

## 교외 환경에서의 고출력 방사 시험에 의한 전자파 영향 해석

### Analysis of Electromagnetic Wave Influence by High-Power Radiation Tests in Suburban Environments

양성준 · 이승혁\* · 이기욱\*\* · 유종원 · 이왕용\*\*

Sung-Jun Yang · Seung-hyeok Lee\* · Ki Wook Lee\*\* · Jong-Won Yu · Wangyoung Lee\*\*

#### 요 약

전자전 또는 레이더 시스템의 고출력 방사 전계의 경우, 전자파에 의한 인체 영향이 분석되어야 한다. 특히 운용 시험의 경우, 송신기는 일반적으로 고전력을 사용한다. 시험장이 교외 환경에 배치되어 있는 경우에도, 시험장 근처의 일반인이 접근 가능한 접근할 수 있는 영역에서는 전계 분포가 측정되어야 한다. 본 논문에서는 교외 지역의 실제적인 고출력 방사 시험 환경에 대해 방사 전자파 세기를 측정 및 예측하고, 그 결과를 전자파 인체 영향의 관점에서 분석한다. 시뮬레이션 결과를 위해 전자기 수치해석 기법으로써 DRT(Deterministic Ray Tube) 방법을 사용한다.

#### Abstract

The influence of electromagnetic waves on humans needs to be analyzed in circumstances where equipment generates high-power radiation fields, such as electronic warfare or radar systems. The transmitters used for operating tests typically generate high-power signals. Although the test site is located in a suburban environment, the electromagnetic(EM) field should be measured at a location that the public can access, near the test site itself. In this paper, for the analysis of real-world high-power radiation test environments in suburban areas, the radiated EM field is measured and predicted, and the results are analyzed from the perspective of how the radiated EM waves influence people. A deterministic ray tube method is used as an EM numerical analysis tool for simulation results.

Key words: Deterministic Ray Tube, Human Influence of Electromagnetic Waves

#### I. 서 론

레이더를 활용하여 표적을 추적하거나 표적의 레이더 반사 면적 등을 측정하기 위해서는 높은 세기의 전자파를 발생시켜 송신된 전파의 산란영향을 수신하여야 한다.

따라서 실외 환경에서 레이더를 운용하기 위해서는 주변 간섭이 최소화될 수 있는 장소에 레이더가 위치하여야 한다. 이는 주 신호가 아닌 간섭신호에 의해 레이더를 통해 수집된 결과가 왜곡되지 않기 위함이다. 레이더 시험 장소가 한국에 위치하는 경우, 대부분 주변에 산악지형이

「이 연구는 LIG넥스원(주) 자체투자료 (주)한국전자파연구소의 “전자파 환경 분석” 과제의 연구비 지원으로 연구되었음.」

한국과학기술원 전기 및 전자공학부(School of Electronic Engineering, KAIST)

\*(주)한국전자파연구소(Korean Electromagnetic Research)

\*\*LIG 넥스원(주) 전자전연구소(Electronic Warfare R&D Institute, LIG Nex1)

· Manuscript received October 21, 2019 ; Revised November 28, 2019 ; Accepted December 28, 2019. (ID No. 20191021-107)

· Corresponding Author: Sung-Jun Yang (e-mail: wnstjddid@kaist.ac.kr)

포함될 가능성이 크며, 고도차에 의한 산란파가 간섭을 일으킬 확률이 높다. 또한, 대부분의 장소에 통신용 주파수를 비롯하여 다양한 외부신호가 존재하기 때문에 시험 주파수를 적절하게 선택하는 것이 중요하다. 강한 전파 세기로 인해 넓은 영역에서 전파가 도달될 수 있으며, 해당 영역에 일반인이 접근 가능한 지역이 포함된다면 전자파에 의한 인체 영향까지 고려되어야 한다. 레이더 시험환경에서의 전파 세기는 근거리에서 직접적으로 인체에 조사되는 경우, 악영향을 끼칠 수 있는 것으로 알려져 있다. 위와 같은 사항들이 고려되어 레이더 시험장소는 간섭신호가 적고 일반인이 접근 가능한 지역에서 되도록 멀리 떨어진 곳에 위치하여야 한다.

따라서 시험장소에 레이더를 설치하기에 앞서, 위와 같은 사항들을 고려하기 위해서는 간이 시험환경에서 반사, 산란파에 의한 영향을 측정하거나 주변 환경의 전파 도달 세기를 측정하여야 한다. 또는 전자기 해석 시뮬레이션을 통해 레이더 신호의 산란 영향을 계산할 수 있다. 보통 실외환경에서의 전파 특성 분석을 위해서는 고주파 기법인 PO(Physical Optics)<sup>[1],[2]</sup>, SBR(Shooting and Bouncing Ray)<sup>[3]</sup>, 그리고 DRT(Deterministic Ray Tube)<sup>[4]~[6]</sup> 기법 등이 사용되어 왔다. 이러한 고주파 해석기법들은 주로 Ray Tracing 기법에 기반하며, 넓은 영역에서의 전자기 해석에 효율적이다. 반사 및 회절이 일어날 수 있는 요소들을 시뮬레이션에 반영하여 전자파의 진행 경로와 세기 변화를 계산한다.

도심 지역에서의 기지국에 의한 전자파 산란해석을 위해서는 도심에 위치한 건물들이 주요 산란요소이며, 지형과 더불어 건물에 대한 정보가 시뮬레이션에 입력되어야 한다. 반면, 교외 지역에서는 건물보다 환경적인 요소들이 지배적이기 때문에 지형, 나무, 그리고 강 등이 주요 산란요소로 고려되어야 한다. 하지만 건물과 달리 이러한 환경요소들은 복잡하고 일시에 따라 유동적이기 때문에 정확한 모델링이 쉽지 않다.

본 논문에서는 교외 지역에서의 전자기 해석기법인 DRT를 이용한 해석결과와 실제 전파 세기 측정데이터를 활용한다. 시뮬레이션과 측정데이터를 비교하여 분석하고, 레이더 시험환경에서의 인체 영향 관점에서 고찰한

다. 2절에서는 기존의 고주파 산란해석 기법에 관해 설명한다. 3절에서는 고출력 방사 시험환경에 대한 전자기 시뮬레이션 및 측정 환경의 설정에 관해 설명한다. 4절에서는 3절의 설정을 통해 얻은 결과값들을 전파 인체 영향 관점에서 해석하고 고찰한다. 5절에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 전자파 산란해석 기법

전자파 산란해석 기법은 크게 두 가지로 나뉘어진다: 저주파 기법과 고주파 기법. 저주파 기법은 해석 대상이 파장에 비해 전기적 크기가 작은 경우에 효율적이며, MoM(Moment Method), FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 등이 있다. 시공간을 여러 개의 단위면적 혹은 단위부피로 나누어 전자기 이론을 기반으로 해석을 수행한다. 따라서 저주파 기법을 이용하여 해석하기 위해서는 많은 계산시간과 메모리가 요구된다. 반면, 높은 정확도를 보이기 때문에 세밀한 해석이 필요한 경우에 주로 사용된다.

고주파 기법은 주로 전자기파의 직진성을 기반으로 광선추적을 통해 산란요소들에 의한 반사와 회절효과 등을 계산한다. 고주파 기법들 사이에는 주로 전자기파의 광선 모델링 방법에 차이가 있다. 해석 영역이 파장에 비해 전기적 크기가 큰 경우에 효율적이며, 저주파 기법에 비해서 계산시간이 빠르다.

본 논문에서는 고주파 기법 중 DRT 기법을 사용하였으며, DRT 기법은 주로 실외환경의 전자기 해석에 사용된다. 주변 산란요소들에 의한 반사 및 회절에 의한 다중 산란경로가 단순한 경우에 높은 효율성을 가진다. 따라서 주로 도심지역에서의 건물에 의한 산란영향을 계산하여 송신안테나에 의한 도심지역에서의 전계강도 분포를 계산하는 문제들에 주로 사용되어 왔다. DRT를 이용한 산란해석 방법은 그림 1과 같이 세 개의 광선 튜브를 활용한다: 직접파, 반사파, 그리고 회절파. 예를 들어, 어떤 건물에서의 산란영향을 계산할 때 건물의 모서리 및 꼭지점에서 회절이 발생한다고 가정하며, 건물의 면으로부터 반사가 발생한다고 가정하여 다음과 같은 순서대로 산란 영향을 계산한다.

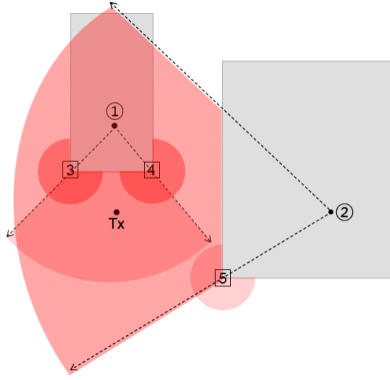


그림 1. 송신 Tx으로부터 두 개의 건물에 의한 반사 및 회절 영향 예시

Fig. 1. Example of reflection and diffraction effect by two buildings from transmitter Tx.

- 1) 송신 안테나로부터 발생한 광선이 충돌할 수 있는 산란요소의 반사면 혹은 회절점을 계산한다.
- 2) 각 산란점에서의 전계강도 변화를 계산한 후, 각 산란점으로부터 발생한 광선이 충돌할 수 있는 2차 반사면 혹은 회절점을 계산한다.
- 3) 위와 같은 과정을 반복하여 설정된 차수 이하의 반사 및 회절효과를 고려하여 그림 2와 같이 산란되는 광선 튜브들의 트리를 생성한다.
- 4) 전계강도를 계산하고자 하는 수신점에서 과정 3)까지 반복하여 계산한 광선 튜브들의 트리를 합산하여 도달 전자기파를 합산한다.

계산되는 직접파, 반사파 및 회절파는 각각 경로손실, 반사계수 그리고 회절계수를 계산하여 광선 튜브의 세기가 결정된다. 그림 2에 나타내어진 광선 튜브에서 반사파는 원형 숫자이며, 회절파는 사각형 숫자로 표시되었다. 그리고 산란 경로를 계산하여 경로차에 의한 위상차를 계산한다. 반사계수와 회절계수는 UTD(Uniform Theory of Diffraction)<sup>[7]</sup> 기법에서 정의한 반사계수와 회절계수를 이용한다.

$$E_r(\vec{r}) = E_i(\vec{r}_r) R A_r e^{-j k d} \quad (1)$$

$$E_d(\vec{r}) = E_i(\vec{r}_d) D A_d e^{-j k d} \quad (2)$$

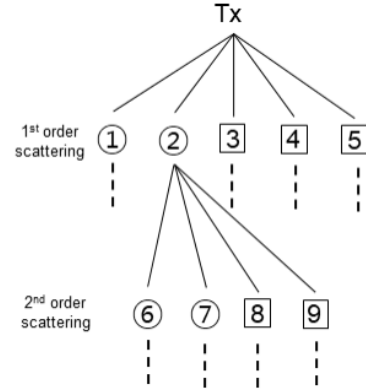


그림 2. 그림 1의 송신 Tx로부터의 광선 튜브 트리  
Fig. 2. Ray tube tree from transmitter Tx in Fig. 1.

$E_r(\vec{r})$ 은 위치  $\vec{r}$ 에서의 반사파이며,  $E_i(\vec{r}_r)$ 은 위치  $\vec{r}_r$ 에서 반사면에 의해 반사되는 입사파이다.  $R$ 은 반사면에 의한 dyadic 반사계수,  $A_r$ 은 반사면에 의한 spreading factor이다.  $k$ 와  $d$ 는 각각 파수와 위치  $\vec{r}_r$ 로부터 위치  $\vec{r}$ 까지의 거리이다.  $E_d(\vec{r})$ 은 위치  $\vec{r}$ 에서의 회절파이며,  $E_i(\vec{r}_d)$ 은 위치  $\vec{r}_d$ 에서 회절점에 의해 회절되는 입사파이다.  $D$ 는 회절면에 의한 dyadic 회절계수,  $A_d$ 은 회절점에 의한 spreading factor이다. 수식에서의 각 변수들에 대한 계산이 정확하게 이루어지려면 DRT 시뮬레이션에 송신 및 수신시스템, 산란 요소들의 위치 및 물질정보, 지형 정보 등이 정확하게 입력되어야 하며, 광선 추적법 알고리즘과 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 광선 튜브의 산란 트리를 완성시킬 수 있다. 따라서 DRT 기법은 송신 안테나로부터 발생하는 모든 광선에 대한 충돌시뮬을 계산하지 않고, 광선 튜브 트리를 통해 효율적으로 산란영향을 계산하면서 빠르고 효율적인 해석이 가능하다.

### III. 고출력 방사 시험환경의 전자파 측정 및 시뮬레이션

본 논문에서의 실험된 레이더 시험환경의 주변은 높이 10 m 안팎의 일부 건물들과 강과 산악지형으로 이루어져 있다. 건물 위에 위치한 송신 안테나에 대해서 주변 환경에서의 전계강도 분포를 DRT 기법 시뮬레이션 틀을 이

용하여 계산하였다. DRT 시뮬레이션 툴은 자체 개발한 코드를 이용하였으며, 해당 시뮬레이션 프로그램과 DRT 기법의 정확도에 대한 검증은 참고문헌에 나타나 있다. 보유하고 있는 시험장소 주변의 지형데이터는 위도, 경도 그리고 고도 변수를 포함하고 있으며, 송신 안테나의 위치는 건물 옥상에 위치한다. 건물의 높이는 지표면으로부터 9 m이며, 송신 안테나의 높이는 옥상으로부터 3 m 높이를 가진다. 송신 안테나가 위치한 건물의 위치와 고도를 시뮬레이션에 입력하였으며, 콘크리트로 가정하여 상대유전율 4.94, 전기전도도 0.1 S/m로 가정하였다. 실제 전자파 산란 환경에서는 수풀 및 나무에 의한 투과 및 산란 영향이 작용할텐데, 고주파 모델을 사용하는 DRT 시뮬레이션에서는 이를 효율적으로 반영하기 어렵기 때문에 자연환경에 의한 산란요소가 반영되지 못했다. 측정데이터와의 비교분석에서 이를 고려하였으며, 추후에 이를 반영한 추가 연구가 이루어질 것이다<sup>[8]</sup>. 그림 3에 해당 시험 지역의 위성사진을 나타내었고, 보유한 DRT 시뮬레이션 툴에 해당 지역의 지형데이터와 일부 건물데이터를 입력한 결과는 그림 4와 같다. 그림 4의 좌측 하단에 표시된 검은 사각형이 송신 안테나가 위치한 건물이다. 안테나의 주요 방사 방향이 강을 기준으로 서쪽(그림 3의 왼쪽)에서 동북쪽을 향하고 있기 때문에 불필요한 건물데이터는



그림 3. 방사 시험 장소 주변의 위성사진  
Fig. 3. Satellite photo around the radiation test site.

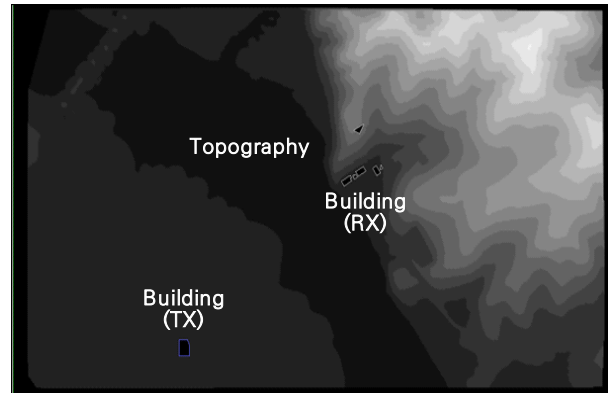


그림 4. DRT 시뮬레이션 툴에 입력된 방사 시험 장소 주변의 지형 및 건물 정보  
Fig. 4. Terrain and building data around the radiation test site in DRT simulation tool.

시뮬레이션에 입력하지 않았다. 시뮬레이션을 통해 전계 강도를 계산한 주 영역은 강 서쪽에 위치한 도로변과 강변에 위치한 운동장이다.

해당 영역은 일반인이 접근 가능한 지역이기 때문에 고출력 방사 신호원에서 발생한 전자파의 인체 영향 관점에서 전계 강도를 분석할 필요가 있다. 또한 그 외의 주변 지역에서의 전체적인 전계강도를 계산하였다. 700 MHz 부터 18 GHz의 광대역의 다중 주파수에 대하여, 일반인이 접근 가능한 지역 내부의 두 장소를 선택하여 실제 전계 강도를 측정하였으며, 해당 장소에 대한 그림은 그림 5에 나타내었으며, 측정환경의 사진을 그림 6에 나타내었다.

#### IV. 고출력 방사 시험환경의 전자파 측정 및 시뮬레이션 결과 및 분석

본 절에서는 3절에서 설명한 설정 환경에서 측정한 전계를 분석하고, 전자파의 인체 영향의 관점에서 고찰한다. 일반인이 접근 가능한 지역에서 실제 고출력 방사 시험환경의 전계강도 분포를 논하며, 국가적으로 표준화된 전자파 인체보호 기준을 토대로 어느 정도의 안전성을 갖는지를 분석한다. 송신 안테나 주변의 모든 영역에서 광대역의 전자파 측정 데이터를 얻는 것이 현실적으로 어렵기 때문에, 보유한 DRT 시뮬레이션 툴을 이용하여 실제



그림 5. 송신기 주변 장소의 EM 필드 측정장소  
Fig. 5. EM field measured sites near the transmitter.

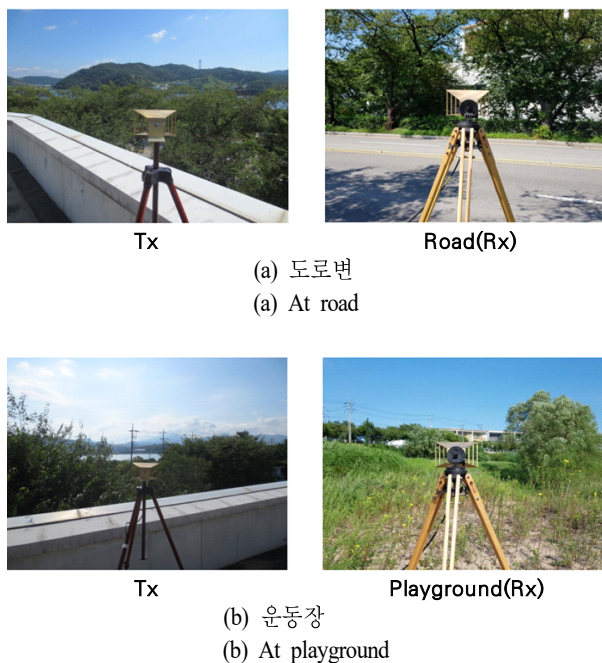


그림 6. 송신기 주변 두 장소에 대한 EM 필드 측정 사진  
Fig. 6. Photo of measuring EM field for two sites near the transmitter.

측정 위치와 주변 지형에서의 전계강도 분포를 예상하였다.

먼저, 송신 레이다 주변의 일반인이 접근 가능한 역에서의 안전성 분석을 위해 700 MHz부터 18 GHz 사이의

다중 주파수 대역에서 국립전파연구고시(제2017-7호) 전자파 인체보호 기준에 표기된 전계강도 기준을 사용하였다. 전력 밀도의 인체 보호 기준치에 대해서, 700 MHz에서의  $3.5 \text{ W/m}^2$ 부터 18 GHz에서의  $10 \text{ W/m}^2$ 까지 주파수에 따라 점점 높은 값을 갖는다. 또한 전계 강도의 인체 보호 기준치에 대해서는, 700 MHz에서의  $36.4 \text{ V/m}$ 부터 18 GHz에서의  $61 \text{ V/m}$ 까지 주파수에 따라 점점 높은 값을 갖는다. 실제 측정된 데이터를 이용한 전계 밀도 및 전계 강도의 예측값을 표 1에 나타내었다. 송신 안테나로부터 30 m 거리에 위치한 도로변의 측정데이터와 194 m 거리에 위치한 운동장의 측정데이터를 모두 나타내었다.

레이다 시험 환경의 송신 전력은 보안상 표기하지 못했지만, 실제 레이다 시험 환경의 송신 전력으로 가정하였을 때, 측정 값을 기준으로 측정 장소에 도달하는 전자파의 예측 값을 계산하였다. 전체적으로 전력 밀도, 전계 강도에 대해서 인체 보호 기준치보다 매우 낮은 값으로 예측되었다. 일반적인 레이다 시험 환경에서 사용되는 송신 안테나는 고유의 빔폭을 가지기 때문에 특정 영역을 향하는 이득값이 매우 높은 반면, 일반인이 접근 가능한 위치 등 관심 영역이 아닌 방향의 안테나 이득값은 매우 낮다. 또한 그림 6에서 알 수 있듯이, 해당 시험 환경에서는 건물에 의한 그림자 효과가 발생한다. 추가적으로 주변의 나무, 잡초 등에 의한 산란 영향 때문에 건물 아래에 위치한 측정 영역에서는 레이다에 의한 직접파가 도달하지 못하며, 일부 회절 및 산란파만 도달한다. 따라서 높은송신 세기에 비

표 1. 송신기 근처의 도로변에서의 측정 데이터  
Table 1. Measured data at road near the transmitter.

Frequency	Power density( $\text{mW/m}^2$ )		Field intensity( $\text{V/m}$ )	
	Road	Playground	Road	Playground
0.7 GHz	0.022	0.66	2.9	0.5
1.5 GHz	0.004	0.44	1.3	0.4
3.5 GHz	0.005	0.12	1.4	0.2
6.5 GHz	0.017	0.13	2.6	0.2
12.0 GHz	0.022	0.01	2.9	0.1
16.0 GHz	0.007	0.05	1.6	0.1
18.0 GHz	0.015	0.09	2.4	0.2



하여 낮은 도달값을 보이는 것으로 해석할 수 있다.

앞서 언급한 측정 위치를 수신점으로 설정하여 DRT 시뮬레이션 툴에서 전계강도를 계산하였다. 또한, 도로변을 따라서 각 위치에서 도달하는 전계강도 변화를 분석하고자 이를 추가적으로 해석하였다. 시뮬레이션 설정에서는 등방성 안테나로 가정하여 빔패턴에 의한 이득값의 차이를 배제하고, 경로 손실과 산란영향만을 분석하고자 하였다. 송신 신호 세기를 0 dBm로 가정하였을 때, 700 MHz~18 GHz까지 도로변과 운동장의 측정 위치에서는 각각 72 dB~110 dB 손실과 70 dB~98 dB 손실로 매우 큰 손실값을 보였다. 설정 주파수가 높아질수록 도달값이 작은 이유는 고주파수일수록 직진성이 강해지며 회절계수가 작아지기 때문인 것으로 보여진다. 그림 7에는 9.0 GHz에서 시뮬레이션을 통해 도로변을 따라서 계산한 전계강도 분포의 그래프를 나타내었다.

도로변의 위치에 따라 도달하는 전자파 신호 세기는 -82 dBm부터 -111 dBm까지 분포하는데, 위치에 따라 선형적인 분포를 나타내지 않는 이유는 송신안테나가 위치한 건물에 의한 그림자 효과 때문인 것으로 보여진다. 전계강도가 급격하게 낮아지는 구간은 건물에 의한 그림자 효과에 의해 직접파가 도달하지 못하고 회절파만 도달하기 때문이다. 하지만 상대적으로 높은 값이 도달하는 위치의 경우에도 30 m 이상의 거리를 갖기 때문에, 절대적으로 낮은 값의 전계강도가 도달한다. 따라서 건물 옥상에서 건물에 의한 그림자 효과만 고려하여, 일반인이 접근가능한 지역에 직접적으로 전자기파를 방사하지 않도록 송신 레이더를 위치시키는 방법은 약 30 dB의 차폐

효과를 가질 수 있는 것으로 볼 수 있다. 송신 레이더의 방사패턴이 갖는 방향에 따른 이득 차이를 배제하고도 매우 낮은 값을 보이는 것은 실제 레이더 시험환경에서 일반인이 접근 가능한 지역에 도달하는 전계강도는 국립전파연구원에 고시된 전자파 인체보호 기준에 근거하여 인체에 무해하다고 볼 수 있다.

DRT 기법 기반의 시뮬레이션에서는 넓은 영역에 분포하는 다수의 수신점에 대하여 효율적으로 전계강도의 분포를 계산할 수 있다. 이러한 결과는 측정을 통해 얻기가 현실적으로 어려우므로, 전자기 해석기법 기반의 시뮬레이션을 통해 전계강도 분포를 얻고, 전체적인 값의 분포와 경향성 등을 분석하는 데에 이용할 수 있다.

그림 8에 2.5 GHz, 9.0 GHz, 그리고 16.0 GHz에 대해서 레이더 시험장소 주변의 전계강도 분포를 나타내었으며, 도달 전계강도가 계산된 각 위치는 입력된 지형도를 기반으로하여 지표면으로부터 1 m 높이에 위치한다. 가운데에 위치한 회색 영역은 강물이 위치한 영역이므로 계산 영역에서 제외하였다. 주파수가 높을수록 건물에 혹은 지형에 의한 그림자 효과가 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 전체적인 주파수 대역에서 약 70 dB 손실을 나타내는 것으로 보아, 레이더 시험환경에서 송신 레이더가 일반인이 접근 가능한 지역에 직접적으로 전자파를 방사하지 않는 한, 대부분의 지역에서 낮은 전자파 신호 세기 분포를 보이는 것으로 분석할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 실제적인 고출력 방사 시험환경에서의 주변 전자파 영향을 분석하고자 실제 레이더 시험장소에 송신 안테나를 설치하여 주변 환경에서의 전계강도를 측정하였다. 전자파 인체 영향의 관점에서, 다중 주파수 대역에서 국립전파연구원이 고시(제2017-7호) 전자파 인체보호 기준에 부합하는지 분석하였다. 따라서 높은 송신 세기를 갖는 레이더 시험 환경을 가정하여 데이터를 도출하였으며, 일반인이 접근 가능한 위치에 도달하는 전계강도를 기준으로 측정하였다. 결과적으로 본 논문에서 사용한 레이더 시험환경에 대해서는 전자파 인체보호 기준보

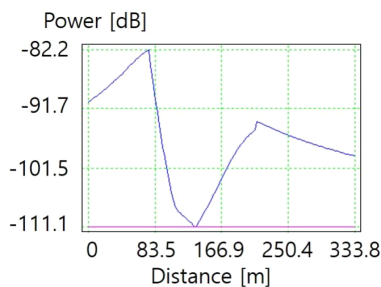
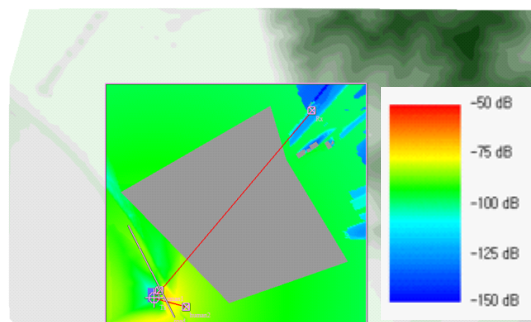
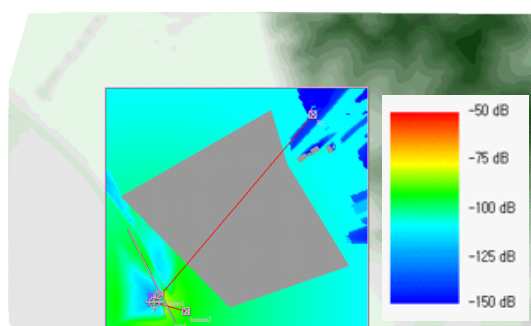


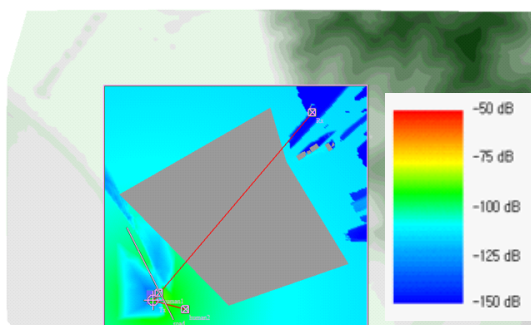
그림 7. 도로변을 따라 계산된 전계 강도  
Fig. 7. Calculated EM power along the road.



(a) 2.5 GHz



(b) 9.0 GHz



(c) 16.0 GHz

그림 8. DRT 시뮬레이션으로 계산된 방사 시험 장소 주변의 전계 분포

Fig. 8. EM field distribution near the radiation test site calculated by DRT simulation.

다 매우 낮은 값을 갖는 것으로 보인다. 이에 대한 주요 이유는 레이더의 송신패턴이 일반인이 접근 가능한 지역을 향하는 방향으로 낮은 이득값을 갖는 것이 일반적이며, 주변의 건물과 나무 그리고 잡초 등의 산란요소들에 의해 직접파가 도달할 가능성이 낮다는 것으로 보여

진다. 또한 고주파 해석기법 중 하나인 DRT를 이용한 시뮬레이션을 통해 레이더 시험장소 주변의 전계강도 분포를 계산하였다. 도로변과 운동장과 같이 전계강도를 측정할 특정 장소 이외에도 레이더 시험장소 주변의 넓은 영역에서 전자파 인체영향의 관점에서 무시할만한 크기를 갖는 전계강도 분포를 나타내는 것으로 보인다. 건물구조에 의한 그림자 효과만을 고려하여도 약 30 dB의 차폐효과를 얻을 수 있으므로, 송신 레이더의 위치설정 역시 전자파 인체 영향 관점에서 매우 중요한 요소라고 볼 수 있다. 추가적으로 시뮬레이션에 입력하기 어려운 나무, 잡초 등의 산란요소들이 고려된다면 더욱 낮은 전계강도 분포를 보일 것으로 보인다.

## References

- [1] W. M. O'Brien, E. M. Kenny, and P. J. Cullen, "An efficient implementation of a three-dimensional microcell propagation tool for indoor and outdoor urban environments," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 49, no. 2, pp. 622-630, Mar. 2000.
- [2] H. Shin, S. Lee, D. Park, J. Shin, M. Chung, and S. Park, et al., "Analysis of radar cross section of a battleship equipped with an integrated mast module based on PO and PTD," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 17, no. 4, pp. 238-240, Oct. 2017.
- [3] D. Shi, N. Lv, N. Wang, and Y. Gao, "An improved shooting and bouncing ray method for outdoor wave propagation prediction," *ACES Journal*, vol. 32, no. 7, pp. 581-585, 2017.
- [4] H. W. Son, N. H. Myung, "A deterministic ray tube method for microcellular wave propagation prediction model," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, no. 8, pp. 1344-1350, Aug. 1999.
- [5] H. W. Son, N. H. Myung, "3-D ray tracing technique for wave propagation in urban environments," *Electronics Letters*, vol. 35, no. 11, pp. 932-933, May 1999.
- [6] H. W. Son, N. H. Myung, "A new approach to 3-D ray tracing for a microcellular propagation prediction model

in urban environments," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 23, no. 3, pp. 159-163, Nov. 1999.

- [7] A. Tajvidy, A. Ghorbani, "A new uniform theory-of-diffraction-based model for the multiple building diffraction of spherical waves in microcell environments," *Electromagnetics*, vol. 28, no. 5, pp. 375-388, 2008.

- [8] I. T. Han, M. W. Jung, and J. K. Back, "Measurement and modeling of vegetation loss in the frequency range of 1~6 GHz," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 1, pp. 96-104, Jan. 2007.

양 성 준 [한국과학기술원/연수연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7821-6237>



모델링 등

2014년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학부 (공학사)  
2019년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학부 (공학박사)  
2019년 3월~현재: 한국과학기술원 정보전자연구소 연수연구원  
[주 관심분야] 전자기 수치해석, 안테나

유 중 원 [한국과학기술원/정교수]

<https://orcid.org/0000-0002-1954-8127>



및전자공학부 정교수

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로, 무선 통신 시스템

1992년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학사)  
1994년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)  
1998년 7월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학박사)  
2004년 2월~현재: 한국과학기술원 전기

이 승 혁 [(주)한국전자파연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5283-5881>



2004년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)  
2018년 7월~현재: (주)한국전자파연구소 책임연구원  
[주 관심분야] RF, EMP, EMC 등

이 왕 용 [LIG넥스원(주)/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9955-5983>



1995년 2월: 경북산업대학교 전자공학과 (공학사)  
2008년 2월: 아주대학교 정보전자공학과 (공학석사)  
1995년 8월~현재: LIG넥스원 수석연구원  
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 전자전 시스템 설계

이 기 욱 [LIG넥스원(주)/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7130-3864>



2000년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)  
2002년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)  
2018년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)  
2001년~2004년: LG이노텍 주임연구원

2005년 11월~현재: LIG 넥스원 수석연구원

[주 관심분야] 고출력 마이크로파 회로설계, HPEM, 고출력증폭기 설계, 전자전 시스템 설계