



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년08월09일
(11) 등록번호 10-2009460
(24) 등록일자 2019년08월05일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/16 (2006.01) G01W 1/08 (2006.01)
G01W 1/10 (2006.01) G06T 7/60 (2017.01)
- (52) CPC특허분류
G01W 1/16 (2013.01)
G01W 1/08 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-0086362
(22) 출원일자 2018년07월25일
심사청구일자 2018년07월25일
- (56) 선행기술조사문헌
M.G. Bobra, et al., 'Solar Flare Prediction Using SDO/HMI Vector Magnetic Field Data with a Machine-Learning Algorithm', Solar and Stellar Astrophysics, 2014.11, arXiv:1411.1405v1.*
K.J. Lee, et al., 'Solar Flare Occurrence Rate and Probability in Terms of the Sunspot Classification Supplemented with Sunspot Area and Its Changes', Solar Physics, Vol.281, 2012.11, pp.639-650.*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
- (72) 발명자
문용재
경기도 용인시 수지구 신봉2로 72, 209동 1404호
임다예
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732
- (74) 대리인
김홍석

전체 청구항 수 : 총 12 항

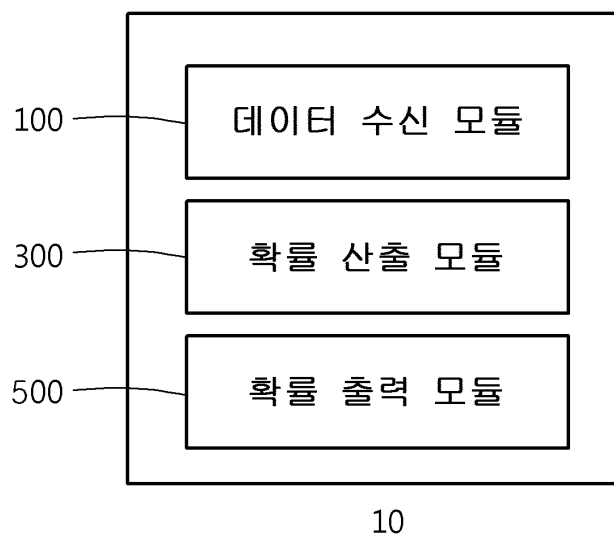
심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 SDO/HMI 벡터 자기장 기반의 태양 플레어 발생 예측 장치 및 방법

(57) 요약

플레어 발생 예측 장치가 개시된다. 상기 플레어 발생 예측 장치는 소정의 데이터를 수신하고, 태양 활동 영역(active region)에서의 적어도 하나의 자기 매개변수(magnetic parameter)의 값을 출력하는 데이터 수신 모듈 및 상기 자기 매개변수의 값을 이용하여 상기 태양 활동 영역에서 태양 플레어(solar flare)가 발생할 확률을 산출하는 확률 산출 모듈을 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01W 1/10 (2013.01)

G06T 7/60 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018-0-01422

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터(IITP)

연구사업명 전파자원의 효율적 확보 기반조성 사업

연구과제명 태양흑점폭발 분석 및 예측 기술 연구

기 여 율 1/2

주관기관 (주)인스페이스

연구기간 2018.07.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2016R1A2B4013131

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단(KNRF)

연구사업명 개인연구지원사업(중견연구)

연구과제명 코로나질량방출의 3차원 진동 및 발생/전파 예측 연구

기 여 율 1/2

주관기관 경희대학교(국제캠퍼스)

연구기간 2016.06.01 ~ 2019.05.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

소정의 데이터를 수신하고, 태양 활동 영역(active region)에서의 적어도 하나의 자기 매개변수(magnetic parameter)의 값을 출력하는 데이터 수신 모듈; 및

상기 자기 매개변수의 값을 이용하여 상기 태양 활동 영역에서 태양 플레어(solar flare)가 발생할 확률을 산출하는 확률 산출 모듈을 포함하며,

상기 자기 매개변수는 총 절대 전류 나선도(total unsigned current helicity), 총 자기 자유 에너지 밀도(total photospheric magnetic free energy density), 총 절대 수직 전류 밀도(total unsigned vertical current), 총 절대 전류 나선도의 절대값(absolute value of the net current helicity), 극성에 따른 절대 전류 밀도의 합(sum of the net current emanating from each polarity), 및 총 절대 자기플럭스(total unsigned magnetic flux) 중 적어도 하나이고,

상기 확률 산출 모듈은 수학적 식 1과 수학적 식 2를 이용하여 상기 태양 플레어가 발생할 확률(P)을 산출하고,

$$\log(R) = \begin{cases} a_1 \log(x) + b_1, & \text{for } x < C \\ a_2 \log(x) + b_2, & \text{for } x \geq C \end{cases}$$

상기 수학적 식 1은 이고,

상기 수학적 식 2는 $P = 1 - \exp(-R)$ 이고,

상기 R 은 평균 플레어 발생률이고,

상기 x 는 상기 자기 매개변수의 값이고,

상기 a_1 , 상기 a_2 , 상기 b_1 , 및 상기 b_2 는 미리 정해진 상수이고,

상기 C 는 미리 정해진 상기 x 의 절단값인,

플레어 발생 예측 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 소정의 데이터는 SHARPs(Space-weather HMI Active Region Patches) 데이터이고,

상기 데이터 수신 모듈은 상기 SHARPs 데이터로부터 상기 태양 활동 영역에서의 상기 자기 매개변수의 값을 추출하고, 추출된 상기 자기 매개변수의 값을 출력하는,

플레어 발생 예측 장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 확률 산출 모듈은 McIntosh 흑점 분류법에 의한 M-클래스의 태양 플레어와 X-클래스의 태양 플레어가 발생할 확률을 산출하는,

플레어 발생 예측 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 자기 매개변수는 상기 총 절대 전류 나선도(total unsigned current helicity)이고,

상기 a_1 은 2.2이고, 상기 b_1 은 -8.3이고, 상기 a_2 는 0.2이고, 상기 b_2 는 -0.7이고, 상기 C 는 3.7인,

플레어 발생 예측 장치.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 자기 매개변수는 상기 총 자기 자유 에너지 밀도(total photospheric magnetic free energy density)이고,

상기 a_1 은 1.4이고, 상기 b_1 은 -34.6이고, 상기 a_2 는 0.6이고, 상기 b_2 는 -14.2이고, 상기 C 는 24.2인,

플레어 발생 예측 장치.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 자기 매개변수는 상기 총 절대 수직 전류 밀도(total unsigned vertical current)이고,

상기 a_1 은 2.0이고, 상기 b_1 은 -28.8이고, 상기 a_2 는 0.4이고, 상기 b_2 는 -6.4이고, 상기 C 는 13.9인,

플레어 발생 예측 장치.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 자기 매개변수는 상기 총 절대 전류 나선도의 절대값(absolute value of the net current helicity)이고,

상기 a_1 은 1.3이고, 상기 b_1 은 -4.1이고, 상기 a_2 는 0.6이고, 상기 b_2 는 -1.9이고, 상기 C 는 2.8인,

플레어 발생 예측 장치.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 자기 매개변수는 상기 극성에 따른 절대 전류 밀도의 합(sum of the net current emanating from each polarity)이고,

상기 a_1 은 1.8이고, 상기 b_1 은 -24.8이고, 상기 a_2 는 0.7이고, 상기 b_2 는 -10.0이고, 상기 C 는 13.2인, 플레어 발생 예측 장치.

청구항 11

제5항에 있어서,

상기 자기 매개변수는 상기 총 절대 자기플럭스(total unsigned magnetic flux)이고,

상기 a_1 은 1.8이고, 상기 b_1 은 -41.0이고, 상기 a_2 는 0.6이고, 상기 b_2 는 -15.0이고, 상기 C 는 22.8인, 플레어 발생 예측 장치.

청구항 12

플레어 발생 예측 장치에서 수행되는 플레어 발생 예측 방법에 있어서,

상기 플레어 발생 예측 장치에 포함되는 데이터 수신 모듈이 소정의 데이터를 수신하는 단계;

상기 데이터 수신 모듈이 태양 활동 영역(Active Region)에서의 적어도 하나의 자기 매개변수(magnetic parameter)의 값을 출력하는 단계; 및

상기 플레어 발생 예측 장치에 포함되는 확률 산출 모듈이 상기 자기 매개변수의 값을 이용하여 상기 태양 활동 영역에서 태양 플레어가 발생할 확률을 산출하는 단계를 포함하고,

상기 자기 매개변수는 총 절대 전류 나선도(total unsigned current helicity), 총 자기 자유 에너지 밀도(total photospheric magnetic free energy density), 총 절대 수직 전류 밀도(total unsigned vertical current), 총 절대 전류 나선도의 절대값(absolute value of the net current helicity), 극성에 따른 절대 전류 밀도의 합(sum of the net current emanating from each polarity), 및 총 절대 자기플럭스(total unsigned magnetic flux) 중 적어도 하나이며,

상기 태양 플레어가 발생할 확률을 산출하는 단계는 수학적 식 1과 수학적 식 2를 이용하여 상기 태양 플레어가 발생할 확률(P)을 산출하고,

$$\log(R) = \begin{cases} a_1 \log(x) + b_1, & \text{for } x < C \\ a_2 \log(x) + b_2, & \text{for } x \geq C \end{cases}$$

상기 수학적 식 1은 $\log(R)$ 이고,

상기 수학적 식 2는 $P = 1 - \exp(-R)$ 이고,

상기 R 은 평균 플레어 발생률이고,

상기 x 는 상기 자기 매개변수의 값이고,

상기 a_1 , 상기 a_2 , 상기 b_1 , 및 상기 b_2 는 미리 정해진 상수이고,

상기 C 는 미리 정해진 상기 x 의 절단값인,
플레어 발생 예측 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

SHARPs(Space-weather HMI Active Region Patches) 데이터로부터 복수의 태양 활동 영역들과 상기 복수의 태양 활동 영역들 각각에서의 자기 매개변수의 값을 추출하고, 상기 복수의 태양 활동 영역들 각각에 대응하는 자기 매개변수의 값을 출력하는 데이터 수신 모듈;

상기 자기 매개변수의 값을 이용하여 대응하는 태양 활동 영역에서 태양 플레어가 발생할 확률을 산출하는 확률 산출 모듈; 및

상기 확률 산출 모듈에 의해 산출된 상기 태양 플레어가 발생할 확률을 출력하는 확률 출력 모듈을 포함하고,

상기 확률 산출 모듈은 수학적 식 1과 수학적 식 2를 이용하여 상기 태양 플레어가 발생할 확률(P)을 산출하고,

$$\log(R) = \begin{cases} a_1 \log(x) + b_1, & \text{for } x < C \\ a_2 \log(x) + b_2, & \text{for } x \geq C \end{cases}$$

상기 수학적 식 1은 이고,

상기 수학적 식 2는 $P = 1 - \exp(-R)$ 이고,

상기 R 은 평균 플레어 발생률이고,

상기 x 는 상기 자기 매개변수의 값이고,

상기 a_1 , 상기 a_2 , 상기 b_1 , 및 상기 b_2 는 미리 정해진 상수이고,

상기 C 는 미리 정해진 상기 x 의 절단값인,

플레어 발생 예측 장치.

청구항 16

삭제

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 자기 매개변수는 총 절대 전류 나선도(total unsigned current helicity), 총 자기 자유 에너지 밀도(total photospheric magnetic free energy density), 총 절대 수직 전류 밀도(total unsigned vertical current), 총 절대 전류 나선도의 절대값(absolute value of the net current helicity), 극성에 따른 절대 전류 밀도의 합(sum of the net current emanating from each polarity), 및 총 절대 자기플럭스(total unsigned

magnetic flux) 중 적어도 하나인,
플레어 발생 예측 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 태양 플레어 발생 예측 장치에 관한 것으로, 특히 벡터 자기장으로부터 추출된 적어도 하나의 자기 매개변수(magnetic parameter)를 이용하여 태양 플레어의 발생 확률을 제공하는, SDO/HMI 벡터 자기장 기반의 태양 플레어 발생 예측 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 태양 플레어(solar flare)는 태양에서 발생하는 급격한 에너지 방출 현상으로 주로 태양의 활동 영역(active region)에서 발생하며, 수 분 이내에 지구에 도착하여 다양한 피해를 발생시킬 수 있다. 태양 플레어 발생 예보 방법으로 크게 1) 자기장이 강한 곳인 활동 영역의 형태학적 특성(morphological characteristics)을 이용한 모델과 2) 활동 영역의 자기장 성분 값으로부터 구한 인자를 이용한 모델이 있다.

[0004] 형태학적 특성을 이용한 플레어 예측 방법은 현재 미국해양대기국(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 사용하고 있는 방법으로 형태학적 분류법 중 하나인 McIntosh 분류법을 이용하여 플레어 발생을 예측한다. 하지만, 형태학적 분류는 사람이 직접 하는 것이고 실제 자기장 값은 아니기 때문에 오차가 발생한다.

[0005] 예전부터 쉽게 얻을 수 있는 관측 자기장 자료는 시선 방향(line of sight) 자기장 성분이었기 때문에 대부분 이러한 시선 방향 자기장 성분으로부터 얻은 자기장 인자를 이용한 플레어 예보 모델이 개발되었다. 그러나, 시선 방향 자기장 성분은 정확한 벡터 자기장(vector magnetic field)이 아니기 때문에 오차가 발생할 수 있다.

[0006] 2010년에 Solar Dynamics Observatory(SDO)라는 위성이 발사되어 벡터 자기장의 세 성분을 모두 알 수 있는 관측 자료를 활용할 수 있게 되었다. 이 자료는 실제 자기장과 가장 유사한 자료이므로, 본 발명에서는 벡터 자기장으로부터 얻은 플레어 발생과 직접적으로 관련된 인자를 이용하여 플레어 예측 모델을 생성하고자 한다.

[0007] 구체적으로, 인자의 값에 따른 활동 영역을 100 개의 그룹으로 나누고, 각 그룹의 과거 플레어 발생 횟수를 계산하여 자기 인자에 따른 플레어 발생률을 계산하였다. 이때 연관성을 관계식으로 얻고 이 관계식을 이용하여 플레어 발생을 예보할 수 있다. 기존 형태학적 분류법, 시선 방향 자기장 성분으로부터 얻은 인자를 이용한 예보 모델과의 비교 검증을 수행한 결과, 본 발명에 따른 예보 모델의 오차와 정확도 등이 개선된 것을 확인할 수 있었다. 벡터 자기장 관측 자료는 거의 실시간으로 관측되고 이용할 수 있기 때문에 본 발명에서 제안하는 예보 모델을 이용하면 플레어 발생을 실시간으로 예보할 수 있을 것으로 기대된다. 즉, 플레어 발생 확률에 관한 근 실시간 예보 모델(near-real time forecast model)의 제공이 가능하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제1845760호 (2018.05.18. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는 벡터 자기장으로부터 추출된 적어도 하나의 자기 매개변수(magnetic parameter)를 이용하여 태양 플레어의 발생 확률을 제공하는, SDO/HMI 벡터 자기장 기반의 태양 플레어 발생 예측 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 실시 예에 따른 플레어 발생 예측 장치는 소정의 데이터를 수신하고, 태양 활동 영역(active regio

n)에서의 적어도 하나의 자기 매개변수(magnetic parameter)의 값을 출력하는 데이터 수신 모듈 및 상기 자기 매개변수의 값을 이용하여 상기 태양 활동 영역에서 태양 플레어(solar flare)가 발생할 확률을 산출하는 확률 산출 모듈을 포함한다.

[0013] 본 발명의 다른 실시 예에 따른 플레어 발생 예측 장치는 SHARPs(Space-weather HMI Active Region Patches) 데이터로부터 복수의 태양 활동 영역들과 상기 복수의 태양 활동 영역들 각각에서의 자기 매개변수의 값을 추출하고, 상기 복수의 태양 활동 영역들 각각에 대응하는 자기 매개변수의 값을 출력하는 데이터 수신 모듈, 상기 자기 매개변수의 값을 이용하여 대응하는 태양 활동 영역에서 태양 플레어가 발생할 확률을 산출하는 확률 산출 모듈, 및 상기 확률 산출 모듈에 의해 산출된 상기 태양 플레어가 발생할 확률을 출력하는 확률 출력 모듈을 포함한다.

[0014] 본 발명의 실시 예에 따른 플레어 발생 예측 방법은 플레어 발생 예측 장치에서 수행되고, 상기 플레어 발생 예측 장치에 포함되는 데이터 수신 모듈이 소정의 데이터를 수신하는 단계, 상기 데이터 수신 모듈이 태양 활동 영역(Active Region)에서의 적어도 하나의 자기 매개변수(magnetic parameter)의 값을 출력하는 단계, 및 상기 플레어 발생 예측 장치에 포함되는 확률 산출 모듈이 상기 자기 매개변수의 값을 이용하여 상기 태양 활동 영역에서 태양 플레어가 발생할 확률을 산출하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0016] 본 발명의 실시 예에 따른 태양 플레어 발생 예측 장치 및 방법에 의할 경우, 근 실시간(near-real time)으로 태양 플레어의 발생 확률을 예보할 수 있는 효과가 있다.

[0017] 또한, 벡터 자기장으로부터 추출된 자기 매개변수를 이용하여 플레어 발생 확률을 산출하기 때문에 흑점 분류나 시선 방향 자기장 성분을 이용한 종래의 플레어 발생 예보 기법에 비해 보다 정확한 예보가 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0019] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.

도 1은 로그-로그 스케일(log-log scale)에서 각 SHARP 매개변수의 강한 플레어 발생률을 도시한다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 플레어 발생 예보 장치의 기능 블록도이다.

도 3은 도 2에 도시된 플레어 발생 예보 장치에서 수행되는 플레어 발생 예보 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 4는 데이터 셋이 연대순으로 선택했을 때, 로그-로그 스케일에서 예측된 플레어 발생률(발생 확률)과 관측된 플레어 발생률을 도시하는 그래프이다.

도 5는 ROC 곡선을 도시한다.

도 6은 GOES X-선 플럭스(fluxes)와 예측된 확률의 비교 결과를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시 예들에 한정되지 않는다.

[0021] 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0022] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.

[0023] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소

에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0024] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0025] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 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.

[0026] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 상세히 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0028] 본 발명에 의할 경우, SDO(Solar Dynamics Observatory)/HMI(Heliioseismic and Magnetic Imager)에 의한 2010년 5월부터 2017년 4월까지의 벡터 자기장(vector magnetic fields)에 기초하여 강한 플레어(major flares)의 일일 발생 확률(daily probability)에 관한 근 실시간 예측 모델(near-real time forecast model)을 제공할 수 있다. 여기서, 강한 플레어는 McIntosh 분류법의 M-클래스와 X-클래스에 해당하는 태양 플레어를 의미할 수 있다.

[0029] 본 발명에서는 1) 총 절대 전류 나선도(total unsigned current helicity, TOTUSJH), 2) 총 자기 자유 에너지 밀도(total photospheric magnetic free energy density, TOTPOT), 3) 총 절대 수직 전류 밀도(total unsigned vertical current, TOTUSJZ), 4) 총 절대 전류 나선도의 절대값(absolute value of the net current helicity, ABSNJZH), 5) 극성에 따른 절대 전류 밀도의 합(sum of the net current emanating from each polarity, SAVNCP), 및 6) 총 절대 자기플럭스(total unsigned magnetic flux, USFLUX)를 포함하는 여섯 가지의 자기 매개변수(six magnetic parameters)를 이용하였다. 본 발명에서는 연대순으로(chronologically) 데이터를 두 그룹, 즉 예보 모델의 훈련(또는 학습)을 위한 70%의 데이터와 예보 모델의 테스트를 위한 30%의 데이터로 분할하였다. 대응하는 플레어 발생률(flare occurrence rates)을 평가하기 위하여 각 매개변수의 모든 값들을 100 개의 그룹으로 분할하였다. 플레어의 식별(flare identifications), 즉 플레어의 실제 발생 여부는 GOES X-선 플레어 위치(Geostationary Operational Environmental Satellites X-ray flare locations)를 이용하여 결정하였다. 본 발명에 의할 경우의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 강한 플레어 발생률은 상기 여섯 가지의 자기 매개변수와 높은 상관관계를 갖는다. 둘째, 플레어 발생률의 로그 값(logarithmic values)은 서로 다른 기울기(slopes)를 갖는 두 개의 선형 방정식으로 준수하게 근사되었다. 즉, 각 자기 매개변수의 작은 값들은 큰 기울기를 갖는 선형 방정식에 근사되고, 큰 값들은 작은 기울기를 갖는 선형 방정식에 근사되었다. 셋째, 총 자기 자유 에너지 밀도(total photospheric magnetic free energy density, TOTPOT)가 관측된 플레어 발생률과 예보된 플레어 발생률 사이에서 가장 작은 평균 제곱근 오차(root mean square error)를 보여주었다. 넷째, 총 절대 전류 나선도(total unsigned current helicity, TOTUSJH)와 총 절대 수직 전류 밀도(total unsigned vertical current, TOTUSJZ)가 가장 좋은 TSS(true skill statistic) 값(0.89)을 보여주었으며, 이러한 TSS 값은 종래 확률 예보 모델의 TSS 값에 비해 상당히 개선된 수치이다. 이와 같은 결과는 플레어 예보를 위해 비 잠재적인 자기 특성(non-potential magnetic properties)의 중요성을 증명하는 것으로 볼 수 있다.

[0031] 또한, 본 발명은 몇 가지 관점에서 선행 연구와 대비된다. 첫째, 매 시간의 SDO/HMI 벡터 자기장 데이터를 이용하여 나날의 강한 플레어(daily major flares)에 대한 확률적 예보(또는 예측) 기법을 제공한다. 둘째, 본 발명에 의한 예보 모델은 강한 플레어 발생률(major flare occurrence rates)과 벡터 자기장(vector magnetic fields)에 기반한 SHARP 자기장 파라미터(magnetic parameters) 사이의 멱법칙 관계(power law relationship

s)에 기반한다.

[0033] 본 발명에서 사용하는 데이터에 관해 설명은 다음과 같다.

[0034] 1) GOES X-선 플레어(Geostationary Operational Environmental Satellites X-ray flares)

[0035] GOES는 1 - 8 Å와 0.5 - 4 Å의 통과 대역(passbands) 내의 태양 X-선을 측정하여 왔다. 태양 X-선 플레어(solar X-ray flares)는 1 - 8 Å의 파장 대역(wavelength bands)을 갖는 X-선의 피크 자속(peak flux)에 따라 분류된다. 본 발명에서는 2010년 5월부터 2017년 4월까지의 GOES 강한 X-선 플레어 데이터(major (M- and X-class) X-ray flare data)를 사용하였다. 상술한 데이터는 LMSAL(the Lockheed Martin Solar and Astrophysics Laboratory, https://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events_archive.html)로부터 획득 가능하다. 본 발명에서 이용되는 데이터에는 423 개의 M-클래스 플레어와 24 개의 X-클래스 플레어가 포함되어 있다. 여기서, M-클래스와 X-클래스 플레어는 McIntosh 분류법에 의해 분류된 플레어의 클래스를 의미할 수 있다.

[0037] 2) SDO/HMI와 자기 매개변수(SDO/HMI and magnetic parameters)

[0038] SDO는 2010년 발사되었고, SDO에 탑재된 장비 중 HMI는 full-disk Dopplergrams과 벡터 자기장 지도(vector magnetograms)를 제공한다.

[0039] HMI 팀은 SHARP(Space-weather HMI Active Region Patches) 데이터라 불리는 파생 데이터 셋을 개발하였다. SHARP 데이터에는 자동적으로 식별되는 HARP(HMI Active Region Patches)와 소정 주기(예컨대, 12분의 주기)를 갖는 각 HARP 내의 벡터 자기장의 분포(distribution)와 비 잠재성(non-potentiality)을 요약하는 자기 매개변수들(magnetic parameters)이 포함되어 있다.

[0040] 본 발명에서는 SHARP 데이터로부터 획득가능한 여섯 가지의 자기 매개변수, 즉 1) 총 절대 전류 나선도(total unsigned current helicity) $H_{C,total}$, 2) 총 자기 자유 에너지 밀도(total photospheric magnetic free energy density) ρ_{tot} , 3) 총 절대 수직 전류 밀도(total unsigned vertical current) $J_{Z,total}$, 4) 총 절대 전류 나선도의 절대값(absolute value of the net current helicity) $H_{C,abs}$, 5) 극성에 따른 절대 전류 밀도의 합(sum of the net current emanating from each polarity) $J_{Z,sum}$, 6) 총 절대 자기플럭스(total unsigned magnetic flux) Φ 를 고려하였다. 상기 여섯 가지의 자기 매개변수에 대한 상세 설명과 수학적식은 아래 표 1과 같다.

표 1

Keyword	Description	Formula
TOTUSJH	Total unsigned current helicity	$H_{C,total} = \sum B_z \cdot J_z $
TOTPOT	Total photospheric magnetic free energy density	$\rho_{tot} = \sum (B_{obs} - B_{pot})^2 dA$
TOTUSJZ	Total unsigned vertical current	$J_{z,total} = \sum J_z dA$
ABSNJZH	Absolute value of the net current helicity	$H_{C,abs} = \sum B_z \cdot J_z $
SAVNCP	Sum of the net current emanating from each polarity	$J_{z,sum} = \sum^{B_z^+} J_z dA + \sum^{B_z^-} J_z dA $
USFLUX	Total unsigned magnetic flux	$\Phi = \sum B_z dA$

[0041] NOTE—Constant terms are omitted.

[0042] 또한, 본 발명에서는 본초자오선(central meridian)으로부터 경도 $\pm 60^\circ$ 내인 매 시간별 최종적인 HARP를 고려하였고, 대응되는 여섯 가지의 자기 매개변수들은 JSOC(the Joint Science Operations Center, <http://jsoc.stanford.edu/>)로부터 획득할 수 있다. Hoeksema 등에 의할 경우, 본초자오선으로부터 경도 $\pm 60^\circ$ 도를 넘어서는 경우 SHARP 데이터에서 높은 신뢰도를 갖는 픽셀(high-confidence pixels)의 개수가 현저하게 감소하기 때문이다(Hoeksema, J. T., Liu, Y., Hayashi, K., et al. 2014, *Soph*, 289, 3483). 또한, 본 명세서에서 HARP는 플레어를 발생시키는 영역의 단위(unit)으로 간주된다.

[0044] 이하에서는, 본 발명의 일 실시 예에 의한 (강한) 태양 플레어 예보 모델(Solar Major Flare forecasting Model)에 관하여 상세하게 설명한다.

[0045] 태양 플레어 발생 확률 예보 모델을 개발하기 위해서는, 강한 플레어 발생률과 여섯 가지의 자기 매개변수 사이의 상관 관계를 알아야 한다. 이러한 상관 관계를 확인하기 위해, 각 HARP에 대한 강한 플레어 발생 이력(major flare occurrence history)에 관한 정보와 이에 대응하는 여섯 가지의 자기 매개변수의 값들에 대한 정보가 필요하다.

[0047] 1) 플레어 식별(Flare identification)

[0048] 태양의 상이한 자전 비율(differential rotation rates)로 인해 교정된 플레어 위치(플레어 발생 위치)를 이용하여 하루에 하나 이상의 강한 자기장을 발생하였던 때 시간별 HARP를 확인할 수 있다. 플레어 이벤트(flare event)가 HARP 박스 내에 위치할 때, 상기 플레어 이벤트는 상기 HARP로부터 발생한 것으로 간주될 수 있다. 또한, 본 발명에서 모든 플레어 이벤트들은 서로 독립적임을 가정하였다.

[0050] 2) 학습과 검증(Training and test)

[0051] 본 발명에서 사용된 데이터 셋을 연대순으로 2 개의 데이터 셋(트레이닝 데이터 셋과 테스트 데이터 셋)으로 분할하였다. 즉, 데이터 셋의 70%(2010년 5월부터 2015년 2월까지의 HARPs)는 플레어 예보 모델의 트레이닝을 위해 사용되었고, 데이터 셋의 30%(2015년 3월부터 2017년 4월까지의 HARPs)는 테스트를 위해 사용되었다. 따라서, 트레이닝 데이터는 251,077 개의 HARPs로 구성되고, 테스트 데이터는 108,111 개의 HARPs로 구성될 수 있다.

[0053] 3) 플레어 예보 모델(Flare forecasting models)

[0054] 본 발명에서는 각각이 여섯 가지의 자기 매개변수 중 어느 하나를 이용하는 6 개의 플레어 예보 모델들을 생성하였다. 각 자기 매개변수에 대하여, HARPs는 합리적인 통계값을 위해 각각이 동일한 개수의 HARPs를 갖는 100 개의 그룹으로 분할된다. 각 그룹은 약 2,500 개의 HARPs를 포함하며, 이는 합리적인 통계값을 주기에 충분히 큰 수치라고 볼 수 있다. i 번째 그룹(G_i)의 평균 강한 플레어 발생률(mean major flare occurrence rate, R_i)은 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$R_i = \frac{\# \text{ of major flares of } G_i}{\# \text{ of HARPs of } G_i}$$

[0056] 관련성을 찾기 위해, 평균 강한 플레어 발생률은 로그-로그 스케일(log-log scales)에서 각 자기 매개변수의 함수로 플롯(plot)될 수 있다. 이에 따라 본 발명에서는 각 자기 매개변수에 대한 2 개의 멱법칙 함수(power law functions)로 구성된 예보 모델을 생성하였다. 보다 정확한 함수를 획득하기 위해 0.01 이상의 플레어 발생률만이 고려될 수도 있다. 예보 모델은 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$\log(R) = \begin{cases} a_1 \log(x) + b_1, & \text{for } x < C \\ a_2 \log(x) + b_2, & \text{for } x \geq C \end{cases}$$

[0058] 수학식 2는 5 개의 적합 계수들(fitting coefficients)를 포함한다. R 은 평균 플레어 발생률을 의미하고, x 는 그룹의 평균 (자기) 매개변수 값을 의미한다. 또한, a_1 은 작은 x 값에 대한 멱법칙 기울기(low x -value

power law slope)이고, a_2 는 큰 x 값에 대한 멱법칙 기울기(high x -value power law slope)이고, b_1 과 b_2 는 적합 상수들(fitting constants)이고, C 는 x 의 절단값(break x -value)을 의미할 수 있다. 멱법칙 함수와 여섯 가지의 SHARP 매개변수들에 대한 대응하는 계수들은 표 2에 도시되어 있다.

표 2

Parameter	CC	a_1	b_1	a_2	b_2	C	RMSE
$H_{C,total}$	0.96	2.2	-8.3	0.2	-0.7	3.7	0.13
ρ_{tot}	0.95	1.4	-34.6	0.6	-14.2	24.2	0.14
$J_{z,total}$	0.95	2.0	-28.8	0.4	-6.4	13.9	0.15
$H_{C,abs}$	0.94	1.3	-4.1	0.6	-1.9	2.8	0.10
$J_{z,sum}$	0.97	1.8	-24.8	0.7	-10.0	13.2	0.06
Φ	0.94	1.8	-41.0	0.6	-15.0	22.8	0.18

NOTE—The uncertainties of all fitting coefficients are lower than 0.001.

표 2는 강한 플레어 발생률과 여섯 가지의 자기 매개변수들 사이의 CCs(correlation coefficients, 상관 계수들), 적합 계수들(fitting coefficients), 및 플레어 발생률과 적합 선들(fitting lines) 사이의 RMSEs를 보여주고 있다. 주어진 x 에 대해, 실증적인 적합 함수들(empirical fitting functions)로부터 강한 플레어 발생률이 예측될 수 있다. 이와 같은 예측된 발생률로부터, 푸아송 분포(the Poisson distribution)를 이용하여 플레어 발생 확률(flare probabilities)이 계산될 수 있다. 하루 동안 적어도 하나의 플레어가 발생할 확률(P)는 수학적 식 3과 같다.

수학적 식 3

$$P = 1 - \exp(-R)$$

구체적인 예로, 2017년 9월 6일 00:00시에 총 절대 전류 나선도(total unsigned current helicity) $H_{C,total}$ 가 $6.68 \times 10^3 \text{ G}^2 \text{ m}^{-1}$ 인 HARP(HARP 7115)가 존재하였다. 이 HARP에 대한 강한 플레어의 일일 발생 확률(daily probability of major flares for this HARP)은 약 64%로 예측된다. 매개변수 $H_{C,total}$ 에 기초하여 예측된 확률은 플레어 발생 가능성이 높음을 의미한다. 실제로 2017년 9월 6일 하루동안 HARP 7115로부터 발생한 강한 플레어는 5회이다. 이와 같은 예측된 확률은 SWPC(Space Weather Prediction Center)의 예측 확률(M-클래스 플레어에 대한 55% 확률과 X-클래스 플레어에 대한 25% 확률)보다 높음을 알 수 있다. 결국, 여섯 가지의 SHARP 자기 매개변수 값이 측정된다면, 본 발명에 의한 6 개의 예보 모델로부터 강한 자기장 발생 확률을 예측(또는 예보)할 수 있다.

4) 자기 매개변수의 함수로서의 강한 플레어 발생률(Major flare occurrence rate as a function of magnetic parameter)

로그-로그 스케일(log-log scale)에서 각 SHARP 매개변수의 강한 플레어 발생률이 도 1에 도시되어 있다. 모든 매개변수들에 대하여 발생률은 0.001부터 약 1까지의 범위에 속해 있다. 표 2에서, 플레어 발생률과 여섯 가지의 SHARP 매개변수들 사이의 상관 계수들(correlation coefficients, CCs)은 0.94보다 크고, 이는 상호 간에 상관 관계가 크다는 것을 암시한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 여섯 가지의 매개변수들과 플레어 발생률 사이에

는 2 개의 역법칙 관계가 존재한다. 여섯 가지의 매개변수 모두에 대하여, 작은 값에서의 역법칙 함수의 기울기는 높은 값에서의 역법칙 함수의 기울기에 비해 가파르다. 여섯 가지의 매개변수들 중에서, 극성에 따른 절대 전류 밀도의 합(sum of the net current emanating from each polarity) $J_{z, \text{sum}}$ 가 2 개의 역법칙 적합 함수와 오리지널 데이터 사이에서 가장 작은 RMSE(root mean square error)를 보여주었다(도 1e 참조).

- [0067] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 플레어 발생 예측 장치의 기능 블록도이다. 도 2를 설명함에 있어 앞서 기재된 설명과 중복되는 내용에 관하여는 그 기재를 생략하기로 한다.
- [0068] 도 2를 참조하면, 플레어 발생 예측 장치(10)는 소정의 데이터를 수신하고, 수신된 데이터를 이용하여 플레어 발생 확률을 계산한 후 계산된 확률을 출력할 수 있다.
- [0069] 플레어 발생 예측 장치(10)는 데이터 수신 모듈(100)과 확률 산출 모듈(300)을 포함한다. 실시 예에 따라 플레어 발생 예측 장치(10)는 확률 출력 모듈(500)을 더 포함할 수 있다.
- [0070] 데이터 수신 모듈(100)은 유무선 통신망을 통해 데이터를 수신할 수 있다. 수신되는 데이터는 플레어 발생 확률을 산출할 대상 지점(즉, 활동 영역)의 자기 매개변수 정보를 포함할 수 있다. 상기 자기 매개변수 정보는 앞서 서술된 여섯 가지의 자기 매개변수들 중 적어도 하나의 자기 매개변수의 값을 포함할 수 있다. 이를 통해, 플레어 발생 예측 장치(10)는 적어도 하나의 자기 매개변수의 값을 이용하여 대응하는 활동 영역에서의 플레어 발생 확률을 예보할 수 있다.
- [0071] 실시 예에 따라, 수신되는 데이터는 SHARP 데이터일 수도 있다. 이 경우, 데이터 수신 모듈(100)은 수신된 SHARP 데이터로부터 적어도 하나의 활동 영역(본 명세서에서는 HARP와 동일하거나 유사한 개념으로 기술됨)에 관한 정보와 각 활동 영역의 자기 매개변수 정보를 추출한 후 추출된 정보를 확률 산출 모듈(300)로 출력할 수 있다.
- [0072] 실시 예에 따라 데이터 수신 모듈(100)은 USB(Universal Serial Bus) 저장 장치와 같은 저장 장치를 통해 데이터를 수신할 수도 있다.
- [0074] 확률 산출 모듈(300)은 데이터 수신 모듈(100)로부터 수신된 자기 매개변수 정보를 이용하여 대응되는 활동 영역에서 플레어(또는 강한 플레어) 발생 확률을 산출할 수 있다. 플레어 발생 확률 산출 과정에서 수학적 2와 수학적 3이 이용될 수 있다. 구체적으로, 확률 산출 모듈(300)은 자기 매개변수 정보에 포함된 매개변수 값을 수학적 2에 입력하여 해당 활동 영역의 플레어 발생률을 산출하고, 산출된 플레어 발생률을 수학적 3에 입력하여 해당 활동 영역에서 플레어 발생 확률을 산출할 수 있다.
- [0076] 확률 출력 모듈(500)은 확률 산출 모듈(300)에 의해 산출된 플레어 발생 확률을 소정의 출력 장치로 출력할 수 있다.
- [0078] 본 명세서에서는 주로 강한 플레어 발생 확률이 언급되어 있으나, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니며, 실시 예에 따라 McIntosh의 C-클래스를 포함하는 플레어 발생 확률을 계산하고, 이를 출력하는 것도 가능하다.
- [0079] 또한, 도 1에 플레어 발생 예측 장치(10)의 구성들 각각은 기능 및 논리적으로 분리될 수 있음으로 나타내는 것이며, 반드시 각각의 구성이 별도의 물리적 장치로 구분되거나 별도의 코드로 작성됨을 의미하는 것이 아님을 본 발명의 기술분야의 평균적 전문가가 용이하게 추론할 수 있을 것이다.
- [0080] 또한, 본 명세서에서 모듈이라 함은, 본 발명의 기술적 사상을 수행하기 위한 하드웨어 및 상기 하드웨어를 구동하기 위한 소프트웨어의 기능적, 구조적 결합을 의미할 수 있다. 예컨대, 상기 모듈은 소정의 코드와 상기 소정의 코드가 수행되기 위한 하드웨어 리소스의 논리적인 단위를 의미할 수 있으며, 반드시 물리적으로 연결된 코드를 의미하거나, 한 종류의 하드웨어를 의미하는 것이 아니다.
- [0082] 도 3는 도 1에 도시된 플레어 발생 예측 장치에서 수행되는 플레어 발생 예측 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 3을 설명함에 있어 중복되는 내용에 관하여는 그 기재를 생략하기로 한다.
- [0083] 도 2와 도 3을 참조하면, 플레어 발생 예측 장치(10)의 데이터 수신 모듈(100)이 소정의 데이터를 수신한다(S100). 수신된 데이터 또는 수신된 데이터로부터 추출된 정보는 확률 산출 모듈(300)로 전달되고, 확률 산출 모듈(300)은 수신된 데이터 또는 추출된 정보를 이용하여 해당 활동 영역에서의 플레어 발생 확률을 산출할 수 있다(S300). 확률 산출 모듈(300)에 의하여 산출된 플레어 발생 확률은 확률 출력 모듈(500)에 의해 출력될 수 있다(S500).

[0085] 상술한 플레어 확률 예보 모델의 성능을 검증하기 위하여, 예측된 발생률에 대한 관측된 발생률을 신뢰도 플롯(reliability plots)으로 구축하였다. 완벽한 예보가 행해진 경우, 신뢰도 플롯 내의 모든 포인트들은 대각선(diagonal line)에 놓이게 된다. 도 4는 모든 자기 매개변수들에 대하여 대각선에 인접한 다수의 포인트들을 도시하고 있다. 본 발명에서 사용된 자기 매개변수들의 경우, 과도 예측(overprediction)이나 과소 예측(underprediction)이 보이진 함에도 불구하고, 준수한 적중율을 보여주고 있다.

[0086] 또한, 예측된 발생률과 관측된 발생률 사이의 RMSEs를 계산하여 본 발명의 신뢰도를 검증하였다. 본 발명에 의할 경우, 각 자기 매개변수 별 RMSE 값은 표 3에 도시되어 있다.

표 3

Parameter	RMSE	ROC Area (perfect = 1)
$H_{C,total}$	0.19	0.97
ρ_{tot}	0.17	0.96
$J_{z,total}$	0.22	0.97
$H_{C,abs}$	0.44	0.93
$J_{z,sum}$	0.27	0.93
Φ	0.21	0.96

[0087]

[0088] 각 자기 매개변수에 대응하는 6 개의 예보 모델 중 ρ_{tot} 를 이용한 예보 모델이 관측된 플레어 발생률과 예측된 플레어 발생률 사이에서 가장 작은 RMSE를 보여주었다. 이로부터 자기 자유 에너지(magnetic free energy)가 플레어(또는 강한 플레어)를 발생시키는 데 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

[0089] 대부분의 종래 예보 모델들은 이진(binary) 또는 단정적인(categorical) 예보 모델을 고려하였고, 분할표(contingency tables)로부터의 다양한 검증 방법을 제시하였다. 본 발명에 의한 확률적 예보는 이러한 검증 방법을 직접적으로 사용하여 다른 예보 모델과 비교할 수 없다. Bloomfield 등은 확률적 예보 결과를 분할표로 변환하기 위한 임계값을 제시하였다(Bloomfield, D. S., Higgins, P. A., McAteer, R. T. J., & Gallagher, P. T. 2012, ApJL, 747, L41). 분할표는 표 4에 보이는 바와 같이, TP(flare event predicted and occurred), FN(no flare event predicted and flare occurred), FP(flare event predicted and did not occur), 및 TN(no flare event predicted and did not occur)의 개수를 포함하는 4 개의 요소(components)로 구성되어 있다.

표 4

Flare Observed	Forecast	
	Flare	No flare
Yes	TP	FN
No	FP	TN

[0090]

[0091] 상술한 분할표의 4 개의 요소를 결합하여 획득되는, 예보 성능을 측정하는 단일의 수치를 고려하였다. 이를 위해 Bloomfield 등이 제시한 임계값을 이용하여 분할표를 생성하였고, 본 발명에 의한 예보 모델과 다른 예보 모델을 비교하기 위한 6 가지 검증 수단을 계산하였다.

[0092] PC(the proportion correct), POD(the probability of detection), FAR(the false alarm ratio), HSS(the Heidke skill score), TSS(the true skill statistic), 및 SEDI(the symmetric extremal dependence index)를 포함하는 검증 수단을 고려하였다. SEDI를 제외한 5가지의 검증 수단은 플레어 예보를 평가하기 위해 널리 사용되고 있으며, SEDI는 드물게 사용되지만 강한 플레어와 같은 드문 이벤트(rare events)의 예보를 입증하는데 의미를 갖는다. 이와 같은 6 가지의 성능 평가 수단은 표 5에 도시되어 있다.

표 5

Measure	Equation	Perfect
PC	$\frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN}$	1
POD	$\frac{TP}{TP+FN}$	1
POFD	$\frac{FP}{TN+FP}$	0
FAR	$\frac{FP}{TP+FP}$	0
TSS	POD - POFD	1
HSS	$\frac{2[(TP \times TN) - (FN \times FP)]}{(TP+FN)(FN+TN) + (TP+FP)(FP+TN)}$	1
SEDI	$\frac{(\log(POFD) - \log(POD) - \log(1-POFD) + \log(1-POD))}{(\log(POFD) + \log(POD) + \log(1-POFD) + \log(1-POD))}$	1

[0094] 두 가지(연대순으로 선택된 데이터 셋과 임의적으로 선택된 데이터 셋)의 데이터 선택 방식이 존재한다. 플레어 예보 모델의 성능은 데이터를 학습 데이터와 검증 데이터로 분할하는 방식에 의존할 수 있다. 따라서, 동일한 데이터 셋을 이용하여 예보 모델을 비교하는 것이 중요하다. 비교를 위해, 연대순으로 선택된 데이터 셋(학습을 위한 이전 데이터와 검증을 위한 최근 데이터)을 이용한 Bloomfield 등(Bloomfield, D. S., Higgins, P. A., McAtter, R. T. J., & Gallagher, P. T. 2012, ApJL, 747, L41)과 Shin 등(Shin, S., Lee, J.-Y., Moon, Y.-J., Chu, H., & Park, J. 2016, SoPh, 291, 897)에 의한 2 개의 일일 예보 결과(24 hr forecast results)를 고려하였다. 이들의 예보 모델들은 McIntosh 및/또는 Mount Wilson 흑점 분류법(sunspot classifications)에 기초한다. Bloomfield 등은 플레어 발생과 비발생 비율에 의존하지 않는 훌륭한 검증 수단인 TSS를 제안하였다. 이에 따라, 최적의 TSS 값(optimum TSS values)과 대응하는 임계값을 추정하였다. 결국, 본 발명에 의한 예보 모델들 중 0.8보다 큰 최적화된 TSS를 갖는 4 개의 예보 모델들($H_{C,total}$, ρ_{tot} , $J_{z,total}$, and Φ)을 종래 모델과 비교하였고, 비교 결과는 표 6에 도시되어 있다.

표 6

Reference	Forecast	Training	Test	PC	POD	FAR	HSS	TSS
Bloomfield et al. (2012)	Probability	1988 Dec ~ 1996 Jun	1996 Aug ~ 2010 Dec	0.83	0.7	0.85	0.19	0.54
Shin et al. (2016)	Flare Flux	1996 Jan ~ 2004 Dec	2005 Jan ~ 2013 Nov	0.78	0.62	0.78	0.22	0.37
This Work	$H_{C,total}$	2010 May ~ 2015 Feb	2015 Mar ~ 2017 Apr	0.93	0.96	0.90	0.17	0.89
	ρ_{tot}			0.92	0.96	0.91	0.15	0.88
	$J_{z,total}$			0.93	0.96	0.90	0.17	0.89
	Φ			0.91	0.96	0.91	0.14	0.88

[0096] 표 6에 도시된 바와 같이, 가장 높은 PC, POD 및 TSS는 두 매개변수($H_{C,total}$ and $J_{z,total}$)를 이용한 본 발명에 의해 성취되었다. 특히, 본 발명의 TSS 값은 종래 예보 모델에 비해 매우 높음을 알 수 있다. 이는 벡터 자기장(vector magnetic fields)에 기반한 본 발명이 흑점 분류(sunspot classifications)에 기반한 종래 발명

보다 매우 높은 성능을 보여줌을 의미한다. $H_{C,total}$ and $J_{z,total}$ 를 이용한 예보 모델의 HSS 값은 Bloomfield 등의 예보 모델에 비해 약간 낮다. Shin 등의 예보 모델은 가장 낮은 FAR을 달성하였지만, POD 보다 높은 FAR을 보여준다(이에 반하여, 본 발명의 FAR 값은 POD 보다 낮다). 표 5를 통해 정의된 SEDI는 드문 플레어 이벤트에 유용하므로, 모든 예보 모델의 SEDI를 평가하였다. $H_{C,total}$ and $J_{z,total}$ 를 이용한 예보 모델의 SEDI 값은 0.96으로 종래 기술들에 비해 매우 높은 값을 보여주었다.

[0097] 또 다른 흥미로운 평가 수단으로, POD(probability of detection)가 POFD(probability of false detection)와 ROC 영역(ROC area)의 함수로써 플롯된 ROC 곡선(relative operating characteristic curve)이 있다. 여기서 ROC 영역은 ROC 곡선의 하부 영역을 의미한다. 완벽한 예보가 이루어진 경우, ROC 곡선은 좌측 바닥(bottom left)으로부터 좌측 맨 위(top left)로 이동한 후 우측 맨 위(top right)로 이동하게 된다. 이 경우, ROC 영역은 1이다. 도 5과 표 3에 도시된 바와 같이, $H_{C,total}$ and $J_{z,total}$ 를 이용한 예보 모델이 다른 자기 매개변수를 이용한 예보 모델에 비해 높은 ROC 영역을 보여준다. 또한, 본 발명에 의한 예보 모델은 종래 예보 모델에 비해서도 높은 ROC 영역을 보여주었다.

[0098] 상술한 검증 수단은 본 발명에 의한 예보 모델의 매우 높은 성능을 보여주었다. 본 발명에 의한 예보 모델의 실현 가능성(feasibility)을 보여주기 위해, HARP 7115와 이에 대응하는 근 실시간(near-real time, NRT) 데이터를 이용하여, 본 발명에 의한 예보 모델들 중 자기 매개변수 $H_{C,total}$ 에 기반한 예보 모델에 의하여 2017년 9월 2일부터 6일까지 12분 간격으로 예측된 확률을 평가하였다. 도 6은 GOES X-선 플럭스(GOES X-ray fluxes)와 예측된 확률의 비교 결과를 도시한다. 두 개의 서로 다른 데이터 셋을 이용한 확률은 거의 일치하였다. 예측 기간 동안 HARP 7115에서는 몇몇의 강한 플레어가 발생하였다. 9월 2일에 강한 플레어가 발생할 확률은 거의 0이었고, 실제로 강한 플레어는 발생하지 않았다. 9월 3일부터 9월 4일까지의 기간 동안, 플레어 발생 확률과 X-선 플럭스는 점진적으로 증가하였고, 이 기간 동안 M1.0 클래스보다 강한 4회의 강한 플레어가 발생하였다. 9월 5일부터 9월 6일까지의 기간 동안, 플레어 발생 확률은 거의 60%였고, 7회의 강한 플레어가 발생하였다. 이에 따라, 본 발명은 매 12분 간격으로 업데이트되는, 근 실시간 기반의 강한 플레어 확률 예보의 충분한 가능성을 보여준다.

[0100] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성 요소, 소프트웨어 구성 요소, 및/또는 하드웨어 구성 요소 및 소프트웨어 구성 요소의 집합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시 예들에서 설명된 장치 및 구성 요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(Arithmetic Logic Unit), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor), 마이크로 컴퓨터, FPA(Field Programmable 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(Operation System, 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 기술 분야에서 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 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(Parallel Processor)와 같은, 다른 처리 구성(Processing Configuration)도 가능하다.

[0101] 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, 구성 요소(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.

[0102] 실시 예에 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 실시 예를 위하여 특별히 설계

되고 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), 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 실시 예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0104]

본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성 요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성 요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0106]

10 : 플레어 발생 예측 장치

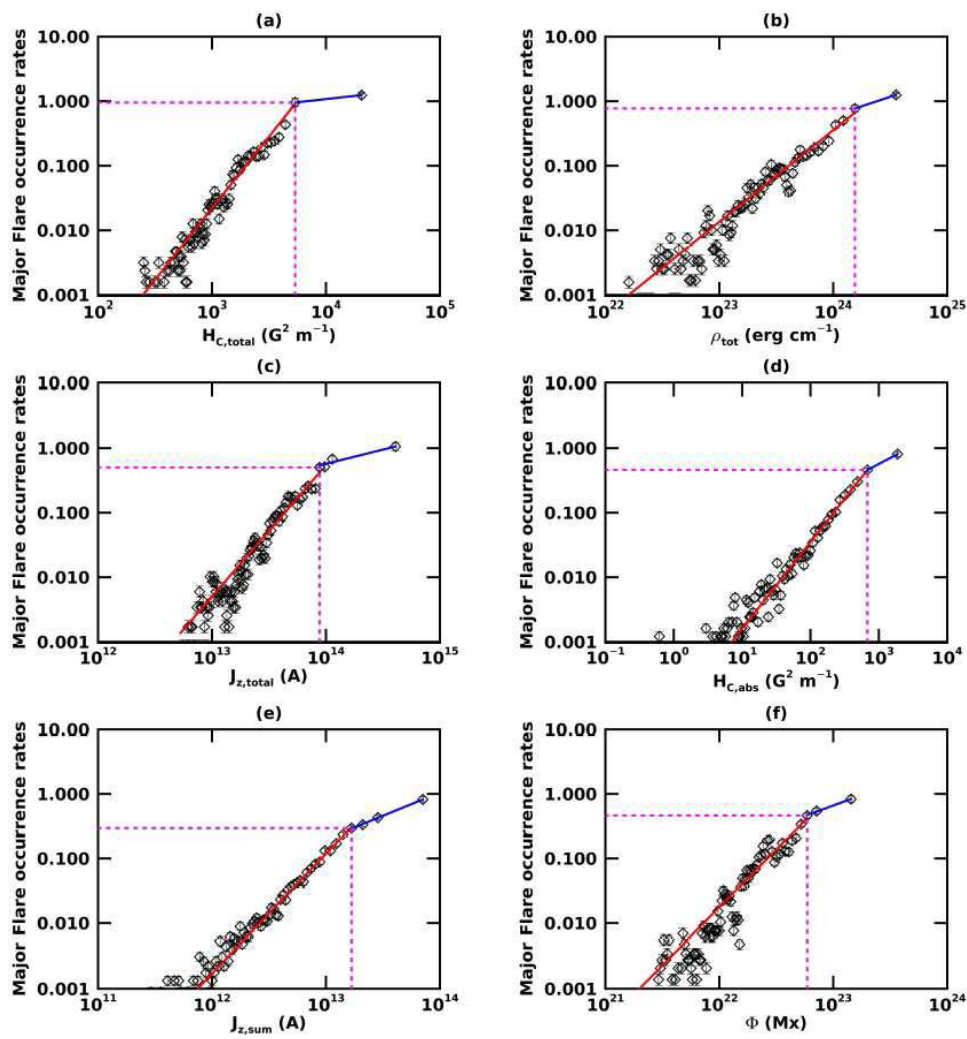
100 : 데이터 수신 모듈

300 : 확률 산출 모듈

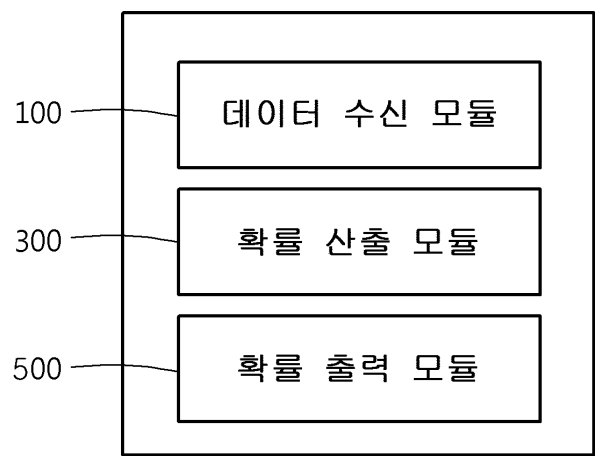
500 : 확률 출력 모듈

도면

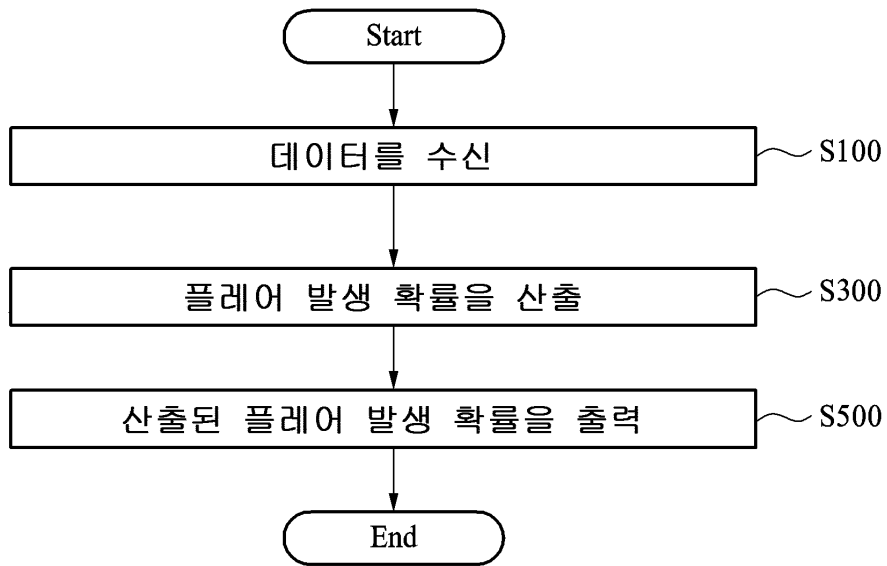
도면1



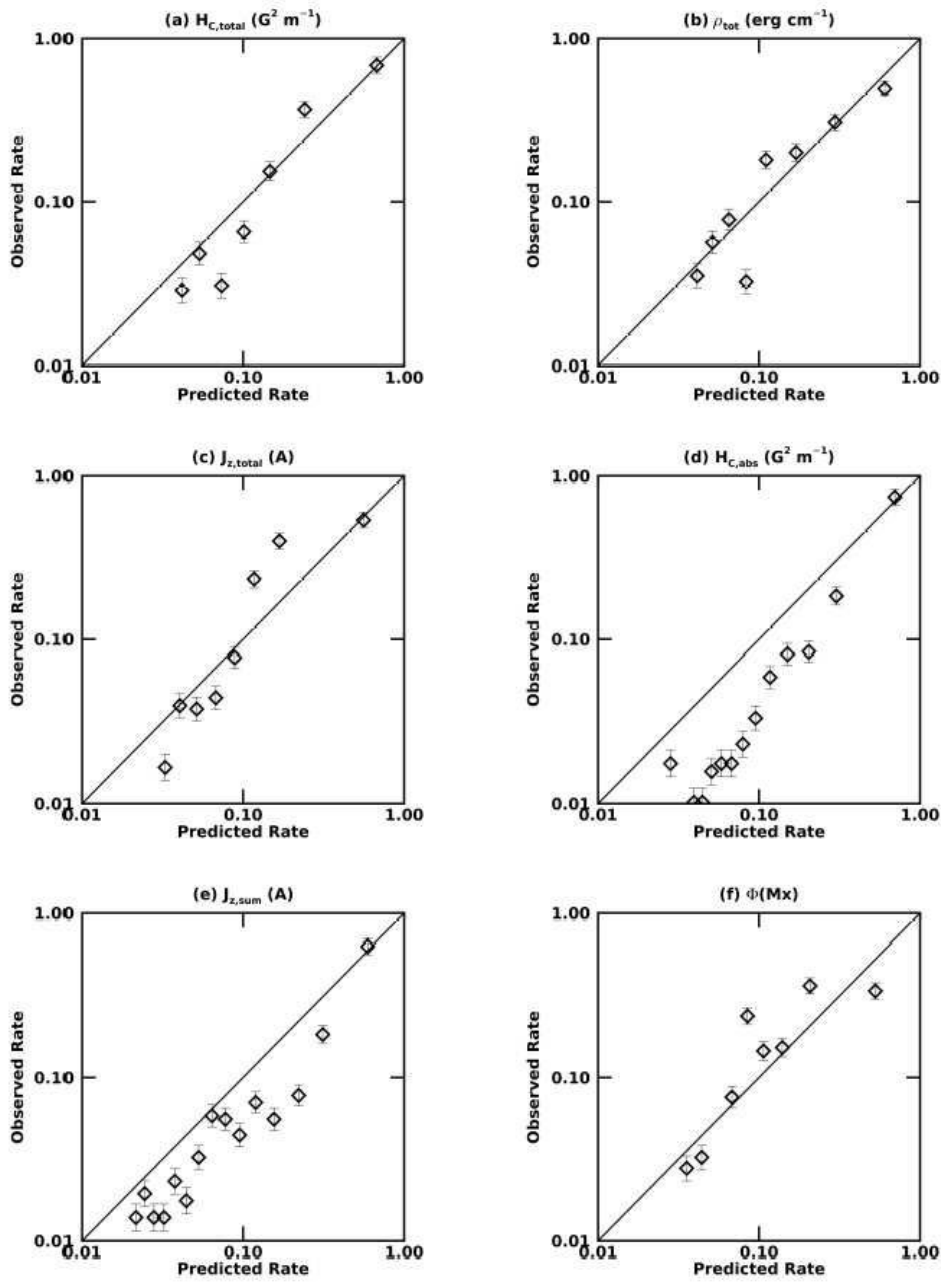
도면2



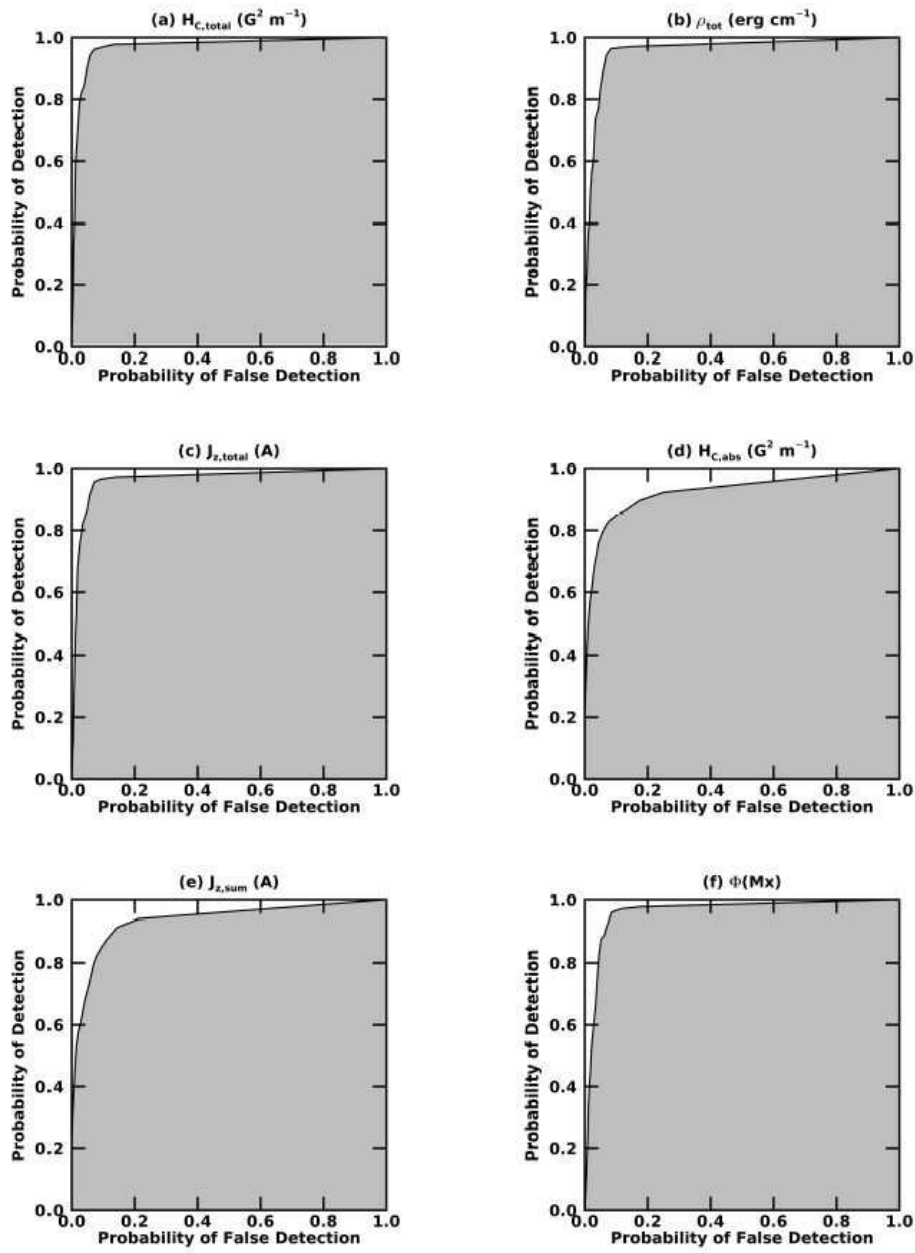
도면3



도면4



도면5



도면6

