

재난통신을 위한 LTE D2D 구현 및 운용 방안 연구

Research on LTE D2D implementation and operation plan for PPDR communication

박성균[★], 노승환^{*}, 임종태^{**}

Seong-Gyoon Park[★], Soong-Hwan Ro^{*}, Jongtae Ihm^{**}

Abstract

Device-to-Device communication is a very important essential feature in PPDR(Public Protection Disaster Relief) communication, but it has not yet been implemented in LTE-based PPDR communication. In this study, we propose a solution to implement the LTE-based domestic PPDR communication network by evolving the terminals into D2D in-band terminals and effectively operating the current PS-LTE terminals and digital radios in the transitional period.

요약

재난통신에서 직접통화는 매우 중요한 필수 기능이지만 LTE 기반 재난통신에서는 아직 구현되지 못하고 있다. 본 연구에서는 LTE 기반의 국내 재난안전통신망의 단말기가 D2D In-band 단말기로 진화하여 구현할 수 있는 방안을 제시하고, 과도기적으로 현재의 PS-LTE 단말기와 디지털 무전기를 효과적으로 운영하는 방안을 제시한다.

Key words : PPDR communication, D2D, TDD, Half-Duplex, Tx power

1. 서론

최근 기후변화와 도시화의 진전으로 자연 재난과 함께 인위적인 사회 재난이 복합적으로 작용하여 대형 재난의 발생 가능성이 높아지고 있다.

이러한 대형 재난을 예방 및 대응하기 위해서는 보다 고도화된 재난통신망이 필요하여 전 세계적으로 기존 회선교환방식인 디지털 TRS(TETRA, P-25) 네트워크에서 패킷교환방식인 LTE 기반 네트워크 중심으로 전환하게 된다. 우리나라도 2014년 세월호 참사를 계기로 PS-LTE 기반인 재난안전통신망 구축을 추진하여 2021년 5월에

완료하였다.

재난안전통신망은 2011년 행정안전부에서 제시한 17개 필수 기능과 20개 부가 기능을 제공한다. 특히 필수 기능 중 직접통화/단말기 중계 기능은 재난으로 통신 인프라가 붕괴되었거나 전파음영 지역에서도 원활한 재난 구조 활동을 전개하기 위해 반드시 필요한 통신 기능이다[1].

보편적으로 재난구조 작전을 위한 통신망은 지휘망과 작전망 개념으로 이원화된다. 지휘망은 재난지휘본부 또는 통제본부, 그리고 현장 지휘관들간의 정보교환 및 총괄 지휘를 위한 통신망이며, 작전망은 각 재난구조 현장

* Dept. of Radio Science & Engineering, Kong-Ju National University

** Dept. of Industry University Convergence, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : psk@kongju.ac.kr, Tel : +82-41-521-9198

Manuscript received Dec. 11, 2023; revised Dec. 19 2023; accepted Dec. 26, 2023.

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

에서 현장지휘관을 중심으로 한 재난구조 대원들과의 정보교환 및 작전 지휘를 위한 통신망이다(그림 1 참조).

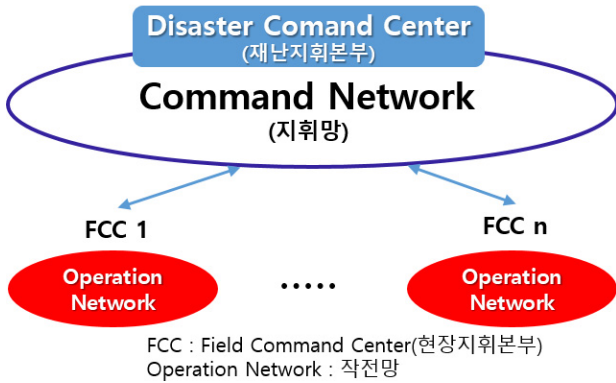


Fig. 1. Hierarchical structure of public safety communication for disaster relief operations.

그림 1. 재난구조 시 재난통신의 계층적 구조

기존 재난통신망의 주축이었던 TETRA방식은 기지국을 통한 트렁킹(Trunking) 방식의 TMO모드와 일정 영역 내의 단말기들간 직접통화 방식의 DMO모드를 전파 환경에 따라 유연하게 활용하는 방식으로 지휘망과 작전망을 구성할 수 있다.

TMO 모드는 기지국을 통해 가용 채널을 작전 규모와 형태에 따라 사용자 단말기에게 가용 채널을 효과적으로 할당하여 운용하는 모드이고, DMO는 기지국을 통하지 않고 워키토키(walkie-talkie)처럼 단말기 간에 직접통화를 하는 모드이다. 만약 재난 지휘 본부와 재난구조 현장이 모두 기지국 커버리지 내에 있다면 TMO 모드로 지휘망과 작전망 채널을 구분하여 운영할 수 있지만, 재난구조 현장이 기지국 커버리지 밖이라면 지휘망은 TMO, 작전망은 DMO를 각각 활용하여 운영하게 된다. 물론 후자의 경우도 전파환경에 따라 DMO 모드가 4가지로 나뉘어 활용하게 된다[2].

한편, 빌딩의 지하에서 화재가 발생할 경우, 빌딩에 설치된 무선통신 보조설비를 이용하여 지상의 현장 지휘관과 지하 공간에 투입되는 작전 대원간에 통신하여야 하지만 현재 우리나라의 TETRA 통신 주파수는 800MHz 대역이고 무선통신보조설비는 선로 증폭기가 450MHz 대역까지만 지원하여 TETRA 방식으로 지하 공간에서의 작전망 지원이 불가하다. 이에 따라 지하 구간에서는 UHF 무전기로 작전망을 구성하여 운영하게 되어 현장 지휘관은 재난구조 작전 동안 TETRA 단말기와 UHF 무전기를 항시 휴대하여야 한다[3].

하지만 2021년 패킷교환방식인 LTE 기반의 재난안전

통신망이 구축되었는데 지휘망 구성에는 강점이 있지만 직접통화 기능을 위한 기본적인 D2D 기능도 구현되지 못해 기지국 커버리지 밖에서의 작전망 구성 및 운영이 불가능하다. 특히 재난안전통신망은 All-4-One이라는 방식으로 전체 공공안전 업무의 요구 커버리지를 확보하고 있다[4]. 구축한 PS-LTE 방식의 커버리지를 보완하는 가장 큰 활용 통신망은 상용망이다. 경찰의 경우 일상적인 공공안전 업무를 수행하기에는 큰 문제가 없겠지만, 상용망을 통한 공공안전 업무 수행 중 호 폭주가 발생할 경우, 효과적인 대응이 어려워질 수 있고, 지하 구간 등과 같은 상용망 음영지역에서는 업무 수행이 불가능하게 된다. 이에 따라 전파 음영 지역에서 작전을 많이 수행하게 되는 소방의 경우 작전망은 UHF 무전기로 구성하여 운영하게 된다.

따라서 데이터, 영상 전송 등의 LTE 기술의 장점을 극대화하면서 재난구조 작전을 원활하게 지원하는 통신망을 구현하기 위해서는 TETRA DMO 기능을 그대로 수용하는 D2D 구현이 매우 중요하다.

본 연구에서는 TETRA DMO와 재난통신용 LTE D2D 기술을 표준에 근거하여 비교 분석하고, 이를 통해 LTE D2D 단말기를 구현하기 위한 기술 이슈를 규명하며, 재난안전 용도에 적합한 LTE 단말기 구현과 단말기 관점에서의 진화 및 운용 방안을 제시하고자 한다.

II. LTE D2D 단말기 구현 기술 요소 분석

재난통신 용도의 LTE D2D 단말기는 기본적으로는 TETRA의 DMO와 동일한 기능 및 성능을 갖도록 구현하고자 한다. 그러나 LTE D2D는 아직 표준화 작업상에서 머무르고 있고 실제 구현되어 서비스가 실현되고 있지는 못하다. TETRA DMO와 LTE D2D의 기능을 비교하고 재난통신 용도에 합당한 LTE D2D 단말기 구현을 위한 이슈들을 도출한다.

Table 1. Comparison of LTE D2D vs. TETRA DMO.

표 1. LTE D2D vs. TETRA DMO 비교

Scenarios	Comparison of Functions	
	LTE D2D	TETRA DMO
On-Net.	Network Discovery + Direct Comm.	Direct Comm.
Off-Net.	Only Direct Comm 단말기 relay.	Direct Comm. 중계기(Repeater)
Partial Net.	Network Relay + Direct Comm.	Gateway(차량 등) Dual Watch (Terminal)

표 1에서 LTE와 TETRA의 직접통화 관련 기능들을 시나리오별로 비교하였는데, 기지국을 통한 네트워크 커버리지 내에 있는 단말기들로 네트워크 부하 경감을 위한 offload 등의 이유로 직접통화 기능을 사용할 수 있지만 LTE의 경우는 상업적인 이유로도 사용하는데 기본적으로 기지국을 통한 통화 상대를 발견하고 상호 간 직접통화를 하게 된다[2, 5].

재난구조 작전 영역이 네트워크 커버리지를 벗어난 경우 TETRA는 중계기를 이용하여 단말기들 간의 통화 커버리지를 확장할 수 있다. 그리고 작전 영역의 일부가 커버리지를 벗어난 경우, TETRA는 출력이 높은 차량 탑재 Gateway 또는 Dual Watch 기능 탑재 단말기를 통해 네트워크 통신과 단말기 간 직접통신을 모두 지원할 수 있다. LTE는 단말기 중심으로 홉(hop)과 같은 형태의 릴레이 기능을 수행하여 네트워크에 연결하는 개념이다.

LTE와 TETRA의 두 가지 방식을 비교하여 보면 태생적으로 기술이 추구하는 목적이 다르므로 직접통화 기능의 세부적인 특성들을 살펴보면 상이한 점들이 많이 있음을 알 수 있다.

특히 단말기 간 직접통화를 위한 무선링크의 주파수는 In-band와 Out-band로 나뉘는데 TETRA는 원칙적으로 In-band로 동작하지만 LTE는 FDD 방식일 경우 대부분 Out-band로 동작한다. 직접통화를 구현하는 주파수 활용 방법에 대해 표 2에 요약하여 제시한다[5].

Table 2. Frequency Usage for D2D implementation.

표 2. D2D 구현 주파수 활용 방법

Mode	Frequency Usage	
	Overlay	Underlay
In-band	Frequency Separation between Network & D2D users	Frequency overlap between Network & D2D users
	Network	D2D Terminal
Out-band	Cellular band	Switch to other frequencies like ISM

In-band 방식은 D2D 단말기가 셀룰러 대역 내에서 동작하는 것으로 Underlay와 Overlay로 나뉜다. Underlay로 동작시킬 경우 셀룰러 방식으로 동작하는 단말기와 동일한 대역을 사용하므로 간섭이 우려되고, Overlay로 동작시키면 셀룰러 접속 단말기와 D2D 단말기의 사용 대역을 분리하여야 하므로 사전에 기지국을 통한 무선자원 조정을 통해 네트워크 접속 단말기와 D2D 단말기 간의 적절한 무선 리소스 배분이 필요하다. 더욱이 FDD로

운용되는 단말기에서는 In-band에서 직접통화를 수행하기 위해 TDD로 동작 듀플렉스 모드를 변경하고 통화그룹 단말기들과의 시간 동기를 맞춰야 한다.

Out-band 방식은 D2D 단말기가 셀룰러 대역을 사용하지 않고 대개 ISM 대역을 사용하는 방식으로서 시분할 방식으로 동작하는 Wi-Fi/Bluetooth를 주로 활용한다. 이 방법은 직접통화 기능을 구현하는데는 문제가 없지만, 소출력을 전제로 한 기술이므로 재난구조 시 작전 환경이 협소해지는 치명적인 단점을 갖는다.

이상의 분석을 종합하여 LTE D2D 단말기 구현을 위한 핵심 기술 요소를 도출하면 다음과 같다.

- 단말기 듀플렉스 모드
- D2D 모드 단말 가용 출력
- 단말 통화그룹별 무선자원 할당
- D2D 시간 동기 소스 관리
- D2D 단말기 간 간섭 관리

이러한 기술 요소들 중에 단말기 구현을 위한 기술 규격에 가장 영향을 미치는 요소는 듀플렉스 모드와 단말기 가용 출력이다. 나머지 요소들은 프로토콜 개념으로서 칩 셋에 내장되는 것이므로 무선설비 기술 규격에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

재난통신의 직접통화 기능의 참조모델로서 TETRA DMO를 참조하여 D2D 단말기의 RF 구조와 가용 출력에 대해 도출하면 다음과 같다.

1. 단말기 RF 및 송수신기 구조

현재 국내 재난통신 단말기는 일반 스마트폰처럼 FDD 방식으로 동작하고 있는데, 직접통화 기능을 기본적으로 제공하는 TETRA 또는 디지털 무전기(DMR)는 시분할 다중화(TDMA)를 기반으로 Half-Duplex 모드로 동작한다. Half-Duplex 모드로 동작하려면 TDD 방식으로 단말기가 동작하도록 구현되어야 한다.

3GPP Release 15 이후의 표준에서는 FDD 방식을 Half-Duplex로 동작하게 하는 HD-FDD 방식도 포함시키고 있지만 이 방식은 IoT 등과 같은 시스템의 사이드 링크(Sidelink) 동작 전력을 절감하는 등의 목적으로 채택하고 있는 것이며, 통화 기능으로 활용하기에는 적합하지 않다.

LTE In-band D2D 단말기를 구현하기 위해서는 평시에는 FDD 방식으로 네트워크를 통해 공공안전 업무, 즉 예방과 대비 업무를 수행하고, 재난 발생 시 특정 현장에 투입되어 작전을 수행하기 위한 직접통화 기능을

동작시키고자 할 때는 TDD 방식으로 절체하여 D2D 기능을 작동시키도록 RF 및 송수신기 구조가 구현되어야 한다.

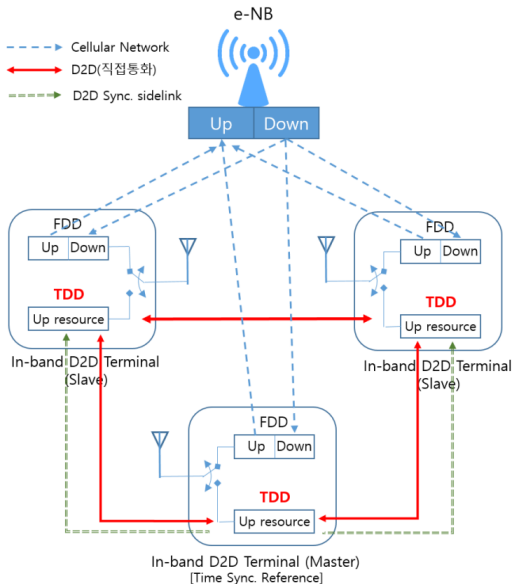


Fig. 2. D2D terminal operation.

그림 2. D2D 단말기 동작 방식

그림 2에 D2D 단말기가 FDD 송수신기를 통해 셀룰러 통신 모드 동작과 TDD 송수신기로 D2D 통신 모드 동작을 함께 나타내었다. D2D 동작 시에는 TDD 동작을 위해 Master 단말기에서 D2D 동기 기준신호를 송출하여 다른 Slave 단말기들이 시간 동기를 맞추어 동작할 수 있도록 한다.

한편 D2D 동작을 위한 주파수 대역은 3GPP 표준에 따라 FDD 동작 대역 중 상향 링크(Up-link)를 사용한다. 재난현장에서는 지휘망을 통해 FDD 방식으로 단말기들이 운영되고 있으므로 작전을 위해 투입되는 현장대원들이 운영하는 TDD 방식의 D2D 단말기들은 FDD 방식 단말기들과 무선자원이 겹쳐 간섭이 발생할 수 있다.

이러한 간섭을 방지하기 위해 사전에 FDD 동작 단말기와 TDD 동작 D2D 단말기들간의 상향 링크의 무선자원 할당 체계가 정립되어 있어야 한다. 이는 단말기 구현과는 별도로 관련 표준운영절차(SOP)가 개발되어야 할 것이다. 그리고 두 그룹간에 상향링크의 무선자원을 서로 분리하여도 단말기가 동작하는 시간 동기가 맞지 않는다면 단말기 간에 캐리어간 간섭(Inter-Carrier Interference, ICI)이 발생하게 된다. ICI 해소를 두 그룹 간 시간 동기를 맞추어야 하는데, 이를 위해서는 기지국 접속이 필요하다. 하지만 작전 현장이 재난안전통신

망의 전파음영 지역이라면 D2D 단말기들은 기지국 접속이 불가능하여 ICI 간섭은 불가피하므로 무선자원 할당 시 두 그룹간 일정한 리소스 블록(Resource Block) 이격이 필요하며, 이는 보다 정밀한 연구가 필요하다.

일반적으로 LTE 단말기는 FDD 방식이든 TDD 방식이든 하향 링크는 기지국이 OFDM으로 전송하여 단말기가 수신하며, 상향 링크는 단말기가 SC-FDMA(DFT-OFDM)으로 전송하여 기지국이 수신한다. 하지만 TDD 방식으로 동작하는 D2D 단말기는 서로 SC-FDMA로 전송하고 수신하여야 한다. 따라서 D2D 단말기의 구조는 다음 그림 3과 같이 구현되어야 한다.

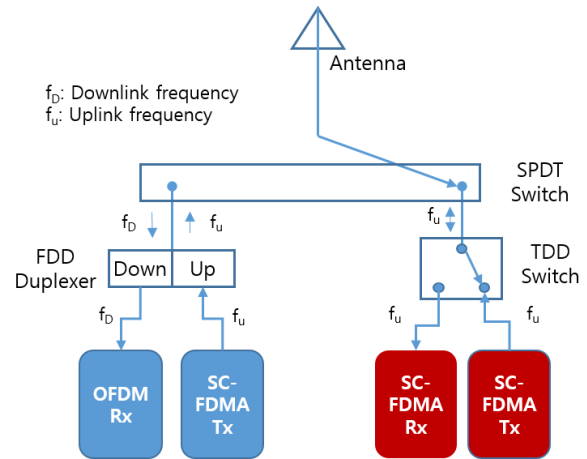


Fig. 3. Structure of D2D terminal.

그림 3. D2D 단말기 구조

2. 단말기 송신 출력

현재 국내 재난통신 단말기는 일반 스마트폰처럼 23dBm(200mW) 출력으로 동작하는데 In-band D2D 모드로 동작할 경우 relay를 통한 멀티 홉(multi-hop) 방식으로 직접통화 커버리지를 확보할 수도 있지만 이는 중계 과정에서 시간 지연(latency)이 누적되어 재난구조를 위한 빠른 긴급 통화가 이루어지기 어려울 수 있다. 재난통신에서 긴급통화 셋업 시간을 250msec로 제시하고 있다.

특히 건물 지하 화재 발생 시 투입되는 대원들 간의 통화를 위해서는 충분한 통화 거리 확보가 필요하다. 이를 위해 TETRA DMO에서 제시하는 정격 출력은 다음 표 3과 같이 7개의 클래스로 나누어 통신환경에 따라 다양한 출력의 장비들을 활용할 수 있도록 하고 있다[7].

디지털 무전기(DMR), TETRA 단말기(DMO), 스마트폰 형태의 국내 재난통신 용도의 LTE D2D 단말기(현재 기술기준으로 D2D 통신 가정)에 대해 각각의 최대 허용

가능 경로 손실을 계산하여 실내 재난구조 작전 반경을 상대적으로 비교 분석한다.

Table 3. Nominal power by TETRA DMO classes.

표 3. TETRA DMO 클래스별 정격 출력

Power Class	Nominal Power
1(30W)	45dBm (30W)
1L	42.5dBm (17.5W)
2	40dBm (10W)
2L	37.5dBm (5.6W)
3	35dBm (3W)
3L	32.5dBm (1.8W)
4	30dBm (1W)

이를 위해 링크 버짓(Link Budget)을 계산하여야 하는데 관련 파라미터 설정 및 계산 결과는 다음 표 4와 같다.

Table 4. Link Budget for DMR, TETRA DMO, LTE D2D.

표 4. DMR, TETRA DMO, LTE D2D 링크버짓

Parameter	DMR	TETRA DMO	LTE D2D	
Tx				
Power[dBm]	36	30	32.5	23
Antenna Gain [dBi]	0	0	0 (normal)	-4 (internal)
Rx				
Antenna Gain [dBi]	0	0	0 (normal)	-4 (internal)
Noise Figure[dB]	8	8	7	7
Bandwidth[kHz]	12.5	25	180 (PSCCH)	180 (PSCCH)
C/N or S/N[dB]	15	16	4.7	4.7
Sensitivity [dBm]	-110	-106	-109.7	-101.7
MAPL[dBm]	146	136	138.5	132.7

* MAPL : Maximum Allowable Path Loss

TETRA는 휴대용 단말기와 Dual-Watch 단말기를 가정하여 표 3의 power class 3L(32.5dBm) 및 class 4(30dBm)을 적용하였다. 안테나는 일반적인 무전기에 적용하는 다이폴 안테나를 모두 적용하여 이득이 0이지만, LTE의 경우 일반 스마트 폰처럼 내장형을 사용한다고 가정할 경우 효율이 -4dB 감소하는 것으로 적용하였다.[9] 디지털 무전기와 TETRA에서 요구 수신 CNR은 음성 품질과 관련한 DAQ 3.4에 의거한 값을 각각 적용

하였다[10].

LTE의 경우는 IF와 모뎀 등과 관련한 파라미터 설정이 어려운 부분인데 D2D 통신을 위해 가장 필수적인 PSCCH(Physical Sidelink Control Channel)을 안정적으로 수신하기 위한 링크버짓을 계산한다. 따라서 관련 표준인 3GPP 36.101에 의거하여 PSCCH는 1RB(Resource Block)을 할당하여 QPSK로 변조하고 채널을 놓칠 확률이 1%인 최소 성능에 대한 요구 SNR이 4.7dB이다. 이를 근거로 하여 대역폭은 180kHz, 요구 수신 SNR은 4.7dB를 적용하였다[11][12]. 이러한 파라미터를 적용하여 수신감도를 다음 식 (1)을 통해 계산한다.

$$\text{수신감도} [dBm] = -174 [dBm] + \text{잡음지수} [dB] \quad (1)$$

$$+ Rx \text{ Ant. 이득} [dB] + 10 \log_{10} (\text{대역폭} [Hz])$$

$$+ C/N(S/N) [dB]$$

계산된 수신감도 값으로 송신 파라미터들을 적용하여 최대 허용 경로 손실(MAPL)을 다음 식 (2)와 같이 계산하였다.

$$MAPL [dBm] = Tx \text{ 전력} [dBm] + Tx \text{ Ant. 이득} [dB] \quad (2)$$

$$- \text{수신감도} [dBm]$$

TETRA 휴대용 단말기를 통한 DMO 동작을 기준으로 하여 디지털 무전기와 LTE D2D 단말기의 상대적 통신 반경을 비교하면 다음 표 5와 같다.

Table 5. Coverage analysis by technology.

표 5. 통신방식별 통신 반경 비율 분석

구분	TETRA DMO	DMR	LTE D2D	
			일반	내장형
MAPL[dBm]	136	146	132.7	124.7
Difference [dB]	(기준)	+10	-3.3	-11.3
Coverage (Radius)	1배	10배	0.47배	0.07배

분석 결과에서 보는 바와 같이 현재의 LTE 단말기 기술기준으로는 TETRA DMO가 제공하는 작전 반경의 절반에도 미치지 못하며, 재난 구조 작업에 활용되는 LTE 단말기의 안테나 형태도 현재와 같은 내장형이 아니라 일반 무전기와 같은 다이폴 선형 다이폴 안테나를 적용하여야 한다. 미국의 경우 이러한 점을 감안하여 LTE관련 3GPP 표준에서 HPUE(High Power User Equipment) 기준을 적용하여 재난구조 용도의 단말기의 전송출력은 31dBm으로 상향하였다.

III. 재난통신 단말기 진화 및 운용 방안

2장에서 분석을 통해 재난구조 현장의 작전을 지원하기 위해서는 현재 LTE 기반의 재난통신 단말기는 원칙적으로 최소 1W 이상의 출력을 갖는 In-band D2D 기능을 탑재한 단말기로 바뀌어야 한다.

하지만 공공기관들의 재난통신 단말기는 규정상 내용 연수가 다할 때까지 사용하여야 하므로 당장에 교체하기 어려우며, 또한 In-band D2D 단말기 구현을 위한 칩셋이 부재하여 생태계가 구축되어 있지 못하다. 따라서 현재의 재난통신 가용 수단을 토대로 재난구조를 효과적으로 지원할 수 있는 통신망 운용 방안이 강구되어야 한다.

재난통신망 사용의 핵심 기관인 경찰과 소방의 가용 수단들을 살펴보면 재난안전통신망 단말기와 무전기(TETRA 포함)를 현재 보유하고 있다. 재난안전통신망의 LTE 단말기는 모든 공공기관들간에 상호운용성이 보장되지만 무전기는 기관별 주파수가 달라서 상호운용성 지원이 불가능하다. 따라서 대규모 재난 발생 시 많은 유관기관들이 협력하여 대응할 경우 무전기망을 지휘망으로 사용할 수 없다. 따라서 지휘망으로는 재난안전통신망을 사용하고 각 기관의 재난현장 작전 수행에는 무전기망을 활용하는 것이 효과적이다. 이를 고려하여 작전 지역의 상황에 따라 다양한 운영 방안이 고려되어야 한다[8].

기본적으로 재난지휘본부로부터 지휘를 받으면서 동시에 현장의 재난구조 작전을 지휘하여야 하는 현장지휘관은 재난안전통신망(지휘망)과 무전기망(작전망)에 동시 접속할 수 있어야 하므로 두 개의 단말기를 가져야 한다.

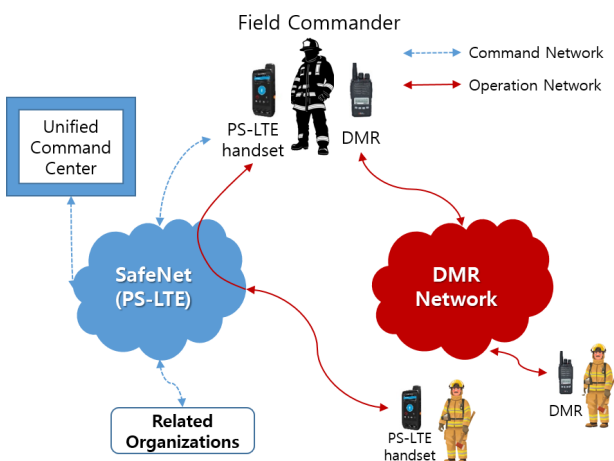


Fig. 4. Command/Field operation network composition and operating.

그림 4. 지휘망/작전망 구성 및 운영 방안

물론 재난현장이 재난안전통신망 커버리지 내에 있다면 현장지휘관과 현장대원들 모두 하나의 단말기로 지휘와 작전 수행이 가능하다.

하지만 지하, 터널, 고층 빌딩 등과 같은 곳에서 화재 등의 재난이 발생할 경우, 재난안전통신망 접속이 보장되지 않으므로 작전 수행을 위한 직접통화를 위해 무전기를 사용할 수밖에 없다.

또한, 재난현장이 광활한 지역이고, 재난안전통신망이 부분적으로 통신을 제공할 수 있는 경우, 무전기망으로는 작전 지역을 모두 커버할 수 없으므로 현장대원도 LTE 단말기와 무전기를 다 가져야 할 수 있다. 물론 재난안전통신망의 이동기지국을 활용할 수도 있지만 재난 시에는 빠른 대응이 필요하므로 활용이 쉽지 않을 수 있다. 재난현장의 재난안전통신망 커버리지 상황에 따른 단말기의 운용 방안을 정리하면 다음 표 6과 같이 요약할 수 있다.

Table 6. Terminal operation according to field network coverage conditions.

표 6. 재난현장 재난망 커버리지에 따른 단말 운용

구분	On Coverage	Off Coverage	Partial Coverage
Field Commander	LTE	LTE+DMR	LTE+DMR
Field Crew	DMR	DMR	LTE+DMR

현장대원들은 재난현장에서 구조 업무에 집중하여야 하므로 두 개의 단말기를 운용하는 것은 거의 불가능하다고 보아야 한다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 하나의 단말기에 LTE와 DMR 방식을 모두 집약시킨 복합단말기를 구현하여야 한다. 단말기 내에서 두 방식에 호환되지는 않지만 통신 커버리지 상황에 따라서 절제하여 사용할 수 있도록 구현하면 재난구조 현장에서 훨씬 효과적으로 활용할 수 있다.

일반적으로 빌딩은 화재 발생 시 안전을 위해 전기를 차단하므로 실내 중계기가 작동하지 않아 재난통신운용이 불가능하게 된다. 이를 위해 일정 규모 이상의 빌딩은 무선통신보조설비를 갖추도록 하고 있다. 실내로 진입하여 작전을 수행할 경우 건물 외부접속 단자에 단말기를 연결하여 빌딩 내 재난통신이 운용될 수 있도록 하는 것이다.

중장기적으로는 기술이 발전하여 LTE In-Band D2D 단말기가 구현되어 하나의 단말기로 지휘와 작전을 모두 지원할 수 있게 될 것으로 전망된다. 그러나 LTE In-

band D2D 단말기의 출력이 23dBm으로 제한된다면 지하구간과 같은 전파음영지역으로 들어갈 때 무전기에 비해 짧은 통신거리를 감안한 작전 반경을 계획하고 운영하여야 한다.

그러나 그림 5에서 보는 바와 같이 건물 내에서 다른 층간 작전 수행을 하는 경우 일정 거리 이상 멀어지면 충분한 통신이 이루어지기 어렵다. 그림 5에서 예측한 경로 손실은 ITU-R P.1238 권고에 의거하여 실내 경로 손실을 계산한 것이다[13].

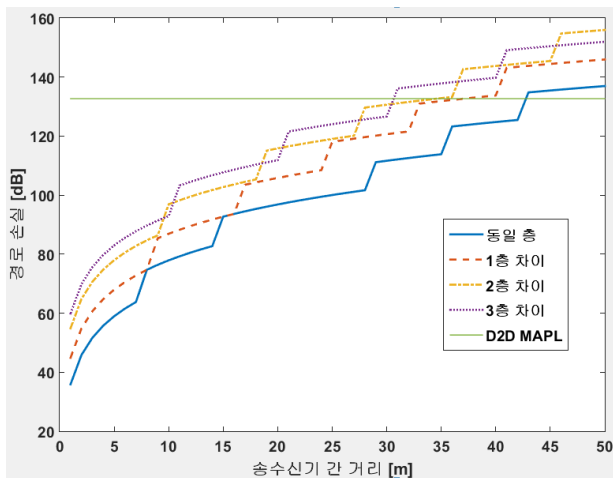


Fig. 5. Prediction of D2D terminal operating distance by indoor path loss for 700MHz.

그림 5. 700MHz 대역의 실내 경로손실에 따른 D2D 단말기 운용 거리 예측

현장 대원들 간에 최대 3층 차이 공간에서 작전을 수행한다고 가정하고, 평균 7m 거리로 벽이 있으며, 벽을 통과할 때마다 평균 9dB의 전력 감쇄가 있다고 가정하였다. 2장에서 계산한 무전기 형태의 D2D 단말기의 최대 허용 경로 손실(D2D MAPL)과 비교할 때 동일 층에서는 42m 정도 이격하여 작전을 수행할 수 있지만, 3층 차이가 나는 공간에서는 30m 이내로 이격하여 작전 수행하는 것이 안전함을 알 수 있다. 신체 블로킹에 의한 손실(body loss) 등을 추가로 감안한다면 실제 작전반경은 더 줄어들 것이다. 앞서 언급한 바와 같이 실내에서의 작전반경을 넓히기 위해서는 단말기의 최대 송신 출력을 증강시켜야 함을 다시 한번 확인할 수 있다.

마지막으로 재난통신용 LTE 주파수는 700MHz(Band 28)인데, 현재 빌딩 내 무선통신보조설비의 최대 동작 주파수는 450MHz 이어서 D2D 단말기가 개발되더라도 빌딩 내에서 작전에 활용하는 것은 불가능하다. 따라서 현재의 무선통신보조설비의 기술기준을 700MHz 대역으

로 상향하고, 기존 대형빌딩들의 무선통신보조설비를 업그레이드할 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

재난통신에서 직접통화(D2D)는 실제 재난구조 현장에서 매우 중요한 기능이다. 그러나 아직 국내 재난안전통신망에서는 요구되는 수준의 직접통화 기능이 구현되고 있지 못하다. 아울러 3GPP의 D2D 관련 표준에서도 In-band D2D를 위한 구체적인 구현 방법론은 제시되지 않고 있다. 본 연구에서는 국내 재난안전통신망과 같은 FDD방식의 LTE 네트워크에서 재난구조 작전에 적합한 작전망을 함께 구성 및 운영할 수 있는 TDD 방식의 D2D 기능을 구현하기 위한 핵심 기술 요소들을 제시하고, 단말기 구조 및 출력과 관련한 구현 방향을 제시하였다. 그리고 현재의 LTE방식의 재난통신 단말기와 디지털 무전기를 가지고 지휘망과 작전망을 효과적으로 구성 및 운영하기 위한 방안도 제시하였다. 마지막으로 D2D 단말기를 구현하여 활용할 경우 단말기의 출력을 고려한 작전 반경의 문제도 고찰하여 작전망 구성 및 운영 방안도 제시하였다.

향후 보다 정교한 D2D 단말기간 시간동기와 무선자원 할당 등과 관련한 기술적인 이슈들을 정밀하게 분석하여 최적의 지휘망과 작전망 구성 및 운용을 위한 방안이 강구되어야 할 것이다. 또한 재난안전통신망이 5G로 진화하면서 D2D In-band 단말기 구현과 활용 방안도 고려해볼 수 있을 것이다.

References

- [1] W.I. Kim, W.G. Park, "Present State and Prospect of Wireless Networks for Public Protection and Disaster Relief," *ETRI Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.26, No.3, 2011. DOI: 10.22648/ETRI.2011.J.260305
- [2] He Xiaoben, "Study on TETRA DMO and Mobile Ad-Hoc Networking," Computer Science, Engineering, 2002.
- [3] KISDI, "Research to establish public safety wireless communication network policy direction," 2009.
- [4] KCA Report, "Integrated public network (PS-LTE) radio interference monitoring study", 2019.

- [5] "Modeling Multi-mode D2D Communications in LTE", Arash Asadi etc., arXiv:1405.6689, 2014
- [6] JiaJia Liu, Nei Kato, etal, "Device-to-Device Communication in LTE-Advanced Systems: A Survey," IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol.17, No.4, 4th Quarter 2015.
DOI:10.1109/COMST.2014.2375934
- [7] "TETRA Direct Mode and LTE Proximity Services(ProSe) compared", TCCA P3 communications GmbH, 2016.
- [8] S.G. Park, "A study on Model for Developing SOP with Public Safety Communications", iKEEE Journal, Vol. 23, No. 1, 2019.
DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.1.214
- [9] "Final Report: ProSe", NIST, 2016
- [10] "Comparing Voice Coverage : DMR and TETRA," Tait communications, 2020.
- [11] "BLER Performance Evaluation of LTE Device-to-Device Communications", <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8157>, Sep. 2022.
- [12] "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception," 3GPP TS 36.101 version 15.9.0 Release 15, 2022.02
- [13] "Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300MHz to 450GHz," Recommendation ITU-R P.1238, 2023.

BIOGRAPHY

Seong-Gyoon Park (Member)



1985 : BS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.
1987 : MS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.
1994 : PhD degree in Electronic Engineering, Yonsei University.

1987~1989 : Research Engineer, Samsung Electronics.
1994 : ETRI Post Doc.

Soong-Hwan Ro (Member)



1987 : BS degree in Electronic Engineering, Korea University.
1989 : MS degree in Electronic Engineering, Korea University.
1993 : PhD degree in Electronic Engineering, Korea University.
1997~1998 : Invited Researcher ETRI.

Jong-Tae Ihm (Member)



1986 : BS degree in Electronic Engineering, Yonsei University..
1988 : MS degree in Electronic Engineering, Yonsei University..
1993 : PhD degree in Electronic Engineering, Yonsei University..
1993~2014 : CTO of SK Telecom

2015~2020 : CEO of Daejeon CCEI