

한반도 전리층의 변화현상 연구

배석희, 최규홍
연세대학교 천문대기학과

육재림, 김홍익
전파연구소 전파과

민경욱
한국과학기술원 물리학과
(1992년 5월 1일 받음, 1992년 6월 20일 수리)

A STUDY ON THE KOREAN IONOSPHERIC VARIABILITY

Seok-Hee Bae and Kyu-Ilong Choi
Dept. of Astronomy and Atmospheric Science,
Yonsei University, Seoul 120-749
and
Jai-Rim Yuk and Hong-Ik Kim
Radio Wave Division, Radio Research Laboratory,
Anyang 430-082
and
Kyoung W. Min

Dept. of Physics, Korea Advanced Institute of
Science and Technology, Taejon 305-701
(Received May 1, 1992; accepted June 20, 1992)

ABSTRACT

The ionosphere in accordance with solar activity can affect the transmission of radio waves. The effect of the ionosphere on the radio wave propagation are scattering of radio waves, attenuation, angle error, ranging error, and time delay. The present study is based on the Korean ionospheric data obtained at the AnYang Radio Research Laboratory from January 1985 through October 1989. The data are analyzed to show the daily and the annual variations of the ionosphere. The data are also used to simulate the density distribution of the Korean ionosphere following the Chapman law.

요 약

태양의 활동과 밀접한 관계를 갖고 있는 이온층은 그 상태 변화에 따라서 무선통신 및 위성 통신 등 전파통신에 큰 영향을 주고 있다. 이온층에서의 전파의 산란과 전파 에너지 감쇄, 그리고 전파시간의 지연과 각 또는 위치 오차 등은 각 주파수 대역에 따라 크게 변화하므로 원활한 전파통신을 위해서는 시시각각으로 이온층의 상태변화에 대한 고찰이 필요하다. 본 논문에서는 1985년 1월부터 1989년 10월까지 전파연구소에서 관측된 국내 이온층 자료를 토대로 5년간의 국내 이온층의 상태변화를 고찰하였으며, 그 분석에 의한 이온층의 실제 높이와, Chapman 모델을 이용한 전자 밀도 분포를 계산하였다.

1. 서 론

일찌기 18세기 이전부터 지구자기장의 일일 변화와 관계되어 상층 대기에 전기적 성질을 띤 층, 즉 전도층(conducting layer)과 같은 것이 존재하리라고 사람들은 생각하였다 (Kasner 1962). 이와 같은 전도층의 존재는 1839년 Gauss와 1860년 Thomson (Lord Kelvin) 등에 의해 대기의 전기적 현상이라는 측면으로 고찰되었고 (Chalmers 1962), 1900년대에 이르러 원자물리의 발달과 함께 전도층 존재의 이론적 배경이 성립되었다. 1902년 미국의 Kennelly와 영국의 Heaviside는 상층 대기에 자유 전하가 있어 전파의 반사가 일어날 수 있다는 이론을 제시하였고 (Ratcliffe 1967), 이것은 후에 'Kennelly-Heaviside 층'이라는 이름으로 불리워졌다. 그 밖에 1903년 Taylor와 1906년 Fleming 등은 전도층의 발생원인이 태양의 자외선에 있다고 제안하였다(Rishbeth and Garriott 1969). 이와 같은 이론적 배경과 함께 Appleton과 Barnett (1925a, b), 그리고 Smith-Rose와 Barfield (1927)는 각각 주파수 변화 실험에 의한 반사층 존재를 증명하였고, Breit와 Tuve (1926)는 펄스관측 (Pulse sounding)에 의한 이온층의 직접 관측을 시도하였다. 특히 이러한 실험적 관측기술의 발전은 Hulburt (1928)와 Chapman (1931a)에 의한 현대 이론의 시작점이 되었으며, 이때를 즈음해서 'Kennelly-Heaviside 층'이라고 불리웠던 상층대기의 전도층은 Wattson-Watt (Appleton 1928)에 의해 '이온층 (Ionosphere)'으로 다시 명명되었고, Appleton (Silberstein, 1959)은 이온층을 다시 D, E, F 영역으로 세분하는 등 이온층 연구가 오늘날과 같은 형태를 갖추게 되었다.

Hulburt (1928), Chapman(1931 a, b, c, 1939), Wilkes (1954), Rishbeth와 Garriott (1969), 그리고 Hargreaves (1979)들은 상층대기에 대한 전자, 이온의 플라스마 밀집도를 계산하였다. 이들 중에 가장 기본적인 이론을 발표하고 현재까지 사용되는 Chapman 모델 (Budden 1985)은 전자 생성에 대한 복잡한 과정을 광이온화 (photoionization) 이론을 기초로 하여 높이에 따른 전자 밀도 분포를 서술하였다. 이러한 Chapman 모델의 가정은 크게 3가지로 다음과 같다.

1) 태양복사는 단색 (monochromatic) 광처럼 상층대기에 입사하는 것으로 생각한다.

2) 이온층의 구성 성분은 하층 대기의 구성보다 아주 단순하기 때문에 단지 태양 복사광을 흡수하는 플라스마들로 생각한다. 그러므로 대기의 구성성분이 일정하다고 생각하고 높이 z 에 따라 지수적으로 감소하는 공기밀도 ρ 의 방정식을 이용하여 이온층의 전자 밀도 (electron number density) $N(z)$ 를 구할 수 있다.

3) 상층대기 (이온층)를 거시적으로 수평하다고 가정하여 지구의 기하학 적인 요소를 배제한

다.

위와 같은 가정하에서 구한 Chapman 모델에 대한 이온층의 전자 밀도분포는

$$N(z_c, \chi) = N_{max} \exp((1 - z_c - \exp(-z_c) \sec \chi)/2)$$

로 나타나며, 여기서 χ 는 태양의 천정각이고, z_c 는 $z_c = (z - Z_{max})/H$ 의 환산높이로서 z 는 높이(또는 고도), Z_{max} 은 전자 밀도 N 이 최대값을 갖는 고도이고, H 는 공기밀도의 scale height 로서 높이 z 의 함수가 된다.

2. 관측 현황

국내 이온층 관측은 지리적 위도 $37^{\circ}.23$ N, 경도 $126^{\circ}.57$ E와 지자기적 위도 $26^{\circ}.58$ N, 경도 $195^{\circ}.76$ W에 위치한 안양시 호계동 체신부 전파 연구소에서 1966년 2월 연구소 발족과 함께 시작하였다. 그러나 실제적인 관측작업을 시작한 것은 1969년부터 이고, 1970년 4월 이온층 전문위원회(INAG: Ionospheric Network Advisory Group)에 가입하였으며, 1971년에는 IUWDS(International Ursigram and World Days Service)의 WPRCUWDS(Western Pacific Regional Committee of Ursigram and World Days Service)에 가입하면서 국제전파 과학연합(URSI: International Scientific Radio Union)으로부터 URSI Station Indicator 43402를 부여받아 국제적인 이온층 관측을 하게 되었다(권홍재 1972). 국내 이온층의 정기 관측은 IUWDS의 국제 지구물리력(International Geophysical Calendar)에 준하여 RWD(Regular World Days)에는 매시 정각과 15분, 30분, 그리고 45분에 각각 1회씩 시간당 15분 간격으로 4회 관측하고 그 외의 평일에는 매시 정각과 30분에 1회씩 시간마다, 30분 간격으로 2회 정기관측을 한다(김영재 1974). 이러한 관측은 연간 약 19000회 정도로 현재까지 시행해 오고 있다.

Breit와 Tuve(1925)의 펄스 관측(pulse sounding) 기술을 기초로 하여 개발된 이온층 수직 입사 관측방법(ionospheric vertical sounding method)은 현재까지도 이온층 연구에 사용되어 오고 있다. 전형적인 이온층 관측기는 최대 출력(peak power)이 20KW까지 가능한 60sec^{-1} 의 펄스 반복 주파수를 사용하고, 15초 이내에 1-26 MHz를 관측할 수 있다. 좀 더 개발된 관측기는 아날로그 방식인 swept-frequency 'chirp' sounder(Fenwick and Barry 1966)로 발전하였는데 현재에는 디지털 방식을 채용한 Digisonde(예: Digisonde 256 Network System)를 이용하고 있으며(Rawer and Bradley 1988) 이는 현재 전파 연구소에도 도입되어 활용 중이다.

전파 연구소에서 사용하고 있는 관측기는 NJZ-134에서 1972에 교체한 NJZ-502A로 1973년에 들여온 이온층 관측 직시 장치(Iono FAX)를 이용하여 관측과 동시에 이온층 상태를 알 수 있는 체계를 갖추었다. 또한 1975년 지자기 측정장치인 자력계의 설치와 1977년 태양 흑점관측 망원경을 도입하여 이온층 상태에 미치는 영향을 부가적으로 연구하고 있다. NJZ-502A의 이온층 관측기는 Sweep식 수직 입사 관측(vertical sounding) 방법을 채택하고 있으며 관측 주파수는 400KHz에서 15 MHz까지, 관측고도 범위는 500km 또는 1000km까지 가능하다(김영재 1974). 이와 함께 이온층의 가상높이(virtual height: h') 대 주파수(frequency: f)의 관계를 나타내는 35 mm 필름, 즉 'Ionogram'이라는 이온층 필름 분석도 함께 자동적으로 이루어지고 있다(권홍재 1972). 자료 처리 체계로는 1983년 이전까지 이온층 관측필름 분석을 수동식으로 자료 입력하여 보관하였으나 IPS-42의 도입으로 1983년 9월부터 이온층 필름의 자동 판독을 통한 자료의 전산화가 이루어져, 관측되는 자료들은 현재까지 자료 디스켓에 입력되어 보관되고 있다.

3. 이온층상태 변화 분석

본 연구에서는 전파연구소에 보관된 관측 자료들 중 1985년 1월부터 1989년 10월까지의 자료만을 선택하여 국내 이온층의 약 5년 동안의 종합적인 상태변화를 살펴보았다. 이온층의 정상 상태 변화를 살펴보기 위해 먼저 선택한 자료들을 국내 이온층 자료 분석 규약에 맞게 중앙치와 4분 위수계산, 그리고 통계처리 방법을 병행하여 분석하였는데 처리된 자료들은 다시 일변화와 계절 변화, 영년 변화를 알아보기 위해 그 특성에 맞게 형식화시켰다. 상태변화 분석과 함께 위의 처리된 자료들을 토대로 자정과 정오에 대한 시간별 선택을 위해 이온층 평균 가상 높이와 주파수의 관계를 추출하고, 추출한 자료로부터 Chapman 모델(Budden 1985)을 사용하여 국내 이온층 전자 밀도 분포의 수직구조를 모델화하였다.

앞의 분석 방법에 의한 이온층의 상태 변화를 일 변화와 계절 변화로 나누어 그림 1에서 그림 7까지 보였고 영년 변화는 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 이 그림에서 설명기호는 생략하였으며 영년 변화의 시간축은 편의상 Julian day를 이용하여 년도별로 표기 하였다.

3.1 일 변화

각 층에 대한 주파수의 포괄적인 일 변화는 대체로 새벽무렵인 6시경에 최소를 나타내고 정오에 최대를 보이고 있다. 더불어 각층의 높이는 정오에 최소를 나타내고 새벽 6시경에 최대를 나타낸다. 이것은 태양광선에 의한 이온층의 광이온화 현상이 정오에 최고조로 달하여 밀도가 높아지고 이온층의 각 층 하부에 까지 영향을 미치기 때문인 것으로 생각된다. 한편 각 층별로 자세히 살펴보면 이러한 현상은 모든층에 공통된 것이 아니고 태양 광선의 영향을 크게 받는 층은 특히 F층임을 알 수 있다.

E층의 일 변화 중 foE, foEs 및 fbEs를 그림 1(A)에 중앙치를 나타내었다. foEs와 fbEs는 새벽 6시경에 최소를 보이고 정오경에 최대값을 나타내는데 이것은 Es의 전자 밀도가 태양활동에 민감함을 보여주는 좋은 예이다. 지금까지 알려진 바로는 foE의 일 변화는 대체로 $(\cos \chi)^{0.3}$ 에 비례하는 것으로 인정되고 있다(여기서 χ 는 태양의 천정각 이다).

E층 및 Es에 대한 가상 높이(virtual height)의 중앙치는 그림 1(B)에 표시되어 있는데 이 그림에서는 곡선의 요동이 심한 관계로 뚜렷하지 않으나 평균값을 그린 그림을 보면 E층 및 Es의 높이가 정오 부근에서 약간 낮아짐을 볼 수 있다. Es는 E층처럼 항상 존재하는 것이 아니고 비정상적인 변화를 나타내주는 것이기는 하나 Es층은 6시 또는 7시 경에 생겼을 때 가상높이가 120km 이상되는 곳에 생기고 정오 부근에 생길때는 120km 이하되는 낮은 곳에 생기는 것을 알 수 있다. 또한 정오와 자정을 중심으로 관측여부를 살펴보면 E층은 거의 저녁에 관측되지 않고 있는데, 이러한 관측사실로부터 자정무렵에 Es층의 전자 밀도가 E층의 전자 밀도보다 대체로 높게 나타나므로 Es층 보다 높은 위치에 있는 E층의 검출 가능성은 희박할 것이다.

F층은 태양의 변화에 가장 민감하게 반응하는데 그림 2에 foF1, foF2, h'F 및 h'F2의 중앙치를 표시하였다. 일반적으로 foF2의 일 변화는 적도 지역에서 오전과 오후에 각각 1번씩 모두 2번의 최대값을 보이고 있으나 적도에서 떨어진 중위도 부근에서는 1개의 최대치를 보이는 것으로 관측되었다. 그림 2(A)에 나타난 foF2는 12시에 최대값을 보이는 중위도의 전형적인 그림이다. foF1은 역시 12시에 최대값을 가지며 이점을 중심으로 대칭인 모양을 보이는데 경험적인 바로는 foF1은 $(\cos \chi)^{0.2}$ 에 비례하여 변하고 이변화는 foE의 변화 보다 완만한 것으로 생각되고 있다.

F층의 가상높이를 나타내는 그림 2(B)으로부터 12시 부근에 F층(F1층)이 가장 낮은 위치에 존재함을 알 수 있고, 낮에만 나타나는 F2층의 높이는 하루중 일 변화는 없으나 9시 부근에서 낮은 곳에 나타남을 보여주고 있다. 그림 3은 F층의 각 특성(foF1, h'F, foF2, h'F2)에 관해 중앙

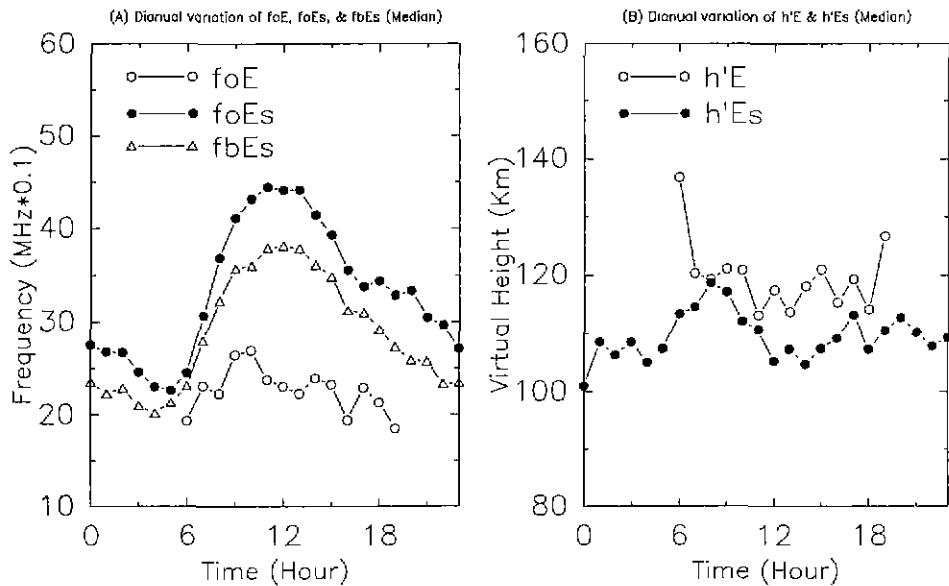


그림 1. foE, foEs, fbEs와 h'E, h'Es의 일변화.

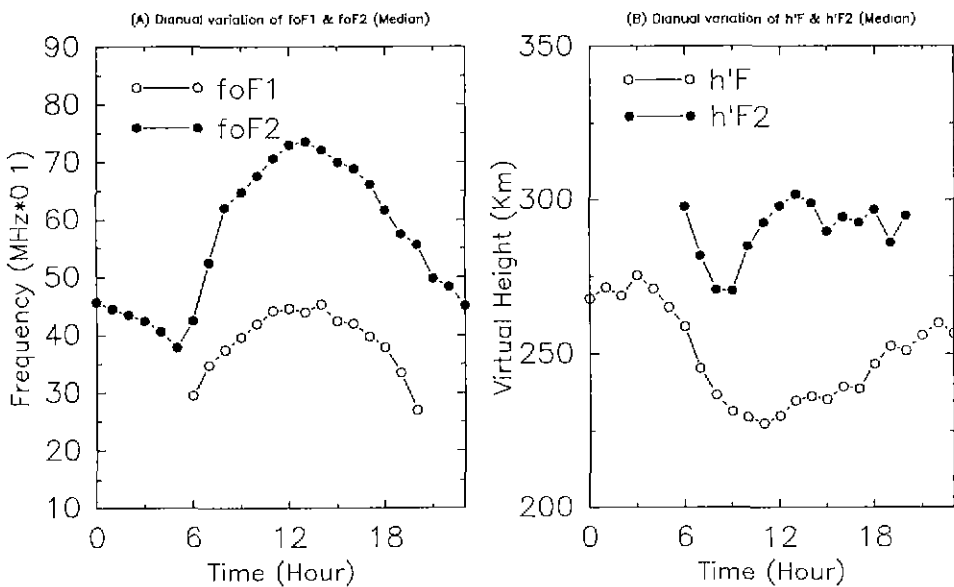


그림 2. foF1, foF2와 h'F, h'F2의 일변화.

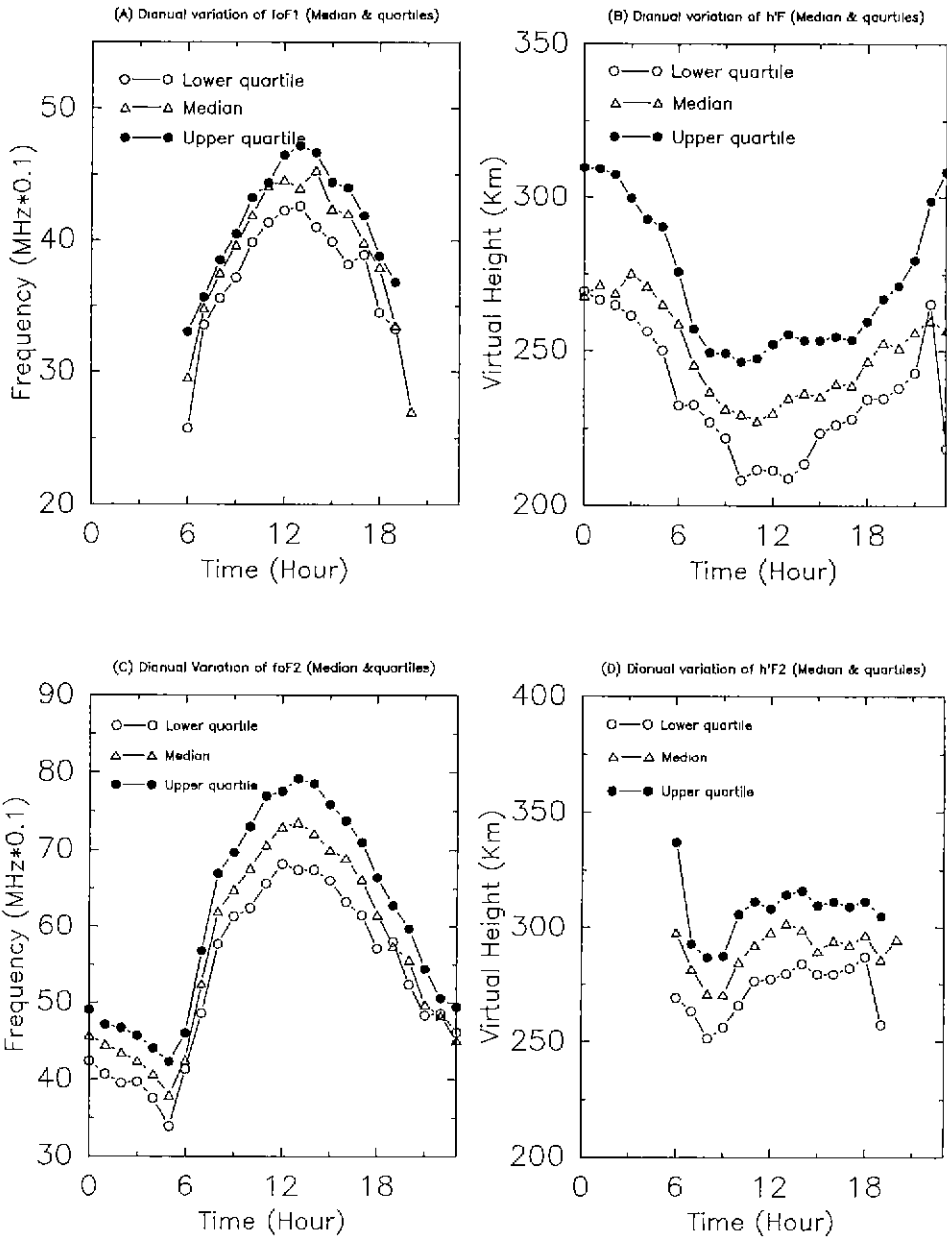


그림 3. (A) foF1, (B) h'F, (C) foF2 및 (D) h'F2의 일변화.

값으로부터 분산정도를 알기위해 상 4분위수와 하 4분위수를 표시한 것이다. 4분위 범위는 foF1이 약 0.5MHz, h'F가 약 50km, foF2가 약 1MHz, h'F2가 약40km 정도임을 알 수 있다.

그림 4(A)는 최저 임계 주파수 f_{min} 과 침투 주파수 f_xI 의 중앙값을 그린 것이다. f_{min} 역시 정오 부근에서 최대값을 보여주고 있으나 그 변화는 크지않은 반면 f_xI 는 뒤에서 볼 F층의 임계 주파수와 마찬가지로 일 변화가 뚜렷이 나타나고 있다. 여기에 나타내지는 않았으나 평균값의 일 변화를 중앙치와 비교하여 보았는데 그 결과는 거의 일치하였다.

그림 4(B)는 F2층에 대한 최고 이용 주파수 (MUF)의 중앙치 그림이다. 그림에서는 아침 7시 - 8시경에 최고 주파수 대역을 갖고, 저녁6시경에 두번째 극대값을 갖고 있음을 알 수 있다.

3.2 계절 변화

계절 변화의 표현 방법은 2가지로 하루중의 이온화 상태가 가장 심하게 일어난 정오와 전체적인 하루의 변화를 평균한 값을 이용하였는데 여기서는 정오에서의 상태변화에 대해 주로 언급하기로 한다.

주파수 특성의 전체적인 변화는 4월과 10월을 최대 정점으로 하고 6월경에 최소를 나타내는, 즉 봄, 가을을 최고로하고 여름에 최소를 나타내는 현상을 보이고 있다. 가상 높이의 변화는 주파수의 변화와는 다르게 5, 6, 7월경에 최고점을 나타내면서 지속적으로 3개월간 유지되고 있음을 알 수 있다.

그림 5(A)는 f_{min} 과 f_xI 의 계절 변화를 보여주고 있는데 f_{min} 의 경우, 봄과 가을에 약간 높기는 하지만 큰 변화를 보이지 않는 반면 침투주파수 f_xI 는 뚜렷한 계절 변화를 보여주어 여름에 최소가 되고 봄과 가을에 최대가 됨을 알 수 있다. 특히 하루 평균값을 보면 4월경에 더욱 뚜렷한 극대점을 찾을수 있는데 이것은 4월경의 전파통신이 다른 계절보다 좀 더 수월하게 높은 주파수 까지 이용할 수 있음을 보여준다. 그림 5(B)는 M(3,000)F2로 여름에 약 1MHz정도의 폭으로 다른 계절에 비해 낮아짐을 볼 수 있다. 그림 6(A)는 정오 foE의 계절 변화를 나타내는데 관측자료의 부족으로 아주 산만한 그림을 보여주고 있으며 뚜렷한 계절 변화를 보여주지 않는다. 이러한 현상은 그림 6(B)의 h'E에서도 마찬가지이다. 이와는 달리 그림 6(C)에 나타난 foEs는 여름에 증가하는 것이 뚜렷이 나타나 11MHz 이상 까지도 관측이 되고 있다. 한편 foEs의 변화에도 불구하고 Es가 생기는 높이는 별 변화가 없이 일정함을 그림 6(C)에 보여주고 있다.

그림 7(A)에서 보듯 foF1의 계절 변화는 f_xI 나 그림 7(C)의 foF2처럼 뚜렷하지는 않으나 4월경에 최대를 보이는 현상을 나타내고 있으며 여름보다는 오히려 겨울에 약간 낮아지는 현상을 보이고 있다. 한편 h'F는 그림7(B)에 나타난 바와 같이 200km에서 450km 까지 여름철에 상당히 변화가 심하게 나타나고 있다. 그림 7(C)는 이온층의 계절 변화를 특징적으로 나타내 주고 있는 정오의 foF2로써 4월과 9월 경에 뚜렷한 최대점을 보여주고 여름에 최저를 나타내고 있다. 겨울보다 여름에 foF2가 더 낮아지는 이유는 중위도 지역에서 주로 나타나는 전자의 이동현상 때문으로 여름과 겨울의 전자밀도를 비교하면 겨울의 전자밀도가 여름보다 2 - 3배 높음을 알 수 있는데 이는 기존의 결과와 잘 일치한다. 한편 그림 7(D)의 h'F2는 겨울에 낮아지고 여름에 높아짐을 보여 주고 있으며 특히 여름철에는 그 분포의 변화가 상당히 심함을 알 수 있다.

3.3 영년 변화

1985년 1월부터 1989년 10월 까지 약 5년간의 각 특성별 영년 변화를 살펴보기 위해 계절 변화의 분석에서 사용했던 방법과 마찬가지로 정오의 자료와 하루 평균자료를 이용하였다. 여기서는 하루중 이온층의 상태를 가장 잘 나타내 주는 정오의 자료를 중심으로 분석하였다. 영년 변화는 11년 주기의 태양활동과 밀접한 연관을 가지고 있는데 특히 본 연구에 사용된 자료중 1985년

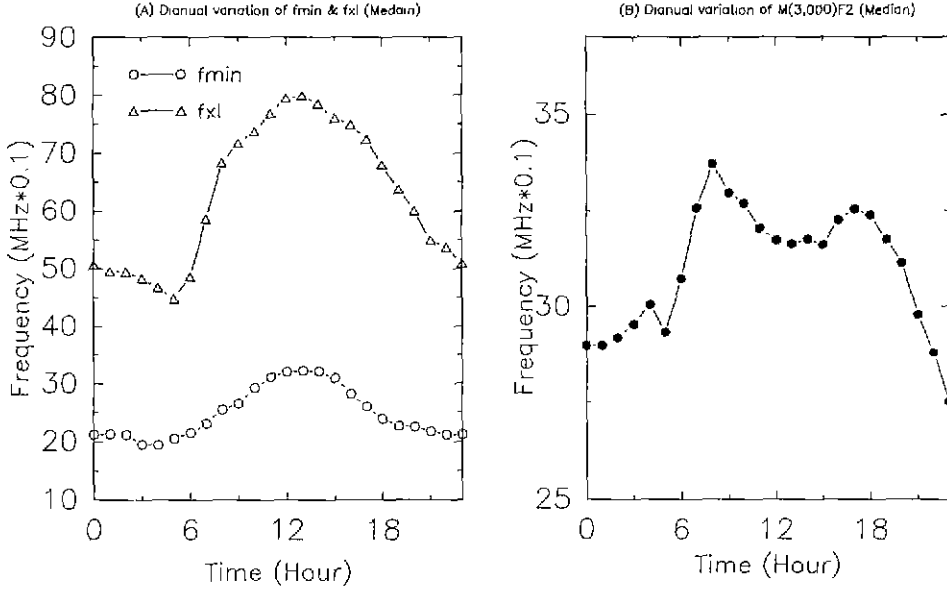


그림 4. (A) f_{min} , f_{xi} 와 (B) $M(3000)F_2$ 의 일변화.

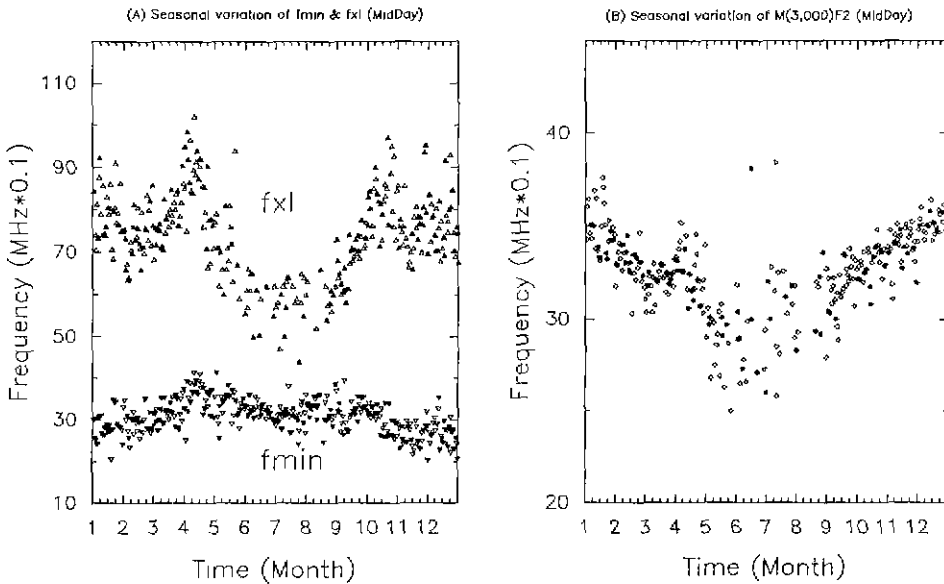


그림 5. (A) f_{min} , f_{xi} 와 (B) $M(3000)F_2$ 의 계절변화(정오).

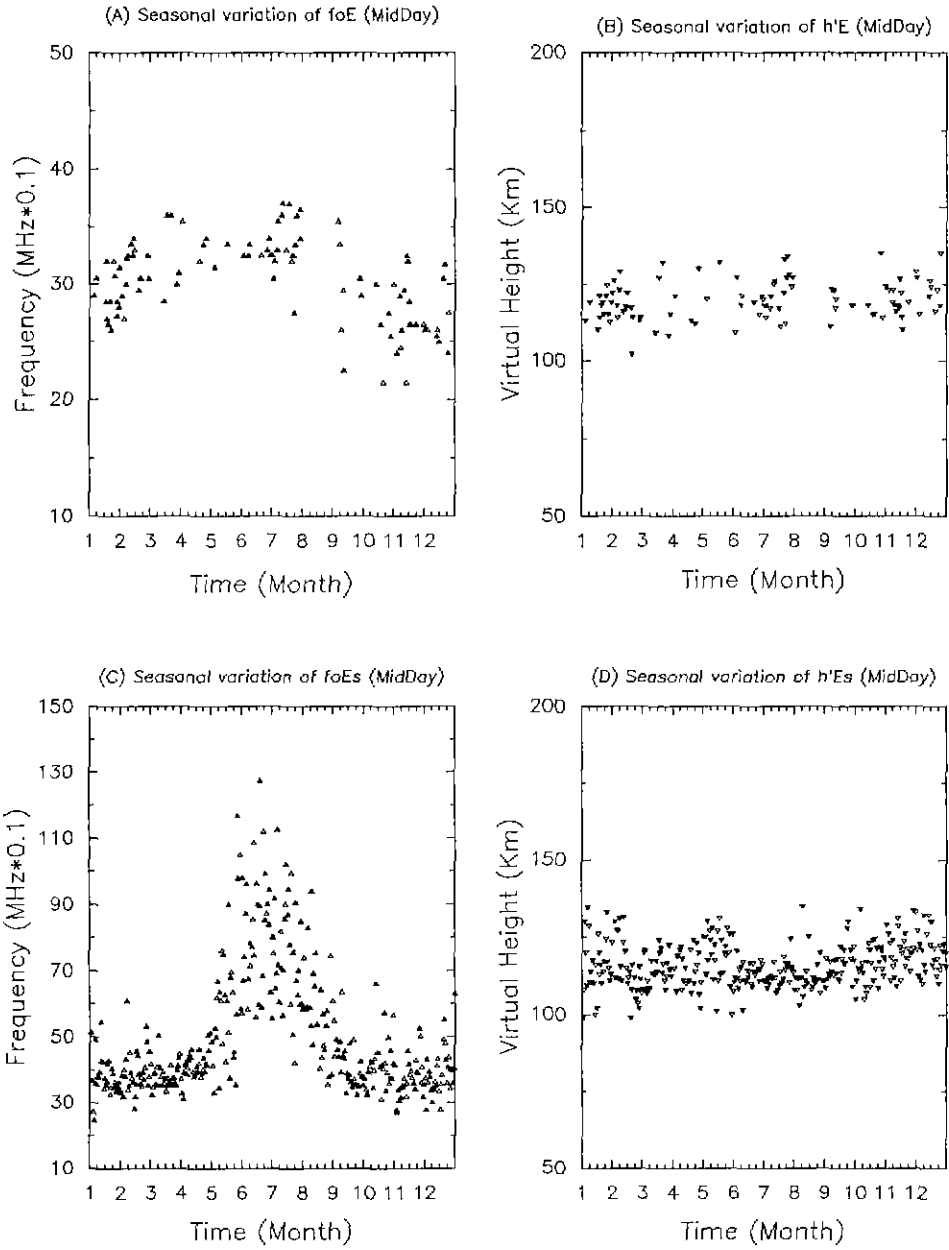


그림 6. (A) foE, (B) h'E, (C) foEs 및 (D) h'Es의 계절변화(정오).

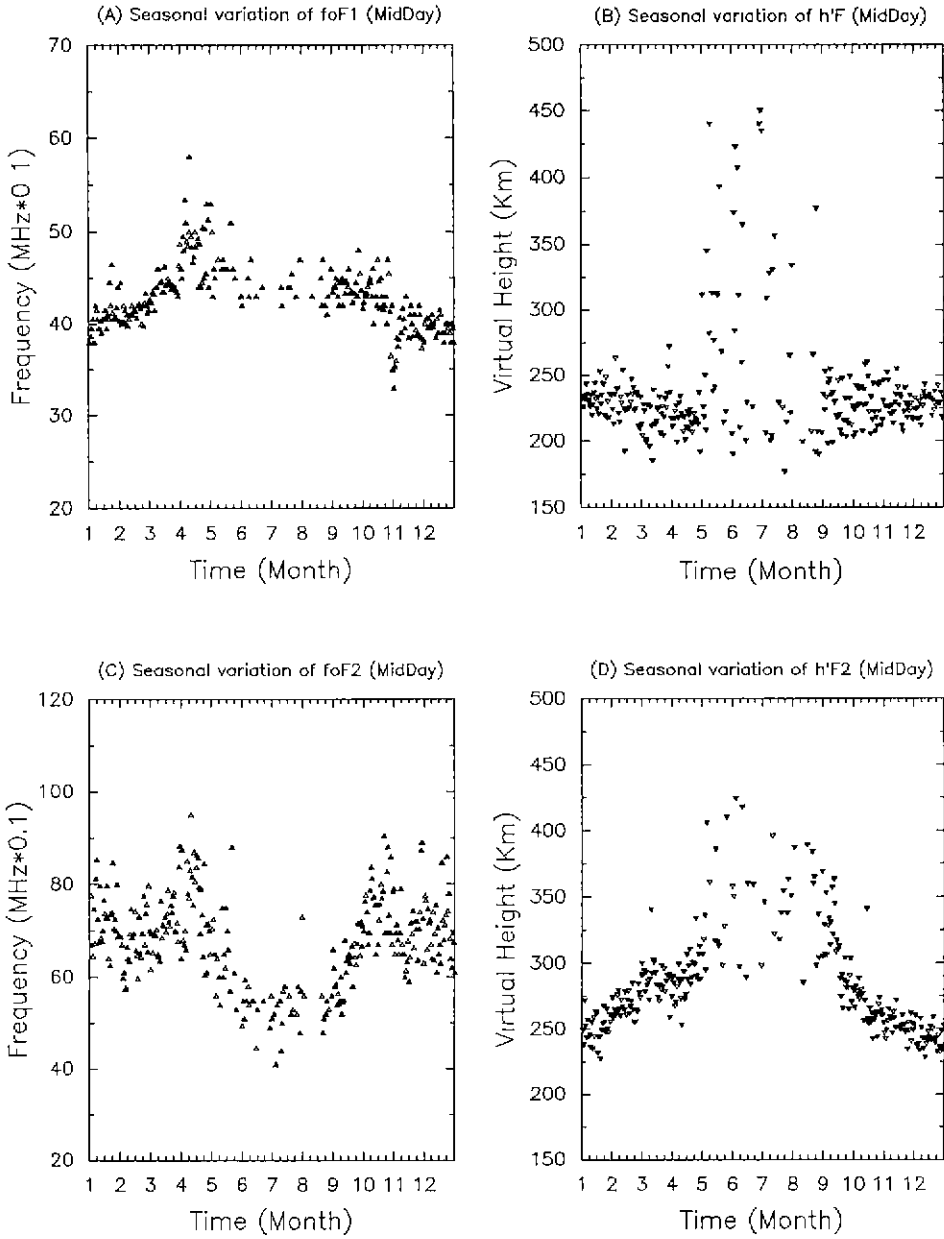


그림 7. (A) foF1, (B) h'F, (C) foF2 및 (D) h'F2의 계절변화(정오).

및 1986년 자료는 태양활동의 극소기때의 것이고 1989년 이후의 자료는 태양활동이 활발해 지기 시작한 후의 자료가 된다.

E층의 변화는 그림 8(A) 및 (B)에서 보듯 foE와 h'E에서 모두 큰 변화를 나타내고 있지 않으나 그림 8(C)의 foEs는 태양활동의 증가에 따라 다소 증가하고 있음을 보여준다. Es가 생기는 층의 영년 변화는 뚜렷하지 않으나 태양활동이 활발해짐에 따라 다소 낮아지는 것으로 생각되며(그림8(D)), F층의 경우 그 변화가 태양활동에 따라 뚜렷이 나타나, foF1(그림 9(A))과 foF2(그림9(C)) 모두 태양활동이 증가함에 따라 현저하게 높아짐을 알 수 있고, h'F(그림 9(B)) 및 h'F2(그림 9(D))도 다소 증가하는 것으로 관측되었다.

4. 국내 이온층의 수직 전자 밀도 구조

국내 이온층의 상태변화가 국내에서 이용되는 통신전파의 전파에 있어 어느 정도의 영향을 미치는가를 알아보기 위한 기초작업으로 1985년 1월부터 1989년 10월까지 하루 중 이온층의 상태변화를 잘 나타내 주는 정오(12시)와 자정(0시)시간 자료를 선택하여 약 5년간의 평균을 산출하였고, 평균한 두 자료를 이용하여 이온층의 실제 높이와 전자밀도의 수직분포를 모델화 하였다.

이온층내에서 전파의 속도는 군 속도(group velocity) $U(= c/n'; n'(= 1/n)$ 은 군 굴절율)로 굴절율 n 에 의존하고, 굴절율 n 은 이온층의 전자밀도와 관측 주파수에 관계된다. 그러므로 진동수(또는 주파수)의 함수(Budden 1985)로 나타나는 관측된 이온층의 가상 높이는 관측 주파수를 이용하여 다음과 같은 방법으로 계산할 수 있다.

$$h' = \int_0^{N_{max}} n'(N, \omega)(dz/dN)dN + Z_0$$

여기서, Z_0 는 이온층의 시작 높이로 전자 밀도 N 이 0에 가까운 지점을 가정하고 이 높이를 통과하기 전까지의 공간상태는 이온의 영향을 거의 받지 않는 상태로 간주한다.

전자 밀도 분포를 k 개의 전자 밀도층으로 가정하고, 각 층의 전자 밀도분포 변화는 Chapman 법칙에 따라 시작 높이 Z_0 에서 실제 높이 Z_m 까지 단조적으로 증가한다고 생각한다. 이렇게 각 층별로 그려진 국내 이온층의 전자 밀도 분포를 종합한 그림 10 및 그림 11은 표 1과 표 2에 나타나 있듯이 5년동안 모아진 관측 자료들을 토대로 정오와 자정을 택하여 평균하고 평균된 값을 이온층 모델에 적용하여 얻어진 그림이다.

그림 10과 표 2에서 보듯이 정오시간에 이온층의 각 층별 분포는 대략 지상 100 km에서 E층의 이온층 전자 밀도가 $1.2 \times 10^5/cm^3$ 로 나타나고 F1층은 200 km 부근에서 $2.4 \times 10^5/cm^3$, F2층은 250 km에서 $7.3 \times 10^5/cm^3$ 로 나타났다. 따라서 정오의 종합적인 전자 밀도 분포(그림 10의 $\Delta - - - \Delta$ 으로 표시)들은 E층이 약 100 km 부근에서 $1.4 \times 10^5/cm^3$, F1층이 약 200 km 부근에서 $8.5 \times 10^5/cm^3$, 그리고 F2층이 약 250 km 부근에서 $9.5 \times 10^5/cm^3$ 가 된다.

이 그림의 특징은 전자 밀도 분포에 있어 뚜렷한 F1층을 볼 수 없다는 것인데 F1층의 최대 전자 밀도 높이는 약 200 km 부근에서 나타나지만 그높이에서 F2층의 전자 밀도 또한 적지 않아 전체적인 이온층의 전자 밀도분포 변화는 F1층의 생성을 뚜렷하게 드러내지 않게 하고 있다. 이것은 앞에서 분석한 이온층의 일변화 분석에서도 그 실례를 보여주고 있는데 그 이유는 F2층의 변화 폭이 F1층의 변화 폭 보다 크게 나타나기 때문인 것으로 생각된다.

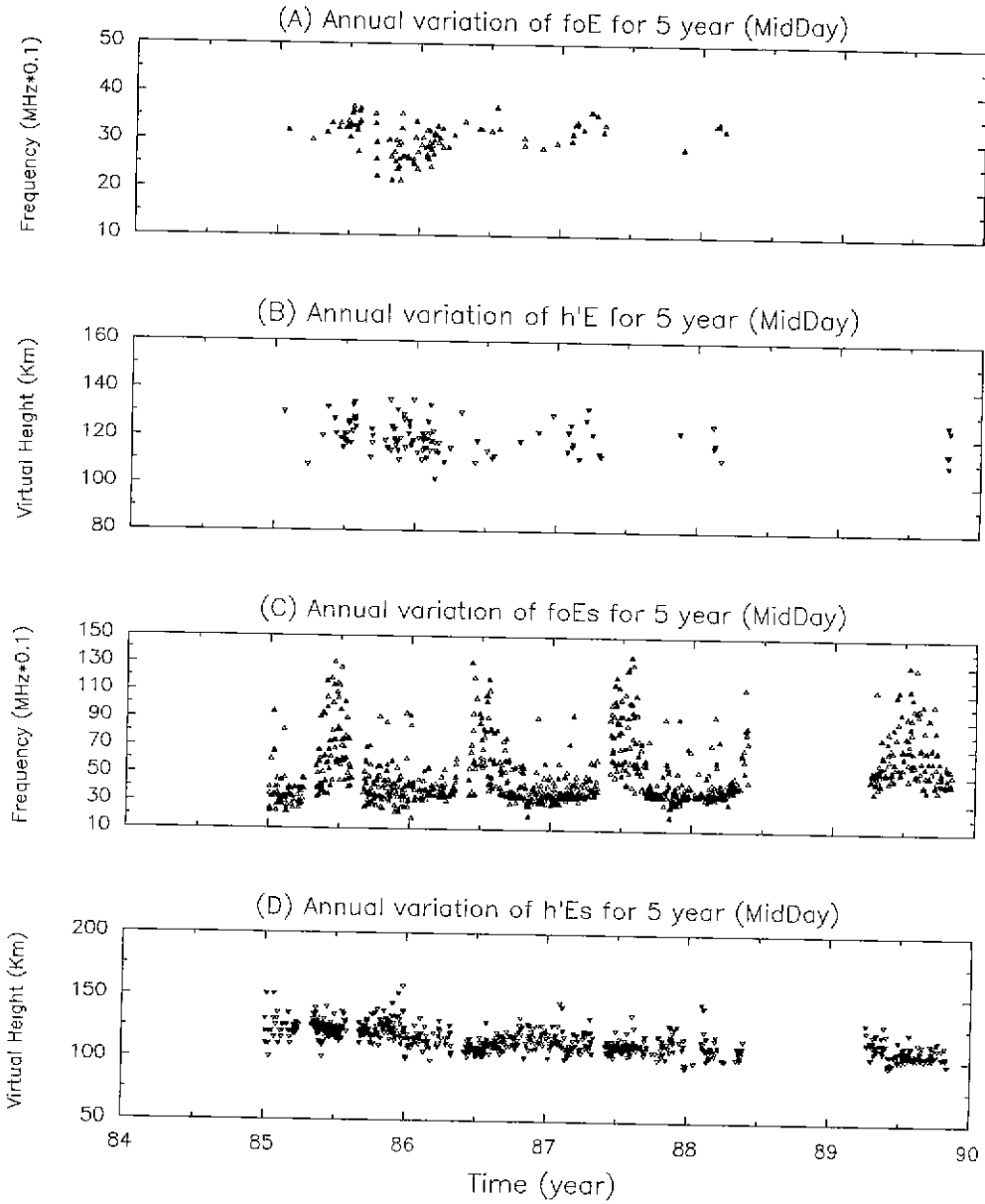


그림 8. (A) foE, (B) h'E, (c) foEs 및 (D) h'Es에 대한 5년 동안의 영년변화(정오).

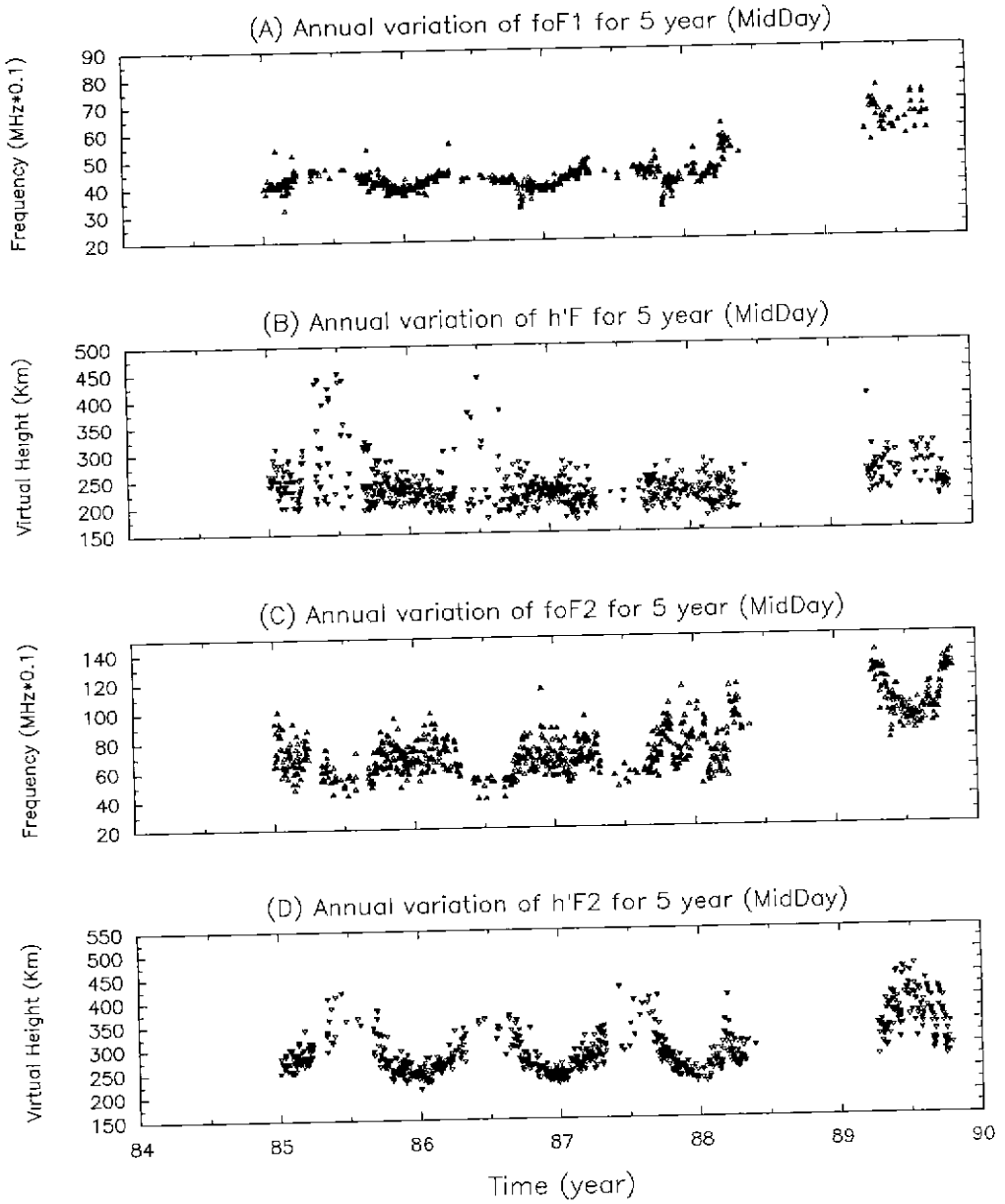


그림 9. (A) foF1, (B) h'F, (C) foF2 및 (D) h'F2에 대한 5년 동안의 영년변화(정오).

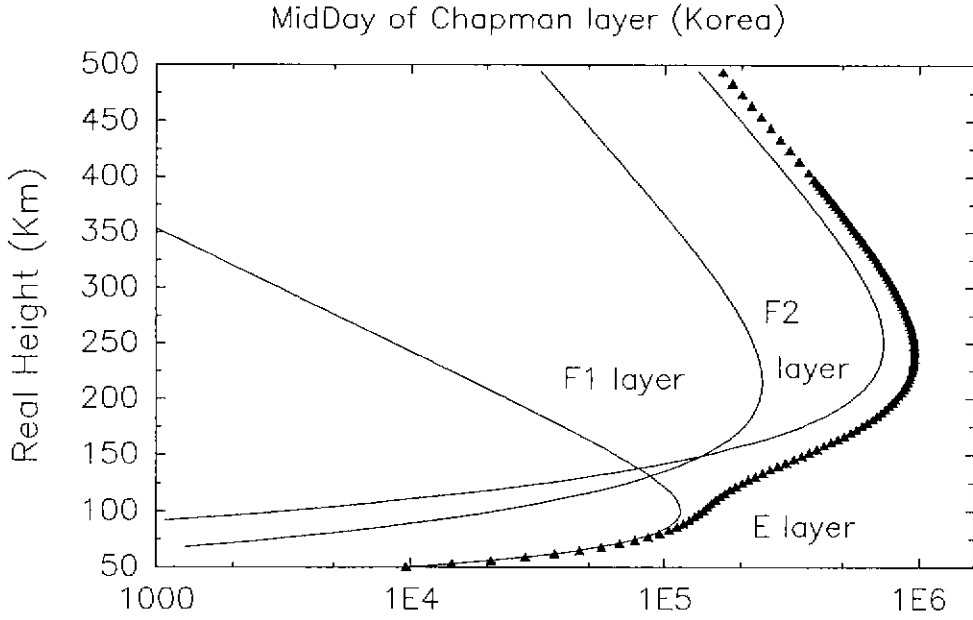


그림10. 국내 전리층의 Chapman 전자밀도 분포곡선(정오).

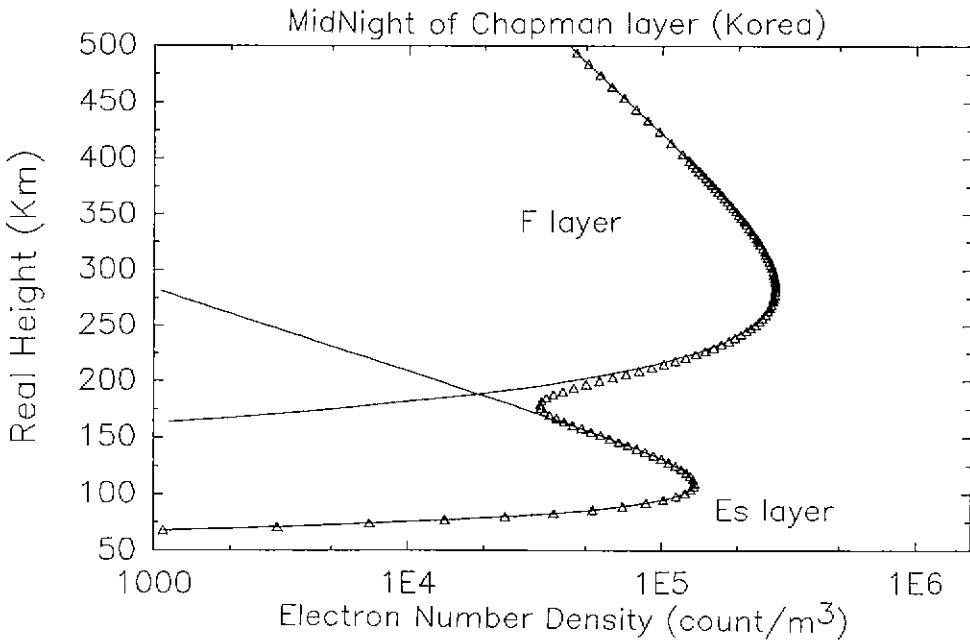


그림11. 국내 전리층의 Chapman 전자밀도 분포곡선(자정).

표 1. 국내 이온층의 가상 높이와 임계 주파수

이온층		최저 임계 주파수	가상 높이
정	E 층	3.05 MHz	119.49 km
	F1 층	4.41 MHz	233.60 km
오	F2 층	7.64 MHz	290.64 km
자정	Es 층	3.29 MHz	113.36 km
	F 층	4.74 MHz	298.13 km

* 1985년 1월부터 1989년 10월까지 자료 중 자정(0시)와 정오(12시)를 선택하였다.

표 2. 국내 이온층의 최대 전자 밀도와 실제 높이

이온층		최대 전자 밀도	실제 높이
정	E 층	$1.15659 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$	100.38 km
	F1 층	$2.41801 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$	215.28 km
오	F2 층	$7.25718 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$	250.55 km
자정	Es 층	$1.34577 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$	109.47 km
	F 층	$2.79343 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$	285.45 km

** Chapman 모델을 이용하였다.

그림 11에 나타난 자정 시간의 이온층 분포도는 전자 밀도의 변화폭이 뚜렷하게 보이는데 정오시간과는 대조적으로 280 km 부근에서의 F 층의 전자 밀도가 $2.8 \times 10^5 / \text{cm}^3$ 로 F 층의 고도는 높아지는 반면 전자 밀도는 F2 층의 전자 밀도 보다 1/10 정도로 줄어 들었다. 또한 이 그림에서는 E 층 대신 Es 층 (Sporadic E) 을 도시하였는데 약 5년 동안 관측된 이온층의 foE 특성 자료들을 살펴보면 자정(0시)에는 전혀 관측되어 있지 않다. 이와 같은 관측 부재의 원인을 유추하면 Es 층 보다 전자 밀도가 낮고 고도가 높은 E 층은 관측될 수 있는 가능성이 희박한 것으로 생각되어진다. 그러나 관측된 Es 층의 가상 높이와 최저 임계 주파수는 주간 E 층보다 높이는 상대적으로 낮고 주파수는 높게 나타나는데 모델에 의해 계산된 Es 층의 최대 전자 밀도는 실제 높이 110 km 부근에서 $1.3 \times 10^5 / \text{cm}^3$ 로 정오의 E 층보다 밀도와 높이가 모두 높게 나타나고 있다. 따라서 F 층과 Es 층만을 도시한 그림 11은 자정의 전자 밀도 분포를 정확히 표현하는 것은 아니다.

5. 결 론

1985년 1월 부터 1989년 10월까지 전파연구소에서 관측한 국내 이온층 자료를 가지고 이온층의 상태변화와 그에 따른 전파 또는 위성 통신에 미치는 영향을 분석하여 보았다.

이온층의 상태 변화는 각 층에 대한 주파수의 포괄적인 일 변화를 중앙치 변화로 살펴볼때 새벽 무렵인 6시경에 최소를 나타내고 정오에 최대를 보이고 있고 더불어 각층의 높이는 정오에 최소를 나타내며 새벽 6시경에 최대를 나타내었다. 또한 계절 변화로서 주파수 특성의 전체적인 변화는 전체 자료중 정오의 자료를 가지고 분석하였는데 봄, 가을을 최고로하고 여름에 최소를 나타내는 현상을 보이고 있으며 가상높이의 변화는 5, 6, 7월경에 최고점을 나타내면서 지속적으로 3개월간 유지되는 현상을 나타내고 있다.

약 5년간의 각 특성별 영년 변화는 계절 변화의 분석과 마찬가지로 정오에 관해 논의 하였는데 11년 주기의 태양활동과 밀접한 연관을 가지고 있어 그 변화는 태양활동의 증가에 따라 다소 증가하고 있음을 나타낸다. 또한 이온층의 상태분석과 더불어 이온층의 실제 높이와 전자밀도 분포를 Chapman 법칙을 이용하여 구하였다.

한편 이 연구에 사용된 국내 이온층의 관측 자료 기간은 태양의 흑점주기가 극소주기일때 관측되었기 때문에 이와 같은 자료를 가상적으로 계산한 결과는 태양의 극심한 활동, 즉 flare 현상이나 X-ray burst 같은 급격한 이온층의 변화가 일어날때 관측된 자료의 변화보다 크게 나타날 수 있다고 생각된다. 따라서 국내 이온층의 비정상적인 상태변화에 대한 분석과, 지엽적이고, 부분적인 이온층의 각 특성을 정확히 인식하여 그에 따른 전파 또는 위성 통신에 미치는 영향에 대한 정밀한 연구가 계속되어야 할 것이다.

감사의 말씀 : 본 연구를 위하여 자료를 제공하여 주신 전파연구소 관계자께 감사 드린다. 이 논문은 부분적으로 체신부, 한국전기통신공사의 후원에 의한 통신 학술 단체 육성 지원금에 의하여 이루어졌음을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

- 권홍재, 1972, 전파연구소 연구보고서 26, 89.
 김영재, 1974, 전파연구소 연구보고서 28, 6.
 Appleton, E. V. 1928, Proc. Phys. Soc., 41, 43.
 Appleton, E. V. & Barnett, M. A. 1925a, Nature, 115, 333.
 Appleton, E. V. & Barnett, M. A. 1925b, Proc. Roy. Soc., A109, 621.
 Breit, G. & Tuve, M. A. 1925, Nature., 116, 357.
 Breit, G. & Tuve, M. A. 1926, Phys. Rev., 28, 554.
 Budden, K.G. 1985, The Propagation of Radio Wave (Cambridge Univ. Press : Cambridge), chap 8.
 Chalmers, J. A. 1962, J. Atmos. Terr. Phys., 24, 219.
 Chapman, S. 1931a, Proc. Phys. Soc., 43, 26.
 Chapman, S. 1931b, Proc. Phys. Soc., 43, 483.
 Chapman, S. 1931c, Proc. Phys. Soc., A132, 353.
 Chapman, S. 1939, Proc. Phys. Soc., 51, 93.
 Fenwick, R. B. & Barry, G. H. 1966, IEEE. Trans. Broadcasting, BC-12, 25.
 Hargreaves, J. K. 1979, The Upper atmosphere and solar-terrestrial relations (Van Nostrand Reinhold : New York).

- Hulburt, E. O. 1928, *Phys. Rev.*, 31, 1018.
- Kasier, T. R. 1962, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 24, 865.
- Ratcliffe, J. A. 1967, *Proc Inst. Elec. Eng.*, 114, 1.
- Rawer, K. & Bradley, P. A. 1988, *Ionospheric Informatics and Empirical Modelling* (Pergamon : New York).
- Rishbeth, H. & Garriott, O. K. 1969, *Introduction to Ionospheric Physics*(Academic Press : New York), chap 3.
- Smith-Rose, R. L. & Barfield, R. H. 1927, Further Measurements do Wireless Waves Received from the Upper Atmosphere, (*Proceedings of the Royal Society : London*), A116, 682.
- Silberstein, R. 1959, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 13, 382.
- Wilkes, M. V. 1954, *Proc. Phys. Soc.*, B76, 304.