

M/W 회선설계 시뮬레이터 개발

Development of a Fixed Radio-Relay Link Design Simulator

김혁제 · 조삼모 · 이성수

Hyuk-Je Kim · Sam-Mo Cho · Sung-Soo Lee

요 약

대용량, 장거리 고정 무선국의 설치장소 선정 및 주파수 선택을 사전에 분석하고 시스템 성능평가를 수행하는 시뮬레이터를 개발하였다. 구현된 시뮬레이터는 지형데이터 베이스, 국내 강우강도 분포 데이터베이스, 한국통신에서 운용 중인 고정 무선국 데이터베이스를 포함하고 있으며 각 데이터베이스와 연계하여 지형프로파일 작성, 페이딩 분석, 가용율 분석, 강우감쇠 및 전파간섭 계산 등을 수행한다. 본 시뮬레이터에서 요구되는 계산 알고리즘은 ITU 권고사항에 의거 구현하였으며, 특히 사용자가 일련의 설계과정에 따라 편리하게 시뮬레이션을 할 수 있도록 화면을 구성 제공하는 특징이 있다. 본 시뮬레이터는 고정 무선국 설계시 사용될 뿐 아니라 국간 중계무선국 및 LMDS, LMCS 등의 초기 설계용으로도 사용될 수 있다.

Abstract

This paper introduces a fixed radio-relay link design simulator with which we can select the station site and the frequency and can predict the performance of the radio-relay links. The simulator analyzes the path profile, the fading effects, the availability, the rain attenuation and the interference of the considered radio path using the digital terrain data and the rain intensity data. The calculation algorithms used in this simulator are mostly from the recommendations of the ITU-R. All the modules of the simulator are performed in full GUI mode and the input and output parameters are displayed interactively. This simulator could be used to the fixed radio-relay link design and the LMDS design.

I. 서 론

무선통신에서 주파수의 이용이 매우 밀집화되고 새로운 무선서비스가 지속적으로 등장함에 따라 적절한 주파수 할당, 서비스간 간섭문제 평가 등이 문제화되어 이를 극복하고 효율적인 주파수활용을 위하여 스펙트럼엔지니어링 기술과 컴퓨터의 이용을 연계한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1]

현재 대용량, 장거리 고정 무선국 계획 및 설치에서 무선국 설치장소 선정, 주파수 선택, 시스템 성능평가 등을 주로 현장에서의 실측 등에 의존하고 있어 장비나 인원의 과중한 부담과 매회 많은 시간이 소요되고 있다. 이러한 제한점을 해결하고, 스펙트럼 엔지니어링에 컴퓨터를 이용하는 현재의 추세에 발맞추어 컴퓨터를 이용한 고정 무선 회선설계 시뮬레이터를 개발하였으며, 그 주요기능은 실내에서 대용량, 장거리 고정 서비스용 무선 루트를

한국전자통신연구원 전자과공학연구소(Electromagnetics Science Section, ETRI)

· 논문 번호 : 970922-063

· 수정완료일자 : 1997년 10월 29일

선정, 시스템 회선내 전파 이득, 손실계산 및 가용을 분석, 주파수 간섭조정 및 무선회선 평가 등이 다. 개발된 시뮬레이터는 지형정보, 강우강도정보, 기존무선국정보 등 가장 최근의 데이터베이스를 포함하고 있어 M/W 무선회선설계시 국내지형에 가장 적합한 페이딩 계산, 강우감쇠계산, 간섭계산 등을 수행한다.

개발된 M/W 대역 대용량 장거리 고정 무선회선 설계 시뮬레이터는 데이터베이스, 기술계산 알고리즘 및 사용자 그래픽 인터페이스로 구성된다. 디지털 지형정보 데이터베이스, 기존무선국정보 데이터베이스, 국내지역별 강우정보 데이터베이스 등 3가지 데이터베이스를 구축하여 기술 계산 알고리즘과 더불어 지형 프로파일 작성, 페이딩 계산, 전파간섭계산, 강우감쇠계산 등을 수행토록 하고 그 결과값들은 사용자 그래픽 인터페이스로 보여준다.

본 논문에서는 M/W 무선회선 설계시 지형분석을 통해 가시경로 여부를 판단하고 반사파 등의 영향을 평가하는 방법, 페이드 마진을 계산하고 페이딩이 발생한 시간율을 계산하는 방법, 그리고 한 무선국이 받는 간섭량을 계산하는 과정을 설명한다. 2장에서는 M/W 무선망을 설계하는 과정을 단계적으로 설명하였고 3장에서는 M/W 회선설계 시뮬레이터의 구성을 소개하고, 현재 운용 중인 M/W 무선회선에 대해 측정감시 자료와 개발된 시뮬레이터의 분석결과를 4장에서 검토하였다.

II. M/W 회선설계 알고리즘

M/W 회선설계는 그림 1과 같이 주파수 선택에서부터 이루어진다. 주변의 전파환경 및 중·장기적인 회선 공급 전망 등을 주파수 선택시 고려해야 하는데 현재 M/W 대역 고정망 서비스를 위한 주파수 대역은 표 1과 같다.^[3]

주파수를 선택한 후 전파가 진행되는 무선구간에 대한 설계가 진행된다. 무선구간 내에 장애물의 존재 여부를 판단하고 반사파의 영향이 적은 송신 및 수신지점을 선택해야 한다.

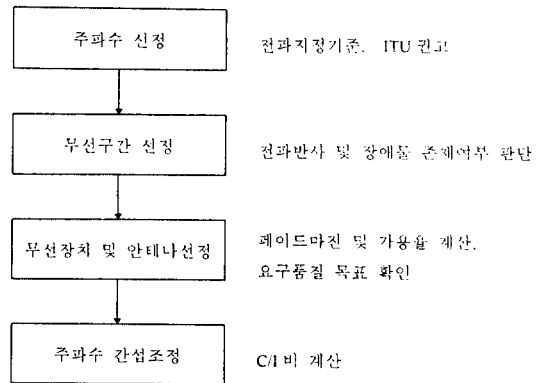


그림 1. M/W 회선설계 과정

Fig. 1. M/W Link design procedure.

표 1. 고정무선중계망 주파수 대역

Table 1. Frequency band of fixed radio-relay link.

RF 밴드	채널간격	채널배치권고(ITU 표준)
3.6~ 4.2 GHz	40 MHz	ITU-R Rec. 635
4.4~ 5.0 GHz	40 MHz	ITU-R Rec. 1099
5.9~ 6.4 GHz	30 MHz	ITU-R Rec. 383
6.4~ 7.1 GHz	40 MHz	ITU-R Rec. 384
7.7~ 8.4 GHz	40 MHz	ITU-R Rec. 386
10.7~11.7 GHz	40 MHz	ITU-R Rec. 387

본 시뮬레이터에서는 송신점과 수신점 사이에 지형의 고도변화를 그림으로 나타낸 지형 프로파일을 작성 제공함으로써 지형에 따른 전파전파의 진행현황을 파악토록 하였다. 지형 프로파일에서는 송신 수신 무선국간의 가시경로가 확보되는지 여부를 판단하는데 프레넬(Fresnel) 반경을 고려한다. 프레넬 반경은 송신 수신 지점 사이의 전파 경로상에 신호의 반파장의 정수배가 되는 점들을 연결한 것으로, 송신 수신 간에 전파경로가 장애물에 영향받지 않으려면 전파의 송신 수신 지점간 직선경로가 장애물에 영향받지 않아야 할 뿐 아니라 제1차 프레넬반경 안에 장애물이 존재하지 않아야 한다. 송수신 지점 간을 잇는 직선을 축으로 그려지는 프레넬(Fresnel) 반경의 식은 다음의 식으로 계산한다.

$$F_n = \left[\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [m] \quad (1)$$

여기서 n 은 프레넬 타원체의 차수를 나타내고 λ 는 파장(m)이고 d 는 송수신간 거리(m)를 나타낸다. d_1, d_2 는 각각 송신, 수신 지점에서 프레넬 반경을 계산하려는 지점까지의 거리(m)를 나타낸다.

지표면에서의 반사파가 수신되는 경우 페이딩 및 왜곡의 원인이 되므로 회선설계시 반사파가 수신되지 않도록 하거나 손실이 큰 반사지점을 위치시키는 방법들이 사용되고 있다. 일반적으로 반사지점이 수면이나 논 등인 경우에 발생하는 신호의 감쇠량은 0~2 dB 정도이고 도시 및 산림인 경우에는 10 dB 이상이다. 반사지점을 계산한 후 지형 데이터베이스로부터 반사지점의 특성을 알아내어 안테나의 고도 등을 변경함으로써 반사지점에서 전파감쇠가 많이 발생하도록 회선설계한다.

페이딩 마진 및 회선 가용율을 계산하기 위해서 본 시뮬레이터에서는 전파신호의 이득이 되는 요소는 송신전력, 송신안테나 이득, 수신 안테나 이득으로 구분하고 신호의 손실 요소는 자유공간 손실, 대기흡수 손실, 피더 손실, 결합 손실 및 현장보정 등으로 정의하였다. 5가지 손실요소 중 가시경로 자유공간상의 전송손실은 주파수와 거리에 관한 함수로서 다음과 같다.

$$L_{f0} = 92.5 + 20 \log f + 20 \log d \quad [dB] \quad (2)$$

여기서 L_{f0} 는 가시경로 자유공간 전송손실(dB)이고 f 는 주파수(GHz), d 는 경로거리(km)이다. 실제 대기는 자유공간이 아니고 수증기 및 여러 대기가스가 존재하며 이로 인한 전파감쇠가 발생하는

데 다음식을 이용해 감쇠량을 계산한다.^[2]

$$A_a = (\gamma_0 + \gamma_w)d \quad [dB] \quad (3)$$

$$\gamma_0 = \left[7.19 \times 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2 + 1.5} \right] f^2 \times 10^{-3} \quad (4)$$

$$\gamma_w = \left\{ 0.05 + 0.0021\rho + \frac{3.6}{(f - 22.2)^2 + 8.5} + \frac{10.6}{(f - 183.3)^2 + 9.0} + \frac{8.9}{(f - 325.4)^2 - 26.3} \right\} f^2 \rho 10^{-4} \quad (5)$$

여기서, A_a 는 대기흡수손실(dB), γ_0 는 마른 공기에 의한 감쇠(dB/km, $f < 57$ GHz), γ_w 은 수증기에 의한 감쇠(dB/km, $f < 350$ GHz)이다. ρ 는 수증기 밀도(g/m^3)로서 우리 나라의 경우 2월에는 2-5, 8월에는 20을 채택한다. f 는 주파수(GHz), d 는 경로길이(km)이다.

전파는 대기 중에서 뿐만 아니라 장비 내에서도 손실이 발생할 수 있는데 대용량 장거리 무선중계 시스템인 경우 안테나의 높이가 수십미터가 되므로 이로 인한 피더손실량을 무시할 수 없다. 몇몇 피더의 100 m당 전파 손실량을 표 2에 정리하였다.

브랜칭손실, 필터 삽입손실, 서큘레이터 손실 등도 장비 내의 전파손실로서 그 합을 결합손실이라 하며 대개 0.4~0.6 dB 내외이다. 실제로 현장에서 무선국을 설치했을 경우에 예상하지 못했던 손실요소들이 존재함에 따라 이를 보정하기 위해서 2 dB의 현장보정 손실을 무선회선 설계시 감안한다.

위와 같이 전파 신호의 이득과 손실을 계산하여

표 2. 단위길이당 피더에 의한 전파손실

Table 2. Feeder Loss per 100 m

피더명	EWP-17	EWP-37	EWP-44	EWP-52	EWP-63	EWP-77	EWP-90
손실(dB / 100 m)	1.19	2.91	4.0	3.93	4.5	5.8	10.1

수신무선국에 도달되는 입력레벨(dBm)을 알 수 있다. 디지털 무선 구간의 성능평가는 비트오율(BER)로 행하는데 10^{-3} 또는 10^{-6} 비트오율을 기준으로 하며 성능평가 기준 비트오율을 만족하도록 하는 한계레벨을 수신한계레벨이라 하고 장비별로 그 값이 다르다. 수신입력레벨이 수신한계레벨보다 낮은 경우 그 장비는 회선품질 목표를 만족시킬 수 없는데 수신입력레벨과 수신한계레벨과의 차이를 플랫페이드 마진이라 하며, 플랫페이드 마진보다 적은 깊이를 갖는 페이딩에 대해서는 무선구간은 정상적으로 동작할 수 있다.

페이딩의 원인은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 열잡음에 의한 페이딩, 다중경로 전파전파로 인한 심볼간 간섭(inter-symbol interference), 그리고 다른 무선 시스템으로부터의 간섭에 의한 페이딩으로 분류할 수 있다. 열잡음에 의한 페이딩에 대한 마진을 플랫 페이드 마진이라 하고 다중경로 전파전파로 인한 심볼간 간섭에 의한 페이딩에 대한 마진을 디스퍼시브페이드마진(DFM)이라 하며 다른 무선 시스템의 간섭에 의한 페이딩에 대한 마진을 인접채널 간섭페이드마진(AIFM)이라 한다. 디지털 무선 중계 시스템이 10^{-3} 비트오율을 나타내는 경우 즉 회선중단될 경우는 위 3가지 페이딩의 합에 의한 영향이라 말할 수 있고 이에 대한 페이드 마진을 종합페이드마진(CFM)이라 한다. 종합페이드 마진은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$CFM = -10 \log \left(10^{\frac{-TFM}{10}} + 10^{\frac{-DFM}{10}} + 10^{\frac{-AIFM}{10}} \right) \quad [dB] \quad (6)$$

여기서 CFM은 종합페이드마진(dB), TFM은 플랫페이드마진(dB), DFM은 디스퍼시브페이드마진(dB), AIFM은 인접채널 페이드마진(dB)이다.

식 (6)에서 구한 종합페이드 마진보다 페이딩의 깊이가 클 경우 회선중단 상태가 되는데 회선중단은 시간율로 표시한다. 주파수, 거리, 지형 기후적 요인 및 송신 수신 안테나 높이 등에 의해 페이딩

발생시간율이 정해지는데 최악월(worst month)에서 페이딩 깊이가 종합페이드마진(CFM)을 초과할 시간율은 다음 식으로 추정한다.^[2]

$$p_w = k d^{3.6} f^{0.88} (1 + |\epsilon_p|)^{-1.4} \times 10^{-CFM/10} \% \quad (7)$$

여기서 d 는 경로거리(km), f 는 반송파 주파수(GHz)이다. 식 (7)에서 K 는 지형 및 기후에 관한 계수로서 경로상 해수면을 포함하지 않고 송수신 안테나 중 낮은 것이 해발고 700 m 이하일 때는 $K = 10^{(-6.5)} p_L^{1.5}$ 이고 경로상 해수면을 포함하지 않고 송수신 안테나 중 낮은 것이 해발고 700 m 이상일 때는 $K = 10^{(-7.1)} p_L^{1.5}$, 전파경로가 강이나 호수인 경우는 $K = 10^{(-5.9)} p_L^{1.5}$, 전파경로가 바다나 해안가인 경우 $K = 10^{(-5.5)} p_L^{1.5}$ 이다. p_L 은 대기의 처음 100 m 까지의 평균 굴절을 변화율이 -100 N-unit/km 이하인 시간율로서 우리 나라는 2월에는 1, 5월에는 5, 8월에는 2-5, 11월에는 1을 채택한다. 또 식 (7)에서 ϵ_p 는 경로 경사도를 나타내는데 다음 식과 같다.

$$|\epsilon_p| = |h_r - h_e| / d \quad (8)$$

여기서 h_r 와 h_e 은 각각 평균 해수면으로부터의 송수신 안테나 높이(m)를 나타내고 d 는 경로거리(km)를 나타낸다. 회선중단시간율 목표가 정해지면 그에 따라 경로길이 및 안테나 높이 및 무선구간 변경 등으로 페이딩이 발생할 시간율을 억제한다.

무선구간 및 장치 선정을 한 후 다른 시스템으로부터의 간섭레벨을 계산한다. 고정 서비스 간에 간섭 문제를 분석하고 평가하는 가장 일반적인 방법은 C/I비를 이용하는 것이다. 간섭문제를 평가하는데 있어서 C/I비 기준이란 수신 회파신호(C)가 간섭신호(I)에 대하여 수신이 양호하게 이루어지는 비를 말한다. 디지털 M/W 대역 통신에서 C/I비 기준은 사용된 장비의 변조방식, 전송율(bit/sec), 페이드마진 등 여러 요인에 의해 결정된다. M/W 대역 디지털 대용량 장거리 고정 무선회선

에서 C/I비 기준은 대개 65 dB 내외이다.^[3]

간섭계산의 절차는 우선 고려 대상의 무선채널 내에서 서비스를 행하고 있는 모든 무선국을 검색 하면서 시작한다. 검색한 각 무선국으로부터 고려 대상의 무선국으로 도달되는 간섭신호를 합산하여 전체 간섭레벨을 예상하고 최종적으로 희망신호와의 비(C/I비)를 계산한다. 간섭과의 간섭레벨을 예상하기 위해서는 안테나의 방향에 따른 이득 등을 계산하며 간섭과 스펙트럼이 희망과의 밴드폭 내에 어느 정도 중첩되어 있는지를 알아야 한다. 동일 채널 내의 간섭과의 영향은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$L_i = P_T + G_{BT} + G_{BR} - L_{free\ space} - L_{gas} - L_{feeder} - L_{stack} - L_{diffraction} - F + S \quad (9)$$

- L_i : i번째 간섭무선국으로부터의 간섭레벨 (dBm)
- P_T : 간섭무선국의 송신 출력(dBm)
- G_{BT} : 간섭무선국의 피간섭무선국 방향으로의 안테나 이득(dBi)
- G_{BR} : 피간섭무선국의 간섭무선국 방향으로의 안테나 이득(dBi)
- $L_{free\ space}$: 간섭/피간섭 무선국 간의 자유공간 손실(dB)
- L_{gas} : 간섭/피간섭 무선국 간의 대기가스 흡수 손실(dB)
- L_{feeder} : 간섭/피간섭 무선국의 피더손실(dB)
- L_{stack} : 간섭/피간섭 무선국의 결합손실(dB)
- $L_{diffraction}$: 간섭/피간섭 무선국 간의 회절 손실(dB)
- F : 현장보정(dB)
- S : 간섭과 수신 전력량 평가계수(dB)

G_{BR} 는 안테나의 방위패턴(azimuth pattern)에서 주빔(main beam)과 간섭무선국 방향으로의 방위각 편차를 계산한 후 안테나 기준 방사패턴으로부터 이득을 얻는다. $L_{free\ space}$ 는 식 (2)를 L_{gas} 는 식

(3)을 이용하고 $L_{diffraction}$ 는 ITU-R 권고 PN.452에 제시된 절차를 따른다. S 는 간섭과 스펙트럼과 수신 대역 간의 상관관계를 표시하는 계수로서 다음과 같이 나타낸다.

$$S = 10 \log \left\{ \frac{\text{피간섭 수신기 대역에 중첩하는 간섭과의 스펙트럼 범위}}{\text{피간섭수신기대역폭}} \right\} \quad (10)$$

간섭과의 송신 스펙트럼과 피간섭 수신 대역이 동일할 경우 평가계수는 0이 되며 S 는 0보다 같거나 작은 수치이다. 간섭과 수신 전력량 평가계수를 계산하기 위해서는 송신기의 방사 스펙트럼과 수신기 필터특성을 정의해야 한다.

간섭무선국은 하나일 경우도 있고 여러 개일 경우도 있다. 식 (9)에서와 같이 하나의 간섭무선국에 대한 간섭레벨을 계산한 후 전체 간섭을 다음 식으로 계산한다.

$$I_{total\ dBm} = 10 \log \left(10^{\frac{I_1\ dBm}{10}} + 10^{\frac{I_2\ dBm}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i\ dBm}{10}} \right) \quad [dBm] \quad (11)$$

여기서 $I_{i\ dBm}$ 는 i번째 간섭무선국의 간섭레벨을 dBm으로 표시한 것이다.

Ⅲ. M/W 회선설계 시뮬레이터 구성

개발된 시뮬레이터는 데이터베이스, 회선설계 프로그램 그리고 계산결과를 사용자에게 보여주는 사용자 그래픽인터페이스 부분으로 구성된다. 회선설계 프로그램은 무선국 설계에 필요한 각종 알고리즘을 프로그램화하고 데이터베이스의 내용을 적절히 이용하여 사용자가 원하는 기술계산 결과를 보여준다. 본 시뮬레이터는 SUN-SPARC 20 워크스테이션 및 솔라리스 2.4 운영체제하에서 C 언어로

구현하였으며 무선국 데이터베이스를 운영하기 위해 인포믹스 7.x를 사용하였다.

데이터베이스 부분은 다시 지형데이터, 기존 무선국 정보데이터 그리고 전국 강우강도 정보 데이터로 구성된다. 3가지 데이터베이스 중, 지형 프로파일 작성 및 전파손실 계산에 요구되는 지형고도와 특성정보를 수록한 지형데이터는 남한 전체를 경도 1도, 위도 1도 간격인 19개의 화일로 구성되었다. 즉 위도 경도 좌표와 매핑되도록 화일명을 126E36N, 128E38N 등으로 표시하였고 하나의 화일 내부에는 1초(30 m) 간격의 지형데이터가 3601×3601개 구성되었다. 1초 간격으로 구성한 하나의 지형데이터는 2바이트로 작성하였는데 이중 12비트는 고도정보를 나타내고 있고 나머지 4비트는 지형특성 정보를 수록하고 있다. 즉 고도는 4096 m까지 표현 가능하며 국내 지형 특성은 밀집도시, 도시, 산림지역, 개방지, 교외지역, 바다, 강·호수 등 7가지로 분류하였다. 신규로 무선국을 설계할 경우 기존 무선국으로부터 신규 무선국으로의 간섭영향과 신규무선국으로부터 기존 무선국으로의 간섭문제를 고려해야 하며, 간섭계산을 하기 위해서는 기존 무선국에 대한 정보가 필요하다. 한국통신에서 현재 운용하고 있는 고정 무선국들에 대하여 무선국 데이터베이스, 중계소 데이터베이스, 장비 데이터베이스, 안테나 데이터베이스 등 4종류로 분리하여 총 76개 항목에 대해 데이터베이스화하였다. 또한 무선국, 장비, 중계소, 안테나 데이터베이스를 사용자가 쉽게 검색, 입력, 수정, 삭제, 출력하는 기능을 제공한다. M/W 대역과 그 이상의 밀리미터파 대역에서는 강우에 의한 전파 감쇠가 심하여 강우는 전파중계거리 선정의 주요 제한요소이다. 강우에 의한 전파 감쇠량을 계산하기 위해서는 연중 강우율(mm/h)에 관한 정보가 필요하나 강우율은 시간적, 공간적으로 균일하지 않기 때문에 각 지역별로 측정된 강우량을 바탕으로 시간별 강우율 분포에 대한 정보를 확보하는 것이 요구된다. 제주도를 제외한 8개도 32개 지상기상관측지점에서 지난 '84~'93년 동안의 기상청 자료를 토대로 전국

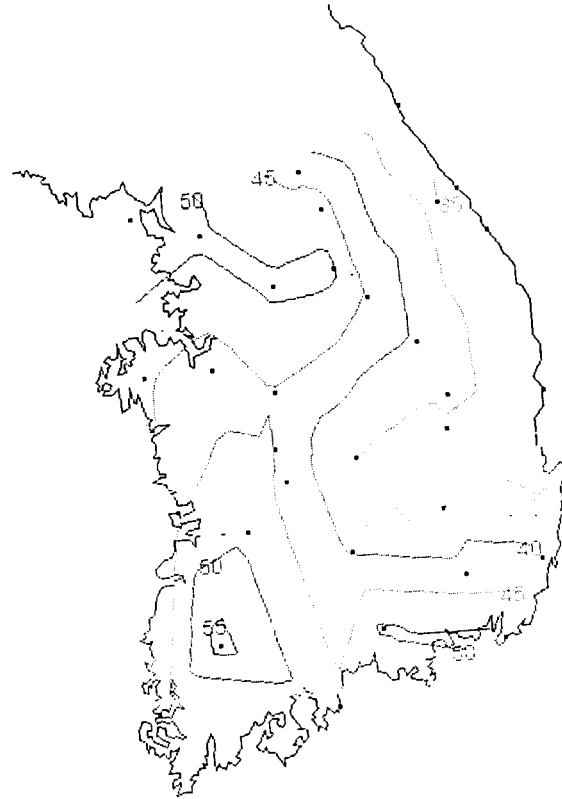


그림 2. 연중 0.01 % 초과 강우율

Fig. 2. Rainfall intensity exceeded for 0.01 year percentage time.

지역별 강우율 데이터베이스를 작성하였다. 그림 2는 연중 0.01 % 초과될 강우율을 나타낸 지도로서, ITU-R에서 제시한 우리나라의 연중 0.01% 초과 강우율 42 mm/h^[2]와 상당히 차이가 있음을 보여 준다. 지역별로 강우율이 상당한 편차를 나타내는데 광주가 56.8 mm/h로 강우율이 제일 높고 대구는 32.6 mm/h로 상당히 적으며 대전 지역은 46.1 mm/h를 나타낸다.

IV. M/W 회선설계 시뮬레이터의 계산결과 및 검토

지형단면도 작성 및 전파경로 분석에서 디지털

표 3. 지형정보 정확도

Table 3. Correctness of digital terrain data.

	산악지형	도시지역
대상수	500개	1,500개
평균차	3 m	15 m
표준편차	10 m	35 m
최대차이	±50 m	±85 m

지형정보의 정확성은 매우 중요하다. 지형정보의 정확성을 검토하기 위해서 지도에서 수작업으로 추출한 고도와 비교하였다. 대상이 된 주요지점은 산악경로와 지역별로 약 2,000개 지점이고 비교한 결

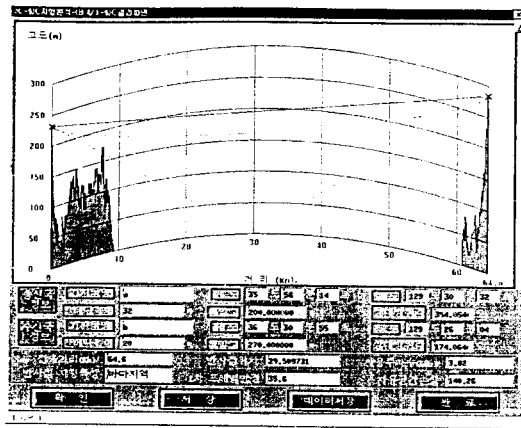


그림 3. 지형분석 결과

Fig. 3. Example of path profile.

과 표 3과 같이 산악지형에 대해서는 정확성이 높았으나 도시 지역에서는 그 오차가 컸다.

현재 한국통신에서 운용중인 M/W 대역 대용량 장거리 무선중계 시스템들 중 5개 구간에 대하여 1994년도 성능감시 자료와 본 시뮬레이터로 행한 계산값과 비교하여 보았다. 5개 무선구간 모두 회선 요구 품질 목표에 맞추어 현재 운용 중인데 지형 프로파일 분석결과 모두 가시거리 경로임을 확인하였다. 그림 3은 무선구간 1에 대한 지형프로파일 작성 결과인데 가시경로임을 알 수 있다. 제1차 프레넬 반경을 작도하였는데 그 안에 침투한 장애물이 없으며 또한 반사지점의 특성이 바다이지만 송신지점 부근의 장애물에 의해 반사파가 가로막혀 있음을 확인하였다.

페이딩 분석결과를 표 4에 정리하였다. 무선구간 1과 3은 무선경로상에 바다가 있는 구간이다. 표 4에서 5개 무선구간에 대해 비트오율(BER)이 10^{-3} 초과한 시간을 비교했는데 계산값보다 실제 측정값이 상당히 적게 나타났다. 이는 한국통신에서 운용 중인 5개 무선구간에 대하여 다이버시티 정보와 이퀄라이저 정보를 얻지 못해, 페이딩에 의한 성능 저하에 대처하는 다이버시티와 이퀄라이저에 의한 효과를 시뮬레이션시 고려하지 않아 실측값과 계산값이 많은 차이를 보인 것으로 분석된다. 공간 다이버시티를 사용한 경우, 다이버시티 안테나가 주 안테나와 5 m 거리로 이격되어 있고 안테나 이득은 같다고 가정했을 경우 BER이 10^{-3} 초과할 시간(초)

표 4. 1994년 5개 지역 무선중계 시스템의 성능 예측 및 실측

Table 4. Performance prediction and measurement of the 5 radio-relay hops during 1994.

무선구간	주파수(GHz)	거리(Km)	BER이 10^{-3} 초과한 예측시간(초)	BER이 10^{-3} 초과한 실측시간(초)
1	3.824	64.5	12,750	1,196
2	6.063	49.7	659	191
3	6.197	55.23	10,350	1,214
4	6.256	46	599.8	60
5	7.876	57	2,036	22

번호	간섭무선국	간섭신호출력	간섭신호이득	간섭신호손실	간섭레벨
1	마래산	30,000000	41,787170	318,907674	-277,115904
2	남산	30,000000	36,554331	215,498373	-199,542542
3	태월산	33,000000	23,333261	253,624710	-230,251443
4	조계산	33,000000	37,786285	246,519577	-228,728294

총간섭 무선국 수: 4 개
 총간섭 레벨: [Blank]
 총 C/I: [Blank]
 인쇄 저장 종료

그림 4. 간섭계산 결과

Fig. 4. Example of interference analysis.

은 표 4의 3번 무선구간에 대해 1,646초로 계산되었다. 다이버시티 안테나의 페이딩에 대한 효과를 첨가하면 시뮬레이션 결과값은 실측치에 상당히 근접할 것으로 예상된다.

그림 4는 무선구간 5번에 대한 간섭계산 결과인데 간섭국은 6개이며 총 C/I비가 104 dB임을 보여준다. 나머지 무선구간의 간섭결과 C/I비가 모두 100 dB 이상으로 시뮬레이션되었다.

V. 결 론

실내에서 대용량, 장거리 고정 서비스용 무선 구간을 선정, 시스템 링크 계산 및 가용율 분석, 주파수 간섭 조정 및 무선링크 평가를 행하는 시뮬레이터를 개발하였다. 전국 지형을 디지털 데이터베이스화하고 10여년간의 측정 데이터를 이용하여 전국의 강우강도 분포를 데이터베이스로 구축하였다. 또한 한국통신에서 운용 중인 고정 무선국에 대하여 무선국 데이터베이스, 중계소 데이터베이스, 장비 데이터베이스, 안테나 데이터베이스로 구분하여

구축하고 검색, 입력, 수정, 삭제 가능하도록 하였다. 디지털 지형 데이터베이스를 통해 지형 프로파일을 작성할 수 있고 강우강도 데이터베이스를 이용하여 강우에 의한 전파감쇠량을 계산하고 전국 무선국 데이터베이스를 이용하여 전파간섭계산을 할 수 있다.

본 시뮬레이터를 이용하여 새로운 고정 무선국의 사이트선정, 안테나 종류 및 높이 선정 등 기초 설계할 수 있고 기존에 운용 중인 무선국에 대해서도 손쉽게 검색할 수 있다.

페이딩 등 성능 계산시에 사용된 알고리즘은 모두 ITU에서 권고하는 내용을 사용하였는데 국내에서 운용 중인 고정 무선국에 대한 실제 측정자료를 바탕으로 계산 알고리즘의 전파상수 등을 보정하여 국내 환경에 적합한 성능분석을 행할 수 있을 것이다. 한편 대도시 등의 빌딩 정보 등이 구축되어 있지 않으므로, 가시거리가 확인된 상황에서는 국간 시스템 설계 및 LMDS, LMCS 설계에서도 강우감쇠 계산 등 본 시뮬레이터가 확장이용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-R, *Spectrum management & computer-aided techniques*, Geneva, 1990.
- [2] ITU-R, *Rec. ITU-R 1994 PN Series Volume, Propagation in Non-ionized Media*.
- [3] ITU-R, *Rec. ITU-R 1994 F Series Volume Part 1, Fixed Service Radio-Relay Systems*.
- [4] A. A. R. Townsedn, *Digital Line-of-sight Radio Links: A Handbook*, Prentice Hall international Ltd., 1988.
- [5] 이형수, 김혁제, 신동근, "20 GHz 이상 대역에서의 국내 고정 무선중계시스템의 최적 경로길이 설계", *한국전자과학회논문지*, vol. 7, no. 3, 8. 1996.
- [6] W.T.Barnett, "Multipath Propagation at 4, 6 and 11 GHz," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 51, Feb. 1972.

[7] Martin Glauner, "A model for calculating the transmission performance of digital radio-relay systems," *ANT Telecommunication Reports*, vol. 11, Mar. 1994.

[8] Mansoor Shafi, Les Davey, "The Impact of Synchronous Digital Hierarchy on Digital Microwave Radio: A View from Australasia," *ICC/SuperCom '90, Atlanta, US*

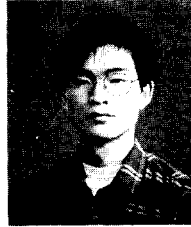
김 혁 제



1993년 : 충남대학교 전자공학과(공학사)
1995년 : 충남대학교 전자공학과(공학석사)
1995년~현재 : 한국전자통신연구원 연구원

[주 관심분야] 전파전파 특성, 무선망 설계, 수동초고주파공학

조 삼 모



1992년 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
1994년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1994년~현재 : 한국전자통신연구원 연구원

[주 관심분야] 전파전파 특성, 무선망 설계

이 성 수

1983년 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
1990년 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학석사)
1984년~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] 무선망설계엔지니어링, 스펙트럼관리 기술, 전파전파특성