

전자파 강도 예측 모델을 통한 5G 기지국 평가 기법 연구

이양원*

Research on 5G Base Station Evaluation Method through Electromagnetic Wave Intensity Prediction Model

Yang-Weon Lee*

*Professor, Department of Information and Communication Engineering, Honam University, Gwangju, 62399 Korea

요 약

최근 5G 도입에 따라 생활 전반으로 전자파 방사원이 확산됨에 따라 국민 중심 전자파 안전관리 체계 구축이 필요한 실정이다. 특히 5G 안테나의 빔포밍 방식은 무선기지국 설치시 전자파의 전력밀도 측정은 10배 이상으로 증가되어 물리적인 측정으로 안전성을 판단하는 것은 무리가 있다. 따라서 체계적인 모델 분석을 통하여 계산에 의한 예측 기법으로 생활속에 전자파 안전 유무를 판별할 필요가 있다. 본 논문에서는 이같은 문제를 해결하기 위한 방법으로 전자파 수치해석틀을 사용한 5G 무선기지국의 가능성을 확인하기 위해서 실제 기지국 측정값과 예측 모델을 통한 예측값을 상호 비교하는 신뢰도 평가를 통하여 가능성을 확인하였다.

ABSTRACT

With the recent introduction of 5G, electromagnetic radiation sources are spreading throughout life, so it is necessary to establish a citizen-centered electromagnetic safety management system. In particular, the beamforming method of the 5G antenna increases the power density measurement of electromagnetic waves by more than 10 times when the wireless base station is installed, so it is unreasonable to determine the safety by physical measurement. Therefore, it is necessary to determine the presence or absence of electromagnetic wave safety in daily life through a predictive method by calculation through systematic model analysis. In this paper, in order to check the possibility of a 5G wireless base station using an electromagnetic wave numerical analysis tool as a way to solve this problem, we compared the measured values of the actual base stations and the predicted values through the prediction model to compare the reliability. A method of constructing a real-time base station electromagnetic wave strength prediction evaluation system combined with software was also proposed.

키워드 : 무선기지국, 5G, 전자파, 예측기법

Keywords : Base station, 5G, Electromagnetic, Evaluation method

Received 16 December 2020, Revised 20 January 2021, Accepted 28 February 2021

* Corresponding Author Yang-Weon Lee(E-mail:ywlee@honam.ac.kr, Tel:+82-62-940-5572)

Professor, Department of Information and Communication Engineering, Honam University, Gwangju, 62399 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.4.558>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 들어 5G 이동통신 서비스가 본격화되고, 스마트폰 보급에 따른 무선인터넷 사용자가 확산되는 등 무선통신 환경이 급변하고 있다[1,2]. 특히 5G 서비스 기술은 4G 서비스 기술과 달리 그림1과 같이 특정 사용자를 찾기 위하여 특정 지점·공간으로 전자파를 집중시킬 수 있는 빔 포밍 기술을 이용하고 있고, 사용자파수 중에서 28GHz 대역은 새로운 물리량인 전력밀도로 평가해야 하므로 기존의 EIRP 방식이 아닌 TRP 방식에 따라 측정을 수행하면 측정량이 기존의 4G에 비해서 10배 이상 증가하게 되어 사업자 및 시설자에게 엄청난 부담이 따라오게 되어 있다[3,4,5]. 따라서 계산에 의한 무선국 전자파 평가 방법 및 관리 방안으로의 전환이 필요하며, 이를 위해서는 기존 연구에서 미흡한 사업자별로 통일되어 있지 않은 계산에 의한 평가 방법의 통일은 물론 계산에 의한 평가의 신뢰성을 높이기 위한 타당성 연구가 필요함과 동시에 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준 제정을 통한 관련 법·시행령·고시 개선 활동이 지속해서 요구되고 있다.

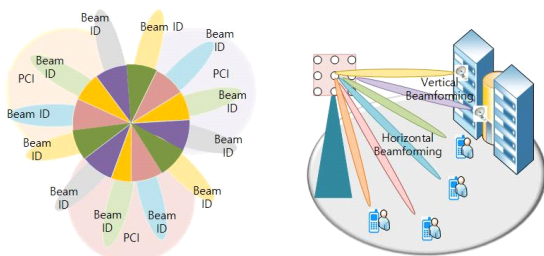


Fig. 1 Service of 5G base station

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 현재 전자파 예측 모델로 사용되고 있는 자유공간 계산식, 광선추적법, 전파 해석법(full-wave models) (3차원 전자기 해석(FDTD, MoM 등)), 점방사원 모델(point source model), 합성 모델(synthetic model), ITU-T K.70(EMF-Estimator) 등 중에서 한국의 지형조건에 적합한 Deygout 모델과 국토지리원 3D 데이터를 결합하여 전자파 강도를 예측하였다. 그리고 예측된 값과 실제 측정값과 비교 검증을 통한 실험을 통하여 Deygout 모델이 한국 지형의 전자파 예측 모델로서의 신뢰도를 평가한다.

지금까지 전자파 강도를 수치적으로 계산하는 접근 방법의 국내 사례를 보면 한국방송통신전파진흥원에서

운영하는 사이트에서 전파 전파 공식을 이용하여 단순히 전자파 세기를 계산하여 주고 있으나 이 방법은 수치해석 시에 자유공간에 최대 출력과 최대 이득을 적용한 것으로 가장 간단한 방법으로 계산은 쉬우나 최대 이득을 이용하여 계산하므로 오차가 매우 크고, 지형지물에 대한 정보 반영이 안 되어 반사파에 의한 영향이 고려되지 않고 있다. 따라서 신뢰도가 매우 낮아 현장 활용에는 다소 어려운 실정이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 관련 기술 동향을 알아보기 위해서 II 장에서 전자파 모델에 대한 전자파 수치해석 기술 동향을 기술하였고, III 장에서는 실제로 개발된 툴을 이용하여 무선기지국 전자파 강도를 예측하는 전자파 강도 예측프로세스 정립과정을 기술하였고, IV장에서는 실제 선정된 지역을 중심으로 시뮬레이션한 결과와 측정 결과를 비교한 후 수치해석을 이용한 방법의 신뢰도를 평가하였고, 마지막으로 결론을 맺었다.

II. 전자파 모델 개발 동향

전자기파 전파의 물리적 메커니즘은 자유 공간 전파, 반사, 회절 및 산란 등의 요소가 있다. 이러한 메커니즘을 이용한 전파 모델(propagation model)은 경험적 통계 모델(empirical-statistical model)과 결정론적 기하학 모델(deterministic-geometrical model), 결정적 지형모델(deterministic-geometrical model)로 크게 3가지로 구분된다.

2.1. 결정론적 기하학 모델

이 모델은 송신기와 수신기 사이에 장애물이 없을 때 수신 전력을 예측하는 데 사용된다. 송신기로부터 거리 d 를 갖는 수신기 안테나에 의해 수신된 전력은 프리스(Friis) 자유 공간 방정식에 의해서 식 (1)과 같이 주어진다.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (1)$$

여기서, P_t 는 전송된 전력, P_r 는 수신된 전력, G_t 는 송신기 안테나 이득, G_r 는 수신기 안테나 이득, d 는 송신기와 수신기 사이의 거리이고 λ 는 미터 단위의 파장이다. 경로 손실은 식 (2)와 같이 주어지는데

$$P_L(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) = 10 \log_{10} \left[\frac{(4\pi)^2 d^2}{G_t G_r \lambda^2} \right] \quad (2)$$

식 (2)는 확장 식 (3)과 같이 거리 d (km) 및 작동 주파수 f (MHz)와 같이 표현할 수 있다.

$$P_L(dB) = -G_t - G_r + 32.44 + 20(\log d + \log f) \quad (3)$$

2.2. 경험적 통계 모델(empirical-statistical model)

이 모델에는 Okumura model, Okumura-Hata model, Cost 231-Hata model, Hata-Davidson model, Lee model, ECC-33 model, ITU-R model, Walfisch-Bertoni model, ITU-R P.1411[6-10] 등이 있다. 이 모델은 실제 환경에서 분석에 필요한 기본 이론을 제공하는 것으로서 매우 중요하나 현재는 단독으로 사용하지 않고 다음에 소개되는 결정적 지형모델과 결합하여 사용된다.

2.3. 결정적 지형 모델(empirical-statistical model)

이 모델에는 Single Knife-edge diffraction model, Bullington method, Daygout's approach, Causebrook correction, Epstein-peterson's method, giovaneli's method [7-9] 등이 있으나 본 논문에서는 우리나라의 산악지형에 최적화되어 있는 Daygout's approach 접근 기법을 사용하여 수치해석을 수행하였다.

즉 Daygout's approach에서는 두 개의 장애물에 대한 접근 방식은 그림2와 같으며 M1은 주요 장애물이며 관련 회절 손실은 마치 혼자 있는 것처럼 계산되며 Fresnel 파라미터 v_1 은 $d_1, d_2 + d_3$ 및 h_1 의 함수로 계산된다.

$$v_1 = f(d_1, d_2 + d_3, h_1) \quad (4)$$

M2는 두 번째 장애물이며, 회절 높이는 유효 높이 h^2 인 M1 장애물의 상단과 수신기 R 사이의 전파 경로를 고려하여 계산한다. 프레넬 파라미터 v_2 는 d_2, d_3 및 h^2 의 함수로 계산한다. 보조 언덕 M2가 메인 언덕 M1의 왼쪽에 있는 경우는 그림3에 나와 있다.

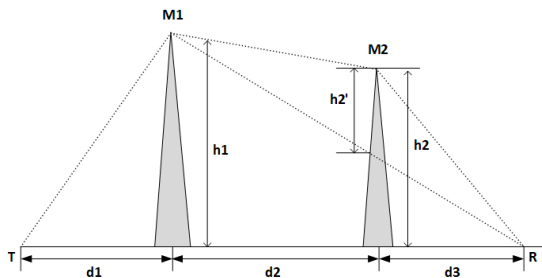


Fig. 2 Daygout's approach

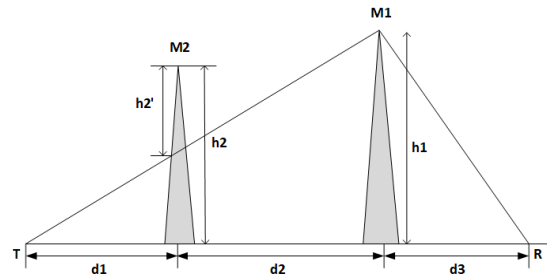


Fig. 3 Daygout's other approach

M1은 다시 주요 (dominant) 장애물이며 관련 회절 손실은 마치 혼자인 것처럼 계산되고 Fresnel 매개 변수 v_1 은 $d_1 + d_2, d_3$ 및 h_1 의 함수로 계산한다.

$$v_1 = f(d_1 + d_2, d_3, h_1) \quad (5)$$

M2는 현재 주요 장애물의 왼쪽에 있는 두 번째 장애물 (domain)이며 회절 손실은 M1 장애물의 상단과 효과적인 높이 h^2 의 트랜스미터 T 사이의 전파 경로를 고려하여 계산한다. 프레넬 파라미터 v_2 는 d_1, d_2 및 h^2 의 함수로 계산할 수 있다.

$$v_2 = f(d_1, d_2, h^2) \quad (6)$$

여기서 주의할 것은 주 장애물은 두 번째 장애물의 거리를 제한하게 된다는 것이다.

총 경로 손실은 두 개의 개별 경로 손실을 추가하여 계산한다.

$$G_{total}(dB) = 20(\log F(v_1) + \log F(v_2)) \quad (7)$$

III. 수치해석을 이용한 전자파 강도 예측 프로세스 정립

3.1. ICS Telecom EV 툴을 이용한 전자파 수치해석 절차 수립

수치해석법에 의한 계산은 지면에 의한 반사뿐만 아니라 산란체나 건물 등의 반사나 회절에 의한 전파까지 고려해야 한다. 따라서 정확한 계산을 위해서는 안테나 패턴 정보뿐만 아니라 지형에 대한 DB, 건물에 대한 DB 등의 추가적인 정보가 필요하다. 또한, 건물의 재질(콘

크리트, 유리, 목조 건물은), 건물의 형상(지붕 모양, 건물 크기 및 형상 등) 등에 대해서도 어떻게 입력하는가에 따라서 큰 차이가 발생한다. 따라서 같은 도구를 사용하더라도 튜닝 방법에 따라 결과가 달라질 수 있다. 현재까지는 이러한 튜닝 과정이 아직 정착되지 않은 단계이지만 5G 도입에 따른 초기 분석 작업이 필요해서 우선은 유럽에서 성능이 잘 알려진 프랑스 ATDI사가 개발하여 운영 중인 소프트웨어 툴인 ICS Telecom EV[11]을 이용해서 분석하고자 한다.

전체적인 분석과정은 그림4에 보였다. 먼저 분석을 위한 지도데이터는 공간정보산업진흥원을 통하여 DTM 및 3D 건물(시설물) 맵 데이터를 제공받는다. 그리고 ICS Map Server에서 시뮬레이션 툴에 적용 가능한 지도 Layer를 구성한다. 다음으로 분석 모델로서 경험적 통계 모델을 할 것인지, 결정론적 지형모델을 할지를 결정한다. 본 논문에서는 무선기지국 주변의 지형 데이터를 사용하기 때문에 결정론적 지형모델을 이용하여 분석을 수행한다. 분석 수행을 위해서는 먼저 분석대상 지점에 대한 위치(위도, 경도)를 결정하고 그 지점을 중심으로 반경 1km 이내에 있는 무선기지국 정보를 이용하여 분석을 수행한다. 분석 수행은 이동통신사별로 분류하여 1차 분석을 먼저 수행한다(통신사별로 사용주파수가 상이함). 분석 결과가 나오면 한국방송통신전파진흥원에서 제공하는 측정값과 비교하여 상관도를 도출한다. 상관도는 다양한 지점의 측정값과 수치계산값의 근사함을 평가하기 위한 것으로서 모델의 지형데이터 조건 등의 튜닝에 활용되어서 결과적으로는 우리나라의 환경에 맞는 값을 도출하여 수치해석 툴의 활용을 높이는데 사용할 수 있는 중요한 정보가 될 것이다.

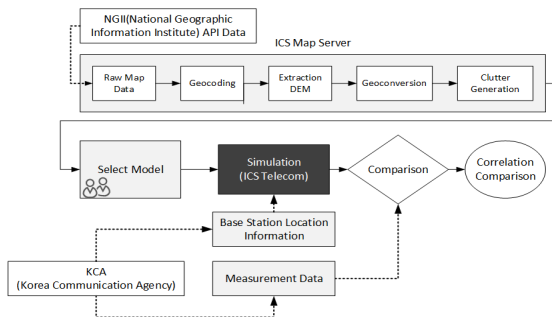


Fig. 4 Flow diagram of base station electromagnetic intensity analysis

3.2. 수치해석 대상 지역 선정

전자파 수치해석 툴인 ICS Telecom EV[11]을 이용하여 그림4와 같은 과정을 통하여 우리나라의 이동통신 무선기지국 주변의 전자파 세기를 계산함에 있어서 전국을 대상으로 하는 것은 물리적으로 불가능하다. 따라서 가장 특징적인 전파 전파 특성을 가진 지역을 구분하여 Table 1과 같이 선택하여 이 지역의 무선국 정보를 이용하여 분석하였다.

Table. 1 Selected area for evaluation

Item	Place name	Longitude	Latitude
downtown	Daejeon City Hall	127.3849219	36.3586735
industry	Toegye Complex	127.7386495	37.8454171
Mountain	Bibong-myeon	126.7388794	36.4760730

3.3. 지도데이터 생성

ICS Telecom EV 맵 서버는 기존 지도를 이미지로 가져와서 처리한 후 맵 서버에서 사용자가 생산한 데이터를 무선 배치계획에 따라 레이어를 이용하여 처리한다. 그리고 Geocoding을 수행하여 원래(원시)의 레이어에 있는 지점과 알려진 단계의 원점이 있는 지점을 일치시키는 작업을 수행한다. 그리고 DTM 혹은 DSEM을 생성하기 위해서 기존 데이터베이스에서 X, Y, Z 정보를 추출하여서 지형지도에서 윤곽선을 추출한 후 마지막 단계에서는 전파공간에 영향을 주는 숲이나 기타 요소들에 대한 클러터를 추가하여 최종적으로 지도데이터를 완성한다. 예측 지점으로 선택한 지역의 생성된 지도데이터는 그림5와 같다.

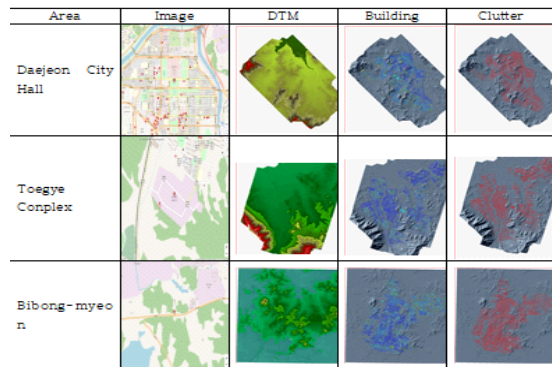


Fig. 5 Generated Map data for analysis

3.4. 수치해석을 통한 기지국 전자파 강도 예측 결과

기지국 송신 데이터와 지도데이터를 이용하여 설정된 지역의 기준점에서 대전, 춘천, 비봉 지역의 전자파 강도는 각각 그림 6,7,8과 같다.

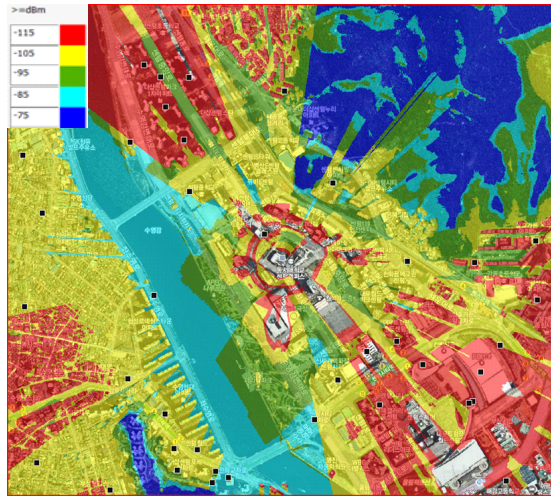


Fig. 6 Electromagnetic field intensity of Daejeon city hall area

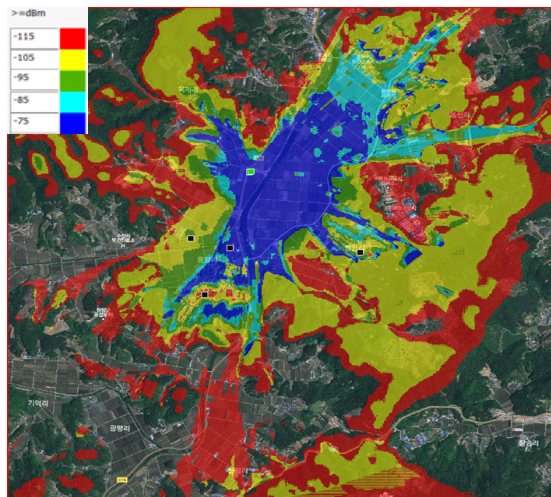


Fig. 7 Electromagnetic field intensity of Toegye Complex area

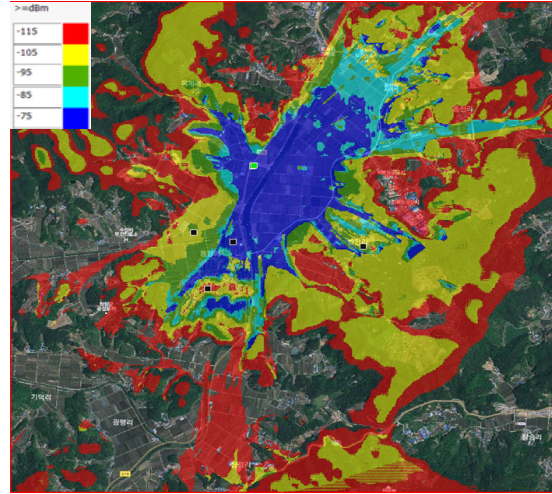


Fig. 8 Electromagnetic field intensity of Bibong-myeon area

IV. 모의실험 결과 및 고찰

4.1. 수치해석 결과와 실제 측정값과 비교를 통한 신뢰도 분석

특정 위치에서 무선기지국들에 의한 전자파 강도 세기 시뮬레이션은 다른 측면에서 보면 실제 무선망을 설계할 때 필요한 작업으로서 Cell설계시에 서비스 영역 설계와 서비스하고자 하는 내용 및 방식에 따라 용량을 결정하는데 결정적으로 필요한 분석 작업이다. 일반적으로 망설계시에는 서비스 범위가 100km까지의 범위를 확보하기 때문에 그에 따른 전파모델 선정이 필요하고 대부분 통신회사에서는 ITU-R P. 1546 모델 혹은 OKUMURA-HATA모델을 사용하여 실측 및 예측을 수행하고 있는 것으로 조사되고 있다. 그러나 본 논문서는 무선기지국의 전자파 강도세기를 통한 생활환경에서 전자파 강도를 예측하여 인체유해성을 판단하는 것을 중점으로 하기 때문에 통신사 커버리지 설계 분석 모델과는 다르게 전파 전파 특성을 좀 더 상세하게 모델링하는 모델인 Deygout-94 모델을 이용하여 분석을 수행하였다. 분석을 수행하는 지역을 전국을 대상으로 하였으나 물리적으로 전체지역을 할 수 없으므로 지역 특성이 뚜렷한 3 지역을 선정하였고, 선정된 지역에 있는 각 통신사의 5G 기지국 주파수 중 한 개를 선정하여 분석지

점에서 1.5km 이내에 있는 무선기지국을 대상으로 분석을 수행하였으므로 실제 측정값과 시뮬레이션 값과의 차이가 있을 수 있으나 그림9,10에 각각 선정된 위치에서 실제 측정값과 예측값의 차이를 그래프로 나타내었다. 결과를 보면 대전시청 지역과 춘천 퇴계 농공단지에서는 6dB 이하 상관성이 34.52%로 나타났으나, 비교적 산간 지역이 많은 비봉면 지역에서는 13.73%로 매우 낮게 나타났다. 따라서 현재 전파 전파 모델 및 클러터 상황이 정확하게 매칭되지 않고 있거나 실제 측정값이 현재 입력값과 차이가 있을 수 있다. 따라서 실제 본 시스템에서 사용하고 있는 ICS Telecom 틀에서는 측정값을 온라인으로 입력받아서 시뮬레이션 값하고 비교하면서 상관도를 조정하는 방법을 사용하고 있다. 본 논문에서는 이같은 방법을 적용하지 않았으나 앞으로 정밀한 상관도 튜닝을 위해서는 이같은 방법을 적용하여 상관도 분석이 필요할 것으로 판단된다.

4.2. 고찰

수치해석 방법으로 수행한 결과와 실제 측정정보와 비교해 보면 일부 지역에서는 실제 측정값과 수치해석값과 신뢰성이 있는 상관도를 확인할 수 있었으나 일부 지역에서는 상관도를 유의미한 값 수준이하로 나오는 경우도 있음을 확인하였다. 이는 개활지, 부도심, 도심으로 갈수록 무선국 안테나 높이가 높아지고, 무선국이 좀 더 조밀하게 설치되 때문에 주변 기지국의 영향이 커지는 영향으로 생각할 수도 있고, 또한 크게 수치해석을 수행함에 있어서 본 논문에서 적용하여 수립한 모델에서 오는 오차와 실제로 측정에서 오는 정보를 사전에 정확히 튜닝하는 과정을 생략한 결과에서 기인할 수 있다. 즉 대부분은 모델링에 대한 값을 현장 적용하기 위해서는 현장 측정값과 동조 과정이 필요하며 시뮬레이션 과정에서 클러터 모델 변수, 전파모델 변수, 지형 변수 모델에 대한 튜닝을 수행하면 80% 이상의 상관도를 기대할 수 있을 것이다.

이런 경우에는 앞으로 5G 무선기지국 검사에서 대부분 수치해석방법을 적용하고 필요시 주요 지점에 대한 표본 검사 수행을 통하여 검사 업무를 대폭 줄일 수 있을 것으로 판단된다.



Fig. 9 Comparison between prediction and measurement values at Daejeon city hall area

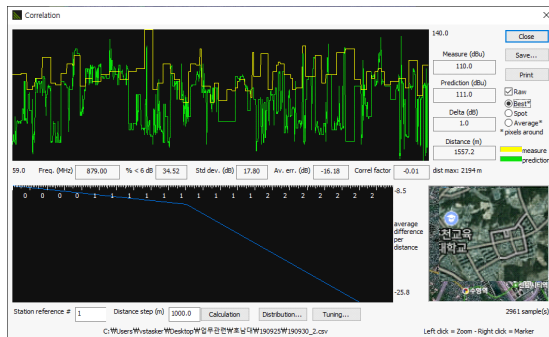


Fig. 10 Comparison between prediction and measurement values at Toegy complex area

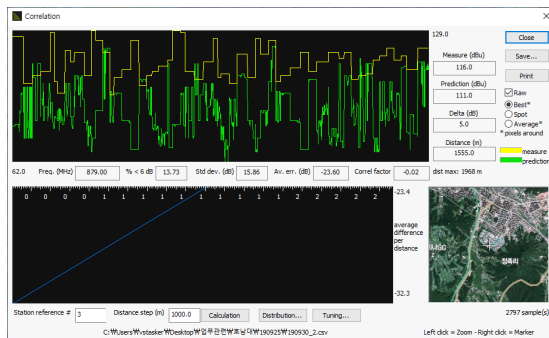


Fig. 11 Comparison between prediction and measurement values at Bibong-myeon area

V. 결론

본 논문에서는 5G 이동통신 기지국에 대한 전자파 강도를 수치해석적으로 예측하기 위한 평가방법을 서

술하였다. 이같은 연구 과정으로 먼저 전자파 모델을 기반으로 기지국에서 방사되는 전파의 수신 지점에서 전자파 강도를 예측하는 과정을 국내외 문헌을 조사 분석하여 정립하였다. 또한 모델 적용 가능성을 조사하기 위하여 5G 서비스 지역의 지형특성별 분포에 따라서 3개 지역 권고 모델을 적용(대도시밀집지역, 농공지역, 산악지역)하여 실제 수치해석적인 접근으로 전자파 세기 분석을 수행하였다. 이때 경로 손실 적용모델은 비 가시(non LOS)지역에 대한 해석모델로서 단일장애물 해석은 Knife-Edge 모델, 다중 장애물에 대한 해석 모델은 Epstein & Peterson Model을 적용하여서 수행하였다. 수치해석적 접근 방법 시뮬레이션 완료 후에는 최종적으로 실제 측정값과 수치계산값의 근사함을 평가하기 위하여 상관도 분석을 아울러 수행하였다. 이 결과는 우리나라 모델에서 지형데이터 조건 등의 튜닝에 활용되어서 결과적으로는 우리나라의 환경에 맞는 값을 도출하여 수치해석 툴의 활용을 높이는 데 사용할 수 있는 중요한 정보가 될 것이다.

REFERENCES

- [1] K. Stylianos, "Modelling and Coverage Improvement of DVB-T Networks," *Journal of Brunel University*, Dec. 2018.
- [2] *Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields*, ITU-T Recommendation K.52, Dec. 2004.
- [3] Y. S. Won and S. C. Kim, "LTE-R LinkBudget Analysis for channels interference in the case of sharing the Integrated Public Network Frequency," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 10, pp. 1833-1839, Oct. 2017.
- [4] M. S. Choi, S. C. Oh, S. J. Lee, B. S. Yoon, D. J. Kim, and D. I. Sung, "A study on the reliability and availability improvement of wireless communication in the LTE-R," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 9, pp. 1172-1179, Sep. 2020.
- [5] W. Lee, T. W. Ban, S. H. Kim, and J. Ryu, "Neighbor discovery for mobile systems based on deep learning," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 527-533, Mar. 2018.
- [6] M. Strappini, M. Angelucci, M. Vecchinocattivi, P. Gianola, R. Scotti, V. Villani, and D. Migaheli, "A Procedure for estimation on the electromagnetic field exposure levels," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 13, no. 1, pp. 125-128, Aug. 2019.
- [7] *Difference Time Domain(FDTD) Modeling of Exposure from Vehicle Mounted Antennas*, IEC TC 106 PT 62704-2, Dec. 2015.
- [8] J. Deygout, "Correction Factor for Multiple Knife-Edge Diffraction," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 39, no. 8, pp. 1256-1258, Aug. 2016.
- [9] France ANFR [Internet]. Available: <https://www.cartoradio.fr/index.html#/>.
- [10] ATDI analysis tool, [Internet]. Available: <http://www.atdi.com/ics-telecom-ev/?lang=en>.
- [11] ICS Telecom EV, [Internet]. Available: <https://slideplayer.com/slide/4649624/>.



이양원(Yang-Weon Lee)

1996년 포항공과대학교 전자컴퓨터공학과 공학박사
1996년~현재 호남대학교 정보통신공학과 교수
※관심분야: 인공지능응용, 신호처리