

## 한반도 전리층에서의 전파 전파연구

배석희, 최규홍  
연세대학교 천문대기과학과

육재림, 김홍익  
전파연구소 전파과

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

## A STUDY ON THE RADIO PROPAGATION IN THE KOREAN IONOSPHERE

Seok-Hee Bae and Kyu-Hong 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 effects of the ionosphere on the radio wave propagation are scattering of radio waves, attenuation, angle error, ranging error, and time delay. If ionospheric conditions are suitable, the charged particles can remove energy from radio waves and thus attenuate the signal. Also, a radio wave traveling a path along which the electron density is not constant undergoes changes in direction, position and time of propagation. The present study is based on Korean ionospheric data obtained at the AnYang Radio Research Institute from Jan. 1985 through Oct. 1989. The data are used to simulate the Korean ionosphere following the Chapman law. The effects of the model ionosphere on the radio wave propagation,

such as the angle, position error, time delay, and the attenuation, are studied for the various cases of the wave frequency and the altitude.

## 요 약

전파 전파에 있어서 전리층의 영향은 산란, 감쇄, 각오차, 위치오차, 및 시간 지연등이다. 적당한 전리층 조건 아래서 하전입자는 전파로부터 에너지를 뺏어 전파 감쇄의 원인이 되게 한다. 또한 전자밀도가 균일하지 않은 경로를 따라 전파가 전파되는 경우, 전파 방향, 위치, 전파 시간등에 변화가 생기게 된다. 본 논문에서는 1985년 1월 부터 1989년 10월까지 전파연구소에서 관측된 국내 전리층 관측자료를 토대로 Chapman 법칙에 따른 전리층 모델을 정립 하였으며, 이로부터 전파 전파에 있어서 각 오차, 위치 오차, 시간 지연, 및 감쇄등을 주파수와 위성의 고도에 따라 고찰하여 보았다.

## 1. 서 론

지상으로부터 위성과의 통신에 있어서 이온층의 영향은 무시할 만큼 작은 것이 아니다. 예를 들면 태양의 활동이 비교적 고요한 상태일때에도 위치 측정의 오차와 시간 지연은 지상 약 800 km 상공에서 지구 주위를 돌고 있는 GPS 위성인 NAVSTAR의 경우 대략 10 m 와  $150ns(10^{-9}sec)$  정도로 나타난다(Klobuchar 1987). 또한 전파의 감쇄 현상도 무시할 수 없는데 지구 반경의 5-6 배 떨어진 공간에 위치하는 통신위성의 경우 통신 공간 전체의 감쇄량은 약 400 [dB]이 되고 (이강호 1986), 특히 이온층에 흡수되는 감쇄량은 태양의 활동과 밀접한 관계가 있지만 대략 0.8 dB에서 최고 50 dB 정도로 변화폭이 심하게 나타난다(1978 송찬복).

본 연구에서는 GPS 위성에 기본적으로 쓰이고 있는 주(primary) 채널과 부(secondary) 채널인 1.575 GHz, 1.227 GHz, INTELSAT 위성에 사용되는 uplink 채널인 6.4 GHz, 그리고 유럽 공동체 위성인 ECS에 이용되는 14.5 GHz 채널들을 각각 앞에서 구했던 (배석희등, 1992) 5년동안의 평균 국내 이온층 전자 밀도 분포 모델에 적용하여 그 영향을 모사해 보았다. 더불어 전파 통신의 초단파 영역에 사용되는 70MHz, 140MHz, 210MHz 채널에 대해서도 함께 모사하였다.

### 1.1 전파 전파에 미치는 각, 위치, 시간지연 영향

Poularikas (1969, 1973), Burn (1970), Takahashi (1970), BeckWith와 Rao (1974), Rao (1975), 그리고 Soicher (1977), Bahar (1979), Feess (1987), Klobuchar (1987), Ogawa (1988) 등은 이온층의 영향에 의한 각 오차, 위치 오차, 그리고 시간 지연 효과 등을 각자의 고유 모델에 적용하여 계산하였다. 근 실시간(Near real time)에서 위성체도의 위치 보정을 위해 이온층의 영향을 조사했던 Poularikas (1969, 1973)와 이온층 분포에 따른 위치 오차를 산출하여 실시간 보정 (Real time correction)을 계산한 Burn (1970), 지상과 위성체 사이의 통신에서 대기 효과와 이온층 효과를 각각 고려한 Takahashi (1970)등의 연구 외에 BeckWith와 Rao (1974)는 HF Hyperbolic 위치 고정 체계 (Position fixing system)를 이용하여 차등 시간 지연 오차 (Differential time delay error)를 예측하였고, Rao(1975)는 앞의 고정 체계를 좀 더 개발하

여 위치 오차를 계산하였다. 또한 Soicher (1977)와 Bahar (1979), 그리고 Ogawa (1988) 등은 위성 조정에 필요한 통신에 대해 전파가 전파되는 이온층과 플라즈마층의 영향을 조사하였다. 특히 Ogawa (1988)는 미국 해군의 극궤도 조정 위성인 NNSS (Navy Navigation Satellite System) 위성의 극지방 통과시 그 위치 자료와 신호 자료를 토대로 극 이온층의 교란 효과에 대해 연구하였는데 위성파의 통신에 있어 극지방의 이온층 효과까지 고려한 좋은 예라 할 수 있다. 이 밖에도 Feess (1987)와 Klobuchar (1987)는 GPS 위성에 대하여 이온층 영향으로 인한 지연 시간 모델 알고리즘 세웠으며, 또한 그 모델에 대한 검증까지 겸하였다.

본 연구에서는 약 1800여일에 상당하는 정오와 자정의 평균자료를 가지고 모델화한 이온층의 전자 밀도 분포 구조를 이용하여 각 오차, 위치 오차와 시간 지연을 계산하였다. 또한 계산에 있어서 편의상 다음과 같은 두 가지 가정을 하였다. 첫째로 대기의 영향을 고려하지 않는 점인데 실제로는 전파 전파 (특히 전파에 따른 감쇄현상)에 있어 이온층의 효과 뿐만 아니라 대기 효과도 크게 작용하기 때문에 무시할 수 없지만 여기서는 이온층의 영향만을 계산하기 위하여 지상 45 km 이상에 대한 전파 전파만을 생각하였다. 다른 하나는 보통 위성체의 위치가 위치 계산의 편의상 지심 좌표와 위성체 좌표, 관측자 좌표를 이용하여 관측자로부터 구하고자 하는 위성체까지 거리를 계산하는데 반하여, 여기서는 위성체에 대한 실제적인 위치를 선정하기 보다 단순히 임의의 높이에 대하여 어느 정도의 각 오차와 위치 오차 그리고 시간 지연 현상이 일어나고 있는지 알기 위해 각각 높이 250 km, 500 km, 800 km, 1000 km를 선택하였다. 선택된 이들 고도 중 특히 250 km는 현재 상공 약 150-300 km에서 돌고 있는 군사 위성체와 같은 특수 위성의 고도를 가정하였고, 800 km는 약 800-900 km 상공에서 지구를 돌고있는 기상 위성이나 해양 정찰 위성 등 (홍용식 1990)과 같은 위성체의 고도를 염두에 두었다.

### 1.2 전파 전파의 감쇄에 미치는 영향

전파가 이온층내를 통과하거나 반사, 굴절될 때 전파 경로 주위의 전자들은 전파된 전파와 충돌하여 강제 진동을 일으킨다. 강제 진동을 일으킨 전자들은 주위의 중성 입자(대기 분자 또는 원자) 또는 전자, 이온들과 충돌하여 전파에서 얻은 운동에너지를 열 손실로 발산한다. 이와 같은 작용을 이온층의 흡수라 하며 그 결과 전파의 세기가 감소되는 현상을 전파의 감쇄라고 한다.

전파의 감쇄는 두 가지로 크게 나눌 수 있는데 첫째는 전파가 이온층을 통과할 때 받는 감쇄가 있고 두번째는 단파대(HF)의 주파수가 이온층에 의해 반사될 때 받는 감쇄현상이 있다. 이와 같은 감쇄의 원인은 주로 이온층의 전자 밀도와 중성 입자 밀도 및 전자와 중성 입자간의 충돌(Budden 1985), 전자와 전자의 충돌, 전자와 이온과의 충돌등에 대한 평균 충돌 회수, 그리고 사용되는 주파수, 이온층에서의 전파 전파의 거리와도 깊은 관계를 갖고 있다 (최병하 1988). 이와 같은 전파가 이온층을 통과할 때 잃어버리는 감쇄량은 대체로 단파의 경우 주파수의 제곱에 반비례하고 전자 밀도에 비례하며, 입자들간의 평균 충돌 회수에 비례한다. 또한 전파가 이온층에 입사될 때 그 입사각이 크면 클수록 더 많은 감쇄가 일어난다. 전파가 이온층의 전자밀도가 최대인 지점에서 반사될 때 잃어버리는 감쇄량은 대체로 플라즈마들의 평균 충돌 회수에 비례하고, 주파수의 제곱에 반비례한다. 특히 주파수가 임계 주파수 부근일 때 그 감쇄 정도가 크게 나타나는 데 전파가 이온층에 반사될 때 잃어버리는 감쇄량은 이온층을 통과할 때 잃어버리는 감쇄량보다 그 절대량에 있어 작게 나타난다.

전파 전파에 있어서 이온층의 전파에너지 흡수는 전자와 중성 입자 (대기분자 또는 원자)들간의 충돌에 의해 주로 일어나고 있으므로 본 연구에서는 편의상 충돌 주파수  $\nu$ 를 도입하였으며 모델을 간단히 하기 위하여 Budden (1961)과 Nicolet (1953,1959)가 만든 다음과 같은 충돌 주파수의 분포를 가정하였다.

$$\nu = \nu_0 \exp(-z/H_c)$$

여기서 정규화(normalize)된 층돌 주파수  $\nu_0$  와 scale height  $H_c$  는 각각  $\nu_0 = 107 \text{sec}^{-1}$ ,  $H_c = 13.5 \text{km}$  로 Budden (1961)의 층돌 주파수 분포 자료를 이용하여 구하였다. 이것은 중성 입자와 전자들의 밀도가 다같이 높게 나타나는 E층을 중심으로 구한 값이지만 이러한 층돌 모델을 사용하여 지상 45 km 에서 1000 km 까지 전파의 감쇄량을 입사각  $5^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  에 대해 각각 계산하였다. 여기에서 전파의 감쇄량을 계산하기 위하여 이용된 이론은 Martyn (1935)에 의해 만들어진 것으로 그 후에 Millington (1938), Appleton과 Beynon (1955) 그리고 Budden (1985)에 정리된 이론을 사용하였다. 또한 전파가 이온층을 통과하거나 반사할 때 등방성인 매질의 플라즈마 속을 움직인다고 가정하였고, 자장의 효과는 무시하였다. 전파 세기인 [dB] 단위로 환산해야 하고 여기서 전파의 세기 준위를 전파의 감쇄량에 대한 비로  $d\beta$  와 같이 정의하면  $d\beta$  는

$$d\beta = 10 \log(\ln |R|)$$

과 같이 계산된다. 그러므로 계산된 전파의 감쇄량은 dB의 비로 나타내었다.

## 2. 전파 전파에 미치는 이온층 영향 분석

전파가 이온층을 통과할 때 일어나는 변화중 대표적인 것으로 각 오차와 위치 오차, 시간 지연 그리고 전파 에너지의 감쇄 정도에 대해, Chapman 법칙을 이용한 국내 이온층 모델을 이용하여 그 영향을 고찰해 본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 비교적 주파수의 변화에 따라 민감한 반응을 보이는 위의 네 가지 이온층 영향은 이온층에 전파되는 전파의 주파수가 높아질수록 이온층의 영향이 지수적으로 감소되고 있다.

### 2.1 각 오차

먼저 각 오차의 경우에 대해 알아 보면 다음과 같다. 그림 1에 보인 70, 140, 210 MHz의 이온층 입사각에 대한 각 오차의 경우 정오와 자정에 모두 입사각의 증가에 따라 변화폭이 지수적으로 늘어나고 있다. 그림 1 (A), (B), (C)를 보면 정오에는 이온층에 대한 입사각의 증가에 따라 500 km, 250 km, 800 km, 1000 km 순으로 각 오차의 변화폭이 줄어드는 반면 그림 1 (D), (E), (F)의 자정은 500 km, 800 km, 250 km, 1000 km 순으로 그 폭이 줄어들고 250 km와 1000 km에서 주파수가 증가함에 따라서 비슷한 값으로 변화하고 있다. 이는 앞서 구한 (배석희등, 1992) 이온층의 전자밀도 분포에 영향이 있는 것으로 생각된다. GPS 위성에 관계되어 1.227GHz, 1.575 GHz의 채널을 적용한 각 오차의 변화는 그림 2 (A), (B)와 그림 3 (A), (B)로 나타냈다. 이 두 채널의 각 오차 변화는 정오와 자정 모두 단파대의 주파수와 같은 형태를 보이고 있으며 250 km에 대해 정오의 경우 입사각이  $5^\circ$  일때 1.227 GHz에서  $8 \times 10^{-7}$  rad, 1.575 GHz에서  $5 \times 10^{-7}$  rad 정도로 줄어들고 자정은  $1.5 \times 10^{-7}$  rad와  $0.9 \times 10^{-7}$  rad의 폭으로 정오보다 6배 정도 줄어 들고 있다.

그림 2 (C), (D)와 그림 3 (C), (D)에 나타난 통신위성 채널의 6.4 GHz와 14.5 GHz의 경우는 정오에 1.227 GHz와 1.575 GHz 보다 약 20-10배 정도 줄어든  $0.3 \times 10^{-7}$  rad (6.4 GHz),  $0.05 \times 10^{-7}$  rad (14.5 GHz)로 나타난다. 자정도  $0.04 \times 10^{-7}$  rad (6.4 GHz),  $0.01 \times 10^{-7}$  rad

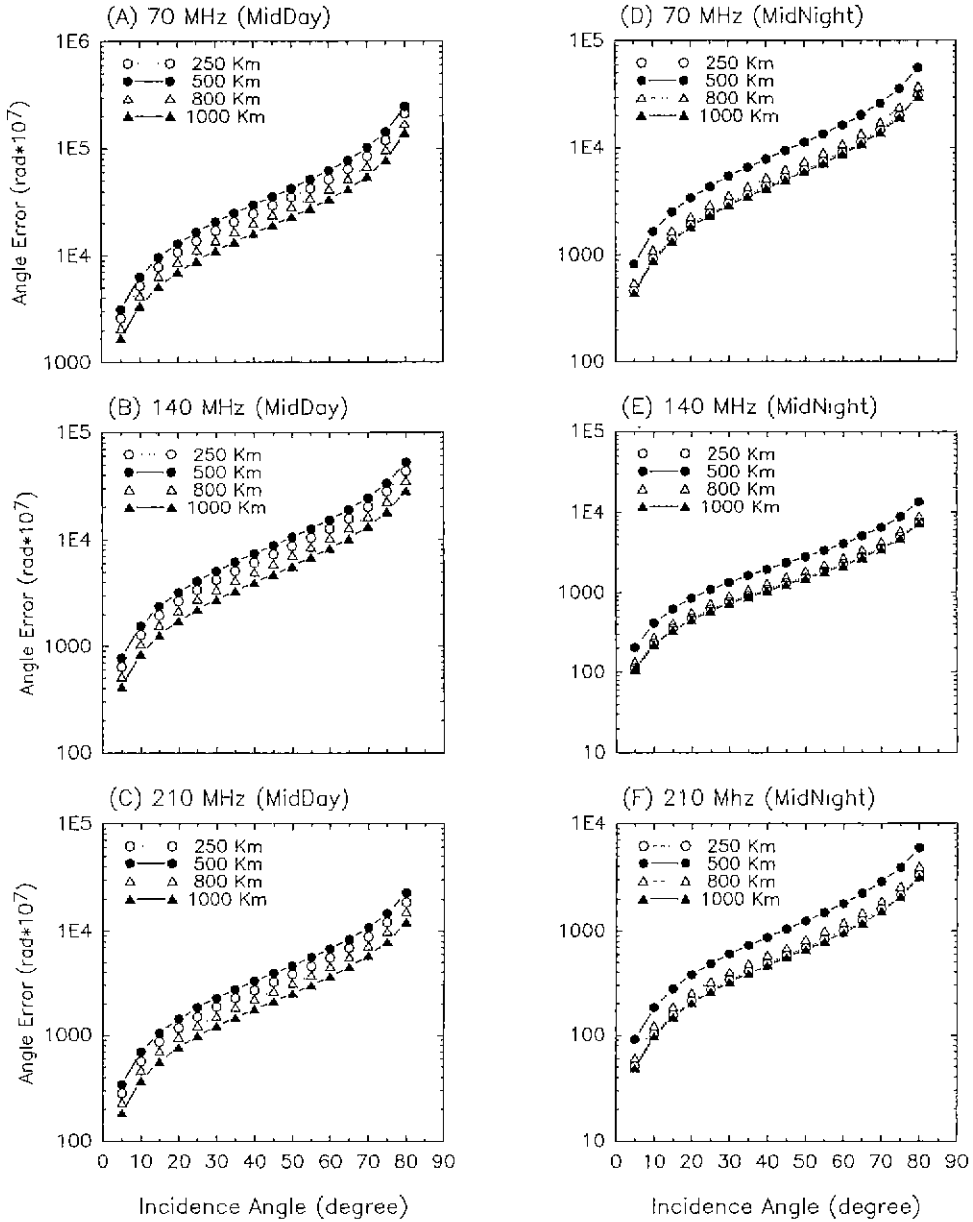


그림 1. 70, 140, 210 MHz의 이온층 입사각에 대한 각 오차(정오와 자정).

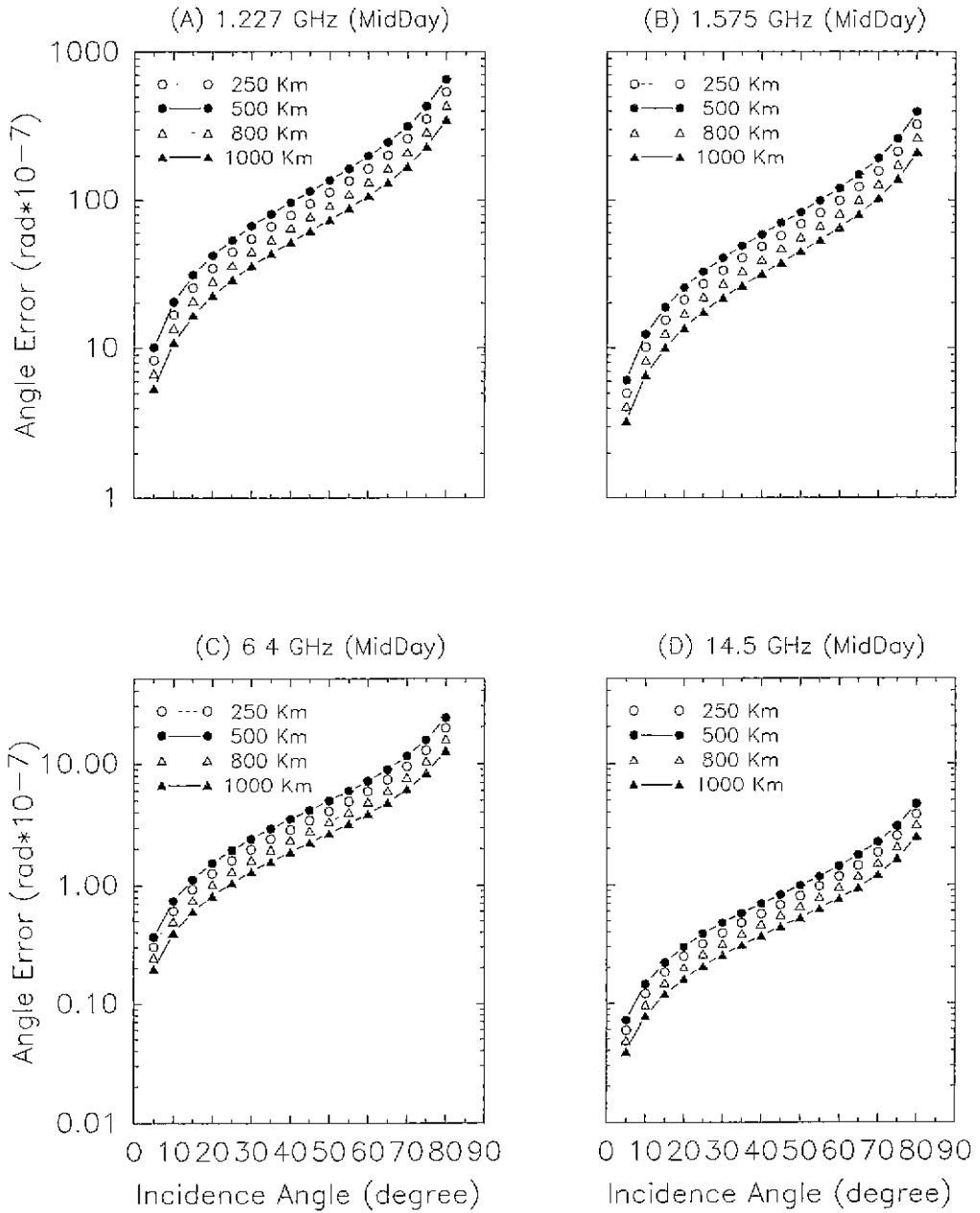


그림 2. 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz 이온층 입사각에 대한 각 오차(정오).

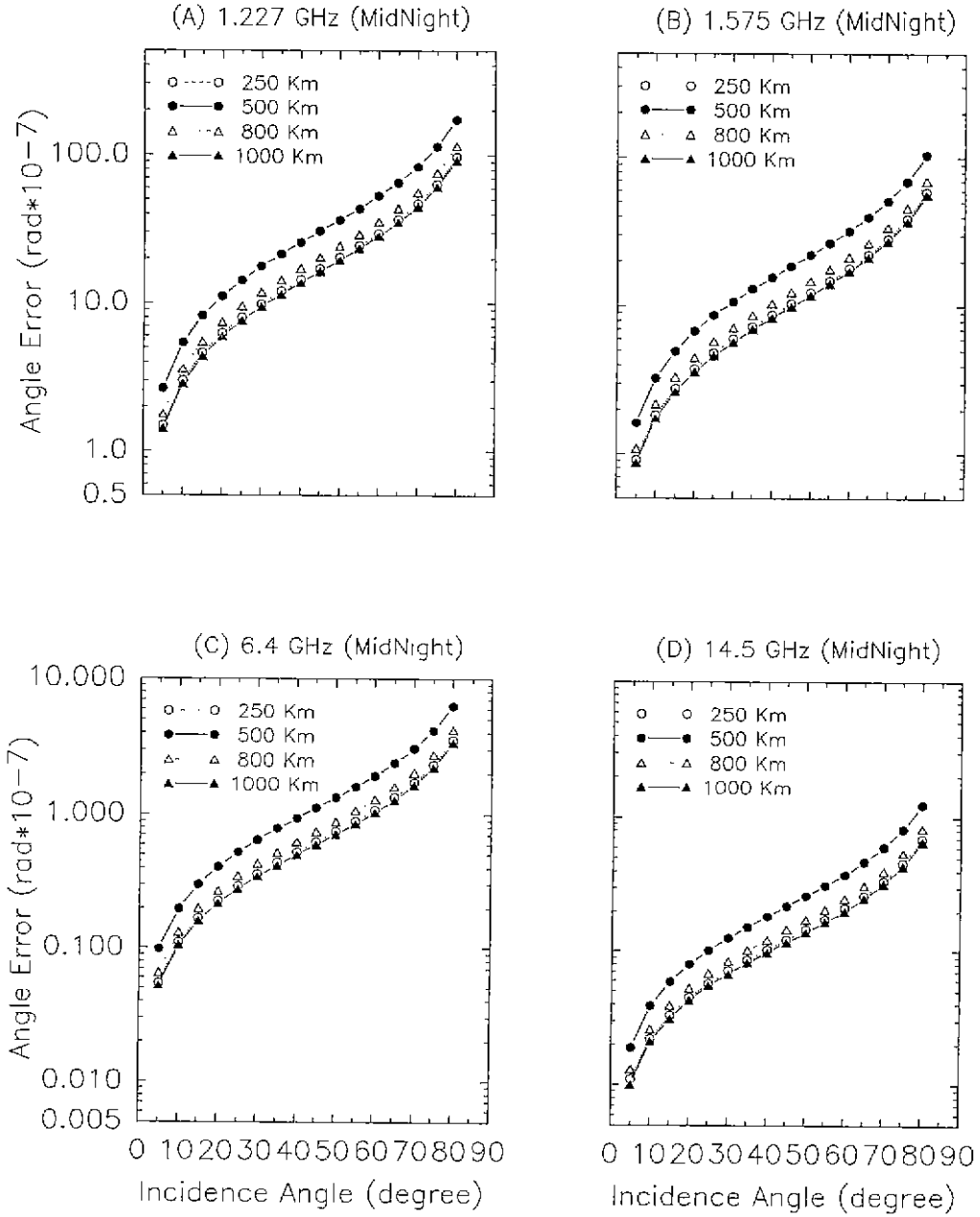


그림 3. 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz 이온층 입사각에 대한 각 오차(자정).

(14.5 GHz)로 10배 정도 감소하였다. 주파수대의 증가에 따른 각 오차의 변화 형태는 7개 채널 모두 같은 형태로 그려지고 있다.

## 2.2 위치 오차

위치 오차의 경우는 고도를 250 km와 800 km로 나누어 그림 4에서 그림 6까지 나타내어 보았다. 그림 4에 나타난 70, 140, 210 MHz의 정오와 자정의 변화는 주파수의 증가에 따라 변화의 비가 적게는 2배에서 크게는 800 배 까지 나타나지만 두 시각 모두 3개의 주파수대에서 입사각의 증가에 따른 변화의 모양은 같은 형태를 보이고 있다. 좀더 자세히 살펴보면 그림 4 (A), (B), (C)의 정오는 입사각이 5° 이고 고도가 800 km에서 주파수가 2배에서 3배로 증가할때 위치 오차는 각각 110 m, 40 m, 10 m로 3배에서 4배 까지 줄어들고 자정에는 3 m, 1 m, 5 cm, 정도로 3배에서 2배까지 감소한다. 또한 입사각이 80° 일 경우는 정오에서 각각 500 km, 95 km, 40 km이고 자정은 10 km, 23 km, 10 km로 나타난다.

그림 5와 6의 UHF 주파수대 역시 그림 4와 같이 입사각의 증가는 위치 오차를 증가시키고 주파수의 증가는 위치 오차를 감소시킨다. 1.227, 1.575 GHz의 경우 그림 5 (A), (B)와 그림 6 (A), (B)처럼 고도 800 km에서 정오는 입사각이 5° 일때 50 cm 이고 80° 일때는 300 m로 늘어난다. 또한 그림 5 (C), (D)와 그림 6 (C), (D)에 나타난 통신위성의 주파수 6.4 GHz, 14.5 GHz의 경우는 고도 800 km에서 정오에 입사각이 5° 일때 약 2 cm 이고, 80° 일때는 40 m로 증가한다. 자정의 경우는 입사각이 5° 일때  $5 \times 10^{-3}$  m 이고, 80° 일때는 11 m가 된다. 이와 같은 수치는 800 km 상공 이상에 떠 있는 위성과의 통신에 있어 위치 정확도를 계산하는데 필요하며 정밀한 수치를 요하는 GPS 체계인 경우에 꼭 필요한 요소로 쓰일 것이다.

## 2.3 시간 지연

전파의 시간 지연에 대해 위치 오차의 경우와 마찬가지로 250 km와 800 km에 대해 고찰하여 그림 7에서 그림 9까지 정오와 자정에 대해 나타내었다. 여기서 시간 지연은 ns(nanosecond :  $10^{-9}$  sec)로 표기하였다. 전체적인 시간 지연 변화량은 VHF 주파수대인 70, 140, 210 MHz의 경우  $10 \sim 10^7$  ns 정도이고 UHF 주파수대는 10 ns에서  $10^{-3}$  ns까지 변화되고 있다.

그림 7 (A), (B), (C)는 3개의 주파수(70, 140, 210 MHz)에 대해 정오의 시간 지연을 표시하였는데, 고도 800 km에서 입사각이 5° 일때  $6.5\mu s$ ,  $1.6\mu s$ ,  $721$  ns 이고, 45° 일때는  $18\mu s$ ,  $4\mu s$ ,  $2\mu s$ 이며, 80° 일때는  $1693\mu s$ ,  $323\mu s$ ,  $138\mu s$ 로 지수적으로 증가하는 것으로 나타나고 있다. 그림 7(D), (E), (F)에서 자정의 경우 고도 800 km에서 입사각이 5° 일때 각각  $1.6\mu s$ ,  $422$  ns,  $187$  ns 이고, 45° 일때  $4.7\mu s$ ,  $1.2\mu s$ ,  $524$  ns, 80° 일때에는  $343\mu s$ ,  $81\mu s$ ,  $35\mu s$ 로 나타난다. 그러나 그림 8과 그림 9의 UHF 주파수인 경우는 그 영향이 VHF 주파수보다 적어 입사각이 5° 인 경우 고도 800 km에서 VHF 주파수대의 1/35 - 1/65,000 정도로 줄어들고 있다. GPS 위성에 기본적으로 쓰이는 1.227 GHz와 1.575 GHz의 경우 고도 800 km에서 입사각이 5° 일때 정오가 21 ns, 12 ns로 나타나고 자정이 5 ns, 3 ns로 소폭 줄어들었는데 통신위성 채널인 6.4 GHz와 14.5 GHz는 앞의 경우와 같은 조건일 때 정오가 0.7 ns, 0.15 ns이고 자정에 0.2 ns, 0.03 ns로 이온층의 영향을 거의 받지 않고 있다. 그러나 이와 같은 시간 지연은 통신에 있어 직접적인 영향은 없으나 관측 전파의 펄스가 앞에 언급했듯이 30에서  $100\mu s$ 로 공간상에 전파되는데 그때의 효과는 무시할 수 없는 것이 된다.

## 2.4 감쇄

전파에 대한 이온층의 영향으로 위 세가지 경우와 더불어 1장 2절에서 다룬 전파에너지의 감



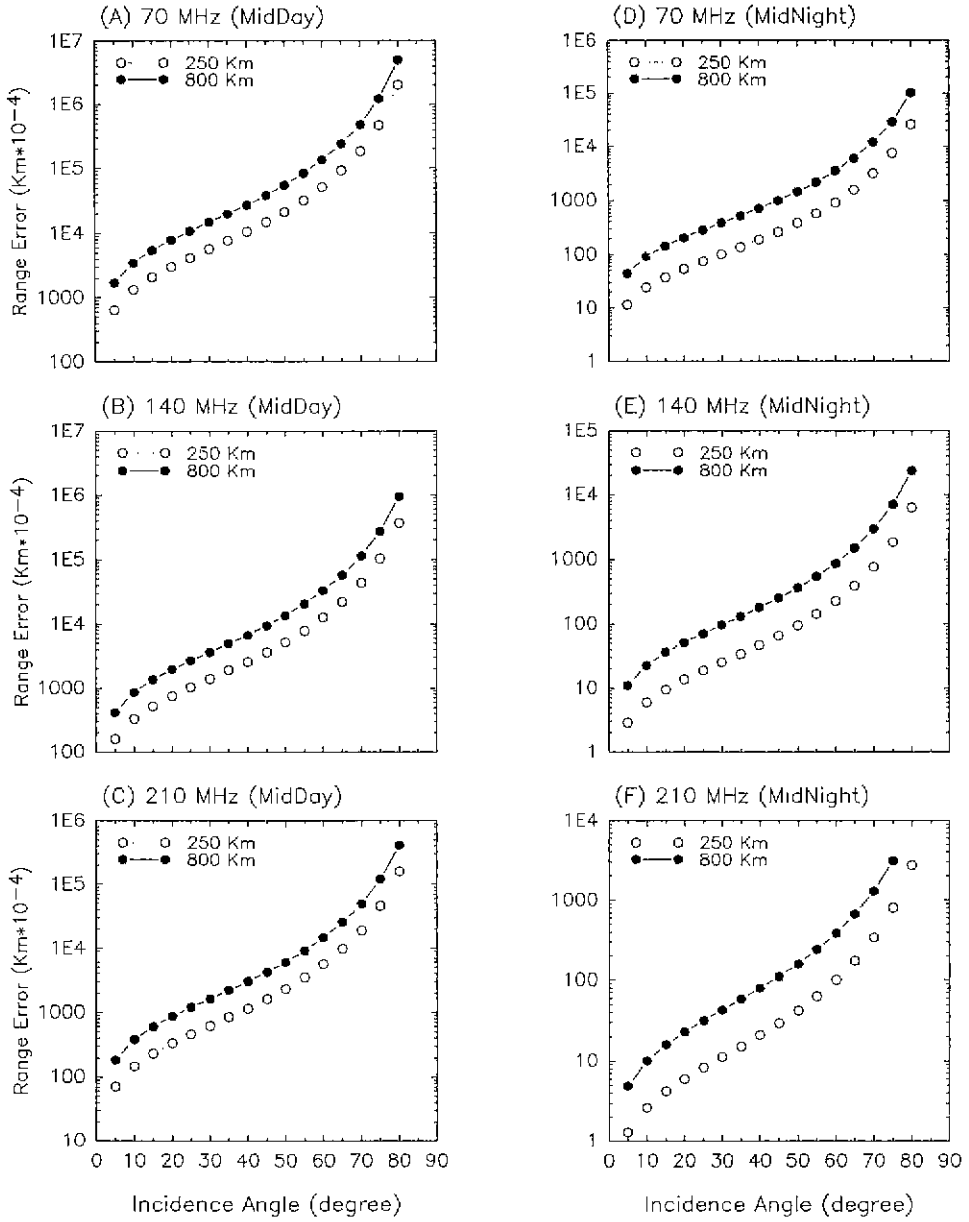


그림 4. 70, 140, 210 MHz의 이온층 입사각에 대한 위치 오차(정오와 자정).

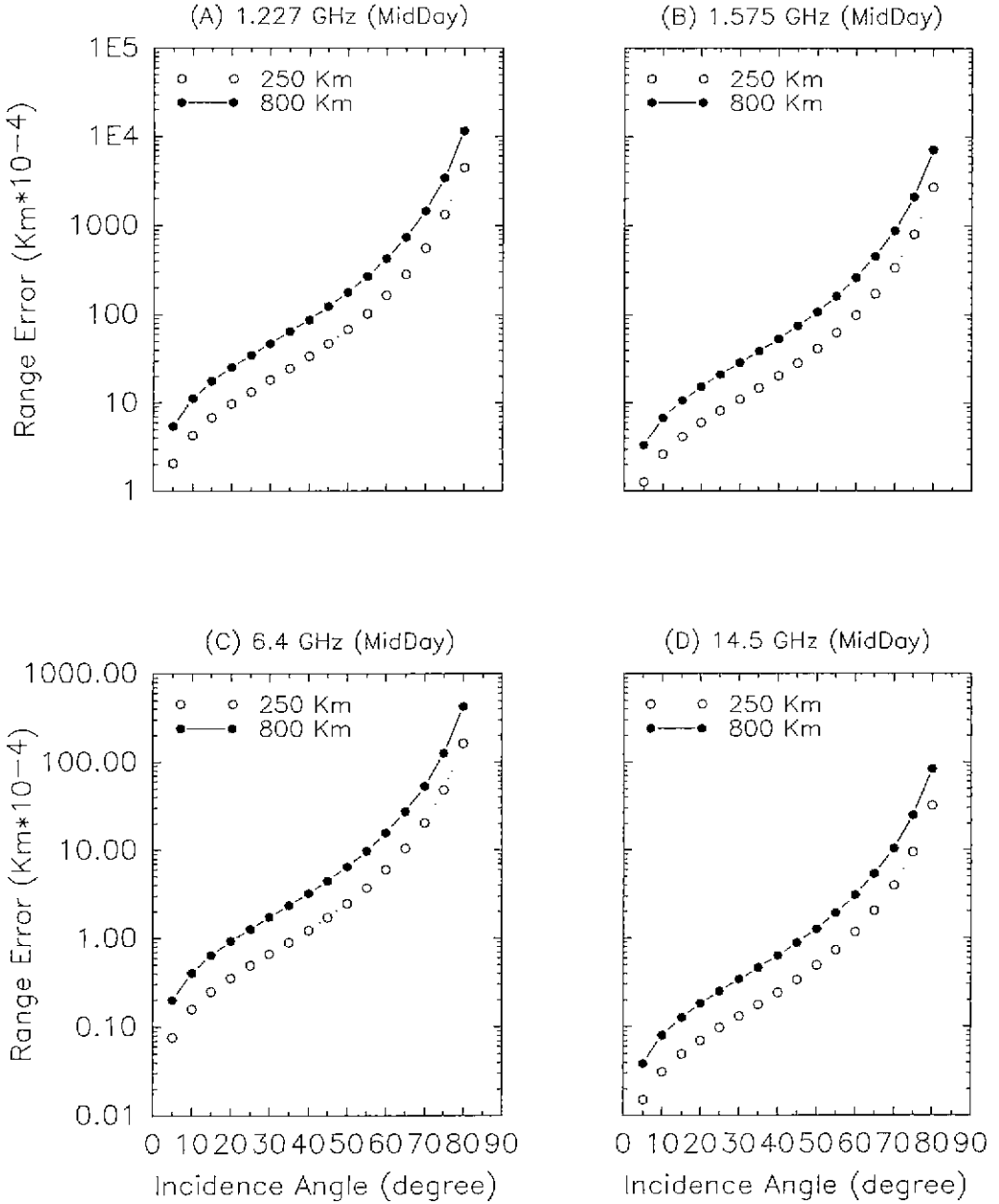


그림 5. 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz 이온층 입사각에 대한 위치 오차(정오).

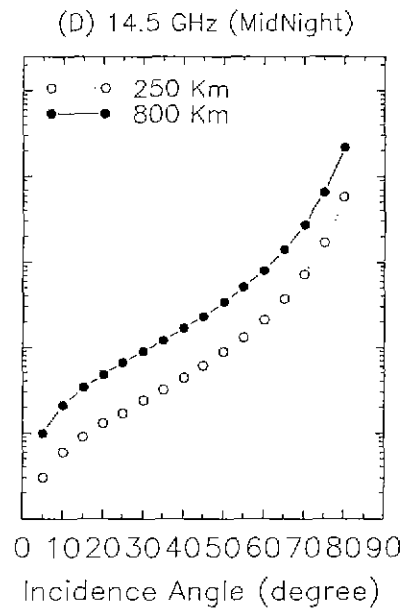
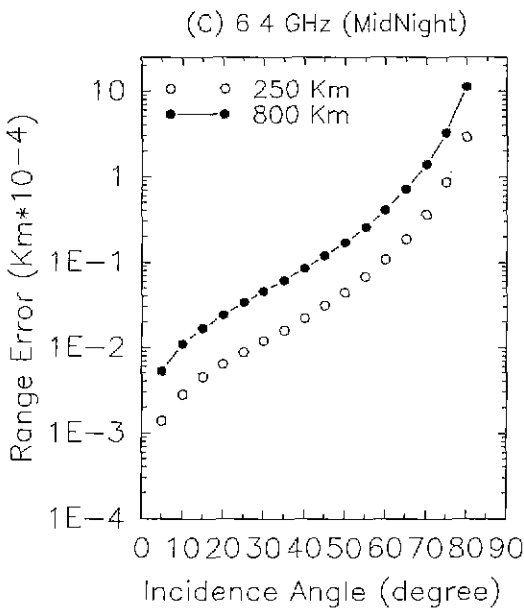
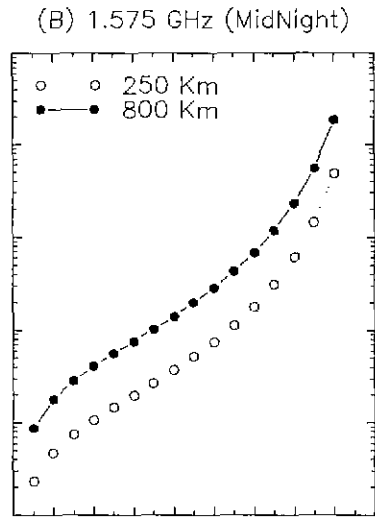
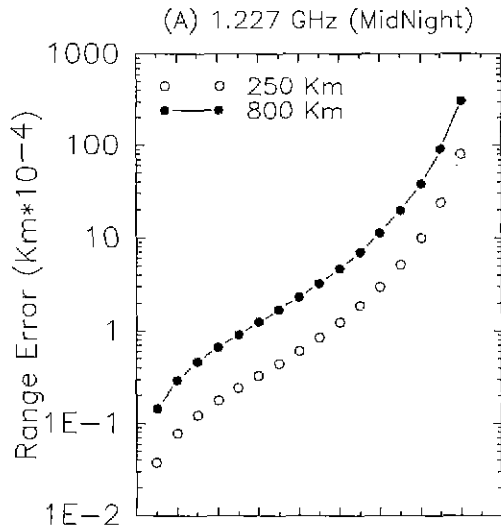


그림 6. 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz 이온층 입사각에 대한 위치 오차(자정).

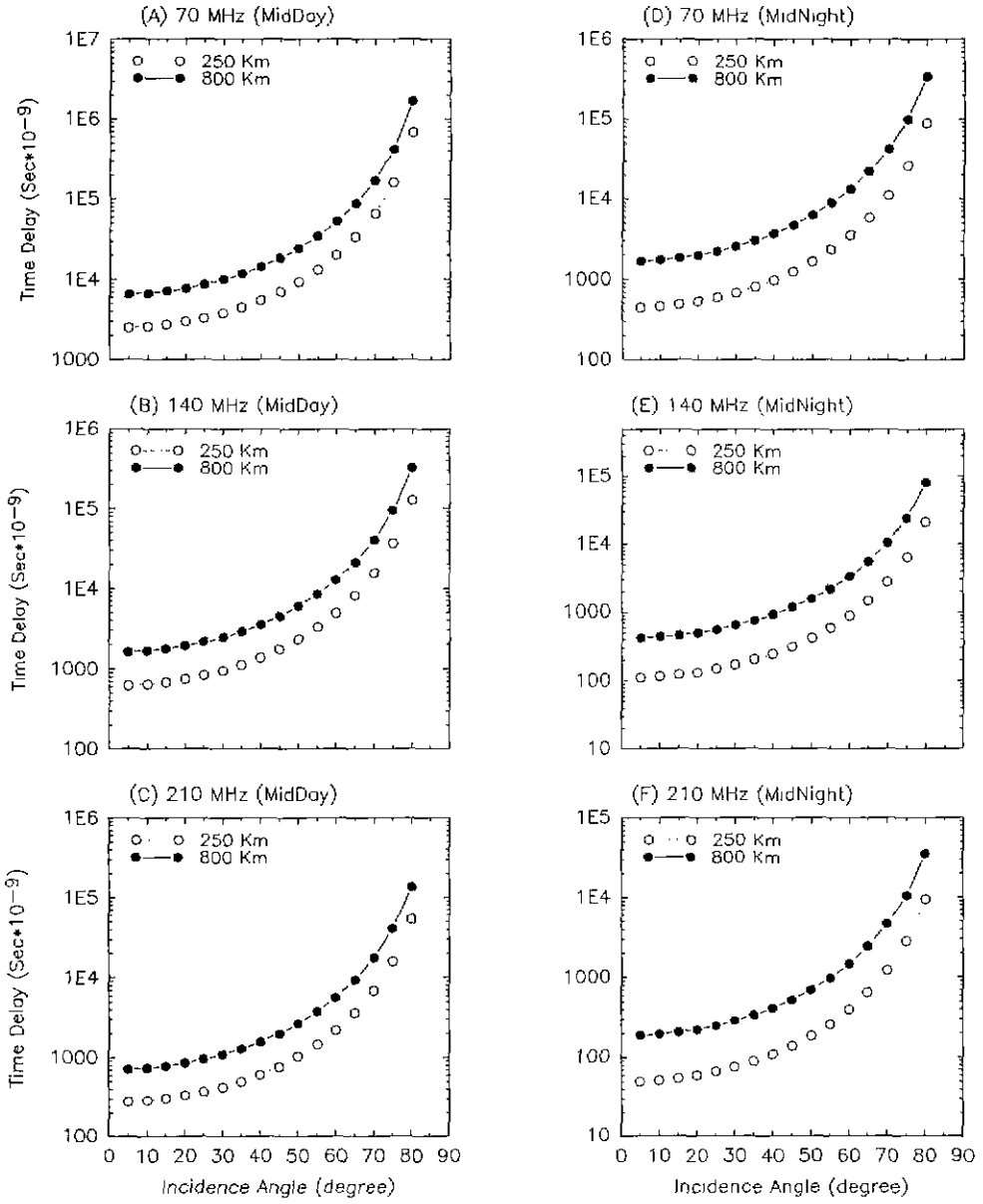


그림 7. 70, 140, 210 MHz의 이온층 입사각에 대한 시간 지연(정오와 자정).

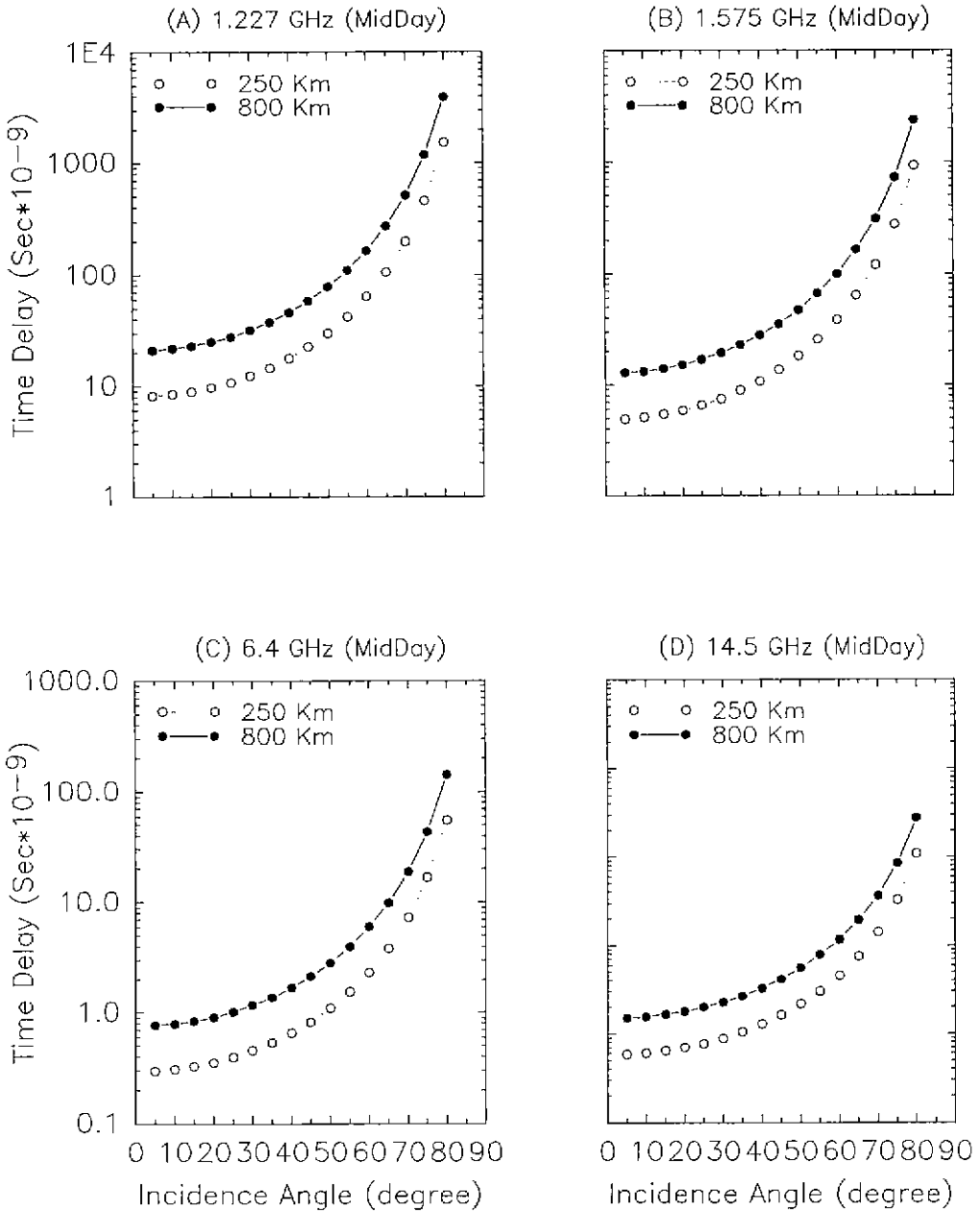


그림 8. 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz 이온층 입사각에 대한 시간 지연(경오).

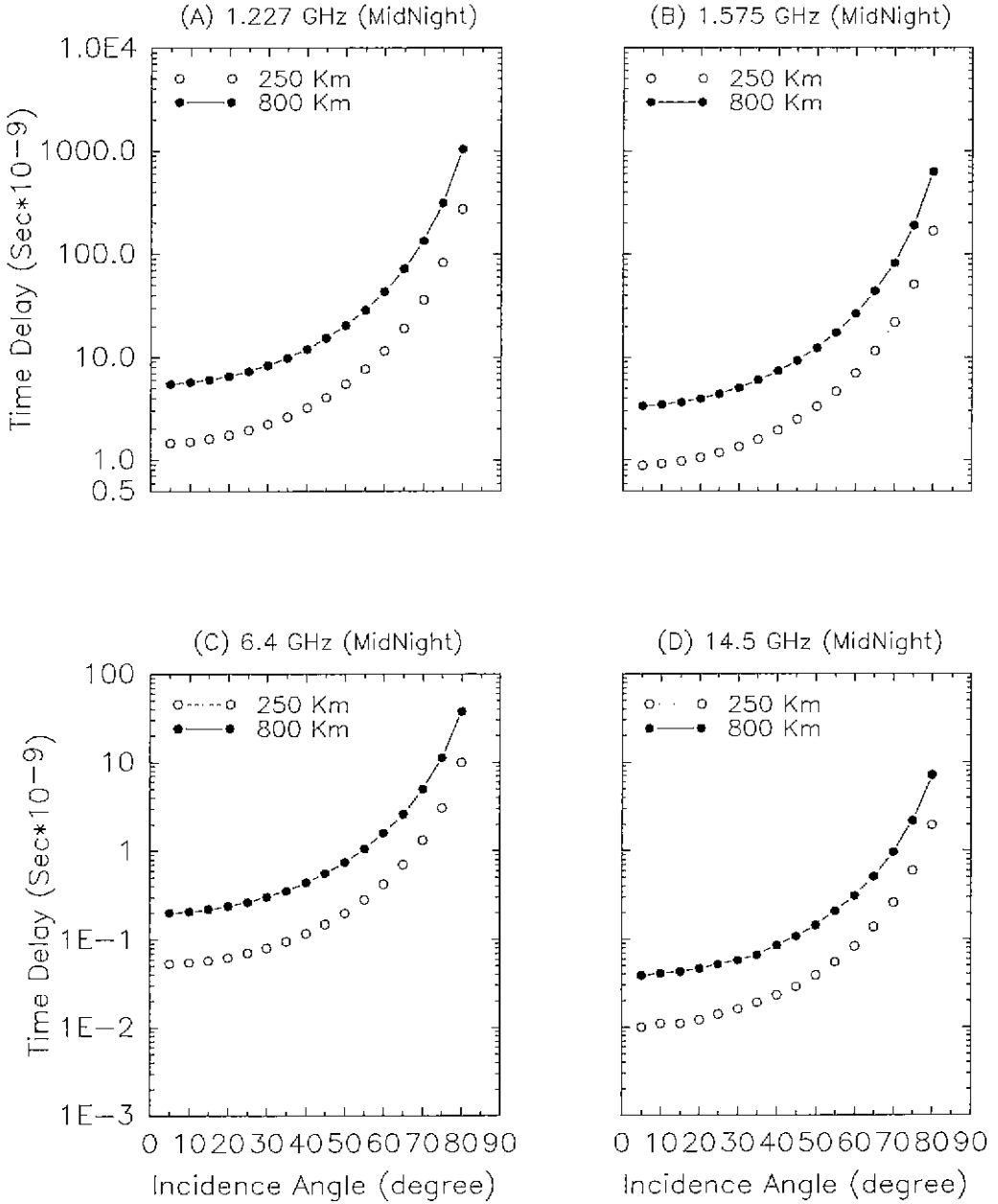


그림 9. 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz 이온층 입사각에 대한 시간 지연(자정).

쇄현상을 그림 10부터 그림 12에 도시하였다. 전체적인 7개 채널의 변화는 위의 세가지(각 오차, 위치 오차, 시간 지연) 경우와 같이 입사각의 증가에 따라 감쇄의 비가 증가한다. 또한 특이한 현상으로 고도 250 km 이상은 거의 감쇄가 일어나지 않고 있음이 보인다.

먼저 70, 140, 210 MHz의 경우 정오와 자정 모두 그림 10에서 보듯이 이온층에 대한 입사각이  $5^\circ$  일때 약 0.2에서 0.02까지 변화되고 있으며  $60^\circ$  일때는 0.5에서 0.05까지 줄어든다. 구체적으로 살펴보았을때, 70 MHz는 입사각이  $5^\circ$  이고 고도가 100 km 일때 정오는 0.193이고, 자정은 0.194가 된다. 그런데 전자 밀도가 최대인 고도 250 km 부근은 입사각이  $5^\circ$  일 경우 약 0.223로 정오와 자정이 별 차이 없이 나타나고 있다. 140 MHz도 70 MHz와 같이 입사각이  $5^\circ$  이고 고도 100 km에서 정오는 0.048, 자정은 0.049로 나타나고, 210 MHz도 정오에 0.021, 자정에 0.022로 나타나는데 두 주파수 모두 70 MHz와 같이 250 km 부근에서는 0.056(140 MHz), 0.025(210 MHz)로 정오와 자정이 같은 감쇄량을 보인다.

그림 11과 그림 12에 그린 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz의 주파수대는 앞의 VHF 주파수대 보다 감쇄량의 변화가 크게 줄어들고 있는데 그림 11 (A), (B)와 그림 12 (A), (B)의 1.227 GHz와 1.575 GHz는 각각 이온층에 대한 입사각이  $5^\circ$  이고 고도 105 km 일때  $0.49 \times 10^{-3}$  (정오),  $0.50 \times 10^{-3}$  (자정)으로 나타나고 고도가 800 km 일때는 정오와 자정 모두  $0.72 \times 10^{-3}$ 로 105 km보다 약 2배 정도 감쇄량이 커진다.

그림 11 (C), (D)와 그림 12 (C), (D)는 6.4 GHz와 14.5 GHz를 그렸는데 입사각이  $5^\circ$  일때 고도 105 km에서  $0.02 \times 10^{-3}$  (정오와 자정)이고 고도 800 km에서  $0.005 \times 10^{-3}$  (정오와 자정)으로 나타난다.

이와 같은 결과들로부터 주파수의 증가에 따른 이온층의 감쇄는 국내 이온층의 경우와 같이 그 변화가 급격히 줄어들고 있음이 확인 되었는데 여기에서 다루지 않았던 중성입자가 많은 대기의 효과는 주파수가 증가할 수록 수증기에 의한 감쇄 효과가 크게 나타나기 때문에 실제 대기효과를 포함한 공간 전체의 전파 감쇄량은 이온층 만의 감쇄 보다 수십에서 수 백배 더 크기 때문에 위성 통신에 있어 단순한 주파수의 증가만이 질 좋은 통신을 할 수 있는 것이 아니라 좋은 예가 될 것이다. 여기에 나타난 모델 계산을 고찰해 보면 UHF 주파수대에서는 이온층의 감쇄를 무시해도 좋을 정도로 약하게 나타났다. 그러나 여기서는 전파가 이온층을 전파할 때 충돌 효과만을 고려했기 때문에 전파 감쇄에 대한 더 많은 변화요소를 생각해야 이온층에 의한 전파 감쇄량을 정확히 산출할 수 있을 것이다.

### 3. 결 론

1985년 1월 부터 89년 10월까지 전파연구소에서 관측한 국내 이온층 자료로부터 정립한 Chapman 법칙을 따르는 전리층 모델을 사용하여 7개 채널별로 각 오차, 위치 오차, 시간 지연, 그리고 전파의 감쇄에 대해 이온층의 영향을 알아보았다. 그 결과 비교적 주파수의 변화에 대해 민감한 반응을 보이던 VHF 주파수대는 전파가 높은 주파수대로 이온층에 전파 될수록 국내 이온층의 영향 정도는 지수적으로 감소하고 있고, UHF 주파수대는 VHF 경우보다 급격한 감소 현상을 보여 준다.

각 오차의 경우는 VHF 주파수대에서 정오와 자정 모두 입사각의 증가에 따라 변화폭이 지수적으로 늘어나고 있는데 정오에는 500 km, 250 km, 800 km, 1000 km 순으로 각 오차의 변화폭이 줄어들고 자정은 500 km, 800 km, 250 km, 1000 km 순으로 그 폭이 줄어들었다. GPS 위성 에 관계되어 1.227 GHz, 1.575 GHz의 채널은 정오와 자정 모두 단파대의 주파수와 같은 형태를

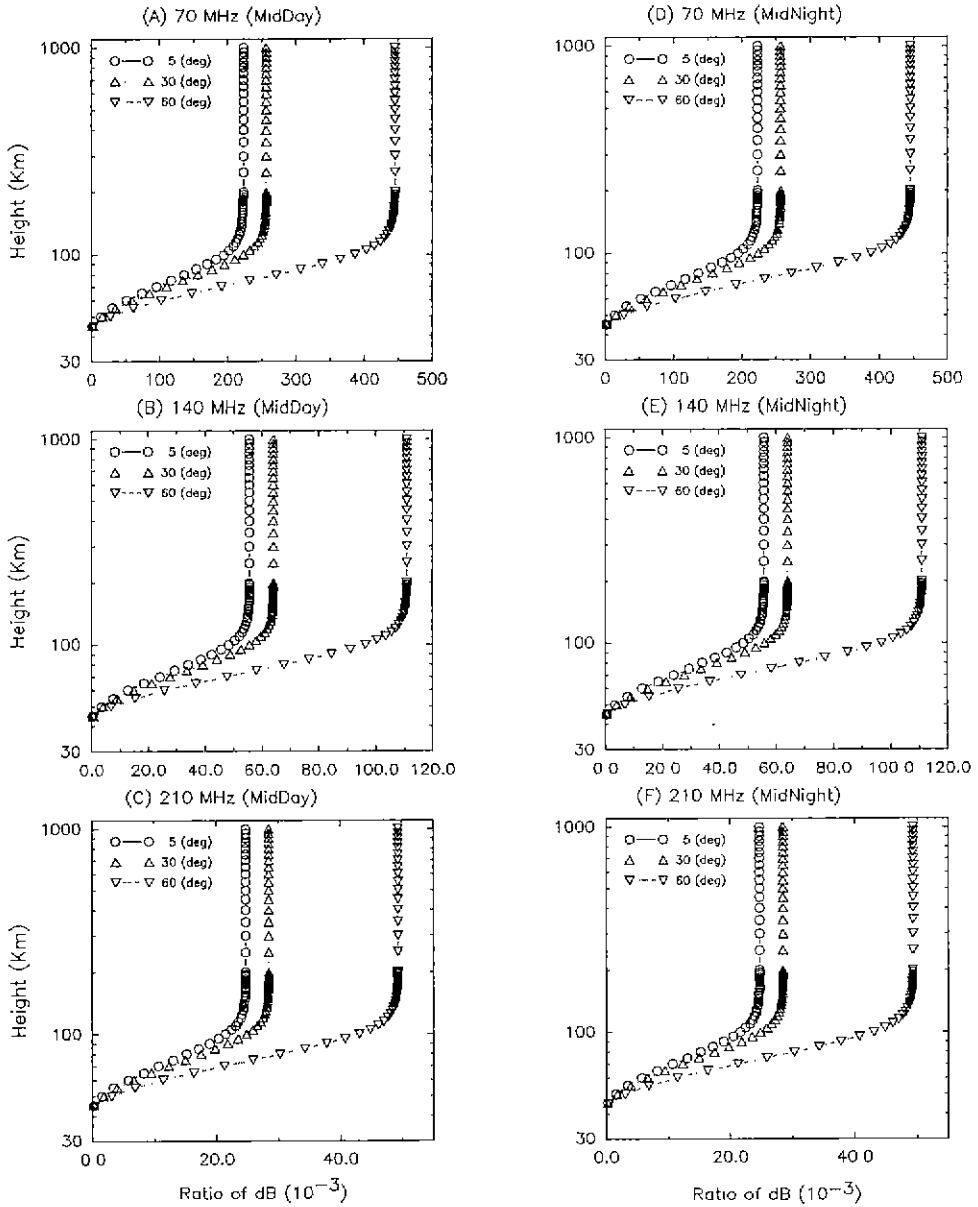


그림 10. 70, 140, 210 MHz의 고도에 따른 감쇠(정오와 자정).



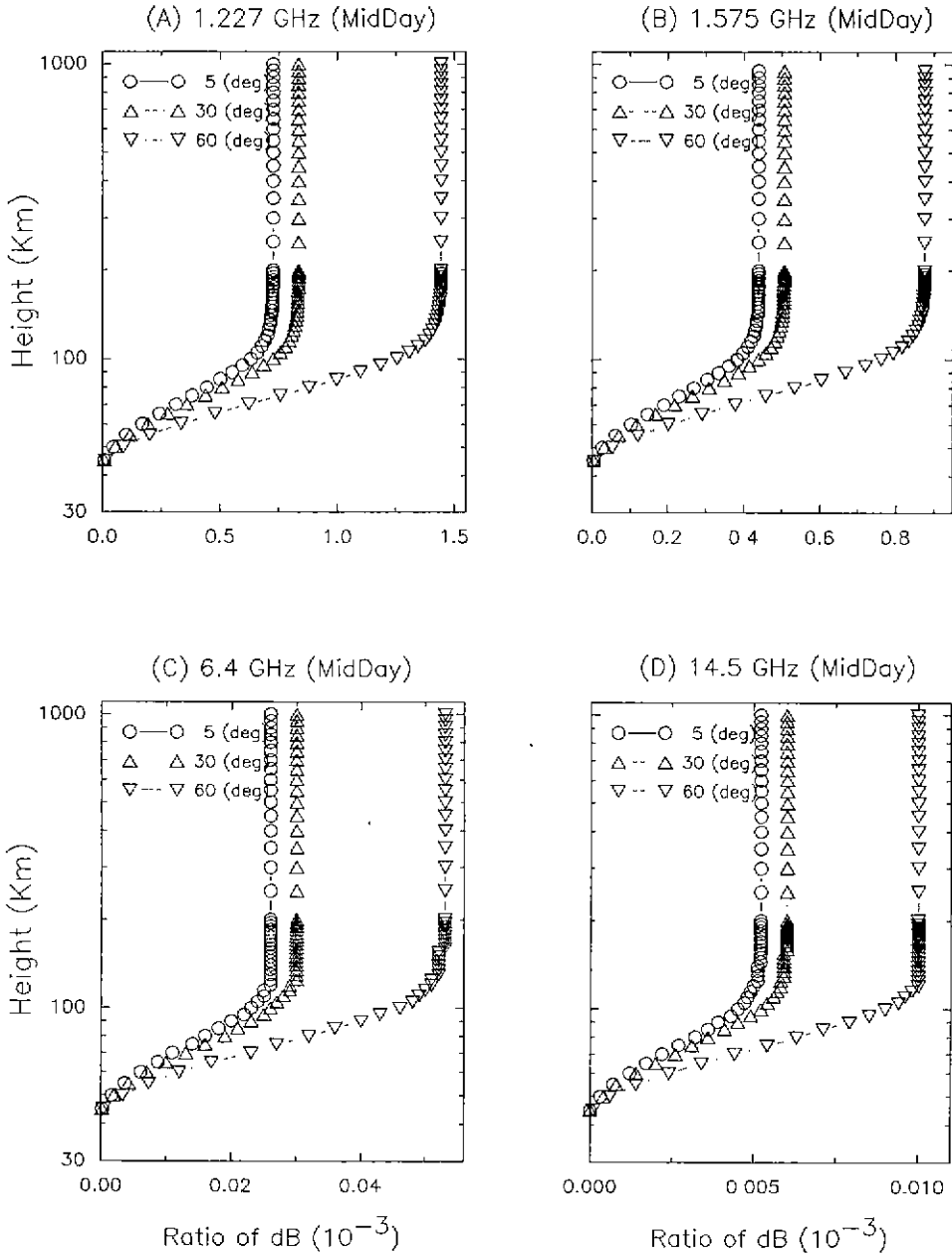


그림 11. 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz 고도에 따른 감쇄(정오).

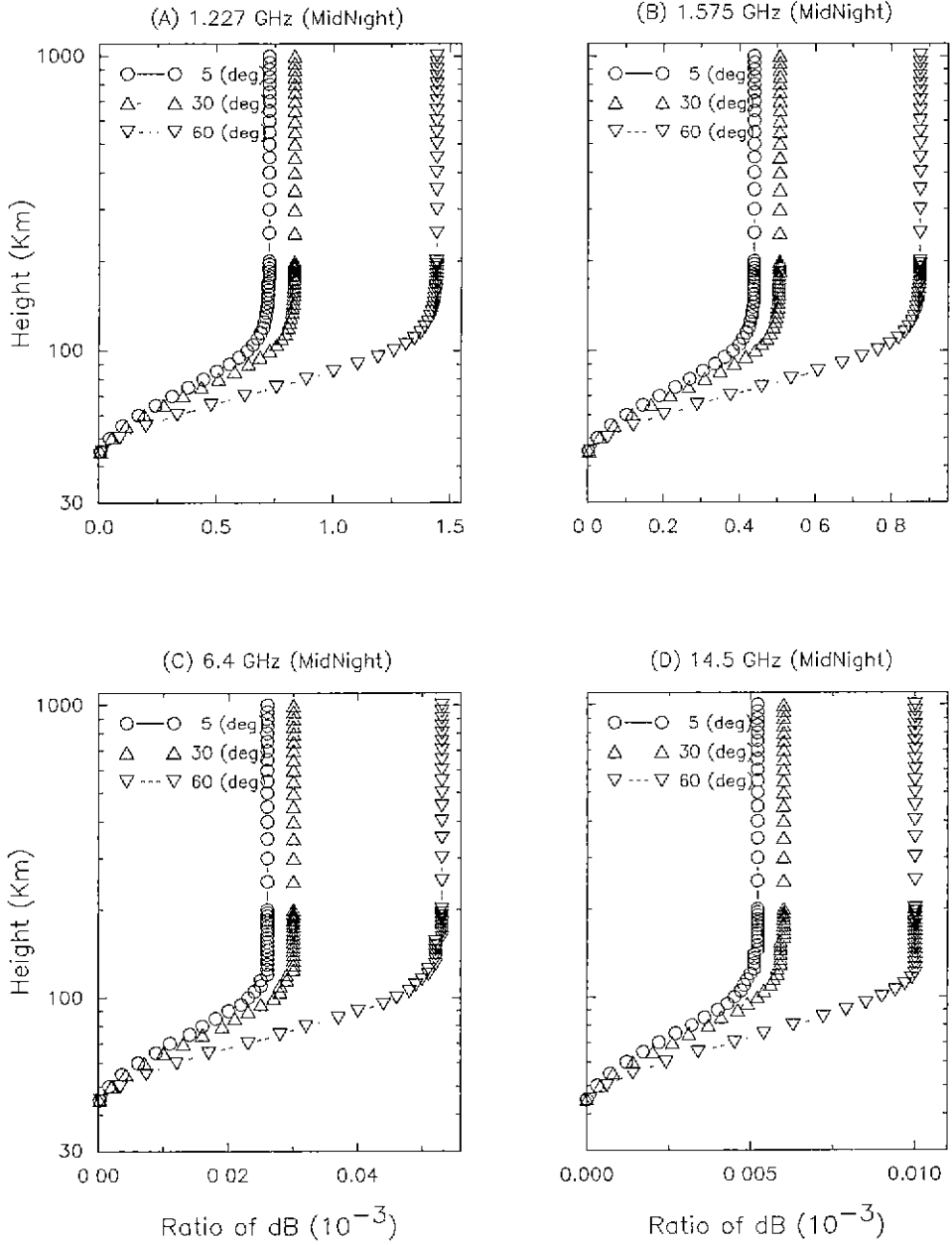


그림 12. 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz 고도에 따른 감쇄(자정).

보이며 250 km에 대해 입사각이 5° 일때 정오가 자정보다 6배 높게 나타났다. 통신위성 채널의 6.4 GHz와 14.5 GHz의 경우는 정오에 앞의 GPS 채널보다 약 20-10 배 정도 줄어들었고, 자정은 10배 정도 감소하였다. 위치 오차는 70, 140, 210 MHz에서 정오와 자정 모두 주파수의 증가에 따라 변화의 비가 적게는 2배에서 크게는 800배 까지 나타났고 두 경우 모두 3개의 주파수대에서 입사각의 증가에 따른 변화모양은 같은 형태를 보인다. UHF 주파수대는 입사각의 증가에 따라 위치 오차는 증가시키고, 주파수의 증가는 위치 오차를 감소시킨다. 6.4 GHz, 14.5 GHz의 경우는 고도 800 km를 기준으로 정오가 자정보다 입사각이 5° 일때 4배 감소한다.

전파의 시간 지연은 VHF 주파수대인 70, 140, 210 MHz에서  $10 \sim 10^7$  ns 정도이고 UHF 주파수대는  $10 \sim 10^{-3}$  ns 까지 변화되었는데, 정오와 자정 모두 지수적으로 증가하였다. 1.227 GHz와 1.575 GHz는 고도 800 km에서 입사각이 5° 일때 정오가 자정보다 약 3배 크게 나타나고 6.4 GHz와 14.5 GHz는 정오가 자정보다 4배에서 5배까지 크게 나타났다. 전파에너지의 감쇄 현상은 앞의 세가지 영향과 마찬가지로 입사각의 증가에 따라 감쇄의 비는 증가하고 있고, 고도 250 km 이상은 거의 감쇄가 일어나지 않았다. 70, 140, 210 MHz의 경우 정오와 자정 모두 이온층에 대한 입사각이 5° 일 경우 약 0.2에서 0.02까지 변화되었고, 1.227, 1.575, 6.4, 14.5 GHz의 주파수대는 고도 800 km 일때 상층대기로 올라갈수록 중성 입자가 지수적으로 감소하여 희박해져 고도 105 km 보다 약 2배 정도 밖에는 감쇄량이 증가되지 않았다.

이러한 대략적인 결과들은 주파수 대역이 200 MHz 이상의 경우에 있어서는 대체로 이온층의 영향을 심각하게 받지 않았지만 1000 km 이내에 있는 위성과의 통신의 경우 입사각이 5° 일때 1.227 ~ 1.575 GHz까지는 약 1 m 이하의 위치 오차가 발생하였고, 감쇄 현상은  $0.7 \times 10^{-3}$  [dB] 정도가 발생하였기 때문에 정밀한 관측과 실험을 요하는 위성의 경우에는 이온층의 영향을 고려하지 않으면 안될 것이며, 특히 500 km 이하에서 지구를 선회하는 군사위성 경우도 이 효과를 무시할 수 없을 것이다. 그러나 위의 결과들은 전파 전파에 대한 이온층의 전체적인 영향이 아니기 때문에 만약 지구 자장의 효과를 고려한 Faraday 회전과, scintillation 효과, 이온층 전자들과의 충돌에 의한 주파수 변조, fading, echo 현상 등, 이 밖에 여러 가지 요소들을 고려한다면 좀 더 정확한 계산이 산출될 것이다.

**감사의 글 :** 본 연구를 위하여 자료를 제공하여 주신 전파연구소 관계자 채위께 감사 드린다. 이 논문은 부분적으로 국방과학연구소의 지원에 의하여 이루어 졌음을 밝혀둔다.

### 참 고 문 헌

- 배석희, 최규홍, 육재림, 김홍익, 민경옥, 1992, 우주과학회지, vol.9 (1).  
 송찬복, 1978, 전파연구소 연구보고서, 32, 127.  
 이강호, 1986, 위성통신(한국 이공학사, 서울), 4장.  
 최병하, 1988, 안테나 전파복사(키출판사, 서울), 4장.  
 홍용식, 1990, 인공위성과 우주발사체(청문각, 서울), 6장.  
 Appleton, E. V., and Beynon, W. J. G., 1955, J. Atmos. Terr. Phys., 6, 141.  
 Bahar, E., 1979, IEEE. Trans. Antennas & Propagation, Ap-27, 225.  
 BeckWith, R. I. & Rao, N. N., 1974, IEEE. Trans. Aerospace & Electronic System, AES-10,765.

- Budden, K. G., 1961, *Radio waves in the Ionosphere*(Cambridge Univ. Press : Cambridge).
- Budden, K. G., 1985, *The Propagation of Radio Wave*(Cambridge Univ. Press : Cambridge), chap 8.
- Burn, A. A., 1970, *IEEE. Trans. Antennas & Propagation*, Ap-18, 785.
- Feess, W. A., 1987, *IEEE. Trans. Aerospace & Electronic System*, AES-23, 382.
- Klobuchar, J. A., 1987, *IEEE. Trans. Aerospace & Electronic System*, AES-23, 325.
- Martyn, D. F., 1935, *Proc. Phys. Soc.*, 47, 323.
- Millington, G., 1938, *Proc. Phys. Soc.*, 50, 561.
- Nicolet, M. J., 1953, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 3, 200.
- Nicolet, M. J., 1959, *Phys. Fluids*, 2, 95.
- Ogawa, T., 1988, *IEEE. Trans. Aerospace & Electronic System*, AES-24, 360.
- Poularikas, 1969, *IEEE. Trans. Aerospace & Electronic System*, 865.
- Poularikas, 1973, *IEEE. Trans. Aerospace & Electronic System*, AES-2, 104.
- Rao, N. N., 1975, *IEEE. Trans. Aerospace & Electronic System*, AES-11, 113.
- Soicher, H., 1977, *IEEE. Trans. Antennas & Propagation*, Ap-25, 705.
- Takahashi, K., 1970, *IEEE. Trans. Aerospace & Electronic System*, AES-6, 770.