

전리층, 지자기 변화 연구를 위한 종합 모델 구축

표유선, 이황재¹, 김민근, 김은화, 송성희, 이진이, 이동훈²

전파 연구소

경희대학교 우주과학과

DEVELOPMENT OF A SYSTEMATIC MODEL FOR STUDY ON THE PHENOMENA OF IONOSPHERIC AND GEOMAGNETIC VARIATIONS

Yoo Surn Pyo, Hwang-Jae Rhee¹, Min-Geun Kim, Eunhwa Kim²,
Sung-Hee Song, Jinny Lee, Dong-Hun Lee²

¹Radio Research Laboratory

E-mail: yspyo@cc.rrl.go.kr

²Department of Astronomy and Space Science, Kyung-Hee University, Korea

(Received March 31, 1999; Accepted May 15, 1999)

요 약

태양 활동에 의해 방출된 고에너지 입자들은 위성 및 전기, 전파 통신 등의 기기의 작동에 여러 가지 영향을 끼치고 지구 자기권을 크게 섭동시킨다. 태양 활동의 영향에 따른 지구 근접 우주 환경의 변화를 이해하기 위해서는 지구 자기권과 전리층 및 대기에 관한 연구가 선행되어야 한다. 이러한 연구의 일환으로 지구의 자기장과 전리층 및 대기에 대한 여러 모델들을 제시하고 널리 사용되는 대표적인 모델들의 특징을 분석하였다. 본 연구에서는 국내 최초로 전리층 및 지자기 모델용 GUI 프로그램을 개발하였으며 특히 WEB 상에서 종합적인 자료 분석이 가능한 시스템을 개발하였다.

ABSTRACT

Solar activities ejecting high energy particles influence satellites and satellite communications as well as perturb geomagnetic fields. To understand space environments near the Earth being influenced by the Sun, we must study about the magnetosphere, the ionosphere, and the atmosphere beforehand. To study this issue, we investigate some ionospheric models, atmospheric models and geomagnetic field models : IRI(International Reference Ionosphere), PIM(Parameterized Ionospheric Model) and IGRF(International Geomagnetic Reference Field). We develop the models and build a web site to serve IRI, PIM and IGRF model on the internet so that one can easily get information of daily and global ionospheric and geomagnetic variations.

1. 서 론

흑점과 플레어(flare), 태양 물질 방출(Coronal Mass Ejection, CME), 전파 폭발(radio burst), 분출 홍염(eruptive prominence)등의 태양 활동은 지구 자기권을 크게 섭동시키고 위성 및 전기, 전파, 통신 등의 기기의 작동에 여러 가지 영향을 끼치기도 한다. 특히, 태양풍과 행성자기장의 상호작용은 매우 다양한 형태의 자기권이 존재하게 한다. 행성자기장의 전반적인 모델을 개발하는 것은 학문적으로도 큰 중요성을 가진다. 우주에서의 직접 측정이 이루어지기 전까지는 외부 공간의 자기장의 분포 연구는 지상에서 측정된 값들을 이용한 우주공간의 상태를 예측하는 수학적 모델로 연구되었으나 이것들은 우주 탐사에 의해 알려진 바와 같이 복잡한 형태의 실제 자기장 분포와는 거리가 먼 것으로 밝혀졌다. 자기장 모델의 수치모델개발에는 크게 실험적 모델과 이론적 모델의 두 가지로 나눌 수 있다. 실험적 모델은 관측결과를 분석하여 변화현상을 수치적으로 해석하는 반면에 이론적 모델은 물리, 화학적 이론 연구결과를 체계적으로 구성하여 임의의 현상을 분석하기 위하여 개발된다. 이 두 가지는 상호 보완적이며 분석하고자 하는 자료와 연구의 특성에 따라 구분되어 사용된다.

지구의 전리층은 태양으로부터 복사되어 오는 EUV(Extreme Ultra-violet)와 X선과 같은 전자기 방사사와 은하에서 나오는 우주선에 의해 지구의 상층대기가 이온화되어 만들어진다. 또한 전리층은 지표면 상공 약 65km부터 2,000km까지의 공간을 일컫는 것으로 이온화가 매우 중요한 물리적 파라미터로 작용하는 영역으로 전자 밀도 분포에 따라 D, E, F1, F2층으로 나누어진다. 이 층들은 태양활동과 지구의 계절, 밤과 낮에 따라 급격히 변화하기 때문에 사용자가 원하는 파라미터를 얻기 위해 다양한 모델들이 개발되어 있다.

태양 활동의 영향에 따른 지구 근접환경의 변화를 이해하기 위해서는 지구 자기권과 전리층 및 대기에 관한 연구가 선행되어야 한다. 이러한 연구의 일환으로 지구의 자기장과 전리층 및 대기에 대한 여러 모델들을 제시하고 널리 사용되는 몇 개의 모델의 특징과 프로그램 구조를 분석한다. 그리고 몇 개의 모델의 CGI 프로그램을 만들어 인터넷상에서 지자기와 전리층에 관한 값을 계산할 수 있게 만들었다. 현재 여러 나라의 웹사이트에서 이러한 서비스를 제공하고 있지만 사용자의 요구에 따른 다양한 서비스를 제공하고 있지 않다. 본 연구에서는 실제 사용자들의 필요에 부응할 수 있는 서비스를 제공할 수 있는 사이트를 구성하였고 그중 몇몇은 세계 어느 나라의 웹에서도 얻을 수 없는 데이터를 제공하고 있다.

2. 전리층 모델 분석

전리층의 여러 물리량을 설명하기 위하여 제작된 모델은 여러 종류가 있지만 그 중에서도 가장 널리 사용되고 있는 모델은 IRI(International Reference Ionosphere)이다. 이 모델은 전리층의 전자밀도 뿐만 아니라 다른 물리량까지 계산할 수 있다. 그리고 전자밀도 모델 중 대표적인 모델은 PIM(Parameterized Ionospheric Model)이고, 이것은 관측값을 바탕으로 한 이론적인 모델이다. 여러 가지 전리층 모델이 표

1 에 나와 있다.

2.1 IRI(International Reference Ionosphere)

IRI(International Reference Ionosphere)는 COSPAR(Committee on Space Research) 와 URSI (International Union of Radio Science)의 후원을 받아서 진행된 국제적인 연구과제이다. 주어진 장소, 시간과 데이터에 의해서 IRI는 고도 60km에서 3000km까지의 전자밀도, 전자 온도, 이온 온도, 이온 구성과 총 전자함유량을 계산한다. 주요 데이터 소스는 전 세계적으로 분포한 ionosonde과 incoherent scatter radar (Jicamarca, Arecibo, Millstone Hill, Malvern, St. Santin), ISIS, Alouette topside sounder 그리고 몇몇 위성과 로켓의 직접관측 데이터 등이다(Decker *et al.* 1997).

IRI95 포트란 버전은 IRIS13.for, IRIF13.for, IRIT13.for, CIRA86.for등 네 개의 포트란 파일과 URSI, CCIR 데이터의 아스키 코드 파일로 구성되어 있다. IRI는 크게 전자밀도 등의 여러 물리량을 구하는 루틴과 총전자함유량(TEC : Total Electron Content)을 구하는 루틴으로 나눌 수 있다. 후자의 경우는 전자의 물리량 중 전자밀도를 바탕으로 구하지만, 두 경우는 다른 파일로 나뉘어져 있다. IRI를 계산하기 위해서는 원하는 날짜, 시간, 위치 등의 입력값이 필요하다. IRI의 출력 범위는 각 물리량마다 조금씩 다른데, 전자밀도의 경우에는 60km ~ 2,000km, 각종 온도의 경우에는 120km ~ 3,000km, 이온 밀도의 경우는 100km ~ 2,000km까지 계산이 가능하다. IRI를 직접 실행시키고자 할 때에는 CIRA86.for, IRIF13.for, IRIS13.for 등과 주프로그램이 포함된 파일을 함께 컴파일 시키면 된다. 단, 총전자함유량을 구하는 경우에는 여기에 IRIT13.for 추가시켜야 한다. 이 경우는 여러 입력값을 받아서 IRI함수에 넘겨준 후 계산된 값을 출력하게 된다.

2.2 PIM(Parameterized Ionospheric Model)

PIM은 이론적인 전리층 모델로써 고위도, 중위도, 저위도 지역모델을 결합하여 지구 전체의 전리층상태를 분석할 수 있도록 미 공군의 필립스 연구소에서 개발되었다. PIM은 저위도 F 영역 모델(LOWLAT), 중위도 F층 모델(MIDLAT), 저위도와 중위도 E층 모델(ECSD) 그리고 고위도의 E와 F영역 모델(TDIM)로 구성되어있다(Daniell *et al.* 1995). 이러한 모든 모델은 지구자기장을 경사진 이중극자(tilted dipole)로 나타내었고 이로부터 얻어진 지구 자기 좌표계를 사용한다. 또한 위의 4개 모델은 모두 MSIS-86 대기모델을 사용한다. 이 프로그램의 언어는 포트란이며, 고도 90km부터 2500km까지 영역의 전자밀도 분포와 이에 따른 전리층 E층과 F2층의 임계주파수 그리고 총전자함유량을 수치화하여 그 결과를 출력할 수 있다.

PIM은 22개의 포트란 파일과 17개의 inc 화일로 구성되어 있으며, 그 중 주 실행함수를 담은 파일이 PIM.FOR이다. PIM을 실행시키기 위해서는 날짜, 시간, 위치 이외에 지자기 활동 계수(Kp index), 태양 10.7cm 플럭스 또는 태양 흑점수 등의 값이 필요하다. 사용자가 입출력을 바꾸고 싶을 경우에는 PIM을 구성하고 있는 파일 중 입출력 부분을 담당하는 부분을 바꾸어주면 되는데, 이를 위해서는 22개의 포트란 파일을 모두 함께 컴파일 해주어야 한다.

표 1. Ionospheric Models.

분류	모델
General Models	International Reference Ionosphere
Electron Density Models	Chiu Ionospheric Model Bent Ionospheric Model Penn State Mk III Model SLIM Model FAIM Model
F2-Peak Models and Applications	CCIR foF2 and M(3000)F2 Model Maps URSI foF2 Model Maps ISS-b foF2 Maps MINIMUMUF/QSTMUF Model IONCAP Model WBMOD Ionospheric Scintillation Model
Electron Temperature Models	Density Dependent Electron Temperature Model AEROS Electron Temperature Model AE/ISIS Electron Temperature Models
Ion Composition and Drift Models	DY Ion Composition Model ISR Ion Drift Model St. Santin Ion Drift Model
Electric Field	Polar Cap Potential Drop Model Volland Electric Field Model Heelis Electric Convection Field Model Utah Electric Convection Field Model IZMIRAN Electrodynamic Model (IZMEM) Millstone Hill Electric Field Model Heppner-Maynard-Rich Electric Field Model
Auroral Precipitation and Conductivity Models	Rice Electron Precipitation Model AFGL Electron Precipitation Model AFGL Ion Precipitation Model
Miscellaneous Auroral Models	Auroral Oval Representation Auroral Absorption Model

표 2. IRI95와 PIM의 출력 비교.

	IRI95	PIM
사용언어	FORTRAN	FORTRAN
특징	경험적인 모델	이론적인 모델
전자밀도	○	○
총전자함유량	○	○
전자온도	○	×
이온밀도	○	×
이온온도	○	×
이온(%)	○	×
각 층의 임계주파수 및 해당 고도	○	○
전자밀도의 출력 범위	60km ~ 2,000km	90km ~ 2,500km

2.3 IRI와 PIM의 출력

IRI와 PIM은 관측값을 기초로 하여 전리층의 여러 가지 물리량 프로파일을 나타내주는 대표적인 모델이지만 차이가 있다. 우선, IRI는 경험적인 모델이지만 PIM은 이론적인 모델로 후자는 지자기활동 계수와 태양흑점수 등을 사용자가 직접 입력하는 방식을 취하고 있지만 전자는 모델내에서 계산이 가능하도록 하고 있다. 또한 PIM은 전자밀도에 관한 물리량 이외의 다른 값을 제공하지 못하는 반면에 IRI는 온도와 이온 함유량 등을 계산할 수 있다[표 2 참고].

3. 지구 자기권 모델 분석

자기장 모델의 수치모델개발에는 크게 실험적 모델과 이론적 모델의 두 가지 측면이 있다. 실험적인 모델은 막대한 양의 직접관측값을 모두 입력시켜서 실험식을 정하는 방법이고 관측값을 기초로 하기 때문에 부분적인 오차가 작고 실제와 비교적 가까운 자기장 분포를 알려준다. 반면에 자기장 형태의 기본적인 형성과정이나 왜곡 등의 물리적 과정을 조사하는데는 의미가 상대적으로 줄어든다. 특히 자

표 3. 실험적 모델의 분류.

Main Field modeling	Main Field + External source modeling
IGRF, WMM, POGO,	USGS, MDTILT Magnetic Field Model 1969
GSFC, MSDT, AWE(75),	Olson-Pfizer Field Model 1974
IGS(75)	Mead-Fairfield Field Model 1975
	Geotail Field Model 1979

표 4. IGRF의 입력값.

번호	변수이름	데이터 형식	단위	유효범위	비고
1	YEAR	Real	년	1945.0 ~ 2000.0	연도 및 날짜
2	LATI	Real	degree	-90.0 ~ +90.0	입력 지점의 위도
3	LONGI	Real	degree	0.0 ~ 360.0	입력 지점의 경도
4	HEIGHT	Real	km	0.0 ~	입력 지점의 고도

기권의 형태는 태양풍이나 자기권 내부의 불안정성에 의해 그 변화가 크게 주어지는데 실험적 모델은 그 물리적 변화과정에 관한 이해에 큰 도움이 되지 못한다. 이론적 모델은 실제 환경에 가까운 몇 가지 가정을 기초로 하여 자기권의 형태를 결정하는 방법으로 형태의 변화과정에 따라서 해당되는 모델변수를 바꾸어 줌으로써 간단히 그 변화된 결과를 나타낼 수 있는 방법이다. 이는 거시적인 변화의 물리적 원인을 밝히는데 도움이 되며 관측의 주요 특징을 예측할 수 있는 장점이 있기도 하다. 그러나 직접 관측의 정밀한 검증이나 미시적 변화를 추적할 수 없는 단점이 있다. 이와 같이 두 가지 접근 방식은 상호보완적이며 실제로 분석자료의 특성에 따라 중요한 역할을 한다.

3.1 실험적 모델

3.1.1 IGRF 모델

IGRF(International Geomagnetic Reference Field)는 IAGA(International Association of Geomagnetism and Aeronomy) Working Group V-8에 의해 만들어졌다. 1945년부터 5년 간격으로 만들어 졌으며, 가장 최근의 IGRF 1995는 2000년까지 사용할 수 있다. DGRF(Definitive Geomagnetic Reference Field)는 지난 간 IGRF를 대신하며, 최근 것은 DGRF 1990로 1990년부터 1995년까지 지구자기장 계산에 사용할 수 있다. 간단히, IGRF는 지난 5년간의 관측으로 다음 5년간의 자기장을 예측하는 것이며, DGRF는 5년간의 관측 후 관측기간동안의 자기장을 나타내는 것이다.

지구 표면에 가까울수록 IGRF 모델의 오차는 심해지고 지구 중심에서 멀리 떨어질수록 그 오차는 줄어든다. 이 모델은 지구 내부자기장에 비해 외부에 의한 자기장이 비교적 적을 때 그 지역적 차이를 보여주는 데는 유효하지만 지구에서 멀리 떨어진 지역, 즉 외부의 자기장이 상대적으로 클 때는 이 모델은 유효하지 못하다. 따라서 IGRF의 유효범위 안에서는 지구 중심에서 멀수록 실제값과 가까우며 지구 표면에 가까울수록 그 오차가 증가하는 내부자기장의 대표적인 예다(표유선 외 1994). 또한 IGRF와 같은 실험적인 모델은 많은 양의 자료가 요구되므로 지구를 제외한 타 행성들에 응용하기는 어렵다. 지구에서 비교적 멀리 떨어진 자기권의 자기장 분포나 타 행성들의 자기권 형태는 충분히 나타낼 수 없는 것이 단점이다.

3.1.2 WMM(World Magnetic Model)

지구의 자기장은 다양한 근원에 의해 만들어지는데 가장 중요한 것들은 지구의 외핵, 지구의 지각과 상층의 맨틀, 전리층, 자기권이다.

지구 자기장의 90%는 외핵에서 발생한 것이다. 1995 Epoch World Magnetic Model(WMM-95)에 의해 나타나는 것이 바로 지구 자기장의 이러한 부분들이다. 그러나 공간적, 시간적으로 변칙적으로 변화하는 지구 자기장을 나타낼 수 있는 정확한 모델을 만들 수 없다. 나침반, 자력계와 같은 자기센서는 적당한 WMM을 참고했을 때 공간적, 시간적 자기장의 변칙적인 변화를 관측할 수 있다. 지상에서 공간적인 변화는 산들, 광석의 퇴적, 지리적 특징과 기차, 비행기, 탱크, 철로 등과 같은 문명 기기의 영향에 의한 차이에 의해 만들어진다. 해양에서 이런 변화는 해저산맥 근처와 해양 분수령(ridges), 협곡, 단층 근처, 해저화산의 근원지근처에서 매우 빈번히 발생한다. 배와 잠수함들도 해양에서의 자기적 감소의 근원이 된다.

지상과 해양에서의 주기적인 변화는 몇 분부터 수일에 걸쳐 지속될 수 있고 태양풍에 의해 유도된 전리층과 자기권의 변화 때문에 만들어지기도 한다. 특히, 태양풍이나 다른 태양활동에 의한 자기폭풍은 지구 환경에 맹렬하고 지속적인 자기적 변화를 일으킨다. 심지어 태양활동이 조용한 기간에도 괄목할 만한 공간적 시간적 자기 변화가 auroral electrojet과 equatorial electrojet과 같이 이온층의 전류계(current system)에 의해 만들어지며 지구의 극과 적도에서 발견된다.

입력값은 위도(-90도 ~ +90도), 경도(-180도 ~ +180도), 고도 (msl(평균해면높이:mean sea level) 위로 1000km까지, msl아래는 -값, msl위에는 +값), Grid Interval(1.0 ~ 10800.0 arc minutes), 연도(WMM-95의 경우는 1995.0 ~ 2000.0)이다. 출력값은 총자기장의 세기, 수평(horizontal) 성분, 동쪽방향성분(X), 북쪽방향성분(Y), 수직(vertical) 성분(Z), 자기적감소, 자기적 증가와 Epoch의 년 변화율이다.

3.2 이론적 모델

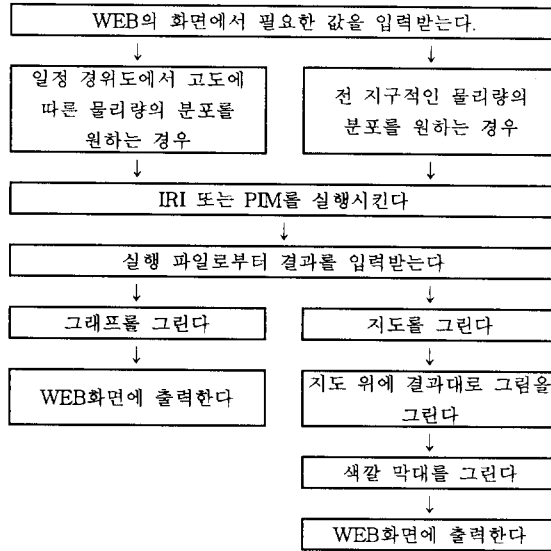
시간에 따른 자기장의 다양한 형태와 그 변화과정은 실험자기권 모델에서는 간단히 표현할 수 없기 때문에 이에 대한 연구에도 이론적 모델이 필수적이다. 이론적 모델은 비교적 작은 양의 자료에서 얻은 사실들을 기초로 전반적인 자기권 형태를 표시할 수 있으므로 직접 관측이 이루어지지 않는 외부 지역과 각 경계들의 위치 등을 추정하는데도 유용하다. 이론적 모델의 대표적인 것이 Tsyganenko 모델이다.

이것은 자기장의 준 실험적인 모델로 이론적 모델에 정확성을 높이기 위하여 위성 등의 관측 데

표 5. IGRF의 출력값.

번호	변수이름	데이터 형식	단위	비고
1	BNORTH	Real	Gauss	입력 지점 자기장 벡터의 북쪽 성분
2	BEAST	Real	Gauss	입력 지점 자기장 벡터의 동쪽 성분
3	BDOWN	Real	Gauss	입력 지점 자기장 벡터의 지구 방향 성분
4	BASS	Real	Gauss	입력 지점 자기장 벡터의 크기

표 6. IRI, PIM의 CGI 프로그램 알고리즘.



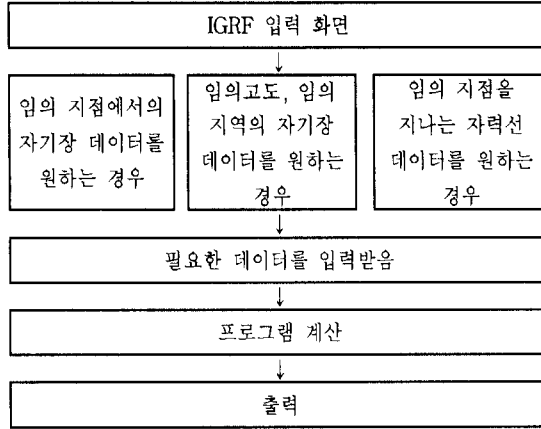
이터를 사용하여 실험적 모델을 접목하였다. 이 모델은 N.A.Tsyganenko에 의해 개발되었으며, 70Re 까지 나타낼 수 있다. 1987년도, 89년도, 96년도 버전이 있는데 87년도 것은 사용되지 않는다. 최근 IMP, HEOS, ISEE 등의 위성에 의한 관측데이터를 이용하였다(Tsyganenko & Usmanov 1982). 이것은 ring current, magnetotail current system, magnetopause current와 field-aligned current의 large-scale system 과 같은 external source의 효과도 나타내어준다.

3.3 IGRF 모델 응용

현재 제공되고 있는 IGRF 프로그램은 입력된 한 지점의 자기장 값만 계산할 수 있다. 입력값은 원하는 지점의 위도, 경도, 고도와 시간이며, 이 시간은 소수점 1자리까지만 표현된 년도로 입력해야 한다(예: 1998.6). 출력은 그 지점의 자기장벡터의 세 방향 성분의 크기와 절대값이다. 입력값과 출력값에 관한 자세한 내용을 표 4와 표 5에 정리하였다.

IGRF 프로그램은 한 점의 자기장 값만을 계산하기 때문에 본 연구에서는 실제 연구에 이용하기 위하여 첫째, 입력 고도에 대한 지구 전체의 자기장의 세기 분포, 둘째, 입력 고도에 대한 임의의 지역의 자기장의 세기 분포, 셋째, 임의의 지역을 지나는 자력선을 추적할 수 있도록 변형하였다. 자력선 계산의 경우 출력은 두 부분으로 나타나는 데 각각 입력 지점에서 자력선의 북쪽 방향으로의 데이터와 남쪽 방향으로의 데이터이다. 변형된 IGRF는 본 연구에서 개발한 웹 상에서 실제 데이터 입력과 출력에 이용되어 많은 연구에 도움이 될 것이다.

표 7. IGRF를 위한 CGI 프로그램 알고리즘.



4. 전리층 및 지자기 모델의 CGI 프로그램 개발

4.1 입력값

IRI, PIM, IGRF 모두 입력값에 변화를 주었다. IRI와 PIM의 경우는, 대부분의 조건들을 각 모델에서 권장하는 바에 따르도록 기본 설정을 하여 사용자는 원하는 날짜, 시간, 경·위도, 고도 등의 값만을 입력하여 원하는 값을 얻을 수 있도록 하였으며, IGRF는 여러 가지 방법으로 데이터가 제공되지만, 입력 값은 날짜, 시간, 경·위도, 고도 등으로 간단하게 만들었다.

4.2 CGI 프로그래밍

IRI, PIM, IGRF의 입력값을 웹의 화면에서 받아서 각기 실행을 시킨 후에 이것을 그림 또는 글자로 화면에 출력하였다. 이러한 CGI 프로그래밍에 사용된 언어는 GCC이며 CGI와 이미지 생성을 위한 라이브러리는 Boutull사의 CGIC 라이브러리와 GD1.3을 사용하였다. 그래픽으로 출력을 하는 경우에는 웹 화면으로부터 입력값을 받아서 프로그램을 실행시켜 데이터를 얻은 후에 화면에 지도를 그리고 색을 입혀주는 과정을 거쳤으며, 글자로 출력을 하는 경우는 입력을 받아서, 프로그램을 실행시킨 후에 데이터를 받아서 바로 출력 시켰다. IRI와 PIM을 실행시키는 알고리즘이 표 6에, IGRF의 알고리즘이 표 7에 나타나 있다.

표 8. 1998년 안양(37°.4 N, 127°.0 E) 상공 고도 1000km 지점에서의 자기장 데이터.

Year	Latitude	Longitude	$B_{total}(T)$	$B_{north}(T)$	$B_{east}(T)$	$B_{down}(T)$
1998.0	37.4000	127.0000	0.313203E-04	0.190314E-04	-0.147304E-05	0.248314E-04

표 9. 1998년 위도 30°.0 ~ 40°.0 N, 경도 126°.0~127°.0E, 경위도 간격은 1°, 고도 1000km에서의 자기장 데이터.

Latitude	Longitude	$B_{total}(T)$	$B_{north}(T)$	$B_{east}(T)$	$B_{down}(T)$
126.000	30.000	0.287460E-04	0.212572E-04	-0.112687E-05	0.193183E-04
126.000	31.000	0.291863E-04	0.210195E-04	-0.117521E-05	0.202149E-04
127.000	31.000	0.290875E-04	0.209849E-04	-0.118112E-05	0.201078E-04
126.000	32.000	0.295325E-04	0.207347E-04	-0.122575E-05	0.209938E-04
127.000	32.000	0.294328E-04	0.207032E-04	-0.123331E-05	0.208841E-04
126.000	33.000	0.298814E-04	0.204407E-04	-0.127411E-05	0.217590E-04
127.000	33.000	0.297808E-04	0.204124E-04	-0.128328E-05	0.216469E-04
126.000	34.000	0.302318E-04	0.201377E-04	-0.132016E-05	0.225099E-04
127.000	34.000	0.301306E-04	0.201127E-04	-0.133087E-05	0.223956E-04
126.000	35.000	0.305829E-04	0.198261E-04	-0.136376E-05	0.232460E-04
127.000	35.000	0.304812E-04	0.198044E-04	-0.137595E-05	0.231300E-04
126.000	36.000	0.309336E-04	0.195062E-04	-0.140475E-05	0.239672E-04
127.000	36.000	0.308316E-04	0.194879E-04	-0.141837E-05	0.238495E-04
126.000	37.000	0.312832E-04	0.191782E-04	-0.144300E-05	0.246728E-04
127.000	37.000	0.311810E-04	0.191634E-04	-0.145800E-05	0.245539E-04
126.000	38.000	0.316306E-04	0.188426E-04	-0.147840E-05	0.253627E-04
127.000	38.000	0.315285E-04	0.188312E-04	-0.149470E-05	0.252428E-04
126.000	39.000	0.319751E-04	0.184995E-04	-0.151082E-05	0.260364E-04
127.000	39.000	0.318733E-04	0.184916E-04	-0.152836E-05	0.259159E-04
126.000	40.000	0.323160E-04	0.181494E-04	-0.154013E-05	0.266937E-04
127.000	40.000	0.322146E-04	0.181450E-04	-0.155884E-05	0.265727E-04

4.3 출력

그림 1은 1998년 11월 30일 UT 1시의 안양(37°.4 N, 127°.0 E)에서의 본 연구 IRI 모델 계산에 의한 전자밀도 프로파일이고, 그림 2는 같은 날 지구 전체의 총 전자 함유량의 분포도이다. 또한 그림 3은 PIM에서 계산한 전자밀도 프로파일을 그린 것이고 그림 4는 고도 150km의 전 지구적인 전자밀도 분포이다. 이 날의 Kp 지수값은 0.3이고, 태양 흑점수는 99이다. 표 8은 1998년 안양(37°.4 N, 127°.0 E)위의 고도 1000km지점에서의 IGRF 계산에 의한 자기장 데이터이고, 표 9는 1998년 위도 30°~40° N, 경도 126°~127° E, 경위도 간격은 1°인 경우, 고도 1000km에서의 자기장 데이터를 나타낸다. 그리고 표 10은 1998년 안양(37°.4 N, 127°.0 E)상공의 고도 1000km지점을 지나는 자력선 데이터이다.

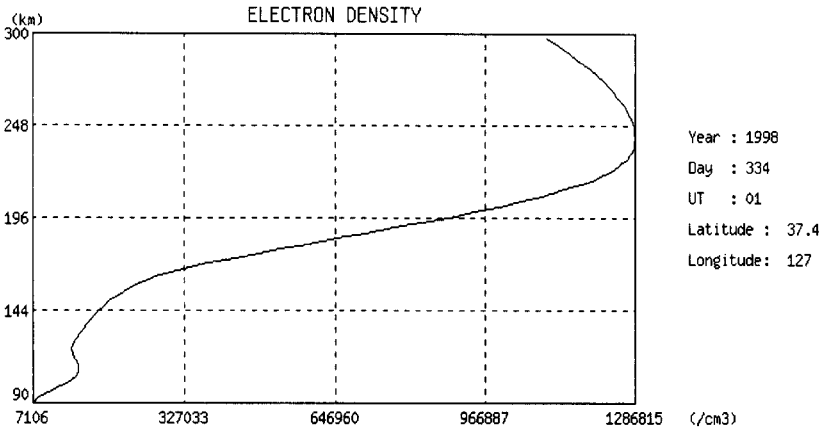


그림 1. IRI로 계산한 1998년 11월 30일 UT 1시 안양(37° 4 E, 127° 0 N)의 전자밀도 프로파일

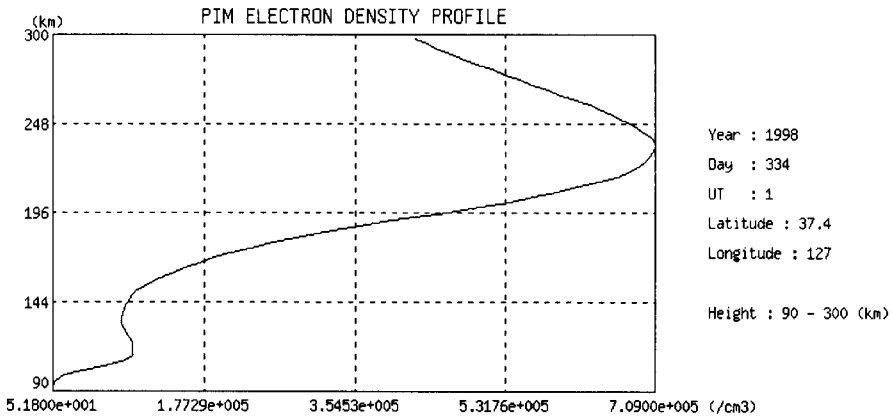


그림 3. PIM으로 계산한 1998년 11월 30일 UT 1시 안양(37° 4 E, 127° 0 N)의 전자밀도 프로파일(Kp 지수 : 0.3, 태양 흑점수 : 99)

표 10. 1998년 안양(37°.4 N, 127°.0 E)상공 고도 1000km 지점을 지나는 자력선 데이터.

Latitude	Longitude	$B_{total}(T)$	$B_{north}(T)$	$B_{east}(T)$	$B_{down}(T)$	
Data	toward	North				
127.0000	37.4000	1000.0000	0.3132E-04	0.1903E-04	-0.1473E-05	0.2483E-04
126.8560	38.8779	751.6864	0.3565E-04	0.2059E-04	-0.1921E-05	0.2904E-04
126.6577	40.5326	461.2988	0.4167E-04	0.2264E-04	-0.2603E-05	0.3488E-04
126.3708	42.4289	112.4544	0.5064E-04	0.2547E-04	-0.3738E-05	0.4361E-04
125.9237	44.6771	-323.6506	0.6556E-04	0.2970E-04	-0.5894E-05	0.5815E-04
Data	toward	South				
127.0000	37.4000	1000.0000	0.3132E-04	0.1903E-04	-0.1473E-05	0.2483E-04
127.1440	35.9221	1248.3136	0.2762E-04	0.1761E-04	-0.1122E-05	0.2125E-04
127.2481	34.5993	1460.8333	0.2486E-04	0.1650E-04	-0.8808E-06	0.1857E-04
127.3263	33.3932	1646.5543	0.2271E-04	0.1561E-04	-0.7051E-06	0.1647E-04
127.3866	32.2785	1811.2958	0.2098E-04	0.1488E-04	-0.5722E-06	0.1478E-044
127.4340	31.2378	1959.0674	0.1955E-04	0.1426E-04	-0.4686E-06	0.1337E-04
중략						
126.7778	-15.0254	1818.4861	0.2153E-04	0.1521E-04	0.6016E-06	-0.1522E-04
126.7342	-16.0884	1666.2451	0.2318E-04	0.1593E-04	0.6468E-06	-0.1683E-04
126.6863	-17.2230	1497.9734	0.2518E-04	0.1678E-04	0.7009E-06	-0.1875E-04
126.6329	-18.4438	1310.4412	0.2763E-04	0.1781E-04	0.7668E-06	-0.2112E-04
126.5727	-19.7709	1099.2706	0.3074E-04	0.1907E-04	0.8494E-06	-0.2410E-044
126.5035	-21.2321	858.3140	0.3479E-04	0.2066E-04	0.9562E-06	-0.2798E-04
126.4223	-22.8682	578.5446	0.4031E-04	0.2275E-04	0.1101E-05	-0.3326E-04
126.3239	-24.7420	245.9177	0.4829E-04	0.2563E-04	0.1311E-05	-0.4091E-04
126.1990	-26.9590	-163.1959	0.6088E-04	0.2991E-04	0.1648E-05	-0.5300E-044

5. 결 론

본 연구에서는 우주전파환경에 영향을 미치는 전리층, 지구자기의 여러 모델을 조사하였고, 그 중 대표적인 전리층의 경험적 모델인 IRI과 이론적 모델인 PIM, 또 지자기모델인 IGRF를 분석하였다. 전리층, 지자기 모델용 GUI 프로그램을 개발하여 WEB상에서 운용하였다. 전리층 및 지자기모델을 소개하고 있는 사이트는 웹 상에 여러 곳 존재하지만 그들의 서비스를 해 주는 곳은 거의 없다. 특히 지구 전리층의 대표적인 모델이라고 할 수 있는 IRI는 NSSDC에서 CGI를 구현하고 있기는 하지만 일정고도 또는 경도, 위도에서의 프로파일만을 제공하여 지구 전체의 전자밀도 또는 여러 온도를 종합적으로 파악할 수 없었다. 또, IRI와 다른 뚜렷한 특징을 가지고 있는 PIM의 데이터를 제공해 주는 곳은 있으나, 소개를 하고 있는 사이트도 전 세계적으로 몇 군데에 지나지 않았다. 따라서 본 연구에서 개발한 웹사이트

트는 이런 서비스를 제공하고 있는 극소수 중 하나가 될 것이다. 자기권 모델 중 특히 IGRF의 경우 여러 나라의 웹에서 데이터 서비스를 제공하고 있다. IGRF는 임의의 한 점에서의 자기장 값을 계산하도록 만들어 졌으며 현재 많은 웹에서 이 서비스를 제공하고 있다.

본 연구에서는 대표적인 IGRF 관련기관인 NSSDC에서 제공하는 서비스를 능가하는 다양한 서비스를 제공하고 있으며 그 중 임의의 지점을 지나는 자력선에 대한 데이터는 현재 세계에서 유일하게 데이터를 제공하고 있다. 본 연구에서 개발한 웹사이트는 전리층 및 자자기 연구에 필요한 다양한 서비스를 제공할 것이며 데이터 중 IRI와 PIM의 global map과 임의의 지점을 지나는 자력선 데이터는 독자적으로 개발되어 제공되는 것이다.

감사의 글: 본 연구는 1998년도 전파연구소의 지원에 의하여 수행된 것이다.

참고문헌

- 표유선, 이동훈, & 민경욱 1994, 한국우주과학회지, 11, 81
- Daniell, R. E., Brown, L. D., Anderson, D. N., Fox, M. W., Doherty, P. H., Decker, D. T., Sojka, J. J., & Schunk, R. W. 1995, *Radio Sci.*, 30, 1499
- Decker, D. T., Anderson, D. N., & Preble, A. J. 1997, *Radio Sci.*, 32, 2003
- Tsyganenko, N. A. & Usmanov, A. V. 1982, *Planet. Space Sci.*, 30, 985

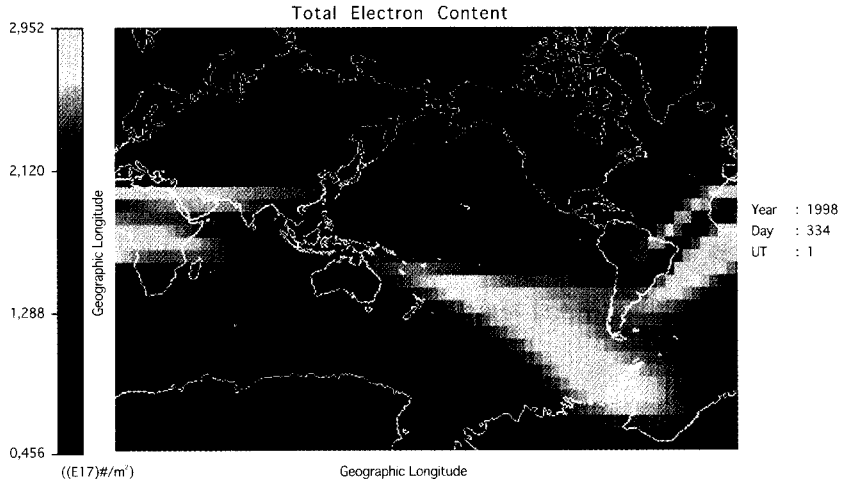


그림 2. IRI로 계산한 1998년 11월 30일 UT 1시의 지구 전체의 총 전자 함유량 분포.

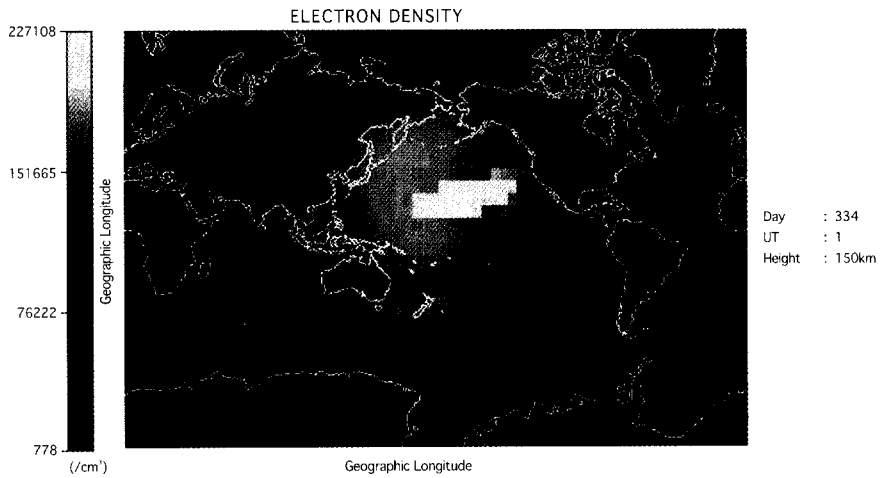


그림 4. PIM으로 계산한 1998년 11월 30일 UT 1시, 고도 150km의 지구 전체의 전자밀도분포 (Kp 지수 : 0.3, 태양흑점수 : 99)