5G/IoT 시대의 밀리미터파 대역 전파전파 기술동향
(Harmonized Site-General Path Loss 모델 개발)

김종호 · 윤영근 · 김명돈 · 정영준

한국전자통신연구원

Ⅰ. 서 론

새로운 무선서비스가 등장하면 이를 위한 후보 주파수 대역의 전파특성을 확인하고, 기존 주파수 대역을 공동 사용하거나, 새로운 주파수 대역으로 할당이 가능한지 고려해야 한다. 신규 무선 서비스를 위해 적절한 주파수 대역을 선정하기 위해서는 해당 서비스와 주파수 분배의 용도가 서로 같아야 하고, 할당하려는 대역에 기존의 다른 서비스가 사용중인가를 확인하는 작업이 우선적으로 필요하다. 만약, 해당 대역이 미사용 중이면 서로 인접한 대역의 간섭분석을 통해 적절한 보호대역을 설정하고 사용할 수 있다. 그러나 할당 예정 대역에서 이미 다른 서비스가 사용되고 있으면, 주파수 공유 분석을 통해 공동사용이 가능한가를 검토 후, 공유가 가능한 경우에 한하여 인접대역과 간섭분석을 실시하여 적절한 보호 대역을 산정한다.

전파모델은 무선전파 환경 변화에 따라 새롭게 지속적으로 개발되어 왔다. 고정통신부터 시작해서 초기 2세대(2G) 이동통신을 거쳐 디지털로 변환되고, 3세대/4세대(3G/4G)를 위한 초고속통신과 핫스팟 환경에 대응하기 위하여 적용되는 전파모델로 변화하였다. 이를 위해 선진국들은 일찍부터 측정을 통한 실험적 전파모델을 개발하는데 많은 시간과 자본을 투입하였다[1]~[4]. 지금까지의 전파모델은 선진국의 전유물이었고, 대부분이 측정에 기반을 둔 전파모델이기 때문에, 측정 환경의 영향을 무시할 수 없었으며, 선진국의 도시 환경이 전 세계적인 전파모델의 기본이 되었다. 그러므로 이러한 전파모델을 국내 무선서비스 환경에 적용할 경우, 실측정을 통해 확인해 보면, 오차가 커지는 단점이 있었고, 이를 극복하기 위한 노력으로 국내 환경에서 측정 기반의 전파모델 개발이 필요하게 되었다.

최근 이동통신 기술이 5세대(5 Generation: 5G)에 들어가고 사물인터넷(Internet of Things: IoT) 통신이 등장하면서 주파수 부족 현상이 곳곳에서 심화되었고, 이를 해결하는 방안으로 밀리미터파 대역을 이용하려는 움직임이 나타나기 시작하였다[5]~[8]. 그동안 밀리미터파 대역은 고정통신용으로 사용되어 왔으며, 가시거리 영역 같은 한정된 전파환경만 고려하면 되었기 때문에, 전파모델도 단순하였다. 그러나 고정이 아닌 이동통신용으로 고려할 경우, 다중경로 특성 등을 고려한 새로운 전파모델이 필요하게 되었고, 이미 밀리미터파 대역을 사용하는 위성 등 다른 무선서비스들과 주파수 공유문제를 해결하기 위하여 밀리미터파 대역에서 적용 가능한 이동통신용 전파모델 개발이 시급해졌다.

이러한 전파모델에 대한 전 세계적 필요성에 의해, 유럽을 중심으로 METIS(Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society) 프로젝트[9] 및 COST 프로젝트[10], 미국을 중심으로 5G Alliance(5G mm Wave Channel Model Alliance)[11]가 결성되어 연구가 진행되었다. METIS는 핀란드, 일본, 스웨덴, 독일 등에서 노키아, 오울루 대학, NTT DOCOMO, 에릭슨, 프라운호퍼 등이 공동 참여하였으며, 5G Alliance는 미국의 NIST(The National Institute of Standards and Technology)가 주도하면서, NIM, Keysight, Colorado 대학, NY 대학, Wisconsin 대학, AT & T, National Instruments 등이 참여하고 있다. 국내에서는 2013년 경부터 밀리미터파 대역을 이동통신용으로 사용하기 위하여 필요한 전파모델 개발을 미래창조과학부의 지원으로 시작하여, 밀리미터파 대역 측정용 광대역 채널사운더를 한국전자통신연구원에서 개발하였고, 실환경 전파특성 측정캠페

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017-0-00066, 선제적 주파수 이용을 위한 시 · 공간적 스펙트럼 엔지니어링 기술 개발)

인을 실시하여 28 및 38 GHz 대역의 측정기반 전파모델을 개발하였다[12]. 또한 2014년부터 국내에서 개발한 측정 기반의 28 GHz 대역 경로손실 모델 및 지연 확산 결과들을 전 세계적 공통 모델로 활용하기 위해 ITU-R(국제전기통신연합-무선통신)에 기고하기 시작하였고, 2016년에 28 및 38 GHz 대역 국내 도심지 환경에서 측정한 전파특성 측정 결과로부터 얻어진 데이터를 이용하여 새로운 전파모델을 제시하였다[13]~[15]. 또한, 전파환경 분류에 따라 동일 환경으로 분류되는 도심 및 부도심 환경에서 한국, 영국, 일본 등 국가마다 상이한 차이를 갖는 전파모델을 조화롭게 통합하는 방안을 합의하여 0.8~73 GHz에서 적용할 수 있는 'Harmonized site- general path loss model(통합된 사이트 일반 경로손실 모델)'을 개발하여 권고서 ITU-R P.1411에 새롭게 반영되었다[16],[17].

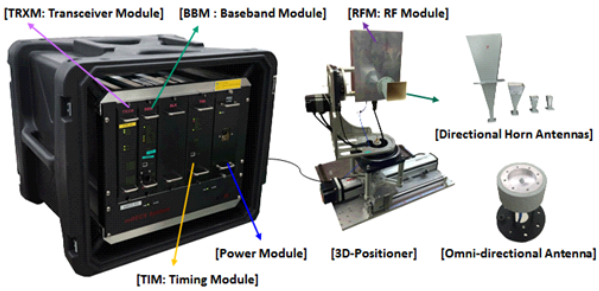
Ⅱ. 주요국의 전파모델 개발 활동

ITU-R 권고 P.1411-8은 전파의 도달거리가 1 km 이내인 짧은 거리의 옥외(outdoor) 무선통신 환경의 경로 손실 및 다중 경로 특성 예측방법을 정의하고 있다[18]. 여기에 나온 경로손실 예측 모델은 다양한 전파환경(도심, 부도심, 주택지, 초고층, 고층, 저층 등)과 지붕 위(over roof-top), 지붕 아래(below roof-top) 등과 같은 기지국의 높이와 전파 전달 경로에 따른 분류로 나누어졌으며, 각 분류별로 별도의 전파 예측 모델 수식들이 개발되어 있다. 그러나 향후 IMT-2020(5G) 신규의제에 사용될 수 있는 전파모델의 경우, 24.25~86 GHz 범위에 적용 가능한 모델 개발이 더 필요하게 되지만, 현재의 ITU-R 권고 P.1411에 포함된 경로손실 모델은 도심, 지붕 아래의 경우 최대 16 GHz까지 적용 가능하며, 부도심, 지붕 위의 경우는 최대 20 GHz까지만 가능하며, 주택지는 최대 26 GHz까지 적용 가능하고 그 이상의 주파수에 대해서는 적용할 수 없었다.

IMT-2020(5G) 신규 의제에 사용 가능한 전파모델을 제공하려면 주파수뿐만 아니라, 각각의 환경(도심, 부도심 등)에서 모든 경로 및 거리에 적용이 가능한 모델이어야 한다. 따라서 특정 환경 및 전파 경로 기준으로 개발된 'site-specific (사이트 한정)' 모델보다 일반화가 가능한 환경 및 전파경로 기준으로 개발된 통계적인 'site-general(사이트 일반)' 모델이 더 적합하다. 이에 따라 한국전자통신연구원에서는 2014년부터 '모바일 빅뱅 시대의 주파수 효율 개선 핵심기술 개발'을 통해 관련 전파모델을 개발하기 시작하였다[12]. 해당 사업에서 28 및 38 GHz에서 동작하고, 채널대역폭 500 MHz의 광대역 전파 특성을 측정 및 분석하기 위한 장치를 개발하여 전파측정 캠페인을 통해 다양한 실측 데이터를 획득하였다.

[그림 1]은 28 및 38 GHz 대역 전파특성 측정시스템의 개발 결과로서, 기저대역 모듈(BBM), IF 신호처리 모듈(TRXM), 타이밍 모듈(TIM), 28 및 38 GHz 용 RF 모듈(RFM) 및 혼 안테나로 구성된다. 전파 특성 측정시스템의 송신기 기저대역 모듈에서 생성된 500 MHz 대역의 측정용 PN(Pseudo Noise) 신호는 TRXM 및 RFM을 거쳐 28 및 38 GHz RF 주파수로 상향 변환된 후, 송신용 혼 안테나를 통해 송출된다. 수신기에서는 안테나를 통해 수신된 RF 신호로부터 상호상관된 CIR(Channel Impulse Response) 응답 신호로 변환하고, 기저대역 모듈에서 A/D(Analog to Digital Convert) 변환을 통해 데이터를 획득 및 저장하도록 개발되었다. <표 1>은 개발된 전파특성 측정시스템의 제원을 나타내며, [그림 2]는 28 및 38 GHz 대역 광대역 송수신 전파 측정시스템의 송신기와 수신기를 각각 설치하여 측정하는 모습을 보여준다. 실외 측정을 통해 수집된 데이터는 통계적 분석과정을 통해 일반적으로 Close-in(CI) 모델과 alpha-beta(AB) 경로손실 모델로 도출이 가능하다. CI 모델은 ITU-R 권고 P.1411에 소개되어 있으며, 송신기와 수신기간의 거리에 따라서 다음 식으로 표현된다.

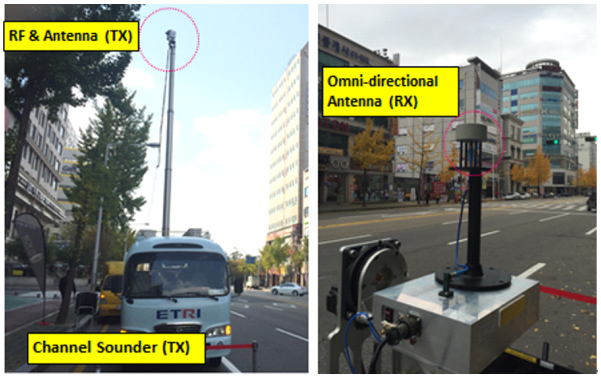
$$L_{LoS}(dB) = L_O + 10n\log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right) + L_{gas} + L_{rain} \qquad (1)$$



[그림 1] 28 및 38 GHz 대역 전파특성 측정시스템

〈표 1〉 28 및 38 GHz 대역 전파특성 측정시스템 제원

구분	제원
중심 주파수(GHz)	28, 38
측정 대역폭(MHz)	500
PN 코드의 길이(chips)	4,095
다중경로 분해능(nsec)	2
최대 송신전력(RF 출력)(dBm)	+29 @ 28 GHz +21 @ 38 GHz
자동제어이득 범위(dB)	60
혼 안테나(송신, 30˚)이득(dBi)	15.4 @ 28 GHz 16.4 @ 38 GHz
옴니 안테나(수신) 이득(dBi)	5 @ 28 GHz 6 @ 38 GHz



[그림 2] 국내 28 GHz 및 38 GHz 대역 도심지역 전파특성 측정 모습

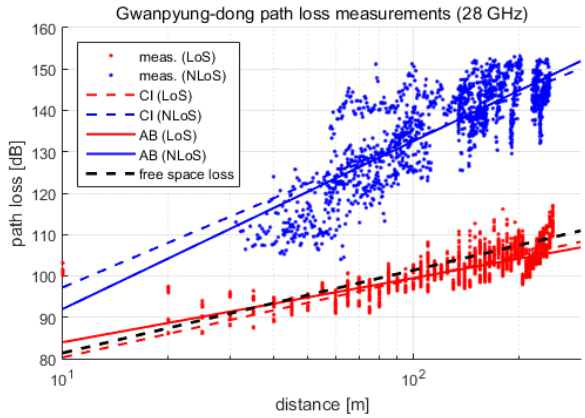
여기서, d는 송수신 사이의 거리, d_o는 기준 거리, 그리고 n은 경로손실 지수이다. L_{gas}와 L_{rain}은 각각 대기(gas)와 강우(rain)에 의한 감쇠를 나타낸다. 식 (1)에서 경로손실 L_o는 기준거리 d_o로부터의 자유공간 손실로 가정되며, 이때 기준거리 d_o는 1 m이다. 또한 강우감쇠 L_{rain}와 대기감쇠 L_{gas}는 측정 데이터 기반일 경우, 그 경로손실 지수에 포함되기 때문에, 0으로 간주할 수 있다. AB 모델은 식 (2)와 같이 주어지며,

$$L_{AB}(dB) = 10\alpha\log_{10}(d) + \beta + X_\sigma \qquad (2)$$

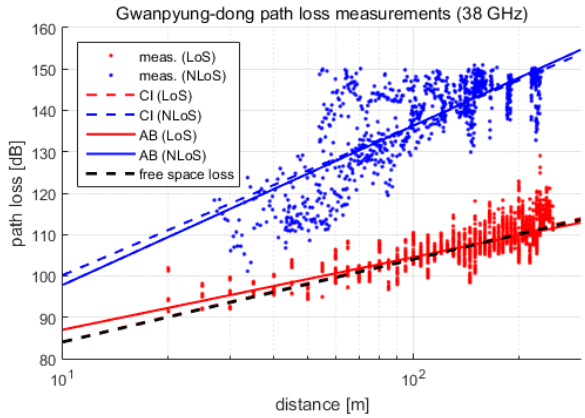
여기서, d는 송수신 사이의 거리, α는 거리에 따른 감쇠계수, β는 경로 손실의 floating offset 값, X_σ는 정규 분포(log-normal distribution)를 가지는 shadow fading factor이며, σ는 표준편차이다. [그림 3]은 측정 결과와 각각을 CI 모델과 AB 모델로 근사화한 커브를 나타낸다. 또한, 〈표 2〉와 〈표 3〉은 각각 CI 모델과 AB 모델의 최적화된 파라미터들을 나타낸 것이다.

일본의 경우, 〈표 4〉와 같이 0.8～37 GHz 범위의 다양한 주파수 대역에서 도심 지역을 중심으로 경로 손실 특성을 측정하였으며, 2016년 ITU-R SG3 회의에 〈표 5〉 및 〈표 6〉과 같은 결과를 기고하였다[19],[20].

또한, 영국은 51～57 및 67～73 GHz 대역에서 주로 주변 건물의 높이가 낮은 도심지역이나 캠퍼스와 같은 부도심 지



(a) 28 GHz 대역



(b) 38 GHz 대역

[그림 3] 국내 경로손실특성 측정결과 (도심 저층환경, 송신안테나높이=4 m, 수신안테나높이=1.5 m)

〈표 2〉 CI 모델의 경로손실 계수(n)와 표준편차(σ)

환경	안테나 높이(m)		주파수 (GHz)	LoS		NLoS		거리 범위 (m)
	송신	수신		n	σ(dB)	n	σ(dB)	
도심 고층	10	1.5	28	2.13	1.73	2.96	3.81	< 180
			38	2.14	1.69	2.99	5.42	
도심 고층	4	1.5	28	2.19	5.58	3.21	7.94	< 380
			38	2.29	5.95	3.26	8.29	
도심 저층	4	1.5	28	1.89	3.26	3.58	6.59	< 250
			38	2.02	3.12	3.62	7.23	

역을 중심으로 측정을 수행하여 경로손실 모델을 제안하였다[21],[22]. 지붕 아래와 지붕 위 전파 경로를 고려하여 전파 모델을 도출하였으나, 측정 주파수가 높고 지향성 수신 안테나의 회전을 통해 측정하였으므로, 다른 국가/산업 대비 많은 데이터들을 확보하지 못하였다. 이외에도 인텔 등의 산업체에서 측정결과를 이용한 전파모델들이 기고되었다[23].

Ⅲ. 통합된 사이트 일반 경로손실 전파모델 개발

2016년 ITU-R SG3 회의에서 한국, 영국, 일본 및 인텔 등 산업체가 각자 6 GHz 이상 초고주파 대역의 측정 결과를 이용하여 각각의 전파모델을 기고함에 따라 동일한 도심 및 부도심 환경이라 하더라도 각기 다른 전파모델이 발생하는 현상이 생겼다. 따라서 이를 해결하기 위하여 한국의 주도하에 각 기관들의 측정데이터를 모두 제출하도록 하고, 저주파 대역부터 고주파 대역까지 모두 사용할 수 있는 통합

〈표 4〉 일본 전파특성 측정파라미터

항목	값
주파수(GHz)	0.8, 2.2, 4.7, 26.4, 37.1
송신 안테나 높이(m)	10
수신 안테나 높이(m)	2.5
송/수신 안테나	Omni-directional
환경	도심지역 1(가야바초)
	도심지역 2(니혼바시)

〈표 5〉 측정기반 ABG 모델 파라미터

측정영역	LoS/NLoS	α	β	γ	σ(dB)
도심지역 1 (가야바초)	LoS	1.6	39.4	2.0	2.5
	NLoS	3.9	12.5	2.3	8.0
도심지역 2 (니혼바시)	LoS	1.6	40.3	2.0	3.4
	NLoS	3.3	25.6	2.0	6.0
평균 값	LoS	1.6	39.9	2.0	3.0
	NLoS	3.6	19.0	2.1	7.0

〈표 6〉 측정기반 CI 모델 파라미터

측정영역	LoS/NLoS	n	σ(dB)
도심지역 1 (가야바초)	LoS	2.0	2.8
	NLoS	3.1	8.3
도심지역 2 (니혼바시)	LoS	2.0	3.8
	NLoS	3.0	6.1
평균 값	LoS	2.0	3.3
	NLoS	3.1	7.2

〈표 3〉 AB 모델의 경로손실 계수(α,β)와 표준편차(σ)

환경	안테나 높이(m)		주파수 (GHz)	LoS			NLoS			거리 범위 (m)
	송신	수신		α	β	σ(dB)	α	β	σ(dB)	
도심 고층	10	1.5	28	1.52	73.7	1.47	4.13	38.9	1.47	< 180
			38	2.15	63.8	1.69	4.81	28.9	1.69	
도심 고층	4	1.5	28	2.53	54.1	5.49	5.16	23.2	5.49	< 380
			38	2.37	62.2	5.95	5.44	21.2	5.95	
도심 저층	4	1.5	28	1.55	68.5	3.1	4.05	51.5	3.1	< 250
			38	1.75	69.5	3.03	3.85	59.4	3.03	

된 일반적인 경로 손실 모델을 만들기로 합의하였다[24],[25].

영국[21],[22]의 경우, 51～57 및 67～73 GHz 대역에서 주변 건물의 높이가 낮은 도심 지역(urban low-rise)을 중심으로 측정하여 경로손실 모델 계수들 및 지연확산과 편파특성을 제안하였다. 지붕 아래와 지붕 위 전파 경로를 모두 고려하기 위해 송신 안테나를 설치하였지만, 다른 국가에 비해 많은 데이터들을 확보하지 못하였다. 따라서 한국은 주파수 대역에 따라 도출되는 모델의 계수가 통합 수집된 데이터 량에 따라 데이터 량이 많은 주파수 쪽으로 치우칠 수 있는 문제점을 제기하였으며, 이에 다른 국가들이 제출한 주파수별 데이터 샘플수를 최소 영국의 데이터 량에 맞추도록 서브샘플링 방법을 제안하였다.

일본[19],[20]은 0.8, 2.2, 4.7, 26.4 및 37.1 GHz 대역에서 주로 도심지역을 중심으로 측정을 수행하였으며, 주파수 의존성을 고려한 alpha-beta-gamma(ABG) 모델을 제안하였다. 일본은 한국에서와 같이 전방향 수신 안테나를 사용했을 뿐 아니라, 약 500 m까지의 장거리에서도 측정 데이터를 확보하였다. 그러나 타 국가들이 500 MHz 이상 광대역 신호를 이용하여 측정을 수행한 것에 비해 협대역 CW(Continuous Wave) 신호를 이용하여 측정을 수행하였으며, 제시된 측정 데이터들 중 일부는 SNR(Signal to Noise Ratio)이 매우 낮은 조건의 데이터를 포함하고 있다는 문제점이 제기되었다. 따라서 통합되는 전파모델의 신뢰성을 높이기 위해 최소 10 dB 이상의 SNR 조건에서의 측정 데이터를 제시하도록 요구되었다.

인텔은 독일 프라운호퍼 HHI(Heinrich-Hertz-Institut)와 공동으로 10과 60 GHz 대역에서의 경로손실 측정결과를 2016년 ITU-R WP3K 회의에 제안하였으며, 한국과 영국의 제안에 따라 측정 데이터를 공유하여 통합모델 개발에 동참하기로 결정하였다.

2016년 ITU-R SG3 회의에서는 이와 같이 통합된 사이트 일반 경로 손실 모델을 만들기 위해 각 국의 측정 데이터를 공유하는데 합의하였으며, 통합 전파모델 도출을 위한 구체적인 방안은 차기 SG3 회의 전까지 ITU-R WP3K 산하 CG(Correspondence Group) 3K-6 대응그룹에서의 온라인 모임을 통해 합의하기로 결정하였다. 그리하여 한국이 CG 3K-6 그룹의 온라인 모임을 주도하기로 하였으며, 총 5회에 걸친 컨퍼런스 콜과 전자우편 연락망을 통해 통합 모델 개발을 위한 방법론을 논의하였으며, 다음과 같은 여러 가지 쟁점 사항들에 대하여 합의된 결론을 이끌었다[25]. 우선 통합 모델은 경로손실 지수, 옵셋 및 주파수 의존지수를 포함하는 ABG 모델로 합의하였다. 또한 주파수 대역별 통계적 모델을 도출하기 위하여 측정결과 데이터의 수량을 균일하게 만들기 위한 데이터 서브샘플링 방법을 채택하는데 합의하였다. 여기서 서브샘플링 방법으로서 한국이 분석 결과를 통해 제기한 “로컬 미디언” 방법을 활용하기로 합의하였다. 또한 전체 주파수 범위를 포함하는 단일 통합모델을 개발할 지 혹은 광범위한 주파수 범위를 대역별로 나누어 여러 개의 모델로 개발할지에 관해 마지막까지 미합의로 남아 있었으나, 결국 단일 통합모델로 합의되었다. 단일 통합모델 경우의 더 많은 데이터를 기준으로 통계 값들을 구할 수 있기 때문에 전체적으로 더 신뢰 있는 모델이 개발될 수 있지만, 반면, 너무 넓은 주파수 범위를 대표할 경우, 경계 주파수 쪽으로 갈수록 모델과 실제 측정과 오차가 상당히 커질 위험도 내재하고 있다. 측정 거리 사용 범위에 대해서도 여러 문제가 있었지만, 모든 주파수에서 공통된 거리에 측정 데이터가 존재할 경우, 가장 신뢰성이 있다는 한국의 제안을 받아들였다. 마지막으로 도심과 부도심의 데이터 통합에 대해서는 각 환경에 대한 전파 특성이 매우 다를 수 있으므로 각 환경을 따로 분석 후 비슷한 특성이 나타날 경우에는 데이터를 통합하는 방향으로 합의하였다.

이와 같이 합의된 내용을 바탕으로 새롭게 만들어진 통합 전파모델은 [그림 4]와 같으며, 최종적으로 도출된 통합 경로손실 모델의 계수치는 〈표 7〉과 〈표 8〉에 나타내었다. 또한, 해당 내용은 2017년 3월에 열린 ITU-R SG3회의에 제시되었으며, ITU-R 권고 P.1411-8의 개정으로 승인되었다[17].

$$PL(dB) = 10\alpha\log_{10}(d) + \beta + 10\gamma\log_{10}(f) + X_\sigma \qquad (3)$$

여기서, d: 송수신기 사이의 3차원 직선거리(m)

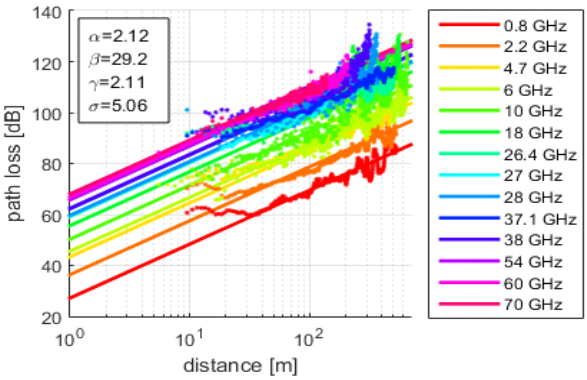
f: 주파수(GHz)

α: 거리에 따른 경로손실의 증가 계수

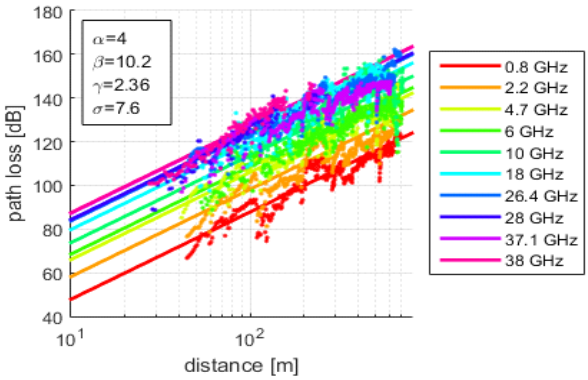
β: 경로손실의 오프셋 값

γ: 주파수에 따른 경로손실의 증가 계수

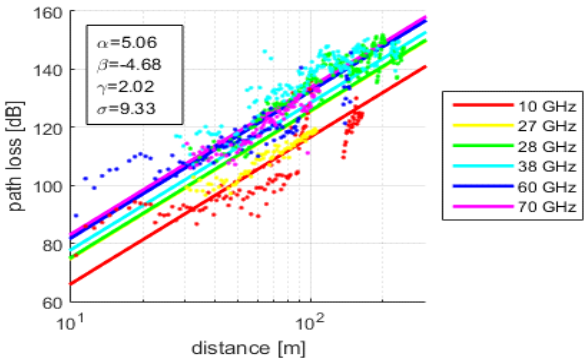
X_σ: 정규 분포(log-normal distribution)



(a) 지붕 아래 도심 및 부도심 환경의 가시영역(LoS) 경로손실 특성



(b) 지붕 아래 도심 환경의 비가시영역(NLoS) 경로손실특성



(c) 지붕 아래 부도심 환경의 비가시영역(NLoS) 경로손실특성

[그림 4] 통합된 사이트 일반 경로손실 모델 결과

Ⅳ. 5G/IoT 시대 전파모델 개발의 의의

5G/IoT 시대에는 유무선 통합 All-IT(All-Information Technology) 기반으로 4G 대비 1,000배 용량 증대 및 에너지 절감, 언제 어디서나 개인당 Gbps급의 체감 속도 제공, 대규모 디바이스의 수용 등의 서비스 제공을 목표로 하고 있다. 구체적으로는 초고용량 영상 콘텐츠가 보편화되어 홀로그램 서비스로 확대될 것이고, 생각하는 순간 반응하는 양방향 초실시간 서비스가 실현되며, 실시간 원격 제어 서비스가 활성화될 것이고, 본격적으로 완전한 자율 주행시대가 도래할 것으로 예상되고 있다. 이와 같은 5G/IoT 시대의 모든 무선기기들은 각자가 사용되는 환경, 운용 방법, 사용 주파수들 때문에 전파 전파(radiowave propagation) 현상도 다르게 나타나므로, 각각을 만족시킬 수 있는 전파모델도 각각에 적합한 것이 필요하게 될 것이다. 특히 밀리미터파 대역을 사용하게 되면서 기존의 전파모델들과 확연한 차이로 인해 새로운 전파모델의 필요성은 진작 강조되어 왔다.

이번에 완성된 밀리미터파 대역에서 사용할 수 있는 통합된 사이트 일반 경로손실 표준모델은 6~38 GHz까지 한

〈표 7〉 측정기반 통합된 사이트 일반 경로손실 계수 파라미터 (지붕 아래 전파의 경로손실 계수)

주파수 범위 (GHz)	거리 범위 (m)	환경 종류	LoS/ NLoS	α	β	γ	σ(dB)
0.8~73	5~660	도심 고층, 도심 저층/ 부도심	LoS	2.12	29.2	2.11	5.06
0.8~38	30~715	도심 고층	NLoS	4.00	10.2	2.36	7.60
10~73	30~250	도심 저층/ 부도심	NLoS	5.06	−4.68	2.02	9.33

〈표 8〉 측정기반 통합된 사이트 일반 경로손실 계수 파라미터 (지붕 위 전파의 경로손실 계수)

주파수 범위 (GHz)	거리 범위 (m)	환경 종류	LoS/ NLoS	α	β	γ	σ(dB)
2.2~73	55~1,200	도심 고층, 도심 저층/ 부도심	LoS	2.29	28.6	1.96	3.48
2.2~66.5	260~1,200	도심 고층	NLoS	4.39	−6.27	2.30	6.89

국의 각 도심지역(서울, 광주, 대전 등) 전파환경 측정 자료를 토대로 개발되었다. 또한 해당 모델은 일본(0.8～37 GHz, 도심), 영국(27～73 GHz) 및 인텔 등 여러 국가나 산업체에서 측정한 자료들을 한국이 주도하여 통합한 모델로써 한국의 국제적 위상을 높였을 뿐만 아니라, 향상된 역량을 함께 보여줄 수 있는 기회가 되었다. 이러한 성과는 향후 20 Gbps 이상의 데이터 전송이 가능하고, 100만 개 이상의 IoT 등 고밀도(핫스팟) 지역의 초 광대역 서비스 등 차세대 전파통신 시스템 개발 및 주파수 활용에 원활히 적용할 수 있도록 기초를 다진 것으로 볼 수 있다.

이번에 개발된 모델은 계속 보완되고 수정되어서 부족한 부분을 채우고, 모델의 신뢰도를 높여야 하는 등의 추가 연구가 남아 있지만, 2019년에 열릴 WRC-19(국제전파통신총회-19)까지 한국이 주도하여 개발한 표준모델이 국제적으로 주파수 확보를 위해 논의되고 있는 국가간 또는 타 업무간 공유 및 간섭 여부 계산에 기본모델이 되었다는 점은 괄목한 만한 업적이라 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio services", *Review of the Electrical Comm. Lab.*, vol. 16, no. 9, 1968.

[2] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, no. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.

[3] T. Rappaport, S. Seidel, and R. Singh, "900-MHz multipath propagation measurements for U.S. digital cellular radio-telephone", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 39, pp. 132-139, 1990.

[4] H. Xia, H. Bertoni, L. Maciel, A. Lindsey-Steward, and R. Rowe, "Microcellular propagation characteristics for personal communications in urban and suburban environments", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 43, pp. 743-752, 1994.

[5] P. Smulders, L. Correia, "Characterisation of propagation in 60 GHz radio channels", *Electronics Communication Engineering Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 73-80, Apr. 1997.

[6] T. S. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G. Wong, J. Schulz, M. Samimi, and F. Guitierrez, "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!", *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335-349, 2013.

[7] G. R. MacCartney, M. Samimi, and T. S. Rappaport, "Omnidirectional path loss models from measurements recorded in New York city at 28 GHz and 73 GHz", in *IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*(*PIMRC*), Sep. 2014.

[8] T. S. Rappaport, R. MacCartney, M. Samimi, and S. Sun, "Wideband millimeterwave propagation measurements and channel models for future wireless communication system design", *IEEE Trans. on Communications*, vol. 63, no. 9, pp. 3029-3056, Sep. 2015.

[9] Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society (METIS), *Deliverable D1.4, "METIS channel models"*, *version* 1, Feb. 2015.

[10] COST IC1004 White Paper, "Channel Measurements and Modeling for 5G Networks in the Frequency Bands above 6 GHz", Apr. 2016.

[11] "5G mmWave channel model alliance", https://drive.google.com/file/d/0B9YlaU287XvKMFJteVpDU194bkk/view?usp=sharing

[12] 미래창조과학부, "모바일 빅뱅 시대의 주파수 효율 개선 핵심기술 개발", 한국전자통신연구원 최종보고서, 2017년 2월.

[13] KOREA, "Proposed revision of recommendation ITU-R P.1411-8 - Street Canyon NLOS propagation model", *ITU-R SG3*, *3K49*, 2016.

[14] KOREA, "PropCCCC short-range outdoor radio communication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz", *Recommendation ITU-R* P.1411-8, 2015.

[15] KOREA, "Millimetre-wave propagation model with location variability in urban environment", *ITU-R SG3, 3K53*, 2016.

[16] Rec. ITU-R P.1411-8, "Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radio

communication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz", 2015.

[17] Chairman, WP3K, "Report on the meeting of working party 3K", *ITU-R SG3*, *3K162*, *Annex 3*, 2017.

[18] ITU-R SG3, "Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz", *Recommendation ITU-R* P.1411-8, 2015.

[19] JAPAN, "Proposed revision to recommendation ITU-R P.1411-8 - Extension of prediction method up to 40 GHz within NLOS urban street canyons", *ITU-R SG3, 3K61*, 2016.

[20] JAPAN, "Proposed revision to Recommendation ITU-R P.1411-8 - Proposal of site-general path loss model for urban area", *ITU-R SG3, 3K62*, 2016.

[21] United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, "Proposed revision to Recommendation ITU-R P.1411-8 - Propagation and prediction methods for the planning of short-range outdoor radio-communication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz - Path loss models in the frequency range of 50-73 GHz for low rise urban environments", *ITU-R SG3*, *3K43*, 2016.

[22] United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, "Information document on channel propagation experimental measurements and simulations at 52 GHz", *ITU-R SG3*, 3K44, 2016.

[23] Intel Corporation, "Update of recommendation ITU-R P.1238", *ITU-R SG3*, *3K45*, 2016.

[24] Chairman, WP3K, "Report on the meeting of Working Party 3K", *ITU-R SG3*, *3K73*, *Annex 6*, Apr. 2017.

[25] Correspondence Group 3K-6, "Activity report of the correspondence Group 3K-6 - Propagation models and characteristics for higher frequencies(6～100 GHz)", *ITU-R SG3*, *3K94*, 2017.

≡ 필자소개 ≡

김 종 호

1986년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
1989년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
2007년~현재: 한국ITU연구위원회 ITU-R SG3 위원
[주 관심분야] Radio Propagation, Mobile Communication, Antenna

윤 영 근

1997년 2월: 충북대학교 전기공학과 (공학사)
1999년 2월: 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
2007년 8월: 충북대학교 전파공학과 (공학박사)
2000년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
2016년~현재: 한국ITU연구위원회 ITU-R SG3 위원
[주 관심분야] Radio Propagation, Mobile Communication, Ray Tracing Modeling

김 명 돈

1993년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학사)
1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 충남대학교 전자공학과 박사수료
1995년~현재: 한국전자통신연구원 이동통신RF 연구실 실장
2009년~현재: 한국ITU연구위원회 ITU-R SG3 위원
[주 관심분야] 5G Mobile Communications, Radio Propagation, Channel Measurements and Modeling

정 영 준

1992년 2월: 제주대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2005년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
1994년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원, PL
2006년 2월~2008년 2월: 한국전자통신연구원 RF 모듈설계팀 팀장
2012년 3월~2014년 2월: 한국전자통신연구원 스펙트럼공학연구실 실장
2016년 3월~2016년 12월: 한국전자통신연구원 스펙트럼공학연구실 실장
[주 관심분야] RF Circuit and System, Radio Interference, Mobile Communication, Interference Modeling