

KCA연구 2018

안전사고 예방강화를 위한 재난신호 전달체계 개선방안 연구

(최종보고서)

2019. 02.

한국방송통신전파진흥원

연구수행기관 : 목포해양대학교 산학협력단

이 보고서는 한국방송통신전파진흥원의 출연에 의한
재정지원으로 이루어졌습니다.

제 출 문

한국방송통신전파진흥원장 귀하

본 보고서를 『안전사고 예방강화를 위한 재난신호 전달체계 개선 방안 연구』에 관한 연구용역의 최종보고서로 제출합니다.

2019년 02월

연구책임자 : 홍성화 (목포해양대학교 교수)

연구 원 : 김갑기 (연구원)

이성렬 (연구원)

길준민 (연구원)

아태준 (보조원)

함승태 (보조원)

김도현 (보조원)

테이퍼악터라 (보조원)

요 약 문

1. 연구 제목

안전사고 예방강화를 위한 재난신호 전달체계 개선방안 연구

2. 연구의 최종 목표

- 재난안전관련 무선통신시스템 활용현황 분석과 재난안전 및 사고예방 강화를 위한 전파이용 활성화 방향 제시

3. 연구 내용 및 연구 방법

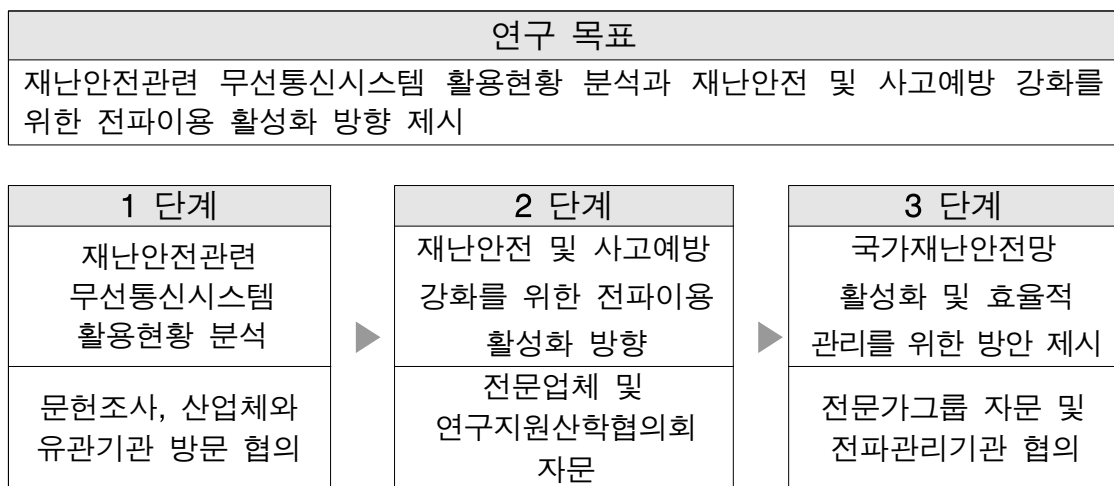
1) 연구 내용 및 범위

- 국내·외 재난안전관련 무선통신시스템 및 관련 전파이용기술 동향조사
 - － 재난안전 대응 및 사고예방을 위한 무선통신시스템 이용현황 분석
 - － 재난안전관련 ICT 무선통신기술 및 발전 동향 조사
- 재난안전관련 무선통신시스템 활용현황 분석
 - － 주파수 대역, 통신방식, 이용범위(선박, 항공, 교통, 지진, 소방) 등 관련 분야 세부 활용 현황
 - － 무인이동체 등 재난안전 ICT 신산업 및 융합서비스 현황
 - － 상용망(이동통신) 및 일반무선통신망의 재난관련분야 이용현황
- 재난안전 및 사고예방 강화를 위한 전파이용 활성화 방향
 - － 국외의 전파이용 사례 분석 및 시사점 도출
 - － 재난안전 대응체계 개선 및 ICT 무선통신시스템 발전방안 도출

- 국가재난안전망 활성화 및 효율적 관리를 위한 방안 제시
 - 국가재난안전망 전파 효율성을 위한 개선 방안 제시
 - 서비스 제공 사업자 및 이용자에 미치는 영향 분석

2) 연구 방법

- 문헌조사, 산업체와 유관기관을 통한 협의 및 전문가 자문을 활용한 3단계 연구수행 방법론을 적용함



4. 연구 결과

1) 재난안전통신망의 국내외 동향

- 국내 : 700MHz 대역 PS-LTE를 국가주도 재난안전통신망으로 결정하여 KT, SKT 사업자가 각 담당 권역을 2020년 구축완료를 목표로 추진 중
- 국외 : 미국, 영국, 일본 등 많은 국가에서 PS-LTE 기술을 재난 안전통신망으로 선정하여 구축을 진행하고 있으며 미국, 캐나다, 말레이시아는 자가망과 상용망을 연동하는 형태로 PS-LTE를 구축 중.

독일, 스페인은 자체적으로 광대역 및 협대역망을 결합하는 형태로 재난망 도입을 추진 중으로 국제적으로 광대역 멀티미디어서비스 기반 차세대 재난망을 구축 중

2) 재난안전통신망의 기술 및 사용현황

- VHF, UHF : 협대역 음성통신 중심으로 선박, 항공, 소방, 철도 등 분야에서 활용되고 있으며 전파특성상 전송거리가 길다는 장점이 있으나 단방향 통식이며 멀티미디어 서비스 불가
- TETRA : 현재 국제적으로 가장 많이 사용되는 재난망으로 380MHz 및 800MHz 대역을 사용. TDMA방식을 활용하여 다중 액세스처리가 가능하며 일대 다 그룹 지령 통화방식으로 주파수의 효율성이 높음. 미국, 유럽, 일본 등 많은 국가에서 사용됨
- iDEN : TETRA의 TDMA방식에 이동통신의 GSM구조를 결합하여 미국 모토로라사가 개발하였으며 양방향 무선통신, 디지털 통화, 문자메시지 등의 사용이 가능하며 다른 망과의 연동 또한 제공. 미국, 캐나다에서 주로 사용됨
- PS-LTE : 기존 LTE 기술에 그룹 간 멀티미디어 서비스 MCVideo, 그룹 간 통화 MCPTT, 단말 간 직접 통화 (e)ProSe, (e)D2D 등의 기능을 추가하여 개발된 차세대 재난망으로 국제적으로 많은 국가에서 구축 중. 기존 재난망 대비 초고속 멀티미디어서비스가 가능하며 높은 안정성과 폭넓은 호환성을 보장

3) 재난안전통신망의 활성화 및 관리방안

- PS-LTE 전국 서비스 제공을 위해서는 필연적으로 기지국의 전국 설치가 필요하며 이는 많은 시간과 비용이 소요됨. 따라서 기존 전국망으로 구축되어 서비스 중인 상용망과의 연동이 필요하며 연동 전 보안 및 우선접속문제의 해결 필요
 - 보안문제 : 보안 액세스, 신규 프로토콜 등을 활용
 - 우선접속 : Sub-Network, 이동통신사업자간 로밍 등으로 안정적인 재난망 우선접속 보장
- 재난발생으로 현장의 통신망 소실시 대응방안 마련 필요
 - 드론을 활용한 이동기지국으로 임시 재난통신망 형성
 - 조난자 위치파악 및 현장상황 파악에 드론 단말 활용
- PS-LTE 기반기술인 LTE 기술에 대한 전문성을 갖춘 비영리 공공 부문에서 주기적으로 재난망의 안정성을 관리

목 차

제1장 서 론	1
1.1. 연구의 필요성	1
제2장 재난안전통신망 개요 및 현황	7
2.1. 재난안전통신망 개요	7
2.2. 재난안전통신망 국내 추진경과 및 동향	9
2.3. 재난안전통신망 국외 동향	13
제3장 재난안전통신망 관련 기술분석	21
3.1. 이동통신망의 기술적 발전	22
3.2. 재난안전통신망 기술현황(VHF / TRS / TETRA / iDEN / PS-LTE)	25
3.3. 재난안전통신망 주파수 사용실태	34
3.4. 소결	41
제4장 통합 공공용 재난안전통신망 현황 및 활성화 방안 ·	44
4.1. 통합 공공용 재난안전통신망 도입 경과	44
4.2. 통합 공공용 재난안전통신망 추진 현황	46
4.3. 통합 공공용 재난안전통신망 활성화 방안	56
4.4. 소결	65

제5장 ICT 기기를 활용한 재난안전통신망 강화 방안	69
5.1. 이동형 기지국을 활용한 재난안전통신망 강화 방안	69
5.2. 이동형 기지국을 활용한 시뮬레이션 및 결과 분석	82
5.3. 소결	87
제6장 국가재난통신망에서의 안정적 데이터 전송 방안에 대 한 제언	88
6.1. 재난안전 대응 및 사고예방을 위한 재난안전통신망의 효율 적 활용 방안 제언	88
6.2. 결론	90
참고 문헌	92

그림 목 차

그림 1. 단독 기지국 사용 예	3
그림 2. 국가재난안전망 기본 개념도	4
그림 3. 재난안전통신망 발전 방향	9
그림 4. 재난안전통신망 구축 추진 단계	12
그림 5. 무선통신 발전방향	25
그림 6. PS-LTE 기술 간 관계도	33
그림 7. 700MHz ~ 2.6GHz 대역의 주파수 사용 현황	36
그림 8. 재난안전통신망 서비스 제공 방안	45
그림 9. LTE 및 PS-LTE 개념	46
그림 10. PS-LTE 기본망 구성도	47
그림 11. LTE-R 무선 통신 구성도	50
그림 12. LTE-R 시스템 구성도	52
그림 13. LTE-M 시스템 구성도	54
그림 14. LTE-U/LAA 방안	58
그림 15. LWA 방안	58
그림 16. IETF MPTCP 방안	59
그림 17. LTE 네트워크를 활용한 드론 제어	62
그림 18. DMS 활용 예: 드론 영상 관제	63
그림 19. PS-LTE 네트워크 개념도	64
그림 20. 상호운용성 지원을 위한 PS-LTE 네트워크 모델	65
그림 21. 공간 위치 정확도의 요소	70
그림 22. 3개의 이동 지구국을 만난 이동 단말 S ₁ 의 위치 인식	73
그림 23. 직교수직좌표계	77
그림 24. 좌표결정의 원리	79
그림 25. 순서도	81

그림 26. 결합 트래버스의 계산	83
그림 27. 기지국 수에 따른 드론 속도별 위치 오차	84
그림 28. 단말 수에 따른 속도별 위치 오차	85
그림 29. 기존 알고리즘과의 비교	86

표 목 차

표 1. 재난안전통신망 요구사항	5
표 2. 외국의 국가안전통신망 사례	18
표 3. 현 외국 국가안전통신망 기술방식 및 향후계획	19
표 4. 재난안전 통신망 관련 기술 특징	22
표 5. 1세대 이동통신 현황	22
표 6. 2세대 이동통신 현황	23
표 7. 3세대 이동통신 현황	23
표 8. 3.5세대 이동통신 현황	24
표 9. 1세대 ~ 4세대 이동통신 특징	25
표 10. 철도청 VHF 무선통신 구분	27
표 11. 주파수 공용통신의 기술개요	27
표 12. 디지털 공용주파수 통신의 특성	29
표 13. TETRA 네트워크 특성	30
표 14. iDEN 네트워크 특성	32
표 15. 주파수공용 통신주파수 분배 현황	36
표 16. 기관별 무선통신망 기술방식 이용분포	37
표 17. 기관별 주파수 이용분포	38
표 18. LTE-R 구축현황	51
표 19. LTE-M 기능적 특징	55

제1장 서론

1.1. 연구의 필요성

매년 전 세계에서 재난으로 인한 인명 및 재산피해가 발생하고 있다. 최근 발생한 대표적인 재난으로는 2004년 동남아시아 쓰나미, 2011년 일본 후쿠시마 쓰나미, 2014년 우리나라 세월호 사건, 2015년 네팔 대지진, 2016년 경주 지진 및 2017년 포항 지진 등이 있다. 이러한 재난이 발생했을 때 재난상황에 대한 정보를 전송하기 위한 통신방법 중 기존 음성중심의 협대역 통신서비스는 음성, 문자와 같은 기본 서비스만 가능한 반면 광대역 통신서비스는 음성, 사진, 동영상 등 다양한 멀티미디어 정보전송이 가능하여 재난대처에 매우 효율적이다.

기존 음성 중심의 협대역 통신서비스에서 벗어나 다양한 멀티미디어 전송이 가능한 광대역 LTE 기반의 상용망 서비스가 현재 우리나라와 주요국에서 운용 중이다. 하지만 LTE 상용망은 비용 및 보안문제 등으로 공공재난대응을 위해 운영하기에는 어려운 실정이다.

이러한 이유로 다양한 멀티미디어서비스가 가능한 광대역 LTE 서비스기반 공공재난망 개발 필요성이 요구되고 있으며, 이에 관련된 기술인 PS-LTE(Public Safety LTE) 표준화 작업은 현재 3GPP(3rd Generation Partnership Project)의 산하 TSG SA(Technical Specification Group Service and System Aspect)의 WG(Working Group) 6에서 진행하고 있다.

기존 구축 · 운용 중인 재난망은 TRS(Trunked Radio System)와 VHF, UHF가 있으며 목적 및 활용범위에 맞게 각 기관에서 자체적으로 관리 · 운영하고 있다. 하지만 주파수 및 관리주체 상이로 상호연동 및 공동운영은 어려운 실정이다.

차세대 재난망 기술로서 대두되는 PS-LTE는 LTE 기술을 근간으로

공공안전 통신에 필요한 단말 간 통신, 그룹통신 등을 지원하는 통신기술이다. 현재 우리나라는 구축계획을 수립하여 PS-LTE 시스템을 설치 중이며, 국제적으로 PS-LTE를 활용한 재난망 시스템 구축에 많은 노력을 하고 있다.

LTE는 3GPP의 Release 8을 표준을 설정하고 있으며, PS-LTE는 Release 12, 13을 표준으로 기술을 적용하고 있다. 특히 LTE의 MCPTT 기능, Uni-Cast, Multi-Cast 그리고 ProSe 기능등을 이용하는 상태에서도 Push-To-Talk 기능을 사용할 수 있는 것이 PS-LTE의 특징으로 기존 LTE를 적용하여 모든 전통적인 IP 기반 어플리케이션에 서비스 제공이 가능할 것으로 예상된다.

PS-LTE망은 기존 LTE망과 동시에 운영할 수 있으며, 동일한 접근망도 운영가능하다. PS-LTE 서비스 제공을 위해서는 전국 네트워크를 구축해야만 하며 이에 따라 우리나라는 2017년 이후 망 구축 사업을 진행하고 있다. 그러나 관련자만 접속할 수 있는 폐쇄망의 특성상 기존 상용망과 별도 구축이 필요하며 많은 기간과 비용의 소요가 예상된다. 효율적으로 재난안전통신망을 구축하기 위해서는 무조건적인 신규 구축보다는 기존 LTE망에 보안 및 접속우선권 등의 문제를 보완하여 신규 구축하는 PS-LTE망의 연동을 고려해야 할 것이며 이를 위한 사전검토가 매우 필요하다.

현재 운용중인 재난안전통신망은 몇 가지 단점을 가지고 있다. 단말 간 직접통신의 불안정성, 기존 TETRA 방식 대비 응답속도 저하 및 협소한 통신반경 등이다. PS-LTE에서는 기존 재난안전통신망이 가진 단점을 보완할 것으로 예상된다. 그러나 PS-LTE 기반의 재난안전통신망이 구축된다 하더라도 기존 각 기관에서 운영하고 있는 재난통신망의 이괄대치가 현실적으로 어렵고 이를 보완하여 재난발생시 체계적으로 대처할 수 있는 순차적 대응방안마련 또한 시급한 상황이다.

재난은 언제 어느 장소에서 발생하게 될지 아무도 예측할 수 없다. 따라서 재난통신망이 구축되어 있지 않은 해양이나 산간에 재난이 발생할

경우, PS-LTE 기술 중 단독 기지국 운용모드를 활용하여 일시적으로 이동기지국을 활성화하여 재난발생 상황에서 통신이 가능하도록 할 수 있다.

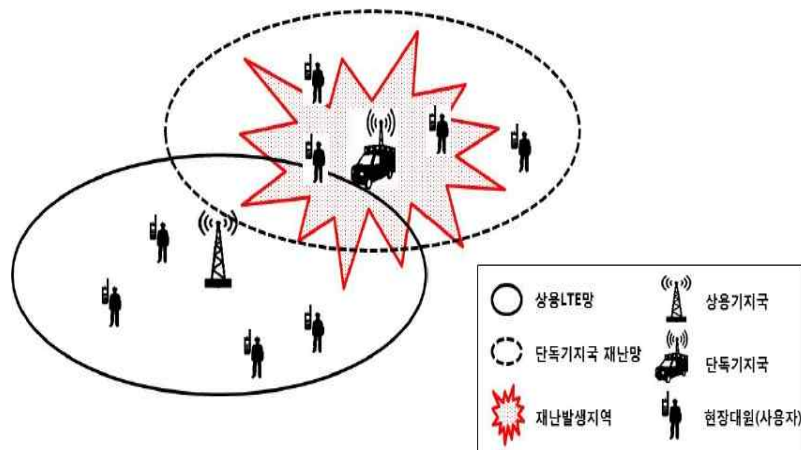
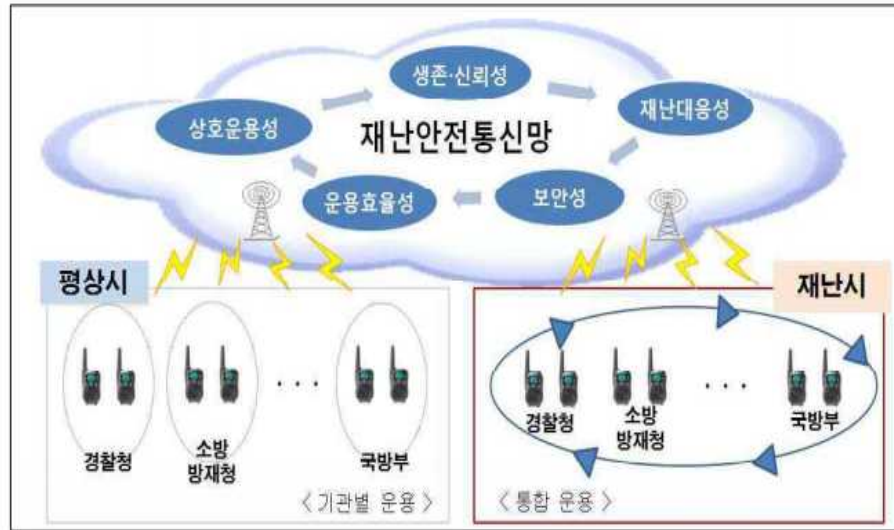


그림 1. 단독 기지국 사용 예

재난은 자연변화와 산업 시설들의 대형화, 노후화, 집중화 등으로 인해 복합적 형태로 변화하고 있으며, 그 피해도 점점 대형화되고 있는 추세이다. 그 밖에도 여러 인종·국가 간 갈등에 따른 테러 및 국지적 전쟁과 같은 상황이 증가하면서 다양한 재난에 효과적으로 대응하기 위해 보다 발전된 형태의 재난안전 통신시스템이 요구되고 있다. 이에 따라 그림 2에서 보여주고 있듯이 여러 공공부문(군, 경찰청, 소방청, 지방자치단체 등)에서 운영하고 있는 재난통신망을 하나의 통일된 지휘체계로 통합하여 국가주도의 공공재난안전통신망을 구축하기 위해 세계 각국에서 노력하고 있다.



출처 : 한국정보화진흥원, 2011. “재난안전통신망 기술검증 연구”, 제5권, p6.

그림 2. 국가 재난안전망 기본 개념도

기존 재난안전통신망은 VHF/UHF/TRS(아날로그, 디지털) 등의 다양한 무선기술을 활용하여 독자적으로 구축되었으며 서비스방식은 저속의 음성서비스 중심이다. 하지만 복잡화, 대형화되는 재난에 신속히 대처하기 위해 고속의 멀티미디어서비스가 가능한 차세대 재난통신망이 요구되고 있다. 주요국은 차세대 재난통신망 도입계획을 수립하여 추진하고 있으며 우리나라는 2018년부터 2020년을 목표로 PS-LTE 재난통신망을 구축 중이다. 재난안전통신망은 표 1에서 보는 바와 같이 5가지의 핵심요구사항을 요구한다.

표 1. 재난안전통신망 요구사항

구분	필수기능(17개)	부가기능(17개)
생존·신뢰성	직접통화/단말기 중계, 단말기 이동성, 호 폭주 대처(3개)	단독기지국 운용모드, 이중화/전송 매체 운영, 통화 품질, 백업·복원(4개)
재난 대응성	개별통화, 그룹통화, 지역 선택호출, 동화, 그룹 편성, 가로채기, 비상통화, 단말기 위치 확인(7개)	영상통화, 주변음 청취, 복수통합 그룹 수신(3개)
상호 운용성		개방형/표준준수, 호 연결, 망 연동(3개)
운영·효율성	상황전파 메시지, 가입자 용량 확보(2개)	다자간 전이중화, 데이터통신, 통화내용, 녹음/녹화, 발신번호 표시, 원격망 관리, 보고서 생성, 통화음량 확장, 광대역/통화권, 주파수 다중화(10개)
보안성	단말기 사용허가, 암호화 인증, 보안규격, 통합 보안관제(5개)	

표 1에서 언급된 요구사항 이외에도 재난망 구축 시 고려해야 할 부분이 있다. 재난발생시 이동통신가입자의 통신사용이 급증하지만 재난으로 통신망 손실이 발생하여 연결이 정상화되지 않는 경우가 많다. 이러한 상황발생 시 기지국 기능을 탑재한 차량을 재난지역으로 이동시켜 통신서비스 제공이 가능하지만 지형적 특성과 도로망 손실 등으로 즉각적인 대처가 어려운 실정이다.

이와 같은 상황에서는 이동형기지국 기능을 가진 드론을 운영하여 통신서비스를 제공하는 것이 효율적 대응이라 할 수 있다. 접근성이 뛰어난 드론을 운영하여 재난자의 위치파악 및 통신서비스를 제공할 수 있고

이를 통해 신속한 수색구조 활동을 수행 할 수 있다. 현재 Wi-Fi 기반으로 운영되고 있는 드론은 대부분 상업적 목적으로 사용되고 있으며 향후 드론의 이동통신망 접속은 운용범위를 증대시켜 그 활용성을 높이리라 예상된다.

본 연구에서는 기존 재난통신망의 기술 및 주파수 분석과 국내외 재난통신망 동향 및 재난안전통신망의 문제점을 해결을 위한 드론 위치파악을 위한 알고리즘을 제시하였다.

제2장 재난안전통신망 개요 및 현황

2.1. 재난안전통신망 개요

2.1.1. 재난안전통신망의 정의

재난안전통신망은 “재난안전통신망 구축 기획단의 설치 및 운영에 관한 국무총리 훈령(제633호)”의 정의에 의하면 재난 및 안전관리 기본법 제3조에 따른 재난관리책임기관·긴급구조기관 및 긴급구조 지원기관이 재난관리업무에 활용하거나 재난현장에서의 통합 지휘에 활용하기 위하여 구축·운영하는 통합무선통신망을 말한다. 즉, 평시의 공공안전과 재난 상황 시의 재난구조 등을 위해 위기상황에서 능동적이고 일사불란하게 대처할 수 있는 현장지휘·상황전파 체계를 구축하고 여러 기관이 상호 간에 공통으로 활용할 수 있는 통신 인프라를 의미한다.

세계적으로 자연재해 및 인재는 계속 대형화되어가고 있으며 발생빈도 또한 급속히 증가 중이다. 이러한 재난에 대응하기 위해 보다 선진화된 시스템이 필요하게 되었으며, 공공안전과 재난구조를 중심으로 한 국가 중심의 단일화된 재난안전통신시스템을 구축 중에 있다.

현재 국가재난안전통신망의 기능은 평시에는 각 기관의 예방활동 및 관리활동 등을 위한 무선통신망으로 이용되며, 재난·재해발생 시 단일화된 효율적 지휘를 위해 통합·운용된다. 하지만 현재 단일화된 재난안전통신망은 구축되어있지 않으며 각 기관이 자체적으로 구축한 무선통신망을 연동하여 활용하고 있다. 이러한 경우, 각 기관별로 주요 도심지역에 무선통신망을 신규로 구축함으로써 중복투자가 발생하게 되는 반면, 일부 산간·도서지역은 비용, 관리 등의 문제로 구축을 회피하여 재난통신망 서비스 제공에 어려움이 발생하게 된다. 이러한 점을 고려하였을 때, 연동시스템 모델보다는 전체 혹은 지역별 재난안전통신망을 일괄 구

축하는 시스템모델이 국가적 차원에서 보다 적절하다고 판단되며 우리나라는 2018년 이후 PS-LTE 기반의 차세대 재난안전망을 구축중이다.

2.1.2. 재난안전통신망 국내 발전 방향

재난안전통신망 전국구축 이전에는 관련기관인 소방, 경찰, 철도청에서 독자적으로 운영 중인 무선 재난망(VHF, UHF, TETRA, iDEN)의 단말기교체를 통해 서울 및 경기 지역의 통합지휘 무선통신시스템과 경찰에서 운영 중인 TETRA망을 연계하여 재난관련 기관에 개방·공용하도록 하였다. 그리고 기관별 무선통신망(VHF, UHF, TETRA, iDEN)간의 기술규격의 차이로 인한 상호통신이 불가능할 경우 게이트웨이를 활용하여 공용할 수 있도록 하였으나 실질적으로 독자적으로 운영되는 경우가 많다.

현재 우리나라는 다양한 멀티미디어 서비스제공이 가능한 새로운 기술방식의 차세대 재난안전통신망을 구축중이며, 국가정책조정회의에서 재난안전통신망 기술방식은 LTE(Long Term Evolution)를 근간으로 하는 PS-LTE로 결정하였다. 전용 주파수(700MHz)를 사용하여 자가망 기반으로 구축하되 상용망(이동통신망)을 일부 공용하는 형태로 2018년부터 2020년까지 전국을 3개 권역으로 나누어 구축 중이다.

과거에는 재난발생 시 재난에 대한 대응성이 중심이었으나, 현재는 재난상황에서의 대응성 이외에도 재난발생 시 생존자들의 생존성과 구조자의 운용성을 보다 강화시키는 것이 중요하다. 즉, 현재 재난망 서비스가 어려운 지역에서 재난·재해가 발생하였을 때나 또는 발생한 재난·재해로 재난안전통신망이 파괴되었을 경우 보조 수단인 단말기, 이동기지국 및 위성통신망 등을 이용하여 재난관련 기관간의 원활한 재난무선통신이 가능토록 활용성을 증가시키는 것이 매우 중요하다.

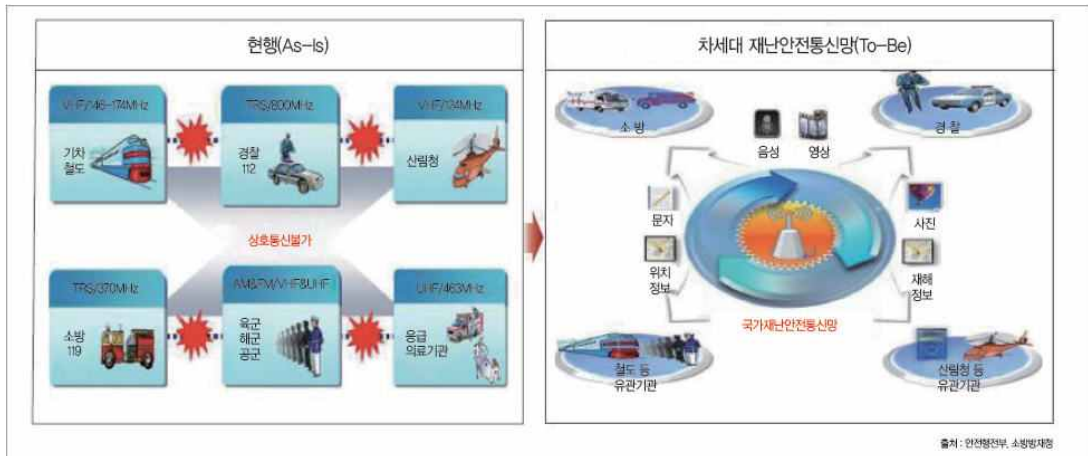


그림 3. 재난안전통신망 발전 방향

과거의 통합지휘무선통신망 사업에서는 대상기관이 재난안전관리기본법 제 3조에 의해 재난관리책임기관 및 긴급구조기관, 긴급구조 지원기관 등 1,441개로 규정하고 있다. 그러나 이 중에서 직접적으로 재난상황에 참여하지 않고 후속조치 등의 목적으로 통합지휘무선통신망을 활용하는 기관도 존재함에 따라, 재난관련 기관 간 효율적인 연계를 위하여 재난현장에 공통적으로 출동하여 대응하는 기관을 중심으로 필수기관을 축소할 필요가 있다. 이에 따라 현재 정해진 8대 분야 321개 기관 이외의 권장기관을 재난대응 표준운영 절차(SOP :Standard Operating Procedure)에 따라 재검토하여 조정할 필요가 있다.

2.2. 재난안전통신망 국내 추진경과 및 동향

재난안전통신망 구축 계획은 감사원에서 2002년 재난관련기관에 대한 감사로부터 시작되었으며 이는 대부분의 긴급구조 및 재난관리기관들이 서로 각각 독자적인 시스템을 구축하고 있고, 심지어 무선통신시스템을 구축하지 않은 기관도 존재함에 따라 단일화된 신속한 구조작업이 불가능하고, 무선통신망의 기관별 중복구축이 많아 예산 및 주파수 낭비라는

지적에서 시작되었다. 감사원은 재난관리법을 근거로 주관부서를 지정하고 일원화된 무선망 관리표준을 위한 "종합지휘 무선통신체계 확보 방안"을 마련하도록 국무조정실에 요구하였다.

재난안전통신망 사업은 감사원에서 재난관련기관들의 통일되고 단일화된 종합지휘체계 확보가 요구된다는 감사 결과에 따라, 2002년 12월 행정안전부, 국방부, 경찰청, 해양경찰청 등의 관련기관은 국가차원의 방위, 수색구조, 안전, 치안 등의 임무를 관리 및 지원할 수 있는 통합무선통신망 구축의 필요성을 인지하였고, 주파수 및 국가예산의 효율적 사용을 위해 통합망을 공동구축 및 운영하기로 하였다. 구축된 통신망은 군은 작전통제 목적으로 다른 기관들은 치안 및 재난안전 통제를 위한 용도로 활용하기로 계획하였다.

2003년 대구 지하철 참사사건으로 대규모 재난현장에서 대응기관들의 원활하고 단일화된 업무협조를 위한 무선통신망의 필요성이 또다시 제기되어, 국회에서도 재난예방 및 복구시스템을 위한 "국가재해·재난방지를 위한 종합안전대책 수립촉구결의안"을 발표하였다. 이에, 국무조정실은 8개 부처를 중심으로 기획단을 구성하여 기본계획(안)을 수립하였고 재난관리법 제7조에 의해 심의의결한 뒤 확정하여 과학기술정보통신부에 통보하였다.

2005년에 국민안전처에서 본 사업의 세부계획을 시범사업, 확장 1차 및 2차 등으로 수립하였으며, 이 계획은 경찰청, 지하철망 등을 상호 연계하도록 구축하고, 기존망은 구축된 망과 연계 운영하되 최종적으로 통합한다는 계획이었다.

2006년 정보화전략계획을 세워 전국 확장 추진전략을 작성하였고, 2005년 시범사업과 2006년 확장 1차 사업을 진행하였으나, 언론사와 국회에서 문제제기로 결국 행정안전부에서 재검토하기로 하였다.

2009년에는 행정안전부 주관으로 KDI(Korea Development Institute : 한국개발연구원)에서 예비 타당성조사를 거쳐 경찰청에서 운용 중인 TRS 통신망을 재난안전망으로 이용하는 방안이 선정되었으며,

기존 사업의 주관청인 소방방재청이 국민안전처로 개청되어 업무이관을 통해 '통합지휘 무선통신망' 이란 명칭으로 사업이 재개되었다. 그러나 국회, 감사원, 언론사 등에서 기술중속 및 많은 이용기관(1,441개)으로 인한 사업 효율성 저하, 재난대응 표준운영절차 (SOP :Standard Operating Procedure)의 부재를 지적하였고 이로 인해 사업이 보류되었다.

이 후 사업중단 및 재추진 여부에 대해 검토 중인 상황에서 KISDI (Korea Information Society Development Institute : 정보 통신 정책 연구원)는 국가 재난안전통신망 구축방향에 대한 연구를 실시하여, 특정 업체 독점 해소방안 및 표준운영절차(SOP)를 제시하였고, 새로운 기술에 대한 검증을 거친 후 사업을 추진하고자 하였으나 행정안전부와 KDI의 이견으로 예비 타당서 조사가 불투명하게 되었다.

구축계획이 보류된 상태에서 세월호 참사가 발생하였고 2014년 대통령은 대국민 담화 후속 조치로서 재난안전통신망 구축사업을 2016년 확산하기로 하였다. 재난망 구축방식은 기존 상용망인 LTE 방식에서 단말간 통화기능과 그룹통화방식이 추가된 PS-LTE 방식으로 700MHz 대역에서 자가망으로 구축하기로 결정되었다. 그러나 700MHz 대역의 사용을 놓고 통신업계와 방송업계의 갈등으로 인해 구축이 미루어졌다.

2015년 재난망 구축준비가 끝나고 정부는 평창올림픽을 열리는 강원도에서 시범사업을 실시하였고 2015년 10월에 KT와 SKT는 재난망 1, 2단계 시범사업을 나란히 수주받아, 세계 최초로 PS-LTE 규격 국가재난망 사업이 시작되었다.

그 후 2017년 3단계 재난안전통신망 구축사업이 발주되어 KT, SKT가 2018년부터 2020까지 재난망을 구축하는 사업을 추진 중에 있다.



그림 4. 재난안전통신망 구축 추진 단계

준비단계 (‘14~‘15)	시범사업 (‘15~‘16년)	본사업		
		1단계(‘18년)	2단계(‘19년)	3단계(‘20년)
정보화전략계획 (ISP) 수립	평창 동계 올림픽 지역 평창, 강릉, 정선	중부권 5개 시도 강원, 대전, 세종 충남, 충북	남부권 9개 시도 부산, 대구, 광주, 울산, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주	수도권 3개 시도 서울, 경기, 인천

< 그간 추진경과 >

- ◇ 재난안전통신망 구축방향 확정(‘14.5.27) 및 세부 추진계획 수립(15.3.31)
 - * PS-LTE 기술방식 선정(‘14.7.31), 주파수 배정(‘14.12.10), ISP 수립(‘14.10 ~ ‘15.3월)
- ◇ 시범사업 추진(‘15.11 ~ ‘16.6월, 343억원) * 운영센터 1개소, 기지국 220개소, 단말기 2,496대 등
- ◇ 민관합동 검증(‘16.7~10월) 이후 기재부 사업계획 검토중(‘16.10월~, KDI 용역)
 - * 검증결과 사업계획 보완(사업비 1조 8,953 → 1조 9,611억원, 기지국 11,693 → 15,447개소 등)

2.3. 재난안전통신망 국외 동향

(1) 미국 (FBI, 국무성, 마약국 등) 일부기관

미국은 중앙정부가 아닌 주정부 주도로 재난기관 간 상호통신을 위해 APCO-TRS 기술을 적용한 자가망을 구축·운용하고 있으며, iDEN 기술도 병행하여 사용하고 있다. 이 중 iDEN은 일부 상용통신체계를 활용한다. 즉, iDEN은 이동통신사업자의 상용망을 사용하여 각 재난기관별 통신체계를 호환하기 위한 역할로서, 국가주도의 재난안전통신망은 아닌 것으로 파악된다. 그러나 iDEN은 2001년 9월 카트리나 태풍과 같은 천재지변 및 9.11 테러 사태와 같은 국가 재난 상황에서 재난안전통신망의 역할을 부분적으로 훌륭히 수행한 사례가 있다. 당시 재난복구현장에서 재난대응기관이 사용하는 무선통신망의 통신교류 한계에 부딪치자 iDEN 단말기를 투입·운용하여 재난대응 기관간의 상호통신을 위한 수단으로 유용하게 사용되었던 것으로 파악된다.

2009년 말 기준 18개 주정부 공공기관 및 산하 일부기관이 iDEN을 사용하였으며, 미국 연방총무국(GSA) 및 사업자간 통신서비스 제공에 관한 사용계약을 체결하였다. 미국의 iDEN 사업자인 'Sprint Nextel'은 2002년 긴급 재난지원팀인 ERT(Emergency Response Team)를 발족하였고 이후 iDEN 시스템은 700개 이상의 정부 및 공공기관에서 사용되었다.

- 워싱턴 DC에서 발생한 연쇄 저격사건 해결을 위해 2002년 가을 3주간에 걸쳐 iDEN을 활용하였다. 연방기관 및 주 정부기관 등 총 10개 기관으로 구성된 Task Force팀에서는 저격범 체포를 위해 기관간 통신호환을 목적으로 이동기지국, 600대의 단말, 통신지원인력을 편성하여 상호통신 호환이 가능한 통신체제로 활용하였다.
- 2005년 미 남동부를 급습한 허리케인 카트리나 재난 당시 75개 이상의 기관에서 7,600대의 단말기를 사용하여 교신하였다. 현재 미국

의 Sprint Nextel사는 Network Vision이라는 통신망 고도화 작업을 통해 기존 iDEN 기술방식의 망을 2013년 종료하고 850MHz 대역을 이용하여 LTE 서비스 준비 작업을 진행하고 있다. 이와 같이 Sprint Nextel사가 이후 단계적으로 서비스를 중단하겠다는 움직임이 있는 것은 중장기 서비스 발전모델이 불투명한 상황인 것으로 판단된다.

(2) 캐나다

캐나다는 미국과 비슷하게 APCO-TRS 기술방식을 사용하여 자가망을 구축·운영하고 있고 경찰 및 일부기관에서 iDEN을 재난 목적이 아닌 업무용으로 활용하고 있다. iDEN의 업무용도 이용은 캐나다의 행정서비스가 음성중심이라는 정책적 취지에서 선택되었다. 캐나다는 국가 주도 재난안전통신망이 기준화되어 있지 않으며 평상시에는 기관별 업무서비스용으로 사용하다 비상시 재난안전통신망 용도로 운영하고 있다. 경찰 및 정부기관을 중심으로 약 3천 명 정도가 iDEN 사업자인 ‘텔어스(Telus)’를 통해 서비스를 제공받고 있다.

이는 캐나다 정부가 광활한 국토에 재난안전통신망을 구축하기 위하여 통신영역 확보·유지에 소요되는 초기 구축비용 부담문제를 해결하기 위한 차원으로 판단된다.

(3) 영국

영국은 재난관련 기관이 독자적으로 무선통신망을 구축하여 운영함에 따른 중복투자 및 상호호환성 문제를 해결하기 위해 공공안전 무선통신망 프로젝트 추진을 결정하였고, 이에 따라 TETRA 기술을 활용한 “Airwave”라는 재난안전통신망 서비스를 기획 후 준 정부기관인 PITO (Police Information Technology Organization)에 의해 추진되었다.

영국의 재난안전통신망은 1993년 가능성 조사로 시작되어 1996년 입찰절차를 진행한 후 2000년 2월에 계약이 체결되었다. 2000년 8월부터

터 TETRA 시스템에 의한 시범서비스를 시행하였고, 2001년 9월부터 전국규모의 재난안전무선통신망 구축을 시작하여 2005년 말에 망 구축 사업이 완료하였다.

영국의 재난안전통신망의 초기계획은 다섯 개의 권역으로 영국 전체를 나누어서 두 개의 인프라 시스템을 구축하는 형태로 “카다시안”과 “모토롤라” 시스템을 권역별로 구축하여 상호간의 권역을 ISI 를 사용하여 연동시킬 계획이었다. 그러나 ISI 구현에 필요한 인터페이스 공개에 제조사들이 비협조적이었고 영국정부는 두 개의 권역에 각각의 시스템을 구축하는 것을 포기하고 단일 제조사 시스템 통신망으로 계획을 바꾸어 “모토롤라” 시스템 구축을 결정하였다.

(4) 핀란드

핀란드는 수많은 응급센터가 경찰 및 긴급구조기관별로 운영되어 재난안전통신망 운영에 많은 비용이 중복 투자되었으며, 아날로그 무선통신망을 사용하여 대부분 구축됨에 따라 멀티미디어서비스가 불가능하고 보안문제에 취약하다. 이런 문제를 해결하기 위해 VIRVE 프로젝트가 계획되었고 1991년부터 재난안전통신망으로서의 구축 가능성을 검토하였다. 1995년부터 입찰절차를 수립하여 1997년 12월 계약을 체결하였으며 1998년부터 TETRA 시스템의 구축이 시작되었다. 1998년 11월에 1단계 구축사업이 완료되면서 시범서비스를 시행하였고 이후 2003년에 핀란드 전역에서 통신서비스가 가능한 구축사업이 최종 완료되었다.

“캐시디안” 시스템인 VIRVE망은 재난안전 분야에 관련성이 높은 5대 필수기관을 선정하여 운영하고 있다. VIRVE망은 주요국가시설에 관련된 기관이면 가입 후 사용가능하며, 재난상황에 대응할 수 있는 관련 민간이나 기관 등은 재난대응 및 재난지원 등의 요건을 만족하는 경우에만 이용할 수 있도록 하였다. 현재 VIRVE망 사용자의 75%가 내무부 산하의 경찰, 소방, 국경수비대 등 관련 대응기관이며 이외 교통통신부, 사회보장복지부, 환경관련부서, 국가방송기관, 무역산업부서, 총리실, 대

통령실의 보안을 담당하는 부서 등에서도 이용하고 있다. 또한 일부 에너지 관련회사 및 경비회사 등에서도 VIRVE망 이용 중으로 핀란드 전역에서 광범위하게 활용되고 있다.

(5) 독일

독일은 16개 연방주에서 약 100만 명의 사용자가 사용할 “BOS_Net”을 2007년 4월부터 구축하였다. “BOS_Net”은 세계 최대 규모의 TETRA망으로서 약 3,500개의 무전기, 4개의 이동 교환센터, 59개의 모바일 교환센터, 2개의 네트워크 관리센터로 구축되었다. 평상시 업무용으로 사용되며 비상상황 발생 시 소방, 경찰, 구조대간 전국 상호통신을 보장한다. 이를 통해 독일정부는 보다 효율적으로 재난안전통신망을 운영·관리할 수 있으며, 도입당시 통화방해나 도청불가 등 보안성을 고려하여 카시디안 TETRA 시스템을 채택하였다. 또한 “BOS_Net” 시스템은 기관별 가상 사설망(VPN)으로 분할되어 각 관련기관들이 기능 프로파일이나 사설망 관리에 대해서는 독립적으로 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

독일은 2010년 11월 스웨덴 국경수비대와의 업무공조를 위하여 독일의 단말기를 스웨덴 “Trelleborg” 지역과 “Ystad” 주변 지역 교환기에 이중으로 등록하여 일시적 연동 테스트를 스웨덴과 함께 시도하였으며, 스웨덴과 독일에 구축된 TETRA는 모두 카시디안 제품으로서 상호국가간의 소방, 경찰 및 긴급구조를 위한 통신에서 원활한 상호통신이 가능하다는 점에서 큰 가치가 있다. 현재 9개 국가와 국경을 마주하고 있는 독일은 앞으로 각 국가 간의 국경업무 협력을 위해 지속적으로 상호국가간 연동 테스트에 관심을 가질 것으로 예상된다.

(6) 일본

일본의 경찰, 구급, 소방 등 재난관련 기관들이 주로 사용하는 무선통신 기술방식은 UHF, VHF, TRS(아날로그, 디지털)와 같이 다양하며,

각 기관별 주파수가 서로 다른 분산형 재난관리체계이다. 또한 지역별, 업무별로 분산되어 있는 여러 기관이 재난현장에서 신속·정확한 의사결정 및 통일된 구조작업을 수행할 수 있도록 관련기관들의 무선통신망을 상호 연동하여 운용중이다. 이러한 일본의 재난무선통신망은 국제적으로 복합기술 방식의 대표적 사례라 할 수 있다.

일본은 지형적인 영향으로 태풍, 지진, 화산 등의 피해가 자주 발생하고 있으며 재해·재난 정보의 수집 및 전달, 재해 발생 시의 신속하고 적절한 대응 등을 목적으로 재난무선통신망 구축의 필요성이 대두되었다. 이 후 1964년 6월 니이가타 지진, 1968년 5월 토카치 바다지진, 1974년 미즈시마 임해 석유콤비나이트 유출사고 등을 계기로 다양한 종류의 방재무선통신망이 본격적으로 구축되기 시작하였다.

일본은 재해·재난 정보의 수집 및 전달수단 확보와 재난발생시의 대응 업무를 목적으로 방재용무선통신망을 운용하고 있으며 단계별 통신망이 구축되어 있다. 지상의 무선통신망 및 위성통신망을 연계하여 체계적인 방재무선통신망을 구축하였고, 지진 발생 시에도 방재무선통신망의 기능을 충실히 이행할 수 있도록 내진 설계되었다. 이러한 일본의 방재무선통신망은 소방방재무선망, 도도부현 방재행정무선망, 시정촌 방재행정무선망, 중앙방재무선망, 소방구급무선망, 방재 상호통신용무선망 등이 있다.

일본은 쓰나미·태풍·지진 등 자연재해의 영향을 직간접적으로 받고 있어 백본망은 위성통신과 초고주파 통신 등으로 다원화하고, 지역망은 TRS와 비슷한 방식의 MCA(Multi Channel Access) 혹은 VHF, UHF 무선통신망을 주로 이용하고 있다. 위성통신과 초고주파 통신을 이용한 고정통신망은 주로 일제지령, 핫라인, 데이터 전송 및 원격영상감시 등으로 사용하며, 재난현장에서 관련기관들 간의 정보교환은 초소형 위성 지구국(VSAT) 및 위성이동차량(SNG) 등을 병행 사용하고 있다. 또한 지역 이동통신센터와 위성통신 운영기구를 구축하여 중앙과 지방자치단체 및 공공기관들이 저렴한 비용으로 통신망을 사용하게 하고 있다.

표 2. 외국의 국가안전통신망 사례

국가명	운영 주체 및 현황
영국 (Airwave)	<p>운영자 : mmO2(민간사업자)</p> <p>시스템·제작사 : 모토로라</p> <p>단말기 : 말코니, 클리어톤, EADS, 모토로라, 세퓨라 및 텔트로닉</p> <p>이용기관 : 경찰, 소방, 국방 등 8개 기관이 통합운영</p> <p>구성 : 교환기 56개, 교환센터 8개, 기지국 3,600개</p> <p>가입자 : 250,000대</p>
벨기에 (ASTRID)	<p>운영자 : ASTRID(연방정부 61%, 지자체 39%)</p> <p>시스템 제작사 : EADS</p> <p>단말기 : 클리어톤, EADS 및 세퓨라</p> <p>구성 : 센터 11개 및 기지국 435개</p> <p>가입자 : 37,000대(경찰기관이 50% 사용)</p>
핀란드 (VIRVE)	<p>운영자 : SSN(국영회사, 100% 정부 지분)</p> <p>이용기관 : 소방, 경찰, 교통통신부, 국경수비대, 사회보건부, 국가방송기관 등</p> <p>시스템 제작사 : EADS</p> <p>단말기 : 말코니, EADS 및 세퓨라</p> <p>구성 : 센터 6개, 교환기 15개 및 기지국 1,300개</p> <p>가입자 : 24,500대</p>
네덜란드 (C2000)	<p>운영자 : ITO(정보통신기술청 소속, 100% 정부 소유)</p> <p>이용기관 : 경찰, 소방, 응급의료, 국방, 보건복지</p> <p>시스템 제작사 : 모토로라</p> <p>단말기 : 모토로라, 세퓨라 및 텔트로닉</p> <p>구성 : 센터 1, 교환기 15개 및 기지국 387개</p> <p>가입자 : 70,000대</p>

현재 국외에서는 미국, 영국, 캐나다 등의 국가에서 PS-LTE 기반의 재난안전망 구축을 추진 중이다. 미국은 자가망 기반의 위성, 이동, 고정 기지국을 활용할 계획이며, 관리 주체는 상무부 소속의 독립기구이다.

영국은 전국을 12개 지역으로 구분하여 2020년까지 단계별 전환을

계획하고 있으며 장비는 자체 구축 후 상용망을 임대할 계획이다. 내무부 소속 범부처 공동협업 프로그램이 운영 주체로 2015년 2월에 사업자를 선정하였으며, 2020년 2월까지 구축을 추진한다.

캐나다와 칠레 등은 PS-LTE 주파수 배분을 완료하였으며, EU는 PS-LTE 전환을 위한 공동연구를 시작하였다. 현재 대부분 국가들은 음성서비스 위주의 TRS 전국 단일통신망을 운용 중이며 노르웨이, 핀란드, 호주, 네덜란드 등도 전환을 검토 중이다.

표 3. 현 외국 국가안전통신망 기술방식 및 향후계획

국가명	현행기술방식	구축방식	향후계획
미국	APCO-P25 + iDEN	자가망 + 상용망	PS-LTE 구축 추진중
일본	TETRA	자가망	PS-LTE 구축 추진중
독일	TETRA	자가망	광대역 통신망 도입 연구중
핀란드	TETRA	자가망	PS-LTE 도입 계획
스웨덴	TETRA	자가망	사용 광대역망 도입 연구중
루마니아	TETRA	자가망	-
노르웨이	TETRA	자가망	-
네덜란드	TETRA + 와이프로 시범	자가망	PS-LTE 구축 추진중
호주	APCO-P25	자가망	PS-LTE 구축 추진중
캐나다	APCO-P25 + iDEN	자가망 + 상용망	PS-LTE 구축 추진중
말레이시아	TETRA + LTE	자가망 + 상용망	-

해외 재난망 구축동향을 살펴보면, 미국은 현재 공공안전통신담당협의체(APCO)의 자체표준과 모토로라 iDEN 방식을 운영하지만, 2022년까지 상용망과 자가망을 병행하는 형태의 PS-LTE 기반 재난안전통신망을 구축예정이고, 유럽은 주로 유럽무선통신표준기구(ETSI)의 TETRA 방식을 운영 중이지만 PS-LTE 전환을 위한 연구를 시작하였다. 영국은 2020년 완료를 목표로 상용망을 활용하여 PS-LTE 재난망을 구축 중이다. 2011년부터 베이징에서 응급정보망 서비스를 시행해온 중국은 시분할(TDD) LTE 방식의 공공안전 시험망 구축을 추진하고 있다.

제3장 재난안전통신망 관련 기술 분석

무선통신이란 도체를 매체로 하지 않고 공간을 매체로 하여 정보를 저장한 신호를 전자기파를 통해 공간에 송신하고 전송된 전자기파를 수신하여 정보 신호를 검출하는 통신이다. 전파를 통해 통신하기 때문에 수신 주파수는 정해져 있으며, 전파의 전송주파수에 따라 다양한 기술로 전송된다. 통신시스템은 기술방식과 목적 및 정보 전송속도에 따라 이동통신, 위성통신 등으로 구분된다.

이러한 무선통신 기반의 재난안전통신망은 재난 시 국가 재난안전 지휘체계를 구성을 위한 기본시스템을 제공하며, 재난상황에서 정확한 의사결정을 통하여 신속한 구조작업을 수행할 수 있도록 정보를 원활하게 전송하기 위한 통신망을 말한다. 현재 국내에서는 약 320여개의 재난대응 관련기관이 반드시 재난안전통신망을 운영해야 되며, 이를 위해 재난망을 직접 운영하거나 기관별 독립망을 재난망과 연동하고 있다.

재난안전통신을 위한 무선통신 기술은 크게 디지털 TRS와 이동통신 기술로 구분된다. 디지털 TRS 기술로는 TETRA와 iDEN이 존재하고, 이동통신기술로는 LTE와 와이브로가 존재한다. 이에 대한 관련기술의 특징은 표 4에서 보여주고 있다. 현재 LTE 기술을 근간으로 한 PS-LTE 기술이 재난안전통신을 위한 차세대 재난망으로 주목받고 있으며, 3GPP의 TSG SA WG6에서 표준화를 진행하고 있다.

기존 재난망 시스템은 각 기관별로 VHF, UHF, TETRA, iDEN 등 다양한 기술방식으로 시스템을 운용하고 있으며, 2014년 말 기준 VHF 41%, TETRA 37%, UHF 15%, iDEN 3.5% 순으로 구축하여 운용하고 있는 것으로 조사되었다.

표 4. 재난안전통신망 관련 기술 특징

구분	TRS 기반		이동통신 기반		
	TETRA	iDEN	LTE	WiBro	
				셀룰러	802.16n
국제 표준 단체	ETSI	기업 표준 (모토로라 브랜드)	3GPP	IEEE 802.16e/m	IEEE 802.16n
특징	개방형 TRS (ISI:비개방)	비개방형 TRS	광대역 이동통신망	IP 기반 광대역 무선망	특수기능강화 IP 기반 광대역 무선망

3.1. 이동통신망의 기술적 발전

- 1세대 통신 : 1세대(1G) 무선 통신은 아날로그 이동통신이었으며, 주로 음성서비스가 주된 통화방식으로, 유럽에서는 NMT/TACS, 일본에서는 NTT, 미국에서는 AMPS를 기술표준으로 사용하였으나, 수량적 한계와 통신보안문제로 디지털 방식의 2세대 통신으로 전환되었다.

표 5. 1세대 이동통신 현황

구 분	AMPS	TACS	NMT-900	NMT-450	C-450	NTT
제공국가	미국	영국	북유럽	북유럽	독일	일본
서비스 개시 시기	1983년	1985년	1986년	1981년	1985년	1979년
대역폭 (kHz)	30	25	25/12.5	25/20	20	25
전송 속도 (Kbps)	10	8	1.2	1.2	5.28	0.3
다중접속 기술	FDMA					
제공 서비스	음성 통화					

- 2세대 통신 : 1세대 통신과는 달리 디지털방식(CDMA/TDMA/FDMA)을 사용하여 수용량을 증가시켰으며 통신보안을 보완한 서비스를 제공하여 보안문제도 일부 개선되었다. 유선 상용망과의 접속용이, 아날로그/디지털 혼합통신, 도청방지 등의 장점이 존재하나, 사용 주파수로 인한 로밍 제한, 저속 전송속도로 인한 멀티미디어 서비스 제공미비로 3세대 통신으로 발전하였다.

표 6. 2세대 이동통신 현황

구 분	IS-95 (CDMA)	GSM / DCS-1800	D-AMPS (IS-54/IS-136)	PDC
제공국가	한국, 미국('96)	유럽('93)	미국('95)	일본('95)
다중접속 기술	DS-CDMA	MC-TDMA	TDMA	TDMA
대역폭 (kHz)	1,250	200	30	25
전송 속도	119.2Kbps	22.8Kbps	13Kbps	11.2Kbps
제공 서비스	음성통화, 단순 Text, 4Gray 이미지 등			

- 3세대 통신 : 기존 2세대 통신에서 제공되던 저속 데이터서비스 외에 고속 데이터를 사용하여 멀티미디어서비스를 제공하는 이동 통신 서비스로 WCDMA/CDMA2000 등의 기술로 제공되었으며, 전 세계 80%의 지역에서 글로벌 로밍이 가능하였다.

표 7. 3세대 이동통신 현황

구 분	W-CDMA	CDMA2000(1x/EV-DO)
제공국가(서비스시기)	유럽('05)	미국('04)
다중접속 기술(기반기술)	비동기식CDMA(GSM)	동기식 CDMA(IS-95)
대역폭 (MHz)	5	1.25
전송 속도	2,000Kbps	1x: 384Kbps EV-DO: 2,400Kbps
제공 서비스	음성통화, 컬러 Text, 멀티미디어 이미지, VoD	
관련 국제 표준 기구	3GPP	3GPP2

- 3.5세대 통신 : 3.5세대(3.5G)는 3세대 이동통신에 비해 대략 7배 이상의 전송속도를 제공하여 대용량 데이터통신이 가능하였으며, 대표적인 기술로는 WiMAX/HSDPA/1x EV-DO 기술들이 있다, 이동단말에서도 일반 데이터통신이 아닌 초고속 인터넷과 비슷한 수준의 멀티미디어 서비스 제공하였다.

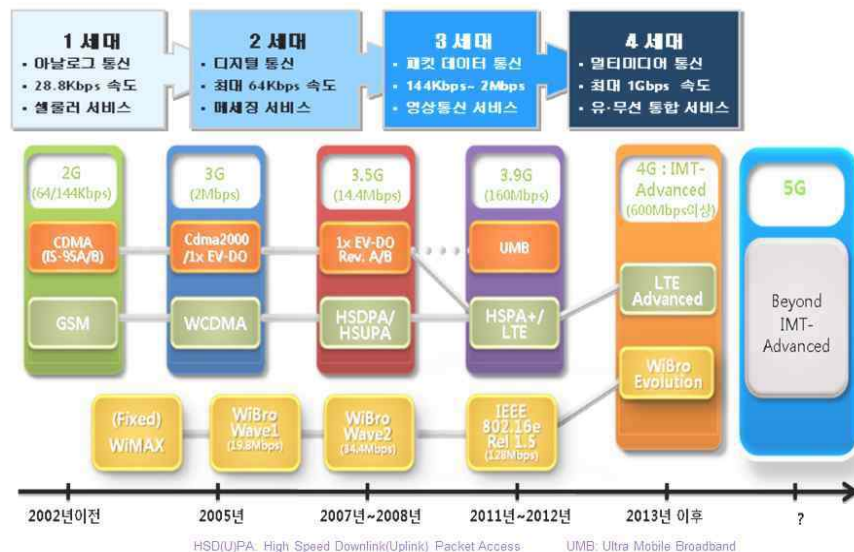
표 8. 3.5세대 이동통신 현황

구 분		Mobile WiMAX	HSDPA/HSUPA	1x EV-DO Rev A
제공국가		한국, 미국, 이탈리아	한국, 유럽	한국, 미국
다중접속방식	하향	OFDM	CDM-TDM	TDM
	상향	OFDMA	CDMA	CDMA
서비스 개시		2006.6	2006.3	2007.2
대역폭		Scalable: 4.375, 5, 8.75, 10 MHz	5.0 MHz	1.25 MHz
전송속도 (하향)		54 Mbps	14 Mbps	Rev A: 3.1 Mbps Rev B: 4.9 Mbps
제공서비스		모바일 TPS	고품질 VoD, 영상통화	
Base Standard		IEEE 802.16e	W-CDMA	CDMA2000/IS-95

- 4세대(4G) 통신 : 3.5세대 이동통신에 비해 약 40배 빠른 600Mbps 이상의 전송속도로 고용량 멀티미디어 서비스를 제공하며 유선망과 무선망이 하나로 통합되어 IP를 바탕으로 처리하는 서비스를 제공한다. 이동통신을 위한 다양한 단말에 서비스 제공이 가능하다.

표 9. 1세대 ~ 4세대 이동통신 특징

구분	1세대	2세대	3세대	4세대
표준기술	아날로그 통신	CDMA, GSM	WCDMA, CDMA2000, WiBro	LTE-Adv. WiBro-Adv.
전송속도	10Kbps	~ 64 Kbps	14.4Mbps 이내	600Mbps이상
CD1장 영화 다운로드 시간	불가능	24시간	6분 30초	9.3초
주요서비스	음성	음성, 문자	음성, 문자, 고속인터넷	음성, 문자, 초고속인터넷, 대용량멀티미디어
상용화 시기	1978년	1992년	2000년	2013년



※ 출처 : ETRI 4세대 이동통신기술 발표자료(2011.5, ETRI 인터넷연구소)

그림 5. 무선통신 발전 방향

3.2. 재난안전통신망 기술 현황 (VHF / TRS / TETRA / iDEN / PS-LTE)

VHF는 경찰청, 철도청, 소방청 등에서 주로 사용되고 있지만 보안이 취약한 기술이기 때문에 도청 및 감청의 위험성이 높고, 수용량의 한계

및 안정성이 미약해 재난망에서 요구되어지는 원활한 통합지휘체계 구축이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

iDEN과 TETRA는 디지털 TRS 기술을 이용하지만 기술규격의 차이가 존재한다. 기본적으로 TETRA는 유럽 표준(ETSI)을 준용하지만 iDEN은 미국 모토롤라에서 제안된 디지털 TRS 기술로서 이동통신기술 중 하나인 GSM을 반영하고 있다. 두 기술 모두 전파의 활용 측면에서 디지털 TRS 기술로 동일하다고 할 수 있지만 시스템 구조상 서로 다른 기술이다. 재난통신관점에서 TETRA는 보다 높은 재난대응성, 상대적으로 짧은 단말 간 직접통화 대기시간, 향상된 보안성을 제공하지만 iDEN은 이동통신기술인 GSM 구조를 기반으로 구성되었기 때문에 재난에 대한 대응성이 상대적으로 낮다고 할 수 있다. 또한 단말 간 직접통화 시 지연시간이 존재하여 상대적으로 단말 간 직접통화 대기시간이 길다고 할 수 있다. 이러한 디지털 TRS 및 iDEN은 기존 아날로그 방식에서 그 기능을 가져왔기 때문에 음성서비스 중심으로 사용될 수밖에 없으며, 향후 재난상황을 사진, 영상 등의 멀티미디어 중심으로 활용하게 되는 차세대 재난망으로 사용하는 것은 적합하지 않아 보인다. 그러나 여러 기관에서 운영 중인 시스템을 단기간에 대체할 수 없으므로 현재 구축을 진행하고 있는 PS-LTE 망과의 연동방안을 검토해야 할 것이다.

3.2.1. VHF(Very High Frequency)

현재 VHF는 12개 채널로 2~13까지, UHF는 70개의 채널로 14~83로 구성되어 있다. 각 채널 간 혼신을 방지하기 위해 대략 47개의 채널만 사용되고 있으며 수도권에서는 우선적으로 VHF 채널을 활용하고 전송이 불가능한 지역은 UHF 채널을 이용하고 있다.

VHF는 파장이 짧고 전리층에서 반사가 약하며 전파의 직진성이 강하다. 또한 전파전달 경로에 물체가 있더라도 돌아서 전송되는 회절성을 가지고 있어 전파성이 높아 근거리 이동통신, 무선호출, 항공관제 등 재

난망을 관리하는 기관에서 주로 사용되어지고 있다.

철도청에서 사용되고 있는 VHF 통신은 기관사와 종합관제센터 간 VHF 주파수 대역을 사용하여 차량무선통화가 가능하게 하고 있다. 주로 C, Y, M 3개 채널로 구성되어 전송 채널별 단일주파수로 구성되어 있으며 C채널은 기관사와 관제센터 간 1:1, 1:N으로, Y채널은 차량기지에서의 통신용으로, M채널은 유지보수 통화 채널로 사용하고 있다. 기지국은 C채널_WBS(Way Base Station)과 Y채널_YBS(Yard Base Station) 2가지 종류가 있다.

표 10. 철도청 VHF 무선통신 구분

구분	내 용
주파수 대역	• 지정주파수(VHF : 160MHz 대)
통화방식	• 반 복신 방식
통화채널	• C 채널 : 기관사 및 휴대국에서 관제 통화채널 • Y 채널 : 차량기지에서 통화채널 • M 채널 : 휴대국 및 기관사 유지보수 통화채널
통화종류	• 관제실에서 열차호출 : 개별호출, 그룹호출, 전체호출 • 이동국 및 휴대국 호출 : 관제 조작반에 열차번호 및 휴대국 ID 현시 후 통화
열차내 방송	• 차량내 방송설비와 연동하여 대승객 안내 방송 비상호출 • 차량내 승객이 관제실과 통화 하고자 할 때 조작반 통화 • 기지국의 통화범위 내에서 개별/전체 호출
핸드오버 (Hand Over)	• 통화중인 차량이 기지국과 기지국 사이 이동 시 무 중단 통화 유지

3.2.2. TRS(Trunked Radio Service)

초기에 주파수공용 통신시스템(TRS)은 단일무선망 내의 여러 단말기 사용자 상호간 또는 그룹을 형성하여 통신할 목적으로 개발되었다. 최초 아날로그방식의 상업용 시스템으로 개발되었으며, 90년 초반에 공공 안전 요구사항을 이행하는 모토롤라의 SMART Zone 그리고 에릭슨 GE의 EADCS 등과 같은 공공안전용 시스템으로 개발되었다. 디지털 통신의

급속한 발전과 함께 TRS시스템의 주파수 자원부족, 음성 및 데이터의 결합 등 다양한 통신요구가 발생하면서 아날로그 방식의 TRS는 주파수 분할다중접속방식(FDMA : Frequency Division Multiple Access), 시간분할다중접속방식(TDMA : Time Division Multiple Access) 을 사용하는 디지털 TRS기술로 발전하게 된다. 이 두 방식은 장단점이 존재하나 유럽표준인 25kHz 4slot TDMA 방식의 TETRA(Terrestrial Trunked Radio)가 먼저 상용화되면서 현재 유럽을 중심으로 빠른 보급이 시작되어 이용되었으며 서서히 차세대 재난망 시스템으로 전환 중이다.

표 11. 주파수 공용통신의 기술개요

구분	내역
개요	<ul style="list-style-type: none"> • 한정된 주파수를 다수가 공동 사용 • TRS 주장비가 유휴 통화로(주파수 또는 채널) 자동 할당 • 기지국 BTS(Base Transmission system) 사용
무선방식	<ul style="list-style-type: none"> • FDMA/TDMA • FDD 방식 : Tx(하향)/Rx(상향) 주파수 분리 • HD 통신 (Half Duplex : 반이중) • 주파수 간격 : 25kHz
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 주파수 효율 향상 • 통화폭주, 혼신, 전파 간섭 최소화 • 통화권 범위 확대 • 단말기 출력/크기/무게 감소
명칭	<ul style="list-style-type: none"> • TRS(Trunked Radio System : 유럽, 한국) • SMR(Subscriber Mobile Radio:미국) • MAC(Multi Radio Access : 일본)

우리나라도 2005년 TTA 단체표준으로 TETRA 표준을 확정하였는데, 이는 TETRA가 유럽 전기통신표준협회(ETSI)의 표준 디지털 TRS 기술로 음성과 데이터 및 멀티미디어 서비스를 지원하기 때문이다.

TETRA는 VHF에서 단일기지국은 다른 사용자와의 동시 사용이 불가능하다는 단점을 극복할 수 있을 뿐만 아니라 채널여유가 있을 시 통화 채널로 사용할 수 있어 주파수 효율성이 높다는 장점이 있다.

TRS 전송채널은 기지국별 12개 이상의 채널이용이 가능하며 여기서 사용되는 다중무선접속기법은 기지국과 이동국 간 제어정보 전송에 사용된다.

표 12. 디지털 공용주파수 통신의 특성

구분		내역
개요		<ul style="list-style-type: none"> • 아날로그 음성신호를 디지털화 및 압축 전송 <ul style="list-style-type: none"> - 전송 효율 증대 및 주파수 효율 증대 - 변조 방식(M16QAM/QPSK)을 사용 • FDMA + TDMA <ul style="list-style-type: none"> - 주파수 1파당 3~6통화로 채널
망구성	교환국	<ul style="list-style-type: none"> • 교환 시스템/BTS 관리 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 고객DB 관리 - BTS 제어 - 통화로 제어 및 접속
	BTS	<ul style="list-style-type: none"> • 무선 송수신 • 출력 : 최대 70W
	단말기	<ul style="list-style-type: none"> • 출력 : 0.6W ~ 3W • 종류 : 차량용(고정용), 휴대용
특성	시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 중앙교환 시스템 사용 <ul style="list-style-type: none"> - 교환국에 다수의 BTS 접속 - BTS 간 연동/핸드오버 가능
	단말기	<ul style="list-style-type: none"> • Talk Around : 단말기간 통신기능 <ul style="list-style-type: none"> - BTS 장애/BTS 전파범위 밖 사용시
제조사	표준	<ul style="list-style-type: none"> • TETRA : 모토롤라, 에릭슨 등(유럽표준)
	비표준	<ul style="list-style-type: none"> • iDEN : 모토롤라 • FHMA : GroTech(미)

사용자들은 타가입자들이 전송한 신호를 동일 시스템 내에서 수신할 수도 있으며, 이는 다수 가입자가 역방향링크 설정 시 트래픽 채널을 사용하기 때문이므로 다수의 트래픽 채널이 준비하여 개선할 수 있다.

원리적으로 대역폭 내에서 다수의 채널을 준비하기 위해서는 주파수, 부호, 시간의 세 가지 요소가 필요하며 주파수를 이용한 주파수분할다중접속(FDMA), 부호를 이용한 부호분할다중접속(CDMA), 시간을 이용한 시분할다중접속(TDMA)방식을 활용하여 채널을 확보할 수 있다.

3.2.3. TETRA 기술 분석

TETRA(TErrestrial Trunked RAdio)는 TDMA를 활용한 채널확보를 통해 신호를 전송하며 보통 1개 채널에 4개의 타임 슬롯을 이용하여 주파수 효율을 높인다. 또한 제어 동기화 프레임은 다중 액세스 처리가 가능한 slotted ALOHA 방식을 사용한다. 주파수 간격은 25kHz로 이러한 상세기술내역은 표 13과 같다. 이 기술은 유럽표준회의(ETSI: European Telecommunications Standards Institute)에 의해 표준화가 이루어진 TRS의 무선통신기술로서 기술적 개방성이 다른 디지털 TRS 방식보다 우수하며, 아날로그 방식보다 통화품질이 높다. 또한 혼선 없이 음성·데이터전송이 가능하며, 데이터의 사용 시 타임슬롯 양에 따라 변화가 있으나 전송 속도는 최저 28.8Kbps를 보장한다.

표 13. TETRA 네트워크 특성

구분	내역
개요	<ul style="list-style-type: none"> • 아날로그 음성신호를 디지털화 및 압축 전송 <ul style="list-style-type: none"> - 변조 방식(4D QOSK)을 사용 • FDMA + TDMA <ul style="list-style-type: none"> - 주파수 1파당 4통화로 채널 (4:1 TDMA)
접속방식	시분할 다중접속 (TDMA)
채널효율	25, 50, 100, 150kHz
변조방식	$\pi/4$ QPSK, $\pi/8$ D8PSK, 4/16 QAM, $\pi/4$ DQPSK
음성코딩	ACELP(4.56Kbps)

데이터전송속도		28.8kbps(Release 1.0) ~ 540kbps(Release 2.0)
망구성	교환국	<ul style="list-style-type: none"> • 교환 시스템 구성 내역 <ul style="list-style-type: none"> - 교환기 - BTS 관리 시스템 - 회선장비(Router)
	BTS	<ul style="list-style-type: none"> • BTS 구성 내역 <ul style="list-style-type: none"> - BTS 제어기 - 무선송수신장치 • 출력 : 무선송수신장치 당 25W
	단말기	<ul style="list-style-type: none"> • 출력 : 1W ~ 10W • 종류 : 차량용(고정용), 휴대용
특성	시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 특수 목적용 소용량 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 가입자 용량 : 50만명(DB 용량) - BTS 수용 용량 : 32 ~ 80 국소 (제조사별 상이)
	단말기	<ul style="list-style-type: none"> • 크고 무거움 • Direct Mode(Talk Around) : 단말기 간 통신기능 • Dynamic Regrouping
서비스	무선통화	<ul style="list-style-type: none"> • 개별/그룹/선별 그룹 • 비상통화/우선통화/그룹 Scan 기능 등
	이동전화	<ul style="list-style-type: none"> • 착신호 전환
	무선데이터	<ul style="list-style-type: none"> • 무선 모뎀(PC/PDA/FAX 연결)

TETRA의 가장 큰 특징은 일대 다 그룹지령 통화방식이라는 것이며, 그룹구성 시 업무내용과 관련된 사용자 단말기로 그룹을 구성하여 다수 사용자가 지정된 무선채널을 공동 이용하여 시스템 주파수 효율을 높일 수 있다.

3.2.4. iDEN 기술 분석

iDEN(integrated Dispatch Enhanced Network) 기술은 미국 모토로라사가 개발하여 상용화하였으며 단일통신망에 디지털 휴대전화, 광역무전기능, 팩킷 데이터기능을 연동시켜 개발한 TRS방식의 무선통신기술이다. 시분할다중접속(TDMA) 방식 및 GSM 구조를 바탕으로 양방향 무선통신, 디지털 통화기능, 문자기능이 사용가능하고 다른 망과의 연동

또한 제공하기 때문에 미국, 캐나다 등의 국가에서 사용되고 있다. 주파수특성 및 네트워크특성은 표 14와 같다.

표 14. iDEN 네트워크 특성

구분		내역
개요		<ul style="list-style-type: none"> • 아날로그 음성신호를 디지털화 및 압축 전송 <ul style="list-style-type: none"> - 변조 방식(M16QAM)을 사용 • FDMA + TDMA <ul style="list-style-type: none"> - 주파수 1파당 6통화로 채널 (6;1)
접속방식		TDMA
채널대역폭		25kHz
변조방식		M-16QAM
음성코딩		ACELP (4.56Kbps)
데이터전송속도		원시속도 : 96Kbps, 유효속도 : 22Kbps
망구성	교환국	<ul style="list-style-type: none"> • 교환 시스템 구성 내역 <ul style="list-style-type: none"> - 무선통화 교환기 - 무선통화 패킷복사기 - 패킷 교환기 - 이동전화 교환기 - 음성코딩 변환기 - 음성사서함/단문메시지 시스템 - 무선 데이터 교환기 - BTS 관리 시스템 - 회선장비(DACS)
	BTS	<ul style="list-style-type: none"> • BTS 구성 내역 <ul style="list-style-type: none"> - BTS 제어기 - 무선송수신장치 • 출력 : 무선송수신장치 당 10W/40W/70W
	단말기	<ul style="list-style-type: none"> • 출력 : 0.6W ~ 3W • 종류 : 차량용(고정용), 휴대용
특성	시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 공중망용 대용량 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 가입자 용량 : 150만명 - BTS 수용 용량 : 2,000 국소
	단말기	<ul style="list-style-type: none"> • 소형 경량 • 무선 인터넷 및 무선 멀티미디어 서비스 가능

		<ul style="list-style-type: none"> - UP 브라우저 및 J2ME 장착 • Talk Around : 단말기간 통신기능 - BTS 장애/BTS 전파범위 밖 사용시
서비스	무선통화	<ul style="list-style-type: none"> • 개별/그룹/선별 그룹 • 무전 Two Number • 비상통화/우선통화/그룹 Scan 기능 등
	이동전화	<ul style="list-style-type: none"> • 복수 번호 서비스(발·착신 Two Number) • 착신호 전환 • 음성사서함/단문 메시지 서비스
	무선데이터	<ul style="list-style-type: none"> • 무선 모뎀(PC/PDA/FAX 연결) • 무선 인터넷 서비스 • 위치 추적 서비스

iDEN은 가입자당 최대 100kbps 데이터 전송속도를 제공하는 WiDEN 기술을 개발하였으며, 이 기술은 최대 데이터 전송속도가 128kbps인 CDMA2000 1x 기술과 유사하다.

3.2.5. PS-LTE 기술 분석

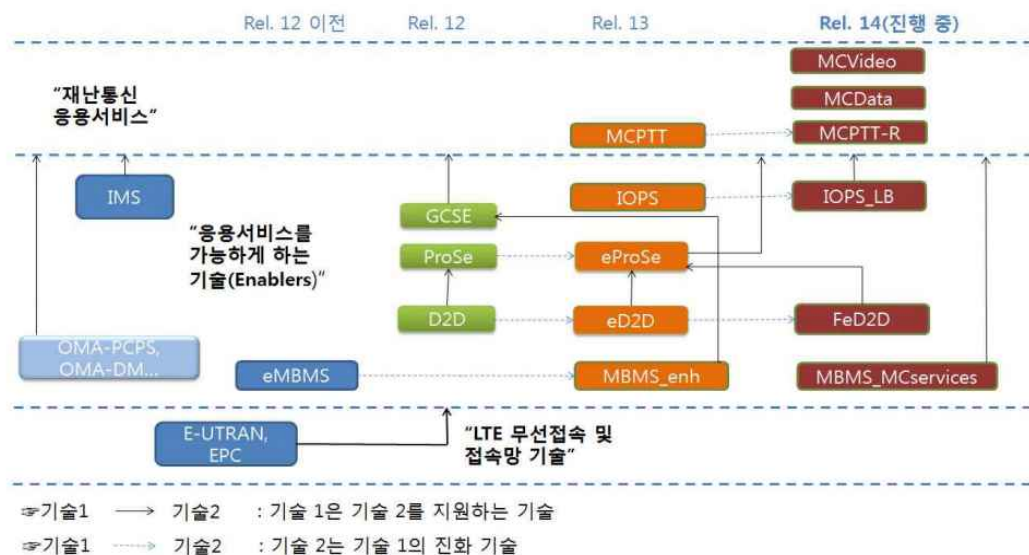


그림 6. PS-LTE 기술 간 관계도

LTE는 OFDMA 전송방식을 근간으로 MIMO 등 다중안테나 기술을 적용하여 고속 데이터전송 및 멀티미디어 서비스가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 40여개의 표준화된 주파수 대역을 사용할 수 있어 다양한 대역폭의 지원이 가능하며, FDD와 TDD의 기술적 유사성으로 광범위하게 이용되고 있는 기존 표준화장비를 활용 가능하여 이를 통해 단말확보비용과 망 구축비용을 절감할 수 있다. LTE 기술을 사용하여 하향 10MHz, 상향 10MHz, 2x2 MIMO 기술의 FDD 시스템을 구축할 경우 하향링크 최대 75Mbps의 전송속도를 확보할 수 있게 된다.

PS-LTE는 가입자가 인지할 수 있는 응용서비스기술로 그룹 간 멀티미디어 서비스인 MCVideo, 그룹 간 통화 서비스인 MCPTT, 그룹 간 데이터 서비스인 MCData가 제공되며, 이런 응용서비스를 구현하는 기반기술로 기지국 범위 내외에 존재하는 단말들에 단말 간 직접 통신이 가능하게 하는 (e)ProSe, (e)D2D와 네트워크 및 무선자원을 절약하면서 그룹 간 통신을 효율적으로 지원하는 GCSE, eMBMS 기술 및 기지국과 사용망 간 연결이 해지되었을 경우 기지국 독자적으로 응용서비스가 가능하게 하는 IOPS 기술이 존재한다.

3.3. 재난안전통신망 주파수 사용 실태

3.3.1. 국내 동향 분석

국내 TRS 주파수는 자가업무용 380MHz대와 통합지휘무선통신 및 통신사업을 위한 800MHz로 구성되어 있다. 통합지휘무선통신망의 구축·운용을 위한 주파수는 TETRA 방식에 맞는 주파수를 지정한다는 원칙에 따라 800MHz 대역에 10MHz를 지정하였다.

현재 국내에서 380MHz와 800MHz대의 TRS 주파수는 국방부, 국민안전처, 경찰청 등의 재난안전 관련기관과 SK에너지, 한국전력, 포스코, 대우해양조선 등의 공공·민간기관이 이용 중이며 KT파워텔, 티온텔레콤 등이

통신사업용으로 할당받아 운용 중에 있다. 800MHz 대역의 경우 국민안전처, 경찰청, 지자체 등의 재난안전 관련기관이 통합지휘무선통신망으로 이용 중이며, 일부 정부 및 의료기관이 통신사업용 주파수로 서비스를 이용하고 있다.

TRS 용도로 할당된 800MHz 주파수 중에서 KT 파워텔 14MHz→10MHz(811~816, 856~861MHz), 티온텔레콤 4MHz→2MHz(816~817, 861~862MHz)로 대역을 조정하여 재할당하기로 방송통신위원회(2011.6.22)는 의결하였다. 회수되는 주파수에 대해서는 무선국 재배치기간 등을 감안하여 회수시기를 1년 범위 내에서 일정기간 유예하되, 해당 사업자로 하여금 재배치 계획을 수립하여 최종 회수시기를 결정하기로 하였다.

380MHz 대역의 경우, 800MHz 대역에서 통합지휘무선통신망이 구축·운용됨에 따라 기존 800MHz 대역에서 운용 중이었던 한국전력, 포스코 등 총 8개의 공공·민간기관이 380MHz 대역으로 전환하여 자가통신망 등의 용도로 이용하고 있다.

차세대 재난망으로 구축되고 있는 PS-LTE 주파수대역은 700MHz의 20MHz폭을 활용할 계획으로 발표되었다. 해당 주파수대역은 사용이 없어 즉시 이용할 수 있으며 가용 대역폭 확보도 가능하다. 또한 주파수 특성상 전파 효율성이 높아 재난망 구축비용도 타 주파수 대역에 비해 낮다. 현재 1.8GHz의 경우 700MHz 대비해서 약 3.3배, 2.6GHz는 약 4.5배의 구축비용이 발생할 것으로 예상된다. 또한 미국과 유럽도 재난통신망으로 700MHz 대역을 채택하고 있어 국제적 추세와도 적절하다는 분석이다. 우리나라의 재난망은 철도망(LTE-R), 해상통신망(LTE-M : e-Nav)과 함께 활용할 수 있도록 추진되며, 전국적으로 자가망으로 구축한다. 이때 기존 LTE 상용망 시설을 일부 활용하여 음영지역을 커버할 수 있도록 연동시키는 방안에 대해 검토되고 있다.

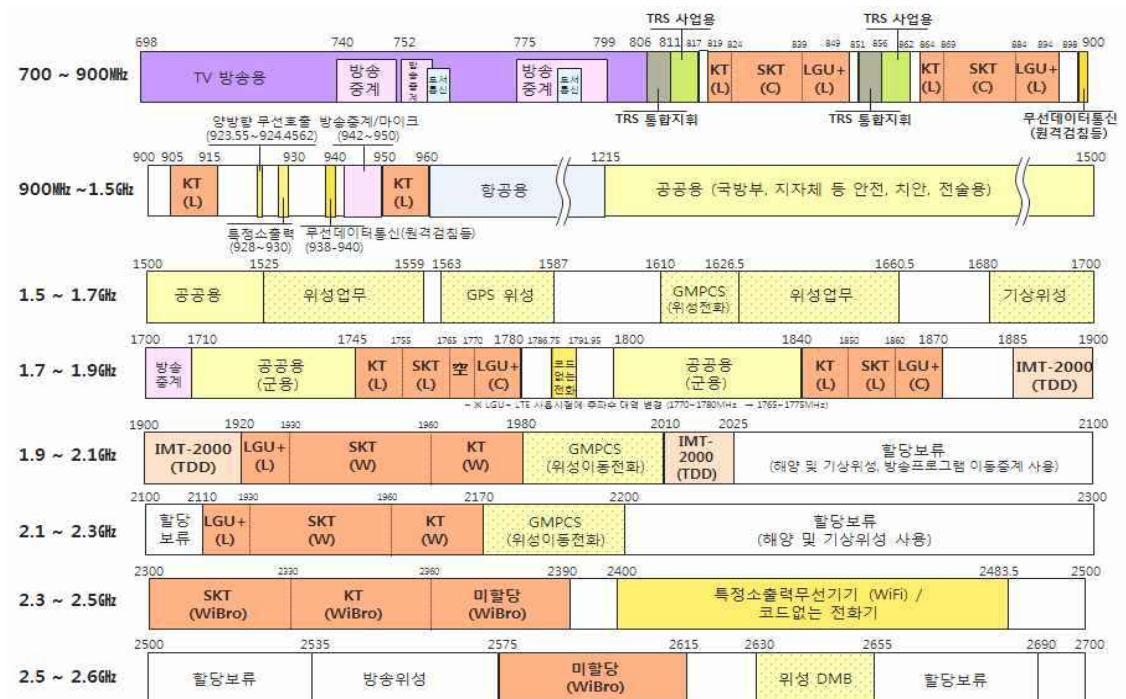


그림 7. 700MHz ~ 2.6GHz 대역의 주파수 사용 현황

표 15. 주파수공용 통신주파수 분배 현황

구분	380MHz	800MHz			
		A대역	B대역	C대역	D대역
상향	371.5 ~ 381.5 (10MHz)	806 ~ 810 (5MHz)	811 ~ 815 (5MHz)	816 ~ 820 (5MHz)	821 ~ 823 (3MHz)
하향	389.5 ~ 399.5 (10MHz)	851 ~ 855 (5MHz)	856 ~ 860 (5MHz)	861 ~ 865 (5MHz)	866 ~ 868 (5MHz)
용량	400파	200파	200파	200파	120파
용도	자가망용	자가망용	사업자용	사업자용	사업자용

각 재난망 사용기관의 무선통신 기술방식은 기존 VHF, UHF와 상대적으로 최근 개발된 아날로그/디지털 TRS기술 등이 다양하게 분배되어 있다. 많은 기관이 VHF, UHF를 사용 중이며, 다음으로 TRS(아날로그/디지털) 방식을 대략 37% 가량 운영하고 있다. 이외 위성통신 방식 또한 5% 가량 이용되고 있는 것으로 조사되었다.

표 16. 기관별 무선통신망 기술방식 이용분포

기술방식	이용기관 구분							합계	분포율
	경찰	소방	해양경찰	광역자치단체	기초자치단체	의료기관	공공기관		
TRS-iDEN	-	-	1	2	9	11	-	23	7.5%
TRS-TETRA	12	5	1	2	30	-	3	53	17.3%
TRS-아날로그	1	-	-	5	25	4	2	37	12.1%
UHF	2	8	1	9	19	-	-	39	12.7%
VHF	10	7	1	12	98	1	-	129	42.0%
VHF/UHF	-	-	-	-	1	-	-	1	0.3%
MF/HF	2	-	1	2	3	-	-	8	2.6%
무선Mash	-	-	-	2	-	-	-	2	0.7%
위성전화	1	-	-	1	11	-	-	13	4.2%
위성통신	-	-	1	-	1	-	-	2	0.7%
합계	28	20	6	35	197	16	5	307	

가장 많이 사용하는 통신기술은 약 41%의 기관이 운용중인 VHF용 100MHz~199MHz 주파수대역이었으며, 다음으로 사용이 많은 주파수대역은 TRS용 800MHz~899MHz 대역을 약 37%, UHF용으로 400MHz~499MHz 대역을 약 12%가 사용하고 있는 것으로 확인되었다. 그러나 현재 UHF, VHF 등의 무선통신장비를 이용하는 기관들은 주파수가 서로 상이해 상호간 직접 무선통신은 어려운 실정이다.

표 17. 기관별 주파수 이용분포

주파수 (Hz)	이용기관 구분							합계	분포율	대기종류
	경찰	공공기관	광역자치단체	기초자치단체	소방	의료기관	해양경찰			
800-899M	14	4	5	63	5	15	2	108	35.1%	TRS
898-938M			1					1	0.3%	
400-499M	2		7	18	8		1	36	11.7%	VHF/UHF
200-400M		1	1					2	0.6%	
199-299M			3	1				4	1.3%	
100-199M	10		12	95	7	1	1	126	40.9%	
100-500M				2				2	0.6%	
1-99M	2		2	5			1	10	3.2%	MF/HF
12-14G				1			1	2	0.6%	위성
1-2G, 2-3G	1		2	12				15	4.9%	
2-2.5G, 5G			2					2	0.6%	무선Mash
합계	29	5	35	197	20	16	6	308		

3.3.2. 국외 주파수 사용 분석

국외 재난통신 주파수 운영현황을 살펴보면 미국과 일본은 800MHz 주파수대역을, 유럽의 경우 380MHz 및 400MHz 주파수대역을 일반적으로 이용하고 있다. 하지만 최근 테러 및 대형화·복합화된 재난 등에 신속히 대응할 수 있는 차세대 재난안전통신망의 필요성이 국제적으로 대두되어, 미국과 영국의 경우 재난망 구축을 위한 주파수 확보를 위하여 주

파수 재배치 및 정비를 추진하고 있다.

- 미국의 TRS 주파수는 800MHz 대역(806~816MHz/851~861MHz)에 주로 할당되어 있으며, 896~901MHz/935~940MHz와 929~932MHz의 900MHz 대역을 추가적으로 이용한다. 이외에도 공공안전을 위한 주파수 추가 지정을 위하여 DTV 방송으로 인한 764~776MHz/794~806MHz의 잉여 주파수 24MHz를 공공안전용으로 전환할 계획이며 800MHz 대역(806~824MHz/851~869MHz)은 시스템 간 간섭 문제해결을 위하여 재배치를 진행 중에 있다. 미국의 800MHz TRS 주파수대역은 소방, 경찰 및 긴급의료 서비스를 위한 공공안전용 TRS 및 NEXTEL사가 서비스하는 iDEN 방식에 의해 주로 이용되고 있다. 그러나 최근 동일주파수 및 인접주파수 채널에서 운영되는 상업용 무선시스템(low-site)과의 상호간섭 문제가 심각하여 800MHz 대역에 대한 재배치를 추진하게 되었다. 이러한 800MHz 대역 주파수 재정비는 관련기관 APCO(800Association of the Public Safety Communications Officials), TA(Transition Administrator), NEXTEL에 의해 수행되고 있다. 추가적으로 CFR(Council on Foreign Relations) 90.1213에 따르면 4,940~4,990MHz 대역을 5, 10, 15, 20MHz 대역폭으로 총 18개 채널운용 중이며, 연방정부의 면허 허가를 받은 기관에 한하여 공공안전을 지원하는 목적으로만 운용된다.
- 영국 및 유럽에서는 단일화된 공공안전망(TETRA : TErrestrial Trunked RAdio) 구축을 위해 380MHz, 450MHz 및 800MHz 대역의 재배치를 계획 중이다. 380~385MHz와 390~395MHz 대역은 NATO(North Atlantic Treaty Organization)와 CEPT(The Conference of European Postal and Telecommunications Administrations)에 의해 유럽 전체의 공공안전을 위한 TETRA 주파수 대역으로 지정되어 있다. RA(Radio-communications Agency)는 410~470MHz 주파수 대역을 공공용으로 재배치하겠다는 계획을 2000년 발표하

였고, 유럽 공공안전을 위한 무선통신(TETRA) 주파수로 450~470MHz 대역을 지정하였다. 그러나 유럽지역 공통주파수 지정에는 어려움이 있어 각 국가별로 410~420MHz 및 420~430MHz를 TETRA 용으로 설정하였고 일부 주파수대역은 다른 용도로 사용되고 있다. 이런 이유로 일부 TETRA 장비업체는 870~888MHz 및 915~933MHz 대역장비의 개발을 검토하였으나, 해당 주파수 대역은 유럽의 각 국가별로 군사(military), 지역 고정(WLL, Wireless Local Loop), 이동(mobile), 항공(air navigation)용 등 각기 다른 목적으로 이용하고 있어 공통주파수 대역분배는 어려운 실정이다.

① 380~400MHz 대역 : 응급용 및 공공안전용으로 분배되어 상업용으로는 사용 불가능

② 410~430MHz 대역 : 개인 사업용 및 국방부에서 사용 중

③ 450~470MHz 대역 : 정부망 및 일부 공중망으로 사용 중이나 이후 유럽 각 국가들 간의 TETRA 공통대역 서비스를 위해 주파수로 재배치 중

④ 870~876MHz/915~921MHz 대역 : 이동전화망과 근접한 주파수 대역으로 국방부와 공유하여 분배되어 있음

- 일본은 미국 및 영국과 다르게 지진과 같은 자연재해가 많아 재난 발생 시 통신로 확보를 위하여 공공통신사업자가 운영하는 통신망과는 별도로 방재무선통신망을 운영하고 있다. TRS는 800MHz 대역을 주로 사용하여 공항무선전화통신망(공항 MCA, 830~832MHz 및 885~887MHz), 지역방재무선통신망(846~850MHz 및 901~903MHz), MCA(836~838MHz 및 891~893MHz, 850~860MHz 및 905~915MHz) 방식을 이용 중이며 추가적으로 마이크로 대역인 1.5GHz 대역(1453~1477MHz 및 1501~1525MHz)을 사용하고 있다. 800MHz 대역 외에도 1.5GHz대역에서도 MCA 시스템을 운영 중이며 아울러 셀룰러 및 IMT-2000과 같은 이동 통신 서비스의 효율성을 위하여

800MHz 대역의 기존 공항 MCA는 2012년 8월까지 400MHz 대역으로 지역 방재무선통신망은 260MHz 대역으로 재분배되었다. 836~838 MHz 및 891~893MHz 대역의 MCA는 2007년에 사용을 종료하고, 850~860MHz 및 905~915MHz는 2007년 3월에 재분배되었다.

3.4. 소결

기존 재난안전무선통신망은 음성서비스 중심의 유·무선 통신기술을 기반으로 화재·자연재해·범죄·테러 등 재난·재해 상황별 지휘체계가 분리되어 있고 기관별 통신기술도 상이하게 운용하고 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 선진국들은 재난상황과 대형 사고에 신속하게 대처하기 위하여 단일화된 통합 국가재난안전무선통신망의 필요성을 인지하고, 멀티미디어 전송이 가능한 광대역 이동통신기술 기반의 차세대 국가재난안전망 구축을 추진하고 있다. 차세대 국가재난안전무선통신망은 응급상황에서 일원화된 지휘통신체계를 이루어, 신속성·이동성·유연성을 기반으로 여러 재난상황에서 구조 상황파악, 원격 응급 진료, 공문서 전송 등의 체계적이고 효율적인 대응을 가능하게 할 것이다.

현재 재난안전무선통신은 전송량에 따라 협대역(Narrowband), 광대역(Wideband, Broadband)으로 분류된다. 협대역(Narrowband) 서비스는 전송속도가 10~50Kbps로 음성 및 문자를 중심으로 한 저속데이터 서비스를 제공하며, 광대역(Wideband) 서비스는 수백 Kbps급의 전송속도로 웹브라우징, 이메일, 저해상도 영상 전송이 가능하다. 역시 광대역(Broadband)인 브로드밴드 서비스는 1~100Mbps 급의 고속데이터 전송이 가능하며, 고해상도 멀티미디어서비스 전송 등에 이용된다. 재난안전무선통신은 일반 상업용 이동통신서비스와는 차별화된 기능을 요구하고 있다. 다양한 재난상황에서 대응 가능하여야 하며 여러 공공 수행기관이 사용하기 때문에 다양한 기종의 상호 운영성이 확보되어야 한다. 또한 동시 다발적 재난에 대응하기 위해 많은 가입자 사용용량을 확보할

수 있어야하며 도·감청 방지를 위한 보안성 역시 요구된다.

재난안전 무선통신망의 고도화를 위해서는 상대적으로 환경의 영향을 적게 받고 통신품질이 양호한 1GHz이하 주파수 20MHz 대역폭이 필요하다. 그러나 데이터 전송량을 증가시키기 위하여 상용망과 같은 형태의 광대역 서비스를 이용하는 것은 전파자원인 주파수의 효율성과 경제성 측면에서 적절하지 않으며, 이를 위해 구축되어 있는 상용망과의 연동을 검토하여 설치가 어려운 도서산간 지역의 이중투자를 피하고 한정된 주파수자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 추진하는 것이 현시점에서 적절할 것으로 판단된다.

국내 재난무선통신망 운용현황을 살펴보면 VHF용 100MHz~199MHz 주파수 대역을 약 41%, 다음으로 TRS용 800MHz~899MHz 대역을 약 37%, UHF용 400MHz~499MHz 대역을 약 12%가 이용하고 있는 것으로 확인된다. UHF, VHF 무선통신장비를 이용하는 기관이 다수이지만 사용하는 주파수와 적용기술이 다르고 때문에 기관 간 직접적인 무선통신은 어려운 실정이다.

국외 재난통신망 관련 주파수분배 현황을 보면 미국과 일본은 800MHz 대역을, 유럽은 380MHz 및 400MHz 대역을 주로 이용하고 있다. 미국의 경우 기존 800MHz 대역에 DTV 전환에 따른 700MHz 대역을 추가로 지정하였다.

세계주요국은 VHF, UHF, TRS 통신방식을 테러 및 재난 대처를 위한 국가공공안전 무선통신망으로 활용하고 있지만, 보다 대형화·복합화 되고 있는 다양한 재난상황에 대응하기 위한 차세대 재난무선통신망의 운영을 검토하고 있다. 이를 위해 미국, 영국 등의 주요국은 주파수 확보를 위한 주파수 재배치 및 정비를 추진하고 있다.

국제적으로 여러 국가에서 더욱 안정적이고 재난망 구축을 위해 노력하고 있다. 하지만 재난망의 구축이 완료된다 하더라도 관리와 점검의 부재로 망의 안정성을 보장할 수 없다면 그 역할은 제한적일 수 밖에 없다. 효율적 주파수분배 및 관리를 위해서는 지속적인 확인과 점검이

필요하며, 이를 위해 전문성을 갖춘 기관에서 정기적으로 관리하는 것이 가장 합리적인 방법이다. 우리나라에서 현재 구축중인 PS-LTE는 LTE를 기반으로 서비스를 제공할 예정이므로 LTE 망에 대한 이해도가 높고 경험이 많은 전문기관이 관리하는 것이 적절하다는 것이 본 보고서의 판단이다.

제4장 통합 공공용 재난안전통신망 현황 및 활성화 방안

4.1. 통합 공공용 재난안전통신망 도입 경과

앞서 언급한 바와 같이 2014년 국정과제(총체적 국가재난관리체계 강화)로 재난안전통신망 도입계획이 선정되어, 이후 국무회의에서 행정안전부(망구축 담당)와 과학기술정보통신부(기술방식 선정 및 주파수 공급 담당)가 재난안전통신망 도입에 협력하여 추진하기로 하였다.

과학기술정보통신부는 산업계 의견 수렴과 국내외 기술 동향조사 및 전문가 검토 등을 거쳐 2014년 7월 재난안전통신망 구축을 위한 기술방식 선정 결과를 발표하였다. 기술방식은 LTE 기반의 PS-LTE 방식으로 선정되었고, 구축방식은 자가망을 기반으로 일부 상용망 시설을 활용하고, 주파수는 가장 낮은 가용 주파수 대역인 700MHz 대역 20MHz 폭으로 제시하였다. 아울러 향후 구축 될 철도망(LTE-R), 연근해통신망(LTE-M)과 통합·운영하도록 제시하였다.

국가재난안전통신망 계획이 마련되고 사업자도 선정되면서 국토교통부, 행정안전부, 해양수산부는 국가 재난안전통신망과 철도망(LTE-R) 및 해상망(LTE-M)이 연계되는 통합 재난안전통신망 구축을 추진하고 있으며 이를 위해서는 재난안전통신망의 시스템 운용 효율성 향상, 주파수 공동 사용으로 인한 중복투자 방지, 통신망 시스템 간의 간섭 방지가 중요 해결 과제가 될 전망이다.

지난 2015년 11월 국토교통부와 해양수산부는 700MHz 주파수 대역의 통합 재난안전통신망 협력 계획을 발표하였다. 국토교통부는 내구 기간이 만료된 철도노선을 중심으로 700MHz 대역 LTE-R을 2018년까지 도

입할 계획으로, 한국도시철도공단의 제3차 국가철도망 구축계획에 따라 2022년 LTE-R 구축사업을 시작으로 2027년까지 29개 노선의 구축 사업을 완료할 계획이다. 현재 구축중인 재난안전통신망과 공동 주파수 사용은 중복투자를 방지하는 이점은 있으나, 공동 주파수 사용에 대한 간섭 현상 및 타 시스템과의 연계에 따른 안정화 문제도 고려되어야 한다.



그림 8. 재난안전통신망 서비스 제공 방안

해양수산부는 국내 연안선과 어선에 이용되는 LTE-M 통신망 구축 계획을 발표하였다. LTE-M은 재난안전통신망 서비스와 전자해도 기반의 한국형 e-네비게이션 서비스를 함께 제공한다. 연안에서 해상으로 전파를 전송하기 때문에 철도망 간섭문제와 같은 간섭 우려가 없지만, UHD 방송과의 간섭 문제가 발생할 수 있어 이 문제에 대해서는 부처간에 공동 대응하기로 하였다.

2016년부터 해양수산부는 행정안전부와 LTE-M 구축을 위해 상호협력하기로 하였으며, 기존 해상통신망의 전송 속도 및 용량 한계와 데이터 통신 기반의 멀티미디어 안전서비스의 필요성이 강조됨에 따라, 초고속 무선통신망인 LTE-M을 활용하여 이러한 한계점을 극복하려고 한

다.

2014년 6월 세월호 사건을 계기로 국가 재난안전통신망은 LTE 방식으로 기술방식을 확정하였고, 기존 LTE 방식에 그룹 통화, 단말기 간 직접 통화, 단독 기지국 기능, 멀티미디어 전송 기능 등 재난안전통신망 용 기능이 추가된 PS-LTE(Public Safety-LTE) 방식이다.

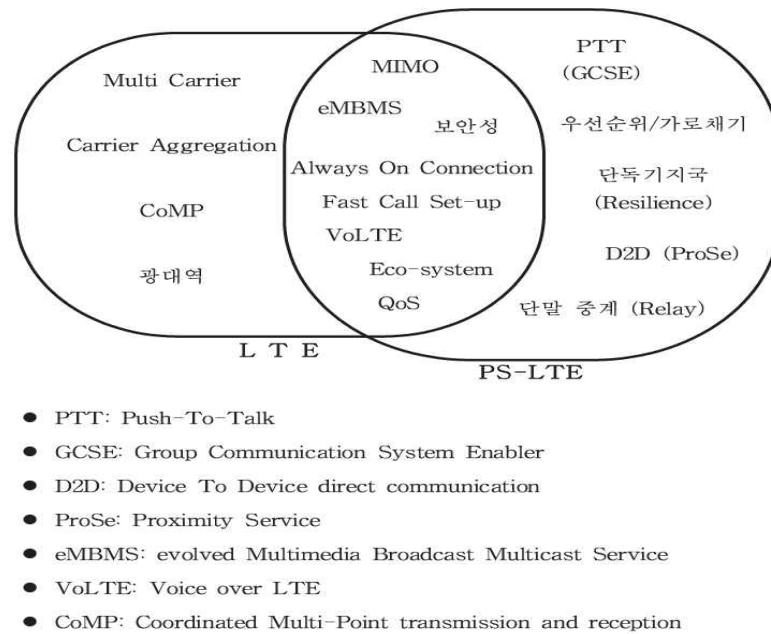


그림 9. LTE 및 PS-LTE 개념

4.2. 통합 공공용 재난안전통신망 추진현황

4.2.1. PS-LTE(Public Safety Long Term Evolution)

PS-LTE 구조는 PS-LTE 단말기, PS-LTE 무선 액세스망, LTE 코어망 그리고 재난안전통신망으로 구성되고, PS-LTE 단말기는 휴대 이동 단말 또는 경찰, 소방 등의 차량국으로 구성되어, LTE 코어망을 인식하기 위한 USIM(Universal Subscriber Identity Module)을 포함

하고 있다. 또한 경찰, 소방관, 군(軍) 등 관계자들 간의 통신 등을 지원하는 PS-LTE 종단 엔터티 역할이 가능하며, PS-LTE 무선 액세스망은 NeNB(Nomadic eNode-B), eNode-B와 이동 기지국이 존재한다.

eNode-B는 PS-LTE 단말기와 LTE 코어망을 연결하여 LTE 망과 같은 무선 통신 중계기 역할을 하고, NeNB는 PS-LTE망에서 백홀 장애발생을 지속적으로 감지하며, 백홀 연결 상실 상황 발생 시 단독 기지국 운용 모드를 지원하고, EPC 간의 백홀 연결 복구 시점을 파악한다.

이동 기지국은 이동성을 가지는 차량 등의 개체로서 eNode-B와 같은 역할을 이행한다.

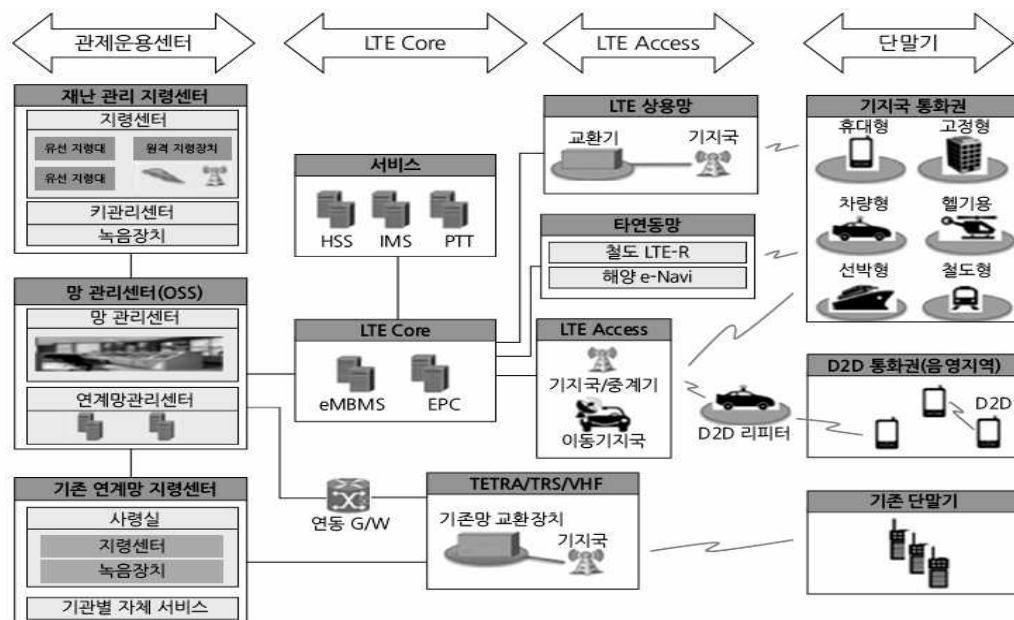


그림 10. PS-LTE 기본망 구성도

현재 세계적으로 음성·문자 중심의 협대역 서비스에서 동영상 등의 멀티미디어 서비스를 결합시킨 광대역 재난안전통신망 PS-LTE 구축에 많은 관심을 보이고 있다. PS-LTE의 Release12와 13에서 단말 간 직접 통신(D2D: Device to Device, ProSe; Proximity Based Services), 그룹 통신(GCSE: Group Communication System

Enablers), 단독 기지국 운용 모드(IOPS: Isolated E-UTRAN Operation for Public Safety), 재난안전용 무선 서비스(MCPTT: Mission Critical Push To Talk)등이 표준으로 제시되고 있다.

국내 PS-LTE 현황은 2016년 1분기까지 주요 기능을 표준화 하고, 전국 단일의 재난안전통신망 구축 목표를 위하여 2015년 11월부터 2016년 6월까지 재난안전통신망 시범사업을 추진하였다. 그리고 Release 13 표준화 작업에 과학기술정보통신부가 협력하였다.

국내 재난안전통신망은 철도 분야에서 먼저 광대역 철도 제어 통신망의 무선 접속 규격과 철도 이용자를 위한 광대역 서비스망 무선접속 규격 표준 개발 연구가 진행되었다. 국내 PS-LTE 구축을 위해서는 기존 LTE망과 LTE-R(철도망), LTE-M(해상망) 등이 함께 연동이 되어야 한다.

(1) Release 12 GCSE(그룹통신)

그룹 통신인 GCSE는 MCPTT와 같은 그룹 LTE 기반의 동시 멀티미디어 전송 기술(eMBMS, enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service)을 사용하여 일정 지역 내 다수의 사람들에게 그룹 통신을 전송할 수 있게 해 주는 기술이다. GCSE은 SA2를 중심으로 표준화가 추진되고 있으며, 2015년 Release 12에 포함되어 표준화가 완료되었다.

(2) Release 13 MCPTT(재난안전용 무선 서비스)

MCPTT는 기존 LTE 전송기술(LTE Uni-cast)뿐만이 아니라, 동시 멀티미디어 전송 기술(LTE Multi-Cast)과 근접 단말 간 통신 기술(ProSe)을 사용하는 상태에서도 무선 통신 서비스(Push To Talk)가 가능하도록 설계되었다. 그리고 MCPTT는 크게 On/Off-Network 모델로 구분할 수 있는데, On-Network 모델은 LTE 무선 네트워크를 의미

하는 EPS(Evolved Packet System)를 이용하여 MCPTT 서비스를 가능하도록 하는 것을 말하고, Off-Network 모델은 네트워크 영역을 벗어난 지역에서 LTE 무선네트워크의 지원 없이 근접 단말 통신 기술인 ProSe를 사용하여 MCPTT 서비스가 사용되는 것을 말한다.

(3) Release 13 ProSe(근접 단말 간 통신)

LTE 기지국 신호가 전달되지 않는 지역인 Off-Network 지역에서 근접 단말 발견과 단말 간 통신 기술이 PS-LTE의 주요 기능이다. 단말 간 통신 기술은 1:1 통신, 단말을 중계 하여 기지국으로 전송하는 기술, 단말 간 중계 기능을 사용하여 서로 통신하는 기술로 나누어져 있다.

(4) Release 13 IOPS(단독 기지국 운용 모드)

단독기지국 운용 모드(Isolated E-UTRAN Operation for Public Safety)는 핵심 서비스망인 LTE 교환국과 기지국 사이를 연결하고 있는 유선 백홀 구간에 문제가 발생하였을 때, 이동형 혹은 고정형 기지국에 존재하는 Local EPC가 핵심 서비스망에 존재하는 LTE 교환기를 대신하여 접속 서비스를 제공하는 기술이다.

4.2.2. LTE-R(Long Term Evolution - Rail)

철도 관련 기관들은 국토교통부를 중심으로 2010년 이후부터 철도 통합 무선통신망 기술 개발을 위한 조사·분석을 시작하였고, 2012년에는 기존 재난안전통신망과 혼용이 가능한 LTE(Long Term Evolution) 방식의 철도 통합 무선통신망 개발 및 구축을 발표하였다. 관련 기술은 철도용 주파수 확보, 철도 제어, 재난통신 등에 적합한 LTE 기반의

LTE-R(LTE Railway)로 정의하였다.

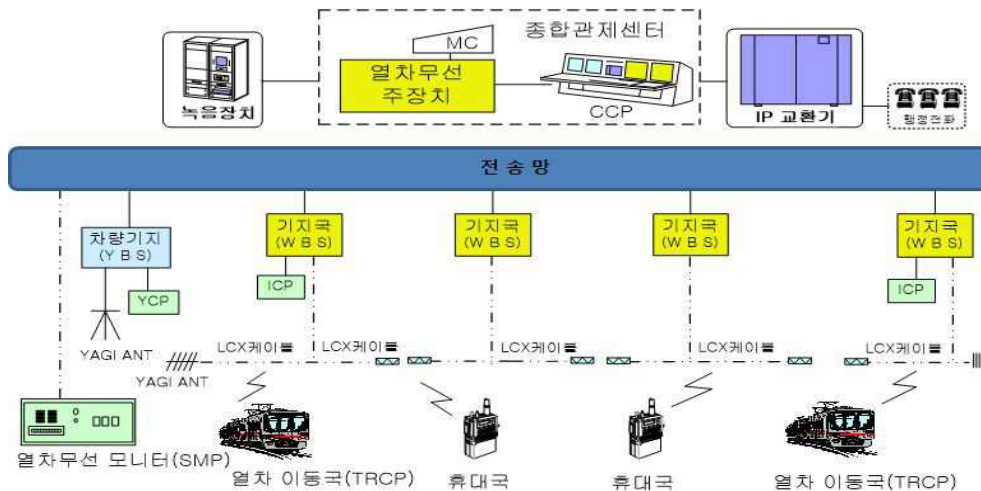


그림 11. LTE-R 무선 통신 구성도

국내 철도 무선통신망은 일반철도의 경우 VHF, 고속철도 1단계는 TRS-ASTRO, 고속철도 2단계는 TRS-TETRA로 매우 복잡하게 구성되어 있다. 이로 인하여 운영 및 유지보수를 위한 효율성 문제가 발생하였고, 개별 통신방식에 따른 별도의 무전기를 휴대해야 하는 문제가 있다.

또한 기존 방식으로는 초고속 데이터 전송이 불가능하여 새로운 멀티미디어 서비스를 도입하기 어려운 상태였다. 이에 LTE 기반의 철도 무선통신시스템을 표준화하면서 철도 운영과 제어에 필요한 철도 통신시스템 요구사항과 구조 표준을 제정하였다.

LTE 기반 철도 무선통신시스템은 열차 제어를 위한 데이터 서비스, 음성통화, 영상 서비스 제공과 기존 철도 무선통신망과 연동이 가능하도록 고려되었다.

열차 상태 모니터링은 열차 속도가 350km/h 이상의 고속으로 운행하는 환경에서 열차 정보를 LTE-R 통신망을 통해 송수신하도록 설계되었으며, 열차 운행 감지 및 제어는 최고의 우선순위를 갖고 동작할 수 있도록 설계되었다.

철도 통합 무선통신망에서 가장 중요한 성능 요구사항은 350km/h 이상의 속도에서 안정적 서비스를 제공하는 것이다. 이를 위해 국토교통부를 중심으로 2025년까지 전국 4800km 철도 구간을 LTE 기반 무선 통신으로 교체할 계획으로, 2017년 부산 도시철도 1호선 41km 구간에 LTE 기반 철도 무선통신망을 시범 구축하여 기능 검증을 수행하였다.

LTE-R은 열차 운전 및 시설 유지보수 업무를 위하여 이동하는 열차와 지상 간 또는 열차와 열차 간, 지상 상호간의 무선 등 유·무선이 결합된 상호 정보 교환 시스템이며, 일반·고속철도의 운영 및 제어를 위하여 열차 제어시스템 및 LTE-R무선망과 LTE-R단말로 구성된 시스템이다.

철도 운영기관의 LTE-R 구축현황은 표 18과 같다. 구축된 곳은 철도시설공단의 원주~강릉 구간과 부산교통공단위 1호선 구간이며, 김포경전철, 서울교통공사, 공항철도는 국가재난통신망과 상호 연동 네트워크로 구축 중에 있다.

표 18. LTE-R 구축현황

운영기관	구간	구축현황
철도시설공단	원주 ~ 강릉	2018년 준공
공항철도	전체	구축 중
부산교통공단	1호선	2017년 준공
김포경전철	전체	구축 중
서울교통공사	2, 5호선	구축 중

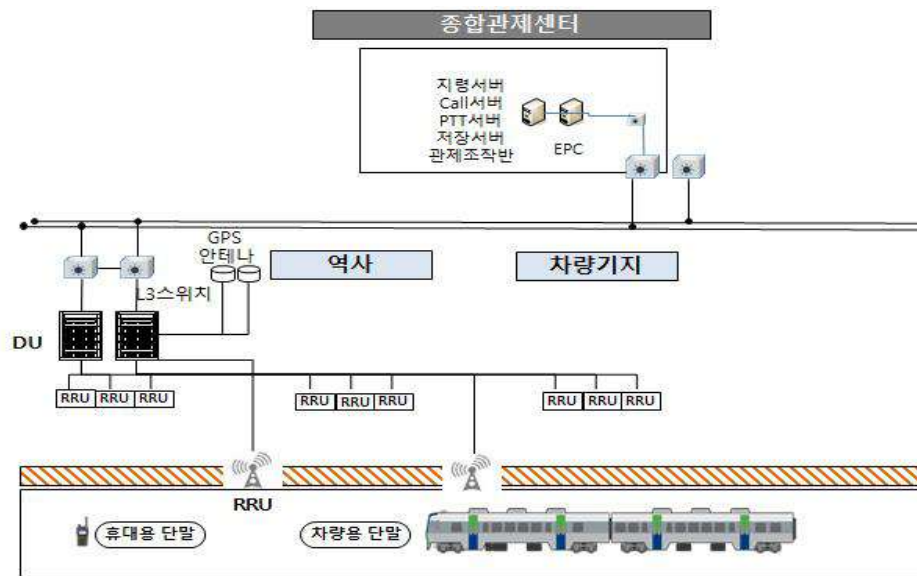


그림 12. LTE-R 시스템 구성도

LTE-R은 고속데이터 이동통신 규격인 4G LTE(Long Term Evolution)를 철도 무선통신망에 적합하도록 개발한 규격으로 음성통신, 데이터, 영상 전송, 열차 신호제어가 가능한 철도 무선통신 시스템이다.

또한 LTE-R 철도 무선통신 시스템은 열차제어를 위한 데이터 서비스, 무선통신을 위한 음성서비스, 영상서비스를 제공하며, 국가 재난안전 통신망과 연동기능을 지원한다.

LTE-R 철도 무선통신 시스템은 LTE-R 코어망인 중앙제어장치(EPC), 각종 서버, 네트워크 전송망, 관제조작반, 운영자 관리장치로 구성되어 있다. 3GPP LTE기반 무선 액세스망으로는 DU, RRU, 안테나가 있다. 또한 LTE-R 단말기는 휴대용단말기와 차상장치가 있다.

EPC(Evolved Packet Core)는 MME, P-GW, S-GW, PCRF, HSS 등으로 구성되어 있으며, 음성데이터, 영상통화 기능제공 및 DU, RRU에서 발생하는 음성, 영상, 데이터 호 제어가 가능한 장치이다.

MME(Mobile Management Equipment)는 eNB와 S-GW(Serving Gateway)의 사이에 있는 시스템으로 eNB(Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network Node B)의 이동성을 관리하며,

P-GW(Packet Data Network Gateway)는 S-GW와 PDN(Public Data Network) 사이에 있는 시스템으로 S-GW를 IP네트워크에 정합하고 PDN과 UE간에 트래픽을 송수신하며, QoS를 제어한다. 그리고 S-GW(Serving Gateway)는 eNB와 P-GW 사이에 있는 시스템으로 eNB를 IP네트워크에 정합하고 eNB와 P-GW간의 트래픽을 송수신하고 QoS를 제어한다.

HSS(Home Subscriber Service)는 가입자 식별, 인증 등 주요 정보를 관리하고 세션 및 서비스 제어를 위한 정보를 저장한다. UE별로 인증을 위한 Key정보와 가입자 프로파일을 가지고 있는 DB이다. 가입자 프로파일에는 가입자 QoS 등급 정보가 있으며, 인증 Key정보와 가입자 프로파일은 UE가 LTE-R망에 접속할 때 HSS에서 MME로 전달된다.

PCRF(Policy and Charging Rule Function)은 IMS를 통하여 멀티미디어 서비스 제공 시 QoS 및 과금 정책 제어기능을 제공한다.

eNB는 UE와 MME, S-GW 사이에 있는 시스템으로 무선자원 관리와 사용자 데이터 및 제어 데이터에 대한 암호화·복조화 기능을 하며, MME의 라우팅 UE에서 제공하는 정보를 판별할 수 있는 MME 선택 기능이 있다.

4.2.3. LTE-M(Long Term Evolution - Maritime)

LTE-M 시스템은 기존 상용 LTE 시스템과 같이 3GPP의 LTE 관련 기준을 만족하는 통신 시스템이며, 기존 상용 통신망과는 별도로 독립 시스템으로 구성된다. LTE-M 주파수는 통합 공공용 재난안전통신망으로 할당된 700MHz 대역 LTE Band 28을 사용한다.

시스템 구성은 기존 상용 시스템과 구성면에서는 같으나, 가장 큰 차이점은 상용 LTE 서비스는 스마트폰을 비롯한 다양한 형태의 단말을 사용하고 음성 서비스와 데이터 서비스가 모두 중요하지만, LTE-M에서는 라우터 형태의 단말을 통신장치로 사용하여 데이터 서비스를 주로

사용한다.

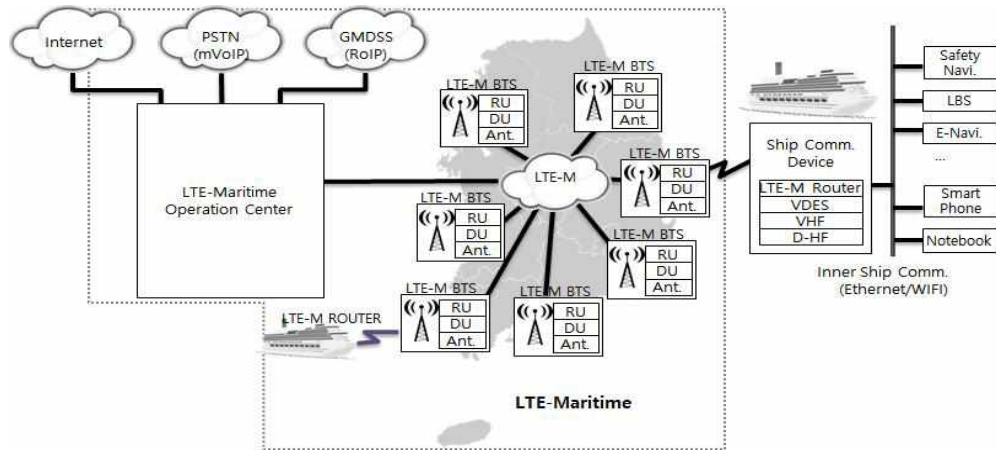


그림 13. LTE-M 시스템 구성도

또한 LTE-M 선박 서비스는 전용 라우터를 기반으로 통신서비스를 이용하도록 되어 있다. 대부분의 선박 안전서비스는 데이터 위주 서비스이며 음성은 mVoIP(Mobile Voice over IP) 기능을 지원하고 있다.

e-Navigation 서비스를 위해서 사용되는 LTE-M 전체 시스템 서비스 구성은 그림 13과 같다.

LTE-M 운용센터는 시스템 관제를 담당하는 부분으로 단말 관리, 망 관리 등의 기능을 수행한다. LTE-M 기지국은 RU(Radio Unit), DU(Digital Unit), 안테나로 이루어진다. 안테나는 LTE-M에서 사용하는 700MHz 대역 주파수에 맞춰져 있고, 해상 장거리 통신이 가능하도록 이득이 높은 안테나를 사용한다. LTE-M용 단말 장치인 선박용 라우터 시스템은 선박 외부에 설치되어 선박의 다양한 정보통신 서비스에 연결될 수 있도록 LTE 무선 연결을 이더넷 연결로 변경해주는 역할을 한다. 선박의 각종 서비스 장치들은 이더넷 통신으로 LTE-M 라우터를 경유하여 외부 네트워크와 연결된다.

LTE-M은 한국형 e-Navigation 서비스를 위한 통신 인프라로 사용되어, e-Navigation 시스템으로부터 전자해도나 원격 모니터링과 같은

기본 서비스 연결을 위해서 활용된다. 또한 인터넷망에 연결되어 있으므로, 선박에서 스마트폰이나 PC를 통한 일반적인 인터넷 서비스가 가능하다.

표 19. LTE-M 기능적 특징

Item	Function
Coverage	100km 거리의 통신 커버리지 지원 (전송 성공률 : 90%) 30~40km 거리 서비스 (전송 성공률 : 95%)
Throughput	평균 10Mbps 이상 셀 엣지에서 1Mbps
Service	전자해도, 선박 안전관리 자료의 원활한 송수신
Internet	사용자 스마트폰 및 PC 이용 가능
Voice	mVoIP를 이용한 음성통신 지원

LTE-M의 선박용 라우터 시스템은 정보통신 서비스를 지원하는 시스템으로 기지국과 단말에서 기존 상용 서비스와 차이가 발생한다. 기지국이 담당하는 하나의 Cell Size가 기존 상용 LTE 통신망에 비해서 상당히 크며, 거리상으로 100km, 폭은 40km에 이른다. 이러한 특성으로 인하여 1개 Cell에 다수 사용자가 집중될 수 있다. 또한 선박에 장착되므로 이동 속도가 느리고, 거리가 멀어질수록 핸드오버가 적게 발생한다.

사용자 단말인 UE(User Equipment)는 스마트폰이 아닌 라우터를 사용한다. 라우터 형태의 단말을 사용하게 되면 휴대 단말에 비해 충분한 안테나 이득을 얻도록 제작할 수 있다. 또한 이더넷이나 Wi-Fi를 통하여 여러 종류의 단말이 LTE 통신을 이용할 수 있다. LTE-M은 해상에서 서비스되므로 장애물이 거의 없는 공간에서 사용하게 되어, 노이즈나 전파 방해 요소가 적어서 신호 품질이 우수하다.

LTE-M은 100km 거리에 이르는 통신 가시거리 확보를 위해 안테나 높이와 거리에 따른 통신 속도 편차 등을 고려해야 한다. 100km 서비스 커버리지를 위해 기지국 높이는 고지대를 선정하는 것이 유리하다. 그러

나 해안에 충분한 높이의 기지국 설치 장소를 확보하기 어려울 수 있으므로 소형 선박이 주로 활동하는 집중구역인 30~40km의 서비스를 위해서는 100~150m 높이에 기지국을 설치하는 것을 고려해야 한다. 기존 상용 LTE 통신망을 위한 기지국 중에서 LTE-M 서비스에 적당한 높이와 위치가 되는 기지국을 통해 서비스를 공유할 수 있다.

기존 해상 무선통신망은 용량과 속도의 한계로 인하여 데이터 통신 기반의 해상 안전서비스를 지원하기 어려웠다. 또한 소형 선박과 어선들은 무선설비 설치가 면제되는 경우가 있어, 해상 사고 발생 시 조난 사고에 대비한 통신 수단이 없는 경우가 존재한다. 국내 연안의 다양한 선박에 e-Navigation 서비스를 지원하기 위해서는 초고속 해상 무선통신망이 필요하다.

4.3. 통합 공공용 재난안전통신망 활성화 방안

4.3.1. Wi-Fi를 활용한 재난안전통신망 활성화 방안

전 세계적으로 이동통신망 기반 구조가 LTE 기반 All-IP로의 전환이 지속적으로 추진되고 있는 상황이며, 누구나 손쉽게 이용할 수 있는 ISM 대역을 사용하는 Wi-Fi 기술의 장점을 이용하여 802.11n을 시작으로 802.11ac Gbps급 전송 기술의 고도화에 따라 LTE와 Wi-Fi를 혼용하고자 하는 여러 솔루션들이 개발되고 있다. 재난안전통신망 시스템 역시 광대역 서비스이며, 광역적인 이동성을 제공한다는 전제하에서 LTE와 Wi-Fi 간의 혼용을 통해 장점을 극대화하고자 3GPP 표준화 방법 및 그 외의 여러가지 방안에 대해서 살펴보고자 한다.

기본적으로 PS-LTE는 LTE의 기본 특징을 공유하기 때문에 PS-LTE 또한 LTE와의 Wi-Fi 연동 방안도 같다고 판단된다.

현재 LTE와 Wi-Fi 간 결합 기술은 기본적으로 LTE 속도를 높이기

위한 방법으로 여러 LTE 채널을 결합시켜 전체 주파수 대역폭을 넓혀 사용자의 속도를 높이는 방법인 LTE-CA 기법을 활용하여, 그대로 LTE와 Wi-Fi 간 결합에 적용시켰다.

현재 두 가지 방법으로 LTE 기반의 Wi-Fi 결합 방안이 존재한다.

① 3GPP 기반의 LTE/Wi-Fi 병합

② IETF 기반의 LTE/Wi-Fi 병합

먼저 3GPP 기반의 LTE/Wi-Fi 병합 방법은 LTE CA를 그대로 ISM 대역으로 확장하는 LTE-U/LAA 방안과 LWA 방안 두 가지 방안이 존재한다. 첫번째인 LTE-U/LAA 방안은 모든 채널을 LTE로 접근한다는 부분에서 LTE CA와 같으나 운용 주파수 대역을 ISM 5GHz 대역을 사용한다는 점에서 LTE CA와 다르다. LTE 채널이 주 채널이 되며, ISM 채널은 부 채널로서 LTE 데이터 전송을 보조할 뿐 단독으로는 이용되지 않는다. ISM 대역은 Tx 출력에 제한이 있기 때문에 LTEU/LAA의 주요 사용 케이스는 스몰셀이 된다. LTE와 Wi-Fi는 채널 접근 방식이 다르며, Wi-Fi 대역 할당 및 Wi-Fi 대역에 적용되는 규제는 국가별로 다르다. 이 방안에서 문제점은 LTE와 Wi-Fi의 채널 접근 방법이 달라 발생하게 되는 공용 채널(co-channel)에서의 fair access 문제이다. LTE와 Wi-Fi가 같은 채널에서 전송을 시도하게 되면 LTE가 채널을 먼저 점유해 버려 Wi-Fi 전송이 힘들어지게 된다. 그리고 면허 대역을 사용하는 LTE는 사용자 및 가입자들이 채널 액세스 경쟁을 없이 기지국이 스케줄링하여 전송하는 반면, ISM 대역을 사용하는 Wi-Fi는 사용자끼리 상호 경쟁하여 채널 접근 기회를 가져야 전송할 수 있기 때문이다.

두번째 LWA 방안은 LTE-U/LAA가 5GHz의 새로운 하드웨어를 사용해야만 가능하기 때문에 기존 단말과 기지국을 활용할 수 있는 방안으로 LWA가 나타났다.

LWA는 LTE 트래픽을 전송할 때 LTE-U/LAA 처럼 ISM 대역을 사용하나, LTE-U/LAA와는 다르게 Wi-Fi로 전송하기 때문에 LTE용 5 GHz 하드웨어 사용 없이 Wi-Fi AP들을 사용하여 LTE 트래픽을 전송할 수 있다. 또한 Wi-Fi AP들은 별도 GW 없이 인증 보안 등의 LTE 코어망 기능들을 사용할 수 있고, 기존 native Wi-Fi AP 사용에 영향을 미치지 않는다.

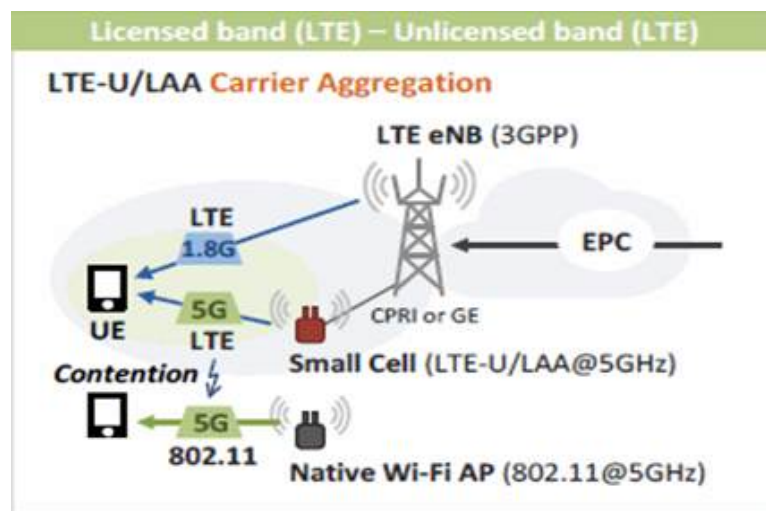


그림 14. LTE-U/LAA 방안 (source: NETMANIAS)

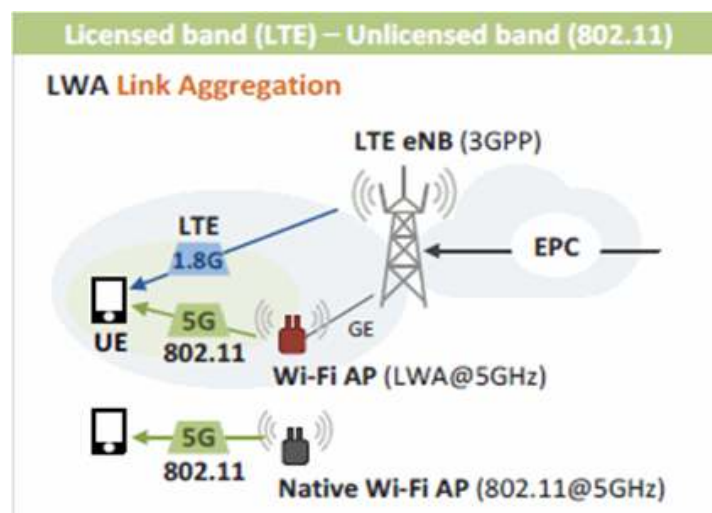


그림 15. LWA 방안 (source: NETMANIAS)

IETF 기반의 LTE/Wi-Fi 병합 방법은 3GPP에서 주도하는 LWA로 LTE와 WiFi를 무선 링크 레벨에서 연결하는데 비해, IETF MPTCP WG에서 주도하는 MPTCP는 LTE와 WiFi를 TCP 레벨에서 연결하여 활용한다.

MPTCP WG의 주된 목표는 기존 인터넷 인프라나 응용의 변화 없이 기존 인터넷 환경에서 안정적으로 동작하면서 가능한 모든 경로를 사용하여 데이터를 전송하는 것으로, 전송 계층 프로토콜인 TCP 프로토콜을 MPTCP로 확장하였다. 기존 TCP가 단말과 서버 간 하나의 TCP 경로로만 설정하던 것에 비해 MPTCP는 단말과 서버 간 여러 TCP 경로를 구성하여 동시에 데이터를 전송할 수 있다.

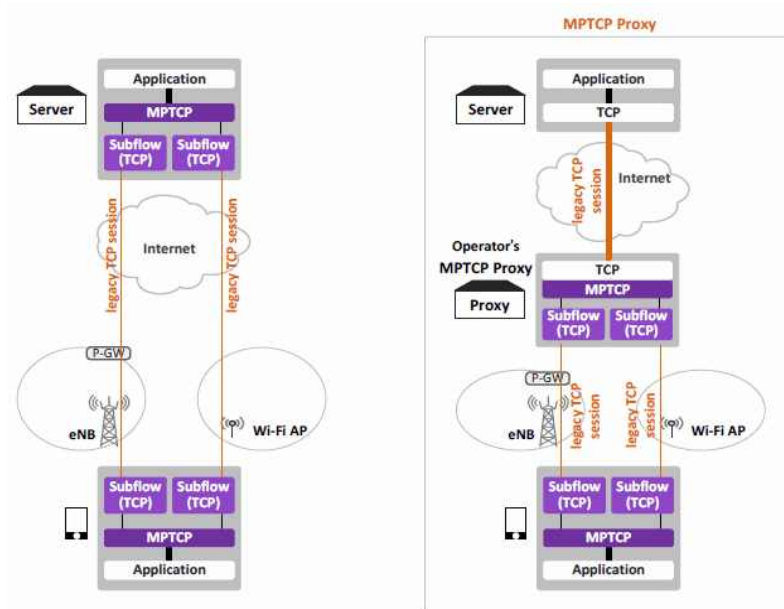


그림 16. IETF MPTCP 방안 (source: NETMANIAS)

4.3.2. 드론을 활용한 재난안전통신망 활용화 방안

군사적 목적으로 개발된 초기 드론은 현재 레저, 농업, 항공 촬영, 감시, 관측 등의 상업적 용도 및 다목적으로 개발되면서 활용도 폭이 넓어

지며 인기가 증가하고 있다.

그러나 통신 보안의 어려움과 Wi-Fi 기반의 거리제약 문제로 인해 각종 범죄 등에 이용 될 우려가 있다. 그러나 거리 제한 문제를 제외하고는 가시 거리내의 이동 자유로움으로 인해 활용도가 높다. 이러한 거리 제한 문제를 해결하기 위해 상용망 연동 서비스 및 관련 연구가 진행되어 왔다.

특히 드론과 LTE 통신망 연동 및 드론 무선 충전 기술의 결합 시너지는 드론 활용도를 크게 향상시킬 것으로 기대된다.

드론의 경우 Wi-Fi를 활용한 드론 무선통신 방식을 활용하여 동영상 등의 멀티미디어 전송이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 그러나 드론의 약점인 적은 활동 시간과 비행 거리의 제약으로 인해 재난망에서의 활용도는 떨어진다고 할 수 있다. 이를 위해 드론 이동 기지국(중계기 기능 탑재)을 활용하기 위해서는 기존 보다 많은 활동 시간을 위한 무선 충전 기술 및 배터리 용량 증가를 기반으로 통신 거리 한계를 벗어나기 위해 LTE 망을 활용한 드론을 사용하는 것이다.

드론의 통신거리 제한을 극복하게 된다면 LTE 망으로 연결된 드론을 통해 주변 영상정보 등을 실시간으로 확인이 가능하여, 주변 환경에 적합하게 드론운용이 가능해지며, GPS 모듈 고장이나 GPS 송수신이 불가능할 경우에는 LTE 기지국 신호를 수신하여 위치 파악이 가능하여 인근 기지국으로 이동이 가능해진다. 이때 기지국 신호는 고정 기지국 또는 위치가 파악된 이동 기지국을 활용하여 위치 인식이 가능하게 된다. 아울러 고정 기지국으로부터 받은 신호를 드론 자체가 수신하여 이동 기지국의 기능을 수행할 수도 있다.

드론은 무선 조종을 통해 3차원 상에서 이동하게 되는 이동 단말이라고 볼 수 있다. 따라서 드론에 다양한 계측 장비를 부착하여 여러 통신 방식으로 네트워크 통신망을 구축하고자 하는 연구가 시도되어 왔다. 특히 화산 폭발, 지진, 쓰나미 등과 같은 재난·재해로 국가 기반 네트워크 인프라가 붕괴된 상황에서 드론을 활용한 재난 정보통신망 구축을 제

안한 연구에서는 드론을 활용하여 통신이 가능한 기지국을 검색하고, 기지국과 정보를 전송하는 동안 호버링하면서 기다린 후, 자신의 처음 위치가 등록된 기지국으로 돌아가 자료를 전달하는 방법이며, 충전이 필요하면 이동 기지국으로 돌아가는 방법이다.

이는 재난 시 기존 네트워크망이 붕괴되어 정보를 전달하지 못하고, 단말 또한 이동형 기지국의 중계기 역할 및 자체 기지국 기능 수행이 불가할 때 통신복구를 위해서는 많은 시간이 소요된다. 드론을 활용한 통신 기능의 일시적 정상화 및 영상·위치 정보를 활용한 구조자 위치와 재난의 진원지를 찾고자 할 때 사용될 수 있다.

초창기에는 배터리 소형화와 소용량 한계로 인해 장시간의 비행시간 확보가 곤란하였으나, 기술 발전에 따라 점차 비행시간이 증가하고 있으며 군집 드론 편대를 활용한 네트워크망 구성 시 보다 광범위한 지역을 대상으로 통신 서비스가 가능케 된다.

현재 드론 위치파악을 위해 여러 방식이 고려되고 있으나, 주로 LTE 네트워크망에서 3가지 방안으로 고려되고 있으며, 3GPP Release 9에서 정의된 OTDoA(Observed Time Difference of Arrival), A-GNSS(Assisted Global Navigation Satellite System), ECID(Enhanced-Cell ID) 방법이 사용된다.

드론의 근접 LTE 기지국을 찾아가는 방식은 하향 신호가 여러 기지국에서 전송되어 오는 시간 차이를 이용해 단말 위치 및 거리를 구하는 방식인 OTDoA가 있다. 또한 A-GNSS는 구름이나 안개가 심한 날씨나 GPS 신호 오류 등의 경우가 있어 적합하지 않다. E-CID 방식은 전송 영역 중첩이 심한 도심지역에서는 부적합한 방식이다.

PS-LTE의 경우, 재난안전통신망 특성상 다수의 기지국을 설치하기가 힘들고, 안정적인 통신을 위한 다양한 방안이 필요로 하게 된다. 따라서 안정적인 통신을 위한 방안 중 USN 기법을 활용하여 연동하는 방안이 적절하다고 판단된다.

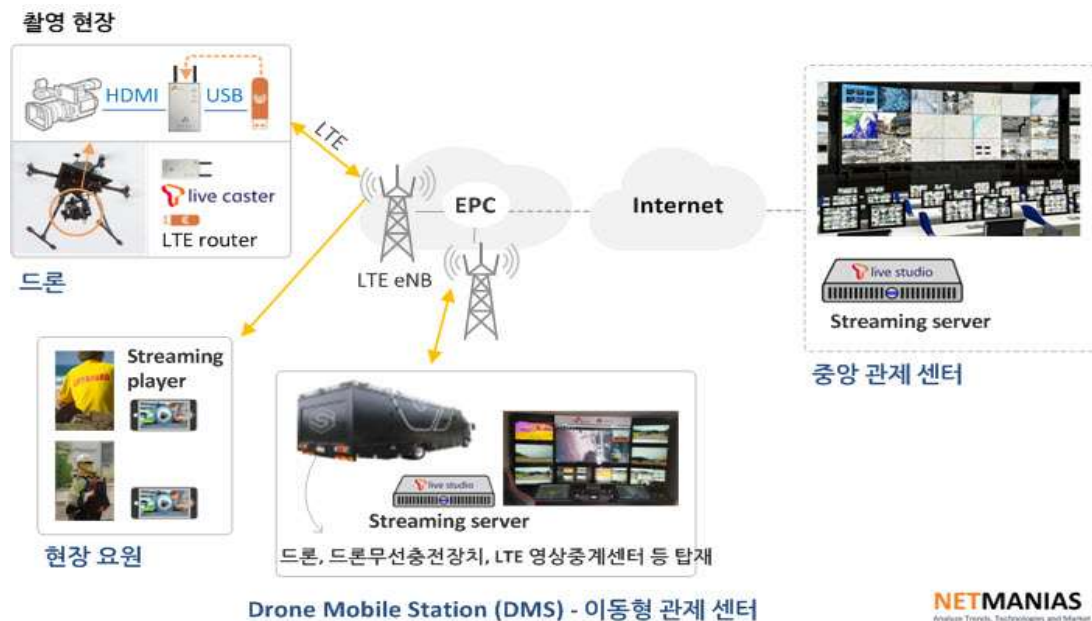


그림 17. LTE 네트워크를 활용한 드론 제어(source: NETMANIAS)

LTE 망은 지상 위주로 설계되어 있으므로, 드론의 비행 고도에서는 무선통신이 어려울 것이라는 주장이 있으나, 실제 대부분의 드론은 2km 미만에서 비행하며 1km 미만에서 운행하게 된다면 지상에서 통신 서비스를 받는 것과 차이가 없다.

또한 향후 드론 활용이 증가할수록 무선통신 서비스에 대한 논의가 활발해져 주파수 추가분배에 대한 요청도 증가할 것으로 예상된다. 현재 드론 기지국의 중계기 역할 또는 기지국 기능 수행을 위해서는 USN 네트워크에서의 앵커노드 역할을 수행하여야 하며, 기지국과의 우선 통신을 제어가 필요하다.

드론 관제 차량(DMS)은 재난·재해 발생 시 신속하고 정확하게 대응하는 이동식 재난·재해 컨트롤 타워의 기능을 목표로 한다. 드론을 탑재·보관하고 드론 이착륙이 가능하며, 드론을 운용하고 관리하는 운용실, LTE 영상 중계를 위한 영상관제센터를 갖추고 있다. LTE 망을 통해서 드론 관제 차량(DMS) 내에서 드론을 직접 제어하고, 실시간으로

영상을 송수신·분석할 수 있어야 하며, 드론 관제 차량(DMS)이 드론 근처에 존재하지 않아도 현장 상황을 감시할 수 있어야 한다. 아울러 드론 관제 차량(DMS)은 다수의 드론을 탑재하여 이동하면서 감시 영역과 감시 시간을 늘려서 영상 및 데이터를 전송할 수 있어야 한다. 이는 재난·재해로 통신이 제한되는 상황에서 매우 효과적일 것으로 기대된다.

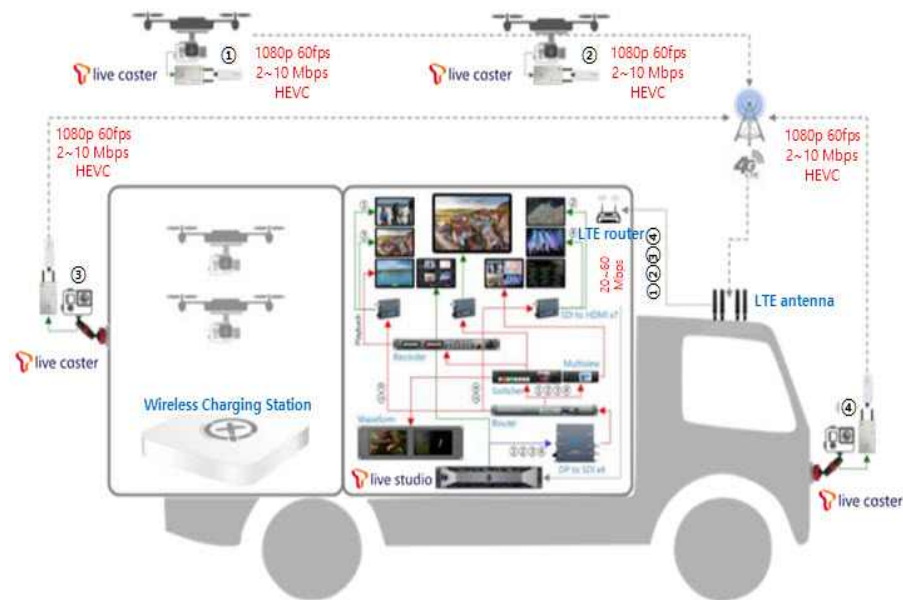
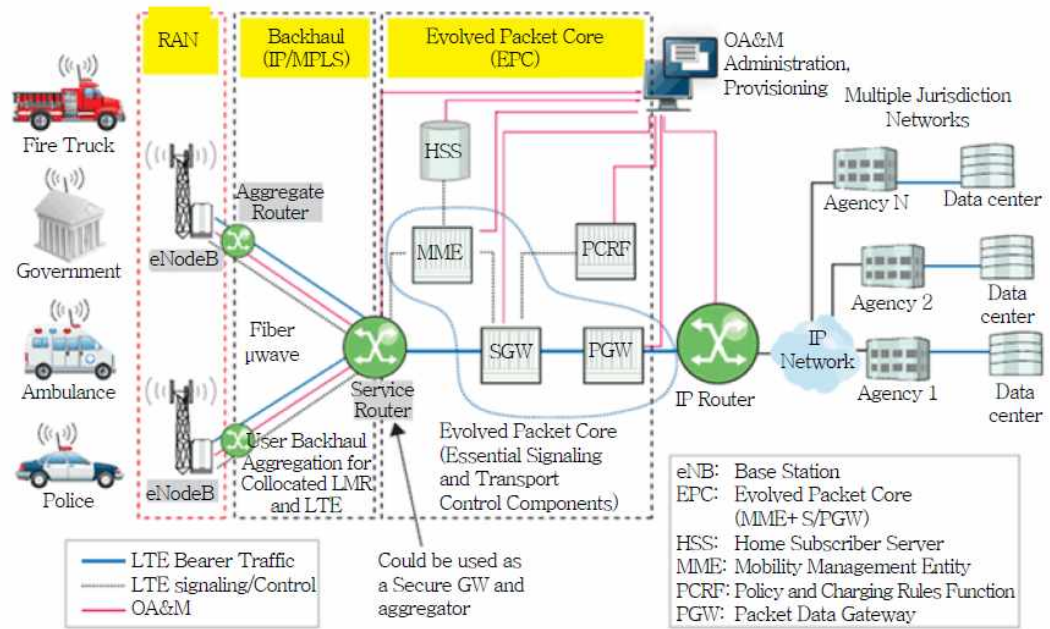


그림 18. DMS 활용 예: 드론 영상 관제 (source: SK텔레콤)

4.3.2. 상용망을 활용한 재난안전통신망 활용화 방안

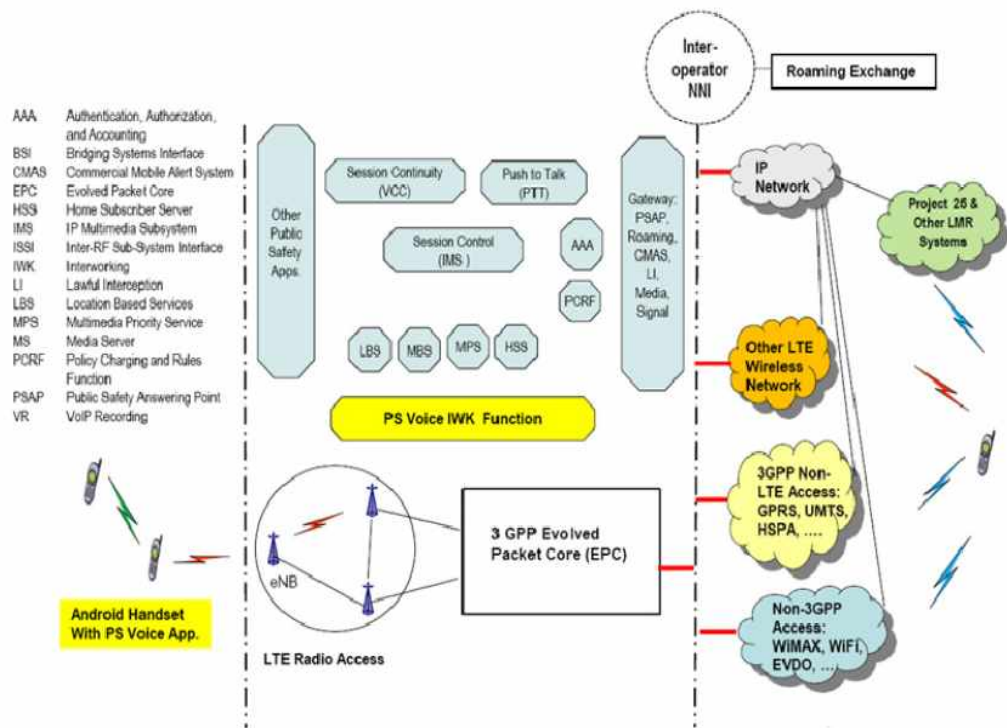
PS-LTE는 3GPP의 ‘UMTS Release 8 & 9(LTE)’ 또는 그 이상의 IMS(Internet Multimedia Subsystem) 기반의 플랫폼을 채택하고 있으며, All-IP 패킷 기반 단일 LTE 망과 연동하여 기존 PTT 음성 서비스와 멀티미디어 데이터 서비스를 함께 제공하는 것이 궁극적인 목표이다.



<자료>: Alcatel-Lucent, 2010.

그림 19. PS-LTE 네트워크 개념도

이를 위해 다수의 통신 설비업체들은 그림 19와 같이 다른 네트워크와 연동이 가능한 ‘Packet to Packet’의 개방형 인터페이스 NNI(Network to Network Interface)를 포함하고 있다. 다만 기존 무선 접속 시설들이 회선교환 기반으로, 형태가 다른 IP 네트워크를 매개하도록 하는 방식이므로 ‘Packet to Circuit NNI 인터페이스’ 구현은 기존 무선 접속 기술을 개발하고자 하는 제조사와 표준화 단체에서 해결해야 할 것으로 예측된다. 또한 코어 네트워크인 EPC(Evolved Packet Core)내에 ‘IWK(interworking) Function’을 포함한 다른 네트워크와 VoIP 서비스 및 PTT와의 연계, 보안 프로토콜, QoS(낮은 지연), 우선순위 권한을 관리하는 등 서비스 측면의 상호운용성도 중요하게 고려되고 있다. 또한 PS-LTE망은 기존 TRS 망과의 연계가 중요하므로 네트워크 구조에서 상호 운용성에 대한 부분도 고려되어야 한다.



<자료>: OctoScope, 2011.

그림 20. 상호운용성 지원을 위한 PS-LTE 네트워크 모델

PS-LTE 통신망이 민간 사업자의 상용망과 성공적인 파트너십을 유지하기 위해서는 무엇보다도 기지국, 중계기 등의 많은 인프라 자원을 공유할 수 있어야 하며, PS-LTE 통신망의 용량 부족 현상 및 장애 발생 시 재난안전 관계자들이 상용망과 재난망을 연동하여 사용할 수 있도록 우선순위 로밍 접속이 가능하여야 한다. 이는 재난시 공공망을 보완적으로 활용하여 PS-LTE 통신망의 여유 용량분을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 통신망 신뢰성 및 복구성도 강화되는 긍정적인 효과가 있을 것이다.

4.4. 소결

우리나라는 2003년 대구지하철 참사를 계기로 「국가통합지휘무선통

신망 구축 기본계획」을 수립하였고, 여러 재난 사고를 거치면서 대응 기관 간 지휘통신 문제가 제기되어 재난통신망의 단일화 필요성이 논의되기 시작하였다. 현재 우리나라는 여러 재난대응 기관별로 독자적인 통신망을 운용 중이므로, 기관 간 상호협력이 필요한 자연재해 및 대형재난 상황에서 상호통신이 어렵다는 문제점이 있다.

또한 공공부문 통신환경이 음성서비스 중심의 협대역에서 영상 및 멀티미디어 데이터서비스 기반의 광대역으로 점차 요구되어 짐에 따라 재난안전무선통신망 구축에 있어 LTE 기술을 근간으로 하는 PS-LTE 통신방식으로 추진하게 되었다. 재난망의 기본 줄기를 형성하는 PS-LTE와 별개로 철도 무선통신망(LTE-R)과 해상 무선통신망(LTE-M(Maritime))의 구축도 활발히 진행되고 있으며 두 분야의 공통점은 사고발생시 대형 인명피해가 발생하기 쉬워, 대응기관 간 긴밀한 공조가 반드시 이뤄져야 한다는 점이다. 현재는 각각 개별 자체망 구축으로 진행되고 있지만 최종적으로는 PS-LTE와 통합을 이루는 방식을 염두에 두고 있다.

LTE-R은 기본적으로 열차 운전 및 시설유지 보수 등을 위해 열차-지상 간, 열차 간, 지상 상호 간 관제 및 그룹·PTT(Push-to-talk) 등 열차 제어에 필요한 통신서비스를 제공한다. 사업을 주도한 한국철도시설공단에 따르면, PS-LTE와의 전파간섭 방지 및 상호연동을 위해서 망구축 기관 간 사전협의를 반드시 필요하다고 강조하였다.

실제로 2018년 1월 평창역 인근에 추진된 PS-LTE 보강사업 때문에 기구축된 LTE-R 기지국에 전파간섭이 발생해 전송품질이 현저히 떨어지는 일이 발생했다. 공단 측은 상호 전파간섭 최소화를 위해 기지국 신규 구축 시 설계단계에서 간섭 영향 분석과 구축 전후 간섭 영향에 대한 신속한 조치가 필요할 것이라고 밝히며, 상호 연동 시 전용회선 비용 부담에 대한 협의, 보안성 검토, 시스템 최적화를 위한 설정값 협의 등이 이뤄져야 한다고 덧붙였다. 한편, LTE-R은 △경부고속철도 △포항 영일만신항 및 울산신항 인입철도 △제천~풍기 △이천~충주 구간의 구축이 계획되어 있다.

해상망(LTE-M)은 국제해사기구(IMO)를 중심으로 e-내비게이션(Navigation) 표준이 추진되고 있다. 여타 통신망과 달리, 선박이 해외 항구를 진출입하는 등 국가 간 통신도 중요한 부분을 차지하기 때문에 국제표준이 우선시 되었으며 e-내비게이션을 바탕으로 국내 해상 교통에 특화된 통신서비스를 LTE-M으로 구현하는 방식으로 이뤄지고 있다. 하지만 LTE-M 역시 전파간섭 문제에서 자유로울 순 없다. PS-LTE, LTE-R과 같은 700MHz 대역 주파수를 쓰기 때문이며 특히 출력이 강한 지상파 UHD 방송과 보호대역이 2MHz폭 밖에 되지 않아 전파간섭 우려가 제기되고 있는 실정이다.

재난망의 상용망과의 연동도 결코 녹록치 않은 문제다. 시범사업 결과, 재난망의 음영지역은 상당히 넓은 것으로 드러났고 이를 해결하기 위한 상용망과의 연동은 반드시 필요하다는 방향으로 검토 중에 있다. 이에 음영지역의 상용망과 재난안전통신망과의 연동을 위한 유기적인 기지국의 필요성에 대해서 언급하고자 한다. 음영지역의 통신연결을 위해서는 고정기지국이 제일 효율적이지만 그에 따른 시간적, 경제적 효율성은 매우 낮다고 판단된다.

본 보고서에서는 기존 알려진 Wi-Fi 연동 방안과 상용망 연동 방안 및 드론을 이용한 방안을 검토하고 있다. 이 중 드론을 활용하는 방안은 드론의 위치인식을 활용하여 재난통신망 구축할 수 있고 높은 접근성을 활용하여 상용망과의 연동 또한 수월할 것으로 보인다. 이에 드론을 활용한 재난망 구축방안을 제5장에 제시하였으며 드론위치인식에 대한 알고리즘과 이에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 상용망 연동 방안은 현재 PS-LTE가 폐쇄망으로 구축예정이므로 보안 및 여러 해결사항이 존재한다고 판단된다. 특히 상용망과 Wi-Fi망의 경우 Wi-Fi망의 보안성이 취약하기 때문에 보안에 대한 필요성이 강조될 수 밖에 없으며, 상용망의 경우 상용망에서 재난망을 접근하기 위한 보안 액세스망도 고려할 필요가 있다고 판단된다. 또한 재난망에서 상용망으로 접근시에도 반드시 보안에 대한 문제점을 해결할 필요가 있다.

PS-LTE 기술은 LTE 기반이므로 효율적 운용을 위해서는 상용망 관리 기법을 사용하여야 한다고 생각되며 특히 재난안전통신망 기지국 운용 및 시설점검은 공공성있는 전문기관이 협의체를 구성하여 관리하는 방안이 적합하다고 판단된다.

제5장 ICT 기기를 활용한

재난안전통신망 강화 방안

본 장에서는 기술적 관점에서 기지국을 활용한 ICT 단말기기 인식 및 기지국 활용을 통한 이동형 기지국의 위치 파악을 위한 통신서비스에 대한 시뮬레이션을 이용한 기술적 분석방법에 따라 재난안전통신망에서의 이동형 단말의 멀티미디어 서비스 영향을 분석해 보고자 한다. 본 장에서 고려한 통신서비스는 LTE 800~900MHz 대역의 이동통신망과 PS-LTE 망에서의 이동형 기지국에 대한 예측과 분석을 수행한다.

5.1. 이동형 기지국을 활용한 재난안전통신망 강화방안

기지국은 기저대역 신호처리 기능, 유무선 변환 및 무선신호의 송·수신 기능 등을 수행하여 이동단말기와 이동전화교환국을 연결하는 역할을 한다. 기지국은 일반적으로 무선 송·수신기, 안테나 등과 통신을 위한 기지국 장비실로 구성되어 있으며, 세부적으로 RF 무선 송·수신 처리 부분과 전송신호를 처리하는 채널 및 제어기로 이루어진 기저대역 처리부로 나뉘어진다. 기지국은 단말기의 위치를 수시로 확인하여 이동전화교환국으로 위치 정보를 전송하고, 이동단말기가 통화중에 주파수가 다른 기지국으로 이동할 경우, 이동단말기가 이용 중이던 주파수가 변화되어 통화 단절이 발생하게 되면 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 끊임없는 통화가 가능하도록 새로운 주파수의 채널로 자동 전환하여 연결한다. 앞에서 언급한 바와 같이 기존 PS-LTE 및 LTE 네트워크에서의 USN을 활용하여 기지국 역할 위한 방안으로 드론을 USN의 이동 기지국으로 활용하는 방안을 고려하고 있다. 따라서 이후 이동 기지국은

LTE 모뎀을 탑재한 드론으로 언급된다. LBS(Location-Based Service)로 센서 혹은 이동 단말의 위치를 인식할 수 있는 장비들이나 모듈들을 사용하여 산악지역이나 건물이 밀집한 도심지역 혹은 이동 단말들이 쉽게 이동할 수 있는 공간에서 이동 단말들의 위치를 드론을 기반으로 위치를 확인하는 것은 쉬운 일이 아닐 것이다. 그러나, 기술의 발전으로 인해 GPS의 성능이 향상되었지만 아직 GPS모듈을 이용한 위치 인식에는 개선의 여지가 많이 남아있다. 현재 대부분의 기존 센서네트워크의 위치 인식은 다수의 이동형 기지국이 GPS에 의존한 위치정보를 가지고 이동 단말에게 최소 3개 이상의 위치 파악 송신 정보 메시지를 보내주어야 한다. 특히 어느 정도의 이동 속도를 유지하는 소수의 단말들 간의 위치 인식은 많은 지연시간과 큰 오차를 가진다. 그림 21은 공간 데이터의 위치 정확도 요소를 보여주고 있다. 즉 점의 실제 위치와 입력된 위치가 다를 수 있는데 X, Y, Z 좌표축을 기준으로 에러 요소는 X 좌표의 에러, Y 좌표의 에러, Z 좌표의 에러로 구성되며, Z 좌표의 에러를 수직에러(vertical error)라 하고, X,Y 좌표의 에러를 수평에러(horizontal error)라 한다. 수직, 수평에러를 포함한 에러를 일반적인 공간 위치 에러(spatial location error)라 한다.

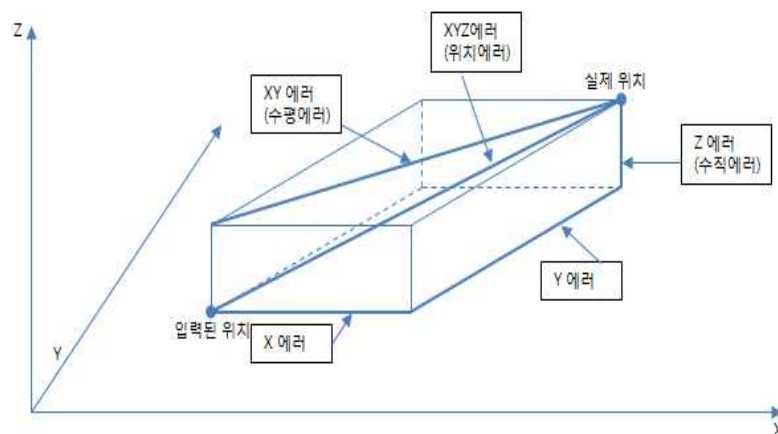


그림 21. 공간 위치 정확도의 요소

일반적으로 특정 위치를 측정하는 방법은 이미 알려진 위치를 이용하여 알려진 위치와 알고자 하는 위치간의 거리 또는 각도 정보를 취득하는 것이 일반적이다. 주로 사용되는 3가지 측량방법이 있는데, 첫 번째는 추측측량(dead reckoning) 방법으로 이미 알려진 위치에서 알고자 하는 위치까지의 거리와 각도 정보를 측정하는 것이다. 두 번째 방법은 삼각측량(triangulation) 방법으로 알려진 두 지점의 거리(밀변거리), 각도 정보를 이용하여 다양한 위치에 대한 정보를 알아내는 것이다. 세 번째 방법은 삼변측량(trilateration) 방법으로 알려진 두 지점간의 거리정보(삼각형의 밀변 거리)를 토대로 알고자 하는 지점과의 거리를 측정한다.

공간 위치 파악을 위해서는 본 연구에서 2가지 방법을 혼합하여 사용하였다. 추측 측량 방법과 삼각 측량 방법을 혼합하여 사용하였다. 공간 연산을 위해서는 기본적으로 많이 사용되는 방법은 대표점 중심 계산 방식이다. 중심점은 많은 수신된 위치 정보의 x,y 좌표 정보를 토대로, X와 y 좌표의 평균을 구하는 방법이다. 즉 평균 중심점은 점집합의 중심 위치(average location)이라 할 수 있다.

$$(x_m, y_m) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right)$$

(x_m, y_m) : 평균 중심점, n : 점의 총 수

또한 공간 분포에서 각 점들이 얼마나 평균 중심점(mean center)으로부터 떨어져 있는지의 정도를 측정하는 것이다. 즉, 각 점들을 토대로 평균 중심점을 구한 후, 그 평균 중심점에서 각 점까지의 차를 곱한 후, 합한 값들을 점들의 수로 나눈다. 그리고 이 값에 루트를 씌우면 표준 거리(standard distance)를 얻을 수 있다. 이러한 표준 거리는 점의 속성 유형에 따라 다른 결과를 가지므로 점이 대표하는 속성(수직, 수평 거리, 고도, 이동 속도)에 따라 표준 거리는 다를 것이다.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}{n}}$$

이 표준거리를 이용하여 표준 편차 타원(Standard Deviational Ellipse)을 계산할 수 있다. 표준 편차 타원은 점 분포의 공간 편이를 보여주는 방법으로 공간 분포의 방향적 특성을 보여준다. 특히 표준 거리를 이용한 원보다는 타원을 이용하여 공간 분포를 살펴볼 수 있다. 표준 편차 타원을 만들기 위해서는 세 가지 과정이 요구 된다. 우선 점들의 대표점으로서 평균 중심점을 계산한다. 두 번째는 각 점에서 평균 중심점까지의 차이 ($=x_i - x_m$)를

$$Tan q = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n x_i' \sum_{i=1}^n y_i')^2}}{2 \sum_{i=1}^n x_i' \sum_{i=1}^n y_i'}$$

($x_i' = x_i - x_m, y_i' = y_i - y_m$)

최종적으로 구해진 정보를 이용하여 표준 편차 타원의 장축과 단축을 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\delta x = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n (x_i' \cos \theta - y_i' \sin \theta)^2)}{n}}$$

$$\delta y = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n (x_i' \sin \theta + y_i' \cos \theta)^2)}{n}}$$

본 연구에서는 단말이 이동하는 환경에서 소수의 이동형 기지국으로 단말의 위치를 알지 못하는 이동 단말들의 위치 추정을 할 수 있도록 항법 장치에 이용되는 GPS 센서와 가속도 센서를 이용하여 이동형 기지국이 자신의 이동 방향과 이동 거리를 인지할 수 있는 추측 측량 (dead reckoning) 기술을 이용한 위치 인식 방법이다. 이는 이동 단말이 이동형 기지국으로 보낸 위치 파악 송신 정보의 위치와 거리 정보를 자신의

저장장치에 저장하고 자신이 이동한 벡터만큼 위치 파악 송신 정보도 업데이트하면서 3개 이상의 위치 파악 송신 정보가 모이면 자신의 현 위치를 파악하게 하는 방법이다.

제안하는 알고리즘들은 이동 기지국의 방향성안테나를 사용하여 전송된 위치 파악 송신 정보 신호만으로 위치 추정하고 위치가 추정된 이동 단말은 자신의 정보만으로도 지속적으로 위치를 보정해 나가면 기존 알고리즘들보다 보안 문제도 해결할 수 있다.

설명할 위치 인식 알고리즘은 추측 측량 기법을 이용한 위치 인식 방법으로 모든 단말이 전방향성 안테나를 장착하고, 가속도기와 GPS 센서만으로 자신이 이동한 거리와 이동 방향을 알 수 있다고 가정한다.

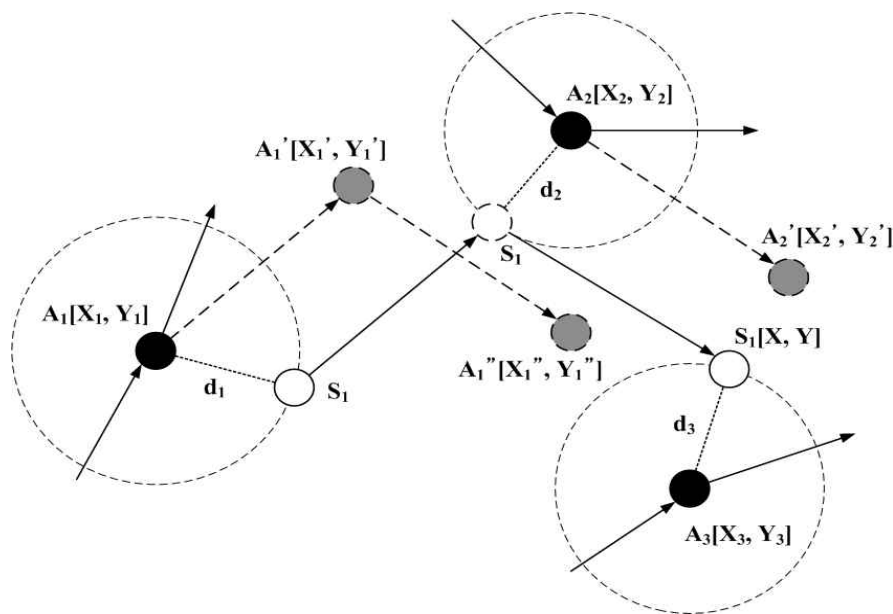


그림 22. 3개의 이동 기지국을 만난 이동 단말 S_1 의 위치 인식

그림 22와 같이 이동 단말들 모두가 이동하는 환경에서 이동 단말은 통신 범위 안의 이동 기지국 위치 파악 정보를 수신 받아 자신이 이동 거리와 방향 벡터만큼 수신한 이동 기지국 위치정보를 보정하여 자신의 메모리에 저장하고, 3개 이상이 되면 삼변 측량에 의해 현 위치 파악을

수행한 후 트레이스 기법을 수행하면서 이동 방향에 대한 자신의 위치 파악을 결정한다.

여기서 이동 기지국과 이동 단말간의 거리 d 는 RSSI(Received signal strength Indication)를 이용하여 측정한다. 이동 단말들이 서로의 일정한 거리를 유지하고 또한 단말들이 같은 방향으로 이동하는 환경에서는 망에서의 위치 파악은 1홉 범위 내에서 고정 좌표를 가진 이동 기지국을 3개 이상 파악할 확률이 높지 않다. 만약 이동 단말이 3개 이상의 위치 파악 송신 정보 정보로 자신의 위치를 파악하였다고 하여도 시간이 경과하면서 가속도기와 디지털 나침반의 각 θ 오차가 지속적으로 누적되어 오차범위는 확대되고 파악된 위치도 확신하지 못하게 된다.

이를 보완하기 위한 방법으로 그림 22와 같이 단말 S_1 는 자신의 메모리에 이동 기지국 A_1 과 A_2 의 위치 파악 송신 정보를 저장하고 있고, 자신과 인근 단말 S_2 의 이동 기지국 A_3 의 위치 파악 송신 정보를 수신 받으므로 자신의 현 위치를 추정 할 수 있다. 물론 단말 S_2 도 단말 S_1 로부터 이동 기지국 A_1 과 A_2 의 위치 파악 송신 정보를 수신 받아 자신의 현 위치를 추정 할 수 있다. 즉 이동 기지국의 절대위치와 RSSI에 의한 거리 값을 공유하므로 각 단말은 자신의 위치 추정에 있어 이동 기지국을 인식할 확률이 높아진다. 단말 S_1 의 메모리에 3개 이상의 위치 파악 송신 정보, 즉 절대좌표(GPS 좌표)와 거리정보가 생기면 삼변측량에 의해 위치가 추정된다. 삼변측량은 거리 기반의 위치 인식에서 가장 대표적인 것으로 고려하는 이동 단말 수만큼의 선형 방정식만 계산하면 된다.

이동 기지국의 좌표행렬을 $R_i = (x_i, y_i)^T$, $i = 1, 2, \dots, m$, 여기서 m 은 이동 기지국의 수, 위치를 알지 못하는 단말의 좌표행렬을 $x = (x, y)^T$ 라고 한다면, 위치를 인지하지 못하는 단말의 좌표행렬 x 는 다음 방정식들의 해와 같다고 할 수 있다.

$$\begin{aligned}(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 &= d_1^2 \\ \vdots (x_m - x)^2 + (y_m - y)^2 &= d_m^2\end{aligned}$$

방정식들을 계산하여 아래 방정식에서 위 방정식을 연계하여 다시 정리하면

$$\begin{aligned}2x(x_1 - x_m) + 2y(y_1 - y_m) &= d_m^2 - d_1^2 + x_1^2 - x_m^2 + y_1^2 - y_m^2 \\ \vdots \\ 2x(x_{m-1} - x_m) + 2y(y_{m-1} - y_m) &= d_m^2 - d_{m-1}^2 + x_{m-1}^2 - x_m^2 + y_{m-1}^2 - y_m^2\end{aligned}$$

이고 이를 행렬 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$Ax = b$$

여기서

$$\begin{aligned}A &= \begin{bmatrix} x_1 - x_m & y_1 - y_m \\ \vdots & \vdots \\ x_{m-1} - x_m & y_{m-1} - y_m \end{bmatrix} \\ b &= \begin{bmatrix} (d_m^2 - d_1^2 + x_1^2 - x_m^2 + y_1^2 - y_m^2)/2 \\ \vdots \\ (d_m^2 - d_{m-1}^2 + x_{m-1}^2 - x_m^2 + y_{m-1}^2 - y_m^2)/2 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

이고, 위치를 인지하지 못하는 단말의 좌표행렬 x 는 least-squares를 이용하여

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T b$$

와 같이 구할 수 있다. 이러한 방식을 사용하여도 단말의 정확한 위치를 파악하지 못하는 경우, 다른 기법을 병행해서 보다 높은 파악 기법을 활용하여야 한다.

추측 측량 기법은 GPS가 동작하지 않는 곳에서 보조적인 위치 추적 방법 기술로 가속도 센서와 디지털 나침반을 활용하여 단말이 이동한 거리와 방향을 벡터로 인지하여 자신의 위치를 추정할 수 있다.

가속도 센서에 의해 단말의 이동거리는 다음과 같이 구한다. 가속도 a 는 단위시간당 속도의 변화량이고, 속도 s 는 거리의 변화량이므로, 가속도가 확인되면 속도변화는 가속도에 시간 t 를 곱하게 되므로 속도 s 는 초기속도 s_0 에 단위시간 동안 속도변화를 더해 주어 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$s = s_0 + a \cdot t$$

속도가 확인되면 단위시간 동안 이동한 거리를 계산할 수 있다. 계산된 이동한 거리 l 는 속도에 시간값을 곱해 계산하면 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$l = s \cdot t$$

이동방향 θ 는 디지털 나침반을 통해 구한다. 따라서, 삼변측정 기법을 활용한 평면직각좌표계는 직교하는 두 개의 직선을 좌표축으로 하고 각 축으로부터의 수직거리로 그 점의 위치를 표시하는 좌표계이며, 드론이 앵커의 역할을 수행하였을 경우, 드론이 이동 시의 이동각 및 정지시의 GPS 좌표 및 추정값을 활용하여 중심값을 나타낼 수 있다. 이러한 삼변측정은 지표면이 좁고 곡선이 없는 일반 평대지에서는 간단한 수학적 표현에 의하여 매우 편리하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 지구의 곡률을 고려해야 하는 매우 넓은 지역의 표시에는 투영법을 통해 2차원의 좌표를 정의해야 활용이 가능하다.

그림 (a)에서와 같이 초기 위치파악 및 중간 위치 파악을 위한 점 P의 위치는 P로부터 Y축 및 X축에 내린 수선의 발(x, y)의 값으로 정의

되며, 그 값은 \overline{OP} 간의 거리 S 와 방향각(또는 방위각) θ 를 알면 다음과 같이 구할 수 있다. 또한 그 값은 GPS 값과 RSSI를 통한 위치 값을 활용하여 인식한다. 그러면 (b)에서 두 점 P, Q 간의 거리도 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$x = S \cos \theta, \quad y = S \sin \theta$$

$$\overline{PQ} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

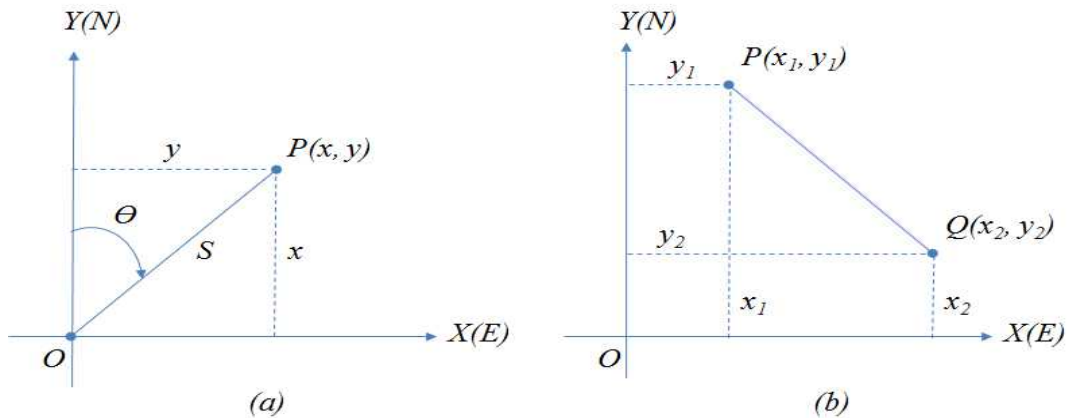


그림 23. 직교수직좌표계

여기서는 자오선 방향을 N 으로 하고, 이에 직교하는 축을 E 으로 하여 (X, Y) 와 함께 표기한다. 추정된 위치값을 이용하여 트래버스 기법을 활용한 방위값과 가속도 센서를 활용한 위치 추정을 할 수 있게 된다. 이러한 트래버스를 활용한 기법은 공간 연산을 위해서는 기본적으로 많이 사용되는 방법은 대표점 중심 계산 방식이다. 중심점은 많은 수신된 위치 정보의 x, y 좌표 정보를 토대로, X 와 y 좌표의 평균을 구하는 방법이다. 즉 평균 중심점은 점집합의 중심 위치(average location)라 할 수 있다.

$$(x_m, y_m) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right)$$

(x_m, y_m) : 평균 중심점, n : 점의 총 수

또한 공간 분포에서 각 점들이 얼마나 평균 중심점(mean center)으로부터 떨어져 있는지의 정도를 측정하는 것이다. 즉, 각 점들을 토대로 평균 중심점을 구한 후, 그 평균 중심점에서 각 점까지의 차를 곱한 후, 합한 값들을 점들의 수로 나눈다. 그리고 이 값에 루트를 씌우면 표준 거리(standard distance)를 얻을 수 있다. 이러한 표준 거리는 점의 속성 유형에 따라 다른 결과를 가지므로 점이 대표하는 속성(수직, 수평 거리, 고도, 이동 속도)에 따라 표준 거리는 다를 것이다

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}{n}}$$

이 표준거리를 이용하여 표준 편차 타원(Standard Deviation Ellipse)을 계산할 수 있다. 표준 편차 타원은 점 분포의 공간 편이를 보여주는 방법으로 공간 분포의 방향적 특성을 보여준다. 특히 표준 거리를 이용한 원보다는 타원을 이용하여 공간 분포를 살펴볼 수 있다. 표준 편차 타원을 만들기 위해서는 세 가지 과정이 요구 된다. 우선 점들의 대표점으로서 평균 중심점을 계산한다. 두 번째는 각 점에서 평균 중심점까지의 차이($=x_i - x_m$)를

$$\tan q = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n x_i' \sum_{i=1}^n y_i')^2}}{2 \sum_{i=1}^n x_i' \sum_{i=1}^n y_i'}$$

$(x_i' = x_i - x_m, y_i' = y_i - y_m)$

최종적으로 구해진 정보를 이용하여 표준 편차 타원의 장축과 단축을 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\delta x = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n (x'_i \cos \theta - y'_i \sin \theta)^2}{n}}$$

$$\delta y = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n (x'_i \sin \theta + y'_i \cos \theta)^2}{n}}$$

여러 기준점 측량 방법 중에서 방향과 거리를 가지고 있는 선분의 연속인 트래버스를 이용하여 수평 위치를 결정하는 방법인 트래버스 위치 측정 방법은 각 측점의 좌표를 측선의 방향과 거리를 이용한 벡터를 활용하여 결정한다. 이를 위해서는 기준이 되는 측점을 연결하는 측선의 길이와 그 방향을 관측하여 측점의 수평위치(x, y)를 결정하는 방법을 사용하는데, 거리의 각에 의한 수평 위치를 측정할 수 있다.

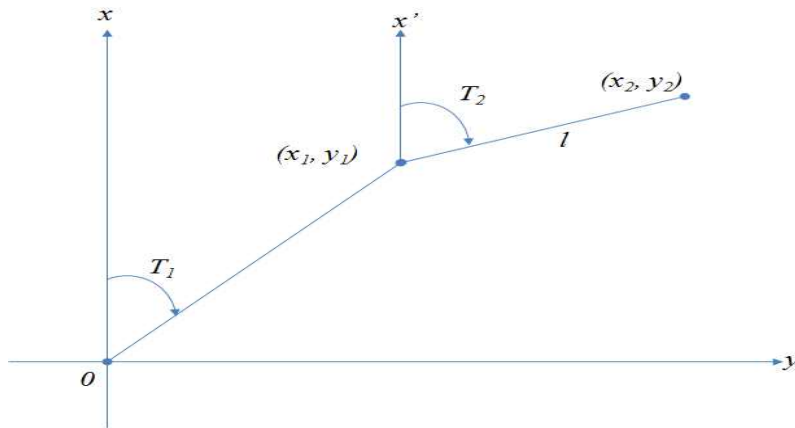


그림 24. 좌표결정의 원리

그림 24는 트래버스 측정법을 다음과 같이 보여준다.

$$x_2 = x_1 + l \cos \theta$$

$$y_2 = y_1 + l \sin \theta$$

이러한 트래버스 측정 방법은 2방향만 제시하므로 선점이 용이하고 후속 위치 측정이 평이하다. 또한, 장애물이 많거나 협소한 지역에서도 쉽게 측정이 가능하다. 또한 잘못 추정하였을 경우 쉽게 재추측이 용이하며, 삼각 측정에 비하여 추정 시간이 줄어든다. 허나, 측점수가 많아졌을 경우 오차 누적이 심해지기 때문에 측점수를 제한할 필요가 있으며, 넓은 지역은 측량에는 트래버스 점만으로는 부적당하다. 특히 이 방법은 거리와 각을 조합하여 측점의 위치를 구하는 것으로 정확도는 이들의 추정 정확도에 좌우된다. 특히 트래버스 기법 중에 결합 트래버스 기법은 한 기지점(삼각점)에서 출발하여 다른 기지점에 결합시키는 방법으로 추정결과의 오차점검이 가능하며, 가장 정확도가 높다. 기지점의 관계 위치가 추정결과를 점검하기 위한 조건이 된다. 이 기법은 대규모 지역의 정도 높은 추정에 사용한다.

이와 같이 구해진 단말의 위치는 이동 단말의 메모리에 저장되고 이동 단말이 이동하면 메모리에 저장된 위치 파악 송신 정보 단말의 위치들도 위와 같이 재계산된다.

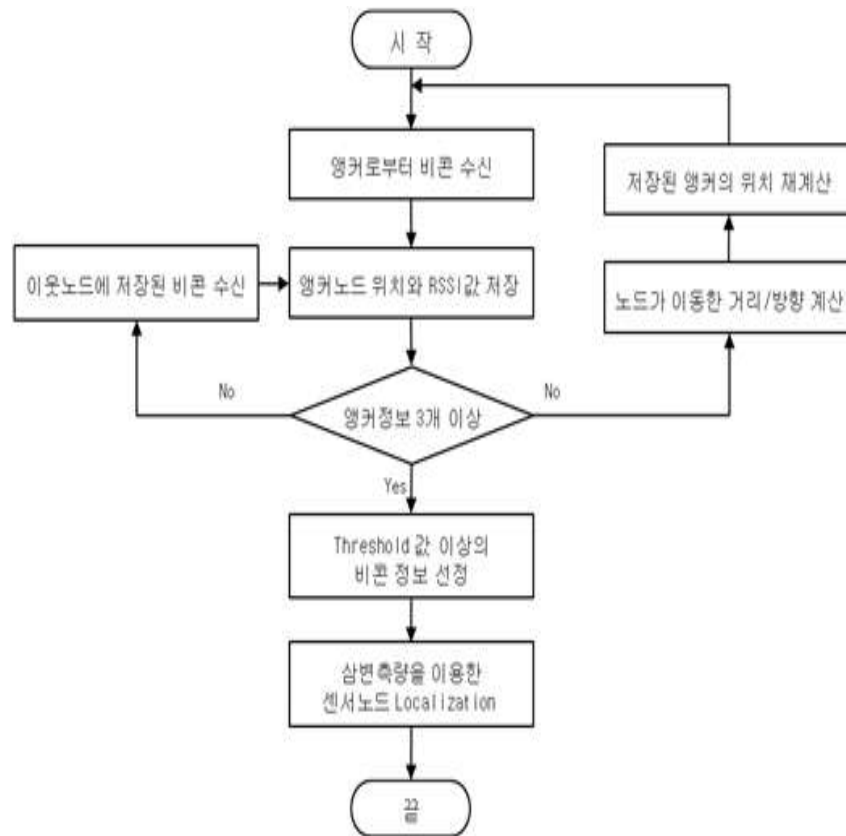


그림 25. 순서도

그림 25에서 보여주고 있는 가속도 센서와 디지털 나침반을 이용한 삼변측정 및 트래버스 기법을 활용한 위치 인식 기법을 정리해 보면 다음과 같다.

1. 이동 단말이 이동 기지국 통신반경 안으로 이동 시 위치 파악 송신 정보 수신
2. 위치 파악 송신 정보로부터 이동 기지국의 위치와 거리 값 계산 (RSSI 값)하여 메모리에 저장
3. 이동 단말은 자신이 이동 거리와 방향으로 저장된 이동 기지국의 위치를 보정
4. 단말의 통신 반경 안에 이동 기지국 또는 이동 기지국의 위치를 감지하고 있는 이웃 단말을 인지하였을 때 위치 파악 송신 정보 수신

5. 이동 기지국 정보가 3개 이상이 되면 쓰레쉬홀드 값 이상의 위치 파악 송신 정보 정보만 선정
6. 삼변 측량을 활용한 트래버스 기법 통해 자신의 위치를 위치 인식

5.2. 이동형 기지국을 활용한 시뮬레이션 및 결과 분석

본 장에서는 Matlab을 이용하여 제안한 알고리즘의 성능을 비교·검증하고 측정오차에 대한 결과를 분석하였다.

5.2.1. 시뮬레이션 측정 기준 및 에러 요인

위치 인식 시뮬레이션 분석을 위해서 다음과 같은 측정 기준을 이용하였다.

- 평균 위치 오차 : 모든 이동 단말의 계산을 통하여 얻어진 예상위치(X_{ei}, Y_{ei})와 실제 위치(X_i, Y_i) 사이의 평균거리

$$Average\ location\ error = \frac{\sum \sqrt{(X_{ei} - X_i)^2 + (Y_{ei} - Y_i)^2}}{Number\ of\ Sensor}$$

- 이동 시 단말의 방향각 위치 오차 : 삼변 측량을 위한 중심점에서 이동시 방향각을 고려한 트래버스 기법을 통해 얻어진 위치

$T_a, T_l, T_2 \dots$ 각 측선의 방향각

$S_a, S_l, S_2 \dots$ 각 측선 길이(다각변의 길이)

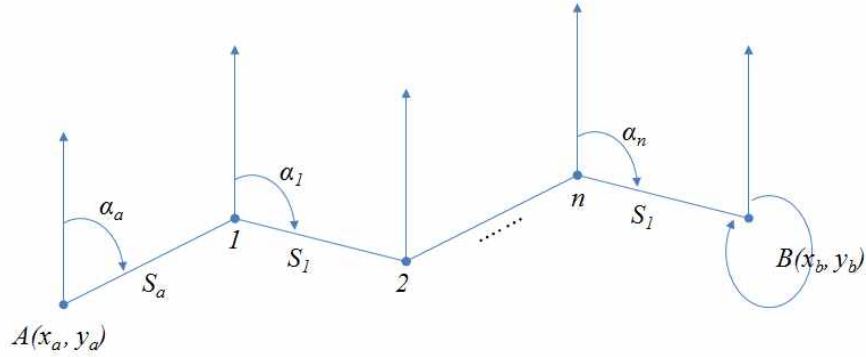


그림 26. 결합 트래버스의 계산

A점 좌표(X_a , Y_a), B점 좌표(X_b , Y_b), 각 점의 좌표값(x_1 , y_1), (x_2 , y_2), ... 라면

$$\begin{aligned}
 St. A : X_a, Y_b \\
 St. 1 : x_1 &= X_a + S_a \cos T_a, & y_1 &= Y_a + S_a \sin \alpha_a \\
 St. 2 : x_2 &= X_1 + S_1 \cos T_1, & y_1 &= Y_1 + S_1 \sin \alpha_1 \\
 St. 3 : x_3 &= X_2 + S_2 \cos T_2, & y_1 &= Y_2 + S_2 \sin \alpha_2 \\
 &\vdots & &\vdots \\
 St. B : x_b &= X_n + S_n \cos T_n, & y_b &= Y_n + S_n \sin \alpha_n
 \end{aligned}$$

$$x_b = X_a + \sum S \cos T, \quad y_b = Y_a + \sum S \sin T$$

(x_b, y_b) : 측량 결과로 계산된 점 B의 좌표

(X_b, Y_b) : 점 B의 기지좌표

이때 발생 가능한 에러 요인에 대한 가정은 다음과 같다.

- RSSI 값 오류 : 이동 기지국과 이동 단말 사이의 거리 값의 추정치인 RSSI 값은 이론상으로 거리의 제곱에 반비례하여 신호의 세기가 감쇠하나, 실제 측정 시 환경요인으로 오차가 발생한다.
- 단말의 이동속도 : 위치추정 시간 동안 이동 거리가 오류의 원인이 된다. 즉 속도가 증가하면 오류 값이 증가하며, 여기서 실험하는 이동 단말들의 속도는 인간이 보행시의 속도(보행 시 1.5m/s, 달릴 경우 3m/s, 5m/s)로 제한한다.

- 방향성안테나 빔 폭 : 이동 단말이 수신한 각은 각 섹터의 중심 각을 수신하므로 섹터안테나의 빔 폭 θW 의 오차 값은 없다고 가정한다.
- 내장형 센서 모듈(가속도 센서, 디지털 나침반, GPS) 에러 : 가속도 측정용 센서, 방위 및 각도에 대한 정보측정이 가능한 디지털 방위계, GPS 모듈에 의한 에러는 없다고 가정한다.

5.2.2. 시뮬레이션 성능 분석

가속도 센서를 이용한 제안기법은 $200 \times 200\text{m}^2$ 의 통신 가능 지역에 단말들을 불특정하게 분포시키고 최대 속도 범위 안에서 일정 방향으로 정지 · 이동한다고 가정하였다.

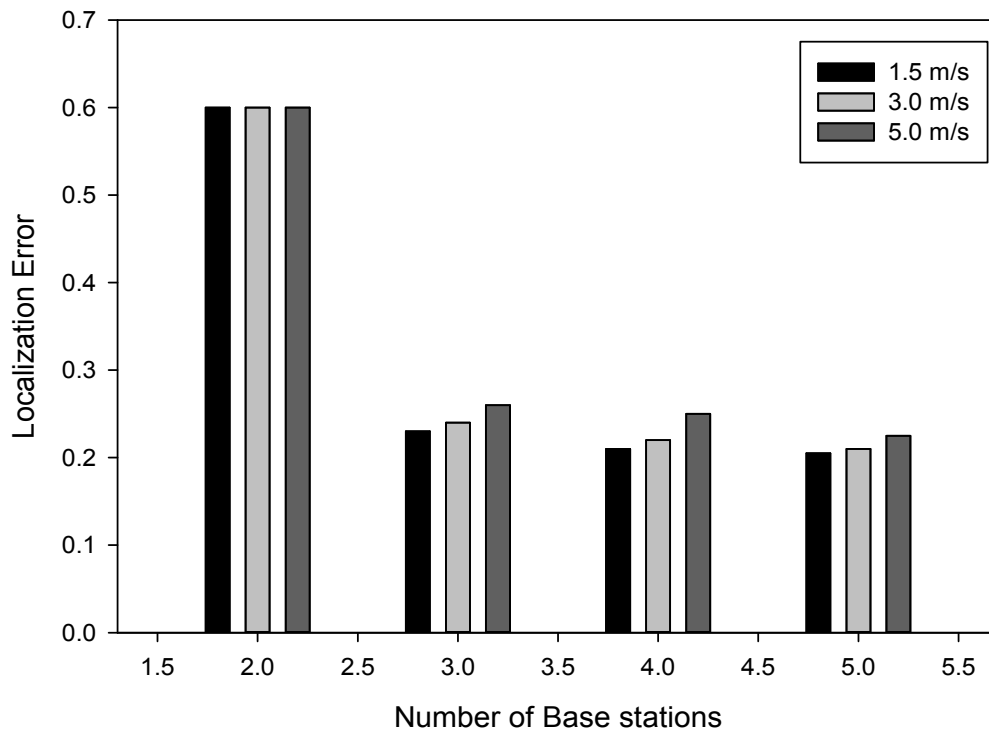


그림 27. 기지국 수에 따른 드론 속도별 위치 오차

그림 27와 28에서 보여주는 바와 같이 이동 단말의 속도가 증가할수록 위치 오차는 증가할 수 밖에 없다. 또한 기지국의 수가 증가하면 단말의 정지 상태일 때 위치 추정을 하게 되는 삼변 측정과 이동시 벡터를 고려한 트래버스 기법을 활용하게 되는 가속도 센서를 이용한 알고리즘은 단말의 이동 속도가 빨라질수록 이동 기지국 정보를 수신할 확률이 높아지기 때문에 이동 속도 별 위치 오차 변화율이 작을 수 밖에 없다. 또한 그림 27의 드론의 갯수에 따른 오차에서는 드론의 대수가 증가하지만 오차 변화는 거의 없음을 확인할 수 있다. 허나, 단말의 갯수에 따른 오차에서는 단말의 갯수가 증가함에 따른 위치 오차는 조금씩 감소하는 것을 확인할 수 있다.

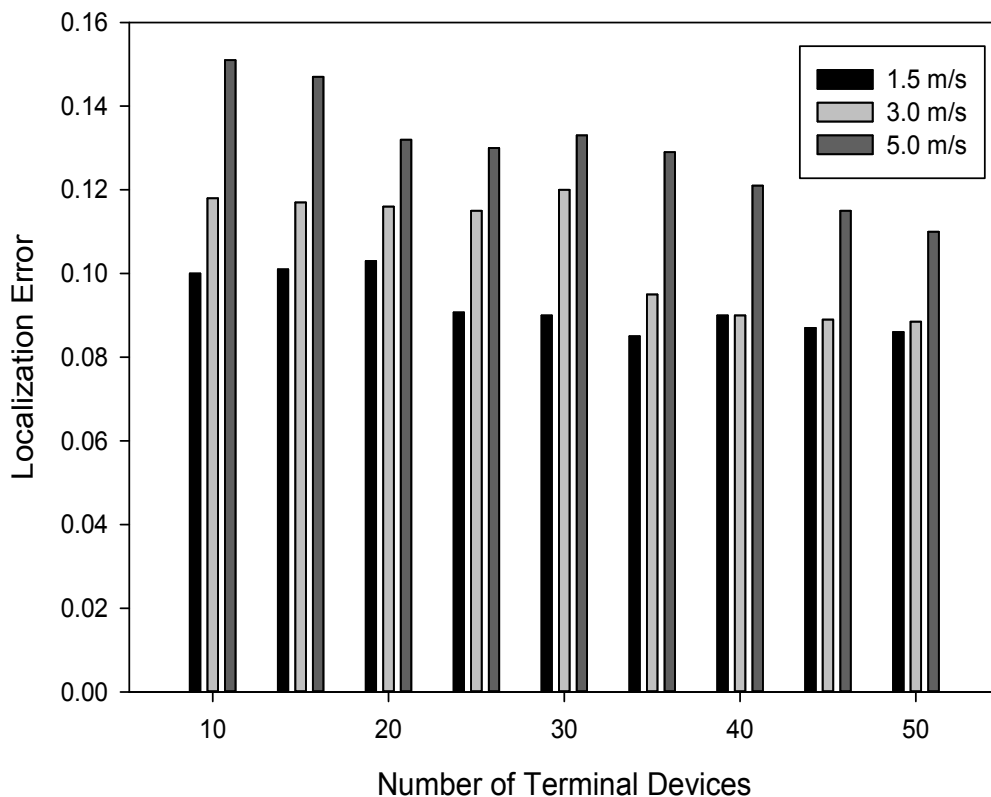


그림 28. 단말 수에 따른 속도별 위치 오차

이러한 결과는 이동형 기지국은 고정형 기지국의 증가에 따른 위치 오차는 적을 수밖에 없으며, 단말의 증가에 따른 위치 변화 오차는 기지국 정보를 인식하는 단말간의 정보 교환 증가에 따른 위치 오차 변화 폭이 감소하므로 단말의 수가 많아질수록 확률적으로 낮아진다.

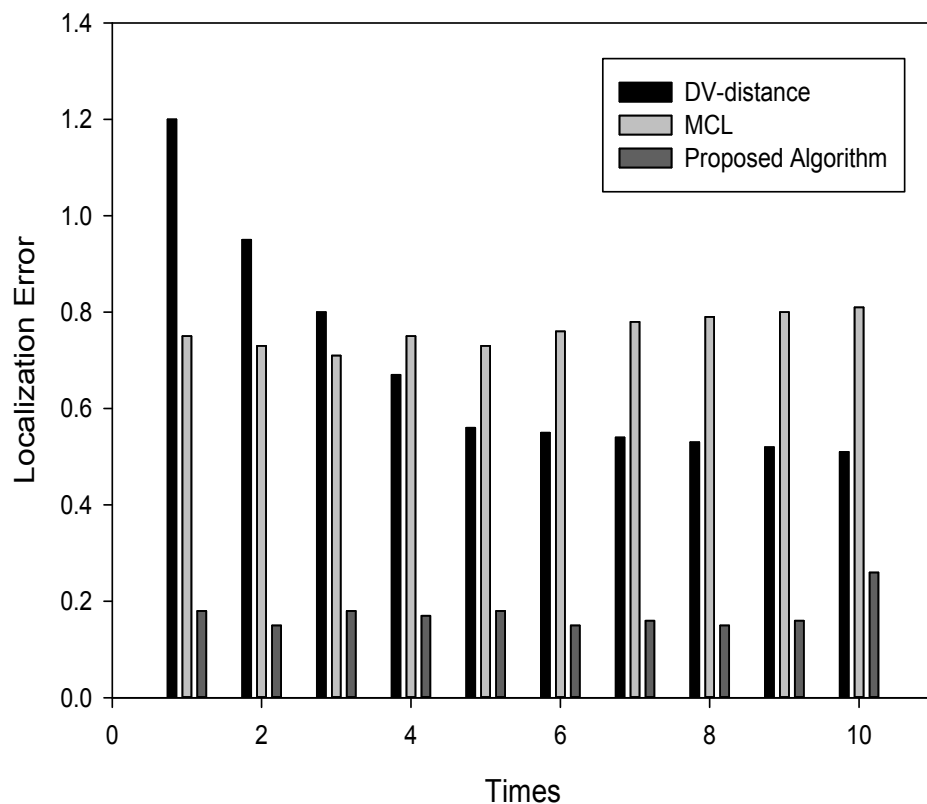


그림 29. 기존 알고리즘과의 비교

500 x 500 m²의 통신 송수신 필드에서 시뮬레이션을 한 결과인 그림 29에서는 이동 단말 10개와 기지국 3개씩 불특정하게 분산시키고, 모두 3m/s의 속도로 이동시켰을 때, 제안 알고리즘을 기존 알고리즘과 비교하였다. 그림 28의 위치 오차 값은 시간이 지남에 따라 조금씩 감소하는 것을 비교 알고리즘과 대비해 확인할 수 있다. 기존 알고리즘인

MCL 알고리즘은 단말의 이동 속도가 증가할수록 기지국 감지 확률이 커져 위치 오차 확률이 감소하지만 단말의 수가 50개 이상으로 위치 정보를 확인하여야 하므로 초기 위치오차 값이 높을 확률이 크다. DV-distance 또한 2~3 홉 정도의 거리를 둔 기지국 정보를 사용하여 자신의 현 위치를 계산하므로 단말 이동시 다른 알고리즘에 비해 오차가 크다.

5.3. 소결

기존 무선망 네트워크에서의 위치 추정 알고리즘은 주로 단말이 고정되어 있는 상태에서의 3개 이상의 절대위치를 확인할 수 있는 기지국을 활용한 위치 추정기법을 사용하였다. 그러나 본 보고서에서는 이동 단말을 활용하여 지속적으로 이동 가능한 이동기지국의 위치를 삼변추정을 활용한 트래버스 기법을 사용하여 단말 및 이동 기지국의 위치를 추정하는 위치인식 알고리즘을 제안하였다.

비교 판단하고 있는 MCL 기법은 방향과 속도가 일정하다는 가정 하에 이런 벡터를 활용한 확률적 계산으로 위치추정을 하는 기법으로 기존 기법에 비해 위치오차와 지연시간이 크다고 할 수 있다. 그러나 제안 알고리즘은 이동방향이 일정하지 않아도 보다 적은 수의 이동 기지국만으로도 디지털 각도기를 활용한 방향각과 정지 시 확인할 수 있는 추정 위치를 연계하여 위치파악이 가능하다는 것을 시뮬레이션을 통해 분석한 바로 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘들보다 더욱 효율적임을 확인하였다.

또한 RSSI를 이용한 거리측정과 가속도 센서를 이용한 트래버스 기법의 이동거리측정을 통한 위치 추정기법을 통해 그 실용성을 입증하였으나 추가적인 향상을 위해서 드론에서 송수신에 적합한 방향성 안테나 등 하드웨어의 연구뿐만 아니라 효율적인 에너지 알고리즘의 추가적인 연구도 필요하다.

제6장 국가재난통신망에서의 안정적 데이터 전송 방안에 대한 제언

본 장에서는 앞서 살펴본 재난안전통신망의 기술과 동향 등을 토대로 효율적이고 안정적인 국가 주도 재난망 구축 및 운용방안을 제언하고 구축된 재난망의 관리 및 점검방향을 제시하며 결론지으려 한다.

6.1. 재난안전 대응 및 사고예방을 위한 재난안전통신망의

효율적 활용 방안 제언

국내 재난안전통신망 구축사업은 A, B, C 3개 구역으로 나누어 추진 중이며 A 구역은 서울, 대구, 대전, 세종, 경북, 충남, 제주 7개 시·도 지역에 고정기지국 및 설비 등을 5,647곳 설치(서울, 대구 1·2센터 및 제주 백업센터 구축), B 구역은 강원, 광주, 전북, 전남, 경기 5개 지역 대상 6,148곳 설치, C 구역은 부산, 인천, 울산, 충북, 경남 5개 지역 대상 3,652곳 설치를 목표로 A/B 구역은 KT, C 구역은 SKT에 의해 추진되고 있다.

지속적인 통신비 인하 요구, 신규 서비스망(5G) 구축 등으로 수익창출 방안을 고민 중인 통신사업자는 재난망 구축을 단순 사업이 아닌 향후 국제시장에서의 수익모델 발굴을 위한 핵심 인프라로 인식하고 있다. 또한 비용과 효율성 측면에서 검토되고 있는 재난망과 상용망 연동을 위하여 내부적으로 자사의 이동통신망과 연동할 기술 및 비용 등의 방안을 마련하고 있을 것으로 판단된다.

KT는 차세대 이동통신인 5G의 핵심 전략사업으로 재난안전 분야를 전면에 내세우고 있다. 지난 평창동계올림픽 시범통신사업의 제1사업자

로서, 재난안전통신망 구축 및 운용경험을 바탕으로 각종 재난안전 서비스에도 강점을 보이고 있다. 배낭형태로 사람이 착용하여 이동할 수 있는 이동형 기지국, 상공에 드론을 띄워 재난통신망을 형성하는 드론 솔루션 등 유사시 통신망이 훼손된 지역을 신속하게 커버할 다양한 방안을 개발하고 있으며, 추후 초고속, 저지연이라는 5G의 특성을 극대화하여 실시간 모니터링이 가능한 재난대응 시스템을 구축한다는 방침이다.

SK텔레콤은 재난망 시범사업의 제2사업자로 참여하여 인천·김포공항부터 평창올림픽 경기장 주요 수송로 구간까지 재난망과 상용망을 연동하는 작업을 최초로 수행하였다. 이를 통해 이중 망간의 연동이 재난대응 미비점을 보완할 대책이 될 수 있음을 검증하였고 최근에는 철도통합무선통신망(LTE-R)의 구축 사업자로 선정돼 서울 지하철 5호선의 연장선 7.725km 구간을 LTE-R로 구축한다. 구축이 완료될 경우 재난시 경찰서, 소방서 등 수색구조기관에 상황이 즉시 전파되고 관제사, 기관사, 역무원간 그룹통화 역시 가능해진다.

한편, 국제적으로 미국은 2010년 광대역화 계획을 통해 LTE 기술을 활용한 재난안전무선통신망 서비스화를 적극 추진하여 2022년까지 자가망과 상용망을 병행한 형태의 PS-LTE망을 구축할 예정이다. 영국 또한 2020년까지 상용망을 활용한 PS-LTE 기반 재난망을 구축할 계획이며, 스페인 바스크 주정부(복합방식 사례 참조)에서도 음성서비스 이외 멀티미디어 서비스도 이용할 수 있는 협대역 및 광대역 서비스망의 동시 구축을 추진하고 있다. 미국, 영국, 스페인의 움직임으로 미루어 볼 때 최근 복잡, 대형화 되고 있는 재난상황에 영상과 복합데이터 등 멀티미디어 서비스를 도입하여 재난상황에 신속하고 정확하게 대응할 수 있도록 국제적으로 차세대 재난안전통신망 구축을 추진하고 있음을 알 수 있다. 하지만 멀티미디어 서비스 제공이 가능한 광대역화를 위해서는 필연적으로 기지국 증대 및 기존 상용망과의 연동방안을 검토해야 할 것이다.

행정안전부는 재난망의 성공적 구축이 이뤄질 경우 향후 10년간 직접적인 산업창출 3조 2,871억원, 부가가치 유발 1조 2,745억원, 수출

6,952억원 등 5조원 규모의 시장이 창출될 것이며 국내 경제에 긍정적인 영향을 미칠 것이라고 전망하였다. 우리나라의 PS-LTE 전국망 구축은 세계 최초로 이루어지는 국가주도 재난망 구축사업으로, 구축이 성공적으로 이뤄질 경우 관련 업체들의 해외진출도 활발해질 것으로 기대해볼 수 있다. 현재 글로벌 PS-LTE 시장은 2020년에 137억달러(15조 2,207억원) 규모로 성장할 것으로 전망되며, 2024년까지 연평균 31% 성장하는 고성장 시장이 될 것이다. PS-LTE 기반 재난안전통신망의 구축경험은 국내 정보통신공사업체의 해외진출에 귀한 밑거름이며 이를 통해 국내경제 활성화 효과 또한 동반될 것으로 기대된다.

차세대 재난안전통신망의 완벽한 구축에는 많은 시간이 소요될 것으로 보인다. 기존 운영되는 망을 일괄 교체하는 것은 불가능하며 불시에 발생하는 재난상황에 대처하기 위하여 기존 망과의 연동방안 또한 마련하여야 한다. 이러한 이유로 효율적인 시설 및 주파수 관리를 위해서 독자적인 관리체계보다는 관련기관들의 기능을 살린 협의체가 필요하다고 판단된다.

6.2. 결론

국가재난안전통신망은 민간이 접속할 수 없는 폐쇄망으로 구축할 예정이다. 따라서 전국을 커버할 수 있는 재난망을 구축하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되며 기존 통신사업자의 서비스망이 설치장소를 선점하고 있어 설치공간 또한 확보가 어려운 실정이다. 반면 LTE 상용망의 경우 전국망 구축이 완료된 상태다. 따라서 두 망을 연동하여 운영하는 방안을 검토할 필요가 있다.

재난안전통신망은 보안성과 접근성이 중요하다. 보안성이 낮은 재난망은 사이버테러로 인해 국가기밀 노출, 업무혼선 등의 역효과를 초래할 수 있으며 접근성이 떨어지는 재난망은 재난상황에서 그 역할을 다할 수 없다.

이를 해결하기 위해 보안 액세스, 신규 프로토콜도입 등 보안확보 방안과 접근성을 높이기 위한 상용망 연동을 고려하여야 할 것이다.

상용망과 연동 시 망의 우선 접속권한 배부가 필요하다. 재난 발생 시 상황 공유목적으로 현장 인근 이동통신사업자망 가입자들의 통신량이 폭발적으로 증가할 것으로 예측되는 바 관련기관의 재난목적 통신의 우선권을 확보할 수 없다면 폐쇄망으로 단독 구축하는 것이 더 바람직하며 PS-LTE 우선접속을 위한 Sub-Network 활용, 각 이동통신사업자간 로밍 등 방안마련으로 재난상황 발생 시 국가재난안전망의 우선접속을 위한 인프라 자원공유가 반드시 필요하다고 생각된다.

또한 재난발생 시 해당지역의 도로유실, 통신 인프라 파손 등으로 구축한 재난망을 활용할 수 없는 경우가 발생할 수 있으며 이러한 경우를 대비하여 현장에서의 통신서비스 제공을 위한 이동형 기지국의 개발 역시 중요하다. 현재 Skyship Platform, 백팩 기지국, 드론 활용 이동형 기지국 등이 개발되었으며 이를 고도화하여 재난상황에서 신속한 통신인프라 구축이 가능토록 대비하여야 할 것이다.

앞서 언급한 것처럼 PS-LTE 망은 상용통신망인 LTE 기술을 기반으로 하는 재난안전통신망으로 기존 상용망과의 연동이 유력할 것으로 전망된다. 재난망이라는 특성상 언제, 어디서 발생할지 모르는 재난상황에 즉각 대처할 수 있도록 주기적 점검을 통해 그 안정성을 검증받아야 할 것이며 연동되는 상용망 또한 재난망과 동일한 수준으로 관리되어야 한다. 구축 이후의 관리주체는 공공안전을 목적으로 하는 만큼 전문성을 가진 비영리 공공부문에서 관리하는 것이 적합하다고 판단된다.

참고 문헌

- [1] 김아현, “재난통신,” DIGIECO Technology Hot Issues, 34, 2011.
- [2] 남상준, 한동혁, 정종문, “재난 통신 및 네트워크 기술 및 발전 방향,” 한국통신학회 논문지, 29, pp.3-9. 2012.
- [3] 김성경, 김원익, 김현재, 장성철, 이현, 윤철식, “WiBro 기반의 광대역 공공안전재난 통신기술 및 표준화 동향,” 한국통신학회지 정보와 통신, 27, pp.24-34, 2010.
- [4] 손중제, “WiMAX 기반 재난통신 기술 및 표준 현황,” TTA Journal, 131, 2010.
- [5] F. Legendre, H. Theus, S. Felix, and P. Bernhard, “30 Years of Wireless Ad Hoc Networking Research: What about Humanitarian and Disaster Relief Solutions? What are we still missing?,” ACWR 2011 Proceedings of the 1st International Conference on Wireless Technologies for Humanitarian Relief. ACM, New York, 2011.
- [6] The ONE project, <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>
- [7] 장성철, 윤철식, “와이브로 기반의 공공안전재난통신 표준기술 동향,” TTA Journal 138, 2011.
- [8] ETSI EN 300 396-2, “Terrestrial Trunked Radio; Technical requirements for Direct Mode Operation; Part 2: Radio aspects,” 2007.
- [9] ETSI TR 102 485, “Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Technical characteristics for Broadband Disaster Relief applications (BB-DR) for emergency services in disaster situations; System Reference Document,” 2006.

- [10] GRIDMAN, www.wirelessman.org/sg/gridman
- [11] K. Shimoda and K. Gyoda, “Analysis of Ad hoc Network Performance for Disaster Communication Models,” *Autonomous Decentralized Systems (ISADS)*, 2011 10th International Symposium on, pp.483–488, 2011.
- [12] Y.S. Uddin, D.M. Nicol, and T.F. Abdelzaher, “A Post-Disaster Mobility Model For Delay Tolerant Networking,” *Simulation Conference (WSC)*, Proceedings of the 2009 Winter, pp.2785–2796, 2009.
- [13] V. Cerf et. al., “Interplanetary Internet (IPN): Architectural Definition,” 2001.
- [14] Luciana Pelusi, Andrea Passarella, and Marco Conti., “Opportunistic Networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks,” *IEEE Communications Magazine* issue on Ad hoc and Sensor Networks, Vol. 44, 2006.
- [15] Sacha Trifunovic, Bernhard Distl, Dominik Schatzmann, and Franck Legendre, “WiFi-Opp: Ad-Hoc-less Opportunistic Networking,” *CHANTS '11 Proceedings of the 6th ACM workshop on Challenged networks*, pp.37–42, 2011.
- [16] Z. Zhang, “Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 8, pp.24–37, 2006.
- [17] M. Liu, Y. Yang, and Z. Qin, “A survey of routing protocols and simulations in delay-tolerant networks,” *Wireless Algorithms, Systems, and Applications, LNCS*, Vol. 6843, pp.243–253, 2011.
- [18] Q. Yuan, I. Cardei, and J. Wu, “Predict, Relay.: An Efficient

- Routing in Disruption-Tolerant Networks,” *MobiHoc 2009*, pp.95–104, 2009.
- [19] Pan Hui, J. Crowcroft, and E. Yoneki, “BUBBLE Rap: Social-Based Forwarding in Delay Tolerant Networks,” *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, Vol. 10, pp.1576–1589, 2010.
- [20] E. Daly and M. Haahr, “Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs,” *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, pp.606–621, 2009.
- [21] A. Vahdat and D. Becker, “Epidemic routing for partially connected ad hoc networks,” *Technical Report CS-200006*, Duke University, 2000.
- [22] T. Spyropoulos, K. Psounis, Cauligi, and S. Raghavendra, “Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks,” *2005 ACM SIGCOMM Workshop*, pp.252–259, 2005.
- [23] W. Huang, S. Zhang, and W. Zhou, “Spray and Wait Routing Based on Position Prediction in Opportunistic Networks,” *IEEE Computer Research and Development*, pp.232–236, 2011.
- [24] G. Wang, B. Wang, and Y. Gao, “Dynamic Spray and Wait Routing algorithm with Quality of Node in Delay Tolerant Network,” *IEEE Communications and Mobile Computing*, pp.452–456, 2010.
- [25] 장덕현, 심운보, 김길수, 최낙중, 류지호, 권태경, 최양희, “이동성 정보를 이용한 DTN 네트워크 라우팅 프로토콜,” *정보과학회 정보통신*, 36, pp.130–136, 2009.
- [26] 김지훈, 정윤원, “지연 허용 네트워크에서 향상된 Spray and Wait 프로토콜,” *한국정보기술학회 논문지*, 8, pp.59–65, 2010.

- [27] ‘지진 재난’ 업무처리메뉴얼, 소방방재청 (중앙재난안전대책본부), 2008.
- [28] K. Heimerl and E. Brewer, “The village base station,” 4th ACM Workshop on Networked Systems for Developing Regions, 2010.
- [29] P. Gardner-Stephen, “The serval project: Practical wireless ad-hoc mobile telecommunications,” http://developer.servalproject.org/files/CWN_Chapter_Serval.pdf, 2011.
- [30] T. Hossmann, F. Legendre, P. Carta, P. Gunningberg, and C. Rohner, “Twitter in disaster mode: Opportunistic communication and distribution of sensor data in emergencies,” ExtremeCom, 2011.
- [31] 행정안전부, <http://www.mois.go.kr/>
- [32] 국민일보 주말섹션 “AND” 팀, 남한산성서 진도 6.3 지진발생하면, 소방방재청, 지진 시뮬레이션 분석, bucci, 2010.
- [33] 일본 대지진 현장의 한국 구조단, 생존자를 찾아라!, 소방방재청, 정책공감 (대한민국 정부 대표 블로그), <http://blog.daum.net/hellopolicy/6980812>, 2011.
- [34] Paolo Carta, Implementation of a Disaster Mode to Maintain Twitter Communications in Times of Network Outages, <ftp://ftp.tik.ee.ethz.ch/pub/students/2011-FS/MA-2011-02.pdf>, 2011.
- [35] 박대명, 이석민, 유대훈, 최웅철, “신뢰와 평판 기반의 소프트웨어 보증 시스템 구현,” 한국정보과학회 2010 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, 37, pp.61-66, 2010.
- [36] 이윤희, 이수진, “Ad-hoc 네트워크에서의 평판기반 침입탐지 기법,” 정보과학회 논문지 : 시스템 및 이론, 38, pp.138-146, 2011.
- [37] R.L. Rivest, A. Shamir, and L. Adleman, “A method for obt

- aining digital signatures and public-key cryptosystems,”
Communications of the ACM, Vol. 21, pp.120–126, 1978.
- [38] Introducing JSON, <http://www.json.org/>
- [39] Sqlite database, <http://www.sqlite.org/>
- [40] N. Uchida, N. Kawamura, T. Ishida, and Y. Shibata, “Resilient network with autonomous flight wireless nodes based on delay tolerant networks,” IT CoNvergence PRActice (INPRA), vol. 2, no. 3, pp. 1–13, 2014.
- [41] Bluetooth, <https://www.bluetooth.org/apps/content/>
- [42] 유대훈, 최웅철, “재난 후 상황에서의 모바일 응용 설계 및 구현,” 한국컴퓨터정보학회논문지, 18, pp.97–105, 2013.
- [42] 3GPP TS 33.179 V1.0.0, “Security of Mission Critical Push-To-Talk (MCPTT); (Release 13)” , 2015.12
- [43] 3GPP TR 33.879 V1.0.0, “Study on Security Enhancements for Mission Critical Push To Talk (MCPTT) over LTE (Release 13)” , 2015.12
- [44] 김성훈, 정상수, 조성연, 한진규, “3GPP 재난안전망(TSG SA6) 회의” , TTA Journal, Vol 158, 2015.03
- [45] 3GPP TS 22.346 V13.0.0, “Isolated Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN) operation for public safety; Stage 1 (Release 13)” , 2014.9
- [46] 3GPP TR 22.897 V13.0.0, “Study on Isolated Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Operation for Public Safety (Release 13)” , 2014.6
- [47] 3GPP TR 23.797 V13.0.0, “Study on architecture enhancements to support isolated Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) operation for public safety (Release 13)”, 2015.6

- [48] 3GPP TR 33.897 V2.0.0, "Study on Isolated Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Operation for Public Safety; Security aspects (Release 13)", 2015.12
- [49] 정찬형, 전유찬, "LTE 기반의 재난안전 무선통신망을 위한 주요 요구사항 분석", TTA Journal, Vol 156, 2014.11
- [50] 배명산, 신재욱, "재난안전통신을 위한 3GPP 표준화 동향", ETRI, 전자통신동향분석 제29권 제6호, 2014.12
- [51] 행정안전부, '재난안전무선통신망 주요 요구기능 공고,' 제2011-76호, 2011년 3월
- [52] You-Chiun Wang, Chien-An Chuang, "Efficient eNB deployment strategy for heterogeneous cells in 4G LTE systems", Elsevier Computer Networks 79 (2015) 297-312
- [53] Aida Al-Samawi, Aduwati Sali, Nor Kamariah Noordin, Mohamed Othman, and Fazirulhisyam Hashim, "Base Station Location Optimisation in LTE using Genetic Algorithm", IEEE ICT Convergence 2013
- [54] J.Kennedy and R.Eberhart, "Particle swarm Optimization", Proc of IEEE International Conference on Neural Networks, VOL.IV, Perth, Australia, 1995.
- [55] P.S Shelokar "Particle swarm and ant colony algorithms hybridized for improved continuous optimization," Applied Mathematics and Computation 188, pp. 129-142, 2007
- [56] LTE-Wi-Fi 기술 분석, <https://www.netmanias.com/ko/?m=view&id=reports&no=8486>
- [57] 이상윤, "해외 광대역 PPDR 동향과 도입을 위한 고려사항", 방송통신 정책, 제 25권 20호통권 565호
- [58] 미래부, "국가재난안전통신망 기술방식 선정결과", 국가정책조정회의 2013.7.31

- [59] 최승연, 이세인 “, 한국 TRS 시장의현황과전망” , 연세대학교
- [60] Jonghyuk Sun, “FIRSTNET: Nationwide Public Safety Broadband Network” , Alcatel-Lucent
- [61] 행정안전부장관 “, 재난안전무선통신망주요요구기능공고” , 행정안전부 공고 제2011-76호
- [62] MSIP, Republic of Korea, “Request on prioritization and expeditious completion of 3GPP Work Items and Study Items related to Public Safety LTE” , 3GPP RP-141097, Sept. 2014
- [63] TTA, “3GPP Work Items for Public Safety LTE and PPDR Broadband network in Korea” , 3GPP RP-141098, Sept.2014
- [64] 미래부 “, 모바일광개토플랜2.0” , 2013.12.31 보도자료
- [65] Ericsson, <http://www.ericsson.com/ericsson-mobilityreport>, Mobility Report June 2014
- [66] 박덕규 “, 700MHz 대역의공공통신활용” , KRnet 2014
- [67] Yong-Hoon Choi, Jungerl Lee, Juhoon Back, Suwon Park, Young-uk Chung, and Hyukjoon Lee, "Energy Efficient Operation of Cellular Network Using On/Off Base Stations", Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2015, Article ID 108210, 7 pages