

# 스펙트럼관리 과학화를 위한 전파분석연구

2010. 12. 31

# 제 출 문

본 보고서를 「스펙트럼관리 과학화를 위한 전파분석에 관한 연구」 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2010. 12. 31

연구책임자 : 김경만(정보운영팀 정보운영팀장 )

연구원 : 이대용(정보운영팀 전파자원환경분석담당)

김남진(정보운영팀 전파자원환경분석담당)

장혜숙(정보운영팀 전파자원환경분석담당)

신우진(정보운영팀 전파자원환경분석담당)

## 요 약 문

주파수 자원분석 시스템(SMIS)의 주요 기능인 커버리지 분석기능과 간섭분석 기능의 핵심요소인 ITU-R 권고안 기반의 전파분석 알고리즘을 최신으로 현행화한다.

방송망, 지상망, 양립성, 위성망 분석 시스템의 각 전파분석 모듈을 분석하고 효율적으로 구성하여 분석결과의 신뢰성 향상 및 사용자 편의성 제고 방안을 제시한다.

주파수 자원분석 시스템(SMIS)에 기 적용된 전파 분석 알고리즘의 특성 비교 및 분류, 최신 ITU-R 권고안 검토를 통하여 지형특성을 고려한 전파 분석 알고리즘 적용방안을 제시한다.

전파분석에 요구되는 대기환경 데이터(온도, 기압 등)에 따른 전파의 대기굴절 기울기와 관련하여 ITU에서 제공하는 대기 굴절 기울기 데이터 적용 방안 제시한다.

전파 분석의 신뢰성과 정확성을 높이고자, 추가 요구 파라미터(혼신 보호비, 3D 안테나 패턴 등) 적용 방안 제시한다.

사용자 편의성 제고와 신뢰도 향상을 위한 분석 모듈의 효율적 구성 방안을 제시한다

# SUMMARY

The key features of Spectrum Management Intelligent System(SMIs) are coverage predictions and interference predictions with radio wave propagation prediction algorithm based on ITU-R Recommendations. These ITU-R Recommendations are updated to the latest one.

By reviewing radio wave prediction modules of SMIs and configuring them efficiently, the way of improving reliability of analysis results and enhancing user-friendliness is presented.

By comparing existing radio wave propagation prediction models and classifying them as well as reviewing to latest ITU-R Recommendations, the way of applying radio wave prediction models ,which considers terrain features, is presented.

The way of applying radio-refractive index lapse-rate data effected by temperature, air pressure, etc, which requires for radio wave propagation provided by ITU-R Recommendation, is presented.

The way of additional parameters such as interference protection margin, 3D antenna pattern, etc, is presented.

Finally, configuring radio wave propagation prediction models to improve reliability of analysis results and user-friendliness is presented.

# 목 차

제1장 개론 .....	1
제1절 연구배경 및 목적 .....	1
1. 전파분석을 위한 회절 알고리즘 현행화 .....	3
2. 다중경로에 의한 페이드 손실예측 .....	4
3. 3D 안테나 패턴 구성방안 .....	5
제2장 전파분석 과학화를 위한 전파분석 팩터 현행화 .....	6
제1절 회절 알고리즘 현행화 .....	6
1. 회절손실 분석 절차 .....	6
2. 지형 형태 분석 .....	8
3. 회절 손실 예측 .....	9
제2절 다중경로에 의한 페이드 손실예측 .....	19
1. 최악될 시간을 기준의 페이딩 마진계산 .....	19
2. 요구 시간을 기준의 페이딩 마진계산 .....	20
3. Ducting에 의한 다중경로 페이딩 .....	21
4. 전파굴절율( ITU-R P.453-9) .....	22
제3절 3D 안테나 패턴 구성방안 .....	43
1. 안테나 방사 패턴의 기하도 .....	43
2. 안테나 방사 패턴과 안테나 이득 계산 .....	43
3. 3D 안테나 방사 패턴 구성 코드 적용 .....	45
4. 수평, 수직 패턴을 이용한 입체패턴 .....	50
제3장 결론 .....	51
참고문헌 .....	55

## 그림 목 차

[그림 1] 회절 분석 절차[크기14, 보통, 휴먼명조] .....	7
[그림 2] 장애물의 수직 단면 .....	8
[그림 3] Knife-edge 기하도 .....	10
[그림 4] $v$ 에 따른 회절손실 .....	11
[그림 5] Rounded-edge 기하도 .....	12
[그림 6] Double-edge 기하도 .....	14
[그림 7] Double-edge 기하도 .....	15
[그림 8] Cascaded cylinder 모델 기하도 .....	16
[그림 9] Cascaded cylinder 모델의 경로 파라미터 .....	16
[그림 10] Cascaded Knife-edge 모델 기하도 .....	17
[그림 11] 년평균 최악월 시간을 동안 초과되는 페이딩 .....	21
[그림 12] 년평균 최악월 시간을 동안 초과되는 페이딩 .....	21
[그림 13] 해수레벨에 대한 대기 굴절 평균값 February .....	24
[그림 14] 해수레벨에 대한 대기 굴절성의 평균값 August .....	25
[그림 15] 연평균에 대한 지표 굴절성 .....	26
[그림 16] $\Delta N$ 의 월평균 값 : February, May .....	28
[그림 17] $\Delta N$ 의 월평균 값(8월, 11월) .....	29
[그림 18] $\Delta N$ -100이하의 대기 굴절을(2월, 5월) .....	30
[그림 19] $\Delta N$ -100이하의 대기 굴절을(8월,11월) .....	31
[그림 20] 시간을 1%, 고도 65m의 대기 굴절을 .....	32
[그림 21] 시간을 10%, 고도 65m의 대기 굴절을 .....	32
[그림 22] 시간을 50%, 고도 65m의 대기 굴절을 .....	33
[그림 23] 시간을 90%, 고도 65m의 대기 굴절을 .....	33
[그림 24] 시간을 99%, 고도 65m의 대기 굴절을 .....	34
[그림 25] 덕트 파라미터의 정의 .....	38

[그림 26] Sp에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률 .....	39
[그림 27] Ss에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률 .....	39
[그림 28] St에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률 .....	40
[그림 29] Ep에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률 .....	40
[그림 30] Es에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률 .....	41
[그림 31] Et에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률 .....	41
[그림 32] Eb에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률 .....	42
[그림 33] 시간을 Em, 연평균 지표덕트 발생 확률 .....	42
[그림 34] 기준 좌표계 .....	43
[그림 35] 3D 안테나 패턴 파라미터 .....	45
[그림 36] SMIS 적용 사례-회절알고리즘 현행화 .....	52
[그림 37] SMIS 적용 사례-다중경로에 의한 페이드 손실예측 ·	53
[그림 38] SMIS 적용 사례-3D 안테나 패턴 .....	54

# 제1장 개론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

전파는 공간적인 제약을 극복할 수 있는 매우 효율적인 통신 및 방송수단으로서 이동성, 광역성 및 망구축의 용이성으로 인하여 전파를 이용하는 무선서비스는 비약적으로 발전·확대되고 있으며, 전파자원은 희소성과 제한성을 가진 중요한 자원으로 국민의 일상생활에 있어 필수적인 부분이 되었다.

국가적으로 체계화되고 효율적인 관리가 요구되는 주파수자원은 국민생활의 변화에 따라 통신·방송수단을 벗어나 가정, 직장, 자동차, 레저, 오락, 생산, 유통까지 국민생활 전반으로 확산되어 무선 홈네트워크, 무선 인터넷, 텔레매틱스, LBS, RFID/USN 등의 형태로 활용되고 있으며, 전파를 이용하는 산업은 그 발전 속도가 무척 빠르며 국가경제에서 차지하는 비중도 점차 높아지고 있다. 하지만, 이렇게 편리하게 이용되는 전파는 환경자원처럼 한번 오염되면 그 복구비용이 크고, 경제적 가치를 상실하게 되어 공공이익을 훼손하게 된다. 따라서 각 국은 전파관리에 대한 고유의 주권을 인정하고 있으며, 공공의 이익과 공평한 이용을 위해 환경이나 해양자원처럼 정부가 직접 관리하여 그 질서를 유지하고 있다.

주파수 자원분석 시스템(SMIS)의 주요 기능인 전파 커버리지 분석기능과 간섭분석 기능의 핵심요소인 ITU-R 권고안 기반의 전파분석 알고리즘을 최신으로 현행화한다.

SMIS 시스템의 각 전파분석 모듈을 분석하고 효율적으로 구성하여 분석결과의 신뢰성 향상 및 사용자 편의성 제고 방안을 제시한다.

주파수자원분석시스템(SMIS)에 기 적용된 전파 분석 알고리즘의 특성 비교 및 분류, 최신 ITU-R 권고안 검토를 통하여 지형특성을 고려한 전파 분석 알고리즘 적용방안을 제시한다.

전파분석에 요구되는 대기환경 데이터(온도, 기압 등)에 따른 전파의 대기굴절 기울기와 관련하여 ITU에서 제공하는 대기 굴절 기울기 데이터 적용 방안을 제시한다.

## 1. 전파분석을 위한 회절 알고리즘 현행화

전파전파(Radiowave propagation)에 있어 전파 에너지의 감쇄를 발생시키는 다양한 현상 가운데 하나인 회절영향 분석은 장애물에 의한 전파손실을 예측하는 것으로 전파분석에 있어 중요한 요소이다.

장애물에 의한 전파손실 예측은 단일 장애점 분석과 다중 장애점 분석으로 크게 분류할 수 있으며, 또한 장애점의 개수 또는 장애점의 형태에 따라 적절한 손실을 예측할 수 있는 회절모델로 세분화 할 수 있다. 이러한 회절모델들에는 각기 특정한 가정과 조건이 적용되어 있으므로 지형형태나 장애물의 개수를 고려하여 적절한 모델을 선택하여 전파손실을 예측할 수 있다.

SMIS에는 Single-knife edge, Epstein-peterson, Deygout, Spherical edge 등과 같은 회절 모델이 각기 별도의 모듈로 구성되어 있다. 즉, 장애물의 개수, 장애점의 형태와 상관없이 사용자가 선택한 모델에 따라 회절손실이 예측되어 가정과 조건에 맞지 않을 경우, 회절손실이 과하게 또는 적게 예측 되는 현상이 발생되고 있다.

이러한 회절모델 선택의 한계성을 극복함은 물론 회절손실 예측의 적절한 신뢰도가 확보하기 위해 ITU-P.526-11의 회절 영향 분석절차에 따라 장애물 개수와 장애물 형태를 분석하고 해당되는 조건에 따라 적절한 회절 모델이 자동으로 선택되어 회절손실이 예측될 수 있도록 분석모듈을 개선한다.

## 2. 다중경로에 의한 페이드 손실예측

산악지역의 고지에 설치 운영되고 있는 고정망 링크에 있어 페이딩은 고정링크 구성에 있어 중요한 요소이다. 1년 365일 24시간의 운영시간을 의미하는 링크 가용 시간을 99.999% 기준으로 운영되는 고정망 링크를 분석할 경우, 대기의 급격한 변화로 발생하는 페이딩 손실에 따른 중단시간(Outage time)을 감소시키기 위해 링크버짓 분석(Link budget)을 통하여 페이딩 마진을 고려하여야 한다.

페이딩의 주요 팩터인 대기의 급격한 변화는 대기 굴절율,  $\Delta N$ 은 고도에 반비례하는 경향을 나타내며 Beam spreading, Antenna decoupling, Surface multipath, atmosphere multipath, 등과 같은 현상이 발생되어 고정망 링크의 수신전력을 감쇄시키는 결과를 초래하게 된다.

$\Delta N$ 은 대기온도, 수증기 밀도 등과 같은 팩터를 이용하여 예측할 수 있어 최악월(Worst month), 연평균에 따라 적절한 값을 유도하여 적용할 수 있으며 또한 육상경로, 해상경로에 따라 적절한 값을 적용해야 한다.

상기의 페이딩 손실을 적정하게 반영할 수 있는 ITU-R P.453 검증 및 신뢰성 있는 고정망 링크 분석을 수행할 수 있도록 지형의 불규칙도, ITU-R에서 제공하는 고도 65m의  $\Delta N$ 과 ITU-R P.530에 정의된 분석방법을 분석하고 정의하여 분석모듈을 개선하도록 한다.

### 3. 3D 안테나 패턴 구성방안

전파분석에 있어 안테나 패턴은 매우 중요한 요소 중에 하나이다. 일반적으로 전력의 세기를 계산하는 것은 송신국 안테나로부터 지면에 위치한 수신안테나 높이까지 도달하는 전력의 세기를 예측하는 것이다. 이러한 이유로 송신 안테나가 지면을 지향하는 각에 안테나 이득이 신뢰도 있게 예측되어 반영되어야 한다. 그러나 입체 형태로 안테나 패턴을 형성하기 위해서는 송신출력, 위상, 안테나 어레이, 주파수, 등 다양한 팩터가 고려되어야 하며 또한 실제 설치된 안테나의 입체패턴을 구성하는 것은 한계성 있다. 이러한 이유로 일반적으로 안테나 제조사에서 제공하는 단면의 수평패턴(수평방향 0도) 또는 수직패턴(수직방향 0도)의 표준패턴을 이용하여 전파분석을 수행하고 있다.

상기에 기술된 다양한 파라미터를 이용하여 필요한 3D 입체패턴을 구성하는 방법이 가장 이상적인 방법이거나 허가된 무선국에 설치된 다양한 안테나 파라미터 확보에 한계가 있어 안테나 제조사에서 제공하는 수평, 수직 안테나 패턴을 기반으로 적정한 보간방법인 ITU-R BS.1195를 적용하여 3D 형태의 안테나 패턴을 구성하는 것이 오히려 현실적인 대안이 될 수 있다.

## 제2장 전파분석 과학화를 위한 전파분석 팩터 현행화

### 제1절 회절 알고리즘 현행화

#### 1. 회절손실 분석 절차

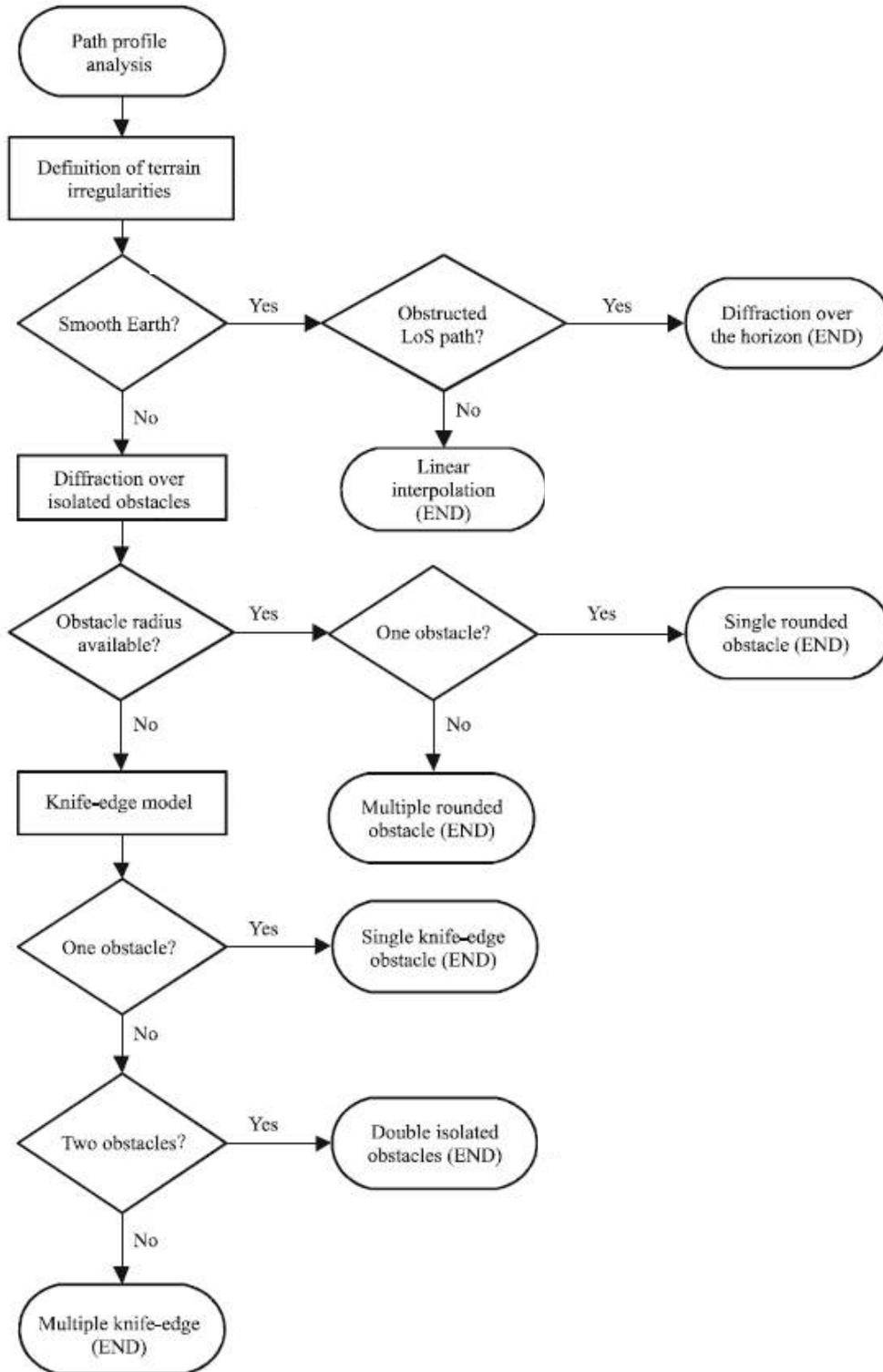
회절분석 절차는 다음과 같이 요약될 수 있다.

■ 패스프로 파일 분석을 통하여 LOS(Line of sight) 또는 NLOS(Non Line of sight)경로를 분석한다.

■ 지형의 불규칙도와 프레넬 반경을 적용하여 완곡지형(Smooth terrain)과 뾰족 장애물(Knife-edge)지형을 분류한다. (이하 뾰족 장애물을 Knife-edge로 정의).

■ 장애물의 불규칙도와 장애물의 곡률반경을 비교하여 둥근 장애물(Rounded edge)과 Knife-edge를 분류한다.(이하 둥근 장애물을 Rounded edge로 정의).

■ 장애물 개수를 분석하여 Single-knife edge, double-edge, Deygout 모델을 적용한다.



[그림 1] 회절 분석 절차

## 2. 지형 형태 분석

가. 장애물의 완만도 기준

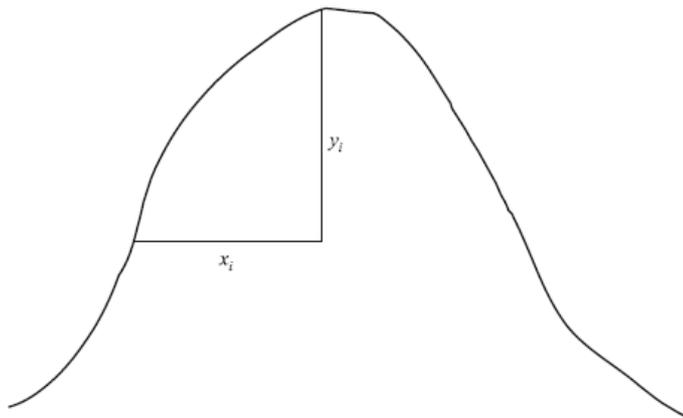
■ 장애물 표면의 불규칙도가 아래의  $\Delta h$ 를 초과하지 장애물을 완만한 불규칙도를 가진 장애물, 즉 완곡 장애물로 고려

$$\Delta h = 0.04 [R\lambda^2]^{1/3}$$

여기서,  $R=r$ =장애물의 곡률반경,  $\lambda$ =파장

$$r = \frac{1}{N} \sum_1^N \frac{x_i^2}{2y_i}$$

여기서  $y$ 는 장애물의 최고점부터 1차 프레넬 반경이 되며  $x$ 는 수평거리를 의미한다.



[그림 2] 장애물의 수직 단면

#### 나. 지형 형태의 구분

##### ■ 완곡지형(Smooth terrain)

지형의 불규칙도가 최대 프레넬 반경의 0.1R이 넘지 않은 지형

##### ■ 단독 장애물(Isolated obstacle)

장애물과 주변 지형의 중첩이 없어 주변지형에 의한 회절 손실이 발생되지 않고 해당 장애물에만 회절 손실이 발생하는 장애물

##### ■ 구릉지(Rolling hill)

여러 개의 낮은 언덕으로 구성되어 회절을 발생시키는 장애점이 형성되지 않는 지형으로 ITU-R P.1546분석에 적합한 지형

### 3 회절 손실 예측

상기에서 분석된 지형형태를 기준으로 지형형태 개수에 따라 장애물에 의한 회절 손실을 다음과 같이 분석한다.

#### 가. Knife-edge에 의한 회절손실 예측

장애물의 폭(Width)을 고려되지 않은 1개 장애물에 의한 회절손실을 예측하는 방법으로 송신점에서 수신점까지의 직접경로와 송신점에서 장애점을 거쳐 수신점에 이르는 경로 거리의 차가 직접파와 회절파의 위상의 1/2파장만큼 차이가 발생해 장애물에 의한 회절손실이 발생한다는 조건이 가정되어 있다.

#### (1) 손실 파라미터 계산

##### ■ 회절손실 파라미터 $v$

장애물의 폭이 고려되지 않는 파라미터로 Knife-edge에 의한 손실계산의 기본 파라미터

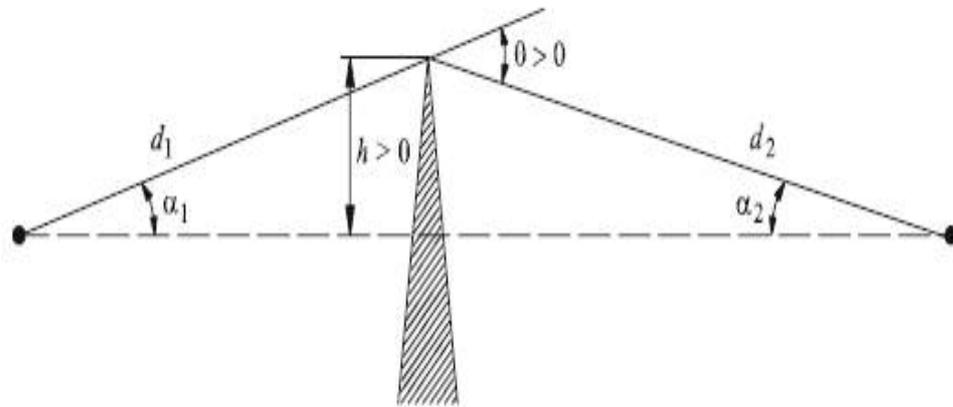
$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

$h$ =장애점 높이,

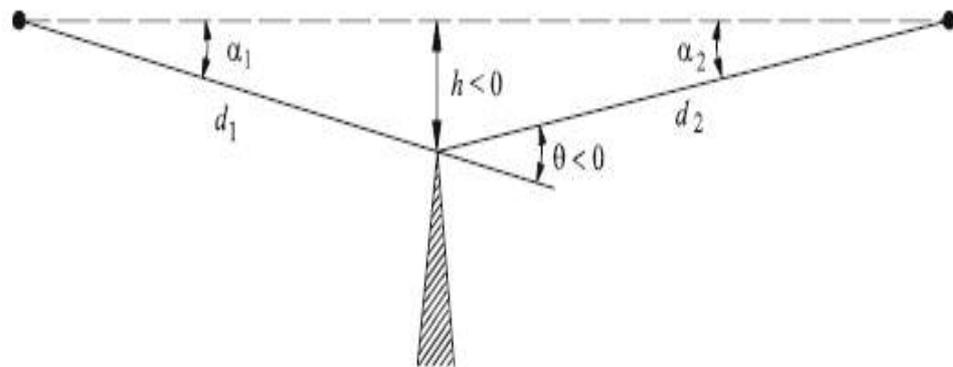
$d_1$ =송신점부터 장애점까지의 거리

$d_2$ =장애점부터 수신점까지의 거리

$\lambda$ =파장



a)



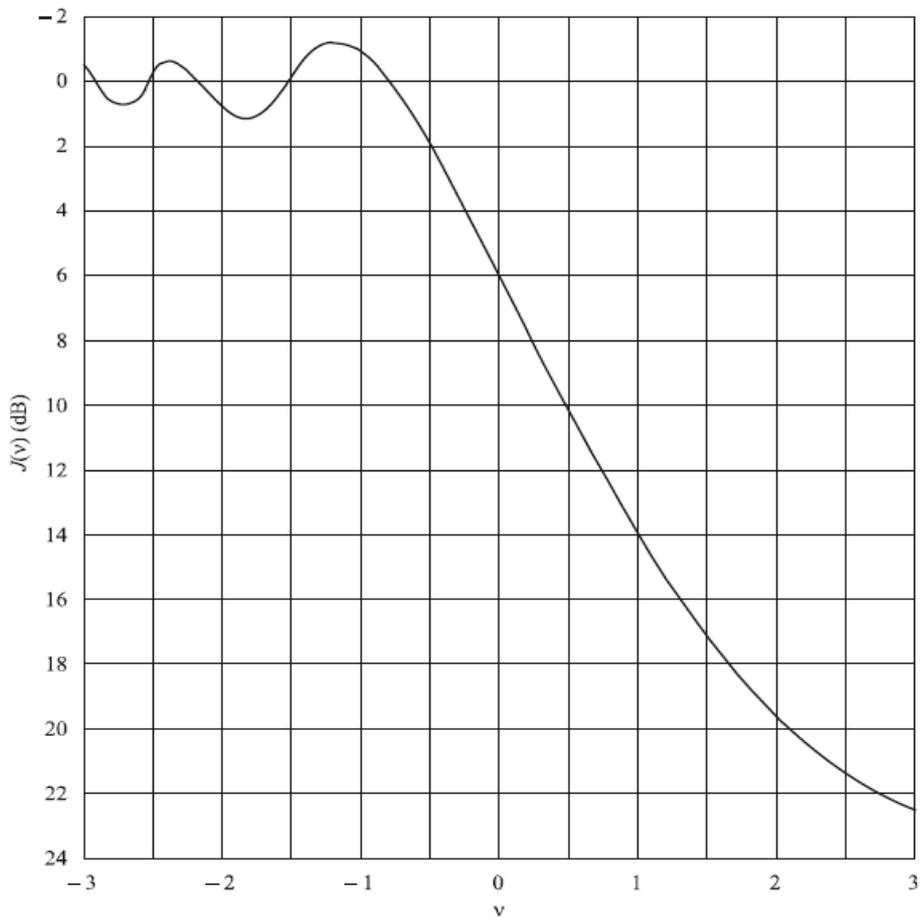
b)

[그림 3] Knife-edge 기하도

(2) Knife-edge 회절손실 계산

Knife-edge 회절 손실은  $v > 0.78$ 인 경우에 유효한 값이 도출되며 송신점과 수신점의 가상선이 장애점과 맞닿는 경우 약 6dB의 손실이 발생된다.

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left( \sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad \text{dB}$$



[그림 4] v에 따른 회절손실

나. 1개의 Rounded-edge에 의한 회절손실 예측

지형분석을 통하여 Rounded-edge조건을 만족하는 장애물로 인한

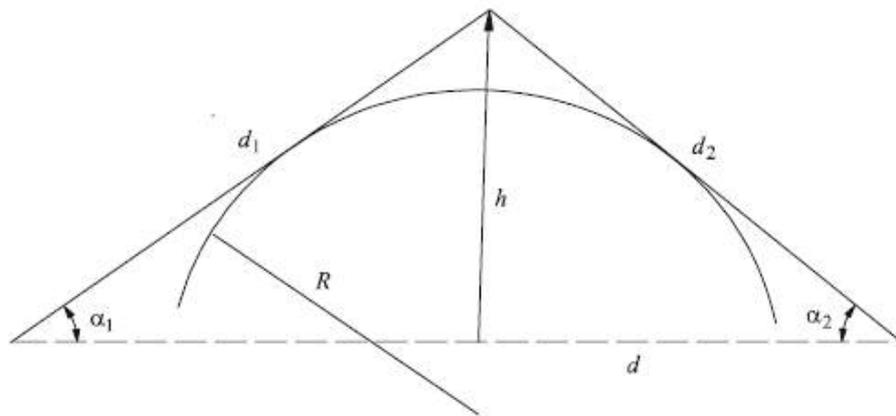
회절손실을 예측하는 방법으로 Single-knife edge를 기반으로 장애물의 곡률을 고려하여 초과손실을 추가하여 회절손실을 예측한다.

(1) 손실 파라미터 계산

■ 회절손실 파라미터  $v$

장애물의 폭이 고려되지 않는 파라미터로 Knife-edge에 의한 손실계산의 기본 파라미터

$$v = 0.0316h \left[ \frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2} \right]^{1/2}$$



[그림 5] Rounded-edge 기하도

(2) Rounded-edge 회절손실 계산

Rounded-edge 회절손실은 Knife-edge 회절손실보다 크며 장애물의 곡률,  $R$ 이 0에 근접하면 Knife-edge 손실예측과 같은 결과를 도출하게 된다.

■ Rounded edge 손실

$$A = J(v) + T(m,n) \quad \text{dB}$$

■ 장애물 곡률에 의한 초과 손실

- $mn \leq 4$

$$T(m,n) = 7.2m^{1/2} - (2 - 12.5n)m + 3.6m^{3/2} - 0.8m^2 \quad \text{dB}$$

- $mn > 4$

$$T(m,n) = -6 - 20 \log(mn) + 7.2m^{1/2} - (2 - 17n)m + 3.6m^{3/2} - 0.8m^2 \quad \text{dB}$$

여기서,

$$m = R \left[ \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right] \left/ \left[ \frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3} \right.$$

$$n = h \left[ \frac{\pi R}{\lambda} \right]^{2/3} \left/ R \right.$$

다. 2개 Knife-edge에 의한 회절손실 예측

장애물 2개에 의한 회절 손실은 Epstein-peter모델 또는 Deygout모델과 같은 방법으로 각 Knife-edge에 의한 회절손실 방법을 연속 적용하여 회절손실을 예측한다.

■ Epstein-peterson 방식

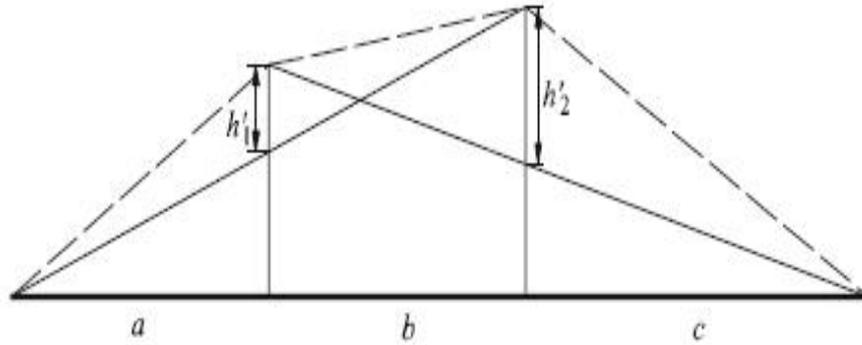
각 두 개의 장애물에 Knife-edge 손실을 계산하고 장애물간의 거리를 고려하여 보정 값을 추가하여 회절손실을 예측한다.

- 2개 Knife-edge로 인한 회절손실

$$L = L_1 + L_2 + L_c$$

- 장애물 거리에 따른 보정 값

$$L_c = 10 \log \left[ \frac{(a+b)(b+c)}{b(a+b+c)} \right]$$



[그림 6] Double-edge 기하도

■ Deygout 방식

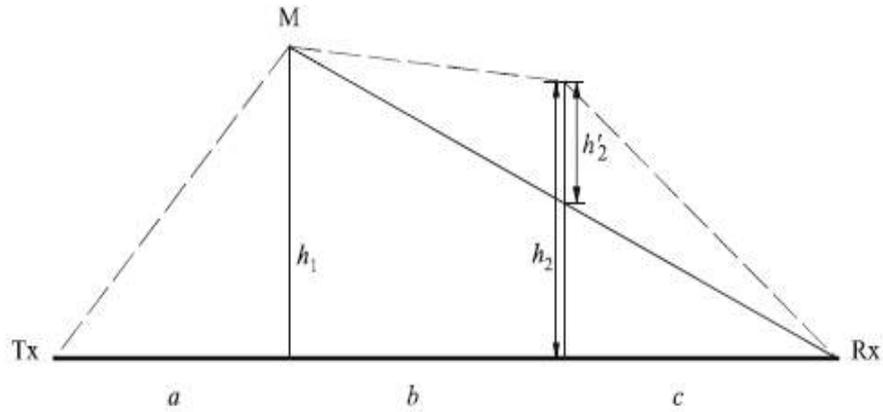
각 두 개의 장애물에 Knife-edge 손실을 계산하고 장애물간의 거리를 고려하여 보정 값을 추가하여 회절손실을 예측하는 방식은 동일하나 장애물 높이  $h$ 와 프레넬 반경의 비, 즉  $h/r$ 의 큰 것을 주 장애물로 간주하여 주 장애물에 의한 회절손실을 계산하고 주 장애물과 수신국 사이의 장애물을 2차 장애물로 간주하여 회절 손실을 계산한다.

- 2개 Knife-edge로 인한 회절손실

$$L = L_1 + L_2 - T_c$$

- 장애물간 거리 및 장애물 높이에 따른 보정 값

$$T_c = \left[ 12 - 20 \log_{10} \left( \frac{2}{1 - \frac{\alpha}{\pi}} \right) \right] \left( \frac{q}{p} \right)^{2p}$$



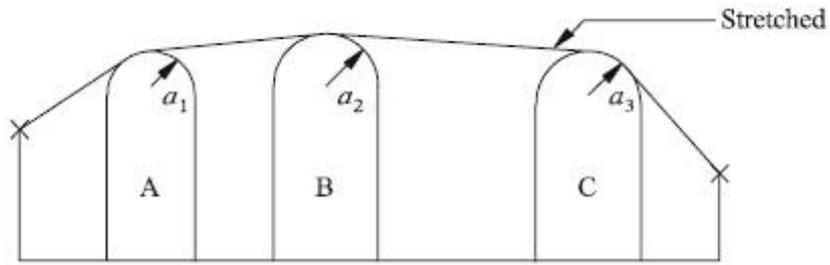
[그림 7] Double-edge 기하도

라. 다중 장애점 의한 회절손실 예측

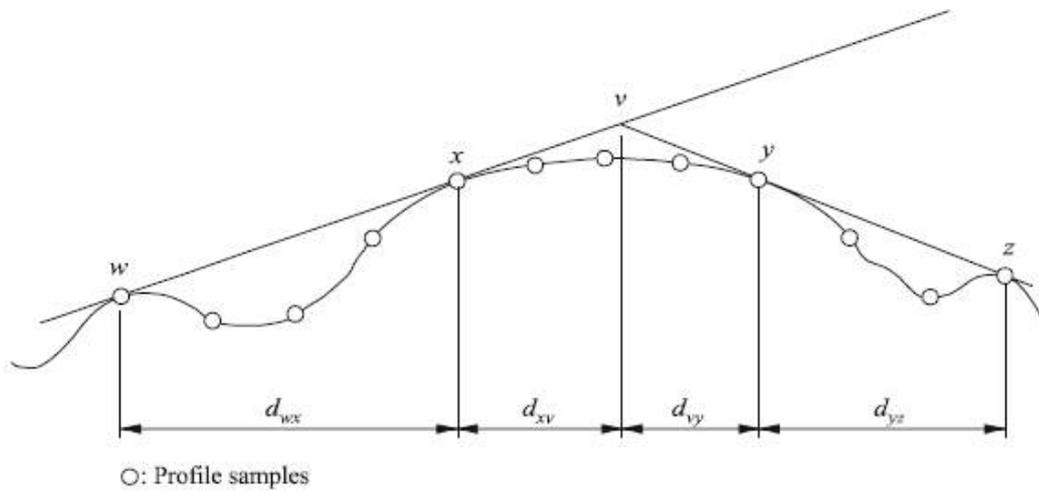
불규칙 지형에서 하나 또는 그 이상의 장애점에 의한 회절영향을 분석하는 방법에는 2가지가 있다. 그 하나는 각 장애물의 곡률을 바탕으로 등가곡률반경을 계산하여 모든 장애물이 동일한 곡률반경을 갖는 각각의 실린더(Cylinder)로 간주하여 분석하는 Cascaded Cylinder 방식이 있으며 또 다른 하나는 Single Knife edge에 경험식에 따라 보정 값을 추가하는 ITU-R P.452방식이다. P.452방식의 경우 지구곡률 반경을 고려하여 실효 지구곡률반경(Effective earth radius)이 적용된다.

(1) Cascaded cylinder 방식

지형 분석을 통하여 완만지형(Smooth Terrain)의 기준에 부합하는 지형에 적용된다. 각 장애물을 각 하나의 Cylinder로 간주하여 각 Cylinder에서 발생하는 회절 손실을 계산하고 연속되는 회절손실로 인하여 발생하는 확산손실(Spreading loss)을 보정하여 다중장애점 손실을 예측한다.



[그림 8] Cascaded cylinder 모델 기하도



[그림 9] Cascaded cylinder 모델의 경로 파라미터

■ Cascaded cylinder 모델의 회절손실 예측

각 Cylinder에서 발생하는 회절손실과 각 Cylinder사이의 2차 경로상의 회절손실을 모두 합산하고 연속적인 Cylinder에서 발생하는 회절손실로 발생하는 확산손실을 추가하여 완곡지형에서 발생하는 회절손실을 예측한다.

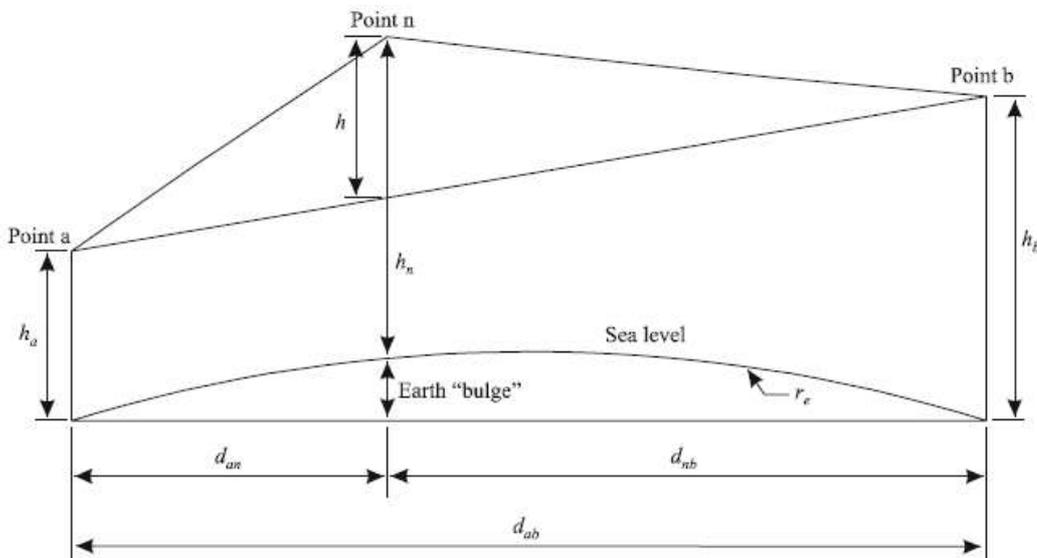
$$L_d = \sum_{i=1}^N L'_i + L''(w x)_1 + \sum_{i=1}^N L''(y z)_i - 20 \log C_N$$

- $L'_i$  : 각 Cylinder에서 발생하는 손실의 합
- $L''(wx)$ :  $w, x$  구간의 회절손실의 합

- $L''(yz)$ :  $y, z$  구간의 회절손실의 합
- $C_N$  : 확산손실 보정 팩터

(2) Cascade Knife-edge 방식

다중 Knife-edge에 의한 회절 손실예측 방법으로 Deygout 모델을 기반으로 회절손실을 예측하며 적용 가능한 장애점은 3개로 제한된다. Deygout 모델을 기반으로 하나 장애점 사이의 회절손실을 고려한 경험적 보정값이 추가로 적용된다.



[그림 10] Cascaded Knife-edge 모델 기하도

■ Cascaded Knife-edge 모델의 회절손실 예측

Deygout 모델을 기반으로 분석하는 모델로 Knife-edge 모델을 이용하여 주 장애점의 회절손실, 송신점과 주 장애점 사이의 장애점 손실, 주 장애점과 수신점 사이의 장애점 손실을 합산하여 회절 손실을 예측한다.

$$L = J(v_p) + T[J(v_t) + J(v_r) + C] \quad \text{for } v_p > -0.78$$

$$L = 0 \quad \text{for } v_p \leq -0.78$$

- $J(V_p)$  : 주 장애점 손실
- $J(V_t)$  : 송신점과 주 장애점 사이의 회절 손실
- $J(V_r)$  : 주 장애점과 수신점 사이의 회절 손실

## 제2절 다중경로에 의한 페이드 손실예측

### 1. 최악월 시간율 기준의 페이딩 마진계산

ITU-R에서 제공되는 dN1데이터와 경로의 중심에서 지형표준편차를 적용하여 지형기후 팩터를 계산하고 이를 바탕으로 기본 시간율 동안 초과되지 않은 페이드 마진을 계산한다.

#### ■ 지형기후 팩터 계산

$$K = 10^{-4.4 - 0.0027dN_1(10 + s_a)^{-0.46}}$$

- dN1 : 고도 65m의  $\Delta N$
- Sa : 전송경로 중심에서의 지형표준편차

#### ■ 전파경로 경사도 계산

$$|\varepsilon_p| = |h_r - h_t| / d$$

- hr : 수신안테나 높이
- ht : 송신안테나 높이
- d : 경로 거리

#### ■ 최악월의 페이딩 마진계산

최악월의 시간율을 고려하여 최악월의 시간율 동안 초과되지 않은 페이딩 마진을 계산한다.

$$P_w = Kd^{3.4}(1 + |\varepsilon_p|)^{-1.03} f^{0.8} \times 10^{-0.00076h_L - A/10}$$

- f: 주파수
- A: 페이딩 마진
- Pw: 최악월 시간율

## 2. 요구 시간을 기준의 페이딩 마진계산

상기의 최악월 시간동안의 deep fading 분포와 Shallow fading과 관련된 경험적인 보간식을 이용하여 요구 시간 동안 초과되지 않은 페이딩 마진을 계산한다.

### ■ 다중경로 발생 팩터 계산

Deep fading의 시간 분포를 기준으로 다중경로 발생 팩터를 계산한다.

$$p_0 = Kd^{3.4}(1 + |\epsilon_p|)^{-1.03} f^{0.8} \times 10^{-0.00076h_L}$$

### ■ 천이(Transition)감쇄 계산

경험적 보간 과정을 통하여 얻어진 Deep fading 분포와 shallow fading 분포로 천이되는 시간에 발생하는 페이딩 감쇄를 계산한다.

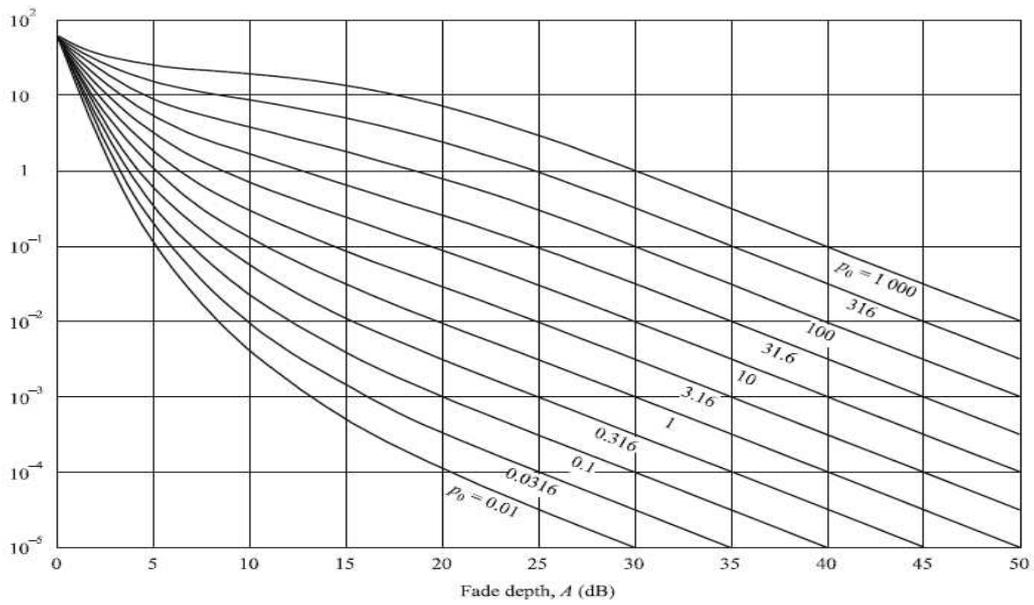
$$A_t = 25 + 1.2 \log p_0$$

### ■ A(요구페이딩 감쇄) < A<sub>t</sub>(천이감쇄)

$$p_t = p_0 \times 10^{-A_t/10}$$

### ■ 년평균 최악월의 페이딩 감쇄계산

$$p_w = 100 \left[ 1 - \exp\left(-10^{-q_a} A/20\right) \right]$$

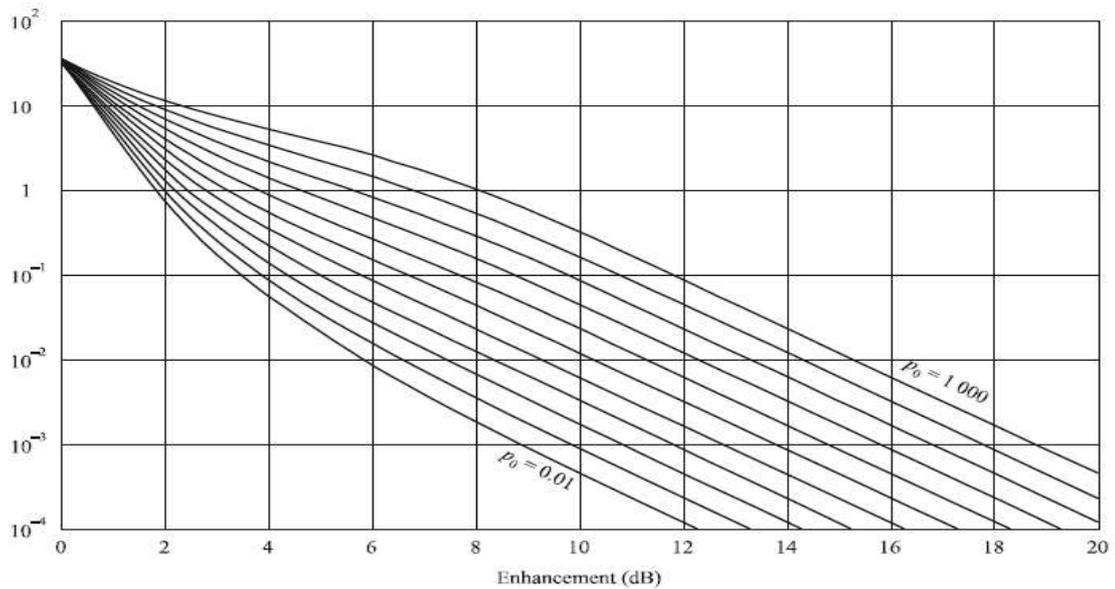


[그림 11] 년평균 최악월 시간을 동안 초과되는 페이딩

### 3. Ducting에 의한 다중경로 페이딩

다중경로 페이딩의 원인이 되는 일반적인 덕팅 조건에서 관찰되는 것으로 일반적으로 10dB이상의 페이딩 손실이 예측되어야 한다.

$$p_w = 100 - 58.21 \left[ 1 - \exp \left( -10^{-q_e E / 20} \right) \right]$$



[그림 12] 년평균 최악월 시간을 동안 초과되는 페이딩

#### 4. 전파굴절율( ITU-R P.453-9)

지상망 가시거리 전파전파 예측(ITU-R P.530)의 분석과정에서 사용되는 파라미터로 다중경로에 의한 감쇄계산 부분에서 기후관련 요소로 K 값이 사용되며 K 값의 구성 요소 중  $dN_1$ 과 관련된 팩터의 알고리즘으로 다음과 같다.

##### 가. 대기 굴절율 인덱스

■ 대기 굴절율 인덱스  $n$  은 다음의 공식으로 계산될 수 있다

$$N=1 + N \times 10^{-6}$$

여기서

$N$ : 대기 굴절율 다음과 같이 표현된다.

$$N = N_{dry} + N_{wet} = \frac{77.6}{T} \left( P + 4810 \frac{e}{T} \right) \quad (\text{N-units})$$

여기서,  $N_{dry}$  는 아래의 수식으로 계산되며

$$N_{dry} = 77.6 \frac{P}{T}$$

또한,  $N_{wet}$ 는 다음과 같이 계산된다

$$N_{wet} = 3.732 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$$

여기서

P :대기압 (hPa)

e :수증기 압(hPa)

T :절대 온도 (K).

이식은 모든 전파 주파수에 사용될 수 있다. 100GHz 까지의 주파수에 대해, 오류는 0.5% 이하이다. 온도, 기압, 수증기압의 전형적인 값은 권고 ITU-R P.835를 참고한다.

수증기압  $e$ 와 상대 습도간의 관계는 다음 식으로 주어진다.

$$e = \frac{Hes}{100} \quad \text{hPa}$$

$$es = a \exp\left(\frac{bt}{t+c}\right) \quad \text{hPa}$$

여기서

H: 상대 습도

t: 섭씨온도

$e_s$ : 대기 t에서의 포화 증기압(hPa)과 계수 a, b, c, 는 다음과 같다.

#### 나. 표면 굴절성과 높이 상관성

##### ■ 고도에 따른 대기 굴절

고도 h에서의 굴절 인덱스 n함수는 다음과 같이 지수함수로 표현된다.

$$n(h) = 1 + N_0 \times 10^{-6} \times \exp(-h/h_0)$$

여기서

$N_0$ : 해수레벨에 대한 대기 굴절 평균값

$h_0$  : 스케일 고도 (km).

$N_0$  와  $h_0$  는 기후에 따라 통계적으로 결정되며 대기 굴절의 고도 프로파일은 통용되는 평균으로 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$N_0 = 315$$

$$h_0 = 7.35 \text{ km}$$

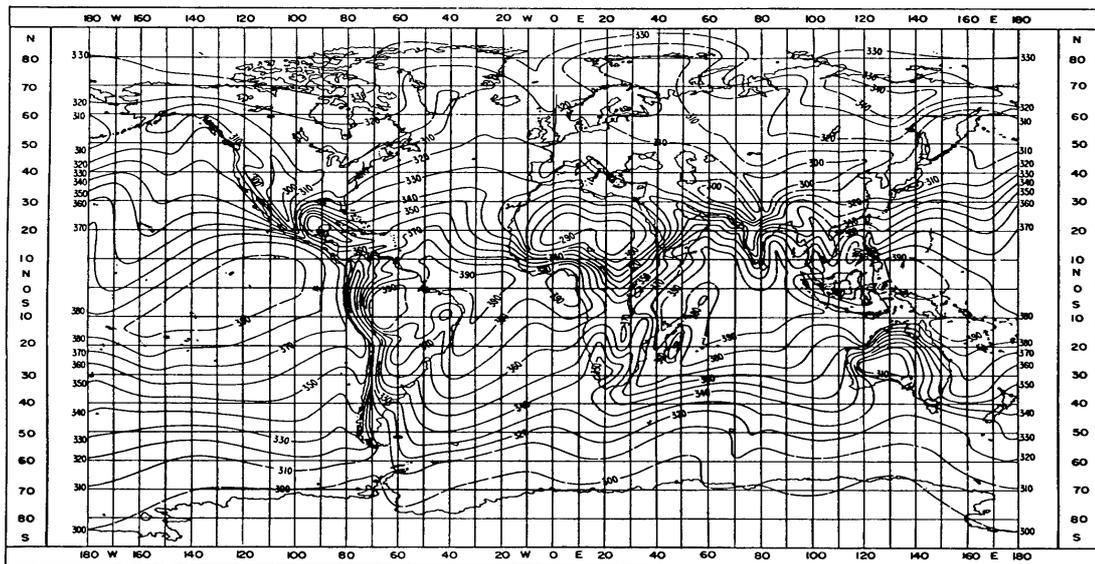
이러한 프로파일은  $N_0$ 를 기준으로 지표에서 아래의 수식으로  $N_s$  을 계산할 수 있다.

$$N_s = N_0 \exp(-h_s/h_0)$$

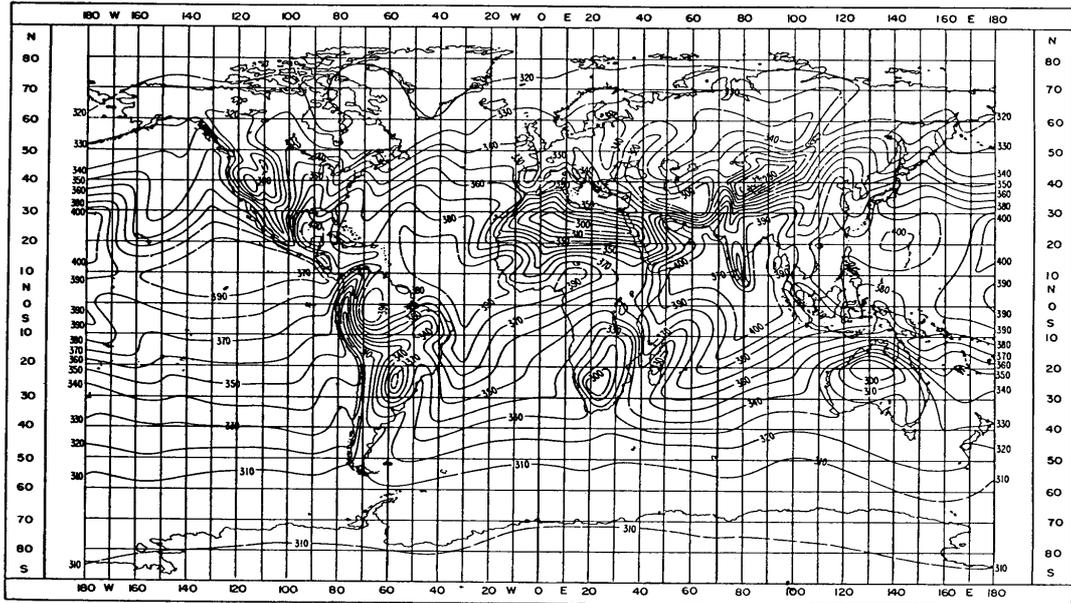
여기서

$h_s$ : 해수 레벨 이상의 지구 표면의 높이 (km).

여기서 중요한 한 것은 [그림 13]과 [그림 14]에 기술된 컨투어는  $h_0=9.5 \text{ km}$ 을 이용하여 유도한 데이터이며 약 1000여개의 측정지점에서 5년(1955~1959년)측정한 데이터로 추출된 것이다.



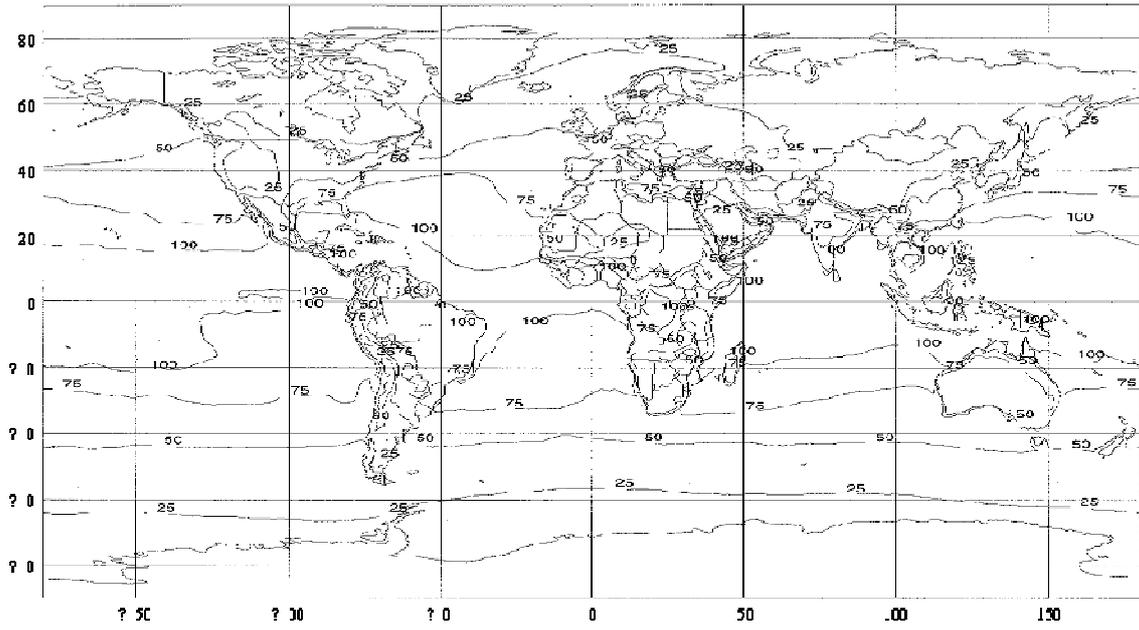
[그림 13] 해수레벨에 대한 대기 굴절 평균값 : February



[그림 14] 해수레벨에 대한 대기 굴절성의 평균값 : August

■ 표면 굴절 데이터

[그림 15]은 평균년에 초과되는 데이터로 Nwet의 중간값(50%)을 나타내며 ITU-R에서는 이와 관련된 데이터 파일 “ESANWET.TXT” 제공하고 있다. Nwet는 ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecast)의 2년 동안(1992-1993) 측정데이터이다.



[그림 15] 연평균에 대한 지표 굴절성

#### 다. 수직 굴절성 경도(기울기)

대기의 가장 낮은 고도에서의 대기 굴절율의 수직 기울기의 통계데이터는 비가시 거리 전파경로에서의 덕팅, 표면 반사, 다중경로 페이딩, 경로 클리어런스, 등과 관련된 전파영향에 관련된 매우 중요한 파라미터이다.

##### ■ 고도 1km의 대기

[그림 16]에서 [그림 19]은 지표면으로부터 1Km 대기층에서의 대기 굴절율의 월 평균 감쇄 곡선을 나타낸 것이다. 대기 굴절율에서의 변화는 다음으로부터 계산된다.

$$N = N_s - N_1$$

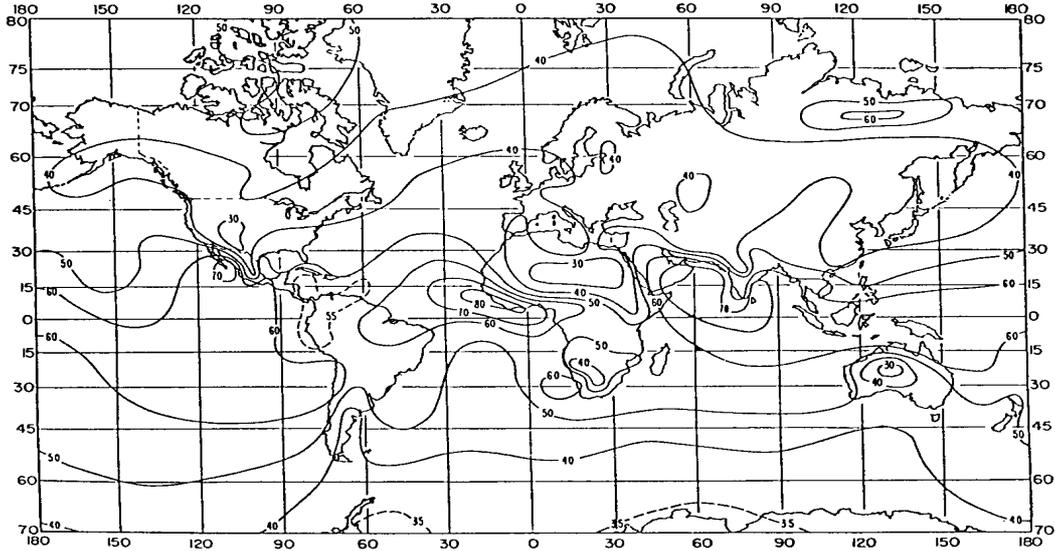
여기서  $N_1$ 은 지구 표면상에서 1Km 고도의 대기 굴절율이다.

[그림 16]에서 [그림 19]은 5년 동안 99개의 라디오존데 사이트에서 측정된 데이터를 기반으로 하고 있다.

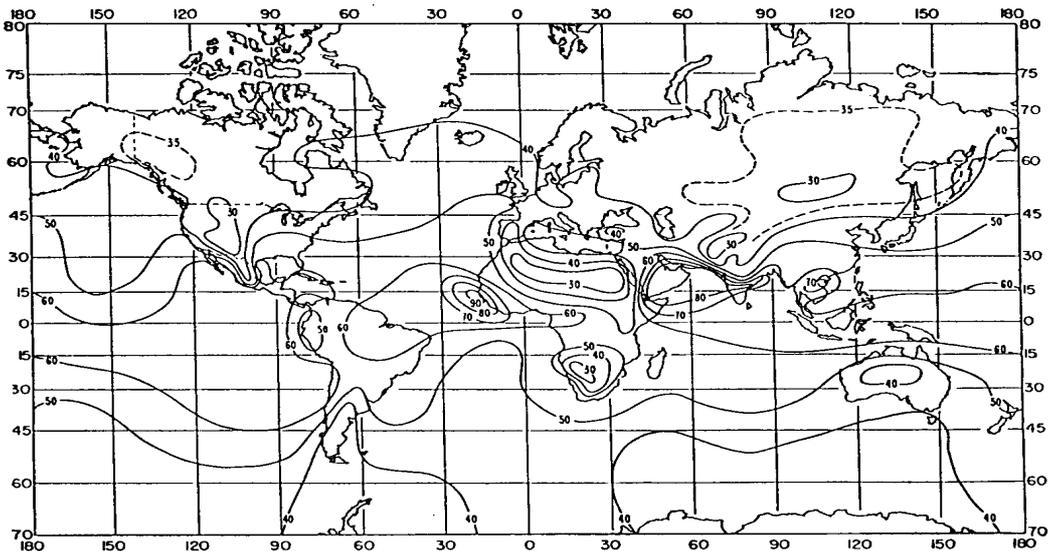
##### ■ 고도 100m 대기

지구 표면으로부터 가장 낮은 고도인 100m에서의 대기 굴절 기울기 데이터의 통계는 덕팅의 발생과 경로 조건 확률을 평가하는데 적용된다. 대기 굴절 기울기는 ECMWF에서 2년 동안(1992-1993) 측정된 데이터를 기반으로 하고 있다.

Monthly mean values of  $\Delta N$ : February

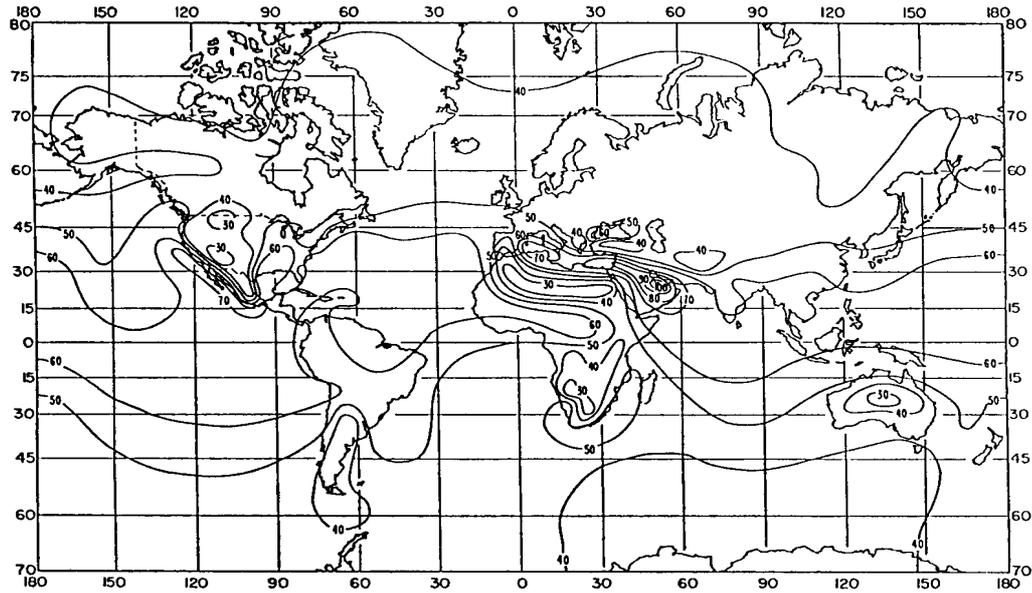


Monthly mean values of  $\Delta N$ : May

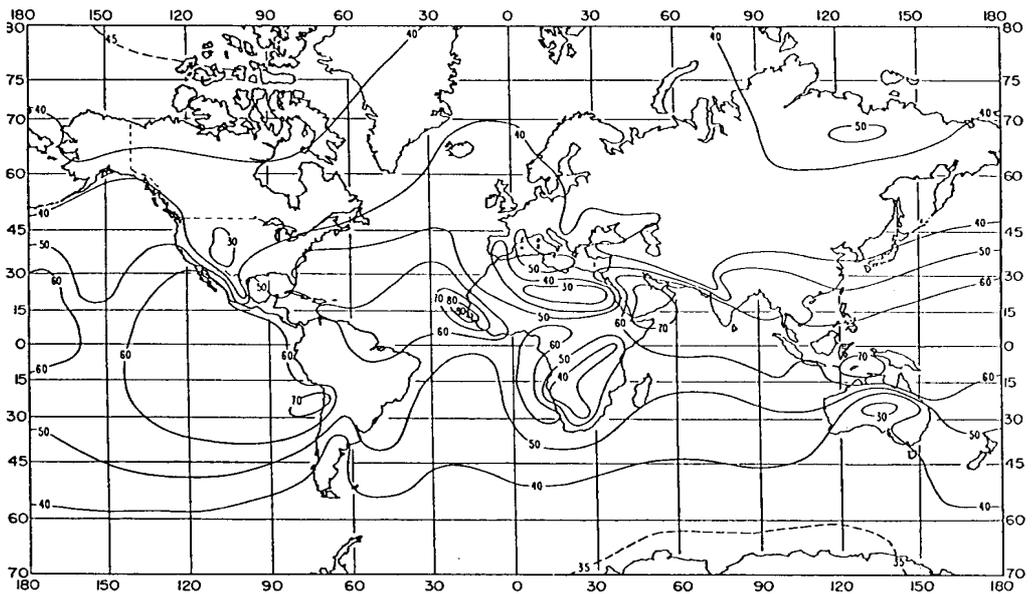


[그림 16]  $\Delta N$ 의 월평균 값 : February, May

Monthly mean values of  $\Delta N$ : August

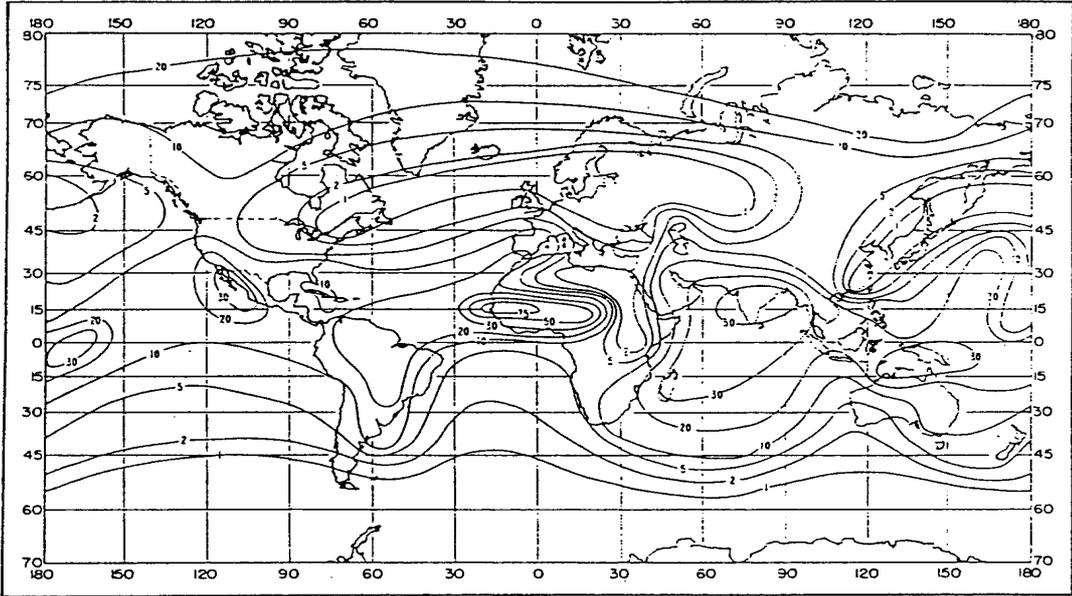


Monthly mean values of  $\Delta N$ : November

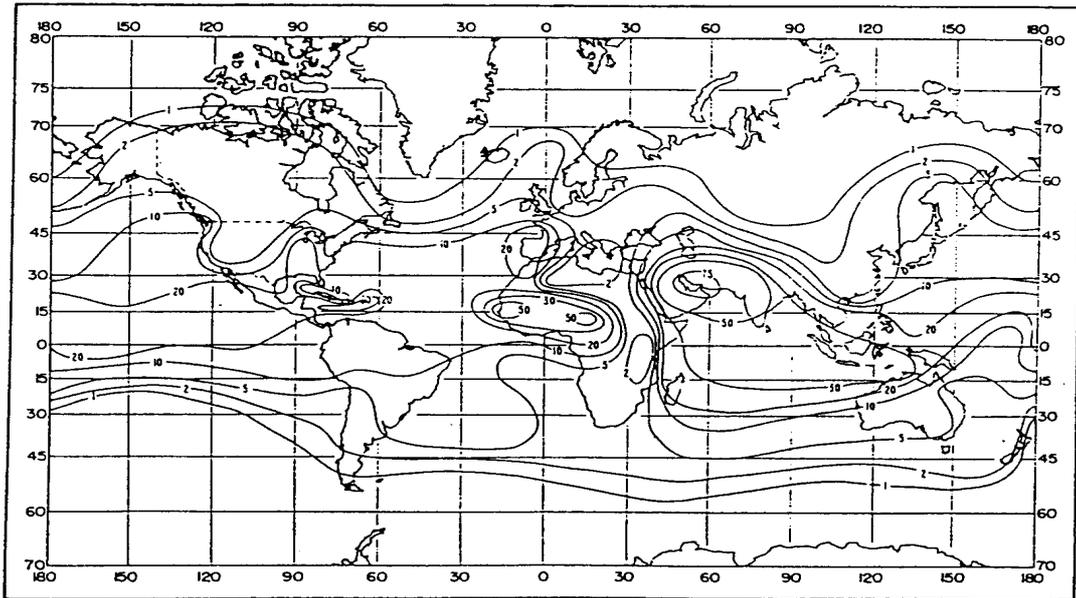


[그림 17]  $\Delta N$ 의 월평균 값(8월, 11월)

Percentage of time gradient  $\leq 2.00$  (N-units/km): February

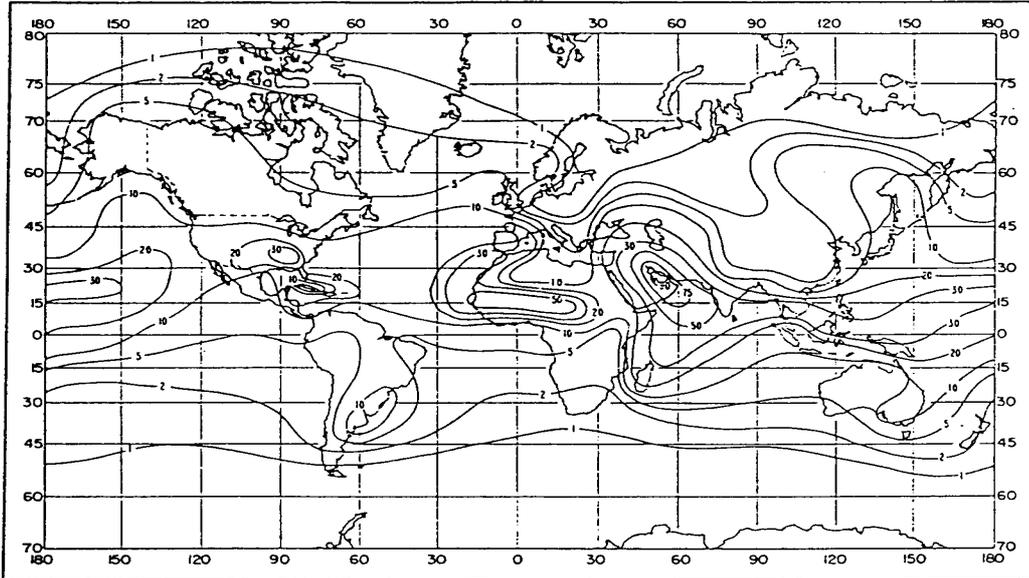


Percentage of time gradient  $\leq 2.00$  (N-units/km): May

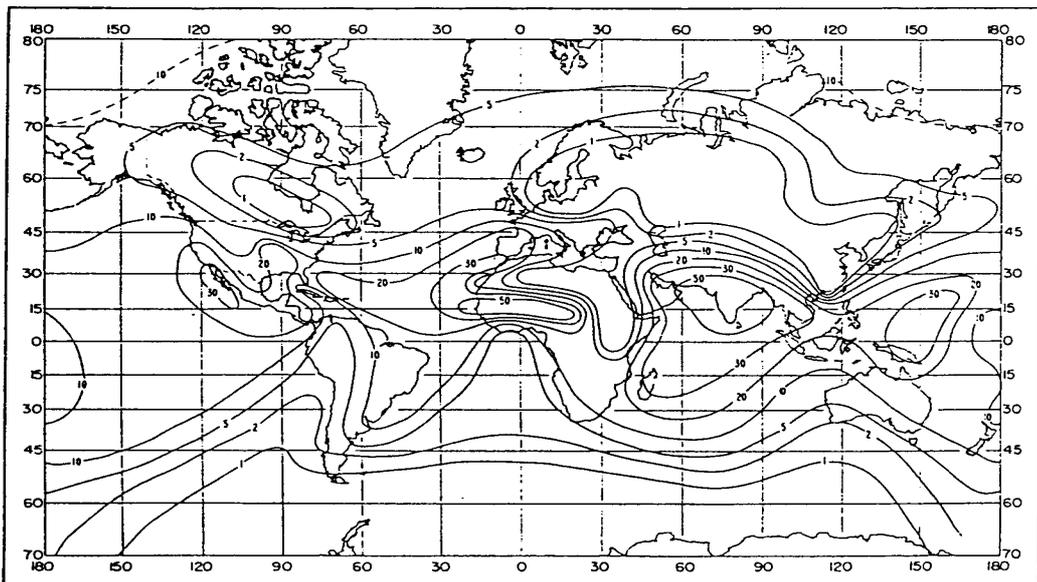


[그림 18]  $\Delta N$  -100이하의 대기 굴절율(2월, 5월)

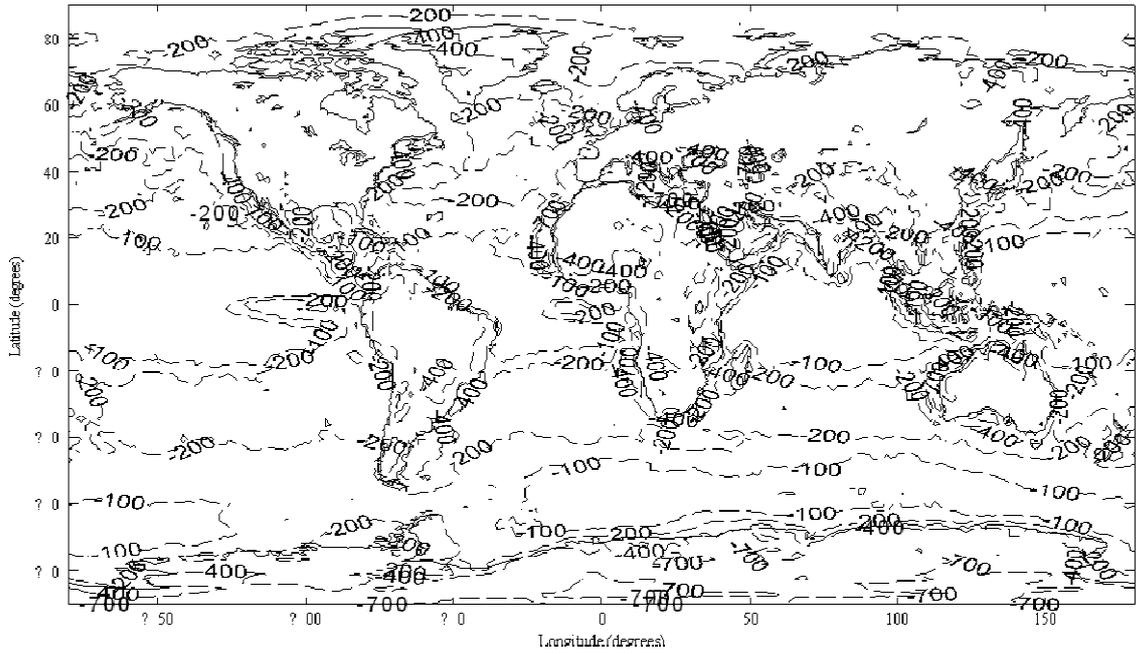
Percentage of time gradient  $\leq 0.00$  (N-units/km): August



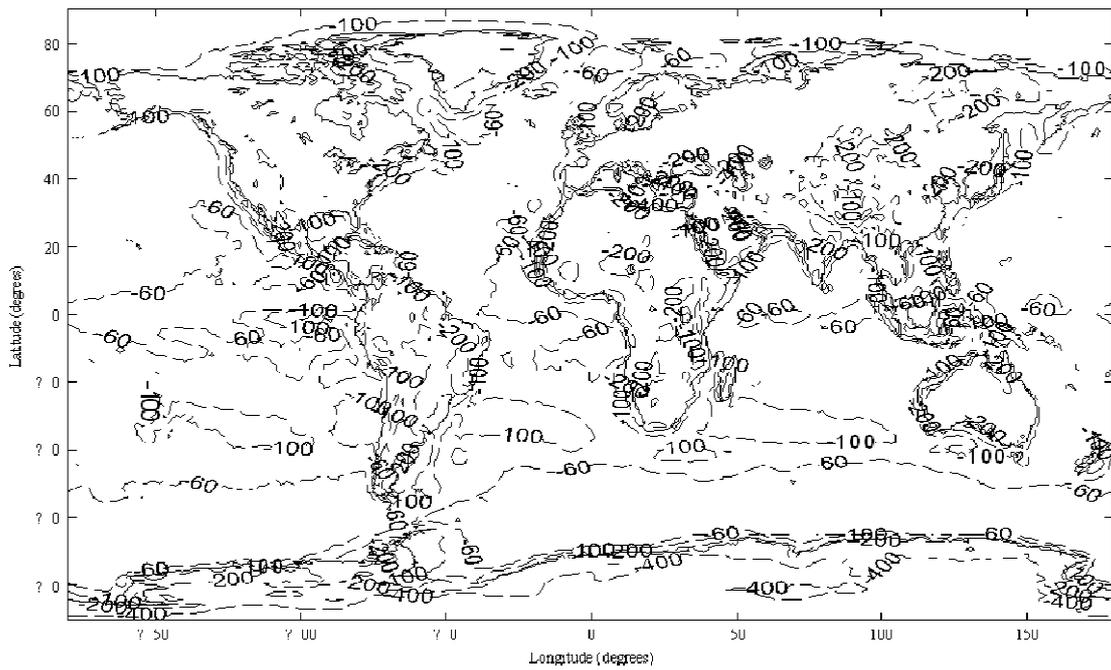
Percentage of time gradient  $\leq 0.00$  (N-units/km): November



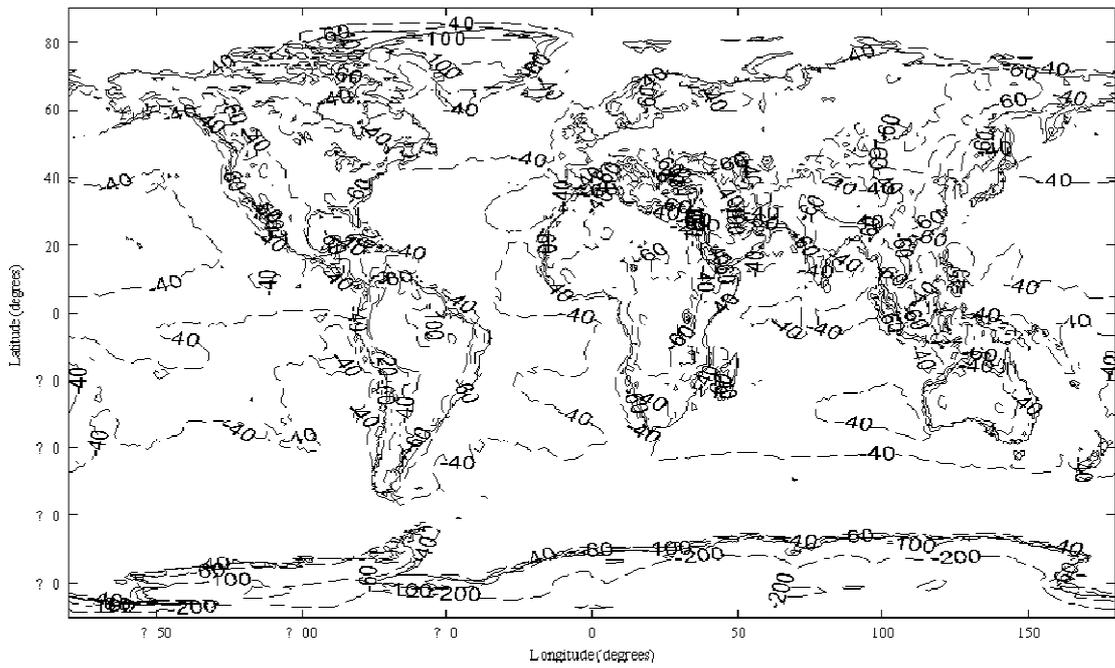
[그림 19]  $\Delta N < -100$ 이하의 대기 굴절율(8월,11월)



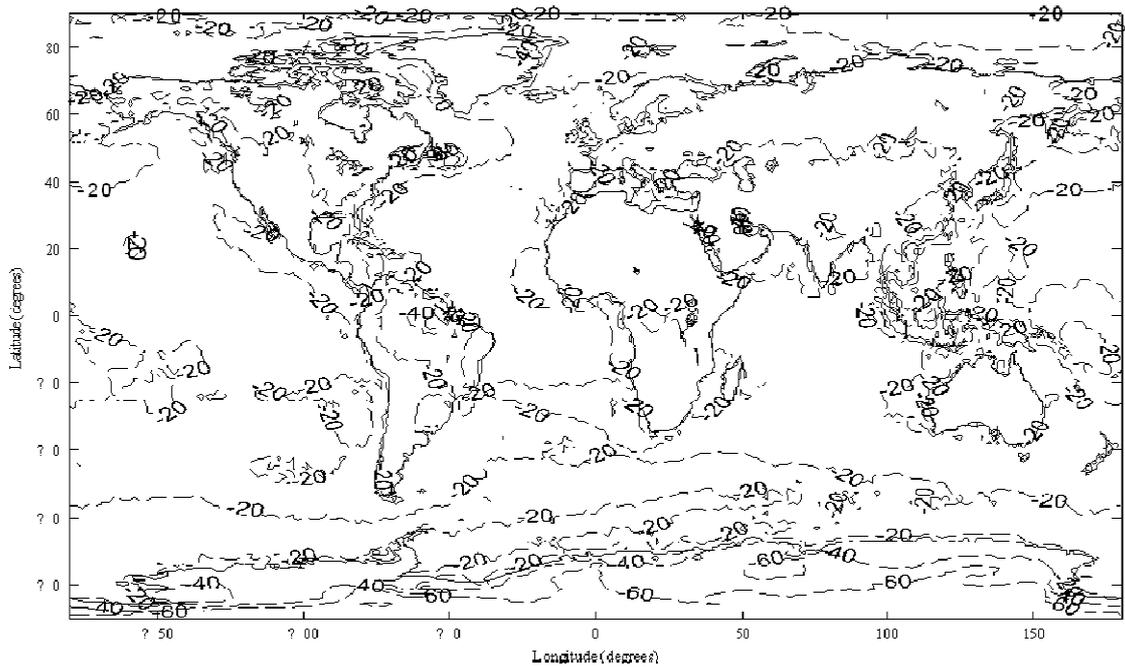
[그림 20] 시간을 1%, 고도 65m의 대기 굴절을



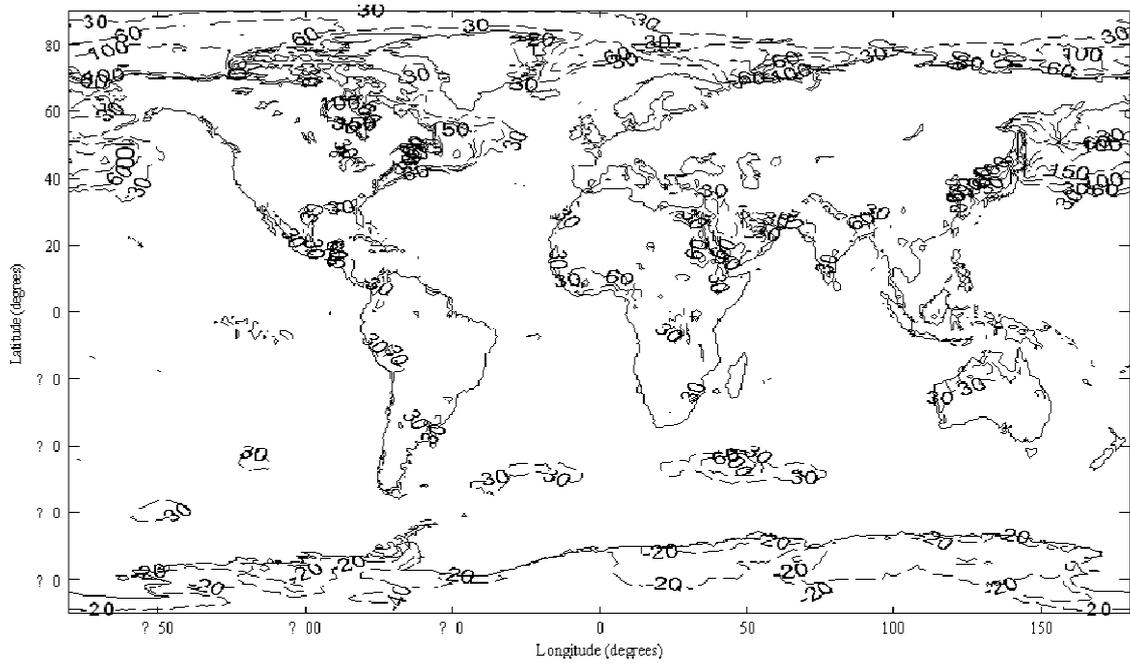
[그림 21] 시간을 10%, 고도 65m의 대기 굴절을



[그림 22] 시간을 50%, 고도 65m의 대기 굴절을



[그림 23] 시간을 90%, 고도 65m의 대기 굴절을



[그림 24] 시간을 99%, 고도 65m의 대기 굴절을

라. 대기 굴절을 기울기의 통계적 분포

대기 굴절 기울기의 중간값과 지표 레벨 대기 굴절을  $N_s$ 로부터 고도 100m의 대기 굴절 기울기의 통계분포를 예측할 수 있다. 대기굴절 기울기 분포의 중간값은 확률  $P_0$ 로부터 예측될 수 있다.

$$Med = \frac{D_n + k_1}{(1/P_0 - 1)^{1/E_0}} - k_1$$

여기서

$$E_0 = \log_{10} ( | D_n | )$$

$$k_1 = 30$$

상기 수식은  $-300 \text{ N-units/km} \leq D_n \leq -40 \text{ N-units/km}$  사이에서 비교적 신뢰성 있는 값이 예측된다. 요구위치에 대한 대기 굴절 기울기  $D_n$  값에 대응하는 확률  $P_0$ 을 알수 없는 경우 [그림 16]에서 [그림 19]의 데이터로부터  $P_0$ 를 유도할 수 있다.  $D_n \leq Med$ 의 경우,  $D_n$ 의 누적확률  $P_1$ 는 다음의 식으로 유도할 수 있다.

$$P_1 = \frac{1}{1 + \left[ \left( \frac{|D_n - Med|}{B} + k_2 \right) k_3 \right]^{E_1}}$$

여기서

$$B = \left| \frac{0.3 Med - N_s + 210}{2} \right|$$

$$E_1 = \log_{10}(F + 1)$$

$$F = \frac{2 \times |D_n - Med|}{\left(\frac{B}{67}\right)^{6.5} + 1}$$

$$k_2 = \frac{1.6B}{120}$$

$$k_3 = \frac{120}{B}$$

Dn>Med의 경우, Dn 의 누적확률 P2 는 다음의 식으로 유도할 수 있다.

$$P_2 = 1 - \frac{1}{1 + \left[ \left( \frac{|D_n - Med|}{B} + k_2 \right) k_4 \right]^{E_1}}$$

(13)

여기서

$$B = \left| \frac{0.3 Med - N_s + 210}{2} \right|$$

$$E_1 = \log_{10}(F + 1)$$

$$F = \frac{2 \times |D_n - Med|}{\left(\frac{B}{67}\right)^{6.5} + 1}$$

$$k_4 = \left[ \frac{100}{B} \right]^{2.4}$$

#### 마. 지표 덕트 및 대기층 덕트

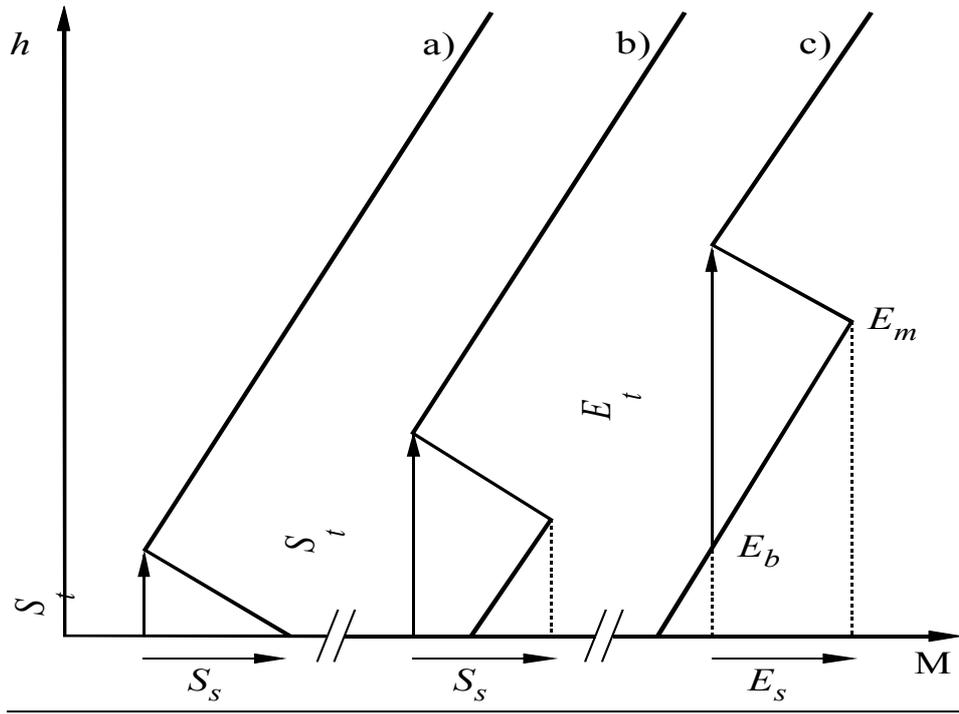
대기층의 굴절에 의해 발생하는 덕트는 지상의 가시거리 통신링크에서의 Deep slow Fading, Signal enhancement, Multi-path fading, 등을 발생시키며 비 가시거리 전파전파 경로의 심각한 간섭을 발생시킬 수 있다. 그러므로 덕트의 발생과 구조를 기술하는데 주안점을 두고자 한다. 이 섹션에는 20년(1977-1996)동안 661개 사이트의 라디오존데로부터 측정된 데이터로부터 유도된 통계분포가 제공되어 있다.

덕트는 다음과 같이 정의된 대기 굴절을 예측 식으로 표현될 수 있다.

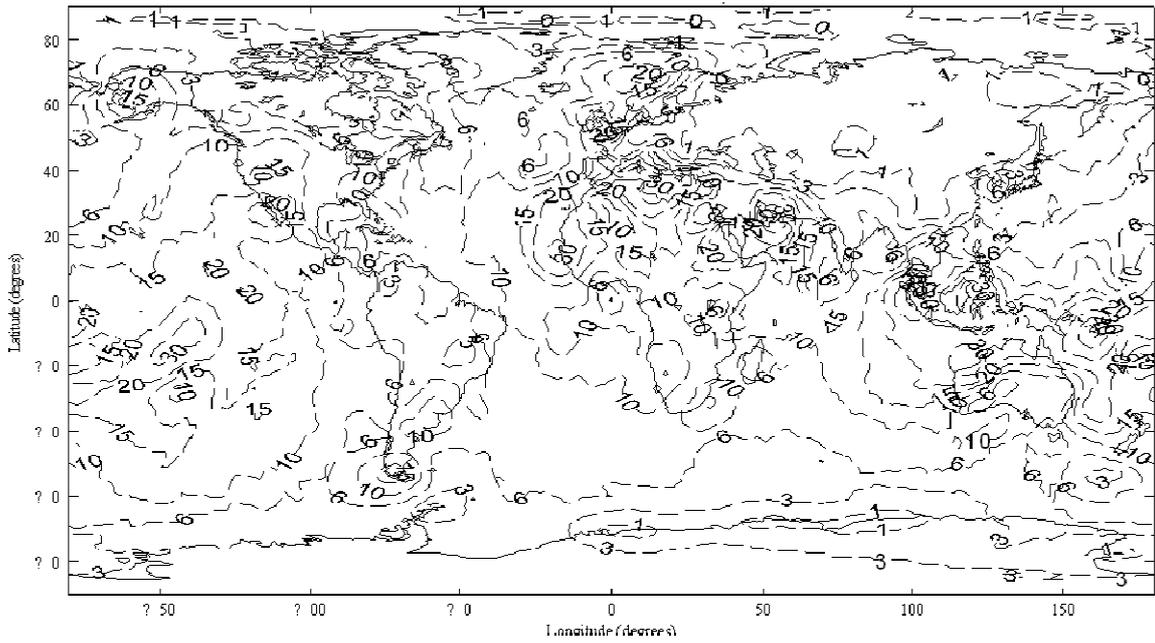
$$M(h) = N(h) + 157h \quad (M\text{-units})$$

여기서  $h$  (km)는 높이이다.

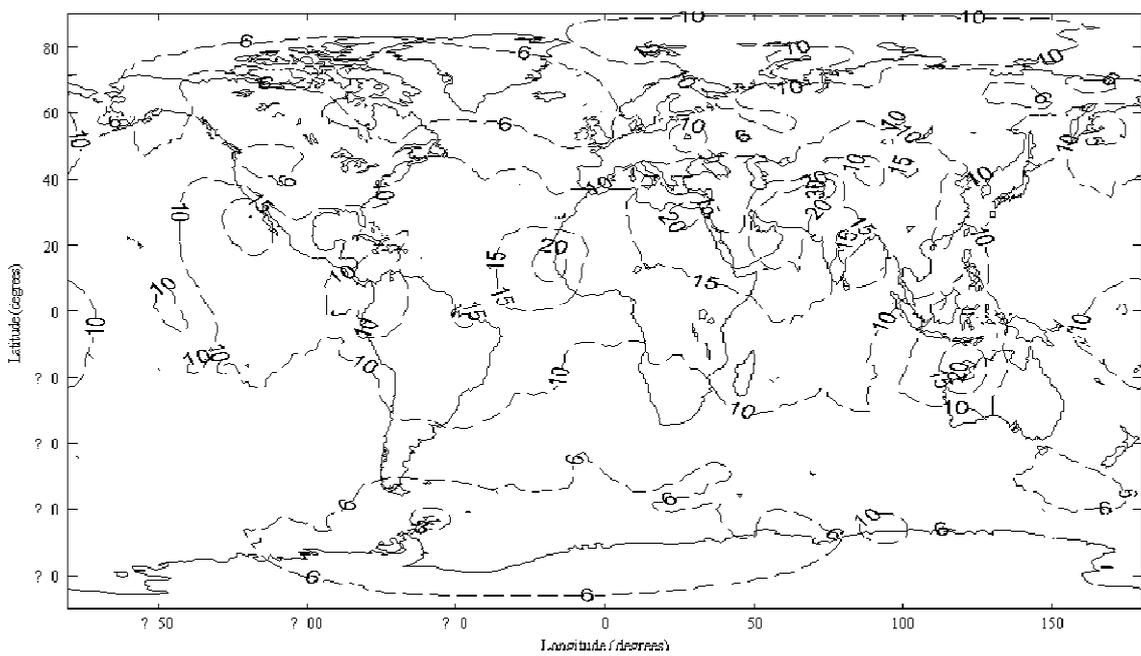
[그림 25]는 지표의 고도함수와 같이 수정된 대기 굴절율과 덕트형태에 대한 설명이다. 덕트는 지표덕트, 지표-대기덕트 그리고 대기덕트 등과 같이 3가지 분류될 수 있다. 지표 덕트는 세기  $S_s$  (M-units) 혹은  $E_s$  (M-units) 그리고 대기층의 두께  $S_t$  (m) 혹은  $E_t$  (m)로 설명될 수 있다.



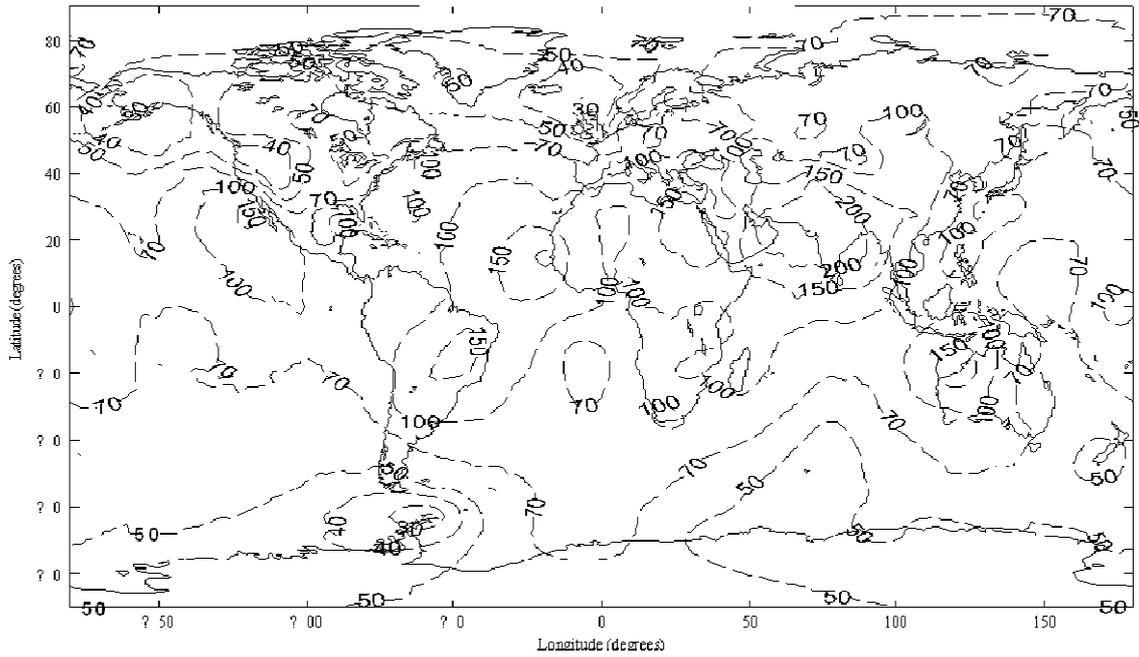
[그림 25] 덕트 파라미터의 정의



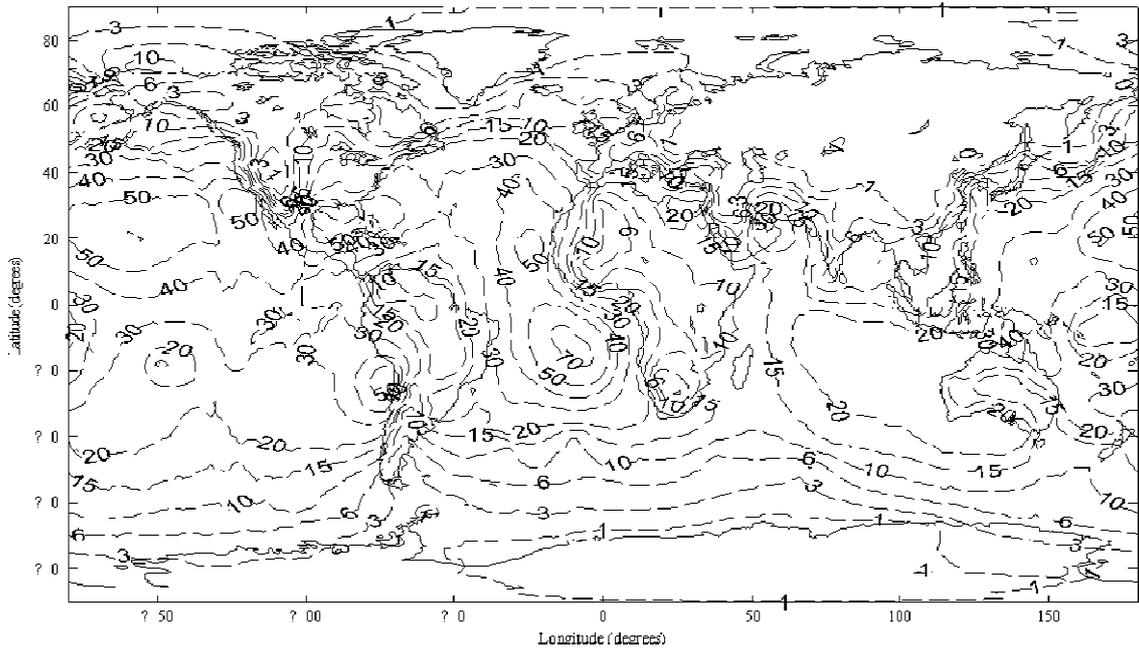
[그림 26] Sp에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률



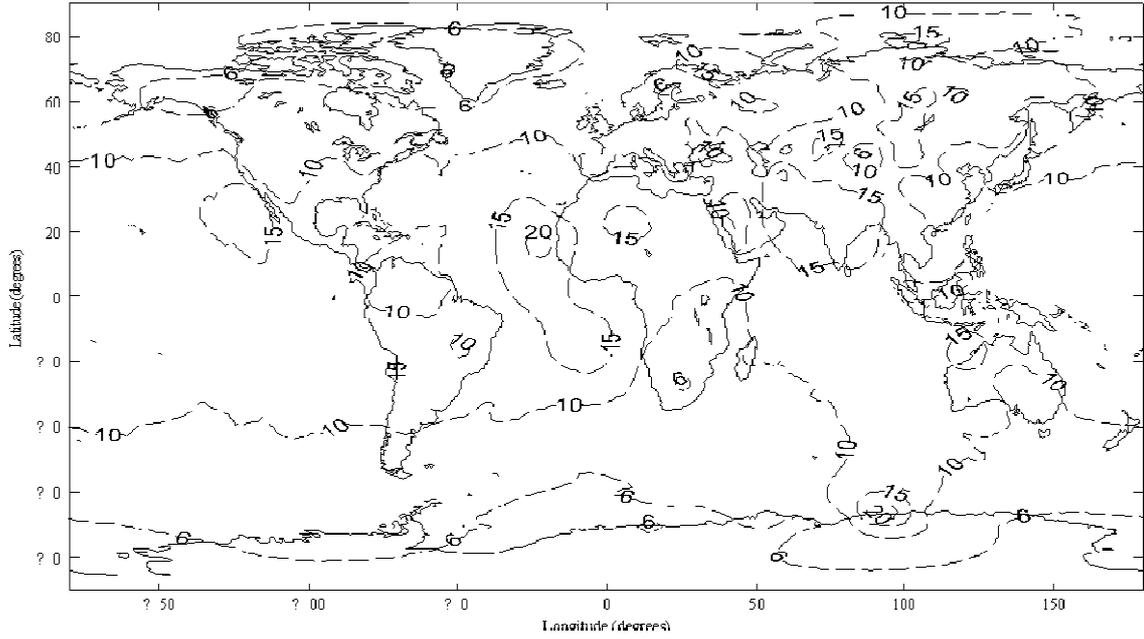
[그림 27] Ss에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률



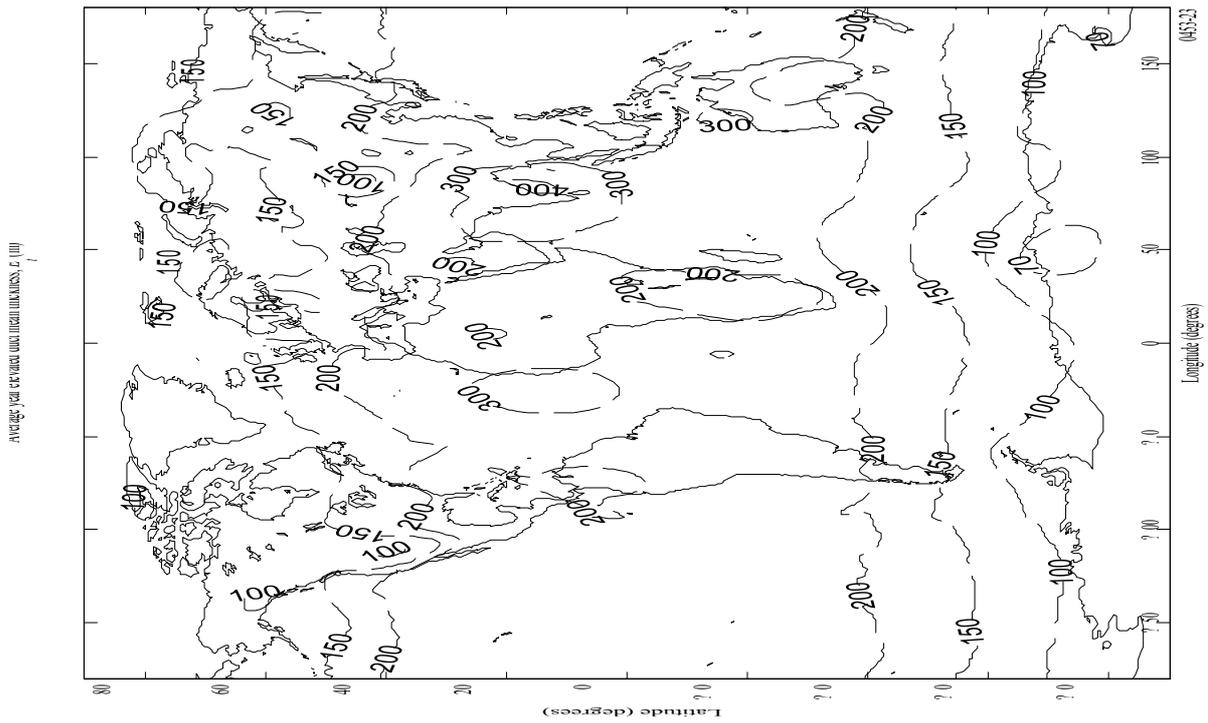
<그림 28> St에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률



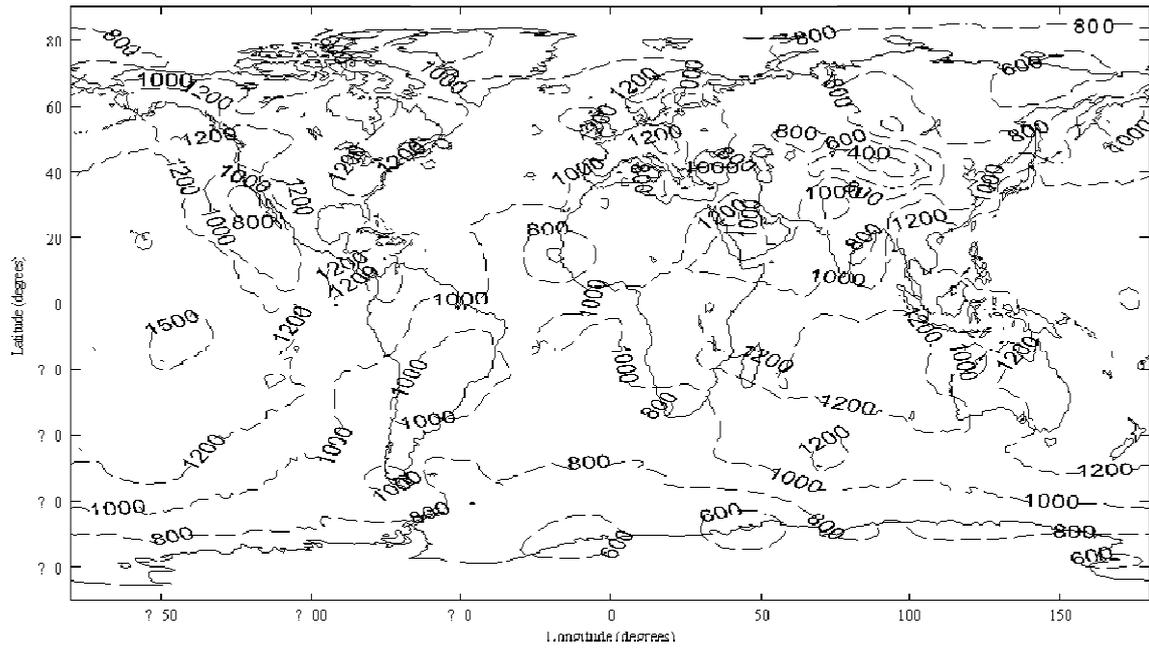
[그림 29] Ep에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률



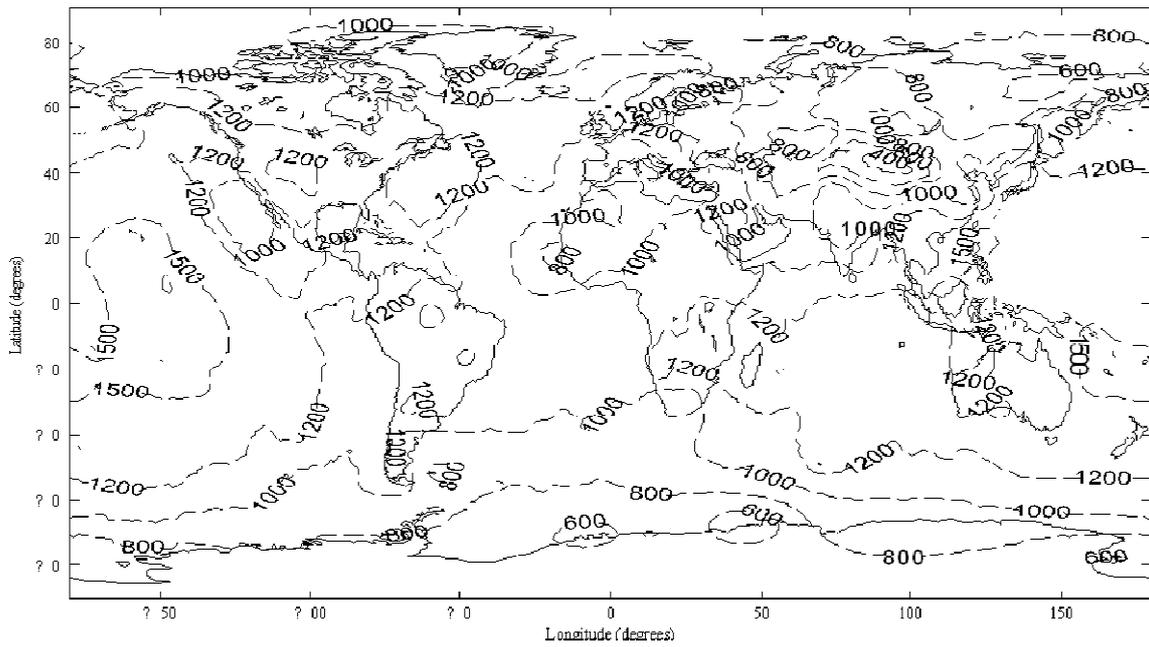
[그림 30] Es에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률



[그림 31] Et에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률



[그림 32] Eb에 따른 연평균 지표덕트 발생 확률

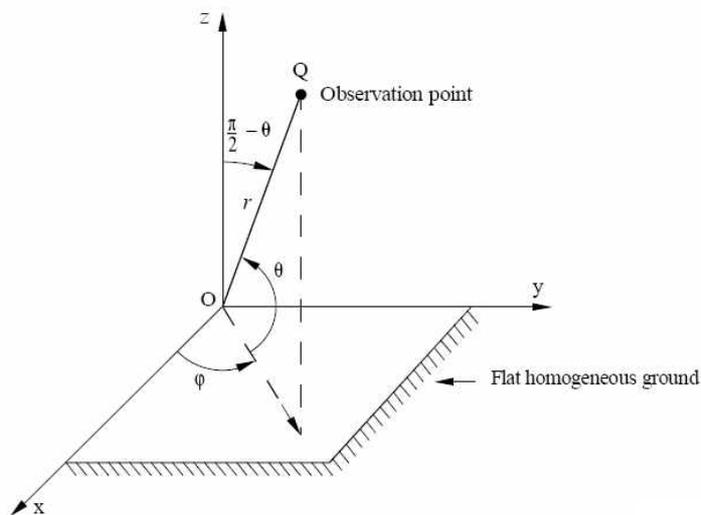


[그림 33] 시간을 Em, 연평균 지표덕트 발생 확률

### 제3절 3D 안테나 패턴 구성방안

#### 1. 안테나 방사 패턴의 기하도

3D 안테나 패턴은 아래 그림과 같이 공간 방사분포 또는 패턴, 각 지점의 사이모모티브 힘(Cymomotive force)으로 표현될 수 있다.



[그림 34] 기준 좌표계

#### 2. 안테나 방사 패턴과 안테나 이득 계산

[그림 34]의 기준 좌표계에서 안테나에 의해 생성되는 전계의 크기를 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$|E(\theta, \phi)| = k |f(\theta, \phi)|$$

여기서,

$|E(\theta, \phi)|$ : 전계의 세기

$|f(\theta, \phi)|$ : 자계의 세기

k : 정규화 팩터

■ 구 좌표계에서의 총 전계 계산

$$|E(\theta, \varphi)| = \left[ |E_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |E_\varphi(\theta, \varphi)|^2 \right]^{1/2}$$

■ 안테나 지향성 계산

- 전계 지향성

$$D = \frac{4\pi |E(\theta, \varphi)_{max}|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |E(\theta, \varphi)|^2 \cos \theta \, d\theta \, d\varphi}$$

- 자계 지향성

$$D = \frac{4\pi |f(\theta, \varphi)_{max}|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |f(\theta, \varphi)|^2 \cos \theta \, d\theta \, d\varphi}$$

■ 안테나 이득 계산

- 등방성 안테나 이득

$$G_i = 10 \log_{10} D$$

- 반과장 다이폴 안테나 이득

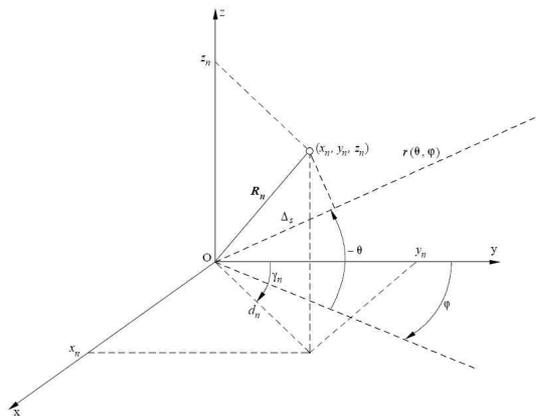
$$G_d = G_i - 2.15$$

### 3. 3D 안테나 방사 패턴 구성 코드 적용

안테나 3D패턴의 분석 모듈은 본 권고안에 제시된 코드를 분석하고 적용하여 신뢰성이 있는 안테나 패턴을 구성하도록 한다.

#### 가. 전역변수

NUMS:	number of radiating sources
TIPO[n]:	type of the $n$ -th radiating source; if all the sources are of the same type TIPO[n]=1 for each $n$
DIAG_AMPH[]:	vector containing the voltage gain, normalized according to the maximum, in the horizontal plane with a $1^\circ$ step
AMPV_FRONT[]:	vector containing the voltage gain, normalized according to the maximum, in front side of the vertical plane with a $1^\circ$ step
AMPV_BACK[]:	vector containing the voltage gain, normalized according to the maximum, in the back side of the vertical plane with a $1^\circ$ step
GVMAX[n]:	maximum voltage gain of the $n$ -th source
LAMBDA_LAV:	wavelength (cm)
FI_O[n],TETA_O[n]:	azimuth and elevation (rad) of the boresight of the $n$ -th radiating source
RIB[n]:	value of the rotation angle (degrees) of the $n$ -th source relative to its boresight direction
POSX[n],POSY[n],POSZ[n]:	Cartesian coordinates of the position of the $n$ -th source (see Fig. 46)
FASE_EL[n]:	phase feed angle of the $n$ -th source (rad)
A[n]:	power feeding coefficient of the $n$ -th source



<그림 35> 3D 안테나 패턴 파라미터

#### 나. DIAG 함수

방사체의 전압이득을 계산한다.

**float DIAG(fi,teta)**

```

double fi ,teta;          /* polar co-ordinates (azimuth,elevation) of the observation
                           direction, expressed in radians */
{
  int n;
  double fase_tot;
  double aux0,reale,imag,aux;
  float amp_rad();
  double fase_rad();
  double fase_pos();
  double faseaux;
  reale=0.0;
  imag=0.0;
  for (n=0; n<NUMS;n++)
    {
      fase_tot = fase_rad (fi,teta,n) + fase_pos (fi,teta,n) + fase_el [n];
      aux0 = sqrt(a[n]) * amp_rad (fi,teta,n);
      reale = reale + aux0 * cos(fase_tot);
      imag = imag + aux0 * sin(fase_tot);
    }
  aux = sqrt((reale*reale)+(imag*imag));
  return(aux);
}

```

**다. AMP 함수**

방사체의 전압이득을 계산한다.

**float AMP\_RAD(fi,teta,n)**

```

double fi ,teta;          /* polar co-ordinates (azimuth, elevation) of the observation
                           direction, expressed in radians */
int n;                    /* radiating source indicator */
{
  double f2,t2;
  int m;
  int az,abb1,abb2;
  float aux;
  double abb;
  float ampv1,ampv2,ampv;
  m = tipo[n];
  RUOTA_RIB(n,fi,teta,&f2.&t2);
  az = (180./PI)*f2;
  abb = (180./PI)*t2;
  abb1 = abb;
  if (abb1 < 0)
    abb1 += 360;
  abb2 = abb1 + 1;
  if (az1 < 0)
    az1 += 360;
}

```

```

    if ((abb1==90)||((abb1==90))
        az1 = 0;
    /* voltage gain of the n-th source in the direction (φ, θ) */
    if ((az > 90) && (az < 270))
    {
        /* interpolation of the value of the amplitude vertical pattern back */
        ampv1 = ampv_back[m][abb1+90];
        ampv2 = ampv_back[m][abb2+90];
        ampv = ampv1 + (ampv2-ampv1)*(abb-abb1);
        aux = gvmax[m]*diag_amph[m][az]*ampv;
    }
    else
    {
        /* interpolation of the value of the amplitude vertical pattern front */
        ampv1 = ampv_front[m][abb1+90];
        ampv2 = ampv_front[m][abb2+90];
        ampv = ampv1 + (ampv2-ampv1)*(abb-abb1);
        aux = gvmax[m]*diag_amph[m][az]*ampv;
    }
    return(aux);
}

```

## 라. FASE\_RAD 함수

위상을 계산한다.

```

double FASE_RAD(fi,teta,n)
double fi ,teta;          /* polar co-ordinates (azimuth, elevation) of the observation
                           direction, expressed in radians */
int n;                   /* radiating source indicator */
{
    double f2,t2;
    int m,az,abb1,abb2;
    double aux,aux1,aux2,aux3,aux4;
    double abb;
    double fasev1,fasev2,fasev;
    m = tipo[n];

    /* calculation of the direction (F2, T2) where to read the n-th source pattern in order to
       consider its boresight fi_o[n], teta_o[n] and its rotation around this direction of
       rib[n] degree */
    RUOTA_RIB(n,fi,teta,&f2,&t2);
    az = (180./PI)*f2;
    abb = (180./PI)*t2;
    abb1 = abb;
    if (abb1 < 0)
        abb1 += 360;
    abb2 = abb1 + 1;
    if (az1 < 0)
        az1 += 360;
    if ((abb1==90)||((abb1==90))
        az1 = 0;
    aux1 = diag_faseh[m][0];
    aux2 = diag_faseh[m][180];
    aux3 = fasev_front[m][90];
    aux4 = fasev_back[m][90];
}

```

```

/* phase pattern of the n-th source in the direction ( $\varphi$ ,  $\theta$ ) */
if ((az1 > 90) && (az1 < 270))
{
/* interpolation of the value of the phase vertical pattern back */
fasev1 = fasev_back[m][abb1+90];
fasev2 = fasev_back[m][abb2+90];
fasev = fasev1 + (fasev2-fasev1)*(abb-abb1);
aux = (diag_faseh[m][az]-aux2) * cos(t2) + (fasev - aux4) + aux2 - aux1 ;
}
else
{
/* interpolation of the value of the phase vertical pattern front */
fasev1 = fasev_front[m][abb1+90];
fasev2 = fasev_front[m][abb2+90];
fasev = fasev1 + (fasev2-fasev1)*(abb-abb1);
aux = (diag_faseh[m][az]-aux2) * cos(t2) + (fasev - aux4) + aux2 - aux1 ;
}
aux *= (PI/180.);
return(aux);
}

```

#### **RUOTA\_RIB (n,fi,teta,fout,tout)**

```

double fi ,teta;          /* polar co-ordinates (azimuth, elevation) of the observation
                           direction, expressed in radians */
int n;                   /* radiating source indicator */
double *fout,*tout;     /* polar co-ordinates (azimuth, elevation) of the direction
                           where to read the n-th source pattern in order to consider its
                           boresight and its rotation */

{
float aux;
double trib,fin,tin,arg;
double faux,taux,tgnum,tgden;
int az1,abb1;
/* boresight direction (fi_o[n],teta_o[n]) of the n-th radiating source */
tgnum= cos(teta)*sin(fi-fi_o[n]);
tgden= ( cos(teta)*cos(teta_o[n])*cos(fi-fi_o[n]) + sin(teta)*sin(teta_o[n]) );
fin = atan2(tgnum,tgden);
tin = asin( -cos(teta)*sin(teta_o[n])*cos(fi-fi_o[n]) + sin(teta)*cos(teta_o[n]) );
/* rib[n] degrees continuous rotation of the n-th source */
if (rib[n] != 0)
{
trib = (double) (PI/180.)*rib[n];
faux = atan2( cos(trib)*cos(tin)*sin(fin) - sin(trib)*sin(tin) , cos(tin)*cos(fin) );
arg = sin(trib)*cos(tin)*sin(fin) + cos(trib)*sin(tin);
if (arg >= 1)
    arg = 1.0;
if (arg <= -1)
    arg = -1.0;
taux = asin(arg );
}
}

```

```

else
{
    faux = fin;
    taux = tin;
}
if (faux>0)
    faux += 0.01;
else
    faux -= 0.01;

if (taux>0)
    taux += 0.01;
else
    taux -= 0.01;
(*fout) = faux;
(*tout) = taux;
}

```

마. FASE\_POS 함수  
위상차를 계산한다.

```

double FASE_POS (fi,teta,n)
double fi ,teta;          /* polar co-ordinates (azimuth, elevation) of the observation
                           direction, expressed in radians */

int n;                    /* radiating source indicator */
{
    double aux;
    double deltas;
    deltas = cos(teta)*sin(fi)*posx[n] + cos(teta)*cos(fi)*posy[n] - sin(teta)*posz[n] ;
    aux = (2*PI/lambda_lav) * deltas;
    return(aux);
}

```

#### 4. 수평, 수직 패턴을 이용한 입체패턴 구성

안테나 제조사에서 제공되는 방사패턴은 일반적으로 최대 지향방향이 포함된 3D 패턴의 수평, 수직 단면이다.  $f_A(\Theta, \varnothing)$ 를 방사체의 Amplitude 패턴이라 하면, 수평, 수직 패턴은 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 수평 Amplitude 패턴

$$f_{AH}(\varnothing) \Big|_{\theta = \theta_{max}}$$

여기서,  $\Theta_{max}$ 는 최대 방사가 발생하는 수직 각도

- 수직 Amplitude 패턴

$$f_{AV}(\theta) \Big|_{\varnothing = \varnothing_{max}}$$

여기서,  $\varnothing_{max}$ 는 최대 방사가 발생하는 수평 각도

$\Theta \neq \Theta_{max}$ 와  $\varnothing \neq \varnothing_{max}$ 에 대한 실제 Amplitude 방사패턴은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

- Amplitude 패턴

$$f_A(\theta, \varnothing) = f_{AH}(\varnothing) \Big|_{\theta = \theta_{max}} \cdot f_{AV}(\theta) \Big|_{\varnothing = \varnothing_{max}}$$

- Phase 패턴

$$f_P(\theta, \varnothing) = f_{PH}(\varnothing) \Big|_{\theta = \theta_{max}} + f_{PV}(\theta) \Big|_{\varnothing = \varnothing_{max}}$$

이 방식에는 수평패턴과 수직패턴이 유사한 형태를 형성하다는 가정이 기본이 된다.

## 제3장 결론

SMIS에는 Single Knife-edge, Epstein-peterson, Deygout, Japan NTT, French school, Picnard과 같은 회절모델이 적용되어 있다. 각 회절모델에는 기본가정과 조건이 적용되어 있으며 이를 기반으로 회절손실이 예측된다.

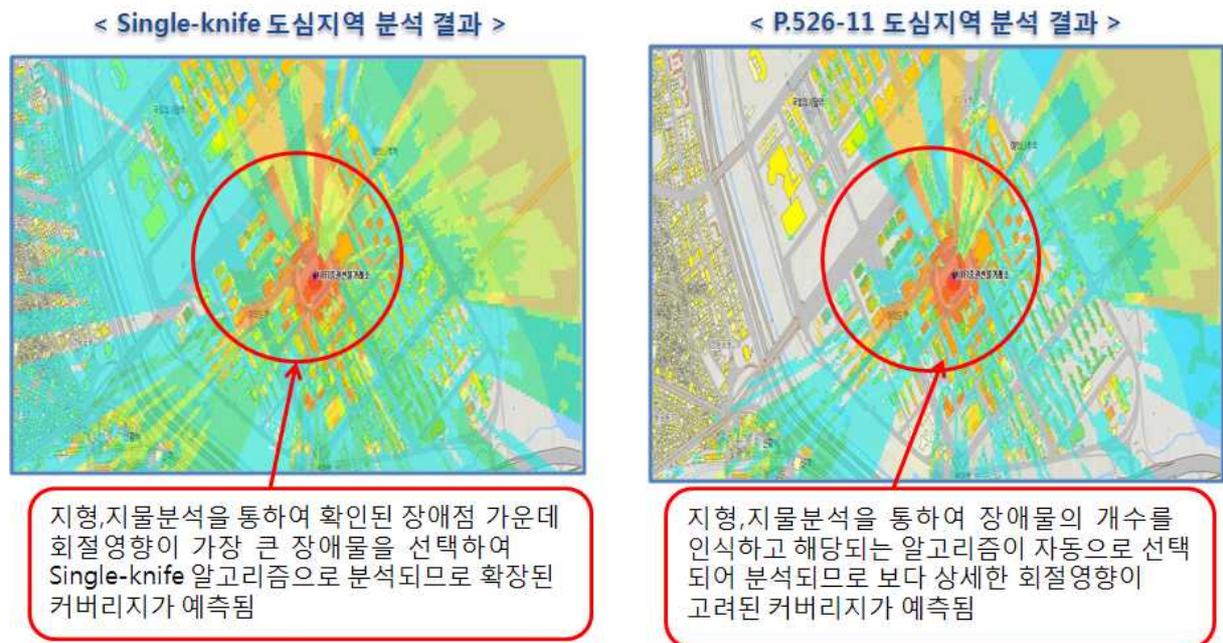
그러나 지형의 형태 또는 장애점의 개수에 따라 기본 가정과 조건이 부합되지 않은 경우, 손실이 과하게 예측되거나 적게 예측되는 경우가 발생된다. 이러한 한계성을 극복할 수 있도록 본 연구과제를 통하여 ITU-R P.526-11에 정의된 절차를 분석하여 SMIS에 적용함으로써 회절분석의 신뢰성을 향상을 가져올 수 있었다. 그러나 회절 알고리즘은 지형의 형태, 장애물의 개수뿐만 아니라 장애물간의 간격, 장애점 구간의 형성 방법 등도 회절영향 분석에 중요한 요소이므로 이와 관련된 연구가 이루어져야 함은 물론 전파측정을 통한 예측 값과 실측값과 비교, 분석을 통하여 알고리즘 보정과정도 함께 수행되어야 할 것으로 사료된다.

고정국 링크 분석에 있어 페이딩의 영향은 고려해야할 주요한 파라미터 가운데 하나이다. 특히, 단시간 동안 발생하는 페이딩으로 인하여 고정망 링크의 중단(Outtage)이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 최악의 대기굴절율 또는 연평균 대기 굴절율을 고려하여 최저 수신레벨, 즉 한계레벨을 적정한 레벨로 설정하여야 한다.

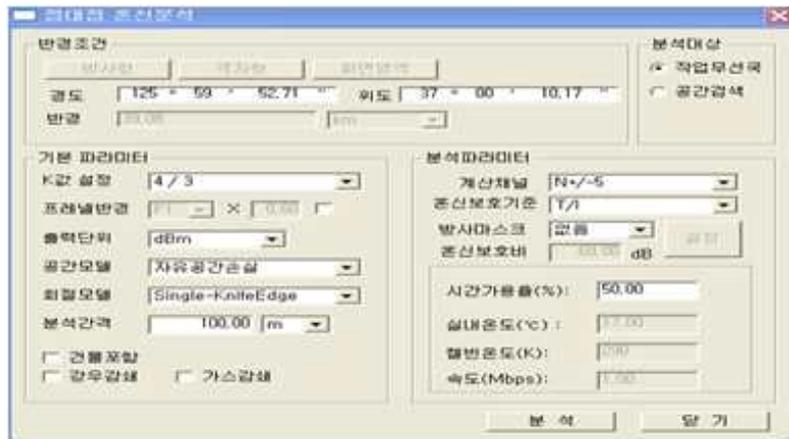
전파분석은 분석환경에 따라 다양한 파라미터를 고려해야 한다. 이 가운데 하나가 대기 굴절율 데이터이다. 이러한 데이터의 적용에 어려움이 있었으나 ITU-R P.530의 정의에 따라 절차를 적용하여 분석의 신뢰성을 확보하였다. 그러나 페이딩으로 인한 감쇄와 요구파라미터는 관련데이터의 측정 또는 대기굴절율과 관련한 기상데이터를 추가하여 신뢰도를 높이는 방안이 검토되어야 할 것으로 사료된다.

안테나 방사 패턴은 전파분석에 있어 중요한 팩터 가운데 하나이나 현재

관리되고 있는 무선국 정보에는 안테나 패턴정보가 포함되어 있지 않다. 이러한 이유로 방송국을 포함한 일반 무선국에 안테나 틸트를 적용하여 커버리지의 변화량을 확인할 수 없으며 송신 안테나에서 지면으로 향하는 각에 따른 실제 안테나 이득이 적용되어 있지 않아 신호세기가 높게 적용되고 있다. 또한 고정망 링크의 경우 간섭분석은 물론 간섭링크 수신점과 피간섭링크의 수신점이 근접할 경우, 각 해당하는 각도의 이득이 정상적으로 반영되지 않고 있다. 이러한 문제를 해결하고 분석의 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 제조한 안테나 패턴을 기본으로 적용한 보간을 통하여 3D 안테나 패턴을 구성함으로써 분석결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있었다. 그러나 이 방식은 초기적인 방법에 불과하므로 보다 신뢰도 있는 보간방법과 안테나 모델링에 필요한 심도있는 연구과제가 수행되어야 할 것이다.



[그림 36] SMIS 적용 사례-회절알고리즘 현행화



번호	간섭국	피간섭국	혼신	수신감도	간섭전계	계산값(T/I)	FadeMargin	분석상세정보	PROFILE	구간거리	공간손실	회
1	KBS울릉DM...	KT감출계->...	혼신	-70.00	-46.01d...	-24.91	0.92	24.91dB 초과		91.63Km	150.05	15

< 시간을 50% 기준의 페이딩 손실 예측결과 >

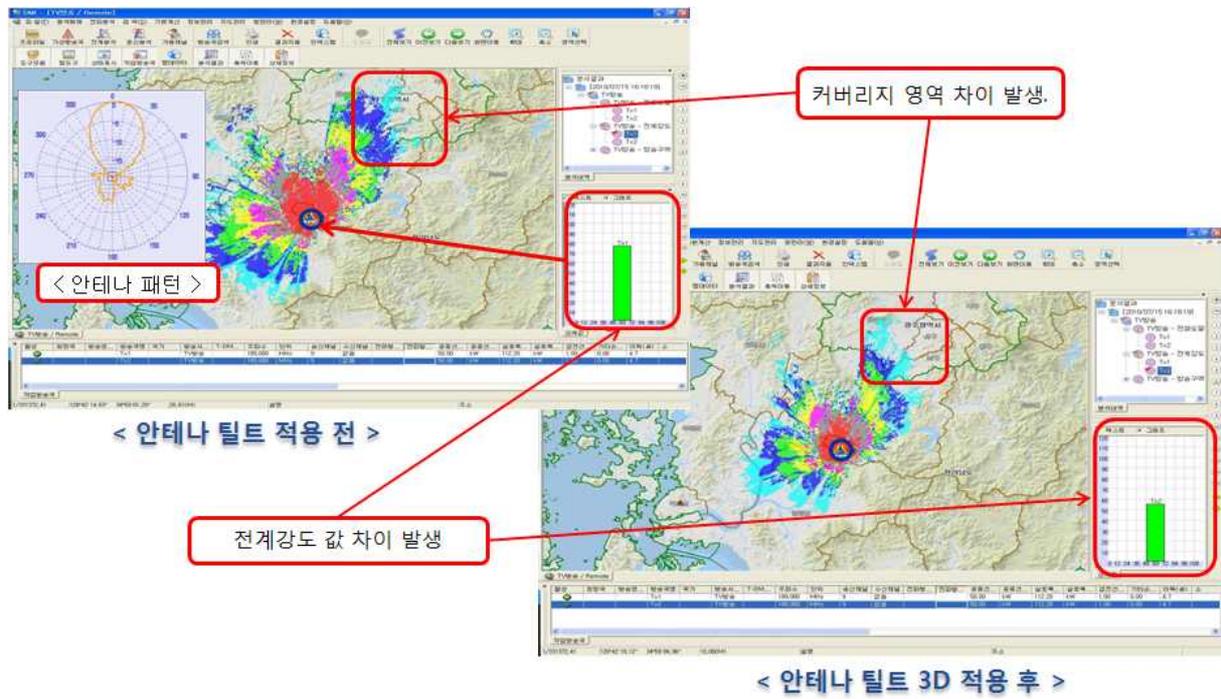
번호	간섭국	피간섭국	혼신	수신감도	간섭전계	계산값(T/I)	FadeMargin	분석상세정보	PROFILE	구간거리	공간손실	회
1	KBS울릉DM...	KT감출계->...	혼신	-70.00	-46.01d...	-30.71	6.71	30.71dB 초과		91.63Km	150.05	15

< 시간을 90% 기준의 페이딩 손실 예측결과 >

번호	간섭국	피간섭국	혼신	수신감도	간섭전계	계산값(T/I)	FadeMargin	분석상세정보	PROFILE	구간거리	공간손실	회
1	KBS울릉DM...	KT감출계->...	혼신	-70.00	-46.01d...	-67.02	43.02	67.02dB 초과		91.63Km	150.05	15

< 시간을 99.99% 기준의 페이딩 손실 예측결과 >

[그림 37] SMIS 적용 사례-다중경로에 의한 페이드 손실예측



[그림 38] SMIS 적용 사례-3D 안테나 패턴

## [참고문헌]

- [1] ITU-R P.526-11
- [2] ITU-R P.530-13
- [3] ITU-R BS.1195
- [4] ITU-R P.453-9
- [5] ITU-R P.1546
- [6] ITU-R P.452
- [7] ITU-R P.835

[주의 문구 삽입]

---

스펙트럼관리 과학화를 위한 전파분석연구

---



140-848 서울시 용산구 원효로 군자감길 46

발행일 : 2010. 12.

발행인 : 임 차 식

발행처 : 방송통신위원회 전파연구소

전화 : 02) 710-6664

인쇄 : 홍길동인쇄소

Tel. 02) 123-1234

---

ISBN : 978-89-93720-00-6-92560 < 비 매 품 >

주 의

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

※ 뒷표지 안쪽면 중간에 인쇄