유럽의 광대역 재난통신망 구축을 위한 로드맵

박성균, 김 남*
공주대학교, 충북대학교*

요 약

본고에서는 유럽의 PPDR-TC(Public Protection Disaster Relief- Transformation Center)에서 연구한 연구결과를 토대로 광대역 재난통신망 구축을 위한 다양한 고려사항들과 적용 기술들의 특징을 살펴보고, 도출된 여러 가지 진화 경로에 대한 장단점을 분석해본다. 이러한 분석 결과를 토대로 현재 국가재난안전통신망 구축을 추진 중인 우리나라의 입장에서 참조할 점이 무엇인지 제시하고자 한다.

Ⅰ. 서 론

우리나라는 사실상 세계 최초로 재난통신 어플리케이션에서 요구하는 모든 요구기능을 충족하는 PS-LTE 방식 기반 국가재난안전통신망의 구축을 추진하고 있다.

2015년 11월에 1차 시범사업의 사업자가 선정되어 PS-LTE 기반 재난관련 단일 통신망 구축과 운용 등을 시연할 예정이다. 주로 PS-LTE 기반 통신망을 구축하고 PPDR 서비스를 위한 새로운 기술들의 시나리오별 기능 검증 단계를 거친 다음, TETRA 등 기 구축된 재난안전관련 타 무선통신망과 연계 검증을 실시할 것으로 보인다. 그리고 최종적으로 확대 운영기반 체계를 마련하여 전체 사업으로 확장할 것이다.

이러한 시점에서 보다 체계적인 재난안전통신망 구축 및 운용을 위해 유럽의 재난통신관련 움직임을 분석하여 시사점을 고찰하는 것이 우리나라의 재난안전통신망의 구축을 보다 합리적으로 진행하는데 참고가 될 것이다.

먼저 본론에 들어가기 전에 우리나라와 유럽의 현재 재난통신 기반을 간단히 살펴보는 것은 유럽의 로드맵을 우리나라 상황에 적용하는데 도움이 될 것이다.

우리나라는 과거 TRS(Trunked Radio System) 기술인 TETRA 방식으로 전국적인 협대역 재난통신망을 구축하고자 하였다. 그러나 2007년 감사원의 감사 결과(기술 독점 및 종속 문제 등)에 따라 전국적인 PPDR 네트워크 구축은 미완성에 그치게 되었다. 이에 따라 재난안전관련 기관들은 기관별로 독자적인 통신설비들을 구축하여 활용하거나 필요한 경우 상용망과 계약에 의하여 서비스를 제공받게 되었다. 이러한 결과로서 국내 PPDR 네트워크는 여러 갈래로 파편화되게 되어 기관들 간 또는 지역 간에 상이한 통신 방식과 이기종 시스템들로 인해 상호운용성에 심각한 문제를 안게 되었다.

상호운용성의 문제와 더불어 경찰과 소방에서는 다양한 데이터 서비스를 필요로 하게 되어 고속 데이터 서비스 제공이 가능한 상용망의 이용이 증가하게 되었다. 이러한 상황들은 사고가 대형화되고 복잡화되는 오늘날에는 재난안전의 예방 및 대응 활동에 상당한 제약을 가져오게 되며, 이러한 문제점이 극명하게 드러난 것이 세월호 사고였다.

이에 따라 전국적인 재난안전통신망을 구축하고자 하는 계획과 재원을 마련하여 추진하게 되었다. 하지만 음성 중심의 안정화된 전국적인 재난안전통신망이 구축되지 못하고 국내 재난안전 유관 기관들이 전국 규모의 통신망으로 기관간 협력하는 SOP(Standard Operating Procedures)에 의거한 활동을 해본 경험이 없는 상태에서 현재 표준화 및 관련 기술이 개발 중인 PS-LTE를 구축하는 것은 세심한 주의를 요하는 작업이다.

유럽의 경우는 많은 국가에서 국가 소유이거나 임대형 민자사업(BLT)의 형태로 PPDR 기관들의 업무를 위한 전국적인 협대역(TETRA, Digital PMR 등) 재난통신망이 잘 구축되어 운영되고 있다. 이러한 성숙된 기반 위에서 유럽은 PS-LTE와 같은 광대역 PPDR네트워크로의 점진적인 마이그레이션을 진행하기 위한 로드맵을 수년간의 연구를 통해 마련하여 추진하고 있다.

우리나라가 광대역 재난안전통신망 구축 기술로 선정한 PS-LTE는 궁극적으로는 모든 PPDR의 요구기능들을 수용하게 되겠지만 안정화될 때까지 다양한 대안들이 필요할 수도 있을 것이다. 이러한 대안 마련을 위해서 유럽의 로드맵은 좋은 참조점을 제공할 것이라 생각된다.

본 고에서는 유럽이 추구하는 광대역 재난통신망 구축에서 고려한 여러 가지 사항들을 짚어보고 최종적으로 마련된 로드맵의 핵심 사항들을 제시하고자 한다.

Ⅱ. PPDR Scenarios & Requirements)

국가재난통신망의 구체적인 요구기능들은 이미 여러 문헌[1][2]에 제시되었기 때문에 다시 언급하지 않을 것이다. 현대 통신망은 서비스 지향적인 인프라로 진화해가고 있으므로 여기서는 유럽의 일반적인 공공안전관련 기관들의 니즈와 필요 서비스들을 분석하여 공통적으로 도출되는 보편적인 요구사항들을 서술할 것이다. 유럽의 PPDR-TC에서 기존 문헌[3][4]과 이해관계자들과의 회의를 통해 PPDR 요구 조건들은 대체로 다음과 같은 여덟 개의 통신 시나리오들 속에서 도출하였다.

- 시나리오 A: 중앙 제어국과 사고 장소의 현장 요원 간의 통신
- 시나리오 B: PPDR 차량들과 사고 장소 또는 제어국 간의 통신
- 시나리오 C: 사고 장소의 개별 요원들 간의 통신
- 시나리오 D: 경찰, 소방, 구급 의료 등의 다른 PPDR 기관들 간의 통신
- 시나리오 E: 인터넷 또는 기타 외부 데이터 소스들의 정보에의 접근
- 시나리오 F: 밀폐된 공간(예: 터널, 지하 등)에서의 통신
- 시나리오 G: 원격지와의 통신
- 시나리오 H: machine들과/간의 통신

그리고 PPDR 기관들로부터 수집된 자료들을 면밀히 분석하여 도출된 요구사항들의 카테고리들은 다음과 같다.

- Users of the applications
- Typical coverage area requirements
- Required network topology
- Node connectivity models
- Capacity in terms of type of data and required bandwidth
- Mobility & Interoperability requirements
- Service availability, reliability and resilience
- Performance & Security
- Specific voice & data communication requirements

이제 위의 카테고리들 중 주요 카테고리에 대한 핵심적인 요구조건들을 살펴보자.

공공안전 서비스의 속성상 대부분의 어플리케이션에서 기존 상용망의 지리적인 커버리지를 상회하는 전국적인 커버리지가 요구된다. 물론 이것은 옥외 커버리지를 의미한다. 원격지역에 대한 끊김 없는 서비스도 고려할 때 위성통신 서비스(SATCOM)가 요구되기도 한다. 또한, 옥내에서 충분한 커버리지 확보를 위해서는 중계기의 사용이나 MANET(Mobile Ad Hoc Network) 등을 활용할 수 있어야 한다. 그리고 여러 사업자의 상용망을 복합적으로 활용할 경우 효율적인 핸드오버가 필수적이다.

PPDR 어플리케이션에서 요구되는 가용성과 신뢰성은 매우 중요하므로 망의 토폴로지도 복원력이 강하며 자가 구성능력이 있도록 설계되어야 한다. 성능 측면에서 이상적인 것은 인프라 기반의 네트워크이지만, 인프라 없이 설정에 의해 구성되는 네트워크가 필요하다면 기존의 인프라 기반 네트워크는 풀 메쉬 구조로 변형될 수 있어야 한다. 그러기 위해서는 모든 노드들이 다른 노드들 및 중앙지령센터와 상호 연결성이 확보될 수 있어야 하며, 그러한 구조로서는 스타 또는 체인 토폴로지가 가장 적합한데 기존 인프라에 소프트웨어 설정으로 구현되거나 빠르게 설치될 수 있는 메쉬 노드들의 투입을 통해 구현될 수 있는 것이 요구된다.

재난통신망에서 요구되는 대부분의 node connectivity 모델은 디바이스들 간 또는 디바이스와 지령 센터 간 1:N의 연결이 가능한 것으로 각 통신 기지국들은 하나 이상의 백홀을 갖는 것이 요구된다. 어플리케이션에 따라 가변적이지만 PPDR 통신 시스템은 상향링크에서 1.9~55Mbps, 하향링크에서 1.2~46Mbps의 캐패시티가 요구될 것으로 예상된다. 그리고 재난안전 서비스는 매우 다양한 이동성 즉, 정지, 보행 속도에서 시속 200km이상 등에 대한 조건에서의 통신지원을 요한다.

상호운용성은 광대역 PPDR 망의 핵심요소 중 하나인데, 낮은 수준의 상호운용성인 로밍과 높은 수준의 상호운용성인 데이터 교환을 고려하여야 한다. 로밍은 단말장치가 다양한 무선망으로 투명하게 스위칭할 수 있는 능력을 말하며, 데이터 교환은 어떤 단말장치가 다른 기술 또는 프로토콜을 사용하는 다른 단말장치와 정보 교환을 자유롭게 할 수 있음을 의미한다.

서비스 가용성, 신뢰성 및 생존 복원성(Service availability, reliability and resilience)는 대부분의 PPDR관련 기관들에서 상당히 높은 우선순위를 갖는 요구조건이다. 이 조건들은 어플리케이션의 특성에 따라 요구되는 정도가 조금씩 달라지는데, 먼저 mission-critical 한 서비스인 경우 낮은 네트워크 start-up time과 99.5% 이상의 운용 가용성을 확보할 수 있어야 한다. 지도의 다운로드와 같은 Medium-critical 서비스인 경우 중간 수준의 가용성을 요구하며, non-critical 서비스인 경우에는 start-up time이 다소 길어도 되며 가용성도 낮은 수준을 가져도 된다. 이 조건들의 수준은 망의 redundancy와 네트워크 구축의 비용과 직결되는 사항으로서 중요하게 취급된다.

광대역 PPDR 네트워크 성능에 대한 주요 관심 사항은 latency와 QoS이다. 일반적으로 비디오 스트리밍, 높은 우선

순위를 갖는 긴급 음성 통화 등과 같이 서비스 유형에 따라 다르지만 전형적인 latency 수준은 2 내지 3초부터 1초 미만의 지연시간의 범위를 갖는다. 또한 이런 수준은 망의 제공 능력이 열화되는 고속 이동 환경에서도 요구된다. 유럽에서 관련 사항을 조사한 결과를 보면 몇몇 사용자들은 TETRA의 나쁜 latency를 강조하였는데, UK 앰뷸런스 서비스에서 지시 명령을 받는데 대개 TETRA보다 GPRS 상용망이 훨씬 빠르다는 사실을 지적하였다. 그리고 음성서비스의 우선 순위 설정 기능과 필요 시 말단 사용자의 가용 캐패시티를 증가시킬 수 있어야 하는데, 이럴 경우 효과적인 이동 기지국 투입이 가능하여야 할 것이다. 아울러 이 기지국들의 연결 set-up 시간이 가능한 감소되어야 한다.

한편, 보안과 데이터 무결성에 대한 요구조건들은 교환되는 데이터와 사용자의 유형에 따라 상당히 달라진다. 경찰 관계자들 간의 정보 교환에는 상당한 수준의 보안이 요구되는 인적 정보와 사건 정보들이 담기게 되므로 말단 사용자들 간의 암호 알고리즘을 작동시키는 것이 핵심 요구사항이다. 따라서 PPDR 사용자가 외부 네트워크를 이용하게 될 경우 PPDR 트래픽과 non-PPDR 트래픽을 구분하기 위한 가상 네트워크의 셋업이 반드시 필요하다. 암호 알고리즘과 사용자 인증 방법의 수준은 PPDR 어플리케이션 유형에 따라 적절한 security-to-bandwidth ratio를 허용하면서 보안 요구 수준에 맞도록 설계되어야 한다.

재난통신관련 기관들로부터 주로 요구되는 특정 음성 및 데이터 서비스들은 mission-critical한 것으로서 Push-to-Talk(PTT), 양방향 음성 통신, 음성 및 영상 그룹 통신, 단말간 직접통신(Direct or Talk around), 화자 식별(Talk Identification), 비상 경보, 양호한 음질(화자 식별과 스트레스 인지 가능, 배경음 청취 가능 등의 수준), 고속 데이터 다운로드, 위치 기반 서비스 제공 등이 있다. 광대역 네트워크의 전송능력에 대한 정의는 과거에는 384kbps가 기준치이었지만, 이후에는 여러 문헌에서 1Mbps로 상향하였으며, 최근에는 FCC에서 4~25Mbps를 언급하기도 하였다.[5] 이러한 광대역 전송능력은 중계 서비스가 요구되는 통신 시나리오 F와 G에서도 제공 가능하여야 할 것이다.

Ⅲ. PPDR 적용 기술 현황 분석

1. 기존 PPDR 기술 현황

2장에서 살펴본 다양한 카테고리의 광대역 PPDR 서비스의 요구사항들을 감안하면서 기존 PPDR 적용 기술들의 장단점을 알아보고자 한다.

가. TETRA

TETRA Release1은 작은 수의 기지국과 핸드오버로 끊김 없는 통신 서비스를 제공하면서 높은 수준의 커버리지를 구현하는 보편적인 무선 Trunked 서비스를 제공하였다. 하지만 3G와 LTE 기술에 비해 데이터 전송능력(음성 채널 당 최대 28.8kbps)이 상당히 부족하여 광대역 PPDR의 요구사항을 부분적으로만 충족하여 데이터 전송능력을 향상시킨 TETRA Release2 표준을 만들게 되었다. 그러나 이 표준도 준광대역(Wideband) 수준의 데이터 제공 능력을 가짐으로써 완전한 광대역 수준의 요구사항을 만족시키기에는 미흡하다.

아울러 TETRA 시스템은 다른 이종 또는 이기종 시스템간의 표준화된 상호운용성이 보장되지 않아 상당한 약점이 되고 있다. 이외에도 PPDR 용도만을 위한 TETRAPOL 표준도 제정되었지만 동일한 문제점을 해결하지 못하였다.

나. Analogue PMR

아날로그 PMR은 통상적으로 VHF/UHF 무전기로 일컬어지는 시스템으로서 거의 수명이 다해가는 통신방식이다.

그럼에도 불구하고 여전히 PPDR 유관기관들(특히 소방기관)은 이 아날로그 무전기 시스템도 부분적으로 선호하고 있는 것으로 나타난다. 왜냐하면 일반적으로 디지털통신은 신호가 어느 레벨 이하로 내려갈 경우 완전히 통신이 단절되는 ‘cliff edge’효과를 갖는 반면, 아날로그 통신은 신호 품질이 좋지 않더라도 통신이 끊어지는 것이 아니라 나쁜 음질이라 할지라도 연결 상태(‘gradual degradation’)를 유지할 수 있기 때문에 지하 구간의 화재 진압 시 유용하게 사용되기 때문이다.

다. Digital PMR

Digital PMR은 성숙된 기술로서 직접 모드 또는 트렁킹 모드로 음성 및 협대역 데이터를 전송할 수 있다. CAPEX관점에서 사용자에게 매력적인 시스템이므로 유럽에서는 종종 지역 PPDR기관들이 이 기술을 적용한 망을 구축하여 업무에 사용한다. ETSI에서 446.1~446.2MHz 대역에서 출력 제한이 있는 Tier 1(비면허)과 출력에 특정 제한이 없는 Tier 2(면허)로 기술 규정을 제정하여 활용하고 있으며, 보다 상위의 일반적인 기술 방식으로 DMR(Digital Mobile Radio)이 있다.

그러나 digital PMR 역시 데이터 전송능력과 상호운용성에서 광대역 요구조건을 만족시킬 수 없으며, 제공할 수 있는 시스템의 캐패시티가 크지 않아 큰 규모의 사건 발생 시 요구하는 사용자 수를 감당할 수 없는 문제점을 안고 있다.

라. SATCOM

위성통신의 강점은 실질적으로 글로벌한 커버리지를 제공할 수 있다는 점이다. 이러한 강점은 특히 지상 통신 인프라가 부재하거나 파괴된 원격지역에 통신 커버리지를 제공하므로 매우 중요하다. 낮거나 높은 모든 이동성의 경우에 잘 적용할 수 있다는 것도 강점이다.

하지만 위성통신은 넓은 지역에 상대적으로 작은 사용자들을 서비스하기에 적합하므로 다수의 사용자를 서비스하고자 할 경우에는 트래픽 병목 현상이 우려되며, 다른 위성통신자들 간 또는 지상 무선 통신망과의 상호운용성은 좋지 못한 편이다.

또한, 직접 모드의 통신 수단 제공은 불가능하며, 일반적으로는 랩톱 크기의 터미널에 최대 492kbps의 데이터 전송속도를 제공하여 광대역 요구사항을 충족하기는 어렵다. 향후 차세대 INMARSAT인 Global Xpress가 Ka밴드에서 서비스를 제공한다면 60Mbps까지의 캐패시티를 제공할 수 있을 것이다. 그리고 비화 알고리즘을 탑재할 경우 latency나 채널당 요구 대역폭이 증가하여 서비스 사용자 수가 더욱 감소하게 되므로 높은 수준의 보안성을 제공하기는 어렵다.

2. 광대역 PPDR 후보 기술들의 현황

광대역 PPDR 네트워크 구축을 위해 활용될 수 있는 대표적인 통신기술로서 LTE, WiMAX, Wi-Fi, Mobile Ad hoc NETwork를 들 수 있다. 이 중 WiMAX는 사실상 성장기반을 상실한 기술로 인식되고 있으므로 여기서는 나머지 세 후보 기술의 현황에 대해서 알아본다.

가. LTE

LTE는 원래 데이터 중심의 통신 서비스를 위한 IP 기반 기술로서 많은 수의 상이한 단말장치들을 서비스할 수 있으므로 사물통신의 기반기술로도 언급되고 있다. 또한, 코어망인 EP-C(Evolved Packet Core)는 여러 상이한 기술과의 상호 통신을 가능케 함으로써 높은 상호운용성을 갖는다. 더욱이 IP 아키텍쳐는 매우 많은 이용자들의 동시 운영을 가능케 하므로 기술보다는 망 인프라 기반의 정도에 따라 병목 현상 발생 여부가 결정될 것이다.

현재 매우 많은 국가에서 상용망으로 포설되고 있으며, 2013년 6월부터 3GPP에서 PPDR서비스를 위한 표준들을 개발하고 있어PPDR 용도의 전용망 구축도 추진되고 있다. 옥내에서는 피코 셀이나 펨토 셀로 수백 명의 사용자를 지원하는 기술도 개발되어 있다.

따라서 LTE 기술로는 광대역 PPDR 전용망을 구축하여 상용망과 함께 사용한다면 높은 생존복원성(network resilience)을 갖는 서비스 제공이 가능할 것이며, SON(Self Organizing Networks)를 이용하면 완전한 메쉬 망 구조를 가질 수도 있다.

이론적으로 LTE는 광대역 PPDR의 대역폭 요구조건들을 충분히 만족시킬 수 있다. 그러나 이론적인 데이터 처리 능력은 셀로부터의 거리, 동시 이용자 수, 이동속도, 간섭, 옥내/옥외 커버리지, 안테나 높이, 사용 디바이스의 유형 등 다양한 조건들의 조합에 따라 달라지게 된다.

LTE는 대개 0~15km/h 사이의 이동속도에서 최대 성능을 보이도록 설계되며, 120km/h의 속도까지는 비교적 높은 성능을 보이며, 그 이상의 속도에서는 성능 저하를 보이기는 하나 서비스 제공은 가능하다.

한편, LTE 망은 낮은 start-up 시간이 가능하여 최소한 99.5%의 운영 가용성(operational availability)이 보장될 수 있고, 이론적으로는 망의 생존 복원성에 필수적인 redundancy 확보가 가능하다. 그러나 LTE 신호는 매우 복잡하여 많은 서브 시스템으로 구성되는데 이 중 하나라도 작동이 원활하지 않을 경우에 망 성능의 저하를 초래하게 되어 요구조건들을 만족하지 못하게 될 수 있다. 원활하게 작동되기만 한다면 LTE의 round trip latency도 유선망 수준에 필적할 정도이어서 유선 광대역의 'always-on' 서비스와 같은 사용자 경험을 제공할 수 있을 것이다. 몇몇 QoS 보장 기술들도 구현되거나 개발 중에 있어서 PPDR의 요구조건들을 만족할 수 있을 것이다.

망 트래픽이 폭주할 경우에 대비한 이동기지국 포설을 용이하게 하는 'portable LTE base stations'은 이미 시장에 제품으로도 나오고 있어서 요구되는 어플리케이션에 따라 높은 망 캐패시티를 요구할 때도 충분히 만족시킬 수 있다. LTE는 데이터 비화와 사용자 인증과 같은 메커니즘도 요구조건에 부합할 수 있을 정도로 제공되는데 사용자 인증의 경우도 망이 사용자를 인증하는 것뿐만 아니라 사용자도 망을 인증하는 양방향 메커니즘을 제공하여서 높은 수준의 보안성을 제공하고 있다. 이외에도 정교한 위치 인지 서비스도 제공할 수 있다.

결론적으로 LTE는 3GPP에서 Release 12와 13이 성공적으로 표준화가 되어 시험적으로 인증되는 과정을 거치면 광대역 PPDR의 요구조건들을 완전히 충족시킬 수 있을 것이다.

나. Wi-Fi

와이파이는 로컬 지역에서 사용자들에게 통신을 제공하는 저비용 고효율 망 기술이다. 와이파이는 제한된 커버리지, 이동속도에 따른 높은 의존성, 억세스 포인트로부터의 거리, 사용자 수 등에 따른 가변성은 있지만, 높은 데이터 전송능력과 망 토폴로지의 유연하고 비용 효율적으로 구현할 수 있는 능력 때문에 PPDR의 많은 요구조건을 충족시킬 수 있다.

QoS는 와이파이 서비스에서 사용자 경험을 향상시킬 수 있는 핵심 요소이다. 예를 들어 VoIP와 비디오 스트리밍 같은 서비스는 latency 증가와 데이터 처리 능력 감소에 매우 민감하므로 서비스 유형에 따른 트래픽의 우선 처리 기능이 요구되는데 IEEE 802.11e의 WMM(Wi-Fi Multimedia)과 같은 QoS extensions기능은 높은 품질의 사용자 경험을 제공할 수 있게 해주며, PPDR 서비스에서도 요긴하게 작동할 것이다.

특히, PPDR Wi-Fi용도의 전용 스펙트럼을 할당하여 시스템을 구축한다면 대규모 위기 사태 발생 시 LTE 등의 가용 스펙트럼을 모두 소진한 경우 매우 요긴하게 광대역 서비스를 제공할 수 있는 수단이 된다. 미국의 경우 4.9GHz 대역에서 공공안전 업무 전용 Wi-Fi LAN 구축을 추진하고 있다. 이러한 PPDR 전용 무선랜이 구축된다면 mission critical한 서비스도 처리가 가능하며 상용 무선랜은 non-mission critical 서비스를 제공하게 될 것이다.

한편, 와이파이는 PPDR 용도로 사용하는데 있어 몇 가지의 문제를 안고 있는데, 첫째로 낮은 보안성이다. 보안을 위해 WPA, WPA2, 그리고 WPS와 같은 보안 기술이 적용되었지만 PPDR에서 요구하는 수준의 보안성은 제공하지 못한다. 또한, 와이파이는 기본적으로 비면허 대역에서 구축되어 운용되므로 동일 지역에 많은 사용자가 있을 경우 간섭으로 인한 통신 연결 확보 및 유지에 문제가 발생하게 된다. 예를 들어 다수의 사용자가 옥내에서 단말장치의 전원을 켰을 때 디폴트로 동일한 채널을 억세스하면서 간섭이 발생하여 망 연결에 장애를 초래하게 된다. 와이파이를 PPDR 전용으로 사용하기 위해서는 이러한 이슈들에 대한 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

다. MANET(Mobile Ad hoc Network)

애드혹 네트워크는 그 특성상 더 많은 디바이스들을 추가하여 전체 커버리지를 확장하거나 요구되는 지역에 간단하게 더 많은 노드들을 투입함으로써 가용 대역폭 및 신뢰성을 증가시킬 수 있다. 물론 더 많은 노드들을 투입하더라도 유형에 따라서 어떤 MANET들은 트래픽의 병목현상이 더 많이 발생하고, 데이터 처리능력과 망 지연에 있어서 더 낮은 성능을 보이기도 한다.

MANET은 본질적으로 IP기반의 기술이므로 높은 수준의 상호운용성을 지원할 수 있다. 더욱이 특별한 망 인프라를 요구하는 것이 아니므로 MANET은 국부적으로 node-to-node로 동작하는 독자적인 망으로 동작할 수도 있고, 단순히 브리지처럼 동작하여 IP 망을 확장시키기 위한 기지국을 통한 더 큰 네트워크의 일부분으로 동작할 수도 있다.

앞서 언급한 것처럼 MANET은 백홀과 같은 별도의 망 인프라를 요하지 않고, 간섭과 물리적인 장애 요인들에 따른 실시간 self-healing과 self-routing 알고리즘을 적용하므로 높은 생존 복원성을 갖는다.

PPDR-TC 프로젝트 연구 기간동안 다양한 운용 시나리오에서 MANET의 효용성을 평가하기 위한 시험을 수행하였다. rinicom사의 PodNode와 같은 제품을 투입하여 시험한 결과 단일 노드의 통달 거리는 대략 1.2km이었으며 홉 수가 일정 한도를 넘지 않는다면 영상통신과 같은 광대역 서비스를 잘 지원하였다. 실제 시험에서는 패킷들이 대략 7개 홉 이내의 경로를 거친다면 좋은 성능을 보여주었으며, 7명의 사용자 수에서도 좋은 서비스 품질을 보이는 것으로 나타났다. 또한, 좋은 전파환경과 간섭이 낮은 수준으로 유지된다면 MANET의 최대 통달거리가 10km 내외가 되는 것으로 보고된다.

MANET은 전형적으로 2Mbps 이상의 데이터 전송속도를 제공하며 고성능 솔루션의 경우 65Mbps의 전송 성능도 지원한다. 이러한 데이터 전송능력은 기본적인 데이터와 음성 서비스를 제공함과 동시에 실시간 HD 비디오 또는 여러 개의 SD 비디오 스트리밍 서비스도 제공할 수 있다. 그리고 이동 상황에서 사용되도록 설계될 경우 고속으로 이동 중에도 높은 데이터 전송속도를 유지할 수 있다. 높은 데이터 처리능력뿐만 아니라 AES128/AES256과 같은 end-to-end 암호기능을 지원하여 실시간 데이터 전송에서도 보안성을 유지할 수 있게 해준다.

그러나 단점으로는 실시간 음성서비스의 경우 망이 혼잡할 때 품질이 저하될 수 있다는 것이다. 아울러 MANET의 특성상 중앙 집중화된 망 구조가 아니므로 일반적으로 그룹통신과 같은 PPDR 서비스는 제공하기 어렵다. 특히, self-organisation기능을 가지므로 잦은 망 토폴로지 재설정으로 인해 상당한 성능 저하가 발생할 수도 있다.

3. 적용 기술별 요구조건 충족도 분석

앞에서 언급한 광대역 PPDR 네트워크의 요구조건들에 대해 기존 PPDR 기술과 후보 기술들의 충족도(Compliance)를 살펴보는 것은 광대역 PPDR네트워크로의 마이그레이션 로드맵을 작성하는데 있어 매우 중요하다. 충족하는 정도는 각 요구조건 항목별로 다음 세 가지로 나누어 평가한다.

- FC: Fully compliant
- PC: Partially compliant
- NC: Not compliant

PPDR 네트워크 구축 가능 기술들에 대해 앞서 언급한 요구조건들의 주요 항목별로 충족하는 정도를 평가한 결과를 〈표 1〉에 제시하였다.

TETRA, Analog PMR, 그리고 SATCOM은 기본적으로 광대

표1. Requirements vs. Technologies Compliance matrix

Network Requirements	TETRA	Analog PMR	SATCOM	HSPA	LTE(상용)	Wi-Fi	MANETs
Users	FC	FC	PC	FC	FC	FC	PC
Coverage Area	FC	FC	FC	FC	FC	PC	PC
Required Network topology	FC	FC	PC	PC	PC	FC	FC
Node connectivity models	FC	FC	PC	PC	PC	FC	FC
Capacity (data/bandwidth)	PC	NC	PC	PC	FC	FC	FC
Mobility	FC	FC	FC	FC	FC	PC	FC
Interoperability	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC
Service availability, reliability & resilience	FC	FC	PC	FC	PC	PC	FC
Performance	FC	FC	PC	FC	FC	PC	PC
Security	FC	PC	PC	PC	FC	PC	FC
Specific Voice communication	FC	PC	PC	PC	PC	PC	PC
Specific Data Communication	PC	PC	PC	PC	FC	PC	FC

역 서비스를 위한 데이터 전송 능력이 턱없이 부족하다.

그리고 상용망에서 적용되는 HSPA 기술은 재난안전 관련 업무에서 반드시 필요한 그룹통신과 단말간 직접통신 기능 구현이 어려우며, 말단 사용자간 암호 기능을 충분한 수준으로 제공하기 어렵다.

그리고 일반 상용망 서비스 LTE 기술은 몇몇 PPDR 요구조건이 부분적인 충족 수준에 그치지만 3GPP Release 12와 13에서 ProSe(Proximity Services)와 Group call enabler 기능 등의 PS-LTE표준이 완성되고 나면 모든 영역의 요구조건을 충족시킬 것으로 기대하고 있다.

Ⅳ. Migration roadmap towards broad-band PPDR communication network

본 장에서는 유럽의 PPDR-TC가 광대역 PPDR 네트워크 전환을 위한 안내 지침서로서의 로드 맵을 제시한 내용을 살펴보고자 한다[6].

먼저 로드맵의 형태는 광대역 PPDR 네트워크로의 전환 속도와 관련성이 있는데, 이 전환 속도에 영향을 미치는 것은 PPDR 기관들이 적용하고자 하는 광대역 PPDR 기술이 덜 성숙되었더라도 받아들이고자 하는 의지이다. 즉, 광대역 어플리케이션 요구에 대한 시급성 정도가 중요하다는 것이다.

만약 재난통신 서비스에 기본적인 광대역 서비스를 빠른 시기에 도입하고자 한다면 〈그림 1〉과 같이 LTE를 적용한 단기적인 로드맵이 가능하다.

여기서 중요한 것은 LTE는 광대역 서비스는 제공하지만 아직 mission critical한 어플리케이션들을 지원하기에는 미흡한 상용망 수준의 광대역 네트워크라는 것이다. 따라서 그림1에서 보는 바와 같이 기존의 TETRA 등과 같은 PPDR 네트워크를 함께 사용하는 혼합망을 운영하는 것을 전제로 단기간의 광대역 PPDR 네트워크 구축을 진행하는 것이다. LTE는 non-mission critical한 서비스를 담당하게 되는 것이다. 이럴 경우 굳이 LTE 망을 자가망으로 구축할 필요가 없으며, 상용망을 활용하는 것으로 충분할 것이다. 물론 기존 협대역 PPDR 네트워크는 전국 규모로 구축되어 있을 필요가 있다. 이와 유사한 예로서 벨기에의 경우, PPDR기관들에게 재난안전 관련 서비스를 제공하는 Airbus Defence & Space가 지상영역에서 광대역 PPDR 서비스를 제공하기 위해 상용망 사업자인 Blue Light Mobile사와 5

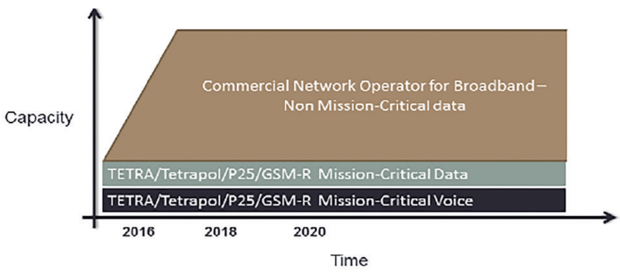

그림 1. LTE 광대역 PPDR 네트워크 구축 Short-term 로드맵[6]

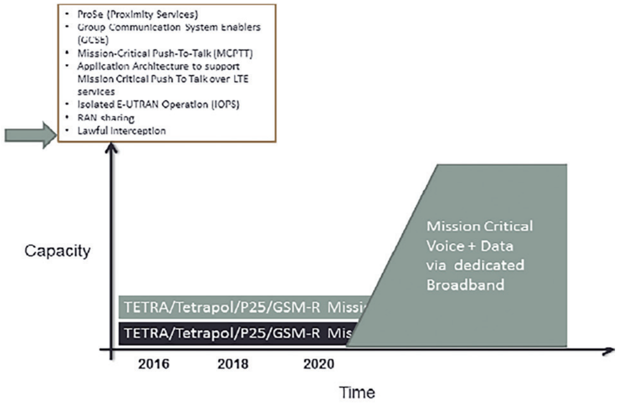

그림 2. LTE 광대역 PPDR 네트워크 구축 Long-term 로드맵[6]

년간의 계약을 맺고 PPDR용도의 가상 모바일 자가망 서비스를 제공받기로 한 것이다. 이런 경우에는 광대역 서비스를 위한 별도의 스펙트럼이나 망 인프라가 필요하지 않게 된다.

한편, 아주 보수적인 관점을 갖는 PPDR 기관들이라면 LTE가 PPDR의 모든 요구조건들을 만족시키는 수준으로 기술과 제품이 개발될 때까지 기다린 다음, 현재의 협대역 PPDR 네트워크에서 단번에 이를 대체하는 광대역 PPDR 네트워크로 전환하게 될 것이다. 이러한 전환 로드맵은 <그림 2>에 제시되었다.

이러한 장단기의 로드맵을 바탕으로 상정할 수 있는 LTE 광대역 PPDR 네트워크 구축의 비즈니스 모델은 다음과 같은 세 가지 유형이 가능하다.

- PPDR owned network(Dedicated Network)
- MNO LTE Network(Commercial Networks)
- MVNO LTE Network(Shared RAN Networks)

PPDR owned network모델은 PPDR 서비스의 주체인 정부당국이 직접 네트워크를 구축하고 운영하는 방식으로 서비스의 충분한 가용성을 제공한다는 측면에서는 최적의 모델이다. 경우에 따라서는 상용망 사업자가 계약에 기반하여 망을 구축하고 정부당국이 운영할 수도 있다. 아울러 보안성 확보, 망 혼잡 방지, 상호운용성 보장 등에서 탁월한 장점을 갖는다. 하지만 투자 비용(CaPex)과 유지 보수 비용(Opex)이 매우 비싸지므로 TCO(Total Cost of Ownership)가 매우 높게 나타난다. 이 모델은 오로지 재난안전 서비스만을 위해 사용되므로 망의 가용자원들을 100% 사용하는 경우는 매우 드물 것이며, 따라서 낮은 ROI(Return of Investment)을 갖게 된다.

MNO(Mobile Network Operator) LTE network 모델은 PPDR 기관들이 기존 상용망의 캐패시티를 PPDR 용도로 필요한 만큼 임차하는 개념으로서 전용 스펙트럼의 확보, 높은 망 구축 비용과 유지 보수 비용의 부담이 없으므로 단기적인 광대역 서비스 도입에 적합한 모델이다. 이 모델은 잘 운영하기 위해서는 정부당국과 상용망 사업자와의 적절한 계약이 있어야 하며, 필요 시 관련 규정을 법제화할 수도 있다. 사업자와의 계약에서는 SLA(Service Level Agreement)기반의 QoS 보장 내용이 핵심이 될 것이다. 하지만 이 모델은 큰 규모의 행사 진행이나 사고 발생 시 요구되는 충분한 캐패시티를 제공하는데 어려움을 겪을 수 있으며, mission critical한 서비스를 제공하는데 제약이 따를 것으로 예상된다.

마지막으로 MVNO LTE network 모델은 RAN(Radio Access Network)와 단말장치는 상용망 사업자로부터 필요한 커버리지와 요구되는 캐패시티만큼 구매하되 별도의 코어 망(Core network)을 구축하여 구매한 망 자원들을 연결함으로써 독자적인 망 운영을 수행하는 개념이다. 이 모델에서는 CaPex와Opex를 상당히 낮추게 되므로 TCO가 낮아져서 경제성은 매우 좋아지지만, 충분한 수준의 QoS와 보안성을 보장받기는 어렵다. 또한 상용망 사업자가 기지국을 설치한 지역에서만 서비스를 제공할 수 있으므로 사실상 원하는 커버리지를 확보하기 어렵다. 또한, 상용망에서 구축하는 RAN 망이 PPDR의 요구조건, 특히 생존복원 조건을 만족시키려면 상당한 경제적 부담을 갖게 되는 것도 문제이며, PPDR 기관 전용의 스펙트럼을 갖는 경우 RAN의 상용 스펙트럼과 PPDR 전용 스펙트럼을 모두 서비스하는 듀얼밴드 이상의 대역을 지원하는 시스템이어야 한다.

궁극적으로 효과적인 광대역 LTE PPDR 네트워크 구축을 위해서는 이상에서 제시된 세 가지 비즈니스 모델 중 하나를 택하기보다는 2가지 모델을 혼용하는 모델이 바람직한 것으로 평가된다. 대표적인 것으로PPDR 서비스 운영 주체가 별도의 전용 스펙트럼을 확보하고서 Shared RAN network를 갖는 MVNO와 dedicated RAN network를 갖는 MNO의 역할을 동시에 수행하는 혼용 모델을 들 수 있다. 전용 RAN 인프라는 주로 가장 중요하거나 위험 사고 발생 가능성이 높은 지역, 상용망 사업자가 커버하지는 않지만 재난안전 관리를 위해 필요한 지역(예: 해안가 및 연안 지역) 등에 구축될 것이다.

한편, 건물 내부의 옥내 지역, 지하구간, 음영지역, 지상망 인프라 파괴 또는 부재 지역 등에서의 원활한 서비스를 위해서는 LTE 망으로 백홀로 연결되는 메쉬 네트워크의 사용이 요구된다. 이를 실현하기 위해서는 전용 메쉬 네트워크 기술이나 LTE Ad-Hoc 솔루션을 활용하는 방법이 강구되어야 한다. 또한, 원격지역에서의 구난 활동이나 먼 해상에서의 구조활동을 지원하기 위한 통신 서비스는 위성통신 시스템을 위해 제공되도록 하여야 한다.

결국 음성통신 등 핵심적인 재난통신 서비스를 포함하는 광대역 PPDR 서비스를 제공하면서 재난통신에서 가장 중요시하는

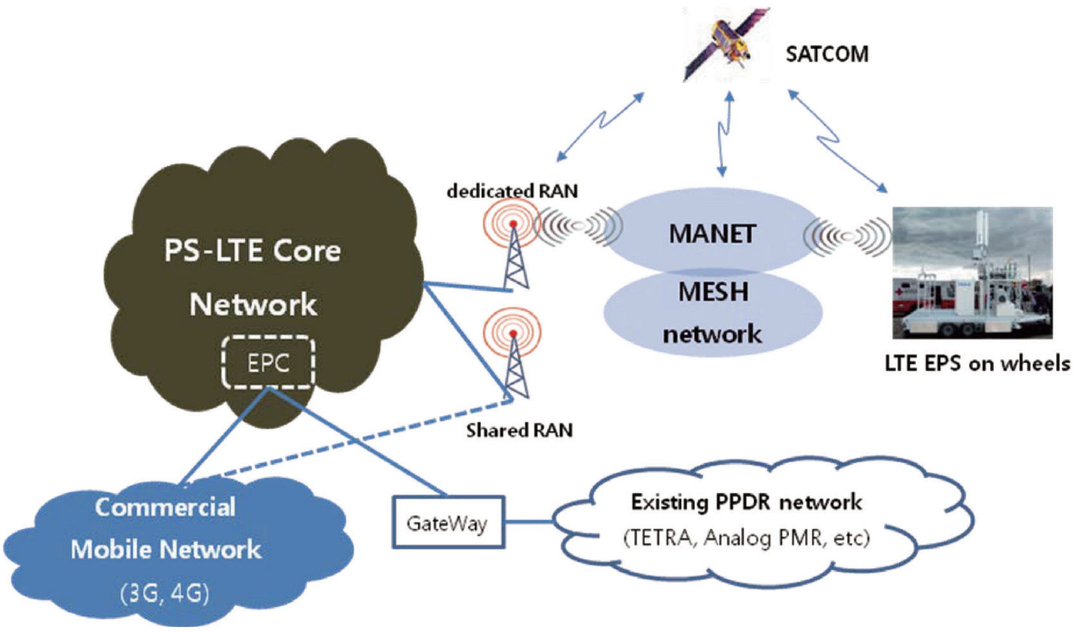

그림 3. 효과적인 마이그레이션을 고려한 LTE기반 광대역 PPDR 네트워크 구조

생존복원성의 보장을 위한 계층화된 네트워크 구축을 위한 재난안전통신망 구조는 다음 〈그림 3〉과 같이 제시될 수 있다. 이 구조에는 망의 진화 과도기에서 앞서 언급한 상용망의 활용 컨셉을 포함하고 있다.

한편, PPDR-TC에서는 광대역 PPDR 네트워크로 진화하는 과정에서 기존 PPDR 네트워크가 관련 기술들에 연계되어 변화하는 과정을 mobility, capacity, 그리고 timeline을 함께 관련지어 그림4와 같이 나타냄으로써 로드맵이 구현되어 가는 경로를 어느 정도 파악할 수 있도록 하였다. 〈그림 4〉를 보면 TETRA를 제외한 대부분의 기술들이 사용자의 이동속도가 높을수록 데이터 처리능력이 감소하게 됨을 알 수 있다. 그리고 PS-LTE 기술 표준화 진척 상황과 전용 스펙트럼 확보여부에 따라 망이 진화하는 시간 경로는 다소 변할 수 있다. 또한, 진화의 중간과정에서는 PPDR 네트워크 운영주체가 부분적인 공유 RAN과 부분적인 전용 RAN을 갖는 MVNO와 MNO 역할이 혼재된 상황을 겪겠지만 최종적으로 전용 스펙트럼 대역에서 동작하는 상용 및 전용 RAN을 갖는 PPDR MNO으로서 망을 운영하게 될 것이다.

V. 결 론

유럽의 PPDR-TC의 수년간의 연구결과를 토대로 광대역 PPDR 네트워크 구축을 위한 전반적인 방향성을 분석해보면 PPDR의 요구조건을 수용하는 기술 표준화와 개발도 중요하지만 기존 PPDR 네트워크 기반 위에서 합리적이고 경제적인 효율성을 담보할 수 있는 망의 진화 방안을 강구하고 있음을 알 수 있다.

즉, 성숙된 기존 PPDR 네트워크는 안정된 음성 및 협대역 데이터 서비스에 활용하면서 당장의 광대역 서비스 제공을 위해서는 상용망과의 적절한 파트너십을 통해 경제적인 비용으로 망 구축을 추진하는 방안이다. 장기적으로 기존 PPDR 네트워크가 없이 PPDR의 모든 요구조건이 충족되는 광대역 PPDR 네트워크로의 진화는 많은 재정 지원과 행정 노력이 요구되므로 20년 이상의 시간을 두고 진행될 것으로 예상된다. 또한, PS-LTE이외에도 망 인프라가 없거나 파괴되는 상황에 대비하기 위한 Ad-hoc 계열의 기술이나 위성통신 연계 활용 방안도 충실히 강구하고 있다.

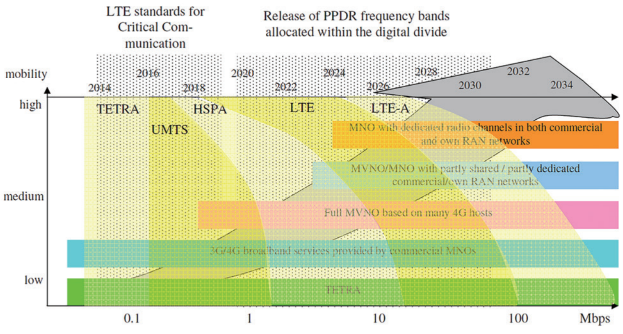

그림 4. Roadmap-mobility vs capacity vs migration timeline[6]

우리나라는 기존 PPDR 네트워크의 기반이 충분하지 않은 상황이므로 당장에는 전국적인 커버리지를 갖는 LTE기반의 PPDR 네트워크를 구축하는 것이 시급한 실정이다. 그러나 장기적으로 체계적이고 효과적인 광대역 PPDR 서비스 제공을 위해서는 유럽의 로드맵을 참조하여 기존 PPDR 네트워크를 효과적으로 활용하면서 상용망과의 적절한 파트너십을 확보하는 방안을 모색하여야 할 것이다. 또한, 무선 랜, MANET, 위성통신 등의 기술을 활용한 네트워크 기능 강화 방안도 마련하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 한국정보화진흥원(NIA), “재난안전통신망 기술 검증 연구보고서”, 2011. 10

[2] 한국통신학회지(정보와 통신), “재난통신망 현황과 전망”, pp. 3-11, 제31권 제10호, 2014. 9

[3] C. Lucente, “700MHz spectrum requirements for Canadian public safety interoperable mobile broadband data communications”, Martello Defence Security Consultations Inc., 2011.

[4] ECC Report 199, “User requirements and spectrum needs for future European broadband PPDR systems(Wide Area Networks)”, 2013

[5] FCC News, “Updates Broadband Speed Benchmark to 25Mbps to Reflect Consumer Demand, Advances in Technology”, 2015

[6] PPDR-TC Project Deliverable D6.2-Roadmap towards Full Compliance to PPDR Requirements

[7] G. Iapichino, C. Bonnet else, “A Mobile Ad-hoc Satellite and Wireless Mesh Networking Approach for Public Safety Communications”, pp.1-6, 10th International Workshop, Signal Processing for Space Communication 2008. 2008. 10.

[8] M. Peha, “A Public-Private Approach to Public Safety Communications,” Issues in Science and Technology, 2016. 1. 21

약 력

박 성 균

1985년 연세대학교 공학사
1987년 연세대학교 공학석사
1994년 연세대학교 공학박사
1987년~1989년 삼성전자 종합연구소 연구원
1994년~1994년 전자통신연구원 Post-Doc
1994년~현재 공주대학교 정보통신공학부 정교수
관심분야: 이동통신, 재난통신, 전파간섭, 통신신호처리

김 남

1981년 연세대학교 전자공학과 학사
1983년 연세대학교 전자공학과 석사
1988년 연세대학교 전자공학과 박사
1992년~1993년 미국 Stanford 대학교 방문교수
2000년~2001년 미국 California Technology Institute 방문교수
1989년~현재 충북대학교 전자정보대학 교수
1997년~현재 컴퓨터정보통신연구소 참여연구원
1999년~2000년 컴퓨터정보통신연구소 연구소장
1996년~현재 한국전자파학회 전자장과 생체관계위원회 위원/위원장
1999년~현재 한국통신학회 평의원/이사
2000년~현재 한국전자파학회 평의원/이사
2006년~2009년 BEMS(Bioelectromagnetics Society) 이사
2008년~2012년 방송통신위원회 방송통신국가표준심의회 위원
2008년~현재 국립전파연구원 자문위원회 위원
2012년~현재 미래창조과학부 자체평가위원회 위원
관심분야: 이동 통신 및 전파전파, 주파수 정책, 재난안전통신, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격