공공안전 통신망 주파수 소요량[1)]

이상윤 한국방송통신전파진흥원 선임연구원

1. 머리말

최근 국제적으로 공공용 무선통신 수요가 기존 음성 중심에서 데이터, 영상 중심의 광대역으로 발전함에 따라 이를 위한 기술개발, 표준화 및 망 구축 관련 정책이 활발히 논의되고 있다. 공공용 무선통신에 필수적인 기능인 직접통신, 그룹통신 등의 구현을 위한 기술개발과 표준화가 3GPP 등 표준화 기구를 중심으로 진행되고 있고, 효율적인 망 구축을 위한 기술진화, 주파수 활용방식, 지속 가능한 사업모델 개발 등이 논의되고 있다. 무선통신 서비스 제공에 필수적인 주파수 자원의 경우도 광대역 주파수 소요가 예상됨에 따라 이를 확보하기 위한 방안이 논의되고 있다. 국제전기통신연합(ITU)은 2015년도 세계전파통신회의(WRC) 의제로 광대역 재난안전통신(PPDR) 관련 의제를 논의할 예정이며, ICT 관련 각 지역기구 및 개별 국가들도 광대역 공공안전 통신망 구축을 위한 주파수 자원 공급을 위해 관련 연구를 진행하고 있다.

공공안전 통신망의 광대역화에 가장 앞서고 있는 미국은 700MHz 대역에 2×10MHz 폭을 광대역 공공안전용으로 배정하고 상무성 산하에 FirestNet을 설립해 망 구축을 추진하고 있으며, 유럽의 경우는 유럽우편전기통신회의(CEPT) 산하에 연구반(FM49)을 구성해 광대역 PPDR 서비스 제공을 위한 주파수 소요량을 산정하고(2×10MHz), 후보대역(700MHz, 400MHz 등)의 검토 등을 진행 중이다. 아시아태평양전기통신협의체(APT)도 APT무선그룹(AWG)을 통해 광대역 PPDR 서비스 제공을 위해 필요한 사항에 대한 논의를 진행 중이다.

우리나라의 경우 안전행정부 주관으로 재난안전무선망 구축이 검토되어 오다 최근 세월호 사고

1) 본 기고 내용은 필자 개인의 견해로 진흥원의 공식 입장이 아님을 밝힙니다.

이후 국가재난안전통신망으로 개편되어 2017년을 목표로 LTE 방식으로 전국에 광대역망을 구축하는 방안이 추진되고 있다. 이에 따라 안정적으로 서비스를 제공하고 효율적으로 주파수 자원을 사용하기 위한 주파수 확보방안 연구가 진행되고 있고 이의 일환으로 주파수 소요량 산정이 연구된 바 있다.

본 고에서는 해외의 공공안전 통신용 주파수 소요량 산정 사례를 검토하고, 국내 트래픽 이용 실정을 고려한 소요량 산정 결과를 제시한다.

2. 해외 주요국 소요량 연구 사례[1]

유럽은 CEPT 산하 ECC 연구반(FM49)을 통해 광대역 PPDR 주파수 소요량을 산정했다[2]. 재난안전통신의 시나리오는 일반적으로 사고의 규모에 따라 PP1, PP2, DR로 구분되는데[2] PP1 상황의 경우 셀 반경과 전국의 평균 사고 발생 수를 고려해 한 셀 내에 동시에 2건의 사고가 일어난다고 보고, 최악의 상황으로서 한 건의 발생 위치는 셀 경계에서 일어나는 상황을 가정했다. PP2의 경우 2가지의 비상상황 사례에 대해서도 분석을 했는데, 영국 왕실 결혼식과 런던 폭동사태를 사례를 고려했다. 각각의 상황에 대해서 2×10MHz 폭이 적정한 것으로 산정했으며, DR 상황은 PP2 상황이 광범위하게 발생하는 것으로 볼 수 있으므로 PP2의 소요량으로 충족이 가능하며, 예상치 못한 대규모의 재난으로 인한 트래픽 폭증에 대해서는 별도의 주파수 대역을 이용해 이동설치가 가능한 임시 망(ad-hoc network)을 사용하는 방안을 제시하고 있다.

700MHz 대역에서 20MHz 폭을 광대역 공공안전용으로 분배한 미국의 경우 FCC가 실제 및 가상의 재난상황[3]을 상정해 소요량을 분석했는데, 2×5MHz 폭을 분배하되 초과 수요가 발생할 경우 인접 대역과의 로밍을 통해 최대 2×10MHz 폭으로 서비스가 가능할 것으로 전망했다[3]. 독일의 ICT 정책연구기관인 WiK Consult의 연구에서는 방법론은 CEPT와 동일하게 평시 최악의 상황을 가정했으며, 상향 영상전송 애플리케이션을 더 고려해 상향 15MHz 폭, 하향 10MHz 폭이 필요한 것으로 산정했다[4]. 중국 공안부와 모토로라의 경우 재난 상황을 규모에 따라 level 1, 2, 3으로 구분하여 소요량을 산출했는데, 중국의 경우 Level 1(경찰 순찰 등 일상 상황), Level 2(대태러 작전, 심각한 교통사고 등의 비상상황), Level 3(지진, 홍수, 신불 등 대규모 재난)으로 구분하고, 주파수 소요량은 Level 2 수준을 상정했을 때 상향 18.7MHz 폭, 하향 7.7MHz 폭으로 총 27MHz 폭이 필요할 것으로 산정했다[5]. 모토로라도 Level 1(가스탱크 누출), Level 2(약품연구소 사고), Level 3(석유 정제시설 폭발)의 3개 level의 시나리오를 가정해서 소요량을 산출했으며 Level 2까지 대응을 위해 최소 2×10MHz 폭이 필요할 것으로 산정했다.

대부분 산정사례에서 재난상황의 정도에 따라 시나리오를 상정해 시나리오별 소요량을 산정하고 있는데, 평시 상황에 해당하는 PP1, 응급상황에 해당하는 PP2가 주로 고려되고 있고 재난 상황인 DR에 대해서는 규모의 변동성이 커 고려되지 않은 특징이 있다. 만약 최악의 상황으로서 DR을 기준으로 주파수가 분배된다면 주파수 낭비가 우려되며,

2) PPDR(Public Protection Disaster Relief) 상황은 규모에 따라 PP1, PP2, DR로 구분되는데, PP1은 일상적인 상황으로서 교통사고처리, 도로정체 시 경찰 업무 등을 의미하고 PP2는 대규모 비상상황 또는 특별 행사 등을 의미한다. DR은 재난 상황이나 규모의 변동성이 커 시나리오 특정이 어렵다[2].

3) 뉴욕 맨해튼의 방사능오염 폭탄(Dirty Bomb) 공격, 미니아폴리스의 교량붕괴 휴스턴의 허리케인 발생 등 재난상황의 통신 트패픽 소요량을 분석

트래픽 폭주를 분산하기 위한 방안으로 미국, 유럽, 아태지역 등을 4.9GHz 대역 등 M/W 대역을 점대점 백홀 등의 용도로 사용할 수 있도록 하고 있다. 소요량 산정 결과는 최소 10MHz 폭에서 27MHz 폭까지의 범위로서 다양하게 나타내는데, 망 용량(섹터 개수, MIMO 수준 등)을 개선하면 2×5MHz 폭으로 소요량이 줄어들 수 있으나 영상 애플리케이션의 초과 수요에 따라 소요량이 2×10MHz 폭 이상으로 증가할 수 있다. 따라서 원활한 영상 서비스 제공, 주파수의 효율적 이용, 향후 기술발전 추세 등을 고려했을 때 2×10MHz 폭이 적정한 것으로 판단할 수 있다.

3. 주파수 소요량 산정 내용

3.1 주파수 소요량 산정 방법론

본 연구에서는 주파수 소요량 산정 방법론으로서 IMT-2000 지상 시스템 주파수 소요량 산정 방법론인 ITU-R 권고 M.1390의 방법론을 기반으로 하고 있다[6]. M.1390의 소요량 산정 방법론은 지역적 고려 단계, 시장 및 트래픽 고려 단계, 기술 및 시스템 고려 단계, 주파수 소요량 결과 고려 단계 등의 4단계로 구성되며, 본 고에서는 재난안전 통신시스템의 이용특성을 고려해 이를 변형하여 적용하였다.

3.1.1 지역적 고려 단계

이 단계에서는 환경 타입, 셀 면적 및 구조 등이 고려된다. 환경 타입은 밀집도에 따라 밀집 도심, 도심, 부도심, 전원 지역으로, 이동성에 따라 실내, 도보, 이동체 환경으로 구분되고 일반적으로 가장 기여도가 큰 타입을 선정하게 되는데 여기에서는 밀집 도심 또는 부도심 지역을 고려하고 실내 또는 도보 환경을 고려한다. 셀 모양은 원형을 가정하고 셀 직경으로 최소 직경 1km를 고려했다. 일반적으로 셀 직경 또는 넓이는 인구밀도로부터 셀 내의 가입자 수를 산출하는 데 사용되나 여기에서는 비상상황 발생으로 트래픽이 집중하여 발생하는 상황을 가정하므로 셀 반경을 특정하여 고려하지 않는다. 다만 아래에서 제시된 바와 같이 광범위한 지역에 걸쳐 작전이 이루어지는 경우에 대해서는 셀 반경을 고려했다.

3.1.2 시장 및 트래픽 고려 단계

이 단계에서는 인구밀도, 서비스 타입, 셀당 가입자 수, 침투율 등으로부터 셀당 가입자 수를 계산하게 된다. 각 서비스(음성, 데이터, 영상 등)에 대한 트래픽 파라미터(최번시 호 시도 수, 평균 호 유지 기간, 활성화율)가 고려되고 트래픽 파라미터로부터 트래픽 양(얼랑)이 계산된다. 계산된 트래픽 양으로부터 필요한 채널 수가 계산되는데 이때 호 차단 확률(회선 교환), 패킷 지연(패킷 교환) 등의 QoS 파라미터가 고려된다. 이 연구에서 트래픽 파라미터는 재난안전 관련 기관(경찰, 소방, 해경 등)의 의견을 수렴해 마련했으며 트래픽 계산방식은 다음 절에서 설명한다.

3.1.3 기술 및 시스템 고려 단계

셀당 트래픽과 QoS 파라미터를 통해 애플리케이션별 채널 소요량이 계산된다. 채널 소요량은 얼랑 B 또는 C 공식을 통해 얻어지며 애플리케이션별 채널당 필요 비트율을 통해 전체 소요 비트율을 구할 수 있다. 마지막으로 적용하고자 하는 시스템의 주파수 효율성을 통해 최종적인 주파수 소요량이 계산된다. 이 연구에서는 위의 과정을 간략화하여 애플리케이션별 비트율을 직접 구한다. 이 방법은 유럽 CEPT, 모토로라 등의 계산 사례에서 적용된 방식인데, 실시간 애플리케이션의 경우 트래픽[kbps]=

<표 1> 주파수 효율성 가정(bps/Hz)

구분	상향(1x2 MIMO)	하향(2x2 MIMO)
평균	0.735	1.69
셀 경계	0.024	0.05

<표 2> 트래픽 시나리오

구분	경찰	소방	해경
PP1	• 셀당 500명 투입 - 교통단속, 112신고 대응, 특별 시설경비 등 수행	• 1개 소방서(86명) 투입	• 선박 1대 투입 - 선박 고장, 도서지역 응급환자 수송 등
PP2	• 셀당 약 2.5천명 투입 - 특별행사로 도심 직경 4~5km 지역에 2만명 투입 • HD 영상 3개 회선	• 지역소방본부(171명) 투입 • HD영상 1개 회선	• 선박 10대 투입 - 선박화재, 유류오염 등 • HD영상 2개 회선
DR	• 셀당 약 3천명 투입 - 특별행사 및 재난상황발생 • HD 영상 3개 회선	• 복수의 지역소방본부(약 685명) 투입 • HD영상 2개 회선	• 선박 50대 투입 - 대규모 해상 사고 등 • HD영상 2개 회선

사용자수×시간당 호 시도 수×필요 비트율[kbps]×호 기간[min]/60으로, 비실시간 애플리케이션의 경우 트래픽[kbps]=8×사용자수×시간당 호 시도 수×데이터 양[Byte]/3600×1000)으로 계산한다. 이 방법으로 계산할 경우 QoS를 적용해 계산한 경우보다 데이터 양이 적게 나올 수 있으나 주파수 소요량에서 가능 많은 부분을 차지하는 HD 영상 전송 애플리정했으므로 그 차이는 크지 않을 것으로 예상된다. LTE와 같은 패킷 통신방식을 위한 보다 정확한 주파수 소요량은 IMT-Advanced 시스템을 위한 소요량 산정 방법론인 M.17698을 적용하는 것이 바람직하나 이를 적용하기 위해서는 패킷의 확률적 특성, 패킷 지연 등의 QoS 파라미터 적용이 필요해 적용이 복잡하다는 단점이 있다[7].

이 연구에서 고려하는 시스템은 LTE Release 8로서 주파수 효율성은 〈표 1〉에서 주어진 평균값을 가정한다. 일반적으로 주파수 효율성은 기지국과 멀어질수록 작아지는 경향이 있어 셀 경계 지역에서 최소값을 갖는다. 따라서 셀 경계에서 사고가 발생하는 경우 주파수 소요량은 매우 커질 수 있으며 이 경우는 4장에서 논의할 시스템의 용량을 증대시키는 방안 도입이 필요하다. 주파수 효율성은 같은 LTE 방식이라도 전송방식에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 그룹통신 애플리케이션의 경우 MBSFN 방식을 적용할 수 있으며 이 경우 하향의 전송 효율성이 다소 증가할 수 있다. LTE 시스템 구축 시 일반적으로 셀당 용량 증대를 위해 3~6섹터로 나누어 구성하는데, 이 연구에서는 3섹터 시스템을 가정하되 섹터 분할에 따른 용량 증대는 섹터 간 간섭 효과를 감안해 2.5배가 증가하는 것으로 가정했다.

3.2 트래픽 시나리오

재난안전 관련 주요 기관의 재난 규모별(PP1, PP2, DR) 트래픽 시나리오를 고려한다. 각 시나리오는 기관별 예상 트래픽 이용 시나리오를 바탕으로 각 서비스의 애플리케이션에 따라 트래픽 파라미터를 가정했다. 여기서는 지면 관계상 시나리오별 트래픽 파라미터를 제시하는 대신 시나리오의 주요 내용만 소개한다. 각 시나리오에서는 음성, 데이터, 영상 서비스가 고려되며, 음성의 경우 그룹 통화, 데이터는 메시지를 포함해 인터넷 접속, 위치정보, 차량번호 판독 정보전송 등의 애플리케이션이 고려되었다.

<표 3> 재난안전망 주파수 소요량(MHz)

구 분	경찰			소 방			해 경			공 동
	PP1	PP2	DR	PP1	PP2	DR	PP1	PP2	DR	
상 향	0.131	3.822	4.321	1.611	1.992	5.340	1.127	2.379	4.316	7.351
하 향	0.061	1.660	1.838	0.742	1.274	2.247	0.001	0.017	0.102	5.151

<표 4> 통합 공공 광대역망 주파수 소요량(MHz)

구분	서비스	상향	하향
육상지역	PPDR	7.35	5.15
	철도통합무선망	2.05	1.85
	소계	9.4	7
해상지역	해경	4.32	0.1
	한국형 e-내비게이션	4.89	4.21
	PPDR	0.35	0.62
	소계	9.56	4.93

영상은 사건 현장 영상을 SD급 또는 HD급으로 전송하는 영상전송과, 영상통화 등이 고려되었다.

소방, 경찰, 군 등 다수의 재난안전 기관이 공동으로 투입되는 상황을 고려할 수 있다. 본 연구에서는 2014년 2월에 발생한 경주 마우나 리조트 붕괴사고 시나리오를 고려했는데 총 1,448명(소방 788명, 경찰 500, 시청 80명, 군 80명)이 투입된 사고로서 안행부의 재난안전무선망 주파수 소요량 산정에서 고려된 대구 지하철 사고(직경 1km 셀 내 1,560명 투입)와 투입인원 측면에서 유사한 규모라 할 수 있다[8]. 영상전송은 SD급과 HD급 영상이 각 3개 회선씩 상시 전송되는 경우를 가정했다.

공공용 광대역 통신 서비스로서 재난안전통신망 이외에 국토부가 추진하는 철도통합무선망, 해수부가 추진하는 한국형 e-내비게이션 서비스가 있다. 철도통합무선망은 열차제어를 포함해 열차 안전운행을 위한 열차 모니터링 및 각종 장치 제어를 수행하며 무선접속기술은 LTE를 고려한다. 한국형 e-내비게이션은 국제해상조난 및 안전제도(GMDSS)에 따른 장비 설치가 어려운 소형선박을 대상으로 연근해 지역(최대 100km 범위 내)에서 선박 안전을 위한 통신 서비스를 제공하는 시스템으로 무선접속기술은 철도통합망과 마찬가지로 LTE 방식을 고려하고 있다. 이들 서비스는 동일한 무선접속시스템을 이용하고 있고, 이용지역이 육상, 해상으로 구분되므로 효율적인 주파수 활용을 위해 재난, 철도, e-내비게이션 시스템을 동일 주파수 대역 내에서 상호 연계하여 운용하는 시나리오를 고려할 수 있다. 이 경우 운용지역에 따라 육상구간에서는 재난망과 철도망을 해상구간에서는 재난망과 e-내비게이션을 동시에 사용하는 시나리오를 고려할 수 있다. 본 연구에서는 육상지역 시나리오는 서울역 부근에서 사고가 발생해 3개 노선 열차가 운행되면서 사고 대응을 위해 1,488명이 투입된 상황을 가정했으며, 해상지역 시나리오는 해상 사고 발생으로 선박 50대가 투입되고 지상 지원인력 약 400여 명이 투입되며 e-내비게이션 서비스가 유지되는 상황을 가정했다.

3.3 소요량 산정 결과

개별 기관의 시나리오별 주파수 소요량은 2×5MHz

폭으로 충분한 것으로 산정된다. 그러나 다수의 기관이 동시에 운용되는 상황의 경우 상향 7.4MHz, 하향 5.2MHz로 최소 2×10MHz 폭이 소요될 것으로 예상된다. 재난안전통신망의 주파수 소요량은 하향 트래픽이 많은 이동통신의 경우와 달리 상향 트래픽이 크게 나타는 경향을 보이는데 이는 재난현장의 영상을 지휘본부로 전송하는 수요가 많고, 동일한 트래픽이더라도 일반적으로 단말 전력 상황, 다중 안테나 기술 적용의 어려움 등으로 인해 상향의 주파수 효율이 하향보다 작은 것이 원인이라 할 수 있다.

재난망에 철도, e-내비게이션을 연계한 통합 공공망의 경우 육상지역과 해상지역 시나리오 대해 상하향 각각 10MHz 폭 이내로 서비스가 가능해 2×10MHz 폭이 적정할 것으로 보인다. 단 철도망의 경우 재난상황에서 영상전송의 품질을 2Mbps에서 512kbps급으로 낮춘 상황을 가정했는데, 이는 재난상황에서는 열차 운행이 정지되어 중급화질로도 충분히 대응이 가능할 것으로 판단되기 때문이다.

4. 맺음말

재난안전통신망은 재난상황이 발생하는 경우에만 트래픽이 집중적으로 발생하는 특성으로 인해 최악의 상황을 가정해 주파수를 배분하고 망을 구축할 경우 자원낭비 초래가 예상되므로 적정한 수준의 자원배분이 필수적이다. 주파수의 경우 몇 가지의 대표적인 상황을 상정해 이에 필요한 주파수 소요량을 산정했고 이 결과 2×10MHz 폭이 적정할 것으로 예측되었다. 셀 경계지역에서 트래픽이 증가하거나, 영상전송장비를 과다하게 사용하는 경우 추가적인 소요량이 발생할 수 있으며, 이 경우 다른 연구결과에서도 권고하고 있듯이 이동형 기지국 또는 점대점 시스템, 상용망 등을 이용한 로밍 등의 트래픽 분산 방안 적용이 필요하다.

재난안전통신망의 트래픽 수요의 변동성은 트래픽 수요가 적은 평시에 주파수 자원이 비효율적으로 사용되는 문제가 있다. 이러한 문제는 철도통합무선망, 한국형 e-내비게이션과 같이 무선인터페이스를 공유하는 공공용 광대역 서비스와 연계함으로써 평시의 주파수 이용을 충분히 높임으로써 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

재난안전통신 분야에 있어 광대역 기술 적용은 아직 초기 단계로서 향후 활용이 본격화되어 운용경험이 축적되면 다양한 애플리케이션이 개발될 뿐만 아니라 망을 효율적으로 운용하는 방안도 만들어져 망의 효용성을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

[참고문헌]

[1] 이상윤, 이승훈, '광대역 재난안전통신 시스템의 주파수 소요량과 활용방안' Telecommunication Review 제출, 2014년 12월 출판 예정.

[2] CEPT, ECC Report 199: User requirement and spectrum needs for future European broadband PPDR system(wide Area Networks), May 2013.

[3] FCC, White Paper: The public safety nationwide interoperable broadband network: A new model for capacity, performance and cost, June 2010.

[4] WIK Consult, PPDR spectrum harmonisation in Germany, Europe, and Globally, Dec. 2010.

[5] APT, APT/AWG/REP-38: Technical requirements for mission critical PPDR communications, Sep. 2013.

[6] ITU-R, Recommendation ITU-R M.1390, Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements, Jan. 1999.

[7] ITU-R, Recommendation ITU-R M.1768, Methodology for calculation of spectrum requirements for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications, Apr. 2013.

[8] 이순화, 윤재선, 임장복, 임승각, '국내 공공안전재난구조 무선통신을 위한 주파수 소요량 산출', 한국인터넷방송통신학회 논문지 제11권 제4호, 209~216 페이지, 8월 2011년.