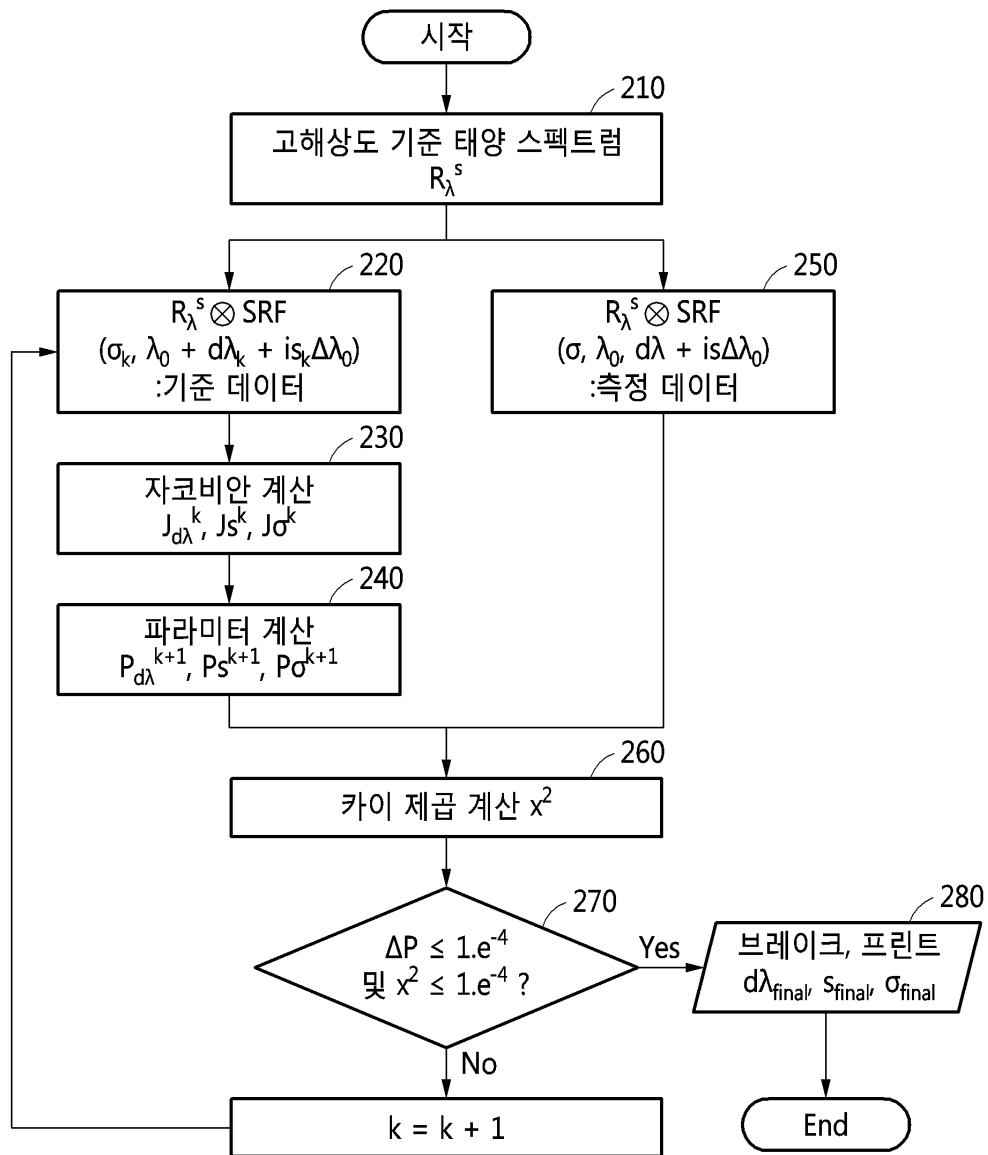
- [0102] 그 밖에, 분광 보정 장치는 앞서 설명한 동작을 처리할 수 있다.
- [0103] 이상에서 설명된 실시예들은 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치, 방법 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0104] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0105] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0106] 실시예들에서 설명된 구성요소들은 하나 이상의 DSP (Digital Signal Processor), 프로세서 (Processor), 컨트롤러 (Controller), ASIC (Application Specific Integrated Circuit), FPGA (Field Programmable Gate Array)와 같은 프로그래머블 논리 소자 (Programmable Logic Element), 다른 전자 기기들 및 이것들의 조합 중 하나 이상을 포함하는 하드웨어 구성 요소들(hardware components)에 의해 구현될 수 있다. 실시예들에서 설명된 기능들(functions) 또는 프로세스들(processes) 중 적어도 일부는 소프트웨어(software)에 의해 구현될 수 있고, 해당 소프트웨어는 기록 매체(recording medium)에 기록될 수 있다. 실시예들에서 설명된 구성요소들, 기능들 및 프로세스들은 하드웨어와 소프트웨어의 조합에 의해 구현될 수 있다.
- [0107] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 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.

도면

도면1

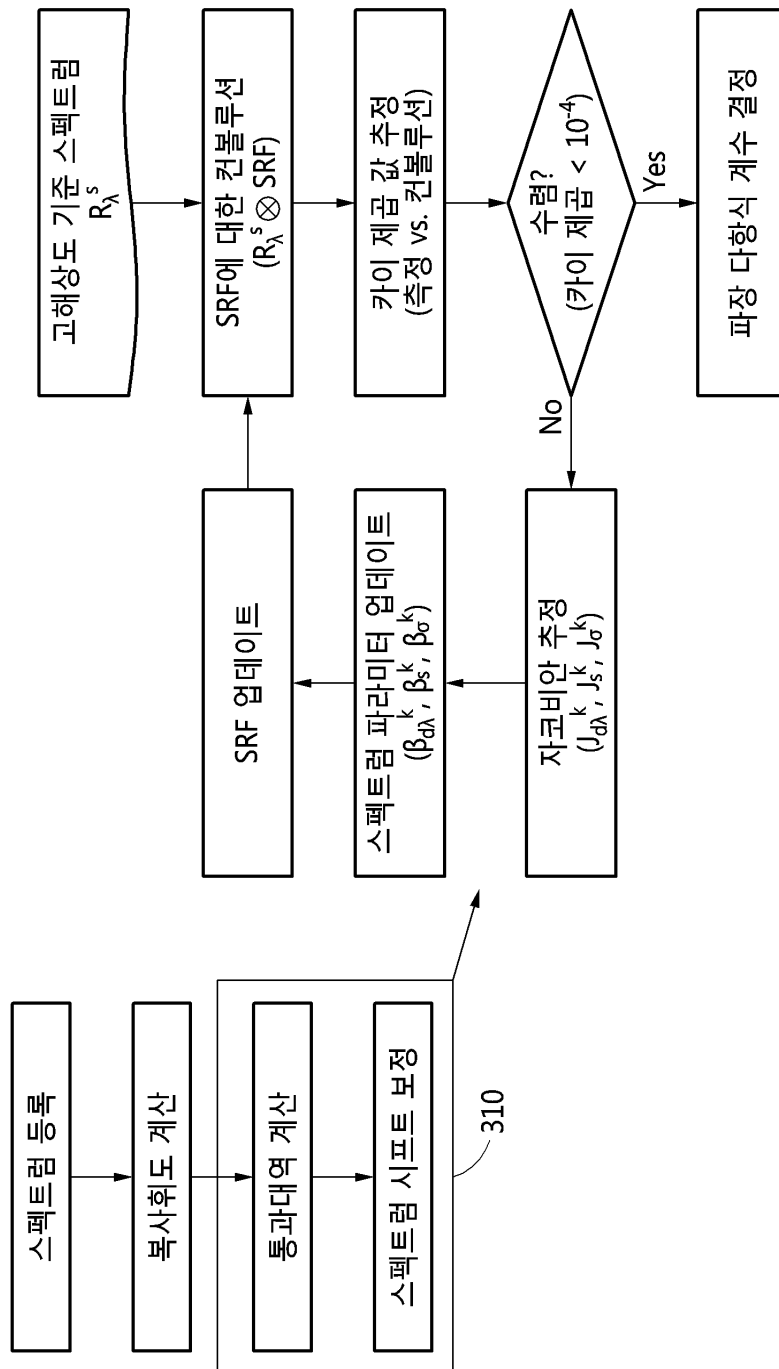


도면2

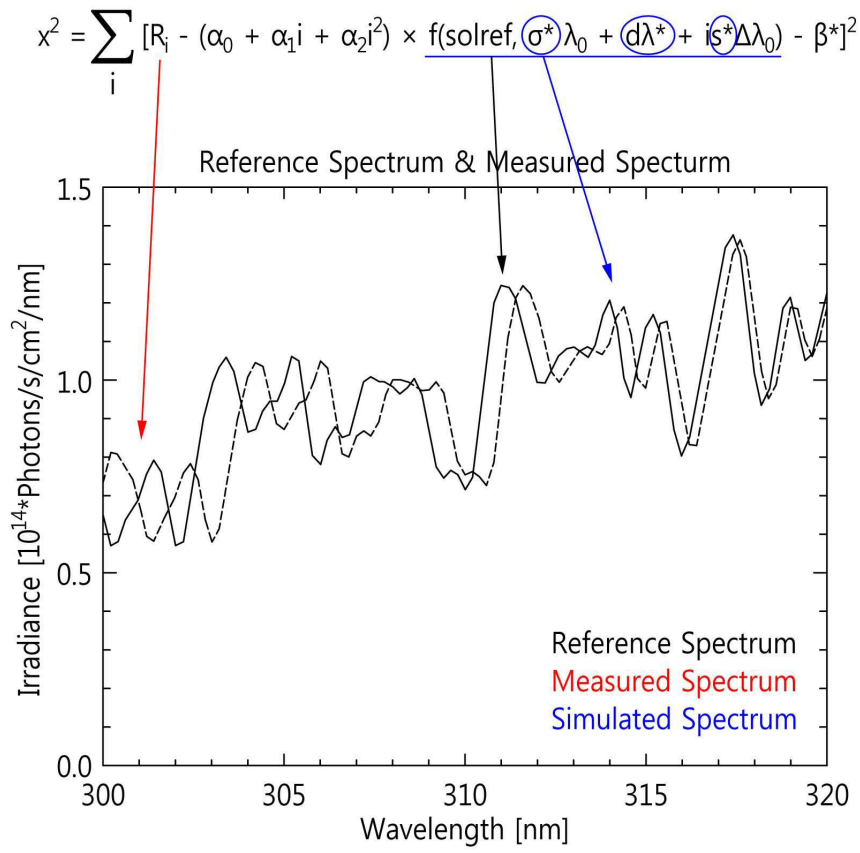


σ^* : FWHM, $d\lambda^*$: Shift, s^* : Squeeze

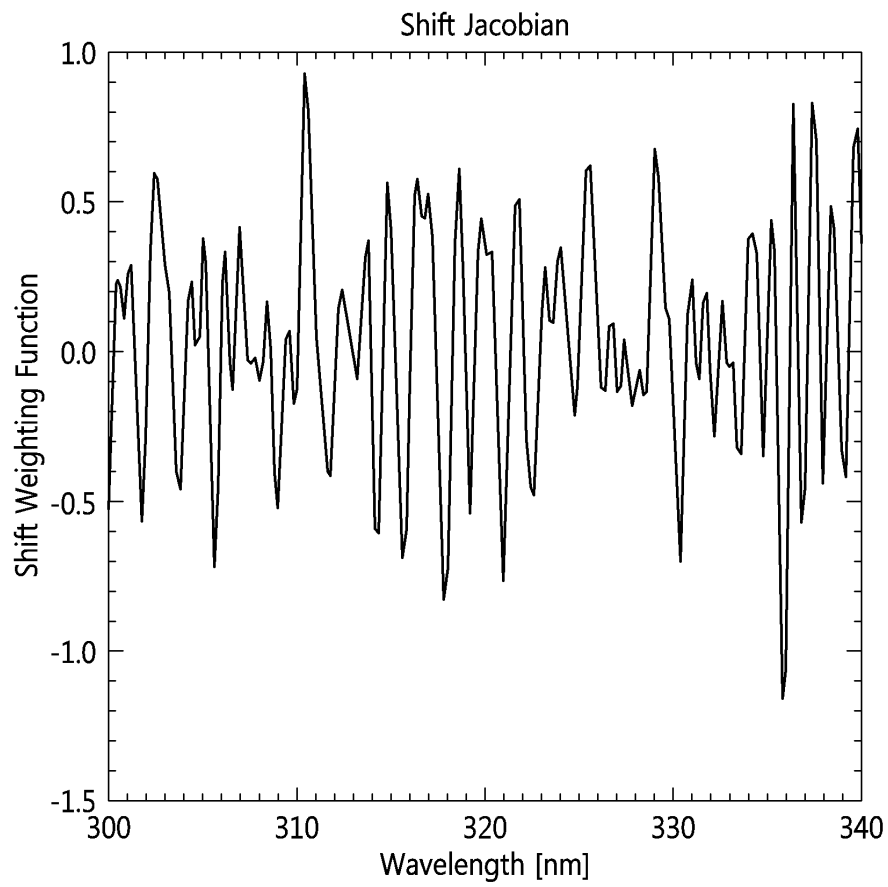
도면3



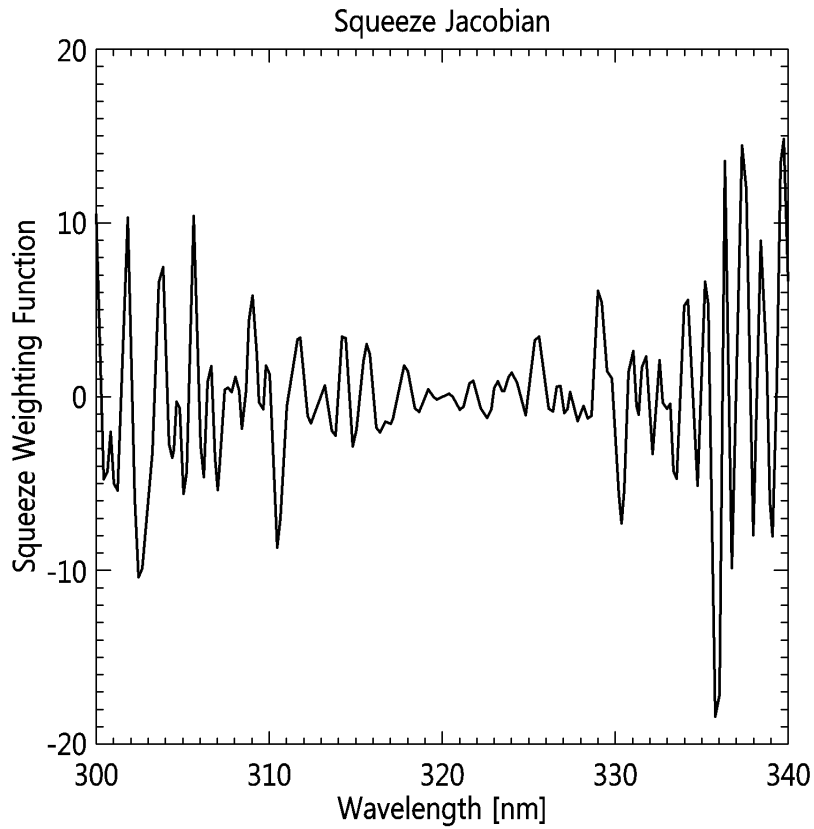
도면4



도면5



도면6



도면7

스펙트럼 파라미터	설명
기준 태양 스펙트럼	프라운호퍼선과 대기 선의 스펙트럼 구조
스펙트럼 응답 함수 (SRF)	단색 입력에 대한 장비의 응답
시프트	파장 증분
스퀴즈	스펙트럼 폭에 대한 보정
SNR (Signal to Noise Ratio)	잡음 전력에 대한 신호 전력의 비율
피팅 윈도우	관측 파장 범위

도면8

