

# V-밴드 밀리미터파 대역의 실내 통신환경 분석을 위한 경로손실 예측 소프트웨어 개발

전 중 창\*

## Development of Propagation Loss Prediction Software for the Indoor V-Band Millimeterwave Communication Environments

Joong-Chang Chun\*

### 요 약

본 논문에서는, 기하광학 기법을 적용하여 60GHz 대역의 밀리미터파 실내통신환경에서 전파손실 파라미터를 예측할 수 있는 GUI 기반의 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 전기영상법과 광선 추적기법의 두 가지 모듈로 구성되어 있으며, 각각 UTD 이론이 적용되었다. 전기영상법을 사용한 一자형 복도 구조와 광선 추적기법을 적용한 T자형 복도 구조에 대한 결과를 제시하였다. 시뮬레이션 결과 데이터는 기존 논문에서 발표된 측정 데이터와 비교 검증하였으며, 전파손실에 대한 비교결과가 매우 잘 일치 하였다.

### Abstract

In this paper, we have developed a propagation loss prediction software with GUI (Graphic User Interface) functions, based on the geometrical ray optics model, which can predict radio parameters for the deployment of wireless indoor network. The program has two numerical modules consisted with electrical image and ray launching methods to implement UTD theory. The simulated results are compared with reported data measured in the foreign building environments for office and '一' type corridor, and measured and simulated results for the propagation loss agree with each other quite well. Simulation results for '一' type corridor and 'T' type corridor propagation environment are shown for reference.

키워드 : millimeter wave, image method, ray launching, propagation loss prediction, delay spread

## 1. 서론

PCS(Personal Communications System), IMT-2000, 무선 LAN (WLAN), Bluetooth 등과 같은 무선 이동통신 서비스의 활성화는 정보화 시대의 중추를 이루고 있으며, 이와 더불어 ITS용 차량충돌 방지 레이더, DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 위성방송 등과 같은 민수 및 산업체 전반에 걸쳐 전파기술의 활용 분야가 늘어나고 있으며, 미래 디지털 무선통신 시스템은 다양하고 새로운 서비스를 제공할 것이다. 이와 같이 많은 서비스의 실시로 말미암아 기존의 마이크로웨이브 대역에서는 주파수 자원이 고갈되고 있으며, 광대역 멀티미디어 통신수요 제기로 인하여 밀리미터파 대역

의 활용이 불가피하게 되었다.

밀리미터파 채널은 광대역 고속통신이 가능하며, 공간손실 계수가 크므로 주파수 재사용이 가능하다는 장점을 갖는다[1,2]. 그러나 밀리미터파 대역에서는 주변 전파 장애물에 의한 반사, 회절현상으로 인하여 다중경로 페이딩(multipath fading)현상이 심하게 발생한다. 고속 디지털 통신을 위해서는 충분한 링크 버짓(link budget) 확보와 함께 다중경로 전파지연이 작아야 한다. 따라서 밀리미터파 대역 통신 시스템을 구축하기 전에 충분한 링크 버짓을 확보하기 위해 밀리미터파 대역에서의 전파손실을 예측하는 것은 매우 중요하다.

전파손실 예측모델은 측정 데이터를 바탕으로 도출된 통계 경험 모델과 전자파 이론에 근거한 Ray

\* 진주산업대학교 전자공학과 부교수 (jcchun@jinju.ac.kr)

Tracing 모델로 구분해 볼 수 있다[3,4]. 경험 모델(Empirical Model)은 측정자료 수집에 많은 시간과 예산을 요하지만 활용이 간편하며, 기하광학(Ray Optics) 모델은 물리적 환경데이터의 입력과 해석시간이 많이 소요된다. 정확한 결과를 얻기 위해서는 건축재질의 유전을 측정이 먼저 수반되어야 하는 선행조건이 있지만, 기하광학 모델은 site-specific 모델로서 상당히 정확한 전파예측이 가능하다.

본 논문에서는 실내 밀리미터파 통신망 구성을 위한 경로손실과 지연분산 등의 무선 파라미터를 예측할 수 있는 전기영상을 기반한 기하광학 모델과 Ray Launching 기반의 기하광학 모델을 설명하고, 이 모델을 이용하여 사무실 및 복도 환경에 대한 전파 손실과 시 지연을 분석하였다. 전기영상 기반의 방법은 Ray Launching 기반의 기하광학 모델에 비해 해석 시간이 짧고 송수신 안테나의 정확한 위치가 고려되므로 보다 정밀한 결과 도출이 가능하며, 반면에 Ray Launching 기반의 기법은 테스트 광선을 이산적으로 방사하여 전파 채널특성을 구하게 되며, 임의의 물리적 환경에 적용하기가 용이하다.

II. 전파해석 프로그램 설계

이번 장에서는 문헌 [3]과 [4]의 전기영상 기반의 기하광학 모델과 Ray Launching 기반의 기하광

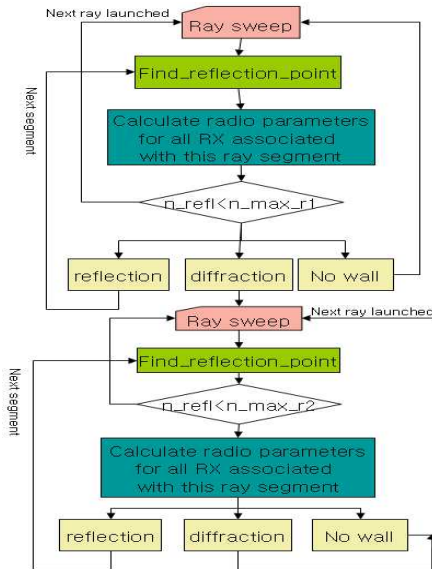


그림 1. 전파해석을 위한 광선추적 흐름도  
Fig. 1 Flor chart for the ray tracing

학 모델의 이론을 근거로 사무실 환경과 복도 환경에서 시뮬레이션을 통해 송수신 위치에 따른 수신 전력과 시 지연 분산을 해석한다. 전파해석을 위한 전체적인 광선추적 흐름도를 그림 1에 도시하였다.

비교적 단순한 구조의 사무실 환경과 복도(—자형) 환경에서는 해석 시간을 줄이기 위해 전기영상 기반의 기하광학 모델을 이용하여 해석하였고, 회절과가 존재하는 복도(T자형) 환경에서는 Ray Launching 기반의 기하광학 모델을 이용하였다. 프로그램은 matlab에서 지원하는 Graphic User Interface(GUI)을 이용하여 사용자가 보다 쉽게 입력값을 넣고, 결과를 볼 수 있도록 하였다. GUI 환

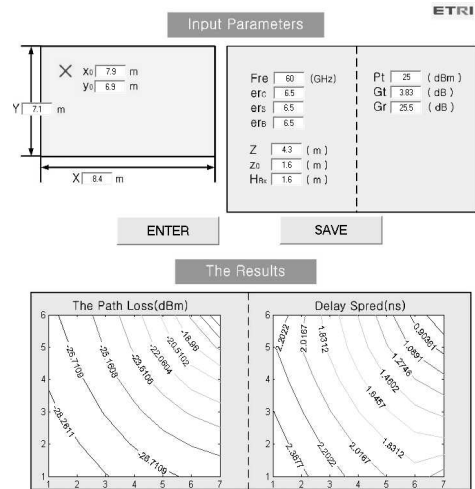


그림 2. 개발된 프로그램의 GUI 환경  
Fig. 2 Example of GUI environment

경에서의 프로그램 화면과 결과를 그림 2에 나타내었다. 해석 하고자 하는 환경의 크기(가로, 세로, 높이), 주파수, 벽의 유전율, 송수신단의 위치, 송수신 안테나의 사양 등을 입력하고, 'ENTER'를 클릭하고, 송수신 안테나의 패턴 정보는 미리 텍스트 파일로 만들어 두어 패턴 파일을 더블 클릭하면 그림 6의 아랫부분과 같이 전송손실과 지연 값이 등고선으로 나타난다. 이 때, 패턴 파일의 처음 행은 각도에 대한 정보가, 그리고 두 번째 행은 각도에 따른 '1'로 정규화된 이득의 정보가 있어야 한다. 'SAVE'를 클릭하면 전송손실과 지연 값이 텍스트 파일로 저장된다.

III. 해석 결과 및 측정 데이터와의 비교

측정 데이터가 발표되어 있는 문헌의 결과와 비교하기 위해 참고문헌 [5]에서 사용한 송수신 안테나를 이용하였다. 송신 안테나는 이득이 3.8dB이고, H-plane에서 Half Power Bandwidth(HPBW)가 74°, E-plane에서 HPBW가 133°인 Open-Ended Waveguide(OEW) 안테나를 사용했고, 수신 안테나는 이득이 25.5dB이고, H-plane에서 HPBW가 7°, E-plane에서 HPBW가 5.6°인 Horn 안테나를 사용했다. 송신 전력은 25dBm 이다.

A. 사무실 및 복도('-' 자형) 환경

참고문헌의 측정 데이터와 비교하기 위해 참고문헌에서 실험한 동일한 환경으로 시뮬레이션 하였다. 육면체 구조의 사무실 크기는 8.4×7.1×4.3 (m)이고, '-' 자형 복도의 크기는 송신단의 위치는 7.9×6.9×1.6 (m)이다. 수신 안테나의 높이는 1.6 m 이다. 사무실과 복도의 천장 및 바닥을 포함한 벽은 콘크리트로 구성되어 있다고 가정하여, 57GHz에서 콘크리트의 유전율은 '6.5-j0.43'여서 60GHz에서도 이와 비슷한 값이라는 가정 하에 '6.5-j0.43'으로 두고 시뮬레이션 하였다. 사무실과 '-' 자형 복도 환경에서 전기영상 기반의 기하광학 모델로 시뮬레이션 한 결과와 참고문헌 [5]를 비교한 값을 아래 표에 나타내었다. 표 1에서 수신 평균 전력은 복도와 사무실 모두에서 논문과 시뮬레이션 결과가 오차가 많이 나지 않음을 볼 수 있다. 시 지연 분산은 사무실에서는 시뮬레이션 결과가 약 2ns가 나왔고, 논문에서는 5ns의 값이 나와 3ns의 차이를 보인다. 복도의 경우에는 논문과 시뮬레이션 결과가 많은 차이를 보이고 있다. 이러한 오차는 논문의 경우는 측정된 환경이 시뮬레이션과 달리 벽의 유전율과 표면이 매끄럽지 않으며, 주위에 교차로, 사무실 문 등등 시뮬레이션에서 고려하지 않은 다양한 물체들이 존재한다. 따라서 실제 환경의 경우에는 송신단과 수신단의 거리가 멀면 멀수록 더 많은 다중 경로 신호가 생길 것이고, 결과적으로 시뮬레이션에서 고려하지 않은 다중 경로 신호로 인해 시뮬레이션 한 시 지연 분산보다 측정된 시 지연 분산이 커지게 된다.

시뮬레이션 시 사무실 환경에서 보다 복도에서

시 지연 분산 값이 작게 나온 이유는 사무실의 경우에는 사무실을 둘러싸고 있는 벽이 4개가 존재하고 복도의 경우는 2개 혹은 3개만 존재하여 다중 경로 신호가 원천적으로 작기 때문이다. 또 복도에서 송수신 거리가 멀어지게 되면 다중 경로를 통해서 들어오는 신호의 전력은 더욱 작고, 따라서 시 지연 분산의 값에 영향을 적게 미치게 되어 시뮬레이션 한 결과와 측정된 결과와 오차가 생기는 것이라 생각할 수 있다. 참고문헌에서 측정된 환경과 같이 실제 환경에서는 복도의 길이가 매우 길고, 다양한 장애물이 존재하므로 시뮬레이션한 시 지연 분산값을 실제 환경에 적용하려면 실제 환경에서 시 지연 분산값을 측정하고, 시뮬레이션과 비교하여 거리에 따른 시 지연 분산의 보정을 해야 할 것이다. 시 지연 분산의 경우에 비해 수신 평균 전력 값은 시뮬레이션 값과

표 1. 시뮬레이션 결과와 참고문헌 [5]의 비교

Table 1. Comparison of simulation and measurement[5]

측정 데이터 [5]			
	송수신 거리(m)	시 지연 분산 ( $\tau_{rms}$ )(ns)	수신 평균 전력(dB)
복도	5	6.24	-16.7
	10	6.48	-24.4
	20	4.56	-32.86
	30	33.87	-36.3
사무실	7.1	4.72	-29.7
	3.8	4.98	-24.2
시뮬레이션 결과			
	송수신 거리(m)	시 지연 분산 ( $\tau_{rms}$ )(ns)	수신 평균 전력(dB)
복도	5	≈0.001	≈-16.6
	10	≈0.002	≈-23.5
	20	≈0.05	≈-29.9
	30	≈0.12	≈-33.1
사무실	7.1	≈2	≈-27
	3.8	≈2	≈-24

논문의 값이 많은 차이를 보이지 않고 있는데, 이는 수신 평균 전력은 다중 경로를 통해 들어온 신호는 전력이 적어 수신 평균 전력에 영향을 미치지 못하고, 주로 LOS 신호가 평균 수신 전력을 결정하기 때문이다.

B. 'T' 자형 복도 환경의 전파분석

T자형 복도 구조에서는 전파환경의 기하학적 처리가 보다 자유로운 Ray Launching 기반의 기하광학기법을 적용하였다. 측정 데이터가 발표되어 있는 문헌의 결과와 비교하기 위해서 그림 3과 같은 구조를 채택하였다. 복도구조의 주요 치수는  $W1=W2=2.9$  m,  $H_{wall}=4.3$  m,  $L1=10$  m,  $L2=12.9$  m,  $L3=45$  m,  $L4=25$  m이며, 송신기 및 수신기의 높이는 1.6 m이다. 밀리미터파 대역의 전자파는 공간 전파손실이 크므로 반사회수는 8회로 제한하였다. 시뮬레이션 결과와 참고 문헌의 측정 결과를 표 2에서 비교하였다. 수신전력에 관한 시뮬레이션 결과는 5 dB내에서 측정결과와 일치하며, 송수신기 사이의 거리가 멀어질수록 잘 일치한다. 시간 지연평균( $\tau_{mean}$ )과 지연분산( $\tau_{rms}$ )에서는 두 결과에서 상당한 차이를 보이고 있는데, 이는 3.1절에서 언급한 다양한 장애물을 시뮬레이션 상에서 고려하지 못한 오차라 생각된다. 아울러 밀리미터파 대역에서 건물 재질에 대한 유전율 및 투자율과 같은 전기상수의 정확한 측정도 필요할 것으로 판단된다. 그림 4는 가시영역과 비가시영역에서 수신단에 도달하는 전파신호의 시간지연 분포를 도시한 것이다.

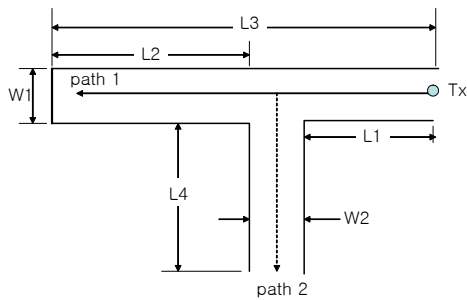


그림 3. 'T' 자형 복도구조

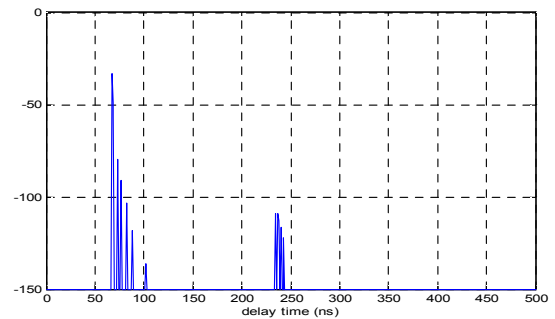
( $W1=W2=2.9$  m,  $H_{wall}=4.3$  m,  $L1=10$  m,  $L2=12.9$  m,  $L3=45$  m,  $L4=25$  m)

Fig. 3 Simulation structure of T-shaped corridor

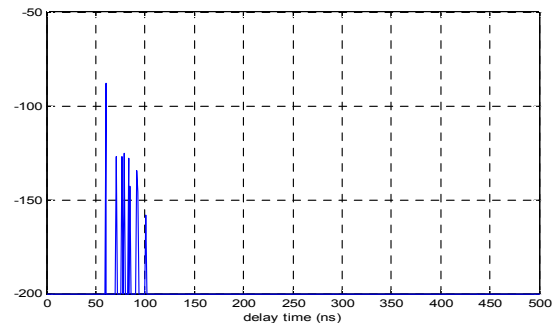
표 2. 가시영역(Path 1)에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과의 비교

Table 2. Comparison of simulation and measurement[5]

T R (m)	측정결과 (문헌 [5])			시뮬레이션 결과					
	$P_r$	$\tau_{mean}$	$\sigma_\tau$	$\alpha = 1.0^\circ$			$\alpha = 0.1^\circ$		
				$P_r$	$\tau_{mean}$	$\sigma_\tau$	$P_r$	$\tau_{mean}$	$\sigma_\tau$
5	-16.7	2.22	6.24	-21.3	16.7	0.024	-21.3	16.67	0.027
10	-24.4	2.78	6.48	-27.3	33.3	0.093	-27.3	33.34	0.092
20	-32.9	2.30	4.56	-32.8	66.8	0.285	-32.9	66.75	0.279
30	-34.7	22.0	33.9	-35.7	100.2	0.375	-34.9	100.2	0.363
40	-36.3	77.3	45.1	-36.2	133.6	0.404	-36.3	133.6	0.392



(a)



(b)

그림 4. 수신 전파신호의 시간지연 분포. (a) 가시영역, (b) 비가시영역

Fig. 4 Time delay profile of received rays. (a) line-of-sight region, (b) non-line-of-sight region

#### IV. 결론

본 논문에서는 밀리미터파 통신 무선채널에서 통신 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 파라미터인 전파손실과 시간지연 분산과 을 계산할 수 있는 GUI 환경을 기반으로 한 프로그램을 개발하였다. 이러한 통신채널 예측 모델은 무선망설계에서 송수신기의 전력설정을 위한 링크버짓(link budget) 산정뿐만 아니라 서비스가 가능한 커버리지(coverage)를 결정하기 위한 기초 데이터를 제공하는 핵심적 역할을 한다. 전기영상법을 사용한 T자형 복도 구조와 광선 추적기법을 적용한 T자형 복도 구조에 대한 결과를 제시하고, 기존 논문에서 발표된 측정 데이터와 비교 검증하였다. 국내 외적으로 수 GHz 대의 UHF 전파 통신 채널에 관해서는 측정 데이터 및 전파손실 모델에 관한 연구 결과가 비교적 많이 발표되어 있지만, 밀리미터파 대역에서 국내 전파환경에서 연구가 수행되지 않으므로, 본 연구결과는 밀리미터파 대역에서 향후 밀리미터파 통신망 구축에 유용하게 활용될 수 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] F. J. Velez, "Frequency Reuse and System Capacity in Mobile Broadband Systems: Comparison Between 40 and 60 GHz Bands," *Wireless Personal Communications*, vol. 19: 1-24, pp. 1-24, 2001.

[2] A. Siamarou, "Broadband Wireless Local-Area Networks at Millimeter Waves Around 60 GHz," *IEEE Antenna and Propagation Magazine*, vol. 45, no. 1, pp. 177-181, Feb. 2003.

[3] M. C. Lawton, "The Application of a Deterministic Ray Launching Algorithm for the Prediction of Radio Channel Characteristics," *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, vol. 43, pp. 955-969, Nov. 1994.

[4] 전중창, "마이크로셀 통신환경의 경로손실 예측을 위한 준 3차원 광선추적 알고리즘," *Telecommunications Review*, 제8권, 제4호, pp. 663-676, July 1998.

[5] H. Xu, V. Kukshya, T. S. Rappaport,

"Spatial and Temporal Characteristics of 60 GHz Indoor Channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 20, No. 3, Apr. 2002.

---

#### 저자약력

---

전중창(Joong-Chang Chun)



1984년 경북대학교  
전자공학과 (공학사)  
1991년 포항공과대학교  
전자전기공학과 (공학석사)  
1995년 포항공과대학교  
전자전기공학과 (공학박사)  
1995년-1997년 한국통신  
연구개발본부 선임연구원  
1997년-2003년 위덕대학교  
정보통신공학과 조교수  
2003년-현재 진주산업대학교  
전자공학과 부교수

<관심분야> 마이크로파 회로 및 센서, 안테나, 전파전파 해석