

제 출 문

이 보고서를 「우주전파환경 변화에 대한 무선통신 보호방안 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008. 12. .

연구책임자 : 박용선 (서울대학교)

연구보조원 : 윤영주 (서울대학교)

유형준 (서울대학교)

강지만 (서울대학교)

요 약 문

1. 과제명 : 우주전파환경 변화에 대한 무선통신 보호방안 연구
2. 연구 기간 : 2008. 6. 26. - 2008. 11. 28.
3. 연구책임자 : 박용선
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부연구내용	연구자	월별 추진일정												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
- 태양전파로 인한 지상 무선통신장애 분석	강지만							=	=	=	=	=		
- 과거 태양전파 폭발관측자료 통계 분석	유형준							=	=	=	=	=		
- 2.8GHz 태양 전파 관측시스템 자료 분석 체계 구축	윤영주							=	=	=	=	=		
- 경보시스템 구축 및 무선 통신 장애 회피 방법에 관한 연구	박용선							=	=	=	=	=		
- 태양전파노이즈 관측시스템 구축 방안 연구	박용선							=	=	=	=	=		
분기별 수행진도 (%)								60%			100%			

나. 세부 과제별 추진사항

1) 태양전파로 인한 지상 무선통신장애 분석

- 태양활동에 의한 잡음의 증가로 유발되는 신호대 잡음비의 감소 정도를 분석, 태양활동에 의해서 통신가능 범위가 감소하는 양상을 연구하였다.

2) 과거 관측자료 통계 분석

- 문헌 조사를 통해 태양 전파 폭발 빈도 및 세기를 조사하였다.
- 기존의 연구에 1995년 이후의 관측자료를 추가하여 태양 주기를 하나 더 포함하여 통계분석을 수행하였다.

3) 2.8 GHz 태양 전파 관측시스템 자료 분석 체계 구축

- 태양 전파 시스템의 수신기를 정비하고 선형성을 확인하였다.
- 절대 플럭스를 구할 수 있도록 여러 calibration 상수를 결정하였다.
- 그 결과 캐나다 시스템과 비슷한 플럭스를 산출하게 되었다.

4) 경보시스템 구축 및 무선 통신 장애 회피 방법에 관한 연구

- 미국 특허 중심으로 통신 장애를 회피 하는 방법을 연구하였다.

5) 태양전파노이즈 경보시스템 구축방안연구

- 미국과 일본의 시스템을 검토하여 우리나라 상황에 적합한 시스템을 제안하였다.

5. 연구결과

1) 태양전파로 인한 지상 무선통신장애 분석

- 이동통신에서의 잡음 분석, 통신가능 범위 감소 양상을 문헌을 통해 조사하였다.
- 태양 전파 플럭스가 10^3 sfu를 무선통신에 태양의 영향이 시작되는 문턱값으로 고려할 수 있고, 10^5 sfu 가 되면 무선통신의 신호대 잡음비가 매우 낮아져 저하되어 통신에 심각한 장애가 유발됨을 보였다.

2) 과거 태양 전파 폭발 관측자료 통계 분석

- 문헌 조사를 통해 태양 전파 폭발 빈도 및 세기를 조사하여 평균적으로 40-80일에 한번씩 통신에 영향을 미치는 전파 폭발이 일어나는 것으로 파악되었다. 이 빈도는 태양활동이 활발해지면 점점 더 늘어날 것이다.

3) 2.8GHz 태양 전파 관측시스템 자료 분석 체계 구축

- 전파 연구소가 운영하고 있는 2.8GHz 태양 전파 시스템의 두 대의 수신기 정비하고 선형성을 확인하였다.
- Hot & cold 방법을 이용하여 calibration 상수를 결정하였다.
- 두 대의 수신기에서 계산된 태양 전파 플럭스값이 2-3%내로 일치하도록 calibration을 개선하였다.
- 캐나다 시스템의 측정 결과와 비교하여 3-4% 수준에서 서로 일치하나, 추후 온도에 대한 세밀한 보정이 필요하다.

4) 경보시스템 구축 및 무선 통신 장애 회피 방법에 관한 연구

- 미국 특허 중심으로 통신 장애를 회피 하는 방법을 조사하였다. 여러 기지국에 태양 전파 모니터 장비를 구축하거나 기존

의 시스템을 이용해 태양 전파의 세기를 측정하여 handoff 등의 방법으로 문제를 완화하거나 회피하는 방법을 제안하였다.

5) 태양전파노이즈 경보시스템 구축방안연구

- 미국과 일본의 시스템을 검토하여 우리나라 상황에 적합한 시스템을 제안하였다.
- 한 대의 안테나와 광대역 피드를 사용하는 안에서 점차 확장하여 여러 대의 안테나를 활용하여 밴드별로 최고 18GHz까지의 주파수 대역을 커버하도록 제안하였다.

6. 기대효과

- 전파연구소 이천분소 우주전파환경 업무의 개선과 관측자료 활용도의 증대에 기여할 것으로 예상함
- 우리나라 우주전파 환경 변화에 따른 위기관리 대응체계 마련에 활용

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
network analyzer	0-40GHz	1대	S-parameter 분석	보유		

8. 기타 사항

최종보고서 초록

국문 초록		
태양 활동에 의해 무선통신이 단절되거나 접속률이 낮아질 가능성에 대비해서 태양전파의 예상 폭발 빈도를 조사하고, 모니터링 방안, 회피방안과 예보방안을 제시하였다. 과거 태양전파 폭발자료를 분석하여, 평균적으로 40-80일에 한번씩 통신에 영향을 미치는 전파폭발이 일어나는 것으로 파악되었다. 태양전파활동 모니터를 위해 전파연구소 2.8GHz 태양 전파 관측시스템의 calibration 상수를 결정하여, 캐나다 시스템의 측정값과 3-4% 수준에서 일치하도록 하였다. 또한 18GHz까지의 넓은 주파수 범위에서 예보가 가능한 새로운 경보 시스템 구축 방안을 제시하였다. 상용 무선 기지국에 태양전파 모니터 장비를 추가하거나 기존의 시스템을 그대로 이용해 태양전파의 세기를 측정하고 handoff 등의 방법으로 문제를 완화하거나 회피하는 방법을 제안하였다.		
영문 초록		
In order to understand, mitigate, and avoid disturbances in radio communication due to solar radio burst, we first investigated statistics of past solar radio burst events. Analysis of the past NGDC solar radio burst events suggests that commercial communications may be subject to disturbances once per 40-80 days which will be more frequent toward solar maximum. For absolute solar radio flux measurement, a prerequisite of event monitoring, we maintained the 2.8 GHz solar flux monitor of RRL and adjusted calibration constants that resulted in an agreement of solar fluxes with those of Canada DRAO system within 3-4% accuracy. We also proposed ways of mitigating the interruption of communications by means of e.g., handoff by installing solar flux monitor systems in the base stations or just by making use of power measurement capability of the base stations.		
색 인 어	한글	태양전파, 전파폭발, 절대 calibration
	영문	solar radio, radio burst, absolute calibration

SUMMARY

In order to mitigate and avoid disturbances in radio communication due to solar radio burst, we investigated statistics of past solar radio burst events, presented ways of predicting such events and mitigating the disturbances.

Investigation of past solar radio burst events suggests that commercial communications may be subject to disturbances once per 40-80 days which will be more frequent toward solar maximum.

It is necessary to measure the absolute solar flux in order to judge solar radio burst events that may possibly cause disturbances in communications. For the absolute solar radio flux measurement, we maintained the existing solar flux monitor of RRL and adjusted calibration constants that resulted in an agreement of solar fluxes with those of Canada DRAO system within 3-4% accuracy.

We also proposed ways of mitigating the interruption of communications by means of e.g., handoff by installing solar flux monitor systems in the base stations or just by making use of power measurement capability of the base stations.

For routine monitoring of solar radio activity, we propose a monitoring system covering from 1 GHz to 18 GHz equipped with a sensitive receiver of receiver temperature less than 100K. In the first stage one antenna system may initiate solar observation with a wide band feed and a combinations of receivers covering several frequency bands. In the late stage, a few more antenna must be add so that each antenna system cover one of several frequency bands with high efficiency feeds.

목 차

표 목 차	10
그림목차	11
제 1 장 서 론	13
제 1 절 연구의 목표	13
제 2 절 연구의 필요성	14
제 3 절 연구 범위와 내용	15
제 2 장 태양전파로 인한 지상 무선통신 장애 분석	16
제 1 절 태양전파에 의한 잡음	16
제 2 절 무선 통신에 미치는 영향	17
제 3 장 관측자료 통계 분석	19
제 1 절 개 요	19
제 2 절 태양폭발 분석	20
제 3 절 결 론	24
제 4 장 2.8GHz 태양 전파 관측시스템 자료 분석 체계 구축 ...	29
제 1 절 서 언	29
제 2 절 하드웨어 보완	30
제 3 절 수신기의 동작특성	31
제 4 절 잡음 다이오드의 calibration	31
제 5 절 Feed cable의 손실 측정	33
제 6 절 절대 플럭스의 계산	38

제 7 절 일본 및 캐나다 자료와의 비교	38
제 5 장 무선 통신 장애 회피 방법에 관한 연구	41
제 1 절 서 언	41
제 2 절 경보발령	41
제 3 절 통신 장애 회피방법	42
제 6 장 태양 전과 잡음 경보시스템 구축	47
제 1 절 추진배경 및 중요성	47
제 2 절 국내외 현황 및 문제점	47
제 3 절 추진 방안	48
제 7 장 결 론	56
제 1 절 결 언	56
제 2 절 연구결과 활용계획 및 기대효과	57
참 고 문 헌	58

표 목 차

표 3-1. 연도별 가중치	23
표 3-2. 월평균 태양폭발 횟수(30-2500MHz)	25
표 3-3. 월평균 태양폭발 횟수(1-20GHz)	28

그 립 목 차

그림 3-1. 연도별 월평균 태양 흑점 수	20
그림 3-2. 관측된 태양 폭발 횟수(30-2500MHz)	20
그림 3-3. 관측된 연도별 태양 폭발 횟수(30-2500MHz)와 흑점수 ...	22
그림 3-4. 월평균 태양 폭발 횟수와 흑점수(30-2500MHz)	24
그림 3-5. 월평균 태양 흑점 횟수와 흑점수(1-20GHz)	26
그림 3-6. 주파수 별 태양폭발 횟수의 상관관계	26
그림 3-7. 전파 폭발의 세기별 분포	27
그림 4-1. #1 수신기의 선형성	30
그림 4-2. #2 수신기의 선형성	30
그림 4-3. 피드 후단부터 #1 수신기까지 시스템 전체의 선형성	32
그림 4-4. 피드 후단부터 #2 수신기까지 시스템 전체의 선형성	32
그림 4-5. 2008년 11월에 캐나다에서 관측한 2.8GHz 태양 전파 플릭스의 변화	34
그림 4-6. 시간별로 측정된 태양전파플릭스	36
그림 4-7. 캐나다 DRAO 자료와 일본 HIRAS 자료와의 상관관계 (2007년 12월)	39
그림 4-8. 캐나다 DRAO 자료와 일본 HIRAS 자료와의 상관관계 (2008년 3-4월)	39
그림 5-1. 무선통신 네트워크의 구조	43
그림 5-2. 기존의 통신망에 태양활동 감시 장비를 추가하는 방법 ...	43
그림 5-3. 그림 5-2를 개선하여 통신 네트워크에 태양활동 감시 장비를 추가하는 방법	44
그림 5-4. 태양전파회피 알고리즘	45

그림 6-1. 미국의 NJIT가 운영하는 solar radio burst locator	49
그림 6-2. log-spiral 피드	50
그림 6-3. Burst의 위치에 따른 주파수별 출력	51
그림 6-4. 일본 노베야마 solar polarimeter	53
그림 6-5. 태양전파노이즈경보장치 블록선도	54

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 목표

1. 연구 배경

2005-6년경의 태양활동 극소기를 지나 2011-2012년경에 태양활동 극대기에 도달할 것으로 예상된다. 태양전파폭발 빈도와 강도도 이에 따라서 조금씩 증가할 것으로 예상된다 ([http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarradio.html#noon flux](http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarradio.html#noon_flux)).

이렇게 태양 폭발이 일어나면 우주 및 지상의 전파환경이 영향을 받아 물리적, 경제적 피해가 나타날 것으로 예상된다. 지상-위성간의 통신이나 지상-지상간의 무선 통신이 태양 폭발의 영향으로 장애를 겪는 것이 대표적이다. 무선 통신 장애가 오로라등과 관련이 있다는 보고는 1840년대부터 있어왔고(Barlow 1849), 2차대전 중에는 태양전파의 간섭으로 레이더 작동에 어려움을 겪은 일도 보고된 바 있다(Kochanski et al. 2007). 시간이 지남에 따라 비약적으로 무선 통신 자원의 사용이 늘어나고, 소비 전력을 줄이려는 경향에 따라 기기들이 감도가 높아짐에 따라 그만큼 외부의 교란에 영향을 잘 받게 된다. 대부분은 외부 교란에 오동작을 하지 않도록 내부 논리 회로를 가지고 있으나, 태양 활동은 고려되고 있지 않다.

현대 생활에서 무선 통신 기기가 차지하는 비중을 고려하면 태양활동이 무선 통신에 미치는 영향에 관한 연구를 미룰 수 없는 상황이다. 외국의 경우 이것의 심각성을 고려하여 연구가 조금씩 추진되고 있다. 과거 태양활동의 통계자료를 분석하여 무선통신 장애의 빈도를 예측하거나(Bala et al. 2002), 태양전파폭발이 발생했을 때 기지국 수준에서 대응방안을 찾는 것이 그 예이다(Kochanski et al. 2007).

2. 연구 목표

이런 배경을 바탕으로 태양 활동 등에 의해 우주전파환경이 급격히 변화할 때 신속히 경보를 발령하고 무선통신에 피해가 가지 않도록 민간 또는 국가 수준에서 대처할 수 있는 방안을 조사/연구하는 것을 이번 연구의 목표로 삼고자 한다. 아울러 과거 태양활동 자료로부터 무선통신 장애가 얼마나 자주 일어날지를 예측해보고, 전파연구소에서 운영하고 있는 태양 전파 모니터링 시스템을 이용해서 경보체계를 구축하는 연구를 수행하고자 한다. 기존의 모니터링 시스템을 높은 주파수 대역으로 확장하는 방안에도 대해서도 논의한다.

제 2 절 연구의 필요성

1. 태양활동에 의한 무선 통신 장애의 발생 가능성

앞에서 언급한대로 무선통신이 일상생활이나 산업에서 점점 더 활발하게 사용됨에 따라, 태양활동에 의해 전파 교란이 일어나는 경우에 물리적, 경제적 피해가 매우 커질 수도 있다. 이에 대비하여 폭발 내지는 폭발의 빈도를 예측하고, 전파 폭발이 발생했을 때 경보를 발령하며, 지상파 무선통신을 보호하는 시스템을 가동하는 등의 대비책을 마련할 필요가 있다. 우주전파 환경의 급격한 변화에 의해 야기되는 피해를 최소화하기 위해서는 민간수준에서 뿐만 아니라 국가차원에서도 대응체계를 마련하는 것이 필요하다.

2. 국내외 현황

이러한 중요성에도 불구하고 국내에서는 이에 관련된 연구가 미진한 형편이다. 반면에 외국의 경우에는 어느 정도 연구가 되었거나 진행되고 있는데, 과거 자료를 조사하여 통신 장애가 있었던 경우들을 조사해보거나(Lanzerotti et al. 2002),

태양전파폭발의 통계적인 특성을 조사하고 예상되는 전파통신 장애의 빈도를 예측해보는 연구들을 진행하고 있다(Gary et al. 2004)

제 3 절 연구 범위와 내용

우주 환경 변화에 의한 교란으로부터 무선통신을 보호하기 위해서는, (1) 우선 이러한 교란이 어느 정도 전력이 되었을 때 이동 통신에 영향을 미치는지를 연구해야 한다. 이것은 태양 전파 플럭스와 기지국의 송수신 출력, 잡음지수등과 관련이 될 것이다. 또한 (2) 이러한 교란이 얼마나 자주 일어나는가를 연구할 필요가 있다. 그 빈도에 따라 중요성과 시급성은 더 커진다고 할 수 있다. (3) 우리나라에서 구체적으로 이러한 통신 장애에 대비하려면 태양 전파 관측시스템을 갖추고 태양 전파 플럭스를 지속적으로 측정해야 한다. 현재 전파연구소에 유일하게 2.8GHz 대역용의 태양 전파 관측시스템이 구축되어 있는데 이 시스템을 완비하고 외국 시스템의 자료와 비교해서 나름대로의 calibration 상수 등을 확보할 필요가 있다. 이러한 토대위에서 (4) 경보시스템 구축 및 무선 통신 장애 회피 방법을 구축해야 한다. 상용 무선통신 위주로 알아보고자 한다. 무선통신이 실제로 넓은 주파수 대역에서 이루어지고 있으므로 태양활동을 모니터링하는 시스템도 충분한 주파수를 커버해야 한다. 현재로는 2.8 GHz에서 동작하는 것 한 대 밖에 없으므로 이를 확장할 필요가 있다. 이를 위해 (5) 태양전파 잡음 측정 장치를 구축하는 방안에 대해서 제안을 하고자 한다.

아래에 위에서 언급한 5가지 연구주제에 대해 차례대로 연구내용을 기술한다.

제 2 장 태양전파로 인한 지상 무선통신 장애 분석

제 1 절 태양전파에 의한 잡음

관측에 의하면 태양활동에 의해 일어나는 전파폭발의 플럭스는 최대 10^5 sfu 또는 그 이상에 이른다고 한다. 어느 정도 세기부터 태양전파가 무선통신에 영향을 미칠 수 있는지를 알아보자. 원칙적으로는 사용하는 무선기기의 잡음지수, 잡음허용수준, 안테나의 이득등에 관련된다. 상용의 무선통신은 일정한 신호대잡음비로 동작하지 않으므로 이 경우에는 같은 태양전파 폭발이라도 어떤 때는 영향을 미치지만, 어떤 때는 영향을 미치지 않기도 한다. 따라서 일률적으로 어느 정도의 플럭스부터 무선 통신에 영향을 미친다고 말할 수 없다. 아래에서는 일반적으로 접근하여, 무선통신에 영향을 미치기 시작하는 문턱값을 하나 제시하고자 한다. 이 값은 무선기기 근처의 열적 잡음 수준과 태양 전파폭발이 유발하는 잡음 수준이 같아지는 시점의 태양전파 플럭스 F 로 정의한다.

태양 플럭스가 F 인 경우에 기지국의 수신기가 받는 전력 P_R 은 다음과 같이 표현된다.

$$P_R = GB\lambda^2 F / (8\pi) \text{ W/Hz}$$

여기서 λ 는 파장, G 는 안테나 이득, F 는 태양의 전파 플럭스이다. 열적 잡음 수준과 태양 잡음 레벨이 동일한 경우에 위 식은 다음과 같이 표현된다.

$$kTB = GB\lambda^2 F / (8\pi)$$

대체로 1GHz 및 무선 통신 기지국의 안테나 게인 $G \sim 10$ 에서의 F 값은 1000 sfu로 계산된다. 이 값을 문턱값으로 볼 수 있다. 이때 총 잡음 전력은 열적 잡음의 두배 즉, 3dB 높게 된다. 만약에 무선기기가 자체 잡음 없이 순전히 열적잡음 수준에서 동작한다면 이 값은 신호대 잡음비를 3dB 감소시키는 값이다. 그러나 일반적인 무선기기는 자체잡음을 많이 가지고 있으므로 신호대 잡음

음비가 3dB 씩 감소하지는 않는다. 예를 들어 잡음지수 6-7dB로 동작하는 무선기기가 있다면 잡음온도는 대략 1000K가 되어 1000 sfu의 태양 전파 플럭스는 신호대 잡음비를 1dB 감소시킬 뿐이다. 그러나, 태양 플럭스가 3000 sfu가 된다면 신호대 잡음비는 3dB 감소하고, 만약에 태양 플럭스가 10^5 sfu가 된다면 신호대 잡음비는 무려 15dB 감소한다. 어떠한 시스템도 신호대 잡음비를 이렇게 큰 여유를 주면서 설계, 제작하지 않는다. 이 정도의 세기는 통신 가능범위를 감소시키거나 아예 교란시킬 수 있다.

제 2 절 무선 통신에 미치는 영향

이제 무선통신에서 대역폭까지 고려하여 잡음전력을 계산해보면, 온도 273 K, 대역폭 B에서 잡음 전력은 $-174+10\log(B)$ dBm이 된다. 수신기에 들어오는 잡음의 총량은 이 잡음과 수신기의 잡음지수를 함께 고려하면 된다. 대역폭 5 MHz에 대해 잡음지수 8dB를 고려하면 총 잡음 전력은 -99dBm이 된다. 만약에 여러 사용자가 있다면 multiple access noise를 고려해야 한다. 이것은 네크웍이 어떻게 구성되어 있느냐에 따라 다른데 보통 열적 잡음보다 10dB이상 높아서 이것이 통화가능범위를 결정하게 된다. 그러나 태양의 전파폭발이 일어나면, 특히 폭발의 최고점에는 이것이 주요 잡음원이 될 수 있어서 통신 가능범위를 줄이게 된다. 특히 안테나가 태양을 향하게 되면 더 큰 영향을 받게 된다. 안테나의 빔 패턴이 대부분 지평선을 향하고 있으므로 태양이 아침에 동쪽에 뜨거나, 저녁에 서쪽으로 질 때 가장 영향이 클 것으로 예상할 수 있다.

CDMA의 경우 이 multiple access noise를 줄이기 위해 기지국은 사용자의 출력을 가급적이면 줄이려 한다. 출력이 줄어들면 간섭과 신호가 함께 줄어서 S/N이 변화가 없으나 소모 전력이 적어서 여러모로 유리하다. 태양잡음은 -95dBm까지 오를 수 있다. 태양은 점 전파원에 가깝고, 안테나의 방향성 때문에 단말기가 신호를 받는 경우에는 태양의 영향을 받지 않고, 기지국이 단말기의 신호를 받는 과정이 영향을 받게 된다.

오랫동안 지속되는 태양 전파 폭발은 심각한 영향을 미칠 수 있다. 1000 sfu 크

기의 전파폭발이 있는 경우 잡음이 4dB 증가하고, 수신기 잡음을 -99dBm에서 -95dBm으로 올리게 된다. 모의실험에 의하면 95% coverage capacity가 4%정도 감소한다. 여기서 전파 잡음이 4dB 더 늘어나면 noise limited가 되고 시스템 용량은 상당한 수준으로 줄어들게 된다. 이러한 세기의 전파 폭발은 태양활동주기를 통해 적어도 수차례 나타날 것으로 예상된다.

제 3 장 관측자료 통계 분석

제 1 절 개 요

기존에 존재하는 지난 48년간의 태양전파관측 자료를 분석하여 세기별 발생률 등을 조사하고 무선통신에 영향을 줄 수 있는 수준의 전파폭발 현상이 얼마나 자주 발생하는지를 조사한다. 이것들은 11년의 태양활동주기와 밀접하게 관련되어 있을 것이므로, 태양활동주기별로 이러한 빈도를 계산해 본다. 이렇게 함으로써 태양 전파 폭발 자체는 예측을 할 수 없지만 적어도 폭발 빈도는 예측할 수 있을 것이다.

세계 2차 대전을 통해 태양 폭발은 레이더 시스템에 큰 영향을 주는 것으로 밝혀졌다(Hey, 1946). 1942년 2월 28일의 전파교란 현상은 태양 활동의 극대기에 증가한 cosmic ray에 의한 것이었다(Forbush, 1946). 이러한 사실들이 밝혀지면서 태양 폭발 및 solar particle event에 관한 연구가 활발히 이루어졌다(Castelli et al., 1967, 1973). 태양 폭발이 우주선에 미치는 영향, 극 운행 비행기에 미치는 영향, 전리층의 전리도에 미치는 영향, 레이더 시스템에 미치는 영향, 무선통신 시스템에 미치는 영향 등에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

Bala et al.(2002), Nita et al.(2002), Lanzerotti et al.(2002)는 태양 폭발이 무선통신 시스템에 미치는 영향을 연구하였다. 우선 어느 정도의 태양 폭발이 무선 통신에 영향을 미치는가를 알아보아야 하는데, 상용의 무선 통신시스템은 일정한 S/N으로 통신을 하는 것은 아니다. 사용자의 숫자에 따라 다른 S/N으로 통신한다. 그러므로 태양 전파가 이동통신에 미치는 영향은 일정하게 나타나지 않는다. 그 대략적인 준거로서 기지국 근처의 열적 복사와 같은 잡음 전력을 내는 태양 전파 폭발의 세기를 생각해볼 수 있다. 이것은 앞에서 살펴본대로 안테나 게인이 $G \sim 10$ 정도가 되면 1000 sfu가 된다. 기지국 수신기의 6-7dB의 잡음지수를 고려하면 자체잡음이 3000 sfu가 되므로 1000 sfu의 잡음

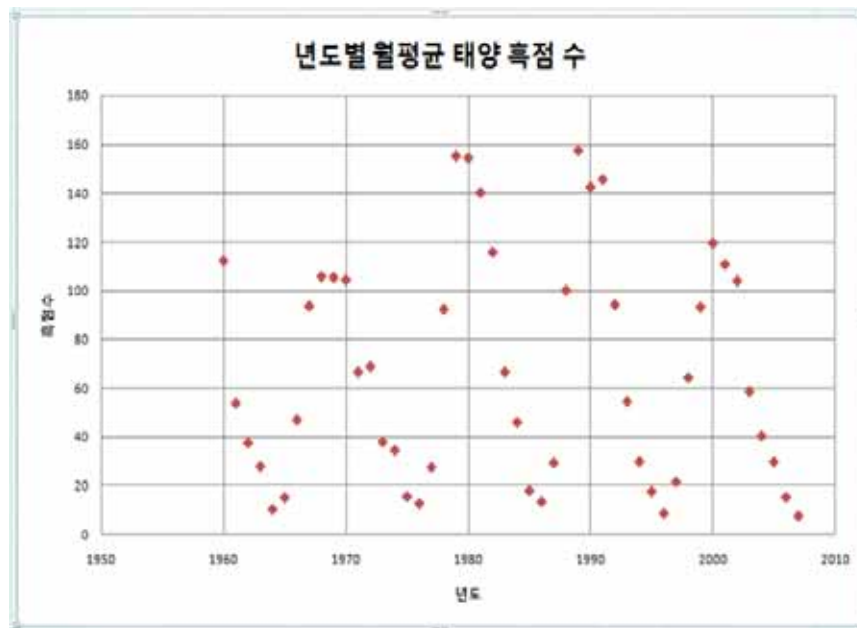


그림 3-1. 연도별 월평균 태양 흑점 수

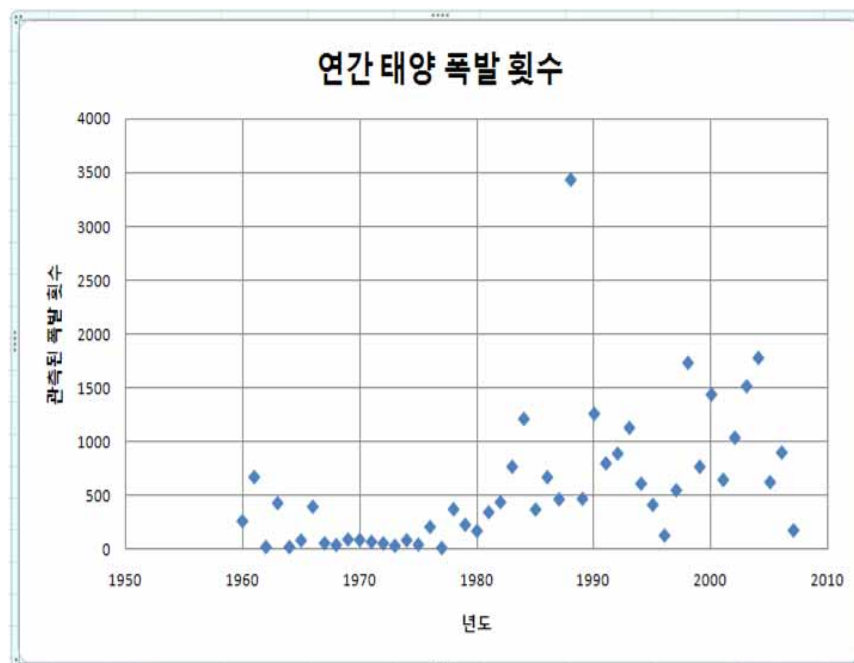


그림 3-2. 관측된 태양 폭발 횟수(30-2500MHz)

은 문제가 되지 않을 것이나, 이것을 일종의 문턱값으로 간주할 수 있을 것이다. 대략 1000 SFU를 무선통신에 영향을 미치기 시작하는 잡음 전력으로 볼 수 있을 것이다(Lanzerotti et al. 2004).

이번 분석에서는 지난 48여 년간의 태양전파관측 자료를 분석하여 세기별 발생률 등을 조사하고 무선통신에 영향을 줄 수 있는 수준의 태양폭발 현상이 얼마나 발생하는 지를 조사해보기로 한다. 또한 이러한 태양폭발이 태양활동 주기와 관련을 가지는지 조사하였다.

제 2 절 태양폭발 분석

통계 분석을 위해서 1960년부터 2007년까지 누적된 NGDC (National Geophysical Data Center)의 Solar radio burst data와 Sunspot number data를 사용하였다.

NGDC 태양 폭발 data 중 Peak Flux $\geq 10^3$ SFU이고, 폭발의 지속시간이 12분 이상인 것들에 대해 관측 주파수 30MHz-2500MHz 및 1GHz-20GHz에서 통계분석을 하였다. 이들을 태양 활동의 지표로 알려져 있는 태양 흑점수와 비교하였다.

태양 흑점 수는 일별 및 월별 변화가 있으므로 NGDC의 Daily Sunspot numbers in yearly tables 상의 Yearly Mean number를 이용하였다. 1960년부터 현재까지 관측된 년도별 월평균 태양의 흑점수는 그림 3-1과 같다. 태양의 흑점 수는 태양 활동 주기(11년)에 따라 증가 또는 감소함을 알 수 있다.

우선 전파연구소에서 관측 가능한 주파수 대역인 30MHz-2500MHz 사이에 대하여 태양 폭발 횟수와 이들과 태양 흑점수(태양활동 주기)와의 관계를 분석하였다. 앞에서 언급한대로 태양 폭발 횟수는 NGDC의 Solar Radio Burst Listing by year data를 사용하였다. 관측된 태양 폭발 횟수는 그림 3-2와 같다. 1980년 이후에 평균적으로 연간 500-1000회 발생하고 활동 극대기에는 1500회 이상 나타나기도 한다. 1960 - 1980년 사이의 관측된 태양 폭발 횟수는 상대적으로 매우 적다. NGDC의 관측 자료를 살펴본 결과 연중 10개월 이

상 태양폭발이 관측된 년도는 1961년을 포함하여 11년뿐이다. 데이터가 없는 부분은 태양 폭발이 발생하지 않았던 것이지, 아니면 관측 장비 미비 등의 이유로 태양 폭발을 관측할 수 없어서인지 판단할 수는 없으나 후자일 가능성이 더 높다.

관측된 태양 폭발 횟수와 연간 흑점수와의 관계는 그림 3-3과 같다. 관측된 태양 폭발 횟수는 1970년대 이후로 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 관측 장비의 발달에 의한 것으로 보인다. NGDC 관측자료 만으로는 30MHz-2500 MHz 관측 파장대의 태양폭발 횟수는 관측된 날이 많은 1980년대 이후 부분에서 태양활동 주기와 연관이 있는듯하나, 상관관계가 강해보이지는 않는다.

관측 장비의 고장 등의 이유로 태양 폭발을 관측할 수 없었던 것을 고려하면 실제 전파 폭발의 횟수는 더 많을 것으로 추정할 수 있다. 데이터를 이용해서 태양 폭발 관측일 및 폭발 횟수에 가중치를 두어 연간 태양 폭발 횟수 좀 더 정확히 추정할 수 있다. NGDC data의 모든 주파수 대역에서의 태양폭

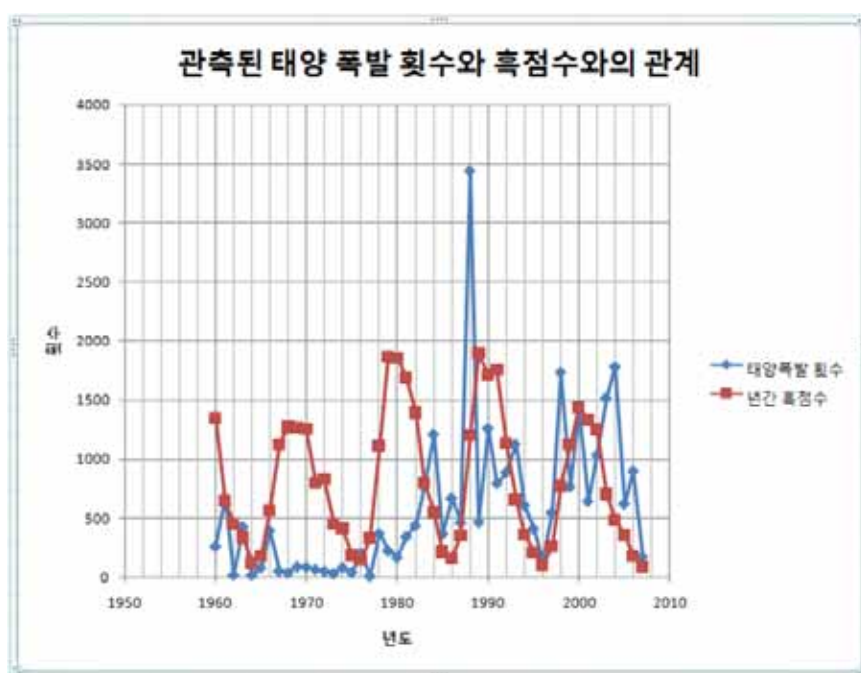


그림 3-3. 관측된 연도별 태양 폭발 횟수(30-2500MHz)와 흑점수

년도	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
가중치	0.50	0.09	0.14	0.13	0.17	0.13	0.14	0.25	0.67	0.77
년도	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
가중치	0.43	0.67	0.77	0.67	0.20	0.13	0.08	0.20	0.30	0.63
년도	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
가중치	0.83	0.43	0.56	0.18	0.50	0.14	0.09	0.10	0.09	1.00
년도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
가중치	0.50	0.50	0.50	0.17	0.11	0.08	0.09	0.08	0.11	0.20
년도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
가중치	0.20	0.25	0.20	0.14	0.10	0.20	0.08	0.08		

표 3-1. 연도별 가중치

발 관측일자를 조사하여 연도별 관측된 일자를 추정하고 월평균으로 변환하는 값을 포함하여 가중치를 주었다. 주어진 가중치는 표 3-1과 같다.

위의 가중치를 계산하여 추정한 월간 태양폭발 횟수(30-2500MHz)를 표 3-2와 그림 3-4에 보였다. (연평균이 아니고 월평균임에 유의하자.) 매월 약 100-200회의 전파 폭발이 나타나고, 활동 극대기에는 최대 600-700회까지 이르기도 한다. 또한 그림을 보면 30-2500MHz 주파수 대역에서 추정된 태양폭발 횟수와 태양 흑점 수는 밀접한 관계를 갖고 있음을 볼 수 있다.

이번에는 태양 폭발이 발생하였을 경우 휴대폰 등 무선 통신에 가장 장애를 일으키기 쉬운 파장대인 1GHz-20GHz에서의 태양 폭발 횟수와 태양 흑점수(태양활동 주기)의 관계를 분석하였다. 태양 활동에 관련되는 태양 흑점 수는 그림 3-1을 사용하였다. 앞의 30MHz-2500MHz 주파수 대역에서의 가중치 계산 방식과 동일하게 하였다. 1GHz-20GHz 주파수 대역에서 가중치를 두어 추정한 태양폭발의 횟수의 월평균은 다음 표 3-3과 같다. 평균적으로 매월



그림 3-4. 월평균 태양 폭발 횟수와 흑점수(30-2500MHz)

50-100회의 전파 폭발이 발생하고 극대기에는 200회에 이르기도 한다. 1-20GHz의 주파수 대역에서 가중치를 두어 추정된 태양폭발 횟수의 월평균은 그림 3-5와 같다. 1-20GHz 주파수 대역 역시 추정된 태양 폭발 횟수는 태양 흑점 수에 따른 태양 활동 주기와 밀접한 관계를 갖고 있음을 볼 수 있다.

제 3 절 결론

위의 연구에 의하면 대략 무선 통신에 영향을 주는 전파폭발이 10-20일 마다 한번씩 일어난다고 볼 수 있다. 그러나 태양이 지평선 부근에 있을 때 무선 통신에 영향을 주는 것을 감안하면 40-80일에 한번 정도로 감소한다. 태양 활동이 활발해지면 이 빈도는 점점 늘어나고, 반면에 태양활동이 약해지면 이 빈도는 줄어들 것이다.

30-2500MHz 주파수 대역 및 1-20GHz 주파수 대역에서 추정된 태양폭발 횟수는 태양 흑점 수(태양활동 주기)와 밀접한 관계를 갖고 있다. 그림 3-4와

년도	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
폭발횟수	131.00	61.09	3.00	53.63	3.33	10.38	56.57	14.25	26.67	70.00
년도	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
폭발횟수	37.83	46.00	42.31	22.00	16.80	5.50	17.33	2.40	113.03	142.50
년도	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
폭발횟수	141.67	150.00	243.89	139.64	606.50	52.86	61.00	46.50	312.55	469.00
년도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
폭발횟수	630.50	399.50	445.00	188.33	65.70	34.42	11.73	45.75	192.78	153.40
년도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
폭발횟수	288.00	161.50	207.60	216.71	178.00	125.00	75.00	14.67		

표 3-2. 월평균 태양폭발 횟수(30-2500MHz)

그림 3-5를 비교할 때 상대적으로 30-2500MHz 주파수 대역보다 1-20GHz 주파수 대역에서의 태양 폭발 횟수가 태양 활동(흑점수)과 연관이 밀접하다는 것을 알 수 있다.

그림 3-6에는 30-2500MHz 에서의 태양폭발과 1-20GHz에서의 태양 폭발 사이의 상관관계를 보였다. 태양활동 극대기에는 무선통신에 영향을 줄 수 있는 1-20GHz 주파수 대역의 태양폭발 횟수는 전파연구소에서 관측 가능한 30-2500MHz 주파수 대역의 태양 폭발 횟수와 비례한다고 할 수 있다. 30-2500MHz 주파수 대역에서의 태양 폭발이 1-20GHz 주파수 대역에서의 태양 폭발과 같은 사건이리라는 보장은 없으나, 태양 활동에 따라서 각 주파수 대역의 폭발의 횟수는 같이 증가/감소한다고 할 수 있다.

한편 세기별로 얼마나 자주 전파 폭발이 일어나는가를 알아보았다. Bala et al. (2002)에 의하면 그림 3-7과 같다. 앞의 데이터와 달리 23번째 태양활동 주기의 데이터가 포함되어 있지 않다. 그림을 보면 강한 폭발은 드물고 약할



그림 3-5. 월평균 태양 폭발 횟수와 흑점수의 관계(1-20GHz)

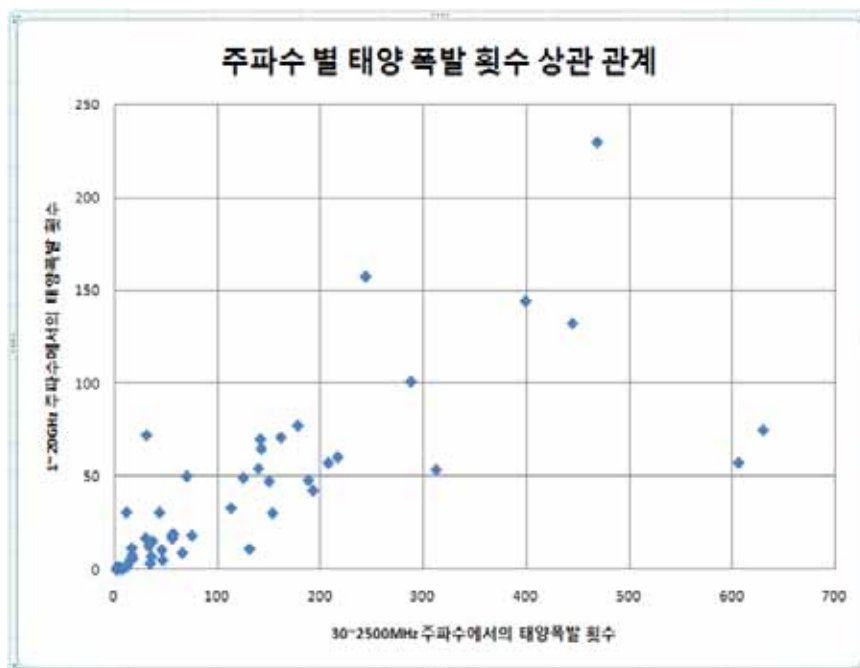


그림 3-6. 주파수 별 태양폭발 횟수의 상관관계

수록 자주 관측된다. 10^5 sfu 이상의 매우 강한 전파 폭발도 간간이 보인다.

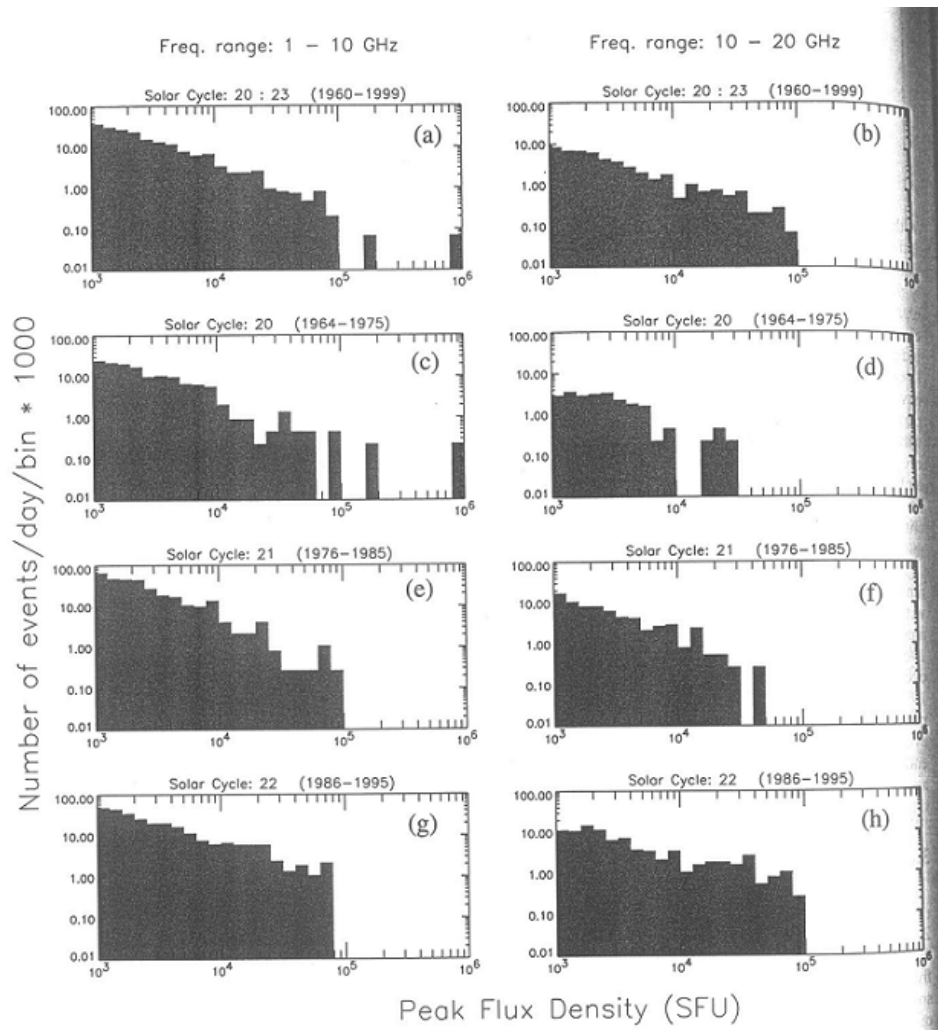


그림 3-7. 전파 폭발의 세기별 분포

그러나, 측정기기의 saturation을 배제할 수 없으므로 실제로는 매우 강한 전파 폭발이 이보다 더 자주 있을 것으로 예상할 수 있다.

년도	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
폭발횟수	11.00	16.75	0.08	6.75	0	0	12.25	30.60	72.31	50.00
년도	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
폭발횟수	30.50	16.96	15.33	11.50	7.60	1.00	5.83	1.40	33.03	65.00
년도	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
폭발횟수	70.00	47.39	157.78	54.36	57.50	19.23	18.67	5.00	53.73	230.00
년도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
폭발횟수	75.00	144.50	132.50	47.83	8.82	3.25	1.82	10.42	42.56	30.20
년도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
폭발횟수	101.20	71.00	57.40	60.57	77.50	49.20	18.25	4.75		

표 3-3. 월평균 태양폭발 횟수(1-20GHz)

제 4 장 2.8GHz 태양 전파 관측시스템 자료 분석 체 계 구 축

제 1 절 서 언

전파연구소는 2.8GHz 태양 전파 관측 시스템을 운영하고 있다. 이 시스템은 파장 10.7cm에서 전파 플럭스를 측정하기 위한 시스템이다. 파장 10.7cm는 태양활동을 나타내는 대표적인 파장으로 알려져 있다. 원리적으로는 빠르게 변하는 태양 전파 폭발도 측정할 수는 있으나, 기본적으로는 전파영역에서의 태양의 장주기 변화를 모니터링하는 장비이다. 이 시스템의 모태가 되는 캐나다 DRAO의 시스템은 하루에 한번 정오에 얻어진 데이터를 발표하고 있다.

이 시스템은 파장 10.7cm에서 태양 전파의 절대량을 정확히 측정하는 것을 목표로 한다. 정온 태양은 sfu ($1\text{sfu}=10^{-22}\text{W/m}^2/\text{Hz}$)단위로 수십에서 300정도의 범위에서 태양 전파 플럭스는 변화한다. 전파 폭발이 나타나면 최대 수십만 sfu까지 플럭스가 증가한다. 이 시스템은 수십에서 수십만에 이르는 넓은 범위에서 동작하도록 되어 있지는 않지만 4000 sfu 이상까지 측정할 수 있으므로 절대량을 측정함으로써 무선통신 장애 가능성을 가늠할 수도 있을 것이다.

현재 운용중인 이 관측시스템의 자료 분석 프로그램을 보완하여 실시간으로 태양 전파 플럭스의 절대량을 계산하여, 위험한 수준의 전파 폭발을 감지하도록 할 예정이다. 이 정보는 네트워크를 통해 민간 통신사 등에 전달되어 핸드폰에 경고 메시지를 발령하는 식으로 활용할 수 있을 것이다. 미국의 경우 이러한 식으로 무선통신의 장애를 회피 내지는 완화하는 방안이 제시된 바 있다.

이를 위해서 현재 동작하고 있는 1.8미터 태양전파망원경 하드웨어의 미진한 부분을 완비하였고, 수신기의 동작특성을 조사하였으며, 잡음 다이오드를 포함

하는 시스템 전체의 calibration을 수행하였다. 이런 과정을 수행한 후에 얻은 데이터를 일본 및 캐나다 DRAO의 데이터와 비교하였다.

제 2 절 하드웨어 보완

2.8GHz 수신 시스템에는 두 대의 꼭 같은 수신기가 설치되어 있다. 이들은 두 개의 선형 편광을 측정하도록 되어 있다. 태양전파는 사실상 편광이 거의 없으므로 하나는 다른 하나의 백업으로 사용되거나, 피라밋 혼을 이용해 구경 효율을 측정할 때 피라밋 혼 용 수신기로 사용된다.

그 동안 두 대의 수신기중 한 대의 수신기가 앞단 LNA의 성능이 나빠서 잘 동작하지 않았었는데, 입력 포트 매칭이 개선된 LNA를 (주)하이게인으로 부터 새로이 받아 설치하였다. 이렇게 새로이 사용할 수 있게 된 수신기를 편의상 #2 수신기로 하겠다.

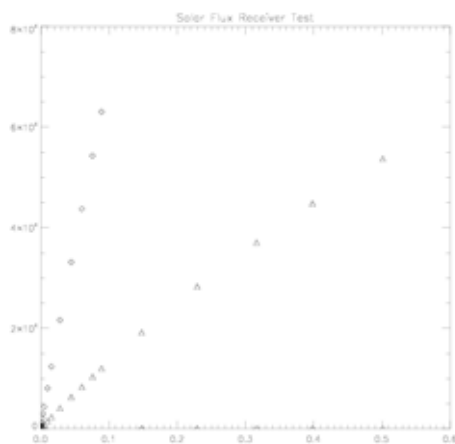


그림 4-1. #1 수신기의 선형성. 가로축은 mW, 세로축은 카운트 값. 기울기가 급한 것이 fine 카운트 값이다. coarse 한 경우 0.15mW 근처에서 선형성이 떨어지기 시작한다.

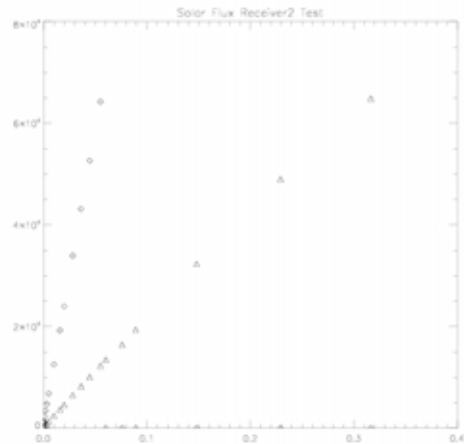


그림 4-2. #2 수신기의 선형성. 가로축은 mW, 세로축은 카운트 값. 기울기가 급한 것이 fine 카운트 값이다. coarse 한 경우 0.2mW 근처에서 선형성이 떨어지기 시작한다.

제 3 절 수신기의 동작특성

수신기의 동작 특성은 잡음 온도, 이득, 선형성등을 통하여 이해하게 된다. 먼저 검출기(detector) 후단의 선형성을 검증하였다. 검출기 앞단에 2.8GHz CW 신호를 넣으면서 VFC (voltage to frequency counter)의 카운트를 측정하였다. 이 측정은 ambient 보다 낮은 입력에 대해 시스템 전체의 선형성을 점검하는 의미도 있다. 수신기 전체의 선형성을 측정할 때에는 ambient 보다 낮은 파워를 인가할 수 없기 때문이다. 결과는 그림 4-1과 4-2에 제시하였다. Agilent 8472B를 검출기로 사용하였는데 포화가 시작되는 입력 전력은 제작사의 규격과 대체로 일치하는 값이다. DC 앰프와 그 후단은 검출기의 선형성을 손상하지 않으면서 더 넓은 범위에서 선형적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

이번에는 수신기 입력단에 신호를 인가하고 VFC 출력 카운트 값을 측정해서 시스템 전체의 선형성을 측정하였다. 측정결과는 그림 4-3과 4-4에 나와 있다. #1 수신기의 경우 fine 카운트는 총 동작범위(0-65000카운트)에서 선형적으로 동작하며, coarse 카운트는 대략 20000카운트까지 선형적임을 알 수 있다. 반면, #2 수신기는 fine 카운트는 #1 수신기와 같이 총 동작범위(0-65000 카운트)에서 선형적으로 동작하며, coarse 카운트는 대략 40000카운트까지 선형적임을 알 수 있다. 이 값들은 먼저 수행한 실험에서 얻은 선형범위와 일치한다. 그러므로 검출기 전까지의 RF 부분도 충분한 범위에서 선형적으로 동작한다고 볼 수 있다. 카운트와 태양 플럭스와의 상관관계를 이용하면 #1 수신기는 대략 2500 sfu까지, #2 수신기는 대략 4000 sfu까지 선형적으로 동작한다. 이보다 높은 전파 폭발도 검출은 가능하다. 필요한 경우 감쇄기를 조절해서 선형 동작 범위를 넓힐 수는 있으나, 검출기의 잡음 등이 성능을 낮출 가능성이 있다. 수집에서 수십만 SFU까지의 넓은 범위에서 태양 전파 폭발을 선형적으로 측정하기 위해서는 검출기 자체를 두 개를 쓰는 방법을 고려해야 한다.

제 4 절 잡음 다이오드의 calibration

태양 절대 플럭스를 구하기 위해서는 정밀한 calibration이 필요하다. 이 수신기는 안에 ENR (excess noise ratio)이 알려진 noise diode들이 들어가 있어 calibration의 기준이 되고 있다. 수신기는 300K load와 이 잡음 다이오드의 ENR과 측정된 카운트 값을 이용하여 입출력의 상관관계를 만들고 임의의 태양신호에 대해 절대 플럭스를 계산하게 되어 있다. 그러므로 잡음 다이오드의 ENR과 잡음 다이오드 후단부터 태양 신호가 들어오는 RF 입력단까지의 손실을 정확히 알지 못하면 calibration의 정밀도는 믿을 수 없게 된다. 잡음 다이오드의 ENR은 제작사보다 정확히 재기는 어렵다. 정확히 이 양을 재기 위해서는 정밀장비들이 필요하게 된다. 제작사에서든 대개는 국가 기관등이 인정한 표준 다이오드들을 이용해 2차, 3차로 calibration된 표준 다이오드들을 사용하고 있다.

잡음 다이오드에서 RF 입력부까지의 손실도 나름대로 측정을 하지만, 측정

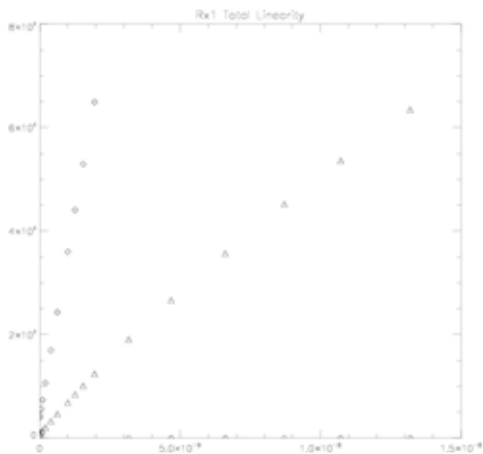


그림 4-3. 피드 후단부터 #1 수신기까지 시스템 전체의 선형성. 가로축은 mW, 세로축은 카운트. 기울기가 급한 것이 fine 카운트 값이다. coarse 한 경우 20000카운트 근처에서 선형성이 떨어지기 시작한다.

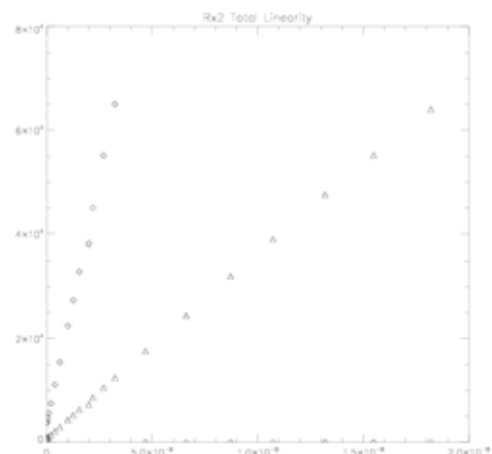


그림 4-4. 피드 후단부터 #2 수신기까지 시스템 전체의 선형성. 가로축은 mW, 세로축은 카운트. 기울기가 급한 것이 fine 카운트 값이다. coarse 한 경우 40000카운트 근처에서 선형성이 떨어지기 시작한다.

정밀도를 보장하기 힘들다. 우리는 캐나다 DRAO에서 제안한 방법을 사용하여 잡음 다이오드-RF 입력부까지의 손실이 고려된 ENR을 측정하고자 한다. 원리는 수신기 입력단에 300K load와 77K load를 두고 카운트를 읽은 후에 noise diode가 켜졌을 때의 카운트 값으로부터 잡음 diode의 ENR을 추산하는 방법이다. 이 방법의 관건은 정확한 300K, 77K 로드를 얻는 것인데, termination을 상온에 두거나, 액체질소에 담그어 구현하였다. 정확한 측정을 위해 이 load들과 RF 입력단은 연결하는 케이블의 손실도 정확히 구하였고 (0.3dB), 이 손실을 고려한 두 load의 잡음 온도를 구할 때 특히 액체질소에 termination을 담그는 경우에 케이블의 중간에 생기는 온도 구배를 구리의 온도의 함수로 주어지는 전도도를 고려하였다.

이렇게 해서 구한 #1 수신기의 잡음 다이오드의 잡음온도는 주위 온도 23도에서 4453K, #2 수신기는 5092K이다. 이 잡음 온도에서 기존에 측정한 다이오드와 RF 입력부 사이의 손실 19.61dB, 19.46dB가 맞다고 가정하여 구한 두 다이오드의 ENR은 23도에서 각각 31.19dB, 31.67dB이다. 잡음 온도 스케일로 이 값들은 기존에 사용하던 값들보다 #1 수신기는 2% 작은 값, #2 수신기는 10% 큰 값이다. 아마도 2% 정도는 측정 오차에 포함될 수 있을 것이나, 10%는 유의미한 값이다.

이 과정을 통해 부가적으로 수신기의 잡음 온도를 구할 수 있었는데, #1 수신기는 61K, #2 수신기는 31K였다. #2 수신기는 LNA의 잡음지수와 RF 입력단에서 LNA까지의 케이블 손실을 고려하면 다소 낮은 값이다.

이렇게 해서 수신기 자체의 calibration을 마쳤다. 이러한 작업은 일년에 한 두번씩 수행하여 잡음 다이오드의 특성이 변하는 것을 보정하는 것이 바람직하다.

제 5 절 Feed cable의 손실측정

전체 시스템의 calibration을 위해서는 calibration이 완료된 수신기 앞단부터 피드까지의 손실을 측정해야 한다. 특히 피드에서 생기는 손실은 이론적으로

예측하기 매우 어렵다. 보통 하는 대로 피드 앞에 300K, 77K 로드를 대고 최종 카운트 값을 읽어 케이블 손실을 측정하였다. 원리적으로 따지면 수신기 안의 잡음 다이오드를 이용할 필요 없이 이 방법을 이용해서 시스템 전체의 calibration을 수행할 수도 있겠다. 그러나, 이 방법은 수동으로 하는 것이어서 자주 할 수 없으므로, 수신기 안의 기온이 시간에 따라 변화하는 것 등을 제대로 보정하기 어렵다. 그러므로 수신기 내부, 외부로 구분하여 시간에 따라 빨리 변하는 수신기내의 요소들은 잡음 다이오드 등을 이용해 자동화하여 보정하고 시간에 따른 변화가 거의 없는 케이블 손실 같은 외부적 요인들은 일년에 한두번 보정하는 방법이 바람직하다.

케이블 손실을 측정하기 위해서는 먼저 300K, 77K 로드 에 대해 최종 출력단의 카운트를 읽어 변환관계, 그중에서 기울기를 구하고, 또 수신기 안에 있는 noise diode와 300K 로드 에 대해 최종 출력단의 카운트를 읽어 변환관계, 그중에서 기울기를 구한 후, 이 둘을 나누면 된다. 이렇게 구한 케이블 손실은 #1, #2 수신기 각각에 대해 1.32, 1.62 (1.21dB, 2.10dB)이다. 이 값들은 케이블만을 따로 떼서 측정한 이전의 결과(0.7dB, 1.0dB)에 비해 다소 높은 값이다. 그 차이를 피드의 손실로 다 설명할 수 있을지는 의문이다.

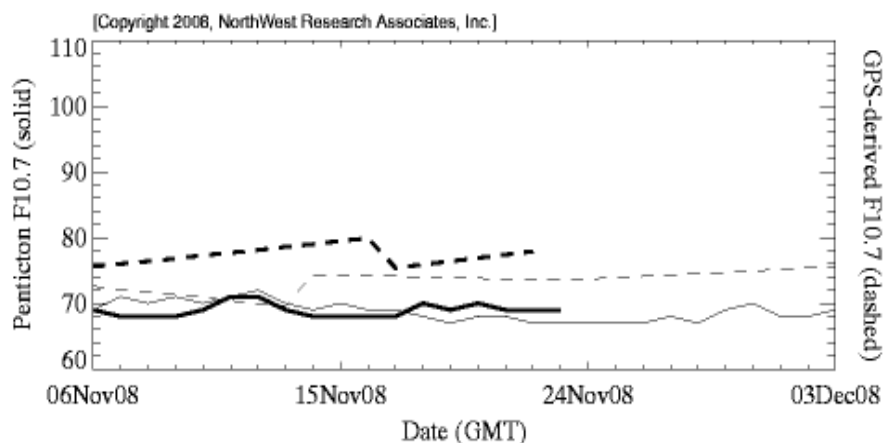


그림 4-5. 2008년 11월에 캐나다에서 관측한 2.8GHz 태양 전파 플럭스의 변화. 그림에서 굵은 실선이 측정결과이다.

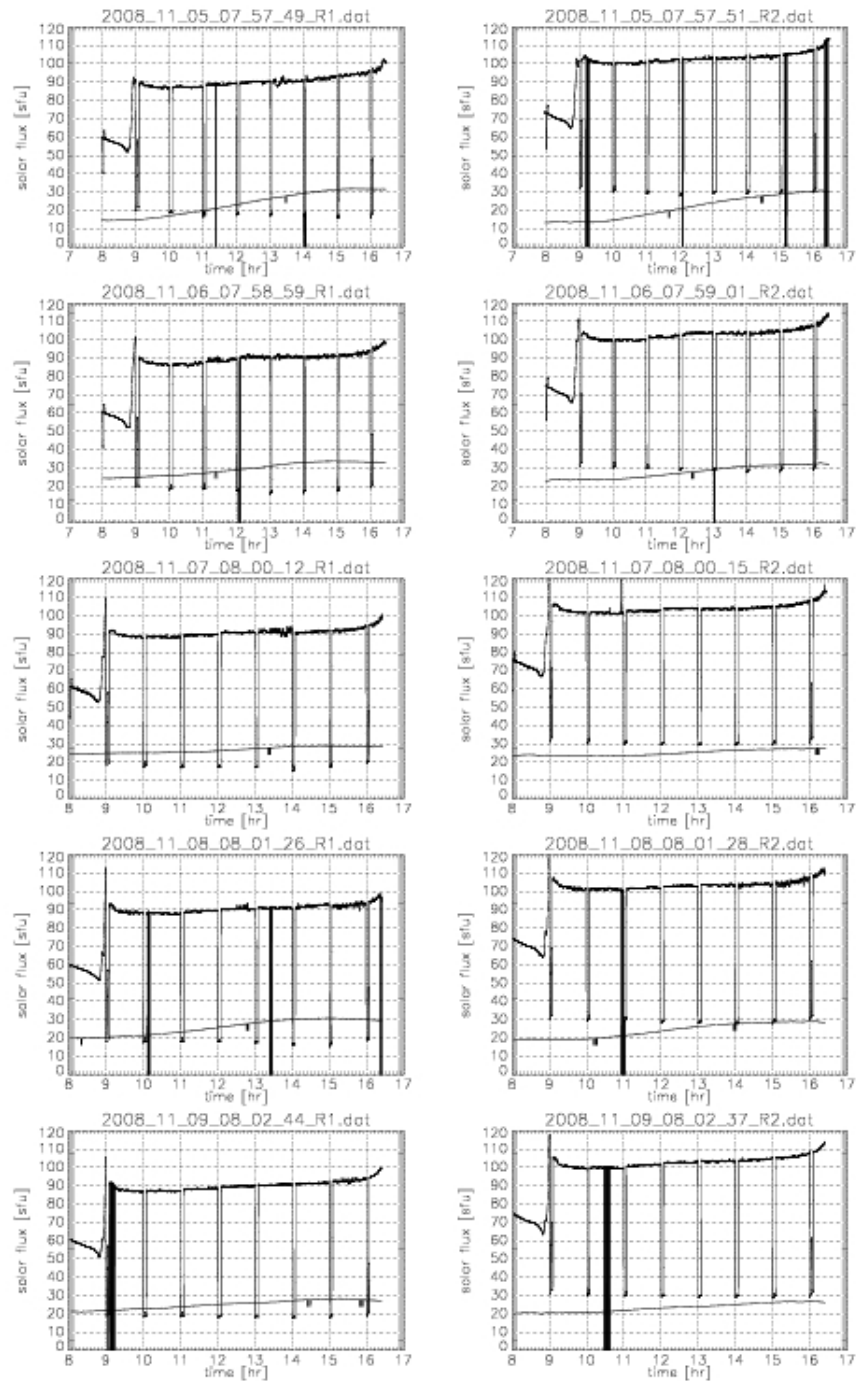


그림 4-6a. 시간별로 측정된 태양전파플럭스. 왼쪽이 #1 수신기이다. Noise diode의 온도도 함께 표시하였다.

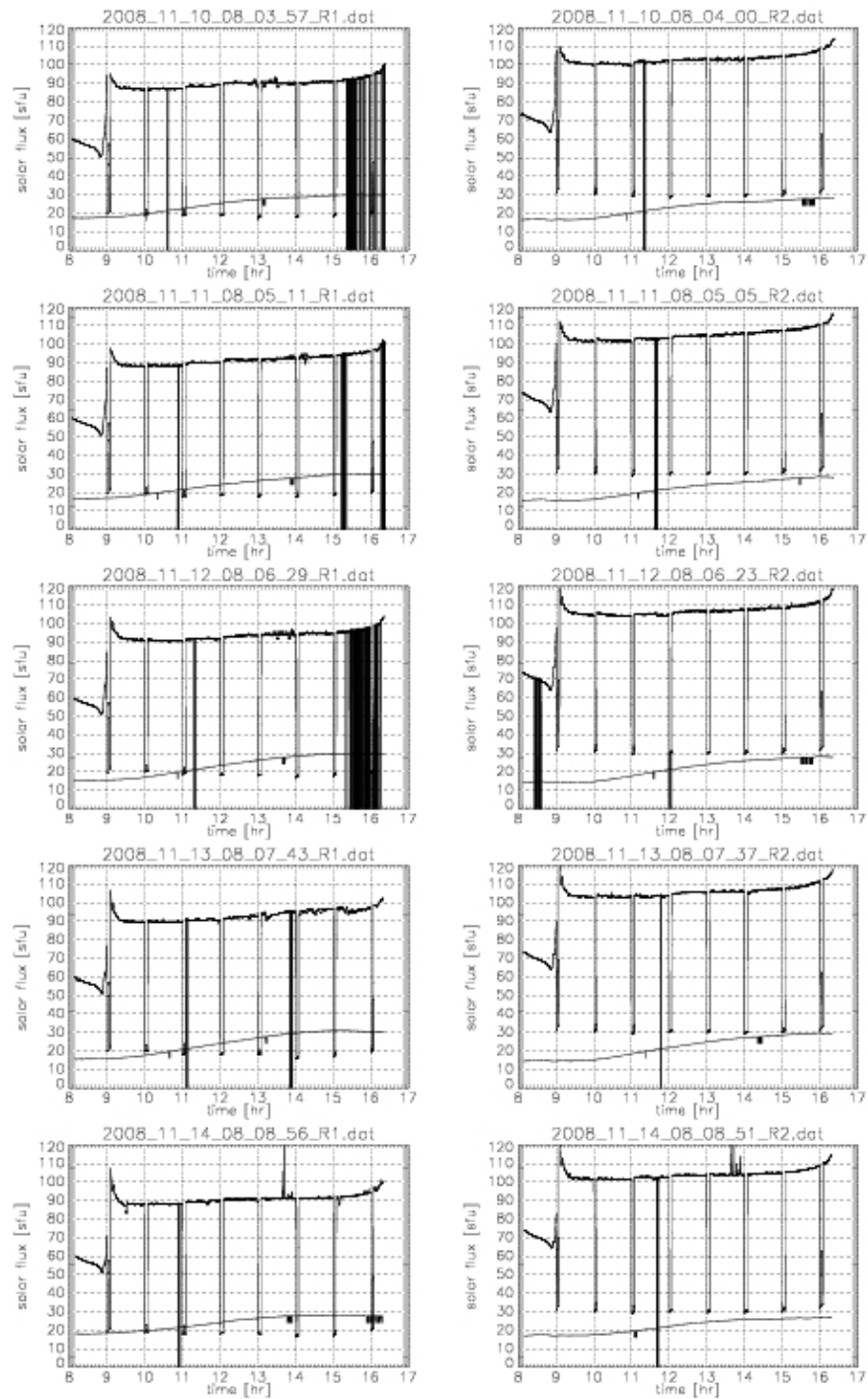


그림 4-6b. 시간별로 측정된 태양전파플럭스. 왼쪽이 #1 수신기이다. Noise diode의 온도도 함께 표시하였다.

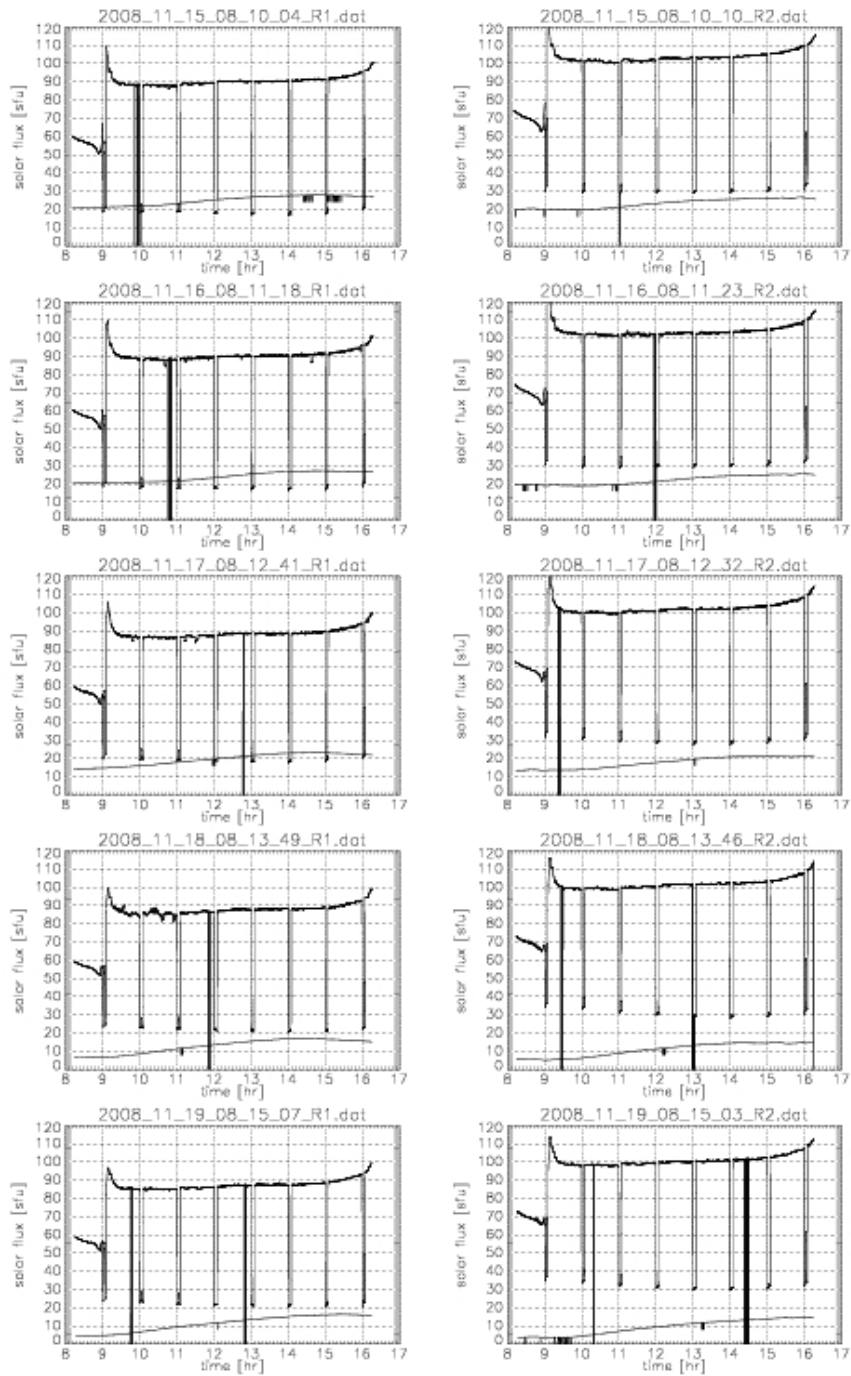


그림 4-6c. 시간별로 측정된 태양전파플럭스. 왼쪽이 #1 수신기이다. Noise diode의 온도도 함께 표시하였다.

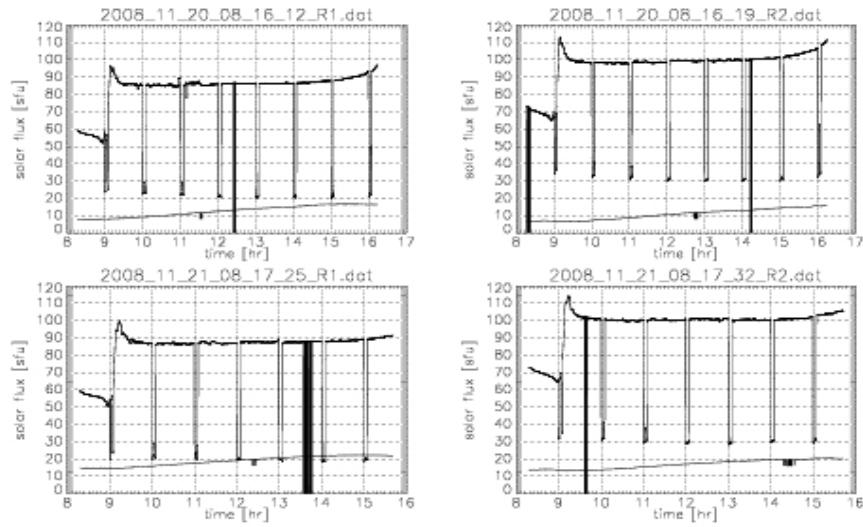


그림 4-6d. 시간별로 측정된 태양전파플럭스. 왼쪽이 #1 수신기이다. Noise diode의 온도도 함께 표시하였다.

제 6 절 절대 플럭스의 계산

측정된 유효개구면적은 $A_e=1.63\text{m}^2$ (구경 효율 64%)이므로 $2k/A_e=0.169$ 이므로, #1 수신기로 측정된 태양 전파 플럭스는,

$$flux(SFU)=0.169 \times 1.32 \times \exp[0.025/\sin(EL)] \times (T_{sun} - T_{sky})$$

로 주어지고, #2 수신기는

$$flux(SFU)=0.169 \times 1.62 \times \exp[0.025/\sin(EL)] \times (T_{sun} - T_{sky})$$

가 된다. 여기서 0.025는 천정 방향에서 지구대기의 흡수에 의한 광학적 깊이다.

제 7 절 일본 및 캐나다 자료와의 비교

2008년 11월 4일 calibration을 완료했다. 우리에게 앞서 유사한 시스템을 운영하는 캐나다나 일본의 자료와 비교해야 하는데 일본은 기기 고장으로 여러

주 동안 새로운 자료가 올라오고 있지 않고, 캐나다의 경우도 자료 갱신을 늦게 해서 이 글을 쓰는 현재 2008년 11월의 측정 자료는 올라오고 있지 않아 비교하기가 여의치 않다. 웹을 검색해본 결과 North West Research Associates, Inc. Space Weather Service (<http://www.nwra-az.com/spawx/f10.html>)가 그림으로 제공하는 자료를 찾을 수 있었다. 그림 4-5가 관측 결과인데 큰 변화 없이 68-72를 오르내리고 있다. 기본적으로 변화가 없기 때문에 전파연구소 시스템과 엄밀히 비교하기는 힘들다.

Calibration이 완료된 전파연구소 시스템의 이 시기의 측정결과를 그림 4-6에 제시하였다. 2008년 11월 5일부터 21일까지의 측정결과이다. #1 수신기와 #2 수신기의 값을 비교하면 서로 비슷하나 17일부터 21까지 차이가 다소 늘어난다. 이때는 날이 추웠던 때로 아마도 noise diode 등이 온도에 민감하게 반응하여 나타나는 현상으로 보인다. 이때 전체적으로는 #1 수신기가 더 낮은 값을 갖는다. 값을 전체적으로 보면 캐나다 값과 유사하나 편차가 심하다. noise diode 잡음전력의 온도계수가 정확하지 않은 것으로 판단된다. 이 온도계수는 noise diode 제작사에서 값을 제시하고 있다. 즉 1도당 0.01dB가 증가

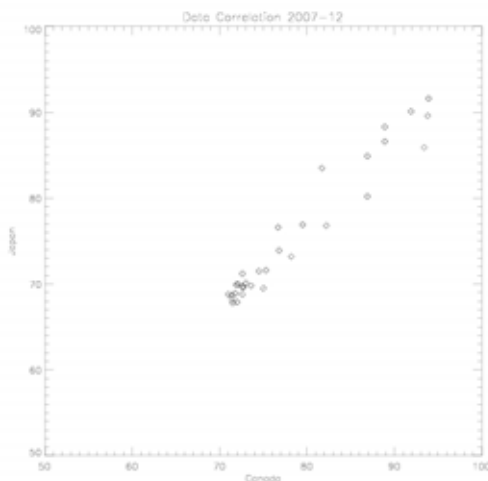


그림 4-7. 캐나다 DRAO 자료와 일본 HIRAS 자료와의 상관관계 (2007년 12월)

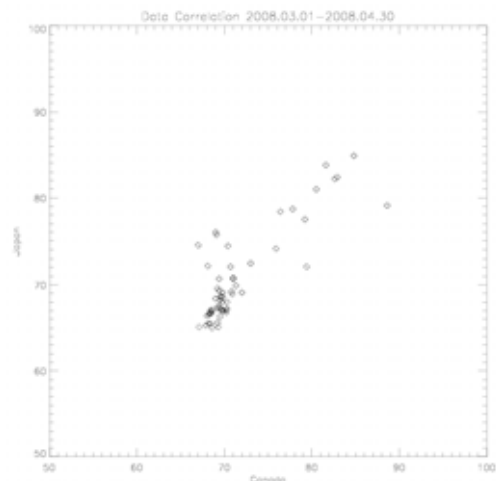


그림 4-8. 캐나다 DRAO 자료와 일본 HIRAS 자료와의 상관관계 (2008년 3-4월)

한다는 것인데 실험을 해서 확인하고 갱신을 할 필요가 있다. 하루 중에도 태양 플럭스가 일정하지 않고 특히 오후로 갈수록 값이 증가하는데 이것 역시 noise diode의 온도계수와 관련이 있을 것으로 추정할 수 있다. 그림에 noise diode에 부착한 온도 센서의 온도를 함께 표시하였다. 온도보정이 정확하게 되고 있지 않은 것이 보인다.

결론적으로 전파연구소의 태양전파플럭스 모니터는 잘 동작하고 있으나, noise diode의 특성을 실험실에서 잘 측정해서 온도 계수를 잘 결정해야 더욱 정확한 태양 전파 플럭스 값을 얻을 수 있다. 가끔 터무니없는 값이 표시되고는 하는데 이것은 통신의 문제로 파악된다.

참고로 일본 HIRAS 자료와 캐나다의 DRAO 자료를 비교해본다. 그림 4-7과 4-8에 작은 전파 폭발이 있던 2007년 12월, 2008년 3-4월의 자료를 이용하여 상관관계를 보였다. 일본도 캐나다 것을 참고하여 시스템을 구성했음에도 불구하고 상관관계는 그다지 좋지 못하다. 일본과 캐나다 사이의 시간차이로는 설명하기가 힘들다.

제 5 장 무선 통신 장애 회피 방법에 관한 연구

제 1절 서 언

우주전파환경의 급격한 변화로 무선통신에 장애가 예상될 때 이것을 신속하고도 효율적인 방법으로 경보를 발령하고, 회피하거나 대응할 수 있는 방안을 연구한다.

태양전파 폭발은 예측하기 힘들어, 실제로 폭발이 일어나는 경우 대응책이 그리 많아 보이지는 않지만, 외국의 연구사례를 보면 전혀 불가능하지는 않다. 개인 핸드폰이 실제로 어떤 과정을 통해서 통화가 이루어지는가를 알면 대처할 방법들을 고안해 낼 수 있다.

제 2 절 경보발령

우선, 무선 장애를 피할 수는 없지만 핸드폰에 경보를 문자나 메시지로 발령하는 시스템을 생각할 수 있다. 태양에서 대형 전파 폭발이 발생하더라도 기지국에서 개인 휴대폰으로 경보를 보내고, 개인 휴대폰으로 이 경보를 받는 것은 크게 문제가 되지 않을 것이다. 영향을 가장 크게 받는 것은 기지국에서 신호를 받을 때 태양 전파 신호가 유입되는 경우이다. 그것은 기지국이 방향성을 가진 안테나를 가지고 있기 때문이다.

앞에서 언급한 대로 무선 장애가 예상되는 경우는 태양이 동쪽에 뜨거나 서쪽에 질 때 태양활동이 활발해지는 경우이다. 그러므로 기지국이나 더 상위의 시스템이 기지국 안테나의 방향에 대한 정보를 미리 가지고 있으면, 광대역의 잡음이 인가되고 이것이 태양의 위치와 관련이 있다면 태양 전파폭발에 의한 것으로 감지하고 핸드폰에 경보를 낼 수 있다는 것이다. 이것은 원론적인 것이지만, 프로그램을 정교하게 짜면 거짓 경보를 내는 경우를 피할 수 있도록 할 수 있을 것이다. 이 경우는 무선 통신 장애 자체를 해결하는 것은 아니지

만, 적어도 통신 장애의 가능성을 무선통신 사용자에게 미리 알려줌으로써 혼란을 피할 수 있다는 것이다. 또한 이 정보를 민간뿐만 아니라 국가기관 및 군에서 실시간으로 통보하여 통신망을 우회시키는 등의 대처 방안을 모색하도록 할 수 있을 것이다.

제 3 절 통신 장애 회피방법

단순히 경보발령을 내는 것 말고 보다 적극적으로 장애를 회피할 수 있는 방법을 생각할 수 있는데, 한 예로서 미국 특허 하나를 소개하기로 한다 (Kochanski et al. 2007).

기지국의 안테나는 방향성이 있어서 태양 활동 등에 의해 영향을 잘 받는다. 그림 5-1은 일반적인 상용 무선통신에서의 기지국, 전환국의 배치를 나타낸다. 각 기지국은 국부전환국(local switch)과 지역전환국(regional switch)을 통해서 다른 기지국과 정보를 교환한다. 그림 5-2는 기존의 무선통신망에 태양활동 경보시스템을 설치한 예를 나타낸다. 지상에서 받는 전파 측정 자료뿐만 아니라 위성 자료등도 사용할 수 있다. 이렇게 얻어진 태양 폭발 정보는 전환국(212)으로 가게 되는데 이 전환국은 그림 5-1의 전환국(120-N 또는 128)이 될 수 있다. 지형지물에 의해 태양활동에 영향을 받는 정도가 기지국마다 다를 수 있기 때문에 보다 바람직한 시스템은 여러 기지국이나 전환국에 이러한 태양 활동 경보 시스템을 두는 것이다. 이것의 예를 그림 5-3에 보였다. 이렇게 얻어진 태양활동 정보는 무선통신사용자들에게 전달될 수도 있다.

그림 5-1, 5-2, 5-3을 토대로 태양 활동에 의한 통신장애를 회피할 수 있는 여러 방법을 생각해낼 수 있는데, 알고리즘은 그림 5-4에 나와 있다. 순서대로 설명하면, ① 각 기지국에서 방향별로 있는 안테나에 들어오는 잡음의 세기를 쟀다. ② 이 잡음이 방향과 관련이 있는지를 조사한다. ③ 태양을 향하는 쪽에서 잡음이 세게 측정되면, 잡음의 세기를 정확히 재서 통신 장애를 회피하는 방법을 작동시킨다.

이제 구체적으로 회피 방법을 기술하고자 한다.

FIG. 1B

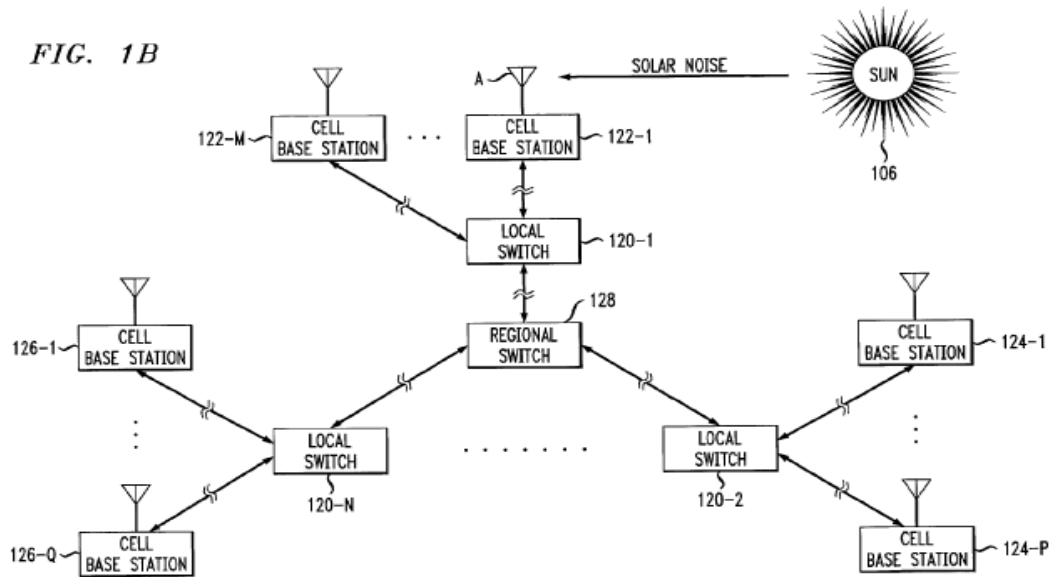


그림 5-1. 무선통신 네트워크의 구조

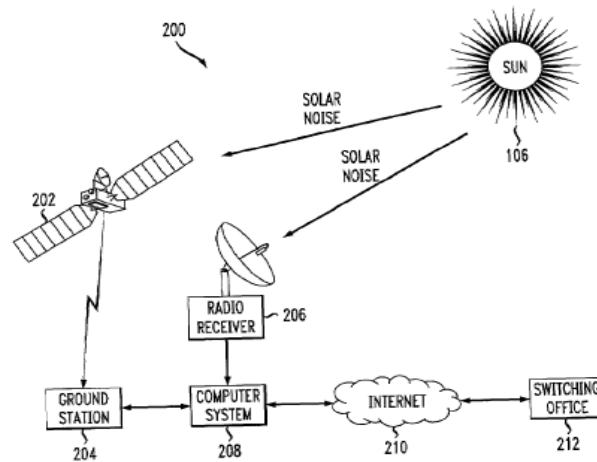


그림 5-2. 기존의 통신망에 태양활동 감시 장비를 추가하는 방법

첫 번째: 기지국 전환(handoff)를 이용해서 통신망의 마비를 막는 방법을 생각할 수 있다. 일반적인 경우, 단말기는 통화가 없는 중에도 2-3개의 근처의 기지국과 교신하고 있는데, 통화가 성립되는 것은 대개 이중에서 가장 가까운

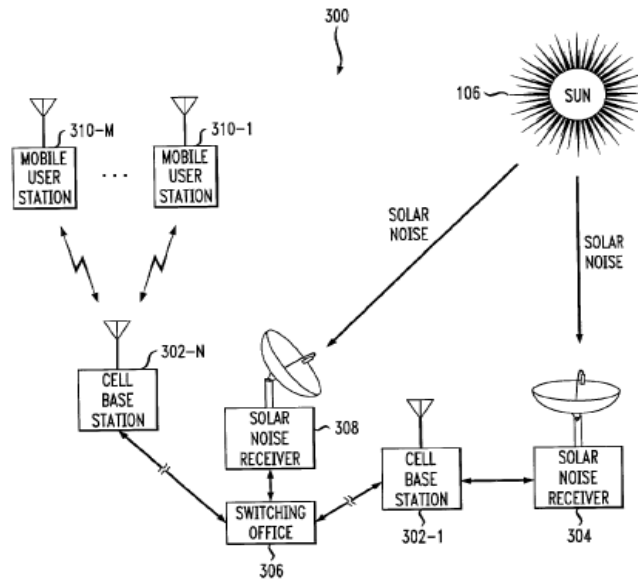


그림 5-3. 그림 5-2를 개선하여 통신 네트워크에 태양활동 감시 장비를 추가하는 방법

기지국을 통해서이다. 만약에 이렇게 결정된 기지국의 안테나가 태양을 향하고 있는 반면 다른 곳은 그렇지 않다면, 태양 전파 폭발이 일어나는 순간에 태양을 향하고 있지 않은 기지국을 통하여(handoff) 통신망을 구성할 수 있다는 것이다. 결국 각 기지국마다 태양전파를 측정할 수 있는 기능을 추가하고 운용프로그램을 잘 만들면 이러한 방식으로 무선통신 장애를 피할 수 있다는 것이다.

두 번째: 어느 기지국에서 보았을 때 태양 방향에 있는 단말기에서 오는 데이터의 에러율의 허용범위를 높이는 것이다. 일반적으로 에러율이 높아지면 단말기의 출력을 높이도록 기지국이 요구한다. 태양활동의 결과로 단말기에서 기지국으로 가는 데이터에서 에러가 많아지더라도 단말기 출력을 높이지 않도록 한다. 출력을 높이면 인접한 셀에 간섭을 증가시킬 것이고, 연쇄적으로 인접 셀에서 단말기의 출력을 높이게 만들 것이다. 결과적으로 전체적으로 통화 품질을 나쁘게 할 것이다. 태양의 영향을 받는 기지국에서는 이런 작업을 하지 않도록 한다. 이 경우 문제의 기지국에 연결된 단말기의 통화 품질이 나빠

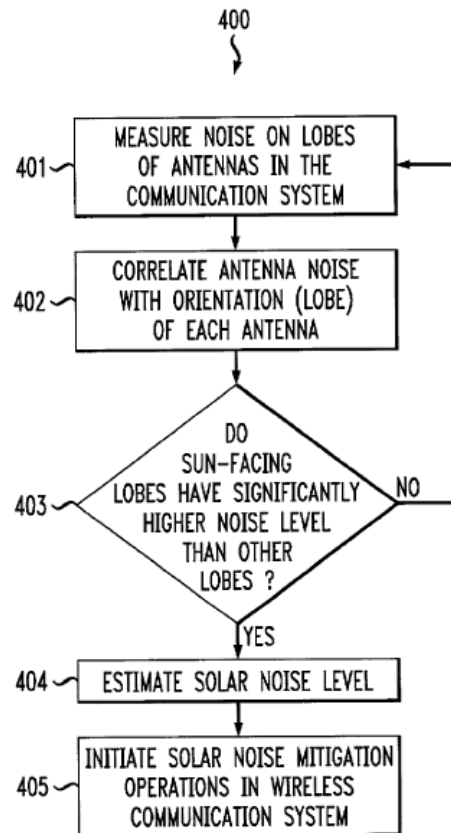


그림 5-4. 태양전파회피 알고리즘

지는 것은 불가피하다.

세 번째: 더 나아가서 어느 기지국에서 보았을 때 태양방향에 있는 단말기의 출력을 줄이는 방법도 있다. 이 단말기는 태양활동의 결과로 통신이 더 어려워지겠지만, 대신 태양 방향에 있지 않은 다른 단말기들은 정상시의 통화품질을 유지할 수 있다.

네 번째: 태양 활동의 영향을 받는 기지국으로 하여금 dropped call timeout value를 늘이도록 하는 것이다. 이렇게 함으로써 이 셀안의 단말기가 다른 셀로 옮겨갈 수 있는 시간적 여유를 줄 수 있다.

다섯 번째: 어느 기지국에서 태양을 향하고 있는 쪽의 송수신기의 call initiation을 줄임으로써 태양의 영향을 받는 안테나 쪽으로의 사용자의 수를

줄이는 방법이 있다. 기지국은 많은 setup channel을 가지고 있어서 단말기는 setup channel들을 훑어보아 신호가 센 채널을 선택해서 통신을 하게 되어 있다. 기지국이 태양 활동에 영향을 받는 경우, 그 방향으로의 setup channel에 적은 출력을 내보내도록해서 안테나 근처의 제한된 지역에서만 통신이 이루어지도록 하는 것이다. 그렇게 하면 특정 단말기에서 원래 이 송수신기와 교신을 하려하다가 출력이 적게 되므로 다른 기지국을 찾게 될 것이다. 이렇게 출력을 조절하여, 이 송수신기와 교신하는 단말기의 숫자를 줄여 문제를 회피할 수 있다. 반대로 태양 활동의 영향을 받지 않는 방향의 setup channel쪽으로 출력을 늘릴 수도 있다.

여섯 번째: handoff 알고리즘을 수정하는 방법이 있다. 일반적으로는 신호의 세기만을 측정해서 handoff를 결정하는데, 잡음을 측정해서 신호대 잡음비 기준으로 handoff를 수행하도록 한다. 잡음은, 트래픽이 없는 채널을 이용해서 잴 수 있다.

일곱 번째: 잡음 레벨을 재서 높은 수준이면 통신 장애가 있을 것이라는 문자 메시지를 사용자에게 보낼 수도 있다.

여덟 번째: 앞서서도 대략 설명했지만, 태양처럼 잡음원의 방향을 정확히 알 수 있는 경우에는 그쪽을 향한 기지국의 송수신기의 출력을 줄일 수 있다. 이것을 beam nulling이라고 한다. 이 방향의 단말기는 다른 안테나나 다른 셀의 기지국을 이용하게 될 것이다.

제 6 장 태양 전파 잡음 정보시스템 구축

제 1 절 추진배경 및 중요성

전파자원의 활용이 21세기에 들어서서 폭발적으로 증가하고 있다. 20세기 중후반까지 장파장에 국한되었으나 mobility와 ubiquity를 추구하는 현대 생활의 흐름 속에 마이크로파 대역으로 확장되고 있으면 조만간 밀리미터 대역 전파자원의 활용도 활발히 이루어질 것으로 예상된다. 이러한 흐름에 발맞추어 휴대가 간편한 통신기기들이 개발되고 있는데 이들은 경량화, 이를 위한 낮은 소비전력을 추구하고 있다. 점차로 낮은 전력으로, 고감도로 통신이 이루어지게 되므로 이러한 과정에서 필연적으로 외부교란에 취약해지는 문제점을 가지게 된다. 이 외부교란 요인의 대표적인 것으로 태양활동을 들 수 있다. 이 태양활동은 11년 주기로 나타나는 것은 익히 알려진 사실인데, 태양활동이 활발해지면 태양의 전파플럭스가 거의 전 파장 영역에 걸쳐 white noise와 같은 성격으로 증가한다는 것이다. 그러므로 적절히 필터를 두어 교란을 막는다는 식의 방법은 유효하지 않다. 이러한 태양 플럭스의 증가는 지구대기 투과율이 좋은 30 MHz 이상의 주파수에서 수신 빔패턴이 태양을 향하는 경우에 직접적인 영향을 미치게 된다. 태양활동은 이런 식으로만 영향을 미치는 것은 아니다. CME나 X-ray 활동이 활발해지면 지구 이온층의 이온들의 밀도변화를 유발하여 장단파 통신에도 영향을 미치게 된다. 전파 폭발처럼 복사의 형태로 오는 것은 사실상 예측하는 것이 불가능하고, 초고속 입자나 상대적으로 느린 CME등은 수시간, 수일 후에 도착하게 되므로 어느 정도는 예측이 가능하다.

제 2 절 국내외 현황 및 문제점

이러한 측면에서 태양의 활동을 모니터하고 예측하는 것이 매우 중요하다. 미국, 유럽을 포함한 선진국에서는 이미 오래 전부터 관련 연구가 활성화되어 독자

적인 예경보 시스템을 운영하고 있다. 미국의 SWPC, 유럽의 ESA, 일본의 NICT가 그 예이다. 적어도 수십명 규모의 인원이 관련 연구와 예보 업무를 수행하고 있다.

그에 반해 우리나라는 사정이 열악한 형편이다. 전파연구소와 천문연구원이 관련연구를 수행하고 있으나, 인원도 부족하고 관측장비도 충분하지 않다. 전파연구소는 2.5GHz 까지 가능한 태양전파 측정 장비를 가지고 있고, 2.8GHz 태양전파 플럭스 모니터를 운용하고 있다. 천문연구원은 상대적으로 학술연구에 더 치우쳐 있으며, 태양면 광학 모니터 시스템 등을 운용하고 있으면 태양전파폭발 locator 을 도입할 계획을 가지고 있다. 산발적으로 ionosonde등을 운영하여 국부적인 이온밀도 예보 등의 업무를 수행하고 있다.

전파연구소가 운영하는 30-2500 MHz 대역의 태양전파모니터 시스템은 절대 플럭스 calibration이 가능하지 않아 단지 모니터하는 데만 쓰이고 있으며 유일하게 2.8GHz에서 절대 플럭스를 유도하고 있으나 현재 calibration이 완벽한 상태가 아니다. 또한 낮은 주파수 대역만을 모니터하고 있어 향후 주파수 대역을 높은 쪽으로 확장하는 것이 필요하다.

제 3 절 추진방안

1. 태양 전파 노이즈 경보시스템 구성

현재 태양 전파 모니터 시스템의 장단점과 세계적 추세를 보면, 주파수 영역을 확장하고 절대 플럭스를 재는 방식으로 모니터링 시스템을 새로 건설하거나 개량하는 것이 필요하다.

점점 고주파를 많이 사용하게 되므로 주파수 영역을 올리는 게 필요한데, 외국의 예를 보면 적어도 18GHz까지 확장할 필요가 있어 보인다. 참고로 삼을 만한 외국의 시스템으로는 미국 칼텍에서 개발한 Solar Radio Burst Locator (이하 SRBL)과 일본 노베야마 관측소의 radio polarimeter를 들 수 있겠다.

미국의 SRBL은 그림 6-1과 같이 직경 1.8미터의 파라볼라 안테나에 1-18GHz

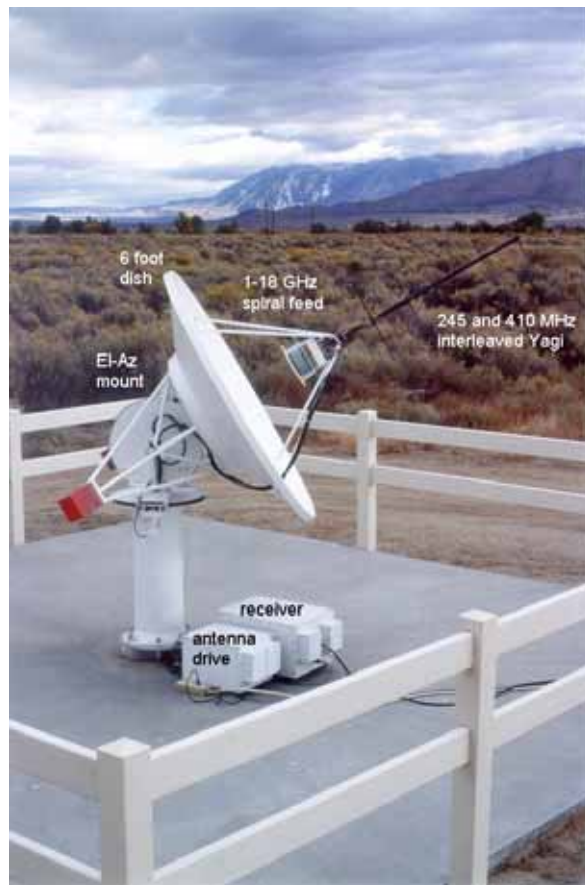


그림 6-1. 미국의 NJIT가 운영하는
solar radio burst locator

를 커버하는 평판 log-spiral 형 피드를 장착한 시스템이다. 1GHz 이하로는 LP 안테나를 추가로 달아 1GHz 이하의 태양 전파를 수신하도록 한 시스템이다. 이 시스템의 가장 큰 특징은 일반적인 혼형 피드를 쓰지 않고 그림 6-2와 같은 log-spiral 형 피드를 써서 태양 면에서 일어난 전파 폭발을 3'에서 5'의 정밀도로 위치를 추적할 수 있다는 것이다. 그림 6-3은 태양면에 전파 폭발의 위치에 따라 주파수별 출력 파워가 어떻게 변하는지를 나타낸 그림이다. 위의 주파수 영역을 40ms 동안 sweep함으로써 빠르게 변하는 전파 폭발의 시간변화를 모니터링하는 장비이다. 이 시스템은 이론적인 회절이론에 의한 분해능보다 더 우수한 분해능을 구현할 수 있다는 장점이 있다. 이것은 이 시스템만의 대단한 매력인데, 그에

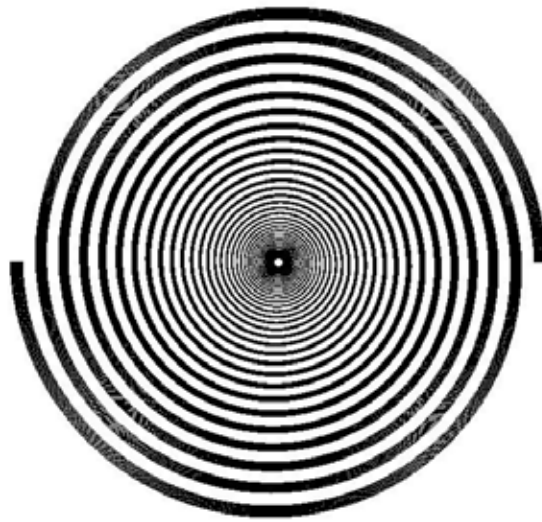


그림 6-2. log-spiral 피드

수반하는 문제점도 가지고 있다. 우선, calibration 과정이 다소 복잡하다는 것이다. 측정하는 것이 태양 전파 플럭스 자체가 아니고 일종의 간섭량 같은 것이어서 이것으로부터 주파수별 태양 플럭스를 구하려면 여러 단계의 calibration 과정을 거쳐야 한다. 또 주파수별 태양 플럭스의 변화가 심하지 않아야 한다는 전제를 포함하고 있다. 이 calibration 과정을 숙지하기 위해서는 상당한 시간과 노력이 필요할 것으로 판단된다. 정리하면 한 대의 안테나로 수백 MHz에서 18GHz 까지의 태양 전파 플럭스를 측정할 수 있다는 점은 장점이나, calibration 과정이 복잡하다는 것은 단점이 될 수 있겠다. 전파 폭발의 위치를 아는 것이 우리의 연구 목표는 아니라는 점도 고려할 필요가 있겠다.

일본의 Nobeyama Radio Polarimeters 시스템은 평이한 시스템이라고 할 수 있겠다. 6개의 구동부를 두고, 3m 안테나는 1GHz 대역을, 2m 안테나로는 2GHz 대역을, 1.5m 안테나로는 3.75GHz 대역을, 0.85m 안테나로는 17GHz 대역을, 0.8m 안테나로는 9.4GHz 대역을, 0.3m급 안테나로는 35-80GHz 대역을 커버하도록 한 시스템이다. 시스템의 전체적인 모양은 그림 6-4에 나와 있다. 이 시스템의 장점은 주파수 대역별로 최적화된 피드 혼을 사용함으로써 피드 손실을 최소화하고, 적절한 빔크기를 갖게 되어 태양의 전파 플럭스를 온전히 받아들일 수 있다는 점

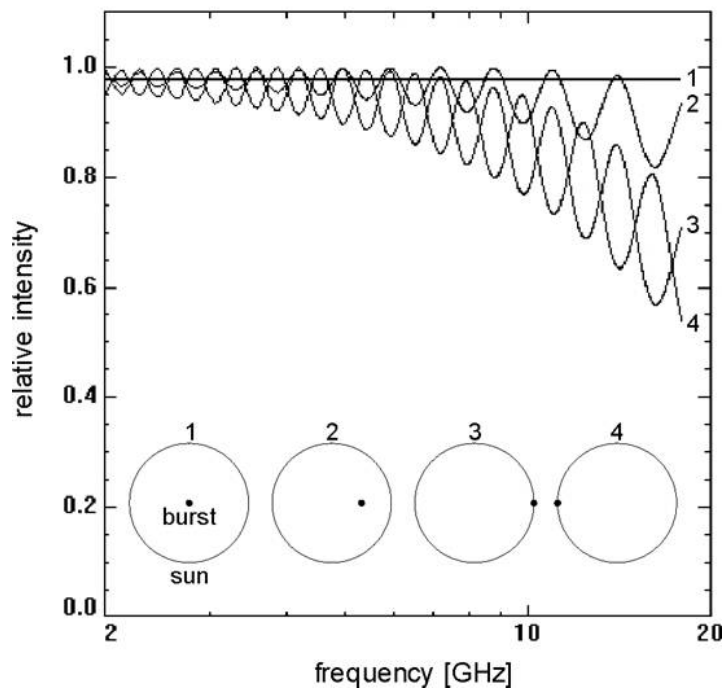


그림 6-3. Burst의 위치에 따른 주파수별 출력

이다. 또한 측정량 자체가 태양 전파 플럭스에 비례관계에 있는 양이어서 적절한 calibration을 통해 간단히 절대 플럭스를 구할 수 있다는 장점이 있다. 단점이라면, 여러 크기의 안테나를 필요로 하고 이에 따라 구동계도 여럿을 갖추어야 해서 예산상으로 어려움이 있을 것이라는 점이다.

이러한 점을 고려하여 전파연구소에 적합한 시스템을 제안하고자 한다.

1안 : 1대의 안테나와 구동계에 광대역 피드를 설치하는 안이다. SRBL 같은 평판 피드를 쓰지 않고 일반적인 혼형이나 LP형 피드를 설치한다. 설계주파수에서 어긋날수록 감도가 떨어진다는 단점이 있으나, 비용이 적게 든다는 장점이 있다.

2안 : 일본의 시스템처럼 여러 대의 구동부와 안테나를 이용하여 넓은 주파수 대역을 커버하도록 하는 안이다. 예산은 많이 소요되지만, 각 주파수마다 최적화된 피드를 쓰므로 감도가 좋다는 장점이 있다. 일본 시스템에서 보듯이 주파수가 올라가면 안테나가 작아지므로 한 대의 구동계에 2-3개의 안테나를

설치할 수도 있다.

1안으로 시작해서 예산이 확보되면 처음 쓰던 안테나는 피드만 바꾸어 주파수 범위를 좁혀 사용하고 나머지 주파수 대역은 새로 제작되는 안테나에 넘기는 방법도 생각해볼 수 있다. 수신기도 이런 점을 고려해서 향후에도 사용할 수 있도록 초기에 설계를 잘 하는 것이 필요하다. 그림 6-5에 새로운 시스템에 대한 블록 선도를 제시하였다.

어떤 시스템을 만들던, calibration의 관점에서 새로이 만들어 지는 시스템이 갖추어야 할 성능에 대해서 언급하고자 한다. 이것들은 그동안 2.8GHz에서 calibration하면서 얻은 경험에서 나온 것들이다.

우선 피드에서 수신기까지 신호 전송은 도파관으로 할 것을 권한다. 케이블은 설치가 쉬운 반면 손실이 커서 calibration에서 불확실성을 유발하게 된다. 반면 도파관은 설치하는 어렵고 비용도 상대적으로 많이 들지만 손실이 적어 기본적으로 calibration의 불확실성을 많이 제거하게 된다. 사실 주파수가 수 GHz 이상이 되면 선택의 여지가 없이 도파관을 택할 수밖에 없기는 하다. 일본 시스템은 이러한 방식을 택한 것 같고, 반면에 미국의 시스템은 케이블을 사용하는 것으로 보인다.

또, 현재의 시스템은 6미터, 10미터 망원경과 연동되어 태양만을 추적하고 있다. 그러나 태양 이외의 천체를 이용하면 calibration이 용이해질 수 있다. 적어도 더 많은 제한조건을 줌으로써 calibration 정밀도를 높일 수 있다. 이것은 천문분야에서 쉽게 구할 수 있는 프로그램들을 적절히 수정 보완해서 사용할 수 있다.

수신기에 대한 요구조건 중 하나로, 수신기를 충분히 sensitive 하게 만들 것을 권한다. 태양의 전파 폭발만 본다면 그렇게 감도가 좋게 만들 필요는 없다. 그러나, calibration 과정에서 빈 하늘을 보거나 77K나 300K 로드를 이용하는 경우를 예상할 수 있다. 만약에 강한 신호만 감지하는 식으로 수신기를 만들게 되면 77K, 300K 로드를 이용한 calibration은 사용할 수 없게 된다. 이렇게 되면 어떻게든 다른 방법을 강구하게 되겠지만, 그 방법이 얼마나 유효할지는 보장할 수

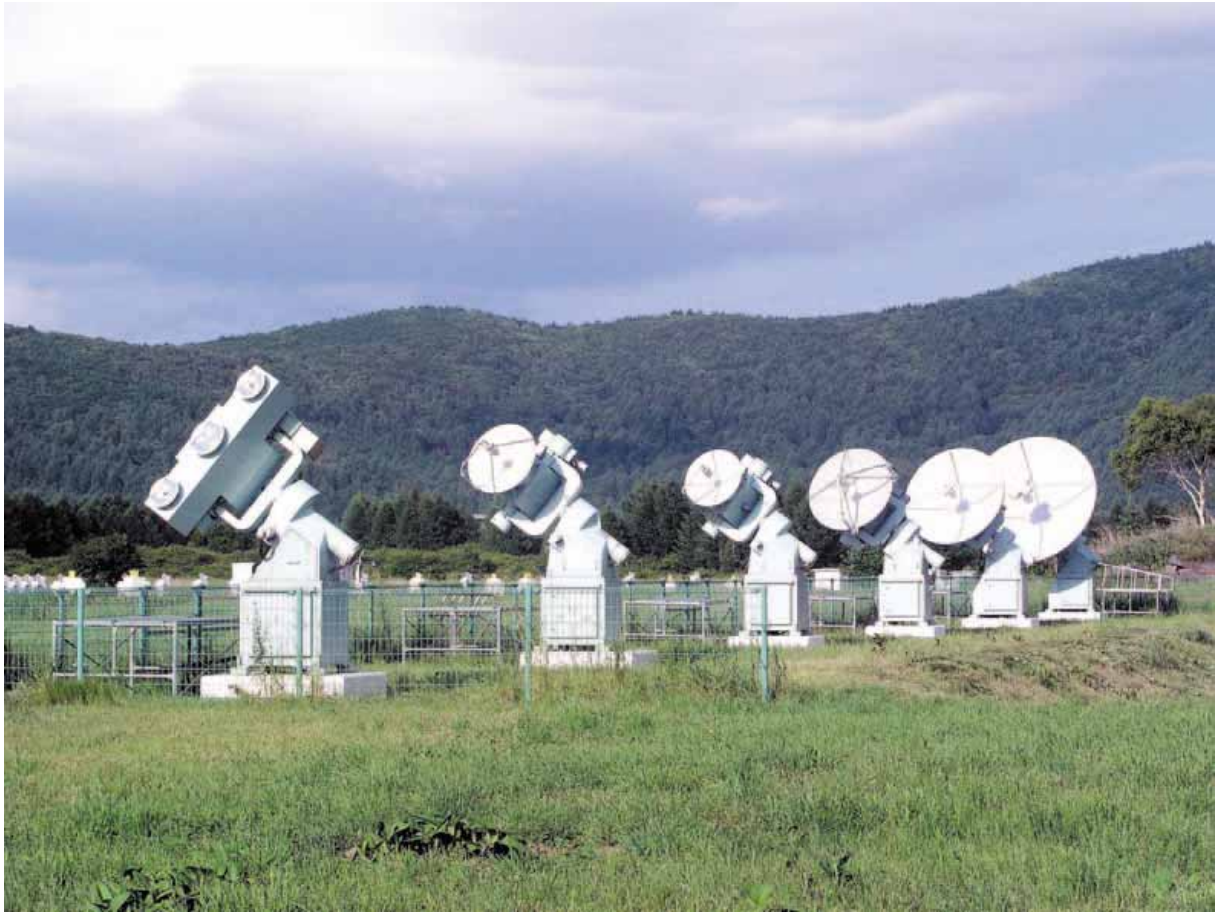


그림 6-4. 일본 노베야마 solar polarimeter

없다. 이러한 점을 고려해서 수신기는 충분히 감도가 좋게 만들 것을 권한다. 이런 측면에서 하나의 피드로 넓은 주파수대역을 커버하는 방법은 일시적으로는 쓸 수 있겠지만, 장기적으로는 그다지 권할 만한 것은 아니라고 판단된다.

또 하나는 넓은 동작범위(dynamic range)를 위해 검출기(detector)를 2개 쓰는 것을 고려한다. 예상되는 입력 신호의 범위는 대략 20 sfu (빈 하늘 값)에서 10^5 sfu 규모 이상까지 대략 40dB에 이른다. 검출기 하나로 넓은 동작범위를 만들 수는 있지만, 입력신호가 작은 쪽에서는 검출기 자체의 잡음이 문제가 될 수 있다. 시스템 전체의 감도를 이 검출기가 떨어뜨려서는 안된다. 이런 이유로 검출기를 2개를 써서 감도를 유지하면서 동작범위를 넓히도록 하는 것이 바람직하다.

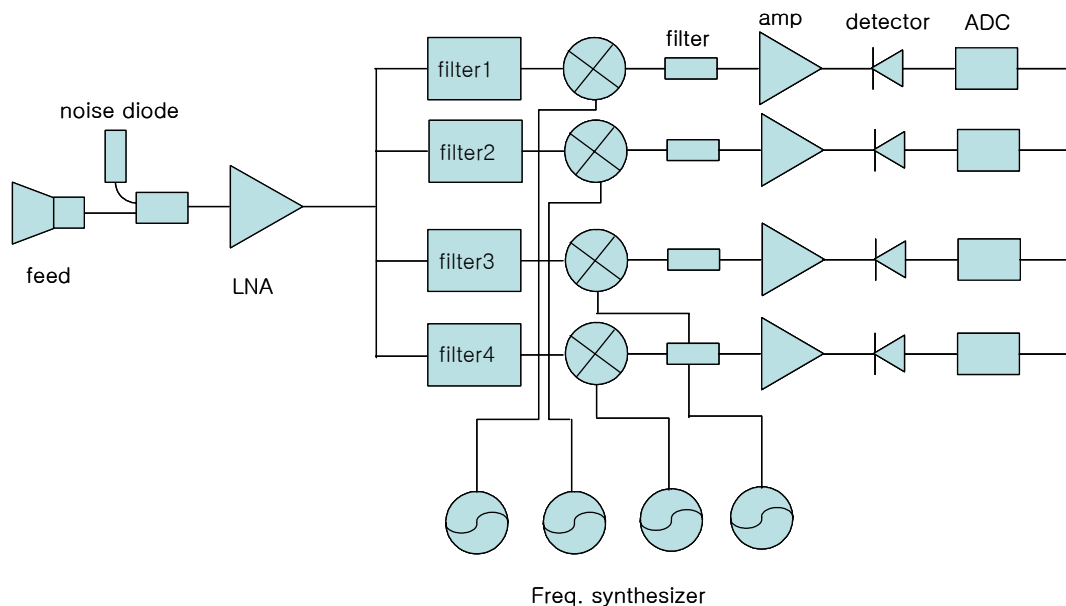


그림 6-5. 태양전파노이즈 정보 시스템 블록 선도

2. 추진 전략 및 세부 추진과제

이러한 시스템을 구현하고 운영하기 위해서는 여러 기관과의 유기적인 협력관계가 필요하다. 일반 사기업체, 관련 대학, 연구소등과 협력을 추진한다. 필요에 따라서 외국의 관련 연구기관이나 대학과 공동으로 수행하는 것이 바람직하다.

우선 안테나와 구동계는 국내의 업체를 이용하여 제작하도록 한다. 광대역 피드를 확보하는 것이 필요한데, 관련 문헌을 찾아보지는 않았지만, 관련분야에서 어느 정도는 연구되어 있고, 상당한 수준의 동작 성능을 갖는 피드 시스템이 (적어도 개념 설계의 수준으로) 개발되어 있을 것으로 예상된다. 설사 그렇지 않더라도 파장이 길어 제작에는 어려움이 없으므로 고성능 피드의 설계는 연구해 볼만한 주제이다.

수신기 역시 현재의 기술수준으로 국내에서 쉽게 제작할 수 있다. 콤포넌트 수준에서는 대부분 수입해야 하지만, 일부 부품의 경우 국내에서 제작한 것도 충분히 사용가능하다. 전체 시스템 integration은 일반 업체나 대학에서 할 수 있다.

다만, 18GHz 정도의 고주파에서는 광대역 저잡음 증폭기를 만드는 일등은 이 연구 프로젝트에 관련해서 도전해 볼 만한 일이다.

Calibration 해서 절대 플럭스를 구하는 일련의 업무가 가장 중요한 일이다. 2.8GHz에서 절대 플럭스를 구하는 프로그램을 만들어본 경험에 비추어 보건데, 아이디어를 적용하는 유효한지를 검증해보고 하는 일들을 반복적으로 수행하고 예기치 않은 calibration 상의 문제를 해결해 나가야 하므로 성격상 일반 회사가 하기에는 어렵고, 대학이나 연구소 등에서 research 의 개념으로 접근하는 것이 바람직해 보인다.

전파연구소는 이 모든 일들을 총괄하고 일정관리를 하는 등의 조정업무를 담당한다. 장기적으로는 전파연구소에도 연구 인력을 확보하여 주도적으로 제작 및 calibration을 담당하는 것이 필요하다. 그렇게 함으로써 지속적으로 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어의 유지보수가 이루어질 것이다. 전파 모니터 시스템은 특성상 기기 고장에 의한 시간의 공백이 있으면 안 되므로, 문제가 발생했을 때 즉각 대처하는 것이 필요하다. 이런 측면에서도 연구 인력을 확보하는 것이 필요하다.

제 7 장 결 론

제 1 절 결 언

태양 활동에 의해 무선통신이 단절되거나 접속률이 낮아질 가능성에 대비해서 먼저 이러한 장애의 빈도가 얼마나 될지를 조사하였다. 미국 NGDC의 1960-2007 년간의 과거 태양전파 폭발자료를 분석한 결과, 평균적으로 40-80일에 한번씩 통신에 영향을 미치는 전파폭발이 일어나는 것으로 파악되었다.

이에 앞서 어느 정도의 폭발이 무선통신에 영향을 주는지 간단한 계산을 수행 하였다. 무선 기기의 잡음지수에 따라 달라지겠지만, 대략 1000 sfu를 통신에 영향을 미치기 시작하는 문턱값으로 볼 수 있고, 10^5 sfu 수준이 되면 거의 100% 무선통신에 영향을 미치는 것을 보였다.

이러한 태양전파 폭발을 예보 또는 모니터링하기 위해서는 절대플렉스로 환산이 가능한 모니터링 및 자료처리 시스템이 필요한데, 그 첫 단계로 전파연구소가 보유하고 있는 2.8 GHz 태양전파 모니터 시스템을 calibration하여 절대 플렉스를 산출하는 것이 가능하도록 하였다. 거의 국제표준으로 알려져 있는 캐나다 시스템의 측정 결과와 비교한 결과 3-4% 수준에서 서로 일치하였다. 잡음 다이오드의 ENR의 온도에 따른 변화를 좀 더 충실히 보정할 필요가 있다.

상용 무선 통신 기지국에 태양전파 모니터 장비를 구축하거나 기존의 시스템을 그대로 이용해 방향별로 태양전파의 세기를 측정하여 기지국의 어느 안테나에 태양신호가 유입되어 잡음 레벨이 심각한 수준으로 올라가는 경우에, handoff를 시행하거나, beam nulling등의 방법으로 문제를 완화하거나 회피하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법은 향후 민간 통신사에 권고를 하거나 더 나아가서 적극적으로 법제화하는 것도 고려할 필요가 있어 보인다.

태양 전파 폭발에 대처하기위해서는 기본적으로 이 현상을 모니터 할 수 있는 시스템이 필요하다. 주파수마다 폭발의 양상과 에너지가 다르므로 광 대역에서 동작하는 시스템이 필요한데, 현재로는 2.8 GHz대역만 모니터가 가능하다. 미국과

일본에서 운영하고 있는 시스템들을 참고해서 18GHz까지의 넓은 주파수 범위에서 예보가 가능한 새로운 경보 시스템 구축 방안을 제시하였다. 초기에 한 대의 안테나에 광대역 피드를 달아 운용하다가 점차로 안테나의 숫자를 늘려 각 주파수대역에서 최적화된 시스템을 갖추는 방법을 제안하였다.

제 2 절 연구결과 활용계획 및 기대효과

우리나라 우주전파환경 변화에 따른 위기관리 대응체계 마련에 활용할 수 있을 것이다.

무선통신에 장애가 생겼을 때 회피할 수 있는 방법 등은 민간 통신사에서 운영하는 통신망에 프로그램으로 구현해 넣을 수 있을 것이므로 이를 권고하거나 법제화하는 것을 고려할 필요가 있다.

지금까지 무선기기의 설계와 제작 단계에서 태양 활동이 미치는 영향은 전혀 고려되고 있지 않다. 그러나, 특히 (태양 활동 극대기에) 전파폭발에 의한 오동작의 가능성을 배제할 수 없다. 상용의 통신망이나 군 등에서 운용하는 국가적으로 중요한 시스템의 경우에는 이러한 요소를 고려하지 않으면 안된다. 이번 연구는 민간 통신사가 군 등의 기관에서 전파폭발의 중요성과 영향을 인식하는 한 시발점이 될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- Bala, B., et al., 2002, "Noise in wireless system produced by solar radio bursts", Radio Science, 37, 2-1
- Barlow, W.H., 1849, "On the spontaneous electrical currents observed in wires of the electrical telegraph", Philosophical Transactions of the Royal Society, 139, 61
- Castelli, J.P., et al., 1967, "Flux Density Measurements of Radio Burst of Proton-Producing and Nonproton Flares", Journal of Geophysical Research, 72, 5491
- Castelli, J.P., et al., 1973, "The Soalr Radio Patrol Network of the USAF and its Application", Proceeding of IEEE, 61, 1307
- Forbush, S.E., 1946, "Three Unusual Cosmic-ray Increases Possibly due to Charged Particles from the Sun", Phys. Rev., 70, 771
- Gary, D.E., et al., 2004, "Effects of Solar Radio Bursts on Wireless Systems", in *Effets of Space Weather on Technology Infrastructure* ed. I.A. Daglis
- Hey, J.S., 1946, "Solar Radiation in the 4-6 Meter Radio Wavelength Band", Nature, 158, 234
- Kochaski, G.P. et al., 2007, "Methods and Apparatus for Mitigating the Effects of Solar Noise and the Like on a Wireless Communication System", United States Patent 7,209,760 B2
- Lanzerotti, L.J., et al., 2005, "Noise in wireless system from solar radio bursts", Advances in Space Research, 36, 2253
- Lanzerotti, L.J., 2004, "Solar and Solar radio effects on technologies" in Solar and Space Weather Radiophysics, 1-16

연구결과 활용계획서

연구과제명	우주전파환경 변화에 대한 무선통신 보호방안 연구					
연구분야						
연구구분						
연구책임자1	소 속	서울대학교	직위 · 직급	부교수	성 명	박용선
연구책임자2	소 속		직위 · 직급		성 명	
연구기간	2008년 6월 - 11월					
주요활용 분야	태양전파 폭발에 의한 전파통신장애를 회피할 수 있는 방법을 기존의 통신망에 반영하는 것을 권고 또는 법제화를 고려할 필요가 있음.					
국 내 외 공업소유권	구 분	명 칭	출원일	등록일	기타	
학술지발표 현 황	구분	학술지명	신청일	게재일	기 타	
타 연구로 활용계획	향후 다른 파장대에서 태양전파 플럭스를 절대 calibration하는데 활용					
기타활용 계 획						

주 의

1. 이 연구보고서는 전파연구소의 연구개발비 재정 지원으로 이루어진 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 전파연구소 정책연구의 연구결과임을 밝혀야 합니다.