

KCA연구2019

5G 도입에 따른 생활환경 및 무선국 전자파 안전관리 방안연구

(최종보고서)

한국방송통신전파진흥원

연구수행기관 : 호남대학교 산학협력단

이 보고서는 한국방송통신전파진흥원의 출연에 의한
재정지원으로 이루어졌으며, 한국방송통신전파진흥원의
의견과 다를 수 있습니다.

제 출 문

한국방송통신전파진흥원장 귀하

본 보고서를 「5G 도입에 따른 생활환경 및 무선국 전자파
안전관리 방안연구」에 관한 연구용역의 최종보고서로
제출합니다.

2019년 11월 10일

연구책임자 : 이양원
연구 원 : 김철원
연구보조원 : 천 린
린즈밍
조승우
장우원
강성환
김정연

요 약 문

■ 제목 : 5G 도입에 따른 생활환경 및 무선국 전자파 안전관리 방안 연구

■ 연구 목적 및 필요성

□ 연구의 목표

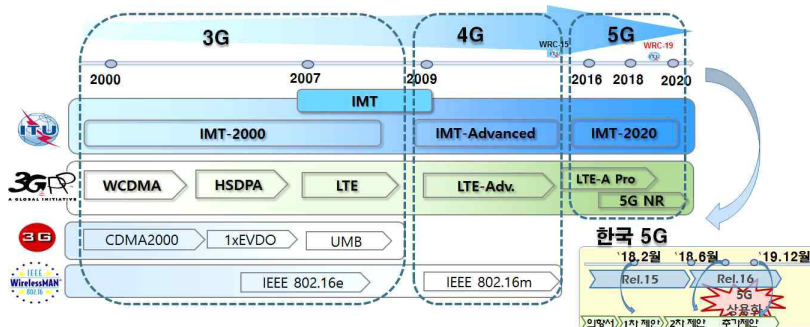
5G 도입에 따른 생활환경 및 무선국 전자파 안전관리를 방안 연구를 위하여 다음 사항을 수행함

- (1) 국내외 전자파 평가 및 관리 제도를 조사.분석
- (2) 전자파 노출량.적합성 평가 및 관리제도 개선방안 연구
- (3) 생활환경 전자파 평가 및 관리제도 개선 방안 도출
- (4) 전자파 분야 전문가들로 구성된 연구반 구성 후 4회 이상 운영

□ 연구의 필요성

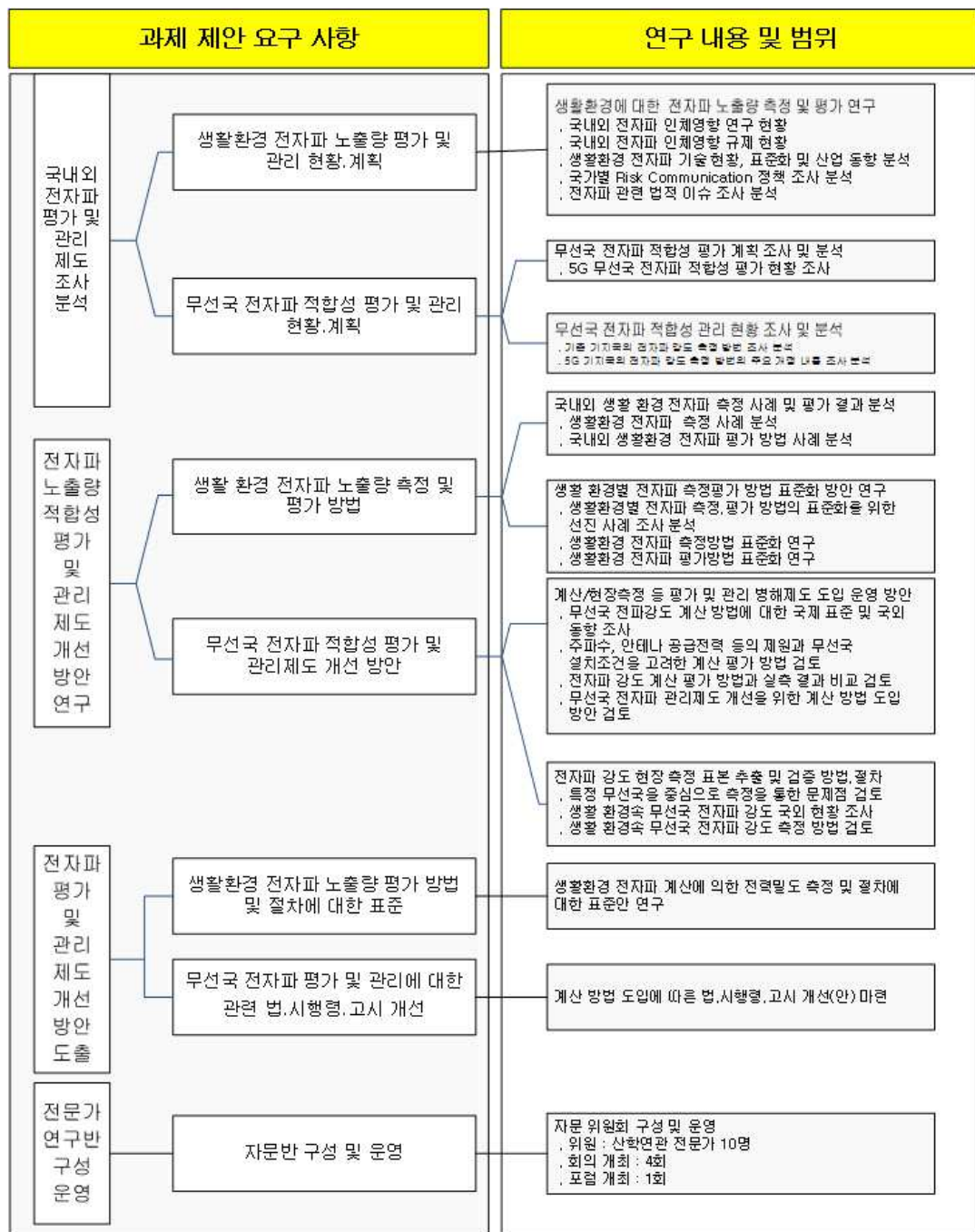
- 생활 전반으로 전자파 방사원(5G, IoT 등)이 확산됨에 따라 국민 중심 전자파 안전 관리체계 구축을 위해 제도 개선 및 신규 방안 마련 필요
- 특히 5G 안테나의 빔포밍, Massive MIMO 방식의 무선기지국 설치 시 5G 전자파의 전력밀도 측정은 10배 이상으로 증가되므로 시설자나 검사자에게 막대한 측정비용 부담이 예상됨에 따라 이를 체계적인 모델 분석을 통하여 계산에 의한 방법으로 접근을 수행할 필요가 있음
- 따라서 정부의 전자파 인체보호 정책 중 무선국 전자파강도 측정결과 보고와 관련된 정책의 개선을 위하여 본 과제의 추진이 필요함

제4차 산업혁명의 핵심원동력인 5G를 선점하기 위한 국제 경쟁은 점점 치열해지고 있음. 이에 우리 정부는 세계최초 5G 상용화를 통한 초연결시대 조기구현을 목표로 설정하고 '18년 7월 5G 주파수 경매를 실시, '18년 12월 5G 조기 상용화의 일환으로 5G 기지국 전파를 송출하였음.

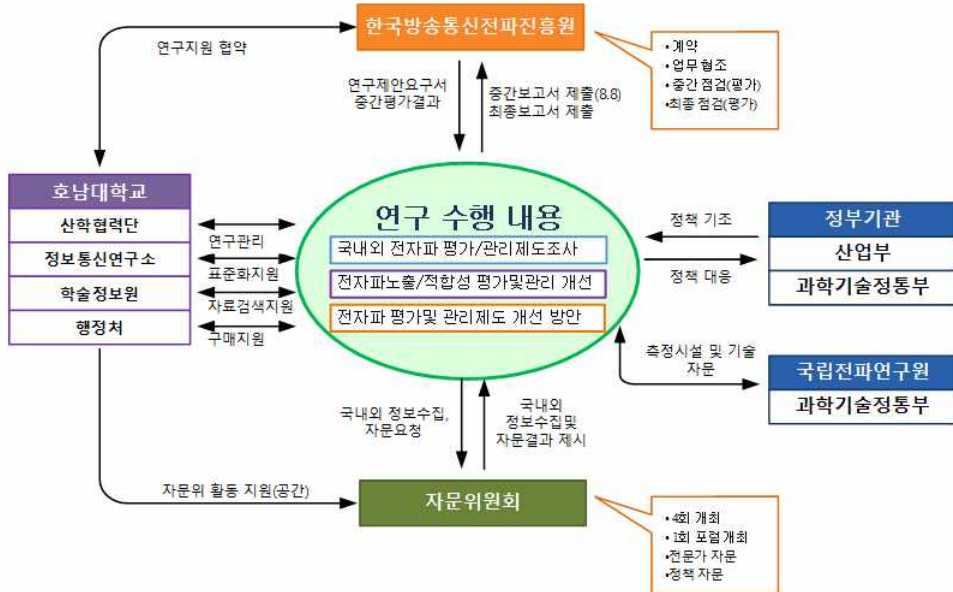


■ 연구의 범위 및 추진 체계

□ 연구 범위



□ 연구 추진체계



■ 연구 수행 결과

가. 국내외 전자파 평가 및 관리제도 조사·분석 수행

□ 생활환경 전자파 노출량 평가 및 관리현황·계획

- 국내외 전자파 노출량 평가 및 관리 현황 조사 수행
 - 주요국(미국, 스위스, 호주, 영국, 일본)의 전자파 보호 규제 동향 분석
 - 국내 전파법에 의한 무선국 평가 및 관리 현황 조사 수행
- 생활환경별 전자파 노출량 측정기술 현황, 표준화 및 산업동향 분석
 - 세계 주요 국가의 전자파 보호 규제 동향 분석(북아메리카, 유럽, 아시아로 구분하여 분석 수행)
- 국가별 Risk Communication(정보전달) 정책 조사 분석 수행
 - 국제 전자파 Risk Communication 동향 분석
 - 국내 전자파 Risk Communication 동향 분석
- 생활환경 전자파 관련 법적 이슈 조사 분석
 - 전자파 강도 측정·보고 대상 무선국 지정 관련 쟁점 분석
 - 전자파 강도 측정기준 개정 관련 쟁점 분석
 - 법적 이슈 관련 향후 전망

□ 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리 현황·계획

○ 국내외 무선국 전자파 적합성 평가 계획 조사 및 분석

- 한국 : 관련 법령, 절차 및 운영체계 요약
- 미국 : 관련 법령, 절차 및 운영체계 요약
- 유럽연합 : 관련 법령, 절차 및 운영체계 요약
- 일본 : 관련 법령, 절차 및 운영체계 요약

○ 5G 무선국 전자파 적합성 관리 현황·계획 조사 및 분석

- 일본의 적합성 평가 운영체제를 중심으로 기술함

○ 적합성 평가 시험 관리 현황

- 시험 목적 및 시험 방법 요약

나. 전자파 노출량·적합성 평가 및 관리제도 개선 방안 수행

□ 생활환경 전자파 노출량 측정 및 평가 방법

○ 5G 기지국의 전자파 강도 측정 방법 : 기존의 LTE와 차이점 중심으로 기술

○ 5G 기지국의 전자파 강도 측정방법의 주요 개정 사항(전력밀도 측정방법)

□ 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리제도 개선 방안 연구

○ 전파 모델 관련 조사 분석을 위하여 지금까지 알려진 경험적 통계 모델과 결정론적 기하학 모델로 분류하여 이를 열거하고 특성을 요약 정리함

○ 경험적 통계 모델 (empirical-statistical model)

- Okumura model 기술
- Okumura-Hata model 기술
- Cost 231-Hata model 기술
- Hata-Davidson model 기술
- Lee model 기술
- ECC-33 model 기술
- ITU-R model 기술(ITU-R P.370 권고, ITU-P.1411 권고, ITU-R P.1546 권고 포함)
- Walfisch-Bertoni model 기술

○ 결정적 지형 모델(deterministic-geometrical model)

- 단일 모서리 회절 모델(single knife-edge diffraction model) 기술
- Deygout's Approach 기술

- Causebrook Correction 기술
- Epstein-Peterson's Method 기술
- Giovaneli's Method 기술
- ITU-R. P. 526 Model - Propagation by Diffraction(회절에 의한 전파)
- Longley Rice Model 기술
- Ikegami Model 기술
- 계산·현장 측정 등 평가 및 관리 병행제도 도입·운영 방안 검토 수행
 - 전자파 수치해석 기술 동향 분석
 - worst-case를 고려한 최적의 전자파 계산 방법(표본 점검)
 - ICS Telecom EV 툴을 이용한 전자파 수치해석 사례 연구

다. 전자파 평가 및 관리제도 개선 방안 수행

□ 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준 연구

- 기지국 전자파 노출량 측정 및 예측방법 수행을 위하여 외국의 무선기지국 측정방법과 예측방법을 고찰 수행
 - ITU-T L.52 기지국 적합성 평가방법 및 예측방법
 - 일본 ARIB TR-T11 측정방법 및 예측방법
 - 미국 FCC OCET bulletin 65
 - IEC TC 106 수치해석 표준 동향
- 무선기지국 전자파강도 예측 방법의 국내 적용 현황
- 국내 전자파 세기 계산 프로그램 개발 현황 파악

□ 무선국 전자파 평가 및 관리에 대한 관련 법·시행령·고시 개선을 위한 정책 제언

- 정책 제언
 - 전자파 인체보호기준의 합리화 필요
 - 전자파강도 의무측정 대상의 합리화 필요
 - 측정방법의 합리화 필요
 - 계산방법 및 시뮬레이션 기법의 도입 필요
 - EMF 모니터링 시스템의 도입 필요
 - 무선국 검사제도와 연계한 전파 환경영향 평가 필요
 - Risk Communication 강화 필요

라. 전자파 분야 전문가 연구반 구성·운영 수행

☐ 연구반 구성 : 학계, 연구소, 산업체 전문가를 중심으로 구성

☐ 연구반 운영

○ 자문회의 개최 : 4회

○ 워크숍 개최 : 1회

■ 기대 효과

☐ 기술(정책)적 측면

○ 현재 전자파 예측모델로 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-TK.70(EMF-Estimator) 등에 대하여 실측값과 비교가 가능함으로서, 한국지형에 맞는 전자파 예측모델의 선정이 가능할 것으로 기대

○ 정부의 무선국 전자파강도 측정결과 보고제도 개선에 활용이 가능함

○ 사업자 및 시설자의 경제적 부담을 덜어주는 규제 완화 효과가 있을 것으로 기대

○ 국민이 공감할 수 있는 제도개선을 통해 무선국으로부터 발생하는 전자파에 대한 국민적 불안감을 해소하며 전자파 이용 환경 기반 조성에 기여

☐ 산업·경제적 측면

○ 현재 무선국 전자파 의무측정에 따른 사회적 비용이 매우 높은 수준임을 감안할 때 본 연구과제의 성공적 결과물을 활용한다면 무선국 전자파 측정 비용의 약 50~90% 절감이 가능함

○ 산업적인 측면에서도 국내에서 전자파 관련 SW의 개발이 전무한 현실을 감안할 때 전자파 관련 시뮬레이션 툴의 개발 등 관련 산업의 활성화와 그와 관련된 인력의 육성에 기여할 것으로 기대

■ 연구결과의 활용 계획

☐ 활용 계획

- 국내 전자파 강도 의무측정에 대한 제도 개선에 반영
- 전자파 민감 및 취약 지역에 대한 분석 결과에 활용
- 전자파 노출량 예측 시스템에 기술 적용 및 활용

□ 연구 성공시 다음단계 조치사항

- 계산 방법의 체계화 및 구현을 위한 추가 연구 추진
- 필드 테스트를 통한 검증 및 보완

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	3
가. 5G 이동통신 특성	3
나. 5G 기술 관련 표준화 정책 동향	4
다. 5G 국제 표준화 동향 조사	5
1) ITU 표준화 동향	5
2) 3GPP 표준 동향	5
3) 밀리미터파 5G 후보대역 동향	6
1.2 연구 필요성	7
1.3 연구과제의 경제·사회·기술적 중요성	8
1.4 연구 목표 및 내용	9
가. 연구 목표	9
나. 연구 내용 및 방법	9
제 2 장 국내외 전자파 평가 및 관리제도 조사·분석	13
2.1 생활환경 전자파 노출량 평가 및 관리 현황·계획	15
가. 국내외 전자파 노출량 평가 및 관리 현황 조사	15
1) 주요국의 전자파 보호 규제 동향	15
2) 국내 전파법에 의한 무선국 평가 및 관리 현황	20
나. 생활환경별 전자파 노출량 측정기술 현황, 표준화 및 산업동향 분석	22
1) 세계 주요국가의 전자파 보호 규제 동향 분석	22
가) 개요	22

나) 북아메리카	23
다) 유럽	24
라) 아시아	25
다. 국가별 Risk Communication(정보전달) 정책 조사 분석	26
1) 국제 전자파 Risk Communication 동향	26
2) 국내 전자파 Risk Communication 동향	28
라. 생활환경 전자파 관련 법적 이슈 조사 분석	30
1) 주요 쟁점	30
가) 전자파 강도 측정·보고 대상 무선국 선정	30
2) 전자파강도측정기준 개정	30
3) 향후 전망	31
2.2 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리 현황·계획	32
가. 국내외 무선국 전자파 적합성 평가 계획 조사 및 분석	32
1) 한국	32
가) 관련 법령	32
나) 절차	32
다) 운영체제	35
2) 미국	36
가) 관련 법령	36
나) 절차	36
다) 운영체제	37
3) 유럽연합	39
가) 관련 법령	39
나) 절차	42

다) 운영체제	43
4) 일본	44
가) 관련 법령	44
나) 절차	44
다) 운영체제	50
나. 5G 무선국 전자파 적합성 관리 현황.계획 조사 및 분석	52
다. 적합성 평가 시험 관리 현황	53
1) 시험 목적	53
2) 시험 항목	53
3) 시험 방법	55
제 3 장 전자파 노출량.적합성 평가 및 관리제도 개선 방안	57
3.1 생활환경 전자파 노출량 측정 및 평가 방법	58
가. 5G 기지국의 전자파 강도 측정 방법	58
1) 개요	58
나. 5G 기지국의 전자파강도 측정방법의 주요 개정 내용	59
1) 기존 기지국의 전자파강도 측정방법	59
2) 계산안전경계(R)의 정의 변경	59
3) 5G 기지국의 전자파강도 측정방법 분야	61
4) 5G 기지국의 전자파강도 측정기준 마련을 위한 현장 측정 결과	62
다. 5G 기지국의 전력밀도 측정방법	64
3.2 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리제도 개선 방안	65
가. 전파 전파 모델 관련 조사 분석	65
1) 개요	65

2) 자유 공간 전파 모델(free space propagation model)	65
3) 경험적 통계 모델(empirical-statistical model)	66
가) Okumura model	66
나) Okumura-Hata model	68
다) Cost 231-Hata model	69
라) Hata-Davidson model	70
마) Lee model	71
바) ECC-33 model	72
바) ITU-R model	73
(1) ITU-R P.370 Recommendation	73
(2) ITU-R P.1411 Recommendation	73
사) Walfisch-Bertoni Model	76
4) 결정적 지형 모델(deterministic-geometrical model)	77
가) Single Knife-Edge Diffraction Model	77
나) Bullington Method	78
다) Deygout's Approach	78
라) Causebrook Correction	80
마) Epstein-Peterson's Method	80
바) Giovaneli's Method	82
사) ITU-R. P. 526 Model - Diffraction(회절에 의한 전파)	84
아) Longley Rice Model	84
자) Ikegami Model	92
차) Flat Edge Model	92
5) 전파 모델 조사 분석에 대한 요약	94

나. 계산.현장측정 등 평가 및 관리 병행제도 도입.운영 방안	95
1) 개요	95
가) 전자파 수치해석 기술 동향	96
나) worst case를 고려한 최적의 전자파 계산 방법	100
다. ICS Telecom EV 툴을 이용한 전자파 수치해석 절차 수립	102
1) 분석 개요	102
2) 지도 데이터 생성	104
3) 사용 전파 모델	110
라. ICS Telecom EV를 이용한 무선국 전자파 세기 계산	113
1) 수치해석 대상 지역 선택	113
2) 지도 데이터 생성	115
3) 적용 분석 절차	116
(1) 부산해운대구 SKT(876 MHz) LTE 분석 사례	120
(2) 대전시청 1861.25 MHz LTE 분석 사례	121
(3) 춘천 퇴계 농공단지 2142.65 MHz LTE 분석 사례	122
(4) 서산 대산항 889 MHz LTE 분석 사례	123
(5) 서산 비봉면 889 MHz LTE 분석 사례	124
(5) 서산 광시면 879 MHz LTE 분석 사례	125
마. LTE 무선기지국의 실제 측정값과 시뮬레이션 결과와의 상관도 분석	126
(1) 부산 해운대 센텀 지역	126
(2) 대전 시청 지역	127
(3) 춘천 농공단지 지역	128
바. 5G 무선 기지국 대상 수치 해석 분석	129
(1) 5G 무선 기지국 수치해석 대상 지역 선택	129

(2) 5G 무선 기지국 커버리츠 수치해석을 위한 튜닝 과정	131
(가) 지도 모델 튜닝	131
(나) 전파 모델 튜닝	132
(다) 커버리지 분석 결과	135
사. 시뮬레이션 분석 결과에 대한 고찰	141
(1) 특정 위치에서 무선기지국들에 의한 전자파 강도 세기 시뮬레이션 ·	141
(2) 무선기지국 전파강도 측정값과 시뮬레이션값과의 상관도 분석	142
(3) 5G 무선 기지국의 커버리지 시뮬레이션	144
제 4 장 전자파 평가 및 관리제도 개선 방안 및 전문가 연구반 운영	113
4.1 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준(안)	147
가. 기지국 전자파 노출량 측정 및 예측방법 고찰	147
1) 개요	147
가) ITU-T K.52 기지국 적합성 평가방법 및 예측방법	148
나) 일본 ARIB TR-T11 측정방법 및 예측방법	151
다) 미국 FCC OET bulletin 65	155
3) IEC TC 106 수치해석 표준 동향	157
나. 무선기지국 전자파강도 예측 방법의 국내 적용 현황	160
1) 개요	160
다. 국내 전자파 세기 계산 프로그램 개발	161
4.2 무선국 전자파 평가 및 관리에 대한 관련 법·시행령·고시 개선 제안	162
가. 정책 제언	163
나. 정책 반영의 예상 효과	165
4.3 전자파 분야 전문가 연구반 구성 및 운영	167

가. 연구반 목적	167
제 5 장 결론	170
4.1 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준(안)	172
4.1 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준(안)	147
참고문헌	174

표 목 차

<표 1.1-1> 연구 내용 및 범위	9
<표 2.1-1> 세계 주요국의 전자파 보호 관리 현황	15
<표 2.1-2> 전자파 강도 보고대상 무선국의 기준(제65조 관련)	20
<표 2.1-3> 유럽 국가들의 EMF public exposure assessments	22
<표 2.2-1> 국내 적합성평가 관련 법령	32
<표 2.2-2> 국내 적합성평가 운영체제	35
<표 2.2-3> 미국 적합성평가 관련 법령	35
<표 2.2-4> 미국 적합성평가 절차	37
<표 2.2-5> 미국 적합성평가 운영체제	37
<표 2.2-6> 유럽연합 R&TTE 지침 관련 법령	39
<표 2.2-7> 유럽연합 EMC 지침 관련 법령	41
<표 2.2-8> 유럽연합 R&TTE에 지침 따른 적합성평가 절차	42
<표 2.2-9> 유럽연합 EMC 지침 따른 적합성평가 절차	43
<표 2.2-10> 유럽연합 적합성평가 운영체제	43
<표 2.2-11> 일본 적합성평가 관련법령	44
<표 2.2-12> 일본 적합성평가 절차	45
<표 2.2-13> 일본 적합성평가 제도 현황	49
<표 2.2-14> 일본 적합성평가 운영체제	51
<표 2.2-15> 일본 적합성평가 운영체제	52
<표 3.1-1> 5G 기지국 시제품의 제원 정보	62
<표 3.1-2> 시간 영역에서의 전기장강도 측정 결과	63
<표 3.1-3> 복조 영역에서의 전기장강도 측정 결과	63
<표 3.2-1> Hata-Davidson model에서 사용된 파라미터 값	71

<표 3.2-2> Lee model에서 사용된 n 과 P_0 파라미터 값	71
<표 3.2-3> Longley-Rice model 에 사용된 변수들	85
<표 3.2-4> 다양한 지형 프로필에 대한 지형 불균형 파라미터	86
<표 3.2-5> 상용 전자파 시뮬레이터 비교	99
<표 3.2-6> 지도 데이터 해상도에 따른 응용 구분	106
<표 3.2-7> 전자파 수치 해석 지점 선정 조건	113
<표 3.2-8> 분석 대상지역 정보	114
<표 3.2-9> 5G 무선기지국 커버리지 대상 지역	130
<표 3.2-10> 분석 지도 해상도 사양 및 규격	131
<표 3.2-11> 자유공간 경로감쇄 수식 설명	134
<표 3.2-12> 분석 기준 파라미터	144
<표 4.2-1> 국내 EMF 인체보호기준(안)	163

그 립 목 차

[그림 1.1-1] 4G 기지국의 서비스 방식	3
[그림 1.1-2] 5G 기지국의 서비스 방식	4
[그림 1.1-3] 5G 기술진화 개념도	4
[그림 1.1-4] 3GPP의 5G 표준화 추진 일정	6
[그림 2.1-1] 미국의 무선국 허가.심사 절차도	16
[그림 2.1-2] 호주의 무선국 허가.검사 체계도	17
[그림 2.1-3] 일본의 무선국 허가.검사 체계도	17
[그림 2.1-4] 영국의 무선국 허가.검사 체계도	18
[그림 2.1-5] 2006년에 시행된 생활주변 EM 노출량 측정치 공개	19
[그림 2.1-6] 2018년 기준 기지국 EM 측정치 공개	19
[그림 2.1-7] 전파관리 유관기관 업무 연계도	21
[그림 2.1-8] 일본 전자계정보센터 홈페이지	27
[그림 2.1-9] 프랑스 국가주파수 관리센터 홈페이지	28
[그림 2.2-1] 미국 적합성평가 관리기관	39
[그림 2.2-2] 일본 기술기준적합증명 흐름	46
[그림 2.2-3] 일본 특정무선설비 기술기준적합증명 및 자기확인 제도 개요	49
[그림 3.1-1] 5G 서비스의 요구 조건	58
[그림 3.1-2] 기지국의 전자파강도 측정방법 설정 조건	59
[그림 3.1-3] 계산 안전 경계 및 측정시작 지점의 개념 변경	60
[그림 3.1-4] 5G 기지국의 서비스 개념도	60
[그림 3.1-5] 5G 기지국의 측정환경 모습	62
[그림 3.2-1] 준-평활한 지형에서 자유공간	67

[그림 3.2-2] 지형 유형에 따른 값. Okumura et al. [1968]에서 발췌.	68
[그림 3.2-3] Lee의 모델에 효과적인 기지국 안테나 높이.	72
[그림 3.2-4] 권고 ITU-R.P.1546의 샘플 전파 곡선.	75
[그림 3.2-5] 빌딩이 존재하는 지역에서 UHF propagation geometry	76
[그림 3.2-6] Bullington의 접근 방식.	78
[그림 3.2-7] Deygout의 접근 방식, M1 메인 힐, 오른쪽 M2	78
[그림 3.2-8] Deygout의 접근 방식, M1 메인 언덕 및 왼쪽의 M2	79
[그림 3.2-9] Epstein-Peterson의 접근 방식. M1 오른쪽의 M2	80
[그림 3.2-10] Epstein-Peterson의 접근 방식. M1 왼쪽의 M2	81
[그림 3.2-11] Giovanelli의 접근 방식, M1 오른쪽의 M2.	82
[그림 3.2-12] Giovanelli의 접근 방식. M1 왼쪽의 M2.	83
[그림 3.2-13] 기준 감쇠 와 거리의 일반적인 도표.	85
[그림 3.2-14] Ikegami 모델.	92
[그림 3.2-15] Flat Edge 모델	93
[그림 3.2-1] IBM BlueGene/L Supercomputer의 구조와 사진	99
[그림 3.2-2] 한국방송통신전파진흥원 제공 전자파 계산 사이트	101
[그림 3.2-3] 무선국 전자파 강도 수치해석 과정	103
[그림 3.2-4] 상관도 분석 절차	104
[그림 3.2-5] DEM, DSM, STM 분류도	105
[그림 3.2-6] 분석을 위한 지도데이터 분류	105
[그림 3.2-7] 해상도별 지도 데이터 분류	106
[그림 3.2-8] 중간 해상도 지도 분석 예	108
[그림 3.2-9] 고 해상도 지도 분석 예	109
[그림 3.2-10] 고 해상도 지도 예측 범위 및 분석 모델	109

[그림 3.2-11] ICS Telecom EV 전파 모델 종류	110
[그림 3.2-12] ICS Telecom EV 전파 모델의 클러스터 모델 종류	111
[그림 3.2-13] ICS Telecom EV를 이용한 전파 모델 적용 예	112
[그림 3.2-14] 일반 파라미터 입력 예	116
[그림 3.2-15] 안테나 패턴 입력 예	116
[그림 3.2-16] 기지국 위치 정보 입력 예	117
[그림 3.2-17] 기타 파라미터 입력 예	117
[그림 3.2-18] RSRP 선택 과정	118
[그림 3.2-19] 기타 입력 파라미터	118
[그림 3.2-20] 전국 5G 기지국 현황(2019. 9.2일 기준)	129
[그림 3.2-21] 지도 상의 커버리지 분석 위치	130
[그림 3.2-22] 전파 전달 환경 - 3가지 모델 선정 (LOS, nLoS, NLoS)	132
[그림 3.2-23] Deygout-94 모델 회절(knife edge) 관계도	133
[그림 3.2-24] Coarse integration 관계도	133
[그림 3.2-25] ICS Telecom 전파모델 - 기하학적인 모델	134
[그림 3.2-26] LTE 주파수 분배	141
[그림 3.2-27] 상관도 분석 절차	142
[그림 3.2-28] ICS On-Line 상관도 분석 절차	143
[그림 4.1-1] 노출 영역 분류도	148
[그림 4.1-2] 거리 및 수직각에 대한 정의	150
[그림 4.1-3] 규격 값을 만족하는 영역의 기본 모델	154
[그림 4.1-4] 추정 순서 및 관련 규격	155
[그림 4.1-5] IEC TC 106 프로젝트	159
[그림 4.1-6] 전자파계산 프로그램 사이트(emf.kca.kr)	161

[그림 4.2-1] 측정값(Blue)과 계산값(Red)의 비교	164
[그림 4.3-1] 제1회 자문회의 및 포럼 기념사진	168

제 1 장

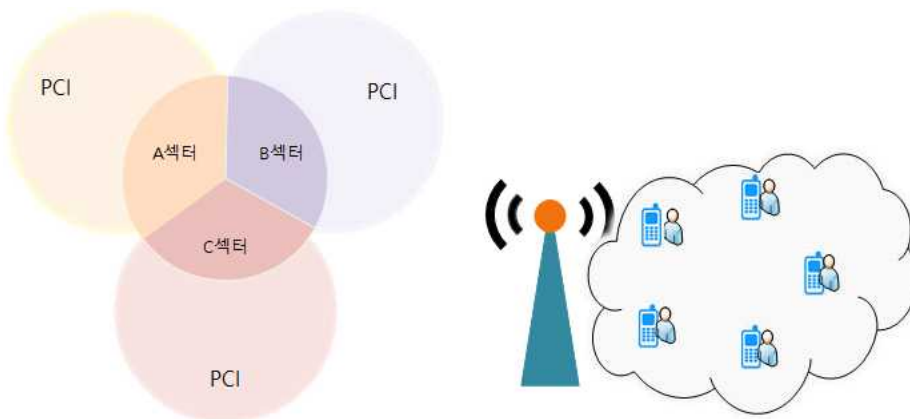
서 론

- 1.1 연구 배경
 - 가. 5G 이동통신 특성
 - 나. 5G 기술 관련 표준화 정책 동향
 - 다. 5G 국제 표준화 동향 조사
- 1.2 연구 필요성
- 1.3 연구과제의 경제·사회·기술적 중요성
- 1.4 연구 목표 및 내용
 - 가. 연구 목표
 - 나. 연구 내용 및 방법

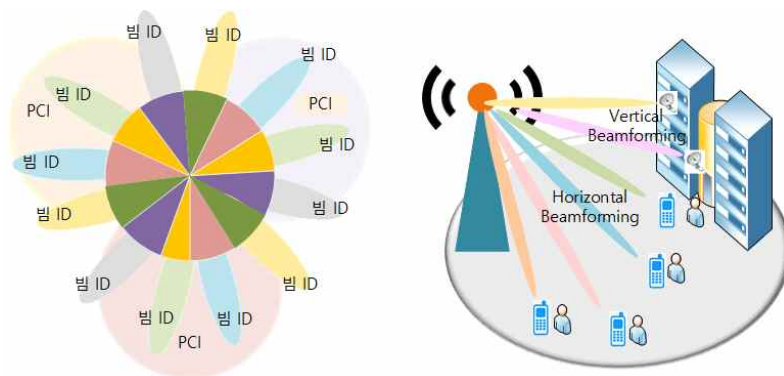
1.1 연구 배경

가. 5G 이동통신 특성

5G의 정식명칭은 「IMT-2020」으로 ①기존 4G 대비 20배 빠른 ‘초고속’ ② 통신지연이 10배 짧아지는 ‘초저지연’ ③연결기기가 10배 많아지는 ‘초연결’ 등의 특징을 가지는 서비스 기술로서 4G 서비스 기술과는 달리 3.5 GHz와 28 GHz 주파수 대역을 사용하며, 특히 28GHz는 고주파수 대역이며, 빔 포밍이라는 빔 특성도 추가되었다. 즉 5G 서비스 기술은 [그림 1.1-1]과 같이 서비스 영역의 사용자들과의 데이터 통신을 위해 전 영역을 한꺼번에 모니터링 하는 4G 서비스 기술과 달리 [그림 1.1-2]와 같이 특정 사용자를 찾기 위하여 특정 지점·공간으로 전자파를 집중시킬 수 있는 빔 포밍 기술을 이용하고 있기 때문이다. 휴대전화인 경우, 3.5GHz 대역은 기존의 SAR(전자파흡수율)로 평가가 가능하지만 28GHz 대역은 새로운 물리량인 전력밀도로 평가해야 한다. 그러나 근거리장 영역에서 전력밀도를 정확하게 측정할 수 있는 기술은 아직 확보 되지 않았으며, 특히, 근거리장 영역에서는 전기장 강도 측정을 통하여 전력밀도로 환산하는 것은 현재로서는 불가능한 실정이다. 따라서 근거리장 영역에서의 측정기술을 확보하거나 새로운 평가방법이 요구되고 있다. 현재 특정 업체에서 전력밀도 측정시스템을 상용화하여 판매를 하고는 있으나, 이 시스템은 불확정도를 고려한 신뢰성 검증이 필요한 실정이다.



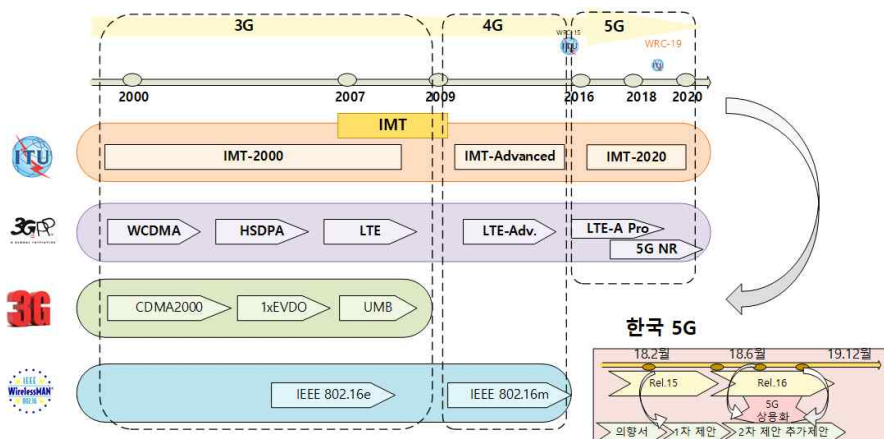
[그림 1.1-1] 4G 기지국의 서비스 방식



[그림 1.1-2] 5G 기지국의 서비스 방식

나. 5G 기술 관련 표준화 정책 동향

5G 통신은 2018년 8월 17일자로 3.5GHz와 28GHz 대역 5G 무선설비 RF 기술기준을 신설하는 전기통신사업용 무선설비의 기술기준이 개정 고시되었다. 2018년 9월 3.5GHz 대역 5G 무선설비 RF 전도특성을 시험하기 위한 시험방법 국가표준안이 마련되었으며, 이후 11월 28GHz 대역 복사 특성 시험방법 국가표준안도 마련되어 관련 법규가 정비됨에 따라 세계 최초로 5G 서비스를 위한 기지국과 단말기가 적합인증 되어 시장에 출시되고 구축·운영됨으로써 2018년 12월 1일 세계 최초 5G 조기 상용화를 통한 2019년 5G 상용화 서비스가 본격적으로 진행되고 있다.



[그림 1.1-3] 5G 기술진화 개념도

한편 ITU는 2012년 세계전파통신회의(WRC-12) 이후부터 본격적으로 5G 밑그림을 그리기 시작하여 2015년 7월 마침내 우리나라 주도로 5G 비전인 5G 기술 청사진과 표준화 일정을 완성하였으며, IMT-2020이라는 새로운 이름도 부여하고, 「초고속/초연결/초저지연」으로 대표되는 3대 서비스 시나리오와 최대 20Gbps의 데이터 전송, 1km^2 에 약 100만 개의 기기 연결, 자율주행, 로봇제어를 위한 초저지연 고신뢰 통신 등의 핵심 성능 요구사항을 담은 5G 기술 청사진과 2020년까지 ITU 표준을 완성하기 위한 표준 제안/평가/채택 등의 표준화 절차를 통하여 5G 비전을 마련하였다. 이러한 ITU의 결정 사항들은 3GPP를 통해 구체화 되어 세부 5G 기술 개발과 표준화를 추진하게 되었으며, 3GPP Release 15부터 5G NR(new radio)이라는 새로운 이름을 부여하고, 2018년 7월 그 첫 번째 5G NR 기술 표준인 Release 15 버전이 완성되었고, 이와 병행하여 ITU는 WRC-15를 통해 1.4GHz 대역과 3.5GHz 대역 등 6GHz 이하의 이동통신(IMT)용 국제 공용 주파수를 결정하였으며, 2019년 개최 예정인 세계전파통신회의(WRC-19, 2019년 10월 22일 개최 예정, 이집트)를 통해 24GHz 이상의 국제 공용 주파수도 결정할 예정이다.

다. 5G 국제 표준화 동향 조사

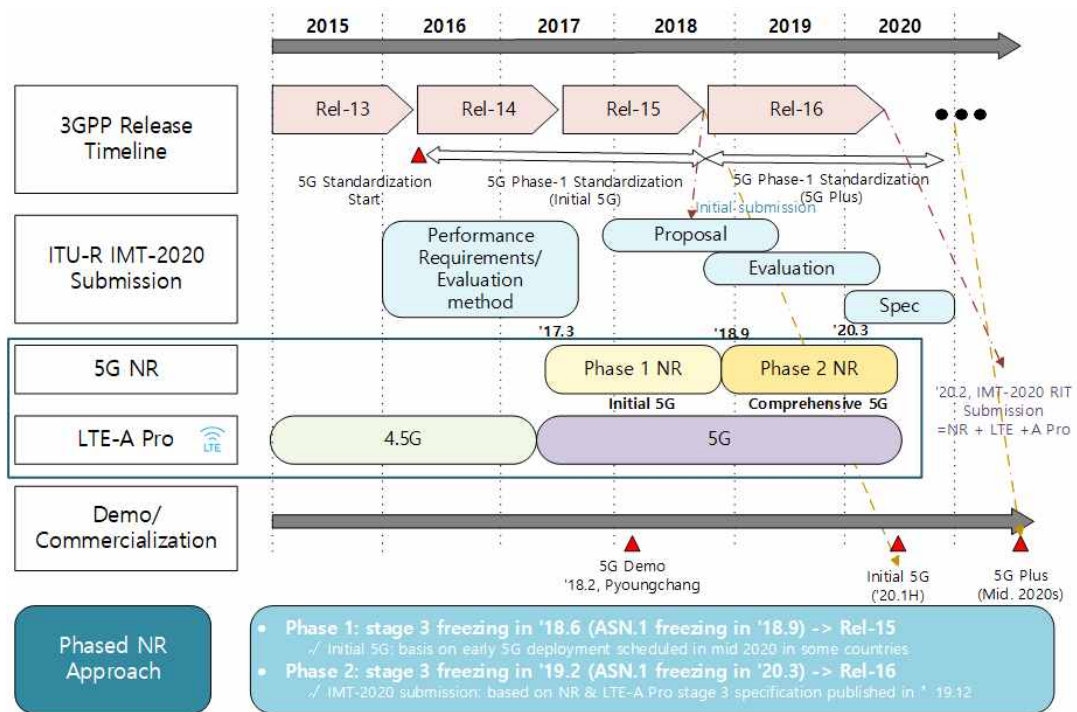
1) ITU 표준화 동향

2015년 10월말 ITU-R은 4G 이후의 5G 이동통신을 IMT-2020이라 명명하고, 이에 대한 표준화 원칙과 절차를 결의 65에서 제정하였고, 또한 5G 이동통신에 대한 비전과 요구사항을 정리한 ITU-R 권고 M.2083을 2015년 9월에 고시하여 2017년 2월에 13개의 5G 기술성능 요구사항(TPR: Technical Performance Requirements)이 개발하여, 2017년 7월 WP5D 27차 회의에서 5G 후보기술 평가방법 및 기준과 후보기술 제안에 대한 템플릿(template)을 승인하였다. ITU는 이후 제안한 기술에 대한 평가와 채택(2018년 10월 ~ 2020년 7월)하는 과정을 통해, 2020년까지 5G 이동통신에 대한 무선 접속기술 표준 개발을 완료하고 주파수는 WRC-15와 WRC-19를 통해 할당하며 상용화는 2020년 이후를 예상으로 추진하고 있다.

2) 3GPP 표준 동향

3GPP에서 5G 이동통신기술 표준화에 대한 논의는 2015년 2월 SA1 WG에서 시작하였고, 같은 해 12월에 개최된 TSG RAN 기술총회에서 5G 표준

화에 대한 전반적인 일정과 개념을 합의하였다. 합의한 주요 특징으로는 LTE evolution과 병행하여 새로운 무선접속(NR; New Radio) 기술 도입도 고려하고 있다는 점이며 [그림 1.1-4]와 같이 기존 LTE 기술의 업그레이드는 2020년까지 Rel.14 - Rel.16까지 3개의 표준작업을 각각 15개월씩 진행하고, NR과 LTE-A pro에 대한 표준화도 Rel.16과 같은 시기에 종료하도록 추진하여 Rel.15를 2018년 9월에 완료하고, 이를 기반으로 2020년에 상용화가 가능하도록 할 계획으로 추진하고 있다.



[그림 1.1-4] 3GPP의 5G 표준화 추진 일정 [출처:윤영우, “3GPP LTE Evolution 및 5G 표준화 현황,” 5G New Radio 표준기술 워크숍, Dec. 2016.]

3) 밀리미터파 5G 후보대역 동향

밀리미터파(millimeter wave) 대역의 과거 역사를 살펴보면, 1990년대 후반에 28GHz 대역의 LMDS(Local Multi-point Distribution Service)의 상용화 시도가 있었으나, 당시 기술적 한계와 비용 문제로 대중화되지 못한 사례가 있었다. 하지만 이후 밀리미터파 IC 기술의 발달과 더불어 핫스팟 (Hot Spot) 지경에서는 초고속 이동통신망에 적합하다는 특성을 이용하여 5G 이동통신에 적용되고 있는 실정이다. 이에 따라 2015년 11월 스위스 제네바에서 개최된 WRC-15에서는 11개 대역으로 5G 후보 주파수 대역이 발표되었다.

최종 선정을 위해서는 주파수 사용에 따른 간섭 분석을 수행한 후 2019년 WRC-19에서 최종 확정될 예정이다.

이에 ITU-R SG3에서는 공유파라미터 연구와 ITU-R TG5/1에서 공유 연구를 위해, 한국의 주도하에 기존의 P.1238과 P.1411 모델을 해당대역까지 확장하였고(2017년), 3GPP RAN에서 초고주파대역 주파수에 대한 표준화 과제(WI:Work Item)를 2017년 3월 승인하였고, RAN4에서 2017년 5월 24.75-27.5 GHz와 26.5-29.5 GHz 두 후보 대역을 제안하여 28 GHz 대역(26.5-29.5 GHz)의 3 GHz 대역폭이 승인되었으며, 이후 2017년 7월 2018년 4월까지 해당 대역 정의를 위해 필요한 요구사항에 대한 기고를 RAN4에서 진행하고, 2018년 7월까지 RAN에서 Rel.15 주파수 대역 정의 규격에 28 GHz 대역을 NR 대역으로 최종 승인하여 추진하고 있다.

1.2 연구 필요성

전파를 발생시키는 기지국과 단말기는 전기통신사업용 무선설비 기술기준, 전자파 인체보호 기준, 전자파적합성 기준에 대한 만족여부를 시험하여 적합인증을 받아야 한다. 그러나 5G 이동통신 기기들은 현재 개발하고 있으므로 관련 기술기준과 시험방법이 마련되어 있지 않은 실정이다. 따라서 5G 휴대전화의 전자파 인체노출의 특성은 빔 포밍 기술, 근거리장과 원거리장 영역의 구분 기준, 고주파수 대역(28 GHz) 이용, 1*4 배열 패치 안테나의 전자파 분포 특성, 계산 알고리즘 방법 이용, 머리 및 몸통 조건에서의 평가 최소 떨어진 거리 설정 등으로 정의 할 수 있는데 실제로 5G 기술이 적용될 휴대전화는 빔포밍 기술을 이용하여 다양한 전자파 인체노출 시나리오가 가능하고 근거리장과 원거리장 영역의 평가 지점에 대한 구분 기준을 어떻게 결정할 것인지도 중요하며, 또한 고주파수 대역(28 GHz)의 전기장강도 측정용 프로브가 실제 측정할 때 주파수 특성에 의해 전자파 분포 특성에는 영향이 있는지 확인이 필요한 실정이다. 향후 근거리장 영역에서의 계산 알고리즘을 사용할 때 면적 및 지점선별 전기장강도 측정값으로부터 외삽법을 이용하여 얻은 값들의 오차 범위도 확인할 필요가 있으며, 또한 5G 평가방법 관련 IEC 기술보고서 및 최근 개정중인 IEC CD(위원회 초안) 보고서에도 제시하지 않은 머리 및 몸통 조건에서의 평가지점에 대하여 어떻게 평가 최소 떨어진 거리를 결정할지도 매우 중요한 요소가 되므로 이러한 요소들에 대한 검토 및 검증 과정들은 앞으로 연구를 통하여 해결해야한다. 따라서 생활전반으로 전자파 방사원(5G, IoT 등)이 확

산됨에 따라 국민 중심 전자파 안전관리체계 구축을 위한 제도 개선 및 신규 방안 마련 필요한 실정이다.

특히 국내에서 5G 기술 개발 선도에 따라서 기술에 부합되는 새로운 관리제도 및 생활에 따른 인체 노출량 평가 기준 및 측정방법에 대한 연구가 꾸준히 선도적으로 추진되어 왔음에도 불구하고 5G의 측정방법이 기존의 EIRP 방식이 아닌 TRP 방식에 따라 측정을 수행하면 사업자 및 시설자에게 엄청난 부담이 따라오게 되어 있다. 따라서 계산에 의한 무선국 전자파 평가 방법 및 관리 방안으로의 전환이 필요하며, 이를 위해서는 기존 연구에서 미흡한 사업자 별로 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 지속적으로 요구되고 있다.

1.3 연구과제의 경제·사회·기술적 중요성

먼저 정책 및 기술적인 측면에서 보면 현재 전자파 예측모델로 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) 등에 대하여 실측값과 비교가 가능함으로서, 국토지리원 3D 데이터를 이용하여 한국 지형에 맞는 전자파 예측모델의 선정이 가능할 것으로 기대되므로 정부의 무선국 전자파 강도 측정결과 보고제도 개선에 활용이 가능하며, 5G 상용화를 통하여 관련 사업의 진흥을 기대하는 사업자 및 시설자의 경제적 부담을 덜어주는 규제 완화 효과가 있을 것으로 기대된다. 특히 국민이 공감할 수 있는 제도개선을 통해 무선국으로부터 발생하는 전자파에 대한 국민적 불안감(전자파과민증)을 해소하며 전자파 이용 환경 기반 조성에 기여할 수 있을 것이다.

사회·경제적 측면에서 보면 본 연구를 통하여 현재 무선국 전자파 의무측정에 따른 사회적 비용이 매우 높은 수준임을 감안할 때 본 연구과제의 성공적 결과물을 활용한다면 무선국 전자파 측정 비용의 약 50~90% 절감이 가능하며, 산업적인 측면에서도 국내에서 전자파 관련 SW의 개발이 전무한 현실을 감안할 때 전자파 관련 시뮬레이션 툴의 개발 등 관련 산업의 활성화와 그와 관련된 인력의 육성에 기여할 것으로 기대된다.

1.4 연구 목표 및 내용

가. 연구 목표

5G 도입에 따른 생활환경 및 무선국 전자파 안전관리를 방안 연구를 통하여 국내외 전자파 평가 및 관리 제도를 조사·분석하고, 전자파 노출량·적합성 평가 및 관리제도 개선방안 연구하며, 생활환경 전자파 평가 및 관리제도 개선 방안 도출함과 동시에 전자파 분야 전문가들로 구성된 연구반 구성 후 4회 이상 운영함을 목표로 함

나. 연구 내용 및 방법

연구 내용 및 방법을 <표 1.1-1>과 같이 연구제안 요구사항(RFP)에 요구된 사항을 중심으로 추진하였다.

<표 1.1-1> 연구 내용 및 범위

요구사항(RFP)	연구 내용 및 범위
국내외 전자파 평가 및 관리제도 조사·분석 ○ 생활환경 전자파 노출량 평가 및 관리 현황·계획 ○ 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리 현황·계획	○ 생활환경(공간)의 전자파 노출량 평가 및 관리에 관한 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 전자파 노출량 평가 및 관리 현황 조사 - 생활환경 전자파 노출량 측정기술 현황, 표준화 및 산업 동향 분석 - 국가별 Risk communication 정책 조사 분석 - 생활환경 전자파 관련 법적 이슈 조사 분석 ○ 무선국 전자파 적합성 평가 계획 조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 5G 무선국 전자파 적합성 평가 현황 조사 ○ 5G 무선국 전자파 적합성 관리 현황·계획 조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 기지국의 전자파강도 측정방법 조사 분석 - 5G 기지국의 전자파강도 측정방법의 주요 개정 내용 조사 분석
전자파 노출량·적합성 평가 및 관리제도 개선 방안 연구 ○ 생활환경 전자파 노출량 측정 및 평가 방법	○ 국내외 생활환경 전자파 측정사례 및 평가결과 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 생활환경 전자파 측정 사례 분석 - 국토지리정보원 3D GIS 데이터와 공간정보 결합을 통한 분석 가능성 조사 연구 - KCA 보유 분석 툴인 ATDI를 사용한 측정 방안 연구 - RRA 독자 개발 전파환경 시뮬레이터 사용한 측정 방안가능성 검토 - 국내외 생활환경 전자파 평가 방법 사례 분석 - 국내외 각종 분석 툴을 이용한 전자파 평가 방법 분석 - KCA 보유 분석 툴(ATDI)과 기타 시뮬레이션 툴의 비교 분석 - 시뮬레이션 도출 값과 실제 환경 측정값과의 신뢰도 검증 방안 연구

요구사항(RFP)	연구 내용 및 범위
○ 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리제도 개선 방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생활환경별 전자파 측정·평가 방법 표준화 방안 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 생활환경별 전자파 측정·평가방법의 표준화 방안을 위한 선진 사례 조사 분석 - 생활환경별 전자파 측정방법 표준화 연구 - 생활환경별 전자파 평가방법 표준화 연구 ○ 계산·현장측정 등 평가 및 관리 병행제도 도입운영 방안 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 무선국 전파강도 계산방법에 대한 국제표준 및 국외동향 조사(유럽 중심) : 자료수집 및 자문을 위한 해외출장 - 주파수, 안테나 공급전력 등의 제원과 무선국 설치조건을 고려한 전자파 강도 계산 평가 방법 검토 - 무선국 안테나 사양을 이용한 방사패턴 추정 방법 - 광선추적법을 통한 매질 특성 등 파라미터별 계산 방법 - 다양한 무선국 사례별 계산식의 정확도 및 신뢰성 향상 방안 - 전자파 강도 계산 평가 방법과 실측 결과의 상관성 분석을 통한 평가 방법 검토 - 계산에 의한 평가 방법 적용 대상, 범위, 우선순위 등 검토 - 무선국 안테나에 대한 실험실 인증 방안 타당성 분석 - 무선국 전자파 관리제도 개선을 위한 계산 방법 도입 방안 검토 - Worst-case를 고려한 최적의 전자파 계산 방법 검토 - 계산식을 통한 전자파 강도 측정기준 개선(안) 검토 - 총노출지수 등 계산을 활용한 무선국 전자파 관리방안 검토 ○ 전자파 강도 현장 측정 표본 추출 및 검증 방법·절차 <ul style="list-style-type: none"> - 특정 무선국을 중심으로 거리별 전자파 강도 측정 방법 문제점 검토 - 생활환경 중심에서의 무선국 전자파 강도 국외 현황 조사 - 생활환경 중심의 무선국 전자파 강도 측정 방법 검토
전자파 평가 및 관리제도 개선 방안(안) 도출 ○ 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준(안) ○ 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리에 대한 관련 법·시행령·고시 개선(안)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준(안) 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 계산(시뮬레이터)에 의한 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준안 도출 - 효율적인 제도 개선을 위한 기관별 역할 및 추진체계 구축 방안 제시 ○ 계산 방법 도입에 따른 법·시행령·고시 개선(안) 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 전파법 및 전파법 시행령/전자파강도 측정기준 고시/무선국의 전자파 평가 방법 및 관리에 대한 국가 표준 등 개정안 마련 및 제안
전자파 분야 전문가 연구반(자문반) 구성운영 ○ 전문가 연구반 구성 ○ 전문가 연구반 운영	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계산 방법 도입 등 전자파 측정 제도 개선 방안 마련을 위한 연구반 구성 <ul style="list-style-type: none"> - 전자파 측정 관련 정책·제도에 대한 자문과 계산 방법 도입에 따른 전문가 의견 수렴을 위해 산·학·연·관 전문가로 위원회를 구성 - 위원수 : 10명 ○ 연구반 운영 일정 <ul style="list-style-type: none"> - 회의 개최 : 4회 (5월, 7월, 9월, 11월) - 워크숍 개최 : 1회(8월)

연구 방법으로는 기존 문헌 및 자료 분석은 물론 해외 벤치마킹을 통하여 선진 국가들의 전파진흥방안을 조사 분석을 수행하였다. 특히 기존의 연구가 LTE기반으로 2008년 이전에 활발히 추진되었으므로 최근에 추진 중인 5G에 대한 내용이 없는 점을 감안하여 이 부분을 중점적으로 보완하면서 수행하였다.

본 보고서에서 기술한 장별 내용은 다음과 같다. 서론에 이어 제2장에서는 국내외 전자파 평가 및 관리제도에 대한 조사 및 분석을 수행함에 있어서 생활환경 전자파 노출량 평가 및 관리 현황 및 계획을 서술하였고, 또한 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리 현황·계획을 상세하게 기술하였다. 특히 최근 상용화를 시작한 5G 이동통신 기술이 적용된 기기 중 휴대전화의 전력밀도(28 GHz)를 평가하는 방법에 대하여 기술하였다.

제3장에서는 전자파 노출량·적합성 평가 및 관리제도 개선방안 연구 내용을 기술하였다. 이는 최근에 5G 이동통신이 도입되면서 기존과는 달리 기지국 설치 후에 측정량이 대폭 증가됨으로서 관련 시공업체의 업무가 증대되고 있는 점을 고려하여 수치해석 기법을 도입하여 전자장 강도를 도출한 것과 실제 측정한 값을 비교하였다. 이는 앞으로 무선국 전자파 강도 측정을 일부분 수치해석 기법으로 대체할 수 있는 타당성을 확보하기 위한 연구의 일환으로 수행되었다. 수치해석 기법을 위한 지역 설정은 고층빌딩이 밀집한 대도시 지역, 일반 주거지역, 철근 건물이 많은 공업지역, 수목이 많은 농촌지역으로 구분하여 GIS 및 BIS 정보의 연계가 가능한 지역을 6개 지역(부산해운대, 대전시청, 춘천농공단지, 서산 대산항, 서산 비봉면, 서산 광시면 산간지역)를 표본으로 추출하여 4G LTE 와 5G 무선기지국을 대상으로 수치해석을 수행하였다.

제4장에서는 인체노출을 기준으로한 전자파 평가 및 관련제도 개선 방안 도출을 위한 정책적 제안 내용을 기술하였고 아울러 전자파 분야 전문가 연구반 운영내용을 상세하게 기술하였다.

제5장에서는 본 연구를 통해 얻은 내용에 대한 결론을 기술하였다.

제 2 장

국내외 전자파 평가 및 관리제도 조사·분석

- 2.1 생활환경 전자파 노출량 평가 및 관리 현황·계획
 - 가. 국내외 전자파 노출량 평가 및 관리 현황 조사
 - 나. 생활환경별 전자파 노출량 측정기술 현황, 표준화 및 산업동향 분석
 - 다. 국가별 Risk Communication(정보전달) 정책 조사 분석
 - 라. 생활환경 전자파 관련 법적 이슈 조사 분석
- 2.2 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리 현황·계획
 - 가. 국내외 무선국 전자파 적합성 평가 계획 조사 및 분석
 - 나. 5G 무선국 전자파 적합성 관리 현황·계획 조사 및 분석
 - 다. 적합성 평가 시험 관리 현황

2.1 생활환경 전자파 노출량 평가 및 관리 현황·계획

가. 국내외 전자파 노출량 평가 및 관리 현황 조사

1) 주요국의 전자파 보호 규제 동향

미국(연방통신위원회), 호주(통신국), 캐나다(보건국, 산업부) 및 스위스(연방환경 산림국토청) 등에서도 전자파인체보호기준을 법제화하여 일정출력 이상의 모든 무선설비는 전자파인체보호기준을 준수하도록 규제하고 있고, 무선국의 허가시 시설자가 전자파강도의 산정결과를 제출하여 전자파인체보호 기준의 준수 여부를 입증하도록 하고 위반의 증거가 있거나 필요한 경우 사후 관리차원에서 국가가 다시 조사할 수 있도록 규정하고 있다. 다음 <표 2-1>은 무선국 전자파강도에 대한 국가별 규제를 정리한 것이다.

<표 2.1-1> 세계 주요국의 전자파 보호 관리 현황

구 분	미국	스위스	호주	영국	일본
근거 법령	FCC CFR (Code of Federal Regulation)	환경 보호에 관한 연방법	1992년 무선통신법	무선설비규정	전파법, 전파법 시행규칙
강행 기준 여부	o 강제기준 : IEEE C95.1	o 강제기준 - 일반지역 : ICNIRP - 민감지역 : 일반 지역의 1/10	o 강제기준 : ICNIRP	o 강제기준 : ICNIRP	o 권고기준 : 전파방호지침
대상 설비	o 주요 무선설비 (방송국, 위성지구국, 실험국, 셀룰러, PCS 및 무선통신 설비)	o 고압 송전선, 방송국, 이동통신 기지국, 레이다 기지 등의 고정 시설물	o 무선송신설비	o 주요 무선설비 (방송국, 위성지구국, 실험국, 셀룰러, PCS 및 무선통신 설비)	o 주요 무선설비 - 20mW 이하, 이동무선국, 재난 무선국, 임시개설 무선국 제외
확 인 방 법	o 사업자가 설비구축, 변경 또는 면허 갱신 신청시 산정결과 제출 o FCC가 적합평가 후 면허 부여	o 허가신청시 시설자가 산정결과 제출 o SAEFL이 적합평가 후 허가	o 시설자가 자료 기록·보관 o ACMA가 요청시 제출	-	o 기준 초과 지역 안전시설 설치계획 제출

구 분	미국	스위스	호주	영국	일본
사 후 관 리	o 위반의 증거가 있는 경우조사 (OET)	o 필요시 샘플측정(SAEFL)	o 무작위, 민원, 장애발생시 측정(ACMA)	o 샘플 조사(OFCOM)	-
기 준 위 반 시 처 벌 규 정	o 시정명령	o 개선명령, 개선 기간동안 폐쇄 또는 운용제한 o 벌금형, 금고형	o 면허 일시정지, 취소, 벌금	o 시정명령	-
공 개 여부	o 미공개	o 미공개	o 미공개	o OFCOM 측정 자료 공개	-

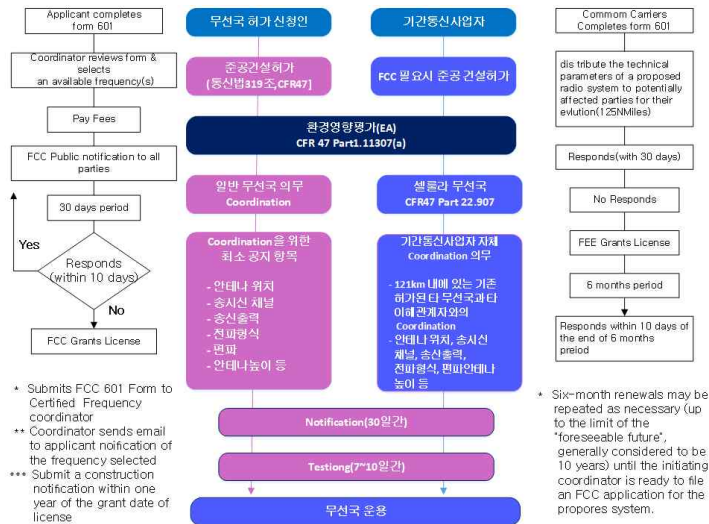
SAEFL(The Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape) : 스위스 환경 산림청

ACMA(Australian Communications and Media authority) : 호주 통신미디어청

OET(Official of Engineering & Technology) : FCC 기술국

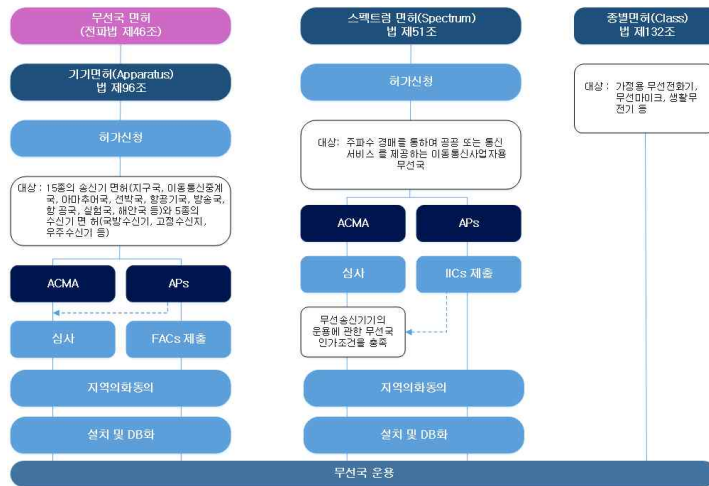
Ofcom (영국, Office of Communication)

- 미국은 1997년 10월부터 위성통신 및 방송, 일정 출력 이상의 육상과 해상의 이동 및 고정통신용 송신시설 등 시설의 허가 전 초기 환경평가(EA :Environment Assessment)와 사후의 정기 환경평가를 받도록 하고 있다.



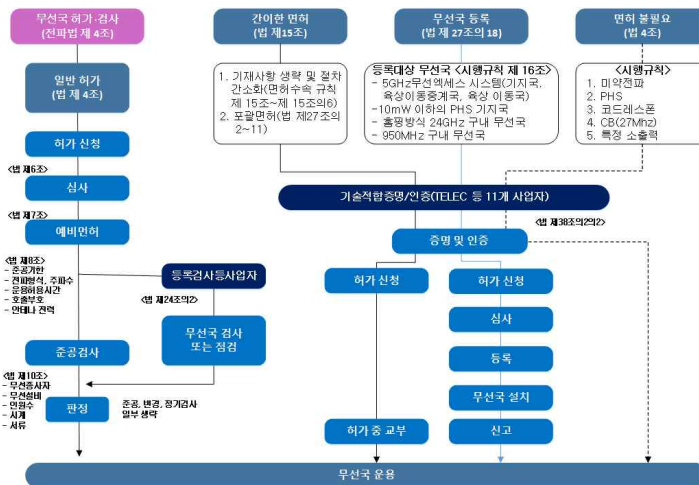
[그림 2.1-1] 미국의 무선국 허가심사 절차도

- 호주는 1999년 2월부터 기지국과 같은 송신장치의 설치 인허가시에, 의무적으로 업체의 자체 평가를 하고 그 기록을 보관하도록 하고, 호주통신국에서 요구시에 제출하도록 하고 있다.



[그림 2.1-2] 후주의 무선국 허가검사 체계도

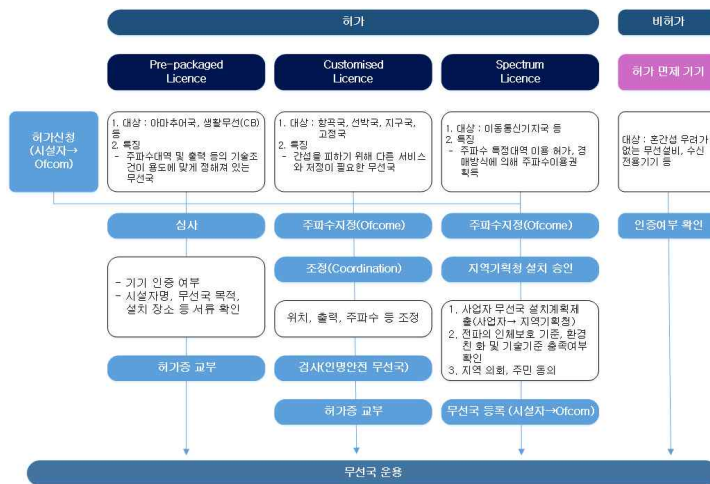
○ 일본은 2002년 6월부터 무선국의 개설자에 대하여 전자파의 강도에 대한 안전시설을 설계하는 것을 의무화하고 있다.



[그림 2.1-3] 일본의 무선국 허가검사 체계도

○ EU는 일반인에 대한 인체보호기준 권고안을 회원국내 기준의 합일화를 목표로 EC지침을 제정, 발표하였으나 현재 각국은 나름대로의 기준을 채택하고 있다. 특히 스위스는 2000년 2월부터 학교, 병원, 집, 놀이터 등 사람들이 오래 머무는 "민감지역"의 전자파에 대해 매우 엄격한 인체보호기준을 채택하였으며, "민감지역"의 기지국 주변 전자기장에 대해서는 ICNIRP 기준의 1/10 수준이다.

○ 영국의 규제기관(Ofcom)은 매년 이동전화기지국 중 각기 다른 환경에 있는 기지국(일반인의 신청도 받은 후 선별하여 반영)으로 약 100개 정도를 Sampling 하여 전자파 측정 후 국제기준(ICNIRP)과 비교한 세부 측정 결과를 일반에 공개하고 있다. 이것은 이동전화 기지국으로부터 방사되는 전자파가 국제기준에서 정한 기준치보다 낮음을 일반인에게 확신시키기 위한 목적으로 시행되고 있다. 2001년 초기 시행될 때는 학교, 병원 등을 중심으로 시행되었으며, 2003년부터 주거/상업지역과 민감한 지역 등을 대상에 포함하고 있고 또한, Ofcom은 조사결과의 중립성을 확보하기 위하여 규제기관 예산에 의해 시행하고 있다. 2018년에 이르러서는 과거에 이동전화기지국에 집중되어 있으나, 향후 Tetra 기지국 등 타 무선국으로 확대 시행하고 있음을 확인할 수 있다. 만약 검사 후 권고 기준치보다 전자파가 높게 나올 경우 Ofcom은 즉각적인 시정 조치를 사업자에 명령할 수 있다. [그림 2-1,2]에 측정결과를 공개한 자료를 보였으며 자세한 리포트는 부록 1에 첨부하였다.



[그림 2.1-4] 영국의 무선국 허가검사 체계도

Mobile phone base station audit - results 2006			
14 June 2010			
A summary of the highest measurement at each site audited is shown below. For the full measurement report, click on the site's name.			
A glossary of terms used can be found at the end of each report.			
Schools			
Name of site audited	Name of town	Date of audit	Summary of result
Clachan Primary School	Argyll	23/03/2006	The highest value Total Band Exposure Quotient was 2.08787E-06. This value is approximately 1/478956 of the ICNIRP maximum guideline reference level for public exposure.
Ditton Lodge Community First School	Suffolk	29/03/2006	The highest value Total Band Exposure Quotient was 6.09865E-06. This value is approximately 1/163971 of the ICNIRP maximum guideline reference level for public exposure.
Dr Challoner's High School	Buckinghamshire	15/06/2006	The highest value Total Band Exposure Quotient was 1.53956E-05. This value is approximately 1/64954 of the ICNIRP maximum guideline reference level for public exposure.

[그림 2.1-5] 2006년에 시행된 생활주변 EM 노출량 측정치 공개

출처 : <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/information/mobile-operational-enquiries/mobile-base-station-audits/2006>

Mobile phone base station audits 2018			
06 March 2019			
A summary of the highest measurement at each site audited is shown below. For the full measurement report, click on the site's name.			
Name of site audited	Name of town	Date of audit	Summary of result
High St Cranbrook TN18 4PY (PDF, 127.8 KB)	Cranbrook	16 January 2018	Pass
Derby Homes (PDF, 112.6 KB)	Derby	23 April 2018	Pass
Highcliffe St Mark Primary School (PDF, 551.7 KB)	Highcliffe	4 December 2018	Pass
Sunrising East Looe (PDF, 196.1 KB)	Looe	2 August 2018	Pass

[그림 2.1-6] 2018년 기준 기지국 EM 측정치 공개

출처: <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/information/mobile-operational-enquiries/mobile-base-station-audits/2018>

2) 국내 전파법에 의한 무선국 평가 및 관리 현황

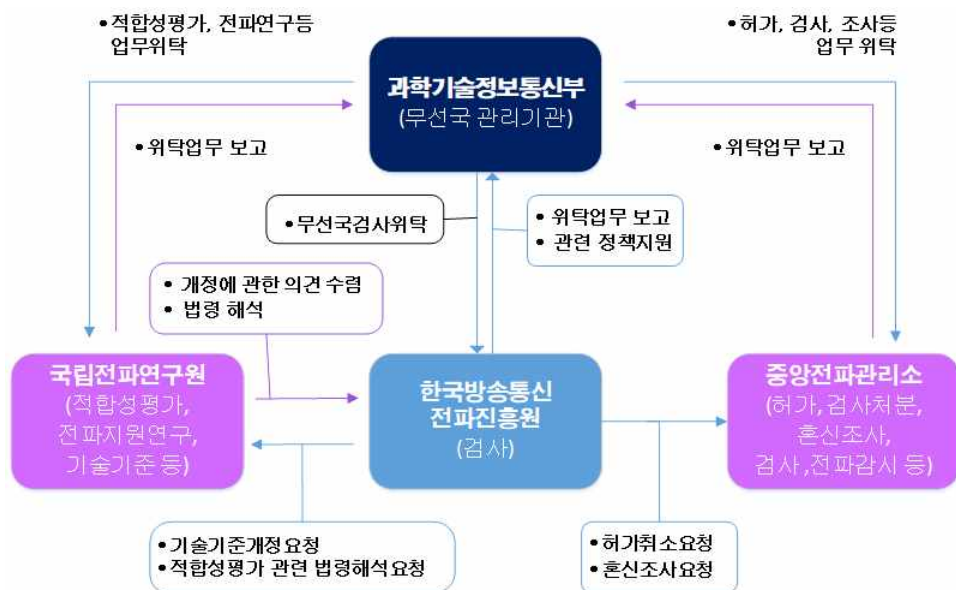
- 무선국 사이트에 대한 규제에 있어서 외국의 경우 일정 수준 이상의 출력을 내는 무선국 사이트에 대하여 그 전자파강도를 예측하거나 측정하여 전자파 인체보호기준 적합성 여부를 평가하는 제도와 전자파강도가 인체보호기준을 초과하는 지역에 대하여 보호시설을 설치하거나 무선국의 규격을 제한하는 제도를 이미 시행하고 있다. 우리나라 역시 무선국의 전자파강도가 인체보호 기준을 초과하는 지역에 대하여 보호시설을 설치하도록 의무화하고 있으나 무선국의 전자파강도를 측정하여 적합성 여부를 평가하는 제도는 시행하지 않고 있었다.
- 그러던 중 2006년 4월 외국과 같이 무선국의 전자파강도를 측정하여 적합성 만족 여부를 보고하도록 하는 전파법 개정안이 국회에서 의원입법으로 상정 되고 동년 9월 해당 상임위원회인 과학기술정보통신위원회에서 가결된 후, 동년 11월말 본회의 표결에서 가결되어 동년 12월 26일 공포되었다. 무선국의 전자파강도를 규제하기 위한 법안이 의원 입법으로 상정되었음은 전자파에 대한 사회적 불안감의 고조와 관련 민원의 증가가 정치적인 관심을 끄는 수준에 이르렀으며, 이를 적절하게 처리하는 제도 마련의 요구가 크다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 전자파에 대한 사회적 불안감을 해소하는 문제는 결국 효과적인 정보전달(risk communication)과 제도의 도입으로 의무와 책임의 설정을 명백히 하는 방법으로 해결해야 할 것으로 본다. 2018년 12월 18일 일부 개정된 전파법 시행령 제65조에 규정된 전파강도의 보고대상 무선국은 <표 2-1>과 같다.

<표 2.1-2> 전자파 강도 보고대상 무선국의 기준(제65조 관련)

무선국 구분	안테나공급전력 기준	설치장소 기준
1. 이동통신·휴대인터넷의 기지국·이동중계국	송신장치의 안테나공급전력의 합이 30와트를 초과하는 경우	「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제36조제1항제1호가목부터 다목까지의 규정에 따른 주거지역·상업지역·공업지역과 같은 항 제2호에 따른 관리지역에 설치하는 경우. 다만, 송신장치의 안테나공급전력의 합이 500와트 이하이고 안테나설치대에 설치되어 있는 안테나의 높이가 10미터를 초과하는 경우는 제외한다.
2. 통합공공망용 기지국·이동중계국·육상국	송신장치의 안테나공급전력의 합이 30와트를 초과하는 경우	
3. 무선통신·주파수공용 통신·무선데이터통신·위치기반서비스의 기지국·이동중계국	송신장치의 안테나공급전력의 합이 60와트를 초과하는 경우	

무선국 구분	안테나공급전력 기준	설치장소 기준
4. 방송국·방송보조국	송신장치의 안테나공급전력의 합이 60와트를 초과하는 경우	
5. 무선헤행육상국 무선탐지국상국(해당 무선국의 실험국을 포함한다)	송신장치의 안테나공급전력의 합이 60와트를 초과하는 경우	「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제36조제1항제1호가목부터 다목까지의 규정에 따른 주거지역·상업지역·공업지역과 같은 항 제2호에 따른 관리지역에 설치하는 경우. 다만, 안테나 주엽빔의 양각이 0도 이하인 경우에는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제36조제1항제1호라목에 따른 녹지지역과 같은 항 제3호에 따른 농림지역에 설치하는 경우를 포함한다.
비고: 「군용전기통신법」 등에 따른 군용전기통신설비는 보고대상에서 제외한다.		

- 우리나라는 전파법 제20조의2 제1항 제4호의 무선국 개설조건에 따라 최소한의 주파수 및 공중선전력을 사용하도록 하고 있으며 무선국 허가·검사의 전파관리 체계는 전파법 시행령에 따라 허가신청 → 송신설비 → 송신장치 → 공중선전력으로 연계된다. 우리나라는 전파관리를 효율적으로 하기 위하여 [그림2-x]와 같은 전파자원 관리체계를 가지며 전파관리 기관간 업무가 연계되어 있다.



[그림 2.1-7] 전파관리 유관기관 업무 연계도

나. 생활환경별 전자파 노출량 측정기술 현황, 표준화 및 산업동향 분석

1) 세계 주요국가의 전자파 보호 규제 동향 분석

가) 개요

생활공간에서 전자파 노출 수준은 지속적으로 증가하고 있다. 1975년 세계 최초로 미국의 여러 도시에서 행한 전자파 측정 결과에 따르면 지역의 평균 노출 수준은 약 0.05 mW/m^2 였었다. 반면에 1998년 스웨덴에서 행해진 유사 방법으로 측정한 결과는 도시 지역의 RF 노출 수준이 약 0.5 mW/m^2 결과가 나왔다. 또한 2009년에 그리스의 인구 밀집 지역의 최근 조사 결과는 도시 지역에서 3.9 mW/m^2 농촌지역에서 1.3 mW/m^2 를 보여주고 있다. 이 같은 추세로 볼 때 통신기술의 발전에 따라 RF에 대한 인간의 생활공간에서 노출을 갈수록 기하급수적으로 증가가 예상된다.

<표 2.1-3> 유럽 국가들의 EMF public exposure assessments

국가	노출 평가 방법			
	Survey by in-situ measurements	Long term RF radiation monitoring system	Personal exposimetry	Modeling of exposure
오스트리아	RF	-	RF, ELF	RF, ELF
벨기에	RF	-	RF	RF
불가리아	RF, ELF	-	-	-
크로아티아	RF	-	-	-
덴마크	RF	RF	RF	RF
프랑스	RF, ELF	RF	RF	RF
독일	RF, ELF	RF	RF, ELF	RF, ELF
그리스	RF, ELF	RF	-	RF
헝가리	RF	RF	RF	RF
아일랜드	RF	-	-	-
이태리	RF, ELF	RF	RF, ELF	RF, ELF
네덜란드	RF	-	RF	RF
포르투갈	RF	RF	RF	RF
슬로베니아	RF, ELF	-	RF	RF
스페인	-	-	-	RF
스웨덴	RF, ELF	-	-	RF, ELF
스위스	RF	-	RF	RF, ELF
영국	RF	RF	RF	RF, ELF

출처 : D4 EHFRAN, ELF : extremely low frequency

더불어 인간의 전자파 노출 문제를 측정하기 위한 노력이 활발히 이루어지고 있는데 유럽에서는 <표 2.1-3>에 보인 것과 같이 주로 네 가지 형태로 이루어지고 있다. 그것은

survey by in-site measurements, long term RF radiation monitoring system, personnel expository, modeling of exposure 등이다.

나) 북아메리카

국가(지역)명		미국 (2006/2010/2013)	캐나다 (2006/2010)
규제제정의 정부기관		FCC (연방통신위원회)	연방보건부, 연방산업부, 연방인력개발부
규제 종류	공중 노출	법적규제	법적규제
	직업인 노출	법적규제	법적규제
규제의 근거		<ul style="list-style-type: none"> • NCRP가이드라인 • SAR:ANSI/IEEE규격 	독자 IEEE, ICNIRP 등 참고
전파방호규제 법령·가이드라인 (제정/발효년)		<ul style="list-style-type: none"> • 연 방 규 정 집 (CFR) 47 전기통신, FCC규정 Part1 - §1.1307(b), §1.1310, Part2-§2.1091, §2.1093 (1996년(2013년 개정)) 	<ul style="list-style-type: none"> • 가이드라인: 안전규정6: 무선주파 전자계의 노출 제한 (1999년 개정) • 주파수관리·전기 통신 정책 문서(1995년이후) • 노동법제2부 10.26 (1985년) (1996년 수정)
주파수 범위	공중노출	300kHz~100GHz	3kHz~300GHz
	직업인노출	300kHz~100GHz	3kHz~300GHz
공중 노출 SAR	전신 평균	0.08W/kg	0.08W/kg
	머리·몸통의 국소최대	1.6W/kg (1g 평균)	1.6W/kg (1g 평균)
공중 노출 규제치 (내: 환산치)	기지국 900MHz	(47.6V/m), $600\mu\text{W}/\text{cm}^2$	47.6 V/m, $600\mu\text{W}/\text{cm}^2$
	기지국 1800MHz	(61.4 V/m), $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$	61.4 V/m, $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$
비고		<ul style="list-style-type: none"> • FCC의 SAR치의 근거인 IEEE규격은 2006 년 4 월에 개정되었지만 FCC의 SAR치는 미개정 	<ul style="list-style-type: none"> • 안전제정6 권고이지만 법적문서, 규칙에 인용되어 법적으로 강제화되고 있다.

다) 유럽

국가(지역)명		프랑스 (2006/2010/2013)	영국 (2006/2010/2013)
규제제정의 정부기관		생산재건성, 노동·고용·직업훈련·사회대화성사회 정책·보건성	공중위생청 (건강보호청-방사선 방호부)
규제 종류	공중노출	법적규제	법적규제
	직업인 노출	규정없음	권고(법적규제) (행정지도에 적용가능)
규제의 근거		EU이사회권고 (ICNIRP가이드라인)	EU이사회권고 (ICNIRP가이드라인)
전파방호규제 법령·가이드라인 (제정/발효년)		<ul style="list-style-type: none"> 무선통신시설의 공중노출의정령 (2002년) 핸드폰단말기의 적업평가의성령 (2003년) 핸드폰단말기의 노출제한치결정의 정령(2003년) 무선단말기기의 SAR 표시에 관하는 정령(2010년) 	<ul style="list-style-type: none"> R & T T E 규 칙 (2000년),전자계 노출 제한의 권고 (0~300GHz) (NRPB:Vol.15-2. 2004년) ·전자계 노출의 과학적인 증거의 논평 (0 ~ 300 GHz) NRPB:Vol.15-3,2004년) -NRPB권고 (1993년)는 2004년 폐지
주파수 범위	공중노출	0~300GHz	0~300GHz
	직업인노출	규정없음	0~300GHz
공중 노출 SAR	전신 평균	0.08W/kg	0.08W/kg
	머리·몸통의 국소최대	2W/kg(10g평균)	2W/kg(10g평균)
공중 노출 규제치 (내: 환산치)	기지국 900MHz	41V/m, 450μW/cm²	41V/m, 450μW/cm²
	기지국 1800MHz	58V/m, 900μW/cm²	58V/m, 900μW/cm²
비고		<ul style="list-style-type: none"> 파리시와 통신사업자가 각서를 체결(2003년),2006, 2010,2013년 갱신. 2G/3G:5V/m이하4G:7V/m이하 	<ul style="list-style-type: none"> R&TTE규칙으로 핸드폰 기지국과 단말기는 ICNIRP 가이드라인 준거

라) 아시아

국가(지역)명		일본 (2006/2010)	중국 (2006/2010)
규제제정의 정부기관		우정성	위생부, 국가환경보호국, 공업정보화부
규제 종류	공중 노출	법적규제	법적규제
	직업인 노출	권고(자주규제)	법적규제
규제의 근거		<ul style="list-style-type: none"> • ICNIRP 가이드라인기반 독자기준 • SAR: ANSI/IEEE 규격 	독자 데이터
전파방호규제 법령·가이드라인 (제정/발효년)		<ul style="list-style-type: none"> • 전파법 제30조(안전시설) 시행규칙 제21조의3(전자파강도에 대한 안전시설), 무선설비규칙제14조의2(인체머리에 대한 흡수율의 허용치)에 대한 강제규정 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경 전자파 위생표준 (1988년) • 전자 복사 방호규정 (1988년) • 초고주파작업장소위생표준 (1989년) • 작업장소초단파 복사 위생표준 (1989) • 마이크로파 및 초단파통신설비 복사 안전요구 (1991) • 작업장소주파수전계위생표준 (1996)
주파수 범위	공중노출	0~300GHz	100kHz~300GHz
	직업인노출	0~300GHz	100kHz~300GHz
공중 노출 SAR	전신 평균	0.08W/kg	0.02W/kg
	머리·몸통의 국소최대	1.6W/kg(1g평균)	규정없음
공중 노출 규제치 (내: 환산치)	기지국 900MHz	41V/m, 450 μ W/cm ²	12V/m, (38 μ W/cm ²)
	기지국 1800MHz	58V/m, 900 μ W/cm ²	
비고		<ul style="list-style-type: none"> • 현행의 전자계 방호기준의 개정이 검토 • 전파법 개정안이 2006년에 의회에 제출 	<ul style="list-style-type: none"> • 2005년 말 제출의 핸드폰 기준초안에서 SAR 2W/kg 를 제안

다. 국가별 Risk Communication(정보전달) 정책 조사 분석

1) 국제 전자파 Risk Communication 동향

- 전자파의 인체에 대한 가이드라인은 ICNIRP(International Commission on Non-ionizing Radiation Protection)에서 제정한 기준을 따르고 있다. ICNIRP는 비정부 기관이지만 WHO와 ILO에서 공식적으로 인정한 조직이며, EU에서도 인정하고 있다. ICNIRP의 전자파에 대한 가이드라인은 1998년에 최초로 발표 되었으며, 2009년에 재개정되었으며, 현재는 이 기준을 준수하였을 때 인체에 영향이 있다는 것에 대한 보고가 없어서 이 기준을 유지하고 있는 실정이다.
- 이스라엘의 법원은 전자파 과민증(Electromagnetic Hypersensitivity)을 경험한 이스라엘의 학생들의 수를 파악하여 보고하고, 전자파 과민증에 대하여 가이드라인에 포함하였으며, 정부에서 더 많은 정보를 조사하도록 임시명령을 내렸다. 또한, 이스라엘 교육부에서 학교 내에서 WiFi를 제한하기 위한 가이드라인을 발표 하였는데, 학교 내에 설치된 WiFi 장비를 설치 전후에 안전 제한치를 만족하는지 측정하고, 교육 목적 이외에는 휴대전화나 WiFi 장치의 사용을 제한하기 위해 RF 발생 장치의 전원을 끄도록 하고 규정하고 있다. 컴퓨터와 전원공급장치의 경우 학생들로부터 최소 20cm 이격 시키도록 하고 있으며, 초등학교 학생들은 WiFi의 사용량을 제한하여 일일 1시간, 주당 3일을 초과하지 않는 선에서 교육용으로만 사용 하도록 제정하였다.
- 인도에서는 전자기장 방사에 관한 새로운 기준을 채택하기로 결의하였다. 따라서 2012년 9월 1일자로 휴대전화의 SAR 기준을 기존의 10g 평균인 2.0 W/kg에서 1g 평균인 1.6 W/kg으로 변경하는 내용으로 전자파 관련 법안을 개정 하였다. 또한, 휴대전화의 SAR 값 단말기와 매뉴얼, 제조사 웹사이트에 반드시 표시하도록 하고, 휴대전화는 핸드프리와 함께 판매하도록 개정하였으며, 제조사는 반드시 기기 설명서에 전자파 노출을 감소시키는 예방 방법을 소개하도록 규정하고 있다. 기지국에서 방출하는 전자파는 노출기준을 $f/2000$ (f 는 MHz 단위)으로 제한하는 법안도 함께 마련하였다. 개정된 법안은 기존 모델의 경우 2013년 8월 31일까지 유효기간을 주고 2013년 9월 1일부터는 인도에 수입, 제조, 판매되는 모든 단말기에 적용하기로 하였다.
- 일본에서는 전자파정보센터(Japanese Electromagnetic Information Center)를 운영하며, RF를 비롯하여 ELF에 이르기까지 전자파에 대한 최선 정보와 연구 결과를 제공하고, 지역을 방문하여 전자파에 대한 교육이나 세

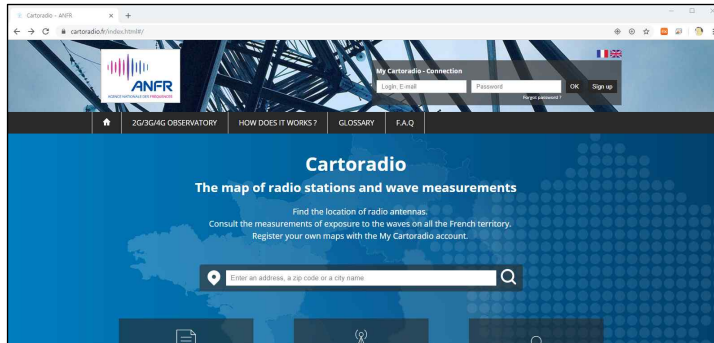
미나 등을 진행하고 있다. 또한, ELF 전자파를 직접 측정할 수 있도록 일반인 신청자에게 계측기를 대여하고 있으며, 국민들이 쉽게 이해할 수 있는 다양한 교육/홍보 자료를 만들어 배포하고 있다.



[그림 2.1-8] 일본 전자계정보센터 홈페이지

- 독일에서는 National Risk Communication Program을 운영하며, 전자파에 대한 대중 교육, 전자파 정보 제공 웹사이트 구축 등을 통해 대중과의 의사소통을 위한 다양한 프로그램을 진행 중이다.
- 네덜란드에서는 Ministry of Health, Welfare and Sport, 네덜란드 정부 등이 참여하는 전자기장과 인체 연구에 대한 연구 지원 프로그램인 ZonMw(Netherlands Organization for Health Research and Development)를 운영하며, 0~300 GHz 대역의 전자파에 대해 사회학 또는 역학 연구, 생체연구, 기술 연구 등을 수행 한다.
- 영국에서는 Public Health England에서 전자파 노출에 대한 새로운 웹사이트를 구축하여 정보를 제공하고 있으며, ICNIRP 가이드라인을 기본으로 전자파에 대한 노출 제한을 지속적으로 권고하고, 전자파 노출을 저감할 수 있는 방법을 제시하고 있다.
- 프랑스에서는 2014년 7월에 무선 네트워크와 휴대전화 사용에 대한 사전주의를 위해 상원에서는 법안을 통과시켰다. 법안의 내용은 초등학교에서는 무선네트워크를 사용하지 않을 때 는 시스템을 꺼놓도록 하고, 새로운 휴대전화는 어린이들을 위한 특별한 핸드즈프리(hands-free kits)를 포함하여 판매하도록 하고 있다. 또한, 기지국 안테나에 대한 정보를 온라인(웹 사이트)을 통해서 제공하고 있다. 또한, 프랑스에서는 COMOP(Operational

Committee)를 운영 하는데, 일반인에 대해 휴대전화의 안테나에서 발생하는 EMF 노출을 줄이기 위한 운영위원회로써, 현재의 RF 노출 상황 평가 및 노출량 감소를 위한 시나리오를 제시하고 실험적인 고찰을 하고 있다.



[그림 2.1-9] 프랑스 국가주파수 관리센터 홈페이지

- 이탈리아에서는 2012년에 전자파에 대한 소송으로 중요한 판결이 나온 사례가 있었다. 12 년 동안 하루 평균 6시간 직업적으로 휴대전화를 사용한 Marcolini가 청신경종양(acoustic neuroma)이 발생하자 2007년 이탈리아 직업 인 배상협회(INAIL)에 손해배상 청구하였지만 거절당했고, 이후 2009년 법원에 손해배상 청구 거절에 대한 소송을 제기하였다. 법원에서 는 Hardell의 연구와 INTERPHONE Study의 결과를 종합하여 전자파가 Marcolini의 종양 발생에 높은 가능성의 원인을 제공했다고 판결 하였다. 이후 이탈리아 직업인 배상협회에서는 판결에 대해 항소하였으나 2012년 10월 에 최종 적으로 하급법원에서 내린 결정이 적합하다고 확정 판결하였다.
- 캐나다 BCCDC(British Columbia's Centre for Disease Control)는 2013년 도에 환경·보건 분야의 간호사들을 위하여 건강보호지침 등의 내용을 수록한 “Radio frequency Toolkit for Environmental Health Practitioners,를 발간 하였다. 또한, 캐나다 온타리오 교직원회에서는 교실 내에서 휴대전화 사용에 관한 규정을 개정하였는데, 초등학교 교직원 연합회는 직원 에게 허락받기 전까지는 개인적인 전자기기 사용을 금지하도록 규정하였다. 캐나다의 국 가 특성상 영어와 프랑스어가 동시 사용되고 있는 데 국민들의 전자파에 대한 이해를 위해 2010년 프랑스어로 발간된 전자파 홍보책자를 2013 년 영어 판으로 번역 발간하였다.

2) 국내 전자파 Risk Communication 동향

- 국내의 표준은 2002년부터 휴대전화에 대해 인체보호기준을 제정하였으며, 기준은 조직 1g 기준으로 1.6 W/kg을 적용하였다. 최근 다양한 무선 전자기기가 개발됨에 따라 2013년에 인체로부터 20 cm 이내에서 사용하는 무선기기기로 확대하여 기준을 개정하였으며, 이에 따라 노트북(laptop), 태블릿 PC, 무전기, 무선전화기, MP3 등의 제품이 대상기기로 적용되었다. 무선국의 경우, 2007년부터 기지국에 대해 전자기장 강도를 보고하도록 제정하였으며, 전파 환경이 변함에 따라 2014년부터 다중 노출원에 대한 새로운 기준도 함께 제정하였다. 따라서 다중 노출원에 대한 총 노출량 계수는 각각의 노출원의 노출계수를 구해 더해 구해지며, 총 노출량 계수는 기준값을 초과하지 못하도록 규정하고 있다. 또한, 국내에서는 세계 최초로 전자파등급제를 시행하였다. 2013년에 전자파등급제를 도입하였고, 2014년 8월 1일부터 본격적으로 시작하였다. 전자파등급제의 내용은 크게 휴대전화와 무선국으로 분류하며, 휴대전화는 2등급, 무선국의 경우 총 4등급으로 분류하였다.
- 홍보측면에서는 국립전파연구원에서 국민들에게 정보 전달을 위해서는 매년 전자파를 안전하게 이용하고, 휴대전화를 안전하게 이용할 수 있는 홍보 책자와 전자파 용어집 등을 발간하여 국민들에게 배포하고 있다. 또한, 최근 생활속의 전자파 노출량을 확인할 수 있고, 전자파에 대해 쉽게 배울 수 있는 전자파 전문 홈페이지를 개설하였다. 홈페이지에서는 가전제품의 전자파 노출량을 보여줄 뿐 아니라 전자파로부터 안전하기 위한 방법을 제시하고 있으며, 전자파 측정 동영상상을 함께 제공하여, 남녀노소 쉽게 전자파에 대해 이해하고 학습할 수 있다.
- 정부에서는 2014년도에 전자파인체보호 종합대책을 발표하고, 전자파로부터 안전한 생활환경을 구현하기 위해 국민이 안심할 수 있도록 법제도를 개선하고, 연구의 신뢰성 향상을 위한 인체영향 연구를 강화하며, 사회갈등 해소를 위한 의사소통 체계를 마련하기 위한 전략을 수립하고 적합한 과제를 수행할 예정이다. 먼저 안전한 전자파 환경을 조성하기 위하여 기존 의 인체보호기준의 적용을 인체밀착사용 가전기기까지 확대·적용하며, 웨어러블 기기 등 선 기술이 적용된 기기에 대하여 인체보호기준을 도입한다. 또한, 취약계층 이용시설 등에 전자파 안전성 평가 제도를 도입하고, 고출력 전자파 및 전자파에 장기 노출되고 있는 직업인에 대한 보호대책을 마련하며, 마지막으로 국민의 체감을 고려한 전자파 총노출지수의 관리를 강화하기로 하였다. 국민이 안심하는 전자파 환경을 조성하기 위해서는 전자파 인체영향에 대한 선도적인 연구 기반을 마련하고, 전자파 노출을 최소화하기 위한 줄임

연구 등의 기술개발을 진행할 예정이다. 세 번째로 전자파의 사회 적 갈등 예방 및 해소를 위해서는 전자파 갈등 조정기구를 신설하고, 원스톱 전자파 민원대응 시스템을 구축하며, 올바른 전자파 이해를 위한 소통을 확대할 예정이다.

라. 생활환경 전자파 관련 법적 이슈 조사 분석

1) 주요 쟁점

가) 전자파 강도 측정·보고 대상 무선국 선정

- 전파법 개정안은 공중선 전력과 설치장소를 조건으로 전자파강도 측정·보고 대상 무선국을 전파법 시행령에서 규정하도록 하고 있다. 전파법 시행령에 명시할 대상 무선국에 실험국이 포함된다고 가정하면, 다음처럼 ‘공중 선 전력이 5W 이상이고 높이 10 m 이상 전용의 철탑에 설치한 실험국’과 같은 출력과 설치장소에 의한 선정조건이 전제되어야 한다는 의미이다. 그러므로 대상 무선국 선정에 대한 쟁점은 크게 두 가지로 첫 째, ‘어떠한 종류의 무선국을 대상으로 할 것인가’와 둘째, 해당 무선국의 ‘공중선 출력과 설치조건을 어떻게 정할 것인가’로 정리할 수 있다.
- 첫 번째 쟁점을 살펴보면, 전파법 개정안의 입법 취지 자체가 무선국 전자파에 대한 민원의 증가에 대처하기 위함이므로 전자파 관련 민원이 지속적으로 많거나 급증하는 무선국들이 대상으로 거론될 것이 확실시된다. 이런 측면에서 볼 때, 시설이 크고 눈에 잘 띄는 무선국들을 보다 환경 친화적으로 설치하여 사람들이 의식하지 않도록 하는 방법들이 점점 더 각광을 받음 과 동시에 무선통신사업자들의 정보 전달에 대한 노력도 기존보다 더 필요 해질 것으로 판단된다.
- 두 번째 쟁점을 살펴보면, 특정 무선국의 공중선 출력과 설치장소에 대해서, 설치장소에 대한 조건은 무선국마다 차등을 두지 않는 방향으로 논의가 진행될 가능성이 높다고 판단된다. 그러나 출력에 대해서는 주파수별 전자파 인체보호기준 제한, 무선국 안테나 설치 높이, 전체 공중선 출력 및 안테나 이득 등이 무선국마다 다르므로 특정한 무선국마다 공중선 출력에 대한 조건은 다르게 설정하는 방향으로 논의될 것으로 예상한다.

2) 전자파강도측정기준 개정

- 전자파인체보호기준의 적합성 판정을 위한 방법으로 국립전파연구원장 고시인 전자파강도측정기준이 시행되고 있다. 그러나 기존 고시는 전자파강도측정의 일반적인 사항을 규정하고 있으나, 특정 무선국 전자파강도 측정·보고에 적합한 조건과 절차를 규정하고 있지는 않으므로 이에 대한 집중적인 보완이 필요하다. 특히, 전파법 개정안이 무선국 시설자가 직접 전자파강도를 측정·

보고하거나 국가 또는 국가가 업무를 지정한 기관에게 측정을 위탁할 수 있도록 규정하고 있으므로, 두 측정 주체에 의한 측정결과의 신뢰성을 충분히 확보할 수 있는 측정조건과 절차가 제시되어야 한다.

- 또한, 측정방법에 있어서 무선국에 의한 최대노출가능지점과 접근가능지점을 고려하여 측정지점을 선정, 무선국의 전자파강도 측정결과를 해석하는 방법, 광대역 다중신호의 해석방법 등의 사안을 논의해야 할 것으로 예상된다.

3) 향후 전망

- 무선국 전자파강도 측정·보고를 의무화한 전파법 개정안은 전자파 관련 민원을 줄이기 위함을 표방하고 있다. 그러나 우리보다 무선국 전자파강도에 대한 규제 제도를 먼저 시행하고 있는 미국이나 유럽 등의 국가들이 제도시행을 시작한 시점부터 오히려 무선국 전자파 관련 민원이 많이 증가하기 시작했다는 지적이 제기되고 있음을 볼 때, 무선국 전자파강도 측정·보고의 의무화는 의도와는 반대로 민원 해소의 해결책이 되지 않을 수도 있다. 이에 더불어서 과학적으로 입증되지 않은 전자파의 인체유해성 우려에 기업들과 공공기관이 지출하는 비용도 문제로 제기될 수 있다. 그럼에도 불구하고 무선국 전자파강도 측정·보고는 국민 건강에 잠재적인 위협이 될 수 있는 문제로부터 국가가 국민을 보호하기 위한 조치를 이행하는 의미를 가지고 있으며, 무선국 설치로 인해 발생하는 각종 사회적·법적 문제들에 대한 책임과 의무의 한계를 명백히 할 수 있으므로 날로 증가하는 무선국과 무선통신 기기의 역기능을 방지하기 위해 언젠가는 도입되어야 할 제도라는 점도 명백하다. 전자파강도 측정·보고 대상 무선국의 범위가 어느 정도에서 확정될 지 아직 알 수 없으나 장기적으로 일정 출력 이상인 대부분의 무선국으로 점차 확대되는 추세가 예상된다.
- 기술적인 측면에서 보면 전자파 인체보호기준 적용을 위한 전자파강도 기준이 무선국 별로 더 세분화하고 발전됨에 따라 관련 계측산업과 인력 수요도 증가할 뿐만 아니라 전자파 인체영향 연구에 대한 사회적 관심과 지식도 증대되는데 기여할 것으로 기대한다. 이와 같은 기대에 부응하기 위한 전자파 인체 영향을 연구하는 관련 기관과 연구소 그리고, 학계 전문가들의 책임 의식과 지속적인 분발이 더욱 요구된다고 할 수 있다.

2.2 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리 현황·계획

가. 국내의 무선국 전자파 적합성 평가 계획 조사 및 분석

1) 한국

가) 관련 법령

국내의 경우 2011년 전파법을 개정(제58조의2 이하 신설)하여 기존 형식인증, 형식등록 제도를 적합성평가 제도를 도입하였다. 구체적인 법령 현황은 다음 <표 2.2-1>과 같다.

<표 2.2-1> 국내 적합성평가 관련 법령

구 분	법 령	대상기기
적합인증	<ul style="list-style-type: none"> · 전파법 제58조의2 제2항 · 전파법 시행령 제77조의2 · 방송통신기자재등의 적합성평가 고시 제5조~제7조 	전파 혼·간섭 위해, 인명안전과 인체 등에 유해한 영향을 주는 기자재 (예: 선박용 레이더 등)
적합등록	<ul style="list-style-type: none"> · 전파법 제58조의2 제3항 및 제4항 · 시행령 제77조의3 · 고시 제8조~제10조 	적합인증 대상기기보다 전파 혼·간섭 위해, 인명안전과 인체 등에 미치는 영향이 적은 기자재 (예: 분배기, 개인용컴퓨터 등)
잠정인증	<ul style="list-style-type: none"> · 전파법 제58조의2 제7항 · 시행령 제77조의5 · 고시 제11조~제14조 	평가기준이 없는 신제품 중 전파환경에 위해가 없는 기자재

나) 절차

먼저 적합인증의 경우 적합인증을 받으려는 자는 적합인증신청서, 사용자설명서, 시험성적서, 외관도, 부품 배치도 또는 사진, 회로도, 대리인지정서(대리인을 지정한 경우)를 첨부하여 국립전파연구원장에게 제출하여야 한다(고시 제5조). 다수의 공급업체로부터 명칭·형식기호·기능(성능) 등 기구적·전기적 특성이 동일한 부품을 선택적으로 사용하고자 하는 기자재인 경우에는 부품의 목록과 전기적 특성의 동일성을 증명할 수 있는 관련 자료를 제출하여야 한다. 적합인증 신청과 동시에 파생모델을 추가하는 경우 파생모델에 대한 그 목록과 전기적인 회로·구조 및 부가적인 기능에 관한 자료 또한 제출하여야 한다.

국립전파연구원장은 적합인증 신청을 받은 때에는 서류의 적정성, 적합성평가기준 적용의 적정성, 시험성적서의 유효성을 심사하여야 한다(고시 제6조). 원장은 심사결과가 적합한 경우 적합인증서를 신청인에게 교부하고 관보에 공

고하여야 한다(고시 제7조).

적합등록의 경우 적합등록을 신청하고자 하는 자는 적합등록신청서, 적합성 평가기준에 부합함을 증명하는 확인서, 대리인 지정서(대리인을 지정한 경우)를 첨부하여 국립전파연구원장에게 제출하여야 한다(고시 제8조). 파생모델이 있는 경우에는 적합등록 신청과 동시에 파생모델 등록이 가능하며, 적합인증 대상기자재와 적합등록 대상기자재가 조합된 복합기자재인 경우 적합인증 절차에 따른다. 또한 적합인증을 받은 무선 송·수신용 부품을 내장 또는 장착한 적합등록 대상기자재는 적합등록 신청절차에 따라야 한다(고시 제9조). 적합등록 신청이 있는 경우 원장은 적합등록필증을 신청인에게 교부하고 관보에 공고하여야 한다(고시 제9조). 적합등록을 한 자는 적합성평가기준에 부합함을 증명하는 확인서, 대리인 지정서, 사용자설명서, 시험성적서, 외관도, 부품 배치도 또는 사진, 회로도, 파생모델에 관한 서류, 변경사항 관련 서류 등을 비치하여야 한다(고시 제10조).

마지막으로 잠정인증의 경우 잠정인증을 신청하고자 하는 자는 잠정인증신청서, 기술설명서, 자체 시험결과 설명서, 사용자설명서, 외관도, 회로도, 부품 배치도 또는 사진, 대리인 지정서(대리인을 지정한 경우)를 제출하여야 한다(고시 제11조). 국립전파연구원장이 잠정인증 신청을 받은 때에는 서류심사와 제품심사를 하여야 하며, 잠정인증심사위원회를 구성하여 심사하여야 하며, 이 경우 서류심사 항목은 제출서류의 적정성, 잠정인증에 해당되는지 여부, 주파수분배의 적합성 여부, 사용지역 또는 신청자의 신청 유효기간의 적정성 여부이며, 제품심사 항목은 국제표준기구(ITU, ISO/IEC)의 표준, 방송통신표준 및 한국산업표준, 방송통신 관련 표준, 기타 해당 제품에 대하여 국제적으로 통용되는 규격, 국제적으로 신기술인 경우 신청자가 제안하는 기준이 있다.

참고로 잠정인증심사위원회는 위원장 1인과 간사 1인을 포함하여 15인 내외로 구성되며, 위원장은 해당분야의 전문가 중 소장이 위촉한 자, 간사는 국립전파연구원 소속 공무원으로 구성된다(고시 제14조). 위원회 위원은 위원장의 추천을 받아 원장이 위촉한다(고시 제14조). 위원의 자격요건은 4년제 대학에서 5년 이상 연구경력이 있는 전임강사 이상인 자, 국·공립 또는 관련분야 연구소에서 5년 이상의 경력이 있는 자, 제조업체에서 10년 이상 해당 기술분야에 근무한 자와 관련단체 전문가, 특허업무 및 품질보증시스템 평가 전문가, 관련 공무원 중에서 위촉된다. 위원회는 방송통신망의 침해를 초래하지 아니하는 등 망 이용에 피해를 주지 않는 경우, 전파에 혼신을 초래하지 아니하는 등 전파이용 환경에 피해를 끼치지 않는 경우, 이용자의 인명, 재산 등에 피해를

주지 아니하는 등 기자재 이용상 위해가 없는 경우와 관련한 사항, 잠정인증 제품심사에 적용할 적합성평가 기준에 관한 사항, 지역 및 유효기간 등 잠정인증에 대한 조건에 관한 사항, 신청기기에 대한 잠정인증 허용여부를 심의한다(고시 제14조).

심사결과 잠정인증을 허용한 때에 원장은 잠정인증서를 신청인에게 교부하고, 관보에 공고하여야 한다(고시 제13조). 잠정인증을 받은 자는 해당 기자재에 대한 적합성평가기준이 제정되거나 적합성평가가 곤란한 사유가 없어진 경우에는 이를 안 날로부터 3개월 내에 적합인증이나 적합등록을 받아야 한다(전파법 제58조의2). 기한 내에 적합성평가를 받지 아니한 경우 잠정인증의 효력은 소멸된다.

적합성평가 절차에 대해 구체적으로 살펴보면, 적합성평가 대상기자재는 공통 적용기준과 개별 적용기준 등 적합성평가기준에 적합하여야 한다(고시 제4조 제1항). 공통 적용기준은 전파법 제47조의3 제1항에 따른 전자파적합성(EMC) 기준이 있으며, 개별 적용기준은 무선분야(방송분야 포함)의 경우 법 제37조, 제45조, 제47조의2 또는 방송법 제79조에 따른 세부 기술기준에, 유선분야의 경우 방송통신발전기본법 제28조 또는 전기통신사업법 제61조, 제68조, 제69조에 따른 세부 기술기준에, 전자파흡수율(SAR)의 경우 법 제47조의2에 따른 전자파흡수율 측정기준에 적합하여야 한다.

즉, 전자파적합성(EMC)과 전자파흡수율(SAR) 기준을 제외하고는 모두 해당 설비의 기술기준에 적합하여야 한다. 여기에서 기술기준이란 주파수허용편차, 주파수대폭의 허용치, 스푸리어스영역 불요발사의 허용치, 전력, 변조특성, 수신설비 등 무선설비규칙과 각 해당 업무용(해상업무용, 항공업무용, 전기통신사업용 등) 기술기준에 규정되어 있는 기준 중 환경적 조건(진동시험, 충격시험, 연속동작시험, 온도시험, 습도시험, 낙하시험, 수밀시험, 주수시험, 기압시험, 풍압 및 진동운동 시험 등)과 전기적 시험항목을 의미한다. 따라서 방송통신기자재등의 적합성평가 인증시험은 기본적으로 무선설비규칙 등에 규정되어 있는 기술기준 모든 항목에 대해 시험을 하는 것으로 볼 수 있다.

이에 대해 국립전파연구원 공고 ‘무선설비의 적합성평가 처리방법’에서 환경적 조건과 전기적 시험항목을 개별적으로 규정하였으나, 지난 2016년 1월 5일 위 공고가 폐지되고 관련 국가표준을 준용하도록 개정되었다. 다만, 그럼에도 불구하고 환경적 조건 및 전기적 시험은 무선설비규칙, 각 업무용 기술기준 및 국가표준에 따라 기준과 동일하게 시험하면 된다.

<표 2.2-3> 미국 적합성평가 관련 법령

시험 인증 관련 사항	관련 법규(표준)
· 정보통신기기 시험 인증관련 일반 원칙(제251조 · 제255조)	연방통신법
· 인증에 관한 권한위임에 관한 사항	연방규정(CFR) Title 47
- 무선기기, EMC 등의 인증의 OET로의 권한 위임 : Part 0. 241	
- 유선기기 인증의 CCB로의 권한 위임 : Part 0. 291	
· 민간인증기관(TCB)지정 및 요구조건에 관한 사항	
- 무선기기 : Part 2.960, 2.962	
- 유선단말기기 : Part 68.160, 68.162	FCC 고시
· 인증제도 관련사항: Part 2, Part 68	
- Verification : Part 2, Part 68	
- DoC : Part 2. 906	
- Certification : Part 2. 907	
- SDoC : Part 68	TIA/EIA 표준
· 무선기기의 인증 관련 사항	
- 비의도 방사기기에 대한 인증 : Part 15.101	
- GMPCS에 대한 잠정인증 : Part 25.10	
· 유선기기의 인증관련사항 : Part 68	
- 유선단말기기 인증조건 : Part 68. 300~354	TIA/EIA 표준
· 민간인증기관의 운영조건에 관한 사항	
- FCC Public Notice DA 99-1640	
· 전기통신 네트워크 접속규제 인증가이드 : TIA/EIA TSB 129-A	

OET : Office of Engineering and Technology

WCB : Wireline Competition Bureau

TIA : Telecommunication Industries Association

EIA : Electronics Industries Association

TSB : Telecommunication Systems Bulletin

다) 운영체제

국내 적합성평가 운영체제는 규제기관인 과학기술정보통신부 및 국립전파연구원 등이 있으며, 지정기관, 인정기관, 적합성평가 시험 및 인증기관 등이 있다.

<표 2.2-2> 국내 적합성평가 운영체제

구 분	담당기관
규제기관	과학기술정보통신부
지정기관	국립전파연구원
인정기관	국립전파연구원
적합성평가	시험기관 43개 지정시험기관
	인증기관 국립전파연구원

2) 미국

가) 관련 법령

미국의 적합성 평가는 입증 또는 자체증명(Verification), 적합성 선언(DoC), 공급자 적합선언(SDoC), 인증(Certification)으로 구분된다. 미국의 인증제도 운영체제는 기관별로 규제기관, 지정기관, 인정기관, 인증기관이 분화되어 운영되고 있으며 각 기관별 기능과 역할이 매우 전문적으로 세분화되어 있는 것이 특징이다. 미국의 적합성평가 법령은 1934년에 제정된 '통신법'(1996년 개정), '연방규정집(CFR) Title 47, FCC 명령(Report & Order) 및 관련 고시(Notice) 등에 규정되어 있다.

나) 절차

미국 연방통신위원회(FCC, Federal Communications Commission))의 적합성평가 절차는 크게 입증(Verification), 제조자 적합성 선언(SDoC: Supplier's Declaration of Conformity 및 DoC : Declaration of conformity), 인증(Certification) 등 4가지로 구분된다.

먼저 입증(Verification)은 장비 제조자나 수입자가 기술기준 적합 여부를 시험 후 자체 인증한다. 제조사가 측정을 실시하고 기기가 해당 기술 표준에 부합한다는 점을 보증하는데 필요한 제반 조치를 취하는 절차이다. 적합성을 증명하는 샘플 단위나 대표 데이터를 위원회에 제출할 필요는 없다(\$2.902).

적합 선언(DoC)은 제조자가 직접 운영하는 시험기관 또는 사설시험 기관에서 장비의 인증기준 적합 여부를 시험 후 이를 근거로 기술기준과 부합함을 제조자가 자체 선언 하는 방식이다. 즉, 책임 당사자가 측정을 실시하고 기기가 해당 기술 표준에 부합한다는 점을 보증하는데 필요한 기타 조치를 취하는 절차이다. 적합성을 증명하는 샘플 단위나 대표 데이터를 위원회에 제출할 필요는 없다.

공급자 적합선언(SDoC)은 제조자가 제3의 공인 시험기관에서 장비의 인증기준 적합 여부를 시험 후 이를 근거로 기술기준과 부합함을 제조자가 자체 선언 하는 방식이다.

인증(Certification)이란 제조자가 FCC의 지정을 받은 인증기관인 TCB에 인증을 신청하고 TCB가 제조자의 신청내용을 토대로 심사하여 인증서를 발급해주는 방식이다. 또한 인증은 유통 또는 유통대기 중인 방송통신기기 샘플을 무상 수거(3대 미만) 또는 유상 구매하여 시험·확인한다. 위원회가 승인하는 허용 가능한 변경(permissive changes)이나 기타 변경(variation)을 제외하고, 수여자(grantee)가 추후 시판하고 시험을 실시하는 샘플과 동일한 모든

장치(all units)에 부여된다.

<표 2.2-4> 미국 적합성평가 절차

구 분	절 차	소요기간
입증 (Verification)	① 시험(시험기관) → ② 시험성적서 발급(시험기관) → ③ 자체 보관 → ④ 등록	-
적합선언 (DoC)	① 시험(시험기관) → ② 시험성적서 발급(시험기관) → ③ DoC 발행(신청자) → ④ 자체보관 → ⑤ 등록	
제조사 적합선언 (SDoC)	① 시험(시험기관) → ② 시험성적서 발급 → ③ SDoC발행(신 청자) → ④ 자체보관 → ⑤ ACTA등록	
인증 (Certification)	① 신청 → ② 시험(시험기관 또는 TCB) → ③ TCB 인증	2~4주

Doc : Declaration of Conformity

DDoc : Self Declaration of Conformity

ACTA : Administrative Council for Terminal Attachment

다) 운영체제

미국의 인증제도 운영체제는 기관별로 규제기관, 지정기관, 인정기관 등 기관별 역할이 구분되어 운영되고 있다. 즉, 각 기관별 기능과 역할이 매우 전문적으로 세분화되어 있는 것이 특징이다.

<표 2.2-5> 미국 적합성평가 운영체제

기 능	담당기관	역 할
규제기관	· 연방통신위원회(FCC)	· 인증규제 총괄 · MRA 상대국의 외국 CAB 인정
지정기관	· 국립표준기술연구소(NIST)	· 미국 CAB 자격 평가 · FCC 지정업무 대행 · MRA 시 다른 MRA 국가의 적합성평가 업무를 수행할 수 있는 미국 CAB 지정
인정기관 시험(Phase I)	· 미국시험기관인정기구 (A2LA) · 국립인증위원회(ACLASS)	· MRA 1단계 인정기관
인정기관 인증(Phase II)	· 미국표준협회(ANSI)	· MRA 2단계 인정기관
시험기관 (Testing Lab)	· NIST, ANSI 인정을 받은 시험 기관, 사설시험기관	· 시험업무 수행
인증기관 (TCB)	· FCC에 의하여 지정받은 민	· 민간 인증업무 수행

기 능	담당기관	역 할
	간인증기관	

FCC (Federal Communication Commission)

NIST (National Institute of Standards and Technology)

A2LA (American Association of Lab Accreditation)

ACLASS (ANSI-ASQ National Accreditation Board)

ANSI (American National Standards Institute)

MRA 1단계는 방송통신기기 시험기관을 상호 인정하고 그 시험기관에서 시험한 성적서를 인증

MRA 2단계는 상대국 인증기관이 발행한 인증서를 상호 인정하고 동 시험기관에서 발행한 시험성적서는 양국 인증기관이 상호 인정

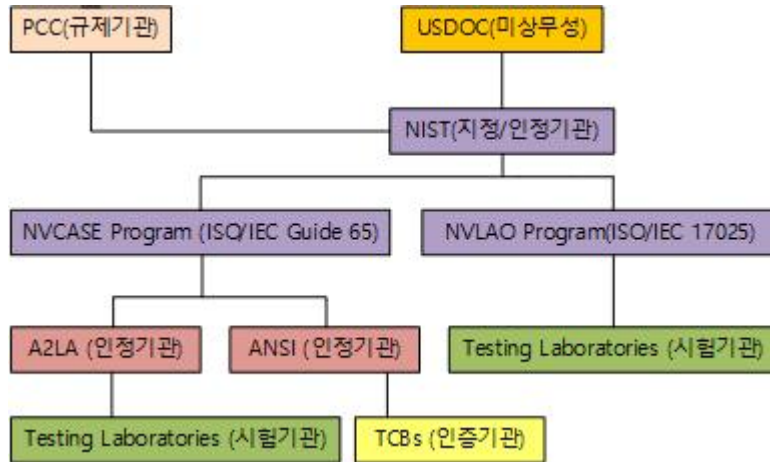
인정기관(Accreditation Bodies)이란 법률 및 국제기준에 의해 교정기관, 시험기관 또는 검사기관을 평가하여 공인하는 기구를 말한다. 인정기관은 ISO/IEC 17011(적합성평가-인정기관에 대한 일반요구사항)에 의해 인정기관으로 인정된다.

인증/시험기관 인정이란 법률 또는 국제기준에 의해 자격을 갖춘 인정기구가 전문적인 자격을 갖춘 평가사로 하여금 인증/시험기관을 평가하여 국제공인 인증/시험기관으로 승인하는 것을 말한다. ISO/IEC 17025(시험기관 및 교정기관 자격에 대한 일반요구사항) 및 ISO/IEC Guide 58/61/65 기준에 따라 인정기구로 인정된다.

미국 상무부 산하기관인 국립표준기술연구소(NIST)는 1999년부터 연방통신위원회(FCC)의 의뢰로 NVCASE에 의해 평가를 받은 ANSI를 인정기관으로 활용하여, TCB 제도를 도입하였다. FCC는 인정업무에 정부가 영향을 끼칠 수 없기 때문에(ISO/IEC 17011 4.3.7 Note 2) NIST를 인정기관으로 지정하고, NIST 등 인정기관이 NVCASE를 적용하여 인정한 TCB를 지정한다. 시험기관의 인정기준 및 절차는 NIST가 운영하고 있는 NVLAP에서 규정하고 있다. 참고로 NVCASE는 15 CFR Part 286에, NVLAP은 15 CFR part 285에 규정되어 있다.

NVCASE는 인정기구의 역량을 평가·승인하는 기준 및 조건을 규정하는 프로그램으로 EU 등과의 상호인정 추구를 위해 미 의회의 승인을 받아 NIST가 운영한다

NVLAP은 시험소의 인정을 위한 절차, 기준을 정하고 있는 프로그램으로써, 시험기관 인정의 유효기간은 1년이며, 인정된 시험기관이 NVLAP 인정조건을 위반한 사실이 발견되면 시험기관의 인정을 취소할 수 있다.



[그림 2.2-1] 미국 적합성평가 관리기관

[출처]: 한국전파진흥협회

미국 적합성평가 관련기관의 조직현황을 구체적으로 살펴보면, 먼저 연방통신위원회(FCC) 기술실(OET, Office of Engineering and Technology)이 적합성평가 관련 업무를 담당하고 있다.

3) 유럽연합

가) 관련 법령

유럽연합(EU)은 유럽 전기통신표준화기구(ETSI)에서 제정하는 유럽표준과 개별 회원국의 규제기준을 준수하는 체제를 갖추고 있으며 EU 대부분의 회원국들은 EU에서 정한 CE 마킹 체제를 따르고 있다. 유럽연합은 R&TTE 지침과 EMC 지침에 따라 적합성평가를 시행한다.

<표 2.2-6> 유럽연합 R&TTE 지침 관련 법령

구 분	내 용
지침 (Directive)	<ul style="list-style-type: none"> o R&TTE 지침 1999/5/EC o Directive 1999/5/EC of the European Parliament and of the Council of 9 March 1999 on radio equipment and telecommunications terminal equipment and the mutual recognition of their conformity: o 상호 적합 인정과 통신 단말장비와 주파수 장비에 관한 1999/3/9 EU의회 및 이사회 지침
결정 (Decision)	<ul style="list-style-type: none"> o COMMISSION DECISION of 29 August 2005 concerning essential requirements as referred to in Directive 1999/5/EC of the European

구 분	내 용
	<p>Parliament and of the Council ensuring access of Cospas-Sarsat locator beacons to emergency services :</p> <ul style="list-style-type: none"> o 유럽 의회와 이사회의 지침 1999/5/EC에 따라 긴급구조대가 Cospas-Sarsat(인명구조기구) 무선송신소에 접근하는 것을 승인하는 2005/8/29 진행 위원회 결정 o COMMISSION DECISION of 25 January 2005 on the application of Article 3(3)(e) of Directive 1999/5/EC of the European Parliament and of the Council to radio equipment intended to participate in the Automatic Identification System (AIS) : o 유럽 의회와 이사회의 지침 1999/5/EC의 3(3)(e)조항을 응용하여 선박자 동식별장치(AIS)에 참여토록 한 주파수 장비에 관한 2005/1/25 진행 위원회 결정 o COMMISSION DECISION of 4 September 2003 on essential requirements relating to marine radio communication equipment which is intended to be used on non-SOLAS vessels and to participate in the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS) : o non-SOLAS 선박용 해양 주파수 통신 장비 관련 조항 및 세계해상조난 안전시스템(GMDSS)에 참여하기 위한 2003/9/4 진행 위원회 결정 o COMMISSION DECISION of 21 February 2001 on the application of Article 3(3)(e) of Directive 1999/5/EC to avalanche beacons: o 눈사태 안전장비에 관한 2001/2/21 진행 위원회 결정 o COMMISSION DECISION of 22 September 2000 on the application of Article 3(3)(e) of Directive 1999/5/EC to marine radio communication equipment intended to be fitted to seagoing non-SOLAS vessels and which is intended to participate in the global maritime distress and safety system (GMDSS) and not covered by Council Directive 96/98/EC on marine equipment : o 해양 주파수 통신 장비가 원양항로용 non-SOLAS 선박에 적합하도록 하고 GMDSS에 참여토록 하며 해양 장비에 대한 이사회 지침 96/98/EC와는 관계가 없는 1999/5/EC 지침의 3(3)(e)조항을 응용한 2000/9/22 진행 위원회 결정 o COMMISSION DECISION of 26 May 2000 concerning the request by France to maintain pursuant to Article 18(3) of Directive 1999/5/EC of the European Parliament and of the Council (the 'R&TTE Directive') a requirement for telecommunications terminal equipment intended for connection to the analogue public switched telephone network of France Telecom : o 유럽 의회 및 위원회의 1999/5/EC (R&TTE 지침)의 18(3) 조항에 따라 프랑스의 아날로그 일반전화교환망에 접속 가능한 통신 단말 장비에 대한 요건을 유지시키고자 하는 프랑스의 요청에 관한 2000/5/26 진행 위원회 결정 o COMMISSION DECISION of 6 April 2000 establishing the initial classification of radio equipment and telecommunications terminal equipment and associated identifiers :

구 분	내 용
	o 연합국과 통신 단말장비와 주파수 장비의 최초의 구분을 설정한 2000/4/6 진행 위원회 결정
EU회원국 조화표준 (Harmonized Standards)	o EU의 위임을 받아 각 지침이 요구하는 필수 요구사항이 포함되도록 유럽표준화기구(ETSI 등)이 제정하는 표준들임 (M/364와 다수의 조항이 있음)
Guide	o Guide to the R&TTE Directive 1999/5/EC Version of 20/4/2009

<표 2.2-7> 유럽연합 EMC 지침 관련 법령

구 분	내 용
지침 (Directive)	o 2004년 EMC지침 (Directive 2004/108/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 15 December 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compability and repealing Directive 89/336/EEC)
결정 (Decision)	-
EU회원국 조화표준 (Harmonized Standards)	o EU의 위임을 받아 각 지침이 요구하는 필수 요구사항이 포함되도록 유럽표준화기구(ETSI 등)이 제정하는 표준들임
Guide	o Guide for the EMC Directive 2004/108/EC (8th February 2010) o "CENELEC Guide n°16 on the implementation of New Approach directives and the Low Voltage Directive with respect to the EC Declaration of Conformity"

나) 절차

유선기기의 경우 규제가 가장 적은 Annex II에 따라 자체시험 만으로 CE마크를 부착할 수 있다(NB 고유번호 없이 CE마크만 부착함). 공신력을 높이기 위해 Annex IV 또는 Annex V의 절차 선택 가능하다. 무선기기의 경우 해당 무선기기가 유럽연합이 정한 합의된 주파수대역과 관련 표준을 사용하는 기기인지 여부에 따라 Annex III~V 중에서 선택할 수 있다.

<표 2.2-8> 유럽연합 R&TTE에 지침 따른 적합성평가 절차

구 분	대 상	절 차
Annex II (Internal Production Control : 자체생산관리)	유선 단말기기	①제조사 자체 시험→②인증지침 요건 자체 검토→③검토한 기술문서 첨부→④적합성선언서 작성 및 NB고유번호 없이 CE마크 부착→⑤관련서류 10년간 보관
Annex III (Internal Production Control+Specific Apparatus Test : 자체생산관리+무선기기 시험)	조화표준이 있는 무선기기	①조화표준(Harmonized standards)에 따라 자체시험→②조화표준에 실험절차가 생략된 경우 지정된 기관이 설정한 절차에 따라 시험→③제조사 자신이 적합함을 선언→④기술문서 첨부→⑤적합성선언서 작성 및 CE마크와 NB고유번호를 부착→⑥관련서류 10년간 보관
Annex IV (Construction File Route : 기술문서파일)	조화표준이 없는 무선기기	①NB에 기술문서 제출→②NB에서 시험→③4주 내에 의견 및 시행한 실험절차를 발부함→④NB가 제조자 기술구성문서 승인→⑤ CE마크와 NB고유번호 부착→⑥관련서류 10년간 보관 ※ 국가별로 독자적인 주파수 사용하거나 조화표준이 존재하지 않는 무선기기의 경우 주로 적용됨
Annex V (Full Quality Assurance: 완전품질보증)	II~IV 선택사항	①NB에 의한 모든 품질 시스템 심사→②완전품질보증 업무(ISO9000)수행→③NB로부터 승인→④적합성선언서 작성→⑤관련서류 10년간 보관

[출처]: 한국전파진흥협회

<표 2.2-9> 유럽연합 EMC 지침 따른 적합성평가 절차

구 분	절 차
Annex II	①제조사 자체 시험→②적합성선언서 작성→③기술문서 작성→④관련문서 10년간 보관
Annex III	①제조사 자체 시험→②NB가 기술문서를 심사하고 제조자에 통보→③이를 근거로 적합성 선언서 작성③기술문서 작성→④관련문서 10년간 보관

※ EU는 공급자 적합선언(SDoC)을 시행하고 있어 별도의 인증 소요 시간이 없음(단, 제조사 요구에 따라 NB의 시험 및 심사를 거칠 경우 1~2주 소요)

※ 유효기간 없음

[출처]: 한국전파진흥협회

다) 운영체제

유럽연합은 제1자 적합성평가(SDoC)를 시행하고 있으며 세부적인 사항은 EMC 지침, R&TTE 지침의 부록에 규정되어 있다. EU는 각 국가별로 규제, 지정, 인정 기관을 운영하고 있으며 유럽연합의 조화표준(Harmonized standards)의 존재여부, 대상기기의 특성에 따라 EMC 지침, R&TTE 지침 등이 정한 세부절차(Module)별로 적합성평가를 시행한다.

<표 2.2-10> 유럽연합 적합성평가 운영체제

구 분	절 차
규제/ 지정기관	· 유럽 각 국가별로 규제/지정기관 운영
인정기관	· 적합성 요청과 사후관리에 관한 EU규칙 765에 따라 회원국별 법정 인정기구 설립, 운영 ※ EU규칙 765 : REGULATION (EC) No 765/2008 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 9 July 2008 setting out the requirements for accreditation and market surveillance relating to the marketing of products and repealing Regulation (EEC) No 339/93
적합성 평가 기관	EMC <ul style="list-style-type: none"> · EMC 지침상의 TCF검사와 EMC Testing을 수행할 수 있도록 국가에서 지정한 기관
	R&TTE <ul style="list-style-type: none"> · 국가별로 R&TTE지침에 기술된 적합성평가를 실시하는 제3자 기관으로 각 회원국의 사법권이 미치는 지역에 존재함 · 국제권고표준(ISO 17065)에서 정하는 자격과 지침이 정한 조건에 부합하는 기관으로 개별회원국이 EU집행위원회 및 다른 회원국에 통지 · 지정된 기관 NB(Notified Body)는 무선통신기기에 대한 적합성평가과정에 관여하며 시험인증관련 전문가 의견 제시

4) 일본

가) 관련 법령

일본의 방송통신기기 적합성평가 제도와 관련하여 적용되는 법령은 크게 국내 인증제도의 시행과 해외국가와 맺은 유·무선단말기기 상호인정협정의 추진을 위한 후속법령으로 나눌 수 있다.

<표 2.2-11> 일본 적합성평가 관련법령

구 분	제출서류
인증제도의 시행을 위한 법령	<ul style="list-style-type: none"> · 전기통신사업법 / 시행령 / 시행규칙 · 전파법 / 시행령 / 시행규칙 · 단말설비 등 규칙 · 무선설비규칙 · 단말기기의 기술기준적합인정 및 설계에 관한 인증에 관한 규칙 · 특정무선설비의 기술기준적합증명 등에 관한 규칙 · 전기통신사업법에 근거한 인정시험사업자 등에 관한 성령 · 인정점검사업자 등 규칙 · 전기통신사업법에 규정한 지정 기관을 지정한 성령 · 전기통신사업법 관계 심사기준 · 전파법 관계 심사기준
해외 국가와의 상호인정협정 시행을 위한 법령	<ul style="list-style-type: none"> · 특정 기기에 관계된 적합성 평가의 유럽공동체와의 상호 인정의 실시에 관한 법률 / 시행령 / 시행규칙 · 특정 기기에 관계된 적합성 평가의 유럽공동체와의 상호 인정의 실시에 관한 법률에 근거한 지정 조사 기관 등에 관한 성령 · 특정 기기에 관계된 적합성 평가의 유럽공동체와의 상호 인정의 실시에 관한 법률 제14조제1항에 규정한 지정 조사 기관을 지정한 성령 · 특정 기기에 관계된 적합성 평가의 유럽공동체와의 상호 인정의 실시에 관한 법률에 근거한 표시등에 관한 성령

[출처]: 한국전파진흥협회

나) 절차

일본의 적합성평가 절차는 전기통신사업법, 전파법, 기술기준적합확인(SDoC), 형식검정절차 등 근거 기준에 따라 다르며 유효기간은 없다.

일본의 적합성평가는 기술기준적합증명, 공사설계인증, 기술기준적합자기확인 3가지의 종류가 있다. 먼저 기술기준적합증명은 총무대신의 등록을 받은 자(등록증명기관) 등이 특정 무선설비(무선랜, 소형 수신기, 휴대전화 단말 등 소규모 무선국에 사용하기 위한 무선설비)에 대해서 전파법에서 정하는 기술기준에 적합한지 여부에 대한서의 판정을 특정 무선설비 1대마다 실시하는 제도

이다(전파법 제38조의6). 등록증명기관은 총무성령에서 정하는 바에 의해 무선설비 1대 1대에 대해서 시험(총무대신이 고시하는 시험방법 또는 이것과 동등 이상의 방법(특성시험의 시험방법에 따른다)) 등의 심사를 실시한 다음 증명을 실시한다.

<표 2.2-12> 일본 적합성평가 절차

구 분	절 차	소요기간	유효기간
전기통신 사업법상의 인증절차	①단말기기 제조업자 신청→②등록인정(승인)기관이 단말기기(또는 단말기기의 설계)의 기술기준적합에 대해 단말기기의 설계, 시험데이터 등을 기초로 심사→③심사 결과 적합할 때에는 지정한 표시를 단말기기에 부착	JATE, TELEC 업무 규정상 인증 심사 소요 기간은 15일임 단, 서류가 미비한 때에는 5일정도 추가 소요 될 수 있음	없음
전파법상의 인증절차	①특정 무선설비의 제조업자 신청→②등록증명(승인)기관이 특정무선설비(또는 특정무선설비 공사설계)의 기술기준 적합에 대해 특정무선 설비 공사설계, 시험데이터 등을 기초로 심사→③심사 결과 적합하다고 판정되면 성령으로 지정한 표시 부착(특정무선설비의 공사설계 인증은 신청자가 각각의 특정무선설비에 표시 부착		
기술기준 적합확인 (SDoC)상의 절차	총무성이 정한 시험방법 또는 그에 준하는 방법으로 공급자가 직접 시험을 수행하거나 외부시험소를 이용		
형식검정 절차	①제조자가 총무성 산하 정보통신연구기구(NICT)에 시험인증의뢰→②형식검정서 발급받음		

Jate : The Japan Approvals Institute for Telecommunications Terminal Equipment

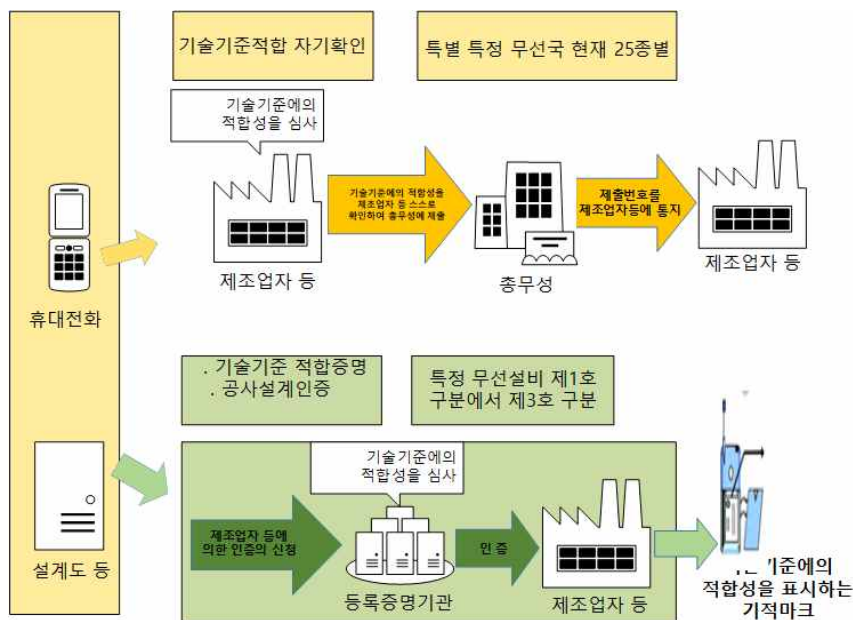
[출처]: 한국전파진흥협회

기술기준적합증명 제도의 도입 이유를 살펴보면, 일본에서는 1980년대 카폰 도입 등을 배경으로, 제조·판매 단계에서 기술기준 적합성인증을 실시하는 제도가 1981년에 도입되어 이 제도에 의해 인증을 받은 무선설비만을 사용하는 무선국 면허에 있어서는 예비면허 및 준공검사는 불필요하게 되었다. 이는 무선국 설비에 전통적인 면허 제도이외에 소형이며 대량생산의 무선설비의 이용을 전제로 면허 절차를 간소화하는 제3자의 제도를 본격적으로 도입한 것이 되어, 무선통신 시스템이 널리 국민에게 보급되게 된 계기가 되었다.

이러한 기술기준 적합증명제도의 도입에 따라 대량생산을 전제로 한 무선설비에 대해서는 면허부여시의 기술기준 적합성 심사가 거의 불필요하게 되었다. 특히 무선국이 기술기준 적합증명을 받은 무선설비를 사용하고 있는 경우에는,

기술기준 적합증명을 받은 다른 무선설비로 변경할 때도 면허를 받은 범위 내에 있으면 허가가 불필요하게 되어 있다(일본 전파법 제17조, 전파법 시행규칙 제10조 및 별표 제1호의3).

또한 기술기준 적합증명제도는 제도 창설 시점에서는 공익행정법인에 의한 확인행위로 자리매김 되고 있었지만, 2003년 개정에서 인증주체가 행정부가 지정하는 법인에서 등록법인으로 개정되어 국가의 사무대행성이 없는 민간기관에 의한 행위가 되었다. 이것은 무선국 면허심사의 기술기준 적합성 판단주체가 실질적으로나 제도적으로도 행정에서 민간으로 이행했음을 의미하는 것으로 해석될 수 있다.



[그림 2.2-2] 일본 기술기준적합증명 흐름

[출처] 일본 총무성

게다가 이 제도는 도입 초기에는 무선설비를 개별적으로 적합증명하는 제도였으나 그 후, 무선설비 개별 품목이 아닌 개별품목에 적용하는 설계 자체를 인증하는 제도인 공사설계인증제도(1998년)와 제조업체가 스스로 적합성을 선언하는 제도(자기확인제도)(2003년)가 도입되어 제조단계에서의 절차의 경감이 도모되어 왔다. 증명의 주체를 기술기준 적합증명 업무를 하는 제3자의 기관이 하거나 공급자가 직접 할 수 있는 자기적합제도(DoC : Declaration of Conformity)를 도입함에 따라 기술기준 적합성판단은 사후조치를 전제로 한

민간 등록기관의 행위로 변모되고 있다. 이들을 근거로 하면, 기술기준 적합증명을 받은 무선설비를 사용하는 무선국에 대한 허가의 성질은 점차 대물적 허가에서 대인적 허가로 인식 변화가 일어나고 있다고 볼 수 있다.

공사설계인증은 특정 무선설비가 기술기준에 적합한지 여부의 판정에 대해서 그 설계도(공사설계) 및 제도 등의 취급 단계에서 품질관리방법(확인 방법)을 대상으로 등록증명기관이 실시하는 인증제도로 무선설비 그 자체가 아니라 공사설계를 대상으로 하며, 실제의 무선설비는 인증 후에 제조되는 점이 기술기준 적합증명과 다르다(전파법 제38조의24).

즉, 공사설계인증은 무선설비가 기술기준에 적합한지 여부의 판정에 대해서, 무선설비 공사 설계(설계도, 유형) 및 업자의 무선설비 취급 단계의 품질관리 방법을 대상으로 실시하는 인증이다. 장래 그 설비가 생산할 예정의 「설계도」와 설계도대로 적절하게 생산 등이 이루어짐을 확보하는 「품질관리」를 대상으로 인증하므로, 무선설비 개별 기기마다에 대해서 실시하는 기술기준 적합증명과는 다르다. 공사설계인증은 등록증명기관에서 실시하는 바, 등록증명기관은 특정 무선설비를 취급하는 것을 업으로 하는 자에게서 요청이 있을 경우 그 특정 무선설비를 전 장에서 정하는 기술기준에 적합한 것으로서, 그 공사설계(해당 공사설계에 부합하는 지의 확인 방법을 포함)에 대해서 인증(이하 「공사설계인증」)을 실시한다. 특정 무선설비의 제조, 판매, 수입, 공사, 수리, 점검, 가공 등의 취급을 실시하는 업자가 있으면 등록증명기관에 공사설계인증을 요구할 수 있다. 다만, 일반 개인이 업으로 하는 것이 아니라 자기가 사용하기 위한 무선설비에 대해서 공사설계인증을 요구할 수 없다.

공사설계인증을 받은 후에는 다음과 같은 의무가 있다. 첫째, 공사설계 부합 의무로써, 등록증명기관에 따른 공사설계인증을 받은 자(이하 「인증취급업자」)는 공사설계인증에 관한 공사설계(이하 「인증공사설계」)에 근거한 특정 무선설비를 취급하는 경우에는 그 특정 무선설비를 인증공사설계에 부합하도록 해야 할 의무가 있다(전파법 제38조의25 제1항).

둘째, 특정무선설비의 검사·기록 보존의무로써, 인증취급업자는 위의 공사설계 부합의 의무를 이행하기 위해 공사설계인증을 받은 「확인 방법」(품질관리에 관한 방법)에 따라, 그 취급에 관한 무선설비에 대해서 검사를 실시하고, 그 검사 기록을 작성하여 보존해야 한다(전파법 제38조의25 제2항). 검사 기록의 항목은 검사에 관한 공사설계인증번호, 검사를 실시한 연월일 및 장소, 검사를 실시한 책임자의 이름, 검사를 실시한 특정 무선설비의 수량, 검사 방법 및 검사 결과이며, 검사일로부터 10년간 보존해야 한다.

검사기록의 보존은 전자적 기록에 관한 기록매체에 의해 실시할 있지만, 이 경우에 대해서는 전자적 기록을 필요에 따라 전자계산기 그 외의 기기를 이용하여 즉시 표시할 수 있는 상태인 것이 필요하다.

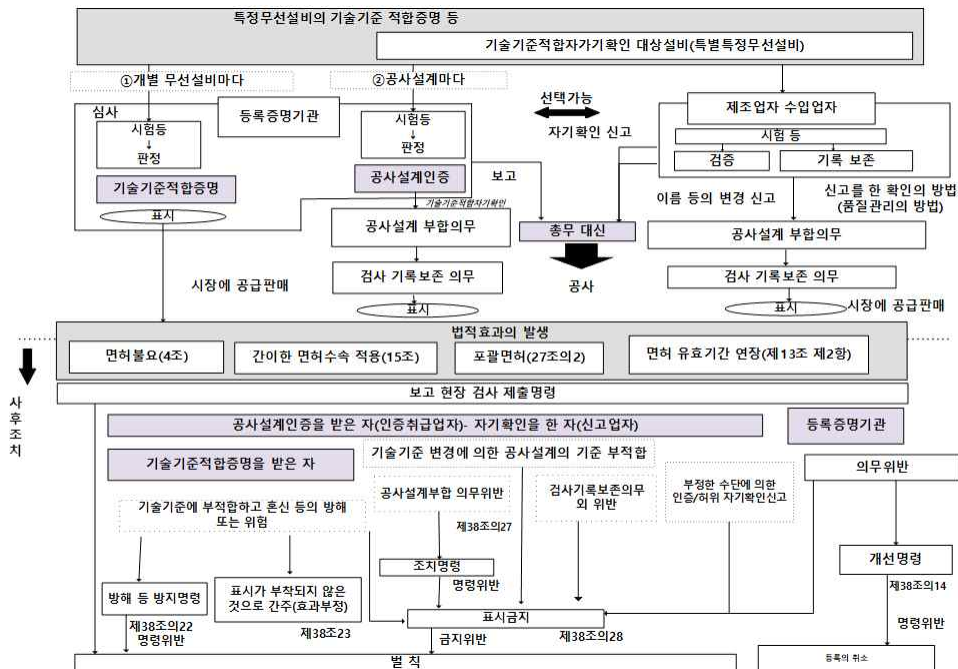
셋째, 적합표시무선설비로서의 표시의무로 인증취급업자는 인증공사설계에 근거한 특정 무선설비에 대해서 검사·기록 보존의무를 이행했을 때 처음으로 그 무선설비에 적합표시 무선설비로서 표시를 부착할 수 있다. 표시는 증명규칙 양식 제7호에 의해 특정 무선설비의 보기 쉬운 부분에 붙여야 하며, 절차에 따라서 표시를 부착한 무선설비는 「적합표시 무선설비」로서 법률상 특별한 지위가 부여된다. 예를 들어 적합표시 무선설비만을 사용한 무선국의 면허신청에 대해서는 면허제도의 특례조치로 준공검사가 필요 없는 등의 간단한 면허절차가 가능함과 동시에, 무선설비의 종류에 따라 포괄면허의 조치나 면허 불요조치가 가능하다. 누구라도 법률에 근거한 절차에 의해 표시를 붙이는 경우를 제외하고는 국내에서 무선설비에 이러한 표시 또는 이것들과 혼동하기 쉬운 표시를 붙이는 것은 금지되어 있으며, 표시가 붙어있는 무선설비에 대해서 개조 등의 변경공사를 한 자는 그 표시를 제거해야 한다(전파법 제38조의26).

넷째, 변경신고 의무와 관련하여 인증취급업자는 인증공사설계에 근거한 특정 무선설비에 대해서 검사를 마지막으로 실시한 날로부터 기산하여 10년을 경과할 때까지, 이름이나 주소 등에 변경이 있었을 때는 지체 없이 변경 신고서를 총무대신에 제출해야 한다. 다만 그 특정 무선설비 취급을 이미 종료했을 때는 불필요하다. 총무대신은 변경신고가 접수된 경우에는 변경내용을 공시해야 하며, 인증취급업자는 인증공사설계 내용의 일부 또는 전부를 변경하고자 하는 때에는 등록증명기관에 의한 새로운 공사설계인증을 취득해야 한다(증명규칙 제17조).

기술기준적합자기확인 은 특정 무선설비 가운데, 무선설비의 기술기준, 사용의 양태 등을 감안해서 다른 무선국의 운용을 현저히 저해하는 혼신 그 외의 방해를 줄 우려가 적은 것(특별특정무선설비(무선전화, 디지털 무선전화, PH S 육상이동국, 휴대무선통신용 육상이동국 및 광대역 이동무선접속시스템 육상이동국 등)의 공사설계에 대해서 제조업자나 수입업자가 일정한 검증을 실시하고, 전파법에서 정하는 기술기준에의 적합성을 스스로 확인하는 제도이며, 자기확인은 공사설계가 기술기준에 적합할 것에 더하여, 그 공사설계에 근거한 특별 특정 무선설비 모두가 공사설계에 부합할 것을 확보할 수 있다고 인정될 때에 한해서 실시할 수 있다(전파법 제38조의33). 일본의 적합성평가 운영체제를 정리하면 다음과 같다.

<표 2.2-13> 일본 적합성평가 제도 현황

구 분	내 용	대 상	시험기관
인명안전 무선설비 등	형식검정 (제37조)	<ul style="list-style-type: none"> 주파수 측정장치 의무선박국 의무항공기국 	인증기관
특정무선 설비	기술기준 적합증명 (제38조의 6) 공사설계인 증 (제38조의 24)	<ul style="list-style-type: none"> 면허불요국 22종 <ul style="list-style-type: none"> - 무선LAN, 블루투스 등 포괄면허대상국 36종 <ul style="list-style-type: none"> - MCA, 휴대전화 단말기 등 기타(간이면허, 등록대상 무선국) 98종 <ul style="list-style-type: none"> - 휴대전화 기지국 등 ※ 기술기준적합증명 또는 공사설계인 증 중 선택 ※ 공사설계인증은 불특정 다수가 사 용하는 대량양산품에 한해 가능	등록증명 기관
특별특정 무선설비	기술적합 자확인 (제38조의33)	<ul style="list-style-type: none"> 특별특정무선설비의 시험을 실시하고 공사설계에 대해 기술기준 적합성 여부에 대 해 확인하는 것 	제조업자 , 수입업자 등



[그림 2.2-3] 일본 특정무선설비 기술기준적합증명 및 자기확인 제도 개요

[출처] 일본 총무성

참고로 등록증명기관 및 제조업자 등이 준수해야 할 특성시험은 ‘특정무선설비의 기술기준 적합증명 등에 관한 규칙’에서 규정하고 있는데, ‘총무대신이 별도로 고시하는 시험방법 또는 이와 동등 이상의 방법’에 의해 시험항목 등을 규정하고 있다. 또한 총무성 고시 ‘특성시험의 시험방법을 정하는 건’에서 각 무선설비별 시험방법 등 규정하고 있으며, 대부분 안테나 급전점에서 케이블을 빼고 직접 측정기에 접속하여 시험을 실시하고 있다.

주요 시험항목으로는 (공중선전력) 안테나 급전점의 RF전력 측정, (주파수편차) 캐리어 신호 기준치에서의 주파수편차 측정, (점유대역폭) 방사된 RF전력이 차지하는 주파수대역폭 측정, (스푸리어스 방사) 파형의 왜곡에 의한 고조파 등, 송신주파수 이외에서 발생하는 전파 측정, (부차적인 잡음) 수신상태에서 발생하는 잡음 측정, (인접채널 누설전력) 송신채널에서 인접한 채널로 누설되는 RF전력 측정, (혼신방지 기능) 송신주파수의 중복을 피하기 위한 혼신방지 기능 확인 시험을 실시한다.

또한 무선설비가 공사설계와 동일하게 제조되었는지 서류와 샘플의 대비에 따라 확인하기 위하여 대비조합 심사를 실시하는데 이는 부품위치나 주요 소자의 배치 상태 등을 확인하는 것이며, 공사설계에 한정하여 확인방법서 심사를 한다. 이는 공장에서 양산되는 무선설비가 제출된 샘플과 동일하게 제조되었는지 품질관리체제를 심사하는 것으로써 신청자 또는 제조자 등이 ISO9001의 등록을 받은 경우 일부 생략이 가능하다. 조직도와 QC공정도, 프로세스 차트 등 생산관리나 품질관리에 관련된 서류를 함께 제출하여야 한다(현장감사는 미 실시).

다) 운영체제

일본의 적합성평가제도는 적합인정(유선단말기기)·적합증명(특정무선설비)·형식검정(선박 등 인명안전 관련 설비), 공사설계인증(유·무선설비의 제품설계), 기술기준적합확인(유선단말기기 및 특별특정무선설비(휴대폰 및 휴대폰 기지국))으로 구분된다. 정보기기는 전자파자주규제협의회(VCCI, Voluntary Control Council for Interference)의 단체 자율 확인 제도로 운영된다.

이는 공공성을 가진 인증기관만이 인증업무를 수행하는 방식에서 다수의 민간인증기관에게 인증업무를 확대한 것이다. 즉, 일본 방송통신기기의 적합성평가는 국가기관인 총무성과 민간인증기관에 위탁하는 형태를 띠고 있다.

일본적합성인정협회(JAB, Japan Accreditation Board)는 EU 및 싱가포르와 MRA 추진을 위한 지정인증기구(Designated Accreditation Body)의

역할을 하며, 경영시스템, 시험소, 요원, 제품의 대부분의 인정분야를 커버하고 있어 일본의 대표 인정기관(Accreditation Body)으로 볼 수 있다. 참고로 지정인정기관의 평가를 고려하여 총무대신의 인정을 받은 일본 국내의 인증기관을 인정 적합성평가기관이라 한다.

<표 2.2-14> 일본 적합성평가 운영체제

구 분		담당기관	주요역할
규제기관		총무성	· 인증규제 총괄
지정기관		총무성	· 일본국 및 외국의 시험 및 인증업체가 일본국 내 시험 인증 업무를 수행할 수 있도록 등록 업무 시행
인정기관		<ul style="list-style-type: none"> · JAB(Japan Accreditation Board for conformity assessment: 일본적합성인정위원회) · IAJAPAN(International Accreditation Japan: 일본 국제인정기구) · VLAQ(Voluntary EMC Lab Accreditation Center: 전자파 적합성 자율 시험소인정센터) 	<ul style="list-style-type: none"> · 외국과의 MRA시 활용하는 인정기구 · 적합성평가 체계하의 거의 모든 분야의 인정을 실시(경영시스템, 시험소, 요원, 제품)
적합성 평가	시험기관	<ul style="list-style-type: none"> · 단말기기 및 무선설비 : 일반 시험기관, 제조자 · 정보기기 : VCCI 승인시험기관 · SDoC에 의한 자체 시험 	· 단말기기, 무선설비, 정보기기 등에 대한 시험업무
	인증기관	<ul style="list-style-type: none"> · 등록인정(증명)기관 : 일본 내에서 인증업무를 하도록 등록된 기관 · JATE, TELEC, DSPR, Chemitox, JARD(아마추어무선국협회) TUV(추후라인란드) 동경지사 · 승인(인정)증명기관 : 해외에서 일본인증업무를 수행토록 승인된 기관 (KTL 등) · 인정 적합성평가기관 : 국가 간 MRA에 따라 상대국 적합성평가업무를 수행하는 기관 	
	기타	· 전자파 자주규제협회(VCCI) : 정보기기의 제조자 적합확인 관리 유지	

[출처] 한국전파진흥협회

나. 5G 무선국 전자파 적합성 관리 현황·계획 조사 및 분석

일본의 적합성평가제도는 적합인정(유선단말기기)·적합증명(특정무선설비)·형식검정(선박 등 인명안전 관련 설비), 공사설계인증(유·무선설비의 제품설계), 기술기준적합확인(유선단말기기 및 특별특정무선설비(휴대폰 및 휴대폰 기지국))으로 구분된다. 정보기기는 전자파자주규제협의회(VCCI, Voluntary Control Council for Interference)의 단체 자율확인제도로 운영된다.

이는 공공성을 가진 인증기관만이 인증업무를 수행하는 방식에서 다수의 민간인증기관에게 인증업무를 확대한 것이다. 즉, 일본 방송통신기기의 적합성평가는 국가기관인 총무성과 민간인증기관에 위탁하는 형태를 띠고 있다.

일본적합성인정협회(JAB, Japan Accreditation Board)는 EU 및 싱가포르와 MRA 추진을 위한 지정인증기구(Designated Accreditation Body)의 역할을 하며, 경영시스템, 시험소, 요원, 제품의 대부분의 인정분야를 커버하고 있어 일본의 대표 인정기관(Accreditation Body)으로 볼 수 있다. 참고로 지정인증기관의 평가를 고려하여 총무대신의 인정을 받은 일본 국내의 인증기관을 인정 적합성평가기관이라 한다.

<표 2.2-15> 일본 적합성평가 운영체제

구 분		담당기관	주요역할
규제기관		총무성	· 인증규제 총괄
지정기관		총무성	· 일본국 및 외국의 시험 및 인증업체가 일본국 내 시험 인증업무를 수행할 수 있도록 등록 업무 시행
인정기관		<ul style="list-style-type: none"> · JAB(Japan Accreditation Board for conformity assessment: 일본적합성인정위원회) · IAJAPAN(International Accreditation Japan: 일본 국제인증기구) · VLAQ(Voluntary EMC Lab Accreditation Center: 전자파 적합성 자율 시험소인증센터) 	<ul style="list-style-type: none"> · 외국과의 MRA시 활용하는 인정기구 · 적합성평가 체계하의 거의 모든 분야의 인정을 실시(경영시스템, 시험소, 요원, 제품)
적합성 평가	시험기관	<ul style="list-style-type: none"> · 단말기기 및 무선설비 : 일반 시험기관, 제조자 · 정보기기 : VCCI 승인시험기관 · SDoC에 의한 자체 시험 	· 단말기기, 무선설비, 정보기기 등에 대한 시험업무
	인증기관	· 등록인정(증명)기관 : 일본 내에	

구 분	담당기관	주요역할
	서 인증업무를 하도록 등록된 기관 - JATE, TELEC, DSPR, Chemitox, JARD(아마추어무선국협회) TUV(추후라인란드) 동경지사 · 승인(인정)증명기관 : 해외에서 일본인증업무를 수행토록 승인된 기관 (KTL 등) · 인정 적합성평가기관 : 국가 간 MRA에 따라 상대국 적합성평가업무를 수행하는 기관	
기타	· 전자파 자주규제협회(VCCI) : 정보기기의 제조자 적합확인 관리 유지	

[출처]: 한국전파진흥협회

다. 적합성 평가 시험 관리 현황

1) 시험 목적

국내 방송통신분야에서의 적합성평가제도는 유무선 통신망의 위해방지 및 전파 혼간섭 최소화, 방송통신기자재의 품질 유지를 통한 제품의 안전성 확보와 이용자 보호, 상이한 제품 간 의무표준 준수를 통한 상호호환성 보장을 목적으로 시행되었다. 즉, 방송통신기자재 적합성평가제도의 운영목적은 방송통신기자재 이용자의 안전보호 및 전기통신망 보호, 전파이용 질서유지라고 할 수 있다.

2) 시험 항목

국립전파연구원 고시인 “방송통신기자재등의 적합성평가에 관한 고시”는 적합성평가 대상기자재는 공통 적용기준, 개별 적용기준, 그 밖에 기술기준이나 표준 등 적합성평가기준에 적합하도록 규정하고 있다(제4조 제1항). 여기에서 공통 적용기준이란 전파법 제47조의3 제1항에 따른 전자파적합성(EMC) 기준을 의미한다. 개별 적용기준은 무선분야(방송분야 포함)와 유선분야로 구분되어 있는데 무선분야는 전파법 제37조(방송표준방식), 제45조(기술기준), 제47조의2(전자파 인체보호기준 등) 또는 방송법 제79조(유선방송국설비등에 관한 기술기준과 준공검사등)에 따른 세부 기술기준에 적합하여야 한다.

유선분야는 방송통신발전기본법 제28조(기술기준) 또는 전기통신사업법 제61조(전기통신설비의 유지·보수), 제68조(공동구 또는 관로 등의 설치 등), 제69조(구내용 전기통신선로설비 등의 설치)에 따른 세부 기술기준에 적합하여야 한다.

특히, 무선분야의 세부 기술기준과 관련하여 전파법 제37조는 미래창조과학부장관은 방송사업용 주파수의 효율적 이용과 이용자의 편의를 위하여 방송표준방식을 정하여 고시하여야 한다(제1항)고 규정하고 있으며, 전파법 제45조는 무선설비(방송수신만을 목적으로 하는 것은 제외한다)는 주파수 허용편차와 공중선전력[공중선의 급전선(給電線)에 공급되는 전력을 말한다. 이하 같다]등 미래창조과학부장관이 정하여 고시하는 기술기준에 적합하도록 고시에 위임하고 있어 결국 미래창조과학부 고시 “무선설비규칙”에 규정되어 있는 조건에 부합하여야 한다고 할 수 있다.

적합성평가 시험은 구조적·기능적 조건, 환경적 조건, 전기적 조건이 시험항목에 해당한다. 이에 대한 세부적인 사항은 무선설비규칙과 해당 업무별 기술기준에 규정되어 있다.

무선설비규칙에서는 무선설비 기술기준의 일반적 조건을 규정하고 있는 바, 주파수허용편차(제3조), 주파수대폭의 허용치(제4조), 스푸리어스영역 불요발사의 허용치(제5조), 전력(제6조), 변조특성 등(제7조), 공중선계(제8조), 수신설비(제9조), 보호장치 및 특수장치(제10조), 전원(제11조), 무선설비 동작안정을 위한 조건(제12조), 예비전원 및 예비품 등(제13조)이 이에 해당한다. 즉, 전파품질의 기본요소인 주파수허용편차, 주파수대폭의 허용치, 스푸리어스영역 불요발사의 허용치를 포함한 기본적인 사항은 무선설비규칙에 따라 모든 조건을 만족하여야 한다.

무선설비규칙에는 일반적 조건 외에 각 업무별 무선설비의 세부 기술기준도 규정하고 있는 바(제3장), 방송표준방식 및 방송업무용 무선설비, 신고하지 아니하고 개설했을 수 있는 무선국용 무선설비가 이에 해당한다. 또한 전파법 시행령 제123조 제1항에 따라 해상업무용 무선설비, 항공업무용 무선설비, 전기통신사업용 무선설비, 간이무선국·우주국·지구국의 무선설비, 전파탐지용 무선설비, 그 밖의 업무용 무선설비(신고하지 아니하고 개설했을 수 있는 무선국의 무선설비는 제외한다), 전파응용설비, 무선설비의 공중선전력과 전파응용설비의 고주파 출력 측정방법 및 산출방법에 대해서는 국립전파연구원 고시로 각 업무별 세부 기술기준을 규정하도록 위임하고 있다. 즉, 각 업무별 해당 무선설비의 세부적인 기술기준을 규정하고 있다.

적합성평가 시험의 면제는 앞서 살펴본 바와 같이 방송통신기자재등의 적합성평가에 관한 고시 제6장(적합성평가의 면제 등)의 시험·연구, 기술개발, 전시 등의 위한 기자재 등이 해당한다. 다만, 당초 적합성평가 시험 대상이었지만, 후에 변경사항이 발생한 변경신고의 경우 적합성평가기준과 관련된 변경사항 뿐만 아니라 모든 항목에 대해 시험을 다시 하는 것이 원칙이지만, 변경사항과 관련된 해당 적용기준만을 적용할 수 있도록 하고 있다(고시 제15조). 즉, ① 회로의 변경(인쇄회로 포함)이나, 구성품의 대치, 추가로 인한 변경, 부품소자의 제거, 대치, 추가로 인한 변경 또는 선택적으로 사용할 수 있도록 하는 변경의 경우(형식기호에 영향을 주지 않아야 한다.), ② 하드웨어 변경 없이 소프트웨어를 이용하여 새로운 기능 등을 구현 또는 추가함으로써 제4조 적합성평가기준의 시험항목이 변경되는 경우(이 경우 형식기호를 변경할 수 있다. 다만, 컴퓨터·스마트폰·스마트 TV 등과 같이 일반 사용자가 다양한 소프트웨어를 직접 설치하여 운용할 수 있도록 제조된 범용 정보기기는 적합성평가기준과 관련된 변경사항에서 제외한다.), ③ 완제품으로 적합성평가를 받은 기자재가 전파법 제11조 및 제12조에 따른 주파수 할당에 따라 하드웨어 변경 없이 사용주파수 또는 기술방식이 달라지는 경우에는 변경된 사항만 시험하면 된다.

또한 적합성평가기준과 관련된 변경사항이지만, 하드웨어 변경 없이 소프트웨어를 이용하여 사용 중인 기능을 차단하거나 또는 삭제하는 경우 적합성평가기준과 관련되지 아니한 변경사항으로 볼 수 있다고 규정하고 있다(고시 제15조 제4항).

3) 시험 방법

적합성평가 시험 방법은 국립전파연구원 공고 “무선설비의 적합성평가 처리방법¹⁾” 제18조(기술기준 항목별 시험방법) 및 별표 3에 따라 진행된다.

적합성평가 시험은 1대의 샘플시험으로 진행되며, 주파수측정기 또는 스펙트럼분석기를 이용하여 시험한다.

1) “무선설비의 적합성평가 처리방법” 공고는 2016년 7월 1일자로 폐지가 예정되어 있으며(국립전파연구원 공고 제2015-134호, 2016.1.5), 공고가 폐지됨에 따라 관련 국가표준인 “무선 설비 적합성 평가 시험 방법(KS X 3123)”을 따르도록 되어 있다.

제 3 장

전자파 노출량·적합성 평가 및 관리제도 개선 방안

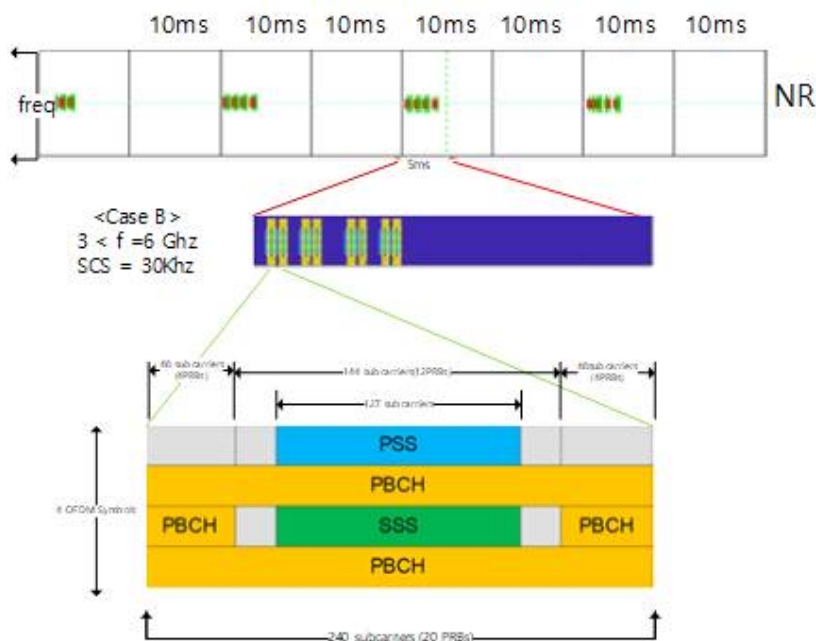
- 3.1 생활환경 전자파 노출량 측정 및 평가방법
 - 가. 5G 기지국의 전자파 강도 측정 방법
 - 나. 5G 기지국의 전자파 강도 측정방법의 주요 개정 내용
 - 다. 5G 기지국의 전력밀도 측정 방법
- 3.2 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리제도 개선 방안
 - 가. 전파 전파 모델 관련 조사 분석
 - 나. 계산·현장 측정 등 평가 및 관리 병행제도 도입·운영 방안

3.1 생활환경 전자파 노출량 측정 및 평가 방법

가. 5G 기지국의 전자파 강도 측정 방법

1) 개요

5G 휴대전화와 같이 기지국도 기존의 4G 서비스와 달리 고주파수 대역(28 GHz)과 빔포밍 기술을 이용한다. 5G 기지국은 3.5 GHz와 28 GHz 주파수 대역을 모두 사용하기 때문에 전기장 강도 또는 전력밀도로 평가가 가능하다. 그리고 5G 서비스 특성상 특정 지점·공간으로 전자파를 집중시킬 수 있는 빔포밍 기술을 이용하기 때문에 전자파 인체 노출량 측정방법 마련 시 이에 대한 고려가 되어야 한다. 물론 5G 서비스에서 요구하는 규격 또한 [그림 3.1-1]과 같이 다양하고 복잡한 구조로서 사용하는 주파수별로 대역폭, 변조, RB(Resource Block), Layer, SCS(Subcarrier Spacing), Subcarrier, SSB(Synchronization Signal Burst) 주기 등으로 구성되어 있다. 따라서 5G 기지국의 정확한 측정을 위해서는 이러한 요소들이 고려되어야 한다.



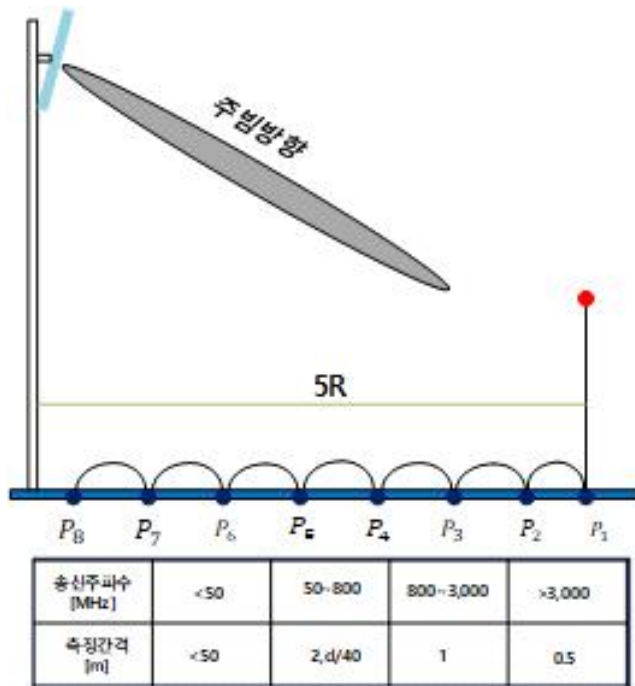
[그림 3.1-1] 5G 서비스의 요구 조건

(출처 : 3GPP TS 38.213)

나. 5G 기지국의 전자파강도 측정방법의 주요 개정 내용

1) 기존 기지국의 전자파강도 측정방법

전자파강도 측정방법은 먼저 측정시작지점을 찾기 위해 계산안전경계(R)를 구하고 5R이 되는 지점을 측정시작지점으로 결정한다. 그리고 [그림 3.1-2]의 아래에 있는 표에서와 같이 측정 보고대상의 사용 주파수에 따라 측정간격이 결정된다. 1.5 m 높이에서 측정간격별로 무선국 방향으로 최대 노출지점을 확인해야한다([그림 3.1-2]). 찾은 최대 노출지점에서 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m에서 각각 6분간 전기장강도를 측정하여 최댓값을 해당 무선국의 전자파강도로 한다.

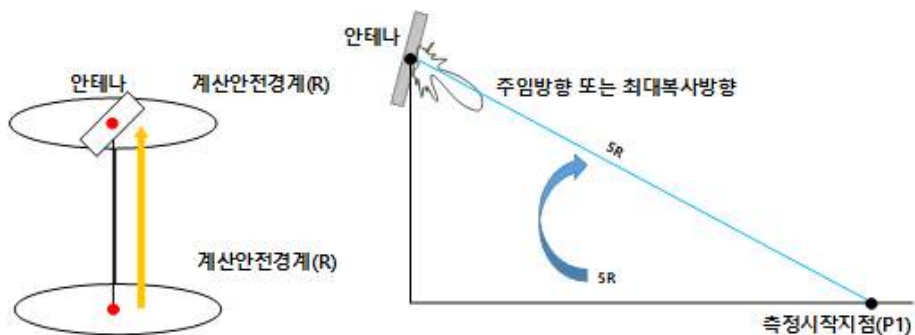


[그림 3.1-2] 기지국의 전자파강도 측정방법 설정 조건

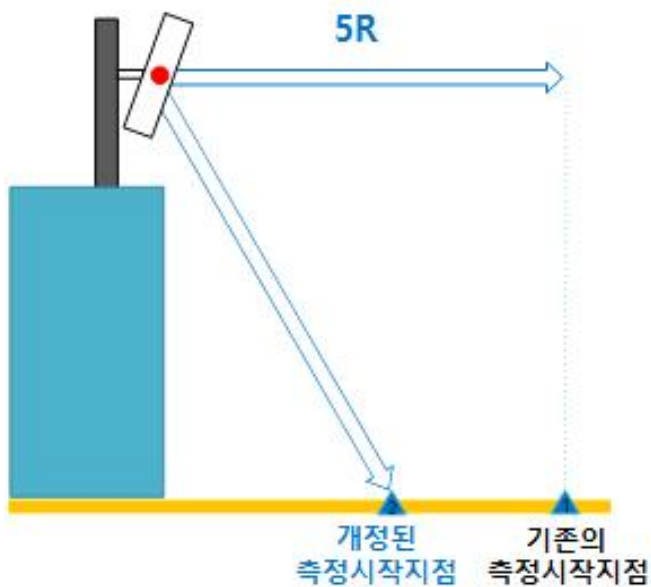
2) 계산안전경계(R)의 정의 변경

계산안전경계는 계산상으로 무선국의 전자파강도가 전자파인체보호기준 상의 기준값과 동일한 값을 갖는 지점들을 말한다. 기존에는 안테나 중심에 해당되는 지표면에서부터 계산안전경계를 계산하였지만 안테나의 중심으로부터 계산안전경계를 계산하도록 개정하면서 측정시작지점(5R)을 확인하는 개념도 변경되었다([그림 3.1-3(a)]). 이에 따라 [그림 3.1-3(b)]와 같이 무선국과 측정

시작지점과의 거리가 기존보다 짧아지면서 무선국의 측정지점수가 줄어들게 되어 측정시간 및 비용의 감소 효과가 있다.



(a) 계산안전경계의 개념 변경



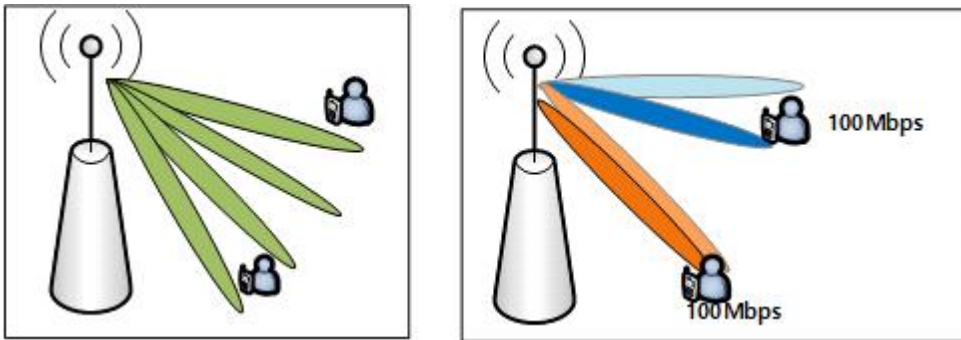
(b) 기존 및 개정된 측시작지점

[그림 3.1-3] 계산 안전 경계 및 측정시작 지점의 개념 변경

3) 5G 기지국의 전자파강도 측정방법 분야

본 연구에서 측정방법은 기존 전자파강도 측정방법과 새로운 기준신호 측정과 보상계수를 적용하는 방법을 고려하였다. 첫 번째로 기존 측정방법을 적용할 경우에는 측정시작지점에 빔포밍 기술을 이용하여 최대 전자파를 집중적으로 노출시킬 수 있어야 한다. 5G 기지국 서비스는 [그림 3.1-4(a)]와 같이 사용자의 휴대전화를 찾기 위해서 기준신호를 이용하며, 사용자와 데이터 통신을 위해서는 빔포밍 기술을 이용하여 집중적으로 데이터 신호를 주고받는다 ([그림 3.1-4(b)]). 그리고 두 번째 측정방법은 기준신호를 측정하고 대역폭, 변조, RB(Resource Block), SCS(Subcarrier Spacing) 등 5G 기지국의 서비스 특성을 고려한 보상계수를 적용하여 계산하는 방법이다. 이 방법은 전자파가 최대 노출되는 지점을 찾기 위한 과정을 거친 후 측정된 결과 중 최댓값 측정지점에서 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m 높이의 측정위치에 대해 기준신호의 전자파강도를 앞에서 언급한 것과 마찬가지로 6분간 측정된 값을 확인한다. 그리고 측정된 3개의 값에 대해 아래의 식(3.1-1)과 같이 최대 전자파강도 계산값을 산출하고 3개의 계산값 중 최댓값을 해당 무선국의 최대 전자파강도로 결정하게 된다. 여기서, $E_{i, meas}$ 는 셀*i*의 심벌 단위 기준신호 측정값이며, $K_i^{R_0}$ 은 한 동기신호그룹(Synchronization Signal Burst, SSB) 주기의 최대 전기장강도의 산출을 위한 보상계수이다.

$$E_{i,T} = E_{i, meas} \cdot K_i^{R_0} \quad (3.1-1)$$



(a) 기준신호 개념도 (b) 5G 데이터 통신 개념도

[그림 3.1-4] 5G 기지국의 서비스 개념도

4) 5G 기지국의 전자파강도 측정기준 마련을 위한 현장 측정 결과

KCA에서는 측정방법에 대한 검증을 위하여 5G 기지국에 대한 현장측정을 관련 기관과 함께 수행하여 측정값을 본 연구기관에 제공하였다. 이때 대상 기지국은 3.5 GHz 대역의 5G 기지국 시제품이며, 제원 정보는 <표 3.1-1>과 같다. 한편 [그림 3.1-5]는 5G 기지국의 측정환경을 보여주고 있다. 기지국이 설치된 건물의 맞은 편 주차장 건물 옥상에서 측정방법에서 규정하는 방법대로 임의지점에서 최대 전기장강도 측정을 수행하였다. 기지국으로부터 가시거리가 확보되는 60m 떨어진 지점에서 스펙트럼 분석기와 혼 안테나를 이용하여 전기장강도를 측정하였다. [그림 3.1-6(a)]는 시간 영역에서의 전기장강도를 측정한 결과를 보여주고 있다. 이 결과를 살펴보면, 측정지점에서 기준신호를 측정하고 최대 노출 조건 시 빔의 수(8개)를 고려한 보상계수를 적용한 최대 전기장강도는 2.79 V/m(기준대비 4.5%)이었다(<표 3.1-2>). 그리고 기지국의 모든 안테나 신호를 측정지점을 향하여 전자파가 최대로 노출되도록 설정하여 측정한 최대 전기장강도는 3.27 V/m(기준대비 5.3%)이었다(<표 3.1-2>).

<표 3.1-1> 5G 기지국 시제품의 제원 정보

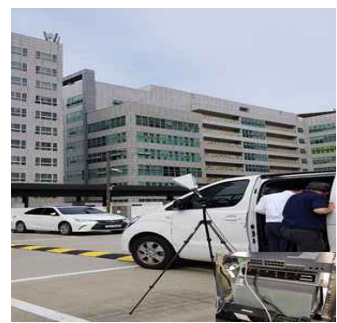
주파수	EIRP	안테나 이득	안테나 지향각	지상고
3.50 ~ 3.60 GHz	73 dBm (20 kW)	24 dBi	9도	47 m



(a) 측정환경 주변정보



(b) 5G 기지국



(c) 전자파강도 측정지점

[그림 3.1-5] 5G 기지국의 측정환경 모습

[그림 3.1-6(b)]는 복조 영역에서의 전기장강도를 측정한 결과를 보여주고 있으며, 실제 신호 8개의 빔을 확인할 수 있고 최대 수신되는 전자파는 4번 빔이 해당된다. 이 결과를 살펴보면, 측정지점에서 기준신호를 측정하고 보상계수를 적용한 최대 전

기장강도는 2.16 V/m(기준대비 3.5%)이었다(<표 3.1-3>). 그리고 기지국의 최대 전자파 노출지점에서 측정한 최대 전기장강도는 2.5 V/m(기준대비 4%)이었다(<표 3.1-3>). 이 값들은 5G 서비스가 가지고 있는 듀티사이클(duty cycle) 등을 고려한다면 두 가지 방법 모두 유사한 결과를 얻을 것으로 판단된다.

<표 3.1-2>와 <표 3.1-3>에서 보는 바와 같이 서비스 대역 100 MHz 기준으로 시간 영역과 복조 영역에서의 채널파워를 측정한 값은 각각 -5.82 ²⁾dBm과 -8.15 dBm이다. 이 결과 값의 차이는 시간 영역에서의 측정이 신호의 최대값으로 도출된 값으로 실제 값보다 높으며, 이러한 측정 오차 값은 항상 높은 값으로 나타나게 된다. 보상계수 적용 결과 또한 시간 영역 기반이 복조 기반의 도출된 결과보다 높게 나타나게 된다. 따라서 복조 영역에서의 측정을 통해 기준신호 측정 등으로 보상계수를 적용하는 더 정확하고 실제값에 가까운 측정값이 나올 것으로 판단된다.

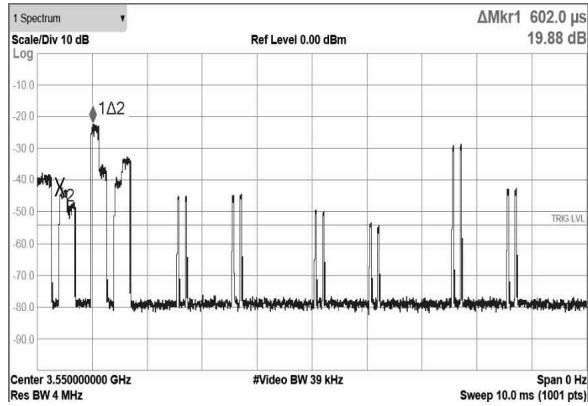
<표 3.1-2> 시간 영역에서의 전기장강도 측정 결과

측정거리 (m)		시간영역 측정 파워 (dBm/4MHz)	100MHz 대역 환산 최대 파워 (dMm)	최대 전기장 강도 (V/m)	기준신호 PBCH/RE (dBm)	기준신호 전기장 강도 (V/m)	외삽 팩터 (12*273RB)	보정팩터 (Sn)	외삽 최대 전기장 강도 (V/m)
1	60.00	-19.80	-5.82	3.27	-41.04	0.06	57.24		3.24
2	60.00	-19.80	-5.82	3.27	-41.04	0.06	57.24	0.8743	2.83
3	60.00	-19.80	-5.82	3.27	-41.04	0.06	57.24	0.8619	2.79

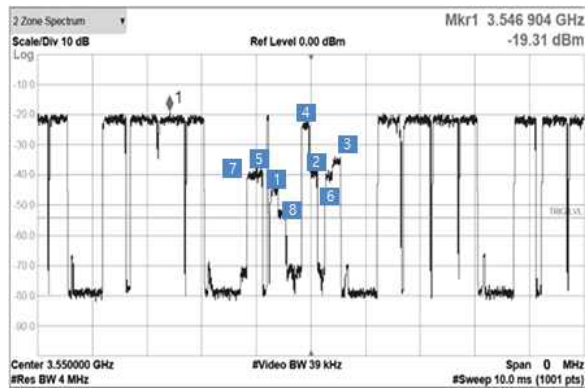
<표 3.1-3> 복조 영역에서의 전기장강도 측정 결과

측정거리 (m)	채널 파워 (dBm)	전기장 강도 (V/m)	기준신호 PBCH/RE (dBm)	기준신호 전기장 강도 (V/m)	외삽 팩터 ($\sqrt{12 \times 273}$ RB)	보정 팩터 (Sn)	외삽 최대 전기장 강도 (V/m)	Extrapla ted power (dBm)	계산된 EIRP (dBm)	Power 에서 계산된 E(V/m)
1	60.00	-8.15	2.50	-43.27	0.04	57.24	2.51	-8.12	58.77	2.51
2	60.00	-8.15	2.50	-43.27	0.04	57.24	0.8743	2.19	-8.12	2.51
3	60.00	-8.15	2.50	-43.27	0.04	57.24	0.8619	2.16	-8.12	2.51

2) dBm : 1mW = 0dBm, 10mW = 10dBm, 100mW = 20dBm, 1000mW = 1W = 30dBm = 0dB(W), 즉 일반적인 W(와트)전력값에 30dB를 더한게 dBm 단위라고 볼 수 있음



(a) 기준신호 측정 결과



(b) 전자파를 한 곳에 모았을 때 측정 결과

[그림 3.1-6] 시간 영역 및 복조 영역에서의 측정

다. 5G 기지국의 전력밀도 측정방법

위에서 기술한 측정조건 등을 이용하여 측정 보고대상 무선국인 5G 기지국의 전자파강도 측정 및 인체보호기준 준수 여부를 확인하기 위하여 5G 기지국의 전력밀도 측정방법을 마련하였으며 이를 이용하여 측정한 값을 KCA에서 받아서 본 연구에서는 시뮬레이션 툴을 사용하여 무선기지국(eNodeB)의 커버리지 분석을 수행하였다.

3.2 무선국 전자파 적합성 평가 및 관리제도 개선 방안

가. 전파 전파 모델 관련 조사 분석

1) 개요

○ 전자기파 전파의 물리적 메커니즘은 자유 공간 전파, 반사, 회절 및 산란 등의 요소가 있다. 이러한 메커니즘은 전자기 신호의 전파를 결정하게 된다. 전파 전파를 예측하기 위한 방법 및 모델이 개발되고 있는데 무선 채널의 특성은 항상 시변(time variant)이라는 것을 기억 고려해야 한다. 전파 모델(propagation model)은 경험적 통계 모델(empirical-statistical model)과 결정론적 기하학 모델(deterministic-geometrical model)로 크게 2가지로 구분된다. 경험적 모델은 적용 범위를 신속하고 대략적으로 계산하는데 잘 응용된다. 경험적 모델은 지형에 대한 자세한 지식 없이도 전계 강도를 계산할 수 있기 때문이다. 이 모델은 다양한 환경에서 광범위한 측정을 통해 얻은 데이터를 사용하고 지도 제작 데이터에 거의 의존하지 않는 간단한 방정식을 사용한다. 결정론적 기하학 모델은 계산 집약적 일 수 있다. 이것은 시간이 많이 걸리지만 지리적 전파 범위를 훨씬 더 정확하게 계산할 수 있다. 이 모델은 지형에 대한 자세한 지식이 필요하며 지구의 곡률 또한 분석요소로서 고려한다. 일부 문헌에서, 반-경험적 모델(semi-empirical model) 또는 반결정적 모델(semi-deterministic model)로 명명된 제 3의 전파 모델 카테고리 제안되고 있으며, 이것들은 위에서 언급한 두 가지 유형의 모델 조합으로 볼 수 있다.

2) 자유 공간 전파 모델(free space propagation model)

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 의해 식 (3.2-1)과 같이 주어진다.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (\text{식 3.2-1})$$

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 (3.2-2)와 같이 주어지는데

$$P_L(dB) = 10\log_{10}\left(\frac{P_r}{P_t}\right) = 10\log_{10}\left[\frac{(4\pi)^2 d^2}{G_t G_r \lambda^2}\right] \quad (\text{식 3.2-2})$$

로그를 취하고 λ 를 잘 알려진 공식 $\lambda = c/f$ 로 대치하면 <식 3.2-2>는 확장 식 <식 3.2-3>으로 거리 d (km) 및 작동 주파수 f (MHz)와 같이 표현 할 수 있다.

$$P_L(dB) = -G_t(dB) - G_r(dB) + 32.44 + 20\log_{10}d(Km) + 20\log_{10}f(MHz) \quad (\text{식 3.2-3})$$

3) 경험적 통계 모델(empirical-statistical model)

가) Okumura model

도시 지역에서 신호 예측에 가장 널리 사용되는 모델 중 하나는 Okumura의 모델이다. 분석 대상주파수는 150MHz ~ 1920MHz 범위이고, 1km ~ 100km 범위의 기지국과의 거리 및 30m ~ 1000m 범위의 기지국 안테나 높이에 적용된다. Okumura는 동경시 주변에서 많은 측정 결과를 바탕으로 일련의 예측 곡선을 고안하였다.

Okumura 모델의 공식은 <식 3.2-4>와 같다.

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \quad (\text{식 3.2-4})$$

여기서,

L_{50} 은 전파 경로 손실의 중앙값 (50 번째 백분위 수)이고,

L_F 는 여유 공간 전파 손실이고,

A_{mu} 는 자유 공간에 대한 중앙 감쇠값이며,

$G(h_{te})$ 는 기지국 안테나 높이 이득 계수,

$G(h_{re})$ 는 모바일 안테나 높이 게인 계수,

G_{AREA} 는 환경 유형으로 인한 이득이다.

Okumura는 $G(h_{te})$ 와 $G(h_{re})$ 이득 계수가 변하는 것을 발견했고, $G(h_{te})$ 는 20dB / decade의 속도로 변화하고, $G(h_{re})$ 는 3m 미만의 높이에서 10dB / decade의 속도로 변화하는 것을 알았다.

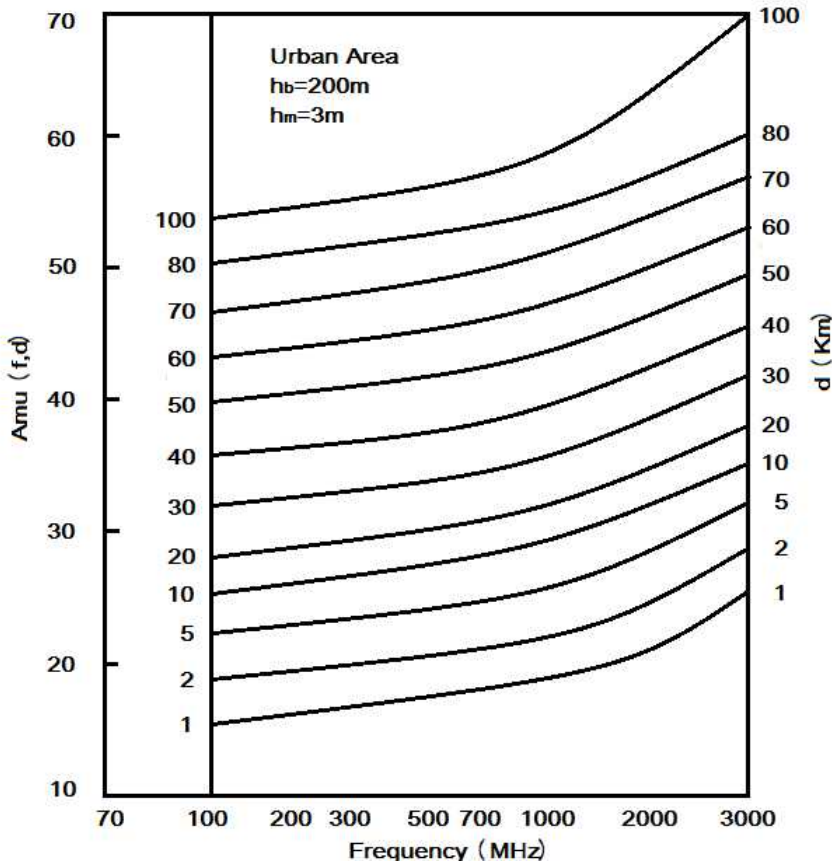
$G(h_{te})$ 및 $G(h_{re})$ 파라미터의 변화 값은 다음과 같이 주어진다.

$$G(h_{te}) = 20 \log_{10} \left(\frac{h_{te}}{200} \right) \quad 1000m > h_{te} > 30m \quad (\text{식 3.2-5})$$

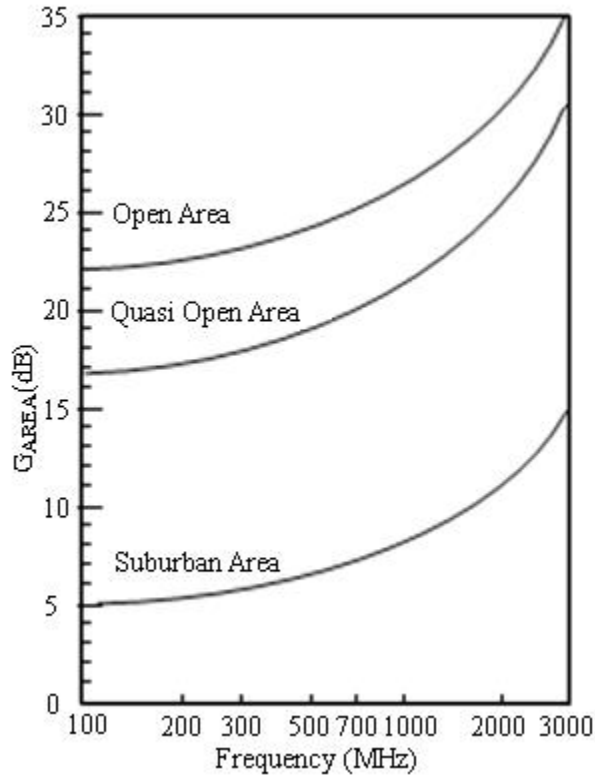
$$G(h_{re}) = 10 \log_{10} \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 30m \quad (\text{식 3.2-6})$$

$$G(h_{re}) = 20 \log_{10} \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad 10m > h_{re} > 3m \quad (\text{식 3.2-7})$$

광범위한 주파수(broad range of frequency)의 경우, $A_{mmu}(f, d)$ 및 G_{AREA} 값의 분포는 [그림 3.2-1] 및 [그림 3.2-2]와 같이 된다.



[그림 3.2-1] 준-평활한 지형에서 자유공간 ($A_{mu}(f, d)$)에 대한 중앙값 감쇠 그래프 Okumura et al. [1968]에서 발췌



[그림 3.2-2] 지형 유형에 따른 G_{AREA} 값. Okumura et al. [1968]에서 발췌.

나) Okumura-Hata model

이 모델은 오늘날까지도 가장 인기 있는 모델 중 하나이며 전적으로 경험적인 모델로서 동경시내와 그 주변에서 행한 광범위한 측정을 기반으로 하고 있다. 컴퓨터 구현을 위해 Okumura의 모델을 더 쉽게 만들기 위해 Hata는 Okumura의 곡선에서 일련의 공식을 만들었다. 즉 도시, 교외 및 광역 환경에서 송신기와 수신기의 안테나 높이, 주파수 150 MHz ~ 1500 MHz, 기지국과의 거리는 1 km ~ 20 km 범위의 수학적 방정식이 그것이다. 이 모델은 오늘날에도 널리 사용되며, 도시 지역에서 경로 손실 계산의 표준 공식은 식 (3.2-8)과 같다.

$$L_{50}(\text{urban})(dB) = 69.55 + 26.16\log_{10}f_c - 13.82\log_{10}h_{te} - a(h_{re}) \quad (\text{식 3.2-8}) \\ + (44.9 - 6.55\log_{10}h_{te})\log_{10}d$$

여기서,

f_c 는 MHz 단위의 주파수,

h_{te} 는 30m에서 200m 사이의 효과적인 송신기 안테나 높이,
 h_{re} 는 1m에서 10m 사이의 유효 수신기 안테나 높이,
 $a(h_{re})$ 는 모바일 안테나 보정 계수(아래 정의 참조),
 d 는 송신기와 수신기 사이의 거리 (km)이다.

• 중형 도시의 경우 $a(h_{re})$	
$a(h_{re}) = (1.1 \log_{10} f_c - 0.7)h_{re} - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8)(dB)$	(식 3.2-9)
• 대도시의 경우 $a(h_{re})$	
$a(h_{re}) = 8.29(\log_{10} 1.54h_{re})^2 - 1.1 \text{ (dB) for } f_c \leq 300 \text{ MHz}$	(식 3.2-10)
$a(h_{re}) = 3.2(\log_{10} 11.75h_{re})^2 - 4.97 \text{ (dB) for } f_c > 300 \text{ MHz}$	(식 3.2-11)
• 도시 근교의 경우 $a(h_{re})$	
$L_{50}(sururban)(dB) = L_{50}(urban)(dB) - 2[\log_{10}(f_c/28)]^2 - 5.4$	(식 3.2-12)
• 개활 영역인 농촌지역의 경우 $a(h_{re})$	
$L_{50}(openruralareas)(dB) = L_{50}(urban)(dB) - 4.78(\log_{10} f_c)^2 + 18.33 \log_{10} f_c - 40.94$	(식 3.2-13)

다) Cost 231-Hata model

유럽 협동조합은 과학 기술 연구를 위해 COST 231 실무위원회 (EURO-COST)를 구성했다. 이 실무위원회는 1500MHz ~ 2000MHz의 주파수, 30m ~ 200m의 유효 송신기 안테나 높이, 1m ~ 10m의 유효 수신기 안테나 높이 및 송신기와 수신기 사이의 d 거리를 커버하는 확장 버전의 Hata 모델을 개발했다. 1km에서 20km까지 경로 손실 계산은 식 (3.2-14)와 같이 주어진다.

$$L_{50}(urban)(dB) = 46.33 + 33.9 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_{te}) \log_{10} d + C_M \quad (\text{식 3.2-14})$$

여기서 $a(h_{re})$ 는 Okumura-Hata 모델에서 정의된 것이고

C_M 은 다음과 같이 주어진다.

$$C_M = \begin{cases} 0 \text{ dB for medium sized city and } urban \text{ area} \\ 3 \text{ dB for metropolitan centres} \end{cases}$$

라) Hata-Davidson model

TIA(Telecommunications Industry Association)는 더 넓은 범위의 입력 매개 변수 및 거리를 포함하도록 Hata 모델을 수정하도록 권장했다. 이 모델은 'Hata-Davidson'모델로 알려져 있으며 최대 300km 거리의 링크와 최대 2500m 고도의 송신기에 대한 보정을 제공하며 30-150MHz의 주파수 범위를 포함한다. 이 모델은 HAAT (지면 평균위의 안테나 높이: antenna Height Above Average Terrain) 매개 변수를 사용한다. HAAT 계산은 많은 프로그램으로 가능하다. 예를 들어 HAAT는 FCC의 지형 데이터베이스인 NAD83 / WGS84와 GLOBE 1km 데이터베이스를 사용하여 계산할 수도 있다. 그러나 이것을 이용할 때 주의할 것은 용어 "HAAT"는 전체 사이트 HAAT가 아니라 고려중인 전파 경로의 방사 방향으로 HAAT를 지칭한다는 것을 분명히 인식해야 한다.

Hata-Davidson 모델의 공식은 다음과 같다.

$$PL_{HD} = PL_{Hata} + A(h_1, d_{km}) - S_1(d_{km}) - S_2(h_1, d_{km}) - S_3(f_{MHz}) - S_4(f_{MHz}, d_{km}) \quad (\text{식 3.2-15})$$

여기서,

$$PL_{Hata} = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_{MHz} - 13.82 \log_{10} h_1 - a(h_2) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_1) \log_{10} d_{km} \quad (\text{식 3.2-16})$$

모바일 안테나 높이에 대한 보정 계수 $a(h_2)$ 는 식 (3.2-17) 과 같다.

$$a(h_2) = \begin{cases} (1.1 \log_{10} f_{MHz} - 0.7) \cdot h_2 - (1.56 \log_{10} f_{MHz} - 0.8), \\ \text{for medium small city, quasi-open, open area} \\ 8.29 (\log_{10} (1.54 \cdot h_2))^2 - 1.1 \\ \text{for large city and } f_c \leq 300 MHz \\ 3.2 (\log_{10} (11.75 \cdot h_2))^2 - 4.97 \\ \text{for large city and } f_c > 300 MHz \end{cases} \quad (\text{식 3.2-17})$$

여기서,

h_1 은 기지국 안테나 높이 HAAT (20-2500m),

h_2 는 이동국 안테나 높이 (1-10m),

d_{km} 은 전송 거리 (km) (1-300km),

A 와 s_1 리를 300km까지 연장하는 요소,

S_2 는 h_1 의 값을 2500m로 확장하는 기지국 안테나의 높이 h_1 에 대한 보정 계수,

s_3 및 s_4 는 주파수를 1500MHz로 확장하는 보정 계수이다.

A 및 S 용어의 정의는 아래 <표 3.2-1>과 같다.

<표 3.2-1> Hata-Davidson model에서 사용된 파라미터 값

Distance in km(d_{km})	$A(h_1, d_{km})$	$S_1(d_{km})$
$d_{km} < 20$	0	0
$20 < d_{km} < 64.38$	$0.62137(d_{km}-20) \cdot [0.5+0.15\log_{10}10(h_1/121.92)]$	0
$64.38 < d_{km} < 300$	$0.62137(d_{km}-20) \cdot [0.5+0.15\log_{10}10(h_1/121.92)]$	$0.174(d_{km} - 64.38)$

한편, 파라미터 s_2, s_3, s_4 다음과 같이 정의된다.

$$S_2(h_1, d_{km}) = 0.00784|\log_{10}(9.98/d_{km})|(h_1 - 300), h_1 > 300m \tag{식 3.2-18}$$

$$S_3(f_{MHz}) = f_{MHz}/250\log_{10}(1500/f_{MHz}) \tag{식 3.2-19}$$

$$S_4(f_{MHz}d_{km}) = [0.112\log_{10}(\frac{1500}{f_{MHz}})](d_{km} - 64.38), d_{km} > 64.38km \tag{식 3.2-20}$$

마) Lee model

Lee 모델은 비교적 간단한 모델로서 지형의 변화에 따른 효과적인 기지국 안테나 높이와 함께 여러 위치에서 측정 한 데이터를 사용하고 있다.

경로 손실 공식은 다음과 같다.

$$L = 10n\log_{10}R - 20\log_{10}h_{b(eff)} - P_o - 10\log_{10}h_m + 29 (dB) \tag{식 3.2-21}$$

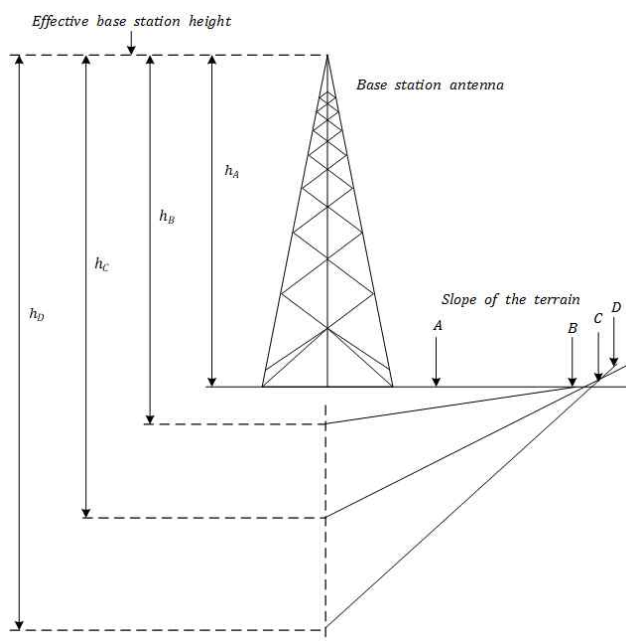
여기서,

n 및 P_o 는 <표 3.2-2>에 제시된 바와 같이 측정으로부터 취해지고, $h_{b(eff)}$ 는 기지국 안테나의 유효 높이이고, h_m 은 이 동국 안테나의 높이이다. 모든 측정은 900MHz에서 수행되었으므로 다른 주파수의 경우 보정 계수를 적용해야한다.

<표 3.2-2> Lee model에서 사용된 n 과 P_o 파라미터 값

환경 조건	지역	n	P_o
Free space		2	-45
Open area		4.35	-49
Suburban		3.84	-61.7
Urban	Philadelphia	3.68	-70
	Newark	4.31	-64
	Tokyo	3.05	-84
	New York city	4.8	-77

유효 기지국 높이 $h_{b(eff)}$ 는 이동국이 기지국 위치에 있는 지형의 기울기의 투영으로 정의된다. 유효 높이 h_A , h_B , h_C 및 h_D 는 [그림 3.2-3]에 표시되어 있다.



[그림 3.2-3] Lee의 모델에 효과적인 기지국 안테나 높이.

마) ECC-33 model

Okumura는 도쿄시와 주변에서 일련의 광범위한 측정을 수행했다. 전형적인 유럽 교외 지역은 도쿄와는 전혀 다르다. ECC (Electronic Communications Committee)는 ECC-33 경로 손실 모델을 제안했다. 이 모델에서는 Okumura의 원래 측정값을 추정하여 무선 시스템을 좀 더 정확하게 나타내도록 수정했다.

경로 손실 모델은 다음과 같이 정의되었다.

$$P_L(dB) = A_{fs} + A_{bm} - G_t - G_r \quad (\text{식 3.2-22})$$

여기서 A_{fs} 는 자유 공간 감쇠이고 A_{bm} 은 기본 중앙 경로 손실이며 G_t 는 송신기 안테나의 이득 계수이며 G_r 은 수신기 안테나의 이득 계수이며 다음과 같이 정의된다.

$$A_{fs} = 92.4 + \log_{10}(d) + \log_{10}(f) \quad (\text{식 3.2-23})$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83\log_{10}(d) + 7.894\log_{10}(f) + 9.56[\log_{10}(f)]^2 \quad (\text{식 3.2-24})$$

$$G_t = \log_{10}\left(\frac{h_b}{200}\right)[13.98 + 5.8(\log_{10}(d))^2] \quad (\text{식 3.2-25})$$

중형 도시의 경우 G_r 은 다음과 같이 정의된다.

$$G_r = [42.57 + 13.7\log(f)][\log(h_m) - 0.585] \quad (\text{식 3.2-26})$$

여기서, GHz 단위의 f , 미터 단위의 송신기 안테나의 h_b 높이, 미터 단위의 송신기 안테나의 h_m 높이를 나타낸다.

바) ITU-R model

ITU (International Telecommunications Union, 전 CCIR)의 Radio communication Sector는 ITU-R Recommendations로 알려진 전파 전파(radiowave propagation)에 대한 국제 기술 표준 세트를 개발했다. 이러한 권장 사항은 경로 손실 및 전계 신호 강도 계산에 널리 채택되고 사용되는 전파 모델이 되고 있다.

권장 사항의 전문은 <http://www.itu.int/rec/R-REC-P>에서 온라인으로 얻을 수 있다. 이러한 권장 사항은 전파 전파에 대한 전파 통신 연구 그룹에서 생성한 연구 결과이다. 아래에 세 가지 권장 사항이 간략하게 요약할 수 있다.

(1) ITU-R P.370 Recommendation

가장 잘 알려지고 자주 사용되는 고전적인 경험적 방법 중 하나는 ITU-R 370 권고에 근거한 방법이다. 이 접근법은 경험적으로 얻은 유도 전계 강도 곡선을 통계적으로 정확도를 기하게 고안된 것으로서 이 곡선은 주파수, 안테나 높이, 거리 및 시간 백분율의 함수로 구성되어 있다. 일반적으로 외삽법(extrapolation)과 보간법(interpolation)은 이러한 경험적 곡선에서 좀 더 정확한 데이터를 도출하는 데 사용된다.

거리 d 에서의 수신 전력 P_r 은 다음과 같이 주어진다.

$$P_r = \frac{|E|^2}{120\pi} A_e \quad (\text{식 3.2-27})$$

또는

$$P_r(dB) = 20\log E - 10\log(120\pi) + 10\log A_e \quad (\text{식 3.2-28})$$

$$P_r(dB) = 2E_{\min} - 10\log(120\pi) + A_e \quad (\text{식 3.2-29})$$

여기서,

E 는 전계 강도,

E_{\min} 은 수신 지점의 전계 강도,

A_e 는 유효 안테나 조리개 (dBm^2),

120π 는 자유 공간 (obms)의 고유 임피던스 값이다.

전계 강도 값을 측정에서 $dB\mu V/m$ 단위로 사용할 수 있는 경우 dB 단위의 경로 손실은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_L(dB) = P_t(dB) - P_r(dB) \quad (\text{식 3.2-30})$$

$$P_L(dB) = P_t(dB) - 2E_{\min} - A_e(dB) + 10\log(120\pi) \quad (\text{식 3.2-31})$$

$$P_L(dB) = P_t(dB) - 2E_{\min} \left(\frac{dB\mu V}{m} \right) + 240 - A_e(dB) + 10\log(120\pi) \quad (\text{식 3.2-32})$$

여기서,

$$E_{\min} = E_{\min}(dB\mu V/m) - 120 \quad (\text{식 3.2-33})$$

(2) ITU-R P.1411 Recommendation

이 모델은 매크로셀(macrocell) 애플리케이션 (단거리 전파)과 관련이 있으며 20m ~ 5km의 거리와 300MHz ~ 100GHz의 주파수에서 작동하며 LOS(Light of Sight) 및 non-LOS 시스템에 적용된다. 이 모델은 multiple knife-edge diffraction 손실과 특정 지형을 사용한다. 이것은 COST 231 Walfisch-Ikegami 모델의 단순화된 버전이기도 하다. 도시 지역의 경우 매개 변수는 다음과 같이 정의한다.

h_b 는 4-50m 범위의 기지국 안테나, h_m 은 1-3m 범위의 이 동국 안테나,

h_o 는 이동국의 높이, f_c 주파수 범위는 800 ~ 2000MHz이며 $h_b \leq h_o$

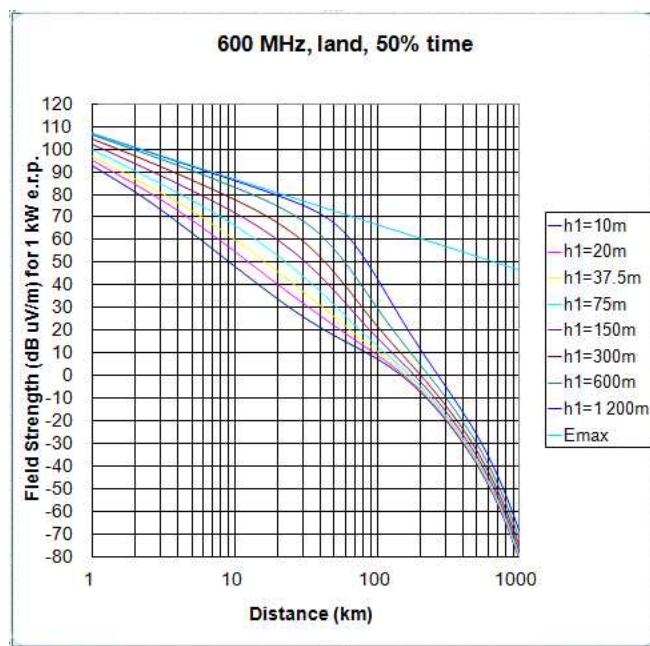
f_c 주파수 범위는 800 ~ 2000MHz이며 $h_b > h_o$ 이다.

(3) ITU-R P.1546 Recommendation

ITU의 무선 통신 부문은 최근 ITU-R 370을 대체하기 위해 권고 ITU-RP.1546 을 제안한 바 있다. 이는 주파수 범위 30MHz ~ 3GHz에서 지상 서비스하는 포인트-투-지역 (point-to-area) 예측 방법이다. 전계 강도 ($dB_{\mu V/m}$)는 1kW ERP (Effective Radiated Power)에 대해 계산한다.

적절한 보간(interpolation)과 함께 전계 강도 계산에 사용되는 ITU-RP.1546 권장 사항의 샘플 전파 곡선이 [그림 3.2-4]에 나타났다. 전파 곡선은 1kW 유효 복사 전력 (ERP)을 위해 설계되었으며 연구 중인 송신기의 ERP가 다른 경우 전파 곡선에 의해 생성 된 전계 강도 값에 dB의 차이를 더해야하다.

최신 버전은 2013 년 9 월에 릴리스 된 ITU-R P.1546-5이다.



[그림 3.2-4] 권고 ITU-R.P.1546의 샘플 전파 곡선.

예를 들어 Google Earth에서 경로 및 고도 프로파일을 추출하여 높이 Heff(m) 및 Hb(m)를 계산할 수 있다. 시간 백분율은 50 %로 가정하고 수신기 안테나고도는 10m로 한다.

사) Walfisch-Bertoni Model

이 모델은 Walfisch와 Bertoni에 의해 개발되었다. 플랫폼 에지 모델(flat edge model)을 제한한 모델로 간주 될 수 있는 것으로서 회절 및 산란을 위해 옥상과 건물 높이 간의 충돌을 고려하고 건물 높이가 균일하게 분포되어 있으며, 건물 간 간격이 동일하다는 가정하에 거리 수준에서 평균 신호 강도를 계산한다. 이 모델에서 경로 손실은,

$$PL(dB) = PL_0 + PL_{down} + PL_{rooftops} \quad (\text{식 3.2-34})$$

여기서,

PL_0 는 거리 R에서 등방성 안테나 사이의 자유 공간 경로 손실이며 다음과 같이 정의된다.

$$PL_0 = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \quad (\text{식 3.2-35})$$

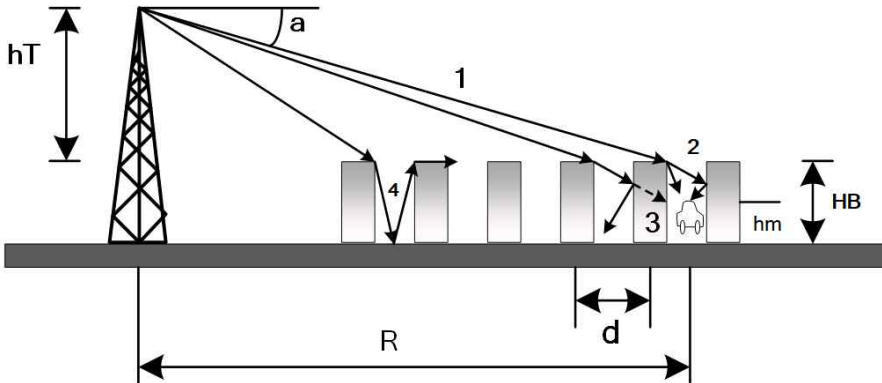
PL_{down} 은 옥상에서 거리 회절 및 산란 손실이며 다음과 같이 정의된다.

$$PL_{down} = \frac{\lambda}{2\pi^2(H_B - h_m)} \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + (H_B - h_m)^2} \quad (\text{식 3.2-36})$$

$PL_{rooftops}$ 는 건물의 열로 인한 멀티스크린 회절이고, 구하는 식은 다음과 같다.

$$PL_{rooftops} = 0.01 \left(\frac{h_T - H_B}{0.03R}\right)^{1.8} \left(\frac{d}{\lambda}\right)^{0.9} \quad (\text{식 3.2-37})$$

여기서, λ 는 미터 단위의 파장, h_T 는 미터 단위의 송신기 안테나 높이, H_B 는 미터 단위의 건물 높이, h_m 은 모바일 안테나 높이 (미터), d 는 미터 사이의 건물 사이의 공간이고, R은 기지국 송신기와 이 동국 사이의 거리 (미터)이다.



[그림 3.2-5] 빌딩이 존재하는 지역에서 여러 가지 ray-path에 대한 Walfisch-Bertoni 의 UHF propagation geometry

4) 결정적 지형 모델(deterministic-geometrical model)

가) Single Knife-Edge Diffraction Model

Single Knife-edge 회절에 대한 고전적인 접근법과 single sharp 장애물에 대한 경로 손실 계산은 Fresnel Kirchhoff의 광학 이론을 기반에 근거하여 계산되고 이때 무차원 파라미터 v 는 회절 손실을 표현하는데 사용된다 :

$$v = h \left[\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{식 3.2-38})$$

$$v = \theta \left[\frac{2}{\lambda \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{식 3.2-39})$$

여기서,

h 는 나이프 에지(장애물 상단)와 시선 사이의 높이(LOS는 미터와 송신기가 수신기를 연결하는 직선)이고, θ 는 라디안 단위의 회절 각도, d_1 은 가시선을 따른 송신기와 장애물 사이의 거리 (미터), d_2 는 시선을 따라 수신기와 장애물 사이의 거리를 미터 단위로 나타낸 값이며, λ 는 미터 단위의 파장이다.

Knife-Edge 회절과의 수신 전계 강도는 잘 알려진 복잡한 프레넬 적분(complex Fresnel integral)에 의해 계산이 가능하다.

$$\frac{E}{E_0} = \frac{(1+j)}{2} \int_{v_0}^{\infty} e^{-j\left(\frac{\pi}{2}\right)v^2} dv \quad (\text{식 3.2-40})$$

이 이론이 유효하려면 다음과 같은 근사식이 성립해야 한다.

$$d_1, d_2 \gg h \text{ and } d_1 d_2 \gg \lambda$$

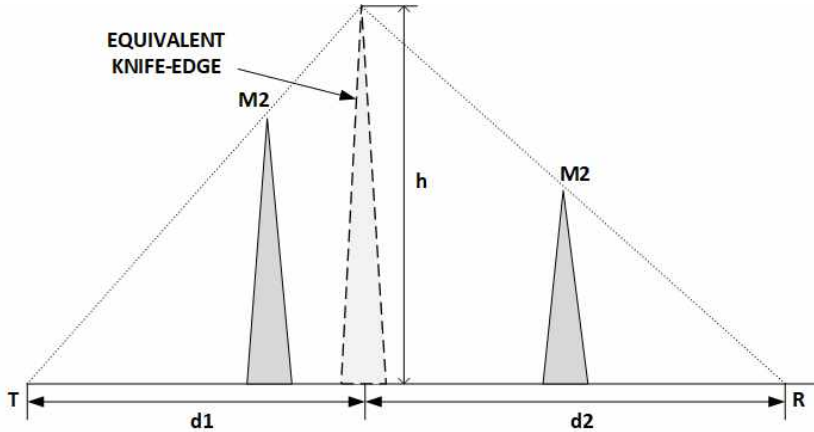
반면에 회절 감쇠는 다음 방정식으로 주어진다.

$$G_d(dB) = 20 \log |F(v)| \quad (\text{식 3.2-41})$$

위의 방정식에 대한 대략적인 해법은 [참고문헌:해외문헌]의 [14]번에 언급한 [Lee]에 의해 제공되었으며, 자세한 사항은 당해 논문 5쪽에 기술되어 있다.

나) Bullington Method

Bullington은 전체 프로파일을 단일 나이프 에지(single Knife-Edge)로 대체하는 단순화된 방법을 제안했다. [그림 3.2-6]에서 두 가지 장애물 M1 및 M2가 존재하는데 실제로 이 방법은 상당히 낙관적인 결과를 제공한다.

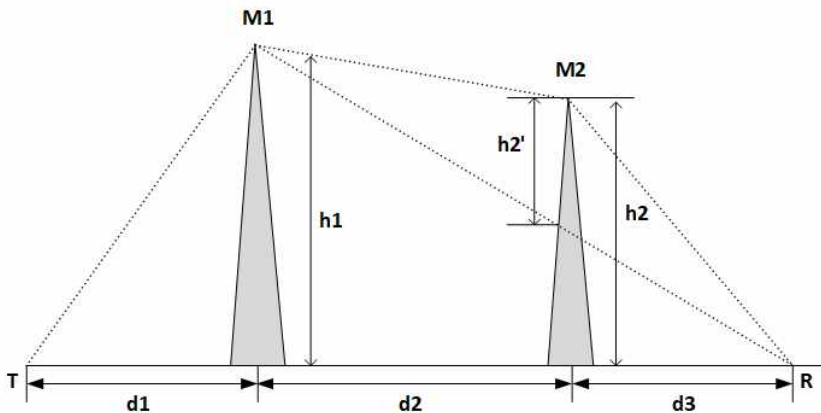


[그림 3.2-6] Bullington의 접근 방식.

다) Deygout's Approach

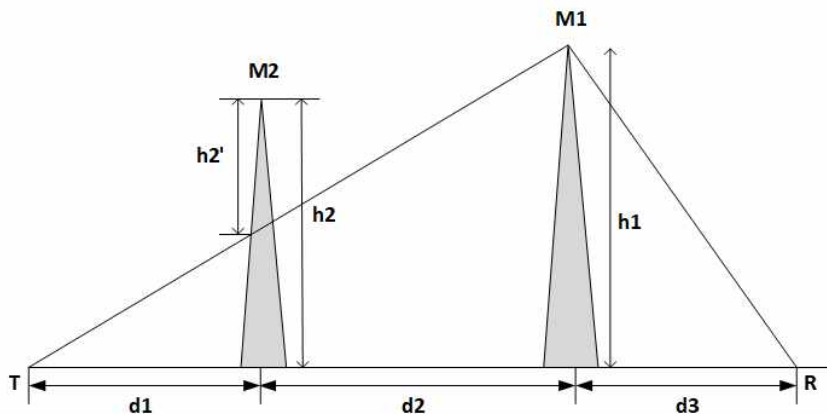
두 개의 장애물에 대한 Deygout의 접근 방식은 [그림 3.2-7]에 표시되어 있으며 M1은 주요 장애물이며 관련 회절 손실은 마치 혼자 있는 것처럼 계산되며 Fresnel 파라미터 v_1 은 d_1 , $d_2 + d_3$ 및 h_1 의 함수로 계산된다.

$$v_1 = f(d_1, d_2 + d_3, h_1) \quad (\text{식 3.2-42})$$



[그림 3.2-7] Deygout의 접근 방식, M1 메인 힐, 오른쪽 M2

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 [그림 3.2-8]에 나와 있다.



[그림 3.2-8] Deygout의 접근 방식, M1 메인 언덕 및 왼쪽의 M2

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

$$v_1 = f(d_1 + d_2, d_3, h_1) \quad (\text{식 3.2-44})$$

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 있다.

$$v_2 = f(d_1, d_2, h'_2) \quad (\text{식 3.2-45})$$

여기서 주의할 것은 주 장애물은 두 번째 장애물의 거리를 제한하게 된다는 것이다. 총 경로 손실은 두 개의 개별 경로 손실을 추가하여 계산한다.

$$G_{dtotal}(dB) = 20\log_{10}|F(v_1)| + 20\log_{10}|F(v_2)| \quad (\text{식 3.2-46})$$

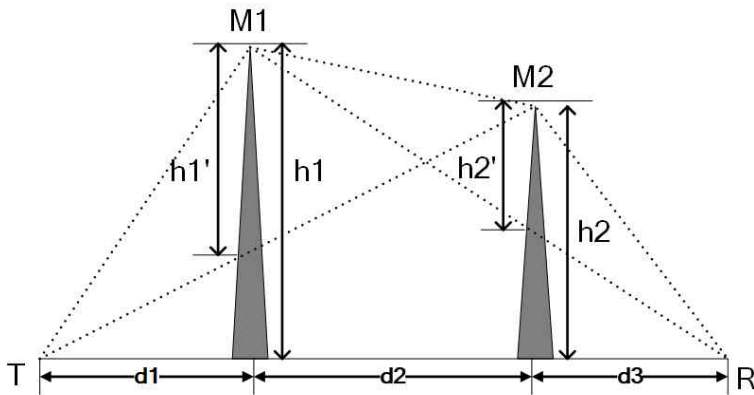
1991년에 Deygout은 Millington 등이 제안한 nomograph를 대체하는 그의 방법에 대한 보정 계수 (간단한 수학적 표현)를 제공하는 논문을 발표했다. 이 보정은 경로 손실을 감소시켜 계산 된 전계 강도를 증가시키는 경향이 있다.[해외 참고문헌 15 참조]

라) Causebrook Correction

모서리가 많거나 모서리가 매우 가까이 있는 경우 Deygout의 접근 방식은 경로 손실을 과대평가하는 경향이 있다. Causebrook와 Davis 는이 문제에 대한 대략적인 수정을 제안했다. 이 수정에서는 상대 시선 경로 위에 있는 가장자리 만 고려하였다.[해외 참고문헌 16 참조]

마) Epstein-Peterson's Method

엠펙스타인 (Epstein)과 피터슨 (Peterson) 은 각 장애물 또는 나이프 에지(Knife-edge)에서 회절 손실을 추정 한 다음 추가로 손실을 추가하는 방법을 제안했다. 이러한 접근 방식은 Millington 에 의해 수학적으로 완전히 증명되었으며 이 방법은 [그림 3.2-9]에 나와 있다. [해외참고문헌 17 참조]



[그림 3.2-9] Epstein-Peterson의 접근 방식. M1 오른쪽의 M2

먼저, 회절 손실은 T에서 소스로부터의 신호에 대한 나이프 에지 M1에 의해 야기되는 나이프 에지 M2에서 계산된다. 높이는 거리 d_1 , d_2 , d_3 과 비교하여 작은 것으로 간주된다. 파라미터 v_1 은 d_1 , d_2 및 유효 높이 h_1' 의 함수로 계산된다.

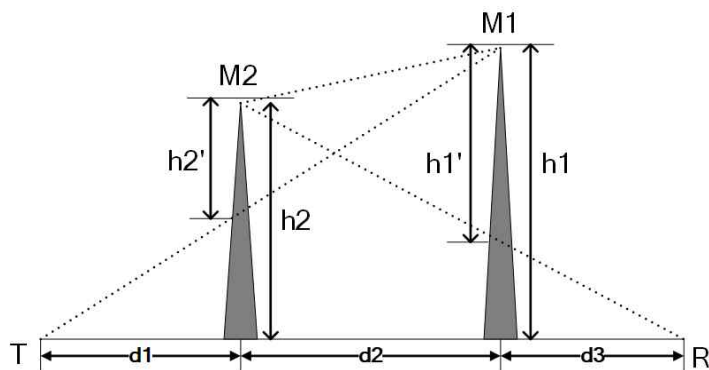
$$v_1 = f(d_1, d_2, h_1') \quad (\text{식 3.2-47})$$

Knife-Edge M1은 이제 신호 소스로 취급되며, 수신기 R의 수신 신호는 Knife-Edge M2로 인한 회절 손실을 고려하여 계산한다. 파라미터 v 는 d_2 , d_3 및 유효 높이 h_2' 의 함수로 계산한다.

$$v_2 = f(d_2, d_3, h_2') \quad (\text{식 3.2-48})$$

보조 장애물 (M2)이 메인 장애물 (M1)의 좌측에 놓인 경우는 이전과 동일하며, [그림

3.2-10]에 표시되어있다. 유일한 변경 사항은 장애물 M1 및 M2의 사용 거리가 다르다는 것이다.



[그림 3.2-10] Epstein-Peterson의 접근 방식. M1 왼쪽의 M2

장애물 M1의 파라미터 v_1 은 <식 3.2-49>에 의해 정의되며,

$$v_1 = f(d_2, d_3, h_1') \quad (\text{식 3.2-49})$$

장애물 M2의 파라미터 v_2 는 <식 3.2-50>에 의해 정의되된다.

$$v_2 = f(d_1, d_2, h_2') \quad (\text{식 3.2-50})$$

그런 다음 총 손실은 다음과 같다.

$$G_{dtotal}(dB) = 20\log_{10}|F(v_1)| + 20\log_{10}|F(v_2)| \quad (\text{식 3.2-51})$$

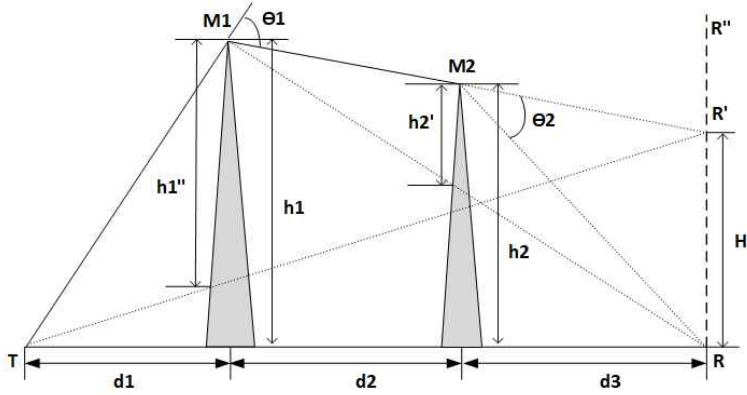
M1 및 M2 장애물로 인한 손실 L_1 및 L_2 가 각각 약 15dB를 초과하면 총 회절 손실에 보정 항 L_c 를 추가해야 한다. 용어 L_c 는 아래 식에 의해 주어진다.

$$L_c = 10\log_{10} \left[\frac{(d_1 + d_2)(d_2 + d_3)}{d_2(d_1 + d_2 + d_3)} \right] \quad (\text{식 3.2-52})$$

이 용어는 ITU-R 권고 P.526-13 (2013 년 11 월)에 설명되어있다.

바) Giovaneli's Method

Giovaneli는 Deygout의 방법을 수정하는 다른 방법을 제안했다. 두 가지 장애물에 대한이 방법은 [그림 3.2-11]에 나와 있지만 여러개의 모서리로 쉽게 확장 할 수 있게 되어있다.



[그림 3.2-11] Giovaneli의 접근 방식, M1 오른쪽의 M2.

M1이 주요 장애물이라고 가정하고, 수신기인 점 R을 통과하는 관측 평면 RR'' 로 가정한다. M1에 의해 생성된 표면 RR'' 의 필드는 M1을 평면 RR'' 에 투영하여 도출되며 유효 높이 h_1'' 은

$$h_1'' = h_1 - \frac{d_1 H}{d_1 + d_2 + d_3} \quad (\text{식 3.2-53})$$

여기서, 파라미터 H는

$$H = h_2 + \frac{(h_2 - h_1)d_3}{d_2} \quad (\text{식 3.2-54})$$

프레스넬(Fresnel) 매개 변수 v_1 는 다음 중 하나에 해당하는 기능이고,

$$v_1 = f(d_1, d_2 + d_3, h_1'') \quad (\text{식 3.2-55})$$

2차 장애물 M2의 유효 높이 h_2'' 는 다음과 같이 정의된다.

$$h_2'' = h_2 - \frac{d_3 h_1}{d_2 + d_3} \quad (\text{식 3.2-56})$$

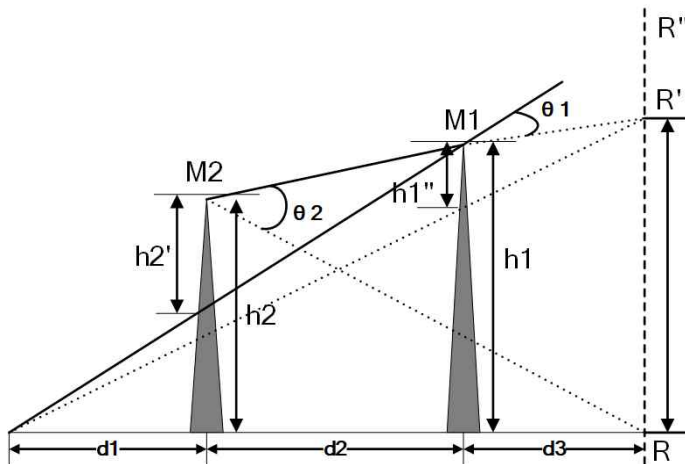
프레스넬 매개 변수 v_2 는 다음 중 하나에 해당하는 기능이고,

$$v_2 = f(d_2, d_3, h_2') \quad (\text{식 3.2-57})$$

총 손실은 다음과 같다.

$$G_{total}(dB) = 20 \log_{10} |F(v_1)| + 20 \log |F(v_2)| \quad (\text{식 3.2-58})$$

보조 장애물 M2가 주 장애물 M1의 왼쪽에 있는 경우가 [그림 3.2-12]와 같다.



[그림 3.2-12] Giovaneli의 접근 방식. M1 왼쪽의 M2.

매개변수 h_1'' , H , h_2' 는 다음과 같이 정의된다.

$$h_1'' = h_1 - \frac{(d_1 + d_2) \cdot H}{d_1 + d_2 + d_3}, H = h_1 + \frac{d_3 \cdot (h_1 - h_2)}{d_2}, h_2' = h_2 - \frac{d_1 \cdot h_1}{d_1 + d_2} \quad (\text{식 3.2-59})$$

프레스넬(Fresnel) 매개 변수 v_1 는 다음 중 하나에 해당하는 기능임

$$v_1 = f(d_1 + d_2, d_3, h_1'') \quad (\text{식 3.2-60})$$

프레스넬 매개 변수 v_2 는 다음 중 하나에 해당하는 기능이고,

$$v_2 = f(d_1, d_2, h_2') \quad (\text{식 3.2-61})$$

이 방법은 여러 모서리로 쉽게 확장 할 수 있다. 보조 장애물이 Giovaneli의 주요 방법의 왼쪽에 있는 경우 일반적으로 실패하는데 이것은 Giovaneli의 모델은 많은 경우에 합리적인 결과를 제공하지 않았기 때문이다. Vogler의 방법을 사용하여 두 개 이상의 모서리에 대한 엄밀한 정확한 회절 손실은 [해외 참고문헌 18]에 근거하여 계산할 수 있다.

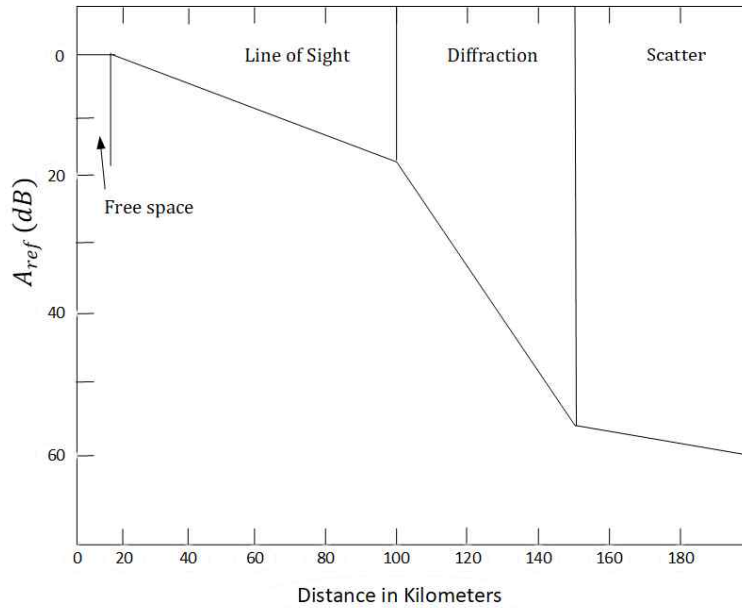
사) ITU-R. P. 526 Model – Propagation by Diffraction(회절에 의한 전파)

위에서 언급한 많은 회절 분석 계산 방법은 ITU-R. P. 526 권고에 통합되어 있다. 이 권고안은 수신기가 수신된 필드 강도에 대한 회절 효과를 평가할 수 있도록 하는 몇 가지 모델을 제시한다. 이 모델은 다양한 장애물 유형과 다양한 경로 형상에 적용된다. 이 권장 사항은 회절 경로에 대한 전계 강도 계산에 사용되며, 여기에는 구면 표면 또는 다양한 종류의 장애물이 있는 불규칙한 지형이 포함될 수 있다.

아) Longley Rice Model

ITM (Irregular Terrain Model : 불규칙 지형 모델) 적용 범위 예측 모델이라고도 하는 NTIA-ITS Longley Rice 모델은 널리 채택된 모델이며 FCC에서 표준으로 채택했으며 20MHz ~ 20GHz의 주파수에 적용된다. 안테나 높이는 0.5 ~ 3000m, 거리는 200m ~ 500km이다. 지형 특성과 무선 측정을 모두 고려한 전자기 이론 및 통계 분석을 기반으로 하고 있다. 이 모델은 거리와 시간 및 공간의 신호 변동에 따라 무선 신호의 감쇠를 예측한다. 이 모델은 무료로 사용할 수 있는 SRTM 맵과 함께 NTIA 지점 간 접근 방식을 사용하여 자주 구현되며 정확도가 우수하다. 이 모델의 알고리즘은 Point-to-point 예측 모드 및 영역 예측 모드의 두 모드에서 사용되는 Hufford 것과 영역 예측 모드에서 사용되는 Hufford, Longley 및 Kissick 것으로 분석할 수 있다. Longley-Rice 방정식의 자세한 분석은 [해외참고문헌 19]에 나와 있다. 기준 감쇠 A_{ref} 는 다음 [그림 3.2-13]에 표시된 거리의 연속 함수이다. 이 기준 감쇠, A_{ref} 는 가시거리, 회절 및 산란 영역이라고 하는 세 가지 거리 범위에 대해 서로 다른 전파 방법을 사용하여 계산한다. 가시거리 영역 감쇠는 two-ray optics 공식을 사용하여 계산하며, 회절 영역에서는 가중 평균 A_d 가 사용되며, 이중 모서리 및 불규칙한 지형에 대한 회절 감쇠와 산란 영역의 산란 감쇠를 추정한다. 이와 같이, Rice et al 연구원이 설명한 산란도 연산을 고려하는 데 사용된다.

여기서 모델의 주요 매개 변수는 주파수, 유효 복사 전력, 안테나 높이, 편광, 표면 굴절률, 유전율, 전도도, 기후대, 지구 유효 곡률, 접지의 표면 전달 임피던스, 상황 변동 및 시간 변동 등이다. 정확한 예측을 위해서는 이러한 매개 변수를 정확하게 추정해야 한다.



[그림 3.2-13] 기준 감쇠 A_{ref} 와 거리의 일반적인 도표.

이 모델은 거리 d의 함수로서 기준 감쇠 A_{ref} 를 예측한다. 이 모델에 사용 된 변수는 <표 3.2-3>에 나와 있다.

<표 3.2-3> Longley-Rice model 에 사용된 변수들

d	Distance between transmitter and receiver
h_{g1}, h_{g2}	Transmitter and receiver antenna heights
K	Wave number, $k = 2\pi/\lambda = \frac{2\pi}{\lambda}$, $\lambda = 47.70MHz$, λ wavelength in m, \int in MHz
Δh	Terrain Irregularity Parameter
N_s	Mean Surface Refractivity in N-units
ν_e	Earth's Effective curvature in units of reciprocal length
Z_g	Surface Transfer Impedance of the ground

매개 변수, 방정식 및 절차는 많은 전자파 전파 관련 교재 등에 설명되어 있다. 표면 굴절도는 다음과 같다.

$$N_s = N_o e^{-0.1057 z_s} \quad (\text{식 3.2-62})$$

여기서 N_o 는 해수면의 표면 굴절률이고 z_s 는 평균 해수면 위의 표면 고도(km)이다. 지구의 유효 반경은 실험식으로 주어진다.

$$\gamma_e = \gamma_a [1 - 0.04665e(0.005577N_s)]^{-1}, \gamma_a = 6370 \text{ Km} \quad (\text{식 3.2-63})$$

지형 불규칙 파라미터 Δh 는 지형 프로파일에 따라 다르며 <표 3.2-4>에 나와 있다.

<표 3.2-4> 다양한 지형 프로파일에 대한 지형 불균형 파라미터

Type of Terrain	Δh in meters (m)
Water or very smooth terrain	0-1
Smooth terrain	10-20
Slightly rolling terrain	40-60
Hilly terrain	80-150
Rugged mountains	200-500

표면 전송 임피던스는 다음과 같이 정의된다.

$$Z_g = \begin{cases} \sqrt{\epsilon_r' - 1} & \text{Horizontal polarization} \\ \sqrt{\epsilon_r' - \frac{1}{\epsilon_r}} & \text{Verical polarization} \end{cases} \quad (\text{식 3.2-64})$$

여기서, ϵ_r 는 다음과 같이 정의된 복잡한 상대적 투과율이다.

$$\epsilon_r' = \epsilon_r + iZ_o\sigma/k \quad (\text{식 3.2-65})$$

ϵ_r 은 비유전율, σ 는 지멘스 미터 당 접지의 전도도, $Z_o = 376.62 \text{ Ohms}$ 이다.

기준 감쇠 A_{ref} 는 구간 별 공식으로 제공된다.

$$A_{ref} = \begin{cases} \max(0, A_{el} + K_1 d + K_2 \ln(d/d_{Ls})) & d \leq d_{Ls} \\ A_{ed} + m_d d & d_{Ls} \leq d \leq d_x \\ A_{es} + m_s d & d_s \leq d \end{cases} \quad (\text{식 3.2-66})$$

여기에,

A_{el} 은 시선으로 인한 감쇠 계수이다.

A_{ed} 는 회절로 인한 감쇠 계수이다.

A_{es} 는 산란으로 인한 감쇠 계수이다.

다른 계수의 값은 다음과 같다.

Longley-Rice 모델의 초기 계산

각도 거리 θ 는 공식에 의해 라디안으로 표시되다.

$$\theta = \theta_{et} + \theta_{er} + d/\gamma_e \quad (\text{식 3.2-67})$$

여기서, θ_{ej} 는 각각의 안테나 j, t, 송신기 안테나에 대한 r 및 수신기 안테나에 대한 r에서의 수평선 또는 상승 된 수평선 사이의 각도이다. θ_{ej} 의 공식은

$$\theta_{ej} = [0.65 \cdot \Delta h(d_{Lsj}/d_{Lj} - 1) - 2h_{ej}]/d_{Lsj} \quad (\text{식 3.2-68})$$

송신기와 수신기와 수평 장애물 사이의 거리는

$$d_{Lj} = d_{Lsj}e[-0.07\sqrt{\Delta h/\max(h_{ej}, H3)}] \quad (\text{식 3.2-69})$$

여기에,

$H3=5$ m,

$d_{Lsj} = \sqrt{2h_{ej}/\gamma_e}$ j는 송신기 또는 수신기에 사용됩니다.

$$d_{Ls} = d_{Lst} + d_{Lsr}$$

$$d_L = d_{Lt} + d_{Lr}$$

$$\theta_e = \max(\theta_{et} + \theta_{er}, -d_L\gamma_e) \quad \text{효과적인 각 거리}$$

회절 감쇠

총 회절 감쇠는 공식에 의해 주어진다.

$$A_{diff}(d) = (1-w)A_k + wA_r + A_{fo} \quad (\text{식 3.2-70})$$

여기에,

A_k 는 더블 나이프 에지 감쇠(Epstein-Peterson 모델 사용)

A_r 은 둥근 접지 감쇠입니다.

A_{fo} 는 수증기, 산소, 강수량, 지형 잡동사니 등에 의한 흡수 및 산란으로 인한 혼탁인자다.

가중치 w는 다음과 같이 주어진다.

$$w = \frac{1}{1 + 0.1 \sqrt{Q}} \quad (\text{식 3.2-71})$$

와

$$Q = [1 + 0.045 \left(\frac{\Delta h}{\lambda} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\gamma_a \theta + d_L}{d} \right)^{\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (\text{식 3.2-72})$$

Double Knife Attenuation A_k 는 다음과 같이 주어진다.

$$A_k = F(v_t) + F(v_r) \quad (\text{식 3.2-73})$$

여기서 $F(v)$ 는 다음과 같이 제공되는 Fresnel Integral이다.

$$F(v) = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{1}{\sqrt{2i}} \int_v^\infty e^{i\pi u^2/2} du \right| \quad (\text{식 3.2-74})$$

그리고

$$v_j = \frac{\theta}{2} \cdot \left(\frac{kd_{Lj}(d - d_L)}{\pi d - d_L + d_{Lj}} \right) \quad (\text{식 3.2-75})$$

j 는 송신기의 경우 $t(j=t)$ 이고 j 는 수신기의 경우 $r(j=r)$ 이다.

접지면 감쇠 A_r 은 다음과 같이 제공된다.

$$A_r = G(x_o) - F(x_t, K_t) - F(x_r, K_r) - C_1(K_o) \quad (\text{식 3.2-76})$$

여기에서 Vogler의 공식화에서 사용하는 세 가지 반지름 방법을 사용하여 위의 공식에 대한 해결책을 찾는다. 그렇게

$\gamma_o = \theta / (d - d_L)$ and $\gamma_j = 2h_{ej} / d_{Lj}^2$, 송신기의 경우 $j = t$, 수신기의 경우 $j = r$

$a_j = (k / \gamma_j)^{1/3}$, 송신기의 경우 $j = t$, 수신기의 경우 $j = r$

$K_j = \frac{1}{ia_j Z_g}$ 송신기의 경우 $j = t$, 수신기의 경우 $j = r$

$x_o = AB(K_o)a_o\theta + x_t + x_r$ 여기에,

$x_j = AB(K_j)a_j\gamma_j d_{Lj}$, 송신기의 경우 $j = t$, 수신기의 경우 $j = r$

A 는 값이 151.03 인 차원이 없는 상수입니다.

Vogler의 공식 솔루션은 구형 지구 문제에 대한 특수 함수 $W(z)$ 를 삽입하다.

$$W_i(z) = A_i(z) + iB_i(z) \quad (\text{식 3.2-77})$$

해결책은

$$W_t(t_o) = 2^{1/3} K W_t'(t_o) \quad (\text{식 3.2-78})$$

B에 대한 값은

$$B = 2^{-1/3} \text{Im}\{t_o\} \quad (\text{식 3.2-79})$$

그리고

$$G(x) = 20 \log_{10}(x^{-1/2} e^{x/A}) \quad (\text{식 3.2-80})$$

$$F(x, K) = 20 \log_{10} \left| \left(\pi / (2^{1/3} AB) \right)^{1/2} W_i(t_o - (x / (2^{1/3} AB))^2) \right| \quad (\text{식 3.2-81})$$

$$C_1(K) = 20 \log_{10} \left| \frac{1}{2} \left(\pi / (2^{1/3} AB) \right)^{1/2} (2^{2/3} K^2 t_o - 1) W_i'(t_o)^2 \right| \quad (\text{식 3.2-82})$$

거리 d_3 과 d_4 의 계산은 공식을 사용하여 수행된다.

$$X_{ae} = (k \gamma_e^2)^{-1/3} \quad (\text{식 3.2-83})$$

$$d_3 = \max(d_{Ls}, d_L + 1.3787 X_{ae}) \quad (\text{식 3.2-84})$$

$$d_4 = d_3 + 2.7574 X_{ae} \quad (\text{식 3.2-85})$$

$$A_3 = A_{diff}(d_3) \quad (\text{식 3.2-86})$$

그리고

$$m_d = (A_4 - A_3) / (d_4 - d_3) \quad (\text{식 3.2-87})$$

마지막으로, 총 회절 감쇠는 공식에 의해 주어진다.

$$A_{ed} = A_3 - m_d d_3 \quad (\text{식 3.2-88})$$

LOS 감쇠

시선 감쇠는 공식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$A_{el} = A_2 - K_1 d_2 \quad (\text{식 3.2-89})$$

위의 공식을 해결하는 데 필요한 모든 계산은 다음과 같다.

$$d_2 = d_{Ls} \text{ and } A_2 = A_{ed} + m_2 d_2 \quad (\text{식 3.2-90})$$

만약 $A_{ed} \geq 0$, 그렇다면

$$d_o = \min\left(\frac{1}{2} d_L, 1.908 k h_{et} h_{er}\right) \text{ and } d_1 = \frac{3}{4} d_o + \frac{1}{4} d_L \quad (\text{식 3.2-91})$$

그리고

$$A_o = A_{los}(d_o) \text{ and } A_1 = A_{los}(d_1) \quad (\text{식 3.2-92})$$

$$K_2' = \max \left[0, \frac{(d_2 - d_1)(A_1 - A_0) - (d_1 - d_0)(A_2 - A_0)}{(d_2 - d_0)\ln(d_1/d_0)(d_1 - d_0)\ln(d_2/d_0)} \right] \quad (\text{식 3.2-93})$$

$$K_1' = (A_2 - A_0 - K_2' \ln_e(d_2/d_0))/(d_2 - d_0) \quad (\text{식 3.2-94})$$

만약 $K_1' \geq 0$, 그렇다면 K_1' 그리고 $K_2 = K_2'$

만약 $K_1' \leq 0$ 그렇다면 $K_2' = (A_2 - A_0)/\ln(d_2/d_0)$

그렇지 않으면 $K_1 = m_d, K_2 = 0$.

만약 $A_{ed} < 0$

$$d_0 = 1.908kh_{et}h_{er} \quad (\text{식 3.2-95})$$

$$d_1 = \max(-A_{ed}/m_d, d_L/4) \quad (\text{식 3.2-96})$$

만약 $d_o \geq d$ 아니면 $K_2' = 0, K_1'' = (A_2 - A_1)/(d_2 - d_1)$.

만약 $K_1'' > 0, K_1'' = K_1''$ 그리고 $K_2 = 0$

또 다른 $K_1 = m_d, K_2 = 0$.

따라서 시선에 의한 감쇠는 다음과 같이 주어진다.

$$A_{los}(d) = (1 - w)A_d + wA_t \quad (\text{식 3.2-97})$$

확장 된 회절 감쇠 Ad는 다음과 같다.

$$A_d = A_{ed} + m_d d \quad (\text{식 3.2-98})$$

2선 감쇠 A는 다음과 같이 주어진다.

$$A_t = -20 \cdot \log_{10}|1 + R_e e^{i\delta}| \quad (\text{식 3.2-99})$$

2 선 감쇠의 경우

$$\sin \psi = \frac{h_{et} + h_{er}}{\sqrt{d^2 + (h_{et} + h_{er})^2}} \quad (\text{식 3.2-100})$$

그리고 if $|R_e'| \geq \max(1/2, \sqrt{\sin \psi})$ 그렇다면

$$R_e' = \frac{\sin \psi - Z_g}{\sin \psi + Z_g} \exp[-k\sigma_h(s)\sin \psi] \quad (\text{식 3.2-101})$$

또 다른

$$R_e = \left\{ \frac{R_e'}{(R_e'/|R_e'|)\sqrt{\sin\psi}} \right\} \quad (\text{식 3.2-102})$$

매개 변수 δ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\delta = \begin{cases} \delta', & \text{if } \delta \leq \pi/2 \\ \pi - (\pi/2)^2/\delta' \end{cases}$$

여기서 $\delta' = 2kh_{et}h_{er}/d$

산란 감쇠

산란 감쇠 d_5 및 d_6 거리는 다음과 같이 정의된다.

$$d_5 = d_L + D_d \quad (\text{식 3.2-103})$$

$$d_6 = d_5 + D_d \quad (\text{식 3.2-104})$$

여기서, $D_d=200$ km.

매개변수 A_5 및 A_6 는 다음과 같이 정의된다.

$$A_5 = A_{scat}(d_5) \quad (\text{식 3.2-105})$$

$$A_6 = A_{scat}(d_6) \quad (\text{식 3.2-106})$$

A_{scat} 은 거리 d 에 따른 산란으로 인한 구성 요소 감쇠이다.

매개변수 A_5 와 A_6 는 때때로 $d_x = +\infty$ 및 A_{es} 와 m_s 가 역시 정의되지 않은 경우

$$m_s = (A_6 - A_5)/D_s \quad (\text{식 3.2-107})$$

$$d_x = \max[d_{Ls}, d_L + X_{ae} \log_{10}(kH_s), (A_5 - A_{ed} - m_s d_5)/(m_d - m_s)] \quad (\text{식 3.2-108})$$

$$A_{es} = A_{ed} + (m_d - m_s)d_x \quad (\text{식 3.2-109})$$

여기서, $H_s=47.7$ m

각 거리 θ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\theta = \theta_e + \gamma_e d, \quad \theta' = \theta_{et} + \theta_{er} + \gamma_e d$$

$$r_j = 2k\theta' h_{ej} \quad \text{송신기의 경우 } j = t, \text{ 수신기의 경우 } j = r$$

만약 $r_r < 0.2$ 그리고 $r_t < 0.2$ 는 산란 영역에 대해 정의되지 않거나 무한하

다.

그밖에,

$$A_{scat}(d) = 10\log_{10}(kH\theta^4) + F(\theta d, N_s) + H_0 \quad (\text{식 3.2-110})$$

여기서 H_0 은 주파수 계인 기능이다.

따라서 총 감쇠량은 위의 모든 요소를 고려하여 계산된다.

자) Ikegami Model

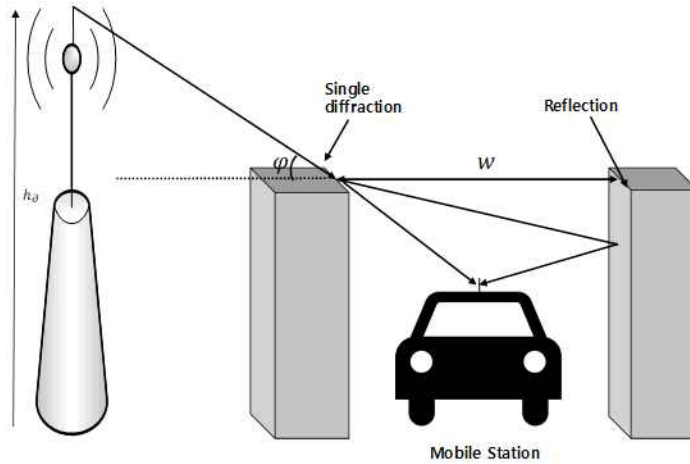
Ikegami 모델은 특정 지점에서 전계 강도의 결정론적 예측을 생성하려고 시도한다. 이 모델은 건물 모양, 높이 및 위치에 대한 자세한 맵을 사용한다. 이 모델은 벽으로부터의 단일 반사만을 고려하여 송신기와 수신기 사이의 광선 경로를 추적한다. 단일 모서리 근사법을 사용하여 모바일에서 가장 가까운 건물에서 회절을 계산한다. 벽 반사 손실은 일정한 값으로 고정된 것으로 가정하고, 반사된 광선과 회절된 광선이 합산되어 다음과 같은 근사 모델이 생성된다.

$$L_E = 10\log_{10}f_c + 10\log_{10}(\sin\phi) + \quad (\text{식 3.2-111}) \\ 20\log_{10}(h_o - h_m) - 10\log_{10}w - 10\log_{10}\left(1 + \frac{3}{L_r^2}\right) - 5.8$$

여기서,

ψ 는 거리에서 기지국까지의 직통 거리, h_o 는 기지국 안테나의 높이, h_m 은 이 동국 안테나의 높이, w 는 건물 사이의 공간, L_r 은 반사 손실이다.

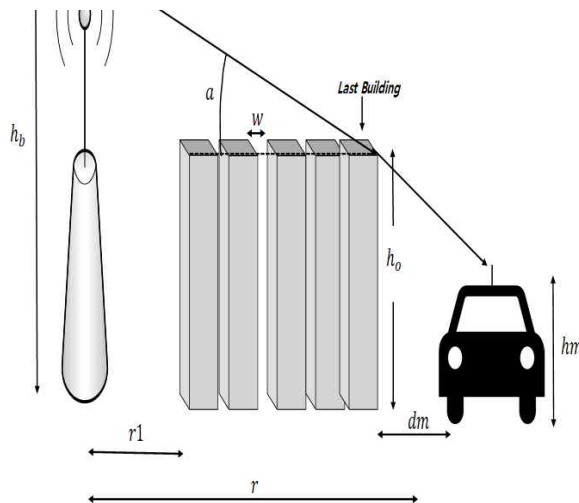
모델은 모바일이 거리의 중심에 있다고 가정하고, 모델의 개략도는 [그림 3.2-14]에 표시되어 있다.



[그림 3.2-14] Ikegami 모델.

차) Flat Edge Model

휴대폰 네트워크에서, 매크로셀 시스템이 built-up 영역에서 작동 될 때, 주요 전파 모드는 빌딩 옥상 및 개별 빌딩의 측면 주위의 다중 회절이다. 건물의 높이가 같지 않기 때문에 크기와 간격은 경로 손실 계산에 복잡하다. Flat Edge Model에서 모든 건물의 높이, 크기 및 간격이 같다고 가정하면 전체 문제가 단순화된다. 모델의 형상은 [그림 3.2-15]에 나와 있다.



[그림 3.2-15] Flat Edge 모델

여기서,

r_1 은 기지국에서 첫 번째 건물까지의 거리, r 은 기지국과 이 동국 사이의 거리,

a 는 최종 건물의 상단에서 기지국 안테나의 고도 각도 (라디안), h_b 는 기지국 안테나의 높이, d_m 은 이동국과 마지막 건물 사이의 거리, h_m 은 이동국의 높이, h_o 는 건물의 높이, w 는 건물 사이의 공간이다.

이 모델에서 초과 경로 손실은 식 (3.2-112)로 제공된다.

$$L_{ex} = L_{n-1}(t)L_{ke} \quad (\text{식 3.2-112})$$

여기서,

L_{ke} : 최종 건물의 단일 에지 회절을 계산한 것이고, L_{n-1} : (n-1) 남은 건물에 대한 다중 에지 회절을 계산이다. 기지국이 제1빌딩과 비교적 떨어져있을 때, 즉 $r1 \gg nw$ 는 L_{n-1} 이 파라미터 t 의 함수이며, 여기서 t 는 <식(3.2-113)>에 의해 주어진다.

$$t = -a \sqrt{\frac{\pi w}{\lambda}} \quad (\text{식 3.2-113})$$

회절 파라미터 $L_n(t)$ 는 식 (3.2-114)에 의해 주어진다.

$$L_n(t) = \frac{1}{n} \sum_{m=0}^{n-1} L_m(t) F_s(-jt \sqrt{n-m}) \text{ for } n \geq 1 \quad L_o(t) = 1 \quad (\text{식 3.2-114})$$

프레스넬 복소수 함수 $F_s(jx)$ 는 <식 3.2-115>로 주어진다.

$$F_s(jx) = \frac{e^{-jx^2}}{\sqrt{2j}} \left\{ \left[s \left(x \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) + \frac{1}{2} \right] + j \left[c \left(x \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) + \frac{1}{2} \right] \right\} \quad (\text{식 3.2-115})$$

여기서,

S와 C는 표준 프레스넬 사인 및 코사인 적분이다.

$$C(u) + jS(u) = \int_{x=0}^u e^{j\pi x^2/2} dx = \int_{x=0}^u \cos \frac{1}{2} \pi x^2 dx + j \int_{x=0}^u \sin \frac{1}{2} \pi x^2 dx \quad (\text{식 3.2-116})$$

$L_n(t)$ 에 대한 대략적인 공식은 다음과 같다.

$$L_n(t) = -20 \log_{10} A_n(t) = -(c_1 + c_2 \log_{10} n) \log_{10}(-t) - (c_3 + c_4 \log_{10} n)(dB) \quad (\text{식 3.2-117})$$

여기서 $c_1 = 3.29$, $c_2 = 9.90$, $c_3 = 0.77$, $c_4 = 30.26$ 이다. 이 공식을 사용하면 $1 \leq n \leq 100$ 그리고 $-1 \leq t < 0$ 에 대해서 근사 정확도가 $\pm 1.5\text{dB}$ 보다 좋다.

플랫 에지 모델은 높은 베이스 안테나에 대해 예측 곡선을 사용한다. 이 모델의 전체 경로 손실은 Ikegami 모델을 사용하여 길 건너 건물의 반사를 고려하여 종합된다.

따라서 총 경로 손실은 다음과 같다.

$$L_T = L_n(t) + L_F + L_E \quad (\text{식 3.2-118})$$

여기서,

$L_n(t)$ 는 <식 3.2-114>에서 구할 수 있는 것이고, L_F 는 여유 공간 경로 손실이며, L_E 는 Ikegami 공식이다.

$$L_E = 10\log_{10}f_c + 10\log_{10}(\sin\psi) + 20\log_{10}(h_o - h_m) \quad (\text{식 3.2-119}) \\ - 10\log_{10}w - 10\log_{10}\left(1 + \frac{3}{L_r^2}\right) - 5.8$$

5) 전파 모델 조사 분석에 대한 요약

본 연구에서 언급하지 않은 다른 전파 모델이 많이 있는 것으로 잘 알려져 있고, 참고 문헌 [20]은 순수하게 이론적 인 모델, 통계 모델, 결정론적 광선-광학 모델 및 측정 지향적 방법으로 인해 지난 60 년 동안 개발 된 주요 전파 예측 방법을 분석적으로 제시하고 있다. 일부 모델은 방송용으로 개발설계 되었으며, 휴대 전화용 적합하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 이동 전화에는 적합한 모델을 이용하여 ATDI사의 ICS Telecom IV를 이용하여 분석을 수행하였다.

나. 계산현장측정 등 평가 및 관리 병행제도 도입·운영 방안

1) 개요

최근 들어 5G 이동통신 서비스가 본격화되고, 스마트폰 보급에 따른 무선인터넷 사용자가 확산되는 등 무선통신 환경이 급변하고 있다. 특히 2010년 방송통신위원회의 이동통신 주파수 재배치 계획에 따라 800MHz, 900MHz 대역의 이동통신 서비스가 확대되었으며, 2013년부터는 DTV 전환에 따른 700MHz 대역의 신규 통신/방송 서비스가 새롭게 보급되고 있으며, 또한 2019년부터는 5G 이동통신 서비스가 새롭게 등장하고 있다. 이렇게 이동통신 환경은 저속의 음성서비스에서 고속의 데이터 서비스로 전환되고 있다. 한편, RFID, 무선센서 네트워크, 온라인 전기자동차 서비스 등의 이동통신 이외의 전파 서비스의 보급 또한 확대되고 있다. 이에 따라 무선국 수 및 전파의 사용빈도가 과거에 비해 급속히 늘어나는 등 생활속의 전파의 이용환경이 급속히 변화하고 있다. 이렇게 무선국 수가 급증함에 따라 전파통신 품질 및 전자파인체 노출 유해성 등에 대한 국민들의 관심 또한 고조되고 있고 이에 따른 민원이 지속적으로 발생되고 있다. 특히 기지국, 중계기 등 이동통신용 무선국이 주거환경 깊숙이 들어옴에 따라 일반인들은 다양한 전자파환경 아래 놓여있게 되며, 지역적으로도 전자파 고밀도, 저밀도 등의 지역이 존재하게 되었다. 따라서 일반대중들이 가급적 전자파에 과다하게 노출되지 않도록 전파출력을 인체보호기준 이하로 관리하면서도 다양하고 편리한 무선통신 환경을 제공할 수 있도록 하는 것이 국민의 삶의 질을 높이는데 매우 중요한 이슈가 되고 있다.

이에 따라 무선국 검사제도의 선진화가 중요한 문제로 부각되고 있다. 전파는 국가가 관리하는 공공재로서의 성격을 가지고 있으며, 무선국검사란 불량·유해한 전파발사를 사전에 차단하여 전파이용자와 국가 주요 통신망을 보호하기 위한 중요한 행위이다. 따라서 사용자들이 전파를 편리하게 사용하도록 하면서도 전파의 공공성을 보장하는 효율적인 검사제도 및 체계가 필요하다. 이를 통해 전파관리의 궁극적인 목적인 전파진흥을 도모하여 국민의 복리증진에 기여할 수 있기 때문이다.

현재 국내 무선국 검사현황을 살펴보면, 국내에서는 이미 체계적인 무선국 검사제도 및 전자파강도 측정제도를 마련하여 무선국을 관리해 오고 있다. 국내 무선국 검사제도는 전파법에 근거하여 준공검사, 정기검사, 임시검사 및 표본검사 등을 통해 관리되고 있으며, 30W 이상의 고출력기지국에 대해서는 전자파강도측정을 의무적으로 실시하고 있다. 그럼에도 불구하고 전파이용 환경

이 급변하게 됨에 따라 보다 선진화된 무선국검사제도 및 체계를 마련할 필요가 있다고 판단된다. 한 예로 전파이용환경은 급변하고 있으나 무선국검사의 목적, 검사항목 및 검사방법 등은 관련 제도 도입 이후 큰 변화가 없었다. 따라서 무선국검사에 대한 보다 높은 질적 향상과 검사의 효율성 향상 요구 등 전반적인 무선국 검사의 개선에 대한 요구가 증가하고 있어 이에 대한 선진화 방안을 마련할 필요가 있다. 다행히 최근 들어 한국전파진흥원에서는 전파자원 총조사사업으로 무선국 실태조사, 전파잡음측정, 전자파노출량 측정 등을 수행하여 오고 있다. 이러한 사업은 일반 대중의 전파에 대한 불안감을 해소하여 삶의 질을 개선하는데 이바지하고 있다. 하지만 아직까지 제도적으로 무선국 검사와 별도로 진행되고 있으며 의무화되어 있지 않아 무선국검사와 통합하여 관리할 수 있도록 제도화가 필요한 상황이다.

이러한 제도 변경의 대안으로 최근에 수치해석을 이용한 무선국 전자파 강도 예측 방법을 이용하여 무선국 측정 부하를 줄이는 의견이 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이 같은 전자파 수치해석 기술을 적용하기 위한 선행연구로서 관련분야 연구 동향 및 실제 시뮬레이션 결과와 측정 결과의 상관도를 평가를 수행하였다.

먼저 관련 기술동향을 알아보기 위해서 전자파 수치해석 기술 동향을 기술하였고, 다음으로 실제적으로 개발된 툴을 이용하여 무선기지국 전자파 강도를 예측하는 시뮬레이션을 수행시에 필수적으로 필요하는 전파 모델에 대해서 자료 조사한 결과를 요약하고 마지막으로 실제 선정된 지역을 중심으로 시뮬레이션한 결과를 보였다.

가) 전자파 수치해석 기술 동향

최근 컴퓨터 기술과 성능의 급속한 발달로 인해 안테나, 마이크로파 회로, 전자파 산란 및 전자파 장애 등의 다양한 전자파 문제를 시간 영역 유한 차분법, 유한 요소법, 모멘트법 등과 같은 수치 해석 방법을 이용하여 개인용 컴퓨터에서 손쉽게 해석할 수 있다. 그러나 아무리 컴퓨터 성능이 빨라진다고 하더라도 주어진 구조가 해석하고자 하는 주파수에 대응하는 파장에 비해 아주 크거나 혹은 구조가 파장에 비해 크지 않더라도 구조적으로 복잡하여 아주 작은 물체를 포함할 경우 이들 구조를 모델링할 경우 요구되는 격자가 매우 커지게 되어 계산시간이나 메모리가 급속하게 증가하는 문제가 발생한다. 전자파 적합성 문제에서 예를 들면, PCB 및 Chip/Package 구조가 파장에 비해 크기가 크지 않으나 미세한 모델링이 필요한 분야이고, 자동차나 항공기가 파장에 비해 구조가 매우 큰 분야에 해당한다고

볼 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 다양한 수치 해석 기법을 이용하여 해석 영역을 확장하고, 분석 시간을 고속화할 수 있는 기법이 전 세계 학계와 연구소에서 활발히 연구되고 있다.

이러한 해석 기법의 최신 동향을 크게 여섯 가지로 분류할 수 있다.

첫째, FMM(Fast Multipole Method)나 CBFM (Characteristic Basis Function Method)과 같이 모멘트법의 메모리 사용량을 줄이고 계산 속도를 향상시킬 수 있는 고속화 기법(Fast Method)이 활발히 연구되고 있다. 예를 들면, FMM에서는 우선 행렬 계산시 반복법(Iterative Method)을 사용하며, 반복법에서 행렬 계산시간의 대부분을 차지하는 행렬-벡터 곱(Matrix Vector Product) 계산 시간을 줄이기 위해 행렬을 여러 개의 그룹으로 나누어서 그룹 간의 거리가 충분히 떨어져 있을 경우(보통 파장의 수 배 정도) 이들 사이의 상호작용을 근사한다. 메모리와 계산 시간 모두 $O(N^3/2)$ 에 비례하여 증간하며, 행렬을 그룹화하기 위한 시간이 추가로 필요하며, 이 시간은 $O(N)$ 부터 $O(N^3/2)$ 사이에서 비례하여 증가한다. 이 방법을 다층 구조로 확장시킨 MLFMM(Multi-Level Fast Multipole Method)의 경우, 메모리, 계산 시간 및 그룹화 시간이 모두 $O(M \log n)$ 에 비례하여 증가한다.

둘째, 고차 기저 함수를 이용하여 메모리 사용량과 계산 속도를 줄일 수 있는 고차 기저 함수 기법 (Higher Order Basis Function Method)이 모멘트법, 유한 요소법에 적용되고 있으며, 시간 영역 유한차분법에도 고차의 테일러 확장(Higher Order Taylor Expansion)을 이용한 고차 기법이 이용되고 있다. 특히, 고차의 테일러 확장을 이용한 전통적인 시간 영역 유한차분법의 고차 기법은 서로 다른 유전체 혹은 금속과의 경계 등에서는 적용할 수 없어 특별한 처리가 필요하다. 최근에는 새로운 방법으로 Yee Cell 대신에 고차의 유한 요소 Cell을 적용하는 시간 영역 유한 요소법(Finite Element Time Domain)이 활발히 연구되고 있다.

셋째, 계산 속도를 향상시키기 위해 모멘트법, 유한 요소법, 시간 영역 유한차분법 등과 같은 여러 수치 해석 기법들을 서로 혼합하거나, 수치 해석 기법과 고주파 기법을 혼합하는 방법(Hybrid Method)도 많이 연구되고 있다. 수치 해석 기법들을 혼합하는 방법에는 FEM/MoM, MoM/FDTD, FEM/FDTD 등이 있고, 수치 해석 기법과 고주파 기법을 혼합하는 방법에는 MoM/PO, MoM/UTD, FDTD/GTD 등의 방법이 있다. 이 중에서 MoM과 PO를 혼합하는 방법은 상용 전자파 시뮬레이터인 FEKO에서 사용되고 있다. 넷째, 해석

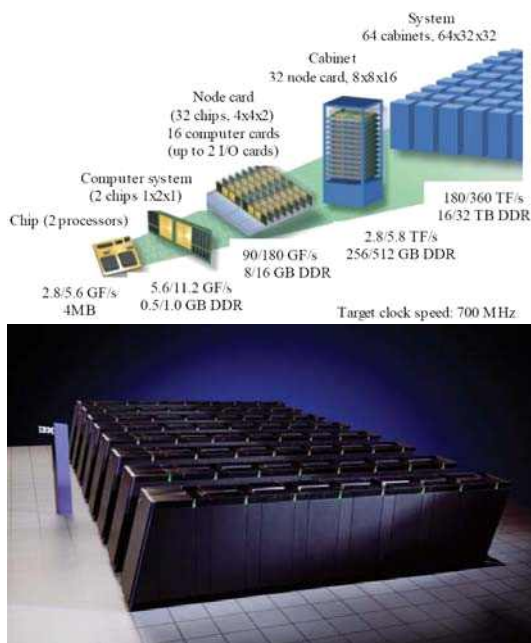
하고자 하는 구조가 파장에 비해서 매우 큰 경우, 주어진 구조를 여러 소영역으로 나누어서 소영역을 독립적으로 해석한 후 소영역 사이의 상호결합을 고려하는 영역 분할 기법(Domain Decomposition Method)도 모멘트법, 유한요소법 및 시간 영역 유한차분법에 적용되고 있다.

다섯째, 여러 프로세서를 이용하여 계산을 분산하여 수행함으로써 계산 속도를 향상시키는 병렬 기법(parallelization)이 여러 수치 해석 기법에 적용되어 활발히 연구되고 있다. 이러한 방법은 메모리 사용과 계산 노력 모든 측면에서 부담을 나눌 수 있다. 병렬 처리 시스템에서 각각의 프로세서는 전체 문제의 한 부분만 해석하며, 통신 프로토콜을 통해서 서로간 해석 정보를 교환한다. 병렬 처리 기법의 평가에 대한 중요한 척도는 그것의 효율성(efficiency)이다. 여러 수치해석 기법 중에서 시간 영역 유한차분법의 알고리즘은 특성상 매우 병렬적이고 양의 병렬 데이터들이 이웃하는 데이터들과 전자기장을 계산하여 결과를 상호 교환한다. [그림 3.2-1]에는 전 세계적으로 가장 빠른 병렬 처리 컴퓨터로 알려진 IBM BlueGene/L Supercomputer의 구조와 사진이 나와 있으며, 최대 65,536개의 프로세서와 32 TByte의 메모리를 사용할 수 있다.

마지막으로, GPU(Graphic Processor Unit)를 이용하여 하드웨어 속도를 향상시켜 계산 속도를 향상시키는 하드웨어 가속 기법(Hardware Acceleration)도 연구되고 있다. 이러한 방법은 상용 전자파 시뮬레이터에도 적용되어, CST Microwave Studio의 경우 2008버전부터는 GPU와 같은 하드웨어 가속기를 이용한 초고속 해석이 가능하고 가속기에 따라 통상 7~12배의 속도 향상이 가능하다. 이를 통해 시뮬레이션이 불가능하다고 생각했던 전체 FULL PCB, 3D SIP, 시스템 레벨의 SI, PI, EMI/C, ESD 해석이 가능해졌다.

<표 3.2-5> 상용 전자파 시뮬레이터 비교

Software	Vendor	Kernel Method
HFSS	Ansoft Corp.	FEM
Ansoftdesigner		MoM
Microwave studio	CST GmbH	FIT(Finite Integra- tion Technique)
Micro-stripes	FlometricsElec- tromagnetics Division	TLM(Transmission Line Method)
IE3D	ZelandSoftware Inc.	MoM
Fidelity		FDTD
XFDTD	Remcom Inc.	FDTD
Microwave office	Applied Wave Research(AWR) Inc.	MoM
Sonnet suites		MoM
GNEC	Nittany-Scientific Inc.	MoM
FEKO	EM Software & Systems	MoM & hybrid methods
Empire	IMST GmbH	FDTD
Quick Wave-3D	QWED	ConformalFDTD
GEMS	2COMU	ConformalFDTD
ICE Telecom	ATDI	MoM



[그림 3.2-1] IBM BlueGene/L Super computer 의 구조와 사진

나) worst case를 고려한 최적의 전자파 계산 방법

전자파 수치해석사에서 자유공간에 최대 출력과 최대 이득을 적용한 식은 가장 간단한 방법으로 계산이 쉬우나 최대 이득으로 계산되어 오차가 매우 크고, 지형지물에 대한 정보 반영이 안 되어 반사파에 의한 영향이 고려되지 않는다. 따라서 신뢰도가 매우 낮아 활용이 다소 어려운 실정이며 일본 사례와 같이 1차적으로 가장 엄격한 기준으로 적용은 가능하다. 우리나라에서도 한국방송통신전파진흥원에서 운영하는 사이트에서 이 공식을 이용하여 단순히 전자파 세기를 계산하여 주고 있다.

지면에 의한 반사를 고려한 계산식은 송신 안테나를 point source로 가정하고, 자유공간 계산식에서 안테나 패턴과 지면에 의한 반사를 고려할 수 있다. 계산에 필요한 파라미터는 안테나 이득, 송신전력, 안테나 높이, 빔틸트각, 주파수, 거리, 수신안테나 높이 등이 있다. 이 계산식은 조사영역 내에 산란체가 없는 경우에 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있다. 계산식도 비교적 간단하고, 쉽게 구할 수 있는 장점이 있지만 산란체 존재 시 오차가 발생할 수 있고, 송신 안테나 부근에서는 안테나 패턴이 사이드로브에 해당 되는 지역이라 계산한 값과 측정치의 차이가 발생할 수 있는 단점이 있다.

그리스에 의한 계산식은 지면에 대한 반사를 worst-case로 가정하여 최대 반사를 가정한다. 또한, 사이드로브에서도 worst-case를 가정하여 최대사이드로브 레벨을 갖는다. 따라서 이전 계산식에서 실안테나 패턴의 사이드로브 레벨과 null point 때문에 발생하는 오차는 전자파강도 과대평가로 발생하지 않는다. 따라서 현 상황에서 무선국에 대한 계산식은 그리스 식을 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 아래 식에서 수평 안테나 패턴은 기지국 대부분이 전방향성 아니면 섹터안테나로 커버리지를 확보하기 때에 worst-case 로 수평 패턴은 최대로 1로 계산하는 게 좋을 것으로 생각된다.

[HOME](#) > [측정정보](#) > [전자파세기 계산하기](#)

전자파세기 계산하기

본 프로그램은 무선국 제원과 거리를 입력할 경우 안테나로부터 직선으로 떨어져 있는 지점에 대한 전자파세기를 계산값으로 유추할 수 있는 프로그램으로 실제 측정값과는 상이할 수 있습니다.

1 무선국 제원 및 거리 입력

무선국의 종류
☐ LTE ☐ W-CDMA ☐ PCS ☐ Cellular ☐ TRS

안테나공급전력 W

안테나 이득 dBi

안테나와의 거리 거리선택 ☒ ☐

무선국 제원 출력 W, 안테나 이득 dBi

거리 m

계산값 V/m

※ 안테나공급전력 및 이득 미입력시 기본값에 의해 자동 계산

2 거리별 산출결과

무선국제원 및 거리를 입력하시고 계산하기 버튼을 클릭하시면 산출결과를 차트로 확인할 수 있습니다.

3 계산값 산출 근거 자료(전자파강도측정기준-국립전파연구원고시 제2014-2호)

$$E = \sqrt{\frac{AP\eta_0 10^{G/10}}{4\pi R^2}} \quad [V/m]$$

A : 지면반사율 고려한 상수 (AM송신국의 경우 4.0, 그 외 2.56)이며, 건물내부와 같이 지면반사파가 존재하지 않는 경우는 1.0
P : 안테나공급전력(시스템손실 포함) [W]
G : 안테나 이득 [dBi]
R : 안테나 중심으로부터 측정지점까지의 거리 [m]
 η_0 : 자유공간의 파동 임피던스(377 Ω)

[그림 3.2-2] 한국방송통신전파진흥원 제공 전자파 계산 사이트

$$E = \sqrt{\frac{4P \cdot \eta_0 10^{G/10}}{4\pi R^2}} V(\Theta) \quad (\text{식 3.2.1})$$

P : 송신전력(W)

η_0 : 자유공간 임피던스, 377 (ohm)

G : 안테나 이득(dBi)

R : 송수신 사이의 거리

$V(\Theta)$: 안테나의 수직패턴

다. ICS Telecom EV 툴을 이용한 전자파 수치해석 절차 수립

수치해석법에 의한 계산은 지면에 의한 반사뿐만 아니라 산란체나 건물 등의 반사나 회절에 의한 전파까지 계산해야한다. 따라서 정확한 계산을 위해서는 안테나 패턴 정보뿐만 아니라 지형에 대한 DB, 건물에 대한 DB 등의 추가적인 정보가 필요하다. 또한, 건물의 재질(콘크리트, 유리, 목조 건물은), 건물의 형상(지붕 모양, 건물 크기 및 형상 등) 등에 대해서도 어떻게 입력하는가에 따라서 큰 차이가 발생한다. 이 부분은 우리나라 환경에 맞는 시뮬레이션과 측정이 이루어져 건물에 대한 모델링시 모델링 차이에 따른 오차에 대한 예측이 가능하도록 중장기적으로 연구가 필요하다. 즉 튜닝에 대한 연구가 필요하다. 그리고 이를 반영하여 계산할 수 있는 국내 SW의 개발 혹은 기존 개발된 소프트웨어의 운용이 필요한 실정이다. 하지만 이러한 튜닝 과정이 아직 정착되지 않은 단계이지만 5G 도입에 따른 조기 분석 작업이 필요해서 우선은 유럽에서 성능이 잘 알려진 소프트웨어 툴을 이용해서 분석하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 프랑스 ATDI사에서 개발한 ICS Telecom 소프트웨어를 사용하여 수치해석법에 의한 계산을 수행하였다.

ATDI 소개

- 1991년에 설립된 프랑스 회사
- 무선 네트워크 설계 영역에서 S/W 솔루션 제공
- 주요 제품 : ICS Telecom(네트워크 설계 툴), ICS Map Server(GIS 생성 및 변환툴), ICS Manager(스펙트럼 관리 솔루션)

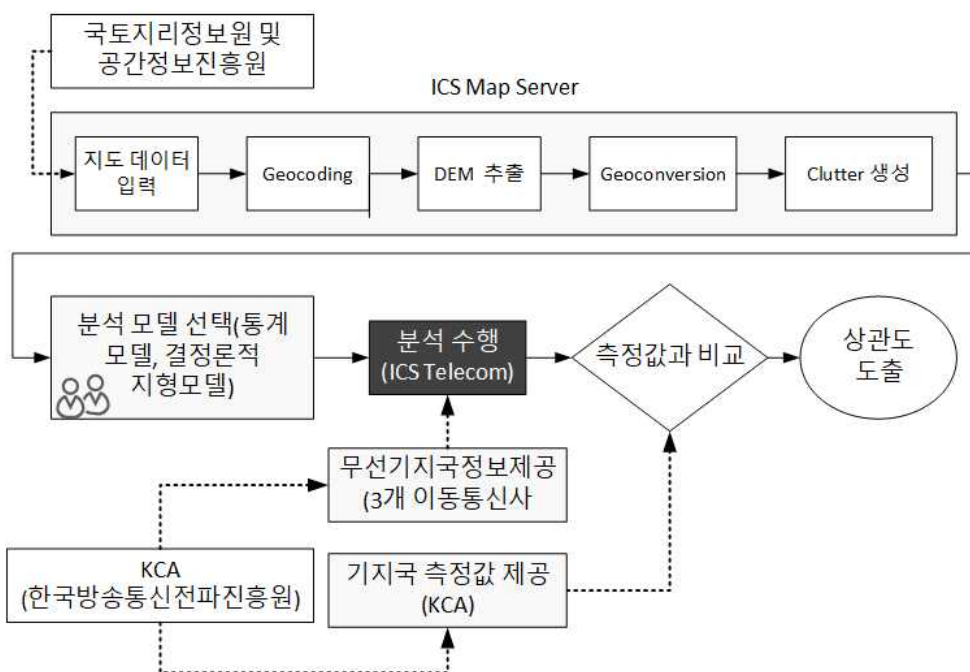
1) 분석 개요

ICS Telecom을 이용해서 무선기지국의 전자파 강도를 수치해석으로 예측하기 위해서는 먼저 지도 데이터가 필요하다. 지도데이터는 공간정보산업진흥원(spacen)을 통하여 DTM 및 3D 건물(시설물) 맵 데이터를 제공받아 ICS Map Server에서 시뮬레이션 툴에 적용가능한 지도 Layer를 구성한다. 전자지도에서 사용되는 지도들은 그 사용 방법과 용도에 따라 다양하게 제작되어 만들어지게 되며, 특히 전파분석에 사용하는 지도의 경우, 지형모델(DTM), 지형지물모델(Clutter)들이 제작하여 사용한다.

다음으로 분석모델을 경험적 통계모델을 할 것인지, 결정론적 지형모델을 할지를 결정한다. 본 연구에서는 무선기지국 주변의 지형데이터를 사용하기 때문에 결정론적 지형모델을 이용하여 분석을 수행한다. 기본적인 분석 전파모델은

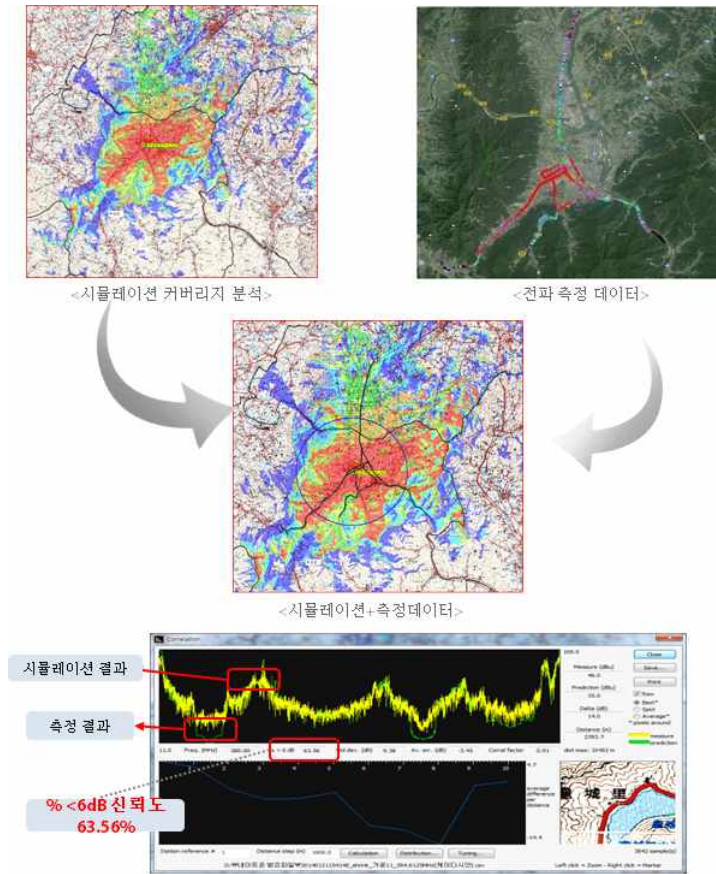
앞 절에서 요약 설명하였듯이 3가지(전파전파 모델, 결정모델, 통계모델)이다.

이제 분석을 수행할 차례인데 분석 수행을 위해서는 먼저 분석대상 지점에 대한 위치(위도, 경도)를 결정하고 그 지점을 중심으로 반경 1km 이내에 있는 무선기지국 정보를 이용하여 분석을 수행한다. 분석수행은 이동통신사별로 분류하여 1차 분석을 먼저 수행한다(사용주파수가 상이함). 분석 결과가 나오면 한국방송통신전파진흥원에서 제공하는 측정값과 비교하여 상관도를 도출한다.



[그림 3.2-3] 무선국 전자파 강도 수치해석 과정

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.



[그림 3.2-4] 상관도 분석 절차

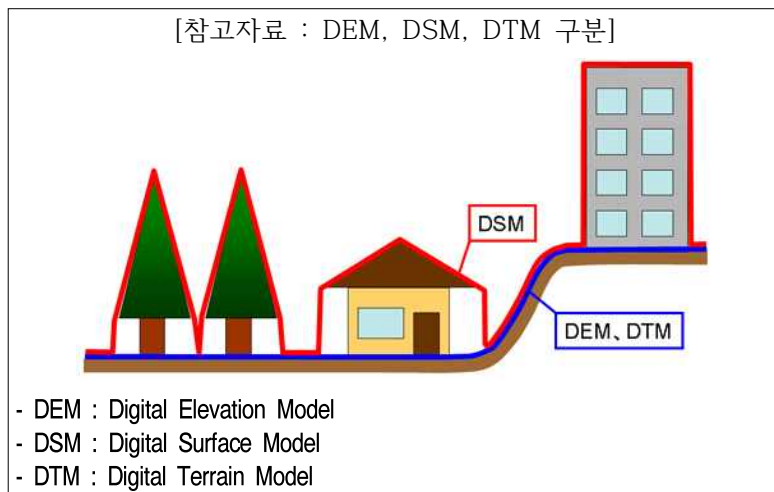
2) 지도 데이터 생성

ICS Telecom EV 맵 서버는 기존지도를 이미지로 가져와서 처리한다. 이때 데이터, 지형에 대한 대부분의 표준 형식으로 수행한다. 또한 ICS 맵 서버는 사용자가 생산한 데이터를 무선 배치계획에 따라 레이어를 이용하여 처리한다.

다음으로 Geocoding을 수행하여 원래(원시)의 레이어에 있는 지점과 알려진 단계의 원점이 있는 지점을 일치시키는 작업을 수행한다. 결과적으로 Geocoding 된 이미지는 타일링 및 조립이 용이하게 된다.

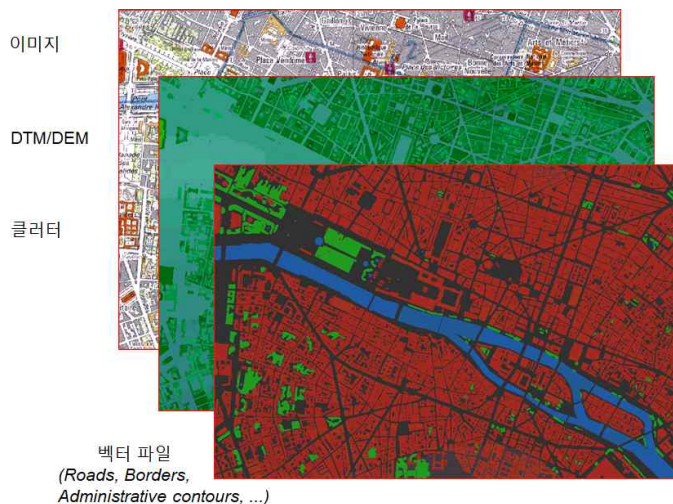
이 단계가 마무리되면 ICS 맵 서버는 DTM 혹은 DSEM을 생성하기 위해서 기존 데이터베이스에서 X, Y, Z 정보를 추출하기 위한 강력한 알고리즘(윤곽 추출, 자동상관관계분석)을 사용한다. 지형지도에서 윤곽선은 컨벌루션 및 라인 추적 알고리즘을 사용하여 자동으로 추출되거나 표시된 지도에서 마우스로 직접 수동으로 추출할 수 있다. 추출된 윤곽선은 광범위한 도구 세트를 사

용하여 표시, 수정 및 수정할 수 있다.



[그림 3.2-5] DEM, DSM, STM 분류도

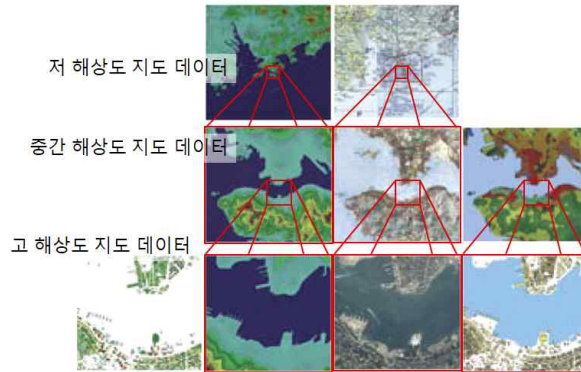
마지막으로 전파공간에 영향을 주는 숲이나 기타 요소들에 대한 클러터를 추가하여 최종적으로 지도데이터를 완성한다.



[그림 3.2-6] 분석을 위한 지도데이터 분류

일반적으로 저해상도 지도는 100m ~ 200m 이상의 해상도 DTM을 가진 비교적 큰 스케일의 지도 등을 말하고 예측 범위는 국가간이나 국가 규모의 망 전개 등에 사용하고 사용 전파 모델은 지도의 해상도 모델이 전파 모델 보다 정확하지 않은 경우가 많다.

- 2차원과 3차원의 다른 계층들로 구성
- 다양한 해상도의 지도 데이터



[그림 3.2-7] 해상도별 지도 데이터 분류

중간 해상도 지도데이터는 30미터 정도의 DTM을 갖고 1:250,000 지도 등이 사용되면 클러터는 30미터 정도를 고려한다. 예측 범위는 일반적으로 통신망의 커버리지 등의 계산이 가능한 수준이고 사용전파모델은 입력시 적절한 마진을 통한 결정모델(Deterministic, LoS)과 분석할 영역에 대한 전파 측정 데이터에 근거한 적절한 모델 튜닝을 통한 경험적인 모델(Empirical) 등이 사용가능하다.

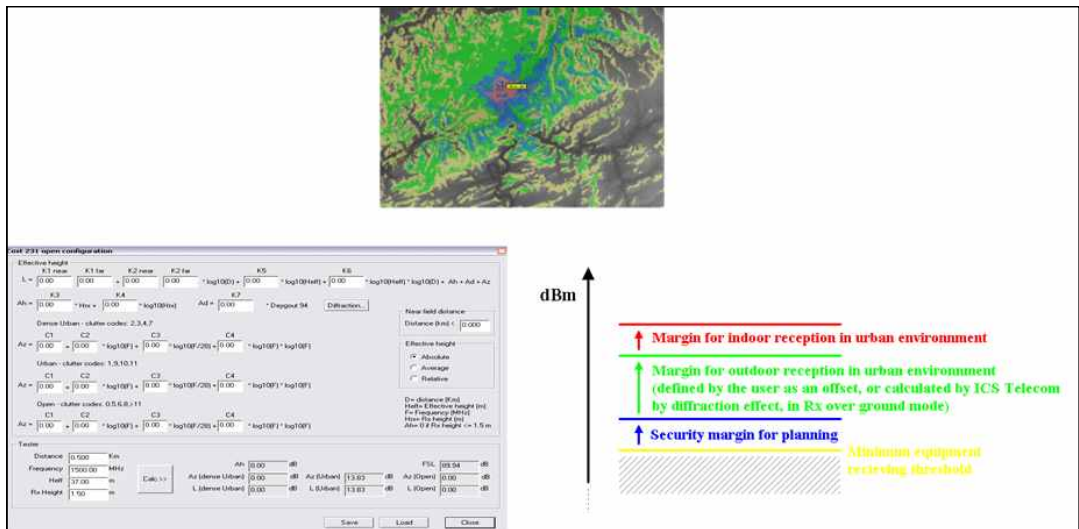
고해상도 지도는 일반적으로 DTM이 약 2m 정도까지 정밀도가 있는 것으로서 실제 정사 지도 등이 입력으로 제공되어야 하고 건물의 높이 파일도 제공되어야 한다. 2미터 이하의 물체는 클러터 파일로 처리한다. 예측 범위는 자세한 망의 커버리지 계산 및 분석이 가능하고, 건물과 건물 사이에서의 신호의 합/차에 의한 신호 분석도 가능하며, Diffusion effect나 Multi-path effect, Power delay spread 등에 대한 분석이 가능하다. 사용 전파 모델은 결정모델(Deterministic, LoS 등), Diffusion effect, 3D Ray tracing 등을 적용하여 분석할 수 있다.

이상에서 살펴본 내용을 종합하면 <표 3.2-3>과 같이 되며 실제 분석할 해당 시스템과 목적에 따라 적합한 지도 데이터(해상도)를 적용하면 된다.

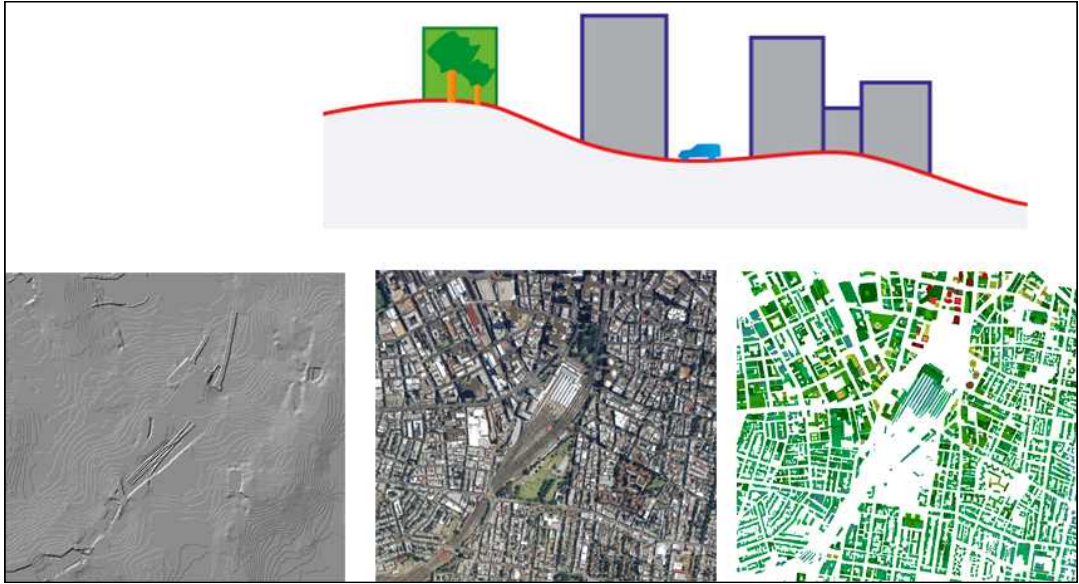
본 연구에서는 기본적으로 고해상도 지도 데이터를 이용하여 무선기지국의 전자파 강도를 수치해석을 통하여 측정하는 시뮬레이션을 수행하여 실제 측정치와 비교해서 타당성 검토를 수행하였다.

<표 3.2-6> 지도 데이터 해상도에 따른 응용 구분

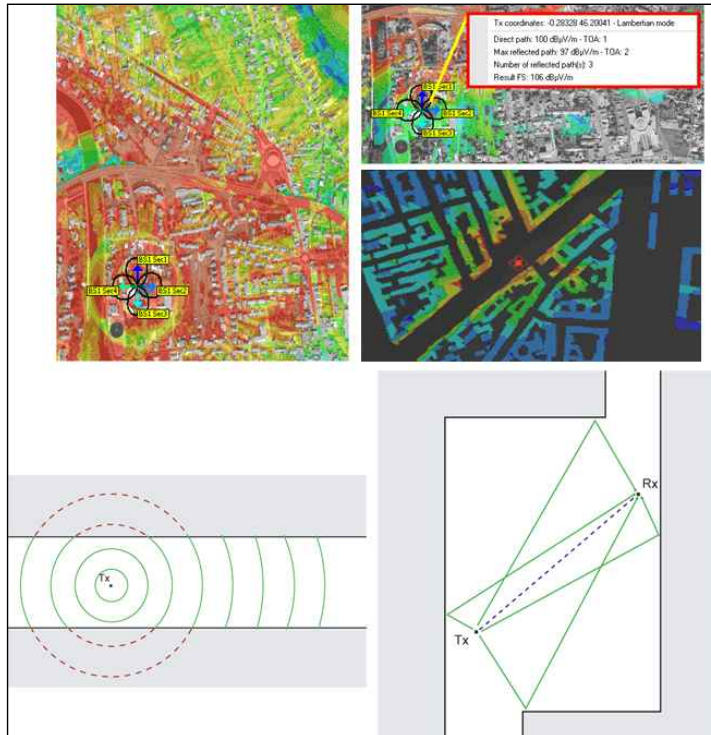
구분	저해상도 데이터	중간 해상도 데이터	고 해상도 데이터
Typical content	DTM at 200m Aeronautical chart	DTM at 30m	DTM at 2m
		Clutter file giving different urban heights as aggregates	BLG file at 2m Clutter file at 2m
		Topographic map	True-orthophoto
Applicable propagation model	The modellization of the catography is less accurate than the model itself	Empirical models (with appropriate tuning)	Deterministic models
		Deterministic models (with appropriate margins)	3D ray tracing if needed
Predictable effects	Rough coverage Very large scale network dimensioning	Standard coverage County/District based population analysis	Detailed coverage - Canyon effect with constructive/destructive OFDM signals - Diffusion effect - Multi-path effect - Power delay spread
			Building/address based opulation analysis



[그림 3.2-8] 중간 해상도 지도 분석 예



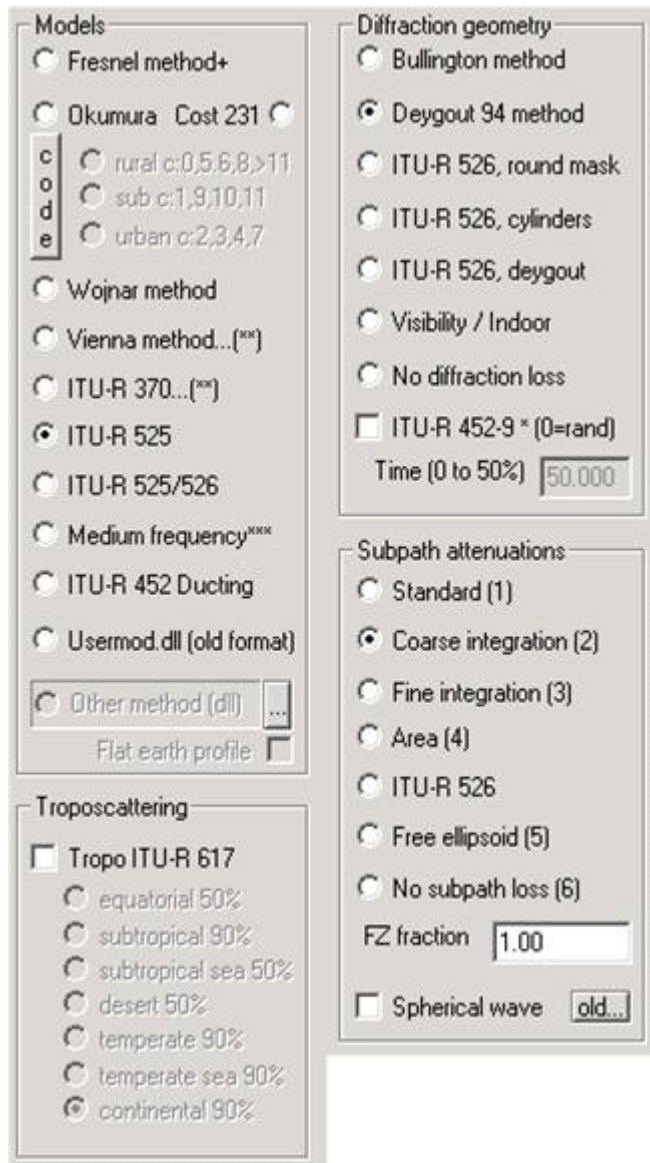
[그림 3.2-9] 고 해상도 지도 분석 예



[그림 3.2-10] 고 해상도 지도 예측 범위 및 분석 모델

3) 사용 전파 모델

ICS Telecom EV에서 사용되는 모델은 [그림 3.2-11]에서와 같이 다양하게 제공되고 있다. 즉 앞에서 열거한 결정모델 방법과 경험적이고 실제 측정에 의한 방법들을 모두 적용하여 분석할 수 있다.



[그림 3.2-11] ICS Telecom EV 전파 모델 종류

한편 모델을 적용함에 있어서 최종적으로 고려하지 못한 요소들에 대한 것을 종합적으로 클러터 Model을 이용하여 튜닝을 수행한다. 클러터 모델은 11개

가 [그림 3.2-12]에서와 같이 되어 있어서 각각의 값을 입력하여 튜닝할 수 있도록 되어 있다.

Clutter parameters								
Clutter code	Name	Attenuation (dB)		Clutter height	Reflection: Rho (0-1)	Erlang/km2	Surface factor	Diffraction factor
0	rural	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00
1	suburban	0.0	0.0	10	0.300	1.0000	1.000	1.00
2	urban 8 m	0.0	0.0	15	0.300	1.0000	1.000	1.00
3	urban 15 m	0.0	0.0	15	0.300	1.0000	1.000	1.00
4	urban 30 m	0.0	0.0	15	0.300	1.0000	1.000	1.00
5	forest	0.0	0.0	15	0.300	1.0000	1.000	0.60
6	hydro	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00
7	urban 50 m	0.0	0.0	20	0.300	1.0000	1.000	1.00
8	wood	0.0	0.0	15	0.300	1.0000	1.000	0.40
9 *	Railway	0.0	0.0	20	0.300	1.0000	1.000	1.00
10	user 1	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00

[그림 3.2-12] ICS Telecom EV 전파 모델의 클러터 모델 종류

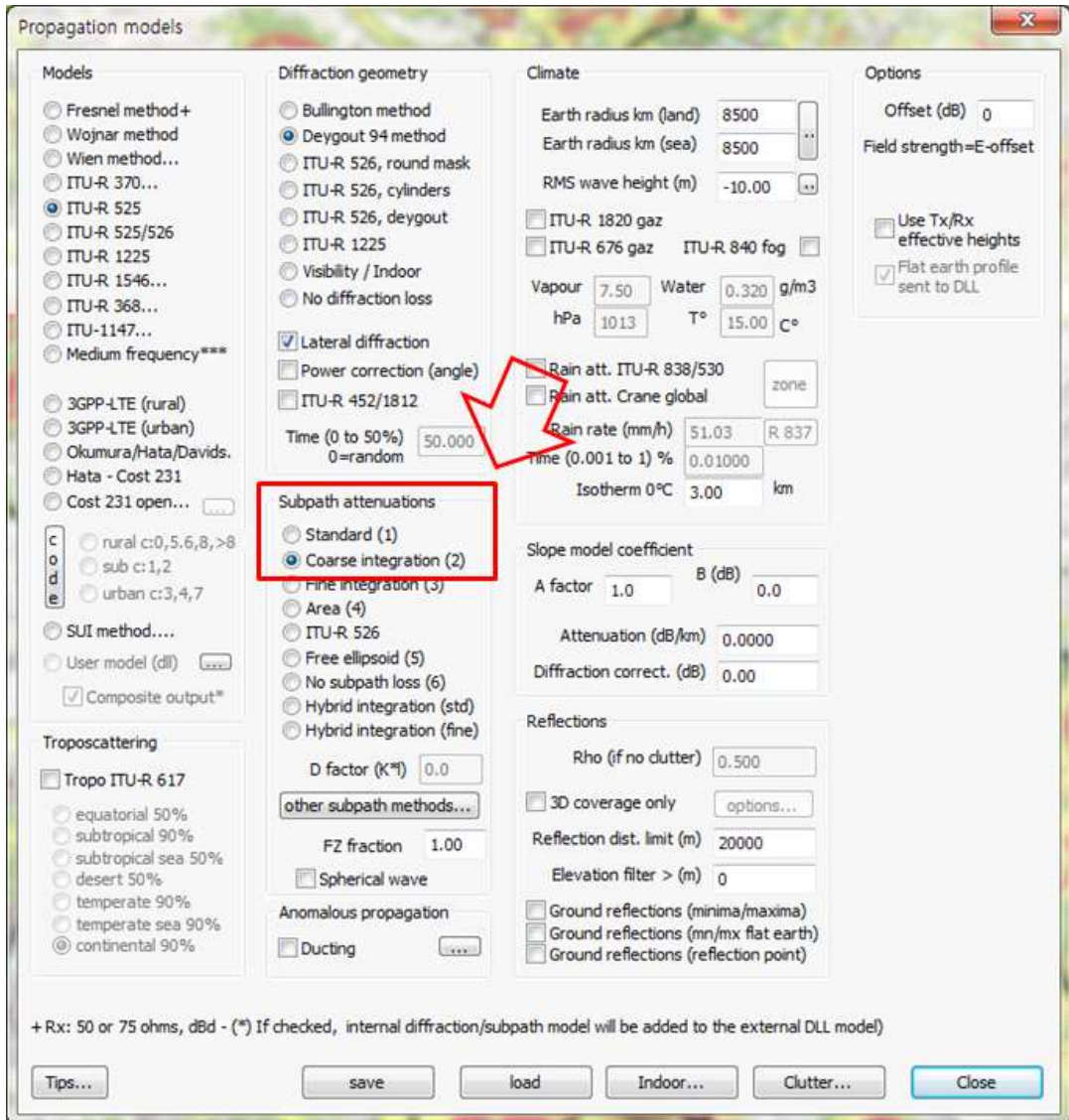
[그림 3.2-13]에 실제 ICS Telecom EV에서 사용하는 전파 모델의 예를 보였다.

적용 모델

- ITU-R P.525 : 자유공간
- Deygout-94 : 회절모델
- Standard : 부경로(subpath) 모델 장애물의 크기에 따라 감쇄영향이 결정됨(지형의 장애 영향이 클수록 감쇄가 커짐)

Deygout-94 : 회절모델

- 송신국과 수신국 사이에 다수의 knife-edge 형 장애물이 존재하는 경우 적용
- 장애물 높이와 프레넬 반경의 비를 기준으로 주 장애물과 2차 장애물로 분류, 회절을 계산
- 산악지형으로 링크 경로간 다수의 전파 장애물이 존재



[그림 3.2-13] ICS Telecom EV를 이용한 전파 모델 적용 예

라. 전자파 수치해석 툴 ICS Telecom EV를 이용한 무선국 전자파 세기 계산

1) 수치해석 대상 지역 선택

전자파 수치해석 툴인 ICS Telecom EV를 이용하여 [그림 3.2-3]과 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 다음 <표 3.2-4>와 같이 정리하여 이 지역의 무선국 정보를 이용하여 분석을 실시하였다.

<표 3.2-7> 전자파 수치 해석 지점 선정 조건

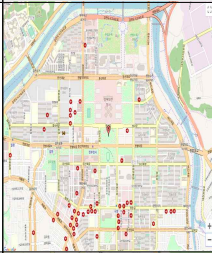
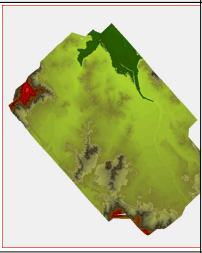
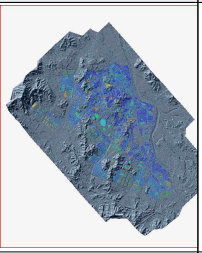
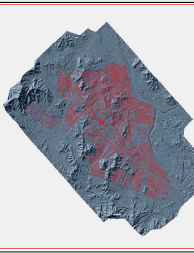

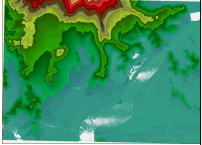
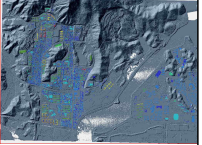
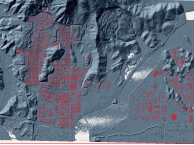
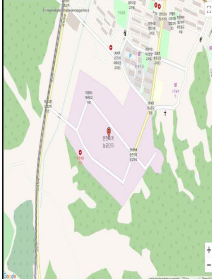
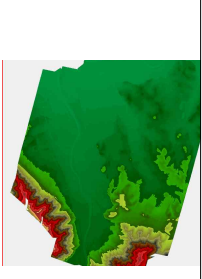
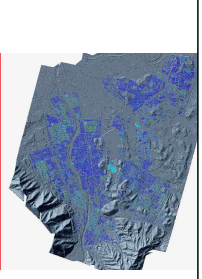
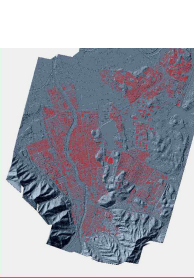
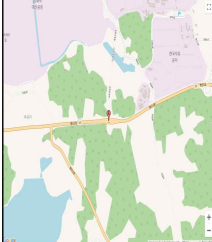
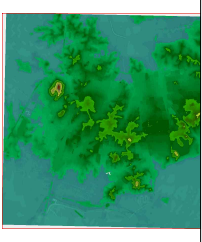
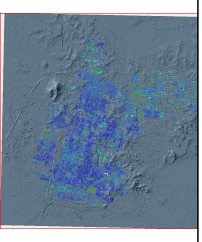
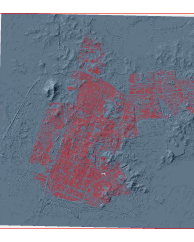

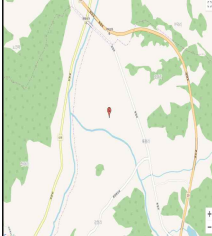
구분	등급	구분	지역 설정 조건	시뮬레이션 기준 장소	기타 조건
경로 손실 모델	1	고층빌딩 도심 지역 (예: 해운대 지구)	3D GIS 및 빌딩 정보 포함하고 있는 정보를 가지고 있는 지역을 설정하면 되고 특정지역은 없음. 솔빛에서 보유하고 있거나 이미 실행한 실적이 있는 곳을 중심으로 편하게 선정	임으로 1~2곳 선정	특별한 조건은 없으며, 제공되지 않은 입력 팩터는 공칭값을 입력해도 좋음
	2	도심 주거지역 (아파트 및 주택지대)		임으로 1~2곳 선정	
	3	공단 지역 (철근 구조물등이 많은 곳)		임으로 1~2곳 선정	
	4	산간 농촌지역 (숲이나 논이 많은 곳)		임으로 1~2곳 선정	

이 같은 조건을 고려하여 본 연구에서 수행할 수치해석할 지역 및 구체적 장소는 <표 3.2-5>와 같이 결정하였다.

<표 3.2-8> 분석 대상 지역 정보

구분	지명	주소	경도	위도
도심/ 주거 지역	정부대전청사 및 대전시청 주변	대전광역시 서구 둔산동 930	127.3849219	36.35867351
도심/ 주거 지역	부산 해운대구(벡스코 및 센텀지역)	부산광역시 해운대구 우동 1468	129.1285227	35.17200863
공단 지역	춘천시 퇴계농공단지	강원도 춘천시 퇴계공단1길 48	127.7386495	37.84541716
공단 지역	대산항 주변 대산일반산업단지	충청남도 서산시 대산읍 대죽리 산303-13	126.3885076	36.98868753
산간/ 농촌	충청남도 청양군 비봉면 방한리/용 당리 주변	충청남도 홍성군 장곡면 옥계리 428-33	126.7388794	36.47607307
산간/ 농촌	충청남도 청양군 비봉면/광시면 주 변	충청남도 청양군 비봉면 록평리 592	126.7770784	36.52435594

2) 지도 데이터 생성

지역	이미지	DTM	빌딩	클러스터
대전청사				
부산해운대				
퇴계논공단지				
대산산업단지				
옥계리		-	-	-
록평리		-	-	-

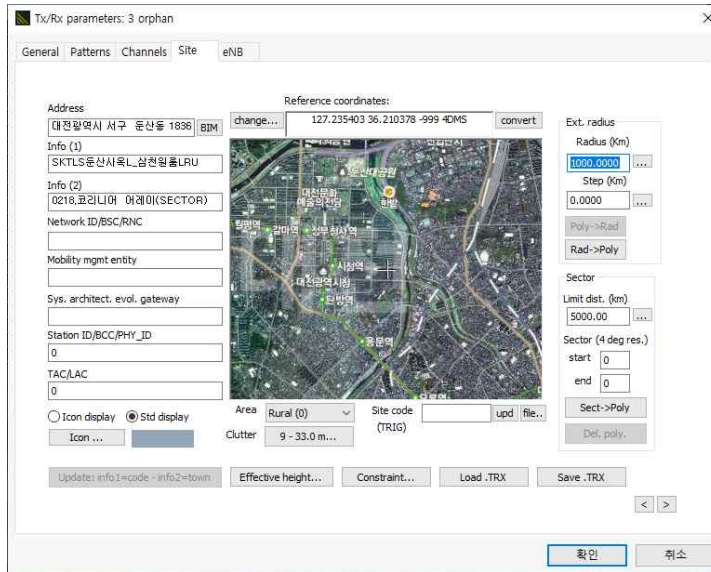
3) 적용 분석 절차

○ 송수신 파라미터 설정 입력

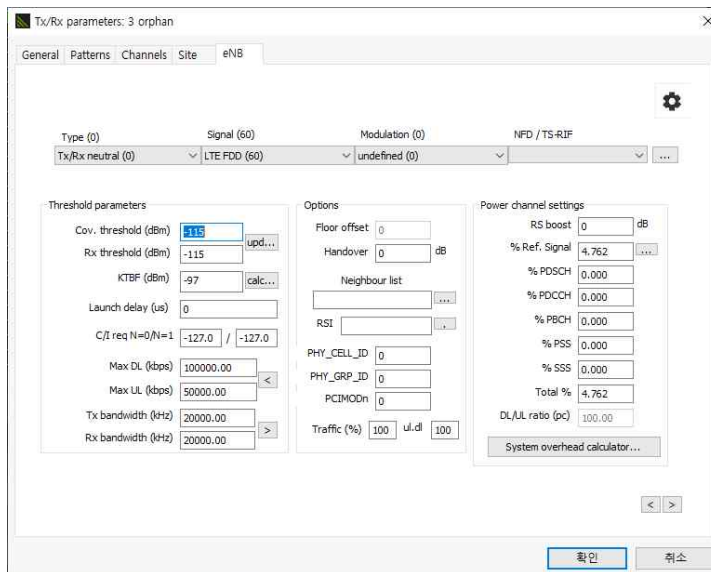
- 기지국 송신 데이터는 일반사항(General), 패턴(Patterns), 위치(site), 추가 파라미터 설정(eNB)등으로 구성되어 있으며, 본 시뮬레이션을 위하여 설정된 주요 내용은 다음과 같다.

[그림 3.2-14] 일반 파라미터 입력 예

[그림 3.2-15] 안테나 패턴 입력 예



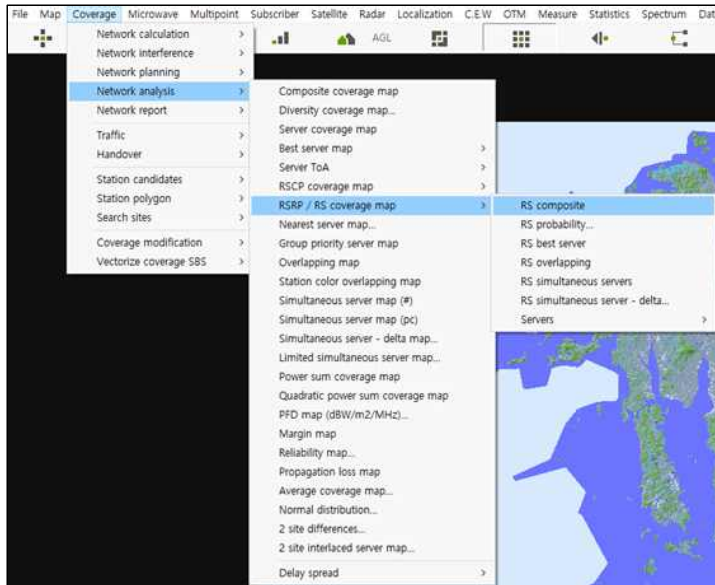
[그림 3.2-16] 기지국 위치 정보 입력 예



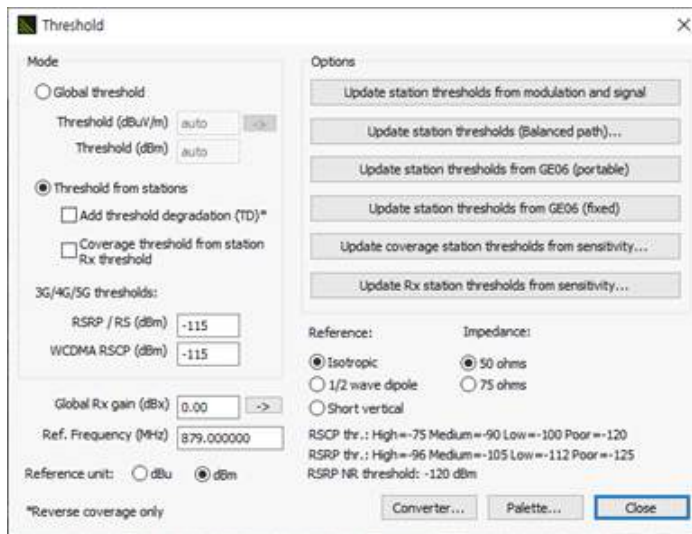
[그림 3.2-17] 기타 파라미터 입력 예

○ 수신측 커버리지 파라미터 설정 입력

- LTE 기지국에 대한 제원은 KCA에서 제공된 데이터를 기초하여 입력하였고, 없는 제원은 공칭값(Typical value)으로 설정하였으며, 분석을 위하여 안테나 패턴 및 방위각 제원 등은 세부 정보가 없어서 옴니패턴을 적용하였으며 LTE 커버리지 분석을 위해 LTE의 성능파라미터로 쓰이는 RSRP(Reference Signal Received Power) 커버리지 분석을 적용하였다.



[그림 3.2-18] RSRP 선택 과정

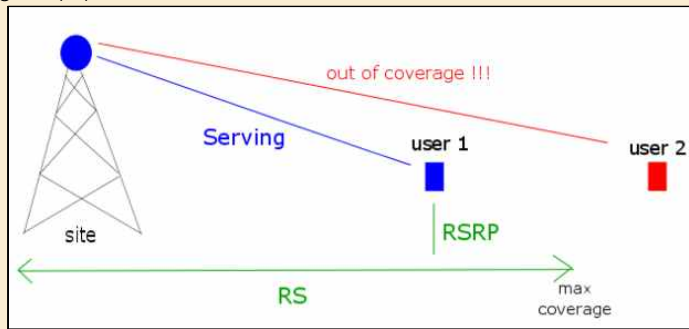


[그림 3.2-19] 기타 입력 파라미터

LTE RSRP, SINR, RSRQ, RSSI 비교

■ LTE 품질 파라미터

- Reference Signal Received Power (RSRP, 단위: dBm 절대크기) : 측정 대역폭 내의 cell-specific reference signal을 포함하는 resource element의 파워 분포를 Watt 단위로 선형 평균한 것으로 정의된다. 즉 RSRP는 전체 대역폭에서 cell specific reference signal(RS)을 담은 resource element의 평균 수신 전력이다. 따라서, RSRP는 RS를 담은 심볼에 대해서만 측정을 한다. RSRP는 하나의 RS resource element의 평균 수신 전력이다. 단말은 다수의 RS resource element에 대해서 측정을 한 후 이의 평균을 구한다. 단말이 보고하는 RSRP 범위는 -44 ~ -140 dBm 이다. RSRP는 다른 섹터로부터의 잡음이나 간섭을 potentially excluding 하여 특정 섹터로부터의 신호 세기를 측정하는데 적합하다. 통신 가능한 RSRP의 범위는 셀 중심부에서 -75dBm 정도이고 셀 엣지 부분에서는 -120dBm 정도이다.



- Received Signal Strength Indicator (RSSI, 단위: dBm 절대크기) : $N \times \text{RSRP} / (\text{E-UTRA carrier RSSI})$ 로 정의된다. 여기서 N은 E-UTRA carrier RSSI의 측정 대역폭 내의 resource block 수이다. RSRQ를 정의하는 분자(RSRP)와 분모(RSSI)는 모두 같은 resource block에서 측정되어야 한다.
- Reference Signal Received Quality (RSRQ, 단위: dB 상대크기) : 이것의 계산 수식은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{RSRQ} = N \times \text{RSRP} / \text{RSSI}$$
 여기서 N은 RSSI가 측정된 Physical Resource Block(PRB)의 수이고, 일반적으로 시스템의 대역폭과 일치한다. RSSI는 셀내 출력, 간섭, 잡음을 포함한 광대역 전력 측정값이다. 단말이 보고하는 RSRP의 범위는 -3~19.5dB 이다.
- SINR (Signal to Interference Noise Ratio) : 일반적으로 SNR을 고려하는데 SINR은 무선 통신에서 수신 신호 전력(S)에 대비하여 간섭 전력(I)과 잡음 전력(N)을 더한 비를 데시벨(dB) 단위로 표현한 값으로서 무선 통신에서 잡음과 더불어 장애 요소로 많이 부각되는 인접 셀(cell)의 간섭 전력을 반영한 것이다.

		RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
RF Conditions	Excellent	≥ -80	≥ -10	≥ 20
	Good	-80 to -90	-10 to -15	13 to 20
	Mid Cell	-90 to -100	-15 to -20	0 to 13
	Cell Edge	≤ -100	< -20	≤ 0

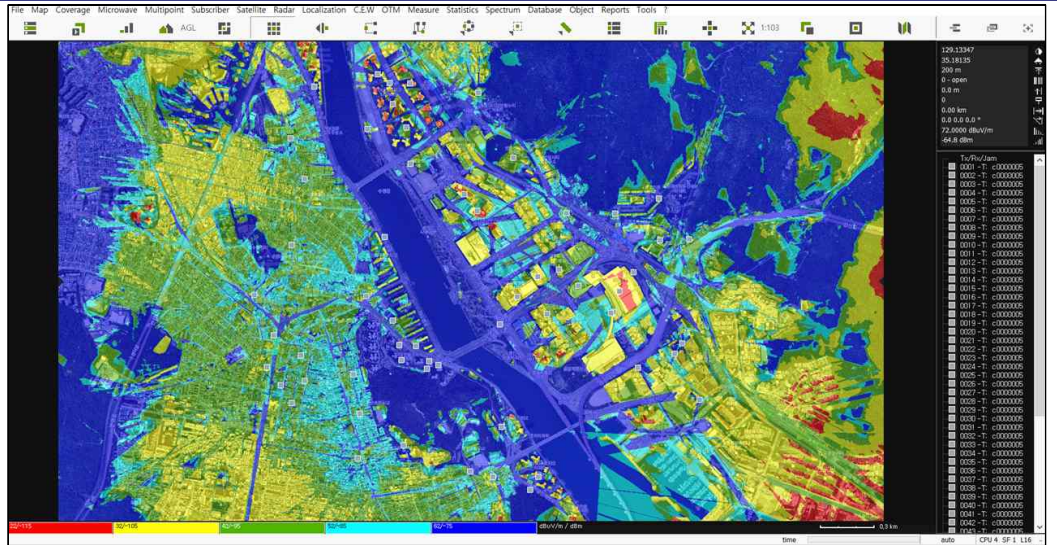
4) LTE 무선기지국 기준점에서 전파세기 분석 결과

(1) 부산해운대구 SKT(876 MHz) LTE 분석 사례

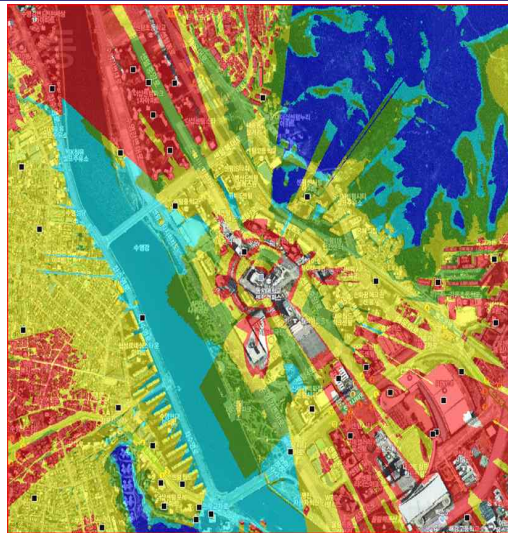
- 부산시 해운대구 센텀지역에서 SKT 기지국들 중 869.64MHz 주파수에 대하여 LTE 통신 기지국들의 기준점에서 전자파 수신 세기

위도	35.17200863	경도	129.1285227
주파수	869.64MHz	기지국수	263

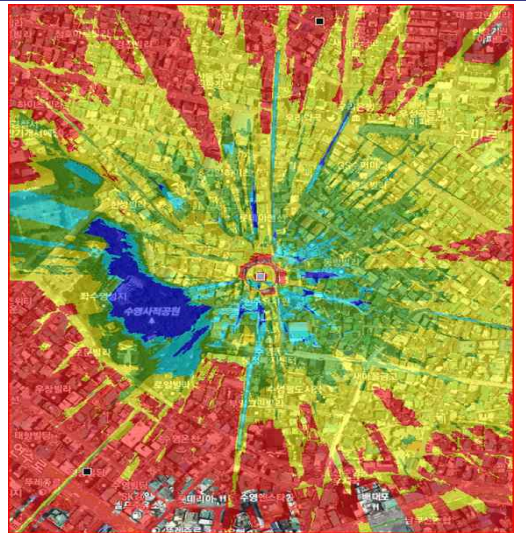
개별 기지국 위치 표시



기준점에서 전자파 강도



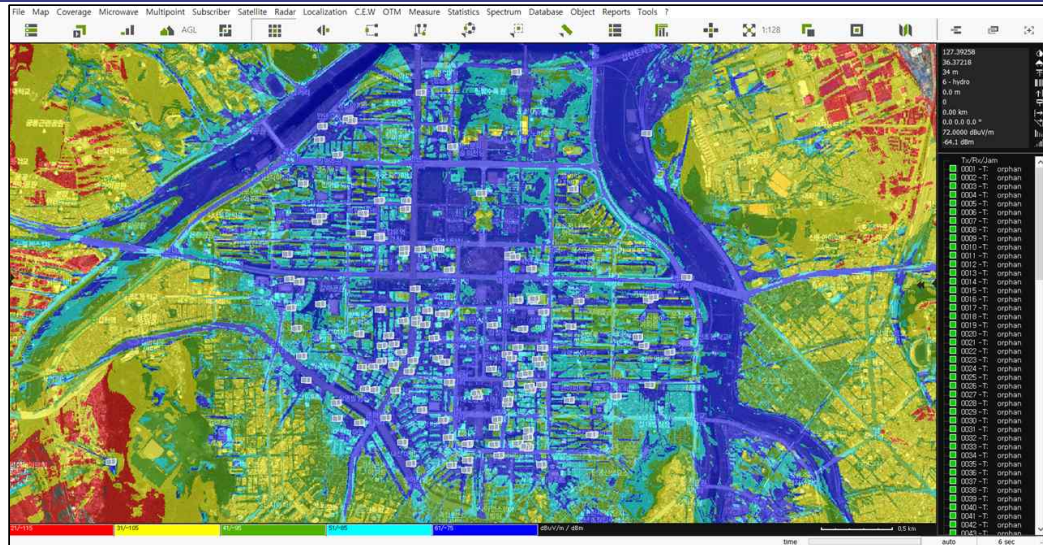
기준점에서 전자파 강도(축소 영상)



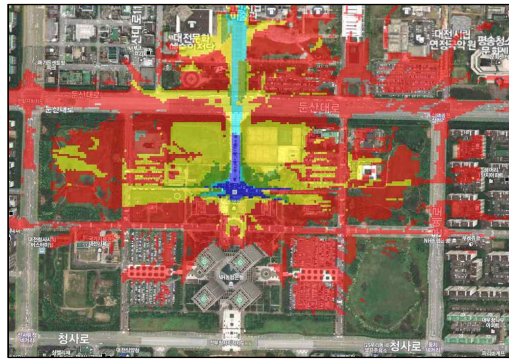
(2) 대전시청 1861.25 MHz LTE 분석 사례

위도	36.35867351	경도	127.3849219
주파수	1861.25MHz	기지국수	76

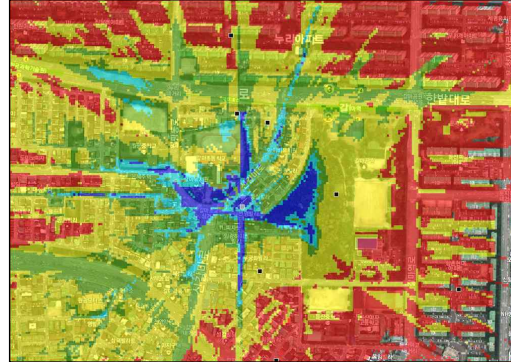
개별 기지국 위치 표시



기준점에서 전자파 강도



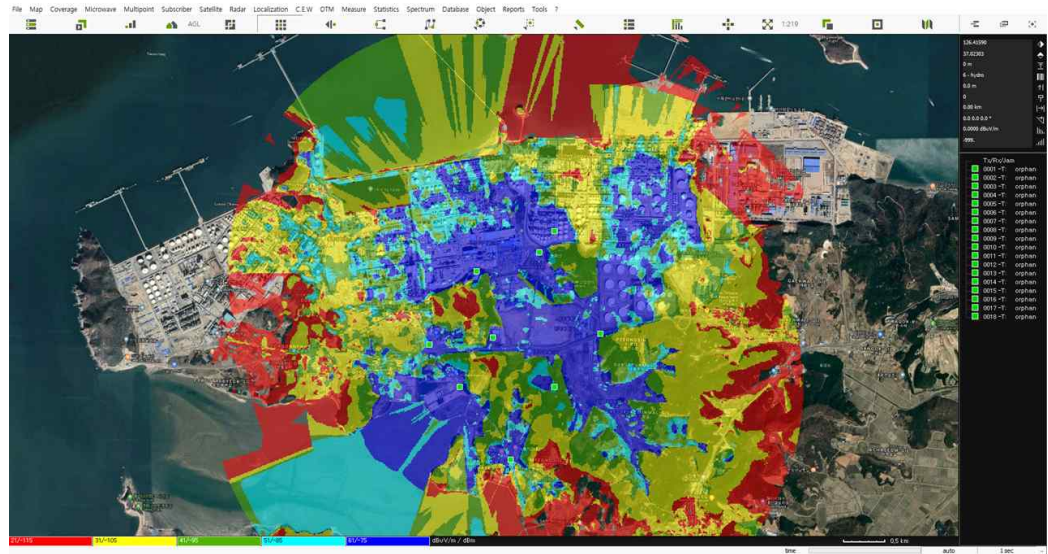
기준점에서 전자파 강도(축소 영상)



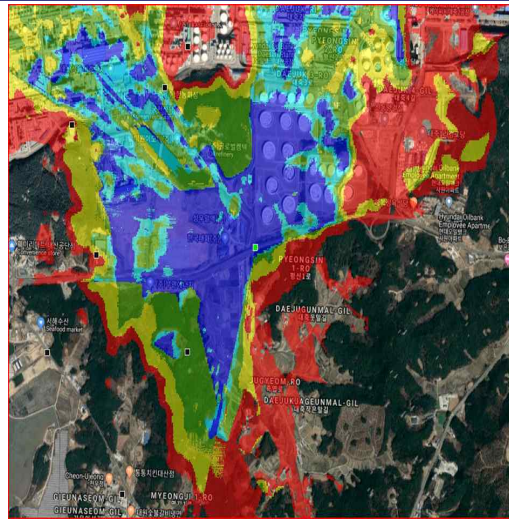
(3) 춘천 퇴계 농공단지 2142.65 MHz LTE 분석 사례

위도	37.84541716	경도	127.7386495
주파수	2142.6MHz	기지국수	41

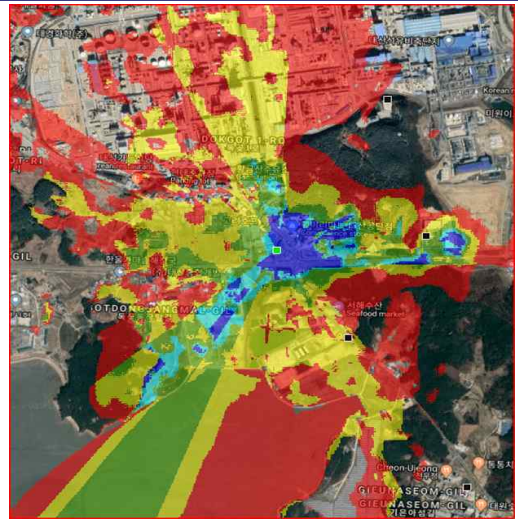
개별 기지국 위치 표시



기준점에서 전자파 강도



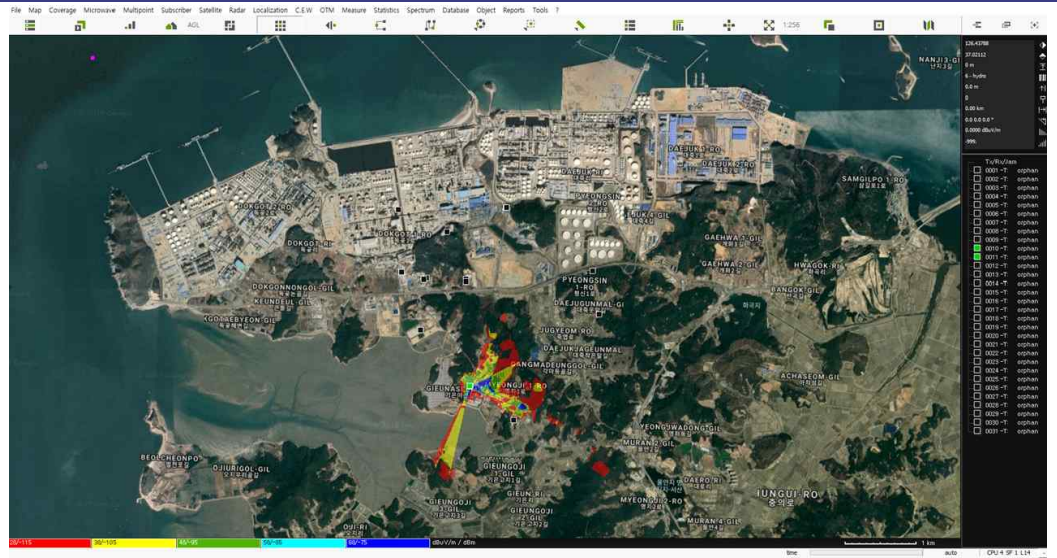
기준점에서 전자파 강도(축소 영상)



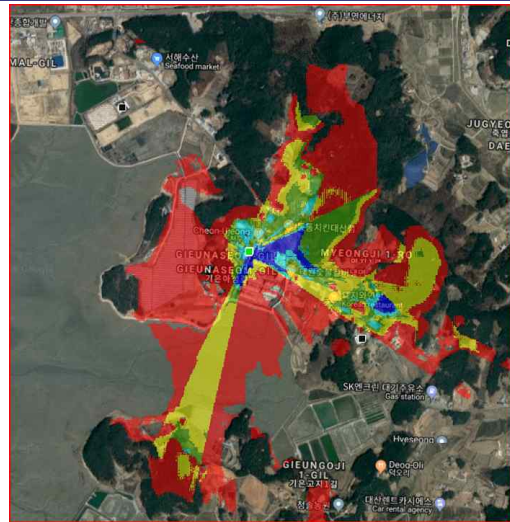
(4) 서산 대산항 889 MHz LTE 분석 사례

위도	36.35867351	경도	127.3849219
주파수	889MHz	기지국수	24

개별 기지국 위치 표시



기준점에서 전자파 강도

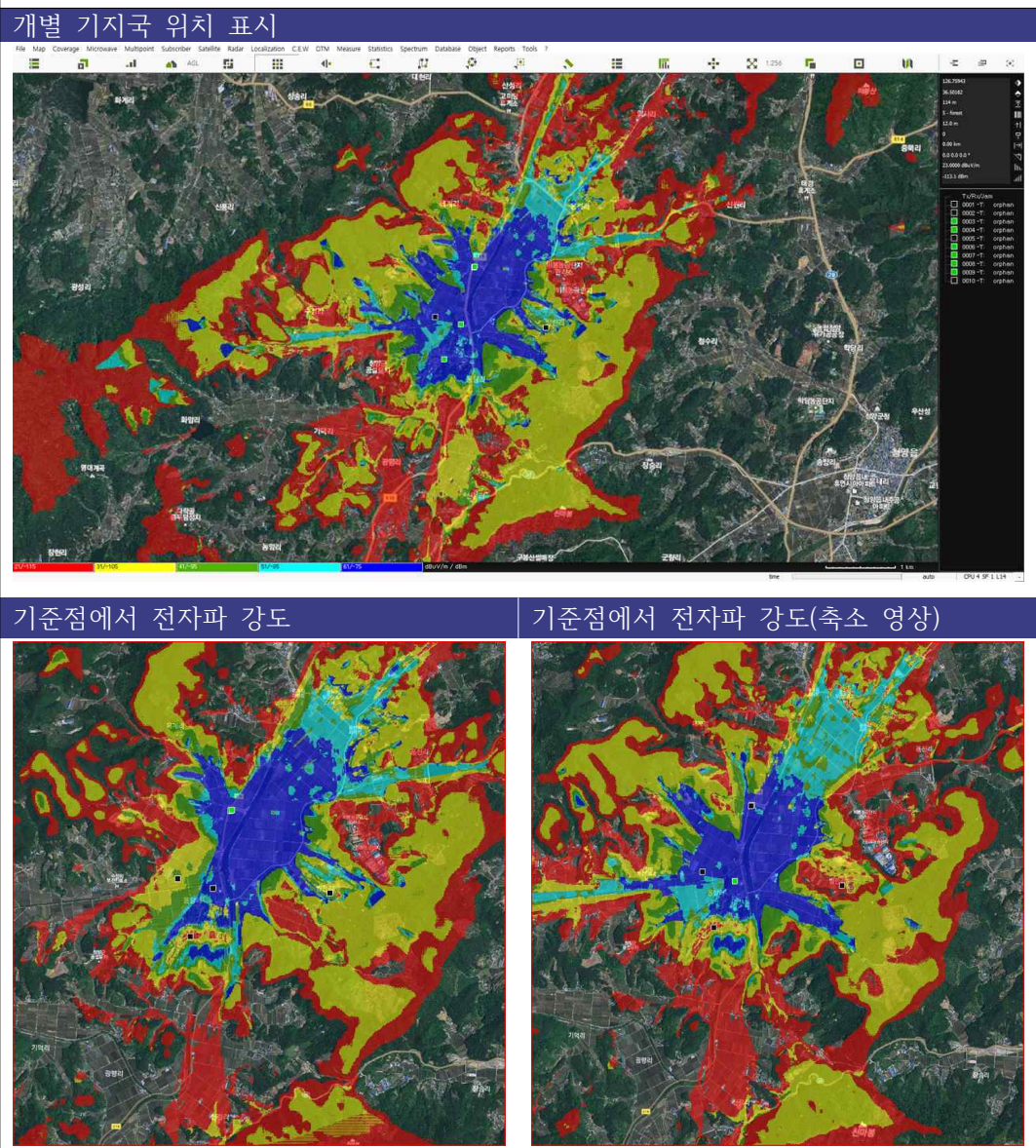


기준점에서 전자파 강도(축소 영상)



(5) 서산 비봉면 889 MHz LTE 분석 사례

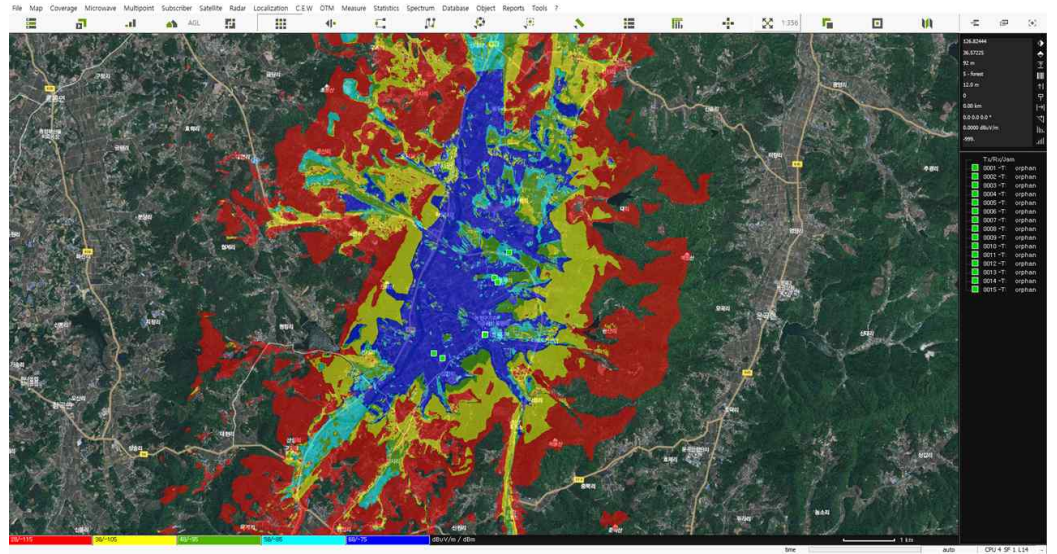
위도	36.47607307	경도	126.7388794
주파수	889MHz	기지국수	15



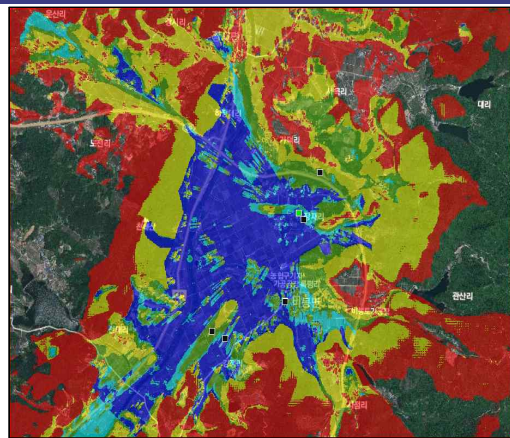
(5) 서산 광시면 879 MHz LTE 분석 사례

위도	36.52435594	경도	126.7770784
주파수	879MHz	기지국수	5

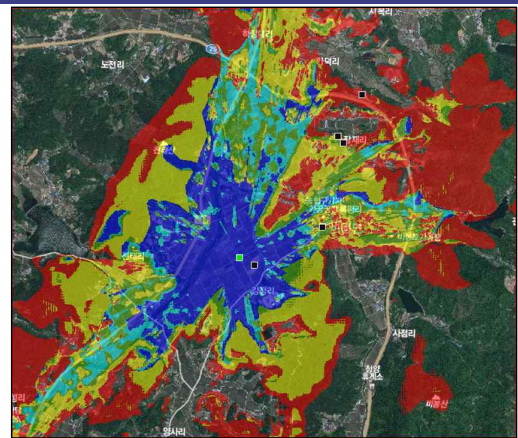
개별 기지국 위치 표시



기준점에서 전자파 강도



기준점에서 전자파 강도(축소 영상)

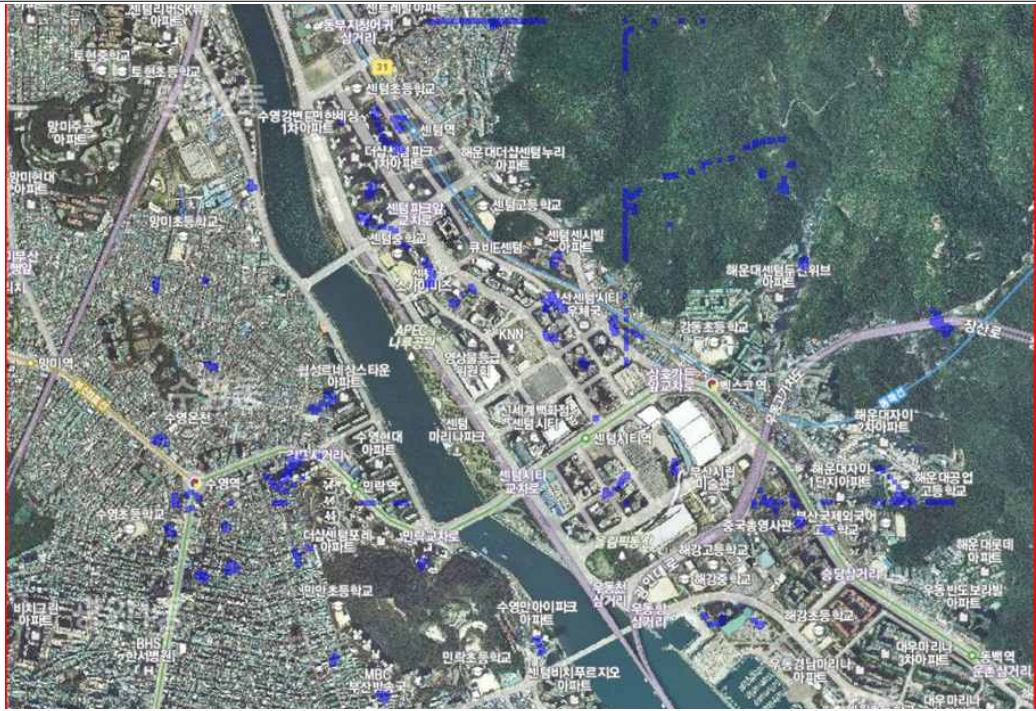


마. LTE 무선기지국의 실제 측정값과 시뮬레이션 결과와의 상관도 분석

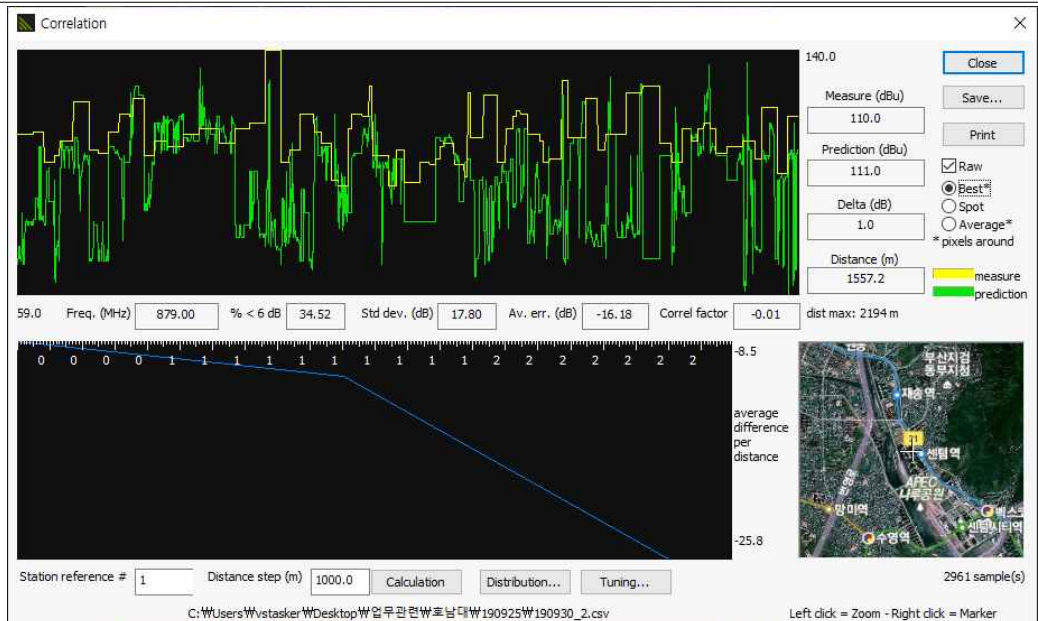
(1) 부산 해운대 센텀 지역

측정 위치 분포도

지역 : 부산 해운대



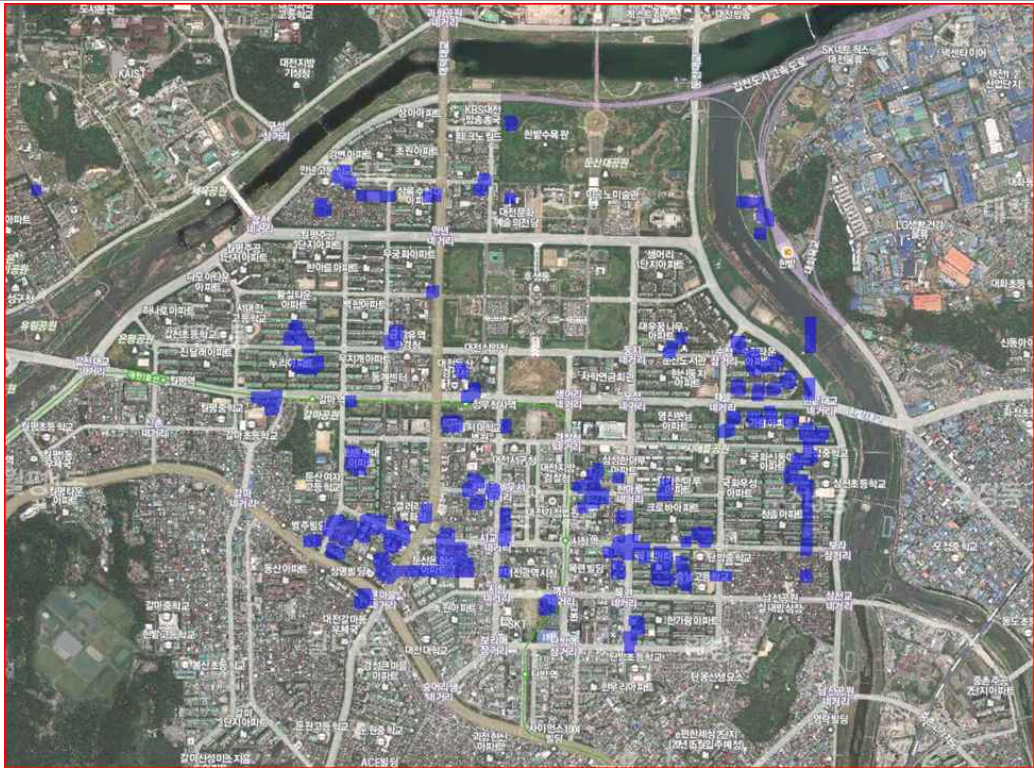
측정값과 시뮬레이션값비교



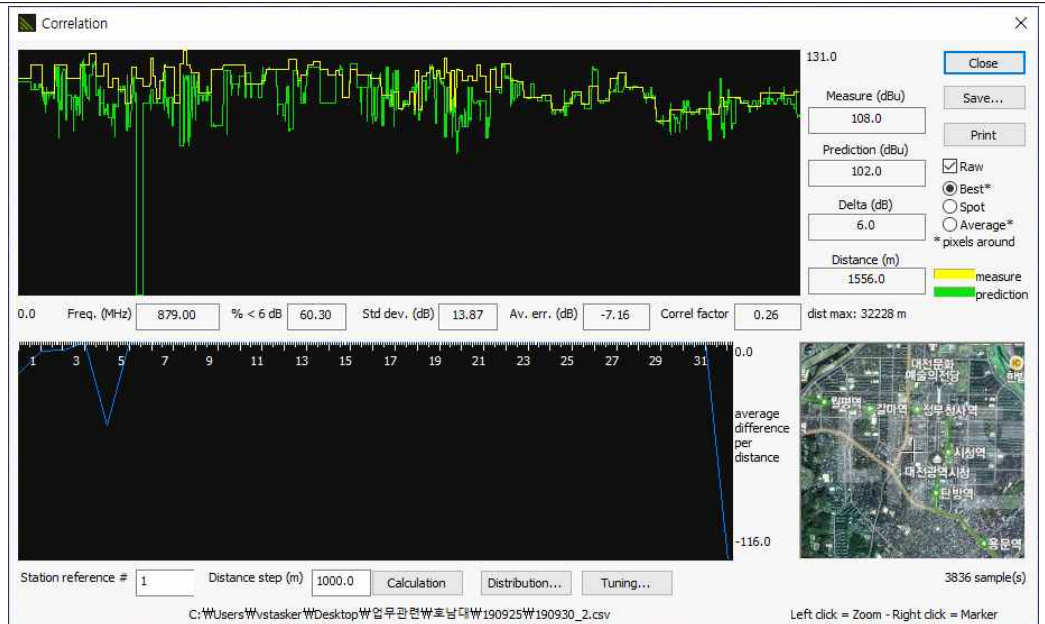
(2) 대전 시청 지역

측정 위치 분포도

지역 : 대전시청 주변



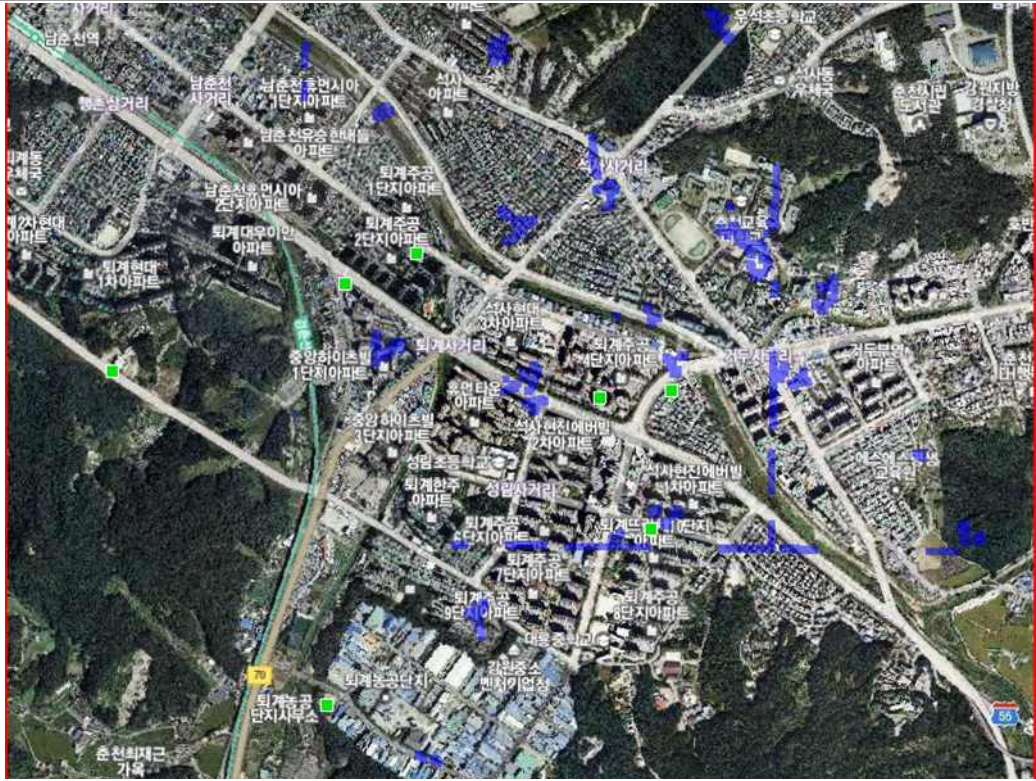
측정값과 시뮬레이션값비교



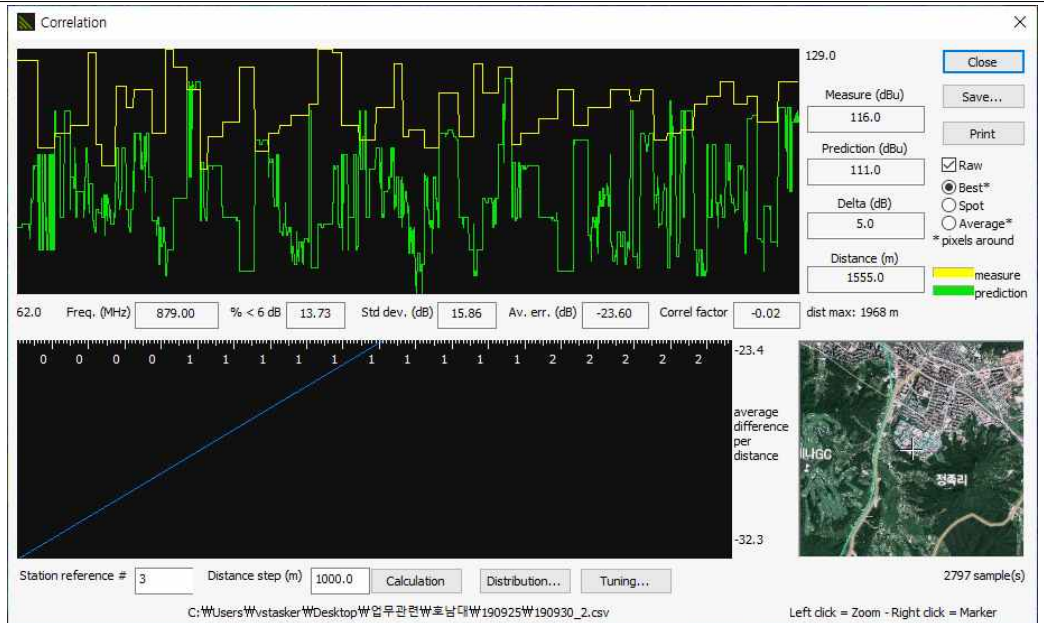
(3) 춘천 농공단지 지역

측정 위치 분포도

위치 : 퇴계 농공단지 부근



측정값과 시뮬레이션값비교

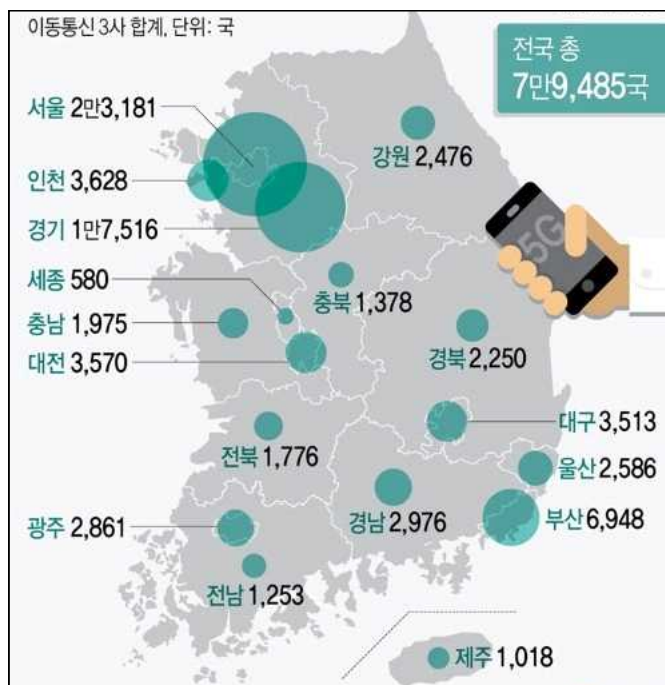


바. 5G 무선 기지국 대상 수치 해석 분석

(1) 5G 무선 기지국 수치해석 대상 지역 선택

2019년 9월 현재까지 SK텔레콤과 KT, LG유플러스 등 이동통신 3사가 구축한 5G 기지국이 8만 곳에 육박한 것으로 집계됐다. 기지국 송수신 장비는 18만대에 육박해 정부와 이통3사가 연말까지 목표한 23만대의 78%를 넘었다. 그러나 이통3사 5G 기지국 가운데 수도권이 4만4천325국으로 전체의 55.8%를 차지하고 있는 것을 보면 지역편중 현상은 매우 심각한 실정이다.

전자파 수치해석 툴인 ICS Telecom EV를 이용하여 [그림 3.2-3]과 같은 과정을 통하여 우리나라의 5G 이동통신 무선기지국 주변의 전자파 세기를 계산함에 있어서 전국을 대상으로 하는 것은 물리적으로 불가능하다. 따라서 4G Lte를 대상으로 분석한 지역을 중심으로 다음 <표 3.2-6>과 같이 정리하여 이 지역의 무선국 정보를 KCA로부터 받아서 분석을 실시하였다.

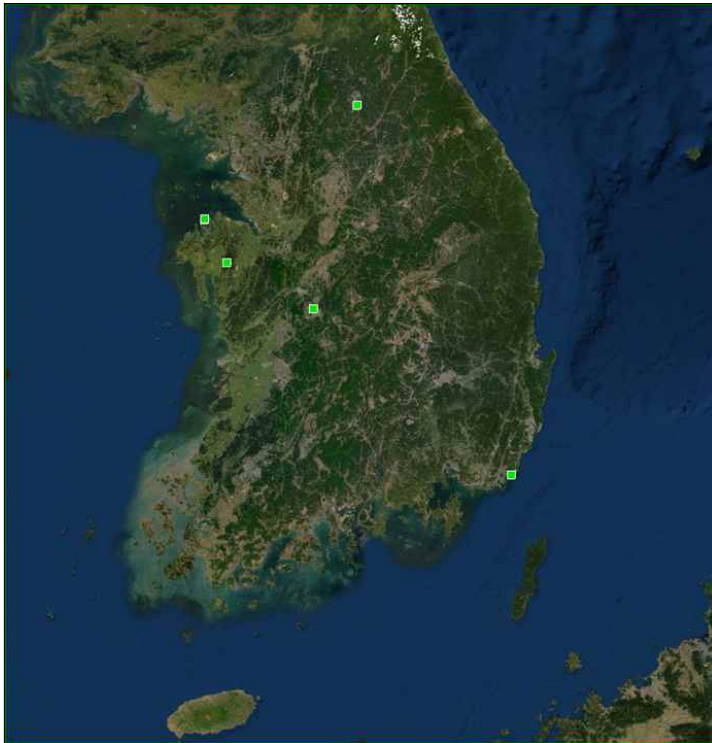


[그림 3.2-20] 전국 5G 기지국 현황(2019. 9.2일 기준)

[출처: 과기정통부 중앙전파관리소]

<표 3.2-9> 5G 무선기지국 커버리지 대상 지역

구분	지역	주소	경도	위도
도심/ 주거 지역	정부대전청사	대전광역시 서구 만년로 80, (만년동)	36.367047	127.38172
도심/ 주거 지역	부산 해운대구	부산광역시 해운대구 달맞이길62번길 38, 삼환미포씨랜드 (중동)	35.158661	129.17102
공단 지역	강원도 춘천시	강원도 춘천시 우석로85번길 5-17, (석사동)	37.865613	127.75349
공단 지역	충청남도 서산시	충남 서산시 대산읍 대죽리 679-30 HDPE	37.000522	126.37568
해안 ³⁾	충청남도 서산시	충남 서산시 대산읍 대죽리 679-30 조정실 폐수처리장	37.005763	126.37217
산간/ 농촌	충청남도 서산시	충남 서산시 해미면 대곡리 산59-1	36.689883	126.58380



[그림 3.2-21] 지도 상의 커버리지 분석 위치

- 3) 지도상에서 서산지역의 해안과 산간농촌은 위도 및 경도상으로 지근거리가 되어 지도에서는 하나의 점으로 나타남

(2) 5G 무선 기지국 커버리지 수치해석을 위한 튜닝 과정

(가) 지도 모델 튜닝

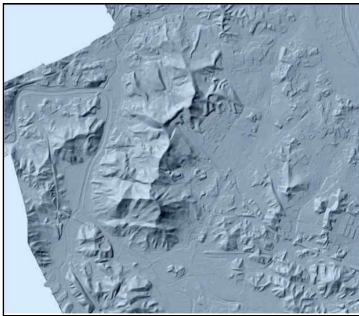
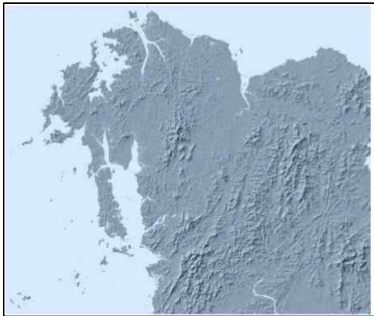
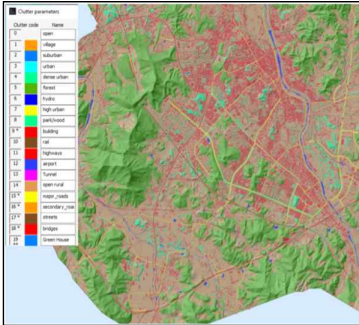
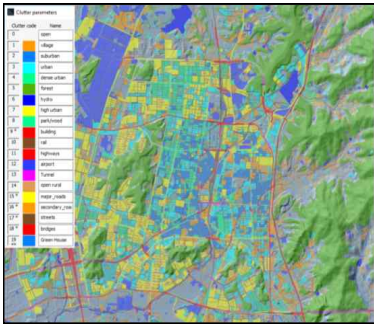
수치해석 사용되는 지도는 5m와 10m 두 가지 해상도를 갖도록 제작하여 하였고, 5m 해상도는 대도시/일부 도시에 적용하고 이는 2019년 2월에 구축한 DB를 사용하였으며, 10m 해상도는 중소도시/외곽지역에 적용하였으며, 2018년 12월에 구축한 DB를 사용하였다.


지도 모델에 대한 세부 튜닝 사항은 <표 3.2-7>과 같다.

<표 3.2-10> 분석 지도 해상도 사양 및 규격

구 분	사양(해상도) 및 규격(km ²)		
	전체	5m 해상도	10m 해상도
대전	540	203	337
세종	465	62	403
충남	8,192	181	8,011

이를 이용한 해상도별 구축 지도는 아래와 같다.

구분	5m 해상도	10m 해상도
지형지도		
클러스터 (모폴로지) 지도		

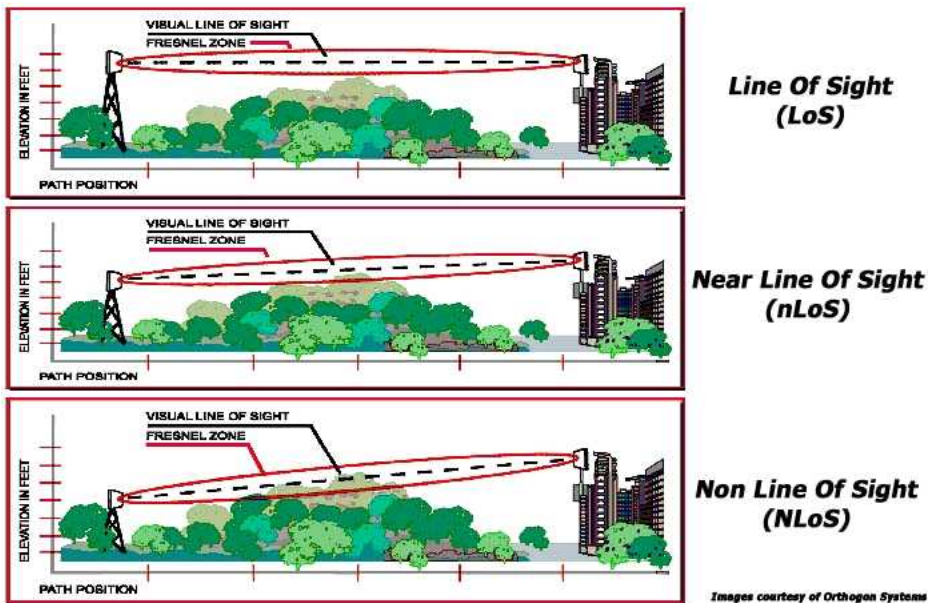
구분	5m 해상도	10m 해상도
3D 빌딩 지도		지원 안함

(나) 전파 모델 튜닝

ICS Telecom 수치해석 툴에서 사용가능한 전파 모델은 거의 모두 모델을 적용이 가능하다. 그러나 이러한 모델 중에서 디지털 지도들을 사용한 전파환경 분석을 수행하고 또한 추가로 전파 환경(반사 또는 감쇄 등) 적용을 고려해야 되므로 지형 특성별 분포를 따라 약 20개 내외 모델로 추릴 수 있다.

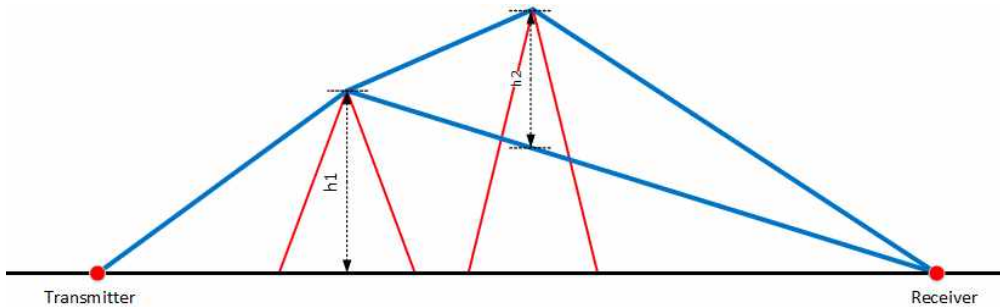
일반적으로 전파 모델 기본 개념식은 잘 알려진 바와 같이

전파전파 모델 = 경로손실모델 + 회절 모델(건물) + 회절 모델(지형)
으로 정의되며, 전파 전달 환경에 따른 모델은 {그림 3.2-22}에 보인 것과 같이



[그림 3.2-22] 전파 전달 환경 - 3가지 모델 선정 (LoS, nLoS, NLoS)

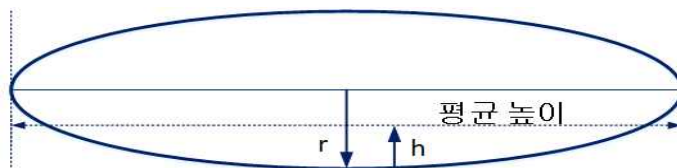
LOS(Line of Sight), NLoS(Non Line of Sight), nLoS(near Line of Sight)로 구분할 수 있으며, LOS는 ITU-R P.535모델에서 자유공간손실모델과 거리에 따른 경로손실 모델로 적용하고 있다. 한편 NLoS는 Deygout-94모델이 대표적인 것으로서 회절모델과 장애물이 LOS를 가리는 경우 손실모델로서 사용되고 있으며 nLoS는 Coarse 분석용으로 장애물이 LOS와 근접할 경우에 손실모델로서 많이 사용되고 있다. 본 시뮬레이션에서 사용한 전파모델인 Deygout-94 모델은 [그림 3.2-23]과 같이 장애물에 대한 회절 특성을 고려하여 전파전파 결과를 계산하고 있다. 알려진바와 같이 이 모델은 다중 장애물에 대한 감쇄모델로서 첫 번째 장애물에서 회절 감쇄 성분을 일차적으로 고려하고 만일 다른 장애물이 나타나면 첫 번째 장애물의 결과를 고려하여 부가적인 감쇄만을 고려하는 형태의 모델이다.



[그림 3.2-23] Deygout-94 모델 회절(knife edge) 관계도

한편 NLoS모델에 이어 nLoS는 비가시지역에 대한 해석 모델로서 Coarse Integration을 적용한 개념을 ATDI사의 ICS Telecom에서 수정 보완하여 제공하는 모델이 있는데 이는 장애물의 정도에 따라 추가적인 감쇄값을 고려하여 프레넬 타원체와 LoS의 아랫부분에서 평균 높이 h 를 사용하여 회절 형태의 추가적인 감쇄값을 적용하는 것으로서 본 시뮬레이션에서도 부가적으로 적용하였다. 이를 위한 모델의 수식과 관련 그림은 다음과 같다.

$$L_{sp} = 6.4 + 20 \log[n + \sqrt{(1+n^2)}]$$



[그림 3.2-24] Coarse integration 관계도

이 같은 사항을 고려하여 직접 ICS Telecom 소프트웨어에서 설정한 전파전파 모델 설정 내용은 [그림 3.2-25]와 같이 Diffraction geometry는 Daygout-94를 선택하고 Subpath attenuation은 Coarse Intergration를 사용하도록 설정한 내용을 보였다. 물론 자유공간손실식은

$$P_r(d) = \frac{|E|^2}{120\pi} A_e \frac{1}{L} = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \frac{1}{L} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d^2) d_2 L}$$

<표 3.2-11> 자유공간 경로감쇄 수식 설명

구분	설명	비고
P_t	송신출력(Transmit Power)	
G_t	송신 안테나 이득(Tx Antenna Gain)	
G_r	수신 안테나 이득(Rx Antenna Gain)	
λ	무선신호의 파장(Wavelength of radio signal)	
L	시스템 손실 팩터(System Loss Factor)	$L = 1$, 무손실
$P_t G_t : \text{EIRP}$	유효등방성 복사전력 (Effective Isotropic Radiated Power)	
A_e	수신 안테나 유효개구 (Effective aperture of Rx Antenna)	

Deterministic model from about 30 MHz to 350 GHz

☒ Propagation losses =

☐ Near field calculation

Free space loss

20.LOG[(4.PI.D) / wavelength]

ISO

+ Min [Diffraction, Tropo, Ducting, Reflections, A

Diffraction geometry

☒ Deygout 94

☐ Deygout 66

☐ Deygout 91

☐ Bullington

☐ Delta Bullington

☐ ITU-R 526, round mask

☐ ITU-R 526, cylinders

☐ Visibility / Indoor

☐ No diffraction loss

☐ Lateral diffraction (UTD)

☐ Power correction (angle)

☐ VHF correction

Absorption / Penetration

☐ Linear attenuations...

Clutter settings...

Subpath attenuation

☐ Fresnel integrals

☐ Standard

☐ MD 91 method

☒ Coarse integration

☐ Fine integration

☐ Fine enhanced

☐ Area

☐ Delta Bullington

☐ Deygout 66

☐ Free ellipsoid

☐ No subpath loss

☐ More methods...

☐ Fourth-power law

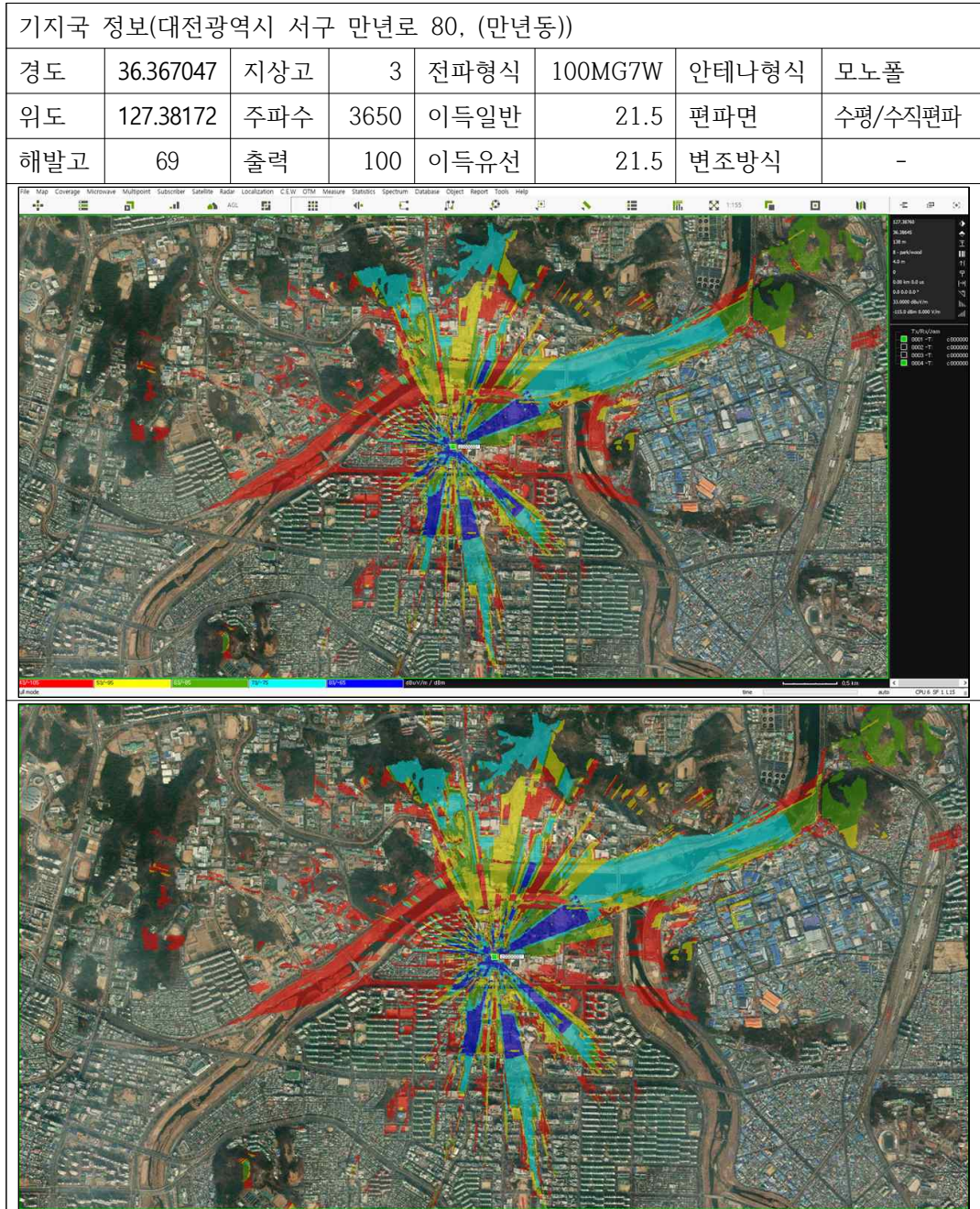
FZ fraction 1.00

Ducting

☐ Ducting ...

[그림 3.2-25] ICS Telecom 전파모델 - 기하학적인 모델

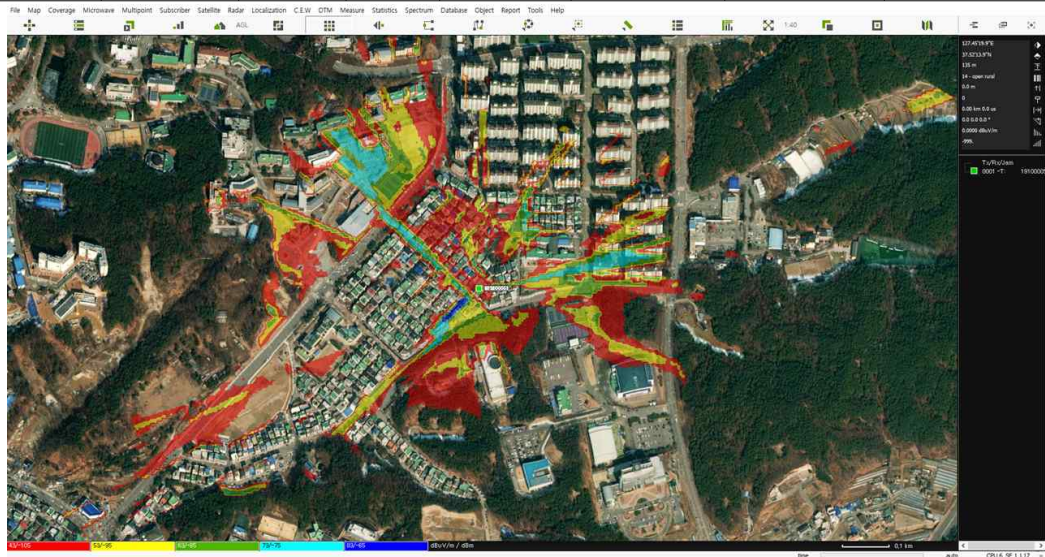
(다) 커버리지 분석 결과
- 대전광역시



- 강원도 춘천

기지국 정보(강원도 춘천시 우석로85번길 5-17, (석사동))

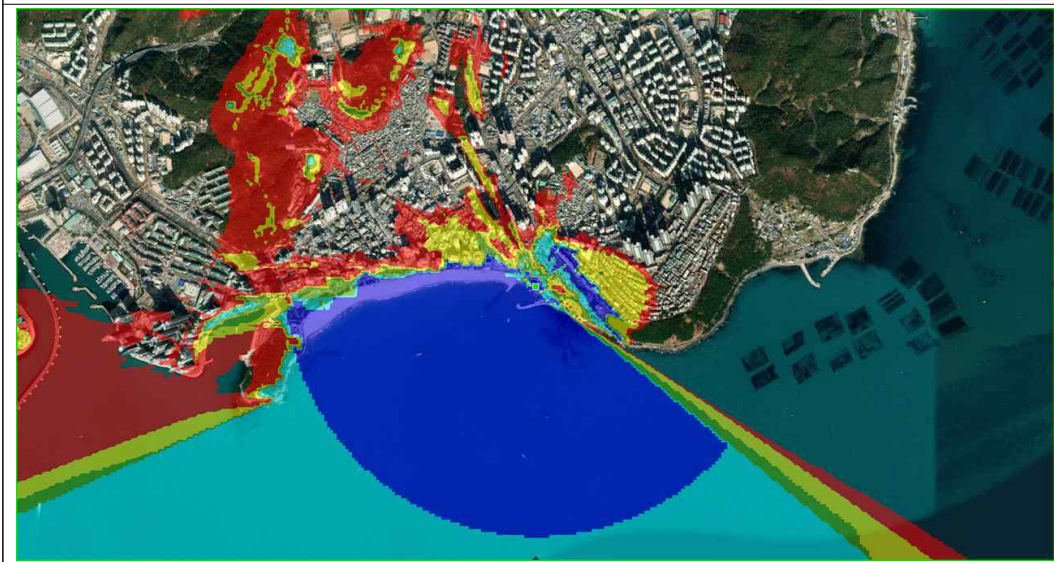
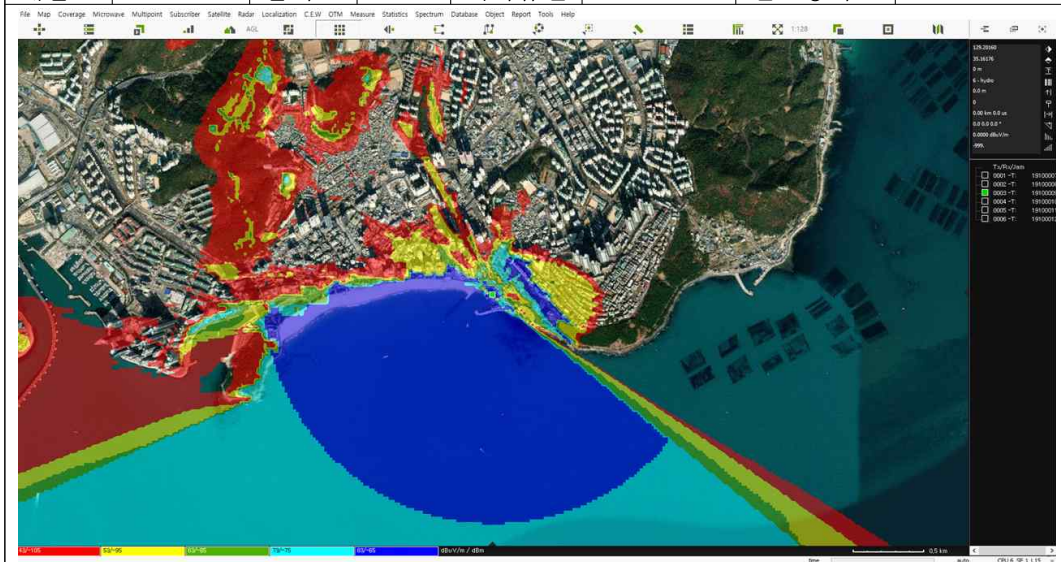
경도	35.158661	지상고	3	전파형식	100MG7W	안테나형식	원폴(건물)
위도	129.17102	주파수	3550	이득일반	14	편파면	수평/수직편파
해발고	107	출력	40	이득유선	14	변조방식	450



- 부산 해운대구

기지국 정보(부산광역시 해운대구 달맞이길62번길 38, 삼환미포씨랜드 (중동))

경도	37.865613	지상고	18	전파형식	100MG7W	안테나형식	모노폴
위도	127.75349	주파수	3650	이득일반	24	편파면	수평/수직편파
해발고	28	출력	200	이득유선	24	변조방식	809



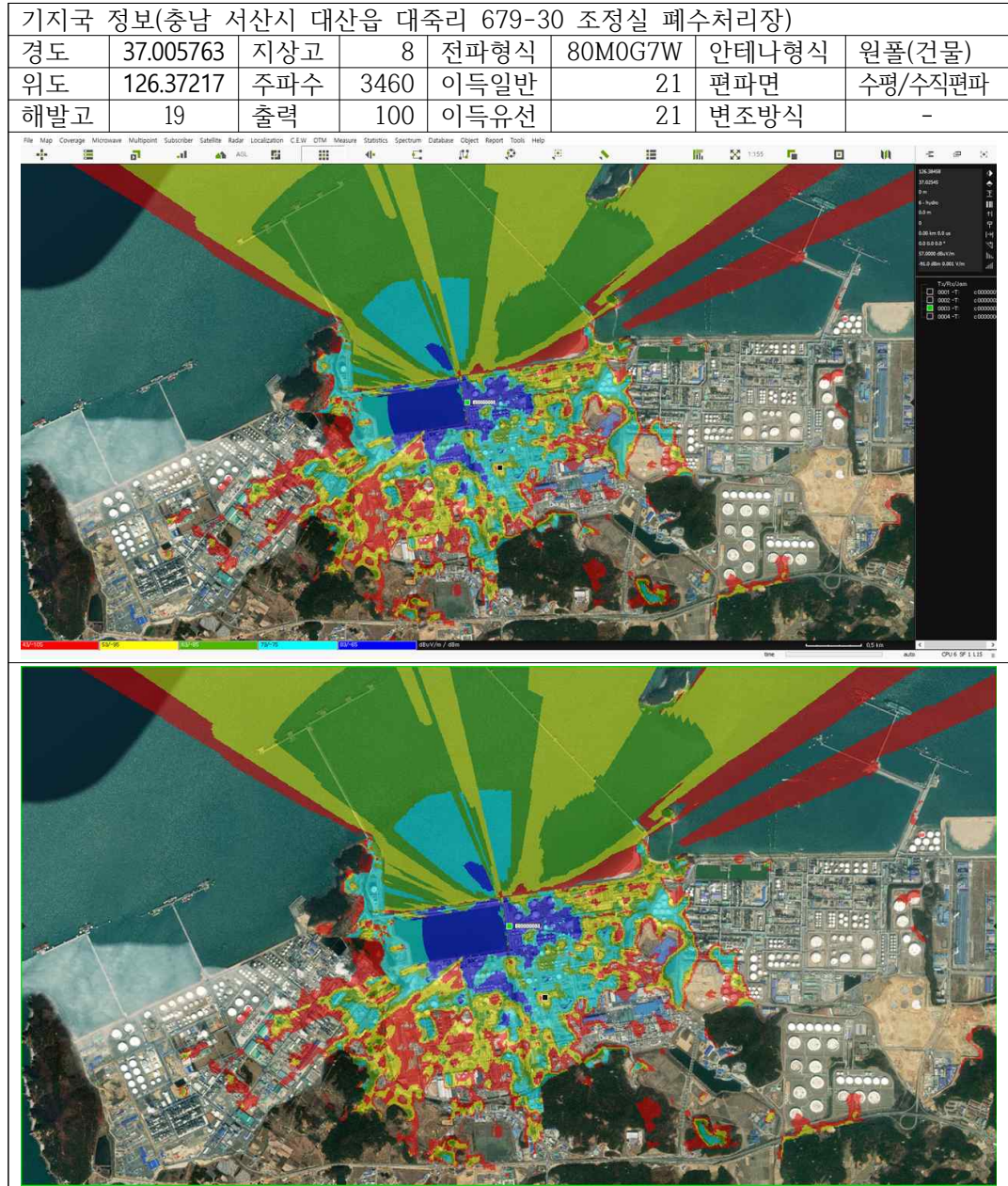
- 서산 대산 인근

기지국 정보(충남 서산시 대산읍 대죽리 679-30 HDPE)

경도	37.000522	지상고	8	전파형식	80M0G7W	안테나형식	모노폴
위도	126.37568	주파수	3460	이득일반	21	편파면	수평/수직편파
해발고	19	출력	100	이득유선	21	변조방식	-



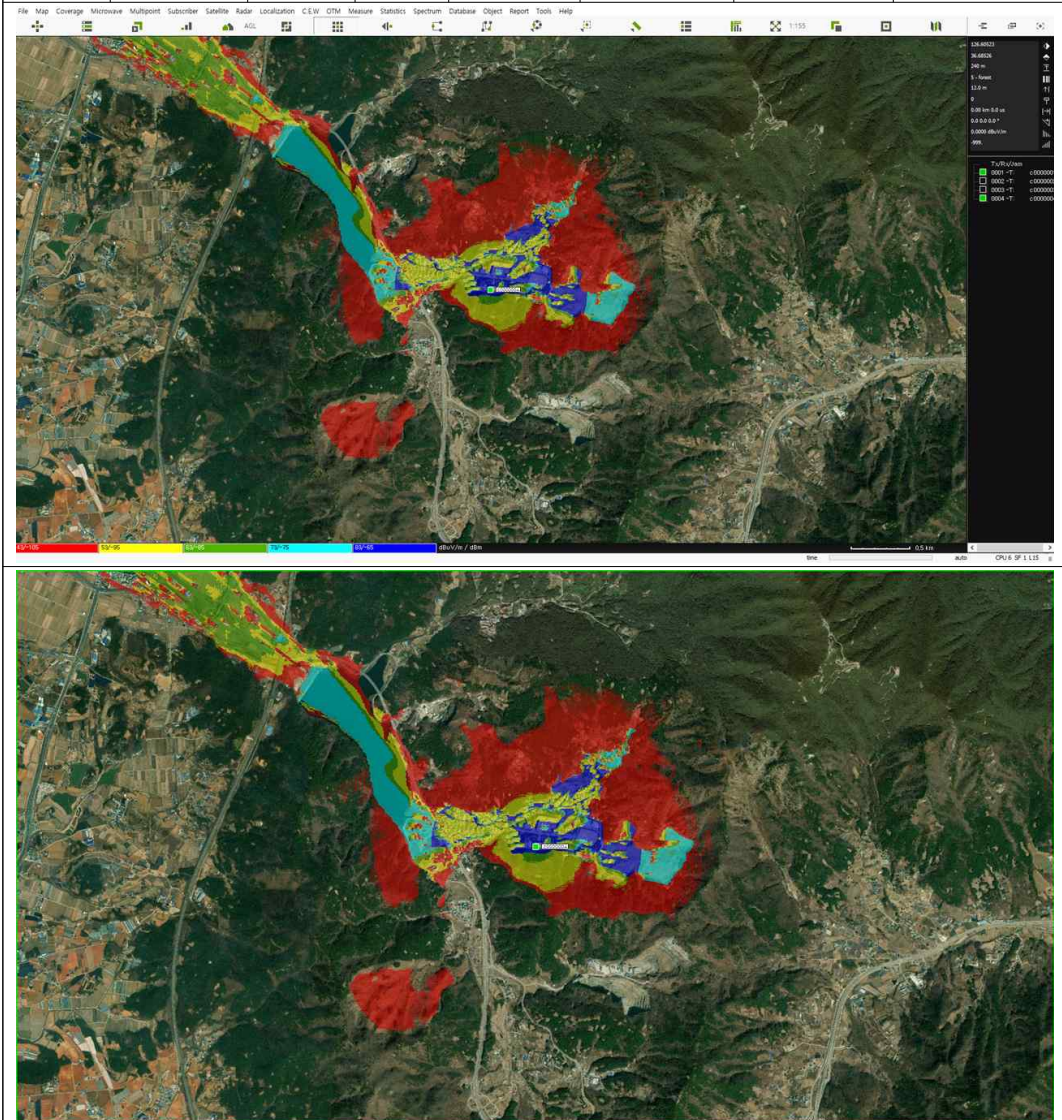
- 서산 대산을 대죽리



- 서산 광시

기지국 정보(충남 서산시 해미면 대곡리 산59-1)

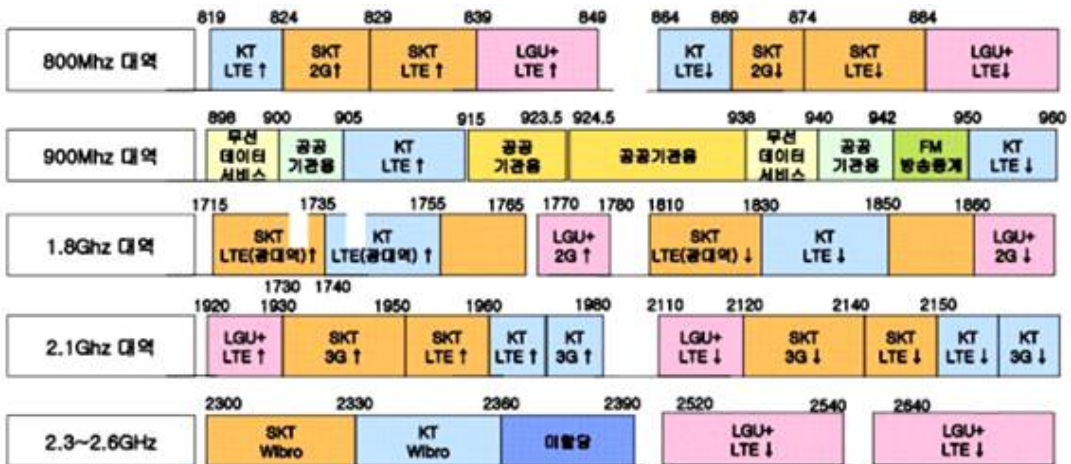
경도	36.689883	지상고	35	전파형식	80M0G7W	안테나형식	강관주
위도	126.58380	주파수	3460	이득일반	21	편파면	수평/수직편파
해발고	140	출력	100	이득유선	21	변조방식	-



사. 시뮬레이션 분석 결과에 대한 고찰

(1) 특정 위치에서 무선기지국들에 의한 전자파 강도 세기 시뮬레이션

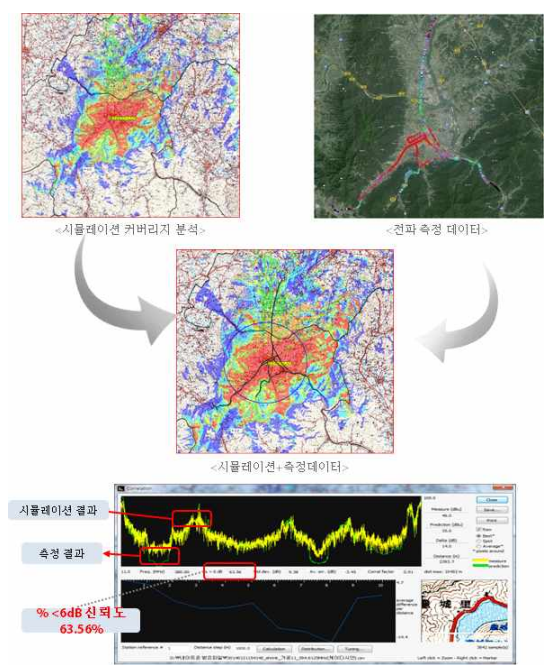
- 특정 위치에서 무선기지국들에 의한 전자파 강도 세기 시뮬레이션은 다른 측면에서 보면 실제 무선망을 설계할 때 필요한 작업으로서 Cell설계시에 서비스 영역 설계와 서비스하고자 하는 내용 및 방식에 따라 용량을 결정하는데 결정적으로 필요한 분석작업이다.
- 일반적으로 망설계시에는 서비스 커버리지가 100km까지의 커버리지를 확보하기 때문에 그에 따른 전파모델 선정이 필요하고 대부분 통신회사에서는 ITU-R P. 1546 모델 혹은 OKUMURA-HATA모델을 사용하여 실측 및 예측을 수행하고 있는 것으로 조사되고 있다.
- 그러나 본 연구에서는 무선기지국의 전자파 강도세기를 통한 생활환경에서 전자파 강도를 예측하여 인체유해성을 판단하는 것을 중점으로 하기 때문에 통신사 커버리지 설계 분석 모델과는 다르게 전파전파 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 6개 지역을 선정하였고, 선정된 지역에 있는 각 통신사의 LTE 기지국 주파수 중 한 개를 선정하여 분석지점에서 1.5km이내에 있는 무선기지국을 대상으로 분석을 수행하였으므로 실제 측정값과 시뮬레이션 값과는 차이가 있을 수 있다.



[그림 3.2-26] LTE 주파수 분배

[출처] 방송통신위원회

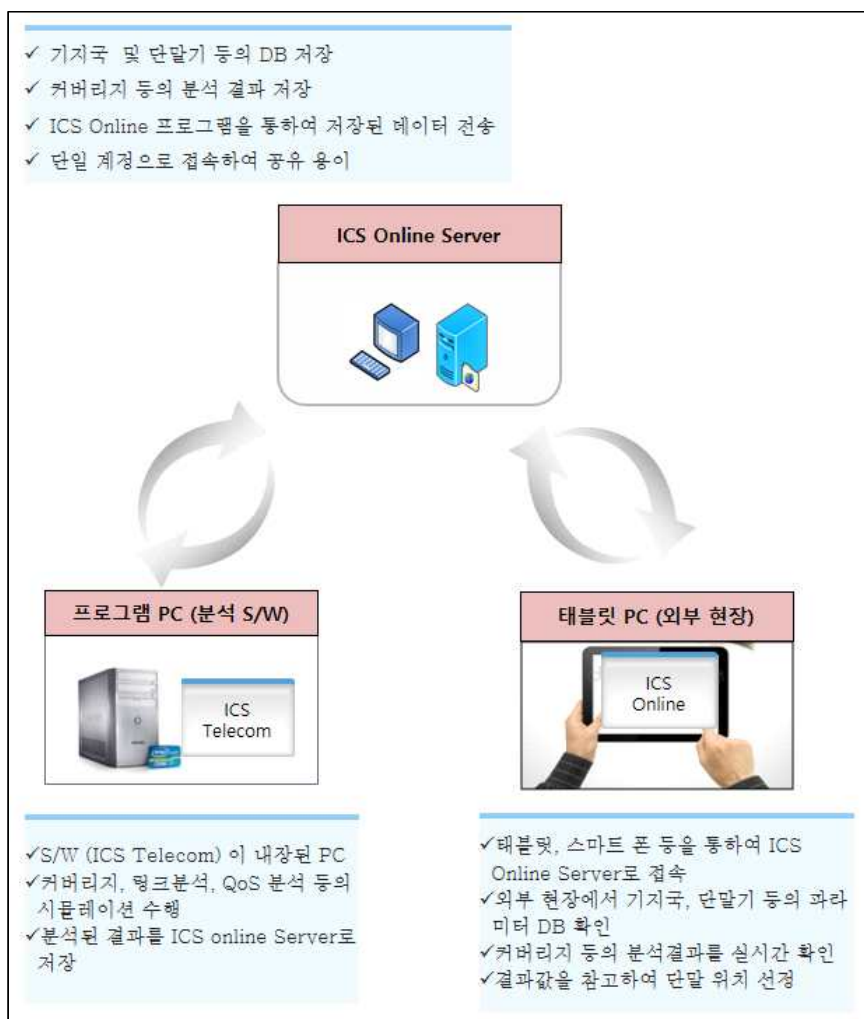
- 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 내용과 형식은 분석 결과의 정확도도 중요하지만 시뮬레이션 툴을 이용하여 전파전파 모델과 지형모델을 고려하여 분석하는 절차(프로세스)를 정립하였다는 점도 앞으로 이 같은 과정을 수행하는 작업자에게 많은 도움이 될 것으로 판단된다.
- (2) 무선기지국 전파강도 측정값과 시뮬레이션값과의 상관도 분석 시뮬레이션
- 일반적으로 측정 데이터와 시뮬레이션 데이터의 차이를 보정함으로써, 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 향상시키기 위한 방법으로 상관도 분석을 수행한다. 그 수행 과정은 앞에서도 언급했지만 다시 정리하면 다음 그림과 같다.



[그림 3.2-27] 상관도 분석 절차

- 본 연구에서는 한국방송통신전파진흥원에서 제공한 전파측정데이터를 사용하여 시뮬레이션결과와 상관도 비교 분석을 수행하였다. 수행결과 부산센텀과 대전시청 지역에서는 6dB 이하 상관성이 34.52%로 나타났으나, 춘천 농공지역에서는 13.73%로 매우 낮게 나타났다. 따라서 현재 전파전파 모델 및 클러스터 상황이 정확하게 매칭되지 않고 있거나 실제 측정값이 현재 입력값하고 차이가 있을 수 있다.
- 따라서 실제 본 시스템에서 사용하고 있는 ICS Telecom 툴에서는 [그림 3.2-28]에서와 같이 측정값을 온라인으로 입력받아서 시뮬레이션 값하고 비교하면서 상관도를 조정하는 방법을 사용하고 있다. 금번 연구에서는 이같

은 방법을 적용하지 않았으나 앞으로 정밀한 상관도 튜닝을 위해서는 이같은 방법을 적용하여 상관도 분석이 필요할 것으로 판단된다.



[그림 3.2-28] ICS On-Line 상관도 분석 절차

- 그러므로 본 연구 결과를 바탕으로 하여 무선기지국의 전자파 세기를 시뮬레이션을 통하여 예측할 수 있음을 기대할 수 있으며, 향후 추가적인 상관도 튜닝 작업을 추진한다면 전파환경의 변화, 5G 서비스 수요의 변화에 따른 측정 업무를 효과적으로 대체가 가능할 것이다.
- 일례로 현재 한국방송통신전파진흥원에서는 본 연구에서 적용한 ICS Telecom 소프트웨어 툴을 보유하고 있으며, 국립정보지리원을 통해 데이터를 제공받아 무료로 GIS 데이터를 구축하여 단일 라이선스를 통한 ICS

On-line 서비스 이용이 가능할 것으로 사료된다.

- 또한 구축된 GIS 데이터는 향후 타 통신망의 설치로 인한 측정 업무가 발생 시에 시뮬레이션 분석에 영구적으로 사용이 가능하며, 측정업무에 통합적으로 활용할 수 있도록 확장이 용이 할 것이며, 더불어 On-Line 시스템은 한국 방송통신전파진흥원 내 뿐만아니라 전국적인 측정 데이터 공유 시스템 구축에 활용이 가능할 것이다.

(3) 5G 무선 기지국의 커버리지 시뮬레이션

- 5G 무선기지국에 대해서는 특정 무선기지국의 커버리지 다이어그램을 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 대상 기지국은 LTE 무선 기지국에서 사용했던 지도 GIS 데이터를 활용하기 위하여 동일한 지역에 대해서 분석을 수행하였다. 분석 기준 파라미터는 <표 3.2-9>와 같이 사용하였다.

<표 3.2-12> 분석 기준 파라미터

구분	파라미터
Coverage 기준	<ul style="list-style-type: none"> -Cell radius per modulation &code rate - RSSI &CINR - LOS &NLOS - Penetration loss - Fade margin - Receiver sensitivity -서비스 지역별 특성 (일반 지역, 특수 지역)
Capacity 기준	<ul style="list-style-type: none"> -기지국 시스템 용량 : maximum &average -가입자 용량 : maximum &average -서비스 지역별 특성 (일반지역, 특수지역)
주파수 활용 기준	<ul style="list-style-type: none"> -System capacity - CINR &RSSI -지형 특성별 적용
중계기 설계 기준	<ul style="list-style-type: none"> -도심 및 비도심 -광 & RF 중계기 거리 및 delay
QoS &Traffic	<ul style="list-style-type: none"> -Required B/W - PER

- 본 연구에서 사용한 커버리지 분석 방법을 활용하면 실제로 5G 통신을 위한 망설계시 기본적인 Cell Radius를 선정하는데 적용될 수 있다.

제 4 장

전자파 평가 및 관리제도 개선방안 및 전문가연구반 운영

- 4.1 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준
 - 가. 기지국 전자파 노출량 측정 및 예측방법 고찰
 - 나. 무선기지국 전자파강도 예측방법의 국내 적용 현황
 - 다. 국내 전자파 세기 계산 프로그램 개발
- 4.2 무선국 전자파 평가 및 관리에 대한 관련 법시행령고시 개선을 위한 정책 제언
 - 가. 정책 제언
 - 나. 정책 반영의 예상 효과
- 4.3 전자파 분야 전문가 연구반 구성 및 운영
 - 가. 연구반 목적
 - 나. 연구반 구성
 - 다. 연구반 운영 실적

4.1 생활환경 전자파 노출량 평가 방법 및 절차에 대한 표준(안)

가. 기지국 전자파 노출량 측정 및 예측방법 고찰

1) 개요

2019년 6월말 기준으로 국내 이동통신사 스마트폰 가입자 5천만명 돌파하는 등 국내 이동통신 3사에서 개통된 스마트폰 회선 수가 5천만을 넘어섰다. 이같이 이동전화 사용자의 급격한 증가와 더불어 이동전화 등에서 발생하는 전자파가 인체에 미치는 영향에 관한 관심이 증대되고 있음에 따라 1980년대 초부터 세계보건기구(WHO)를 포함하여 여러 기관에서 이동전화 전자파가 인체에 미치는 영향에 대하여 다양한 형태의 연구들이 진행하여 왔다. 현재까지 외국에서 수행된 전자파 인체영향과 관련한 대부분의 연구 결과들은 이동전화와 기지국의 전자파가 인체에 유해하다는 증거를 찾지 못하였다고 보고하고 있으나 일부 연구에서는 명백한 증거를 제시하지 못한 채 인체영향 가능성을 제시하기도 하여 전자파가 인체에 어떠한 영향을 주는가에 관하여는 뚜렷한 결론이 나지 않은 상황이다. 우리나라도 2000년부터 이동전화에서 발생하는 전자파가 인체 및 생체에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하여 왔고 현재도 연구가 진행 중이나 전자파가 인체에 좋지 않은 영향을 미친다는 사실이 과학적으로 입증되지는 않은 실정이다.

그럼에도 불구하고 기존 서비스들의 광대역화와 사업자간 기지국 공유 및 주파수 재사용성 증대를 위한 기지국간 거리의 단축 및 인접 셀간 동일 주파수의 사용 증가 등 기지국 전자파에 의한 인체노출환경이 변화하면서 기지국은 새로운 문제를 양산하게 되었다. 이런 맥락에서 나오는 문제는 먼저 무선기지국 전자파에 문외한인 일반 대중에게 기지국의 숫자와 그 외형이 증가하게 됨으로써, 이미 그들이 기존에 막연히 가지고 있는 기지국 전자파에 대한 불안감과 더 눈에 자주 그리고 잘 보이는 시각적 효과가 부정적 인식을 확산시킨다는 점을 들 수 있다. 이 문제는 결국 효과적인 정보전달(risk communication)과 제도의 도입으로 의무와 책임의 설정을 명백히 하는 방법으로 해결해야 할 것으로 본다. 또한 기존의 기지국의 단일 전파원과 주파수 노출환경에서 다중 전파원과 다중 주파수 노출환경으로 변화하였다는 것이다. 이미 다중 전파원과 다중 주파수에 대한 측정과 평가 방법이 국제 표준화되어있으나, 어떻게 이를 구분할 것인가에 대한 해석은 조금씩 다르다. 마지막으로 5G 이동통신이 서비스되면서 자연스럽게 인접 기지국이 가까워지고 이동통신이 광대역화하면서 이를 인체보호기준과 비교하거나 특정 기지국의 전자파강도에 대한 평가가

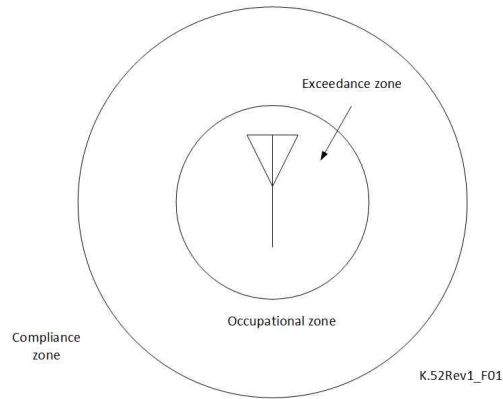
점점 더 어려워지고 있다는 점이다. 이와 같은 문제의 해결은 결국 기지국 전자파강도의 측정 방법을 더 정교하게 만들고 정밀한 예측 기법을 도입함으로써 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

따라서 생활환경 전자파 노출량에 대한 우려를 불식시키기 위해서는 정보전달은 물론 다양한 예측기법을 도입하여 평가하는 방법의 도입이 필요한 실정이다. 이를 위하여 본 절에서는 외국의 기지국 측정방법과 예측 방법을 조사하여 분석하였다.

2) 외국의 무선기지국 측정방법과 예측방법 고찰

가) ITU-T K.52 기지국 적합성 평가방법 및 예측방법

- 권고의 목적 : 통신 설비가 9kHz - 300GHz 대역의 통신 장비에 의해 생성되는 전자기장(EMF)에 대한 인체의 노출에 대한 안전 기준을 준수하는 것을 돕는 것으로서 이 권고는 전자기장 노출의 심각도를 평가하고 안전 기준이 초과될 경우 근로자와 일반 대중의 전자기장 노출을 제한하기 위한 기법과 절차를 제공한다.
- 권고의 범위 : 통신장소에 있는 사람들과 통신장소 외부에 있는 사람들이 통신장비 및 통신 장소에 있는 장비에 의해 생성되는 EMF에 노출되는 것을 다루고 있다.
- EMF 평가 절차는 [그림 4.1-1]에서 보는 것과 같이 준수 구역(compliance zone), 직업적 노출구역(occupational zone), 초과구역(exceedance zone)으로 분류하여 측정하며, 많은 설비들의 경우 초과 구역과 직업적 노출 구역은 사람이 접근할 수 없거나 안테나 바로 앞에 서 있는 사람과 같이 특수한 상황에서만 접근할 수 있다. 이 권고에 제시된 위험 평가 절차는 주로 일반 대중의 노출과 일상 활동을 수행하는 근로자의 노출과 관련되어 있다.



[그림 4.1-1] 노출 영역 분류도

- 노출 수준 평가 절차 : 최악의 방출 조건과 서로 다른 여러 EMF 복사원이 동시에 방사되는 것을 고려해야 하며, 평가 시에는 다음 파라미터들을 고려해야 한다.
 - 최대 EIRP
 - 안테나 이득 G
 - 동작 주파수
 - 설치 특성 (안테나 위치, 높이, 빔 방향, 빔 틸트 등)
- 설비 범주 판정 절차
 - 기준 안테나 파라미터 또는 안테나 유형을 정의한다.
 - 접근성 조건을 정의한다.
 - 기준 안테나 파라미터와 접근성 조건의 개별 조합의 경우, 임계 EIRP를 정의한다. $EIRP_{th}$ 로 표기되는 이 임계 EIRP는 접근성 조건과 관련 하여 기준 안테나에서 발생하는 전력 밀도 또는 전자기장의 노출 한계에 대응하는 값이다. K.51에 수록된 계산 또는 측정을 이용하여 판정할 수 있다. 이 범주들이 충분히 포괄적이라고 가정할 경우, 이 판정은 대다수 설비에 대해 한번만 실시될 필요가 있다.
 - 설비는 이미터(emitter)가 기본적 준수 설비일 경우 기본적 준수 범주에 속한다. 다른 설비 측면들을 고려할 필요가 없다.
 - 개별 설치 장소의 경우 설비는 다음 조건이 충족되는 경우 일반적 준수 설비에 속한다.

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1$$

여기서 $EIRP_i$ 는 특정 주파수 i 에서 안테나의 임시 평균 복사 전력이며, $EIRP_{th,i}$ 는 특정 안테나 파라미터와 접근성 조건에 관련된 EIRP 임계값이다.

○ $EIRP_{th}$ 의 계산 절차

- 특정 안테나의 노출 발생 가능 지점 O의 전자기장 또는 전력 밀도를 계산한다.
- 이 값에서 노출 영역 내의 최대 전력 밀도 S_{max} 를 구한다.
- 조건 $S_{max} = S_{lim}$ 이 되면 $EIRP_{th}$ 가 도출되며 여기서 S_{lim} 은 해당 주파수에
서 EMP 노출 기준에 의해 제시되는 해당 기준치이다.

○ 원거리장에서 $EIRP_{th}$ 의 계산 절차

- 원거리장(far field region)에서 단일 복사 안테나의 각도 θ (elevation angle)와 ϕ (azimuth angle)에 의해 만들어진 방향으로 복사되는 전력밀도 근사치는 다음과 같다.

$$S(R, \theta, \phi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[f(\theta, \phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{R'} \right]^2$$

여기서

$S(R, \theta, \phi)$: 전력밀도(W/m²)

$f(\theta, \phi)$: 안테나의상대적전자기장패턴0과1 사이의양수

$EIRP$: 안테나의 EIRP(W)

ρ : 반사 계수의 절대값(계수)이며 접지에 의해 반사되는 파를 고려한다. 일부의 경우 반사파에 대한 노출이 차단될 수 있으므로 ρ 는 0으로 설정되어야 한다.

R : 복사 장비의 중심점과 노출된 것으로 추정되는 사람 사이의 거리

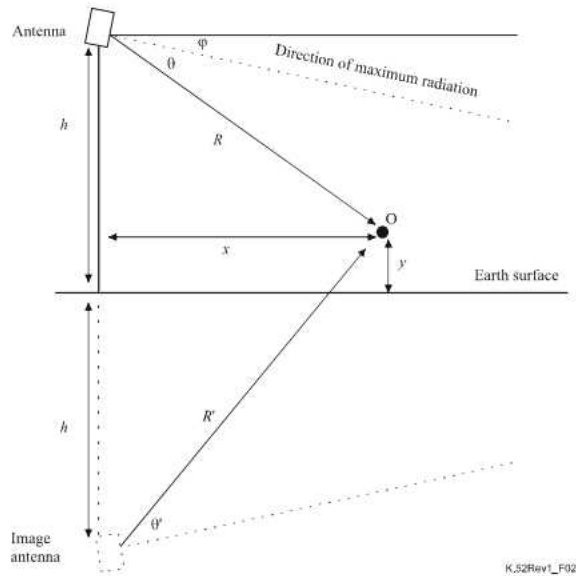
R' : 복사 장치의 이미지의 중심점과 노출된 것으로 추정되는 사람 사이의 거리

근접지 레벨에서 프라임 변수의 값은 비프라임 변수의 값과 대체로 같기 때문에 전력을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$S_{gl}(R, \theta, \phi) = (1 + \rho)^2 \frac{EIRP}{4\pi} F(\theta, \phi)$$

여기서

$F(\theta, \phi)$: 등방성복사기에대한안테나의상대적수치이득 0과 1 사이의 양수)



[그림 4.1-2] 거리 및 수직각에 대한 정의

옥상의 경우, 벽과 지붕의 건축 자재에 의한 감쇄가 건물 내의 노출을 최소 10-20 dB 정도 줄일 수 있다. 전자기장은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$E = \sqrt{S\eta_0}$$

$$H = \sqrt{S/\eta_0}$$

여기서 $\eta_0 = 377\Omega$ 은 자유공간의 고유 임피던스(intrinsic impedance)이다. 위의 등식들은 원거리장 영역에 대해 유효하다. 근거리장 영역에서 위의 등식들을 사용하면 부정확한(과도하게 보수적인) 결과가 나올 수 있다. 따라서 위 등식들은 EMF 노출 기준 준수 여부를 판단하는 데 사용될 수 있다.

나) 일본 ARIB TR-T11 측정방법 및 예측방법

○ 개요

- 우리나라의 전파진흥협회에 해당하는 일본 전파산업회는 전파 이용에 있어서 인체보호의 기준으로서 『전파 방호 표준 규격 RCR STD-38』을 제정한 바 있다. 이 규격서에는 전자기장 강도 측정 및 원거리장용 간이 평가 방법이 첨부되어 있어, 표준 규격에 제정될 전자기장 강도 규격에 대해서 전파 이용 설비의 방사 전자기장이 적합한지 여부를 평가하기 위한 기술 지침으로 활용되고 있다. 그러나

이 자료는 대상 설비를 일반화하여 다루고 있기 때문에, 실제 설비별로 방사 모델을 검토할 필요가 있는 등 간단하게 이용하기 위한 기술 자료로서의 완전성은 충분하지는 않다는 단점이 있었다.

- 이에 특정 장소에 설치하여 운용되는 무선국을 대상으로 하여 각종 무선 설비별로 방호 규격의 적합성을 간단하게 평가하기 위한 추정법 및 최신 측정법에 대하여 기술 내용을 조사 검토하고, 그 검토 결과를 1998년9월에 검토보고서로서 정리한 것이 이 표준이다.
- 예측 방법에 대해서는 FCC의 자료에 기재되어 있는 등의 실적이 있는 추정식을 가능한 충실하게 이용할 것과, 실제 전자기장 강도 값보다 보수적인 추정 결과가 얻어지도록 하는 것을 기본으로 함으로써, 간편한 형식으로 가능한 용이하게 이용할 수 있는 내용으로 하도록 배려하고 있다.
- 또한, 측정법에 대해서는 각 적용 상황에 따른 구체적인 방법을 제시하는 동시에, 신뢰성이 있는 최신 측정기기 정보를 가능한 많이 표시하기 위해 노력하고 있는 특징이 있다.

○ RCR STD-38 에 의한 기측 전자파 노출량 예측방법

- **추정식 1** : 안테나가 가장 강하게 전파를 방사하는 방향(주빔상)에서, 안테나 방사 중심에서의 거리가 <식 4.1-5>의 R_{nf} 보다 먼 영역에서는 구 모델에 기초한 간이 산출식을 적용한다.

$$S = \frac{PG}{4\pi R^2} k \quad (\text{식 4.1-1})$$

S: 전력 밀도 [W/m²]

R: 안테나로부터의 거리 [m]

G: 주빔 최대 절대 이득

P: 안테나 입력 전력 [W]

K: 반사파를 고려할 경우에는2.56, 고려하지 않을 경우에는 1

- **추정식 2** : 안테나가 가장 강하게 전파를 방사하는 방향 (주빔상)에서 안테나 방사 중심으로부터의 거리가 <식 4.1-5>의 R_{nf} 보다 가까운 영역에서는 원통 모델에 근거한 근사식을 적용한다.

$$S = \frac{P}{2\pi Rh} \left(\frac{360}{\theta_{BW}} \right) \quad (\text{식 4.1-2})$$

S: 전력 밀도 [W/m²]

R: 안테나로부터의 거리 [m]

h: 안테나의 크기 (개구 높이) [m]

P: 안테나 입력 전력 [W]

BW: 주빔 최대 이득에서 3 dB 이득 저하하는 두 방향에서 둘러싼 각도

- **추정식 3** : 안테나의 상하 수직 방향에서는 주빔 다음으로 방사 전력의 가장 큰 부빔의 절대 이득 $G(s)$ 를 G 로 대입한 간이 산출식을 적용한다. 단, 안테나 근거리장의 측정 데이터가 있는 경우에는 그것에 근거한 이득을 적용해도 된다.

$$S = \frac{PG(\theta_s)}{4\pi R^2} k \quad (\text{식 4.1-3})$$

S: 전력 밀도 [W/m²]

R: 안테나로부터의 거리 [m]

P: 안테나 입력 전력 [W]

$G(\theta_s)$: 주빔 다음으로 방사 전력의 큰 부빔의 절대 이득

K: 반사파를 고려하는 경우에는 2.56, 고려하지 않는 경우에는 1

- 추정식 4 : 안테나 후방에서 안테나 방사 중심으로부터의 거리가 <식 4.1-5>의 R_{nf} 보다 먼 영역에서는 <식 4.1-3>을 적용한다. 단, 안테나 근거리장의 측정 데이터가 있는 경우에는, 그것에 근거한 이득을 적용해도 된다.
- 추정식 4 : 안테나 후방에서 안테나 방사 중심으로부터의 거리가 <식 4.1-5>의 R_{nf} 보다 가까운 영역에서는 주빔에 다음으로 방사 전력의 가장 큰 부빔의 절대이득 $G(\theta_s)$ 와 주빔의 최대 이득 G 의 비로 가중한 원통 모델에 근거한 근사식을 적용한다. 단, 안테나 근거리장의 측정 데이터가 있는 경우에는, 그것에 근거한 이득을 적용해도 된다.

$$S = \frac{P}{2\pi Rh} \left(\frac{360}{\theta_{BW}} \right) \left(\frac{G(\theta_s)}{G} \right) \quad (\text{식 4.1-4})$$

S: 전력 밀도 [W/m²]

R: 안테나로부터의 거리 [m]

H: 안테나의 크기 (개구 높이) [m]

P: 안테나 입력 전력 [W]

$G(\theta_s)$: 주빔에 있어서 방사 전력이 큰 부빔의 절대 이득

G: 주빔 최대 절대 이득

BW: 주빔 최대 이득에서 3 dB 이득 저하하는 두 방향에서 둘러싼 각도

○ 추정식의 적용 범위

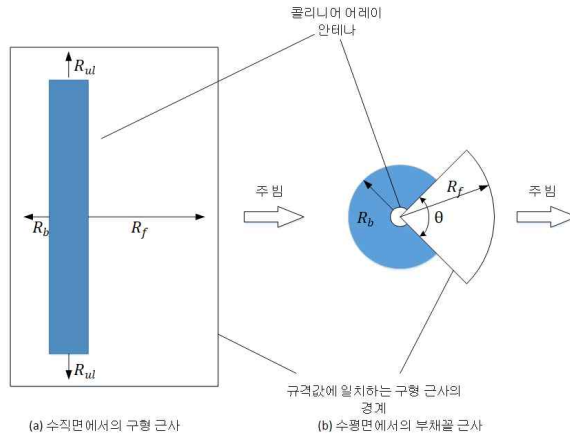
- <식 4.1-1> 및 <식 4.1-2>은 R_{nf} 보다 먼 영역에 적용한다. 단, R_{nf} 은 다음 수식으로 구한다.

$$R_{nf} = \frac{0.6h^2}{\lambda} \quad (\text{식 4.1-5})$$

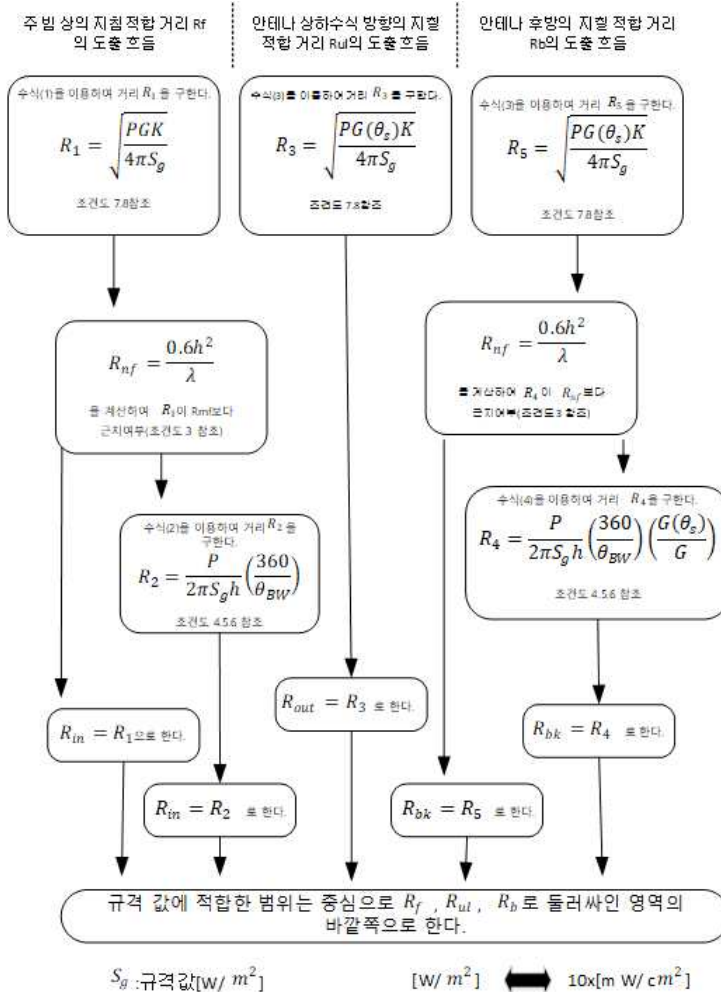
- <식 4.1-2> 및 <식 4.1-2>는 R_{nf} 이내의 영역에 적용한다. <식 4.1-1>과 <식 4.1-3>에서 반사파에 관한 계수k는 해당 지점에서 대지, 건물 등의 반사물이 있는 경우에 $k = 2.56$ 으로 한다. 반사파의 영향을 고려하지 않는 경우에는 $k = 1$ 로 한다.

○ 추정 순서

- 규격 값에 일치하는 거리 영역은 [그림 4.1-3]에 나타난 구형(수직값) 및 부채꼴(수평면의 기본모델에 근사하게 한다 <식 4.1-1>)부터 <식 4.1-5>의 추정식을 이용하여 기본 모델의 각 변의 거리를 계산할 수 있다. 이 영역을 추정 순서는 [그림 4.1-4]에 흐름도로 나타내는 것처럼 정리된다. 여기서 R1부터 R5는 각 추정식에 전력 밀도의 규격 값을 대입하여 도출된 안테나로부터의 거리이다. 또한, 그림의 부채꼴 근사에 있어서 각도 θ 는 원거리장의 지향특성에서 두 개의 제 1 널 점으로 둘러싸인 각도로 한다. (제1 Null 점: 지향성 감쇠량의 극대점으로 서, 최대 이득 방향에 가장 가까운 점).



[그림 4.1-3] 규격 값을 만족하는 영역의 기본 모델



[그림 4.1-4] 추정 순서 및 관련 규격

다) 미국 FCC OET bulletin 65

○ 개요

- FCC(Federal Communication commission)가 규정하는 MPE (Maximum Permissible Exposure : 최대 허용노출) 한계를 초과하는 인체 노출의 가능성을 판단하기 위해, 예측 방법을 사용할 수 없는 경우에는 RF 전자기장을 실제로 측정하여 적합성을 판정한다. 본 절에서는 OET(Office of Engineering and Technology) Bulletin 65에서 권고하는 예측방법에 관한 내용을 소개한다.

○ FCC OET Bulletin 65 예측 방법

- FCC OET Bulletin 65 Ed. 97-01에 의하면 원거리장에서 안테나에 의한 전력 밀도 S를 예측할 수 있는 식은 다음의 3 종류이다.

$$S = \frac{PG}{4\pi R^2} \quad \text{혹은} \quad S = \frac{EIRP}{4\pi R^2} \quad (\text{식 4.1-6})$$

$$S = \frac{(2)^2 PG}{4\pi R^2} = \frac{PG}{\pi R^2} = \frac{EIRP}{\pi R^2} \quad (\text{식 4.1-7})$$

$$S = \frac{2.56 EIRP}{4\pi R^2} = \frac{0.64 EIRP}{\pi R^2} \quad (\text{식 4.1-8})$$

S : 전력밀도 ($\mu W/cm^2$)

EIRP : 실효등방성복사전력 (Effective Isotropic Radiated Power) (W)

R : 안테나 중심까지의 거리 (m)

식 (4.1-6)은 지표면 반사를 고려하지 않은 식이며 식 (4.1-7)은 지표면 100% 반사를 가정한 것이고, 식 (4.1-8)은 미환경청(EPA, Environmental Protection Agency)에서 개발한 지표면 반사모델을 적용한 것이다. 미국 기지국 EIRP 규제의 근거를 계산하는 데에는 식 (4.1-8)이 쓰인 것으로 보인다. 식 (4.1-8)을 이용해 EIRP를 전력밀도와 거리의 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$EIRP = \frac{4\pi R^2 S}{2.56} \quad (\text{식 4.1-9})$$

FCC의 일반인에 대한 전력밀도 기준레벨 S는 750 MHz에서 $5 W/m^2$ 이다. 또한 안테나의 높이가 10 m이고 일반인의 최대신장이 약 1.85 m라고 가정할 경우 최악의 상황을 고려하면 머리에서 안테나까지의 거리 R은 8.15 m이다. 이 값을 식 (4.1-9)에 대입하면 EIRP는 다음과 같이 계산된다.

$$EIRP = \frac{4\pi \times 8.15^2 \times 5}{2.56} \approx 1630.5 (w)$$

3) IEC TC 106 수치해석 표준 동향

○ 개요

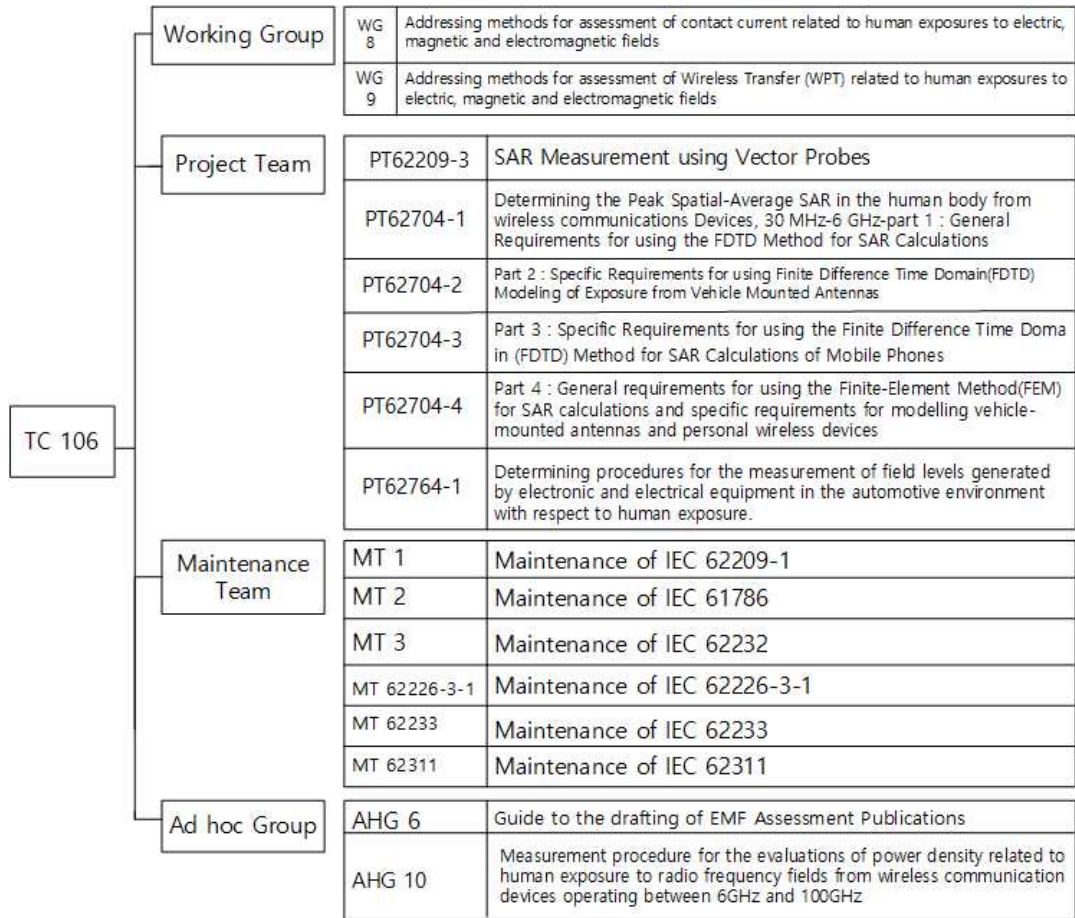
- 국제전기기술위원회(IEC3I) 산하 기술위원회(TC4I) 106은 ‘전자기장의 인체노출량 평가방법’에 대한 국제 표준화의 필요성이 인정되어 1999년 10 월 IEC 회의에서 새로운 기술위원회로 신설되었으며, 2000년 10월 캐나다 몬트리올에서 첫 회의를 시작하여 매년 총회 및 소위원회 등을 개최하고, 전자 파 노출량을 객관적으로 평가할 수 있는 방법을 주도적으로 개발하고 있다.
- IEC TC 106의 주요 임무는 0Hz 300GHz 주파수 범위에서 사용되고 있는 휴대전화, 이동통신 기지국, 방송 송신기, 교류 전력선, 저전력 전기 및 전자 장치 등 다양한 전자파 발생기기의 전자파 인체노출량 평가방법에 대한 표준을 제정 및 유지·관리하는 것이다. 전자파 인체 노출량을 평가하기 위해 기본한계(Basic Restriction) 및 기준레벨(Reference Level) 적용을 위한 전기장, 자기장 및 전자기장에 대한 측정 및 계산 방법에 대한 표준의 제정을 목적으로 IEC TC 106에서는 다음의 업무를 담당하고 있다. 그러나 인체보호기준의 제정이나 인체보호를 위한 저감 방법에 대해서는 다루지 않는다.
- IEC TC 106에는 우리나라를 포함해 37개국(P-member 28, O-member 9)이 회원국으로 참여하고 있으며, 2개의 작업반(Working Group), 6개의 프로젝트 팀(Project Team), 6개의 유지보수팀(Maintenance Team), 그리고 2개의 Ad hoc Group으로 구성되어 있다. IEC TC 106 조직 및 주요 임무는 [그림 4.1-5]에 기술하였다.

○ ICE TC 106 수치해석 표준 동향

- IEC/IEEE 62704-1

- **프로젝트명:** Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate(SAR) in the Human Body from Wireless Communications Devices, 30MHz-6GHz- Part 1: General Requirements for using the Finite Difference Time Domain(FDTD) Method for SAR Calculations
- **관련 문서:** 106/203/NP, 106/213/RVN, 106/262/CD, 106/273/CC, 106/276/CD, 106/355/CC, 106/356/CDV, 106/373/RVN
- **진행 단계:** 106/356/CDV 문서에 대한 투표 결과(106/373/RVN) 19개 P-member 회원국 100% 찬성으로 통과되어 FDIS 단계로 진행

- **프로젝트명:** Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate(SAR) in the Human Body from Wireless Communications Devices, 30MHz – 6GHz: Specific Requirements for using the Finite-Difference Time-Domain(FDTD) Method for SAR Calculations of Mobile Phones
- **관련 문서:** 106/204/NP, 106/214/RVN, 106/264/CD, 106/275/CC, 106/278/CD, 106/362/CC, 106/363/CDV
- **진행 단계:** 두 번째 CD 문서(106/278/CD)에 대한 의견이 반영되어 투표를 위한 문서인 106/363/CDV가 2016년 9월 23일 까지 회람되었음.
- **표준 범위(Scope):**
 - 30MHz~6GHz 주파수 대역에서 특정 휴대형 모바일 폰과 같은 개인용 무선통신기기에 의해 발생된 전자기장에 노출된 표준화된 해부학적 인체 모델에서 첨두 공간-평균 전자파흡수율(SAR)을



[그림 4.1-5] IEC TC 106 프로젝트

나. 무선기지국 전자파강도 예측 방법의 국내 적용 현황

1) 개요

앞에서 검토한 것과 같이 미국 같은 경우는 매우 간단한 수식을 적용하여 생활 속의 전자파 노출량을 수치적으로 계산하여 적용하고 있다. 이것은 미국은 우리나라와는 달리 주거지역이 비교적 널리 분포되어 있어서 활동영역이 모든 기지국에서 원거리장이 보장되는 생활 환경적 특성이 있기 때문이다. 반면에 우리나라는 아파트 같이 밀집되는 생활 공간에 각각의 통신사의 기지국이 공동화되는 형태로 근접해 있어서 문제가 발생할 소지가 있다. 이에 현재까지 우리나라는 측정에 의한 것만 고시로 규정되어 있지 수치 계산에 의한 내용은 적용하지 못하고 있는 실정이다.

다행히도 최근에 전자파인체보호위원회를 구성하여 수치계산을 통한 전자파 노출 측정을 고시화 하는 강제 방안을 도입하기 위하여 2019년도에 국립전파연구원에서 선행연구를 수행하고 있다. 이는 우리나라와 같은 밀집된 특수환경에서는 주파수자원분석시스템을 활용하여 좀 더 면밀하게 계산을 수행할 필요가 있기 때문이다. 이같은 문제점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 첫째, 실제 기지국의 안테나 기울기 및 출력 등을 자유롭게 설정할 수 없으므로 입수된 제원에 의지할 수밖에 없다. 그러나 실제 기지국은 사용자 수가 증가하면 출력이 올라가고 사용자가 적어지면 출력이 낮아지는 등 사용자 수의 증감에 따라 출력 변화가 존재한다.
- 둘째, 실제 기지국을 대상으로 하는 연구는 기지국 설치 장소를 옮기기가 어려우므로 설치 장소에 대한 조건을 연구자가 원하는 대로 맞추기 어려우며, 사람이 접근 가능한 노출 지역도 제약을 받는다.
- 셋째, 인접 기지국과 외부 전파 유입에 취약하다. 근거리에서는 실험 대상 기지국의 전자파강도가 강하므로 동일 주파수를 사용하는 인접 기지국과 외부 전파를 무시할 수도 있다. 하지만 거리가 멀어질수록 상대적으로 실험 대상 기지국이 발생시킨 전파와 외부 전파 유입을 구분하기 힘들어진다.
- 그리고 앞에서 살펴본 ITU, 미국 및 일본 등이 표준화한 기지국 전자파 노출에 대한 예측방법은 다음과 같은 단점을 가지고 있다.
- 첫째, 기지국의 적합성 평가나 안전영역 결정을 위한 예측이므로 실제 가능한 노출량보다 과대하게 계산 결과가 도출되는 경향이 있도록 의도적으로 경로손실은 무시되어 있으며 반사파 영향은 과대평가되어 있다.
- 둘째, 근거리장 영역 이내의 거리에서 보통 부정확하며 사용할 수 없다. 기지국 안테나 크기와 파장의 관계 함수에 따라 근거리장 영역의 거리가 구해지는데, 파

장이 짧은 PCS 대역의 기지국이 큰 안테나를 사용할 경우 근거리장 영역은 10 m까지 확대되기도 한다.

다. 국내 전자파 세기 계산 프로그램 개발

- 국립전파연구원에서는 기지국이 발사하는 전자파의 강도를 계산으로 얻을 수 있는 기지국 전자파 강도 예측방법을 제안하여서 현재 KCA에서 지원하는 emf 홈페이지에서 누구나 계산할 수 있도록 지원하고 있다.
- 이 방법의 실효성 판단은 원거리 영역은 모의기지국을 이용한 측정시험을 수행하였고, 근거리 영역은 수치해석 모델링과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 예측방법을 도출하였다.
- 현재 이같은 연구결과는 신뢰도가 높지 않으나 앞으로 본격적으로 연구가 진행될시에 무선국 전자파 적합성 평가 제도를 원활히 실시하는데도 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

전자파세기 계산하기

본 프로그램은 무선국 제원과 거리를 입력할 경우 안테나로부터 직선으로 떨어져 있는 지점에 대한 전자파세기를 계산값으로 유추할 수 있는 프로그램으로 실제 측정값과는 상이할 수 있습니다.

1 무선국 제원 및 거리 입력

무선국의 종류

☐ LTE ☐ W-CDMA ☐ PCS ☐ Cellular ☐ TRS

안테나공급전력 W

안테나 이득 dBi

안테나와의 거리 거리선택

무선국 제원 출력 W, **안테나이득** dBi

거리 m

계산값 V/m

※ 안테나공급전력 및 이득 미입력시 기본값에 의해 자동 계산

2 거리별 산출결과

무선국제원 및 거리를 입력하시고 계산하기 버튼을 클릭하시면 산출결과를 차트로 확인할 수 있습니다.

3 계산값 산출 근거 자료(전자파강도측정기준-국립전파연구원 고시 제2014-2호)

$$E = \sqrt{\frac{AP\eta_0 10^{G/10}}{4\pi R^2}} \quad [V/m]$$

A: 지면반사를 고려한 상수 (AM송신국의 경우 4.0, 그 외 2.560이며, 건물내부와 같이 지면반사파가 존재하지 않는 경우는 1.0)

P: 안테나공급전력(시스템손실 포함) [W]

G: 안테나 이득 [dBi]

R: 안테나 중심으로부터 측정지점까지의 거리 [m]

η_0 : 자유공간의 파동 임피던스(377 Ω)

[그림 4.1-6] 전자파계산 프로그램 사이트(emf.kca.kr)

4.2 무선국 전자파 평가 및 관리에 대한 관련 법·시행령·고시 개선을 위한 정책 제언

우리나라와 같이 인구가 도시에 집중되며, 중계기 및 피코셀 개념의 확대로 과거 철탑 중심의 대형 기지국에서 소형 기지국으로 기지국의 형태가 변하고 있어 기지국이 우리 생활주변 깊숙이 들어왔을 뿐만 아니라, 우리나라와 같이 아파트 중심의 도시 구조에서는 건물 벽면 등의 반사에 의해서 특정지역에 기지국 전파 신호가 집중될 수 있다. 따라서 기지국에 의한 전자파 인체영향에 대해서는 지속적인 연구가 필요한 실정이다.

또한 최근의 일부 역학연구에 의하면 기지국과 같은 미약한 전파에서도 기지국 주변 거주민들에서 대조집단에 비하여 두통, 기억력 변화, 어지러움, 떨림, 우울 증상, 수면 장애가 높은 빈도를 보인다는 연구 결과도 발표되고 있다. 또한 최근 기지국 근처에 서식하는 조류 등을 이용한 동물실험에서도 기지국과 관련된 부정적인 연구결과가 발표되고 있다.

이 때 기지국에서 방출되는 전자파의 양은 정부에서 권고하는 기준에 비하여 현저히 낮은 수준이다. 이는 전자파의 단기적인 열 효과인 전자파 흡수율(SAR)만을 기준으로 인체보호기준을 설정하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 장기적인 인체영향 연구 등의 지속적인 연구 결과에 입각하여 인체보호기준을 수정할 필요가 있으며, 연구 결과가 나오기 이전이라도 민감지역의 경우 좀 더 엄격한 기준을 적용해야 한다는 의견이 일부에서 제기되고 있다.

현재 정부에서는 국민의 전자파에 대한 불안감을 해소하기 위하여 전자파 인체보호기준을 제정하고 2007년 6월부터 일정 기준에 해당하는 무선국은 전자파강도를 의무적으로 측정, 보고하도록 하여 측정 결과를 공개하고 있다(전파법 제 47조2의 규정). 또한 전파진흥원은 2010년부터 기지국 전자파강도 측정결과를 GIS와 연동하여 홈페이지에 공개하고 있어, 일반인들이 쉽게 거주하는 지역 근처의 전자파 강도 측정 결과를 확인할 수 있도록 조치하고 있다. 또한, 2006년부터 수행하고 있는 전자파 노출량 측정으로 이동전화기지국, 고출력무선설비, 민감지역 및 지하철 역사 등의 전자파환경을 측정하여 그 결과를 공개하고 있다. 이는 전 세계적으로도 매우 앞선 시도이나, 여전히 일반 대중들의 불안감은 해소되지 못하고 있는 상황이다. 그 이유를 분석하면 다음과 같이 정책을 제언할 수 있다.

가. 정책 제언

- **전자파 인체보호기준의 합리화** : 전자파 인체보호기준을 국제기준(ICNIRP 및 IEEE)에 근거하여 국내기준을 정하고는 있으나, 모든 지역에 대해 동일한 기준을 정하고 있어서 너무 기준이 과도하게 설정되어 있는 실정이다. 실제로 ITU-T에서 언급되어있는 Exclusion Zone을 사례로 들어 EMF량을 계산해 보면 안테나 크기가 $0.25 \times 0.25 \times 0.22[m^3]$ 이고, 동작주파수가 2GHz, 출력이 50W EIRP인 기지국에 대해 일반 사람이 접근하지 말아야하는 지점(ICNIRP limit for general public)을 계산하면 1.26m가 계산된다. 즉 위와 같은 계산으로 일반인이 안테나로부터 1.26m까지 접근하지않는 한 ICNIRP 가이드라인(guideline)을 넘지 않는다는 것을 유추할 수 있다. 일반적으로 기지국 안테나는 높은 철탑 또는 건물의 지붕 위에 설치되어 있는 경우가 대부분이므로 일반인이 위 계산거리만큼 접근하는 것은 실제 불가능하다. 따라서 <표 4.2-1>에서 제시한 것과 같이 스위스나 이태리처럼 거주 지역 및 민감 지역 등의 경우에는 보다 엄격한 기준을 정할 필요가 있다. 또한, 전자파 인체영향은 모든 주파수 대역에 걸친 총노출량($W_s = \sum_{i=100kHz}^{300GHz} (\frac{E_i}{E_{l,i}})^2 \leq 1$, $E_{l,i}$: i번째 주파수에서 기준레벨, E_i 는 i번째 주파수에서의 전기장의 계산값)으로 영향을 주므로 전 주파수 대역에 대해 주변 모든 무선국에 의한 전자파 영향의 합을 측정하여 이를 전자파 인체보호기준과 비교하여야 한다. 이것이 어려울 경우에는 스위스의 사례와 같이 개별 기지국에 대해서는 보다 엄격한 기준을 도입해야 할것으로 판단된다.

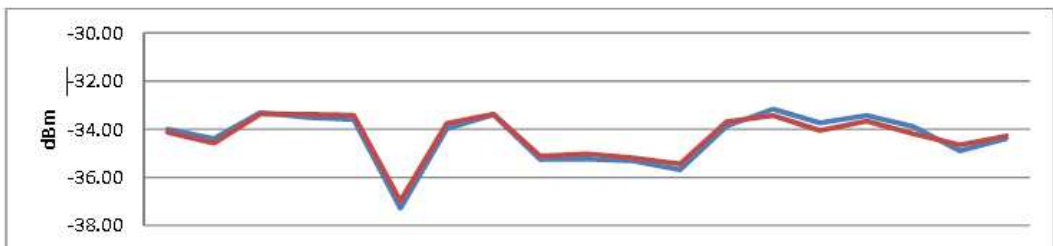
<표 4.2-1> 국내 EMF 인체보호기준(안)

주파수 범위	그린 영역 (V/m)	품질 제한 기준 (V/m)	국가 제한 기준 (V/m)
10 ~ 400MHz	2.8	2.8	28
400 ~ 2,000MHz	$0.1375f^{1/2}$	$0.1375f^{1/2}$	$1.375f^{1/2}$
2 ~ 300GHz	6.1	6.1	61

- **전자파강도 의무측정 대상의 합리화** : 전자파강도 의무측정의 경우 무선국별로 30W를 기준으로 하는 데 그 기준에 대한 과학적인 근거가 부

죽하다. 예를 들어 출력은 작아도 사람이 거주하는 지역에 가까운 기지국이 출력은 커도 사람이 거주하는 지역과 떨어져 있는 기지국보다 인체영향이 클 수 있다. 따라서 ITU의 사례를 참조하여 2W 이상의 모든 기지국에 대해 조사하고 전자파 인체영향 가능성이 높은 기지국을 선별하여 전자파강도 의무측정의 대상으로 삼아야 한다. 이 경우 측정대상 무선국의 수가 많으므로 무선국의 위치와 주변 거주민의 영향에 대한 계산치 또는 시뮬레이션 값을 활용하여, 인체보호 기준보다 5% 이하의 값을 보인다면, 측정을 생략하는 제도가 필요할 것이다.

- **측정방법의 합리화** : 기지국 등 무선국 측정 시 개별 기지국에서 오는 전자파 노출량만을 측정할 것이 아니라 전 주파수 대역에 대해 주변 모든 무선국에 의한 총 노출량을 측정하여야 한다. 개별 기지국에 대해 별도의 인체보호기준으로 제정하여 관리할 경우에도 국내의 경우 복수의 통신사업자의 기지국이 같은 위치에 설치되어 있는 경우에는 각 기지국에서 나오는 전자파의 총합을 측정해야 한다. 한편 WCDMA와 같이 트래픽에 따라 전자파강도가 변하는 경우에는 Pilot 채널의 강도를 측정하여 기지국이 최대 출력일 경우의 EMF 값을 환산하는 방법을 도입하는 것이 필요하다.
- **계산방법 및 시뮬레이션 기법의 도입** : 전자파 노출량 측정결과와 통계를 보면, 기지국의 전자파강도 측정값이 국내 기준보다 수백분의 1 수준이어서 측정의 실효성에도 의문이 제기되고 있다. 따라서 특정 무선국에 대해서 이론치나 시뮬레이션을 측정과 병행하는 방안에 대한 검토가 필요하다. 이를 위해서는 ITU-T K61 등에서 제시하고 있는 전자파강도 계산방법 및 시뮬레이션 기법을 참고할 수 있다. 실제 이태리의 ARPA에서 발표한 논문에 의하면 [그림 4.2-1]에서 보는 것과 같이 측정값과 시뮬레이션값이 상당히 유사한 것을 확인할 수 있다.



[그림 4.2-1] 측정값(Blue)과 계산값(Red)의 비교

- **EMF 모니터링 시스템의 도입** : 현재 시행되고 있는 전자파 강도 측정은 무선국 검사주기에 맞추어 측정하고 있으며, 대부분의 검사 주기가 5년이므로 일반 국민들의 전자파 노출 유해성에 대한 불안을 해소하는데 한계가 있다. 또한, 전자파노출량 측정은 간헐적으로 이루어져 그 결과에 대한 신뢰성 및 홍보가 부족하다. 전문가에 의한 정밀측정 및 민감 지역의 경우 장기적으로 EMF 모니터링 시스템을 도입하여 전자파노출량의 변화를 측정하는 것이 필요하다. 이를 위한 무인원격측정 시스템을 최신의 IoT 장비와 클라우드 서버를 이용하여 구축할 필요가 있다.
- **무선국검사제도와 연계한 전파 환경영향평가** : 전자파강도 의무측정의 결과가 실제 무선국검사와 연계되는 제도적인 방안이 부족하다. 이태리의 예처럼 신규 기지국이 무선국허가를 신청하였을 경우 사전 전자파환경영향을 평가하여 해당 기지국이 추가될 경우 전자파 노출량이 기준 이상으로 증가될 것으로 예상되면 정밀 측정 등을 통해 확인한 후 해당 기지국의 출력을 낮추어 설치하도록 명령할 수 있는 제도적 장치가 필요하다.
- **홍보 확대(risk communication)** : 전자파강도 의무측정 및 전자파 노출량 측정 결과가 국제 기준보다 몇 % 이하라는 주장보다는 어떻게 관리되고 있는지, 실제 일반인들이 요구할 경우 바로 측정할 수 있는 제도를 갖추고 있는지를 홍보하는 것이 필요하다.

나. 정책 반영의 예상 효과

- 기지국 전자파 관리 방안은 측정 방법, 각 국별 인체 보호 기준, 대상기지국의 출력 등 국가별로 다양한 차이가 있으며, 이는 각국의 무선국 설치 환경 및 실태, 관리 주체에 따라 다르기 때문인 것으로 판단된다. 국내에서도 나름대로 체계적인 전자파 강도측정을 실시하고는 있으나, 여전히 국민들은 불안감을 가지고 있으므로 본 연구에서 제시한 선진화 방안을 참고하여 무선국검사에 대한 지속적인 개선이 필요하리라 판단된다. 특히, 유럽에서 시행하고 있는 각 지역별로 전자파 총노출량을 다르게 정하는 것은 무선국이 생활 깊숙히 들어온 우리나라에 꼭 필요한 제도라고 판단되어 조속한 제도화가 되어야 한다고 판단된다.
- 또한, 전자파 총노출량을 기반으로 하는 전자파 환경영향평가 결과를 무선국허가 시에 참고하는 방안도 고려할 만하다. 이러한 제도는 일반 국민들이 전

전자파에 대한 불안감을 해소하여 안락한 삶을 살 수 있도록 해주는 제도로서 제도화에 대한 논의가 필요할 것으로 판단된다.

- 또한 단순 측정에서 끝나지 않고, 계산값과 시뮬레이션 값들을 활용하는 평가방법의 개선 방안이나, EMF 모니터링 시스템을 도입하여 장기적으로 전자파 환경영향평가를 도입하는 안도 국민의 삶의 질을 개선하는 데 큰 도움이 될 것으로 판단된다.
- 현재까지 수많은 무선 통신 및 방송 서비스들이 생겨났으며, 앞으로도 5G 서비스를 비롯한 새로운 서비스들이 생겨날 것이다. 따라서 무선국의 수는 지속적으로 증가될 것이며 과거보다 일반인들이 전자파에 노출되는 정도는 점점 더 증가하게 될 것으로 예상된다. 이에 따라 유익한 전자파를 이용하면 할수록 반대급부로 전자파 노출에 대한 우려도 높아지게 된다. 또한, 지역별로 전자파 환경의 차이가 크다. 예를 들어 인구와 빌딩이 많이 밀집 할수록 보다 많은 무선국과 무선통신 서비스들이 존재하게 되므로, 도심에 거주하는 사람들이 전자파에 보다 많이 노출되게 된다. 유사한 예로 현대 도시생활에서 차량이 늘어날수록 오염된 공기에 노출되는 경우가 높아지며 건강도 나빠진다. 물론 차량의 배기가스가 많아진다고 해서 당장 건강에 영향을 미치는 정도를 구체적으로 알 수는 없으나 장기적으로 해가 된다는 것은 예측할 수 있다. 따라서 자동차 배기가스 규제에 대한 일반적인 공감대가 형성되어 있어 과거보다 배기가스규제 기준이 까다로워지고 있는 것이다. 전자파 또한 이와 유사하다. 이에 따라 새로운 무선국이 생겨날 때 마다 주변 전자파 밀도의 변화를 예측하여 적절한 전자파 노출 정도를 규제하여야 한다. 신규 서비스의 등장과 사람들의 편리성 때문에 각종 무선국이 늘어나는 것은 막을 수는 없겠지만 적절한 출력의 조정 또는 설치 위치의 변경으로 특정지역에 집중적으로 전자파가 노출되는 것을 막고, 되도록 모든 지역이 치우치지 않는 전자파 노출 환경이 만들어져야한다. 이를 위해서는 무선국 설치 시 반드시 전자파 사전 영향 평가를 해보고 적절한 장소인지를 판단 후 설치하도록 조치하여야 한다.
- 또한 전자파 인체영향은 측정결과에 대한 지속적인 홍보 및 캠페인이 필요한 분야이다. 이러한 홍보를 다각적으로 지원할 수 있는 지원책이 강구될 필요가 있다고 판단된다.

4.3 전자파 분야 전문가 연구반 구성 및 운영

가. 연구반 목적

- 5G 도입에 따른 생활환경 및 무선국 전자파 안전관리 방안 연구에 대한 자문과 무선국 전자파 적합성 평가 방법 표준화에 대한 의견 수렴을 위해 연구반을 구성하여 운영
- 생활 환경 전자파 노출량 측정 및 평가 방법에 대한 검토 및 자문
- 무선국 전자파 계산·현장 측정 등 평가 및 관리 병행제도 도입에 대한 검토 및 자문
- 무선국 전자파 평가 및 관리에 대한 관련 법·시행령·고시 개선에 대한 검토 및 자문

나. 연구반 구성

- 연구반 구성은 학계, 연구소, 산업체를 중심으로 구성하였으며 세부 위원 명단을 다음과 같다.

번 호	성 명	소 속	직 위	비 고
1	이양원	호남대학교	교수	위원장
2	김철원	호남대학교	교수	공동연구원
3	최동유	조선대학교	교수	안테나
4	윤태순	호남대학교	교수	HFSS
5	김광현	광주대학교	교수	시뮬레이션
6	유갑상	동신대학교	교수	시뮬레이션
7	정민영	광주여자대학교	교수	시뮬레이션
8	이영철	목포해양대학교	교수	전자파
9	이병윤	한국전기연구원	책임	연구소
10	조병록	순천대학교	교수	무선국
11	김강욱	광주과기원	교수	무선국
12	오순수	조선대학교	교수	수치해석
13	강윤구	한국 SMART 광융복합 협동조합	단장	업체
14	조창혁	솔빛시스템	수석	업체
15	김기회	국립전파연구원	연구관	연구소
16	이상호	솔루원스	차장	업체

다. 연구반 운영 실적

□ 제1회 자문 회의 개최

- 일시 : 2019.05.08.(수) 16:00
- 장소 : 호남대학교 8413 회의실
- 참석자 : 김철원 전문가 등 12명
- 주요 안건
 - 자문위원 상견례
 - 자문위원회 운영 안내
 - 자문위원 활동 전문분야 협의
- 세부 회의 결과
 - 프로젝트 주제 및 주요 내용 보고(이양원 연구책임자)

- 2019년 자문위원 운영 계획(이양원 연구책임자)
- 주요 의견 : 차기 회의에서는 자문위원별 전문 분야에 대해서 특강 형식의 포럼을 개최
- 향후 회의 일정 논의

□ 제2회 자문 회의 개최

- 일시 : 2019.07.30.(화) 14:00
- 장소 : 호남대학교 8602 회의실
- 참석자 : 양준규 전문위원 등 12명
- 주요 안건
 - 전자파 적합성 특강 개최
 - 주요국간 상호 전자파 적합성 인정 협정
- 세부 회의 결과
 - 주제 발표 : 양준규(국립전자파연구원) 전문위원
 - 발표 제목 : EMC 기술기준 국가간 상호인정협정
 - 주요 의견 : 전자파적합성 제도 법령 체계에서 측정 방법의 개선점 토론
 - 향후 회의 일정 논의

□ 제3회 자문 회의 개최

- 일시 : 2019.09.26.(목) 16:00
- 장소 : 호남대학교 8602 회의실
- 참석자 : 김철원 전문위원 등 12명
- 주요 안건
 - 전자파 세기 측정에 있어서 수치해석 방법 현황
 - 연구 진행 결과 보고
- 세부 회의 결과
 - 연구진행결과 보고 (이양원 연구책임자)
 - 전자파 전파 분석 모델 현황 : 조창혁 솔빛미디어 수석 연구원
 - 전자파 분석 툴 현황 : 오순수 교수(조선대학교)
 - 수치해석 방법 적용의 문제점 분석 발표 : 조병록 교수(순천대)
 - 10월 포럼 개최계획 발표 및 의견 수렴(이양원 연구책임자)
 - 향후 회의 일정 논의

□ 제4회 자문 회의(포럼)개최

- 일시 : 2019.10.10.(목) 16:00
- 장소 : 호남대학교 IT Square 강당
- 참석자 : 김철원 전문위원 등 12명과 관심있는 연구자 등 100 여명
- 주요 안건
 - 수치해석을 이용한 전자파 세기 예측 포럼 개최
- 세부 회의 결과
 - 주제 발표1 : 박용범 교수(단국대학교), 국내 전자파 인체안전 리스크 커뮤니케이션 활동
 - 주제 발표2 : 강윤희 교수(백석대학교), 28 GHz 근거리장 재구성 알고리즘 및 수치해석 결과
 - 주제 발표3 : 장주동 연구원(RRA), 2019년 EMF 분야 제도 및 표준 개발 현황
 - 마무리 인사 및 저녁 만찬(이양원 연구책임자)

제 5 장

결 론

5.1 결론

본 연구에서는 국내외 전자파 평가 및 관리제도 조사분석을 수행하였으며, 전자파 노출량과 적합성 평가 및 관리제도 개선 방안을 연구하였으며, 특히 계산에 의한 무선국 전자파 적합성 평가를 위한 주요 지점에 대한 시뮬레이션을 수행하기 위한 전파전파 모델 분류 및 관련 기지국 정보 등의 작업 내용을 제시하였고 최종보고서에는 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교분석한 내용을 상세하게 기술하였다.

전자파적합성 기준 및 시험방법은 전자파 환경 변화, 산업체의 요구, 국제표준화 동향 등에 따라 제·개정하고 있다. 최근 산업체는 5G 이동통신 상용화를 추진으로 산업체의 규제개선 요구와 전자파 환경 변화가 발생하였다. 최근 국립전파연구원은 5G 이동통신 상용화를 지원하고 산업체 규제 개선 요구를 수용하여 전자파적합성 기준 및 시험방법을 개정하였으나 실제적으로 5G 이동통신 기지국에 적용하는 시험을 위해서는 새로운 전자파적합성 시험방법 마련이 추가로 필요한 실정이었다. 이에 국립전파연구원과 EMC 기준전문위원회 5G 이동통신 EMC 연구반은 산업체와 협력하여 5G 이동통신 기지국에 대한 전자파적합성 시험방법 초안을 마련하고 측정 분석을 한 결과를 중심으로 5G 이동통신 기지국과 단말기에 대한 전자파적합성 시험 방법을 마련하여 공고한 상태다. 이번에 마련된 5G 이동통신 무선국 전자파적합성 시험 방법은 성공적으로 5G 상용화를 구축하는데 기반을 제공할 것으로 기대된다.

본 연구의 내용 중에 하나는 5G 도입에 따라서 기지국 설치 이후에 점검 및 유지보수 단계에서 요구되는 측정 평가 수행 업무가 대폭 늘어나는 문제를 해결하기 위한 접근 방법을 찾는 노력이었다. 이를 위하여 본 연구에서는 수치해석적 방법으로 실제 측정 업무를 대신할 수 있는지 가능성을 검토하는데 많은 노력을 기울였다. 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 5개 지역 권고모델을 적용(대도시밀집지역, 중소도시지역, 교외지역, 개방지역, 산악지역)하여 실제 수치해석적인 접근으로 전자파 세기 분석을 수행하였다. 이때 경로 손실 적용모델은 비가시(non LOS)지역에 대한 해석모델로서 단일장애물 해석은 Knife-Edge모델, 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 높이는데 사용할 수 있는 중요한 정보가 될 것이다.

물론 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 생각 할 수도 있고, 또한 크게 수치해석을 수행함에 있어서 본 과제에서 적용하여 수립한 모델에서 오는 오차와 실제로 측정에서 오는 정보를 사전에 정확히 튜닝하는 과정을 생략한 결과에서 기인할 수 있다.

즉 대부분의 경우 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. 이럴 경우에는 앞으로 5G 무선기지국 검사에서 대부분 수치해석 방법을 적용하고 필요시 주요 지점에 대한 표본 검사 수행을 통하여 검사 업무를 대폭 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

한편 추가적으로 튜닝(동조)과정을 수행하기 위해서는 측정 현장과 온라인으로 연결하여 실시간으로 업무를 수행하는 장비 구비 및 이에 대한 추가 연구기간이 필요할 것으로 예상된다. 만일 이와 같은 상관도 검증 단계를 통하여 수치해석 방법을 증명하게 되면 앞으로 실제 5G 이동통신 기지국 측정 업무를 기하급수적으로 줄일 수 있으며, 또한 관련 정보를 공개함으로써 시민들이 막연하게 갖고 있는 전자파 위험으로부터 오는 불안을 해소하는 데도 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

[국내문헌]

- [01] 오학태 외3(2016), “RF 인체노출 특성 평가 기술 연구”, 국립전파연구원, pp.81-87
- [02] 임현준, 이민호(2013), “국내외 무선국 방사출력 관리 현황 및 전망”, 동향과전망, 통권 제64호, pp.41-51
- [03] 조인귀, 윤재훈(2008), “무선기기의 ERP/EIRP 기술 및 측정기술 동향”, 전통신동향분석 제23권 제3호,
- [04] 이승우(2014), “전자파 인체 보호활동 및 표준화 동향”,통권 제11호 p p. 55-59
- [05] 한국방송통신전파진흥원(2011), “무선국 검사 선진화 방안 연구”
- [06] 권종화(2016), “전자파 인체영향 수치해석 표준 동향”, pp.70-75
- [07] 김태홍 외(2017), “계산에 의한 무선국 전자파 평가방법 및 도입방안 연구”, pp.7-150

[해외문헌]

- [01] Kasampalis Stylianos, Modelling and Coverage Improvement of DVB-T Networks
- [02] Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields, ITU-T Recommendation K.52, December 2004.
- [03] 電波防護標準規格 RCR STD-38 2.0版, 電波産業会,1999
- [04] Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, FCC OET Bulletin 65 (Edition 97-1), August 1997
- [05] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields(up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP) Guidelines.
- [06] Guidance to measurement and numerical prediction of electromag

- netic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations, ITU-T K.61, Sept. 2003
- [09] Sandy Sefi, Ray tracing tools for high frequency electromagnetic s simulations, Phd. Thesis, 2003
- [10] M. Strappini, etc, A Procedure for estimation on the electromagnetic field exposure levels, Italy,
- [11] [3] 106/356/CDV, 'IEC/IEEE 62704 1: Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate(SAR) in the Human Body from Wireless Communications Devices, 30MHz -6 GHz - Part 1: General Requirements for using the Finite Difference Time Domain (FDTD) Method for SAR Calculations,'2015. 12.
- [12] 106/351/CDV, 'IEC/IEEE 62704 2: Determining the Peak Spatial Average Specific Absorption Rate(SAR) in the Human Body from Wireless Communications Devices, 30MHz 6GHz - Part 2: Specific Requirements for Finite Difference Time Domain(FDTD) Modeling of Exposure from Vehicle Mounted Antennas,' 2015 . 12.
- [13] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service," Review of the Electrical Communications Laboratories, 16, 825-73, 1968.
- [14] W. C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications: Analog and Digital Systems," McGraw-Hill, 1995.
- [15] J. Deygout, "Correction Factor for Multiple Knife-Edge Diffraction," IEEE Transactions on Antennas and Propagation. vol. 39, pp. 1256-1258, No.8, August 1991.
- [16] J. H. Causebrook and B. Davies, Tropospheric radio wave propagation over irregular terrain: the computation of field strength for UHF broadcasting, BBC Research Report 43, 1971.
- [17] G. Millington, "Double Knife-Edge Diffraction in Field-Strength Predictions," The Institution of Electrical Engineers, Monograph No. 507E, Mar. 1962.
- [18] L. E. Vogler, "Radio wave diffraction by a rounded obstacle," Ra

- dio Sci., 1985, 20, pp. 582-590.
- [19] G.A. Hufford, A.G. Longley, W.A. Kissick "A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode," April 1982, NTIA Report 82-100, U.S Department of Commerce.
- [20] Phillips, C., D. Sicker, and D. Grunwald, "A survey of wireless path loss prediction and coverage mapping methods," IEEE Communications, Surveys, Tutorials, vol. 15, 1, pp.255-270, 2013.
- [21] D4 of EHFRAN project, Report on the level of exposure (frequency, patterns and modulation) in the European Union, 2010.

[웹페이지]

- [01] 생활 속 전자파 홈페이지, www.emf.go.kr 또는 생활 속 전자파
- [02] 일본 전자파정보센터 <http://www.jeic-emf.jp>
- [03] 프랑스 ANFR, <https://www.cartoradio.fr/index.html#/>
- [04] ATDI, ICS Telecom EV, <http://www.atdi.com/ics-telecom-ev/?lang=en>
- [05] 전파누리, <https://spectrummap.kr/index.do>, 한국방송통신전파진흥원
- [06] ICSTelecom EV 사용설명, <https://slideplayer.com/slide/4649624/>
- [07] 전자파세기 계산하기, <https://emf.kca.kr/meterInfo/measurement/calculation.do?menuCd=FM0305>
- [08] 공간정보산업진흥원, <http://www.spacen.or.kr/main.do>
- [09] Lte RSSI, RSRP and RSRQ Measurement, <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/rsrp-rsrq-measurement-lte/>