
광대역 채널 측정 및 분석을 위한 프로그램 개발

고거다* · 박노준** · 강영진** · 송문규**

Program Development for Wideband Channel Sounding and Analysis

Geo Da Ko*, Noh Joon Park**, Young Jin Kang**, Moon Kyou Song**

요 약

본 논문에서는 무선 전파 특성의 측정과 분석에 이용할 수 있는 측정 및 분석 시뮬레이터 프로그램을 개발 하였다. 프로그램은 GPIB 인터페이스를 통하여 측정 장비인 스펙트럼 분석기의 제어가 가능하고 측정된 데이터를 분석 하여 평균 초과 지연(mean excess delay)과 RMS 지연 확산(RMS delay spread)을 산출해 낸다. 측정된 경로손실은 자유공간과 터널내의 이론적인 경로손실과 비교 할 수 있다. 측정되고 분석된 결과는 그래프의 형태로 출력된다. 측정 현장에서 데이터의 비교분석이 가능하기 때문에 본 프로그램은 측정의 수행과 검증함에 있어 매우 유용하다.

본 논문은 또한 2.45GHz 와 5.8GHz 주파수대역의 지하철 터널내의 전파경로에 의한 손실과 지연 특성을 측정하고 분석 하였고, 안테나의 빔 형태에 따른 전파경로 손실과 지연특성을 비교 분석 하였다.

터널은 송신안테나의 빔 형태와 무관하게 터널 내에 전파가 가득 차기 전까지는 자유공간과 비슷한 경로손실차를 가졌다. 터널 내에 전파가 가득차는 시점부터는 지하철 터널이 도파관 역할을 하여 LOS 및 N-LOS 구간 모두에서 자유공간에 비하여 손실차가 적게 나타났다. 고주파대역 보다는 저주파 대역인 2.45GHz에서 전파 경로에 의한 손실이 적었고, 신호의 수신 전력은 높게 측정 되었다. 지연특성에 있어서는 양 대역 모두에서 슬릿빔 안테나의 지연확산량이 가장 적게 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, a program that can be utilized to measure and analyze radio propagation characteristics is developed. This program is able to control the measurement instruments including spectrum analyzer through GPIB interface and analyze the measured data to yield mean excess delay and RMS delay spread. The measured path loss can be compared with theoretical value in free space or inside a tunnel. The measured and analyzed results can also be presented in the forms of graphs. As these tasks can be conducted on the spot of the measurements, this program is very helpful in performing and verifying the measurements immediately.

In this thesis radio propagation characteristics with frequency bands of 2.45 and 5.8GHz in subway tunnels are measured by using the program. Path loss and delay spread in subway tunnel is measured and compared according to the form of antenna beam and LOS(Line of Sight) and N-LOS(Non-Line of Sight).

키워드

Wireless LAN, PN sliding correlation, Propagation Measurements

* (주)한국 BEP

** 원광대학교 공과대학 전기전자 및 정보공학부

I. 서론

광대역 시스템의 요구가 증대함에 따라 시간지연확산이 중요한 채널 특성으로 부각되고 있다. 그러므로 자유 공간, 실내환경, 터널환경 등 여러 환경에서의 시간지연 확산 및 경로손실을 측정하여 비교 분석함으로써 환경에 따른 최적의 시스템을 구현하고 다양하게 요구되는 서비스 제공에 이용할 수 있다. 특히 지하철과 같은 폐쇄 공간 환경에서의 전파는 건물의 벽, 천장, 바닥 등 많은 전파 경로에 영향을 끼치는 요인들이 존재하고 있으므로 반사, 투과 및 회절을 겪으며 전파하게 된다. 이러한 다중경로 전파는 경로손실 및 신호지연을 일으켜 통신품질에 많은 영향을 주게 되므로 전파특성을 정확하게 예측하는 것은 지하철 터널내의 2.4/5.8 GHz 대역에서 고품질의 통신서비스를 위해 꼭 필요하다.

그러므로 본 논문에서는 실제 지하철 터널의 채널측정과 측정에 필요한 프로그램을 개발함으로써 지하철터널에 대한 채널특성을 파악하였다.

본 논문에서는 데이터 측정을 위해 HP 8563E 스펙트럼 분석기를 사용 하였다. 스펙트럼 분석기는 PC와 GPIB 인터페이스를 통해 자동으로 제어할 수 있도록 하였다. 취득된 데이터 분석에 필요한 프로그램을 개발하기 위해 랩뷰를 사용한다.

II. 측정 환경 및 측정 시스템

2.1 측정 환경

본 논문은 새로이 건설되고 있는 대전 지하철 터널의 450m 구간에서 측정이 이루어졌으며, 터널은 폭 5m, 높이 5.7m인 아치형 터널로서 송신기가 위치한 곳으로부터 175m까지는 LOS 구간을 가지며 그 후 445m까지는 곡률 반경 R360을 가지는 N-LOS 구간을 가진다. 또한 터널은 철로 및 기타 방해물이 없는 순수한 터널 구조로만 이루어져 있다. 송신기가 위치한 지점으로부터 약 50m 후방으로는 플랫폼이 존재한다.

2.2 측정 시스템

측정 시스템은 협대역 시스템과 광대역 측정 시스템으로 구성된다. 협대역 측정 시스템은 터널의 거리에 따른 경로손실을 알기위한 것이며 광대역 시스템의 구성은 터

널의 지연 특성을 파악하기 위해 구성된다. 송수신 안테나는 2.45 GHz와 5.8GHz 모두 협대역 측정시 무지향성 안테나인 수직 안테나와 지향성 안테나인 슬릿빔 안테나를 사용하였고, 광대역 측정시 지향성 안테나인 슬릿빔(Fan Beam), 지향성, 원편파 안테나를 사용하였다. 송신단의 기저대역(Base band)에서는 80 [MHz]의 함수발생기(Function Generator)를 이용하여 10단 PN Sequence를 발생시켰고, 이것은 중심주파수 2.45 [GHz]와 5.8[GHz]로 믹싱된다. 이때 RF 신호 발생기의 출력은 지연프로파일 측정의 경우에 +4 [dBm]이었고 Path loss 측정에서는 +10 [dBm]으로 하였다.

III. 측정 프로그램

3.1 스펙트럼 분석기 제어 프로그램

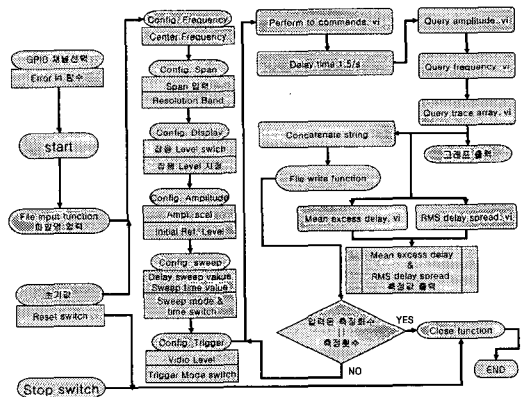


그림 1. 스펙트럼 분석기 제어프로그램 흐름도

Fig. 1. Flowchart of control program for spectrum analyzer

그림1은 스펙트럼 분석기 제어를 위한 블록도로서 파라미터 입력함수 블록과 결과출력함수 블록, 저장함수 및 데이터 처리 블록함수로 구성된다. 파라미터 입력함수 블록은 config. freq., config. delay, config. sweep, config. amplitude, config. trigger 함수로 구성되며 데이터 처리 함수는 file open, error in & out, file write, close 함수로 파라미터 입력 채널이 구성된다. 출력단 함수는 각 파라미터 입력에 따른 결과값을 나타낼 수 있는 지시함수와 이를 그래프로 나타낼 수 있는 트레이스 함수로 구성된다. 측정이 시작되면 파일오픈 함수에 의해 저장할 데이터의 파일

명 입력메세지가 활성화되며, GPIB채널 선택 함수와 에러체크 함수를 통하여 실제 스펙트럼 분석기와 PC상에 구현된 스펙트럼 분석기의 인터페이스를 확인한다. 에러없이 인터페이스가 이루어지면 PC상에 입력된 스펙트럼 분석기의 파라미터가 실제 스펙트럼분석기에 명령을 전달하게 된다. 이때 스펙트럼분석기의 처리 속도를 감안하여 측정횟수간의 시간차를 설정한다. 파라미터값이 입력되어 처리된 결과는 file write 함수를 통해 PC에 저장되며, 명령된 모든 일이 끝나게되면 close 함수를 통하여 프로그램이 중지되며 데이터의 백업이 이루어진다.

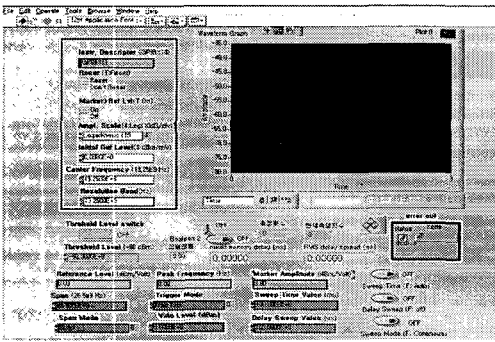


그림 2. 스펙트럼 분석기 프로그램의 초기화면
Fig. 2. Initial screen of spectrum analyzer program

그림2는 스펙트럼 분석기를 제어하고 측정 데이터를 그래픽 적으로 확인할 수 있도록 PC에 프로그램된 가상 스펙트럼 분석기 이다. 가상 스펙트럼 분석기의 프론트 패널은 파라미터를 입력할 수 있는 창과, 결과값을 표시하는 창으로 이루어진다. GPIB를 통해 실제 스펙트럼 분석기에서 보내오는 데이터를 가상 스펙트럼 분석기를 통하여 데이터 값들의 평균을 구하고, 이를 이용하여 평균과도지연(mean excess delay)과 rms 지연확산(rms delay spread)값을 식(1), (2)를 사용하여 계산할 수 있도록 프로그램 되었다. 그 후 평균된 전력 프로파일을 그래프로 출력하고, 평균과도지연 과 rms 지연확산 값의 데이터를 저장한다.

3.2 지연확산 프로그램

채널의 시간지연확산과 관계된 매개 변수로는 평균과도지연(mean excess delay)과 rms지연확산(rms delay spread)등이 주로 사용된다.

평균과도 지연은 전력지연 프로파일의 평균값으로 다음과 같이 정의된다.[1],[2]

$$D = \frac{\int_0^{\infty} \tau P_h(\tau) d(\tau)}{\int_0^{\infty} P_h(\tau) d(\tau)} \quad (1)$$

rms 지연확산은 평균과도지연을 중심으로 한 이차 모멘트인 분산 값으로서 다음과 같이 정의된다.

$$S = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} (\tau - D)^2 P_h(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} P_h(\tau) d\tau}} \quad (2)$$

여기에서 τ 는 지연된 파의 시간 인수, P_h 는 수신 전력 레벨을 나타낸다.

이 두 가지 파라미터를 사용하여 여러 환경의 전파특성을 분석할 수 있으므로, 그림3과 같은 순서로 가상 스펙트럼 분석기에 평균과도지연(mean excess delay)과 rms 지연확산(rms delay spread) 값을 계산할 수 있도록 프로그램 하였다. 그러므로 측정현장에서 측정환경에 대한 전파특성의 추세를 확인할 수 있으며, 정확한 데이터 값을 취득할 수 있다.

그림3은 PC에 구성된 가상 스펙트럼 분석기와 연동하여 평균과도 지연 및 rms 지연확산 값을 계산할 수 있는 블록도이며, 이를 계산하기 위해 그림4와 같이 PC에 프로그램 하였다.

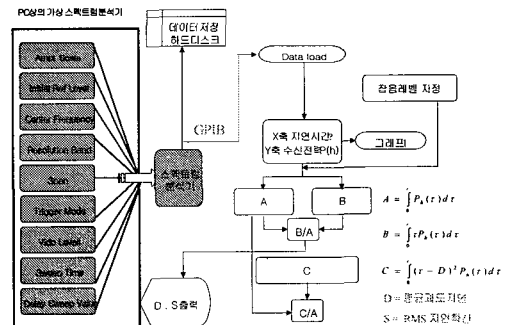


그림 3. RMS 지연확산 계산과정
Fig. 3. Calculation procedure for RMS delay spread

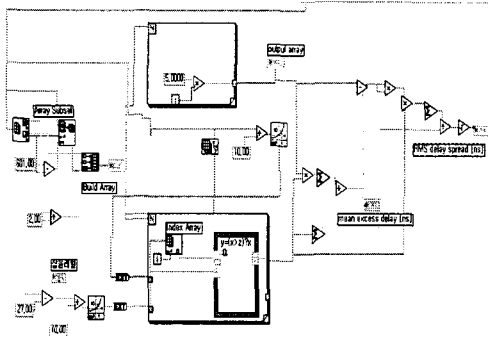


그림 4. 지연확산 계산을 위한 코딩 블록선도
Fig. 4. Coding block diagram for delay spread

3.3 터널환경의 전파경로손실 예측프로그램

터널은 벽, 천장, 바닥 등 전파 경로에 많은 영향을 끼치는 요인들이 존재하고 있으므로 반사, 투과 및 회절을 겪으며 전파하게 되어 일반적인 자유공간에서의 전파특성과는 매우 다른 특성을 보인다. 그러므로 이론적인 자유공간과 터널 환경의 수신 전력을 실제 터널에서 측정된 수신레벨을 비교할 수 있도록 프로그램 함으로서 터널 환경의 전파 특성 분석에 필요한 데이터를 제공한다.

자유공간 손실이란 자유공간에서 전파의 에너지를 흡수 또는 산란하기도 하는 이상적인 공간에서의 전파 방사 손실을 말한다. 자유공간에서의 전파 경로 손실은 송신 전력, 안테나 이득, 주파수 및 송·수신기 사이의 거리의 함수이다. 따라서 수신 전력 P_R 을 나타내면 다음과 같다.

$$P_R = P_T + G_T + G_R + L_F \quad (3)$$

P_T, P_R = 송·수신 전력,

G_T, G_R = 송·수신 안테나 이득

이고 자유공간 손실 L_F 는 다음과 같다.

$$L_F \text{ (dB)} = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (4)$$

3.3.2 터널 환경에서의 전파 경로 손실

터널 내에서 송신안테나와 수신안테나 사시의 거리 R_0 만큼 떨어진 지점의 수신 전력 P_R 은 직접파와 1번 반

사하는 반사파의 합으로 나타낼 수 있으며 반사파는 수직·수평의 두 반사파의 합의 형태이다.[1],[3],[4]

- 터널 환경에서의 수신 전력

$$P_R = P_T \left(\frac{\lambda_0}{4\pi} \right)^2 \cdot W \cdot \left(\left| \frac{G_d e^{-jkR_0}}{R_0} + \sum_{i=1}^n \frac{G_{vi}(\Gamma_{vi})^i e^{-jkR_{vi}}}{R_{vi}} + \sum_{i=1}^n \frac{G_{hi}(\Gamma_{hi})^i e^{-jkR_{hi}}}{R_{hi}} \right|^2 \right) \quad (5)$$

- 수직 반사계수 Γ_{vi}

$$\Gamma_{vi} = \frac{\epsilon_r^* \sin(\theta_{vi}) - \sqrt{\epsilon_r^* - \cos^2(\theta_{vi})}}{\epsilon_r^* \sin(\theta_{vi}) + \sqrt{\epsilon_r^* - \cos^2(\theta_{vi})}} \quad (6)$$

- 수평 반사계수 Γ_{hi}

$$\Gamma_{hi} = \frac{\sin(\theta_{hi}) - \sqrt{\epsilon_r^* - \cos^2(\theta_{hi})}}{\sin(\theta_{hi}) + \sqrt{\epsilon_r^* - \cos^2(\theta_{hi})}} \quad (7)$$

그림5는 터널 환경의 수신 전력을 이론적인 값으로 예측 할 수 있는 프로그램의 순서도 이다. 가상 스펙트럼 분석기의 코딩 블록에 수신 전력의 이론적인 값의 계산에

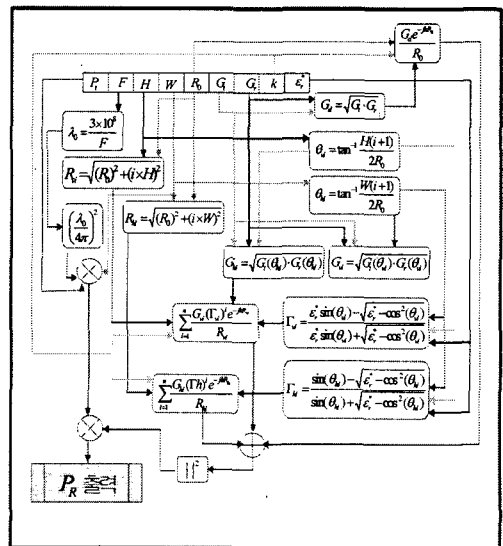


그림 5. 수신전력 예측 프로그램의 블록도
Fig. 5. Block diagram of the received power prediction program

필요한 초기 파라미터를 입력하고 표1 과 식(6), (7)을 이용하여 식(5)에 필요한 각 파라미터의 속성을 프로그래밍한다. 최종적으로 계산된 파라미터들의 함수를 사용하여 터널 환경의 거리에 따른 수신 전력 예측 값을 구하고 계산된 값의 출력을 위해 그림8과 같이 구성 하였다.

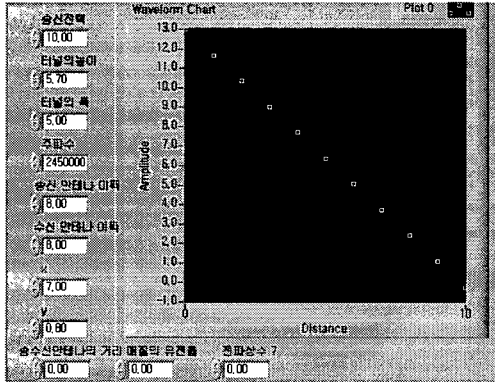


그림 6. 수신전력 예측 프런트 패널
Fig. 6. Front panel of received power prediction

IV. 경로손실 및 지연확산 측정

그림 7과 8은 주파수별 안테나에 따른 터널에서의 경로 손실을 나타낸다. LOS 구간에서 송·수신 안테나의 거리가 20m가 되는 지점까지는 양 주파수 대역과, 두 안테나 모두에서 자유공간에서의 경로 손실과 비슷한 손실이 보였다. 터널 안에 전파가 가득차는 20m 지점을 지나고 난 이후로는 투과 현상이 거의 일어나지 않는 완벽한 터

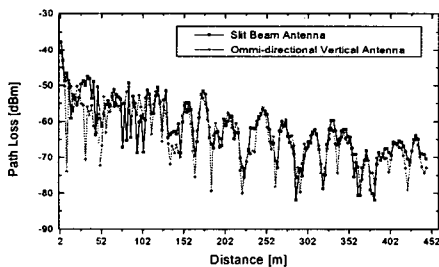


그림 7. 2.45GHz 슬릿빔/무지향성 경로손실
Fig. 7. Path loss for slit beam/omni-directional beam at 2.45GHz

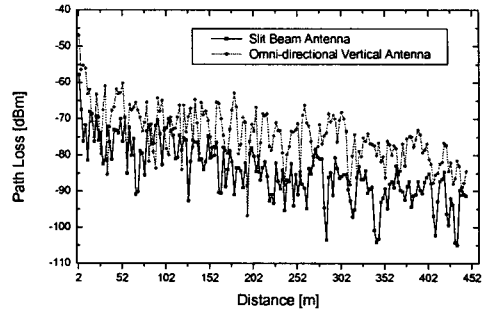


그림 8. 5.8GHz 슬릿빔/무지향성 경로손실
Fig. 8. Path loss for slit beam/omni-directional beam at 5.8GHz

널 특성을 가지므로 송수신기 사이가 멀어질수록 자유공간에서의 경로 손실에 비해 터널 환경에서의 경로 손실이 적음을 알 수 있다.

N-LOS 구간인 175m 지점부터 445m 지점에서 터널의 도파관 현상으로 인하여 자유공간에서처럼 N-LOS 구간에서의 급격한 손실은 보이지 않았고, LOS 구간에서의 손실과 비슷한 경향을 나타내었다. 2.45GHz 대역에서는 두 안테나가 비슷한 수신 전력을 보였으나, 5.8GHz 대역에서는 2.45GHz 대역에 비하여 편파 되는 파의 양이 많으므로 직접파의 영향이 작아져 일정한 빔 폭을 가지고 수신하는 지향성 안테나인 슬릿빔 안테나에 비하여 무지향성 수직 안테나가 약 10dB 정도의 높은 수신 전력을 보였다. 안테나에 따른 주파수 대역별 수신 전력은 2.45GHz 대역에서 두 안테나 모두 수신 전력이 약 12dB 높게 수신되었다.

V. 결론

본 논문은 지하 터널에서의 무선 인터넷 서비스에 필요한 정보를 제공하기 위하여 무지향성 수직 안테나와 지향성인 슬릿빔 안테나를 사용하여 무선 인터넷 서비스 대역인 2.45GHz와 5.8GHz에서 경로 손실과 지연특성을 측정하고 분석 하였다.

경로손실 특성은 전파 경로에 의한 손실이 적으며, LOS 구간이나 N-LOS 구간에서의 손실도 큰 차이를 보이지 않았다. 지연특성에 있어서는 2.45GHz 와 5.8GHz 모두

에서 슬릿빔 안테나는 평균초과지연에 대한 CDF의 중간값(median value)에서 경향이 반대가 되는 현상이 나타났으며 rms 지연확산의 경우 슬릿빔의 확산량이 가장 적음을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 측정 시스템과 프로그램을 사용하여 지하터널의 전파특성을 분석함으로써 터널내의 무선랜 서비스를 위한 정보를 제공할 수 있다.

참고문헌

- [1] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*. London, U.K. : Pentech, 1992.
- [2] T. S. Rappaport, "wireless Communications Principles and Practice", IEEE Press. Prentice-Hall, 1966.
- [3] S.i Shinozaki, M. Wada, A. Teranishi, H.Furukawa and Y. Akaiw, " Radio Propagation Characteristics in Subway platform and Tunnel in 2.5GHz Band", Sixth IEEE International symposium on, Vol.2, 27-29 Sep 1995.
- [4] D. Didascalou. "Subway Tunnel Guided Electromagnetic Wave Propagation at Mobile Communications Frequencies." IEEE Transactions on antennas and propation, vol 49, no. 11, pp 1590-1596, Nov. 2001.
- [5] 김영문, 정민석, 진용욱, 이범선, "곡선 터널 내에서 전파특성 분석" 한국전자파학회논문지 제13권, 제10호, pp.1017-1024, 12, 2002.

- [6] 박노준, 고거다, 송문규, 강영진, "2.4 GHz 대역 무선랜을 위한 지하철 터널 환경에서 Fan Beam의 전파특성," 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집 I, 제26권, 제1호, pp. 298-301, 2003. 7.

저자소개

고 거 다(Geo Da Ko)



2002년 원광대학교 제어계측공학과 학사
2004년 원광대학교 제어계측공학과 석사

2004년 3월 ~ 현재 (주)한국 BEP 기술팀 연구원
※ 관심분야: 무선통신, 전파전파

박 노 준(Noh Joon Park)



1993년 2월 원광대학교 전자공학과 졸업
1995년 2월 원광대학교 전자공학과 공학석사

2004년 8월 원광대학교 전자공학과 공학박사
1995년 8월 ~ 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 시간강사/강의교수
※ 관심분야: RF 수동소자 및 안테나 설계, 전파 측정 및 채널 모델링

강 영 진(Young Jin Kang)

※ 한국해양정보통신학회 논문지 제8권 2호 참조

송 문 규(Moon Kyou Song)

※ 한국해양정보통신학회 논문지 제8권 2호 참조