

공공안전 및 재난구조를 위한 미래 통신전략

홍영삼 공공안전통신 PG(902) 부의장, 와이에스엔지니어링 대표

1. 머리말

현재 운영 중인 재난안전통신망은 2015년 시범사업을 시행한 후, 2018년부터 2021년까지 구축됐다. 그간에 무선통신 기술이 상당히 발전했음을 비춰볼 때, PPDR(공공안전 및 재난구조, Public Protection & Disaster Relief)을 위한 미래 통신전략이 요구되는 시점이다. 이에 따라 요구사항에 근거해 운영 중인 재난 안전통신망을 검토하고 개선이 필요한 부분을 살펴보고자 한다.

2. PPDR을 위한 요구사항

2.1 재난안전통신망의 기능적 요구사항

구축에 앞서 정의됐던 재난안전통신망의 기능적 요구사항을 살펴보면, TTA 기술보고서 TTAR-06.0173/R1 부속서 9(Report ITU-R M.2377-2 부속서 9와 동일)에서 공공안전과 재난구조별로 각 기능 중요도를 매우 중요(H), 보통(M), 낮음(L)으로 구분하고 있다. 이를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- D2D(단말직접통신, Device-to-Device): 매우 중요
- 음성 통화: 매우 중요(영상 통화나 데이터 통신보다 더 중요)
- 영상 통화: 보통으로 중요
- 데이터 통신: 보통으로 중요
- 통화 품질의 중요성: 보통으로 중요

2.2 재난안전통신망의 통화권 요구사항

재난안전통신망은 평시뿐만 아니라 비상사태, 대규모 공공 행사, 재난상황 등 모든 상황에서, 사용자가 위치할 수 있는 모든 장소에서, 언제라도 안정적으로 통화권을 제공해야 한다. 이는 주로 평시 운영을 목적으로 하는 상용망과의 큰 차이점이다.

3. PPDR을 위한 통신 기술

3.1 전파 전파와 통화권

2절의 요구사항에 비춰봤을 때, 현재 재난안전통신망에서 취약한 부분은 D2D 기능이다. 이를 위해, 기본적으로 자유공간 전파 전파(電波傳播)를 분석·비교해 볼 필요가 있다.

자유공간 수신 전력은 다음의 Friis 공식에 의하며, 수신 전력은 송신 출력에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례하며, 파장의 제곱에 비례한다.

$$Pr(d) = Pt(GtGr)/(\lambda/4\pi d)^2 \text{ 또는 } d = (\lambda/4\pi)Pt^{0.5}Gt^{0.5}Gr^{0.5}/Pr(d)^{0.5}$$

- Pr(d): 송수신 간 거리 d에 따른 수신 전력
- Pt: 송신 전력
- G: 안테나 이득(Gt: 송신, Gr: 수신)
- d: 송수신 간 거리
- λ: 파장

자유공간 경로 손실을 기준으로 할 때, 통신을 가능케 하기 위한 일정한 수신 전력은 Pr이다. 이를 유지하기 위한 통화권의 거리(d)는 λ와 Pt^{0.5}에 각각 비례함을 알 수 있다.

정확하게 하자면 안테나 이득, 수신 감도, 주파수 대역 잡음 등도 고려돼야 하지만, 가장 중요한 요소는 송신 출력과 운용 주파수 대역이다. 현재 재난안전통신망에서 사용되는 DMR(디지털 협대역 무전기, Digital Mobile Radio)과 PS-LTE(Public Safety-LTE)의 자유공간 손실 기준으로 통화권을 간단히 비교하면 <표 1>과 같다.

<표 1> DMR과 PS-LTE의 통화권 비교

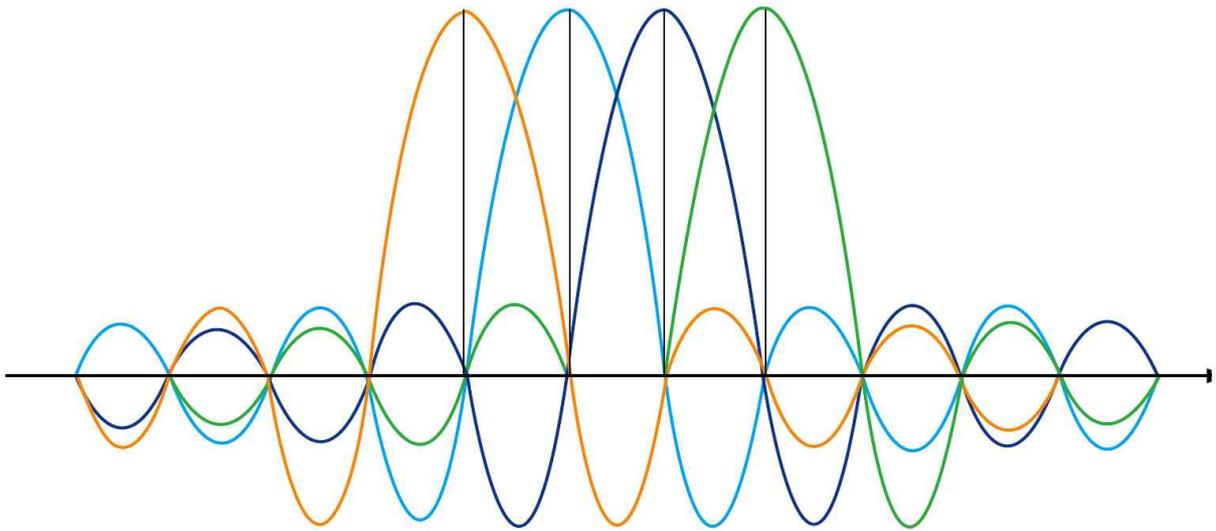
항목	UHF DMR	700 MHz PS-LTE (4G)	비율	자유공간 손실 기준 통화권의 증감
송신 출력	4W	0.2W	0.02	0.02 ² = 0.14
사용 주파수 대역 중심 주파수와 파장	430MHz, 0.69m	750MHz, 0.40m	0.58	0.58
송신 출력과 사용 주파수에 따른 통화권 변화 (DMR→PS-LTE)			0.14 x 0.58 = 0.08 (즉, PS-LTE D2D 통화권은 DMR의 10% 정도로 예상)	

이를 통해, 4세대(4G) 등의 이동통신 기술에서 제공하고자 하는 D2D 통신 통달 거리가 DMR에서 제공하는 단말 간 직접 통신과 비교해 상당히 짧다는 사실을 알 수 있다.

3.2 변조 기술

3.2.1 OFDM

OFDM(직교 주파수분할 다중, Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 고속 데이터를 서로 직교하는 다수의 부반송파로 나눠 병렬로 전송하며, 각 부반송파들을 직교시켜 서로 간 간섭이 없도록 한다. 이로 인해, 동일한 주파수 대역을 인접한 기지국에서도 사용할 수 있어 주파수 효율이 매우 높다. 즉, 일정한 주파수 자원으로 대규모 통신을 처리하기에 적합해 802.11 무선 랜과 4G 이후 이동통신 등에서 핵심 기술로 사용된다. 4G에선 DL(하향 링크, DownLink)에서, 5G부터 DL뿐만 아니라 UL(상향 링크, UpLink)에서도 OFDM 방식을 사용하고 있다. 그리고, 보통 신호는 효율을 높이기 위해 모든 변조 방식에서 부호화와 복호화 과정을 거친다.



* 출처: TTA 용어사전, OFDM

[그림 1] OFDM에서의 부반송파

한편, OFDM의 직교성을 유지하기 위해선 주파수 동기화가 중요한데, 심한 재난상황에서 대규모 D2D 통신에 사용하기엔 제약이 될 수 있을 것이다. 또한, 각각 부반송파 신호들의 값이 클 경우 PAPR(첨두전력 대 평균 전력비, Peak to Average Power Ratio)이 높아짐으로 인해, 휴대용 단말기에서 출력을 높이기엔 제약이 될 수 있다.

3.2.2 비 OFDM 방식

비 OFDM 방식에서도 아날로그 변조 방식은 이제 거의 사용되지 않으며, 디지털 변조 방식이 사용된다. 디지털 변조 방식에선 송신할 신호를 코드북을 이용해 압축·부호화해 송신하고, 수신 시엔 반대 과정을 거친다. 비 OFDM 방식으로는 FDMA(주파수분할 다중접속, Frequency Division Multiple Access), TDMA(시분할 다중 접속, Time Division Multiple Access), QAM(직교 진폭 변조, Quadrature Amplitude Modulation), PSK(위상 편이 변조, Phase Shift Keying) 등이 있다.

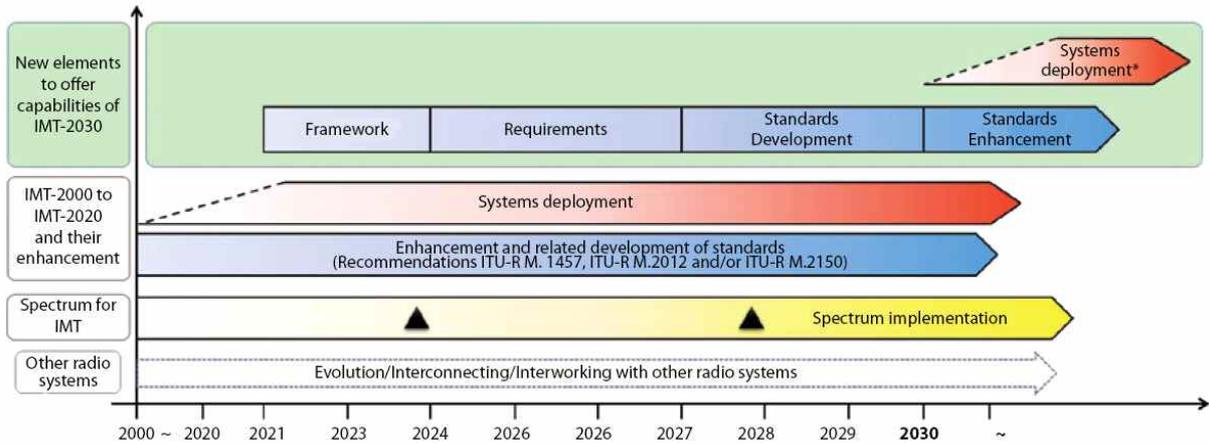
OFDM 방식을 사용하지 않는 변조 방식에선 인접기지국에서 주파수를 재사용하는 것이 불가능하며, 어느 정도 신호 크기 차이가 있는 조건에서만 재사용할 수 있다. 이는 OFDM 방식보다 주파수 효율이 떨어지는 단점이 된다. 하지만, 주파수 동기화가 중요하지 않거나 이에 덜 민감하기에, 심한 재난환경과 같이 통신망이 정상적으로 작동하지 않을 때도 문제없이 사용할 수 있다.

3.3 무선통신 기술

채널을 선택해 통신하는 컨벤셔널 무선통신 방식엔 DMR 티어 1, DMR 티어 2와 P25 컨벤셔널이 있으며 보통 146MHz부터 800MHz 대역까지 사용된다. 주파수를 여러 통신에서 공유할 수 있도록 통화를 위한 채널이 자동으로 설정되는 방식인 주파수공용 무선통신 방식으로는 TETRA, P25 Phase 2, DMR 티어 3이 있으며, 보통 380MHz부터 800MHz 대역까지 사용된다. 휴대용 단말기의 출력은 모두 3-5W이다.

3.4 이동통신 기술

이동통신 기술은 현재 재난안전통신망 기반인 4G에서 발전해 상용망에선 5세대 이동통신(5G, IMT-2020)이 이미 대규모 서비스되고 있다. 더 나아가 6세대 이동통신(6G, IMT-2030) 표준화가 진행되고 있으며, LEO(저궤도, Low Earth Orbit)위성을 기반으로 하는 NTN(비지상망, Non-Terrestrial Network) 서비스까지 목표로 하고 있다. 6G 표준 개발과 시스템 구축 예상 일정은 [그림 2]와 같으며, 4G-6G의 주요 기능 비교는 <표 2>와 같다. 아울러, 6G에서 추가될 새로운 기능으로 통화권 개선, 감지 능력, AI 기능 지원, 친환경, 망 간 연동, 측위정확도 개선이 있다.



출처: Rec. ITU-R M.2160-0 Figure 3

The sloped dotted lines in systems deployment indicate that the exact starting point cannot yet be fixed.

▲ : Possible spectrum identification at WRC-23, WRC-27 and future WRCs

* : Systems to satisfy the technical performance requirements of IMT-2030 could be developed before year 2030 in some countries.

: Possible deployment around the year 2030 in some countries (including trial systems)

[그림 2] 6G 표준 개발과 시스템 구축 예상 일정

<표 2> 4G-6G 능력 비교

항목	단위	4G	5G	6G
최고 전송 속도	Gbit/s	1	20	50-200
사용자 체감 전송 속도	Mbit/s	10	100	300-500
지역 트래픽 용량	Mbit/s/m ²	0.1	10	30-50
접속 밀도	devices/km ²	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁶ - 10 ⁸
지연	ms	10	1	0.1-1
신뢰도		-	1-10 ⁻⁵	1-10 ⁻⁵ - 1-10 ⁻⁷

4. PPDR의 통신 현황

4.1 재난안전통신망

4.1.1 재난안전통신망의 구축

현재 재난안전통신망은 MCPTT(Mission-Critical Push-To-Talk) 기능이 포함된 3GPP 릴리스 12~13의 4G 이동통신 기술을 사용하며, 재난 관련 행정기관, 소방, 군경 등 8개 분야 333개 관계기관을 대상으로 운영되고 있다. 전국에 고정식 기지국(RU) 5,647개소와 긴급 복구용 이동 기지국(차

량형 20식, 휴대용 40여식)을 확보하고, 철도망(LTE-R) 및 해양망(LTE-M.)과 기지국 공유(RAN Sharing) 기술을 이용해 상호연동하며, 산악·농어촌 지역은 이동통신 사업자의 4G망과 RAN Sharing하고 있다. 철도망 및 해양망과는 동일한 주파수 대역을, 이동통신 사업자와는 주파수 로밍 방식으로 연동한다.

4.2.2 재난안전통신망의 통화권

재난안전통신망의 통화권은 [그림 3]과 같이 '기지국-4가지 솔루션(All-4-One)' 개념에 기반해 전국 어디서나 통신 음영지역을 최소화하고 있다.



* 출처: 행정안전부, 재난안전통신망 리플렛, 2021.5.

[그림 3] 재난안전통신망 운영 개념

All-4-One 솔루션

- ① 고정기지국 - 국가기반시설(점), 인구밀집지역(면), 주요도로(선)를 기준으로 고정기지국을 구축해 상시 서비스
- ② 이동기지국 - 산간·농어촌 지역은 차량형 및 휴대형 이동기지국을 배치해 임시 서비스
- ③ 타통합공공망 - 해상과 철도에선 타통합공공망(LTE-M./LTE-R)과의 RAN-Sharing을 활용
- ④ 상용망 - 산지, 농어업지역, 도로, 건물 내부 및 지하 구간엔 이동통신사 상용망과의 RAN-Sharing을 활용. 화재 시 건물 내부나 지하 구간엔 DMR도 활용

5. PPDR을 위한 미래 통신 전략

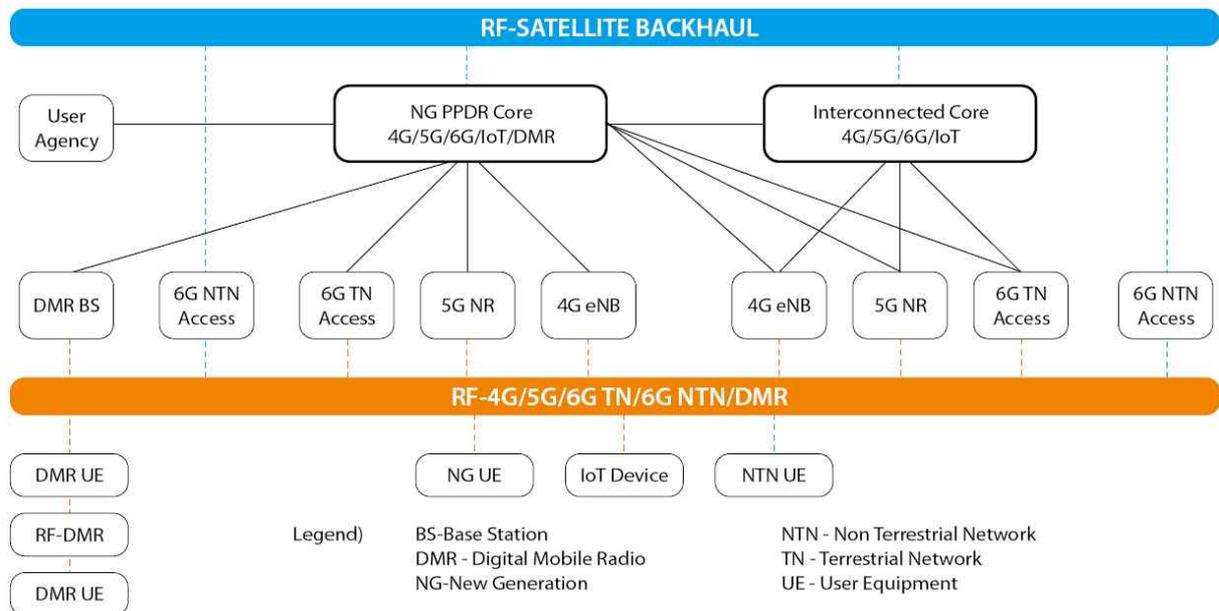
5.1 PPDR 미래 통신 전략 개요

PPDR 미래 통신은 공공안전뿐만 아니라 재난구조에서도 운영될 수 있어야 한다. 특별히 심각한 재난상황에선 주요 통신시스템이 작동하지 않을 수 있는 바, 이에 대비해 실질적으로 작동이 가능한 통신 전략을 세워야 할 것이다.

5.2 재난안전 통신망의 개선

<표 2>에 정리된 바와 같이, 4G보다 5G와 6G에서 큰 개선이 있으므로 이를 적용하기 위한 망의 진화가 필요하다. [그림 2] 일정을 참고하면, 단기적으로는 4G에서 5G로, 장기적으로는 6G로 업그레이드를 계획해야 할 것이다. 그러나 5G와 6G를 위해선 4G보다 더 많은 기지국이 소요될 것으로 예상되므로, 어떻게 업그레이드할 것인지도 중요할 것이다.

음성통화와 저속 저용량 데이터 기능은 4G PSLTE 장비에서도 잘 구현돼 있으므로, 망의 업그레이드에 따라 4G PS-LTE 장비를 폐기하기보단 계속 활용해도 좋을 것이다. 고속 고용량 데이터의 경우, 5G-6G로 업그레이드해 우선적으로 사용자밀집지역에서 사용하면 될 것이다. 또한 6G에서 LEO위성을 이용하는 NTN 기지국이 출현할 예정이므로, 이의 도입을 계획하면 외곽지역에서의 서비스가 상당히 개선될 수 있을 것이다. 한편, IoT를 대규모로 확대하고, AI를 도입해 재난예측과 대응에 적극 활용할 필요가 있다. 이와 같은 시스템 개선안의 개념을 [그림 4]에서 제시했다.



[그림 4] 미래 재난안전통신망 개념도

5.3 'All-4-One 솔루션'의 개선

현재 'All-4-One 솔루션'으로 제공하는 통화권에서 개선이 필요한 부분을 살펴본다.

5.3.1 직접 통화

재난안전통신망의 기능적 요구사항 중 모든 상황에서 매우 중요한 것으로 정의됐던 D2D 기능을 위한 제품이 구현되지 않았다. 그 통화권 성능도 비교 대상인 DMR에 비해 <표 2>에서와 같이 매우 제한적일 수밖에 없기도 하다. 그러므로, 화재 현장 등에서 DMR 무전기가 사용되고 있는 것이 현실이다. 이는 5G 또는 6G에서 구현될 수 있을 사이드링크 기능으로도 큰 변화를 기대하기 어려울 것이다. 해외 사례에서도, 7백만 단말 접속을 갖는 세계 최대 미국 브로드밴드 재난안전통신망(FirstNet)조차 각 주단위별로 P25 LMR 시스템이 보완적으로 사용되고 있다. 그러므로 특별한 개선이 객관적으로 확인되지 않는 한, 미래 통신전략에서 DMR을 보완적으로 유지하는 것

이 현실적 방안이 될 것이다.

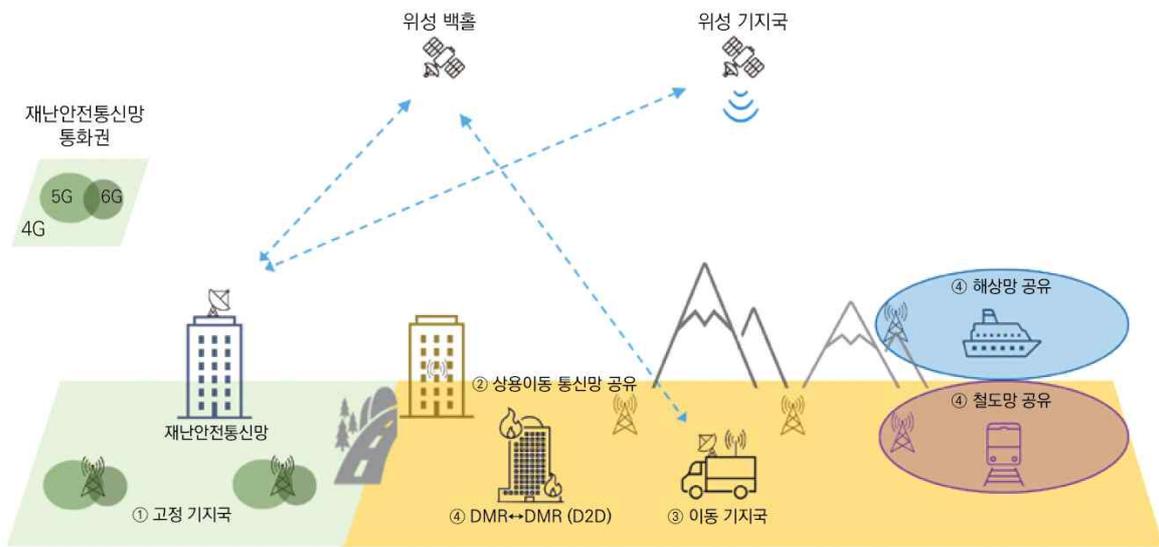
5.3.2 이동통신사 상용 서비스

통화권 음영지역(특히 건물 내, 지하)에서 RAN Sharing 기술을 이용해, 이동통신 사업자 기지국을 통한 재난안전통신 서비스가 유지되고 있다. 이는 공공안전을 위해 전국을 통화권으로 하는 재난안전통신망을 경제적으로 구축할 수 있게 해주는 방안으로, 계속 유지해도 좋을 것이다. 그러나 재난구조에서 상용망 서비스 이용이 항상 보장되지는 않을 것이며, 이때는 이동 기지국이나 6G NTN 서비스가 필요할 것이다.

5.3.3 'All-4-One 솔루션' 개선

공공안전을 위해 4G PS-LTE가 구축된 통화권을 유지하면서, 대도시와 같은 인구 밀집 지역엔 5G 또는 6G 고정기지국을 구축한다. 그리고 인구밀도가 낮은 산악, 도서, 농어촌 지역, 건물 내, 건물 지하 지역 등 전용 고정기지국으로 서비스할 수 없는 곳엔 상용 이동통신망을, 해상과 철도에선 타통합공공망(LTE-M./LTE-R)을 계속 활용한다.

통상의 공공안전을 위한 솔루션이 작동하지 않을 재난구조를 위해선, 위성 백홀을 갖는 이동 기지국을 배치하거나, LEO위성을 통한 6G NTN 서비스로 보강하면 될 것이다. DMR 장비가 유지된다면 보조로 사용할 수 있을 것이다. 이러한 'All-4-One 솔루션'의 개선안을 [그림 5]에 나타냈다.



[그림 5] 'All-4-One 솔루션' 개선안

6. 맺음말

재난안전통신망의 기능과 통화권 요구사항에 근거해 운영 중인 재난안전통신망을 검토하고 개선이 필요한 부분을 살펴봤다. 새로운 기술이 모든 것을 해결한다는 막연한 생각보단 이동통신 기술이 이룩하고 있는 놀라운 발전을 좇으면서도, 그 한계를 이해하고 투자 대비 효과를 고려해 합리적이고 현실적인 방안을 제시해 보았다. 이번 원고가 향후 공공안전 및 재난구조를 위한 미래 통신 전략에 도움이 되기를 기대해 본다.

[참고문헌]

[1] TTAR-06.0173/R1 공공안전 및 재난구조를 위한 전파통신 목적 및 요구사항 (기술보고서)

[2] 행정안전부, 재난안전통신망 리플렛, 2021.5.

https://www.mois.go.kr/cmm/fms/FileDown.do?atchFileId=FILE_00102400lcJ8R5h&fileSn=0

※ 출처: TTA 저널 제220호