

우주전파환경 예보결과 평가 및 개선에 관한 연구

2012. 12. 31.

제 출 문

본 보고서를 「우주전파환경 예보결과 평가 및 개선에 관한 연구」
과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 12. 31.

연구책임자 : 김 영 규(우주전파센터 예보팀)

연구원 : 홍 순 학(우주전파센터 예보팀)

윤 기 창(우주전파센터 예보팀)

김 재 훈(우주전파센터 예보팀)

요 약 문

국립전파연구원(RRA) 우주전파센터(KSWC)는 대한민국의 우주전파환경 예·경보와 국제우주환경서비스(ICES)의 지역경보센터를 담당하고 있는 국가기관이다. 2012년 3월부터 공식적으로 태양과 지자기 현상에 대한 예보를 시작하였으며, 이러한 예보 자료를 통신, 위성 관제, 항공, 전력, GPS, 국방 분야 등 중요 국가 사회 기반 시설 보호에 필수적인 다수의 정부 기관이나 민간 조직에 제공하고 있다.

이번 연구에서는 우주전파센터 예보 서비스의 질적 향상을 위하여 전파 두절 예보를 위한 플레어 발생 확률을 계산하여 예보관에게 정확한 통계 참고 정보를 제공할 수 있는 새로운 태양 플레어 예보 도구를 개발하였다. 또한 예보 검증 연구를 수행하였고, 국제우주환경서비스(ICES)의 국제 경보기구인 미국해양대기관리청(NOAA)의 우주환경예보센터(SWPC)와 예보 정확도를 비교하였다.

태양 플레어 예보는 우주전파환경 연구의 핵심 분야이며, 이에 대한 다양한 방법이 개발되어져 왔다. 하지만, 국제우주환경서비스(ICES) 지역경보센터(RWCs)의 대다수가 여전히 예보관의 판단에 의해 만들어진 경험 법칙에 의한 전통적인 태양 예보 방법에 의지하고 있다. 예보관의 판단은 예보관의 전문 지식에 의존하고 있으며 통계적으로 정량화되지 않았기 때문에, 이것은 분명히 다소 주관적이게 된다. 그리하여, 여러 태양흑점의 특징(McIntosh 분류, Mt.Wilson 자기 분류, 태양흑점 크기와 이전의 플레어 활동 등)과 그 변화에 의한 태양 플레어 발생 확률을 객관적으로 연구하였다. 그리고 이러한 연구 결과를 적용하여 태양 플레어 예보 도구를 개발하였다.

SUMMARY

The Korean Space Weather Center (KSWC) of the National Radio Research Agency (RRA) is a national institute which is the official source for space weather forecasts and alerts for Republic of Korea and also a Regional Warning Center of the International Space Environment Service (ISES).

KSWC started to produce daily forecasts of solar and geophysical events officially from March 2012 and has provided them to multiple government and private organizations in the fields of telecommunication, satellite operation, aviation, power grid, GPS navigation and national defense as well, those are essential to safeguarding critical national infrastructures.

In order to improve the quality of KSWC's forecast service, we developed a new solar flare forecast tool that gives a good statistical guidance to forecasters to determine flare probability for Radio Blackout Forecast. We also conducted forecast verification study and made comparison with the forecast accuracy of NOAA Space Weather Prediction Center, the World Warning Agency of ISES.

Solar flare prediction has been at the core of space weather research and a number of different approaches have been developed. However, many of ISES RWCs still rely on the traditional flare prediction method which rules of thumb are incorporated by a human forecaster. That is apparently somewhat subjective, because the forecast decision depends on the expertise of an operator and it has not been evaluated statistically. So, we have investigated solar flare probability depending on several sunspot characteristics (McIntosh classification, Mt. Wilson magnetic classification, sunspot area and previous flare activity) and their changes. We developed a solar flare forecast tool applying the study result. We showed how this new tool works in practice by deploying at KSWC.

목 차

제1장 서론	9
제1절 연구목적	9
제2장 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램 자체개발	11
제1절 개 요	11
제2절 예측 프로그램 개발 및 예보업무 활용	13
제3절 흑점 변이정도에 따른 폭발확률 변화특성 분석	16
제3장 예보 서비스 품질평가 및 개선방안	29
제1절 2012년도 경보발령 통계	29
제2절 예보 서비스 품질평가 방법	31
제3절 예보 서비스 품질평가 실시 및 분석	37
제4절 예보 서비스 품질평가 결과	46
제5절 예보 서비스 품질 개선방안	48
제4장 결 론	52
참고문헌	54
[부록 1] 태양흑점 폭발확률 예측프로그램 소스코드	55
[부록 2] 흑점종류별 분석결과 그래프	79

표 목 차

[표 1] 흑점폭발 통계분석 파라미터	16
[표 2] 2012년 R, S, G 경보발령 통계	29
[표 3] 예보·관측 비교표	31
[표 4] 예보·관측 비교표 방법 예시 1	32
[표 5] 예보·관측 비교표 방법 예시 2	32
[표 6] 전과두절에 대한 예보 서비스 품질평가 결과	38
[표 7] 태양입자에 대한 예보·관측 비교표	42
[표 8] 태양입자에 대한 예보 서비스 품질평가 결과	42
[표 9] 지자기 교란에 대한 예보 서비스 품질평가 결과	44

그 립 목 차

[그림 1] 우주전파센터의 모습	9
[그림 2] 국제 우주환경 서비스기구(ISES) 가입국	11
[그림 3] 전통적인 태양흑점 폭발확률 예측기법	12
[그림 4] 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램 연구개발 추진체계	13
[그림 5] 예측 프로그램 결과화면 예시	14
[그림 6] 예측 프로그램 블럭도	15
[그림 7] 태양흑점의 종류별 폭발률(WPS Index) 비교	17
[그림 8] Ekc 흑점의 크기규모(면적)에 따른 폭발확률 변화	18
[그림 9] Dkc와 Fkc 흑점의 크기규모(면적)에 따른 폭발확률 변화	19
[그림 10] Ekc 흑점의 자기장 복잡도에 따른 폭발확률 변화	20
[그림 11] Dkc와 Fkc 흑점의 자기장 복잡도에 따른 폭발확률 변화	21
[그림 12] Ekc 흑점의 일일 변화면적에 따른 폭발확률 변화	22
[그림 13] Dkc와 Fkc 흑점의 일일 변화면적에 따른 폭발확률 변화	23
[그림 14] Ekc 흑점의 일일 자기장 복잡도 변화에 따른 폭발확률 변화	24
[그림 15] Dkc와 Fkc 흑점의 자기장 복잡도 변화에 따른 폭발확률 변화	25
[그림 16] Ekc 흑점의 1일전 활동성에 따른 폭발확률 변화	26
[그림 17] Ekc 흑점의 2일전 활동성에 따른 폭발확률 변화	26
[그림 18] Dkc와 Fkc 흑점의 1일전 활동성에 따른 폭발확률 변화	27
[그림 19] Dkc와 Fkc 흑점의 2일전 활동성에 따른 폭발확률 변화	27
[그림 20] 연도별 태양활동에 따른 흑점수 변화 및 예측	29
[그림 21] 2012년과 2011년에 대한 경보발령 횟수 비교	30

[그림 22] 우주전파환경 수요자 증가 추이	30
[그림 23] 경보발령에 따른 상대적 발생빈도 변화	34
[그림 24] 예측확률에 따른 신뢰성의 정의	34
[그림 25] 예측확률에 따른 변별력의 정의	35
[그림 26] 신뢰도 방법에서 신뢰성과 변별력 의미	36
[그림 27] 일일 예보 확률값 비교 예시	37
[그림 28] 우주전파센터와 SWPC의 태양입자 신뢰도 분포	39
[그림 29] 우주전파센터와 SWPC의 예보횟수 현황	39
[그림 30] 일일 예보 확률값 비교 방법 결과	40
[그림 31] 7월 18일에 발생한 태양입자 경보 상황 변화	43
[그림 32] 우주전파센터와 SWPC의 지자기 교란 신뢰도 분포	45
[그림 33] SWPC의 변별력 변화(SWPC 홈페이지에서 발췌)	45

제1장 서론

제1절 연구목적

지난 2008년 국립전파연구원은 11년 주기성을 가지는 태양활동 극대기를 대비하기 위해 “우주전파환경 연구기반 강화”의 연구를 3개년에 걸쳐 수행하였다. 이로 인해 국립전파연구원은 우주전파환경에 대한 연구와 관측기반을 확충하게 된다. 또한 이 시기는 우주전파환경에 대한 분석정보를 대국민 서비스로 제공하고 있었기에 당시 연구가 시너지 효과로 작용하여 우주전파환경에 대한 수요자가 점차 증가하기 시작하였다. 2010년에는 우주전파센터를 건립하고 3월에 공식적인 우주전파환경 예보·경보 서비스를 수행하게 된다. 또한 우주전파센터 건립이후에도 태양풍지상관측기, 광대역태양전파노이즈 관측기 등의 신규관측기를 구축하고, 각종 관측 자료의 수집과 분석을 자동화하여 선진국 수준의 업무환경을 조성하였다.



그림 1. 우주전파센터의 모습

이러한 성장 속에서 우주전파센터는 국제우주전파환경 서비스 기구인 ISES(International Space Environment Service)에 14번째이자 대한민국 대표기관으로 등록되었다. ISES는 우주전파환경 업무를 수행하는 전 세계 기관들 중 각 나라의 대표기관을 선정하여 해당 국가의 우주전파환경 예보 및 경보 서비스를 제공하며, 국가 간 우주전파환경 정보를 공유하고 발전시키기 위한 국제적 기구이다. ISES의 각 회원국은 우주전파환경에 대한 국가 대표기관으로 그 나라에 대한 우주전파환경 예보와 경보 업무를 수행해야 한다. 따라서 그 정보는 신속하고 정확하게 실시되어야 하며, 모든 정보는 수요자들에게 신뢰와 객관성이 있어야 한다. 이를 위해 예보 및 경보에 대한 분석기술을 꾸준히 개발해야하고, 이와 더불어 이미 운용 중인 각종 분석모델을 통해 얻어진 예보 정보에 대한 자체적인 품질평가를 실시하여 우주전파환경 예보·경보 서비스의 품질을 향상시키는 노력을 아끼지 말아야 한다. 미국의 경우 이미 약 20년 전부터 예보·경보 서비스에 대한 품질평가를 실시하여 그 정보를 홈페이지를 통해 공개하고 있다. 일본에서도 자국과 다른 나라들의 예보·경보 서비스 상황을 이용하여 자체적인 품질평가를 실시하고 그 정보를 공개하고 있다.

이에 따라 우주전파센터에서도 이번 연구를 통해 전파두절에 대한 태양흑점 폭발 예측프로그램의 개발과 개선을 수행하였고, 공식적으로 예보·경보 서비스를 제공한 3월부터 11월까지 예보 서비스에 대한 품질평가를 실시하게 되었다. 이번 연구의 목적은 단순히 “우주전파센터의 예보가 더 정확하다” 또는 “미국 SWPC보다 우주전파센터의 예보 서비스가 더 좋다”라는 결론을 이끌어내기 위한 것은 아니며, SWPC의 비교를 통해 우주전파센터의 예보 서비스 수준이 어느 정도이고 장점과 단점이 무엇인지 알고자 한다. 또한 흑점의 특성에 따라 태양흑점 폭발 예측프로그램의 결과가 어떻게 달라지는지 그리고 그 이유는 무엇인지 확인하고자 한다. 마지막으로 이를 바탕으로 우주전파센터가 더 높은 예보 적중률과 수요자들이 신뢰하는 예보 서비스를 위해 앞으로 어떤 노력을 해야 하는지 발전 방향에 대해 논의하고자 한다.

제2장 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램 자체개발

제1절 개 요

태양흑점 폭발을 어떻게 예측할 것인가의 문제는 지난 수 십년간 우주전파환경 연구 및 예보 분야에서 가장 중요한 화두 중 하나였다. 관련 학계를 통해 그동안 다양한 방법의 태양흑점 폭발 예측기법이 제안되었으나, 세계 14개국 국제 우주환경 서비스 기구(ICES) 가입국의 우주환경 예보·경보 기관들은 아직 전통적인 태양흑점 폭발확률 예측기법을 사용하고 있다.

ICES's 14 Regional Warning Centers



그림 2. 국제 우주환경 서비스기구(ICES) 가입국

전통적인 태양흑점 폭발확률 예측기법은 1990년 당시 미국 SWPC의 예보관이었던 Patrick McIntosh가 개발한 방법으로써, 장기간의 흑점 관측 기록과 흑점폭발 기록의 통계분석에 기반을 두고 있다. Patrick McIntosh는 1966년 기존 Zurich 흑점 분류법을 개선하여 새로운 흑점 분류법을 제안한 것으로도 유명하다. 그 흑점 분류법은 개발자의 이름을 따라 McIntosh Classification으로 명명되었는데 흑점의 크기규모, 흑점내 가장 큰 반점의 모양 및 반점들의 조밀도 정도의 3가지 파라미터에 따라 흑점의 종류를 총 60가지로 나누는 것이 특징이다. Patrick McIntosh가 개발한 전통적인 태양흑점 폭발확률 예측기법은 그림 3와 같이 크게 3가지 단계로 구분하여 설명할 수 있다.

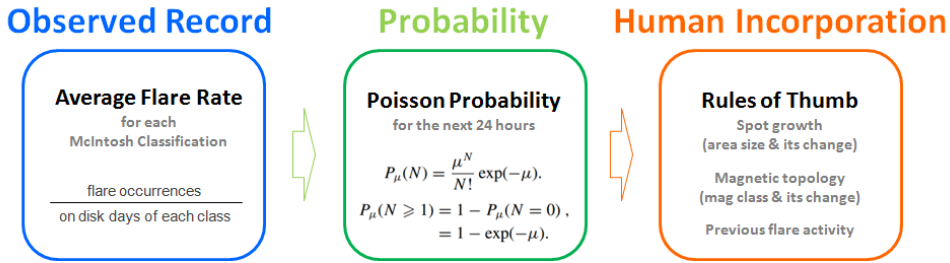


그림 3. 전통적인 태양흑점 폭발확률 예측기법

첫 번째로 장기간의 흑점 관측 기록과 흑점폭발 기록으로부터 흑점의 종류별로 C, M, X의 흑점폭발 X선 방출규모 마다 평균 흑점폭발 발생률(Average Flare Rate)을 구한다. 두 번째로 평균 흑점폭발 발생률을 향후 24 시간내에 발생할 확률로 바꾸는 단계를 거친다. 이때에는 포아송 확률분포 함수(Poisson Probability Distribution Function)가 사용된다. 마지막 단계로 예보관의 주관이 개입되는 단계를 거치게 되는데, 그 이전 단계에서 도출된 흑점 종류별 흑점폭발 발생확률에 흑점의 자기장 복잡도, 크기규모 및 흑점의 발달양상 등을 고려하여 확률값을 조정하는 단계이다.

이 마지막 단계는 매우 주관적이며 순전히 예보관 개개인의 경험과 숙련도에 의존하는 방식이다. 이러한 방법은 미국 SWPC와 같이 장기간 숙련된 예보관을 다수 보유한 예보·경보 기관에게는 다소 유리할 수 있겠지만 우주전파센터와 같은 신생 기관에게는 부적합한 예보 방식이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 전통적인 태양흑점 폭발확률 예측기법의 단점을 보완하기 위해 흑점의 종류별 크기변화, 자기장 복잡도 변화 등 흑점의 발달양상에 따른 흑점폭발 확률의 변화를 분석하고, 분석 결과의 반영을 통해 개선된 흑점폭발 확률 예측기법을 제안하였다. 또한 이를 자동화한 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램을 자체 제작하여 우주전파센터의 예보업무에 활용하였다.

제2절 예측 프로그램 개발 및 예보업무 활용

개선된 태양흑점 폭발확률 예측기법의 제안 이라는 학술적 목표와 함께 우주전파센터의 예보업무 조기 정상화를 꾀하기 위해 그림 4과 같은 추진 체계를 통해 연구와 개발을 수행하였다.

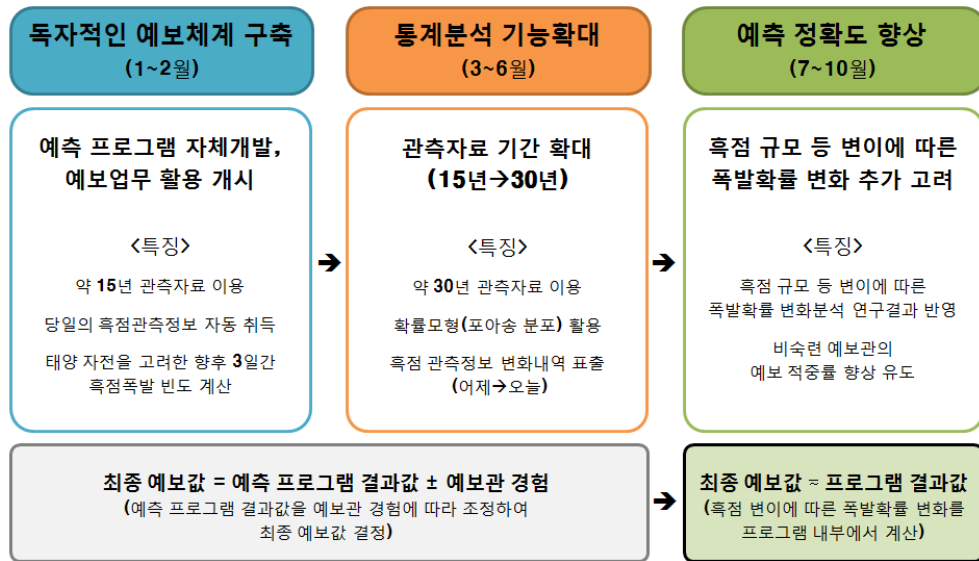


그림 4. 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램 연구개발 추진체계

1~2월에는 예보업무의 조기 정상화와 독자적인 예보체계를 구축하기 위해 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램의 초기 버전을 개발하여 업무에 즉각 활용하였다. 이 시기에 개발된 예측 프로그램은 1996년 8월부터 2011년 2월까지 약 15년간의 흑점 관측기록과 태양흑점 폭발 기록을 기반으로 60가지 흑점의 종류별 평균 폭발 빈도를 계산하여 표출하는 방식이다. 특징으로는 당일의 흑점 관측 정보를 인터넷을 통해 자동으로 취득하고, 태양의 자전속도를 고려하여 당일 관측된 전체 흑점에 대한 향후 3일간 각 일자별 흑점폭발 빈도수를 계산하여 표출하는 것을 들 수 있다.

3~6월에는 기존 개발했던 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램의 통계분석 기능을 확대하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 통계에 사용되는 관측기록의 기간을 기존 약 15년(1996~2011년)에서 약 30년(1969~1976년, 1988~2011년)

으로 확대하고, 포아송 확률분포 함수를 사용하여 흑점폭발 발생의 빈도수를 향후 24시간 동안의 발생 확률로 변환하여 표출하였다. 또한 이전일과 당일 흑점 관측정보의 변화내역을 비교 표출하는 기능을 구현하여 예보관이 흑점 발달양상을 고려하여 예보 확률값을 조정하는데 편의를 제공하였다.

7~10월에는 흑점의 크기규모, 자기장 복잡도 및 이들 파라미터의 변이에 따른 흑점폭발 확률 변화를 추가 고려하여 예측 정확도를 높이는 것을 목표로 하였다. 이를 통해 흑점 변이에 따른 폭발확률 변화를 프로그램 내부에서 계산하여 표출함으로써 비숙련 예보관의 예보 적중률향상을 유도하였다.

이와 같은 추진체계를 통해 우주전파센터는 2012년 3월부터 '3일예보' 정식 서비스를 개시하는 등 예보업무의 조기 정상화를 이루고, 태양흑점 폭발 예보에 대한 적중률 향상을 도모할 수 있었다.

그림 5는 최종 개발된 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램의 결과화면 예시이다.

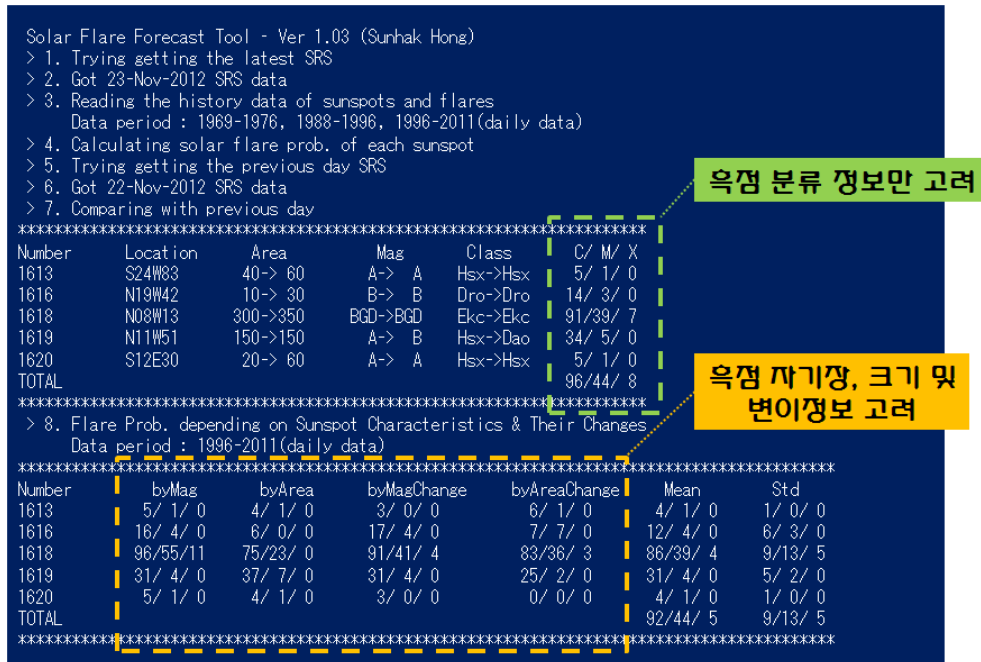


그림 5. 예측 프로그램 결과화면 예시

프로그램은 Matlab으로 구현하였으며 Matlab 명령창에서 실행을 시키면 자동으로 인터넷을 통해 당일의 흑점 관측정보를 취득하고 이전 일의 흑점 관측정보와 비교하는 등의 순차적인 진행사항을 즉각 확인할 수 있도록 하였다. 또한 최종 버전(Ver. 1.03) 프로그램의 경우 각 흑점의 자기장 복잡도, 크기규모, 이전 일과 비교한 자기장 복잡도의 변화 및 크기규모의 변화에 따른 태양흑점 폭발확률의 통계적 분석결과를 표출함으로써 예보관의 최종 확률예보 값 결정에 guideline이 될 수 있도록 하였다.

그림 6는 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램의 블록도이다. 프로그램의 최종 소스코드는 본 연구보고서 첨부자료 1에 수록하였다.

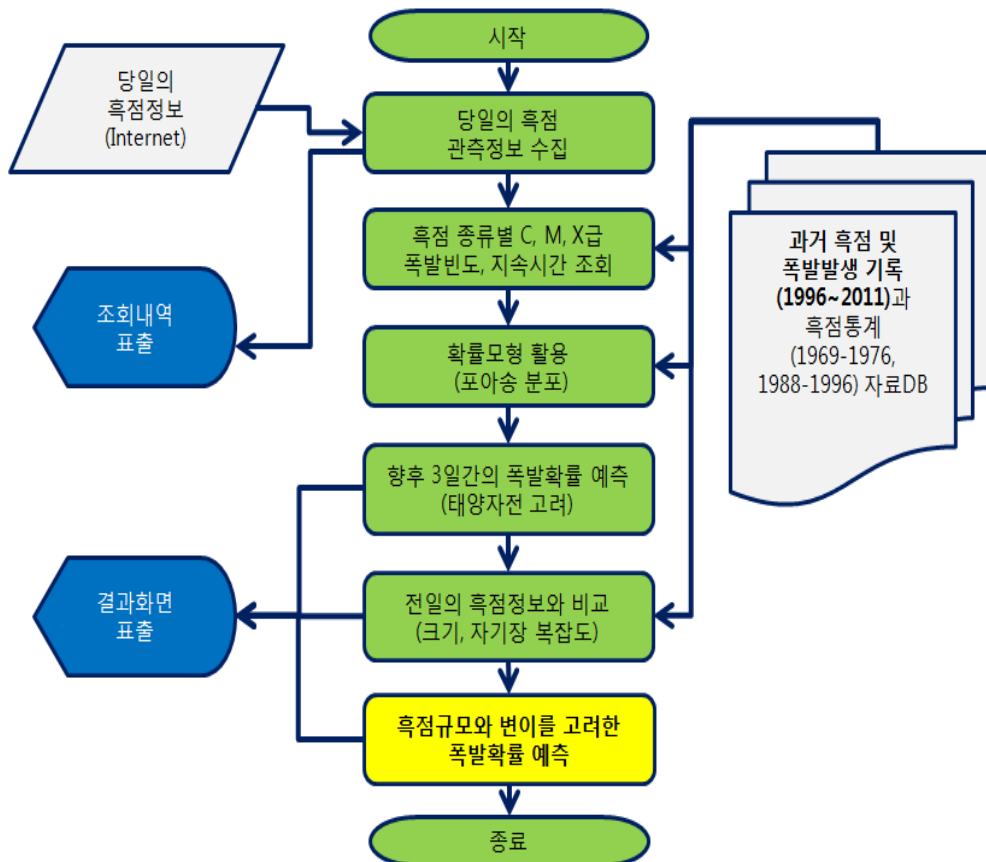


그림 6. 예측 프로그램 블록도

제3절 흑점 변이정도에 따른 폭발확률 변화특성 분석

본 연구과제를 통해 총 60가지 흑점의 종류별로 표 1과 같이 총 5종의 파라미터에 따른 태양흑점 폭발확률의 변화특성에 대해 통계분석을 수행하였다.

표 1. 흑점폭발 통계분석 파라미터

- ① 흑점의 면적, ② 자기장 복잡도, ③ 흑점 면적의 변화량,
④ 자기장 복잡도의 변화량, ⑤ 지난 2일간 흑점의 활동성

본 통계분석을 위한 자료로는 1996년 8월부터 2011년 2월까지 관측된 NOAA의 흑점 및 흑점폭발 관측기록을 사용하였다.

태양흑점 폭발의 강도와 빈도를 동시에 효과적으로 비교하기 위해 WPS(Weighted Probability Sum)라는 새로운 index를 제안하였다. 태양흑점 폭발의 규모를 측정하기 위해 흑점 폭발로 발생하는 태양X선 강도를 관측하는데, 이 강도를 표현하는 형식 C, M, X가 지수형식으로 되어 있어 각 단계별로 10배의 크기를 나타낸다. 따라서 X급 흑점폭발이 발생하는 확률 값은 M급 흑점폭발 확률보다 10배, C급 흑점폭발 확률보다 100배의 규모를 가진다고 할 수 있다. 이를 반영하여 각 흑점의 종류별 폭발확률을 정량적으로 비교하기 위해 식 (1)의 계산식을 통해 WPS Index를 구하여 사용하였다.

$$WPS = C_{prob} + 10 \times M_{prob} + 100 \times X_{prob} \quad (1)$$

총 60가지 흑점의 종류별로 흑점 면적, 자기장 복잡도와 이들의 변화량 등에 따른 폭발확률의 변화를 모두 구하였으며 이의 결과를 적용하여 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램을 개발하였다.

과거 관측자료를 분석하여 60가지 흑점의 종류(McIntosh Classification)에

따른 폭발률(WPS Index)을 구하여 그림 7의 그래프에 보였다. 전통적인 태양흑점 폭발확률 예측기법에서는 본 분석자료가 예보관이 흑점별 폭발확률을 예측할 때 baseline으로 활용된다. 태양면내에 여러 종류의 흑점이 여러 개 관측될 경우 전체 폭발확률은 식 (2)을 통해 구해진다.

$$P_{total} = 1 - (1 - P_1) \times (1 - P_2) \cdots \times (1 - P_N) \quad (2)$$

그림 6의 그래프를 살펴보면 총 60가지 흑점 중 3가지 종류 흑점의 폭발률이 유독 높은 것을 확인할 수 있다. 이를 주황색 점선 박스로 표시하였는데 그 3가지의 흑점 종류는 Dkc, Ekc 그리고 Fkc 이다. 위 3가지 종류 흑점의 특성을 살펴보면 흑점의 크기 규모가 크고, 흑점 내 가장 큰 반점의 모양이 비대칭이며 흑점내 반점의 분포가 매우 조밀한 특성을 보인다.

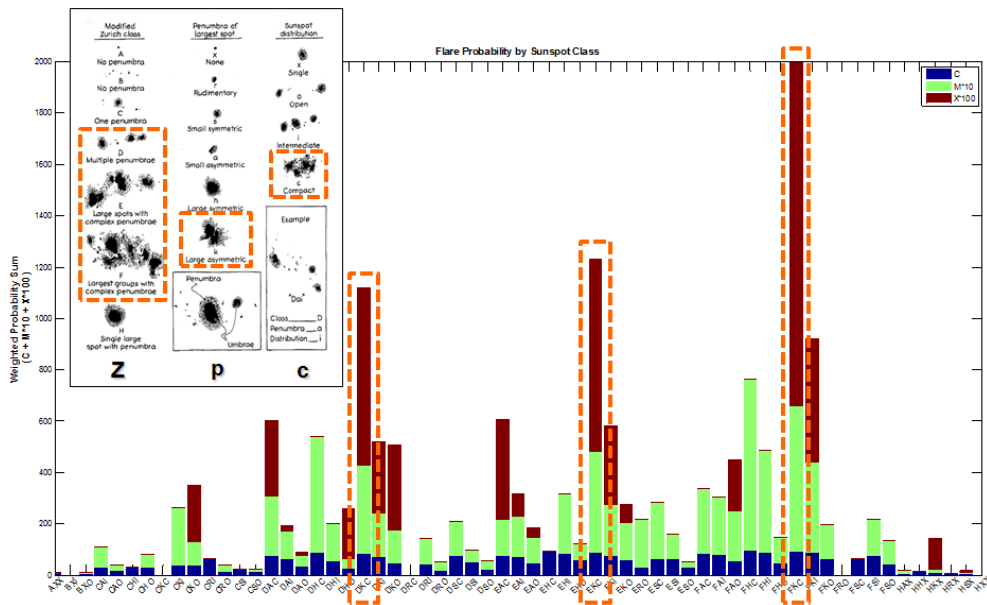


그림 7. 태양흑점의 종류별 폭발률(WPS Index) 비교

본 보고서 본문에서는 위 3가지 종류의 흑점에 대해 흑점의 면적, 자기장 복잡도, 흑점 면적의 변화량, 자기장 복잡도의 변화량, 지난 2일간 흑점의 활동성에 따른 흑점폭발 확률의 변화에 대해 분석하였다.

1) 태양흑점의 종류별 크기규모(면적)에 따른 폭발률 변화

그림 7은 Ekc 흑점의 크기규모, 즉 면적에 따른 향후 24시간 동안의 폭발 확률 변화를 분석한 그래프이다. 위쪽 패넬을 먼저 설명하면, 흑색 점선의 꺾은선 그래프는 Ekc 흑점의 평균적인 폭발확률을 의미한다. 오른쪽 범례 맨 위 쪽의 숫자 91/39/7은 향후 24시간 동안 C급, M급, X급 흑점폭발의 발생확률을 각각 나타내며 괄호속의 숫자 231은 Ekc 흑점의 총 샘플 수를 나타낸다.

청색, 하늘색, 연두색, 주황색 그리고 갈색의 5개의 막대그래프는 각각 흑점 면적의 그룹별 폭발확률을 나타낸다. 청색 막대그래프는 Ekc 흑점 중 면적이 가장 작은 그룹을 의미하는데, Ekc 흑점 총 231개를 면적에 따른 도수분포표를 그렸을 때, 각 흑점 면적이 평균 면적보다 표준편차(σ) 이상 작은 쪽에 위치한 흑점 그룹이다. 범례를 살펴보면, 이 면적이 제일 작은 그룹의 폭발확률은 Ekc 평균의 폭발확률보다 매우 작은 75/23/0이며 샘플 수는 23임을 알 수 있다.

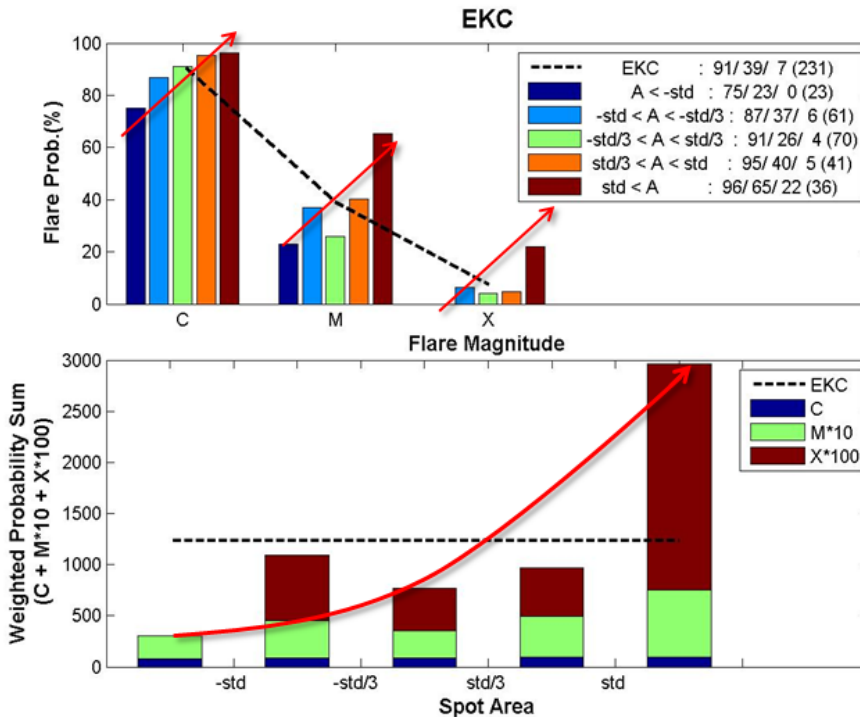


그림 8. Ekc 흑점의 크기규모(면적)에 따른 폭발확률 변화

마찬가지 방법으로 갈색 막대그래프는 Ekc 흑점 중 면적이 가장 큰 그룹의 폭발확률을 나타낸다. 이 면적이 제일 큰 그룹의 폭발확률은 Ekc 평균의 폭발확률보다 매우 큰 96/65/22이며 샘플 수는 36이다. 만약 특정 그룹의 샘플의 수가 Ekc 흑점 전체의 샘플수에 비해 현저히 작을 경우(5% 미만)에는 통계절차상 오류의 원인이 될 수 있으므로 분석에서 제외하기 위해 폭발확률을 0/0/0으로 표시하였다.

5개의 막대 그래프를 전체적으로 살펴보면 흑점 면적이 작은 그룹에서 큰 그룹으로 갈수록 흑점 폭발확률이 C급, M급, X급 모두에서 점점 증가함을 확인할 수 있다. 이 결과는 같은 종류의 흑점이라도 크기가 더 큰 흑점이 더 큰 폭발확률을 보이는 경향이 있다는 사실을 보여주는 것이라고 할 수 있다.

그림 7의 아래쪽 패널은 각 면적 그룹별 WPS Index를 막대 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프를 통해 C급, M급, X급 흑점폭발의 중요도를 고려하여 각 흑점 면적 그룹의 폭발률을 정량적으로 비교하고자 하였다. 전체 그래프를 살펴보면 흑점 면적이 작은 그룹에서 큰 그룹으로 갈수록 WPS Index가 기하급수적으로 증가함을 확인할 수 있는데, 이 결과는 같은 종류의 흑점이라도 크기가 더 큰 흑점이 더 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 일으키는 경향이 있다는 것을 보여준다고 할 수 있다.

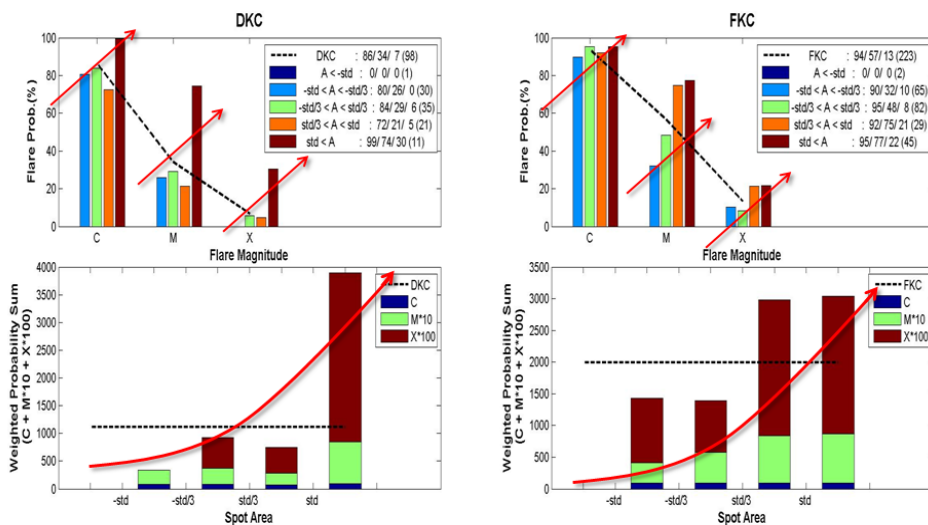


그림 9. Dkc와 Fkc 흑점의 크기규모(면적)에 따른 폭발확률 변화

그림 8은 Ekc 흑점의 분석과 같은 방법을 통해 Dkc와 Fkc 흑점의 면적에 따른 폭발확률 변화를 분석한 그래프이다. 앞서 Ekc 흑점의 경우와 마찬가지로 Dkc와 Fkc 흑점에 대해서도 크기가 더 큰 흑점이 더 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 일으키는 경향이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

2) 태양흑점의 종류별 자기장 복잡도에 따른 폭발률 변화

그림 9는 Ekc 흑점의 자기장 복잡도(Mag. Class)에 따른 향후 24시간 동안의 폭발확률 변화를 분석한 그래프이다. 자기장 복잡도의 기준으로는 Mt. Wilson 관측소에서 제안한 Magnetic Classification을 사용하였다. 그림 9에서 위쪽 패널의 범례와 아래쪽 패널의 가로축에 표시한 것과 같이 Magnetic Classification 종류별로 1에서 7단계로 정하였다. 그러나 사실상 Magnetic Classification 중 GD는 그 샘플수가 극히 적기 때문에 자기장 복잡도를 1에서 6단계라고 말할 수 있을 것으로 생각된다.

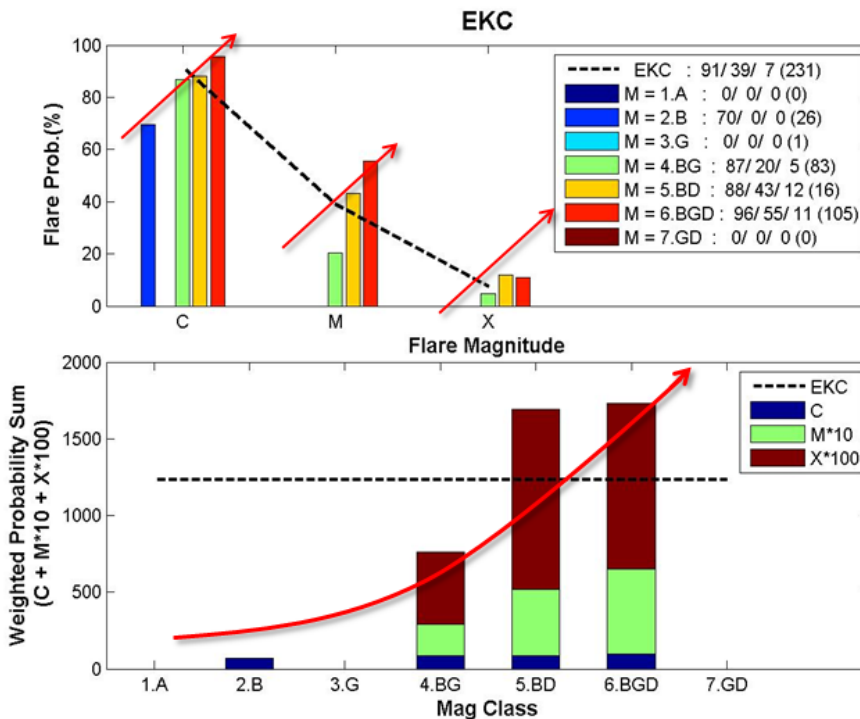


그림 10. Ekc 흑점의 자기장 복잡도에 따른 폭발확률 변화

분석결과 Dkc, Ekc, Fkc 흑점 종류별로 면적에 따른 폭발확률을 비교했을 경우와 마찬가지로 Ekc 흑점의 경우 자기장 복잡도가 더 높은 흑점이 더 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 일으키는 경향이 있다는 사실을 알 수 있었다.

그러나 면적에 따라 흑점그룹을 나누는 경우와 달리 자기장 복잡도에 따라 흑점의 그룹을 나누는 경우 그룹간 샘플수에 차이가 매우 크게 나타나게 되는데, 이는 흑점의 종류(McIntosh Classification)와 흑점 자기장 복잡도 종류(Magnetic Classification) 간에 상관도가 높기 때문인 것으로 추론된다. 그림 7 위쪽 패널의 범례에서 흑점 면적에 따라 나눈 5가지 흑점 그룹의 각 샘플수는 거의 비슷하게 나타나지만, 그림 9 위쪽 패널 범례에서 자기장 복잡도에 따라 나눈 7가지 흑점 그룹의 샘플수를 살펴보면 BG와 BGD의 흑점 그룹의 샘플수가 전체 Ekc 흑점 샘플수의 80% 이상을 차지한다.

이러한 샘플수의 차이로 인해 자기장 복잡도가 더 높은 흑점이 더 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 일으키는 경향성은 면적에 따른 흑점폭발의 변화 경향성에 비해 명확도가 떨어진다.

Dkc와 Fkc 흑점의 경우에도 유사한 결과를 확인할 수 있었는데 그 분석 그래프는 그림 10에 보였다.

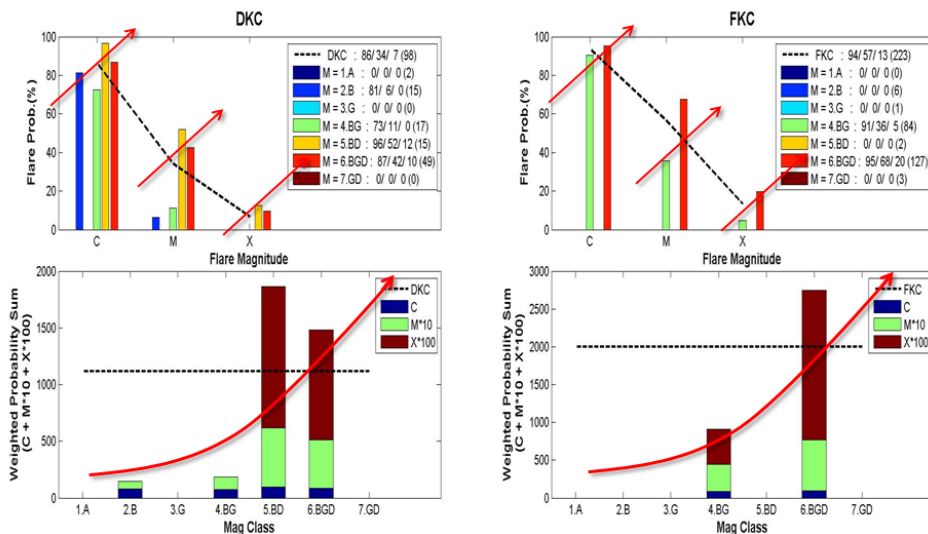


그림 11. Dkc와 Fkc 흑점의 자기장 복잡도에 따른 폭발확률 변화

3) 태양흑점의 종류별 일일 변화면적(크기변화)에 따른 폭발률 변화

그림 11은 Ekc 흑점에 대해 흑점면적의 일일 변화에 따른 향후 24시간 동안의 폭발확률 변화를 분석한 그래프이다. 흑점면적 자체를 기준으로하여 폭발확률을 분석했을 때와 마찬가지로 방법으로, Ekc 전체 흑점의 일일 면적 변화에 대해 도수분포표를 구하고 평균값을 기준으로 $\pm 1/3\sigma$ 이내의 흑점 그룹을 가운데 그룹으로 정하고 그보다 작거나 큰 그룹을 각각 2개로 나누어 총 5개의 그룹으로 나누었다. 각 그룹의 면적변화 구간은 그림 11 위쪽 패널의 범례에 표시하였다.

위쪽 패널의 막대그래프를 살펴보면 흑점면적의 일일 변화가 클수록 폭발확률이 증가함을 확인할 수 있다. 즉, 면적이 증가하였는지 감소하였는지와 상관없이 변화량이 크면 폭발확률이 증가한다는 것인데, 기존에 알려진 내용과 배치되는 것이기 때문에 주목할 만한 연구 결과라고 할 수 있다. 기존에는 흑점의 면적이 증가할 경우에 폭발확률이 증가하고 면적이 감소할 경우에는 폭발확률이 감소한다고 알려져 있었다.

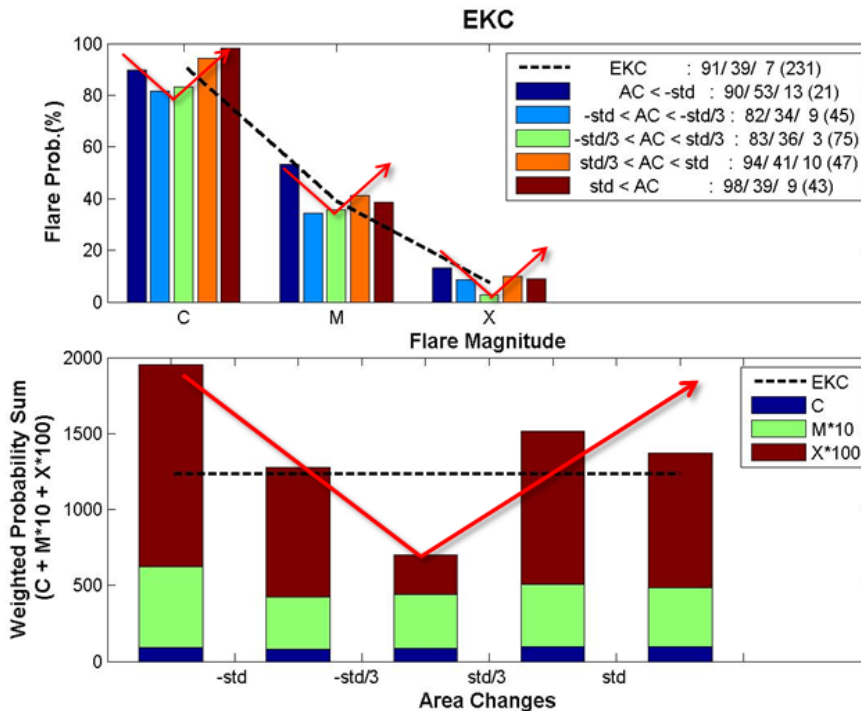


그림 12. Ekc 흑점의 일일 변화면적에 따른 폭발확률 변화

또한, 그림 11의 아래쪽 패널을 통해 같은 종류의 흑점이라도 흑점 면적이 증가하거나 감소한 것에 상관없이 일일 면적변화가 큰 흑점이 더 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 발생시키는 경향이 있다는 사실을 뚜렷이 확인할 수 있었다.

유사한 결과를 Dkc와 Fkc 흑점의 경우에도 발견할 수 있었는데 그 분석 그래프는 그림 12에 보였다. Dkc 흑점의 경우 X급 흑점폭발만을 볼 때에는 면적이 감소한 때에도 폭발확률이 증가하는 경향이 나타나지는 않았지만 이는 Dkc 흑점의 전체 샘플수가 100개 이하로 작고 각 흑점 면적변화 그룹별로 샘플수의 분포가 일정치 않기 때문인 것으로 사료된다. 샘플수가 충분하다면 Dkc 흑점에 대한 결과도 Ekc 흑점과 Fkc 흑점의 경우와 유사할 것으로 예측된다.

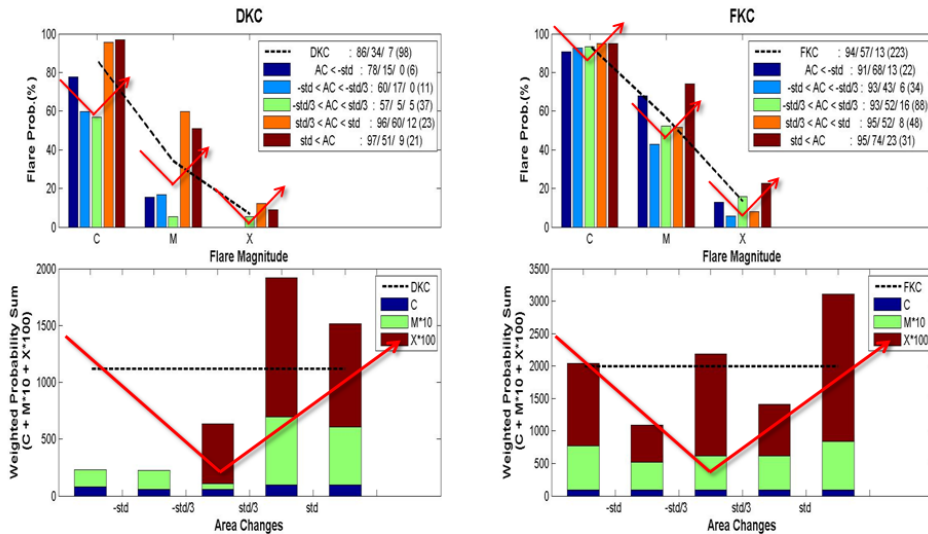


그림 13. Dkc와 Fkc 흑점의 일일 변화면적에 따른 폭발확률 변화

4) 태양흑점의 종류별 일일 자기장 복잡도 변화에 따른 폭발률 변화

그림 13은 Ekc 흑점의 자기장 복잡도 변화에 따른 향후 24시간 동안의 폭발확률 변화를 분석한 그래프이다. 흑점의 면적이 높은 경우 흑점 자기장 복잡도 또한 높은 것으로 알려져 있기 때문에 저자는 본 분석연구 수행 전에 흑점의 자기장 복잡도 변화에 따른 폭발률 변화분석 결과가 흑점의 면적변화에

따른 폭발확률의 변화분석 결과와 유사할 것으로 예측하였었다. 그러나 면적변화의 경우와 달리 흑점의 자기장 복잡도 변화가 클수록 폭발확률이 증가하는 경향을 찾을 수 없었다. 이는 앞서 자기장 복잡도 자체에 따른 폭발확률 변화 분석에서 논하였던 바와 같이, 자기장 복잡도에 따라 흑점의 그룹을 나누는 경우 그룹간 샘플수에 차이가 매우 크게 나타나기 때문인 것으로 사료된다.

그림 14에서 Dkc와 Fkc 흑점에 대한 분석결과를 보였는데 Ekc 흑점의 분석결과와 유사하였다. 따라서 본 결과로부터 흑점의 자기장 복잡도 변화 파라미터는 흑점의 폭발확률을 예측하는 파라미터로 사용하기 부적하다는 결론을 도출할 수 있었다.

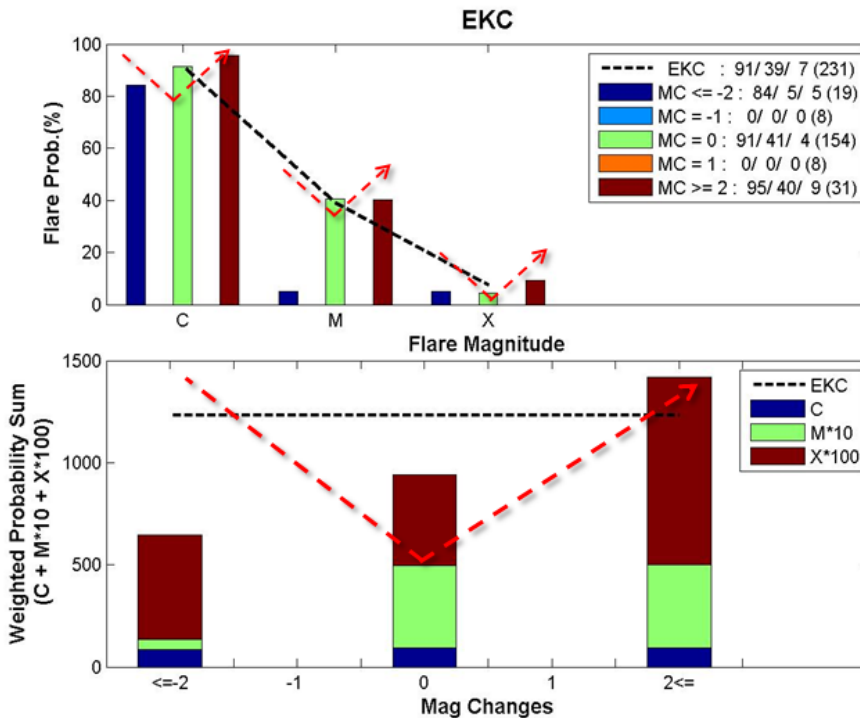


그림 14. Ekc 흑점의 일일 자기장 복잡도 변화에 따른 폭발확률 변화

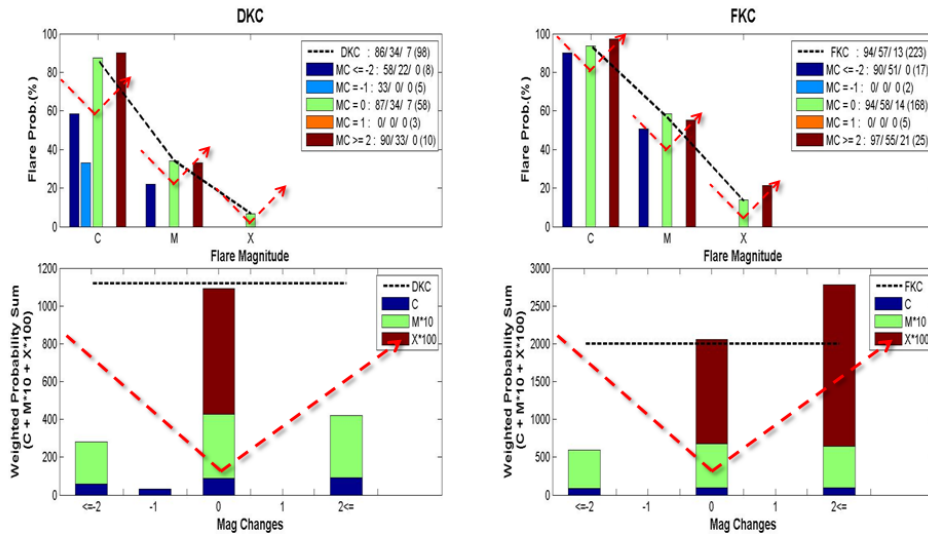


그림 15. Dkc와 Fkc 흑점의 자기장 복잡도 변화에 따른 폭발확률 변화

5) 태양흑점의 지난 2일간 활동성에 따른 폭발률 변화

그림 15와 그림 16은 각각 Ekc 흑점에 대해 1일전 활동성과 2일전 활동성에 따른 향후 24시간 동안의 폭발확률 변화를 분석한 그래프이다. 1일전과 2일전에 대한 태양흑점의 활동성을 계량하기 위해 WPS Index를 사용하였다. 즉, 특정 Ekc 흑점에 대해 1일전 24시간 동안 C급 흑점폭발 5회, M급 흑점폭발 2회, X급 흑점폭발 1회가 있었을 경우 WPS는 $5+2 \times 10+1 \times 100$ 로 계산되어 125가 사용된다.

분석결과 같은 Ekc 흑점에 대해 1일전과 2일전 활동성이 높았던 즉, 큰 규모의 흑점폭발을 많이 일으켰던 흑점 그룹일수록 향후 24시간내 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 발생시키는 경향이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 경향성은 Ekc 흑점 뿐만 아니라 Dkc와 Fkc 흑점에서도 분명히 확인할 수 있었는데 그 분석결과는 그림 17과 그림 18의 그래프에서 보였다.

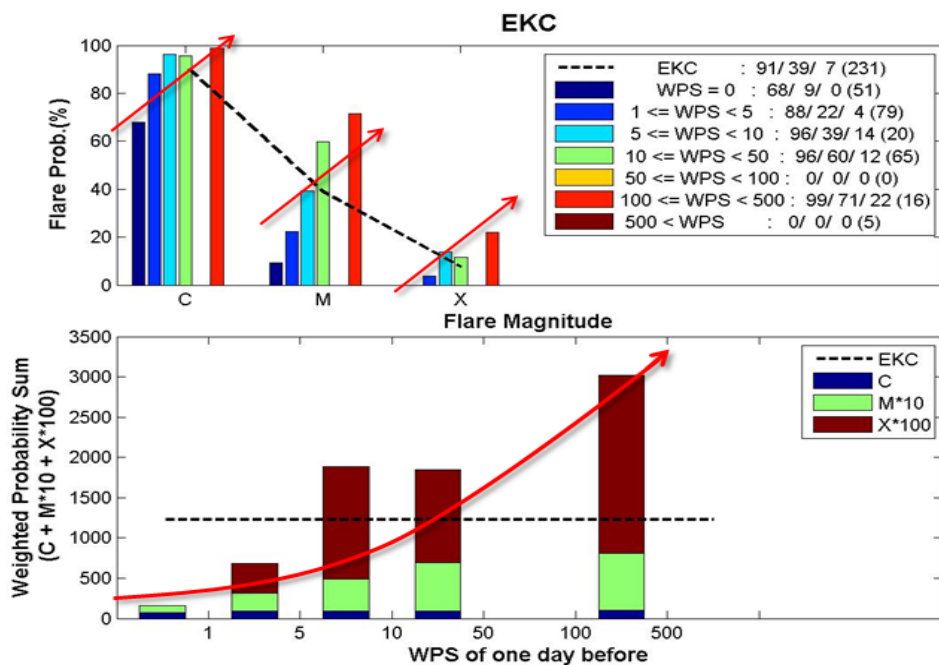


그림 16. Ekc 흑점의 1일전 활동성에 따른 폭발확률 변화

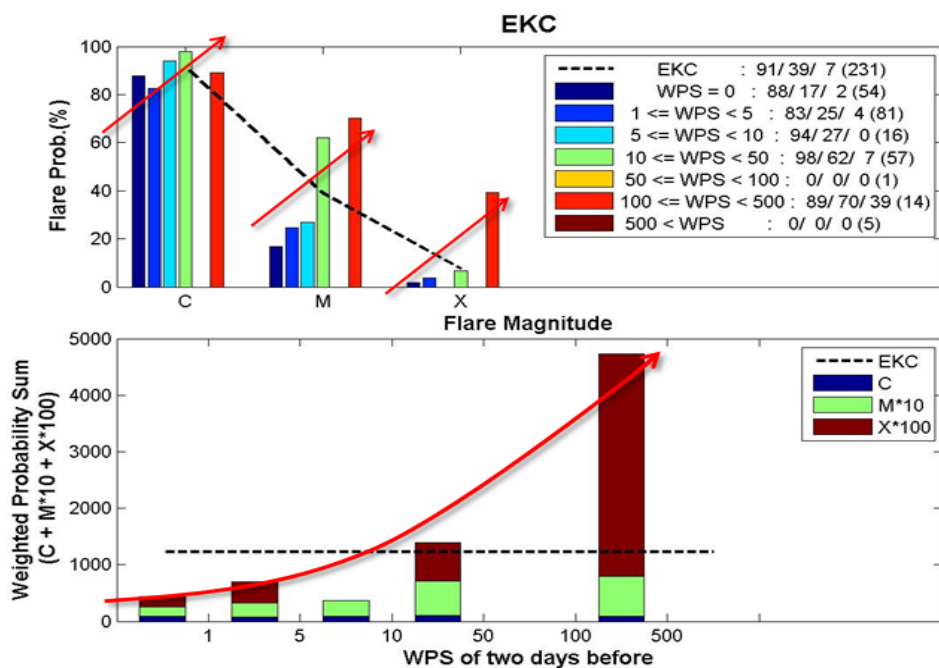


그림 17. Ekc 흑점의 2일전 활동성에 따른 폭발확률 변화

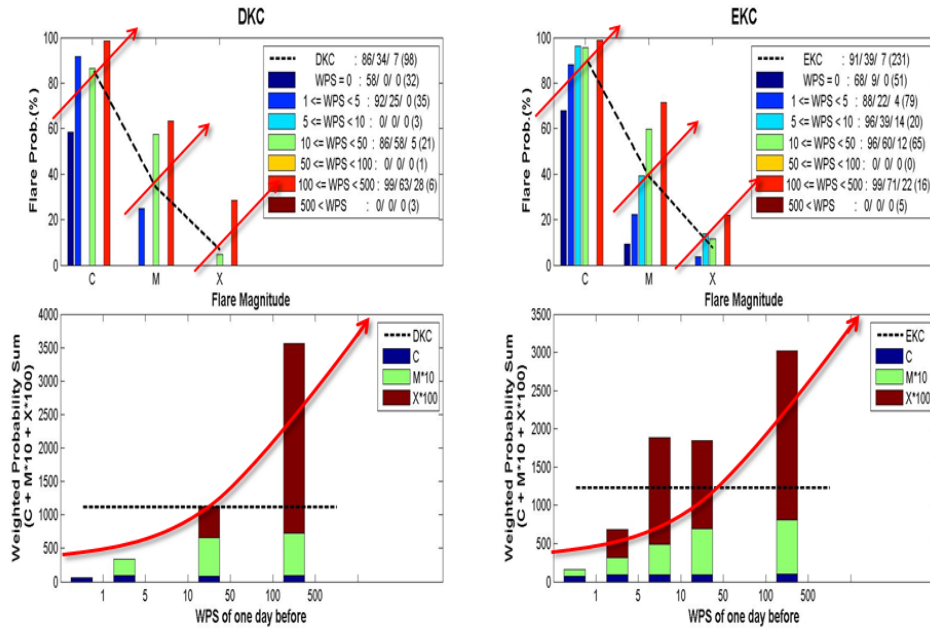


그림 18. Dkc와 Fkc 흑점의 1일전 활동성에 따른 폭발확률 변화

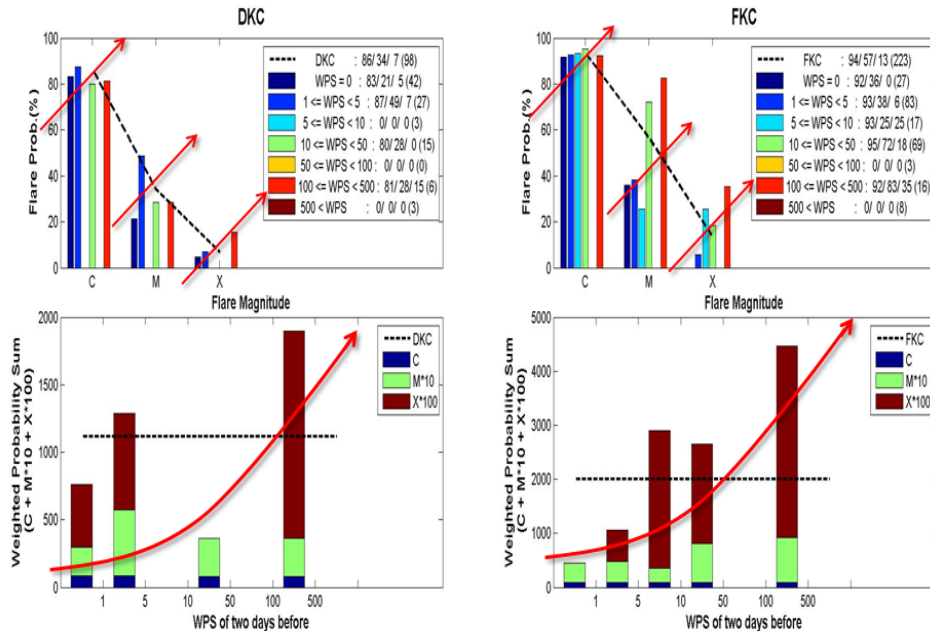


그림 19. Dkc와 Fkc 흑점의 2일전 활동성에 따른 폭발확률 변화

6) 분석결과 요약

앞서 1~5까지 살펴본 총 5종의 파라미터에 따른 태양흑점 폭발확률의 변화특성에 대해 통계분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① **[흑점의 면적]** 같은 종류의 흑점중에 면적이 큰 흑점일수록 향후 24시간내 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 발생시키는 경향이 있다.
- ② **[자기장 복잡도]** 같은 종류의 흑점중에 자기장 복잡도가 높은 흑점일수록 향후 24시간내 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 발생시키는 경향이 있다.
- ③ **[흑점 면적의 변화량]** 같은 종류의 흑점 중에 지난 24시간 동안 흑점 면적의 변화량이 컸던 흑점일수록 향후 24시간내 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 발생시키는 경향이 있다.
- ④ **[자기장 복잡도의 변화량]** 지난 24시간 동안 자기장 복잡도의 변화량이 컸던 흑점일수록 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 발생시킨다고 볼 수 없다.
- ⑤ **[지난 2일간의 활동성]** 같은 종류의 흑점중에 지난 2일간 활동성이 높았던 흑점일수록 향후 24시간내 큰 규모의 흑점폭발을 더 자주 발생시키는 경향이 있다.

제1절에서 언급하였던 바와 같이 우주전파센터는 본 연구결과를 활용하여 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램을 자체 제작하였고 이를 우주전파센터의 예보업무에 활용하고 있다. 총 60가지 흑점종류별 분석결과 그래프는 첨부자료2에 수록하였다.

제3장 예보 서비스 품질평가 및 개선방안

제1절 2012년도 경보발령 통계

2012년은 그 이전보다 태양활동이 매우 활발하였다. 이번 연구를 통해 설

표 2. 2012년 R, S, G 경보발령 통계

구 분	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	계
전파두절(R)	92	14	6	-	-	112(63%)
태양입자(S)	18	4	1	-	-	23(13%)
지자기 교란(G)	24	15	2	-	-	41(24%)

정된 기간 동안 태양활동 내역을 표 2에 정리를 하였다. 표에서 전파두절, 태양입자, 지자기 교란에 대한 경보 발령 횟수는 총 176회로 이 중 63%가

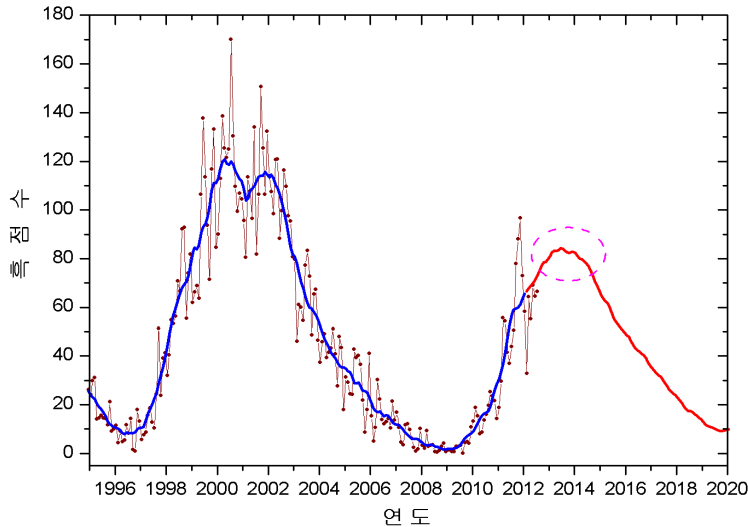


그림 20. 연도별 태양활동에 따른 흑점수 변화 및 예측

전파두절로 가장 많이 발생하였고, 그 다음으로는 지자기 교란(24%), 태양 입자(13%) 순으로 나타났다. 전파두절이 가장 많이 나타난 것은 태양에서

관측되는 흑점의 영향으로 생각할 수 있으며 그림 20과 같이 흑점수의 변화가 2009년 이후 꾸준히 증가하여 태양흑점 폭발이 증가한 원인으로 생각

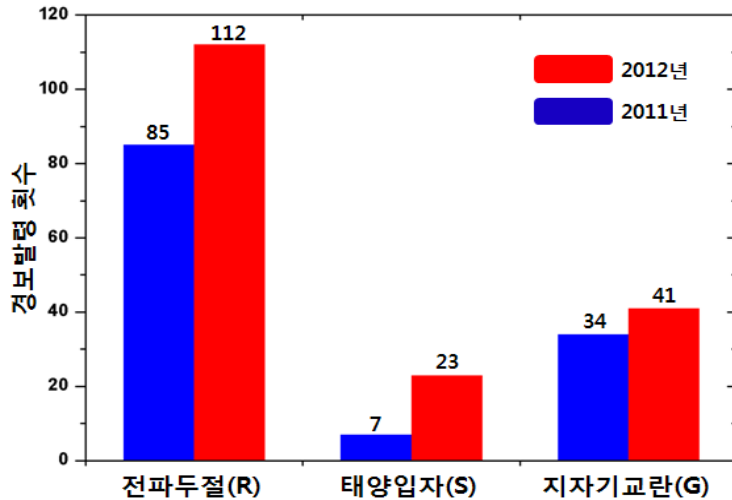


그림 21. 2012년과 2011년에 대한 경보발령 횟수 비교

할 수 있다. 이러한 분포는 작년 같은 기간과 비교하여 전파두절은 약 36% 지자기 교란은 약 20%정도 증가된 수치이며, 태양입자의 경우 작년 대비 약 3배가량 증가하였다. 이렇게 태양활동이 증가됨에 따라 우주전파센터에서는 지난 3월부터 공식적으로 태양활동에 대한 예보 및 경보 업무를 시작

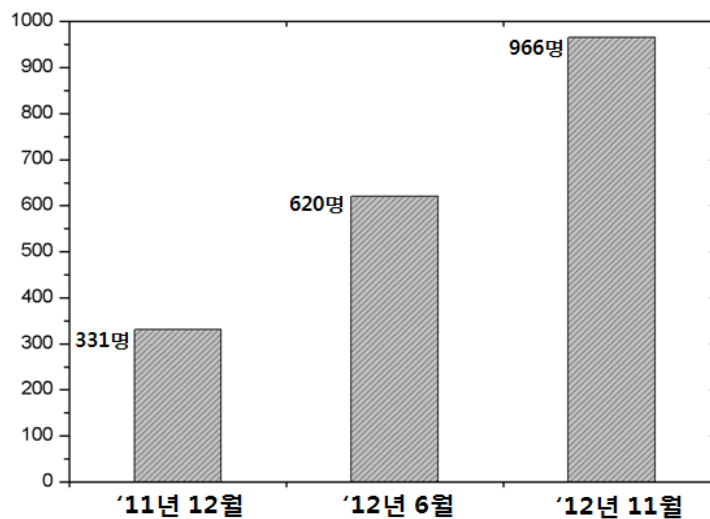


그림 22. 우주전파환경 수요자 증가 추이

하였다. 3월 이전에도 우주전파환경에 대한 관측과 분석을 통해 대국민 서비스 업무를 실시하고 있었지만, 우주전파센터 건립이후 다양한 관측시스템이 추가되고, 분석모델이 개발되거나 도입됨으로써 좀 더 체계적이고 효과적으로 업무를 이어가고 있다. 그 결과 2011년 12월까지 우주전파환경 서비스 수요자가 331명 정도였지만 2012년 11월에는 966으로 폭발적으로 증가하였다.

제2절 예보 서비스 품질평가 방법

예보 서비스 품질평가를 위해 이 연구에서 사용된 방법은 현재 SWPC에서 사용 중인 예보 서비스 품질평가 방식을 참고하여 “예보·관측 비교표 방법”, “신뢰도 방법”, “일일 예보 확률값 비교 방법”을 이용하였다. 그러나 3월부터 11월까지 우주전파센터에서 제공한 예보 서비스 정보들의 양이 많지 않다. 미국의 경우 약 20년 정도의 정보를 보유하고 있어 예보 서비스의 통계적 분석의 결과에 객관성과 신뢰성이 공존하지만 우주전파센터는 약 10개월 정도의 정보만을 보유하고 있어 통계적 분석의 객관성과 신뢰성 확보에 다소 어려움이 발생하였다. 그러나 이번 연구는 앞에서도 언급했지만 단순히 우주전파센터의 예보 서비스가 SWPC와 비교하여 어느 수준인지 확인하는 것에 목적이 있다.

예보·관측 비교표 방법은 예보와 관측을 실제 발생유무로 나누어 평가하는 방법으로 표 3과 같이 “예보됨”, “예보되지 않음”, “관측됨”, “관측되지 않음”으로 구분하고 매일 예보자료와 관측자료를 비교하여 해당되는 공간에 누적 기록하는 방식을 사용한다. 이후 품질평가에 사용되는 각종 지표들

표 3. 예보·관측 비교표

구 분		관측부분	
		관측됨	관측되지 않음
예보부분	예보됨	A	B
	예보되지 않음	C	D

계산하여 최종적으로 예보 서비스에 대한 품질평가를 실시한다. 품질평가에

서는 예보관이 예보한 자료가 얼마나 정확한지를 평가하므로 예보·관측 비교표에서는 “A(예보되고, 실제 관측되는 경우)”와 “D(예보되지 않고, 실제 관측되지 않은 경우)”가 이에 해당한다. 따라서 정확도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$(A + D) / (A + B + C + D) \quad (3)$$

그러나 여기에는 한 가지 문제점이 있다. 예를 들어 다음과 같이 표 4, 표 5 등 두 개의 예보 서비스 자료가 있을 때 식(3)을 이용하면 정확도는 각각 86%와 89%로 둘 다 좋은 예보 서비스라고 할 수 있다. 그러나 표 5을 보면 “A(예보되고, 실제 관측되는 경우)”부분이 0이어도 “D(예보되지 않고, 실제 관측되지 않은 경우)”의 영향으로 전체적인 정확도는 높게 나타나

표 4. 예보·관측 비교표 방법 예시 1

구 분		관측부분	
		관측됨	관측되지 않음
예보부분	예보됨	35	40
	예보되지 않음	20	350

표 5. 예보·관측 비교표 방법 예시 2

구 분		관측부분	
		관측됨	관측되지 않음
예보부분	예보됨	0	0
	예보되지 않음	45	400

는 문제가 발생한다. 예보 서비스 품질평가는 “예보관에 의해 예보된 상황이 실제로 관측되었는지를 확인”에 가장 중요한 요소로 보고 있으며, 표 5의 예보부분에서 “예보되지 않음”의 경우 예보관이 “경보가 발생되지 않을 것이다”라는 의미로 수요자 입장에서는 중요한 정보가 될 수 없다. 즉 “경보가 발생될 것이다”라는 정보가 수요자가 원하는 것이므로 정확도에서도 이것을 반영시킬 필요가 있다. 따라서 식(3)은

$$A / (A + B + C) : \text{Critical Success Index} \quad (4)$$

으로 변경되어야 하며, 식(4)을 예보적중지수(CSI : Critical Success Index)라고 한다. 이 지수에서는 “C(예보되지 않고, 실제로 관측됨)”가 포함되어 있는데 이것은 예보가 없었더라도 실제로 경보발령이 되었기 때문에 예보적중지수에 포함시킨 것이다. 이외에 예보·관측 비교표에서는 예보관의 예보된 자료 중 관측되지 않은 예보 비율이 얼마나 있는지를 알아볼 수 있는 실패율(False Alarm Ratio), 관측된 경보상황 중 예보관의 예보가 얼마나 있었는지 확인할 수 있는 적중률(Hit Rate), 예보관의 예보횟수가 관측된 자료에 비해 얼마나 있었는지를 알려주는 편향도(Frequency Bias)도 계산할 수 있다. 각각 계산식은 다음과 같다.

$$B/(A+B) : \text{False Alarm Ratio} \quad (5)$$

$$A/(A+C) : \text{Hit Rate} \quad (6)$$

$$(A+B)/(A+C) : \text{Frequency Bias} \quad (7)$$

신뢰도 방법은 전체 예보확률 구간인 0 ~ 100% 중 특정 예보확률에 대해 실제로 경보가 발령된 비율이 예보된 확률만큼 발생되었는지를 확인하는 방법이다. 예를 들어 예보가 50%인 구간에 대해 신뢰도 방법을 적용한다고 했을 때 50%로 예보된 횟수가 100회이고 이중 실제 경보가 발령된 횟수가 40회라고 한다면 상대적 발생빈도 즉, 전체 예보횟수 중 경보발령 횟수에 대한 비율은 40%로 50%인 예보 확률보다 낮다. 만일 경보횟수가 50회이면 상대적 발생빈도는 50%로 예보 확률과 동일하여 신뢰도가 높은 예보 서비스라고 할 수 있다. 신뢰도 방법을 이용한 예보 서비스 품질평가는 “신뢰성”, “변별력”, “불확실성”을 이용한다. 신뢰성(Reliability)은 그림 24와 같이 각각 예측된 확률에 대한 상대적 발생빈도(녹색)가 적중률이 100%인 가상적중구간(적색)에 얼마나 근접하였는가에 대한 수치로 정의된다. 신뢰성은 신뢰도 방법 중 가장 중요한 요소로 예보 서비스가 각각 예측된 확률에 대해 얼마나 정확한지를 알려준다. 이 수치는 0부터 1까지 구간에서 결정되며 0에 가까울수록 좋은 신뢰성을 가진다.

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^K n_k (p_k - \bar{o}_k)^2 : \text{신뢰성(Reliability)} \quad (8)$$

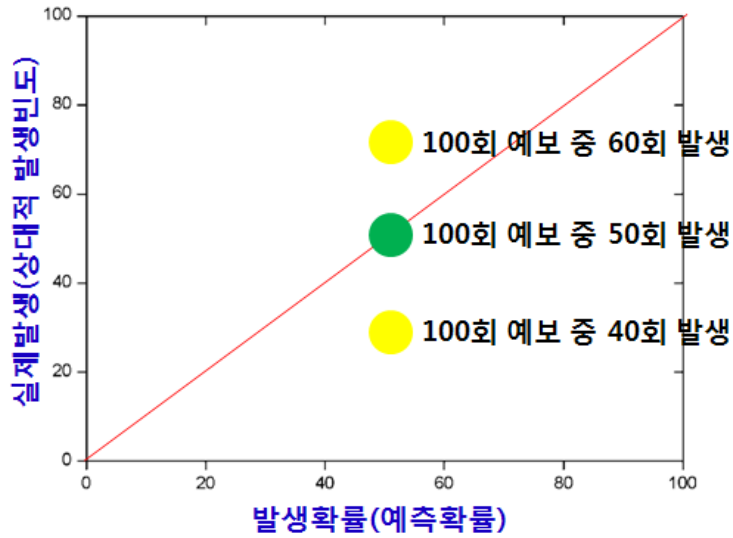


그림 23. 경보발령에 따른 상대적 발생빈도 변화

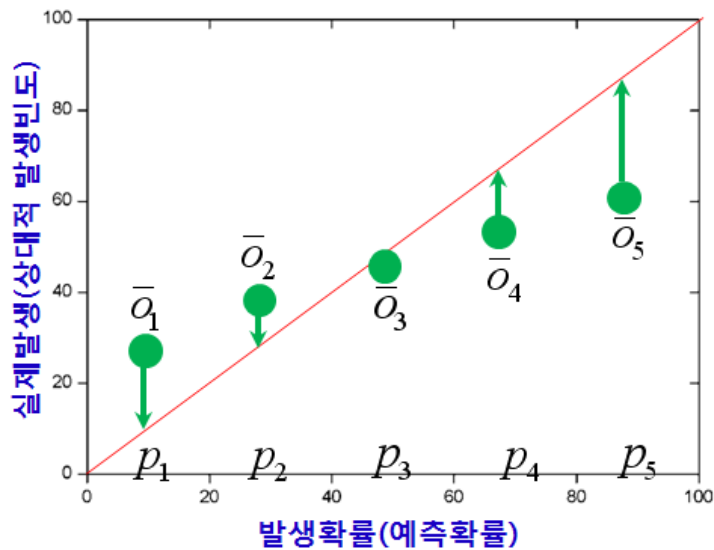


그림 24. 예측확률에 따른 신뢰성의 정의

변별력(Resolution)은 예측확률에 대한 각각의 상대적 발생빈도가 상대적 발생빈도 평균값과 얼마나 떨어져 있는지에 대한 수치로 정의된다. 이 수치는 신뢰성과 마찬가지로 0부터 1까지 구간에서 결정되며 1에 가까울수록 좋은 변별력을 가진다.

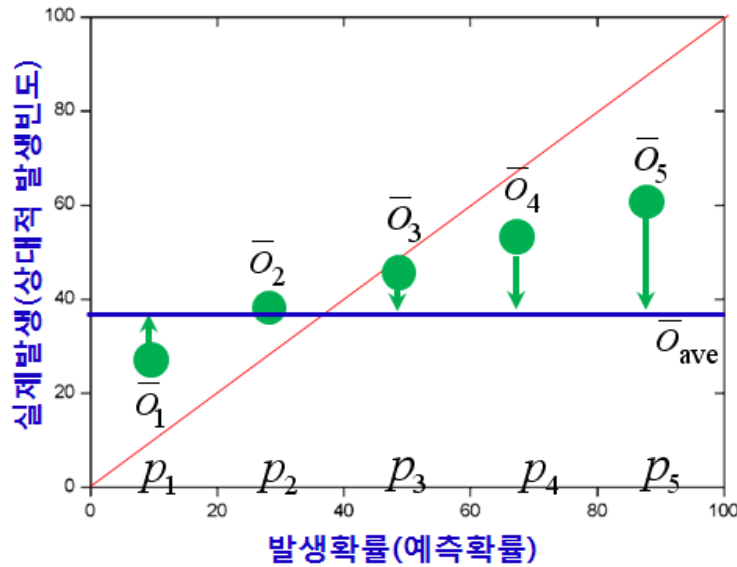


그림 25. 예측확률에 따른 변별력의 정의

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^K n_k (\bar{o}_k - \bar{o}_{ave})^2 : \text{변별력(Resolution)} \quad (9)$$

변별력과 신뢰성은 서로 다른 수식으로 계산되지만 특정 기준선에서 측정되며, 특히 신뢰성이 높을수록 자연히 변별력이 높아지는 효과가 있어 두 개의 수치가 비슷한 성격을 가지고 있다는 의문점이 생길 수 있다. 하지만 현재까지도 예보 서비스 품질평가 시 두 개의 수치를 항상 같이 쓰는 이유는 두 개의 임의의 예보 서비스에 대해 품질평가 시 단일 수치가 같다면 두 개의 예보 서비스 중 품질평가 우위를 결정할 수 없다. 즉, 그림 26과 같이 70% 예측확률에 대해 노란색과 초록색의 상대적 발생빈도를 가지는 예보 서비스가 있다고 하면 이 둘의 신뢰성은 같은 값을 가질 수 있다. 하지만 이 경우 변별력은 노란색의 경우가 초록색보다 더 높게 나타나므로 더 좋은 예보 서비스라 말할 수 있다.

마지막으로 신뢰도에서는 불확실성(Uncertainty)이 예보 서비스 품질평가에 사용된다. 불확실성은 “예보되지 않은 경보상황”에 대한 정보로 100회 예보를 실시하였다면 100회 예보 정보는 모두 경보가 발생되거나 경보가

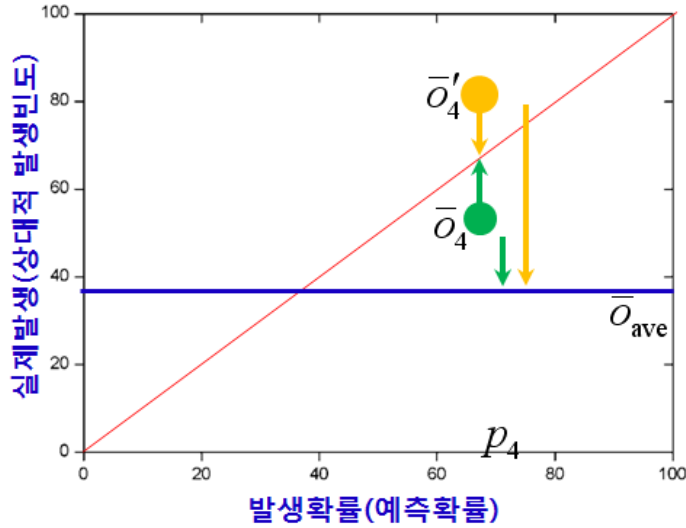


그림 26. 신뢰도 방법에서 신뢰성과 변별력 의미

발생하지 않는 상황으로 전환된다. 하지만 “예보되지 않은 경보상황”이 발생하면 전체 100회 예보 정보와 100회 이상의 경보 정보가 기록되므로 예보와 실제 경보 발생에 대한 수치가 일치하지 않는 상황이 발생한다. 즉, “예보되지 않는 경보상황”으로 상대적 발생빈도 등 예보 서비스 품질평가에 불확실성이 증가된다. 불확실성이 증가될 경우 전체적인 예보 서비스 품질평가에 객관성이 떨어지는 악영향이 될 수 있으므로 신중한 예보업무가 필요하다.

$$\overline{a_{ave}}(1 - \overline{o_{ave}}) : \text{불확실성(Uncertainty)} \quad (10)$$

신뢰도에서는 앞에서 언급한 신뢰성, 변별력, 불확실성을 이용하여 Brier Score 및 Brier Skill Score를 수학적으로 계산할 수 있으며 이를 이용하여 예보 서비스 품질평가에 사용한다.

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K n_k (p_k - \bar{o}_k)^2 - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K n_k (\bar{o}_k - \overline{o_{ave}})^2 + \overline{a_{ave}}(1 - \overline{o_{ave}}) \quad (11)$$

$$BSS = 1 - \frac{BS}{BS_{ref}}, \quad BS_{ref} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K \bar{o}_k \quad (12)$$

일일 예보 확률값 비교 방법은 우주전파센터와 SWPC의 확률값을 매일

비교하여 경보상황 유무에 따라 점수를 결정하는 방식이다. 그림 27은 실제 우주전파센터와 SWPC 간 일일 예보 확률값 비교를 나타낸 그림이다. 그림 27에서처럼 경보 상황이 있을 경우 두 기관의 예보값을 비교하여 예보 확률값이 더 높은 기관이 점수가 올라가며, 반대로 경보 상황이 없는 경우 낮은 예보 확률값을 가지는 기관이 점수가 올라가는 방식이다. 이 방식에서 유의할 점은 우주전파센터와 SWPC의 예보하는 시간이 달라 이 시기에 경보가 발생할 경우 점수를 어떻게 결정할 것인지 애매한 경우가 생긴다는 것이다. SWPC의 경우 한국시간으로 오전 7시30분이면 공식적으로 발표되지만 우주전파센터의 경우 오전 11시에 발표된다. 이에 따라 본 연구에서는 오전 7시 30분부터 오전 11시까지 발생한 경보상황에 대해서는 일일 예보

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
날짜	우주전파센터			실제 관측된 이벤트			미국 SWPC 예보 현황			1일차 예보차이									
	R 예측						R 예측			R1예보차이					R3예보차이				
	R1f	R3f		R1o	R3o		R1f	R3f		KSWC	EY	EN	KSWC	EY	EN				
6.9	15	1		M1.9(20:20)	quiet		25	1		-10	S		0		e				
6.10	10	1		M1.8(01:45)	quiet		45	1		-35	S		0		e				
				M1.3(15:39)															
6.11	55	1					55	1		0		e	0		e				
6.12	40	1					55	5		-15	K		-4		K				
6.13	40	1		M1.2(20:29)			40	1		0	e		0		e				
6.14	65	1		M1.9(21:52)			60	5		5	K		-4		K				
6.15	60	10					65	5		-5	K		5		S				
6.16	50	10					65	5		-15	K		5		S				
6.17	50	10					60	10		-10	K		0		e				
6.18	50	10					40	5		10	S		5		S				
6.19	40	10					25	5		15	S		5		S				
6.20	5	1					15	1		-10	K		0		e				
6.21	20	1					10	1		10	S		0		e				

그림 27. 일일 예보 확률값 비교 예시

확률값 비교 대상에서 제외시켰다.

제3절 예보 서비스 품질평가 실시 및 분석

전파두절에 대한 예보 서비스 품질평가는 예보·관측 비교표, 신뢰도, 일일 예보 확률값 비교 등 3가지를 모두 사용하였다. 표 6은 3가지 방법 중 예보·관측 비교표와 신뢰도 방법을 이용한 예보 서비스 품질평가 결과이다. 예보·관측 비교표에서 산술적 적중률과 예보적중지수 모두 우주전파센터가 SWPC보다 높은 것으로 나타났다. 이것은 전파두절의 경우 우주전파센터에

서 자체개발한 “태양흑점 폭발 예측프로그램”의 활용 때문이라 할 수 있다. 비록 이 프로그램의 기본 로직은 현재 SWPC에서 사용하고 있는 방식을 그대로 모방하고 있지만 도입이후 한반도 실정에 맞도록 내부 소스를 수정하고 보완하는 작업을 꾸준히 진행시켜 왔으며, 프로그램에 기초가 되는 과거 흑점기록도 15년에서 30년으로 확대 적용하였다. 이외에 확률모형을 추가 도입하여 흑점 폭발에 대한 예측 정확도를 좀 더 수학적으로 접근할 수 있도록 시도하였다. 하지만 이러한 시도에도 불구하고 예보 실패율은 우주전파센터가 더 높으며, 예보 편향도에서도 미국보다 더 높은 것으로 나타났다. 이에 대한 자세한 설명은 잠시 후에 하도록 하며, 전파두절에 대한 신뢰도 방법 결과를 보면 예보·관측 비교표와는 반대로 SWPC가 우주전파센

표 6. 전파두절에 대한 예보 서비스 품질평가 결과

구 분	예보·관측 비교표 방법	
	우주전파센터	SWPC
산술적 적중률	0.482	0.372
예보 실패율	0.562	0.531
예보 편향도	1.1	0.79
예보적중지수(높을수록 좋음)	0.297	0.261
구분	신뢰도 방법	
	우주전파센터	SWPC
예보점수(높을수록 좋음)	0.206	0.253

터보다 더 높은 것으로 나타났다. 예보·관측 비교표 방법과 신뢰도 방법에 의한 예보 서비스 품질평가 결과 서로 상반된 결과를 보임에 따라 그 이유에 대해 분석해 보았다. 그림 28은 신뢰도 방법에 의한 예보확률과 상대적 발생빈도에 대한 그림이다. 이 그림에서 적색은 우주전파센터를 나타내며 파란색은 SWPC, 점선은 적중률이 100%인 가상적중 구간을 나타낸다. 예보확률 0에서 30% 구간에서는 두 기관 모두 가상적중 구간에 가까운 분포를 보이고 있으며 이러한 현상은 60%이상에서도 30%이하구간보다 다소 떨어져 있기는 하지만 두 기관이 비슷한 형태를 보이고 있다. 그러나 30%이상 60%미만인 구간에서는 우주전파센터보다는 SWPC가 가상적중 구간에 다소 근접해 있는 것을 알 수 있다. 특히 40%에서 50% 구간이 우주전파센터와

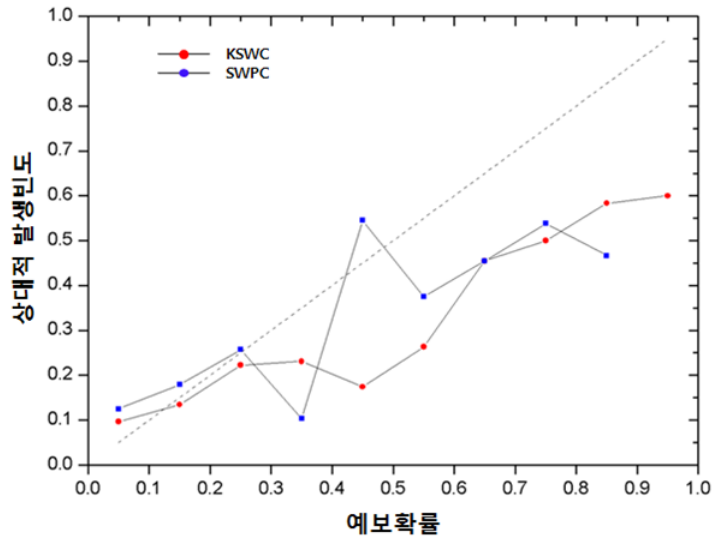


그림 28. 우주전파센터와 SWPC의 태양입자 신뢰도 분포

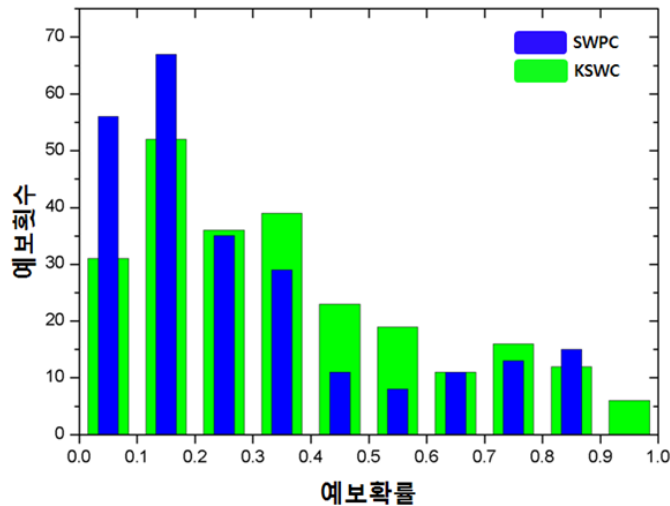


그림 29. 우주전파센터와 SWPC의 예보확률 현황

SWPC의 상대적 발생빈도가 가장 많이 차이가 나타난 것으로 분석되었다. 그림 29는 우주전파센터와 SWPC에 대해 예보확률에 대한 분포를 나타낸 것이다. 그림 29에서 우주전파센터와 SWPC간 차이가 나는 30%이상 60% 미만인 구간을 보면 우주전파센터가 SWPC보다 높은 예보확률을 보이고 있다. 특히 40%에서 50%구간에서는 그 차이가 큰 것을 알 수 있다. 상대적

발생빈도는 전체 예보횟수에 대한 실제 경보발령 횟수로 정의되므로 그림 29에서 예보횟수의 차이는 그림 28에서의 상대적 발생빈도 차이로 나타나며 신뢰도에서 신뢰성과 변별력에 변화를 가져와 전체적인 예보점수에 영향을 준 것으로 분석할 수 있다. 결국 우주전파센터는 예보횟수의 증가로 SWPC보다 낮은 신뢰도를 보였다고 할 수 있다. 예보횟수의 증가는 일일 예보 확률값 비교에서도 나타난다. 그림 30은 두 기관에 대해 경보 발령 시 및 경보 미발령 시 두 가지에 대해 일일 예보 확률값 비교 결과를 나타낸다.

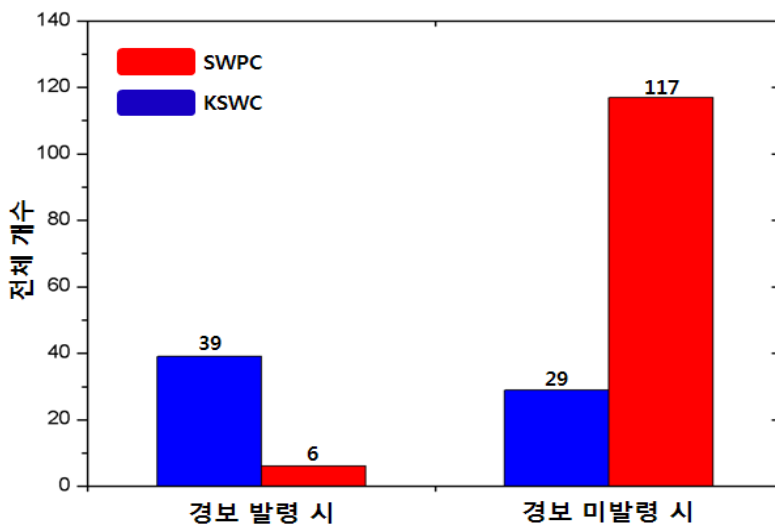


그림 30. 일일 예보 확률값 비교 방법 결과

그림에서 좌측의 “전체 개수”란 두 기관의 일일 예보 확률값을 비교했을 때 정확도가 높았던 날의 개수를 의미한다. 우주전파센터의 경우 경보 발령 시 SWPC보다 정확한 예보 서비스를 제공했다고 할 수 있지만 반대로 경보가 미발령된 경우에는 SWPC가 정확한 예보 서비스를 제공했다고 말할 수 있다. 경보가 발령유무에 따라 이렇게 결과가 다른 이유는 위에서 언급한 예보횟수와 관련성이 있다. 우주전파센터가 SWPC보다 예보를 많이 하거나 또는 예보 확률값을 항상 높게 설정하였다면 그림 30과 같이 경보 발령 시에는 항상 우주전파센터가 앞설 수밖에 없을 것이다. 반대로 경보가 없다면 예보확률을 항상 높게 설정한 우주전파센터는 SWPC보다 낮은 점수를 받을 수 밖에 없다. 이러한 분석은 예보·관측 비교표에서도 확인할 수 있는데 표 6에서 예보 실패율 및 예보 편향도를 보면 두 가지 모두 우주전파센터가

높다고 언급하였다. 즉 예보횟수의 증가 및 높은 예보 확률값 설정으로 예보 실패율이 SWPC보다 높게 나타났다. 또한 예보 편향도는 전체 관측횟수에 대한 예보횟수 비율로 우주전파센터가 1.1로 나타났다는 것은 그만큼 SWPC(0.79)보다 예보횟수가 더 많았다는 것을 말해준다. 이렇게 예보부분에서 SWPC보다 우주전파센터가 높은 수치를 보이는 이유는 현재 사용하고 있는 확률값 결정 방식에서 찾을 수 있다. 전파두절의 경우 “태양흑점 폭발 예측 프로그램”을 이용하여 태양에서 관측되는 흑점에 대한 정보를 과거 태양흑점 폭발이 발생한 흑점과 비교하여 자동으로 전파두절에 대한 예측 확률값을 자동으로 산출한다. 그러나 이 확률값이 최종적으로 결정되지 않으며, 이를 바탕으로 예보관의 경험이 추가로 적용된다. 여기서 “예보관의 경험”이란 예보관이 오랜 기간 동안 태양 흑점활동 및 태양흑점 폭발 등 태양활동과 관련한 다양한 관측 정보를 수집·분석한 경험과 실제로 분석된 흑점으로부터 발생한 태양흑점 폭발과 전파두절 경보상황에 대한 경험으로 해석할 수 있다. 이러한 경험은 때로는 수치적으로 계산된 정보보다 매우 중요하여 흑점의 크기나 자기장 복잡도 등 과거 기록을 바탕으로도 찾아내지 못한 즉, 예상하지 못한 태양흑점 폭발을 찾을 수 있는 단서로 활용될 수 있다. 실제로 위에서 언급했지만 단순 흑점의 크기나 자기장 복잡도를 이용하여 산출한 확률값이 크기와 자기장 복잡도의 변화 등 추가되는 속성에 따라 확률값의 범위가 크게 차이가 날 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 이렇게 중요한 “예보관의 경험”이 오히려 예보 서비스 품질평가에 악영향을 줄 수 있다. 만일 경험이 부족한 예보관이나 관련 전문지식이 없는 인력이 예보관이 된다면 이에 대한 예보 서비스 품질은 장담할 수 없으며, 비상상황 발생 시 신속한 대응을 기대할 수 없다. 따라서 우주전파환경의 예보관은 관련 전문지식을 충분히 가지고 비상상황에 대해 즉각적이고 정확한 판단을 할 수 있어야 한다. 그렇다고 “경험”이 풍부한 예보관도 문제가 없다고 할 수 없다. “경험”이 풍부한 예보관이 예보 서비스 업무를 수행 중 관측자료 분석에서 “풍부한 경험”이 “고정관념”으로 변질될 가능성이 있다. 이럴 경우 고정관념에 의해 그릇된 결론을 도출하여 잘못된 확률값을 수요자에 제공할 수 있어 “경험”이 없는 예보관과 차이가 없는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 문제를 조기에 해결해야 높은 신뢰성의 예보 서비스를 제공할 수 있다.

태양입자에 대한 예보 서비스 품질평가는 예보·관측 비교표 방법만을 사용하여 품질평가를 실시하였다. 신뢰도와 일일 예보 확률값 비교 방법의 경우 태양입자에 대한 예보 서비스 정보가 3월부터 10월까지 적어 나머지 두 가지 방법을 적용하기에는 객관성에 문제가 있어 사용하지 않았다. 표 7은 예보·관측 비교표 방법을 통해 작성된 것으로 3월부터 10월까지 태양입자 경보 상황을 예측 후 실제로 관측된 비율은 두 기관 비슷한 수준으로 나타났다. 이런 결과는 경보 상황을 예측되지 않았지만 실제로 관측된 경우에서도 확인할 수 있다. 이러한 특징은 아래에서 설명하기로 하겠다. 표 8은

표 7. 태양입자에 대한 예보·관측 비교표

우주전파센터				SWPC			
구 분	관측	미관측	합계	구 분	관측	미관측	합계
예보	20	2	22	예보	19	2	21
미예보	8	215	223	미예보	7	217	224
합계	28	217	245	합계	26	219	245

표 7을 바탕으로 태양입자 예보 서비스의 품질평가를 나타낸 것이다. 여기서 산술적 적중률과 예보적중지수가 매우 높게 나타났다. 특히 예보적중지수의 경우 전파두절과 비교하면 2배가 넘는 수치를 나타내고 있다. 태양입자의 경우 예보 서비스 품질평가 결과가 전파두절보다 높게 나타난 이유는 태양입자의 경보 발령 패턴에서 찾을 수 있다. 전파두절의 경우 경보가 발령되고 해제가 되기까지 수분에서 수시간 정도이지만 태양입자의 경우 최대 수일간 지속되는 경우가 많이 나타난다. 따라서 태양입자 경보상황이 발생되면 예보관은 다음날 또는 2일 후에 대한 태양입자 상황을 어느 정도

표 8. 태양입자에 대한 예보 서비스 품질평가 결과

구 분	예보·관측 비교표 방법	
	우주전파센터	SWPC
산술적 적중률	0.714	0.730
예보 실패율	0.090	0.095
예보 편향도	0.780	0.800
예보적중지수(높을수록 좋음)	0.217	0.260

예측하기 쉬워진다. 실제로 그림 31은 7월 18일(한국시간)에 발생한 2단계 태양입자 경고상황을 보여주고 있다. 18일 약 0시경 10MeV이상의 양성자(적색실선)가 증가하기 시작하여 2시간 후 1단계 태양입자 경고상황이 발령되고 이후 2일이 넘도록 유지되고 있다. 이러한 상황에서 예보관은 18일 11시, 19일 11시에 발표되는 3일 예보에 태양입자에 대한 예보를 쉽게 할 수

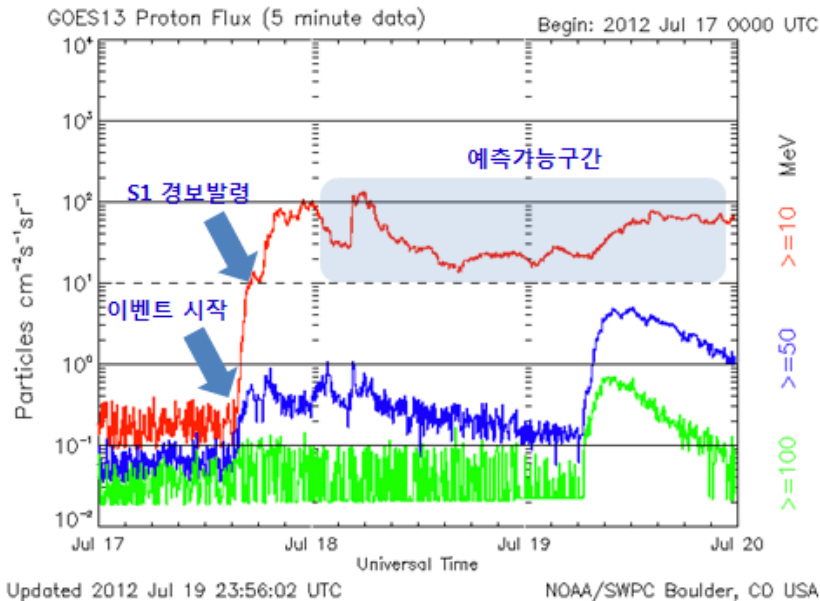


그림 31. 7월 18일에 발생한 태양입자 경고 상황 변화

있다. 따라서 이 기간에 수행되는 태양입자에 대한 예보는 예보관의 관측자료 분석에 의한 결과라 할 수 없으며, 단지 태양입자 경고상황에 대한 패턴을 알고 있어 그것을 단순히 적용하여 예보를 하였다고 할 수 있다. 따라서 태양입자에 대한 예보 서비스 품질평가는 전파두절처럼 매일 그 현상이 발생될 확률에 대해 평가하기보다 다른 방법을 이용해야 할 것이다. 가장 좋은 방법은 태양입자 경고상황이 처음 발생된 시간에 대한 발생확률을 평가하는 방식을 사용하거나 태양입자 경고상황이 어느 기간 동안 유지될 것인가에 대한 정보를 추가로 분석하여 이를 평가하는 방식을 사용할 필요가 있다. 후자의 경우 SWPC에서는 이미 수행하고 있는 사항이지만 우주전파센터에서는 아직까지 유지기간을 예측하는 기법을 적용하고 있지 않아 이번 연구에서는 평가를 할 수 없다. 다만 전자의 경우 매일 태양입자 경고

발생확률을 발표하고 있어 충분히 평가가 가능하다. 경보발령기준에 대한 태양입자 예보 서비스 평가 결과 우주전파센터의 경우 0.217이며, SWPC는 0.260로 나타났다.

지자기 교란에 대한 예보 서비스 품질평가는 신뢰도 방법을 적용하였다. 지자기 교란의 경우 태양입자 보다는 경보 상황에 대한 정보가 많아 예보·관측 비교표 보다 신뢰도 방법을 선택하였다. 표 9는 신뢰도 방법을 이용한

표 9. 지자기 교란에 대한 예보 서비스 품질평가 결과

구 분	신뢰도 방법	
	우주전파센터	SWPC
신뢰성	0.01	0.03
변별력	0.07	0.03
불확실성	0.21	0.21
신뢰점수(낮을수록 좋음)	0.16	0.21
예보점수(높을수록 좋음)	0.744	0.878

지자기 교란에 대한 예보 서비스 품질평가를 나타낸다. 신뢰도 방법을 이용한 지자기 교란 예보 서비스 품질평가 결과 신뢰성과 변별력에서 차이를 확인할 수 있다. 특히 변별력의 경우 우주전파센터가 약 2배 이상 높은 것으로 분석되었다. 신뢰성, 불확실성보다 변별력이 이와 같이 차이가 많은 이유는 그림 32에서 확인할 수 있다. 그림 32은 두 기관에 대한 신뢰도 그림으로 적색은 우주전파센터를 나타내고 청색은 SWPC를 나타낸다. 예보확률 30% 이상구간에서 SWPC의 상대적 발생빈도는 상당히 불규칙하게 나타나고 있으며, 60% 이상에서는 이에 대한 정보가 존재하지 않는다. 반면 우주전파센터의 경우 80% 구간까지 비교적 고르게 분포하는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 예보확률에 대한 상대적 발생빈도가 두 기관에 따라 그림과 같이 차이가 많이 나타나 변별력에서 차이를 보였다고 할 수 있다. 그렇다면 SWPC의 경우 60%이상의 구간에서 상대적 발생빈도가 없는 것인지 분석할 필요가 있다. SWPC에서 지자기 교란에 대한 예보를 수행할 시 지자기 교란 상태를 총 5단계로 나누며, 각각에 대한 확률을 계산한다. 5단계

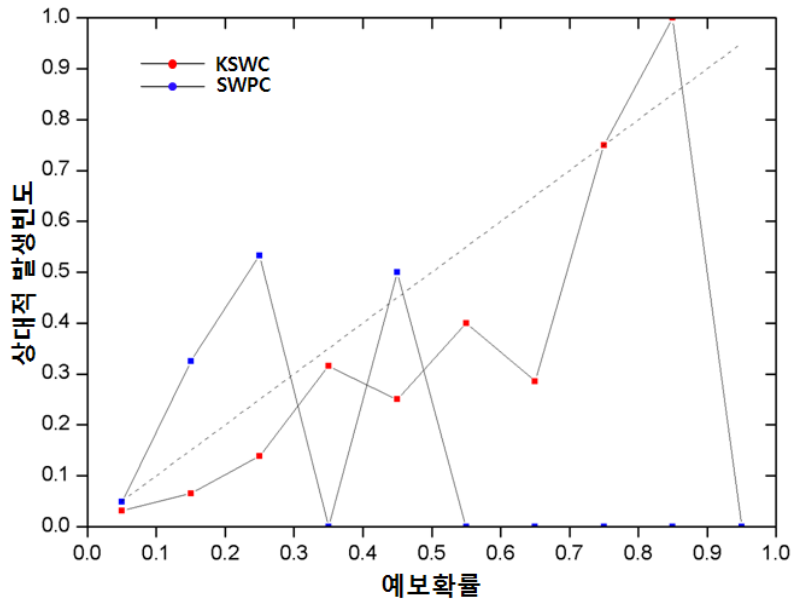


그림 32. 우주전파센터와 SWPC의 지자기 교란 신뢰도 분포

는 지자기 교란 강도를 나타내는 Kp지수에 따라 Kp=2이하이면 Quiet, Kp=3이면 Unsettled, Kp=4이면 Active, Kp=5이면 Minor storm, Kp=6이상이면 Major to Severe storm 로 분류된다. 또한 각각의 발생 확률이 결정 되더라도 확률 총 합이 100%를 넘지 못하도록 규정하고 있다. 따라서 Kp=5 이상의 지자기 교란이 확실히 되더라도 Kp=4이하의 확률이 상대적으로 높게 설정되므로 확률값 100%를 넘지 못하는 규정 때문에 예보관은

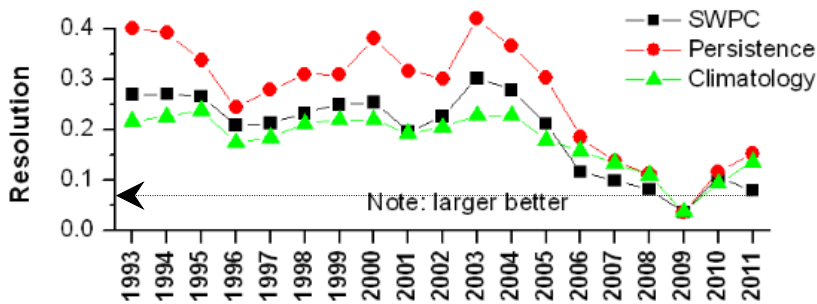


그림 33. SWPC의 변별력 변화(SWPC 홈페이지에서 발췌)

Kp=5 부분을 높게 책정할 수 없다. SWPC의 변별력은 지난 2010년 이후 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 그림 33은 SWPC 자체적으로

조사한 지자기 교란에 대한 변별력 변화를 나타내고 있다. 그림에서 지난 태양활동 극대기 시기인 2001년부터 2003년까지 0.2이상의 높은 값을 보였지만 이후 2009년까지 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 이것은 태양활동 극대기가 극소기로 넘어가면서 그 만큼 지자기 교란 경보 발령 횟수가 낮아져 예보 서비스 정보가 줄어든 결과라 할 수 있다. 2009년 이후 증가와 감소되는 성향을 보이지만 지난 태양활동 극대기에 비교하면 많이 낮아진 상태를 유지하고 있다고 할 수 있다. 이런 현상은 결국 지자기 교란 경보 발령 횟수와 관련되어 있으며, 실제로 2009년부터 2011년까지 발령된 지자기 교란 경보는 2012년보다 낮았다. 따라서 단순히 변별력이 낮다고 SWPC의 예보 서비스에 문제가 있다고 결론내릴 수 없다. 그 이유는 신뢰성 및 예보점수에서 확인할 수 있는데 표 9에서 두 기관 신뢰성을 보면 SWPC가 우주전파센터 보다 더 낮은 값을 보이고 있다. 앞서 신뢰성의 경우 낮을수록 좋은 예보 서비스라고 정의하고 있으므로 신뢰성부분에서는 SWPC가 더 좋은 예보 서비스를 수행했다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 예보점수에서도 SWPC가 우주전파센터 보다 높게 나타나고 있다. 결국 현재 SWPC에서 사용하고 있는 지자기 교란에 대한 경보 발생 확률 결정 방식이 어느 정도 신빙성이 있다고 할 수 있다.

제4절 예보 서비스 품질평가 결과

앞서 우리는 다양한 예보 서비스 품질평가 방법을 통해 현재 우주전파센터에서 수행 중인 전파두절, 태양입자, 지자기 교란에 대한 예보 서비스의 장점과 단점을 분석하였다. 전파두절의 경우 자체 개발한 태양흑점 폭발 예측 프로그램과 이를 꾸준히 개선시킨 결과 SWPC보다 다소 높은 수준의 예보 서비스를 수행하고 있다고 할 수 있다. 하지만 예보확률 결정 방식에 있어서 예보관의 경험과 각종 관측 자료를 분석할 수 있는 시간이 부족하여 SWPC보다 확률값을 높게 결정하는 경향이 나타났다. 그 결과 예보에 대한 집중도 즉, 예보 편향도가 SWPC 높아 전체적인 예보 실패율이 증가되는 문제점을 보였다. 특히 예보확률 40%이상 50%미만인 경우 전파두절 경보 상황에 비해 너무 많은 예보를 실시하여 예보 편향도 및 실패율이 가장 낮은 구간으로 나타났다. 이 구간은 경보가 실제로 발생 또는 미발생 등 2가

지 상황으로 구분되는 중간지점으로 생각할 수 있으므로 수요자 입장에서 매우 민감한 구간이라 할 수 있다. 따라서 이 구간에 대한 정확도 향상 방안에 집중해야 할 것이다. 태양입자 및 지자기 교란의 경우 우주전파센터에서는 태양흑점 폭발 예측프로그램과 같이 모델을 이용한 경보 상황 발생 확률을 예측하지 않고 예보관의 경험으로만 의존하고 있다. 그 결과 두 가지 모두 SWPC 보다 낮은 수준의 예보 서비스 품질평가가 나타났다. 따라서 우주전파센터 예보관의 경험이 SWPC에서의 태양입자와 지자기 교란을 예보하는 수준보다 낮다는 것을 증명해 준다. 또한 이것은 전파두절에서 사용하고 있는 확률 예측프로그램의 중요성이 높다는 것을 알려준다.

제5절 예보 서비스 품질 개선방안

우주전파센터의 예보 서비스가 위에서 제기한 문제점을 해결하기 위해서는 다양한 방법이 필요하다. 우선 현재 전파두절에서 사용하고 있는 확률 예측 프로그램을 태양입자와 지자기 교란에서도 확대 적용할 필요가 있다. 앞서 언급했지만 확률 예측 프로그램의 유무가 예보 서비스 품질평가에 그대로 반영되고 있으며, 확률 예측프로그램을 사용하는 전파두절이 태양입자와 지자기 교란보다 더 좋은 품질평가결과를 보이고 있다는 것을 확인하였다. 그러나 태양입자와 지자기 교란에 대한 확률 예측프로그램 도입이전에 이들에 대한 사전 조사가 필요하다. 즉, 태양입자와 지자기 교란의 경보 상황 예측 시 이들에 영향을 줄 수 있는 관측인자를 찾아내고, 과거 기록을 통해 이들이 얼마만큼 연관성이 있는지 수치적으로 조사해야 한다. 전파두절의 경우 태양 표면에서 관측되는 흑점이 가장 연관성이 높은 관측인자이며, 흑점의 크기와, 자기장 복잡도 등 다양한 종류를 바탕으로 전파두절 경보 상황 발생 확률이 달라진다는 사실은 이미 앞장에서 다뤘다. 또한 이러한 사실은 이미 수십 년 전부터 해외에서도 다양한 연구를 통해 알려지고 있다. 하지만 태양입자의 경우 태양흑점 폭발로 자주 경보 상황이 발생하는 등 흑점이 주된 관측인자라는 것이 알려져 있지만 3단계 이상의 태양흑점 폭발이 발생하더라도 태양입자 경보 상황은 발생되지 않는 경우가 존재하며, 태양흑점 폭발 이외에 지자기 교란을 통해서도 태양입자 경보 상황이 발생하기도 한다. 이렇듯 흑점은 태양입자에서도 관측인자로 생각할 수 있지만 지자기 교란에 대해서도 고려해야 하며, 태양흑점 폭발의 종류에 따라 태양입자 경보 상황이 달라지는 이유에 대해서도 알아야 한다. 특히 지자기 교란과의 상관성에서는 지자기 교란을 일으키는 다양한 관측인자도 존재하기 때문에 태양입자와 지자기 교란을 하나의 현상으로 인식하여 관측인자를 조사해야하는가에 대한 논의도 필요하다.

확률 예측 프로그램의 도입이외에 예보관의 예보업무 방식에서도 개선방안이 필요하다. 전파두절의 경우 확률 예측프로그램의 결과값에 예보관의 경험이 추가되어 확률값이 최종 결정되어 진다고 언급했다. 예보관의 경험은 전파두절 뿐만 아니라 태양입자와 지자기 교란에서도 사용되며 이 두 가지

에서는 확률 예측프로그램이 없으므로 예보관의 경험이 매우 중요하다. 그러나 예보관의 경험이나 전문지식이 부족할 경우 수요자들에게 잘못된 정보를 제공하여 예보 서비스의 정확성 및 신뢰성이 떨어질 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 기본적으로 우주전파환경에 대한 기본지식과 태양흑점 폭발이나 지자기 교란 등 우주전파환경에 대한 다양한 현상에 대한 물리적 원인을 알고 있어야 한다. 그리고 이를 바탕으로 각종 관측 자료로부터 예보 확률을 결정하는 방법을 표준화시켜야 한다. 다양한 경로로부터 우주전파환경에 대한 기본지식과 물리적 현상을 알고 있더라도 이것이 오히려 고정관념으로 쉽게 변질된다면 같은 현상을 예보관들마다 다르게 분석하여 혼란을 일으킬 수도 있다. 그러므로 전파두절, 태양입자, 지자기 교란에 대한 예보 확률값을 결정 방법을 규정하고 보고서 작성 시 상황에 따른 작성 문구를 표준화하여 수요자들로 하여금 혼란을 줄이도록 노력해야 한다. 특히 예보자료 작성 시 문구의 표준화는 전문성 및 간결성이 서로 공존해야 하므로 전문가의 의견을 충분히 반영시키고, 수요자들에 대한 의견도 조사하여 이해하기 쉬운 문구로 작성하도록 한다. 더구나 corona hole 등의 고유이름에 대한 영문 표기의 경우 sunspot을 흑점, solar flare를 태양흑점 폭발 등의 한글로 변경토록 하며, 부득이한 경우 그 현상에 대한 충분한 설명 자료를 준비하여 이해시키도록 할 필요가 있다.

다음으로 앞에서 제기한 문제점 중 우주전파센터의 예보 확률값이 SWPC보다 높다는 결론에 따라 확률값에 대한 상한제 도입이 필요하다. 구체적으로 지자기 교란의 경우 SWPC에서 적용하는 방식을 이용하여 지자기 교란 규모를 등급에 따라 나누어 각각에 대한 예보 확률값을 결정하는 방식을 도입해야 한다. 현재 우주전파센터에서는 지자기 교란을 G1, G2이상 등의 2가지로 나누어 예보 확률값을 설정하고 있는데 G1 등급에 확률값이 높아지는 경우가 자주 발생한다. 예를 들어 실제로 G1 등급의 지자기 교란 정보 상황이 예상되는 경우 Kp지수의 예상치는 Kp=5이다. 그러나 예보관의 분석으로 Kp=4 또는 Kp=5가 예상된다면 G1에 대한 확률만을 작성해야 하며, Kp=5가 예상됨으로 확률값을 높게 설정한다. 하지만 같은 상황에서 SWPC의 경우 각각 따로 확률값을 작성하여 발표하므로, 실제 Kp=4 상황이 관측되면 우주전파센터는 SWPC보다 높은 확률값을 결정한 것으로 볼 수

있다. 결국 예보관은 평소대로 관측 자료를 분석하고 확률값을 결정했다라고도 확률값 결정방식의 차이로 예보횟수가 증가하고 정확도 감소 및 예보 실패율 증가로 무분별한 예보를 수행하고 있다는 결론을 얻을 수 있다.

확률 예측프로그램의 확대와 확률값 상한제 도입이외에 예보 서비스 품질평가에 대한 방법도 개선이 필요하다. 이것은 전파두절에 대한 품질평가에서 확인할 수 있듯이 평가방법에 따라 결과가 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 이번 연구에서는 예보·관측 비교표, 신뢰도, 일일 예보 확률 방법을 이용하였는데 각각 방법에 따라 장점 및 단점이 모두 존재한다. 예보·관측 비교표의 경우 예보와 관측의 유무만을 결정하고 데이터를 수집하는 방식으로 비교적 쉽게 예보 서비스 품질평가를 실시할 수 있다는 장점이 있지만 예보부분이 1%부터 100%까지 존재한다는 관점에서는 너무 단순하게 예보의 유무를 결정하고 있다는 단점이 존재한다. 신뢰도는 예보·관측 비교표의 이러한 단점을 보완하고자 도입되었다. 1%부터 100%까지 예보를 특정 구간으로 나누어 각 구간에 대한 예보 서비스 품질평가를 실시하므로 신뢰도 방법은 좀 더 세밀하게 구체적으로 예보 서비스의 분석이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 예보값에 대한 구간 분류 시 이에 대한 명확한 기준이 없으므로 구간 분류가 너무 세분화되어 있거나 간략하게 될 경우 신뢰도 값이 다르게 도출될 수 있다. 또한 신뢰도에서는 상대적 발생빈도에 따라 품질평가 결과가 달라지는 경향이 있다. 상대적 발생빈도는 전체 예보 횟수에 대한 실제 경보 발생 횟수이므로 예상치 못한 경보 즉, 예보를 하지 않은 상태에서 경보가 발생되면 상대적 발생빈도가 달라진다. 신뢰도에서는 이 부분을 불확실성이라 규정하여 예보 서비스 품질평가 시 이 값을 수치적으로 계산하여 신뢰도 여부를 결정한다. 이렇듯 예보 서비스 품질평가는 그 종류에 따라 장점 및 단점이 공존하고 있어 어느 하나의 결과만을 가지고 종합적인 평가를 내리기에는 역부족이다. 따라서 앞으로 예보 서비스 품질평가 시 이에 대한 보완책이 필요하다. 이를 위해 첫째 현재 우주전파센터에서 사용 중인 세 가지의 품질평가 방식을 개선할 필요가 있다. 예보·관측 비교표와 신뢰도 방법은 오래 전에 개발되어 현재까지도 사용되고 있으며 위에서 제기된 문제점을 해결하기위해 원리를 조금씩 변경시켜 적용하는 방법이 일부 알려지고 있다. 따라서 이 변경된 방법들이 우주전파센터

에서도 사용가능한지 충분한 검토 후 적용시켜야 할 것이다. 다음으로는 새로운 예보 서비스 품질평가 방법을 도입하는 것이다. 현재 우주전파센터에서 사용 중인 방법 이외에 해외에서 검증 받은 방법을 선정하여 도입함으로써 예보 서비스를 다양한 관점에서 평가하여 예보 서비스의 객관성을 확보할 필요가 있다. 또한 평가 방법이 다양화 될 경우 각각의 방법마다 가지고 있는 단점을 서로 보완할 수 있는 좋은 기회이므로 신뢰성도 높아지는 결과를 얻을 수 있다.

예보 서비스 평가방법 확대 이외에 평가 대상을 확대하는 방안도 고려해야 한다. 2012년도 연구에서는 우주전파센터와 SWPC간 예보 서비스를 가지고 평가를 실시하였지만 2013년도에는 ISES 회원국 대상의 예보 서비스 품질평가를 실시할 필요가 있다. 우주전파센터는 ISES 회원국 중 14번째로 가입되어 있지만 예보 서비스 수준은 어느 정도인지 아직까지 모르는 상태이다. 다만 이번 연구를 통해 SWPC와 비교하여 어느 수준인지만 확인했을 뿐이다. 우주전파센터가 우주전파환경의 한국 대표기관으로 국제적인 공인받기 위해서는 SWPC 뿐만 아니라 ISES의 다른 회원국에 대해서도 비교분석이 필요하다. 여러 기관에 대한 예보 서비스 품질평가 시 유의할 점은 평가 대상이 되는 정보가 모두 일치해야 한다는 것이다. 예를 들어 우주전파센터와 SWPC의 경우 같은 전파두절, 태양입자, 지자기 교란을 확률값으로 예보하고 있으므로 객관적인 평가가 가능하다. 그러나 ISES 회원국 중 확률값에 대한 예보를 하지 않는 경우가 있을 수 있기 때문에 이에 대한 대비를 하고 있어야 한다. ISES 회원국 대상의 예보 서비스 품질평가를 위해서는 ISES 회원국이 공통으로 예보 정보를 교환하는 USIgram 코드를 이용하는 것이 가장 적절할 것으로 예상된다. 예보 서비스 정보가 결정되어 14개의 ISES 회원국 대상으로 예보 서비스 품질평가가 실시되면 우주전파센터에서는 이 정보를 이용하여 적중률에 대한 수치화 관리가 가능해진다. 2013년 평가 자료를 기반으로 2014년도에 대한 목표 예보점수나 Top 5 등 특정 순위 구간을 설정하여 예보 서비스 품질관리가 가능해진다.

제4장 결론

우리는 전파두절에 대한 정확하고 신뢰도 높은 예보를 위해 태양흑점 폭발 예측프로그램을 자체적으로 개발하고, 흑점의 특성에 따라 태양흑점 폭발 예측프로그램의 결과가 어떻게 달라지는 그리고 어떤 연관성이 있는지 분석하였다. 또한 우주전파센터에서 제공하는 예보 서비스가 선진국 과 비교하여 수준이 어느 정도인지 알아보기 위해 우주전파센터와 SWPC 간 예보 서비스 품질평가를 실시하였다.

태양흑점에 대한 태양흑점 폭발 예측프로그램에서는 같은 종류의 흑점일 경우 면적이 클수록 그리고 자기장 복잡도가 높을수록 태양흑점 폭발확률이 더 높은 경향이 있었다. 또한 지난 24시간 동안 흑점 크기의 변화에서도 크기의 변화량이 클수록 폭발 확률이 더 높게 나타났다. 그러나 자기장 복잡도의 경우 지난 24시간 동안 자기장 복잡도의 변화와 태양흑점 폭발의 상관성이 약한 것으로 나타났다. 이것은 자기장 복잡도에 따른 분류 과정에서 그룹 간 샘플수의 차이가 크게 벌어짐에 따라 발생한 것으로 사료된다. 이외에 흑점에 대한 지난 2일간 활동성에서는 지난 2일간 활동성이 높았던 흑점일수록 태양흑점 폭발 확률이 높게 분석되었다. 이러한 결과는 현재 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램에 반영되어 예보업무에 활용되고 있으며 그 결과 전파두절에 대한 품질평가에서 태양입자와 지자기 교란보다 높은 수준의 예보 서비스를 제공하는 것으로 나타났다.

예보 서비스에 대한 품질평가에서는 전파두절 부분에서는 우주전파센터에서 자체 개발한 태양흑점 폭발 예측프로그램의 영향으로 평가방법에 따라 SWPC보다 다소 높게 나타난 경우도 확인할 수 있었다. 그러나 다른 평가방법에 의해 우주전파센터의 예보 확률값이 SWPC보다 높게 설정하는 경향이 확인되어 예보횟수가 다소 많이 나타난 것으로 분석되었다. 이에 따라 전파두절에서 SWPC보다 예보점수가 높지만 예보 실패율과 예보 편향도에서도 높은 것으로 나타났다. 태양입자와 지자기 교란의 경우 전파두절과 달리 확률 예측프로그램 없이 예보관 경험을 바탕으로 예보 업무를 수행하여 SWPC보다 다소 낮은 예보 서비스 수준을 나타냈다. 이것은 예보관의 경험에

대한 의존도가 높다는 의미로 해석할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 첫째, 현재 관측하고 있는 다양한 관측 자료 중 확률값 결정에 영향을 미치는 관측인자 조사가 필요하다. 적중률이 높은 예보 서비스를 제공하기 위해서는 전파두절, 태양입자, 지자기 교란에 영향을 줄 수 있는 관측인자와 그들의 상관성을 알아야 하기 때문이다. 그리고 이를 바탕으로 전파두절과 마찬가지로 태양입자와 지자기 교란에 대한 확률 예측 프로그램의 도입이 필요하다. 둘째, 예보횟수의 자체와 신뢰성 있는 예보 서비스를 위해 예보 확률값 상한제를 도입하고 관측 자료 분석 시 예보관 주의사항 및 예보 확률 결정 방법 등 각종 표준화된 매뉴얼 마련이 필요하다. 특히 공식적인 예보 자료에 사용되는 문구는 관측 자료 종류 및 관측값에 따라 분류하여 각 상황에 따른 표준화된 문구를 마련하여 수요자들에게 이해하기 쉬운 예보 정보를 전달해야 한다. 셋째, 이 연구에서 사용된 품질평가 방법에 대한 단점을 보완하고 다양한 품질평가 방법을 새로 도입하여 예보 서비스 품질평가의 객관성과 신뢰성을 확보해야 한다. 다양한 방법을 이용할수록 품질평가에 대한 정확한 분석이 가능하고 이에 대한 문제점 해결이 쉽게 이루어 질 수 있기 때문에 해외에서 검증된 예보 방법을 검토할 필요가 있다. 마지막으로 품질평가 대상을 ISES 회원국 전체로 확대하여 우주전파센터가 우주전파환경의 한국 대표기관으로 예보 서비스가 현재 어느 수준인지 알고 있어야 한다. 또한 ISES 회원국에 대한 예보 서비스 품질평가를 통해 목표 적중률을 설정하고 관리하여 선진국 수준에 근접할 수 있는 예보 서비스 기술 습득에 노력을 다해야 한다.

[참고문헌]

- [1] M. S. Wheatland, (2004), A BAYESIAN APPROACH TO SOLAR FLARE PREDICTION, The Astrophysical Journal, 609:1134 - 1139, 2004 July 10
- [2] Jie Zhang, Yuming Wang, Yang Liu, (2010), STATISTICAL PROPERTIES OF SOLAR ACTIVE REGIONS OBTAINED FROM AN AUTOMATIC DETECTION SYSTEM AND THE COMPUTATIONAL BIASES, The Astrophysical Journal, 723:1006 - 1018, 2010 November 10
- [3] Xiao YANG, HongQi ZHANG, Yu GAO, Juan GUO, GangHua LIN, (2012), A STATISTICAL STUDY ON PHOTOSPHERIC MAGNETIC NONPOTENTIALITY OF ACTIVE REGIONS AND ITS RELATIONSHIP WITH FLARES DURING SOLAR CYCLES 22~23, Solar Physics, 12 June 2012
- [4] D. Shaun Bloomfield, Paul A. Higgins, R. T. James McAteer, Peter T. Gallagher, (2012), TOWARD RELIABLE BENCHMARKING OF SOLAR FLARE FORECASTING METHODS, The Astrophysical Journal Letters, 747:L41 (7pp), 2012 March 10
- [5] Hamill, T. M., and Juras, J., Q. J. R. Meteorol. Soc. 132, 2905, 2006
- [6] Hogan, R. J., Ferro, C. A. T., Joliffe, I. T., and Stephenson, D. B., Weather and Forecasting, 25, 710, 2010

[부 록 1]

우주전파센터 태양흑점 폭발확률 예측 프로그램 소스코드

1. flareProbToolMain_h04.m

```
% Created - Sunhak Hong 2012-01-02
% Edited - Sunhak Hong 2012-01-04
% Edited - Sunhak Hong 2012-02-19
%      Auto SRS get function added
% Edited - Sunhak Hong 2012-02-20
%      3day Forecast added
% Edited - Sunhak Hong 2012-03-04
%      Xray Event Duration added
% Edited - Sunhak Hong 2012-03-11
%      standard deviation added when show average flare duration
% Edited - Sunhak Hong 2012-04-27 (Ver. h07)
%      Poisson-distributed process :  $P_{\mu}(N > 1) = 1 - P_{\mu}(N = 0) = 1 - \exp(-\mu)$ 
% Edited - Sunhak Hong 2012-04-27 (Ver. h08)
%      Addind Broomfield's data of flare rate
% Edited - Sunhak Hong 2012-05-04 (Ver. h09)
%      Comparing with previous day
% Edited - Sunhak Hong 2012-06-07 (Ver. h10)
%      Debugging for ERO case
% Edited - Sunhak Hong 2012-06-12 (Ver. h11)
%      Debugging for ERI case
% Edited - Sunhak Hong 2012-11-20
%      change m file name to flareProbToolMain_h01.m

clear all

disp('');
disp('Solar Flare Probability Tool - Ver. 1.03');
disp('');

disp(' > 1. Trying getting the latest SRS');
filex = 'http://www.swpc.noaa.gov/ftpdir/latest/SRS.txt';
%filex = 'http://www.swpc.noaa.gov/ftpdir/forecasts/SRS/0609SRS.txt';

latestSRS = urlread(filex);
```

```

dataLine = textscan(latestSRS, '%4f %c%2f%c%2f %f %f %s %f %f %s', 'headerlines',
10);

position = findstr(latestSRS, ':Issued:');
dateLine = textscan(latestSRS(position+9:position+9+10), '%s');
dateStr = datestr(sprintf('%s %s
%s',char(dateLine{1,1}(2)),char(dateLine{1,1}(3)),char(dateLine{1,1}(1))));
disp(sprintf(' > 2. Got %s SRS data',dateStr));
disp(latestSRS);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% tblRegions : 1996-2011
% SWPC1988 : 1988-1996
% Kildahl1969 : 1969-1976
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disp(' > 3. Reading the history data of sunspots and flares ');
disp('      Data period : 1969-1976, 1988-1996, 1996-2011(daily data)');
load tblRegions
load xrayEvents
load SWPC1988
load Kildahl1969

sRegionMagTypes = ['A', 'B', 'G', 'D'];

disp(' > 4. Calculating solar flare prob. of each sunspot ');
for i = 1:length(dataLine{1,1})
    sRegionNum = dataLine{1,1}(i);
    sLocation = sprintf('%c%02.0f%c%02.0f',char(dataLine{1,2}(i)), dataLine{1,3}(i),
char(dataLine{1,4}(i)), dataLine{1,5}(i));
    sRegionClass = char(dataLine{1,8}(i));
    sRegionArea = dataLine{1,7}(i);
    sRegionMag = char(dataLine{1,11}(i));
    [flareProbBasedObs, flareProbBasedEst, numOfOnDiskDay] =
flareProb_h05(tblRegions, SWPC1988, Kildahl1969, sRegionClass);

    % Poisson-distributed process
    flareProbBasedObs = (1-exp(-flareProbBasedObs/100))*100;

```

```
[flareDuration, stdFlareDuration] = flareDuration_h03(tblRegions, xrayEvents,
sRegionClass);
```

```
activeRegion{i}.sRegionNum = sRegionNum;
activeRegion{i}.sLocation = sLocation;
activeRegion{i}.sRegionClass = sRegionClass;
activeRegion{i}.sRegionArea = sRegionArea;
```

```
sRegionMagCapitalLetter = [];
for k = 1:4
    tmp = strfind(sRegionMag, sRegionMagTypes(k));
    sRegionMagCapitalLetter = [sRegionMagCapitalLetter, sRegionMag(tmp)];
end
%activeRegion{i}.sRegionMag = sRegionMag;
activeRegion{i}.sRegionMag = sRegionMagCapitalLetter;
```

```
activeRegion{i}.flareProbBasedObs = flareProbBasedObs;
activeRegion{i}.flareProbBasedEst = flareProbBasedEst;
activeRegion{i}.numOfOnDiskDay = numOfOnDiskDay;
activeRegion{i}.flareDuration = flareDuration;
activeRegion{i}.stdFlareDuration = stdFlareDuration;
```

```
if strcmpi(char(dataLine{1,4}(i)), 'e')
    dLongitude = (-1) * dataLine{1,5}(i);
else %if west
    dLongitude = dataLine{1,5}(i);
end
dLongitudeDay2 = dLongitude + 13.5;
dLongitudeDay3 = dLongitude + 13.5*2;
```

```
iOnTheDiskDay2 = 1;
if dLongitudeDay2 < 0
    sLocationDay2 = sprintf('%c%02.0fE%02.0f',char(dataLine{1,2}(i)),
dataLine{1,3}(i), abs(dLongitudeDay2));
else %if west
    sLocationDay2 = sprintf('%c%02.0fW%02.0f',char(dataLine{1,2}(i)),
dataLine{1,3}(i), abs(dLongitudeDay2));
    if abs(dLongitudeDay2) > 90
        iOnTheDiskDay2 = 0;
```

```

        end
    end

    iOnTheDiskDay3 = 1;
    if dLongitudeDay3 < 0
        sLocationDay3 = sprintf('%c%02.0fE%02.0f',char(dataLine{1,2}(i)),
dataLine{1,3}(i), abs(dLongitudeDay3));
    else %if west
        sLocationDay3 = sprintf('%c%02.0fW%02.0f',char(dataLine{1,2}(i)),
dataLine{1,3}(i), abs(dLongitudeDay3));
        if abs(dLongitudeDay3) > 90
            iOnTheDiskDay3 = 0;
        end
    end
end

activeRegion{i}.sLocationDay2 = sLocationDay2;
activeRegion{i}.sLocationDay3 = sLocationDay3;
activeRegion{i}.iOnTheDiskDay2 = iOnTheDiskDay2;
activeRegion{i}.iOnTheDiskDay3 = iOnTheDiskDay3;
end

%debug
%activeRegion{1}.flareProbBasedObs = [50 50 50 50];

%disp(' ');
disp('***DAY1*****');
disp('REGION  LOCATION  SPOT CLASS  PROB. FROM OBS.  PROB. FROM OLD
EST.   ON DISK DAY  FLARE DURATION');
disp('
                                C / M / X          C / M / X / P
[MIN]      ');
multiTmp1 = [1 1 1 1];
multiTmp2 = [1 1 1 1];

for j = 1:i
    strDsp1=sprintf(' %4.0f  %7s      %s      %3.0f  %2.0f  %2.0f      %2.0f
%2.0f  %2.0f  %2.0f      %5.0f      %5.0f(+ /-%1.0f)', ...
        activeRegion{j}.sRegionNum, ...
        activeRegion{j}.sLocation, ...
        upper(char(activeRegion{j}.sRegionClass)), ...

```

```

        activeRegion{j}.flareProbBasedObs(1:3), ...
        activeRegion{j}.flareProbBasedEst, ...
        activeRegion{j}.numOfOnDiskDay, ...
        activeRegion{j}.flareDuration/60, ...
        activeRegion{j}.stdFlareDuration/60);
disp(strDsp1);
if ~isnan(activeRegion{j}.flareProbBasedObs(1))
    multiTmp1 = multiTmp1 .* (1 - activeRegion{j}.flareProbBasedObs./100);
    multiTmp2 = multiTmp2 .* (1 - activeRegion{j}.flareProbBasedEst./100);
end
end

flareProbBasedObsAll = (1 - multiTmp1)*100;
flareProbBasedEstAll = (1 - multiTmp2)*100;

%if flareProbBasedObsAll(1) > 99
%    flareProbBasedObsAll(1) = 99;
%end

disp("");
strDsp2=sprintf(' TOTAL                %2.0f  %2.0f  %2.0f          %2.0f
%2.0f  %2.0f  %2.0f', ...
    flareProbBasedObsAll(1:3), ...
    flareProbBasedEstAll);
disp(strDsp2);
disp('*****');

% the first day's total flare prob
flareProbBasedObsAllDay1 = flareProbBasedObsAll;

disp("");
disp('***DAY2*****');
disp('REGION  LOCATION  SPOT CLASS  PROB. FROM OBS.  PROB. FROM OLD
EST. ');
disp('
C / M / X          C / M / X / P');
multiTmp1 = [1 1 1 1];
multiTmp2 = [1 1 1 1];

```

```

for j = 1:i
    strDsp1=sprintf(' %4.0f   %7s       %s       %3.0f %2.0f %2.0f       %2.0f
%2.0f %2.0f %2.0f', ...
        activeRegion{j}.sRegionNum, ...
        activeRegion{j}.sLocationDay2, ...
        upper(char(activeRegion{j}.sRegionClass)), ...
        activeRegion{j}.flareProbBasedObs(1:3) .* activeRegion{j}.iOnTheDiskDay2, ...
        activeRegion{j}.flareProbBasedEst .* activeRegion{j}.iOnTheDiskDay2);
    disp(strDsp1);
    if ~isnan(activeRegion{j}.flareProbBasedObs(1))
        multiTmp1 = multiTmp1 .* (1 - activeRegion{j}.flareProbBasedObs./100 .*
activeRegion{j}.iOnTheDiskDay2);
        multiTmp2 = multiTmp2 .* (1 - activeRegion{j}.flareProbBasedEst./100 .*
activeRegion{j}.iOnTheDiskDay2);
    end
end

flareProbBasedObsAll = (1 - multiTmp1)*100;
flareProbBasedEstAll = (1 - multiTmp2)*100;

%if flareProbBasedObsAll(1) > 99
%    flareProbBasedObsAll(1) = 99;
%end

disp('');
strDsp2=sprintf(' TOTAL                %2.0f %2.0f %2.0f       %2.0f
%2.0f %2.0f %2.0f', ...
    flareProbBasedObsAll(1:3), ...
    flareProbBasedEstAll);
disp(strDsp2);
disp('*****');

disp('');
disp('***DAY3*****');
disp('REGION  LOCATION  SPOT CLASS  PROB. FROM OBS.   PROB. FROM OLD
EST. ');
disp('                C / M / X                C / M / X / P');

```



```

multiTmp1 = [1 1 1 1];
multiTmp2 = [1 1 1 1];

for j = 1:i
    strDsp1=sprintf(' %4.0f   %7s       %s       %3.0f %2.0f %2.0f       %2.0f
%2.0f %2.0f %2.0f', ...
        activeRegion{j}.sRegionNum, ...
        activeRegion{j}.sLocationDay3, ...
        upper(char(activeRegion{j}.sRegionClass)), ...
        activeRegion{j}.flareProbBasedObs(1:3) .* activeRegion{j}.iOnTheDiskDay3, ...
        activeRegion{j}.flareProbBasedEst .* activeRegion{j}.iOnTheDiskDay3);
    disp(strDsp1);
    if ~isnan(activeRegion{j}.flareProbBasedObs(1))
        multiTmp1 = multiTmp1 .* (1 - activeRegion{j}.flareProbBasedObs./100 .*
activeRegion{j}.iOnTheDiskDay3);
        multiTmp2 = multiTmp2 .* (1 - activeRegion{j}.flareProbBasedEst./100 .*
activeRegion{j}.iOnTheDiskDay3);
    end
end

flareProbBasedObsAll = (1 - multiTmp1)*100;
flareProbBasedEstAll = (1 - multiTmp2)*100;

%if flareProbBasedObsAll(1) > 99
%    flareProbBasedObsAll(1) = 99;
%end

disp('');
strDsp2=sprintf(' TOTAL               %2.0f %2.0f %2.0f       %2.0f
%2.0f %2.0f %2.0f', ...
    flareProbBasedObsAll(1:3), ...
    flareProbBasedEstAll);
disp(strDsp2);
disp('*****');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Comparing with the previous day

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dateNum = datenum(dateStr);
dateNumPreDay = addtodate(dateNum, -1, 'day');
dateVecPreDay = datevec(dateNumPreDay);
filexPreDay = sprintf('http://www.swpc.noaa.gov/ftplib/forecasts/SRS/%02d%02dSRS.txt',
dateVecPreDay(2), dateVecPreDay(3));

disp(' > 5. Trying getting the previous day SRS');
preDaySRS = urlread(filexPreDay);
dataLine = textscan(preDaySRS, '%4f %c%2f%c%2f %f %f %s %f %f %s', 'headerlines',
10);

position = findstr(preDaySRS, ':Issued:');
dateLine = textscan(preDaySRS(position+ 9:position+ 9+ 10), '%s');
dateStr = datestr(sprintf('%s %s
%s',char(dateLine{1,1}(2)),char(dateLine{1,1}(3)),char(dateLine{1,1}(1))));
disp(sprintf(' > 6. Got %s SRS data',dateStr));
%disp(latestSRS);

disp(sprintf(' > 7. Comparing with previous day'));

activeRegionPreDay = [];
for i = 1:length(dataLine{1,1})
    sRegionNum = dataLine{1,1}(i);
    sLocation = sprintf('%c%02.0f%c%02.0f',char(dataLine{1,2}(i)), dataLine{1,3}(i),
char(dataLine{1,4}(i)), dataLine{1,5}(i));
    sRegionClass = char(dataLine{1,8}(i));
    sRegionArea = dataLine{1,7}(i);
    sRegionMag = char(dataLine{1,11}(i));

    activeRegionPreDay{i}.sRegionNum = sRegionNum;
    activeRegionPreDay{i}.sLocation = sLocation;
    activeRegionPreDay{i}.sRegionClass = sRegionClass;
    activeRegionPreDay{i}.sRegionArea = sRegionArea;

    sRegionMagCapitalLetter = [];
    for k = 1:4
        tmp = strfind(sRegionMag, sRegionMagTypes(k));
        sRegionMagCapitalLetter = [sRegionMagCapitalLetter, sRegionMag(tmp)];
    end
end

```

```

end
%activeRegionPreDay{i}.sRegionMag = sRegionMag;
activeRegionPreDay{i}.sRegionMag = sRegionMagCapitalLetter;
end

numTodayActiveRegions = length(activeRegion);
numPreDayActiveRegions = length(activeRegionPreDay);

disp('*****');
%dispLineHeader = sprintf('Number    LocationWt    AreaWt        MagWt        ClassWt
    C/ M/ X');
dispLineHeader = sprintf('NumberWt    LocationWt    AreaWt        MagWt        ClassWt
    C/ M/ X');
disp(dispLineHeader);

for i = 1:numTodayActiveRegions
    flagFindSameRegionNum = 0;
    for j = 1:numPreDayActiveRegions
        if activeRegion{i}.sRegionNum == activeRegionPreDay{j}.sRegionNum
            flagFindSameRegionNum = 1;
            %dispLine1 = sprintf('%4d        %6sWt        %3d->%3d        %3s->%3sWt
%3s->%3s        %2.0f/%2.0f/%2.0f', ...
                dispLine1 = sprintf('%4dWt    %6sWt    %3d->%3dWt    %3s->%3sWt
%3s->%3sWt    %2.0f/%2.0f/%2.0f', ...
                    activeRegion{i}.sRegionNum, ...
                    activeRegion{i}.sLocation, ...
                    activeRegionPreDay{j}.sRegionArea, activeRegion{i}.sRegionArea, ...
                    activeRegionPreDay{j}.sRegionMag, activeRegion{i}.sRegionMag, ...
                    activeRegionPreDay{j}.sRegionClass, activeRegion{i}.sRegionClass, ...
                    activeRegion{i}.flareProbBasedObs(1:3));
            disp(dispLine1);

            tmpTargetSpot{i}.spotNum = activeRegion{i}.sRegionNum;
            tmpTargetSpot{i}.classToday = upper(activeRegion{i}.sRegionClass);
            tmpTargetSpot{i}.magToday = activeRegion{i}.sRegionMag;
            tmpTargetSpot{i}.areaToday = activeRegion{i}.sRegionArea;
            tmpTargetSpot{i}.magPreday = activeRegionPreDay{j}.sRegionMag;
            tmpTargetSpot{i}.areaPreday = activeRegionPreDay{j}.sRegionArea;

```



```
meanMultiFlareProb = [1 1 1];
stdMultiFlareProb = [1 1 1];

meanVecFlareProb = [];
stdVecFlareProb = [];

cflareProbVecName{1} = 'tmpFlareProb.ByMag';
cflareProbVecName{2} = 'tmpFlareProb.ByArea';
cflareProbVecName{3} = 'tmpFlareProb.ByMagChange';
cflareProbVecName{4} = 'tmpFlareProb.ByAreaChange';

if 0 %test
    tmpTargetSpot{1}.spotNum = 1428;
    tmpTargetSpot{1}.classToday = 'DAO';
    tmpTargetSpot{1}.magToday = 'B';
    tmpTargetSpot{1}.areaToday = 180;
    tmpTargetSpot{1}.magPreday = 'B';
    tmpTargetSpot{1}.areaPreday = 300;

    tmpTargetSpot{2}.spotNum = 1429;
    tmpTargetSpot{2}.classToday = 'EKC';
    tmpTargetSpot{2}.magToday = 'BGD';
    tmpTargetSpot{2}.areaToday = 1170;
    tmpTargetSpot{2}.magPreday = 'BGD';
    tmpTargetSpot{2}.areaPreday = 950;

    tmpTargetSpot{3}.spotNum = 1430;
    tmpTargetSpot{3}.classToday = 'DAO';
    tmpTargetSpot{3}.magToday = 'B';
    tmpTargetSpot{3}.areaToday = 180;
    tmpTargetSpot{3}.magPreday = 'B';
    tmpTargetSpot{3}.areaPreday = 200;

    tmpTargetSpot{4}.spotNum = 1431;
    tmpTargetSpot{4}.classToday = 'CRO';
    tmpTargetSpot{4}.magToday = 'B';
    tmpTargetSpot{4}.areaToday = 20;
    tmpTargetSpot{4}.magPreday = 'B';
    tmpTargetSpot{4}.areaPreday = 30;
```

```

    numTodayActiveRegions = 4;
end

for i = 1:numTodayActiveRegions
    structTargetSpot = tmpTargetSpot{i};

    if ~isnan(structTargetSpot.areaPreday)

        tmpFlareProb = suggestFlareProb_h02(structTargetSpot);

        % if sample number is too small for a certern category
        % omit the discarded flare prob vec when making average
        vec4MeanMake = [];
        vec4StdMake = [];
        for j = 1:4
            eval([sprintf('tmpProb = %s;', char(cflareProbVecName{j})))));
            if sum(tmpProb) ~= 0
                vec4MeanMake = [vec4MeanMake; tmpProb];
            end
        end

        meanTmpFlareProb = mean(vec4MeanMake);
        stdTmpFlareProb = std(vec4MeanMake);

        dispLine1 = [sprintf('%4dWt %2.0f/%2.0f/%2.0fWt %2.0f/%2.0f/%2.0fWt
%2.0f/%2.0f/%2.0fWt %2.0f/%2.0f/%2.0fWt', ...
            structTargetSpot.spotNum, ...
            tmpFlareProb.ByMag, ...
            tmpFlareProb.ByArea, ...
            tmpFlareProb.ByMagChange, ...
            tmpFlareProb.ByAreaChange) ...
            sprintf(' %2.0f/%2.0f/%2.0fWt %2.0f/%2.0f/%2.0f', ...
                meanTmpFlareProb, stdTmpFlareProb );] ;
    else
        meanTmpFlareProb = activeRegion{i}.flareProbBasedObs(1:3);
        stdTmpFlareProb = [0 0 0];
        dispLine1 = sprintf('%4d WtWtWtWtWtWtWtWtWtWtWtWtWt
%2.0f/%2.0f/%2.0fWt %2.0f/%2.0f/%2.0f', ...
            structTargetSpot.spotNum, meanTmpFlareProb, stdTmpFlareProb);
    end
end

```

```

end

meanVecFlareProb = [meanVecFlareProb; meanTmpFlareProb];
stdVecFlareProb = [stdVecFlareProb; stdTmpFlareProb];

meanMultiFlareProb = meanMultiFlareProb .* (1 - meanTmpFlareProb./100);

disp(displine1);

end

strDsp2=sprintf('TOTAL   WtWtWtWtWtWtWtWtWtWtWtWtWt
%2.0f/%2.0f/%2.0fWt %2.0f/%2.0f/%2.0f', ...
    (1-meanMultiFlareProb)*100, max(stdVecFlareProb));
disp(strDsp2);
disp('*****
***');

```

2. flareProb_h05.m

```

function [flareProbBasedObs, flareProbBasedEst, numOfOnDiskDay_TotalPeriod] =
flareProb_h05(tblRegions, SWPC1988, Kildahl1969, sTargetSpotClass)
%
% Created - Sunhak Hong 2012-01-04
% Edited - Sunhak Hong 2012-03-04
%         add numOfOnDiskDay
% Edited - Sunhak Hong 2012-05-02
%         add Broomfield's data of flare rate
%

indTargetSpotClass = [];
numOfOnDiskDay = 0;
numOfCevent = 0;
numOfMevent = 0;
numOfXevent = 0;

tblOfCprob = [];

```

```

tblOfMprob = [];
tblOfXprob = [];
tblOfPprob = [];

dataLength = length(tblRegions.strObsdate);
for i=1:dataLength
    tmp=char(tblRegions.cSpotclass{i});
    if strcmpi(tmp, sTargetSpotClass)
        indTargetSpotClass = [indTargetSpotClass; i];
        numOfOnDiskDay = numOfOnDiskDay+ 1;
        % observed C flare events
        if ~strcmpi(tblRegions.cCevents(i), 'NULL')
            eval(['numOfCevent = numOfCevent + ', char(tblRegions.cCevents(i)), ';']);
        end
        % observed M flare events
        if ~strcmpi(tblRegions.cMevents(i), 'NULL')
            eval(['numOfMevent = numOfMevent + ', char(tblRegions.cMevents(i)), ';']);
        end
        % observed X flare events
        if ~strcmpi(tblRegions.cXevents(i), 'NULL')
            eval(['numOfXevent = numOfXevent + ', char(tblRegions.cXevents(i)), ';']);
        end

        % estimated prob of C flare events
        if ~strcmpi(tblRegions.cCprob(i), 'NULL')
            eval(['tblOfCprob = [tblOfCprob ;', char(tblRegions.cCprob(i)), '];']);
        end
        % estimated prob of M flare events
        if ~strcmpi(tblRegions.cMprob(i), 'NULL')
            eval(['tblOfMprob = [tblOfMprob ;', char(tblRegions.cMprob(i)), '];']);
        end
        % estimated prob of X flare events
        if ~strcmpi(tblRegions.cXprob(i), 'NULL')
            eval(['tblOfXprob = [tblOfXprob ;', char(tblRegions.cXprob(i)), '];']);
        end
        % estimated prob of proton events
        if ~strcmpi(tblRegions.cPprob(i), 'NULL')
            eval(['tblOfPprob = [tblOfPprob ;', char(tblRegions.cPprob(i)), '];']);
        end
    end
end

```



```

    end
end

modeOftblOfCprob = mode(tblOfCprob);
modeOftblOfMprob = mode(tblOfMprob);
modeOftblOfXprob = mode(tblOfXprob);
modeOftblOfPprob = mode(tblOfPprob);

%meanOftblOfCprob = mean(tblOfCprob);
%meanOftblOfMprob = mean(tblOfMprob);
%meanOftblOfXprob = mean(tblOfXprob);
%meanOftblOfPprob = mean(tblOfPprob);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Addind Broomfield's data of flare rate
% SWPC1988 : 1988-1996
% Kildahl1969 : 1969-1976
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%load('SWPC1988.mat');
%load('Kildahl1969.mat');

dataLength = length(SWPC1988);
for i=2:dataLength
    tmp=char(SWPC1988{i,1});
    if strcmpi(tmp, sTargetSpotClass)
        numOfOnDiskDay_SWPC1998 = SWPC1988{i,2};
        numOfCevent_SWPC1998 = SWPC1988{i,3};
        numOfMevent_SWPC1998 = SWPC1988{i,4};
        numOfXevent_SWPC1998 = SWPC1988{i,5};
    else
        numOfOnDiskDay_SWPC1998 = 0;
        numOfCevent_SWPC1998 = 0;
        numOfMevent_SWPC1998 = 0;
        numOfXevent_SWPC1998 = 0;
    end
end

```

```

end

dataLength = length(Kildahl1969);
for i=2:dataLength
    tmp=char(Kildahl1969{i,1});
    if strcmpi(tmp, sTargetSpotClass)
        numOfOnDiskDay_Kildahl1969 = Kildahl1969{i,2};
        numOfCevent_Kildahl1969 = Kildahl1969{i,3};
        numOfMevent_Kildahl1969 = Kildahl1969{i,4};
        numOfXevent_Kildahl1969 = Kildahl1969{i,5};
    else
        numOfOnDiskDay_Kildahl1969 = 0;
        numOfCevent_Kildahl1969 = 0;
        numOfMevent_Kildahl1969 = 0;
        numOfXevent_Kildahl1969 = 0;
    end
end

%obsdCProb= numOfCevent/numOfOnDiskDay * 100;
%obsdMProb= numOfMevent/numOfOnDiskDay * 100;
%obsdXProb= numOfXevent/numOfOnDiskDay * 100;

numOfOnDiskDay_TotalPeriod = numOfOnDiskDay + numOfOnDiskDay_SWPC1998 +
numOfOnDiskDay_Kildahl1969;
numOfCevent_TotalPeriod = numOfCevent + numOfCevent_SWPC1998 +
numOfCevent_Kildahl1969;
numOfMevent_TotalPeriod = numOfMevent + numOfMevent_SWPC1998 +
numOfMevent_Kildahl1969;
numOfXevent_TotalPeriod = numOfXevent + numOfXevent_SWPC1998 +
numOfXevent_Kildahl1969;

obsdCProb= numOfCevent_TotalPeriod/numOfOnDiskDay_TotalPeriod * 100;
obsdMProb= numOfMevent_TotalPeriod/numOfOnDiskDay_TotalPeriod * 100;
obsdXProb= numOfXevent_TotalPeriod/numOfOnDiskDay_TotalPeriod * 100;

if 0
    disp('*****');
    disp('Calculated with observation');

```

```

    strDsp=sprintf('%s --> % 2.1f/% 2.1f/% 2.1f', upper(sTargetSpotClass), obsedCProb,
    obsedMProb, obsedXProb);
    disp(strDsp);
    disp('From old estimation');
    strDsp2=sprintf('%s --> % 2.1f/% 2.1f/% 2.1f/% 2.1f', upper(sTargetSpotClass),
    modeOftblOfCprob, modeOftblOfMprob, modeOftblOfXprob, modeOftblOfPprob);
    disp(strDsp2);
    disp('*****');
    disp(sprintf('Wn'));
end

flareProbBasedObs = [obsedCProb, obsedMProb, obsedXProb, 0];
flareProbBasedEst = [modeOftblOfCprob, modeOftblOfMprob, modeOftblOfXprob,
modeOftblOfPprob];
%flareProbBasedEst = [meanOftblOfCprob, meanOftblOfMprob, meanOftblOfXprob,
meanOftblOfPprob];

if isnan(obsedCProb)
    flareProbBasedObs = [0, 0, 0, 0];
    flareProbBasedEst = [0, 0, 0, 0];
end

```

3. flareDuration_h03.m

```

function [meanEventDurationSec, stdEventDurationSec] = flareDuration_h02(tblRegions,
xrayEvents, sTargetSpotClass)
%function [meanEventDurationSec, probOfLongDuration] =
flareDuration_h01(tblRegions, xrayEvents, sTargetSpotClass)
%
% Created - Sunhak Hong 2012-03-04
% Edited - Sunhak Hong 2012-03-11
%          standard deviation added to the output

%load xrayEvents
%load tblRegions

%sTargetSpotClass = 'DAI';

```

```

locOnTblRegions = strcmpi(tblRegions.cSpotclass, sTargetSpotClass);
numEventDate = datenum(tblRegions.strObsdate(locOnTblRegions,:));
sRegionNum = tblRegions.cRegion(locOnTblRegions);

xrayEvents.numEventDate = datenum(xrayEvents.vecBeginDate(:,1:3));

if 0
    probOfLongDuration = 0.0000001;
end

avgEventDuration = [];

for i = 1:length(sRegionNum)
    avgEventDuration(i,:) = 0;

    locTmpOnXrayEvents = strcmpi(xrayEvents.cRegion, sRegionNum(i));

    if ~isempty(locTmpOnXrayEvents)
        %disp(xrayEvents.numEventDate(locTmpOnXrayEvents));
        %disp(xrayEvents.cRegion(locTmpOnXrayEvents));
        %disp(xrayEvents.secDuration(locTmpOnXrayEvents));

        avgEventDuration(i,:) = mean(xrayEvents.secDuration(locTmpOnXrayEvents));
        stdEventDuration(i,:) = std(xrayEvents.secDuration(locTmpOnXrayEvents));
        if isnan(avgEventDuration(i))
            avgEventDuration(i,:) = 0;
            stdEventDuration(i,:) = 0;
        end

        if 0
            tmpProbOfLongDuration(i,:) =
sum(find(xrayEvents.secDuration(locTmpOnXrayEvents) >
3*60*60))/sum(locTmpOnXrayEvents); % more than 3 hours
            if isnan(tmpProbOfLongDuration(i)) || (tmpProbOfLongDuration(i) == 0)
                tmpProbOfLongDuration(i,:) = 0.0000001;
                probOfLongDuration = 1 - ((1 - probOfLongDuration) .* (1 -
tmpProbOfLongDuration(i)));
            end
        end
    end
end

```

```
end

end

if ~isempty(avgEventDuration)
    indNoZeroAvgEventDuration = find(avgEventDuration > 0);
    meanEventDurationSec = mean(avgEventDuration(indNoZeroAvgEventDuration));
    stdEventDurationSec = mean(stdEventDuration(indNoZeroAvgEventDuration));
else
    indNoZeroAvgEventDuration = NaN;
    meanEventDurationSec = NaN;
    stdEventDurationSec = NaN;
    meanEventDurationSec = 0;
    stdEventDurationSec = 0;
end
```

4. suggestFlareProb_h02.m

```

function flareProb = suggestFlareProb_h02(structTargetSpot)

% data example
if 0
    clear all
    structTargetSpot.spotNum = 1234;
    structTargetSpot.classToday = 'EKC';
    structTargetSpot.magToday = 'BGD';
    structTargetSpot.areaToday = 1170;
    structTargetSpot.magPreday = 'B';
    structTargetSpot.areaPreday = 950;
end

load structFlareProb % from flareProbByMagAndSizeOnEachSpotClass_h01

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% find flare probability depending on McIntosh Class
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
eval(sprintf('flareProb.Org =
structFlareProb.%s.flareProbByMagClassCorrected.value(1,:);',structTargetSpot.classToday));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% find flare probability depending on Mag Class
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
switch char(structTargetSpot.magToday)
    case 'A'
        magNumToday = 1;
    case 'B'
        magNumToday = 2;
    case 'G'
        magNumToday = 3;
    case 'BG'
        magNumToday = 4;

```

```

case 'BD'
    magNumToday = 5;
case 'BGD'
    magNumToday = 6;
case 'GD'
    magNumToday = 7;
%otherwise
%    magNumToday = -9999;
end

eval(sprintf('flareProb.ByMag =
structFlareProb.%s.flareProbByMagClassCorrected.value(magNumToday+ 1,:)',structTarg
etSpot.classToday));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% find flare probability depending on Spot Area
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
eval(sprintf('medianSpotArea =
structFlareProb.%s.flareProbBySpotAreaCorrected.medianSpotArea;',structTargetSpot.cla
ssToday));
eval(sprintf('stdSpotArea =
structFlareProb.%s.flareProbBySpotAreaCorrected.stdSpotArea;',structTargetSpot.classT
oday));

eval(sprintf('areaGapTemp = structTargetSpot.areaToday-medianSpotArea;'))

if areaGapTemp <= - stdSpotArea
    areaNumToday = 1;
elseif (-stdSpotArea < areaGapTemp) & (areaGapTemp <= -stdSpotArea/3)
    areaNumToday = 2;
elseif (-stdSpotArea/3 < areaGapTemp) & (areaGapTemp <= stdSpotArea/3)
    areaNumToday = 3;
elseif (stdSpotArea/3 < areaGapTemp) & (areaGapTemp <= stdSpotArea)
    areaNumToday = 4;
elseif stdSpotArea < areaGapTemp
    areaNumToday = 5;

```

```

end

eval(sprintf('flareProb.ByArea =
structFlareProb.%s.flareProbBySpotAreaCorrected.value(areaNumToday+ 1,:);',structTargetSpot.classToday));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% find flare probability depending on Mag Class Change
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
switch char(structTargetSpot.magPreday)
    case 'A'
        magNumPreday = 1;
    case 'B'
        magNumPreday = 2;
    case 'G'
        magNumPreday = 3;
    case 'BG'
        magNumPreday = 4;
    case 'BD'
        magNumPreday = 5;
    case 'BGD'
        magNumPreday = 6;
    case 'GD'
        magNumPreday = 7;
    %otherwise
    %    magNumToday = -9999;
end

magNumChangeToday = magNumToday - magNumPreday;

if magNumChangeToday <= - 2
    magNumChangeTodayQuantized = 1;
elseif (-2 < magNumChangeToday) & (magNumChangeToday <= -1)
    magNumChangeTodayQuantized = 2;

```



```

elseif (-1 < magNumChangeToday) & (magNumChangeToday <= 1)
    magNumChangeTodayQuantized = 3;
elseif (1 < magNumChangeToday) & (magNumChangeToday <= 2)
    magNumChangeTodayQuantized = 4;
elseif 2 < magNumChangeToday
    magNumChangeTodayQuantized = 5;
end

eval(sprintf('flareProb.ByMagChange =
structFlareProb.%s.flareProbByMagChangeCorrected.value(magNumChangeTodayQuantize
d+ 1,:);',structTargetSpot.classToday));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% find flare probability depending on Spot Area Change
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
eval(sprintf('stdSpotAreaChange =
structFlareProb.%s.flareProbByAreaChangeCorrected.stdAreaChange;',structTargetSpot.cl
assToday));

areaChangeTemp = structTargetSpot.areaToday - structTargetSpot.areaPreday;

if areaChangeTemp <= - stdSpotAreaChange
    areaChangeNumToday = 1;
elseif (-stdSpotAreaChange < areaChangeTemp) & (areaChangeTemp <=
-stdSpotAreaChange/3)
    areaChangeNumToday = 2;
elseif (-stdSpotAreaChange/3 < areaChangeTemp) & (areaChangeTemp <=
stdSpotAreaChange/3)
    areaChangeNumToday = 3;
elseif (stdSpotAreaChange/3 < areaChangeTemp) & (areaChangeTemp <=
stdSpotAreaChange)
    areaChangeNumToday = 4;
elseif stdSpotAreaChange < areaChangeTemp
    areaChangeNumToday = 5;

```

```
end

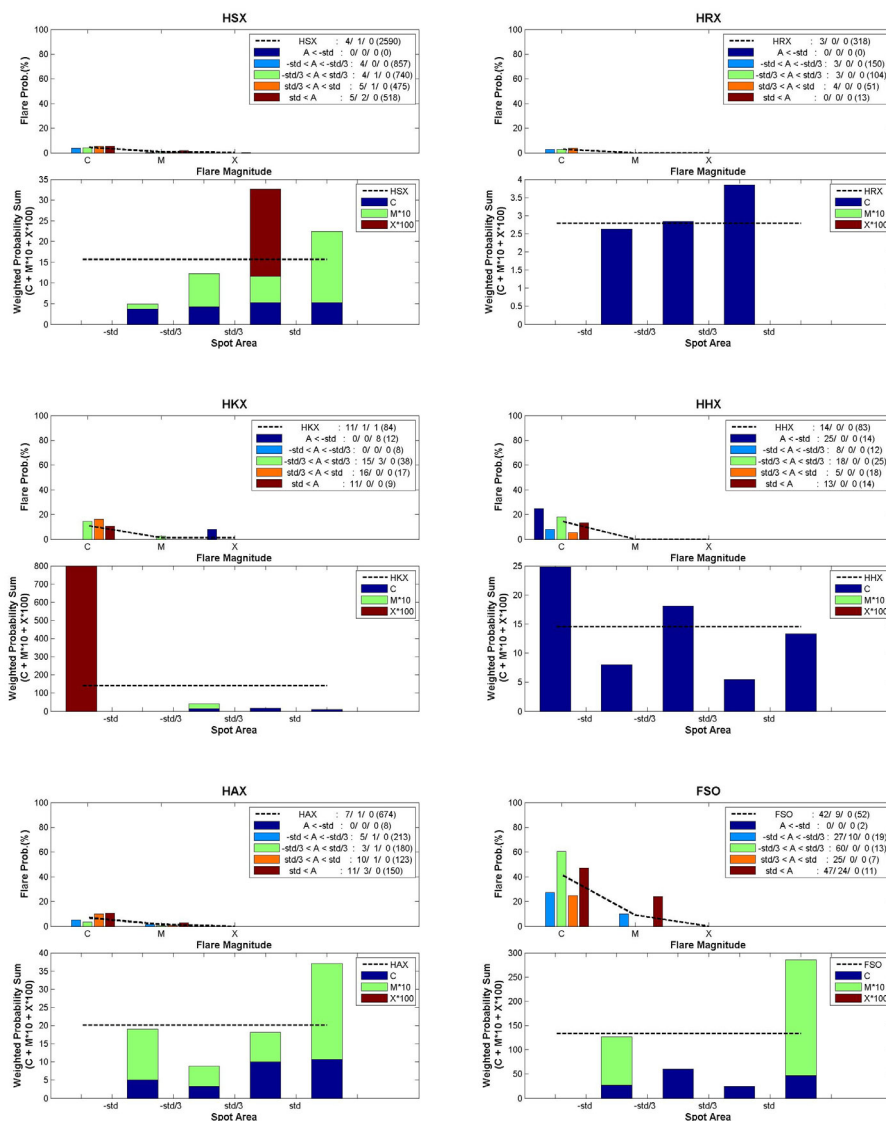
eval(sprintf('flareProb.ByAreaChange =
structFlareProb.%s.flareProbByAreaChangeCorrected.value(areaChangeNumToday+ 1,:);',
structTargetSpot.classToday));

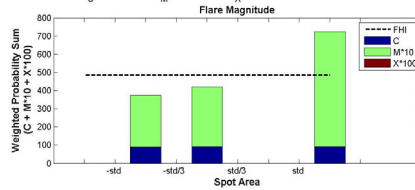
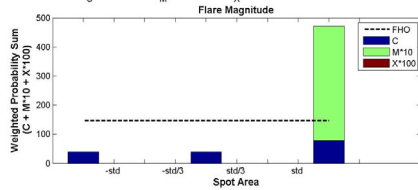
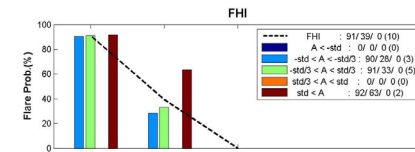
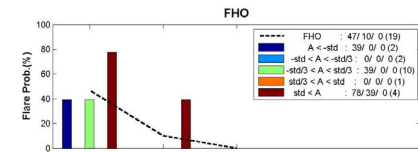
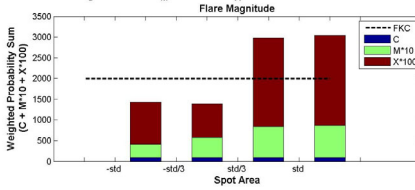
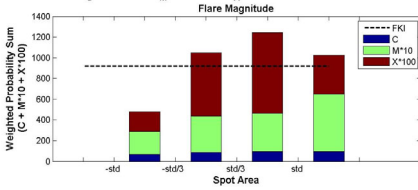
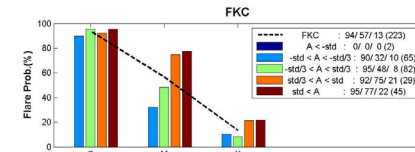
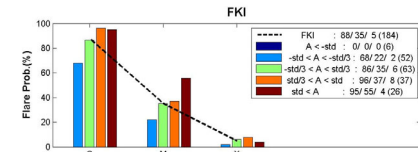
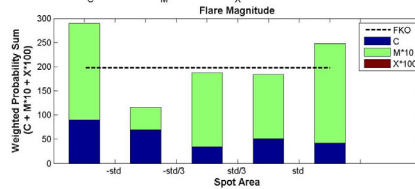
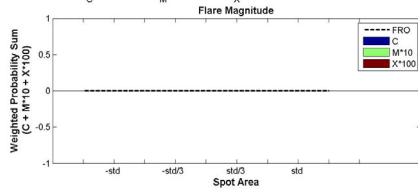
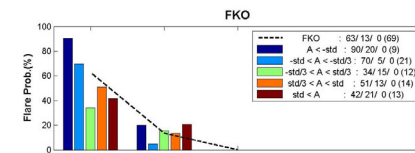
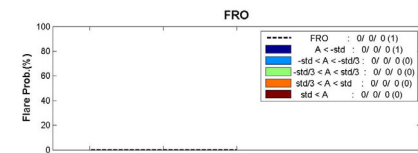
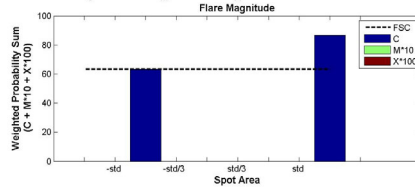
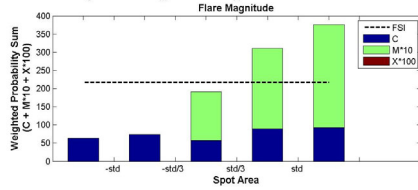
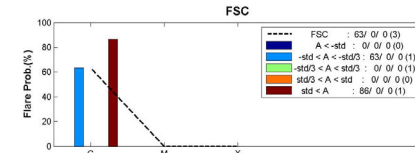
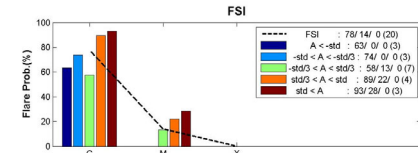
%disp([flareProb.Org, flareProb.ByMag, flareProb.ByArea, flareProb.ByMagChange,
flareProb.ByAreaChange]);
```

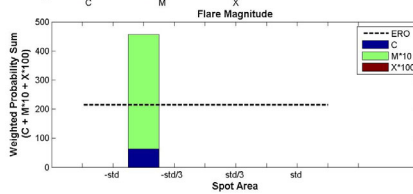
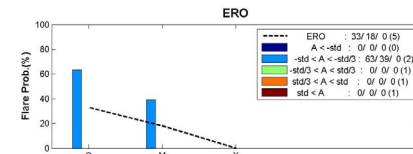
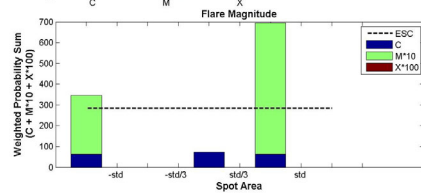
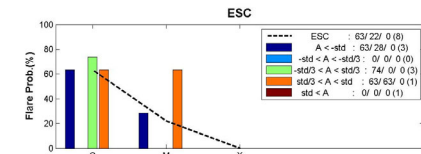
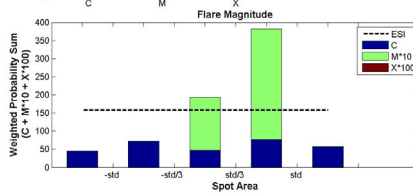
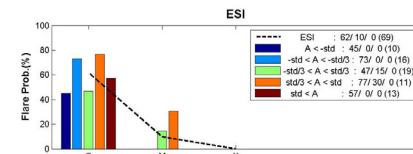
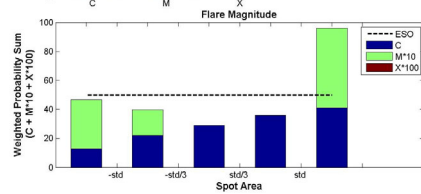
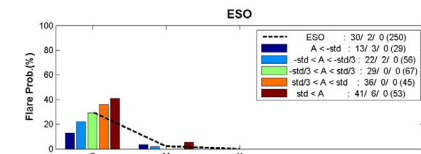
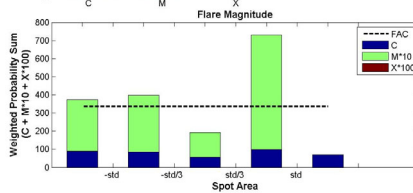
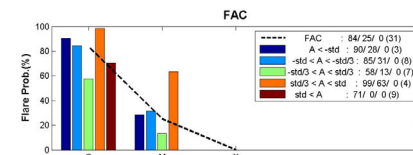
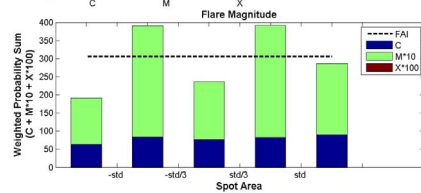
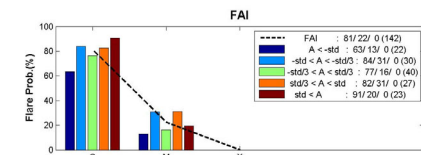
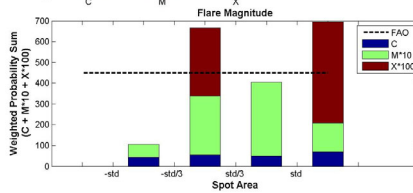
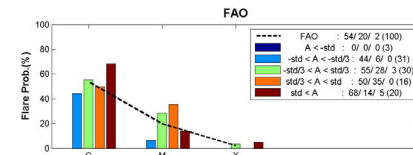
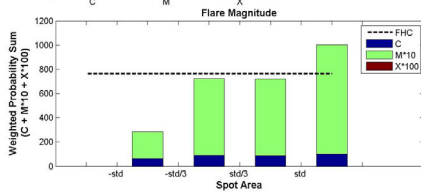
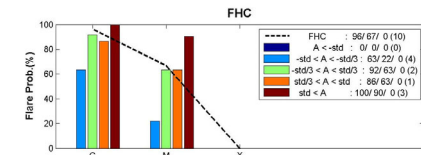
[부 록 2]

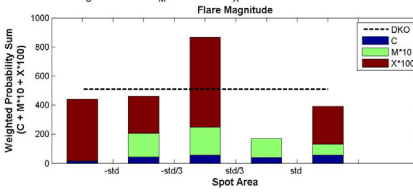
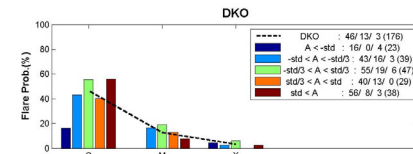
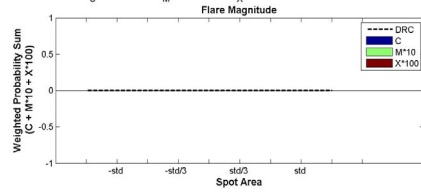
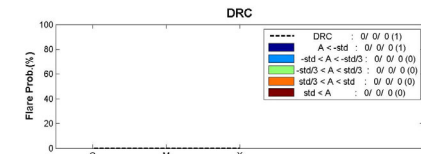
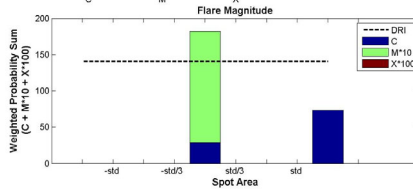
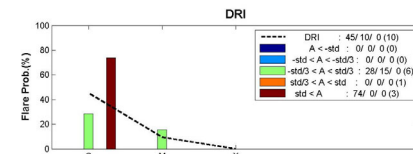
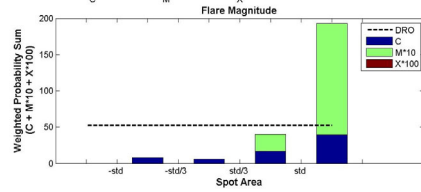
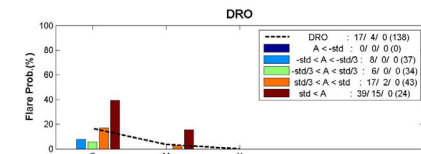
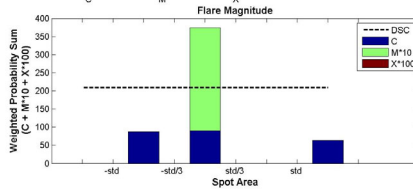
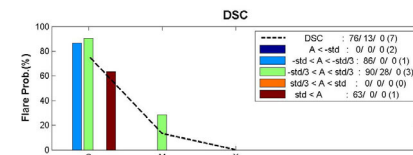
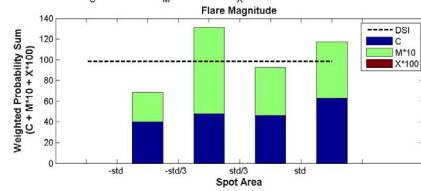
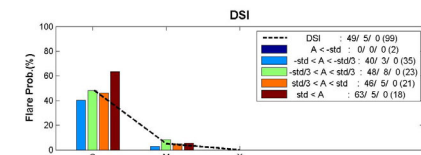
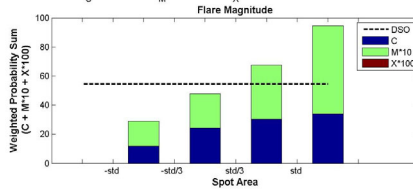
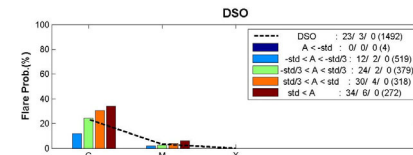
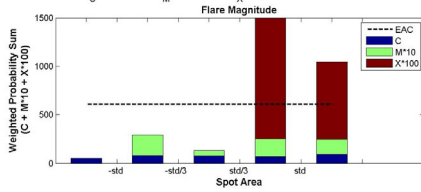
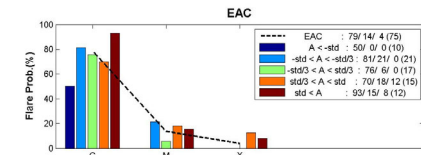
흑점종류별 분석결과 그래프

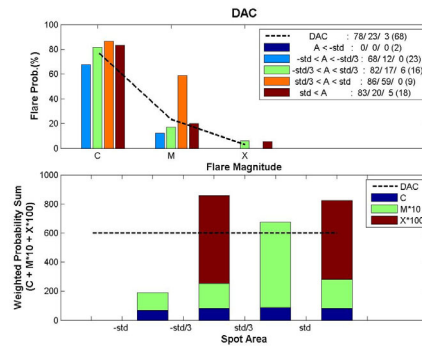
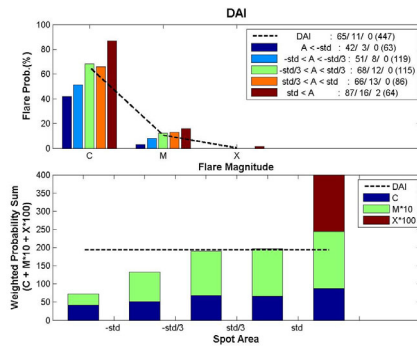
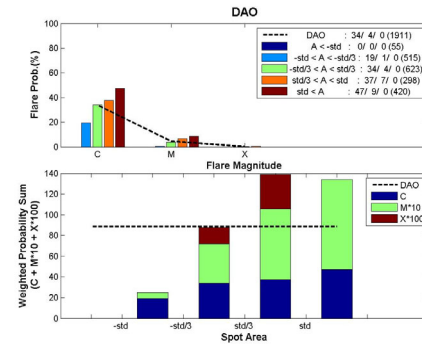
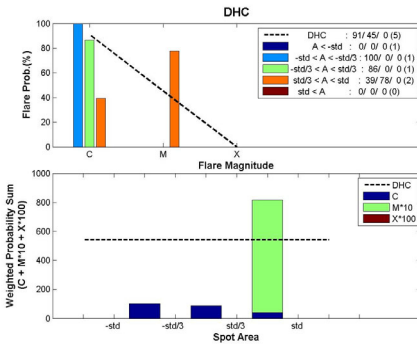
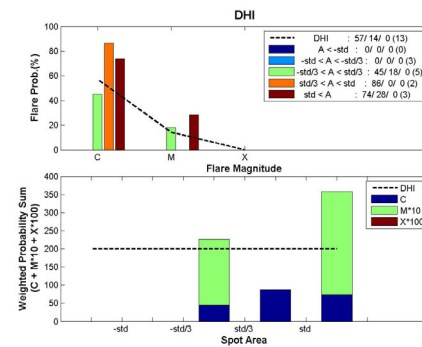
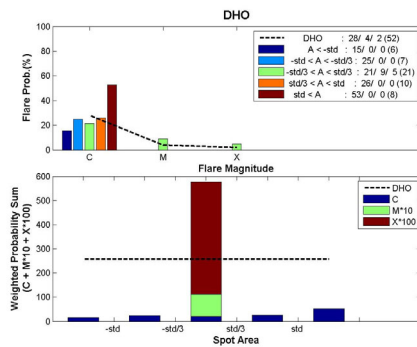
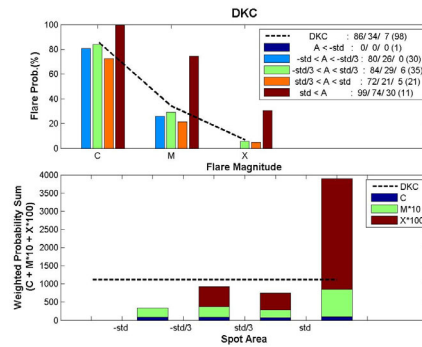
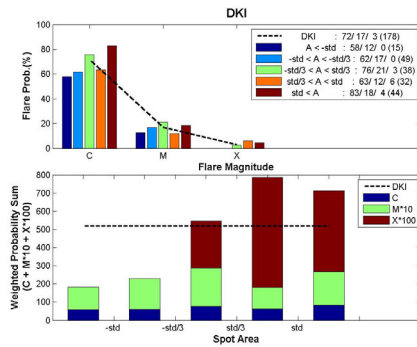
1. 흑점 면적에 따른 폭발확률 변화 분석

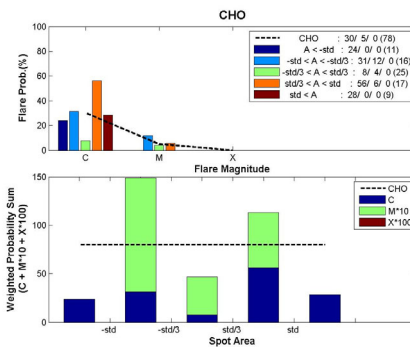
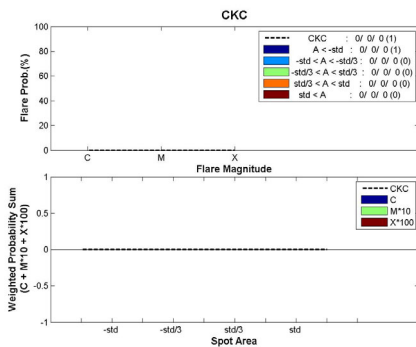
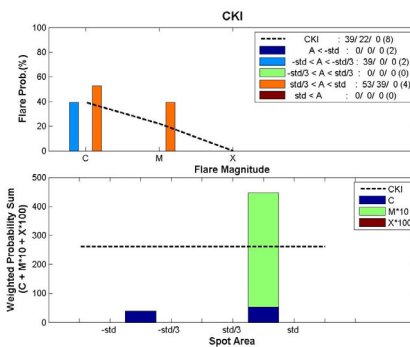
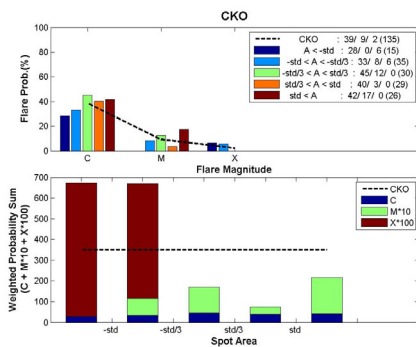
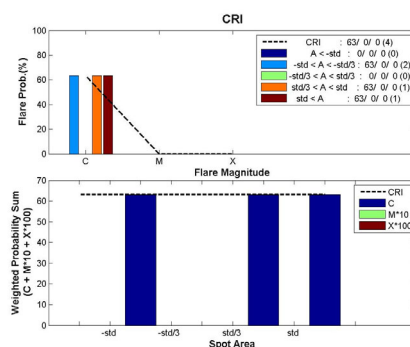
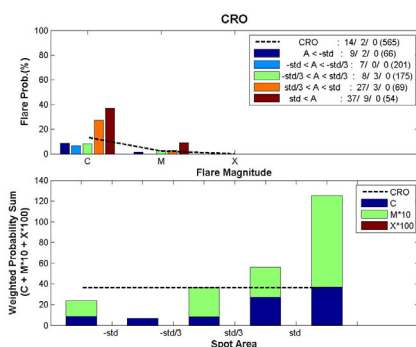
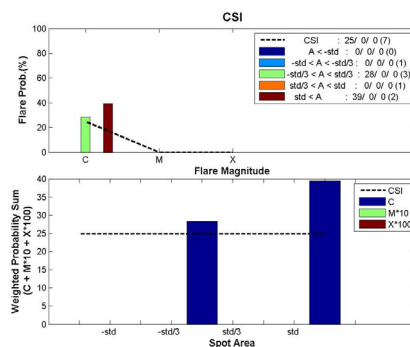
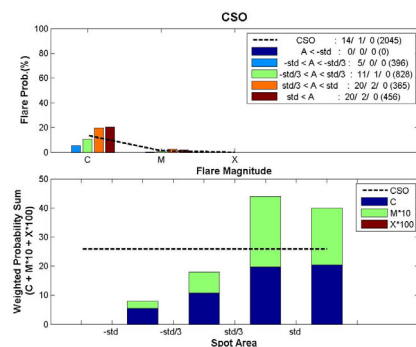


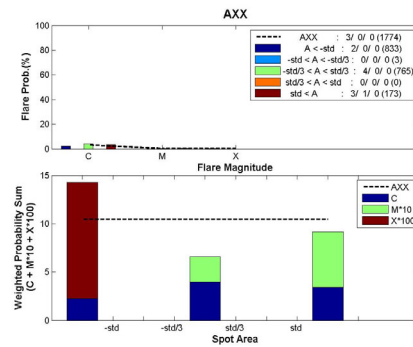
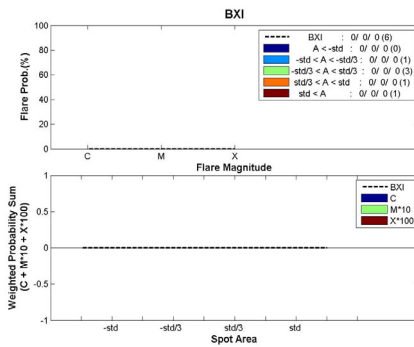
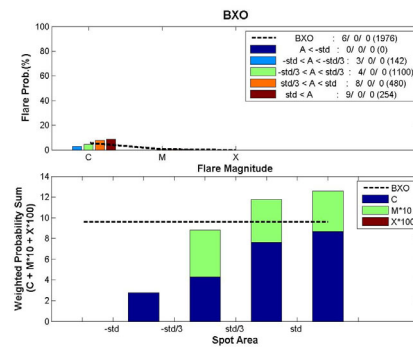
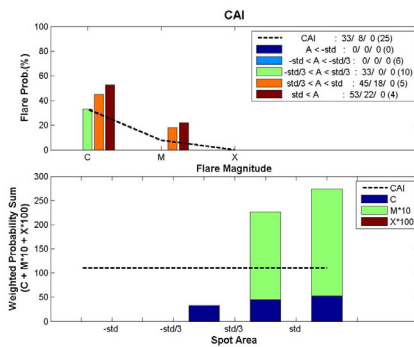
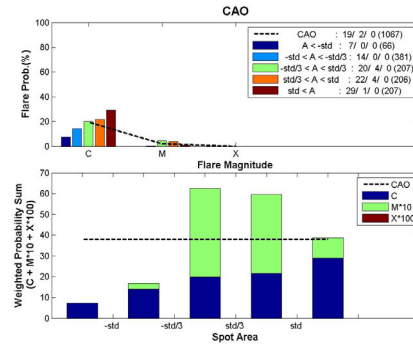
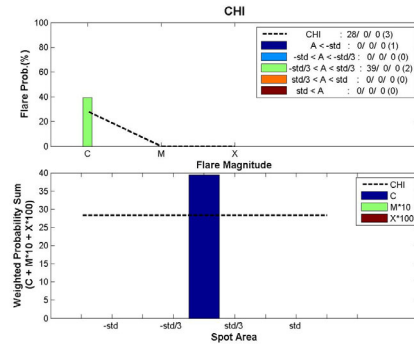




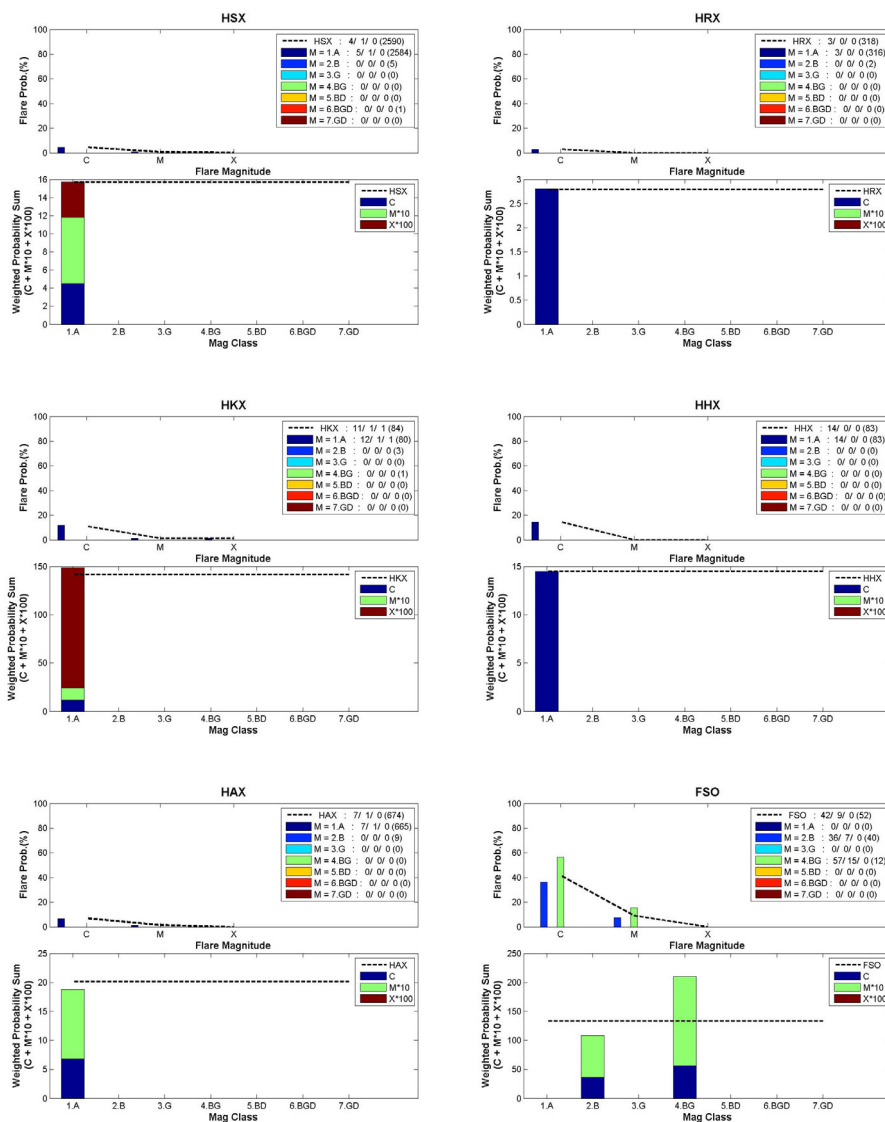


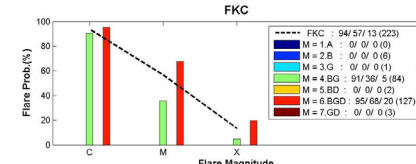
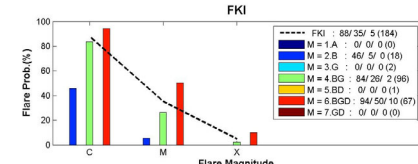
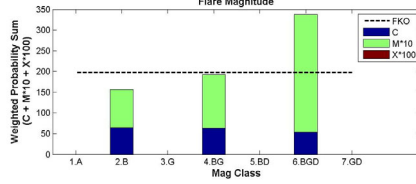
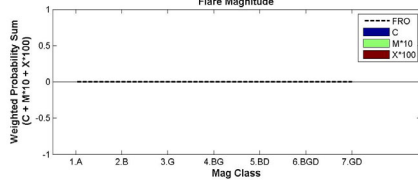
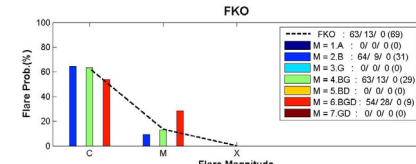
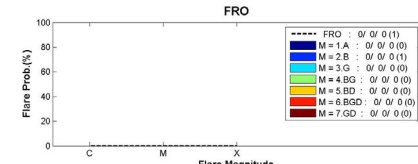
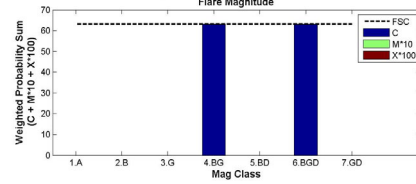
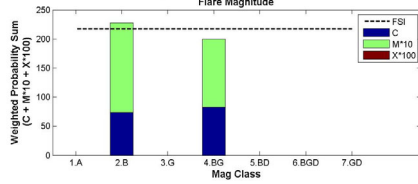
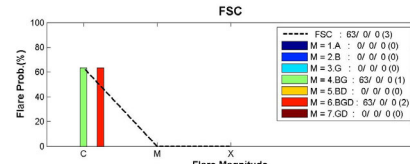
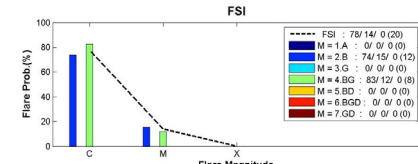


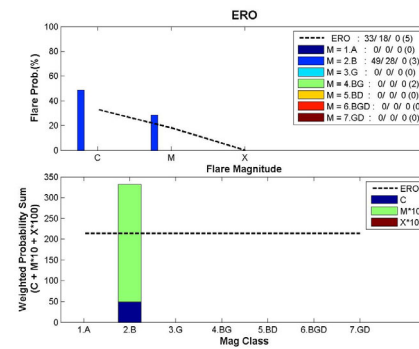
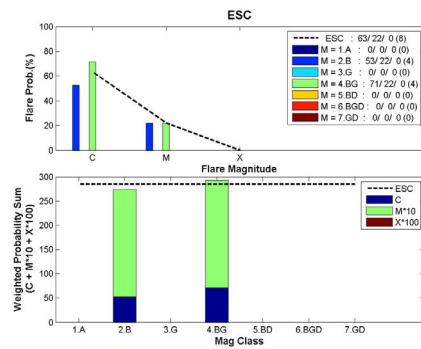
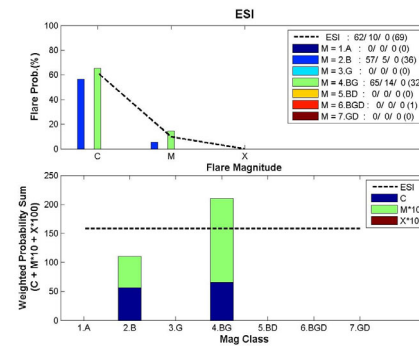
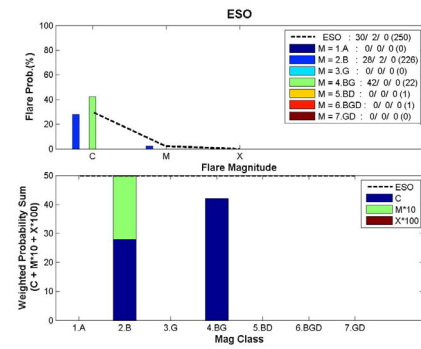
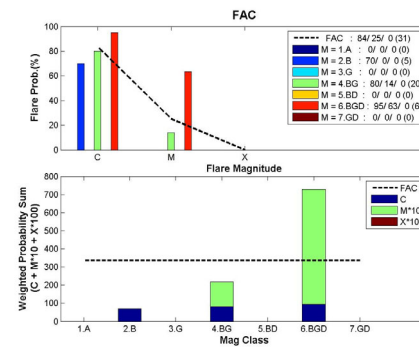
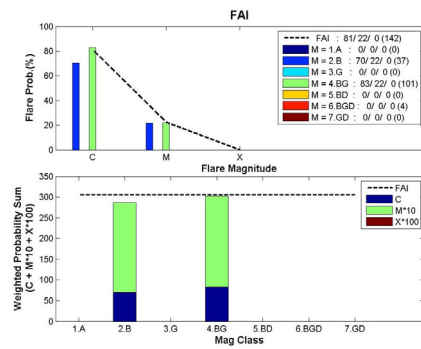
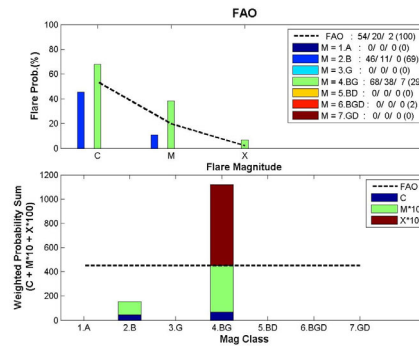
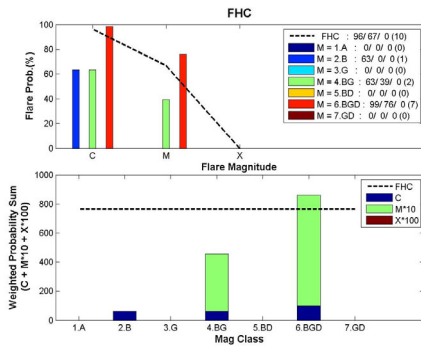


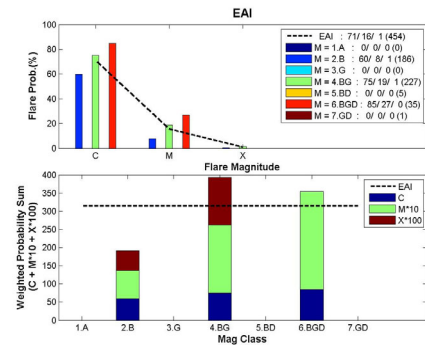
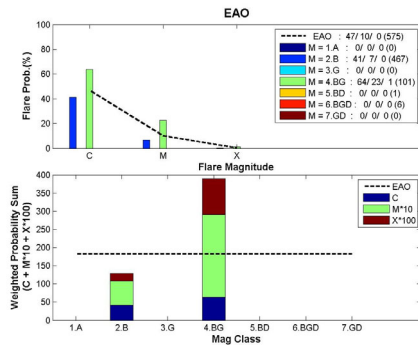
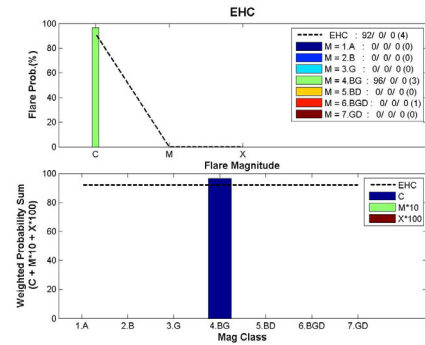
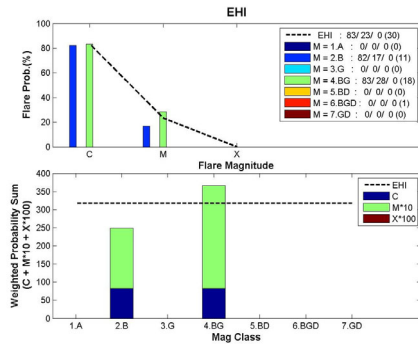
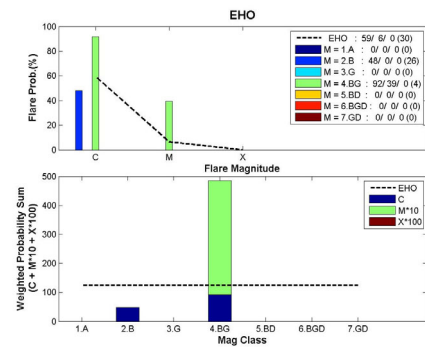
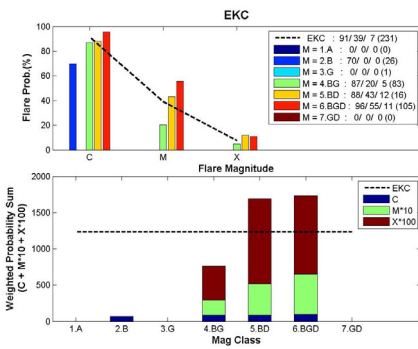
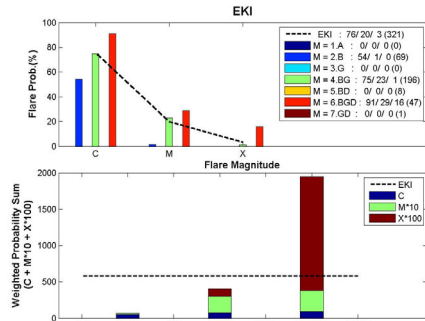
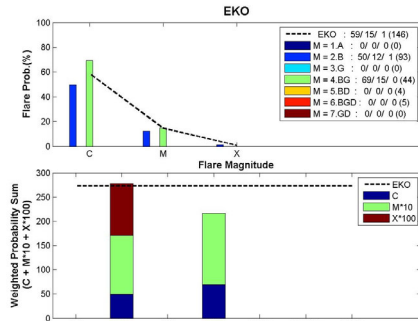


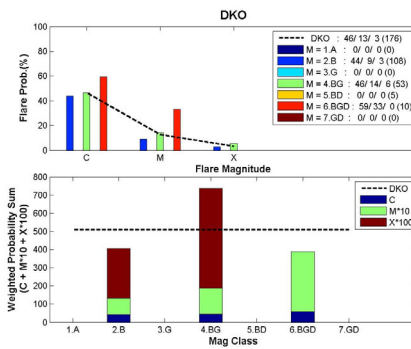
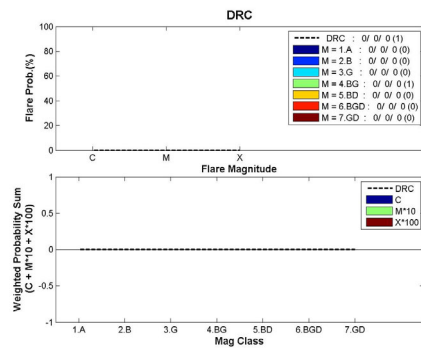
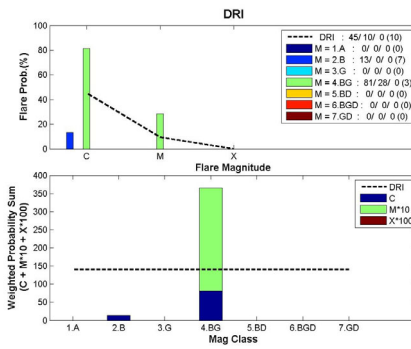
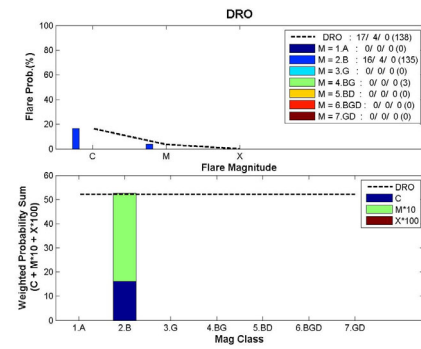
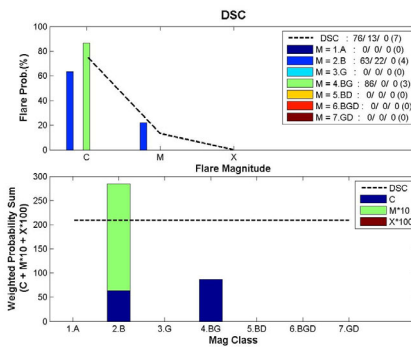
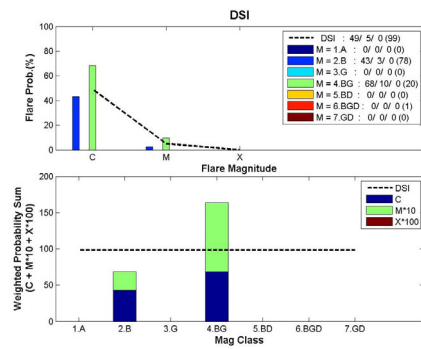
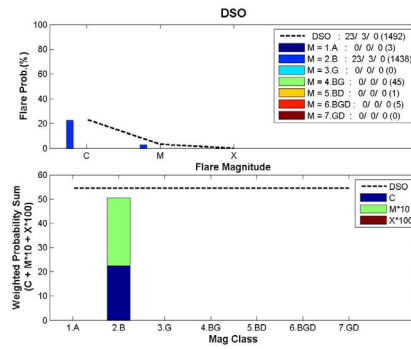
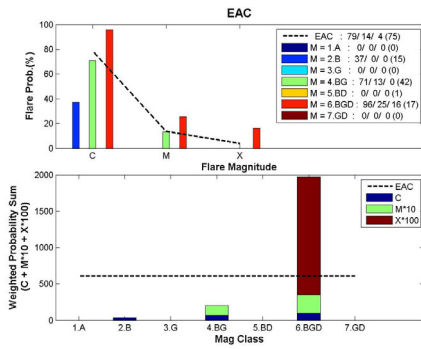
2. 흑점 자기장 복잡도에 따른 폭발확률 변화 분석

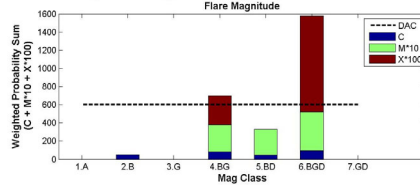
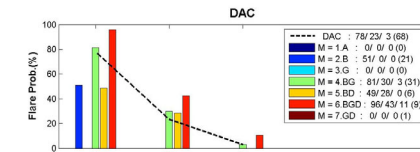
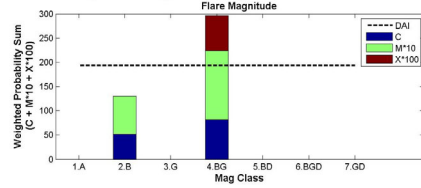
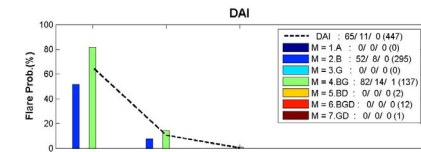
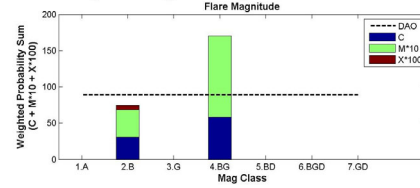
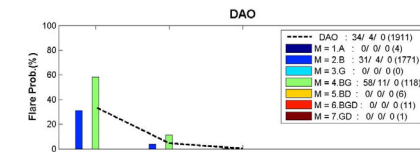
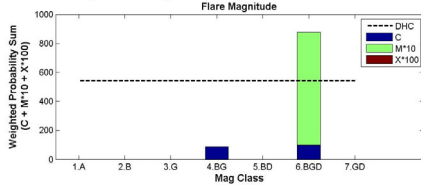
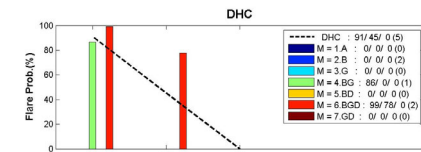
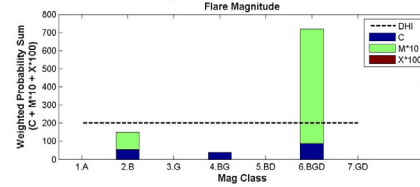
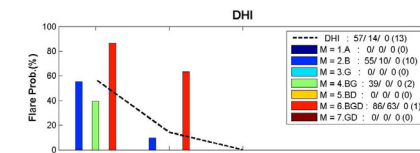
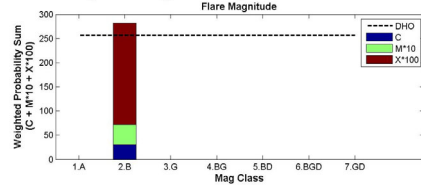
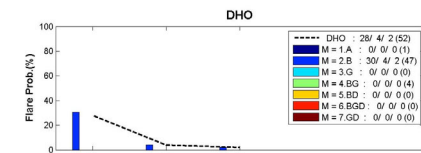
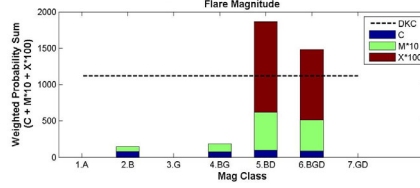
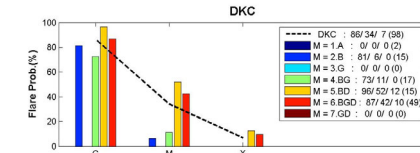
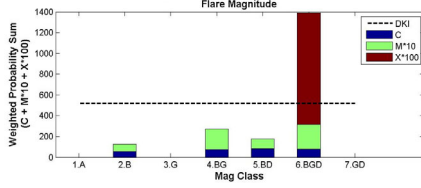
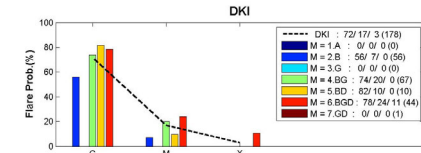


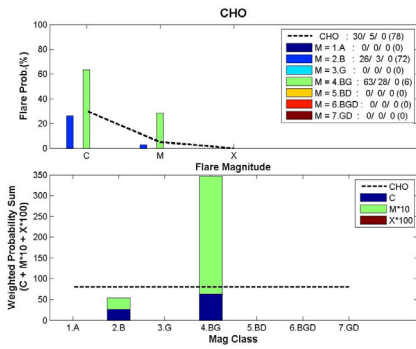
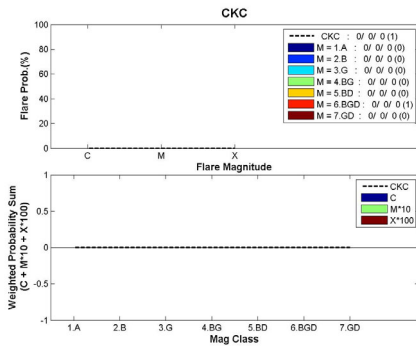
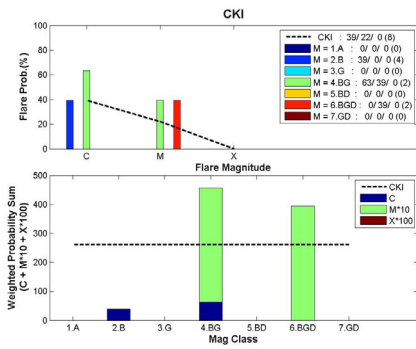
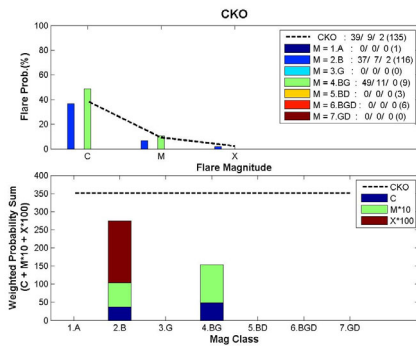
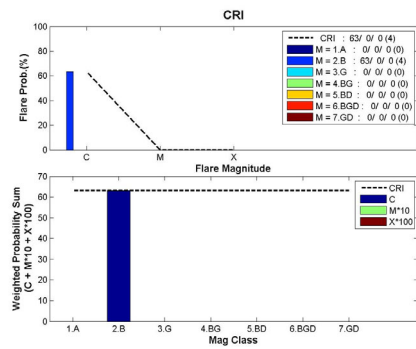
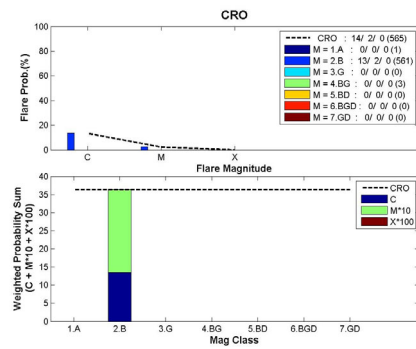
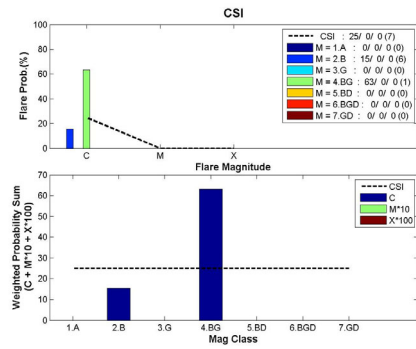
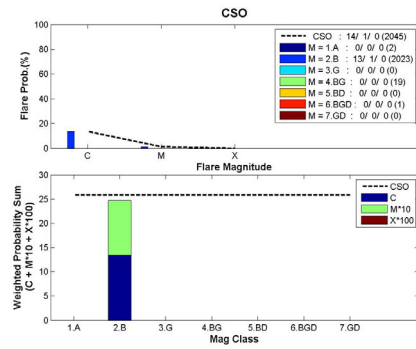


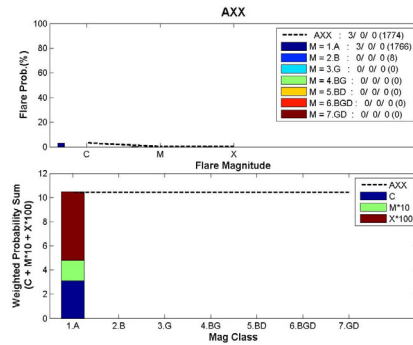
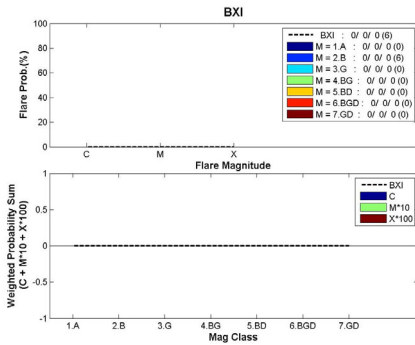
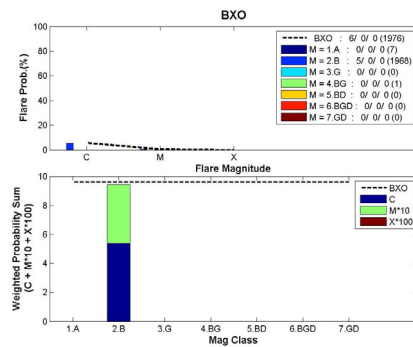
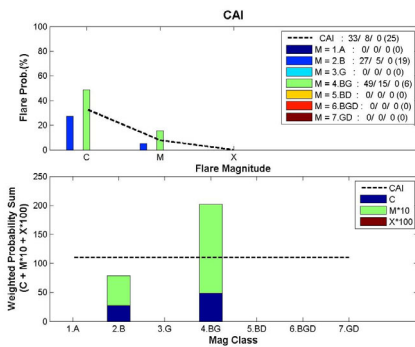
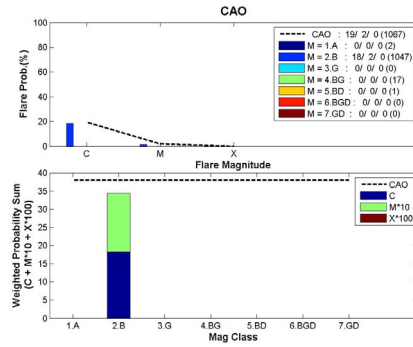
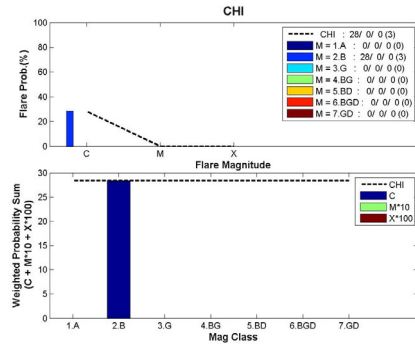




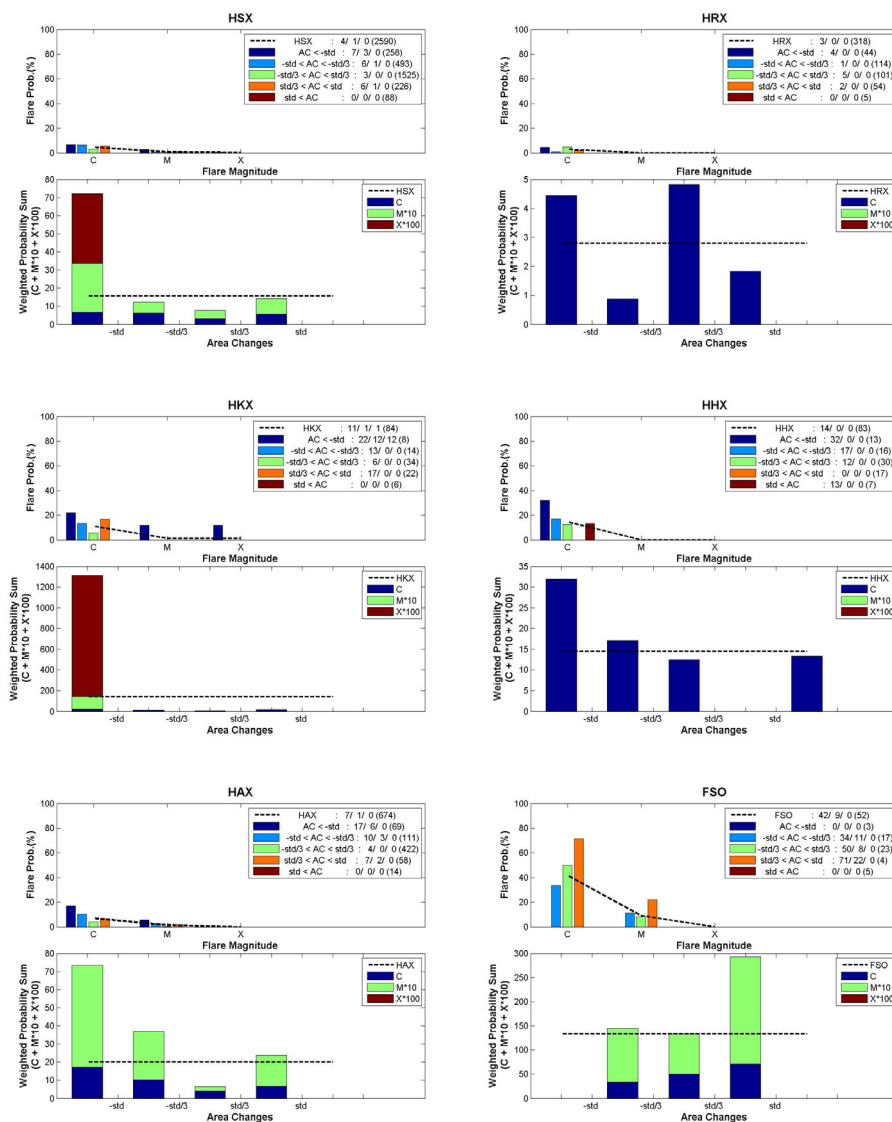


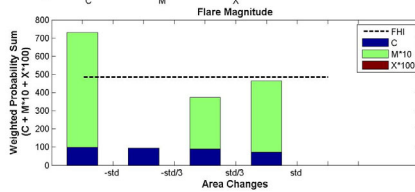
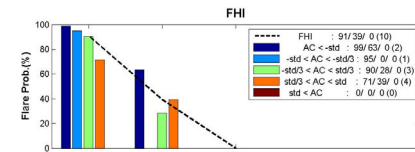
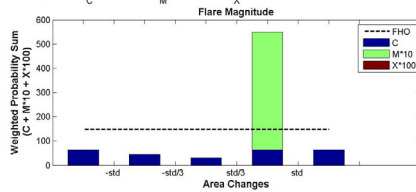
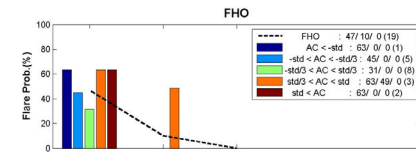
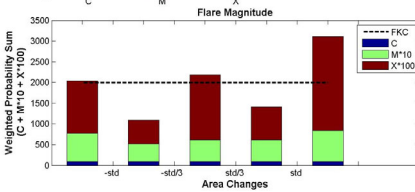
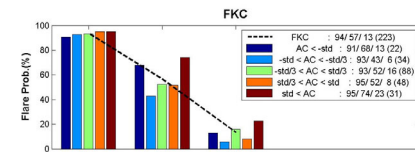
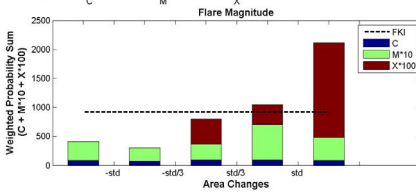
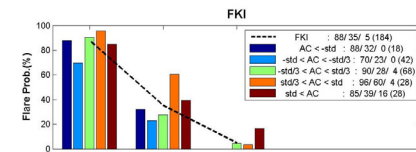
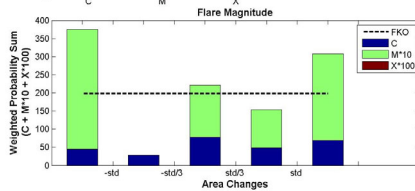
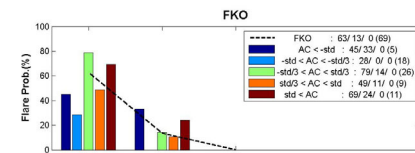
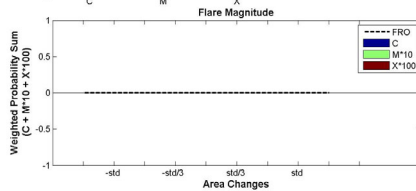
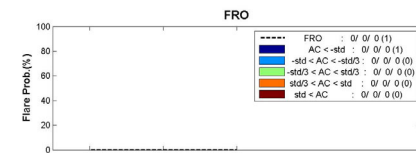
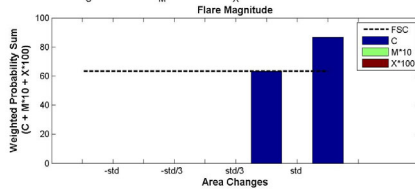
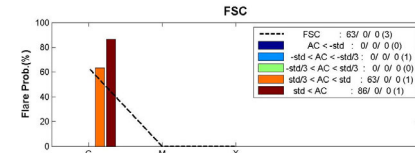
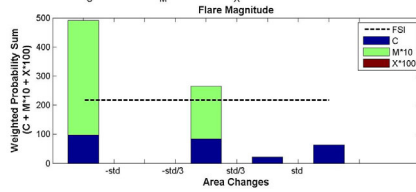
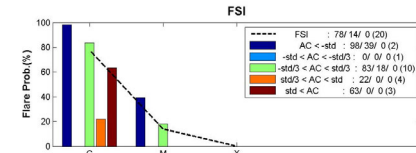


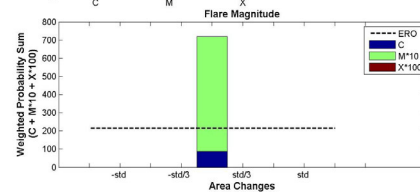
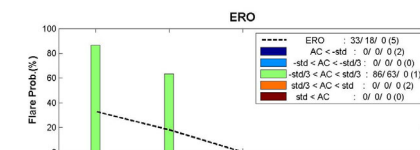
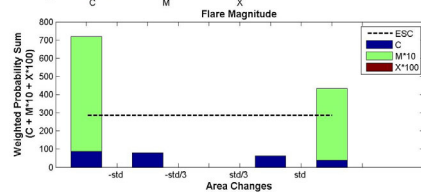
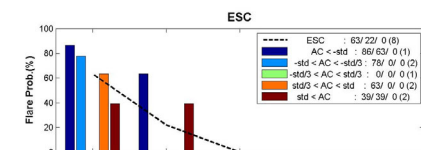
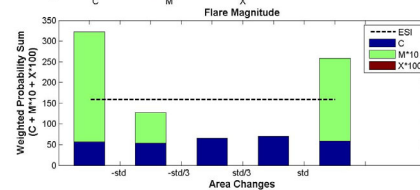
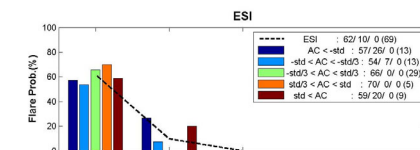
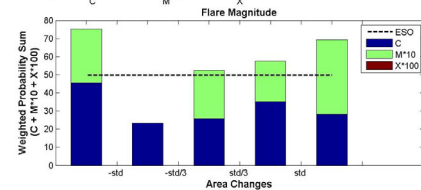
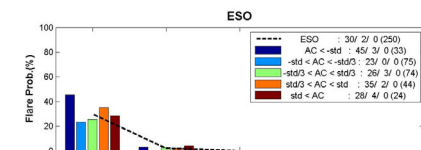
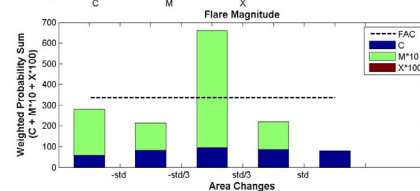
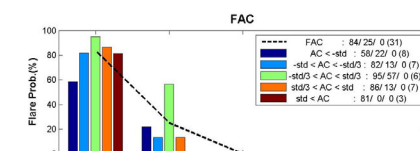
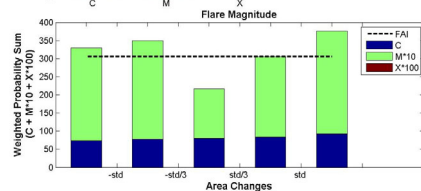
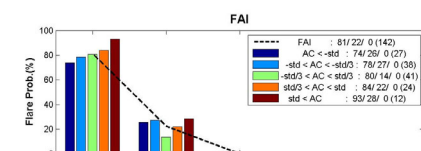
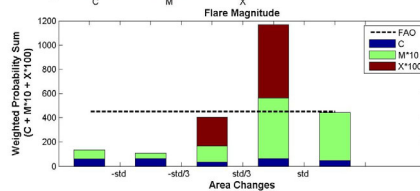
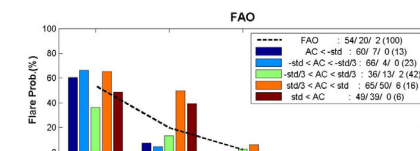
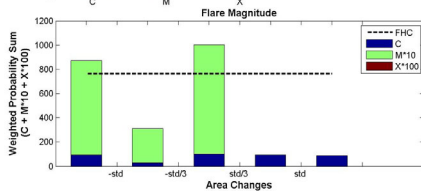
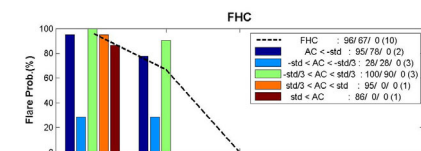


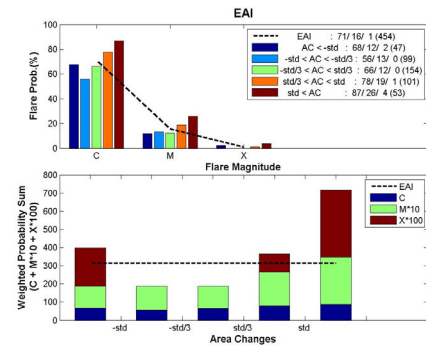
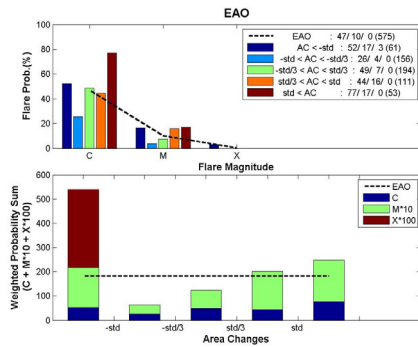
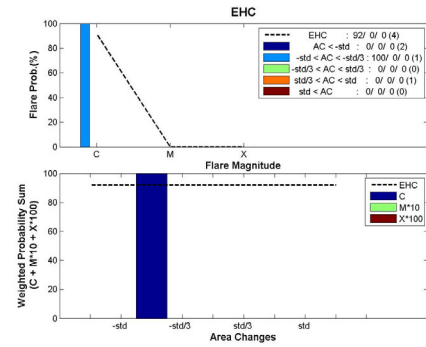
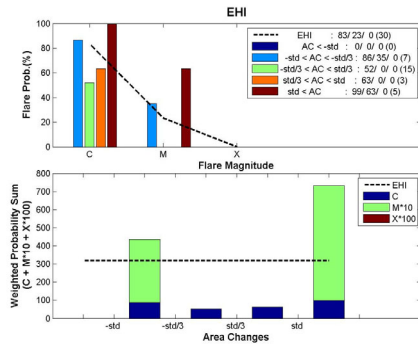
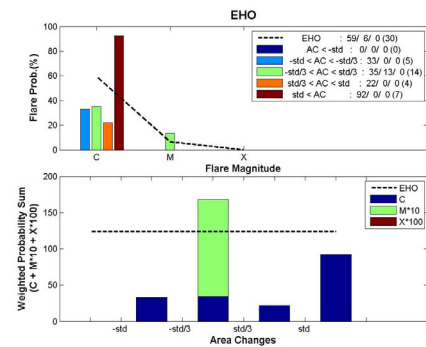
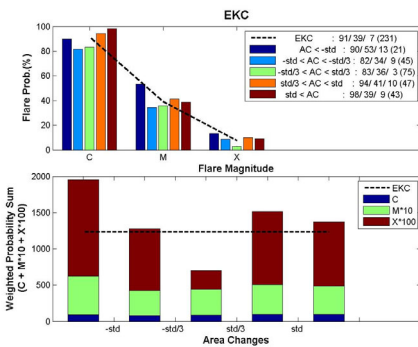
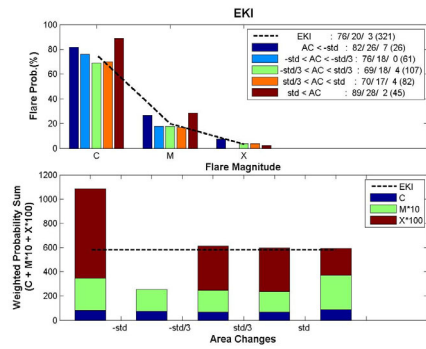
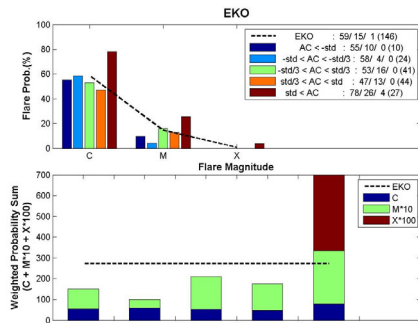


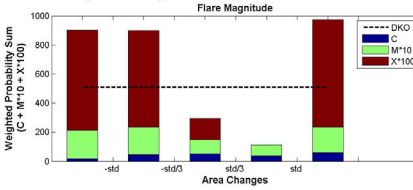
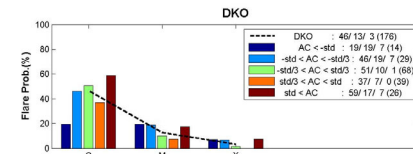
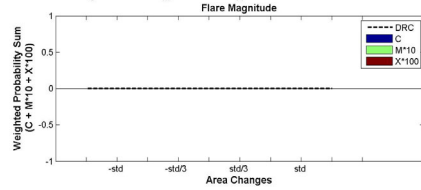
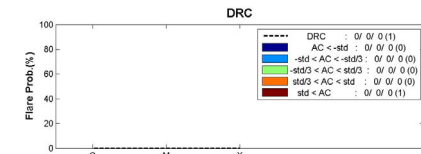
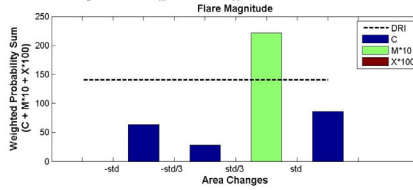
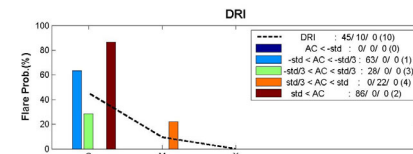
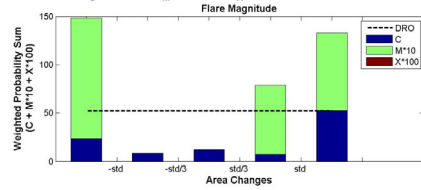
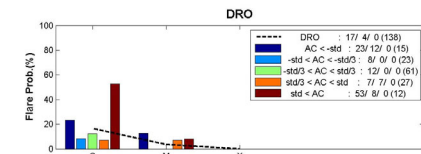
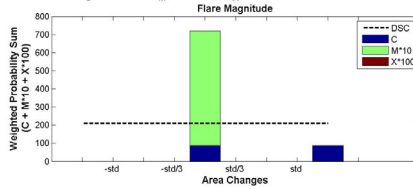
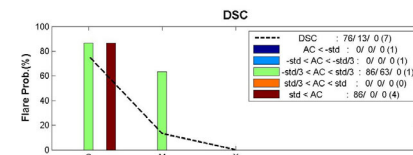
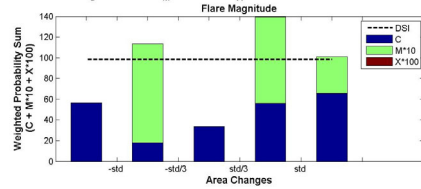
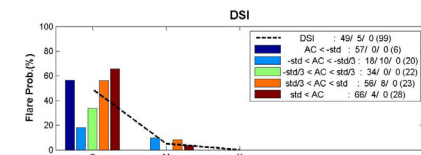
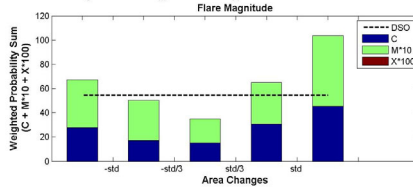
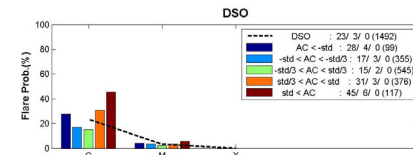
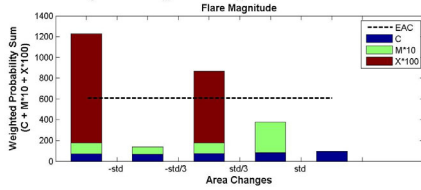
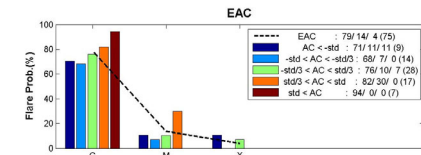
3. 흑점 면적 변화에 따른 폭발확률 변화 분석

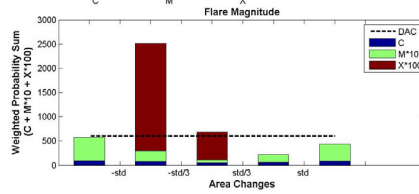
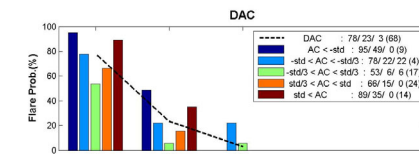
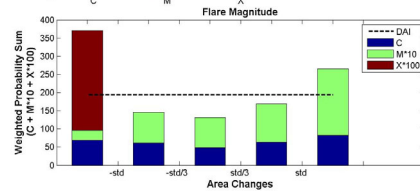
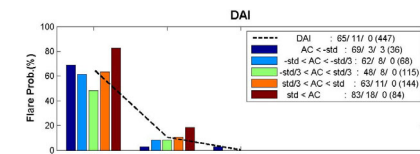
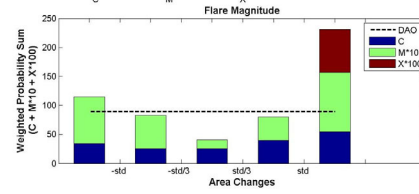
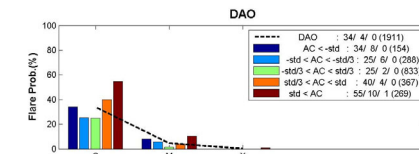
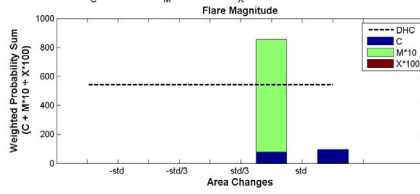
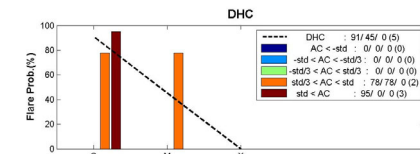
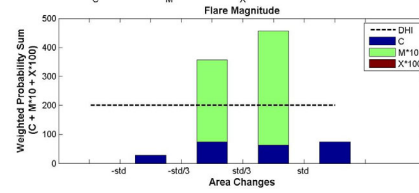
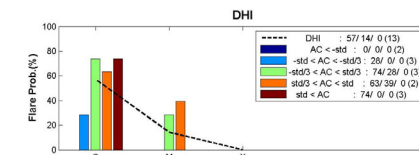
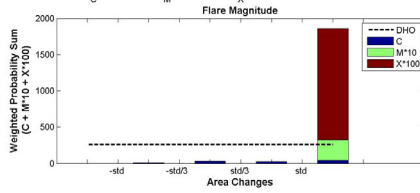
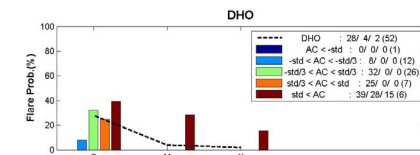
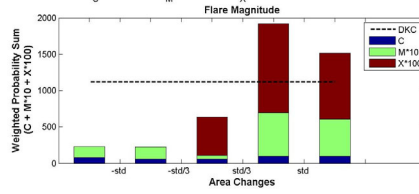
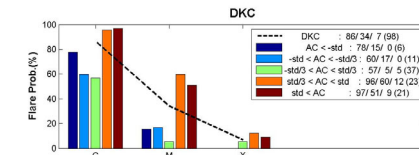
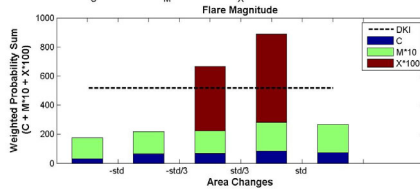
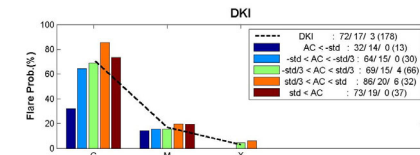


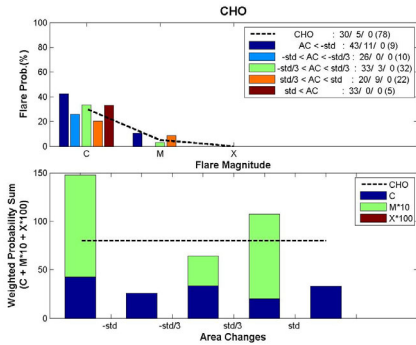
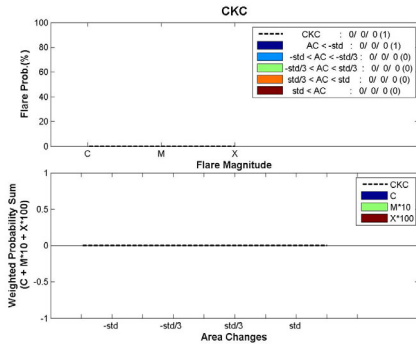
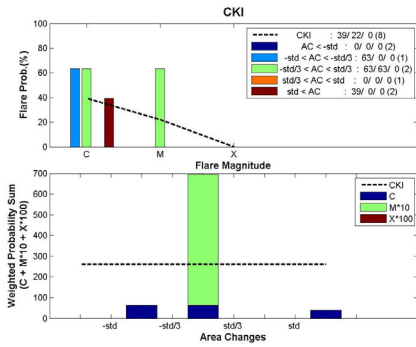
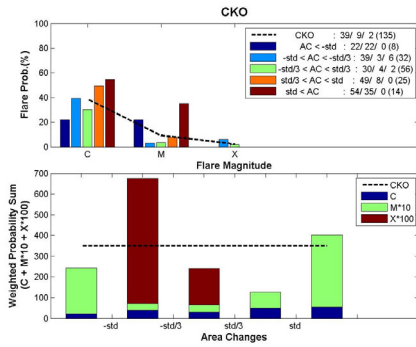
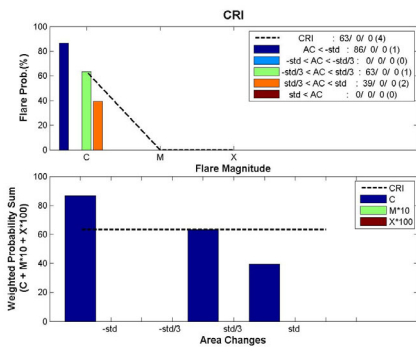
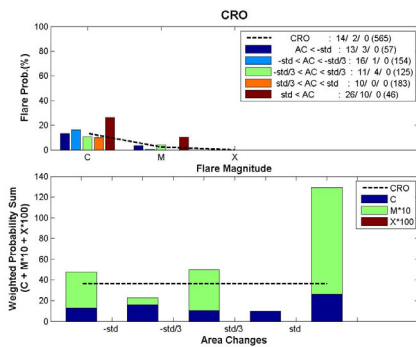
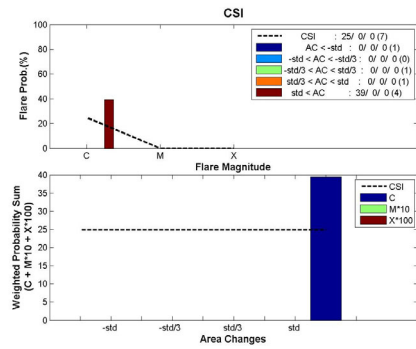
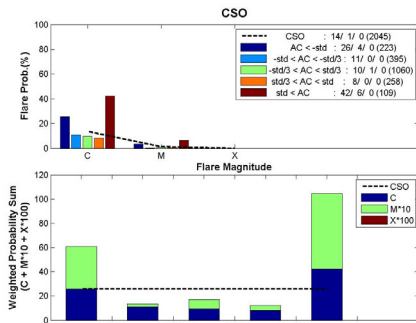


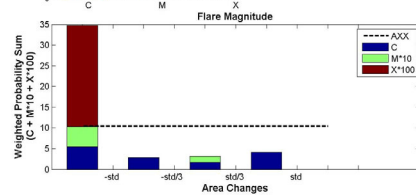
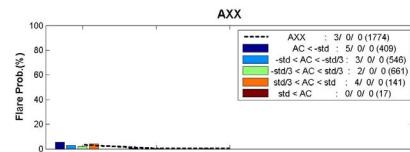
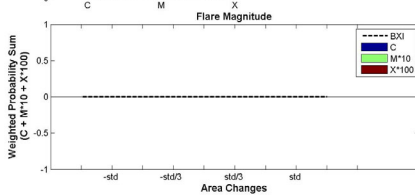
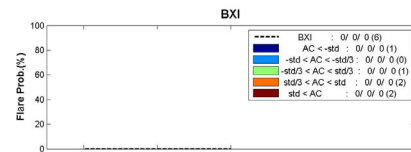
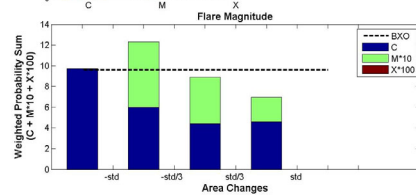
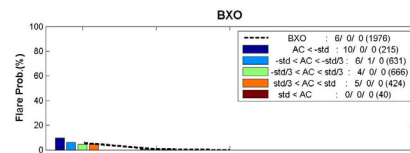
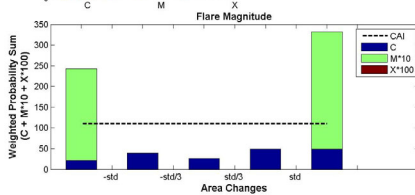
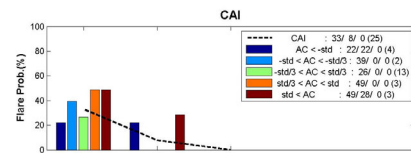
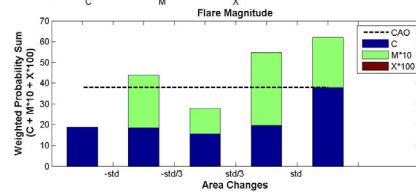
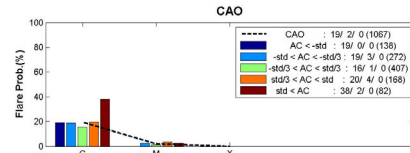
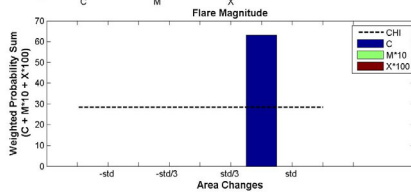
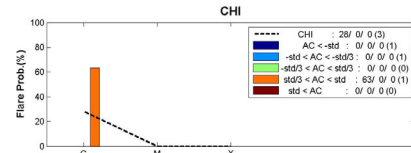




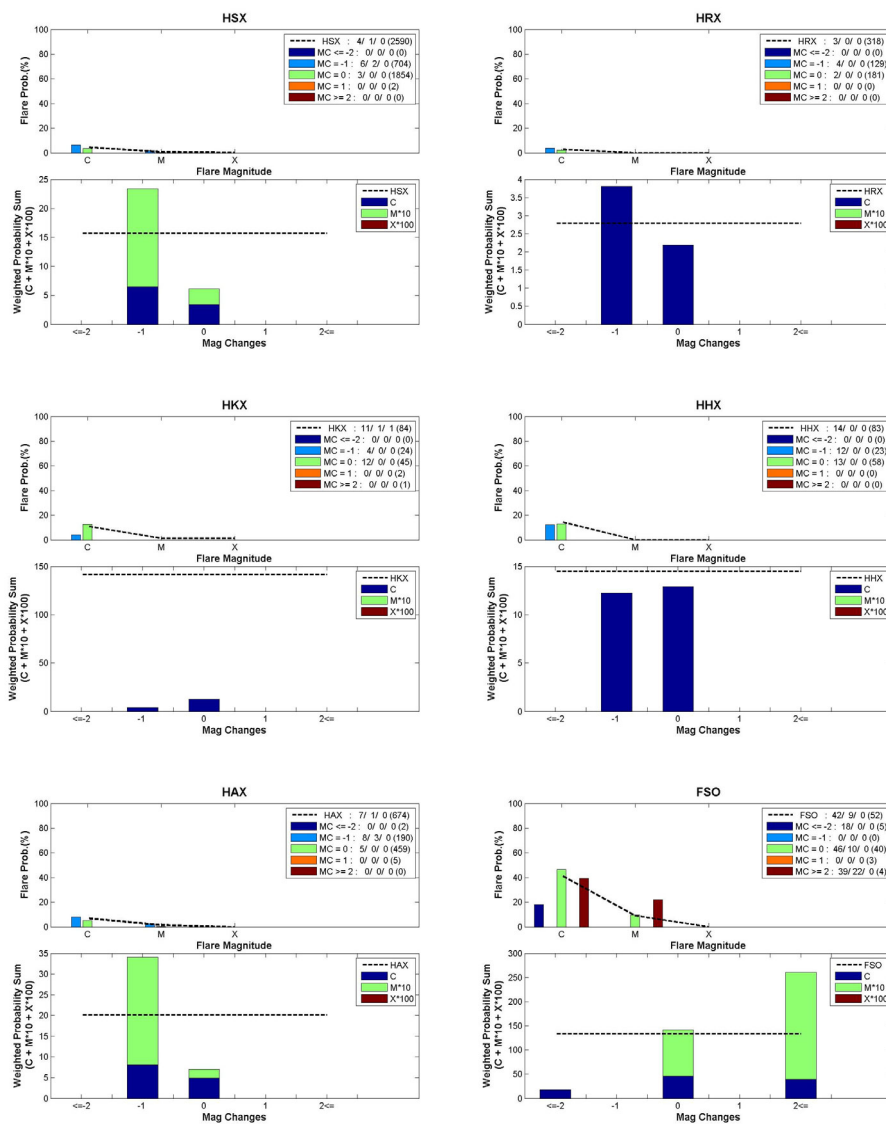


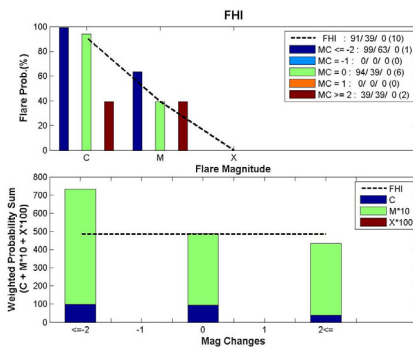
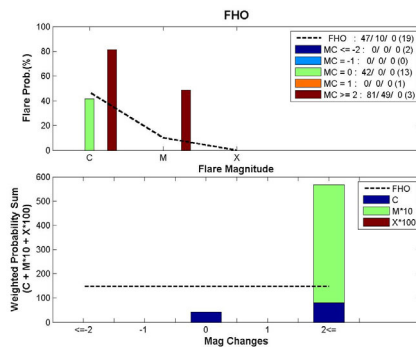
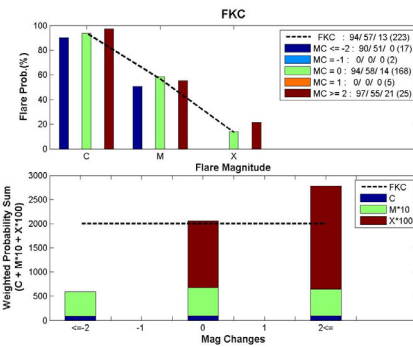
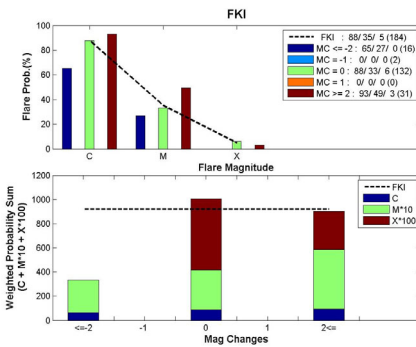
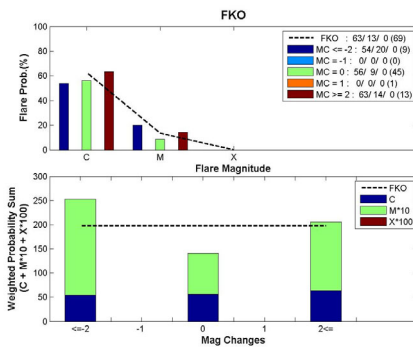
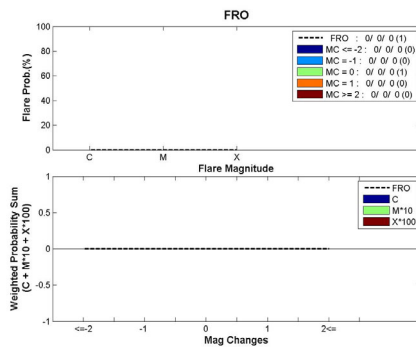
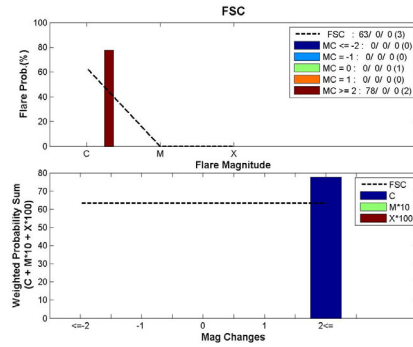
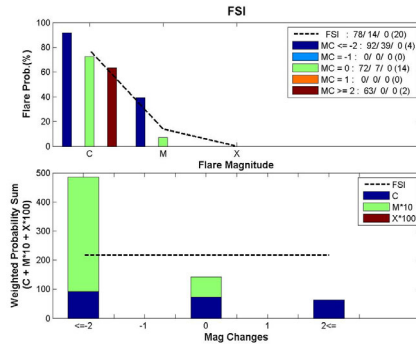


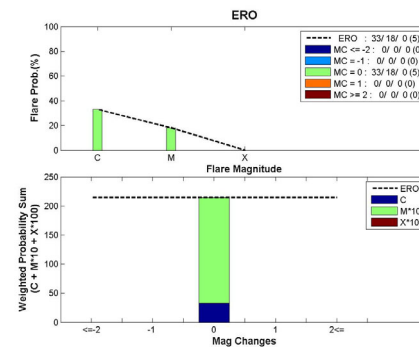
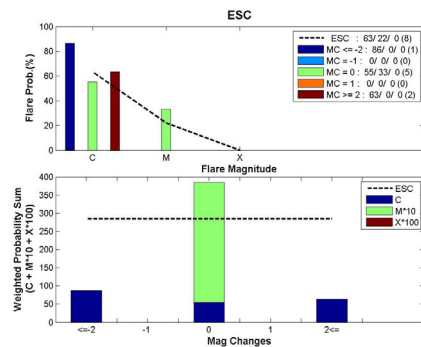
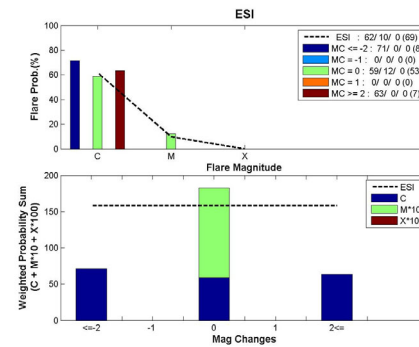
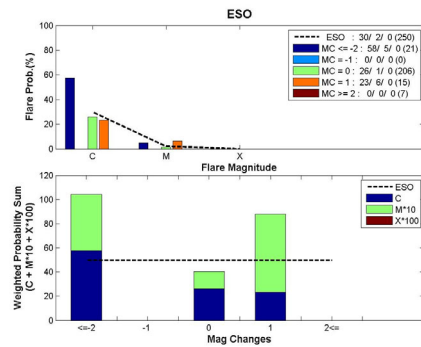
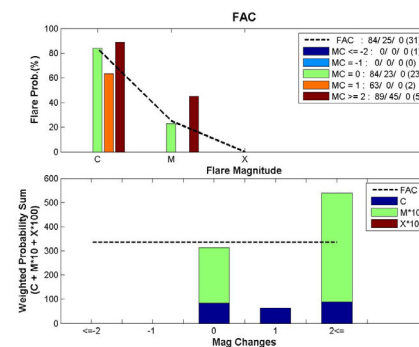
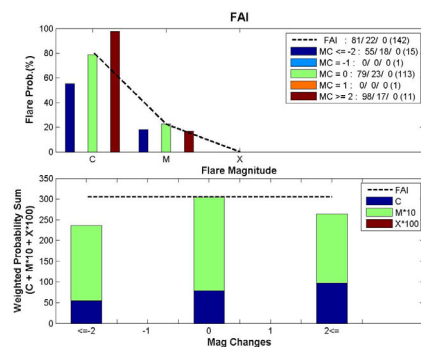
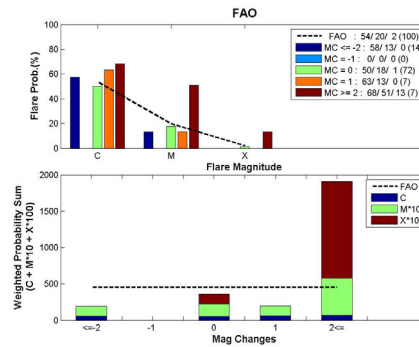
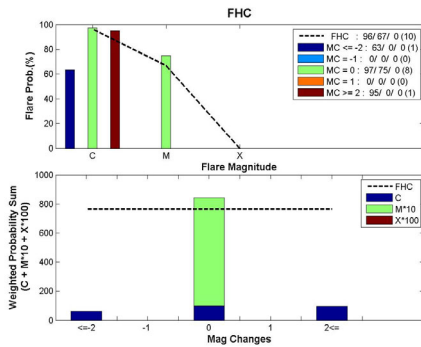


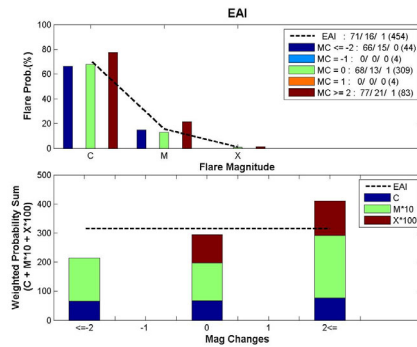
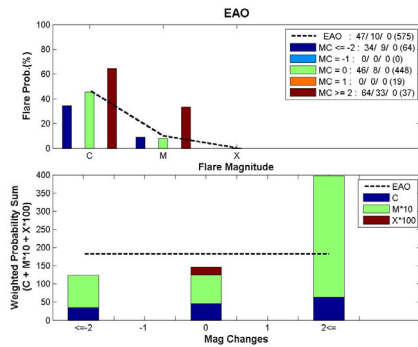
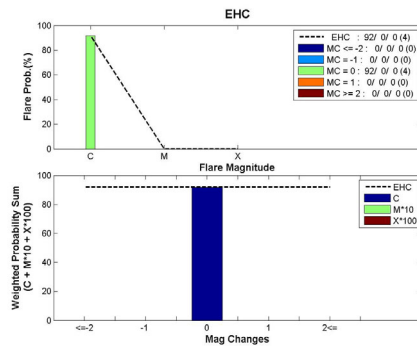
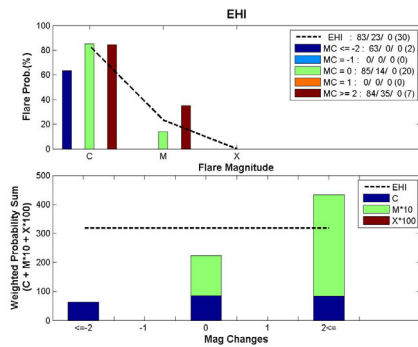
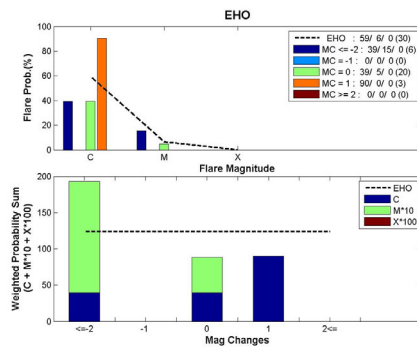
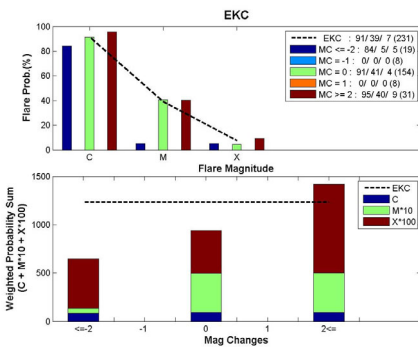
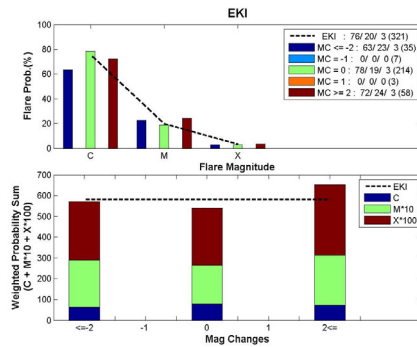
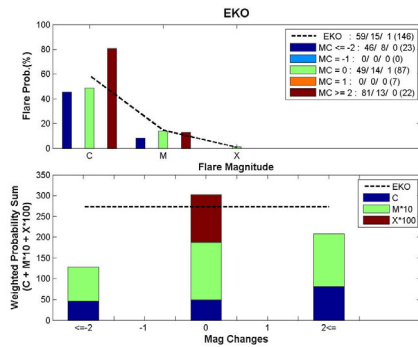


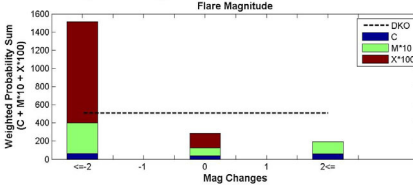
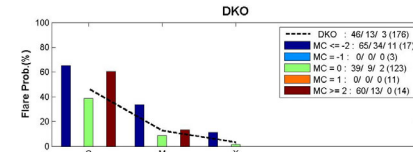
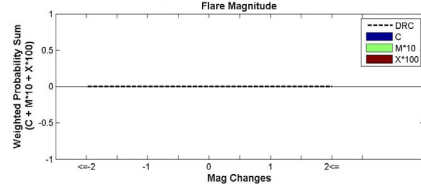
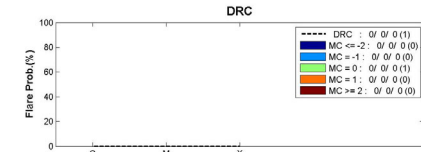
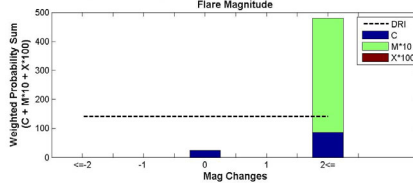
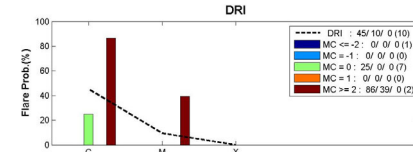
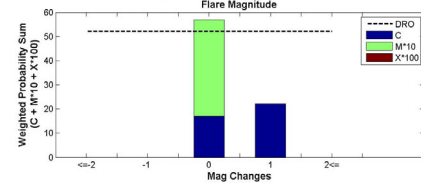
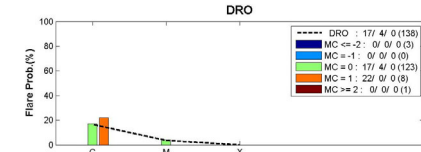
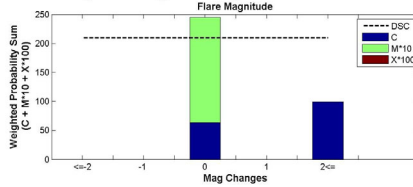
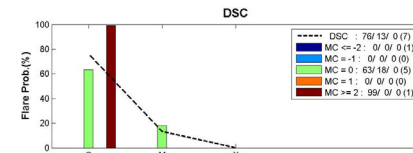
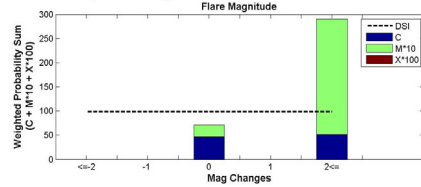
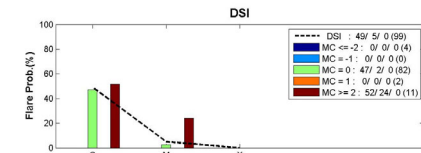
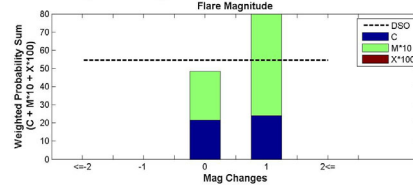
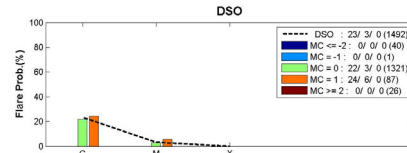
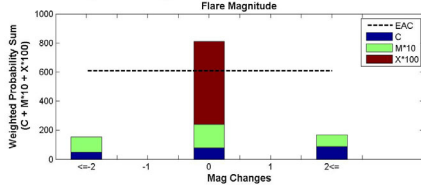
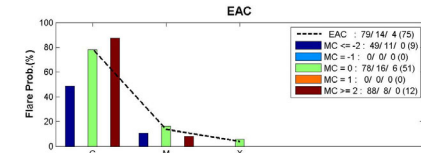
4. 흑점 자기장 복잡도 변화에 따른 폭발확률 변화 분석

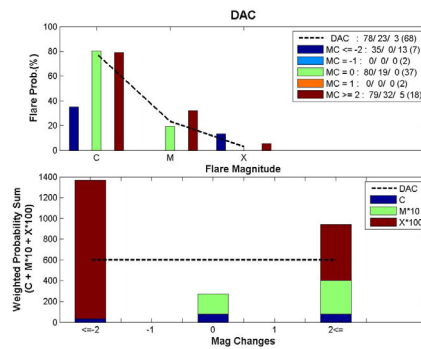
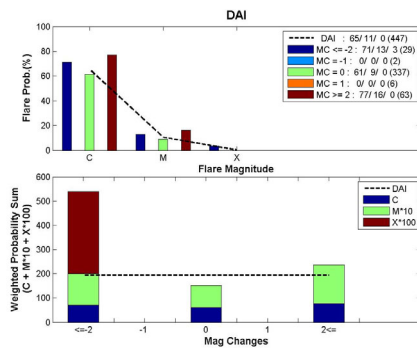
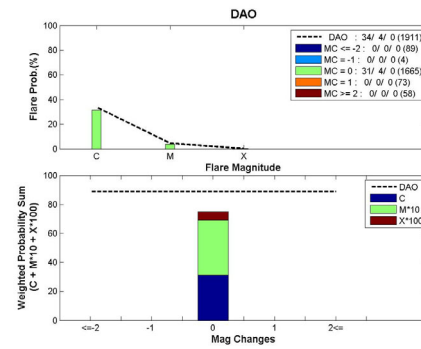
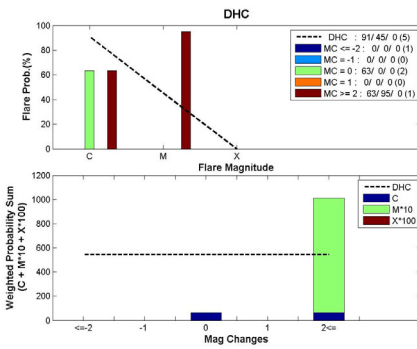
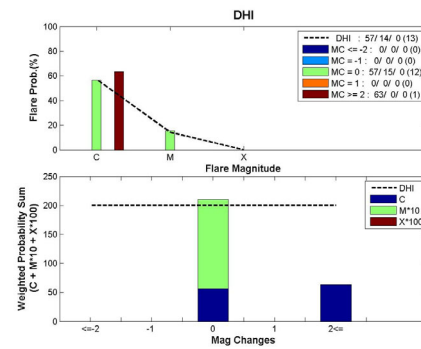
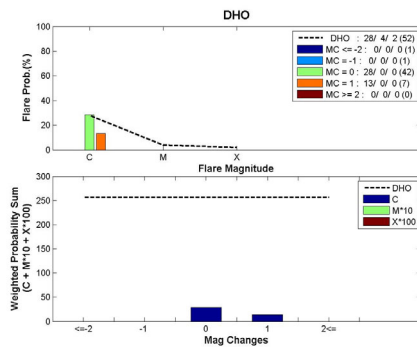
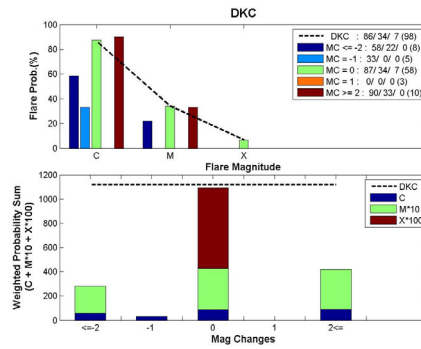
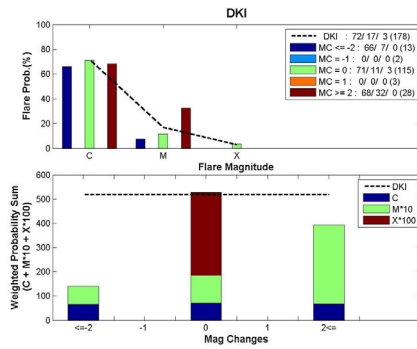


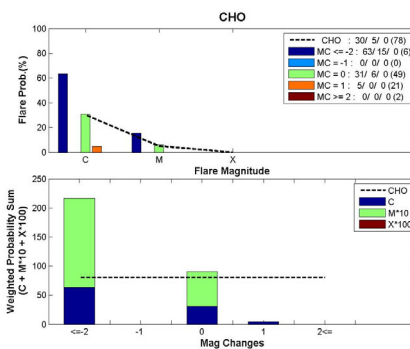
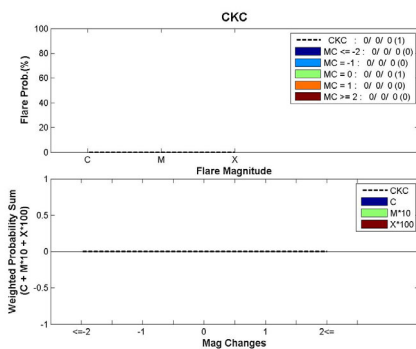
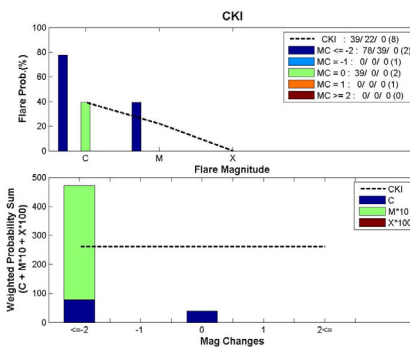
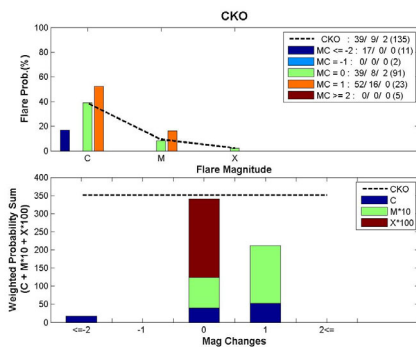
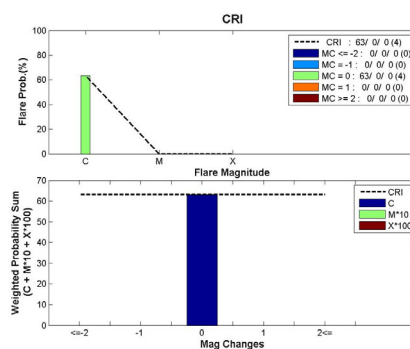
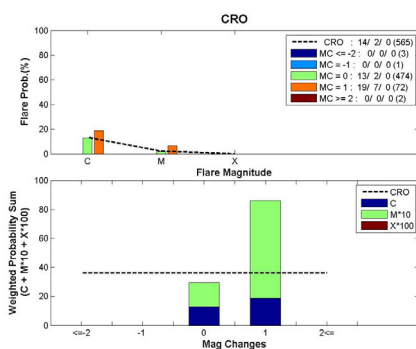
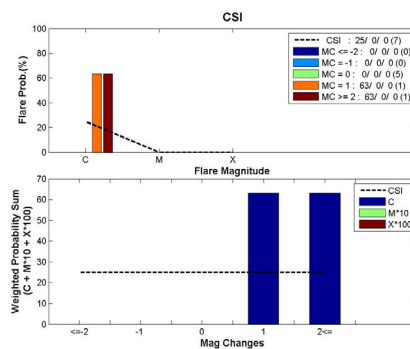
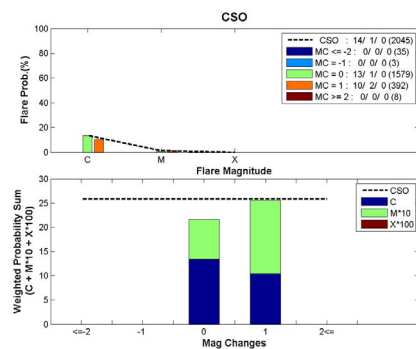


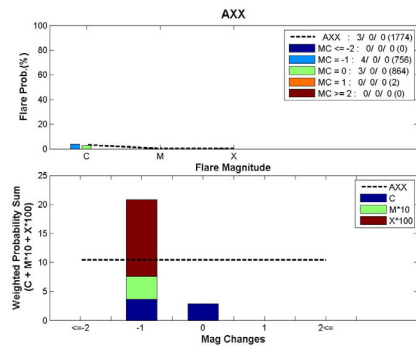
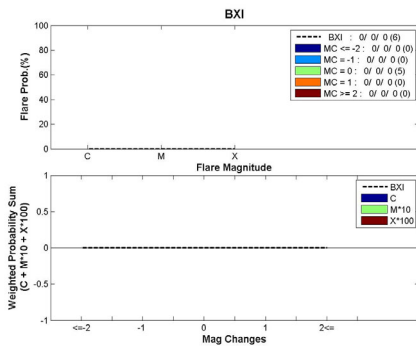
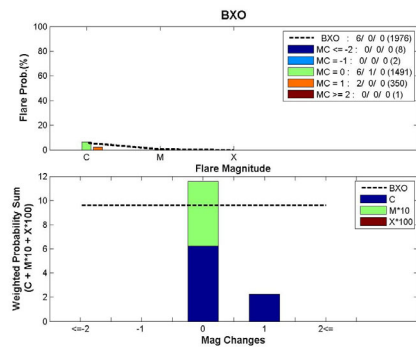
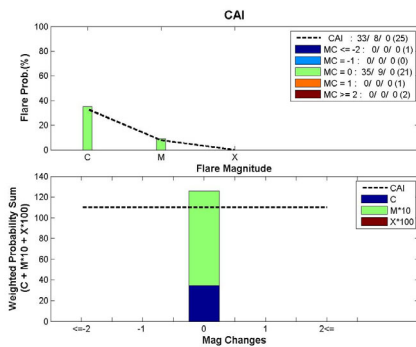
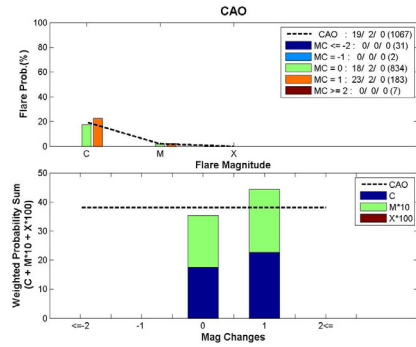
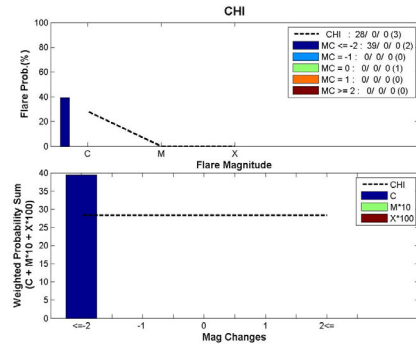




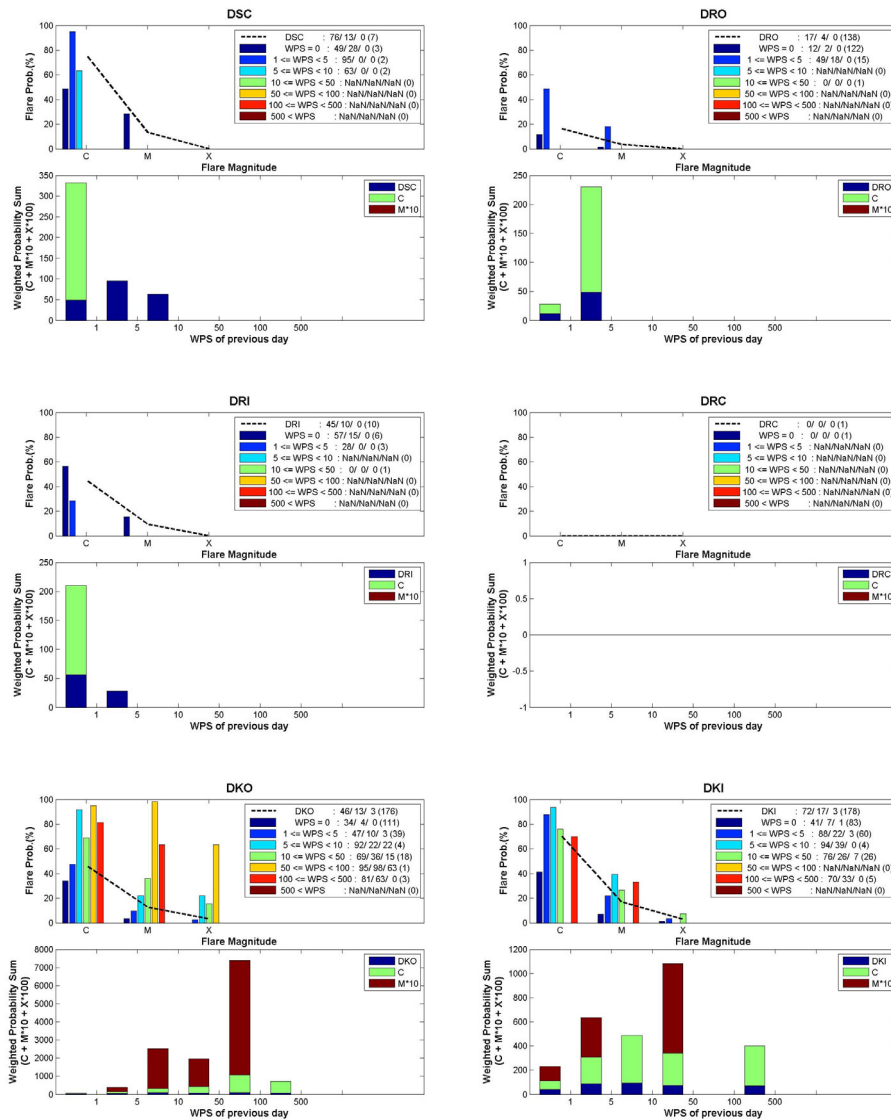


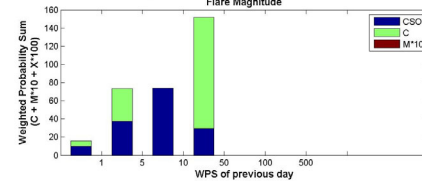
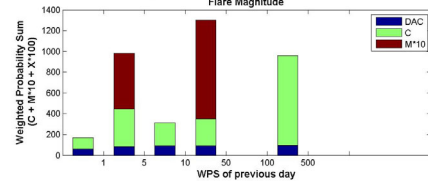
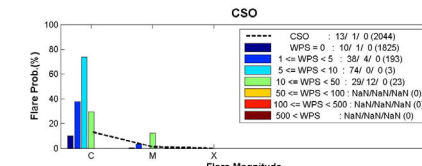
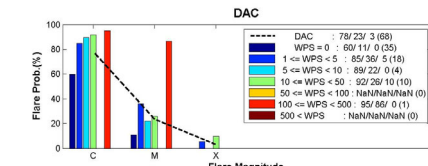
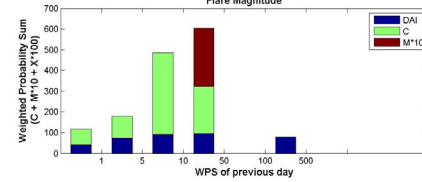
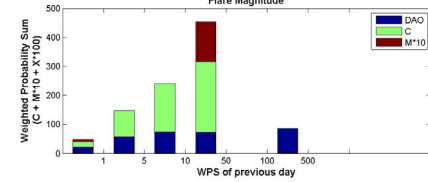
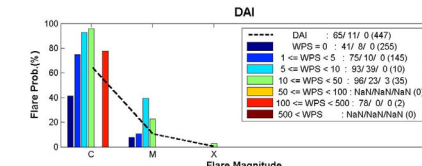
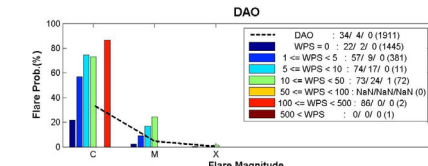
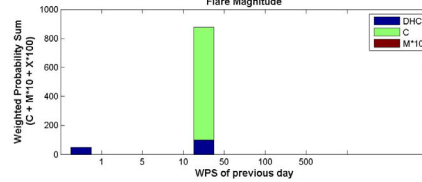
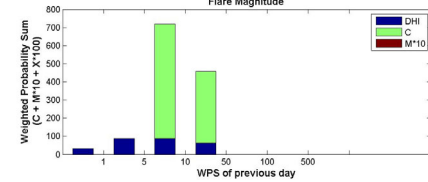
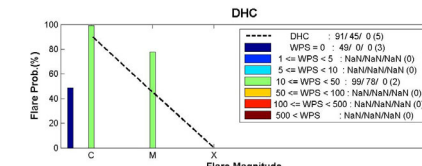
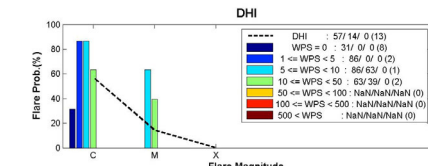
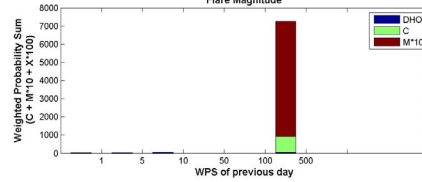
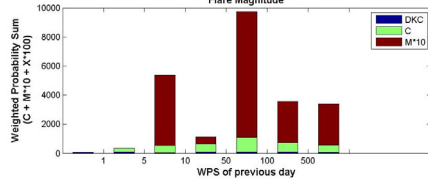
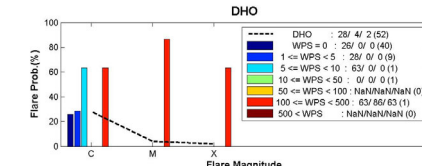
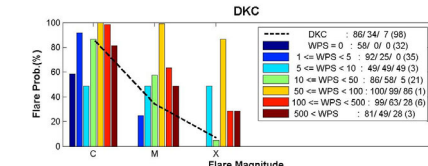


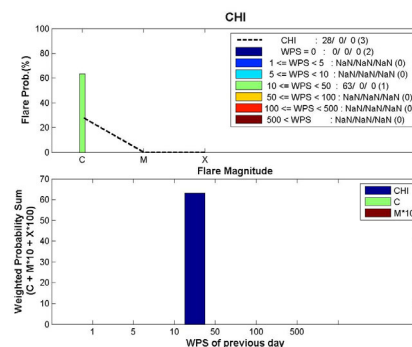
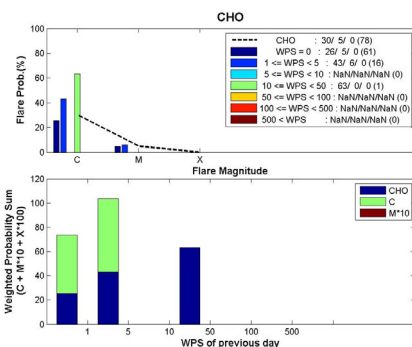
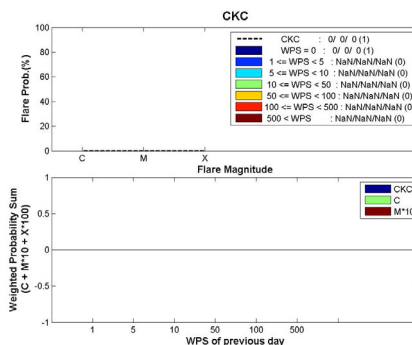
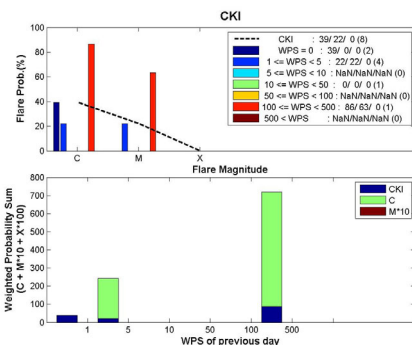
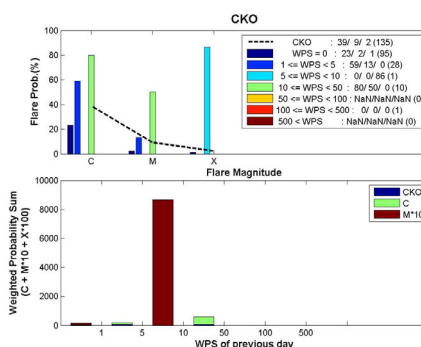
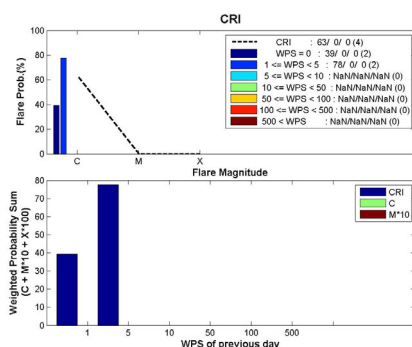
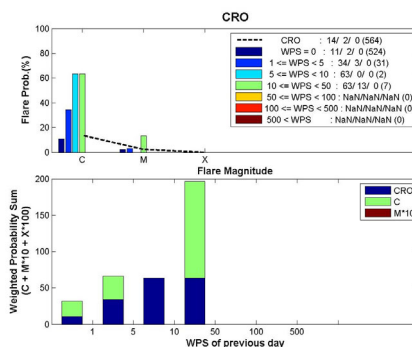
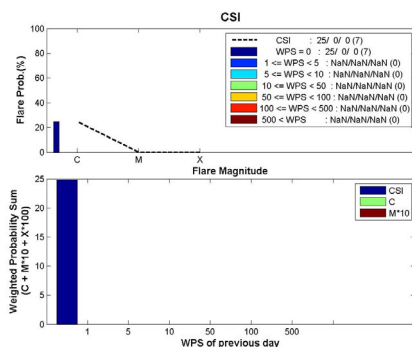


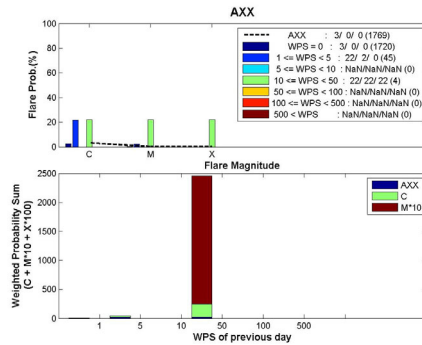
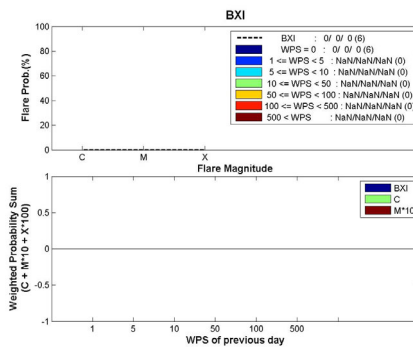
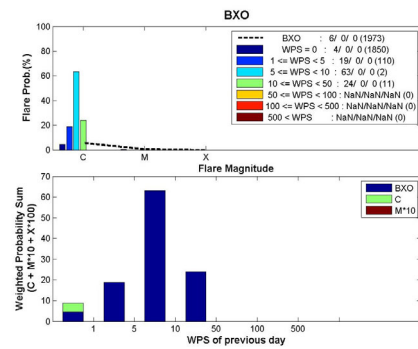
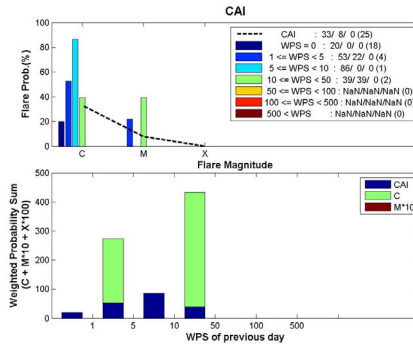
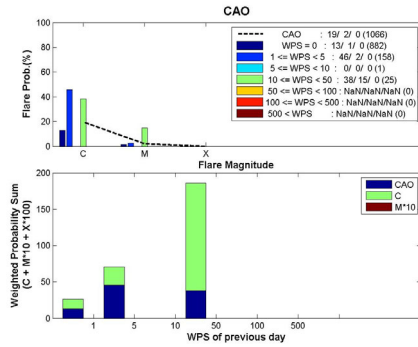


5. 지난 24시간 동안의 흑점 활동성에 따른 폭발확률 변화 분석









우주전파환경 예보결과 평가 및
개선에 관한 연구



140-848 서울시 용산구 원효로41길 29

발 행 일 : 2012. 12.

발 행 인 : 이 동 형

발 행 처 : 방송통신위원회 국립전파연구원

전 화 : 02) 710-6555

인 쇄 : 한국장애인이워크협회

Tel. 02) 2272-0307

ISBN : 978-89-97525-06-5-93560 < 비 매 품 >

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.