

제 출 문

본 보고서를 「단기전파예보를 위한 전파관측시설
개선 방안 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002. 12. 26.

연구책임자 : 통신사무관 김종학

연 구 원 : 공업연구사 조경석

연 구 원 : 전송주사 김청원

연 구 원 : 전송서기보 차기남

요 약 문

1. 과제명 : 단기전파예보를 위한 전파관측시설의 개선 방안 연구
2. 연구기간 : 2002. 1. 3 - 2002. 12. 31
3. 연구책임자 : 통신사무관 김종학
4. 계획 대 진도
 - 가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
○ 단기 전파예보방안 연구 -전파예보모델의 정확성 제고 -태양흑점수, 2.8GHz 태양전파 및 전파등가값(T-index)비교 - F2층 임계주파수 DB 구축	조경석													
○ 전파관측시설의 자동화 방안 -네트워크 구성 및 데이터 전송 -태양전파관측자료 처리 -지자기 관측자료 처리 -전리층 관측자료 처리	조경석													
○ 단파예보적용을 위한 전리층 관측시스템 구축방안 -단파예보와 전리층 관측 -외국의 관측현황 -시스템 구축을 위한 제안	조경석													
○ 연구보고서작성	조경석													
분기별 수행진도(%)		25			25			25			25			100

나. 세부 과제별 추진사항

1) 단기 전파예보 적용방안 연구

- 전파예보모델에 대한 정확성 제고
- 태양흑점수, 2.8GHz 태양전파 및 흑점등가치(T-index)의 비교

2) 전파관측시설의 자동화 방안

- 태양전파, 지자기, 전리층 관측자료의 실시간 처리 SW 개발
- 통합시스템 구축 및 서비스 적용
- 전파예보모델에 의한 F2층의 임계주파수 DB 구축

3) 국내 단파예보 적용을 위한 전리층 관측시스템 구축방안

- 단파예보와 전리층 관측
- 외국(호주)의 전리층 관측자료의 활용현황
- 한반도 상공의 전리층관측을 위한 시스템 구축제안

5. 연구 결과

- 1) 한반도 지역에 적합한 1일 단위의 최적사용주파수를 예보하기 위해서는 기존의 태양 흑점수를 사용하여 전파예보모델에 적용하는 것 보다 현재 호주 우주전파청에서 시행하고 있는 태양흑점 등가치인 전리층 T 지수를 산출하여 적용하는 것이 바람직하다.
- 2) 전리층 T 지수는 1시간 단위로 측정되는 F2층의 임계주파수를 사용하여 결정할 수 있는데 이를 위해서는 장기간의 전리층 관측 데이터로부터 F2층의 임계주파수(f_oF2)와 태양 흑점수와의 상관관계가 결정되어야 한다.
- 3) 현재 운용중인 태양전파, 지자기, 전리층 자료를 단기 예보에 적용하기 위해서는 실시간 자료를 처리하는 자동화 과정이 이루어져야 한다. 본 연구를 통해 전파관측자료의 통합자동처리 SW를 개발 적용함으로써 관측업무의 자동화를 구현하였다.

- 4) 현 전리층 관측기는 5Kw의 고출력 송신기를 포함하는 시설로서 설치장소(안양)주변의 통신잡음을 제공할 뿐 아니라 주변잡음으로부터 영향을 받는다. 이러한 이유로 현재 관측시간 간격을 1시간으로 운용하고 있다. 단기전파예보에 적합한 시설로 운용하기 위해서는 15분 이내의 시간 간격으로 한반도 중·남부 상공의 전리층을 관측할 수 있는 소출력(300w) 다지점 관측시설로 개선하는 것이 바람직하다.

6. 기대효과

최근 정확한 전파예보에 대한 수요가 증가하고 있고 전리층 관측 자료에 대한 지속적인 요청이 있다. 전리층에 영향을 미치는 태양 활동 및 지자기활동을 실시간으로 모니터링하기 위한 자동 관측 체계를 갖추었다. 본 연구를 통해 분석된 비정상 전리층 현상과 외국의 관측 동향은 보다 신뢰성 있는 전파예보연구에 기여할 것이며 향후 한반도 상공의 전리층을 모니터링하기 위한 다 지점 전리층 관측시설 구축에 도움이 될 것이다.

7. 기자재 사용 내역

- 태양전파 관측시스템, 지자기 관측시스템, 전리층 관측시스템
- 관측자료 분석용 중형컴퓨터

SUMMARY

The ionosphere affects radio signals in different ways depending on their frequencies. On frequency below about 30MHz the ionosphere act as an efficient reflector, allowing radio communication to distances of many thousands of kilometer. Radio signal on frequencies above 30MHz usually penetrate the ionosphere and, therefore, are useful for ground-to-space communications. Ionospheric condition can be classified into two classes; normal and anomalous.

For several decades, RRL have been monitoring ionospheric condition and providing HF prediction monthly by using HF prediction Model. In the normal condition, it might be helpful to users for maintaining a communication link by using the model. In the anomalous condition, it is necessary to monitor the condition and rely on the specific prediction model for its anomalies. In this work, we classified the anomalies and surveyed its effects on radio communication. By developing next plans for monitoring the anomalies and prediction, more reliable services might be possible.

목 차

제 1 장 서론	491
제 2 장 단기전파예보방안	494
제 1 절 전리층 이상현상과 전파예보	494
제 2 절 전파예보 현황	500
제 3 절 단기전파예보 추진방안	504
제 3 장 우주전파환경관측시설의 자동화 방안	508
제 1 절 네트워크 구성 및 데이터 전송	508
제 2 절 관측시설의 자동화 SW의 운용	510
제 4 장 단파예보를 위한 전리층 관측시스템 구축방안	516
제 1 절 단파예보와 전리층 관측	516
제 2 절 외국의 전리층관측 최신동향	516
제 3 절 전리층 관측시스템 구축을 위한 제안	521
제 5 장 결론 및 향후과제	523
참 고 문 헌	527

제 1 장 서 론

위성통신, 대륙권 통신의 보급에도 불구하고 중·단파 방송, 군 단파 통신, VLF·LF·MF대의 무선측위, 아마추어 단파무선등의 수요는 아직 지속되고 있다. 특히 서울을 중심으로 반경 1000km 이내 한반도 지역에서의 지점 대 지점 간 전리층 통신의 원활한 운영이 요구되고 비상통신 수단으로서 중요성이 인식되면서 전파예보의 수요가 다시 증가하고 있다.

전파연구소 전파 예·경보업무의 역사는 그림 1에서 보는 바와 같이 다음의 세 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 전파 예·경보 업무의 기반 구축 단계로서 전파연구소의 개소와 함께 시작되었다. 이 때에는 HF 대역의 응용연구가 활발히 이루어졌으며 예·경보의 신뢰성 제고를 위해 전리층과 지자기 관측을 시작한 시기이기도 하다. 두 번째는 전파 예·경보 업무의 전산화 단계로써 아날로그 방식의 관측시스템을 디지털 방식으로 교체하고 전파예보 프로그램을 도입하여 서비스하기 시작한 시기이다. 현재까지 사용되고 있는 미국 상무성에서 개발한 전파예보프로그램(Lil 252)도 이때 도입된 것이다. 이 시기에는 국내적으로는 단파대 수요가 감소하고 있었으며 무궁화 위성 등 위성산업이 시작된 시기였다. 국제적으로는 미국을 중심으로 전파 예·경보에서 우주환경예보 업무로 확대되어 가는 변화의 시기이기도 하다. 우리연구소도 이러한 국내외 변화에 대처하기 위해 우주환경예보에 필수적인 태양전파, 지자기 관측 망 그리고 전리층 관측기 등의 지상 관측시스템을 보강하였고 관측데이터의 종합전산화 작업을 병행하면서 우주환경예보업무로의 전환(세 번째 단계)을 추진하였다. 그러나 국내 위성산업의 변화와 우주 환경에 대한 기본적인 이해 및 인식의 부족으로 우주환경업무의 지속적인 추진이 힘들게 되었으며 최근 비상통신으로서의 단파통신 중요성이 대두되면서 우리 연구소는 보다 현실성 있는 전파 예·경보업무로의 전환을 모색하고 있다.

전파연구소는 개소 이후 지금까지 전리층 통신의 원활한 운용을 위해 월간전파예보(장기전파예보)를 시행하고 있다. 이 장기예보는 세계각지의 전리층 관측을 기초로 만들어진 평균 전리층 모델을 사용하며 각 단파회선에 대한 월 평균 최대사용주파수(MUF)와 최저사용주파수(LUF)를 예측하여 인터넷과 책자를 통해 제공하고 있다.

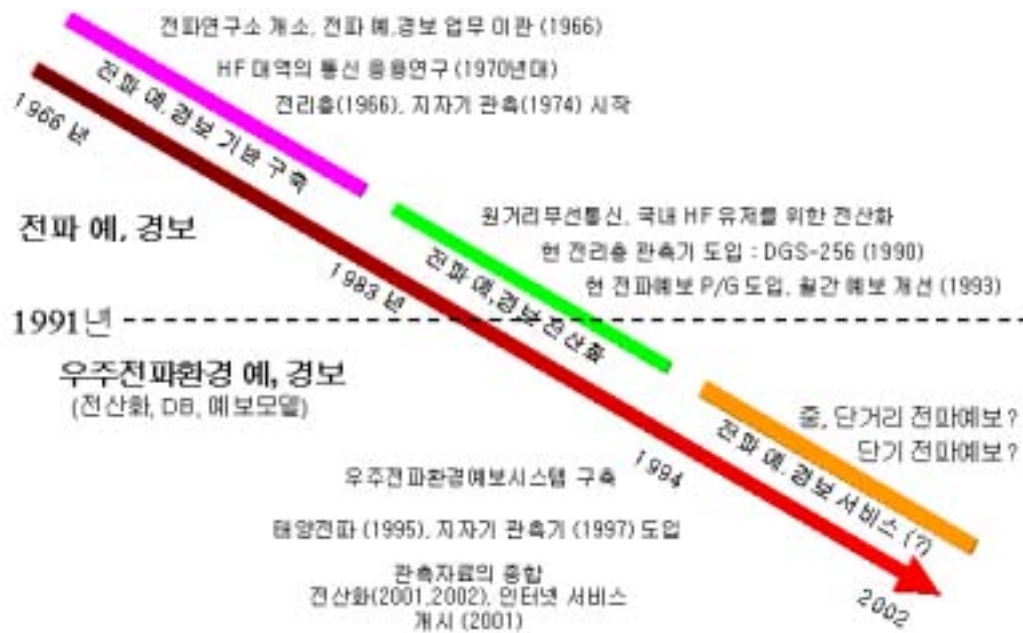


그림 1. 전파연구소의 전파 예·경보 업무의 연혁

전리층 통신 사용자는 이를 참고하여 단파 대의 특정 주파수에서의 통신 가능 시각 대 등을 결정한다. 그러나 각 주파수대에서의 통신 상태는 때때로 평균 상태로부터 급격히 변화하기 때문에 실제 통신 운용에서는 전파예보의 결과가 큰 차이를 보이는 경우가 많다. 이러한 차이의 원인에는 전리층 모델 및 전파모델의 불확실성과 태양활동에 의한 전리층 교란 그리고 스포라딕 E와 spread F 현상과 같은 비정상적인 전리층 변화가 있다.

비정상 전리층 상태의 원인과 통신의 영향은 일반적으로 다음과 같이 알려져 있다. (1)태양 플레어에 동반되어 발생하는 급 전리층 교란(SID) 현상은 VHF대에서 HF대의 통신에 영향을 주고 그 영향은 일조지역 전역에 걸쳐 나타난다. (2)태양 활동에 의해 방출되는 고에너지 입자가 극지방의 전리층 교란을 일으키고 그 결과 VHF대에서 HF대의 극회선 통신에 영향을 준다. (3) 태양활동에 동반해서 일어나는 강한 태양풍의 변동은 지자기 폭풍을 포함하여 전리층 폭풍 등의 이상현상을 일으킨다 특히 오로라 입자에 의한 극지방의 전리층 교란은 VHF에서 HF대역의 극회선 통신을 혼란시킨다. (4)전리층 내의 고도 100km의 높이에서 비정상적인 E층이 나타나는 경우에는 100 MHz 부근의 VHF전파가 전리층 반사를 통해 수천 km 까지 전파하여 TV나

FM방송의 혼신을 일으킨다. 또한 정지위성을 이용한 위성통신의 경우 전파는 전리층에서 발생하는 수 m에서 수 km의 전자밀도의 불규칙 구조 층을 통과하면서 회절과 간섭 현상을 겪게되고 지상에 도달하면 진폭과 위상이 변한다. 이러한 전자밀도의 불규칙 구조는 시간에 따라 이동하기 때문에 지상에서 수신되는 전파는 시간적·공간적으로 모두 영향을 받는다.

최근 이러한 전리층 변화가 고려된 전파예보(단기전파예보)에 대한 수요가 증가하면서 한반도를 중심으로 한 1시간 간격의 중·단거리(한반도 상공) 전파예보가 요구되고 있다. 본 연구의 목적은 단기전파예보의 실현 방안을 찾고, 기존의 관측시스템을 활용하여 관측자료의 분석과 서비스의 자동화를 구현하고, 향후 우리나라 상공의 전리층 환경을 모니터 할 새로운 전리층 관측시스템의 구축 방안을 제안하는 것이다.

이를 위해 본 연구에서는 비정상 전리층 변화에 대해 자세히 알아보고 현 전파예보의 문제점과 개선방안에 대해 논의한다. 그리고 3장에서는 이번 연구를 통해 완료된 관측시스템의 자동화과정을 자세히 언급하고 4장에서는 단기전파예보의 신뢰도를 높이는데 필요한 전리층 관측시스템 구축방안을 제안하고자 한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결과에 대한 검토를 하였다.

제 2 장 단기 전파예보 방안

태양에서는 전파에서 감마레이에 이르기까지 모든 파장대의 전파가 방사된다. 특히 태양자외선은 지구 대기 상층부를 광 이온화시켜 전리층을 만들어낸다. 전리층은 통신주파수에 따라 통신에 다양한 형태의 영향을 준다. 예를 들면 30MHz 이하는 전파에 있어 효과적인 거울역할을 하는 전리층에 반사되어 수 천km 이상까지 전파되며 30MHz 이상의 전파는 전리층을 투과하기 때문에 지상-위성 통신에 사용된다. 그러나 태양활동과 같은 급격한 변화가 발생하면 전리층은 교란을 받게된다. 예를 들면 태양 플레어가 발생하면 2MHz에서 30MHz 사이의 통신은 전파세기의 감쇄(흡수현상)가 일어나며 30MHz - 100MHz이상의 통신은 예기치 않은 전파굴절로 인해 간섭을 받게된다.

제 1 절 전리층 이상현상과 전파예보

전리층의 특이현상은 전파의 교란(신틸레이션) 또는 예기치 않은 경로로의 전파 진행을 일으킨다(표유선, 2000). 태양활동에 의해 발생하는 급격한 전리층 변화와 그 영향을 알아보면 다음과 같다.

(1) 태양활동 중 전파통신에 미치는 현상으로는 급격한 폭발현상인 플레어 현상이 있다. 이 플레어 현상은 수분에서 수 시간 정도 지속이 되며 감마선에서 전파에 이르기까지 모든 전자기파가 방출된다. 태양플레어현상이 발생하면 태양 자외선과 X선에 의해 급격한 전리층 교란(Sudden Ionospheric Disturbance :SID)이 생기고 이로 인해 VLF 대역의 OMEGA 시스템과 LF 대역을 사용하는 Loran-C와 같은 위치신호들의 갑작스러운 위상변화나 신호의 증폭현상이 발생한다. HF와 VHF 대역에서는 전파두절이 나타나고 VHF, UHF대역에서는 태양플레어에 의해 발생한 강한 전파의 간섭현상이 나타난다. 또한 플레어에 의한 발생하는 태양 X-선의 증가는 전리층 급변 현상을 일으켜 GPS 신호에도 영향을 미치기도 한다. 그림 2는 전파연구소에서 관측한 태양전파 관측 자료와 태양플레어 활동 전 후의 전리층 관측자료를 보여주는 것으로 전리층 반사 층이 사라진 모습을 볼 수 있다. 이를 전파두절(델린저)현상 혹은 전리층 급변 현상이라 한다.

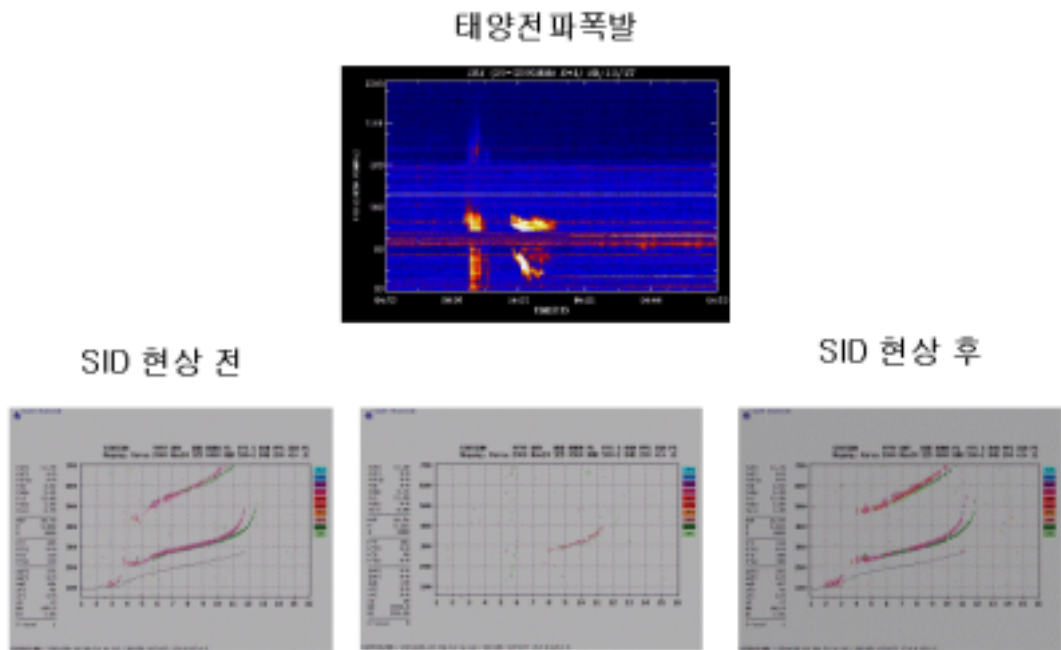


그림 2. 전파연구소에서 관측한 태양전파폭발 전·후의 전리층의 변화.

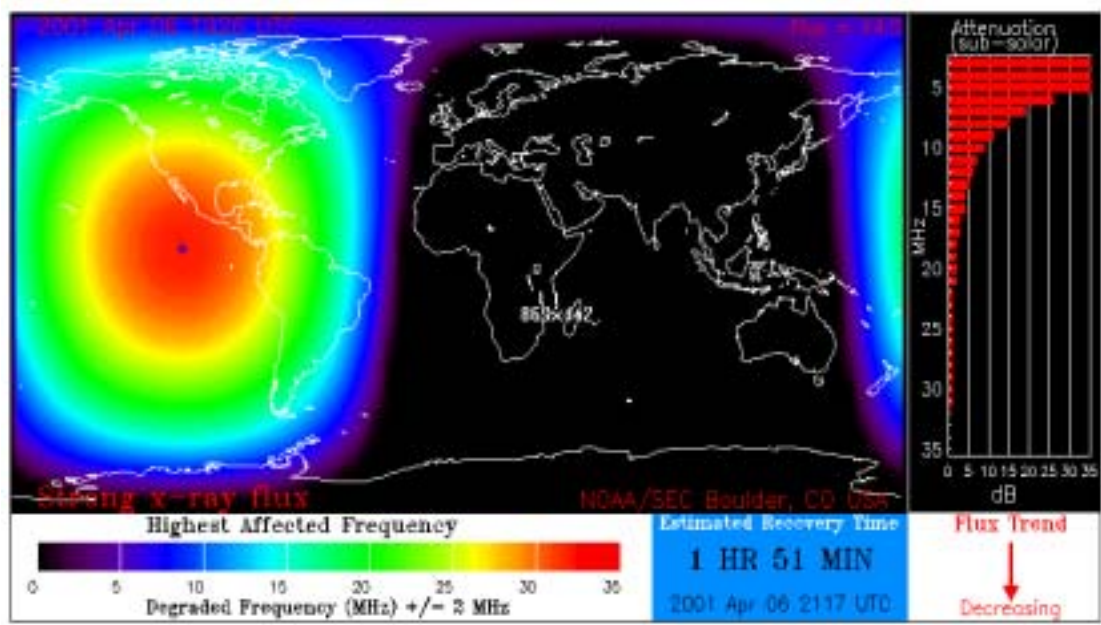
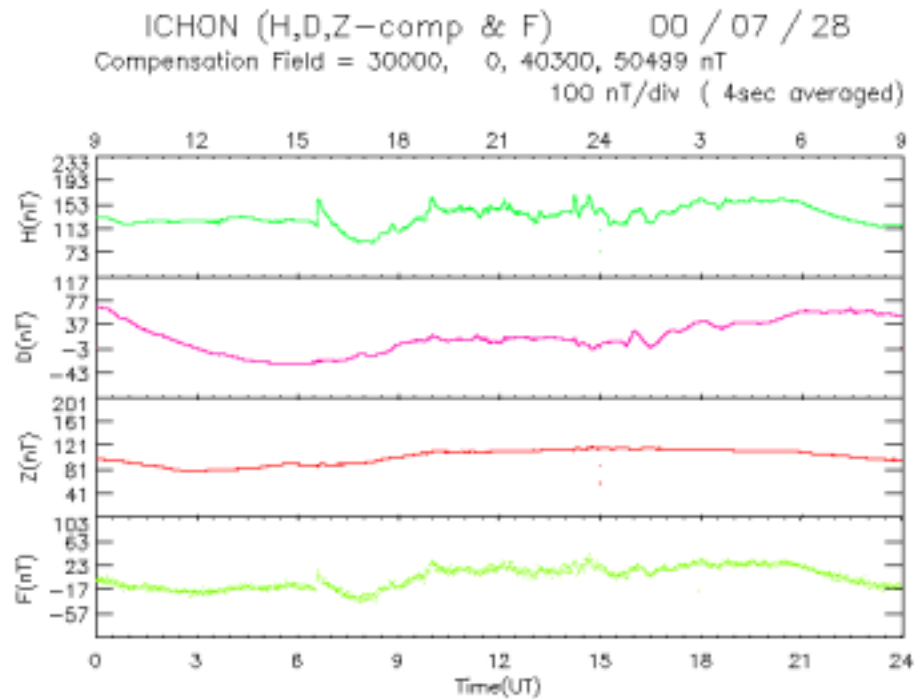


그림 3. 미국 우주환경예보센터에서 제공하고 있는 태양 X선 플릭스에 따른 HF대 전파 감쇠 시뮬레이션

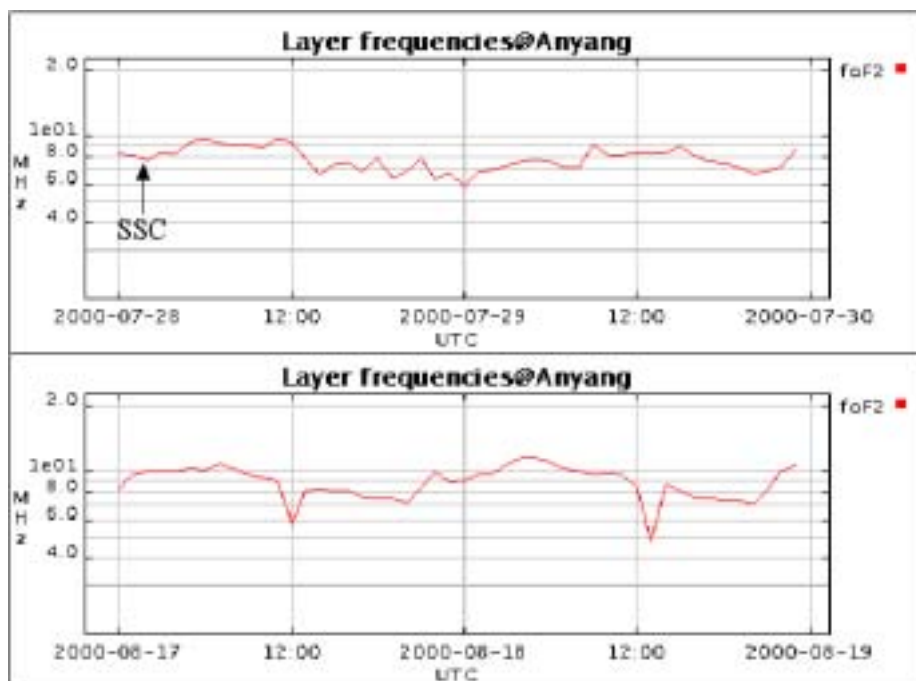
그림 3은 미국 우주환경예보센터에서 제공하고 있는 태양활동시의 HF 대의 감쇠를 태양활동에 의해 발생하는 X선 플럭스의 변화에 따라 시뮬레이션 한 결과를 보여준다. 이러한 영향은 태양 직하점(적도부근)에서 가장 많은 영향을 받는다.

(2)태양활동에 의해 양성자 입자의 수가 급격히 증가하는 현상을 일반적으로 프로톤 현상이라 부른다. 이 프로톤 현상은 고에너지의 양성자 입자들이 태양-지구간 공간을 진행하여 지구자기 극에 도달하여 수일동안 전리층 하부를 급격히 이온화시켜 Polar Cap Absorption (PCA) 현상을 일으킨다. 이 때 극지방을 통하는 전파는 급격히 감쇠되고 GPS와 그 밖의 위성들의 전자장비들이 고에너지 입자의 영향을 받는다. 이러한 HF, VHF 대역의 신호감쇠는 수일에서 수 일간 지속된다.

(3)코로나 물질방출과 태양플레어에 의해 발생한 행성간 충격파는 태양-지구간 공간을 진행하여 지구자기권과의 상호작용을 일으키고 지구자기장의 급격한 교란을 일으키는데 이를 지자기폭풍이라 한다. 지자기 폭풍은 전리층의 전자 밀도의 변화를 일으키는 전리층 폭풍과 긴밀한 연관이 있는 것으로 알려져 있다. 낮은 고도 전반에 걸친 밀도의 변화는 전리층 폭풍이 시작되면 바로 나타나고 멈춘 이후에도 오래 지속되는데 이 때 밀도가 증가하는 것을 positive 폭풍효과라 부르고 밀도가 감소하는 것을 negative 폭풍효과라 부른다. 전리층 폭풍 동안에는 대기시스템의 대규모 변동과 고층대기 성분, 온도의 변화가 발생하는데 이들은 전리층의 급격한 변동의 원인이 된다. positive, negative 폭풍의 효과는 폭풍현상에 따라 매우 복잡하며 다양하다. 이러한 복잡한 변화를 만들어내는 동적 과정은 아직 잘 이해되고 있지 않지만 현재 이론적, 관측적 연구가 활발히 진행되고 있다. 전리층을 이용하여 반사되던 전파가 전리층의 밀도가 감소하게 되면 전리층을 뚫고 통과해 나가기 때문에 전리층 밀도감소는 전파통신 장애의 주원인이 된다. 전리층 폭풍동안에는 최대가용주파수(Maximum Useable Frequency : MUF)가 2배 정도 감소하기도 한다. 이러한 폭풍현상은 고위도의 경우 더욱 심하다. 전리층 폭풍에 의한 전리층의 심각한 밀도 감소는 하루 혹은 그 이상 지속될 수 있다. 전리층 폭풍은 지자기 폭풍에 대해 위도에 따라 다르게 반응하기 때문에 특히 적도 근처나 극지방의 항법시스템에 많은 영향을 미친다. 그림 4는 지자기 폭풍의 발생에 의해 전리층 F2층의 임계주파수가 평상시와는 다른 변화가 관측됨을 보여주고 있다.

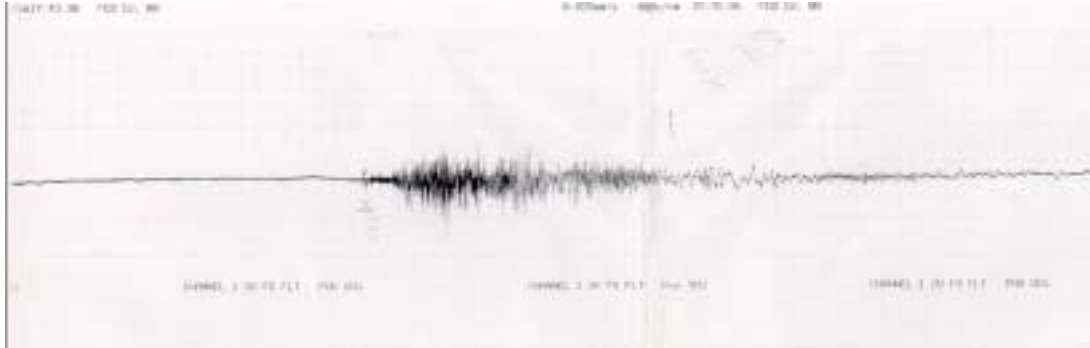


(a) 이천관측소에서 측정한 지구자기장 데이터

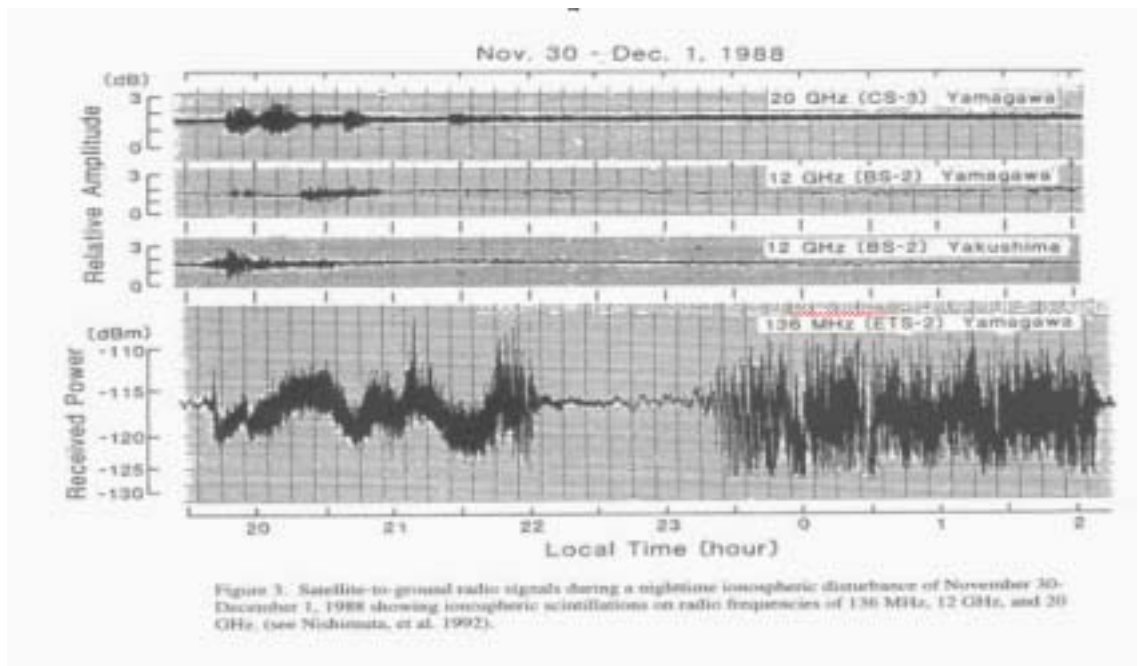


(b) 안양전리층 관측기로 측정된 F2층의 임계주파수의 변화

그림 4. 지자기폭풍 기간동안의 전리층 F2층 임계주파수의 변화



(a) 국내 위성 수신안테나에서 나타난 위성비콘신호의 신틸레이션 사례



(b) 외국의 위성신호의 신틸레이션 사례

그림 5. 전리층 교란에 의해 발생한 국내외 위성수신 신틸레이션 사례

그림 4-(a)는 이천 관측소에서 측정한 지자기 데이터이며 그림4-(b)는 안양의 전리층 관측자료로서 위의 그림은 전리층 폭풍기간에 해당하는 것이고 아래 그림은 평상시의 전리층 상태를 보여주는 것이다. 지구자기장 변화와 전리층 변화가 같이 나타남을 알 수 있다.

지자기 폭풍이 시작을 나타내는 지자기 급변(SSC)이 발생한 시각은 2000년 7월 28일 6시 30분(UT)이며 그 후 이틀 동안 F2층의 임계주파수가 평상시에 비해 약간 감소한 것을 알 수 있다. 이 기간동안 아래 두 번째 그림에서 보이는 평상시의 주기적인 임계주파수 패턴은 보이지 않는다. 이러한 폭풍기간 동안에는 GPS 운용이 지구 어느 곳에서나 영향을 받는데 이는 위성 지상간의 경로 상 전리층의 총전자 함유량(TEC)의 변화가 있기 때문이다. TEC의 bulk plasma의 급격한 증가나 감소는 single GPS의 정밀도에 영향을 준다. 한편 Dual-frequency GPS Receiver는 GPS 신호를 이용하여 TEC를 간접적으로 측정하고 그 결과는 single GPS의 정밀도 보정에 적용할 수 있다. 작은 규모에서 나타나는 위도에 따른 TEC의 불규칙성은 위성전파의 급격한 신틸레이션 현상을 일으킨다. 예를 들어 적도지역 (자기장 위도로 15 - 20도)은 자기폭풍이 발생하지 않아도 매우 큰 규모의 전리층의 불규칙 현상이 일어나는 지역이다. 전리층 상부에서 예상치 않은 밀도의 증가가 수 시간 동안 계속되면 전파경로의 왜곡을 일으킨다. 이러한 신틸레이션 현상은 GPS 운용을 어렵게 만들고 dual 과 single GPS 수신 신호에도 영향을 미친다. 큰 규모의 자기폭풍 시 오로라가 적도 쪽으로 이동하게 되는데 이때 1GHz 이상의 GPS 신호의 신틸레이션 현상이 자주 발생한다. 그림 5는 국내·외에서 확인된 위성 신호의 신틸레이션 사례를 보여주고 있다. (a)는 온세통신의 인텔샷(174. E, 802호) 위성 비콘 수신 신호에 나타난 신틸레이션 현상으로 2000년 2월 12일 21:30 경에 수신주파수 대역 3850 ~ 3947 MHz에서 신호 레벨이 3~4dB정도 변동된 사실이 관측되었다. (b)는 일본의 사례를 보여주고 있는데 주파수가 낮을수록 신틸레이션 정도가 크게 나타나는데 이는 전자밀도의 불규칙 구조를 통과하는 전파의 위상 혼란 크기는 전파의 주파수에 반비례하여 나타나기 때문이다.

위와 같이 전리층 교란에 의한 통신교란은 HF대의 단파통신 뿐 아니라 위성통신에서 VHF/UHF 통신에 이르기까지 비정상 전파현상의 원인이 된다. 표 1은 각 전파통신 주파수 대역에 대한 전리층 교란에 의한 효과와 그 영향

표1. 전리층 교란에 의한 통신시스템의 영향 및 관련기관

전파통신분야	전리층 효과	관련기관
HF Communication	전파흡수증가 MUF Depress LUF Increase Fading 증가	철도청, 산림청, 아마추어무선연맹, 기상청, 방송국, 군, 해상무선표지국
Surveillance Systems	레이더 감도 감소 Range 에러 방위각, 고도 에러	군, 공항공단
위성통신 시스템	페러데이 회전 신틸레이션 주파수 간섭	한국통신, 온세통신, 데이콤 위성 지구국
Loran-C 항법시스템(GPS) OMEGA	위상 및 진폭변동 위치에러 전리층 반사층의 변화에 의한 전파위상의 이상현상	해상무선표지국 SK텔레콤 CDMA이동전화 기지국 선박통신사 협회

을 나타낸 것이다. 전파연구소에서 수행하여 온 단기전파교란 예보, 주간 전파교란 예보, 그리고 전파경보 발령업무는 무선통신 이상에 원인이 되는 태양활동, 지자기 활동 그리고 전리층 교란을 모두 포함한 것으로 전파예보는 그 자체가 통신에 미치는 우주환경예보임을 알 수 있다(민경욱, 1992). 그 이유는 전리층 교란은 대부분은 지자기 활동과 태양활동과 긴밀한 연관이 있기 때문이다. 이에 대해서는 이미 앞에서 설명하였다.

제 2 절 전파예보 현황

1990년대 중반까지 계속되었던 전파예보업무는 태양, 지자기, 전리층과 같은 관측자료에 근거를 두었으며 태양플레어 활동에 의한 델타지 현상과 지자기 폭풍에 의한 통신교란예보가 그 주요 내용이었다. 예보의 형태는 12시간 이내의 통신상태를 3단계로 나누어 발령하는 단기 전파교란예보와 1주간

동안의 통신 상태를 5단계로 나누어 실시한 주간 전파교란예보 그리고 수시로 발령되는 전파경보로 나눌 수 있다(배석희, 1998). 이러한 예·경보 업무는 태양활동, 지자기폭풍 그리고 전리층 교란 등의 정보를 기반으로 한 것이기 때문에 전파연구소는 오랜 동안 이들 관측시설을 보강하고 관측자료의 적용방안에 대한 연구를 계속하고 있다. 최근 관측의 자동화가 어느 정도 완료되면서 각 관측자료를 보다 실용적인 형태로 전파예보에 적용하는 방안을 연구하고 있다 (조경석, 2001).

현재 시행 중인 월간 전파예보는 서울을 중심으로 한 원거리 통신회선에 대해 월 평균의 통신상태를 국제전파통신위원회 (ITU)에서 제공하는 월평균 흑점수를 사용하여 2달 전에 사전 예보하는 형태로 진행하고 있다. 이러한 전파예보가 가능한 이유는 태양 흑점수 예측이 가능하기 때문이다. 그리고 전파예보를 월 단위로 시행되는 이유는 흑점수의 예측이 월 별로 이루어지고 있기 때문이다. 만약 흑점수가 하루 단위로 예측된다면 1일 단위의 전파예보도 가능하다고 볼 수 있다. 이러한 태양 흑점수를 적용한 전파예보는 외국의 자료에 의존해야 하는 문제점을 갖고 있다. 일본 CRL의 경우에는 태양 흑점수를 적용하는 대신 10.8cm 파장의 태양전파 플럭스를 사용하여 전파예보에 응용하고 있다. 그리고 호주 전파청(IPS)에서는 흑점 수에 상응하는 T-index라는 것을 고안하여 적용하고 있다. T-index는 전리층 관측자료 중 foF2 값으로부터 결정되는 것으로 흑점수와 긴밀한 상관 관계를 갖고 있다. 이러한 10.8cm 태양전파플럭스나 T-index를 적용하는 것은 현재 전파연구소에서 운용 중인 관측시설의 개선을 통해 가능할 것으로 판단된다. 예를 들면 태양전파관측시스템의 경우에는 그 관측 주파수 범위를 현재의 2.5GHz에서 3GHz 까지 확장하고 2.8GHz에서의 전파플럭스 수신을 위한 안테나 눈금조정 작업이 이루어진다면 태양전파관측자료로부터 전파예보의 입력 파라미터인 10.8 cm 태양전파 플럭스를 측정할 수 있다. 또한 T-index의 경우에는 그 동안 축적된 전리층 관측자료를 활용하여 최소 1 태양주기(11년) 동안의 foF2 임계값을 추출한 데이터 베이스를 구축함으로써 가능해 진다. 만약 이를 이용하여 foF2 임계값과 태양 흑점수와의 상관관계식을 결정한다면 1시간 간격으로 측정되는 전리층 관측자료로부터 T-index를 결정할 수 있게 된다. 이렇게 되면 1시간 단위의 전파예보도 가능해 진다. 전리층 관측자료로부터 T-index를 결정하고 이를 전파예보 모델에 적용해 보는 것이 가능할 것으로 판단된다. 이를 위해 태양흑점수, 10cm 태양전파플럭스 그리고 T-index의 상관관계를 알아보자.

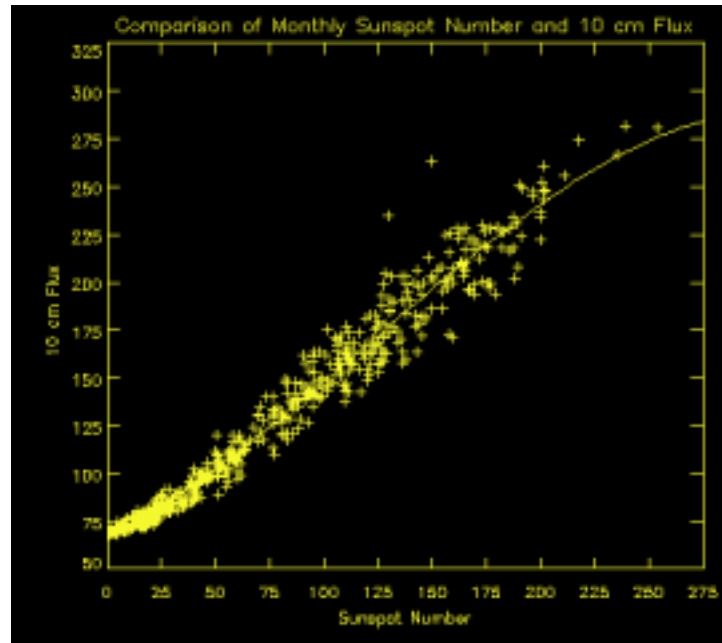


그림 6. 10cm 태양전파플럭스와 태양 흑점수와의 상관관계

2-1 태양흑점수의 결정

1일 태양 활동정도를 나타내는 흑점수는 망원경을 통한 광학관측을 통해 이루어지며 다음과 같이 정의된다.

$$R(\text{흑점수}) = k(10g + s) \quad (1)$$

여기서 s 는 태양의 개별 흑점수, g 는 태양 흑점그룹의 수 그리고 k 는 관측 factor로서 관측소간의 결정된 흑점수를 상호 비교함으로서 결정되는 상수 값이다. 보통 13 개월의 흑점 수를 평균한 것을 smoothed sunspot number라 한다.

2-2 10.7cm 태양전파와 흑점 수의 관계

보통 10 cm 플럭스라고 불리는 2.8GHz의 태양전파 플럭스는 흑점수와 상당한 연관성을 보이는 것으로 알려져 있다. 태양흑점수를 결정하는데 필요한 개별적인 흑점수의 개수와 흑점군의 숫자는 관측자의 주관에 의해 판단되고 관측 장비와 관측기술에 따라 달라질 수 있다. 그러나 10.7cm의 태양전파 플럭스는

상대적으로 쉽고 빠르게 결정될 수 있으며 다양한 목적으로 태양활동 정도를 나타내는 지수로서 사용될 수 있다. 따라서 태양 플럭스는 1일 단위 혹은 장기간의 태양활동 정도를 표시하는데 유용하게 이용되는데 일반적으로 한달 단위나 1년 단위로 평균하여 적용하기도 한다. 그림 6은 10cm 플럭스와 흑점 수와의 상관관계를 보여주고 있는데 이들은 다음의 통계적 관계(Richard, 2002)를 갖는다.

$$F(\text{플럭스세기}) = 67.0 + 0.572R + (0.0575R^2) - (0.0209R)^3 \quad (2)$$

$$R(\text{흑점수}) = 1.61FD - (0.0733FD)^2 + (0.0240FD)^3 \quad (3)$$

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

2-3 T-index

전리층에 의해 반사될 수 있는 최대 사용주파수(MUF)는 일별, 월별 그리고 태양주기 별로 달라진다. MUF는 태양활동 극대기에 보다 높은 주파수에서 전리층 반사가 이루어지기 때문에 보다 넓은 주파수 영역에서 HF 통신이 가능해진다. 반면에 극소기에는 MUF는 낮아진다. 따라서 이 시기에는 좁은 주파수 범위에서 통신이 이루어진다. 태양 활동 주기는 11년마다 반복되는데 일반적으로 활동주기를 나타내는 지수는 광학 관측에서 얻어지는 흑점수로 기술되며 일일 단위로 결정되나 월평균 그리고 년 평균값들이 주로 전파예보에 사용된다. 전리층에 의해 반사 가능한 최대 임계주파수는 ionosonde 전리층 관측기로 측정되며 전리층의 가장 높은 층인 F2층에서 반사되기 때문에 foF2라고 불린다. 이 foF2는 최대사용주파수(MUF)와 흑점수 등가치(T-index)를 결정하는데 매우 중요한 관측자료이다. T-index를 결정하는 방법에는 민정욱(2002)에 의해 자세히 언급되어 있다. 태양 흑점수가 전리층의 변화의 주요 요소이기는 하지만 전리층의 변화를 다 말해주지는 못한다. 예를 들면 전리층 변화의 또 다른 주요 원인인 지자기 폭풍이나 태양 극자외선(EUV)의 변화는 태양 흑점수와 정확히 일치하지 않기 때문에 전리층의 변화를 반영하는 특별한 지수가 필요하다. 이 때문에 고안된 것이 T-index이다. T-index는

태양활동 주기 동안의 전리층 관측자료를 이용하여 흑점수와 foF2 간의 상관 관계를 알아냄으로서 결정할 수 있다. 이러한 상관계수를 알게되면 임의로 관측된 foF2에 따라 상대적인 흑점수(T-index)를 결정할 수 있다. 호주 IPS에서는 전리층 관측을 반영한 T-index를 태양 흑점수 증가값으로 HF 통신 예보에 적용하고 있다.

제 3 절 단기전파예보 추진방안

전파예보는 예보의 사용자 층의 요구에 맞는 정보제공을 목표하여야 한다. 최근 조사된 군 및 관련기관 수요자들의 전파예보에 대한 의견을 정리해 보면 다음 3가지로 분류할 수 있다. 첫째는 한반도 지역에 적합한 전파예보 즉 한반도를 중심으로 반경 1000km 내에서 HF 대의 원활한 전파통신소통에 적합한 예보서비스를 요구하고 있다. 둘째는 현재 제공하고 있는 월평균 최적 주파수 제공보다는 한반도 내의 지점 대 지점간 통신가능 최적 주파수를 최소 1일 단위로 제공되는 것과 같은 보다 실용성 있는 예보를 원하고 있다. 셋째는 기관통신의 월별, 분기별, 시각대별의 최적 주파수 선정 및 운용을 위한 기준을 권고하여 관련기관의 통신망 운용정책에 반영할 수 있기를 원하다. 이러한 요구에 대응으로는 한반도를 포함하는 지점 대 지점의 최적 주파수 등을 제공할 수 있는 중·단거리 전파예보서비스가 필요하다. 또한 한반도 실정에 가장 잘 맞는 전파예보모델의 개발하고 실시간 예보 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이를 위해 현재 중·단거리 전파예보 모델을 개발(민정욱, 2002)하고 있다. 본 연구를 통해 구축되어 운용중인 관측 자동화 SW를 활용하여 전리층을 포함한 태양활동, 지자기 활동의 실시간 모니터링이 가능할 것으로 기대된다. 그리고 향후 다 지점 관측시스템을 통해 한반도를 포함하는 반경 1000km 이내의 전리층의 변화를 모니터 할 수 있는 새로운 관측시스템의 도입이 필요하다. 그 이유는 전리층 환경이 시간에 따라 그리고 공간에 따라 급격히 변화하기 때문이다. 이러한 체계가 갖추진 후에는 각 관측자료들이 실제 전파예보에 적용될 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 따라서 향후의 전파예보는 앞에서 제시한 foF2와 T-index 등과 같은 관측 DB 구축과 한반도 지역에 적합한 전파예보모델의 개발과 같은 새로운 시도를 통해 과거의 정상상태의 전파예보를 확장하여 비정상적 전리층 현상까지

포함한 통합형태의 실용성 있는 전파예보로의 발전되어야 한다. 또한 이상현상이 발생할 때 이를 모니터하고 예보하는 경보 시스템의 구축이 필요하다.

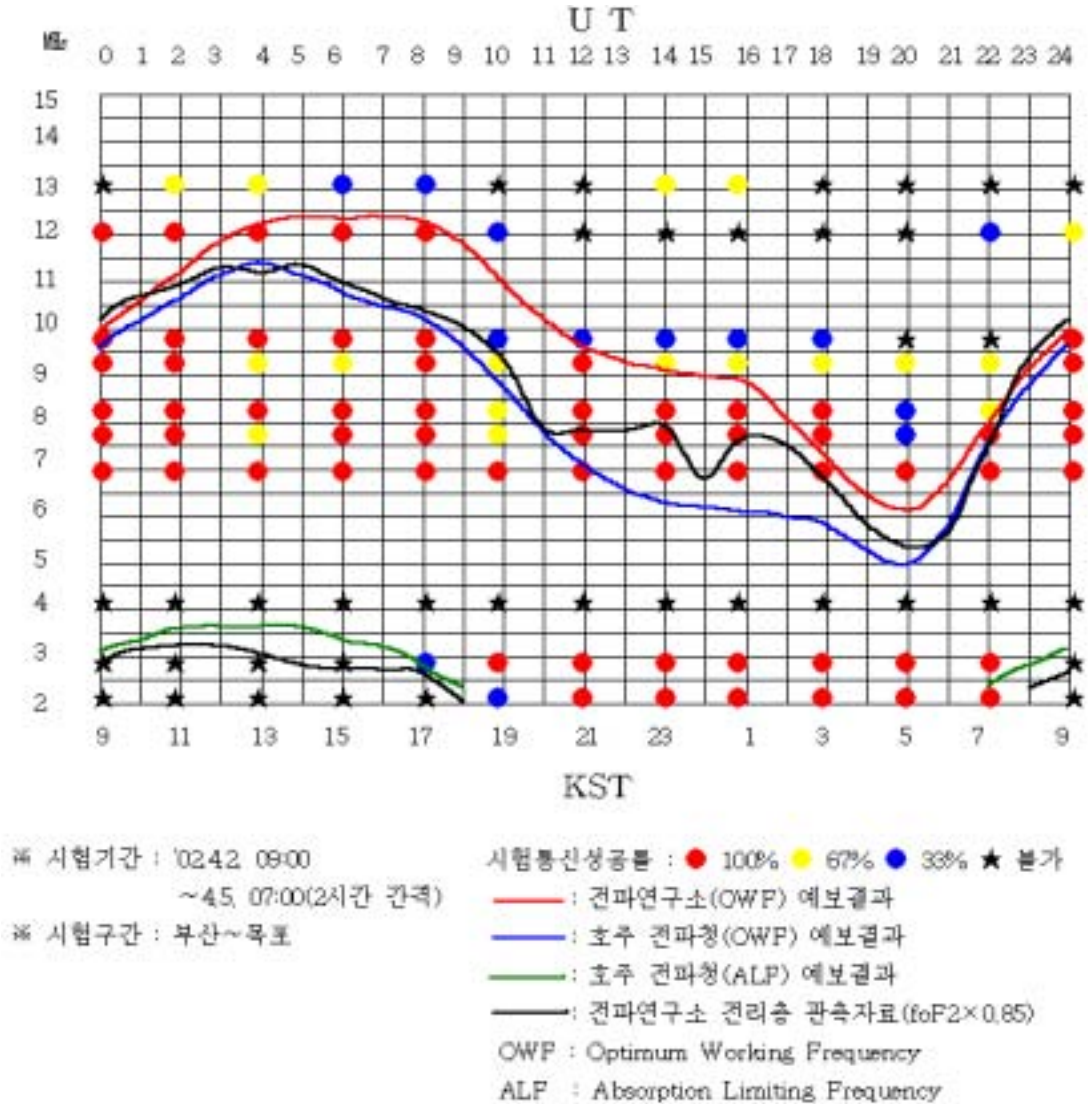


그림 7. HF 대의 시험통신 결과와 전파예보 모델의 적중률 비교

정상상태의 전파예보는 전리층의 특이현상이 없을 때의 일상적인 예보로서 전리층의 일일 변화, 계절 변화, 위도 변화 및 11년 주기의 태양활동 변화가 고려되어 있는 전파예보모델의 예측결과를 사용하여 예보하는 것이다. 이 예보의 목표에는 한반도 내의 지점 대 지점간 HF 대의 최적의 사용주파수를 예보하는 것이 필요하다. 그리고 현재 운용중인 전리층의 관측자료를 적용하는 방안이 연구되어야 한다. 지금까지 사용하여 온 Lil252 모델은 월평균 태양

흑점수를 사용하도록 개발된 것이기 때문에 월간 전파예보에 활용될 수밖에 없다. 그러나 호주의 전파예보 모델 중의 하나인 ASAPS는 태양 흑점수와 상관관계를 갖는 태양 흑점 등가지수인 T-index를 적용하고 있다. 이 T-index는 전리층 f2층의 임계주파수로부터 결정되는 값으로 전리층의 변화를 1시간 간격으로 결정할 수 있다. 그러나 T-index를 한반도 지역에 적용하였을 때의 신뢰도에 대해 다양한 형태의 검증이 필요하다. 그림 7은 전파예보모델의 신뢰도를 검증하기 위해 관련기관에서 측정한 시험통신 결과와 전파예보 모델의 결과와 상호 비교한 것을 보여주고 있다. 시험구간은 부산에서 목포 사이며 시험기간은 2002년 4월 2일부터 4월 5일까지 2시간 간격으로 2MHz에서 13MHz까지의 통신상태를 시험한 것이다. 그림에서 빨간 원은 3일 동안 100%의 교신성공을 나타낸 것이고 노란 원은 이틀 간 그리고 파란 원은 1일만 교신에 성공한 것을 나타낸 것이다. 그리고 별 모양의 표시는 교신이 불가했던 시간과 주파수를 나타낸다. 각 실선은 전파예보모델에서 계산된 결과로 보여주는 것으로 그림에서 제일 상단의 빨간 선은 현재 전파연구소에서 사용하고 있는 모델인 Lil252의 결과이며 가장 아래의 선은 호주의 ASAPS를 적용한 결과이다. 중간의 검은 실선은 안양에서 측정한 FoF2의 85%를 취한 최적사용주파수를 시간에 따라 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 호주의 ASAPS 모델이 시험통신 결과와 전리층 관측자료에 가장 근접한 것을 알 수 있다. 또한 그림 7에서는 23시부터 1시(KST) 사이에 FoF2 값의 급격히 감소하였다가 다시 증가하는 골 모양의 형태를 보이는데 이는 비정상전리층 상태가 약 2시간 정도 발생하였음을 알 수 있다. 위와 같은 비정상 전리층 상태가 반영된 단기전파예보는 급 전리층 교란, 이동 전리층 교란, 전리층 폭풍 및 Es 현상을 모니터하고 예보 방안을 연구하는 방향으로 이루어져야 한다. 그리고 이들 현상이 통신에 미치는 영향도 자세히 파악되어야 한다.

단기전파예보는 정상 전리층의 변화에 의한 전파예보와 이상 전리층현상예보를 통합한 형태로 진행하는 것이 바람직하다. 이를 위해 우선 중·단거리 지역에 지점 대 지점간의 최적 주파수를 실시간 제공(최소 1시간 간격)하는 실효성 있는 전파예보를 시작하고 이를 위한 전리층 관측자료로부터 T-index를 산출하여 ASAPS와 같은 예보모델에 적용하는 등 전리층 관측자료를 전파예보에 적용하는 것이 우선 시급하다. 이는 곧 우리나라의 전리층

환경이 반영된 예보가 되기 때문이다. 둘째 단계는 전리층 이상현상 예보연구로의 전환이 필요하다. 기존의 HF 대역 뿐 아니라 VHF에서 SHF 대역에 이르는 광범위한 주파수영역에 대한 전리층 이상현상의 영향연구와 관측자료를 기반으로 한 예측 연구 그리고 이러한 이상현상을 실시간 모니터 하는 체계가 요구된다. 마지막 단계에서는 정상과 이상 현상 모두를 통합하는 형태의 예보 연구로 발전이 되어야겠다.

제 3 장 우주전파환경 관측시설의 자동화 방안

전파연구소에서는 전파예보의 발전된 형태인 우주환경예보를 추진하기 위하여 태양전파관측기(1995), 지자기 관측망(1996, 1998) 및 전리층 관측기(1990)를 각각 설치하였다. 이들 관측시스템은 태양활동과 지자기 및 전리층 교란을 실시간으로 모니터 할 목적으로 구축되었으며 현재 정상적인 운용을 하고 있다. 그 동안 태양전파관측기의 운용 소프트웨어의 자체 개발을 시작으로 관측데이터의 전산화 작업이 이루어졌으며 실시간 데이터 처리를 위한 각 시스템의 분석소프트웨어가 각각 개발되어 왔다. 그 결과 각 시스템의 데이터를 통합하고 실시간 처리하여 우주환경예보 및 전파예보에 적용할 수 있는 자동화 과정이 요구되었다. 2장에서 설명한 것처럼 단기전파예보는 전리층이 급격히 변화하는 이상현상이 중요한 내용이 된다. 이를 위해서는 급격히 변화하는 전리층 뿐 아니라 그 변화의 원인이 되는 태양과 지자기장의 변화를 실시간으로 모니터 하는 일은 매우 중요하다. 표 3은 각 관측시스템의 관측 대상과 우주환경예보 및 전파예보에서의 활용분야에 대해 정리하고 관측대상이 통신에 미치는 영향에 대해 분류하였다. 본 장에서는 각각의 관측시스템의 데이터 취득에서부터 네트워크를 통한 전송, 분석 서버컴퓨터에서의 자료 처리, 그리고 처리결과를 인터넷 상에서 실시간으로 자동 제공하는 일련의 과정을 자동으로 처리할 수 있도록 개발된 우주환경관측의 자동화한 과정에 대해 설명한다.

제 1 절 네트워크 구성 및 데이터 전송

실시간 관측데이터 및 우주환경에 관련된 정보를 제공하기 위해 내부 네트워크 상의 데이터 처리와 전송 시스템을 구성하였다. 데이터의 처리와 전송을 위해서는 PC와 UNIX 시스템간의 파일 시스템의 공유가 기본적으로 구축되어야 한다. 이를 위해 UNIX 시스템의 저장장치를 PC에서 공유할 수 있는 삼바(SAMBA) 응용 프로그램을 사용하였고, 서버들간의 데이터 전송을 위해 파일전송프로토콜(FTP)를 사용하였으며 인터넷 서비스를 위해 아파치(APACHE)어플리케이션을 각각 3대의 unix 서버와 4대의 PC에 설치하였다.

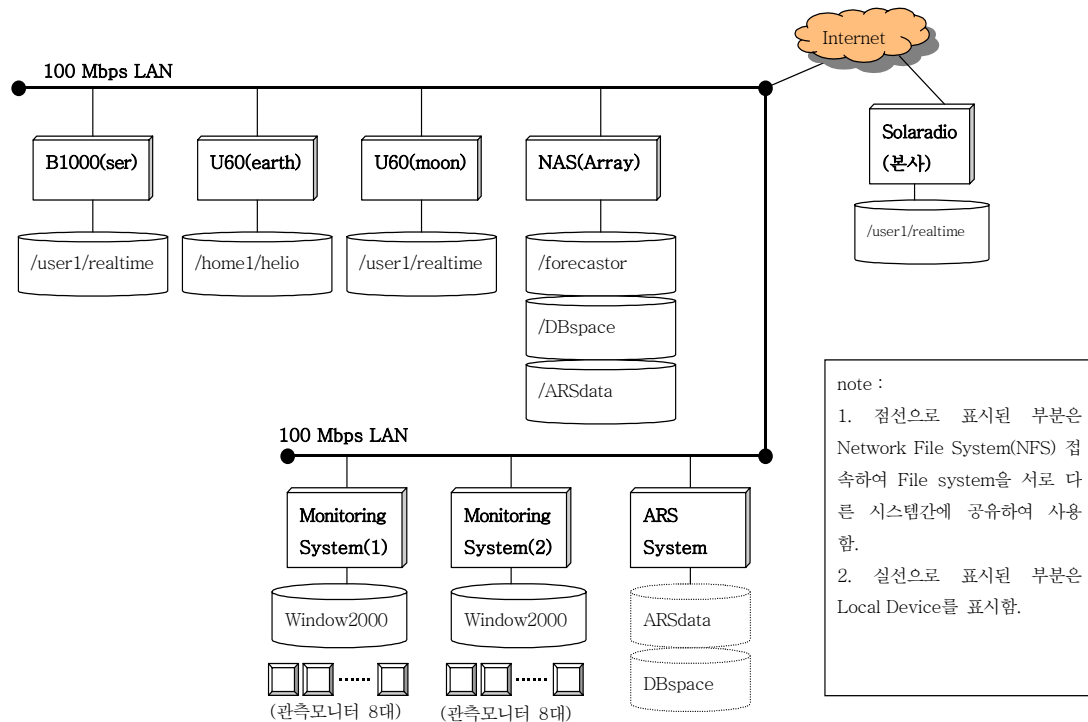


그림 8. 관측정보 처리 및 실시간 제공을 위한 서버 시스템 구성

그림 8은 관측데이터 처리 및 전송을 맡는 서버 시스템의 구성을 나타낸 것이다. Ser(B1000)은 외국의 태양관측자료를 실시간 취득하여 1일 태양활동 상태를 예측하는 서버이고 earth(U60)은 실시간 태양전파관측자료를 수신하여 1시간 간격의 태양전파스펙트럼을 생산하고 미국 우주환경예보센터(SEC)에서 실시간 제공하고 있는 태양 X선, 고에너지 입자 및 지자기 위성관측자료를 취득·처리하여 인터넷으로 제공하기 위한 자료를 자동 생성한다. 그리고 moon(U60) 서버는 안양의 전리층 관측자료를 수신하고 이천, 용인, 제주의 지자기 관측자료를 실시간 수신하여 이를 인터넷으로 제공하는 역할을 맡고 있다. 이들 관측정보들은 본소(서울)에 위치해 있는 solaradio(인터넷 서버)에 자동 전송되며 이들 데이터들은 전파예보실의 모니터링 시스템에 디스플레이 되도록 되어 있다. 그림 8의 각 서버 아래에 표시된 디렉토리는 관련 데이터가 저장되고 처리되는 위치를 나타낸 것이다. ARS 서버는 전파 예·경보를 전화 상에서 서비스하기 위해 구성한 것으로 종합 데이터 DB 구축을 위해 구성한 NAS 시스템과 각 UNIX 서버들과 더불어 전체 파일 시스템이 묶여져 있다.

제 2 절 단기전파예보를 관측시스템의 운용

전파연구소 관측시스템으로는 30~2500MHz 대역의 광대역 태양전파를 수신하는 태양전파관측시스템과 용인, 이천, 제주 지역에서의 지구자기장의 총 변화량과 그 방향성분(남북, 동서, 지구중심 : 3축)들을 측정하는 지자기 관측시스템 그리고 0.1~30MHz의 전파를 수직 입사하여 전리층내의 여러 전자 층에서 반사되어 오는 전파를 측정하여 전리층내의 높이에 따른 전자들의 분포변화 등을 측정하는 전리층 관측시스템으로 구성되어 있다. 표 4에서 보는 바와 같이 이들 시스템은 그 고유의 관측 목적을 가지고 운용되고 있다. 우선 태양전파 관측은 태양활동 시 발생하는 태양전파를 모니터하여 태양활동 시작시각 및 규모 등을 감시하고 필요시 태양에서 생성되어 진행되는 행성간 충격파의 속도 계산을 통한 지자기 폭풍 등의 예측에 활용될 수 있다(kscho et al., 2002). 태양전파 관측자료는 태양 X선 자료와 함께 텔린저현상 등과 같은 단기전파예보에 사용되며 단파두절, 태양전파간섭 등의 통신영향 예보에 적용된다. 지자기 관측의 고유 목적은 미국, 일본 등의 경우에서도 알 수 있듯이 지자기폭풍 모니터 및 규모 결정에 있다(최정림 외 1997). 지자기 폭풍현상이 전리층 폭풍 현상과 긴밀한 연관이 있기 때문에 전리층 폭풍예측에 사용될 수 있다. 통신 분야에서는 GPS 신호의 신틸레이션, HF 신호감쇄 예측에 적용된다. 마지막으로 전리층 관측자료는 HF 통신의 최적사용주파수 선정 및 전리층 상태 모니터 등의 고유 관측 목적을 갖고 있으나 단기전파예보를 위한 전리층 폭풍, 텔린저 현상, 스포라딕 E 현상 모니터 등에 적용될 수 있다(표유선 외 2000). 특히 단파 두절, 전파간섭 및 위성신호의 신틸레이션 등의 통신 영향예보에 중요 자료로 활용될 수 있다. 그 동안 이들 시스템은 각각의 고유 관측 목적에 맞추어 개별적인 관측이 이루어져 왔으나 최근 시스템의 운용 정상화와 관측자료의 통합을 통한 전파예보의 필요성이 대두되면서 전파예보를 위한 관측데이터의 상관성 연구 및 그 활용에 대한 요구가 제기되어 왔다. 이를 위해서는 우선 관측자료의 통합 처리 및 실시간 데이터의 모니터링이 선행되어야 하기 때문에 본 연구에서는 네트워크를 통한 자료의 자동 처리 및 실시간 서비스에 중점을 두고 진행하였다.

표 2. 전파연구소의 관측시스템의 운용과 전파예보의 활용분야

관측시스템	활용분야	전파예보 적용분야	통신영향
태양전파	태양전파모니터 태양폭발 감시	델린저 현상 예측 (D-region Absortion)	단파두절 태양전파간섭 전파환경모니터
지자기	지자기폭풍 모니터 및 규모 결정	전리층 폭풍 예측	GPS 신틸레이션, HF 신호감쇄
전리층	최적사용주파수 선정 및 전리층 상태 모니터	전리층폭풍 모니터 델린저현상 모니터 스포라딕 E 모니터	단파두절 전파간섭 신틸레이션

2-1 태양전파관측시스템

태양전파관측시스템은 데이터 취득용 컴퓨터(PC)와 안테나의 태양추적 상태 모니터용 컴퓨터(PC) 그리고 실시간 데이터 처리용 서버(UNIX)로 구성되어 있다. 관측 자동화를 통해 현재 구축된 관측체계는 다음과 같다. 우선 취득 용 PC에서 얻어진 데이터는 처리용 서버로 실시간으로 전송이 되며 태양배경전파와 TV, Pager, FM 등의 인공신호가 제거된 동적 스펙트럼이 1시간 간격으로 생성되고 만들어진 스펙트럼 이미지를 web 서버로 자동 전송 되도록 되어 있다. 다음은 일상적인 관측과정에서 필요한 점검 및 조치 사항들을 정리한 것이다.

가. 데이터 서비스 상태 확인

실시간 데이터가 제공되는 web 서버(solaradio.rrl.go.kr)의 메뉴 중에 있는 관측시스템/실시간 관측데이터/ 실시간 전파스펙트럼을 클릭 한 후 스펙트럼이 정상적으로 loading 되는지, 날짜와 시각이 정상인지 확인한다. 만약 실시간의 데이터가 나타나지 않는 경우에는 데이터 처리 SW 및 데이터 취득 SW의 운용상태를 확인하여 다음의 과정을 통해 진행하면 된다.

나. 데이터 처리 SW의 운용 상태 확인

- (1) Unix(earth.rri.go.kr)에서 운용되고 있는 데이터 처리용 SW인 **IRS obs time** SW의 작동상태를 단말기의 error발생여부로 확인한다.
- (2) Unix에 데이터가 저장되고 있는 디렉토리(/home1/helio/irs/radio_data/)에서 spe를 확장자로 사용하는 태양전파데이터(예: 01081200.spe)가 존재하는지 그리고 계속 파일 사이즈가 증가하는지 확인하고 존재하지 않는 경우에는 데이터 취득 SW의 운용 상태를 확인한다. 이상이 없는 경우에는 데이터 처리 SW인 IRS obs time을 다시 실행한다. 그 명령은 다음과 같다.
(cd /home1/helio/irs/, idl, .run xcd0)

다. 데이터 취득 SW의 작동상태 확인

- (1) PC Anywhere(상용 소프트웨어)를 사용하여 관측소에 있는 데이터 취득용 PC(solar1)를 접속하고 PC 화면상에 데이터 취득 소프트웨어(Observer SW)가 정상적으로 작동되는지를 에러 발생여부를 통해 확인한다.
- (2) 만약 에러가 발생하였을 경우에는 취득 소프트웨어를 종료하여야 한다. 이를 위해서는 발생한 error 메시지 메뉴의 O.K 버튼을 눌러 종료한다.
- (3) 데이터 처리용 서버와의 네트워크 접속 상태를 확인한다. 데이터 취득 PC의 바탕화면에서 내 컴퓨터 안에 있는 유닉스 서버의 하드디스크 공유상태(보통 E: 드라이버 연결)를 확인한다. 이상이 없는 지 확인하고 이상이 있는 경우에는 네트워크 환경을 확인하여 PC와 서버간의 네트워크 공유를 하도록 한다.
- (4) 바탕화면에 있는 데이터 취득 소프트웨어(observer SW)를 다시 실행한다.
- (5) Observer SW의 setup/directory 메뉴를 클릭하고 directory on this computer 부분에 처리용 서버의 하드인 e:\를 입력한다.
- (6) Observer SW의 메뉴에 있는 Auto 버튼을 눌러 자동 관측을 실행한다. 이 Auto 기능은 일출·일몰 (태양의 고도 5°이상)까지 연속해서 태양전파를 자동 취득하는 기능을 갖고 있다. 약 2초 후에

SW 상단 윈도우에 30MHz에서 2500MHz까지의 전파 스펙트럼이 나타나는 지를 확인한다.

- (7) 약 10여 초 후 데이터 저장 유닉스 서버인 earth의 telnet을 사용하여 접속한 후 데이터가 저장되는 디렉토리인 /home1/helio/irs/radio_data/에 data (예: 01081200.spe ; 2001년 8월 12일 0시 (UT))가 들어오는지를 다음의 명령(ls -al *(Enter))을 사용하여 확인한다.

2-2 지자기 관측시스템

한반도 지자기 연속관측시스템은 이천, 용인, 제주 관측소로 구성되어 있으며 각 관측소는 관측된 데이터를 실시간으로 이천분소의 전파예보실로 자동 전송된다. 예보실의 지자기 관측 PC는 이천지역에서의 총 자기장(프로톤 센서)과 자기장의 3축(남북, 동서, 지구중심)성분을 측정을 수행하면서 동시에 원격지의 데이터를 수신하고 이를 저장하는 기능을 하고 있다. 또한 데이터 처리하고 인터넷으로 실시간 제공하기 위한 데이터 처리 서버로의 자동 전송기능도 추가하였다. 서버에서는 1분마다 데이터를 읽어 총 자기장 세기와 3축 성분의 자기장세기를 시간에 따라 plot한 이미지를 생성하고 이를 web 서버로 자동 전송한다. 다음은 일상적인 관측과정에서 필요한 점검 및 조치 사항들을 정리한 것이다.

가. 데이터 서비스 상태 확인

웹서버인 solaradio.rrl.go.kr의 메뉴 중에 관측시스템/실시간 관측데이터/실시간 이천, 용인, 제주지자기자료를 각각 클릭 한 후 관측데이터가 시간에 따라 정상적으로 갱신되어 보이는지를 날짜와 시각을 통해 확인한다. 만약 문제가 발생하면 다음의 과정을 따라 조치한다.

나. UNIX 처리 SW 상태 확인

- (1) 지자기 데이터 처리 서버인 moon 컴퓨터의 (IGM/YGM/JGM) obs time SW의 작동상태를 단말기를 통해 확인한다. 이상이 있는 경우 계속적인 error 메시지가 보일 것이다. 대부분의 경우 각 관측소의 데이터가 저장되지 않았을 경우에 발생한다.

- (2) 데이터 처리 서버의 데이터 저장장소인 /user1/realtime/magdata/ 아래의 ichon/, yongin/ cheju/ 디렉토리에 F(fluxgate 데이터), M(fluxgate 데이터의 메모화일) 그리고 P(프로톤 데이터)로 시작되는 해당 날짜의 데이터 파일(e.g F010812, M010812, P010812 ; 2001년 1월 8일)이 있는지 확인하고 없는 경우에는 데이터 취득 PC를 체크하여 이상이 없는 지를 살핀다.
- (3) 데이터가 없는 경우 각 관측소의 운용 PC의 상태를 확인하고 각 관측소에서의 관측에 문제가 없는지를 확인하다. 만약 이상이 없는 경우에는 앞에서 설명한 각 데이터의 mod를 바꾼다. 이를 위해 각 데이터가 저장되는 디렉토리에서 다음의 unix 명령을 사용하여 파일 mode를 바꾸어 준다. (chmod 777 *)
- (4) 데이터 처리 소프트웨어인 각 관측소의 데이터에 대해 각각의 Obs time SW가 있는 디렉토리로 이동한 후 데이터 처리 프로그램을 서버(moon.rrl.go.kr)의 터미널에서 idl, .run xcd0의 명령으로 프로그램을 재실행한다.
 - cd /home1/realtime/ichon : 이천관측자료의 경우,
 - cd /home1/realtime/yongin : 용인관측자료의 경우
 - cd /home1/realtime/cheju : 제주관측자료의 경우
- (5) 만약 각 관측소의 운용 PC에서 데이터가 취득이 안 되는 경우 관측시스템을 구성하는 데이터 로거, 데이터 콘솔 그리고 회선 등을 체크한다. 각 관측소와 이천분소에 있는 전파예보실 간의 전용회선의 상태도 모뎀 확인을 통해 점검해야 한다.

2-3 전리층 관측시스템

안양에 있는 전리층 관측기는 송·수신 안테나와 제어 시스템으로 구성되어 있다. 제어시스템은 0.1~30MHz의 전파를 수직 입사하여 전리층내의 여러 전자층에 반사되어오는 전파를 측정한다. 또한 측정된 데이터를 FTP를 이용하여 측정과 동시에 원격지에 송신하는 기능을 가지고 있다. 이러한 기능을 사용하여 안양에서 측정된 데이터는 1시간 간격으로 이천 전파예보실의 서버(moon)에 저장되고 서버에서는 관측자료를 처리하여 F2 층의 임계주

파수 등 필요한 정보를 추출하고 web 서버로 제 전송을 한다. 다음은 일상적인 전리층 관측과정에서 필요한 점검 및 조치 사항들을 정리한 것이다.

가. 전리층 관측데이터의 서비스 상태 확인

인터넷으로 제공되는 전리층 관측자료를 모니터한다. 그 방법은 태양전파나 지자기와 동일하다. 웹서버인 solaradio.rrl.go.kr에 접속하여 메뉴에서 관측시스템/실시간 관측데이터/실시간 Ionogram을 클릭한 후 주파수에 따른 전리층에서의 전파의 반사 층의 높이를 표시한 Ionogram 그래프가 날짜와 시각에 따라 갱신되는지 확인한다. 만약 새로운 자료가 갱신되지 않았다면 관측에 문제가 있음을 인식하고 다음의 과정을 따라 조치한다.

나. 전리층 데이터의 UNIX 처리 SW 상태 확인

- (1) 안양에서 측정된 전리층 데이터를 수신하는 이천 전파예보실 서버인 moon 컴퓨터에서 실행되고 있는 IONOGRAM SW의 작동상태를 확인한다. 수신된 데이터가 없는 경우 SW가 운용되고 있는 단말기에 error가 발생할 것이다.
- (2) moon 컴퓨터의 /user1/realtime/DBion 디렉토리에서 생성되어 있는 ionogram 이미지(web_ion.gif)와 확장자가 sao인 전리층 데이터가 최근의 것인지를 확인한다. 없는 경우에는 안양에 있는 전리층 관측데이터 취득 서버와 통신회선 상태를 점검한다.
- (3) 이상이 없는 경우나 관련 문제를 해결한 후에는 Ionogram SW를 재실행한다. 그 방법은 다른 관측자료를 처리하는 방법과 동일하다. Ionogram SW가 있는 디렉토리로 이동한 후 idl을 실행하고 .위 SW를 실행한다. (예 : idl^{Enter} , .run xcdion^{Enter} , xcdion^{Enter})

제 4 장 단파예보를 위한 전리층 관측시스템 구축방안

제 1 절 단파예보와 전리층 관측

2장에서 언급한 바와 같이 전파예보는 예보의 사용자 층의 요구에 맞는 정보제공을 목표하여야 한다. 전리층 관측시스템의 구축과 운용은 전파예보 사용자의 요구를 만족시키기 위한 방향으로 진행되어야 한다. 최근 조사된 군 및 관련기관의 전파예보 수요 의견들 중에 가장 중요한 부분은 한반도 지역에 적합한 전파예보 다시 말해 한반도를 중심으로 반경 1000km 내에서 HF 대 통신이 원활히 소통되는데 도움이 되는 예보서비스를 요구하고 있다. 전리층의 상태는 시간과 공간에 따라 급격하게 변화하기 때문에 급격한 전리층 환경을 고려한 전파예보가 필요하며 이를 위해서는 지역적인 특성이 반영된 전파예보 모델의 개발도 필요하지만 기본적으로는 한반도 상공에 대한 전리층 관측이 필요하다. 그러나 현 전리층 관측은 안양 상공의 전리층을 관측하는 소위 1차원 관측이므로 한반도 내의 지점 대 지점간 통신 최적주파수를 선정 등에 이러한 관측자료를 적용하는 것은 예보의 신뢰도를 저하시킬 수 있다. 따라서 본 장에서는 2차원의 공간 관측, 즉 서울을 중심으로 반경 1000km 이내의 한반도 상공의 전리층 관측방안에 대해 알아본다.

제 2 절 외국 전리층 관측동향

전파예보와 관련하여 활발한 연구활동과 전리층 관측업무를 수행하는 곳으로 일본 통신총합연구소(CRL)과 호주 전파청(IPS)을 들 수 있다. 이들은 자국 영역을 포함하는 전리층 관측망을 운용하고 있으며 다중 관측을 통해 해당국 상공 210km 이상(F층)의 전리층의 시간적, 공간적 변화를 실시간으로 모니터하고 있다. 이들 관측자료는 HF 대역 최적주파수 선정, 단파두절, VHF/UHF 간섭, 위성통신 이상현상의 분석 및 예보 등에 활용되고 있다. 본 절에서는 일본, 호주를 중심으로 그들의 관측시스템과 관측자료의 활용 동향에 대해 정리하였다.

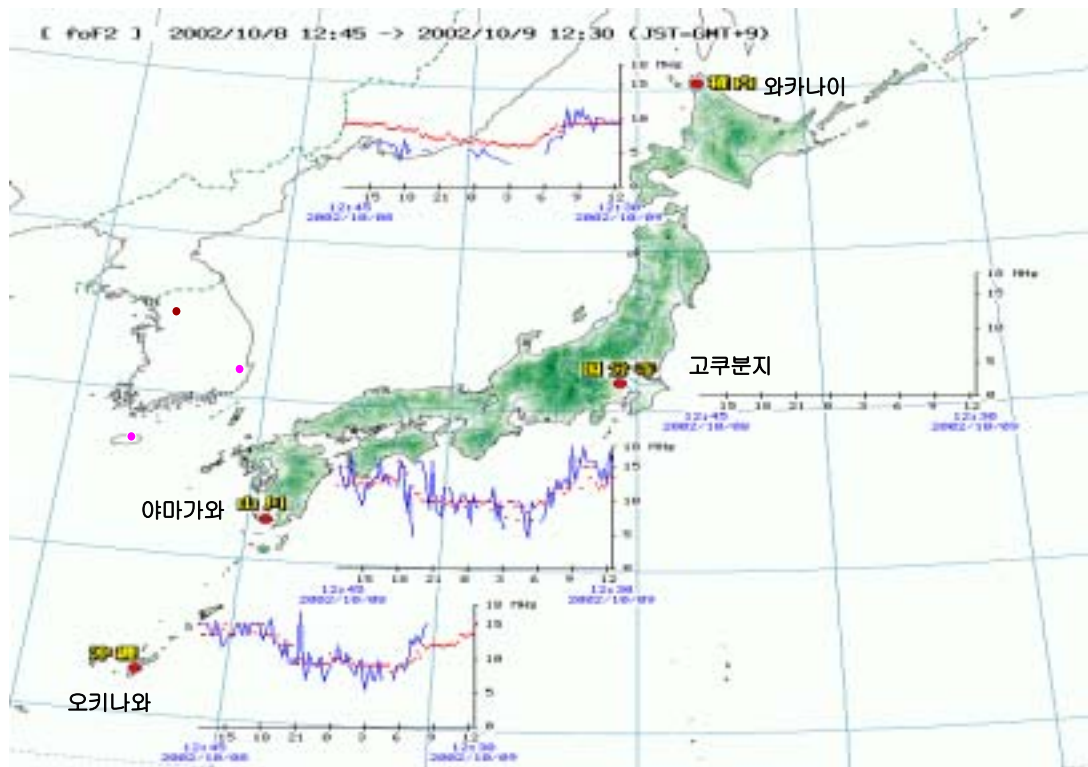


그림 9. 일본 CRL의 전리층 관측소의 분포와 관측자료

2-1 일본의 전리층 관측

최근 일본 통신종합연구소의 전리층 관측 및 전파 전파 그룹은 전리층의 급격한 변화가 광범위한 전파통신에 미치는 영향에 대해 집중적인 연구를 진행하고 있다. 이들은 전파예보의 사용자 층의 요구에 맞는 정보제공을 목표로 연구를 진행하고 있다. 일본의 이러한 사용자의 요구 내용과 그에 맞는 연구 방향은 우리나라의 경우에도 크게 다른 것이 없으므로 단기전파예보 방안을 마련하는데 유용할 것으로 생각된다. 그림 9는 일본의 전리층 관측시스템 (Ionosonde)의 분포와 관측자료를 보여주고 있다. 남쪽에서부터 오키나와, 야마가와, 고쿠분지 그리고 와카나이 등 4개의 관측소를 운용하고 있으며 F2층의 임계주파수를 실시간으로 보여주는 네 개의 plot은 이들 각 관측소에서 관측된 것을 표시한 것이다. plot 상의 빨간 점선은 한 달 평균값이고 파란 실선은 실시간 자료를 표시한 것이다.

표 3. 일본 CRL 전리층연구 및 전파예보 활용분야

전리층 연구	활용분야	관측시설
전리층 폭풍감시 및 예보	단파대 가용주파수 선정 GPS 정밀도 보정	전리층 관측기(Ionosonde) TEC 측정기 (GPS 망)
이동 전리층 교란연구	신틸레이션 현상예보	단파방송 수신을 이용한 방향감지 시스템, TEC 측정기, 전리층 관측기
Es 현상 실시간 감시	전파간섭예보 VHF 망 운용 HF 디지털 통신망 운용	FM 방송 수신기 (편파, 전파각 변화 측정), 전리층 관측기

위 그림에서 보는 바와 같이 지역적인 특성상 일본과 우리나라의 전리층 관측시설의 공동 운용 및 공동 자료 분석을 통한 협력연구를 추진하는 것은 향후 보다 실질적인 전파예보를 하는데 중요하다. 현재 일본의 연구방향은 표 3에서 보는 것과 같이 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째는 전리층 폭풍 현상의 실시간 감시 및 예보이다. 앞에서 언급된 것처럼 전리층 폭풍은 단파통신과 GPS 응용분야에 심각한 영향을 준다. 이를 위해서 필요한 관측량은 전리층을 이루고 있는 총전자 함유량(TEC)이다. TEC는 GPS위성자료를 분석함으로써 결정될 수 있는데 이를 적용하면 GPS 송 수신 기기의 측정 에러를 계산할 수 있다. 이들 자료는 2차원 공간 및 시간 관측이 가능하게됨으로 한일 지역을 포함하는 전리층 전자밀도 지도를 만드는데 적용될 수 있다. 둘째, 신틸레이션 예보를 위한 연구를 들 수 있다. 전리층 교란 지역으로 이동하는 현상을 이동전리층교란(TID)라고 하는데 이 TID를 모니터하고 그 방향을 예측할 수 있다면 위성신호의 신틸레이션 현상도 예보 할 수 있다. 이를 위해서는 우리나라와 주변국에서 들어오는 단파대 통신을 수신하고 기존의 전리층 관측자료와 비교하는 것이 필요하다. 그리고 일본에서 현재 구축 완료되어 시험 운용중인 단파대 방향 감시시스템 등은 효율적인 TID 관측을 위한 좋은 예이다. 셋째는 스포라딕 E 현상을 실시간 감시하는 연구를 들 수 있다. 현재 일본에서는 Es에 의해 VHF 신호의 이상 전달을 감시하기 위해 주변국의 FM 방송수신을 시행하고 있다.

Realtime Ionospheric foF2 Map Day: 18 Month: 12 Hour: 3 UT

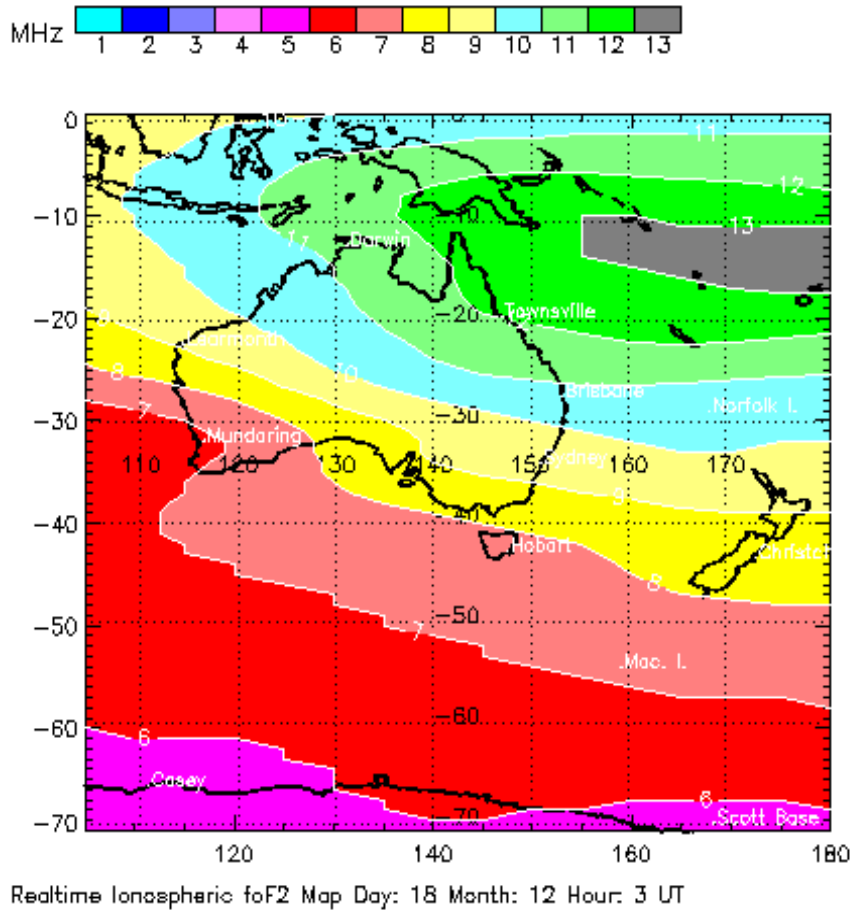


그림 10. 호주 IPS의 전리층 관측소(북쪽에서 시계방향으로 Darwin, Townsville, Brisbane, Norfolk Island, Sydney, Hobart, Macquarie Island, Scott Base, Case, Mundaring, Learmonth)의 분포와 foF2 지도.

2-1 호주의 전리층 관측

호주 대륙의 전리층 관측소는 총 20개가 있으며 현재 11개의 관측소에서 실시간 데이터가 나오고 있다. IPS에서는 이들 관측소에서 얻어진 데이터를 이용하여 호주 대륙 상공의 foF2, T index 지도와 같은 전리층 환경 지도를 만들어서 일반인에게 실시간으로 제공하고 있다. foF2 지도는 실시간의 단파대역 통신최적주파수를 선정할 때 사용되고 T index는 일간, 월간 그리고 연간의 단파 대 통신상태를 예측하는 전파예보모델 계산에 적용된다.

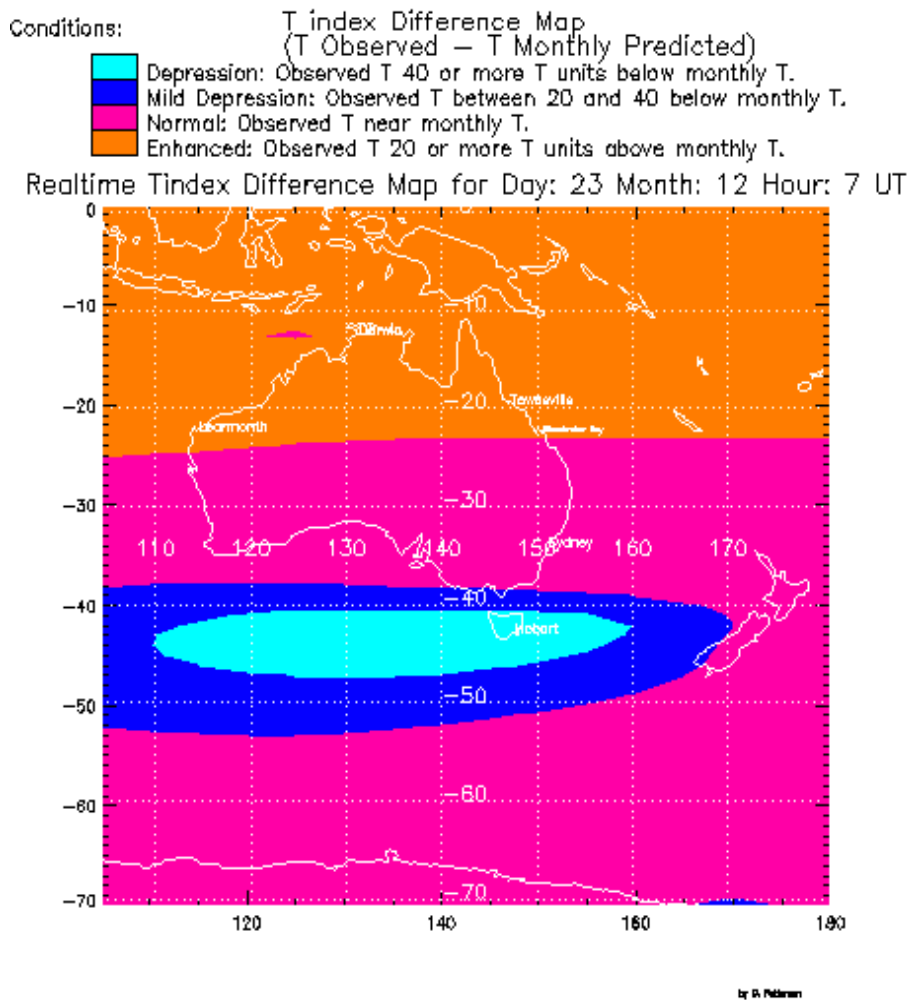


그림 11. 호주 IPS 전리층 관측소의 분포와 관측자료 (실시간 T-index 지도)

HF 통신 사용자의 경우에는 F2층의 임계주파수를 통해 지역 간 통신 가능한 최적사용 주파수를 결정하는데 활용될 수 있기 때문에 해당 지역에서의 F2층의 임계주파수 지도는 매우 유용하다. 그림 10은 11개의 관측소의 데이터를 종합하여 작성된 전리층의 foF2 실시간 지도이다. F2층의 시간대별 임계주파수의 변화를 실시간 plot의 형태로 제공하는 일본과는 달리 호주에서는 전리층 관측자료를 이용하여 호주대륙 상공의 전리층 지도를 작성, 제공하고 있다. 이러한 F2층의 임계주파수 분포지도는 전리층통신을 할 때 통신이 가능한 특정 주파수대를 표시한 것으로 시간과 공간에 따라 달라질 수 있다. 각 관측소에서 보유하고 있는 전리층 관측시스템으로는 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 ionosonde를 사용하고 있다. ionosonde는 짧

은 단파대의 펄스를 상공으로 송신하여 반사되어 되돌아오는 전파를 수신하는 방식으로 운용되는 일종의 레이더이다. 주파수(일반적으로 1~22MHz)를 바꾸면서 송신된 전파를 다시 수신하여 송·수신간 시간지연을 측정함으로써 주파수에 따른 반사층의 높이를 기록할 수 있는데 이것을 ionogram이라고 부른다. 각 관측소에서는 ionogram을 각각 인터넷을 통해 제공하고 있는데 IPS에서는 이들 관측자료를 제 분석하여 그림 10과 같은 F2층의 임계주파수 지도를 생산하여 실시간으로 서비스하고 있다. 이러한 지도를 생산하기 위해서는 다중관측이 필수적이며 당연히 관측소의 수에 따라 foF2 지도의 정밀도는 높아진다.

우리는 2장 2절에서 전파예보 모델에 사용되는 여러 가지 지수에 대해 알아보았다. 그리고 이들 지수간에는 특별한 상관관계가 있음을 언급하였다. 호주 IPS의 경우에는 전리층의 변화를 반영한 T-index를 사용하여 단기 전파예보를 할 수 있는 예보모델을 개발하고 적용하고 있다. 개별 전리층 관측소에서 측정된 foF2 값은 각 관측소 상공의 전리층 환경을 반영하고 있다. 그림 11은 전리층 관측자료를 적용하여 얻어진 T-index 지도이다. 이 T-index map은 호주 IPS에서 실시간 제공하고 있는 것으로 호주 지역에서의 예상된 월 평균 분포에서 1시간 간격으로 관측하여 얻어진 T-index 분포의 차이를 그린 지도이다. 반경 1000km 이내의 한반도 지역에서의 지점 대 지점간 1시간 간격의 전파예보를 위해서는 전리층 관측자료에 근간을 둔 T-index 지도와 같은 것은 매우 유용할 것이다.

제 3 절 전리층 관측시스템 구축을 위한 제안

전파연구소의 전리층 관측의 목적은 원활한 HF 대역의 통신 운용을 위한 전파예보와 HF에서 SHF에 이르기까지 광범위한 주파수에 대한 전리층의 영향을 연구하는 것이다. 본 연구를 통해 최근의 전파예보 수요자들이 한반도를 중심으로 반경 1000km 내에서 HF 대 통신이 원활히 소통을 할 수 있도록 지점 대 지점간의 최적 주파수 선정·제공하는 서비스를 기대하고 있음을 언급하였다. 그리고 최근의 호주 일본 등의 전리층 관측 및 연구동향을 조사함으로써 전리층 관측 방향이 다 지점 관측으로 이루어지고 있으며 다 지점 관측을 통해 전리층 이상현상이 전파통신에 미치는 영향 연구에 주

력함을 알았다. 다 지점 관측은 시간적, 공간적으로 급격히 변화하는 전리층의 변화를 모니터 하는데 반드시 필요하며 지점 대 지점의 전파예보를 하는데도 반드시 요구된다. 따라서 공간적인 측면에서는 현재 안양에서만 수행하고 있는 전리층 관측시스템을 다중 지점으로 확장 할 필요가 있다. 시간적인 측면에서도 관측시간 간격을 현재의 1시간 간격에서 최소 15분 이하로 줄이는 방안이 요구된다. 이를 위해서는 주변에 영향을 최소화할 수 있는 소출력, 소규모 시스템이면서도 네트워크를 통한 데이터 전송 기능이 보강된 관측시스템이 요구된다. 다 지점 관측을 통해 한반도 지역에서의 T index를 결정하고 이를 지점 대 지점의 전파예보 모델에 적용하게 되면 단기 전파예보가 가능하게 되고 또 일본과 같이 근접 국가들의 관측자료를 공동 분석하면 한반도 지역 및 동북아시아 지역에서의 T-index 지도를 실시간으로 생산으로 확장될 수 있다. 이러한 자료는 향후 전리층 이상 현상(이동 전리층 교란 등)과 같은 전리층 이상현상과 그에 의한 통신 영향 연구에 유용할 것으로 기대된다.

제 5 장 결 론 및 향후과제

한반도 지역에 적합하며 1일 단위의 최적사용주파수 등을 예보하기 위해서는 태양흑점수를 사용한 전파예보 보다는 현재 호주 우주전파청에서 적용하고 있는 것과 같이 전리층 T index를 전파예보모델에 적용하는 것이 바람직하다. 전리층 T index는 1시간 단위로 측정되는 F2층의 임계주파수를 사용하여 결정할 수 있는데 이를 위해서는 장기간의 전리층 관측데이터로부터 foF2와 흑점 수와의 상관관계가 결정되어야 한다. 장기간 관측된 전리층 관측자료를 활용한 DB 구축을 통해 위와 같은 일들이 가능할 것으로 기대된다. 또한 현재 운용중인 태양전파, 지자기, 전리층 자료를 단기 예보에 적용하기 위해서는 자동화된 실시간 자료처리가 선행되어야 한다.

본 연구를 통해 우리는 전파관측자료의 통합자동처리 SW를 개발 적용함으로써 관측업무의 자동화를 구현하였다. 그리고 한반도 지역에 적합한 전파예보를 단기간에 제공하기 위한 방안도 연구하였다. 그 결과 한반도를 중심으로 한 단기 전파예보를 시행하기 위해서는 다 지점 전리층 관측시스템이 필요함을 주요 선진국의 전리층관측 동향 분석을 통해 알 수 있었다. 특히 T-index 지도와 같은 유용한 전파예보 모델의 입력 파라미터를 만들어내는 것은 다 지점 관측을 통해 가능하다. 그러나 전파연구소에서 운용중인 전리층 관측기는 단일 지점에서 관측하는 시설로서 5Kw의 고출력 송신기에서 관측시 방사하는 전파로 인해 설치장소(안양)주변의 통신잡음의 원인을 제공할 뿐 아니라 도심에 위치해 있어 주변잡음으로부터의 영향을 받는다. 한반도 중·남부 지역을 포함하는 단기전파예보에 적합한 관측자료를 얻기 위해서는 공간적으로는 다 지점(3지점 이상), 시간적으로는 최소 15분 간격의 관측이 가능한 시스템이 필요하다. 또한 주변 잡음을 최소화하고 실시간 관측자료의 전송이 가능한 소 출력(300w 이하) 시설이며 주변국과의 관측자료 공유가 가능한 네트워크 기능이 보장된 ionosonde시스템 구축이 바람직하다.

최근 정확한 전파예보에 대한 수요가 증가하고 있고 전리층 관측자료에 대한 지속적인 요청이 있어 왔다. 본 연구를 통해 이루어진 관측자료의 취득, 처리 및 인터넷 서비스의 자동화 구축을 통해 보다 신뢰성 있는 단기 전파예보가 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 민경욱 1993, 연구보고서, 전파연구소
2. 민경욱 2002, 연구보고서, 전파연구소
3. 배석희 1998, 연구보고서, 전파연구소
4. 조경석, 이근호 & 김갑성, 1997, 한국우주과학회지, 14, 320
5. 최정림, 조경석 & 이동훈, 한국우주과학회지, 1997, 14, 126
6. 표유선, 조경석, 이동훈 & 이은화, 천문학 논총, 2000, 15S2, 21
7. Cho K.-S., Kim K.-S., Moon Y.-J. and Dryer M, Solar Physics, 2002, in press
8. Thompson R., <http://www.ips.gov.au>, 2002