

태양활동극대기를 대비한 태양활동예보 THE PREDICTION OF SOLAR ACTIVITY FOR SOLAR MAXIMUM

이진이, 장세진, 김연한, 김갑성
경희대학교 우주과학과

JINNY LEE, SE JIN JANG, YEON HAN KIM AND KAP-SUNG KIM
Department of Astronomy & Space Science, Kyung Hee University
Received Nov. 3, 1999; Accepted Nov. 26, 1999

ABSTRACT

We have investigated the solar activity variation with period shorter than 1000 days, through Fourier transformation of solar cycle 21 and 22 data. And real time predictions of the flare maximum intensity have been made by multilinear regression method to allow the use of multivariate vectors of sunspot groups or active region characteristics. In addition, we have examined the evolution of magnetic field and current density in active regions at times before and after flare occurrence, to check short term variability of solar activity. According to our results of calculation, solar activity changes with periods of 27.1, 28.0, 52.1, 156.3, 333.3 days for solar cycle 21 and of 26.5, 27.1, 28.9, 54.1, 154, 176.7, 384.6 days for solar cycle 22. Periodic components of about 27, 28, 53, 155 days are found simultaneously at all of two solar cycles. Finally, from our intensive analysis of solar activity data for three different terms of 1977~1982, 1975~1998, and 1978~1982, we find out that our predictions coincide with observations at hit rate of 76%, 63%, 59 respectively.

Key words: solar activity, flare, regression method

1. 서론

태양으로부터의 에너지 방출량은 미세한 변화를 보이고 있는데 태양에서 1AU 떨어진 곳의 태양 에너지인 태양 상수를 측정해보면 실제로 태양활동에 따라 단기적, 장기적으로 극미하게 변화하고 있으며 이러한 태양활동의 변화는 지구에서 살고있는 우리의 생활에 직·간접적 영향을 주고 있다. 태양은 물론 우리에게 꼭 필요한 절대적 존재로서 그 에너지가 우리생활에 대단히 유용하게 이용되지만 태양의 폭발적 표면활동은 우리의 생활에 치명적인 해를 끼치기도 한다. 대표적 태양활동의 하나인 태양플레어는 막대한 에너지의 복사선과 하전입자들이 방출되는 급격한 현상으로 이들이 태양-지구간 공간을 따라 지구로 진입함에 따라 지구주변 우주환경을 교란시켜 우리의 생활에 큰 피해를 줄 수 있다. 이러한 이유로 태양의 활동을 미리 예측하여 우리의 생활에서 일어날 수 있는 피해를 최소한으로 줄이고 이에 대비할 수 있는 능력을 갖추고자 하는데 본 연구의 의의를 찾을 수 있다.

태양 활동 예보는 크게 세 가지로 나누어지며 1~2일 단위로 X선 폭발과 프로톤증가를 예보하는 단기 예보, 태양 자전주기의 반에 상당하는 12~15일 단위로 플레어 발생 및 태양 흑점 수를 예보하는 중기 예보와 11년 태양주기 단위로 흑점발생 수를 예측하는 장기 예보가 있다. 본 연구에서는 2장에서 제 21, 22 태양활동 주기의 단 주기 성분을

분석하였으며 3장에서는 단기예보 중 단 한번의 폭발현상 만으로도 지상은 물론 지구주변 우주환경에 큰 영향을 미칠 수 있는 플레어의 실시간 예보를 수행하였다. 물론, 지구를 비롯한 행성간 공간에 영향을 미치는 활동현상이 플레어에 국한된 것은 아니며 폭발성 분출 홍염이나 태양질량 방출(Coronal Mass Ejections, 이하 CME로 칭함)현상도 있다. 플레어와 CME에 대한 관련성의 유무가 "Solar Flare Myth" (Gosling, 1993, 1994) 이후 계속해서 논쟁이 되고 있으나 현재 이들은 서로가 영향을 미치지 않고 독립적으로 발생(Harrison 1995)한다고 알려져 있다.

태양플레어는 두 가지로 분류(Pallavicini et al. 1977)되며, 하나는 'impulsive' 플레어로 X-ray 관측에서 순간적인 밝기의 증가로 나타나며, 다른 하나는 'gradual' 플레어로 X-ray 관측에서 수 시간 동안 밝기 증가가 계속된다. 'gradual'의 경우 Type II 전파폭발과 함께 지구주변환경에 극심한 영향을 끼치며 프로톤의 큰 증가를 가지고 오는 'proton event'의 현상이 수반되며 CME와 100% 상관(Kahler et al. 1984, Hudson et al. 1995) 또는 밀접한 관계 (Kahler S. W. 1992)가 있다. 아직까지 CME에 대한 발생원인, 발생 시간 등 많은 연구가 계속되고 있으며 이러한 연구가 충분히 수행된 후에 CME에 대한 예측도 가능할 것이라 여겨진다.

2. 태양 주기 21, 22의 단주기 활동 분석

본격적인 태양 플레어 예보에 앞서 자체의 다양한 주기성들로 인하여 적당한 태양 활동 분석 방법으로 사용되지 못하고 있는 푸리에 변환을 통해 태양 활동의 단주기 성분을 분석하였다. 이 분석에 사용되는 데이터는 주기 21과 22의 일일 상대 흑점 수이며, 이 데이터를 이용하여 1000일 이하의 단주기 성분들을 찾아내 두 주기를 비교하였다. 그림 1와 2는 태양 활동 주기 21, 22 각각의 일일 상대 흑점 수 변화와 그 파워 스펙트럼을 분석한 것이며 백그라운드 효과를 제거하기 위하여 각 주기의 평균 흑점 수를 각각의 데이터에서 제거한 후 동일한 방법으로 그린 것이다. 주기 21의 데이터는 1976년 6월에서 1986년 8월까지의 3743일, 주기 22의 데이터는 1986년 9월에서 1996년 4월까지의 3529일이다. 그림 1과 2의 파워 스펙트럼을 보면 다양한 주기 성분들이 존재함을 알 수 있는데 관심을 가지고 있는 1000일 미만의 주기성분에 대한 조사를 하기 위하여 절단 주파수를 1000일에 해당하는 0.001로 정한 고주파 투과 필터를 제작하여 장주기 성분들을 제거한 후 주파수 성분들을 분석하였다. 고주파 필터는 신호 처리에서와 같이 아래의 SINK 함수를 이용하여 제작하였다.

$$f(x) = \frac{\sin(2\pi f_c n)}{\pi n} \quad (1)$$

여기서 f_c 는 절단 주파수이고 이 SINK 함수와 고주파 필터를 그림 3에 나타내었다.

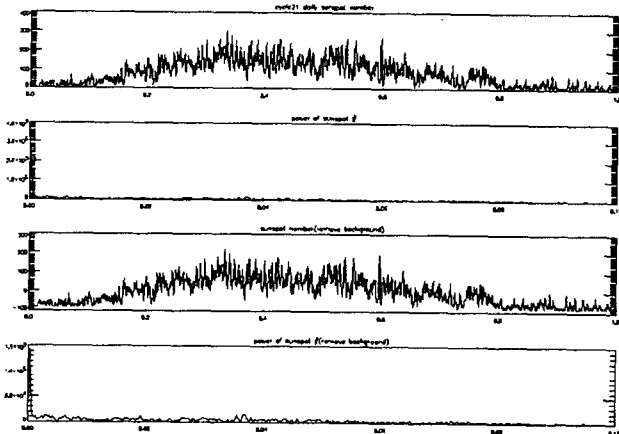


그림 1.— 주기 21의 일일 상대 흑점 수 및 평균 제거 이후의 상대 흑점수 변화와 파워스펙트럼

이 고주파 필터를 이용하여 주기 21, 22의 태양 상대 흑점 수의 1000일 미만의 주기 성분을 조사한 결과, 파워 스펙트럼은 그림 4, 5와 같이 나타났고 이를 정리한 결과가 표 1에 나타나 있다. 가장 파워가 큰 단기 활동주기는 자료의 종류에 관계없이 모두 27.1일로 나타났는데 주기 21과 22 모두 태양의 자전 주기로 알려져 있는 26.5일에서 29일 사이의 성분이 여러 개 존재함을 알 수 있었다. 두 주기에 유사한 성분으로는 주기 21, 22의 순서로

52.1일과 54.1일, 73.5일과 74.6일 그리고 156.3일과 154일이 있었으며 그 밖에 우세한 주기 성분들로는 주기 21에 33.5일, 37.9일, 147.1일, 769.2일, 333.3일 그리고 주기 22에는 41.0일, 47.6일, 61.0일, 65.4일, 88.5일, 176.7일, 384.6일 등이 있었다.

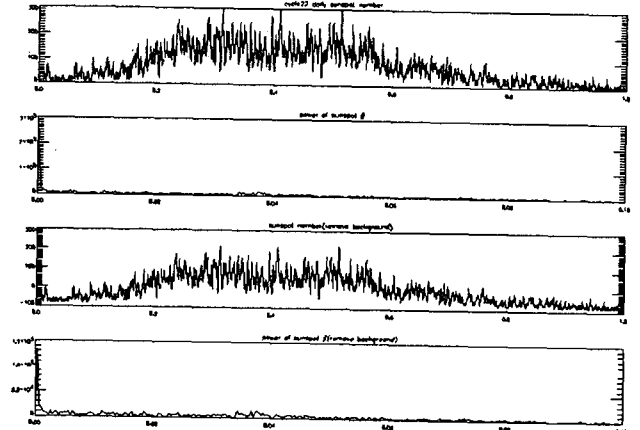


그림 2.— 주기 22의 일일 상대 흑점 수 및 평균 제거 이후의 상대 흑점수 변화와 파워스펙트럼

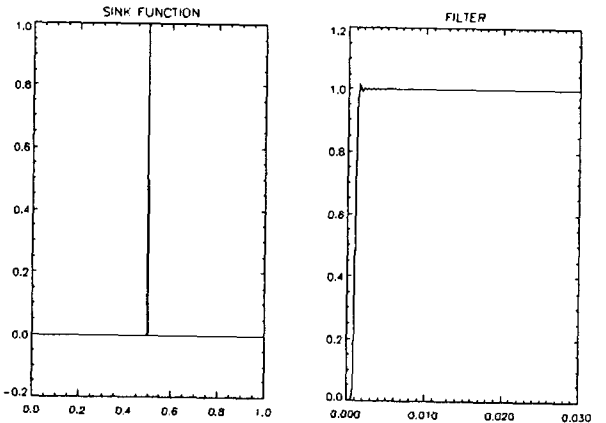


그림 3.— 절단 주파수 0.001의 sink 함수와 고주파 필터

3. 플레어 발생예보

폭발적 태양 활동 현상의 하나로서 태양 플라즈마가 가열되고 입자들이 고속으로 가속되는 플레어 현상은 자기장의 재결합에 의하여 발생하는 것으로 믿어진다. 플레어 발생 이전에 나타나는 다양한 변화들은 사전에 반드시 관측되지는 않으며 예고없이 플레어가 발생하는 경우도 있다. 태양 플레어의 에너지원은 태양활동 지역의 non-potential 자기장이며 이러한 자기장은 태양 활동지역의 대규모 플라즈마 또는 물질 운동, 플럭스의 출현(emerging flux), 플럭스의 소멸(cancelling flux)과 같은 과정들에 의해 생성되고 특히 플럭스 소멸현상은 플레어 발생의 충분조건으로 태양

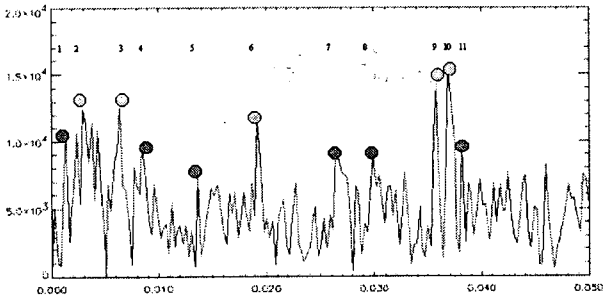


그림 4.- 제 21 주기의 고주파 성분 분석용 파워스펙트럼. 가로 및 세로축은 각각 주파수와 파워를 나타내고 장주기 성분 순서로 상단에 번호부여.

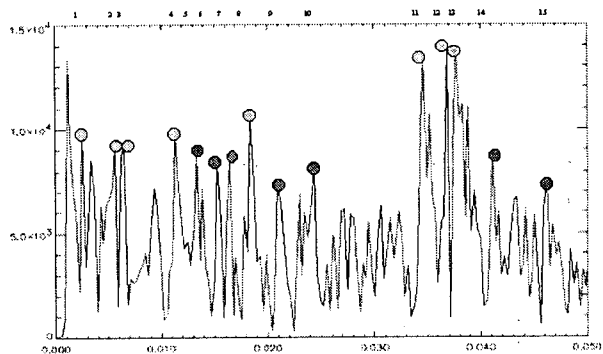


그림 5.- 제22 주기의 자료의 파워스펙트럼. 가로축은 진동수, 세로축은 파워를 각각 나타내고 상단 번호는 주기가 긴 성분 순서로 부여.

플레어 예보용 중요자료(Martine et al. 1985)로 활용될 수 있다. 태양 플레어를 예보하기 위해서는 무엇보다도 태양플레어의 발생과정에 대한 이해가 요구되는데 현재의 예보방법은 대부분 통계적인 방법에 의존하고 이에 사용되는 지수 역시 Zurich 흑점분류와 같은 개괄적인 분류가 이용되고 있다. 그러나 보다 정확한 예보를 수행하기 위해서는 활동 영역의 진화 및 태양 플레어의 발생 연구 등을 통해 새로운 예보용 지수 및 수치예보 모델개발이 절실히 요구되는 바이다.

3.1. 활동영역 자기장 변화

태양 활동 영역의 자기장 구조 변화는 태양 활동의 정도를 예측할 수 있는 중요한 정보로 태양 활동예보에 기초자료로 활용될 수 있다. 태양 활동 영역의 광구 자기장은 마그네토그래프(magnetograph)로 관측하며 코로나 자기장은 모델계산을 통하여 추정할 수 있다. 마그네토그램(magnetogram)을 이용한 모델 계산에서 도출되는 shear angle(관측되는 자기장의 수평성분과 계산되는 potential 자기장의 수평성분 사이의 각)과 수직전류는 자기

표 1.- 태양 상대 흑점 수의 1000일 미만 주기 성분

번호	주기 21		주기 22	
	주파수	주기	주파수	주기
1	0.0013	769.2	0.0026	384.6
2	0.0030	333.3	0.0057	176.7
3	0.0064	156.3	0.0065	154
4	0.0086	147.1	0.0113	88.5
5	0.0136	73.5	0.0134	74.6
6	0.0192	52.1	0.0153	65.4
7	0.0264	37.9	0.0164	61.0
8	0.0299	33.5	0.0185	54.1
9	0.0357	28.0	0.0210	47.6
10	0.0369	27.1	0.0244	41.0
11	0.0382	26.2	0.0346	28.9
12			0.0369	27.1
13			0.0377	26.5
14			0.041	24.4
15			0.046	21.7

구조의 불안정 정도를 반영한다. 또한, 플레어를 전후하여 non-potential 자기구조가 potential 자기구조로 변하면서 수직전류와 shear angle 분포가 변화됨을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 potential 자기장 모델 계산을 통하여 최근에 발생한(99년 8월2일) 플레어 발생 지역에서 플레어 전후의 수직전류감소를 확인하였다. 앞으로 위성에서 관측되는 플라즈마 구조(EUV, soft X-ray)와의 비교를 통하여 플레어를 전후한 자기장의 구조 변화의 지속적인 감시는 물론, 활동성과 관련되는 지수를 산출하여 태양활동예보에 활용하고자 한다.

그림 6은 1999년 8월2일 발생한 플레어의 예이며 그림 7은 플레어의 발생 전·후의 자기장 구조의 모습과 수직전류의 변화 모습을 보여준다. 그림 8은 97년 11월 6일 발생한 X급 플레어 발생 전·후의 자기장구조와 수직전류의 변화 모습을 보여주며 두 플레어에서 모두 수직 전류의 급격한 감소를 확인할 수 있다. 표 2에 이상의 결과를 정리하였다.

3.2. 실시간 플레어 최대세기 예보

플레어예보는 태양활동 단기 예보에서 가장 중요한 것으로 본 연구에서는 통계처리를 이용하여 수치예보가 가능할 수 있도록 하였다. 실시간 플레어 발생 예보는 다중 선형회귀방법을 이용한 모델(이진이, 김갑성 1996)과 동일한 방법으로 개발하였으며 예보용 자료를 실시간으로 취득하는데 한계가 있기 때문에 플라지와 광학플레어의 밝기에 따른 분류 데이터를 제외시키고 모델 계산하였다. 실시간 예보를 위해 사용된 태양활동 자료 및 취득 장소는 표 3과 4에 나타나 있다. 그림 9는 예보하고자 하는 날의 흑

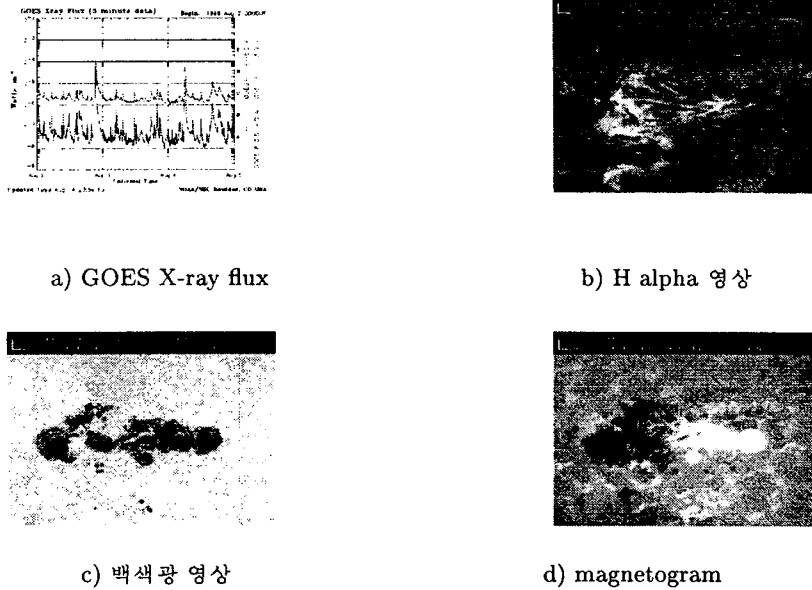


그림 6.- 지난 1999년 8월 2일에 발생한 플레어를 확인할 수 있는 GOES 위성 X선자료(a)와 당시 BBSO에서 관측한 H α (b), 백색광(c) 및 마그네토그램(d).

표 2.- 1999년 8월 2일과 1997년 11월 6일 발생 플레어의 수직전류와 자기에너지 변화 비교

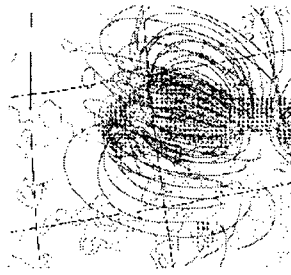
	1999년 8월 2일 플레어 (태양 disk center 근처)		1997년 11월 6일 플레어 (태양 limb 근처)	
	발생 전 (약 17시간전)	발생 후 (약 3시간후)	발생 전 (약 7시간전)	발생 후 (약 14시간후)
total pos. current	1.76 × 10 ¹³ A	1.52 × 10 ¹³ A	3.31 × 10 ¹³ A	1.52 × 10 ¹³ A
total neg. current	1.73 × 10 ¹³ A	1.52 × 10 ¹³ A	1.73 × 10 ¹³ A	1.52 × 10 ¹³ A
mag. energy (potential field)	1.56 × 10 ³² erg	3.74 × 10 ³¹ erg	1.56 × 10 ³² erg	3.74 × 10 ³¹ erg
mag. energy (observed data)	1.79 × 10 ³² erg	1.69 × 10 ³² erg	1.79 × 10 ³² erg	1.69 × 10 ³² erg

점 자료, 그림 10은 예보하고자 하는 전날의 2800MHz 전파세기와 광학플레어의 면적중요도(Area Importance)에 대한 입력데이터 파일의 예를 보여준다. 플레어데이터는 GOES 위성의 X선 1분 평균 자료를 대상으로 SEC(Solar Environment Center)에 사용한 같은 방법으로 플레어를 선택하였다. 플라지와 광학플레어데이터는 다음날 플레어 발생과의 관계성(이진이, 김갑성 1996)이 작기 때문에 이들 데이터의 결여가 문제시되지 않는다고 생각된다. 플라지 데이터를 제외한 모델에서 시험된 4개의 태양활동지역에 대한 예보를 수행하였으며 그 결과를 표 5에 나타내었다. 또한, 8월 24일부터 9월 15일까지의 결과를 표 6에 수록하였으며 11월 3일부터 12월 22일까지의 예보 결과와 미국립 해양 대기부(NOAA) 산하 우주환경센터(SEC)의 예보를 비교하여 표 7에 나타내었다. SEC의 경우는 다음 3일 동안의 M급과 X급의 플레어 발생확률을 예보하는데

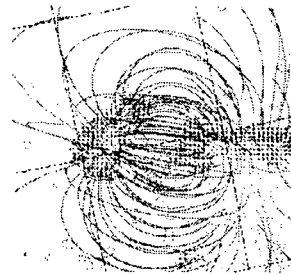
그 실례가 그림 11에 나타나 있다.

3.2.1. 태양활동지역의 플라지 데이터를 제외한 예보결과

표 5에 나타난 바와 같이 M플레어의 경우는 37.5% (3개/8개), X플레어의 경우 33.3% (2개/6개)로 예보되었으며 지구에 극심한 영향을 미치는 플레어의 세기는 일반적으로 M5(5 × 10⁻⁵ W/m²) 이상의 플레어 9개의 발생 중 * 표시된 4개를 제외한 5개는 거의 정확히 예보될 수 있었음을 볼 수 있다. 따라서 이의 예보 적중률은 55%이다. AR8100지역에 대한 예보계산에서 두 개의 X플레어(10⁻⁴ W/m²)가 모두 예보되었다.



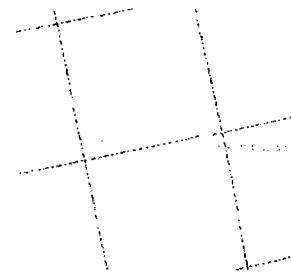
(a) 플레어 발생 전의 자기장



(b) 플레어 발생 후의 자기장

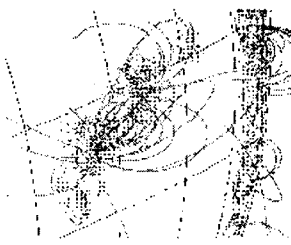


(c) 플레어 발생 전의 수직전류

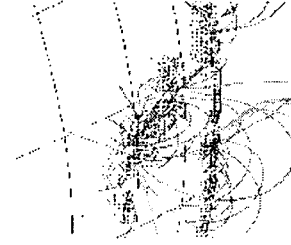


(d) 플레어 발생 후의 수직전류

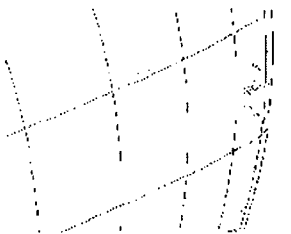
그림 7.— 1999년 8월2일 플레어 발생 전·후의 자기장 구조 (a,b) 및 수직전류 변화모습 (c,d)



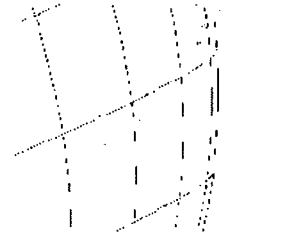
a) 플레어 발생 7시간전의 자기장 구조



b)플레어 발생 후 14시간 후의 자기장 구조



c) 플레어 발생 7시간 전의 전류밀도



d)플레어 발생 후 14시간 후의 전류밀도

그림 8.— 1997년 11월 6일 플레어(X급) 발생 전후의 자기장구조와 전류밀도도.

표 3.— 입력 자료

입력 데이터	
광구 데이터	
X0	흑점의 Z분류
X1	흑점의 p분류
X2	흑점의 c분류
X3	흑점의 자기 분류
X4	흑점집단의 면적
X5	흑점 집단에서 흑점의 수
X선 플레어 데이터	
X6	X선 플레어의 최대 세기
X7	X선 플레어의 평균 세기
X8	$C2 < X선 플레어의 세기 < C4$
X9	X선 플레어의 세기 $> C4$
X10	C급 플레어의 수
X11	M급 플레어의 수
X12	X급 플레어의 수 $\times 10$
X13	광학 플레어 면적 중요도(Areal Importance) S의 수
X14	광학 플레어 면적 중요도 1의 수
X15	광학 플레어 면적 중요도 2의 수
X16	광학 플레어 면적 중요도 3의 수 $\times 10$
X17	2800MHz전파 세기
출력 값	
Y	다음날 발생할 X선 플레어의 최대 예상 세기

표 4.— 데이터 취득 장소

흑점 데이터	종류
	흑점 면적
ftp://wolar.sec.noaa.gov/pub/forecas	흑점의 수
ts/SRS/mmddSRS.txt	흑점 분류(Zpc)
	흑점 자기분류(Mt. Wilson)
ftp://solar.sec.noaa.gov/pub/indices/	전날의 2800MHz 전파 세기($W/m^{-2}Hz^{-1}$),
quar_DSD.txt	광학 플레어의 면적 중요도
ftp://solar.sec.noaa.gov/pub/lists/xray/	전날의 최대 플레어 세기 및 플레어 수

표 5.— 플라지데이터를 제거한 모델계산결과

AR8100			AR8113			AR8210			AR8395		
날짜	관측치	예보치	날짜	관측치	예보치	날짜	관측치	예보치	날짜	관측치	예보치
97			97			98			98		
10/28	C5.9	C2.1	11/27	* X2.6	C7.4	4/28	B8.3	C2.3	11/25	C6.4	C8.9
10/29	B1.7	C5.5	11/28	M6.8	M4.4	4/29	* M6.8	C2.9	11/26	B1.6	C3.1
10/30	B6.7	C2.4	11/29	M6.4	M3.9	4/30	C6.6	C7.2	11/27	M1.6	C5.3
10/31	B6.4	C3.1	11/30	C2.9	M2.8	5/01	C2.8	M1.2	11/28	* X3.3	M2.3
11/01	B8.7	C3.5	12/01	M1.2	C5.0	5/02	* X1.1	C6.7	11/29	C2.1	M1.7
11/02	C2.3	M4.1	12/02	B9.5	M1.6	5/03	M1.4	M3.1			
11/03	M4.2	C4.4	12/03	C2.1	C5.5	5/04	C3.0	M1.5			
11/04	X2.1	X2.0	12/04	C1.4	M1.3	5/05	M2.5	C7.4			
11/05	C8.1	X1.4				5/06	X2.7	M9.8			
11/06	X9.4	X2.4									
11/07	C1.1	X2.9									

표 6.— 실시간 플레어 예보 결과

날짜	관측값	Case1	Case2	Case3
8/24	C5.4	C2.2	C2.8	C1.6
8/25	M3.7	C4.4	C5.4	C6.3
8/26	C7.1	C2.1	C6.0	M1.3
8/27	M5.6	C5.8	C4.9	C4.4
8/28	X1.1	M1.7	C8.3	M1.0
8/29	C9.6	C7.4	M1.5	M3.8
8/30	M3.8	M1.2	C9.0	M2.3
8/31	C8.8	C6.4	M1.0	M3.0
9/1	C6.7	C1.5	C4.8	C4.3
9/2	C5.4	C1.2	C4.0	C4.5
9/3	C1.8	B8.2	C3.2	C3.2
9/4	B9.8	C1.1	C2.6	C3.1
9/5	C2.0	C1/1	C1.7	B8.0
9/6	C1.7	C1.0	C2.6	C5.7
9/7	C2.7	B6.0	C2.4	C3.3
9/9	C3.4	B4.2	C2.0	B8.7
9/8	M1.4	B7.2	C2.0	B8.8
9/10	C8.7	B5.4	C2.1	B8.9
9/11	C1.1	C1.5	C2.8	C6.7
9/12	C2.5	C1.6	C2.9	C7.5
9/13	C5.0	C2.2	C3.7	C6.4
9/14	C2.8	C1.9	C2.6	C1.6
9/15	C2.9	C1.4	C3.5	C3.2

```

:Product: 0718SRS.txt: Issued: 1999 Jul 18 0040 UT
# Prepared jointly by the U.S. Dept. of Commerce, NOAA,
# Space Environment Center and the U.S. Air Force.
#
JOINT USAF/NOAA SOLAR REGION SUMMARY
SRS NUMBER 199 ISSUED AT 0030Z ON 18 JUL 1999
REPORT COMPILED FROM DATA RECEIVED AT SWO ON 17 JUL
I. REGIONS WITH SUNSPOTS. LOCATIONS VALID AT 17/2400Z
NMBR LOCATION LO AREA Z LL NN MAG TYPE
8625 S18W66 117 0080 DAO 10 09 BETA
8627 S13W47 098 0150 FAO 17 16 BETA-GAMMA-DELTA
8628 N19W62 113 0100 DAO 10 11 BETA
8631 N11W03 054 0080 DAO 03 07 BETA
8636 N20E73 338 0070 CAO 07 04 BETA
    
```

그림 9.— 실시간 플레어 예보를 위한 태양흑점데이터(어두운 부분 : 이용 데이터)

```

:Product: Daily Solar Data          quar_DSD.txt
:Issued: 0225 UT 18 Jul 1999
#
# Prepared by the U.S. Dept. of Commerce, NOAA, Space Environment Center.
# Please send comments and suggestions to sec@sec.noaa.gov
#
# Quarterly Daily Solar Data
#
          Sunspot          Stanford GOES8
          Radio SESC          Solar X-Ray  ----- Flares -----
          Flux Sunspot 10E-6  New Mean Bkgd  X-Ray      Optical
          Date 10.7cm Number Hemis. Regions Field Flux C M X S 1 2 3
1999 07 17 137 97 480 1 -999 B6.5 8 0 0 12 0 0 0
1999 07 18 -1 -1 -1 -1 -999 * 1 0 0 0 0 0 0
    
```

그림 10.— 실시간 플레어 예보를 위한 2800MHz와 광학플레어의 면적중요도 데이터 (어두운 부분 : 이용 데이터)

3.2.2. 실시간 플레어 예보결과

세 가지 모델에 대해 계산한 결과를 나타내었으며 Case1 은 1977년-1982 년까지의 자료를, Case2 는 1975년-1998년 까지의 자료를, Case3는 1978년-1982년, 1988년-1992 년 까지의 자료를 이용한 모델이다. 예보정확도는 Case1은 71%, Case2는 63%, Case3는 59%로 각각 예보되었다. 이러한 예보결과 중 11월 3일부터 12월 22일까지의 결과를 SEC의 예보결과와 비교하면, 확률 50%이상으로 예보된 M급 플레어가 실제 발생하였을 때 이 예보를 정확한 것으로 취급할 경우, SEC의 정확도는 82%, Case1의 정확도는 86%, Case2의 정확도는 27%, Case3의 정확도는 55%로 계산되었다. 그러나 8월28일과 11월 27일 발생한 X급 플레어는 SEC, Case 1, Case2, Case3 모두 예보하지 못하였으며 SEC과 Case1, Case3에서 M급 플레어가 발생할 것으로 예보되었다.

태양활동 극대기를 대비하여 오늘의 날짜(YYYY,MM,DD)를 입력하여 그 날의 최대 X-선 플레어 세기를 예보할 수 있도록 하였으며 더욱더 정확한 예보를 위하여 플레어와 상관 관계가 큰 여러 태양활동

동자료(필라멘트의 성장, 쇠퇴모습, 자기력선의 변화모습 등)의 꾸준한 관측과 기록이 수행되어야 하며 이를 통계계산에 적용시키기 위해 수치화 하는 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

4. 결론

이상의 연구에서 알아본 바와 같이 태양의 상대 흑점 수의 변화 주기 중에서 우리가 잘 알고 있는 것과 같은 22년, 11년, 27일~30일 주기 외에도 주기 21과 22에 1000일 미만의 주기 성분들 중에 공통적으로 약 53일, 74일, 155일의 단주기 성분이 있으며, 개별적으로 주기 21에는 333.3일, 147.1일, 37.9일, 33.5일 그리고 주기 22에는 384.6일, 176.7일, 88.5일, 65.4일, 61일, 47.6일, 41일 등이 있음을 알 수 있었다. 이후에 다른 태양 활동 관련 자료에 대한 이와 같은 분석은 계속적으로 요구되고 있으며 관심이 가는 주기 성분에 따라 질단 주파수를 조절하여 분석하면 장, 단 주기의 여러 가지 주기 성분에 대한 연구가 가능할 것이라 여겨진다. 또한 각 주기의 단주기 성분을 분석하여


```

:Product: 1221RSGA.txt
:Issued: 1999 Dec 21 2210 UT
# Prepared jointly by the U.S. Dept. of Commerce, NOAA,
#Space Environment Center and the U.S. Air Force.
#
JOINT USAF/NOAA REPORT OF SOLAR AND GEOPHYSICAL ACTIVITY
SDF NUMBER 355 ISSUED AT 2200Z ON 21 DEC 1999
IA. ANALYSIS OF SOLAR ACTIVE REGIONS AND ACTIVITY FROM 20/2100Z
TO 21/2100Z: SOLAR ACTIVITY WAS MODERATE. REGION 8806 (N19E24)
PRODUCED AN M1/1N AT 21/1719UT. REGION 8806 IS THE LARGEST REGION ON
THE DISK AND CONTINUES TO BE MAGNETICALLY COMPLEX. REGION 8798
(S13W33), THE SECOND LARGEST REGION ON THE DISK, HAS ONLY PRODUCED
SMALL C FLARES. A CME WAS OBSERVED BY SOHO AROUND 1600UT ON THE
20TH, BUT APPEARED TO BE A BACKSIDE EVENT. THE OBSERVED 10CM RADIO
FLUX REPORTED IN PART IV MAY BE FLARE ENHANCED.
IB. SOLAR ACTIVITY FORECAST: SOLAR ACTIVITY IS EXPECTED TO BE LOW
TO MODERATE. THERE IS A FAIR CHANCE FOR MAJOR ACTIVITY FROM EITHER
REGION 8798 OR REGION 8806.
IIA. GEOPHYSICAL ACTIVITY SUMMARY FROM 20/2100Z TO 21/2100Z:
THE GEOMAGNETIC FIELD HAS BEEN BASICALLY QUIET.
IIB. GEOPHYSICAL ACTIVITY FORECAST: THE GEOMAGNETIC FIELD IS
EXPECTED TO BE QUIET TO UNSETTLED.
III. EVENT PROBABILITIES 22 DEC-24 DEC
CLASS M 50/50/50
CLASS X 15/15/15
PROTON 05/05/10
PCAF GREEN
IV. PENTICTON 10.7 CM FLUX
OBSERVED 21 DEC 217
PREDICTED 22 DEC-24 DEC 200/195/190
90 DAY MEAN 21 DEC 172
V. GEOMAGNETIC A INDICES
OBSERVED AFR/AP 20 DEC 004/003
ESTIMATED AFR/AP 21 DEC 004/005
PREDICTED AFR/AP 22 DEC-24 DEC 007/010-007/007-005/007
VI. GEOMAGNETIC ACTIVITY PROBABILITIES 22 DEC-24 DEC
A. MIDDLE LATITUDES
ACTIVE 25/10/10
MINOR STORM 10/01/01
MAJOR-SEVERE STORM 01/01/01
B. HIGH LATITUDES
ACTIVE 25/20/15
MINOR STORM 10/05/01
MAJOR-SEVERE STORM 01/01/01

```

그림 11.— SEC(Space Environment Center) 우주환경예보

각 주기의 단주기 성분과 그 주기의 최대 상대 흑점 수와의 관계를 알아보는 것도 흥미 있는 과제가 될 것으로 여겨진다.

또한 실시간 플레어 예보는 전체 모든 플레어에 대해서 Case 1, Case 2, Case3에서 각각 71%, 63%, 59%로 예보되었다. 또한 M급 플레어의 발생을 SEC에서는 82%, Case1, Case2, Case3에서는 각각 86%, 27%, 55%로 예보되었다. Case1이 Case2보다 정확히 예보된 이유는 두가지로 생각할 수 있는데 하나는 Case2가 24년간의 데이터를 통계처리한 것에 비해 Case1은 5년간의 데이터를 통계처리한 것으로 통계처리에서 많은 데이터의 사용이 반드시 좋은 것은 아닐 수도 있다는 것이며 다른 하나는 Case1의 데이터가 1977년부터 1982년의 데이터로 이 당시는 태양 활동이 비교적 활발했던 시기로 현재가 태양 활동이 활발한 기간으로 그때의 자료가 더욱 정확히 예보될 수 있다고 생각할 수 있다. 또한 태양 활동 극대기인 1978년부터 1982년, 1988년부터 1992년의 데이터로 통계 모델한 Case3의 경우

역시 Case1보다는 정확하지 않은 결과를 얻었다. 이러한 이유로 Case1의 경우가 통계처리 과정에서 적당한 양의 데이터의 사용임을 알 수 있고 또한 현재의 태양 활동 극대기를 예보하고자 하는 경우는 태양 극대기 때의 자료를 통계처리한 모델이 좀 더 정확한 예보를 할 수 있음을 알 수 있다. 앞으로 통계처리 방법에 대해 데이터의 선택 방법, 가중치 적용 등과 같은 다양한 연구가 요구된다. 또한 통계 처리에 사용되는 태양활동을 나타내는 지수들은 아직까지 복잡한 태양 활동 모습에 대한 정보를 나타내기에는 미흡하다. 따라서 어떠한 태양활동이라도 이를 예측할 수 있는 새로운 수치예보용 지수의 개발이 필요하다고 여겨진다. 끝으로 보다 정확한 예보를 위해 지속적인 태양 활동의 감시, 관측을 통해 태양 활동 영역의 자기장 구조, 전류 밀도, 플럭스 소멸등, 갑작스런 태양 활동변화의 징후를 정확히 판단, 이를 예측하여 대비할 수 있도록 꾸준한 연구가 수행되어야 할 것이다.

표 7.— 실시간 플레어 예보결과와 SEC예보와의 비교

날짜	관측값	모델계산값			SEC		날짜	관측값	모델계산값			SEC	
		Case1	Case2	Case3	M급 (%)	X급 (%)			Case1	Case2	Case3	M급 (%)	X급 (%)
11/3	C8.99	C8.35	C2.14	B9.52	15	1	11/28	M3.54	C9.9	M1.08	M1.45	55	10
11/4	C7.92	C8.34	C3.17	C6.35	10	1	11/29	M1.16	M1.03	C9.08	M1.96	60	10
11/5	M3.09	C8.65	C2.44	C1.47	10	1	11/30	C2.72	C9.61	C5.23	C8.86	50	1
11/6	C5.06	C9.42	C4.11	C1.89	30	5	12/1	C1.46	C9.54	C3.62	C6.71	40	1
11/7	C3.18	C8.77	C3.55	C3.63	30	5	12/2	C5.31	C9.65	C2.84	C1.62	20	1
11/8	C8.54	M1.02	C6.59	C2.91	40	10	12/3	C6.38	C9.71	C4.60	C2.90	15	1
11/9	M1.16	M1.12	C7.37	C7.44	70	15	12/4	C4.31	C8.89	C4.10	C3.84	20	1
11/10	M1.51	M1.35	C5.84	C7.58	75	15	12/5	C3.28	C8.65	C2.50	C1.43	10	1
11/11	C8.63	M1.46	M1.17	M3.95	80	15	12/6	C8.43	C8.36	C3.33	C4.90	10	1
11/12	M1.72	M1.41	C9.03	M1.54	70	15	12/7	M1.02	C8.36	C2.32	C1.27	20	1
11/13	M1.32	M1.36	M1.10	M5.04	70	15	12/8	C4.36	C8.95	C2.56	C1.51	20	1
11/14	M8.06	M1.31	M1.02	M4.02	70	15	12/9	C2.25	C8.77	C2.30	B9.97	20	1
11/15	M2.91	M1.28	C9.40	M5.45	90	40	12/10	C3.71	C9.12	C3.46	C5.21	20	1
11/16	M3.85	M1.20	C5.57	M1.09	90	40	12/11	C2.89	C9.59	C3.44	C5.91	20	1
11/17	M7.44	M1.37	M1.03	M2.84	90	40	12/12	C1.05	C9.30	C3.29	C4.98	15	1
11/18	M1.44	M1.30	M1.26	M1.53	90	30	12/13	C1.49	C9.29	C3.0	C4.44	10	1
11/19	C2.57	M1.28	C6.26	C7.69	90	30	12/14	C1.19	C9.70	C3.18	C4.82	10	1
11/20	M3.25	M1.23	C9.19	M2.06	90	30	12/15	C2.52	C9.81	C3.09	C4.59	10	1
11/21	M3.45	M1.20	M1.09	M2.47	80	30	12/16	C3.58	M1.05	C4.50	C2.50	20	5
11/22	C8.97	M1.23	M1.38	M3.84	80	20	12/17	M1.08	M1.14	C6.59	C2.42	20	5
11/23	C2.07	M1.13	C8.48	M1.60	75	15	12/18	M1.52	M1.18	C4.65	C4.42	40	10
11/24	M3.03	M1.09	C7.16	C9.76	70	10	12/19	C5.66	M1.21	C5.48	C6.03	45	15
11/25	M2.08	M1.10	C7.72	C7.40	60	10	12/20	C4.87	M1.21	C7.35	C6.15	45	15

참고문헌

- 이진이, 김갑성, 1996, 천문학논총, 제11권 1호, 263
 Gosling, J. T., 1993, J. Geophys. Res., 98, 18,937
 Gosling, J. T., 1994, J. Geophys. Res., 99, 4259
 Harrison, R. A., 1995, A&A, 304, 585
 Hudson, H. S., B. M. Haisch, and K. T. Strong, 1995,
 J. Geophys. Res., 100, 3473
 Kahler, S. W. 1992, ARAA, 30, 113

- Kahler, S. W., N. R. Sheeley, Jr., R. A. Howard, M.
 J. Koomen, D. J. Michels, R. E., McGuire, T.
 T. von Roseninge, and D. V. Reams, 1984, J.
 Geophys. Res., 89, 9683
 Martine, S. F., Livi, S. H. B., and Wang, J., 1985,
 Australian J. Phys. 38, 929
 Pallavicini, R., S. Serio, and G. S. Vaiana, 1977, ApJ,
 216, 108