

## 2.4 GHz 대역 무선 랜을 위한 지하철 터널 환경에서 Fan Beam의 전파특성

이박노준, 고거다, 송문규, 강영진  
원광대학교

### Propagation Characteristics of Fan Beam in Subway Tunnel Environment for 2.4 GHz Band Wireless LAN

°Nohjoon Park, Geo Da Ko, Moon Kyou Song, Young Jin Kang  
Wonkwang University  
E-mail : njpark@wonkwang.ac.kr

#### Abstract

본 논문에서는 2.4 [GHz] 대역에서 1×2 마이크로스트립 배열 안테나를 이용한 지하철 터널내의 전파특성을 고찰하였다. 445 [m]의 터널구간에서 협대역 측정결과 LOS (Line-of-Sight)구간에 비하여 NLOS(Non-Line-of-Sight)구간에서는 수신 전력 레벨이 급격히 감소 하였으며, 10 단 길이의 PN Sequence를 이용한 광대역 채널 측정에서는 Fan Beam의 평균과도지연과 RMS 지연확산이 각각 3.5736 [ns]과 11.7327 [ns]로서 원편파와 지향성 빔에 비하여 우수함을 확인하였다. 또한 전체 측정구간에 대한 평균과도지연과 RMS 지연확산의 중간값과 표준편차를 구하였고 각각의 빔에 대하여 비교하였다.

#### I. 서론

최근 몇 년간 단말기의 이동성이 확보되는 무선 LAN에 대한 관심이 증가하고 있다. 무선 LAN은 사용하는 ISM (Industrial, Scientific, Medical) 밴드 주파수 대역에 따라 크게 2.4 [GHz]대역과 5 [GHz] 대역으로 구분된다. 2.400 ~ 2.483 [GHz] 대역에서는 무선 LAN용 제품들이 상용화되는 중이고 5.725 [GHz] ~ 5.850 [GHz] 대역은 유럽 HIPERLAN/2 및 미국 IEEE 802.11a, IEEE 802.16에서 표준화 및 관련 기술이 개발되고 있는 시점이며 이들 주파수에 대한 실내환경이나 도심환경에서의 전파특성

연구도 활발히 진행되고 있다.

그러나 지하철 터널과 같은 특수한 환경에서의 전파특성에 대한 연구는 국내에서 아직까지 미미한 실정이고 채널 모델링을 위한 데이터의 축적과 이에 대한 분석이 필요한 시점이라고 할 수 있겠다. [1-4].

따라서 본 논문에서는 대전 지하철의 미 개통 구간에서 세가지 형태의 서로 다른 지향성 빔을 갖는 안테나를 이용하여 경로손실(Path Loss)과 지연 프로파일(Delay Profile)을 각각 측정하였다. 송신측은 측정기점 0 [m] 지점에 고정하였고 수신측은 경로손실과 지연 프로파일에 대하여 각각 2.5 [m] 간격과 10 [m] 간격으로 이동하면서 측정을 수행하였다.

#### II. 측정 시스템

지하철 터널 환경에서의 광대역 채널 측정을 위해서 Sliding Correlation 방법을 이용하였다[1-2]. 그림 1과 2는 측정에 사용한 송수신 시스템이다. 송신단의 Baseband에서는 80 [MHz]의 Function Generator를 이용하여 10 단 길이의 PN Sequence를 발생시켰고, 이것은 중심주파수 2.45 [GHz]로 믹싱 된다. 이때 RF 신호 발생기의 출력은 Delay profile 측정의 경우에 +4 [dBm]이었고 Path loss 측정에서는 +10 [dBm]으로 하였다.

도파관 구조를 갖는 터널은 자유공간 혹은 실내환경에 비하여 적은 경로손실을 갖기 때문에 송신단에

HPA(High Power Amp) 등을 사용하지는 않았으며, 같은 이유로 수신단에서는 70 [dB]의 Step Attenuator 를 사용하여 LNA의 선형 증폭 범위를 만족시켰다. 실험에 사용한 LNA의 이득은 43 [dB]이었다.

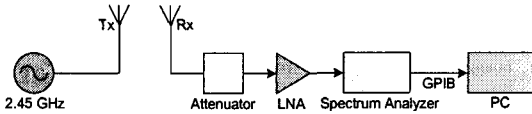


그림 1. 경로손실 측정 시스템

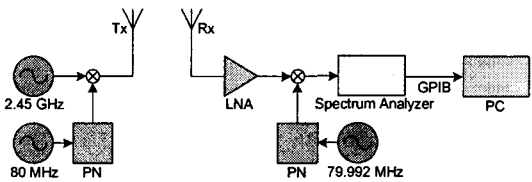


그림 2. 지연프로파일 측정 시스템

수신단에서 사용된 PN Sequence 는 송신단의 것과 동일하며 Clock 주파수는 79.992 [MHz]로서 옵셋 주파수는 8 [kHz] 이다. 경로손실과 지연프로파일 측정은 모두 Spectrum Analyzer 를 이용하였으며 취득 된 데이터는 GPIB Interface 를 통하여 노트북 컴퓨터에 저장된다.

한편 산란체의 위치나 산란 중심을 확인하기 위해서는 Doppler shift의 형태로써 반사파 경로의 도달각을 결정할 필요가 있다. 속도  $v$  로 움직이는 수신기의 Doppler shift 는 다음과 같이 주어진다.

$$f_D = \frac{vf_c}{c} \cos \theta \quad (1)$$

여기서  $c$  는 자유공간에서의 전파속도이고  $f_c$  는 carrier 주파수이며  $\theta$  는 이동방향에 대한 전파의 도달각이다. 또한 STDCC 방법에서 측정되는 최대 Doppler shift 는 다음 식으로 주어진다.

$$f_D = \frac{1}{2km\tau_0} \quad (2)$$

여기서  $k$  는 scaling factor 이고  $m$  과  $\tau_0$  는 각각 PN sequence 의 길이와 클럭 주기이다. 식(1)과 (2)를 비교하면 Doppler-shift resolution 을 구할 수 있다.[1]

지하철의 최대 운행속도가 80 [km/h]인 것을 감안하면  $f_c$  가 2.45 [GHz]인 경우에 최대 Doppler shift  $f_d$  는 식 (1)

에 의하여 181.5 [Hz]가 되며 Doppler-shift resolution 은 0.48 [m/s]( $\approx 1.7$ [km/h])가 된다. 따라서 측정 시스템에서 수신기의 이동속도는 Doppler-shift resolution 을 넘지 않아야 하기 때문에 본 연구에서는 Distance transducer 등을 이용한 실시간 측정 대신에 2.5 [m] 혹은 10 [m] 간격으로 수신기를 이동 시켰다. 측정에 사용된 시스템 파라미터는 표 1 과 같다.

표 1. 시스템 파라미터

Carrier frequency:	2.45 [GHz]
Transmitted power:	+4 or +10 [dBm]
Spreading code:	m-sequence
Sequence length:	1023 [chips]
Chip rate:	80 [MHz]
Time scaling factor:	10000
Ambiguity interval:	12.8 [ $\mu$ sec]
Trace repetition time:	128 [msec]
Doppler-shift resolution:	0.48 [m/s]

터널 환경에서 적합한 Fan Beam 을 구현하기 위하여 1.2 마이크로스트립 배열 안테나를 제작하였고 다른 지향성 안테나와 그 특성을 비교하기 위하여 원형편파(CP: Circular Polarization)를 발생시키는 안테나와 선형편파(LP: Linear Polarization)를 발생시키는 안테나 등 세가지 형태의 지향성 안테나를 사용하였다.

터널 내벽이 높은 압력에 노출되어있는 경우를 제외하면 대개의 터널단면(Cross Section)은 난형이거나 마제형인 경우가 많은데, 이런 경우에는 수평면내 빔폭이 수직면내 빔폭에 비해 좁게 되는 Fan Beam 이 다른 지향성 빔이나 원형편파 안테나에 비해 좋은 전파특성을 갖을 수가 있다. 제작된 2.4 [GHz] 대역 Fan Beam 안테나의 크기는  $10 \times 21.5$  [cm]이고 수직/수평면내 3 [dB] 빔폭은 각각  $60^\circ$  와  $30^\circ$  이며 이득은 10 [dBi]이다.

측정환경은 현재 건설 중에 있는 대전 지하철의 미개통 구간인 4 공구를 대상으로 하였다. 그림 3 에서 승강장을 포함한 터널의 총길이는 1163.45 [m]이고 터널의 시작점 A 는 3 공구와 연결되어 있으며 터널의 종점 B 는 막혀있다. 터널 바닥에는 철로가 깔려있지 않았으며 터널 단면의 우측 하단에는 선로 유지 보수용 통로가 있다. 터널의 단면도는 그림 4 에 나타내었다.

승강장을 벗어난 순수 터널 지역 안에 송신안테나를 고정하여 두고 수신 안테나를 터널 종점 방향으로 이동

시켰으며 이때 LOS 구간은 175 [m]가 되고 NLOS 구간은 270 [m]가 된다. NLOS 를 형성하는 곡선구간은 반경이 350 [m]인 원의 궤적상에 놓이게 된다.

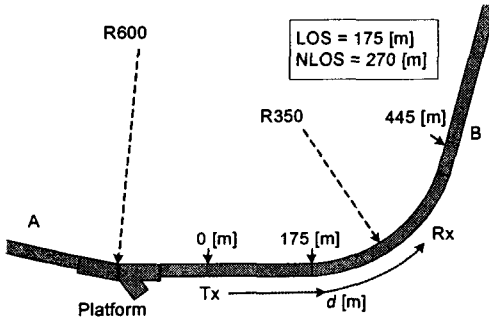


그림 3. 터널의 측정 환경

경로손실 측정을 위해서는 수신기를 2.5 [m] 간격으로 이동시켰고 지연프로파일 측정 시에는 10 [m] 간격으로 이동하였으며 미세구간에서의 페이딩을 확인하기 위하여 송신기점으로부터 11[m] 지점에서 14 [m] 지점까지는 1 [cm] 간격으로 이동하며 경로손실을 측정하였다.

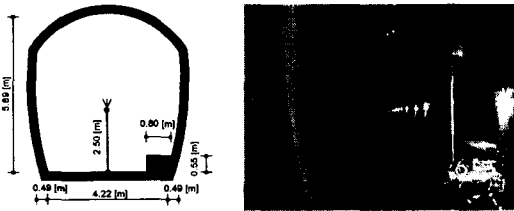


그림 4. 터널의 단면도와 측정환경

안테나의 급전점은 터널 바닥으로부터 2.5 [m] 지점에 위치하며 이것은 승강장 바닥으로부터 0.9 [m]가 된다. 또한 수신기가 이동할 때 안테나의 개구면이 일정한 방향을 향하도록 하기 위하여 안테나 운반용 로리를 제작하였고, 안테나가 터널의 중앙에 위치하도록 기준선을 터널 바닥에 고정하였다.

### III. 측정 및 결과 분석

그림 5 는 445[m] 측정구간에서 얻은 수신전력이다. 지향성 안테나의 수신레벨이 다른 안테나에 비해 높은 이유는 안테나의 이득이 상대적으로 높기 때문이다. 빔폭이 터널에 폭과 같아지는 임계 지점인 11 [m]

지점까지는 자유공간과 같은 경로손실 특성을 보였으며 임계지점 이후 NLOS 시작점 까지 이어지는 LOS 구간에서는 수신 전력의 변화가 미미한 것으로 나타났다.

한편 수신레벨의 fluctuation 특성은 지향성에 비하여 Fan beam 의 경우에 가장 빨리 나타나는 현상을 보였고 175 [m] 지점을 지나는 NLOS 구간에서는 모든 안테나에 대하여 수신전력이 급격히 떨어짐을 확인할 수 있었다.

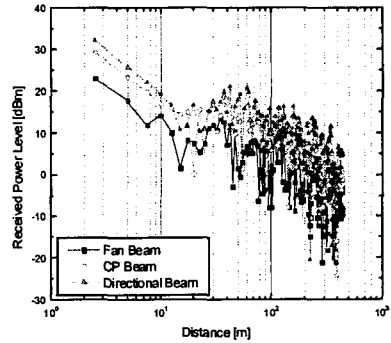


그림 5. Log scale 로 표현한 수신전력레벨

그림 6 은 측정 기점으로부터 11 [m] 지점에서 14 [m] 지점까지를 1 [cm] 간격으로 수신 전력을 측정한 결과이다. 3 [m]의 측정 구간에 대하여 Level fluctuation 이 일어나는 동안 수신 전력의 표준편차를 구한 결과 지향성의 경우 0.929 [dB]이었고 Fan Beam 과 원편파는 각각 3.3489 [dB]와 0.8595 [dB]로서 Fan Beam 의 경우에 Fade margin 이 가장 큰 것으로 확인되었다.

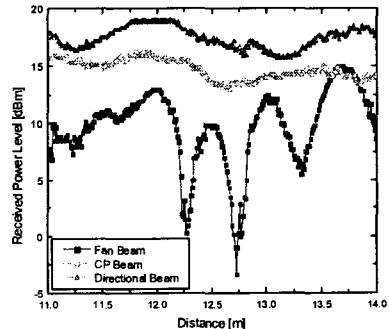


그림 6. 미세 측정구간에서의 수신전력레벨

각 측정 지점에서 구한 평균초과지연과 RMS 지연확산은 그림 7, 8 에 누적분포함수 (Cumulative Distribution

Function: CDF)로서 정리하였다. Fan Beam의 평균초과 지연에 대한 CDF에서는 중간값(Median Value)에서 경향이 반대가 되는 현상을 발견하였고 RMS 지연확산의 경우 Fan Beam의 확산량이 가장 적음을 확인하였다.

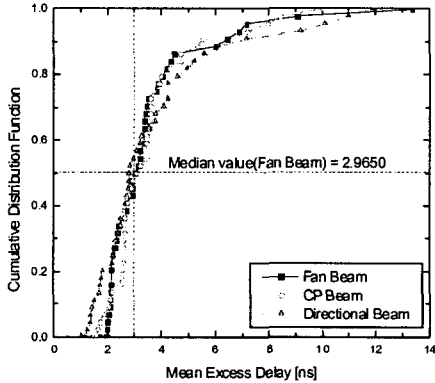


그림 7. 평균초과지연의 누적분포함수

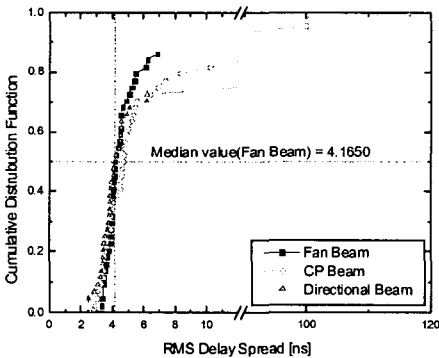


그림 8. RMS 지연확산의 누적분포함수

표 2. Beam 형태에 따른 채널 파라미터

		Mean Excess Delay [ns]	RMS Delay Spread [ns]
Fan Beam	mean	3.5736	11.7327
	median	2.9650	4.1650
	std	2.1905	20.6243
CP Beam	mean	3.4848	16.6355
	median	2.9950	4.7200
	std	1.8956	29.1008
Directional Beam	mean	3.6568	19.4039
	median	2.7950	4.1950
	std	2.6192	27.4521

표 2는 Beam 형태에 따른 채널 파라미터를 계산한 결과이다. Fan Beam 안테나의 RMS 지연확산의 경우 평균값과 중간값이 각각 11.7327 [ns], 4.1650 [ns]임을 확인하였다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 2.4 GHz 대역 무선랜을 위한 지하철터널 환경에서 Fan Beam의 전파특성을 살펴보기 위하여 Sliding Correlation 방법을 적용한 송수신 시스템을 구현하였고, 이를 이용하여 Path Loss와 Delay Profile을 각각 측정하였다.

10 단 길이의 PN Sequence를 사용하였고 송신단 Baseband 주파수는 80 [MHz]로 하였다. 150 [m]의 순수 직선구간을 포함하는 445 [m]의 곡선터널에서 대하여 경로손실을 측정하였고 평균초과지연, RMS 지연확산, 누적확률분포 등을 구하였으며 그 결과를 비교 분석하였다.

<본 논문은 KT 서비스 개발 연구소의 지원으로 수행한 연구 결과입니다>

#### 참고문헌

- [1] J. D. Parsons, "The Mobile Radio Propagation Channel", John Wiley & Sons, 2/E, 2000.
- [2] T. S. Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practice", IEEE Press. Prentice-Hall, 1996.
- [3] 장한용, 구분호, 홍승익, "IEEE 802.11 무선 LAN의 기술과 경향", Telecommunication Review, vol. 12, no.6, pp.799-809, Dec. 2002.
- [4] J. S. Lamminmaki, and J. J. A. Lempinen, "Radio Propagation Characteristics in Curved Tunnels", IEE Proceedings. Microwaves, Antennas and Propagation. vol. 145, pp. 327-331, Aug. 1998.
- [5] D. Didascalou, J. Maurer, W. Wiesbeck, "Subway tunnel guided electromagnetic wave propagation at mobile communications frequencies," IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 49, no. 11, pp. 1590-1596, Nov. 2001.