

우주전파환경 관측데이터 활용 고도화를 위한 신뢰도 평가방안 연구

2016. 12.



국립전파연구원

National Radio Research Agency

제 출 문

본 보고서를 「우주전파환경 관측데이터 활용 고도화를 위한
신뢰도 평가방안 연구」 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2016. 12. 31.

연구책임자 : 고 창 휴(우주전파센터 관측팀)

연구 원 : 김 영 윤(우주전파센터 관측팀)

문 준 철(우주전파센터 관측팀)

정 석 준(우주전파센터 관측팀)

요 약 문

우주전파센터는 우주전파환경 예·경보 및 태양활동에 의한 지구 피해영향을 분석하기 위해 전국 9개 지역에서 11종 24식의 관측시설을 운영하고 관측데이터를 실시간 수집하여 업무에 활용하고 있다. 또한 관측데이터는 관련 학계, 군, 선박, 항공사 등 다양한 사용자들에게 제공되고 있다. 그러나 관측데이터는 태양활동, 잡음 등으로 인해 관측데이터의 신뢰도가 떨어지게 된다. 따라서 본 연구를 통해 관측기 데이터별 신뢰범위를 산출하여 비정상 관측상황에 신속히 대응하고 관측데이터 사용자 제공시 이를 활용하고자 한다.

본 연구에서는 11종 관측기 데이터 중 우주전파환경 예·경보 및 피해분석 활용도가 높은 4종 관측기(지자기 관측기, 유도전류 관측기, 전리층 관측기, 태양활동 수준관측기)에 대한 관측데이터 신뢰범위를 산출하였다. 관측데이터 신뢰범위 산출을 위해 관측기별 H/W 및 데이터 특성을 분석하였고 우주전파환경 경보, 잡음, H/W 및 S/W 장애 등 비정상적인 상황에서 데이터 변화 특성을 분석하였다. 그리고 관측데이터 장기 변화 특성을 파악하기 위해 최근 3년 데이터를 분석하고 해외 분석 사례와 비교하였으며, 신뢰범위 산출을 위해 지난 1년 관측데이터를 상세 분석하였다.

관측데이터 신뢰범위 산출결과, 지자기, 전리층, 태양활동 수준관측기 데이터는 년 변화 특성을 갖으나, 유도전류는 미미한 것으로 나타났다. 따라서 실제 관측데이터에 신뢰범위를 적용할 때, 관측데이터별 년 변화 특성을 고려한 지난 1년 관측데이터 분석을 통한 신뢰범위를 산출하여 사용하여야 한다. 연구결과를 실제 우주전파환경 경보상황에 적용한 결과, 관측데이터는 신뢰범위를 초과하여 비정상 관측상황을 즉시 발견할 수 있어 신속한 대응이 가능하게 되었다.

본 연구결과를 관측데이터 모니터링 화면에 적용함으로써 비정상 관측상황에서 신속한 대응이 가능해지며, 사용자에게 관측데이터 제공시 신뢰범위를 함께 제공함으로써 사용자는 관측데이터 선별을 통해 신뢰도 높은 데이터 사용이 가능할 것으로 사료된다.

목 차

제1장 서론	1
제2장 우주전파환경 관측시설 현황 및 관측데이터 특성	3
제1절 지자기 관측기 구성 및 관측데이터 특성	3
제2절 유도전류 관측기 구성 및 관측데이터 특성	6
제3절 전리층 관측기 구성 및 관측데이터 특성	9
제4절 태양활동 수준관측기 구성 및 관측데이터 특성	13
제3장 관측시설별 관측데이터 신뢰범위 산출	16
제1절 지자기 관측기 데이터 신뢰범위 산출	16
제2절 유도전류 관측기 데이터 신뢰범위 산출	20
제3절 전리층 관측 데이터 신뢰범위 산출	23
제4절 태양활동 수준관측기 데이터 신뢰범위 산출	31
제5절 관측데이터 신뢰범위 산출결과	35
제4장 관측데이터 신뢰도 향상 방안	37
제5장 결론	38
참고문헌	39

표 목 차

[표 1] 우리나라의 지구자기장 관측소 현황	3
[표 2] 지자기 관측데이터 신뢰범위	19
[표 3] 관측데이터 신뢰범위 산출결과	35

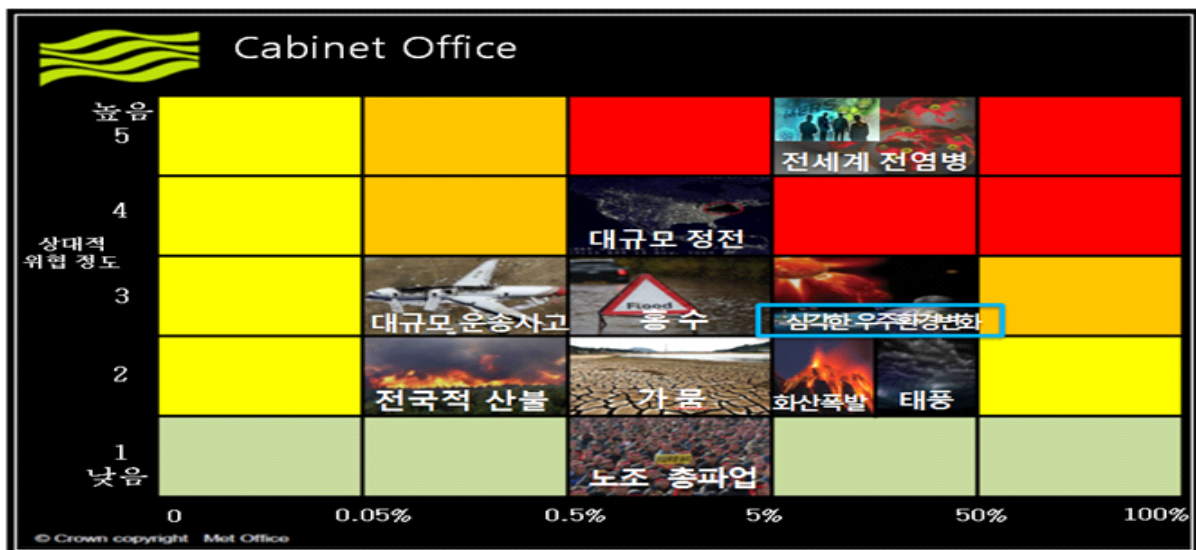
그림 목 차

[그림 1] 2015년 국가위기 백서	1
[그림 2] 지자기 관측기 구성	4
[그림 3] 지자기 관측데이터 특성	5
[그림 4] 유도전류 모니터링 화면	6
[그림 5] 유도전류 관측기 구성	7
[그림 6] 유도전류 발생 원리	8
[그림 7] 유도전류 관측데이터	9
[그림 8] 전리층 관측기 구축 현황	10
[그림 9] 전리층 관측기 송수신기	10
[그림 10] 전리층 구성	11
[그림 11] 전리층 아이오노그램	12
[그림 12] 전리층 관측데이터 모니터링 화면	13
[그림 13] 태양활동 수준관측기	13
[그림 14] 태양활동 수준관측기 구성	14
[그림 15] 태양 흑점수와 FLUX와 관계	15
[그림 16] 태양활동 수준관측기 데이터 모니터링 화면	15
[그림 17] 지자기 관측 장애 시 데이터 특성	16
[그림 18] 이천 지자기 관측데이터 년 변화 특성	16
[그림 19] 제주 지자기 관측데이터 년 변화 특성	17
[그림 20] 강릉 지자기 관측데이터 년 변화 특성	17
[그림 21] 독일 지구연구센터 지자기 관측데이터 년 변화 특성	17
[그림 22] 이천 지자기 관측데이터 신뢰범위	18
[그림 23] 제주 지자기 관측데이터 신뢰범위	18
[그림 24] 강릉 지자기 관측데이터 신뢰범위	19
[그림 25] 정보상황에 따른 지자기 관측데이터 신뢰범위 적용	20
[그림 26] 유도전류 관측 장애 시 데이터 특성	20
[그림 27] 신가평 유도전류 관측데이터 년 변화 특성	21

[그림 28] 신태백 유도전류 관측데이터 년 변화 특성	21
[그림 29] 신미금 유도전류 관측데이터 년 변화 특성	21
[그림 30] 신가평 유도전류 관측데이터 신뢰범위	22
[그림 31] 신태백 유도전류 관측데이터 신뢰범위	22
[그림 32] 신미금 유도전류 관측데이터 신뢰범위	22
[그림 33] 경보상황에 따른 유도전류 관측데이터 신뢰범위 적용	23
[그림 34] 전파두절 경보에 의한 전리층 관측 장애	23
[그림 35] 지자기 경보에 의한 전리층 관측 장애	24
[그림 36] 스포라딕 E층 발생에 따른 관측데이터 특성	24
[그림 37] H/W 및 S/W 장애로 인한 전리층 관측데이터 특성	25
[그림 38] 전리층 관측데이터 년 변화 특성	25
[그림 39] 이천 및 제주 전리층 관측데이터 년 변화 특성	26
[그림 40] 2015년 이천 및 제주 전리층 관측데이터	26
[그림 41] 이천 전리층 관측데이터 신뢰범위	29
[그림 42] 제주 전리층 관측데이터 신뢰범위	31
[그림 43] 전파두절 경보에 의한 관측데이터 특성	31
[그림 44] 잡음발생시 태양활동 수준 관측데이터 특성	32
[그림 45] H/W 및 S/W 장애로 인한 태양활동 수준 관측데이터 특성	32
[그림 46] 태양활동 수준관측데이터 년 변화 특성	33
[그림 47] 우리나라와 캐나다 관측데이터 년 변화 비교	33
[그림 48] 태양활동 수준 관측데이터 신뢰범위	34
[그림 49] 경보상황에 따른 태양활동 수준 관측데이터 신뢰범위 적용	34

제1장 서론

전 세계적으로 우주개발이 본격화되고 있는 상황에서 우리나라도 우주환경에 대한 실시간 관측이 불가피하며, 특히 우주전파재난 발생 시 적극 대처를 위한 최소한의 체계적 투자가 필요한 상황이다. 우주전파재난은 그 발생 빈도가 낮아 간과되기 쉽지만 전 세계적으로 전염병과 같은 고 위험 군으로 분류하여 대응 중에 있으며, ICT 기기의 확산 및 사물 인터넷 시대의 도래에 따라 그 위험의 정도와 범위는 지속 확대될 전망이다. 그림은 2015년 영국 Cabinet Office에서 발간한 ‘2015년 국가위기백서’로 태양활동에 의한 심각한 우주환경재난을 화산폭발, 산불·가뭄 및 태풍보다 상대적 위험 정도와 향후 5년간 발생할 확률이 높은 재난으로 분류하고 있다. 따라서, 태양 활동에 대한 실시간 감시 및 예보 시스템 등 구축 위한 관측 시설 투자는 국가 차원의 대응이 요구되는 분야이며, 특히, 우주전파 환경은 여러 이유로 실시간 관측·예보가 어려워 다양하고 첨단인 관측 시설 투자가 필요하며 우주전파재난에 따른 피해가 전 세계적으로 광범위하여 관련 국가와 협력 위한 시설 투자 또한 우선해야 할 영역에 해당한다고 볼 수 있다.



[그림 1] 2015년 국가위기 백서(영국 Cabinet Office)

우주전파환경 관측을 역사적으로 살펴보면 우리나라는 서기 1000년~1799년 동안 788회의 오로라 관측하였다고 조선 실록 등에 실려 있으며, 특히 1000년~1391년 동안에는 우주환경 유효 관측기록이 230여회로 기록되어 있다. 국립전파연구원에서는 1973년부터 지자기, 전리층, 태양활동 등 관측시설을 운영하고 있으며 2011년 제주에 “우주전파센터”를 개소하여 ACE위성수신, 태양풍, 태양전파 노이즈,

전리층, 지자기 및 기타 관측시스템을 구축·운영하고 있다.

현재 우주전파센터에서 11종 24식의 관측시설을 운영하고 관측데이터를 실시간 수집하여 업무에 활용하고 있으며, 관측데이터는 관련 학계, 군, 선박, 항공사 등 사용자들에게 제공되고 있다. 그러나 관측데이터는 태양활동, 잡음, H/W 및 S/W 장애 등으로 인해 관측데이터의 신뢰도가 떨어지게 된다.

본 연구에서는 11종 관측데이터 중 우주전파환경 예·경보 및 피해분석 활용도가 높은 지자기 관측기, 유도전류 관측기, 전리층 관측기, 태양활동 수준관측기 등 4종의 관측데이터에 대한 신뢰범위를 산출하여 우주전파환경 예·경보, 관측업무 및 관측데이터 수요자 제공시 활용하고자 한다.

2장에서는 4종 관측시설에 대한 H/W 구성을 통한 관측데이터 수집 및 처리 과정을 살펴보고 관측데이터 특성을 파악하였다.

3장에서는 관측 장애 시 데이터 특성을 분석하고 최근 5년간 관측데이터를 분석하여 년 변화 특성을 해외 데이터와 비교하여 파악하였으며, 신뢰범위 산출을 위해 지난 1년 데이터를 상세 분석하였다.

4장에서는 4종 관측데이터 분석을 통한 각 관측시설별 데이터 특성을 분석하고 그에 따른 관측데이터 신뢰도 향상 방안을 제시하였다.

5장에서는 결론으로 본 연구결과 활용방안을 제시하였다.

제2장 우주전파환경 관측시설 및 관측데이터 특성

제1절 지자기 관측기 구성 및 관측데이터 특성

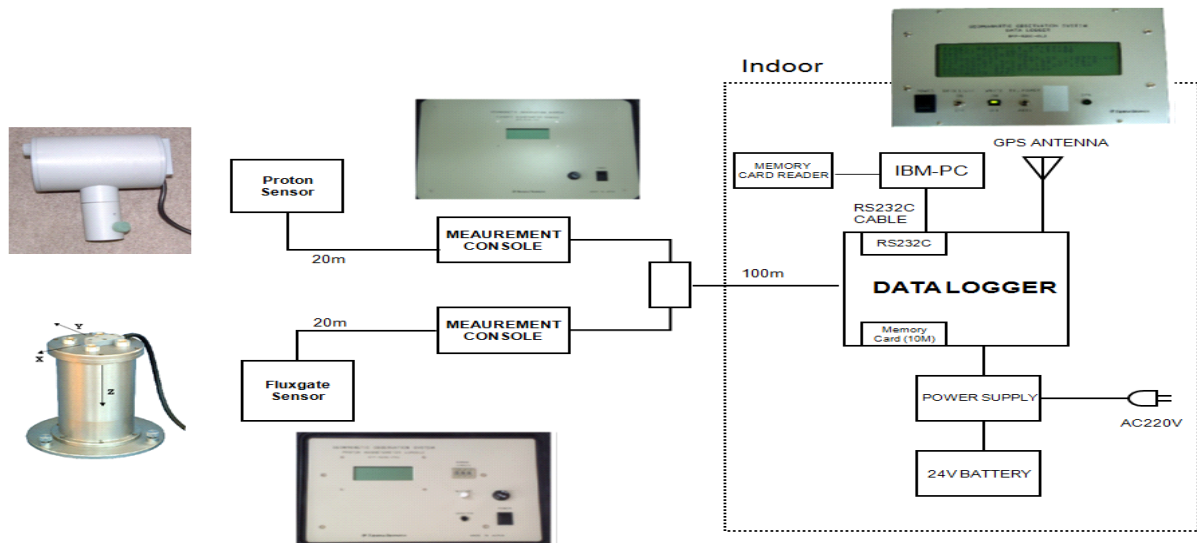
지구는 하나의 천연자석 (북극을 S극, 남극은 N극을 가진 막대형 영구자석)으로 나타낼 수 있으며, 이것을 근원으로 하는 지구표면의 자기장을 지구자기장이라고 말한다. 지구자기장의 세계적 분포는 위도에 따라 $20 \sim 80 \mu T$ 정도이며, 지구자기장의 세기와 방향은 일정한 것이 아니라 지구의 내, 외적인 요인에 의하여 변화한다. 즉, 지각의 변화와 같은 지구내부의 요인이나, 이온층의 전류, 자기권 내의 플라즈마 효과, 태양풍이나 국부적으로 위치한 인위적인 건물, 도로, 차량 및 전력선 등의 외부 요인에 의하여 영향을 받게 된다.

전 세계적으로 약 690 여 개의 육상 지구자기장 관측소가 운용되고 있으며, 실제 운영되고 있는 관측소는 약 300 여 개로 추산된다. 우리나라의 경우 우주전파센터를 포함하여 세종기지, 한국지질자원연구원, 기상청 등 9개의 관측소가 표와 같이 운용되고 있다. 국립전파연구원에서는 1996년부터 이천, 제주, 강릉에 지자기 관측소를 설치하여 운용하고 있다.

[표 1] 우리나라의 지구자기장 관측소 현황

관측망	관측소	관측소 위치	관측시작(연도)
국립전파연구원	이천	37.1447N, 127.5509E	1996
	강릉	37.5176N, 128.4875E	2010
	제주	33.2670N, 126.3300E	1997
한국자원연구소	대전	36.3789N, 127.3603E	1998
	경주	35.7333N, 129.3991E	2000
	홍성	36.5741N, 126.6786E	2002
세종기지	King George Island	62.2944S, 58.8583W	1992
기상청	청양	36.3656N 126.8578E	2009

가. 지자기 관측기 구성



[그림 2] 지자기 관측기 구성

지구자기장 관측망 시스템은 크게 센서부, 데이터로거 및 전력부로 구성되어 있으며, 각각의 센서는 200m의 케이블에 의해 데이터로거에 연결되어 있다. 센서로 측정된 데이터는 바이너리 형태로 저장되며 데이터 수집용 PC와 전용회선을 통해 서버에 자동 전송된다. 또한 임시적으로 저장하는 버퍼에서는 16일 동안 저장되며 이후에는 자동 삭제된다. 그리고 관측데이터의 시각동기는 GPS 시간이 적용되며 단위는 세계시(UT)로 자동 설정된다.

지구자기장은 변화요인이 다양하고, 지엽적으로 편차가 큰 장소가 있을 수 있기 때문에 고유의 지구자기장의 변화량을 측정할 수 있는 장소를 선정하기 위해서는 사전에 측정 장소에 대한 지구자기장의 분포 등을 측정하여 분석하고, 인위적인 요인에 의한 변화량은 배제하여야 한다. 지구자기장 측정 장소로는 인위적 자기잡음의 영향을 받지 않고 측정할 수 있는 조건을 충족하고, 장래에도 이 조건이 유지될 것으로 판단되는 장소를 선정하여야 한다.

국립지리정보원에서는 전국 자기지도 작성에 필요한 각 성분 영년변화의 지리적 분포와 동향을 파악하기 위하여 전국에 약 30점 (약 3500 km²에 1점)의 1등 자기 측정점을 설정하고, 4-5년마다 반복 측정을 하고 있다. 1등 자기측정점 측량 작업 규정은 직류 전기철도로부터 5 km 이상, 교류 및 일반 전기철도, 고압송전 철탑 등으로부터 2 km 이상 떨어져 있어야 한다. 또한 측정점은 시간에 따른 직류 및 교류 (60 Hz 이하) 자기장 변화량, 지구 자기장의 기울기, 측정 장소의 흙, 암석 및 사용한 건축자재의 자화에 의한 자기장 영향이 분석되어야 한다.

나. 지자기 관측데이터 특성

지구자기장의 벡터성분은 그림과 같이 나타낼 수 있으며, 지리상의 북극인 진북(N)과 자침의 N극이 가리키는 자북 사이에 이루는 각을 편각(D), 총지구자기장(F) 벡터와 수평평면 사이의 각을 북각(I), 수평지구자기장(H), 수직지구자기장(Z), 진북 성분(X) 및 동서성분(Y) 등으로 나눌 수 있다. 지구자기장의 3 요소는 일반적으로 총지구자기장, 편각, 북각을 일컬으며, 지구자기장 벡터 상호간의 관계식은 다음과 같다:

$$X = H \cos D$$

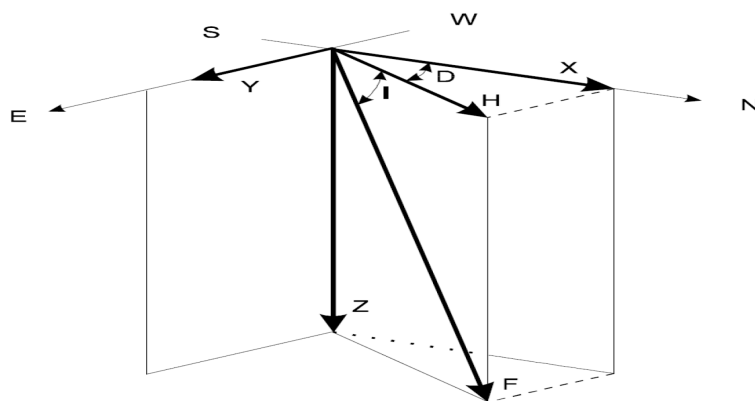
$$Y = H \sin D = X \tan D$$

$$Z = F \sin I = H \tan I$$

$$F^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2$$

$$H^2 = X^2 + Y^2$$

$$D = \arctan(Y/X); I = \arctan(Z/H)$$



[그림 3] 지자기 관측데이터 특성

통상 우리나라의 지구자기장의 크기는 편각(D)은 $5 \sim 8^\circ$, 북각(I)은 $49 \sim 55^\circ$, 총자기장(F)은 $48 \sim 51 \mu\text{T}$, 수평(H)은 $29 \sim 32 \mu\text{T}$, 수직(Z)은 $36 \sim 42 \mu\text{T}$ 이며, 태양풍 등이 없는 정상적인 날의 변화량은 약 $30 \sim 50 \text{nT/day}$ 정도이다.

지구자기장은 불변하는 것이 아니라, 시간에 따라 변동하고 있다. 그 주기는 짧게는 약 1 초에서 수백 초, 긴 것은 수십 년에서 약 100만년까지 넓은 스펙트럼을 가지고 있다. 일정기간 동안 지구자기장의 평균값을 의미하는 기준자기장으로부터의 차이를 지구자기장 변화량이라 하며, 이 자기장은 시시각각으로 변화하며, 그 형태는 매우 복잡하다. 이 변화의 대부분은 지구외부의 전리층 등에 유기된 전류가 만든 자기장에 의해 생성된다. 외부원인의 자기장 변화는 내부원인에 비하여 변동

제2절 유도전류 관측기 구성 및 관측데이터 특성

765kV 대포 전력라인 통합 모니터링 시스템

무도전류 평균: -0.14A

무도전류 평균: -0.02A

Kg 지수: 1.0

전력망 현황

전력망 구성

전력망 운영

전력망 관리

전력망 모니터링

전력망 제어

전력망 보호

전력망 복구

전력망 분석

전력망 평가

전력망 개선

전력망 발전

전력망 혁신

전력망 미래

전력망 희망

전력망 꿈

전력망 비전

전력망 전략

전력망 정책

전력망 법률

전력망 규정

전력망 표준

전력망 지침

전력망 절차

전력망 방법

전력망 기술

전력망 장비

전력망 부품

전력망 재료

전력망 자재

전력망 용품

전력망 상품

전력망 서비스

전력망 지원

전력망 협력

전력망 파트너

전력망 고객

전력망 사용자

전력망 소비자

전력망 생산자

전력망 공급자

전력망 판매자

전력망 구매자

전력망 거래자

전력망 투자자

전력망 소유자

전력망 관리자

전력망 운영자

전력망 감독자

전력망 검사자

전력망 정비자

전력망 수리자

전력망 교체자

전력망 업그레이드자

전력망 혁신자

전력망 미래자

전력망 희망자

전력망 꿈자

전력망 비전자

전력망 전략자

전력망 정책자

전력망 법률자

전력망 규정자

전력망 표준자

전력망 지침자

전력망 절차자

전력망 방법자

전력망 기술자

전력망 장비자

전력망 부품자

전력망 재료자

전력망 자재자

전력망 용품자

전력망 상품자

전력망 서비스자

전력망 지원자

전력망 협력자

전력망 파트너자

전력망 고객자

전력망 사용자자

전력망 소비자자

전력망 생산자자

전력망 공급자자

전력망 판매자자

전력망 구매자자

전력망 거래자자

전력망 투자자자

전력망 소유자자

전력망 관리자자

전력망 운영자자

전력망 감독자자

전력망 검사자자

전력망 정비자자

전력망 수리자자

전력망 교체자자

전력망 업그레이드자자

전력망 혁신자자

전력망 미래자자

전력망 희망자자

전력망 꿈자자

전력망 비전자자

전력망 전략자자

전력망 정책자자

전력망 법률자자

전력망 규정자자

전력망 표준자자

전력망 지침자자

전력망 절차자자

전력망 방법자자

전력망 기술자자

전력망 장비자자

전력망 부품자자

전력망 재료자자

전력망 자재자자

전력망 용품자자

전력망 상품자자

전력망 서비스자자

전력망 지원자자

전력망 협력자자

전력망 파트너자자

전력망 고객자자

전력망 사용자자자

전력망 소비자자자

전력망 생산자자자

전력망 공급자자자

전력망 판매자자자

전력망 구매자자자

전력망 거래자자자

전력망 투자자자자

전력망 소유자자자

전력망 관리자자자

전력망 운영자자자

전력망 감독자자자

전력망 검사자자자

전력망 정비자자자

전력망 수리자자자

전력망 교체자자자

전력망 업그레이드자자자

전력망 혁신자자자

전력망 미래자자자

전력망 희망자자자

전력망 꿈자자자

전력망 비전자자자

전력망 전략자자자

전력망 정책자자자

전력망 법률자자자

전력망 규정자자자

전력망 표준자자자

전력망 지침자자자

전력망 절차자자자

전력망 방법자자자

전력망 기술자자자

전력망 장비자자자

전력망 부품자자자

전력망 재료자자자

전력망 자재자자자

전력망 용품자자자

전력망 상품자자자

전력망 서비스자자자

전력망 지원자자자

전력망 협력자자자

전력망 파트너자자자

전력망 고객자자자

전력망 사용자자자자

전력망 소비자자자자

전력망 생산자자자자

전력망 공급자자자자

전력망 판매자자자자

전력망 구매자자자자

전력망 거래자자자자

전력망 투자자자자자

전력망 소유자자자자

전력망 관리자자자자

전력망 운영자자자자

전력망 감독자자자자

전력망 검사자자자자

전력망 정비자자자자

전력망 수리자자자자

전력망 교체자자자자

전력망 업그레이드자자자자

전력망 혁신자자자자

전력망 미래자자자자

전력망 희망자자자자

전력망 꿈자자자자

전력망 비전자자자자

전력망 전략자자자자

전력망 정책자자자자

전력망 법률자자자자

전력망 규정자자자자

전력망 표준자자자자

전력망 지침자자자자

전력망 절차자자자자

전력망 방법자자자자

전력망 기술자자자자

전력망 장비자자자자

전력망 부품자자자자

전력망 재료자자자자

전력망 자재자자자자

전력망 용품자자자자

전력망 상품자자자자

전력망 서비스자자자자

전력망 지원자자자자

전력망 협력자자자자

전력망 파트너자자자자

전력망 고객자자자자

전력망 사용자자자자자

전력망 소비자자자자자

전력망 생산자자자자자

전력망 공급자자자자자

전력망 판매자자자자자

전력망 구매자자자자자

전력망 거래자자자자자

전력망 투자자자자자자

전력망 소유자자자자자

전력망 관리자자자자자

전력망 운영자자자자자

전력망 감독자자자자자

전력망 검사자자자자자

전력망 정비자자자자자

전력망 수리자자자자자

전력망 교체자자자자자

전력망 업그레이드자자자자자

전력망 혁신자자자자자

전력망 미래자자자자자

전력망 희망자자자자자

전력망 꿈자자자자자

전력망 비전자자자자자

전력망 전략자자자자자

전력망 정책자자자자자

전력망 법률자자자자자

전력망 규정자자자자자

전력망 표준자자자자자

전력망 지침자자자자자

전력망 절차자자자자자

전력망 방법자자자자자

전력망 기술자자자자자

전력망 장비자자자자자

전력망 부품자자자자자

전력망 재료자자자자자

전력망 자재자자자자자

전력망 용품자자자자자

전력망 상품자자자자자

전력망 서비스자자자자자

전력망 지원자자자자자

전력망 협력자자자자자

전력망 파트너자자자자자

전력망 고객자자자자자

전력망 사용자자자자자자

전력망 소비자자자자자자

전력망 생산자자자자자자

전력망 공급자자자자자자

전력망 판매자자자자자자

전력망 구매자자자자자자

전력망 거래자자자자자자

전력망 투자자자자자자자

전력망 소유자자자자자자

전력망 관리자자자자자자

전력망 운영자자자자자자

전력망 감독자자자자자자

전력망 검사자자자자자자

전력망 정비자자자자자자

전력망 수리자자자자자자

전력망 교체자자자자자자

전력망 업그레이드자자자자자자

전력망 혁신자자자자자자

전력망 미래자자자자자자

전력망 희망자자자자자자

전력망 꿈자자자자자자

전력망 비전자자자자자자

전력망 전략자자자자자자

전력망 정책자자자자자자

전력망 법률자자자자자자

전력망 규정자자자자자자

전력망 표준자자자자자자

전력망 지침자자자자자자

전력망 절차자자자자자자

전력망 방법자자자자자자

전력망 기술자자자자자자

전력망 장비자자자자자자

전력망 부품자자자자자자

전력망 재료자자자자자자

전력망 자재자자자자자자

전력망 용품자자자자자자

전력망 상품자자자자자자

전력망 서비스자자자자자자

전력망 지원자자자자자자

전력망 협력자자자자자자

전력망 파트너자자자자자자

전력망 고객자자자자자자

전력망 사용자자자자자자자

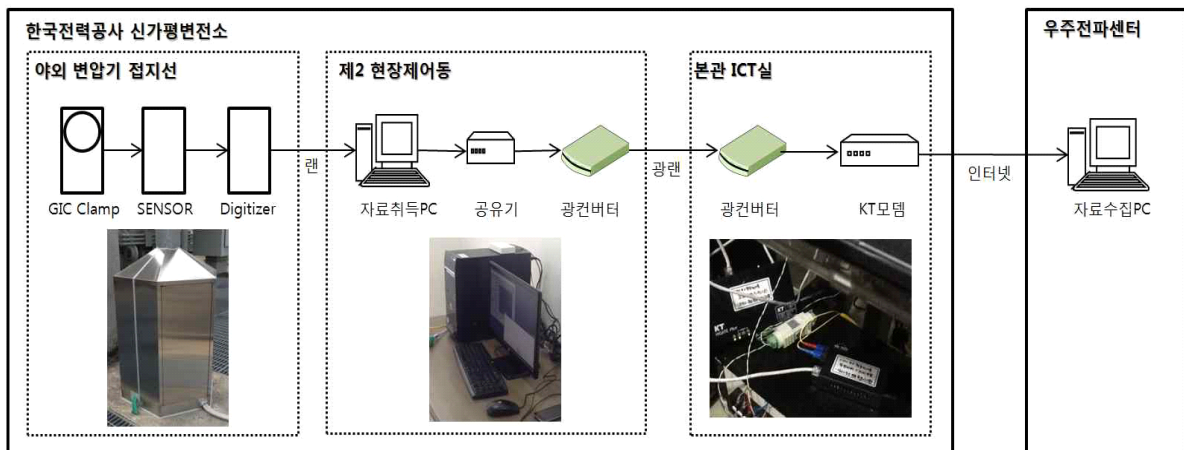
전력망 소비자자자자자자자

전력망 생산자자자자자자자

전력망 공급자자자자자자

가. 유도전류 관측기 구성

유도전류 관측시스템의 계통도는 그림과 같다. 변압기에 연결된 접지선에 Clamp형 전류센서를 연결하고 전류센서에서 전류량을 아날로그 형태로 실시간 측정한다. 관측데이터는 수집 PC로 자료를 전송하기 위해 A/D 변환기에서 디지털로 변환된 후 LAN을 이용하여 저장된다. 관측된 자료는 인터넷망을 이용하여 우주전파센터로 2분 간격으로 자동 전송되고, 전송된 자료는 홈페이지 서버를 통해 10분 간격으로 실시간 관측된 자료를 서비스 하고 있다.



[그림 5] 유도전류 관측기 구성

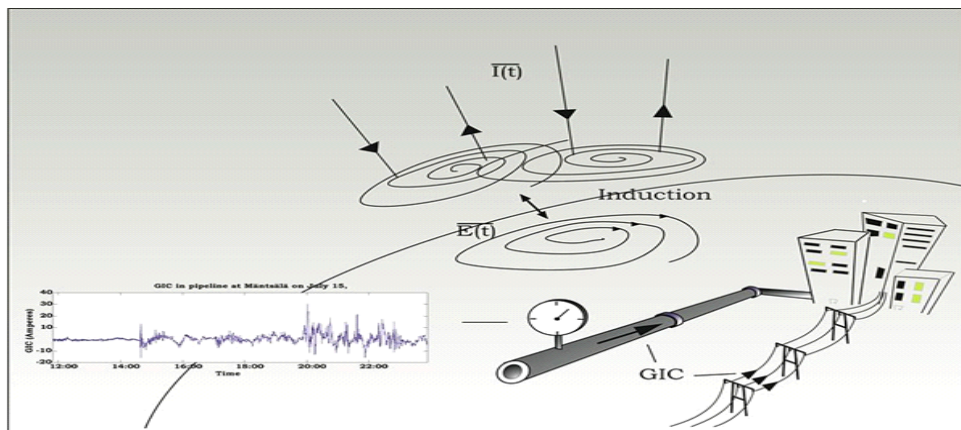
나. 유도전류 관측데이터 특성

태양폭발로 인한 태양풍 입자가 지구 근처에 도착하면 자기권과 전리층에 커다란 변화를 초래하는 동시에 지구 자기장에도 큰 영향을 주는데, 이러 급격한 변화는 지상의 송전설비에 전하를 유도하며(GIC) 이로 인해 고전압의 변압기가 손상 받아 전력망의 장애를 초래할 수 있다. 또한 GIC는 지자기 폭풍의 결과로 발생하기도 한다. 지구 자기장은 오랜 시간에 걸쳐 변하고 있다. 이런 장기 변화는 수백에서 수천년에 걸쳐 진행되며, 지구의 핵에서 일어나는 다이나모 운동의 결과에 의한 것이다. 지구 자기장의 단기 변화는 수초에서 수년에 걸쳐 일어나며, 주로 전리층, 자기권 및 태양권의 변화가 그 원인이다. 이런 단기 변화는 태양 또는 흑점 주기와 밀접하게 관련이 있어, 우주기상의 한 행태로 볼 수 있다. 지상에 있는 전력선을 비롯한 각종 첨단 장비들은 보통 때는 지구대기에 의해 우주 방사선이나 태양입자에 의한 영향으로부터 보호되지만, 태양폭발은 대기에 의한 보호를 무력화시켜 지상에 큰 장애를 초래하기도 한다.

지구 외곽에서의 시간에 따른 자기장의 변화는 도체인 지상에서 전류를 유도한다. 이 전류는 2차 자기장을 생성한다. 패러데이의 유도전류 법칙에 따르면 상층 대기에서의 시간에 따른 자기장의 변화는 지표면에서 전기장을 생성한다. 지상에 생성된

전기장은 전하를 발생시키는데 이것이 지자기 유도전류(GIC)이다. 이렇게 유도된 전하는 송전선이나 송유관 등의 도체 구조물을 따라 흘러간다. 전기장의 크기는 V/km(킬로미터당 전압)의 단위로 측정되는데, 이런 전기장이 전력망에서 전압의 공급원 역할을 하게 된다. GIC의 주파수 변화는 전기장의 시간에 따른 변화의 정도에 따라 결정되지만, 종종 준-직류(quasi direct current)로 간주되기도 한다. GIC에 의해 지상의 장비나 시설이 영향을 받기 위해서는 유도 전류의 크기나 발생 주파수가 장비에 즉각 또는 누적해서 손상을 줄 수 있는 수준이어야 한다. 전력망에서의 GIC의 규모는 전력망의 전기적 특성과 기하학적 구조에 따라 결정된다.

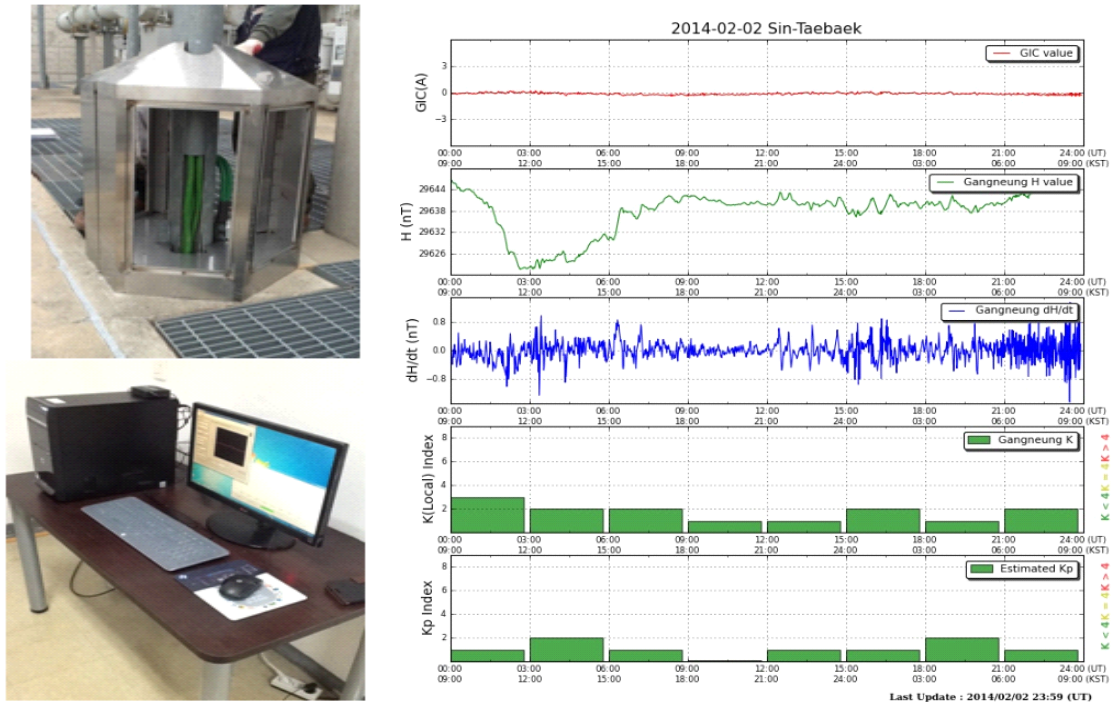
지자기 폭풍은 자기권과 전리층에서 대규모의 전류변화를 일으키며, 이에 따라 대규모 GIC의 원인이 된다. 수초에서 수시간에 걸친 변화가 대부분이며, 이 경우 유도과정은 상층 맨틀과 대륙권에 진행된다. 대규모 자기장 변화가 고 지자기 위도 지역에서 발생하기 때문에 GIC 측정시설들은 1970년대 이후부터 캐나다, 핀란드, 스칸디나비아의 고 지자기 위도 지방 전력망에서 지속적으로 측정되어 왔다. 기록된 GIC의 크기는 수십~수백 암페어 규모이다. 대규모 지자기폭풍 시에는 중위도 지방에서도 GIC가 관측된 기록들이 있으며, 저 지자기 위도 지역이 항상 안전한 것만은 아닌데, 특히 낮에 짧은 시간에 급격한 자기장 변화로 인한 지자기 폭풍이 발생할 경우가 그러하다.



[그림 6] 유도전류 발생 원리

우리나라는 지역별 지자기 변화에 따른 유도전류 연구를 위해 5곳의 유도전류 관측소와 별도 3곳에 설치된 지자기 관측소에서 얻어진 유도전류 및 지자기 관측자료를 수집하고 있다. 관측자료는 자료 처리 알고리즘으로 가공되어 유도전류 통합 모니터링 시스템을 통해 대외로 실시간 제공되며, 5곳의 유도전류 관측값 이외에 지자기 관측자료를 이용한 유도전류 예측값과 지자기 교란 지수(Kp 지수)를 같이 제공한다.

이론적으로 유도전류는 패러데이 법칙에 의해 단위 시간당 지구 자기장의 변화가 높을수록 유도전류의 크기도 높아지는 특징이 있다고 한다. 실제 국내의 지구 자기장(파란색) 및 유도전류(빨간색) 관측자료를 통해 지구 자기장 변화로 유도전류 발생(화살표)을 확인할 수 있었다. 유도전류는 지역의 지질학적 위치 및 대지저항, 변전소의 접지 저항, 변압기의 종류 등 다양한 외부 요소에 따라 상이하게 나타난다.



[그림 7] 유도전류 관측데이터

제3절 전리층 관측기 구성 및 관측데이터 특성

국립전파연구원은 1973년부터 전리층 관측기(DIGISONDE)를 이용하여 전리층을 관측하였다. 1973년~2009년까지는 안양에서 관측하였고 청사이전으로 인해 2010년부터 현재까지 이천에서 관측하고 있다. 또한 2009년부터 제주에 추가로 설치하여 현재까지 관측하고 있다.

우주전파센터에서 관측하고 있는 전리층 관측기(DIGISONDE)는 미국 로웰대학에서 개발된 것으로 세계적으로 가장 널리 쓰이는 전리층 관측기이다. DIGISONDE 관측기는 수직으로 전파를 송신 및 수신하여 전리층의 이온 밀도를 관측하는 원리로 기본적으로 레이더 기술을 이용한다.

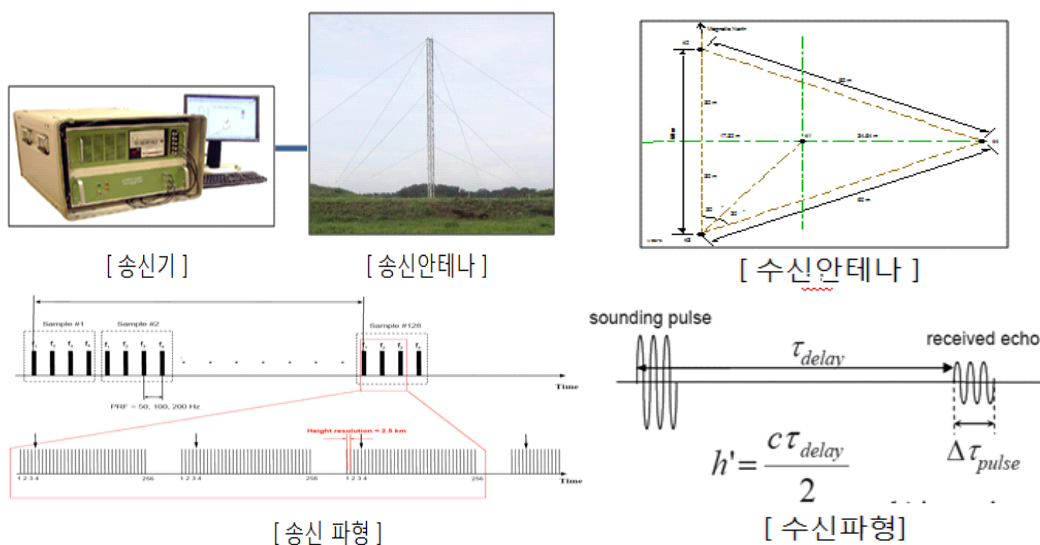


관측지점	관측기간	비고
안양	1973~2009	-
이천	2010 ~ 현재	2010년 안양에서 이천으로 이전
제주	2009 ~ 현재	2009년 신규설치

[그림 8] 전리층 관측기 구축 현황

가. 전리층 관측기 구성

전리층 관측기는 크게 송신기, 송신기안테나, 수신기, 수신안테나 등으로 구성되어 있다. 지상에서 1~30MHz 주파수의 펄스파를 순차적으로 송신하고 전리층에서 반사되는 펄스 신호를 수신하여 전리층 높이, 반사주파수 및 전자밀도를 분석한다. 1개 주파수는 256펄스를 포함하고 있으며, 전리층 높이는 $h' = \frac{c\tau_{delay}}{2}$, 전리층 전자밀도는 $f_c \approx 9\sqrt{N_{e_{max}}}$ 에 의해 산출된다. 여기서 h' 는 전리층 높이, c 는 전파속도로 3×10^8 이며, τ_{delay} 는 지연시간이다. 또한 f_c 는 반사주파수, $N_{e_{max}}$ 는 전자밀도를 나타낸다.

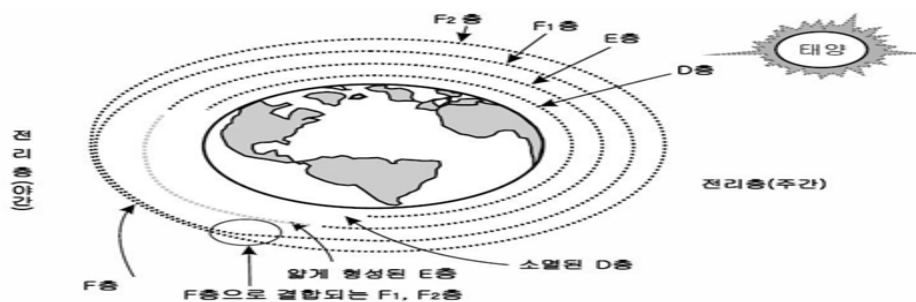


[그림 9] 전리층 관측기 구성

나. 전리층 관측데이터 특성

전리층(ionosphere)은 고도 80km부터 1000km에 형성된 층으로 태양으로부터 오는 자외선, 극자외선 및 X선 등이 자기력선을 따라 지구로 유입되어 지구 중성대기가 이온화되어 플라즈마 상태로 존재하는 영역이다. 전리층은 크게 D, E, F1, F2 층으로 분류되며 “층(layer)”은 고도에 따라 전리층의 전자밀도가 밀집한 곳이 존재함을 의미한다.

D층은 대체로 50~90km의 범위에 걸쳐 있는데, 주로 음이온으로 구성되어 있다. D층의 전자밀도는 매우 낮기 때문에 통과하는 전파에 크게 영향을 미치지 않는다. 그러나 태양의 활동이 증가하면 다른 층과 마찬가지로 D층의 전자밀도가 급격히 증가하여 전파가 E층이나 F층에 도달하기 전에 D층에서 반사되어 목표로 하는 수신점에 도달되지 않게 된다. 또한 전파가 전리층을 통과할 때 전자들은 전파의 전기장에 의해서 진동하게 된다. E층이나 F층에는 중성대기의 밀도가 낮기 때문에 전자는 진동하는 중에 공기분자와 거의 충돌하지 않는다. 그러나 D층은 대기밀도가 높아 쉽게 충돌하므로 전파 에너지를 소모시켜 신호 감쇠를 일으키게 된다. E층은 고도 90~160km 범위의 전리층으로 장파 이하 주파수를 가지는 전파만 반사하고 단파 이상의 주파수는 흡수 또는 통과시킨다. E층의 수직구조는 이온화와 재결합의 정도에 따라 결정되는데 일몰이후 점차적으로 사라지게 된다. 스포라딕 E층은 E층과 비슷한 높이인 100km 부근에서 불규칙적으로 발생하는 전리층으로 전자 밀도가 E층보다 높은 경우가 많으나 두께는 수km로 얇게 형성된다. 전파를 완전히 반사하는 경우와 부분적으로 반사하는 경우가 발생하는 등 반사형태가 확실히 밝혀지지 않았다. 스포라딕 E층은 지극히 국지적이며 위도별로 그 형태가 다르고 시간적 변화 상황도 달라 언제 어떻게 발생되며 사라지는지 아직 밝혀지지 않았다. 그러나 초단파의 경우 스포라딕 E층으로 인해 전파가 반사됨으로써 원거리에서 전파되어 전파혼신을 야기하게 된다. F층은 160km 이상의 고도에서 형성되는 전리층으로 자유전자 밀도가 가장 높게 형성된 층으로 주로 단파대를 반사시키게 된다. 낮 시간동안에는 F층이 F1층과 F2층으로 나뉘게 되고 밤 시간이 되면 F1층과 F2층이 결합하게 된다.

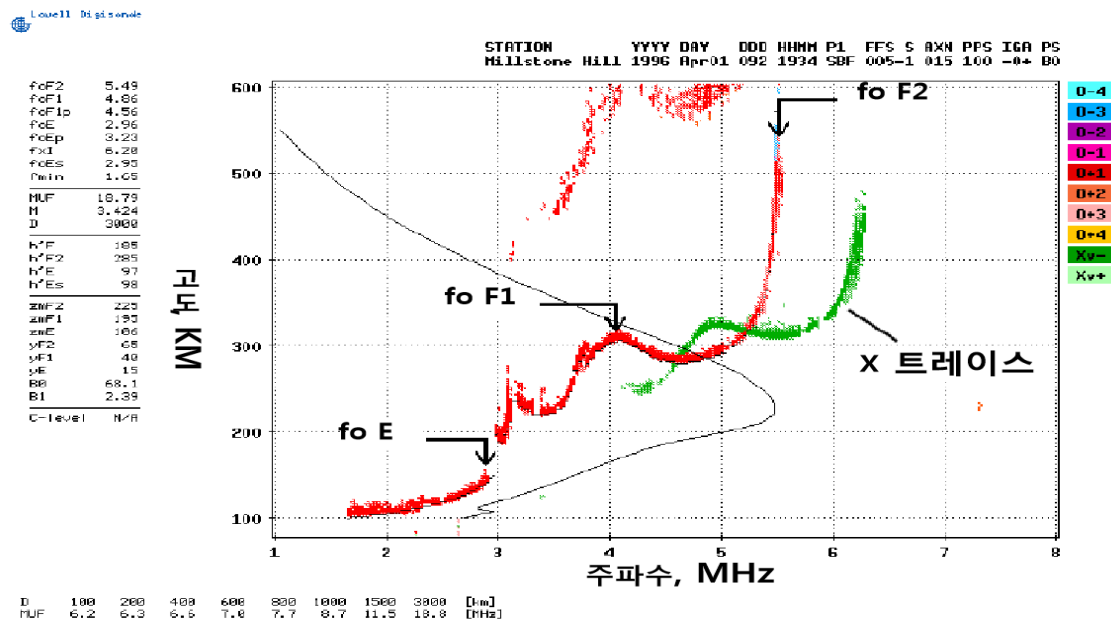


[그림 10] 전리층 구성

주어진 주파수에서 송신된 전파가 전리층의 특정 영역에서 반사되어 오는 전파를 수신하여 주파수의 특성과 이에 따른 전리층 플라즈마의 동조 주파수를 이용하여 높이에 따른 전리층의 전자 밀도를 계산하는 방식의 레이더이다.

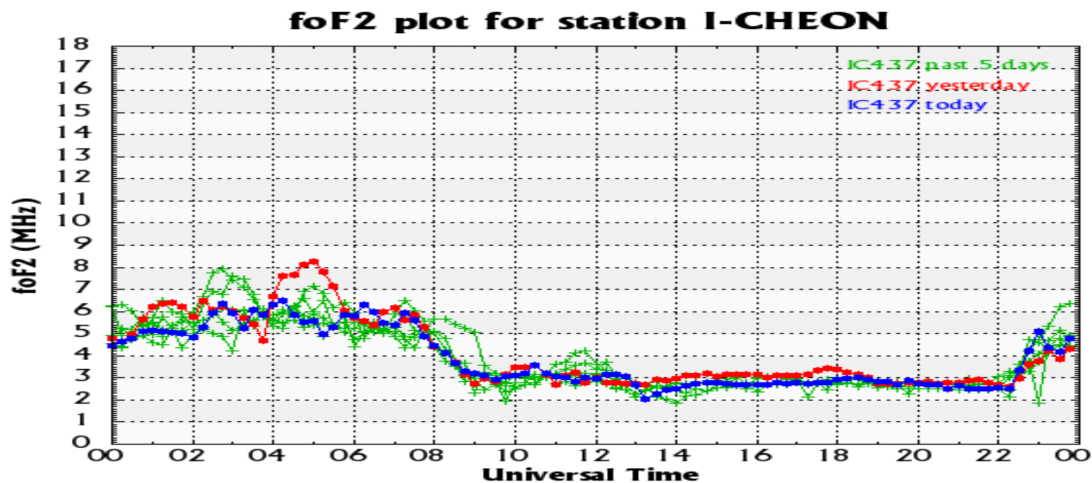
1~30MHz의 주파수를 스캔하여 차례로 송신하고 이에 따른 수신 전파를 분석하여 가상고도에 따른 플라즈마 밀도를 계산하며 모형 계산을 통해 가상고도에 해당하는 내용을 실제 고도로 변환한다. 이러한 변환작업을 통해 전리층 관측기는 최대밀도와 고도 NmF2, HmF2를 생성하며, 이 물리량은 전리층 관측기의 대표적인 물리량으로서 지역적인 전리층의 변화량의 기후학적 분석을 하는데 이용된다. 전리층 관측기는 관측 소프트웨어로 이오노그램을 사용한다.

이오노그램은 지상에서 발사한 전파의 주파수에 따른 도달시간을 그래프로 나타낸 것이다. 하지만 실제로는 특정한 층에서 반사되어 되돌아오는데 걸리는 시간이 결국 반사된 고도를 나타내는 것이므로 이오노그램을 보면 가로축이 주파수(MHz), 세로축이 고도(km)로 나타나는 경우가 많다. 그림11은 전리층 관측기에서 생성된 이오노그램 예를 나타낸 것이다.



[그림 11] 전리층 이오노그램

이러한 이오노그램에서 실제 우리가 관심 있는 파라미터는 foF2 값이다. 왜냐하면 전리층을 이용한 단파통신은 주로 F2층 반사를 이용하므로 우주전파센터에서는 FOf2 값을 모니터링하고 있다. 따라서 본 연구에서는 전리층의 다양한 파라미터 중에서 FOf2값에 대한 분석하여 데이터 신뢰범위를 산출하고자 한다. 그림은 우주전파센터에서 FOf2값에 대한 모니터링 화면이다.



[그림 12] 전리층 관측데이터 모니터링 화면

제4절 태양활동 수준관측기 구성 및 관측데이터 특성

태양은 모든 전자기파의 파장 대에서 그 에너지를 방출하고 있다. 태양에서 나오는 에너지의 절대 값을 예측하는데 필요한 전파를 결정하는 것은 태양이 지구에 미치는 우주전파환경의 영향을 정량적으로 예측하는데 매우 중요하며, 태양의 절대플럭스를 관측하는 대표적인 주파수는 2.8GHz이며, 우주전파센터에서는 2008년도 경기도 이천에 설치하여 관측하고 있었다. 이러한 관측기는 캐나다, 일본, 미국 등에서도 동일 주파수대를 관측하고 있다.

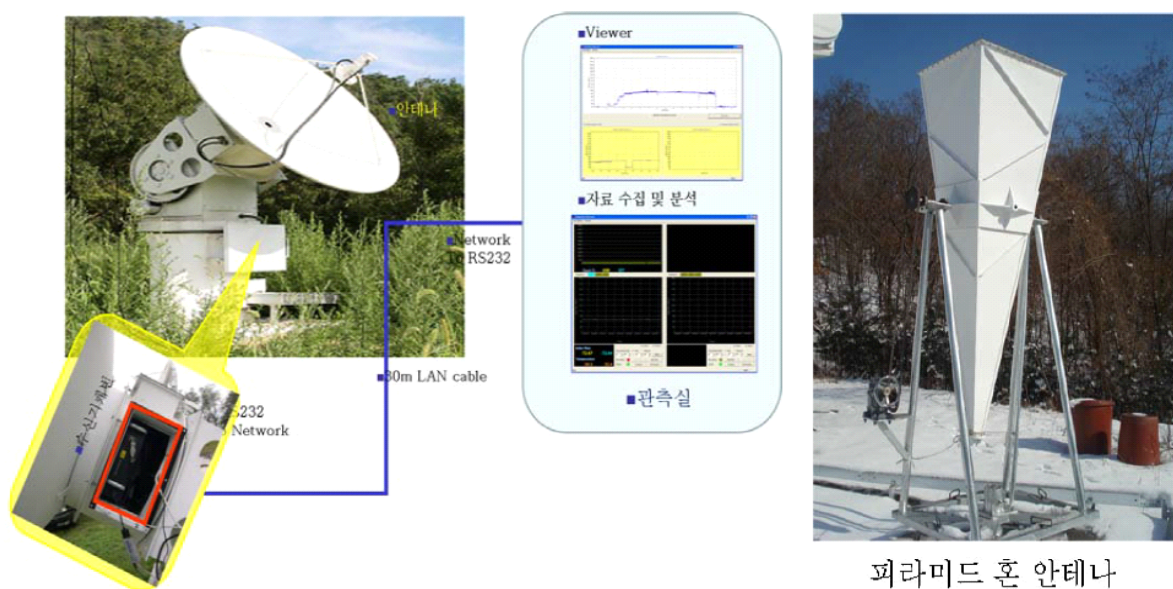


[그림 13] 태양활동 수준관측기

가. 태양활동 수준관측기 구성

태양활동 수준관측기는 안테나 반사판, 안테나 피드혼, 안테나 포스트, 방위각 구동장치,仰각 구동 장치로 구성되어 있다. 안테나 포스트는 수평 및 수직

이동시 자체 하중 및 허용 풍속내의 태풍으로 인하여 곡면 오차가 운용상 지장이 없도록 설계되었으며, 방위각 구동장치는 안테나를 좌, 우로 구동 시킬 수 있는 장치이다. 그리고 양각 구동장치는 안테나를 상, 하로 구동 시킬 수 있는 장치이다. 혼 안테나로부터 수신된 태양전파는 LNA를 통해 증폭하여 검출을 한 후 V/F를 거쳐 펄스로 변환한다. 마이크로프로세서는 이 신호를 받아 RS-232 케이블을 통해 관측 PC로 보내게 된다.



[그림 14] 태양활동 수준관측기 구성

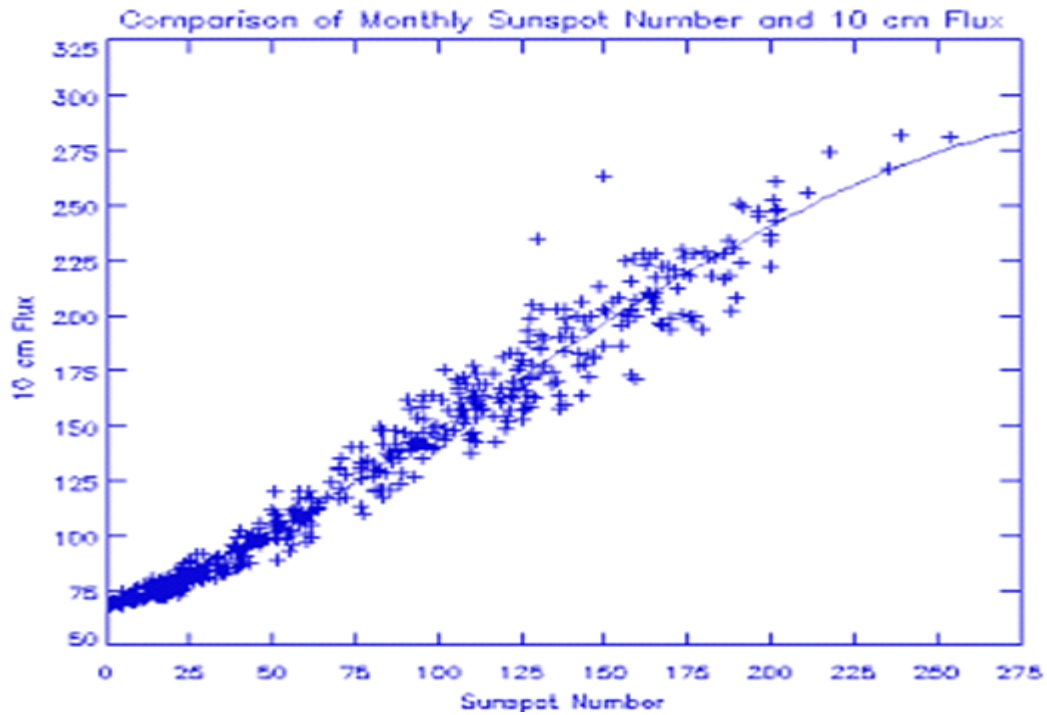
나. 태양활동 수준관측기 데이터 특성

2.8GHz 태양전파 관측은 태양 X-ray 등 지상에서 관측할 수 없는 다양한 태양활동 현상의 간접 관측 효과를 나타낸다. 또한 태양흑점, 전리층 및 지자기의 변화와 상관관계가 매우 높아 우주전파환경 연구에 필수적이다. 아래 그림 4-1은 2.8GHz 태양절대 플럭스와 태양 흑점수와의 관계를 보여준다. 가로축은 태양흑점수를 나타내며 세로축은 2.8GHz태양절대 플럭스로 잘 일치하고 있다. 그림에서 보여주듯이 흑점관측기를 이용한 흑점 수 결정은 흑점의 크기나 모양 등이 관측자의 주관에 의해 판단되고 관측기와 관측기술에 따라 변할 수 있다. 그러나 2.8GHz태양절대 플럭스는 상대적으로 쉽고 빠르게 결정될 수 있으며 다양한 목적으로 태양활동 지수로서 사용될 수 있다. 또한 흑점수와 플럭스 세기와의 관계는 아래와 같다.

$$F(\text{플럭스의 세기}) = 67.0 + 0.572R + (0.5757R^2) - (0.0209R)^3$$

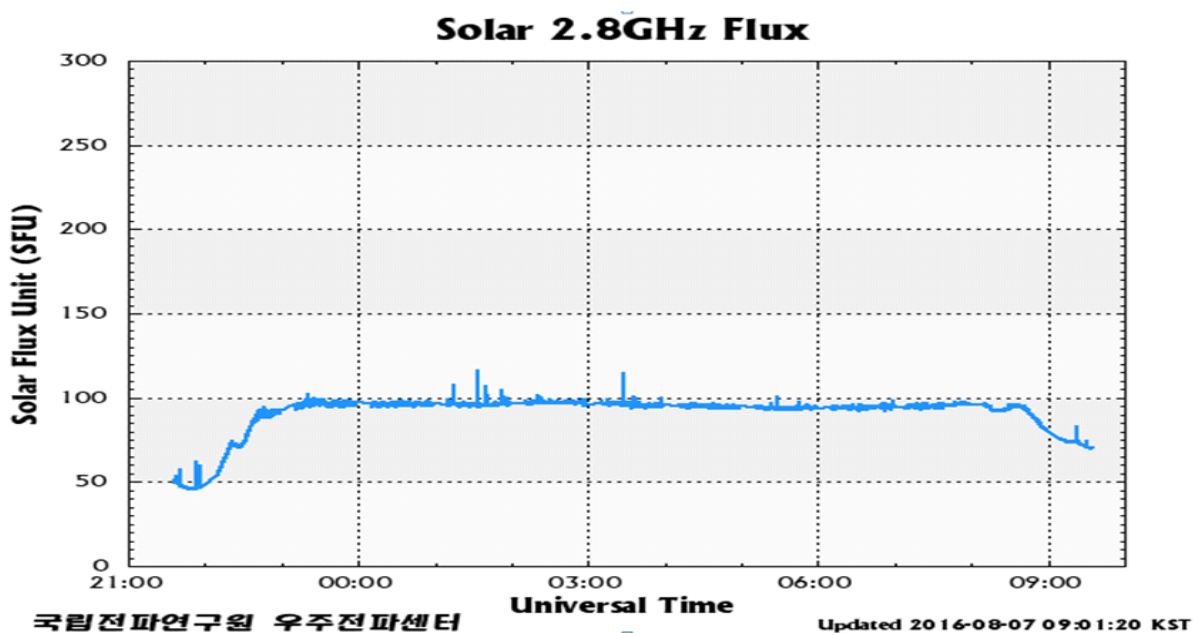
$$R(\text{흑점수}) = 1.61FD - (0.0733Fd)^2 + (0.024FD)^3$$

여기서 $FD = F(\text{플럭스의 세기}) - 67.0$ 이다.



[그림 15] 태양 흑점수와 FLUX 관계

그림은 태양활동 관측기의 1일 관측데이터이다. 관측은 일출 이후 시작되며 일몰 이후에 멈추게 된다. 관측데이터는 태양으로부터 지구로 유입되는 2.8GHz 대역에서의 SFU값으로 표시하게 된다.



[그림 16] 태양활동 수준관측기 관측데이터 모니터링 화면

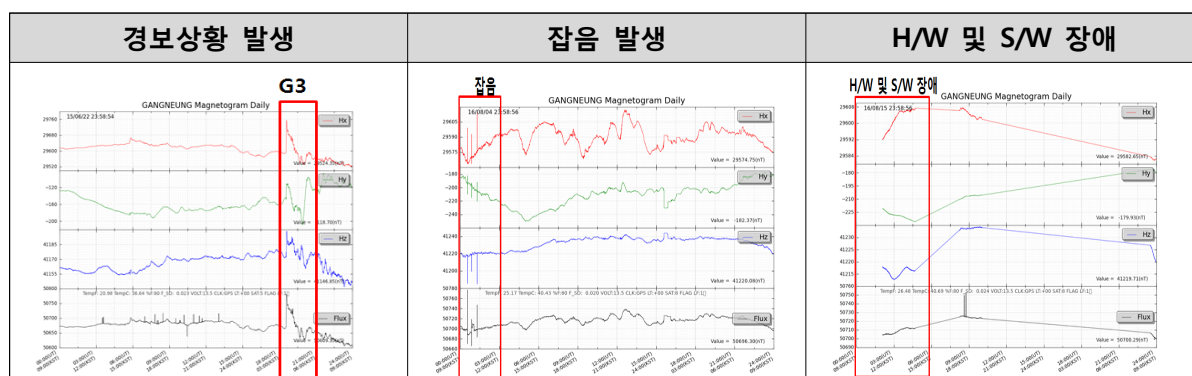
제3장 관측시설별 관측데이터 신뢰범위 산출

본 연구에서는 우주전파센터에서 운용 중인 지자기 관측기, 유도전류 관측기, 전리층 관측기, 태양활동 수준관측기 등 4종 관측기에 대한 관측데이터 신뢰범위를 산출하였다. 관측데이터 신뢰범위 산출을 위해 관측기별 H/W 및 데이터 특성을 분석하였고 우주전파환경 경보, 잡음, H/W 및 S/W 장애 등 비정상적인 상황에서 데이터 변화 특성을 분석하였다. 그리고 관측데이터 장기 변화 특성을 파악하기 위해 최근 3년 데이터를 분석하고 해외 분석사례와 비교하였으며, 신뢰범위 산출을 위해 지난 1년 관측데이터를 상세 분석하였다.

제1절 지구자기장 관측데이터 신뢰범위 산출

가. 관측 장애 시 데이터 특성

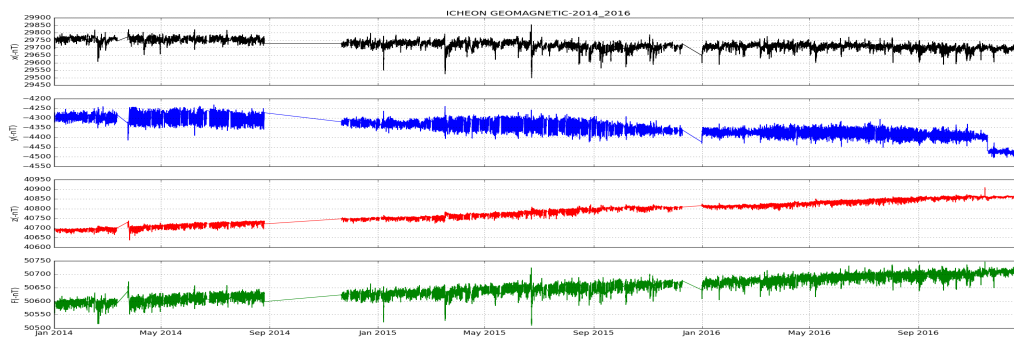
관측 장애 시 크게 3가지 경우의 데이터 특성을 갖는다. 첫 번째는 지자기경보가 발생할 경우, 두 번째는 수신시스템에 잡음이 유입된 경우, 마지막 세 번째는 H/W 및 S/W 장애가 발생할 경우이다. 표는 각 상황에 따른 관측데이터 변화 특성을 나타낸다. 먼저 첫 번째인 지자기 경보가 발생한 경우는 그림과 같이 지자기 3단계에서 관측데이터 X, Y, Z, F값이 급격히 상승하고 하강할 때는 일정시간을 가지는 특징이 있다. 또한 경보단계가 클수록 관측데이터는 높은 값을 가지면 하강 시간도 오래 지속된다. 두 번째, 잡음이 발생한 경우는 그림과 같이 지자기 경보와는 다르게 데이터 값이 상승과 하강하지 않고 순간적으로 뛰는 값으로 관측된다. 이러한 잡음이 발생하는 이유는 주변에 사람이 침입 하거나 자동차가 지나가는 등 주변 환경 변화에 의해 발생한 것이다. 마지막 세 번째는 관측시설의 H/W 또는 S/W 장애가 발생한 경우로, 이 경우 관측데이터가 전혀 수신되지 않거나 관측 도중 데이터가 나타나지 않는 현상으로 나타난다.



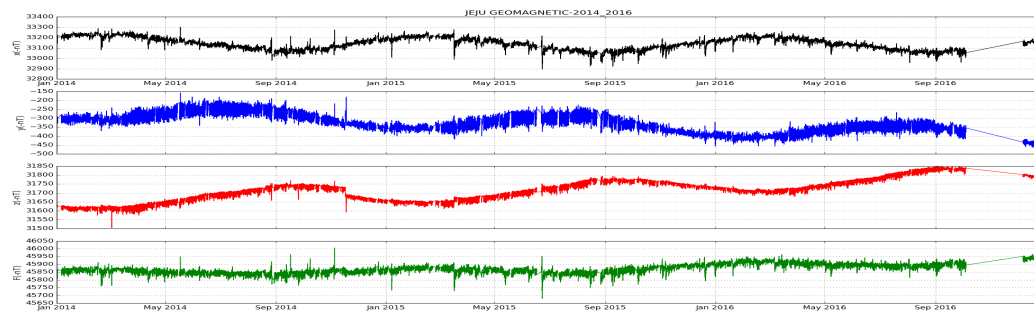
[그림 17] 지자기 관측 장애 시 데이터 특성

나. 지자기 관측데이터 신뢰범위 산출

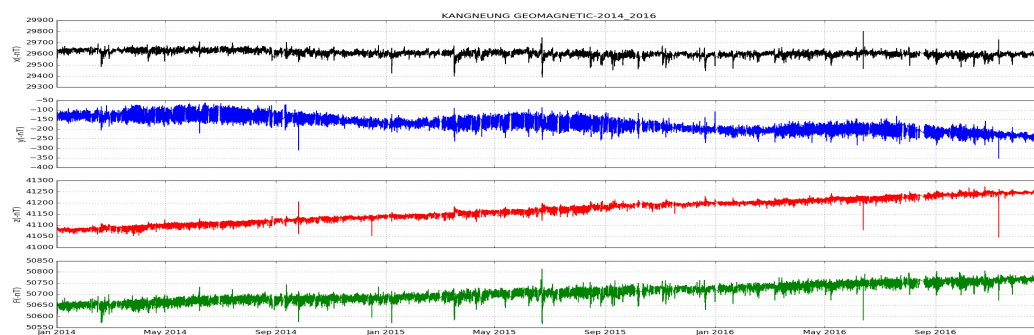
우주전파센터에서 운용중인 지자기 관측기는 이천, 제주, 강릉 등 3곳에서 운용하고 있으며, 본 연구를 통해 각각의 관측기에 대한 관측데이터 신뢰범위를 산출하고자 한다. 지자기 관측데이터 관측주기는 1초이고 관측 파라미터는 X, Y, Z, F 값이다. 먼저 지자기 관측데이터의 장기 변화를 분석하기 위해 최근 3년간 데이터에 대한 1분 평균값을 산출하였다. 분석결과 그림과 같이 X, Y, Z, F 값이 연간 변화가 있는 것을 알 수 있다. 연도별로 X, Y값은 작아지고 Z축 값은 점진적으로 커지는 것으로 나타났다.



[그림 18] 이천 지자기 관측데이터 년 변화 특성

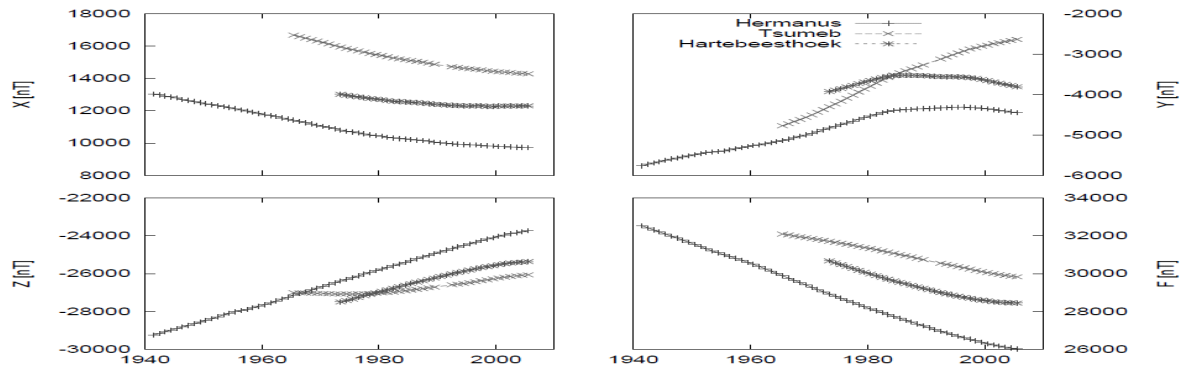


[그림 19] 제주 지자기 관측데이터 년 변화 특성



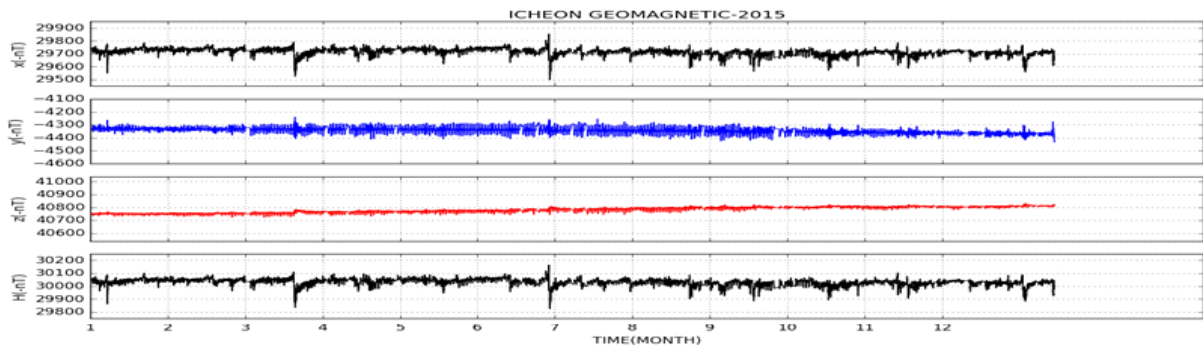
[그림 20] 강릉 지자기 관측데이터 년 변화 특성

이러한 변화 특성에 대한 해외사례를 조사하였다. 그림은 독일 지구연구센터(GFZ Potsdam)에서 2011년에 발간한 과학기술보고서에서 발표된 내용으로 독일 지구연구센터에서 운영 중인 지자기 관측기에 대한 관측데이터 년 변화값을 나타낸다. 그림에서는 3개 관측소(Hermanus, Tsumeb, Hartebeesthoek)에서는 각 관측소별 연간 변화 추이가 우리나라와 각 성분값이 조금은 다르지만 연간 변화 현상 자체는 명확히 나타남을 알 수 있다.

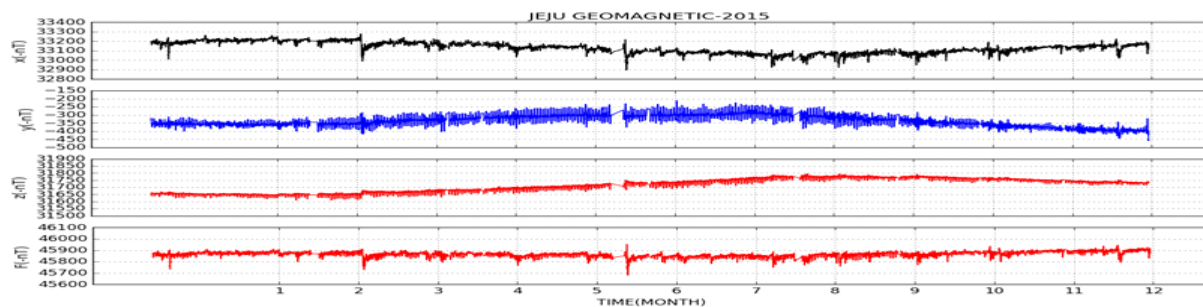


[그림 21] 독일 지구연구센터(GFZ Potsdam)의 지자기 관측데이터 년 변화 특성

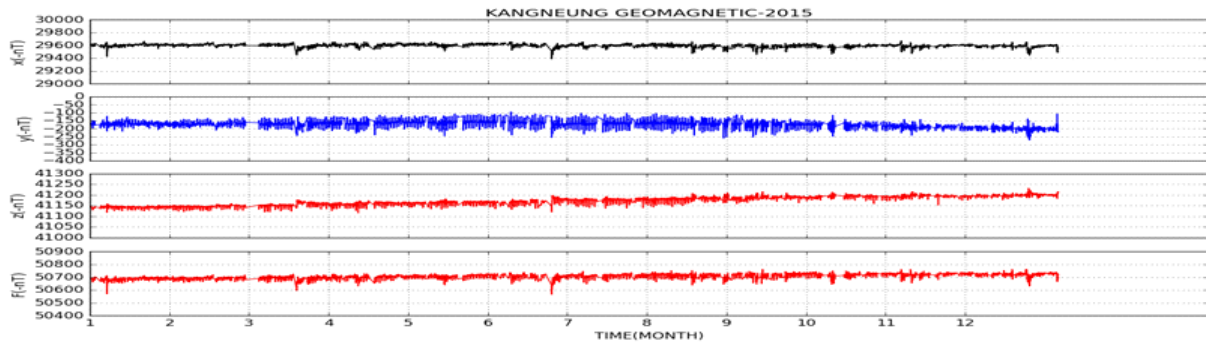
따라서 지자기 관측데이터 신뢰범위 산출을 위해 그림과 같이 지난 1년(2015년) 관측데이터에 대해 1분 평균값을 산출하였다.



[그림 22] 이천 지자기 관측데이터 신뢰범위



[그림 23] 제주 지자기 관측데이터 신뢰범위



[그림 24] 강릉 지자기 관측데이터 신뢰범위

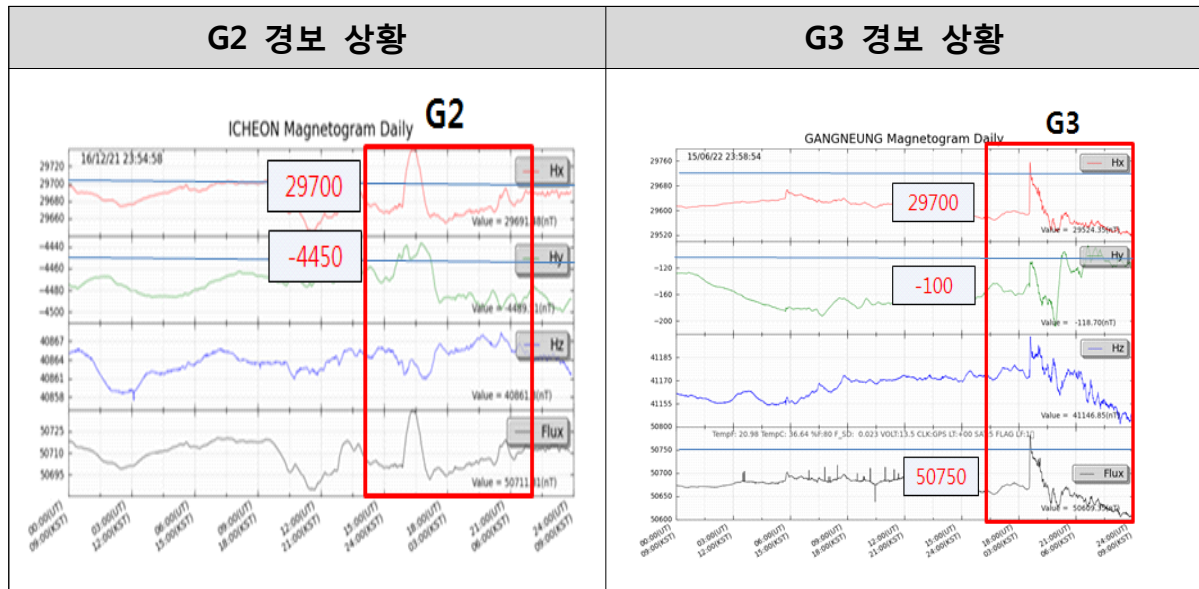
표는 이천, 제주, 강릉 관측소의 2015년 기준으로 관측데이터 신뢰범위를 나타낸 것이다. 각 관측소의 X값은 300~400nT, Y값은 150~250nT, Z값은 150~200nT, F값은 200~300nT 범위의 신뢰범위를 갖는다. 그러나 지자기는 지속적으로 변화하고 있으므로 신뢰범위는 매년 1년간 데이터를 분석하여 적용하여야 할 것이다.

[표 2] 지자기 관측데이터 신뢰범위

구분	이천	제주	강릉
X	29400nT ~ 29700nT (300nT)	32900nT ~ 33300nT (400nT)	29400nT ~ 29700nT (300nT)
Y	-4450nT ~ -4200nT (250nT)	-450nT ~ -200nT (250nT)	-250nT ~ -100nT (150nT)
Z	40700nT ~ 40850nT (150nT)	31600nT ~ 31800nT (200nT)	41100nT ~ 41250nT (150nT)
F	50500nT ~ 50750nT (250nT)	46000nT ~ 45700nT (300nT)	50550nT ~ 50750nT (200nT)

다. 우주전파환경 정보상황에 관측데이터 신뢰구간 적용

지자기 관측데이터 신뢰범위를 지자기 정보상황에 적용시켜 데이터 변화 모니터링 가능 여부를 검토하였다. 그림과 같이 지자기 2단계와 3단계 상황에서 기준값을 실제 관측데이터 모니터링 화면에 적용하였다. 지자기 2단계(G2) 상황에서 이천 관측값을 적용한 결과, X값의 경우 신뢰범위보다 약 40nT, Y값은 18nT를 초과하였으나, Z값과 F값은 신뢰범위 이내에서 관측되었다. 또한 지자기 3단계(G3) 상황에서 강릉 관측값을 적용한 결과, X값의 경우 신뢰범위보다 약 60nT, Y값은 약 20nT, F값은 40nT를 초과하였으나 Z값은 신뢰범위 이내에서 관측되었다.

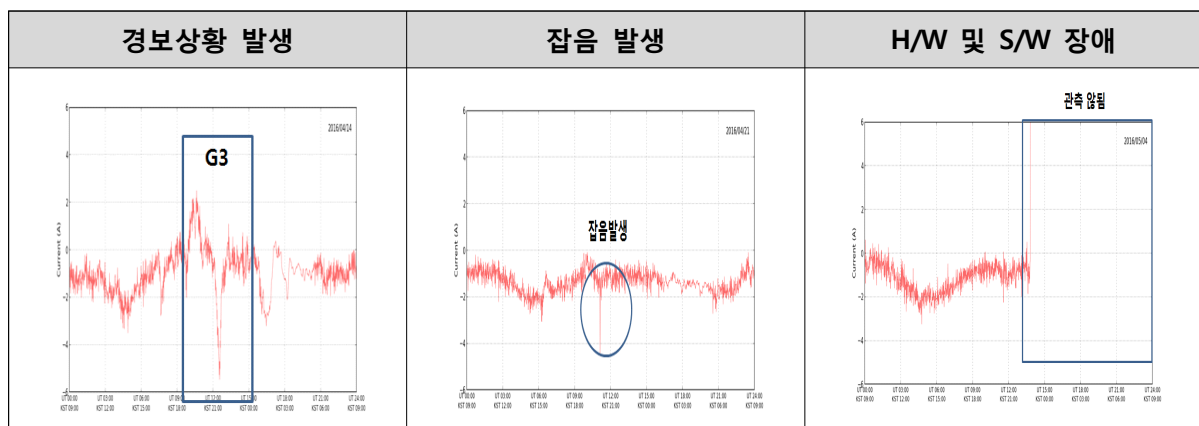


[그림 25] 경보상황에 따른 지자기 데이터 신뢰범위 적용

제2절 유도전류 관측데이터 신뢰범위 산출

가. 관측 장애 시 데이터 특성

유도전류 관측 장애 시 지자기 관측데이터와 유사하게 경보상황, 잡음, H/W 및 S/W 장애 등 3가지 유형으로 나타난다. 첫 번째 경우인 지자기 경보시 그림과 같이 유도전류는 순간적으로 상승하거나 하강 하며, 경보단계가 높을수록 변화폭이 크게 나타나며, 두 번째 경우인 잡음발생시 관측데이터는 순간적으로 뛰는 값으로 나타나고 세 번째 경우인 H/W 및 S/W 장애 시 관측데이터가 수집되지 않게 된다.

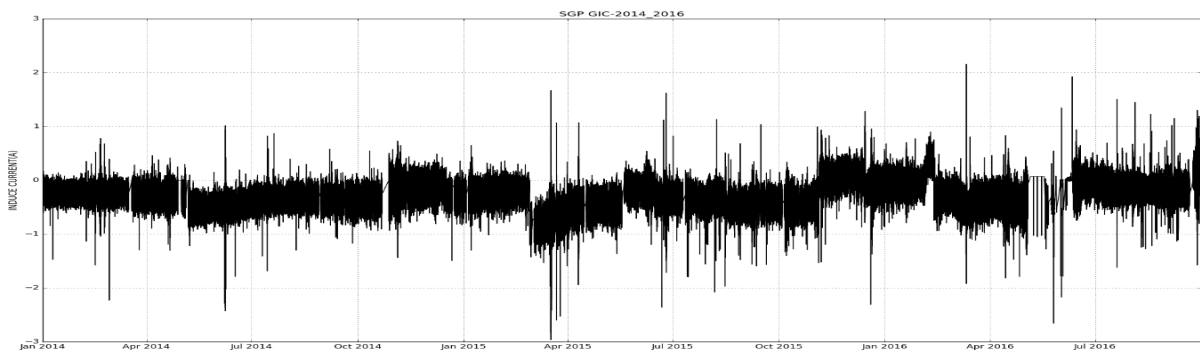


[그림 26] 유도전류 관측 장애 시 데이터 특성

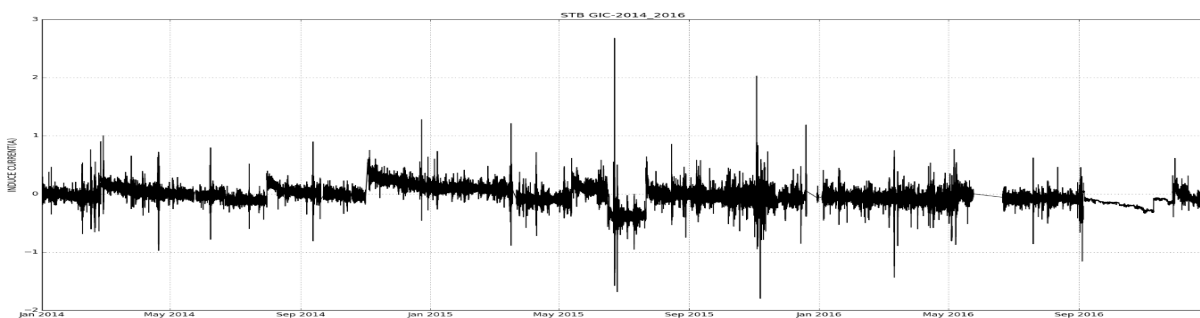
나. 유도전류 관측데이터 신뢰범위 산출

우주전파센터에서 운용중인 유도전류 관측기는 신가평, 신태백, 신미금 등 3곳 관측소 데이터에 대한 신뢰범위를 산출하고자 한다. 관측데이터 관측주기는 1초이고 관측 파라미터는 유도전류 값(A)이다. 먼저 유도전류 관측데이터의 장기 변화를 분석하기 위해 최근 3년간 데이터에 대한 1분 평균값을 산출하였으며, 신뢰구간 산출을 위해 1년(2015년) 평균값을 분석하였다.

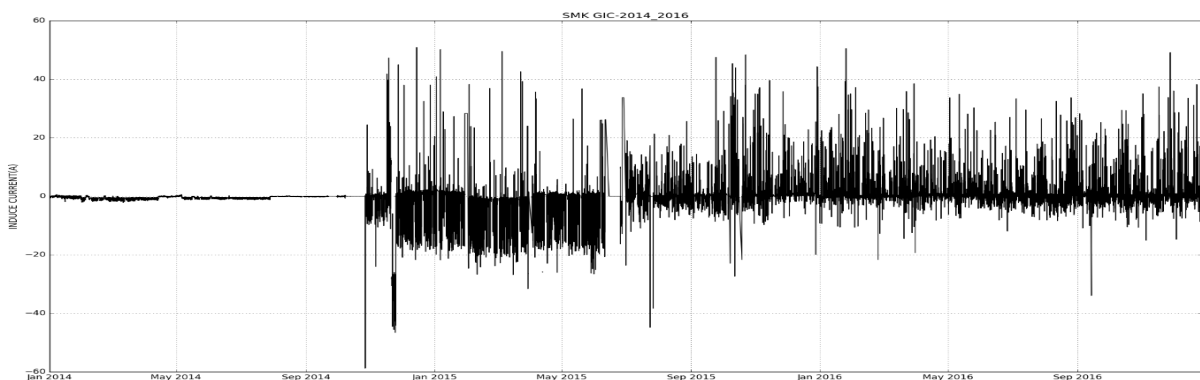
먼저 최근 3년간 데이터 분석결과, 그림27에서와 같이 신가평 관측소 데이터는 -2A ~ 1A에서 관측되고 있으며, 그림28은 신태백 관측소 데이터는 -1A ~ 1A에서 관측데이터가 분포하고 있으며, 그림29는 신태백 관측소 데이터는 2015년에는 -20A ~ 20A에서 분포하는 것으로 나타났다.



[그림 27] 신가평 유도전류 관측데이터 년 변화 특성

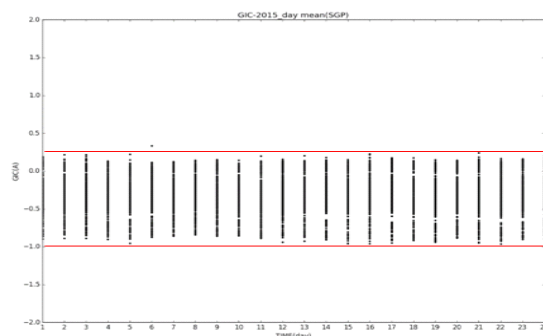
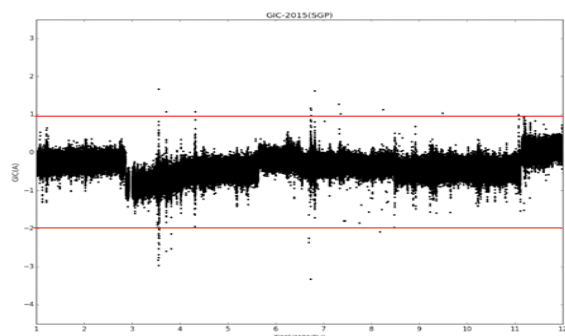


[그림 28] 신태백 유도전류 관측데이터 년 변화 특성

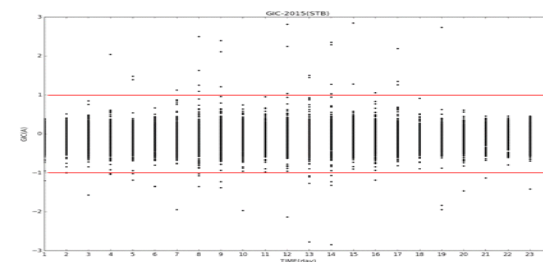
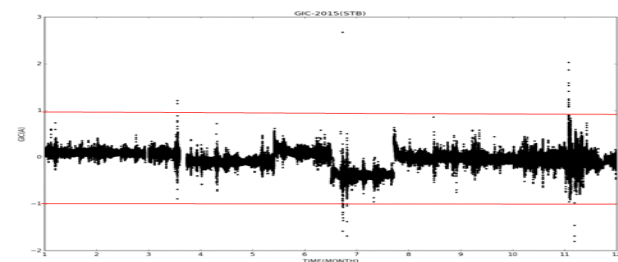


[그림 29] 신미금 유도전류 관측데이터 년 변화 특성

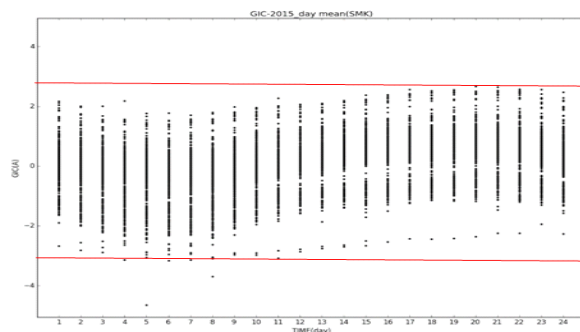
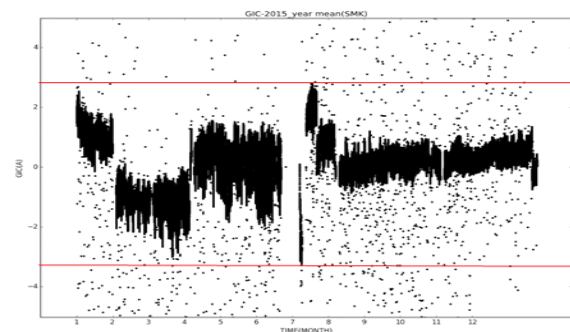
관측데이터 신뢰구간을 산출하기 위해 최근 1년(2015년) 관측데이터를 1분 평균값과 1시간 평균값을 산출하여 분석하였다. 분석결과, 신가평 데이터는 $-2A \sim 1A$, 신태백 데이터는 $-1A \sim 1A$, 신미금 데이터는 $-3A \sim 3A$ 에서 주로 분포하는 것으로 나타났다.



[그림30] 신가평 유도전류 관측데이터 신뢰범위



[그림31] 신태백 유도전류 관측데이터 신뢰범위

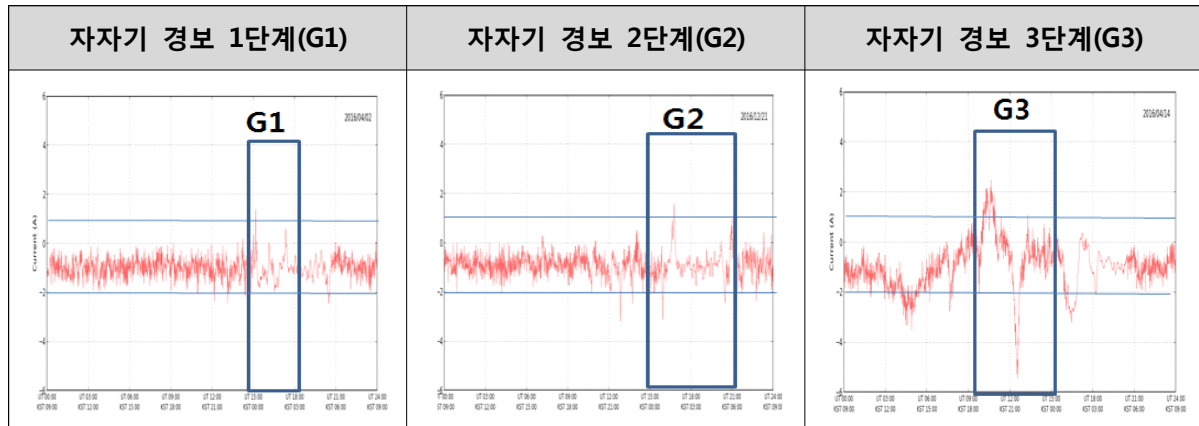


[그림32] 신미금 유도전류 관측데이터 신뢰범위

다. 우주전파환경 정보상황에 관측데이터 신뢰구간 적용

유도전류 관측데이터 신뢰범위를 지자기 정보상황에 적용시켜 데이터 변화 모니터링 가능 여부를 검토하였다. 그림과 같이 지자기 2단계와 3단계 상황에서 기준값을 실제 관측데이터 모니터링 화면에 적용하였다. 지자기 2단계(G2) 상황에서 이천 관측값을 적용한 결과, X값의 경우 신뢰범위보다 약 $40nT$, Y값은 $18nT$ 를 초과하였으나, Z값과 F값은 신뢰범위 이내에서 관측되었다. 또한 지자기 3단계

(G3) 상황에서 강릉 관측값을 적용한 결과, X값의 경우 신뢰범위보다 약 60nT, Y값은 약 20nT, F값은 40nT를 초과하였으나 Z값은 신뢰범위 이내에서 관측되었다.



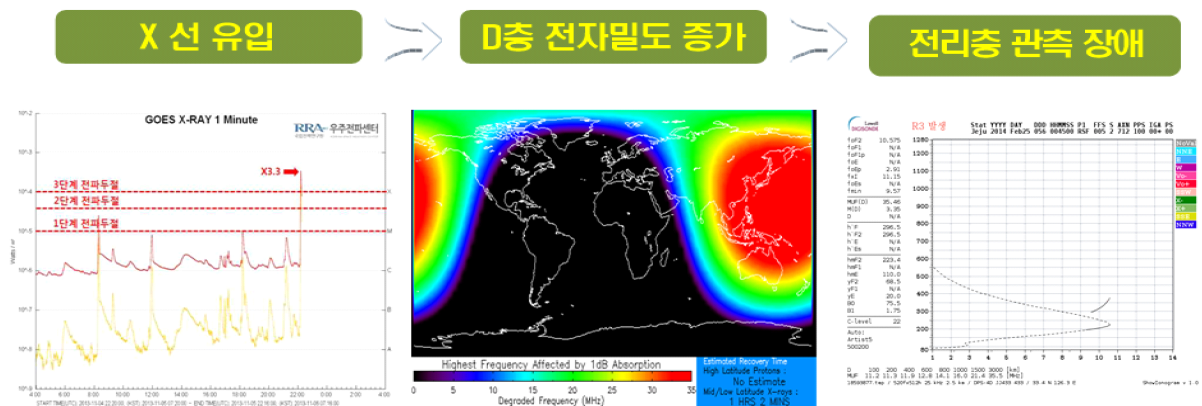
[그림 33] 경보상황에 따른 유도전류 신뢰범위 적용

제3절 전리층 관측데이터 신뢰범위 산출

가. 관측 장애 시 데이터 특성

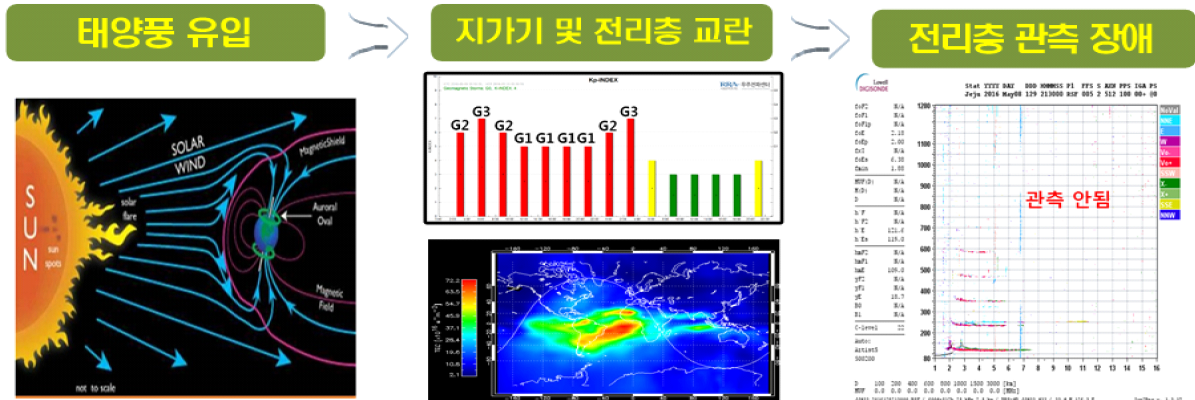
전리층 관측 장애 시 데이터는 3가지 경우가 있다. 첫 번째는 전파두절 및 지자기 경보가 발생할 경우, 두 번째는 스포라딕 E층이 발생한 경우이며, 마지막 세 번째는 H/W 및 S/W 장애가 발생할 경우이다.

먼저 첫 번째인 전파두절 경보가 발생한 경우, 그림과 같이 태양으로부터 강력한 X선이 지구로 유입되게 되고 이로 인해 D층의 전자밀도가 급격히 증가하게 된다. 따라서 단파대역 관측주파수는 E층 또는 F층 까지 전파가 도달되지 못하고 D층에서 흡수되게 되어 반사되어 돌아오는 전파가 없어 관측이 되지 않게 된다.



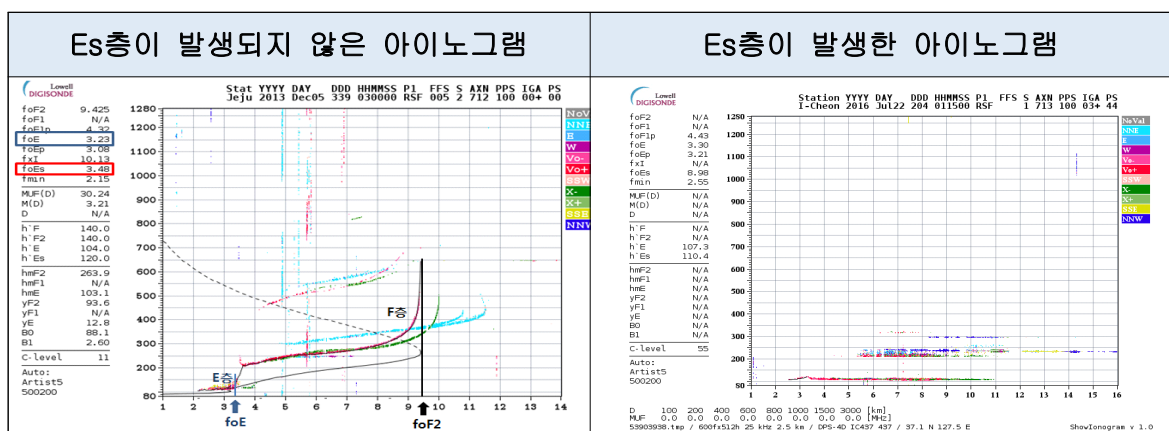
[그림 34] 전파두절 경보에 의한 전리층 관측 장애

또한 지자기 경보가 발생하게 되면, 그림과 같이 태양으로부터 지구로 태양풍이 유입되고 이로 인해 지구자기장이 교란으로 전리층이 교란하게 된다. 이러한 전리층 교란은 수일간 간헐적으로 전리층 관측에 장애를 일으킨다.



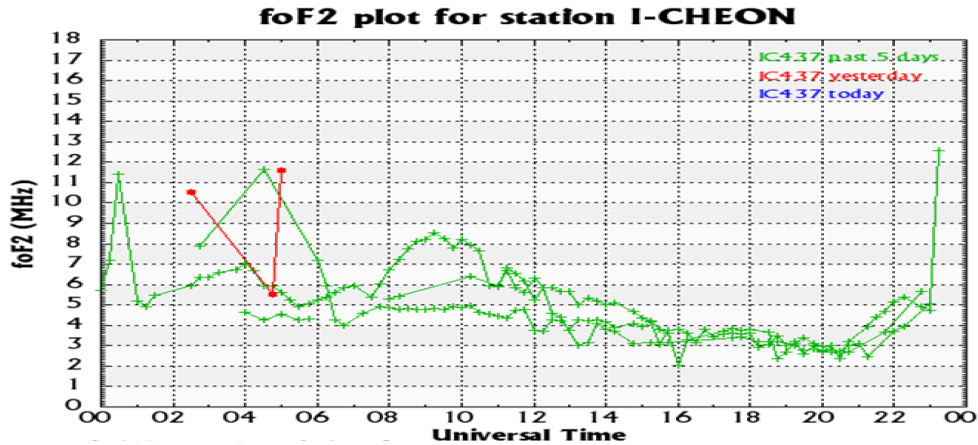
[그림 35] 지자기 경보에 의한 전리층 관측 장애

두 번째인 경우, 스포라딕 E층(Es층)이 발생한 경우이다. Es층은 E층보다 2~3배 높은 전자밀도로 일시적이며 국지적으로 나타나는 현상으로 지속시간은 수십 분에서 수 시간 지속된다. Es층 발생원인은 E층에서 발생한 바람(Wind Shear)에 의해 중성입자가 이온화되어 발생되나, Wind Shear의 발생원인은 아직 밝혀지지 않고 있다. 지금까지 밝혀진 Wind Shear 현상은 다량의 중성입자를 가진 바람이 위쪽(남서방향)과 아래쪽(북서바람)의 서로 다른 방향으로 발생하게 되면, 바람의 속도에 의해 중성입자가 이온으로 분리되어 지구자기장 방향으로 이동하여 중간 영역에 모여 Es층에 전자밀도가 집중되게 된다. 그림은 Es층이 발생하지 않은 경우 전리층 관측자료와 Es층이 발생한 경우의 전리층 관측 자료이며, Es층 발생으로 인해 F층 관측에 장애를 발생한 예이다.



[그림 36] 스포라딕 E층 발생에 따른 관측데이터 특성

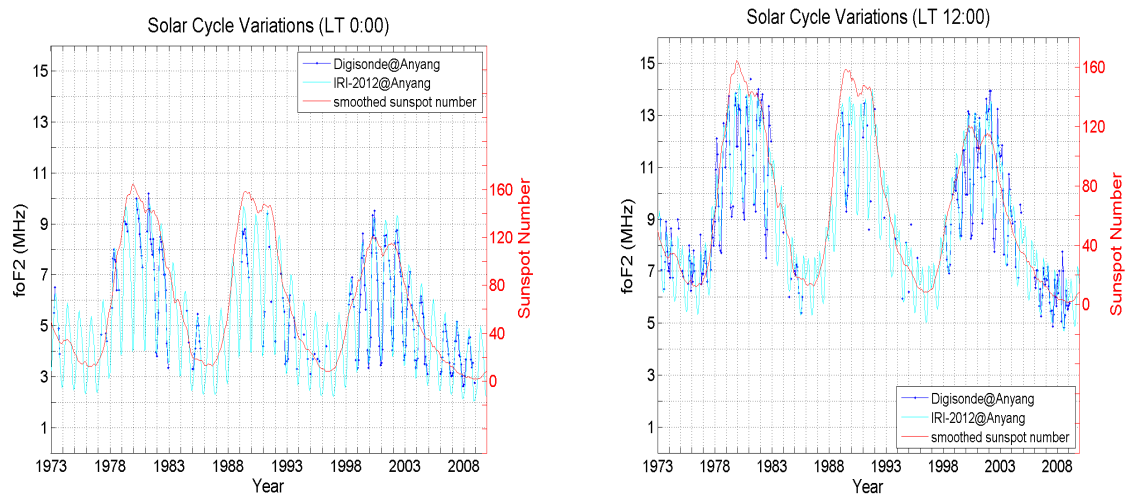
마지막으로 세 번째 경우는 H/W 및 S/W 장애로 관측에 장애를 일으킨 경우이다. 이 경우 관측데이터가 전혀 수신되지 않거나 관측 도중 데이터가 나타나지 않는 현상으로 나타난다.



[그림 37] H/W 및 S/W 장애로 인한 관측데이터 특성

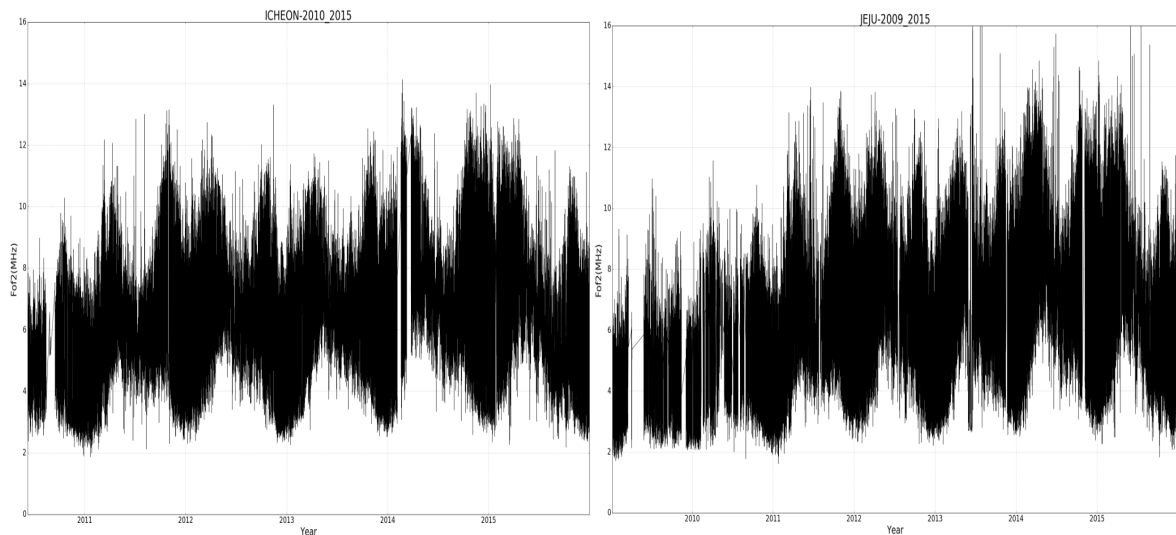
나. 전리층 관측데이터 신뢰범위 산출

전리층 데이터는 태양활동 변화에 의한 이온화 정도에 따라 시간대별, 계절별, 태양활동 주기에 따라 지속적으로 변화한다. 먼저 국내지역에 대한 전리층 장기 변화를 분석하기 위해 안양 관측소 데이터 1973년 ~ 2008년까지 0시와 12시의 Fof2값과 흑점수를 비교 분석하였다. 태양활동은 주기 11년 주기로 극대기와 극소기로 반복해서 나타나며, 이를 나타내는 값이 흑점수이다. 따라서 약 31년간 Fof2 값의 변화가 흑점수와 비교한 결과, 유사한 변화 추이를 갖는 것을 확인할 수 있었다.



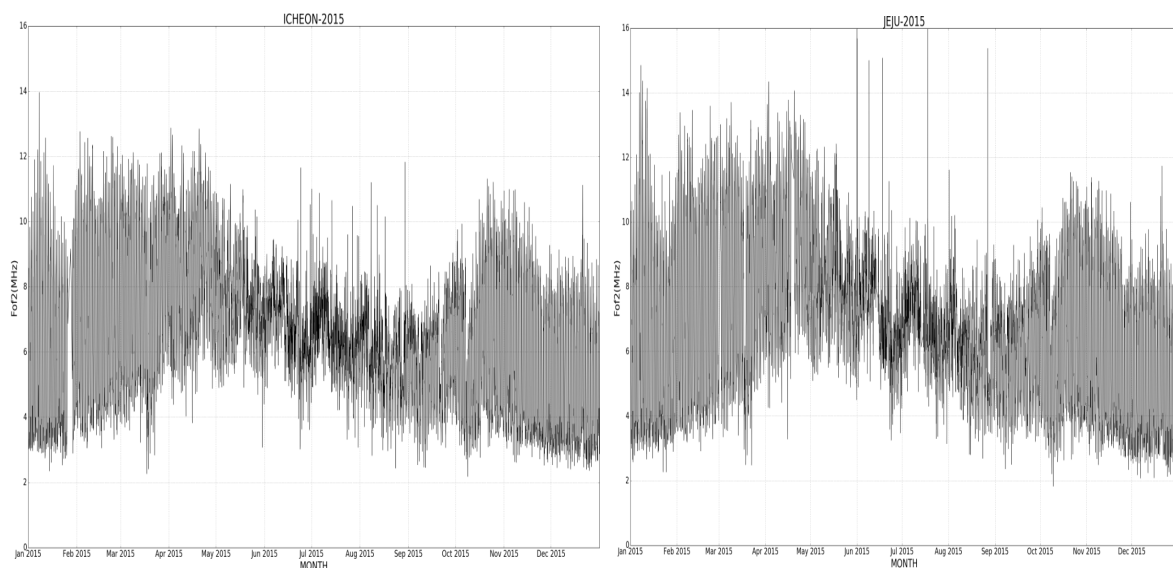
[그림 38] 전리층 관측데이터 년 변화 특성

또한 최근 5년간 이천과 제주 전리층 데이터를 그림 39와 같이 분석하였다. 분석방법으로 1시간 평균 데이터를 시계열로 표출하였다. 분석결과 2010년부터 Fof2값이 점차 증가하다가 태양활동 극대기인 2013년 이후 Fof2값이 낮아지는 현상이 나타났다. 따라서 태양활동의 강도에 따라 관측값인 Fof2값이 변화함을 알 수 있다.



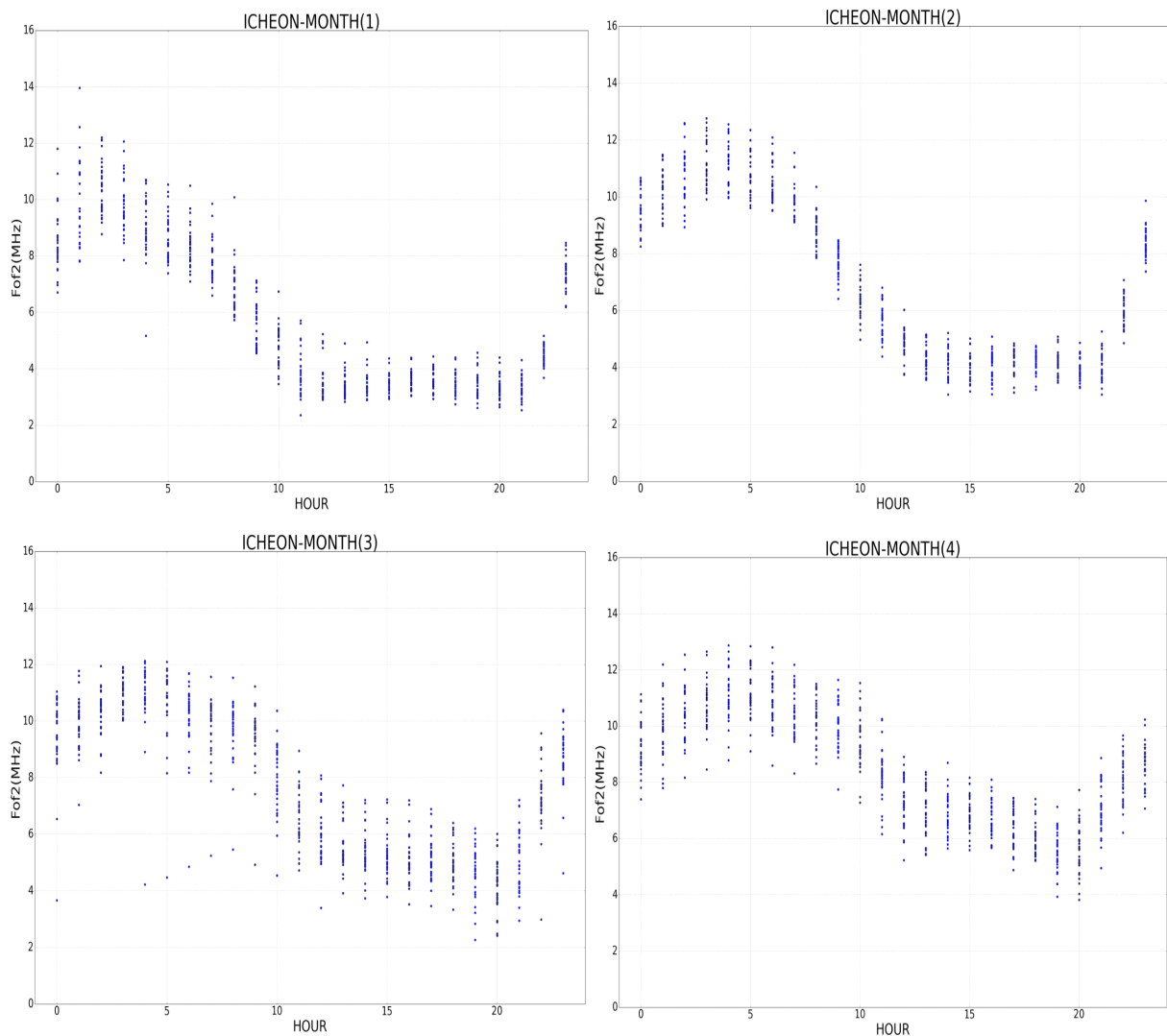
[그림 39] 이천 및 제주 전리층 관측데이터 년 변화 특성

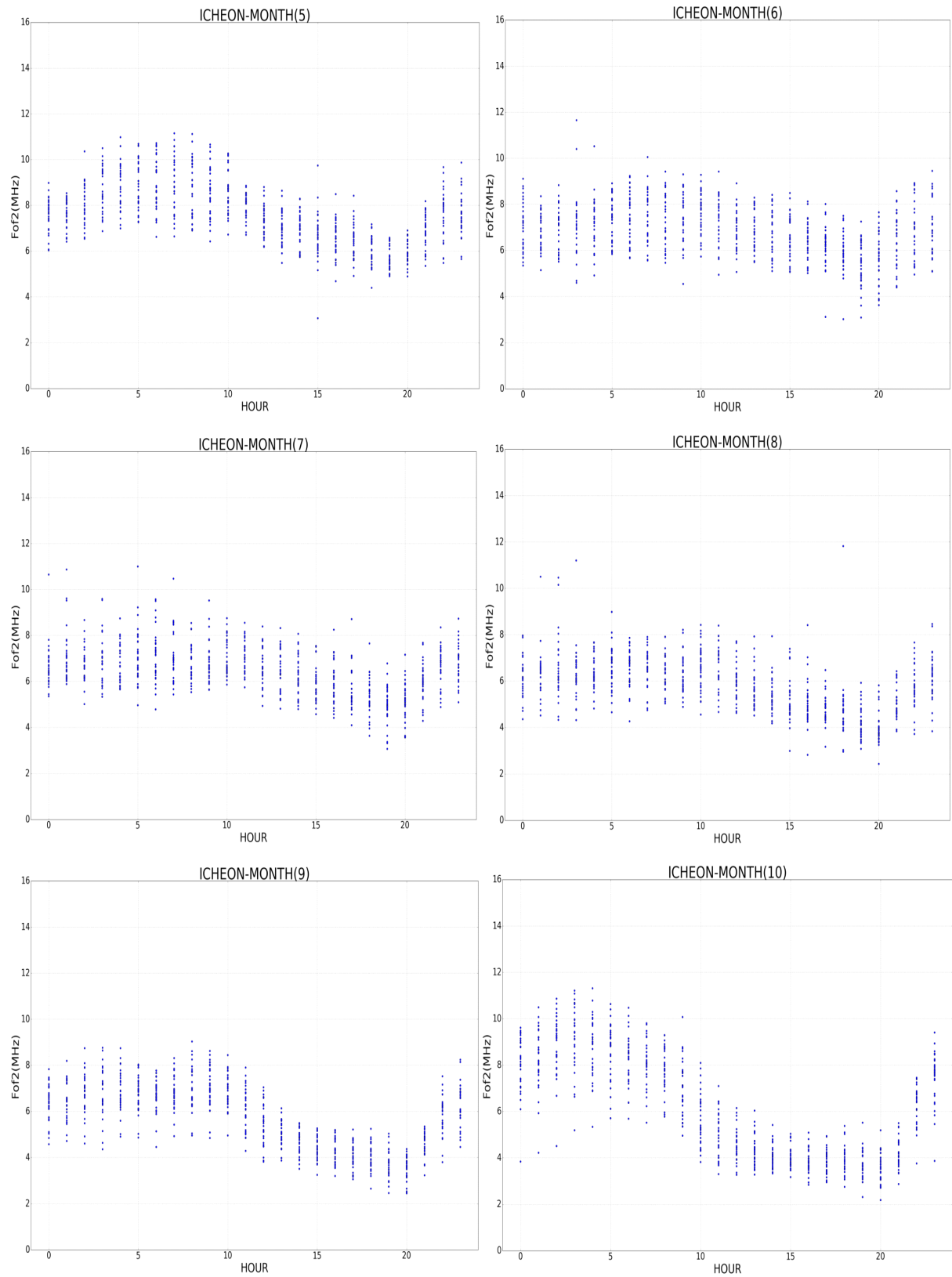
그리고 계절 변화를 알아보기 위해 2015년 관측데이터를 그림 40과 같이 시계열로 분석하였다. 분석방법으로 FOf2값을 월별 1시간 평균값을 시계열로 산출하였다. 분석결과, 봄철인 3월~5월이 가장 높게 나타났으며, 여름철인 6월~9월에 가장 낮은 형성되었다.

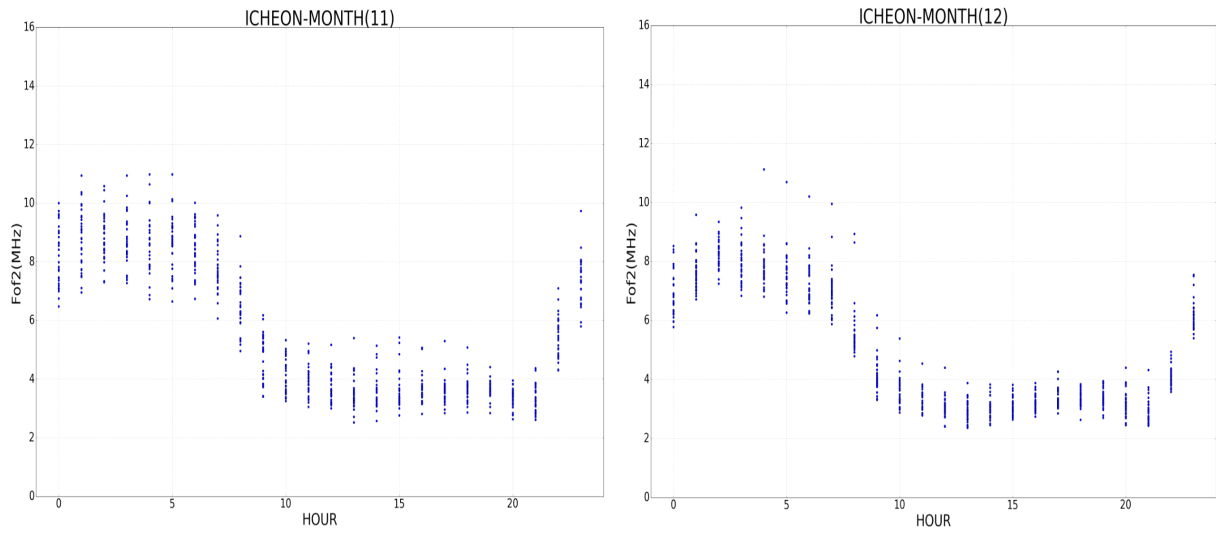


[그림 40] 2015년 이천 및 제주 전리층 관측데이터

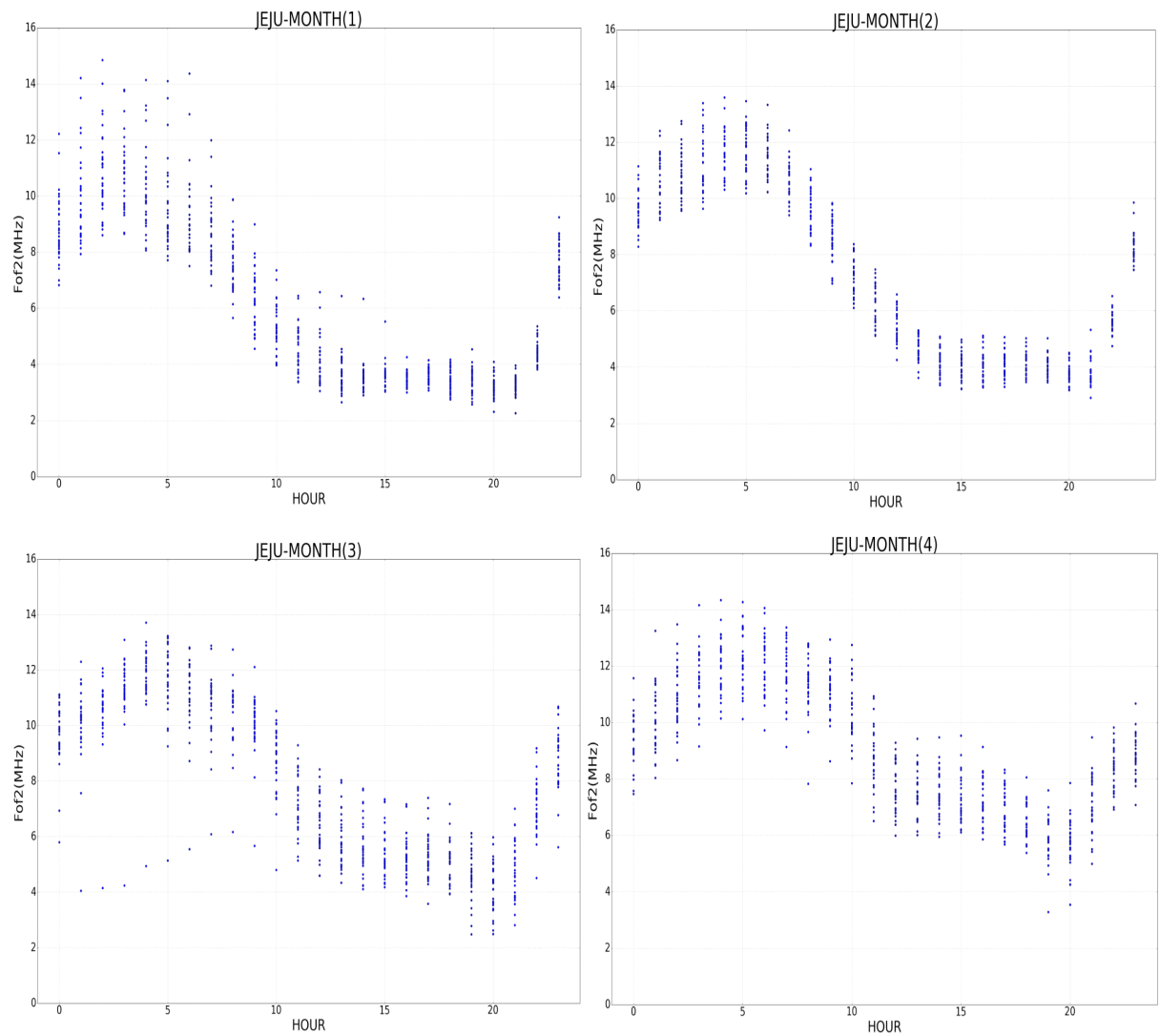
따라서 전리층 관측데이터 신뢰범위 산출을 위해서 지난 1년간(2015년) 이천 및 제주 관측데이터에 대해 시계대별 및 월별 1시간 평균값을 구하고, 상한값은 평균값의 최대값, 하한값은 평균값의 최소값으로 신뢰범위를 산출하였다. 그림의 X축은 시간(UT)이고 Y축은 관측값(Fof2)이다. 전리층 관측데이터 신뢰범위 산출결과, 이천 데이터의 경우 1월~3월은 2MHz~13MHz, 4월~5월은 4MHz~13MHz, 6월~9월은 2MHz~10MHz, 10월~12월은 2MHz~11MHz로 관측되었다. 또한 제주 데이터의 경우 1월~3월은 2MHz~14MHz, 4월~5월은 4MHz~14MHz, 6월~9월은 3MHz~11MHz, 10월~12월은 2MHz~11MHz로 관측되었다. 특히 제주 관측데이터는 이천보다 다소 높게 형성되었으며, 이는 위도에 따른 차이로 상대적으로 이천보다 위도가 낮은 제주 관측데이터가 높게 나타났다.

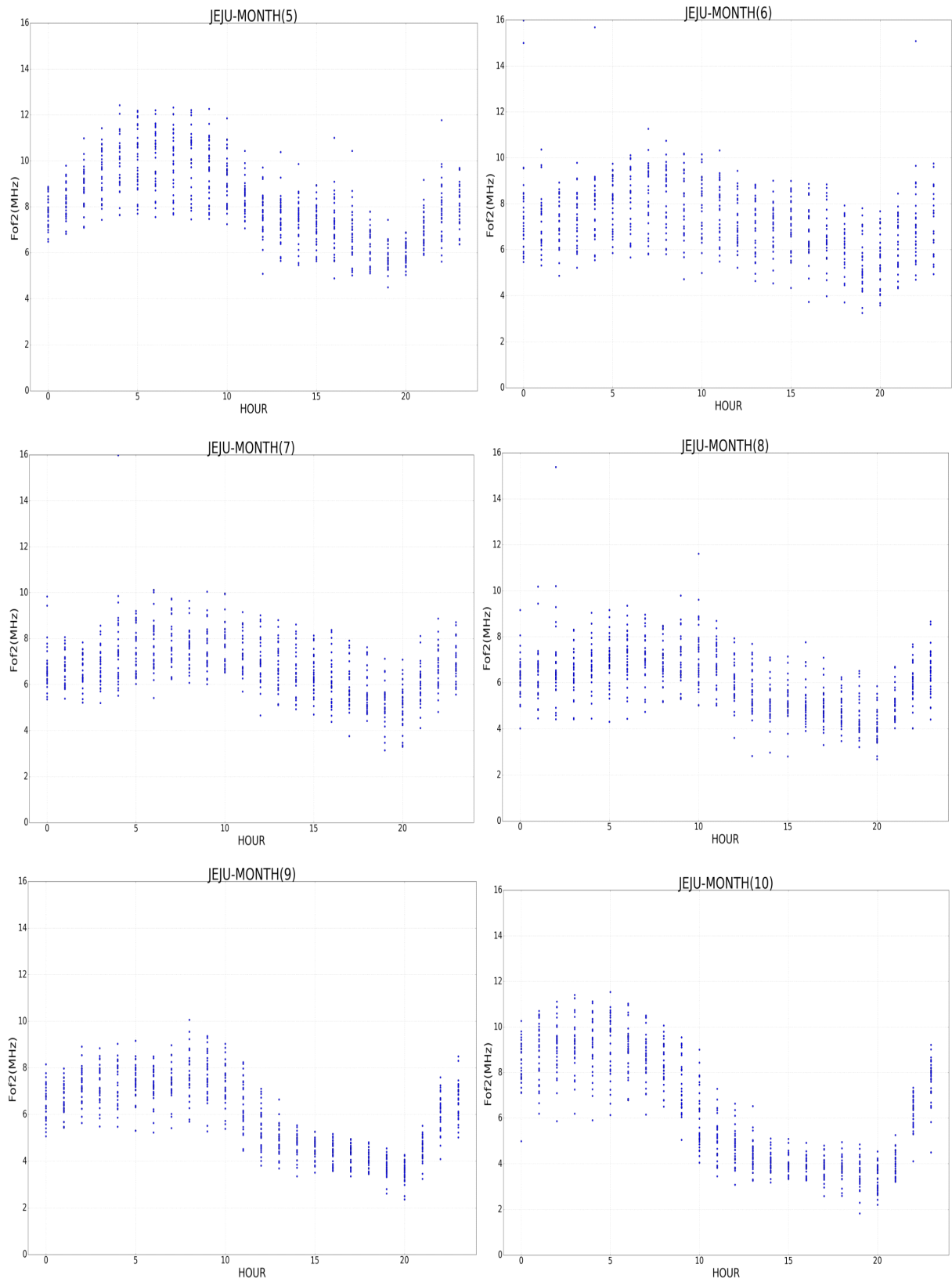


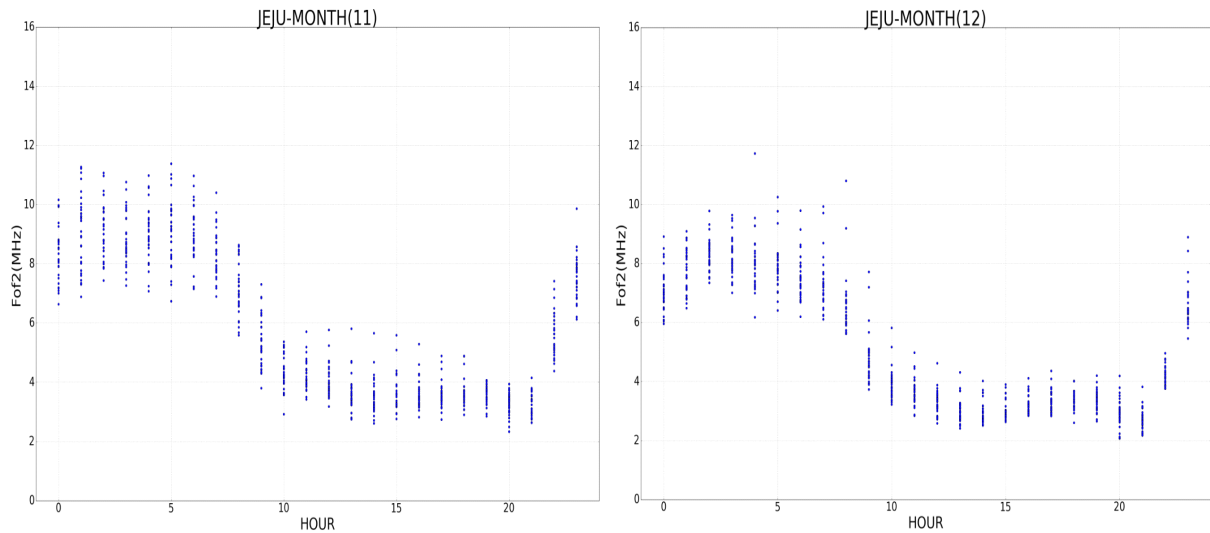




[그림 41] 이천 전리층 관측데이터 신뢰범위







[그림 42] 제주 전리층 관측데이터 신뢰범위

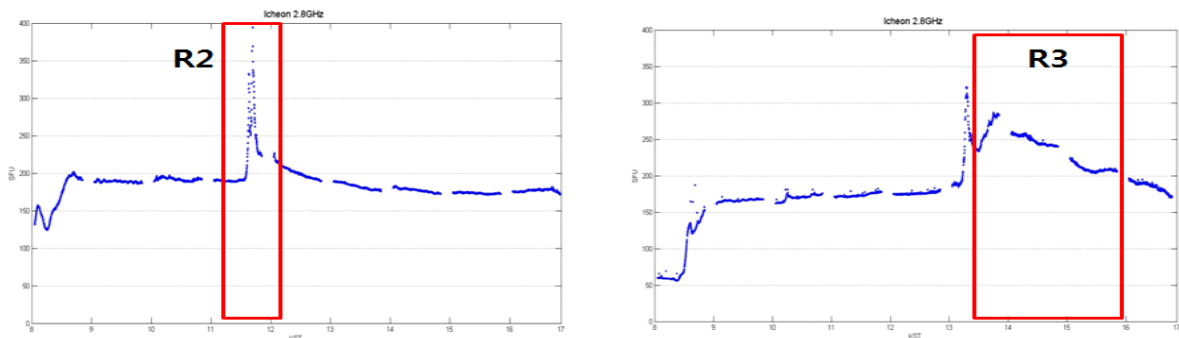
다. 우주전파환경 정보상황에 관측데이터 신뢰구간 적용

전리층 관측데이터의 경우 정보 상황 시 관측데이터가 산출되지 않으므로 정보 상황 적용이 곤란함으로 본 절에서는 생략하기로 하였다. 전리층 관측데이터는 태양활동 주기와 밀접하게 연관되어 있으므로 신뢰범위를 적용하기 위해서는 매년 지난 1년간 데이터를 분석하여 적용하여야 할 것이다.

제4절 태양활동 수준 관측데이터 신뢰범위 산출

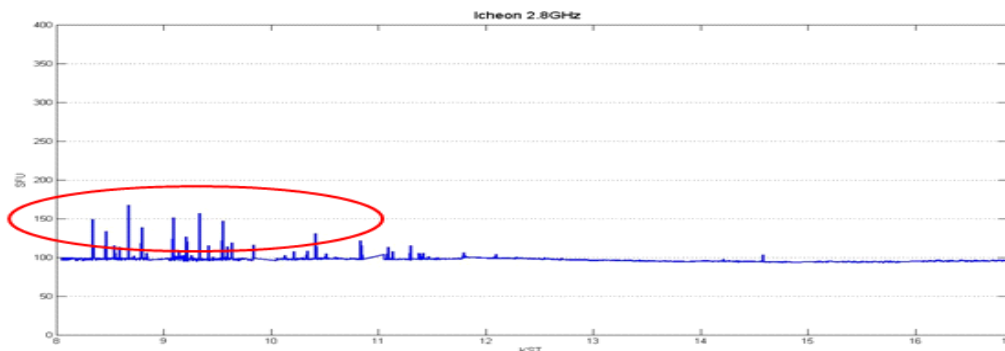
가. 관측 장애 시 데이터 특성

태양활동 수준관측기 장애 시 데이터는 전파두절 정보, 잡음, H/W 및 S/W 장애 등 3가지 유형으로 나타난다. 첫 번째 경우인 전파두절 정보시 그림42와 같이 SFU값이 일정시간 동안 상승 및 하강 하며, 정보단계가 높을수록 변화폭이 크게 나타난다.



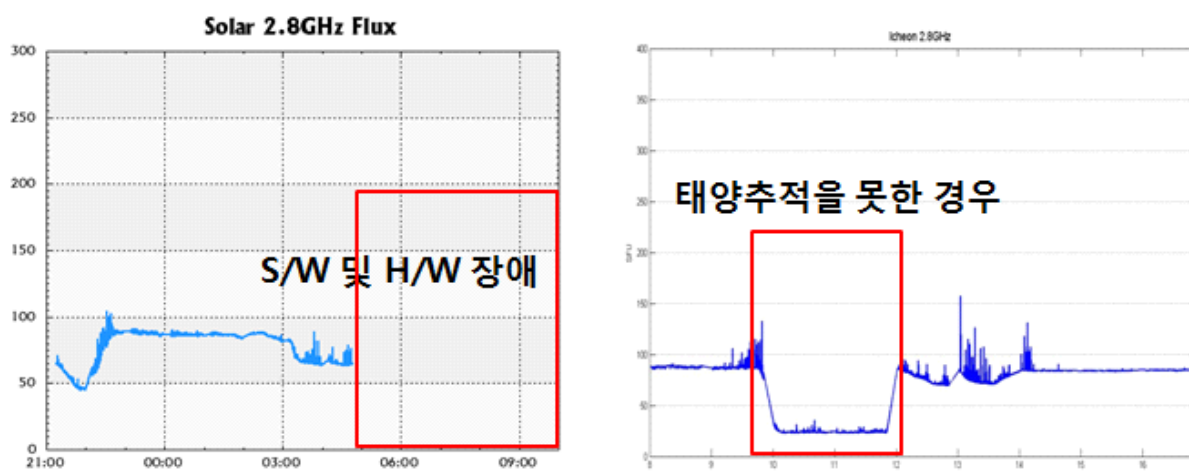
[그림 43] 전파두절 정보에 의한 관측데이터 특성

두 번째 경우인 잡음발생시 관측데이터는 순간적으로 뛰는 값으로 나타나게 된다. 이러한 잡음에 의한 관측데이터 변화는 정보상황과 달리 일정시간 간격이 없이 순간적으로 뛰는 값으로 나타난다.



[그림 44] 잡음 발생시 관측 데이터 특성

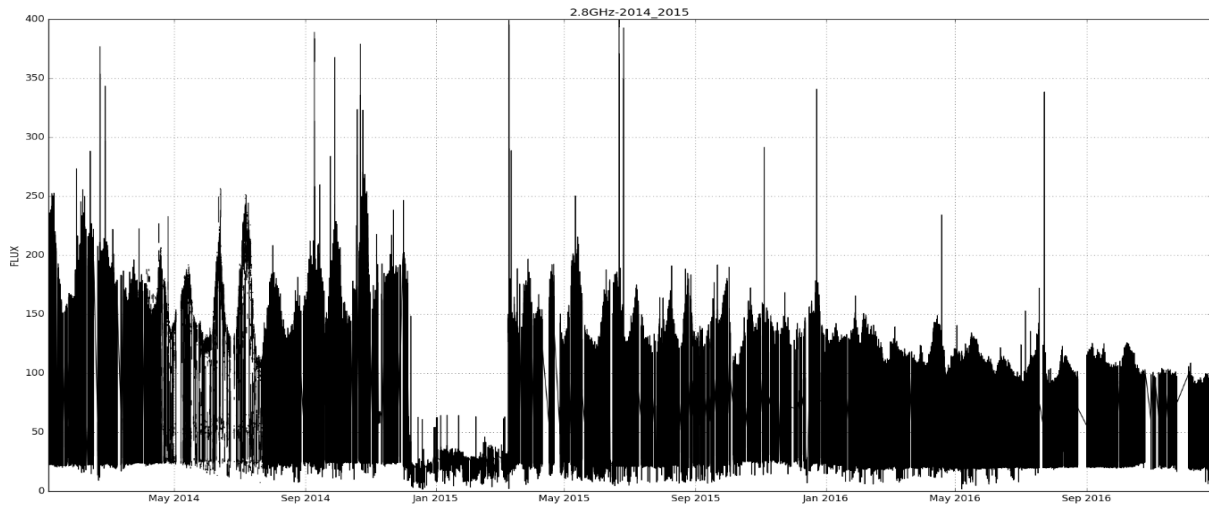
마지막으로 세 번째인 경우인 H/W 및 S/W 장애 시에는 그림과 같이 관측이 되지 않거나 안테나가 태양을 추적하지 못해 갑자기 SFU값이 뚝 떨어지는 현상이 나타난다.



[그림 45] H/W 및 S/W 장애 시 관측데이터 특성

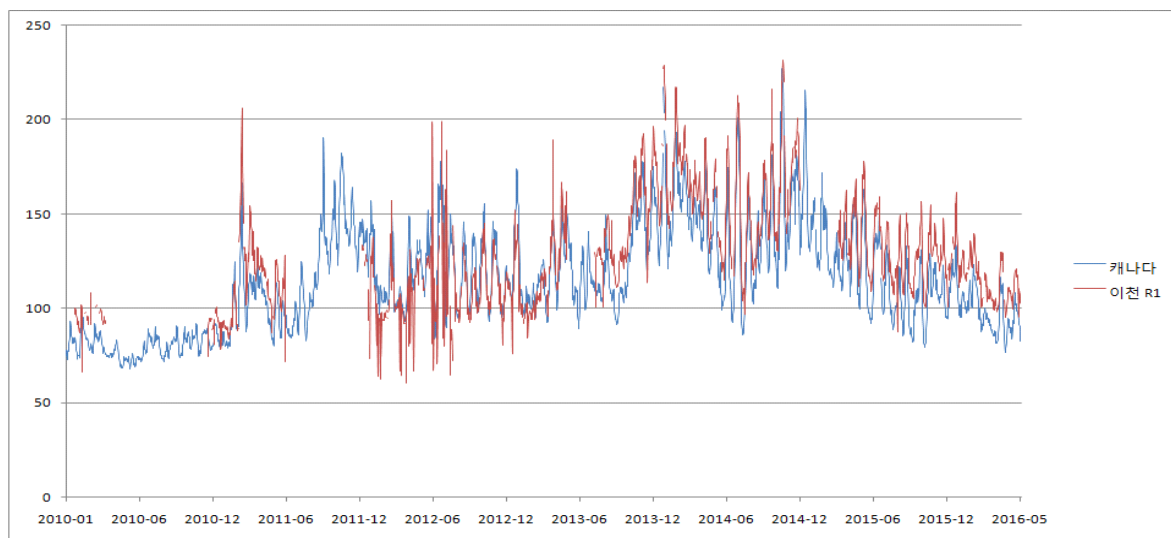
나. 태양활동 수준관측기 데이터 신뢰범위 산출

태양활동 수준관측기 장기간 변화 분석을 위해 최근 3년간 데이터를 그림과 같이 분석하였다. 분석방법으로 1시간 평균값을 산출하였다. 2015년 1월 ~ 2015년 4월까지 데이터는 장비 개선으로 인해 정상적으로 관측되지 않은 데이터이다. 분석결과 시간이 갈수록 SFU값이 작아지는 현상을 알 수 있었다. 이는 태양활동 극소기로 접어들면서 태양에서 방출되는 전파세기가 약해진 것으로 파악된다. 이를 확인하기 위해 2010년 ~ 2016년까지 12시 관측데이터를 캐나다 자료와 비교 분석 하였다.



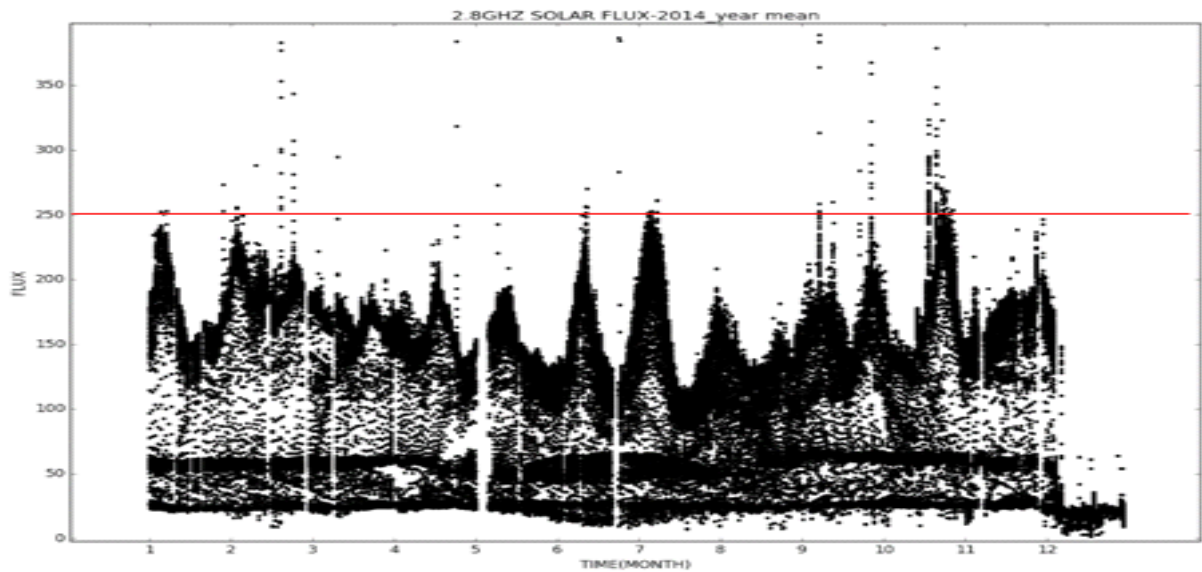
[그림 46] 태양활동 수준 관측데이터 년 변화 특성

그림과 같이 우주전파센터 자료와 캐나다 자료를 비교한 결과, 동일한 패턴과 관측값이 나타나고 있으며, 관측데이터 변화패턴은 태양활동이 극소기로 접어들어 관측값이 작아지는 추세임을 확인 할 수 있었다.



[그림 47] 우리나라와 캐나다 관측데이터 년 변화 특성 비교

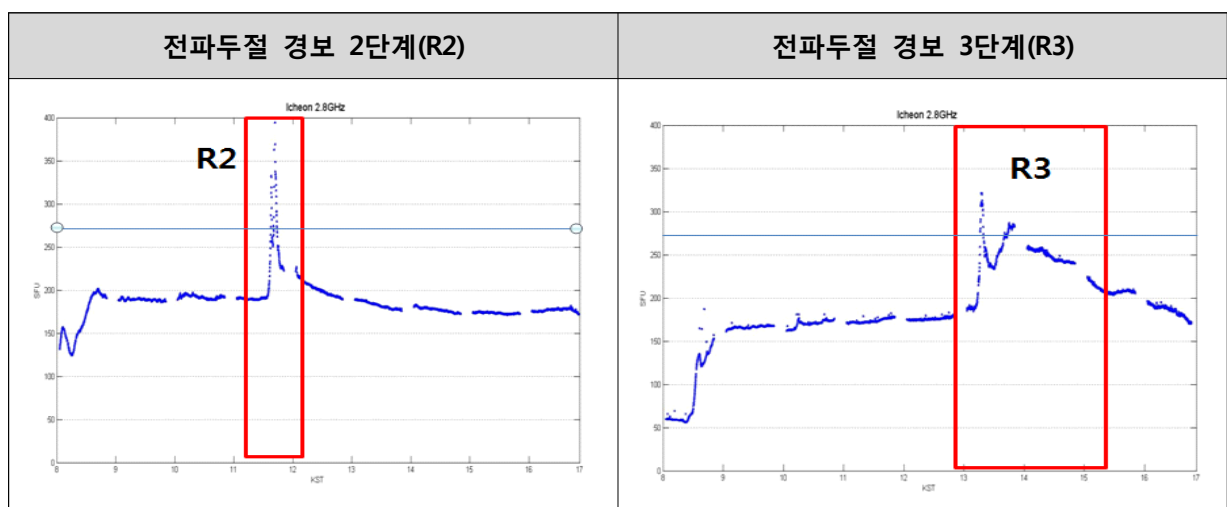
태양활동 수준관측기 데이터에 대한 신뢰범위를 산출하기 위해 지난 1년(2015년) 관측데이터를 분석하였다. 분석방법으로 수초 데이터를 1분 평균값으로 산출하여 신뢰범위를 그림과 같이 분석하였으며, 분석결과, 신뢰범위는 250 SFU가 적당한 것으로 판단된다.



[그림 48] 태양활동 수준 관측데이터 신뢰범위

다. 우주전파환경 경보상황에 관측데이터 신뢰구간 적용

산출된 태양활동 수준관측기 신뢰범위의 적정성을 판단하기 위해 실제 우주전파 환경 경보 상황 시 관측데이터에 적용하였다. 그림48에서와 같이 신뢰범위가 250 SFU일 때 2016년 경보 상황 시 그 값을 초과하게 나타남을 확인하였다. 따라서 태양활동 수준관측기의 신뢰범위는 250 SFU로 정하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 그러나 관측데이터는 태양활동 주기와 연관되어 있어 태양활동 극소기에 접어든 현 상황에서 기준 값은 향후 더 작아져야 할 것이다. 따라서 신뢰범위는 매년 지난 1년간 데이터를 분석하여 적용하여야 할 것이다.



[그림 49] 경보상황에 따른 태양활동 수준 관측데이터 신뢰범위 적용

제5절 관측데이터 신뢰범위 산출결과

본 연구에서 수행한 지자기 관측기, 유도전류 관측기, 전리층 관측기, 태양활동 수준 관측기 등 4종에 대한 신뢰범위 산출결과를 표와 같이 정리하였다.

[표 3] 관측데이터 신뢰범위 산출결과

관측시설명	설치장소	신뢰범위	
지자기 관측기	이천	X : 29400nT ~ 29700nT Y : -4450nT ~ -4200nT Z : 40700nT ~ 40850nT F : 50500nT ~ 50750nT	
	제주	X : 32900nT ~ 33300nT Y : -450nT ~ -200nT Z : 31600nT ~ 31800nT F : 46000nT ~ 45700nT	
	강릉	X : 29400nT ~ 29700nT Y : -250nT ~ -100nT Z : 41100nT ~ 41250nT F : 50550nT ~ 50750nT	
유도전류 관측기	신가평	-2A ~ 1A	
	신태백	-1A ~ 1A	
	신미금	-3A ~ 3A	
전리층 관측기	이천	1월	2 ~ 12MHz
		2월	3 ~ 13MHz
		3월	2 ~ 12MHz
		4월	4 ~ 13MHz
		5월	4 ~ 11MHz
		6월	4 ~ 10MHz
		7월	3 ~ 10MHz
		8월	3 ~ 9MHz
		9월	2 ~ 9MHz
		10월	2 ~ 11MHz
		11월	2 ~ 11MHz
		12월	2 ~ 10MHz

관측시설명	설치장소	신뢰범위	
	이천	1월	2 ~ 14MHz
		2월	3 ~ 14MHz
		3월	2 ~ 14MHz
		4월	4 ~ 14MHz
		5월	4 ~ 12MHz
		6월	4 ~ 11MHz
		7월	4 ~ 10MHz
		8월	3 ~ 10MHz
		9월	3 ~ 10MHz
		10월	2 ~ 12MHz
		11월	2 ~ 12MHz
		12월	2 ~ 10MHz
태양활동 수준관측기	이천	250 SFU	

제4장 관측데이터 신뢰도 향상 방안

정확한 우주전파환경 예·경보 및 태양활동에 의한 지구 피해영향을 분석하기 위해서는 관측데이터 신뢰도가 매우 중요하다. 따라서 본 연구를 통해 관측데이터 신뢰도 향상 방안을 제시하고자 한다.

첫 번째로 관측시설별 신뢰범위에 대한 지속적 관리가 필요하다. 지자기 관측 시설의 경우 국제기구인 인터마그네틱의 관측데이터 관리기준에 적합하도록 노력하여야 할 것이다. 또한 유도전류 관측데이터의 경우 현재 설치된 3곳(신가평, 신태백, 신미금) 관측소에 동일 관측 장비를 설치하였음에도 불구하고 신미금 관측소 데이터에서 노이즈가 많이 포함되어 있는 것으로 판단되므로 설치지역의 토양 등에 의한 노이즈 영향을 분석하여 관측기 재설정이 필요할 것으로 사료된다. 그리고 전리층 관측기의 경우 현재 모니터링 화면에서는 FOf2 값만을 표시되어 있어 스포라딕 E층 발생에 의한 관측데이터 오류인지 관측시설 장애에 의한 오류인지 대한 판단이 어려움으로 이에 판단 가능하도록 모니터링 화면을 개선하여야 할 것이다.

두 번째로 관측데이터 모니터링 화면에 신뢰범위를 적용하여 관측데이터 및 관측시설 장애 대한 판단 및 신속 대응이 필요하다. 이를 위해서는 매년 지난 1년간 데이터를 분석하여 관측데이터 모니터링 화면에 적용하여야 할 것이다.

세 번째로 다양한 관측데이터 오류에 대한 사례를 수집 분석하여야 한다. 본 연구에서 수행된 관측데이터 오류 사례를 추가 분석하고 또 다른 비정상 현상에 따른 관측데이터 변화 양상을 분석하여 관측데이터 신뢰범위 산출 및 모니터링 화면에 적용하여야 한다.

네 번째로 분산된 관측 시설의 점진적 집중화로 상시 관측을 통한 장애를 신속히 대응 하여야 한다. 이를 위해 내용연수가 만료되어 교체가 필요한 관측 시설의 경우 가능한 제주 설치방안 우선 고려되어야 할 것이다.

다섯 번째로 관측시설에 대한 체계적 관리 위한 전문 인력배치 및 예산 확보이다. 우주전파센터 개소 5년이 지난 현 시점에서 단순한 관측시설 운용에서 벗어나 관측데이터 분석을 통한 우주전파환경 예경보 정확도 향상 및 관측데이터 신뢰도 향상이 절실한 상황이다 따라서 이를 위해 데이터 분석 기술 교육에 지속적으로 참여하고 국내외 유사 관측 시설 운용기관과의 교류 강화를 통해 시설운용 기술에 대한 벤치마킹할 수 있는 기회 마련이 필요할 것으로 사료된다.

제5장 결론

본 연구는 우주전파센터에서 운용 중인 관측시설 중 관측데이터 신뢰도 평가가 가능하고 예정보 및 피해분석에 활용도가 높은 4종 관측시설(지자기 관측기, 유도전류 관측기, 전리층 관측기, 태양활동 수준 관측기)에 대한 관측시설 및 관측데이터 특성을 분석하고 관측데이터 신뢰범위를 산출하였으며, 그에 따른 관측데이터 신뢰도 향상 방안을 제시하였다.

우주전파환경 관측데이터 신뢰범위 산출을 위해 관측기별 H/W 및 데이터 특성을 분석하였고 우주전파환경 경보, 잡음, H/W 및 S/W 장애 등 비정상적인 상황에서 데이터 변화 특성을 분석하였다. 그리고 관측데이터 장기 변화 특성을 파악하기 위해 최근 3년 데이터를 분석하고 해외 분석사례와 비교하였으며, 신뢰범위 산출을 위해 지난 1년 관측데이터를 상세 분석하였다.

관측데이터 신뢰범위 산출결과, 지자기, 전리층, 태양활동 수준관측기 데이터는 태양활동 변화에 따른 년 변화 특성을 갖으나, 유도전류는 미미한 것으로 나타났다. 따라서 실제 관측데이터에 신뢰범위를 적용할 때, 관측데이터별 년 변화 특성을 고려한 지난 1년 관측데이터 분석을 통한 신뢰범위를 산출하여 사용하여야 한다. 연구결과를 실제 우주전파환경 경보상황에 적용한 결과, 관측데이터는 신뢰범위를 초과하여 비정상 관측상황을 즉시 발견할 수 있어 신속한 대응이 가능하게 되었다.

우주전파센터에서는 우주전파환경 관측데이터를 관련 학계, 군, 선박, 항공사 등 다양한 사용자들에게 제공하고 있다. 그러나 관측데이터는 태양활동, 잡음 등으로 인해 관측데이터의 신뢰도가 떨어지게 된다.

따라서 본 연구를 통해 관측기별 신뢰범위를 산출하여 비정상 관측상황의 신속한 발견 및 관측데이터 사용자 제공시 활용하고자 한다. 또한 본 연구결과를 관측데이터 모니터링 화면에 적용함으로써 비정상 관측상황에서 신속한 대응이 가능해지며, 사용자에게 관측데이터 제공시 신뢰범위를 함께 제공함으로써 사용자는 관측데이터 선별을 통해 신뢰도 높은 데이터 사용이 가능할 것으로 사료된다.

마지막으로 본 연구는 제한된 사례와 관측데이터만을 분석하였으므로 향후 다양한 사례와 장기간 관측데이터를 추가적으로 분석하여 관측데이터 신뢰도 향상에 활용되어야 할 것으로 사료된다.

[참고문헌]

- [1] 전파연구소 연구보고서, 우주전파환경 연구기반 강화 II, 2009
- [2] 전파연구소 연구보고서, 우주전파환경 연구기반 강화 III, 2010
- [3] 국립전파연구원 연구보고서, 태양폭발과 지상자력계 상관성 연구, 2011
- [3] http://ko.wikipedia.org/wiki/지자기_폭풍
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Geomagnetically_induced_current
- [5] Boteler, D. H., Pirjola, R. J. and Nevanlinna, H., The effects of geomagnetic disturbances on electrical systems at the Earth's surface. Adv. Space. Res., 22(1), 17-27, 1998.
- [6] Yongliang Zhang, Larry J. Paxton, Dieter Bilitza and Rick Doe, 2010, Near real-time assimilation in IRI of auroral peak E-region density and equatorward boundary, ScienceDirect, Advances in space Research 46 1055-1063
- [7] P. G. Richards, D. Bilitza, and D. Voglozin, 2010, Ion density calculator (IDC): A new efficient model of ionospheric ion densities, RADIO SCIENCE, VOL.45, RS5007
- [8] Dieter Bilitza, Lee-Anne McKinnell, Bodo Reinisch, Tim Fuller-Rowell, 2011, The international reference ionosphere today and in the future,
- [9] Patrick A. Nsumei, Bodo W. Reinisch, Xueqin Huang, Dieter Bilitza, 2010, Comparing topside and bottomside-measured characteristics of the F2 layer peak, ScienceDirect, Advances in Space Research 46.. 974-983
- [10] J.R. Fernandez, C.J. Mertens, D. Bilitza, X. Xu, J.M. Russell III, and M.G. Mlynchak, 2010, Feasibility of developing an ionospheric E-region electron density storm model using TIMED/SABER measurements, ScienceDirect, Advances in Space Research 46.. 1070-1077

- [11] Dieter Bilitza, 2001, International Reference Ionosphere 2000, Radio Science, Volume 36, Number 2, Pages 261-275
- [12] Bodo W. Reinisch, Dieter Bilitza, 2004, Karl Rawer' s life and the history of IRI, SCIENCE DIRECT, Advances in Space Research 34..1845-1850
- [13] D. Bilitza, B. W. Reinisch, 2008, International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters, ScienceDirect, Advances in Space Research 42.. 599-609
- [14] Kelley, M. C., J. J. Makela, B. M. Ledvina, and P. M. Kintner, 2002, Observations of equatorial spread-F from Haleakala, Hawaii, Geophy. Res. Lett., 29.
- [15] Kelley, M. C., and C. A. Miller, 1997, Electrodynamics of midlatitude spread F 3. Electrodynamic waves A new look at the role of electric field in thermospheric wave dynamics, J. Geophys. Res., 102, 11,539.
- [16] Nalin B. Trivedi 등, “Geomagnetically induced currents in an electric power transmission system at low latitudes in Brazil: A case study “, AGU SPACE WEATHER, 2007.
- [17] Chun-Ming Liu 등, “Calculation of geomagnetically induced currents in mid- to low-latitude power grids based on the plane wave method: A preliminary case study” , AGU SPACE WEATHER, 2009.
- [18] A. Pulkkinen 등, “Generation of 100-year geomagnetically induced current scenarios” , AGU SPACE WEATHER, 2012.
- [19] Allan John McKay, “Goelectric Fields and Geomagnetically Induced Currents in the United Kingdom” , University of Edinburgh, 2003.
- [20] Chigomezzyo M. Ngwira 등, “Improved modeling of geomagnetically induced currents in the South African power network” , AGU SPACE WEATHER, 2008.

우주전파환경 관측데이터 활용 고도화를 위한 신뢰도 평가방안 연구



국립전파연구원
National Radio Research Agency

(58217) 전남 나주시 빛가람로 767

발 행 일 : 2016. 12.

발 행 인 : 유 대 선

발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4414

인 쇄 : (사)한국척수장애인협회 광주·전남인쇄사업소
062) 222-2788

ISBN : 979-11-5820-074-9 < 비 매 품 >

주 의

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