

Mission Critical 서비스를 위한 그룹통신 시스템 성능 향상 기술 및 검증 방법론

김주엽*, 김용규*, 송용수**, 최상원^o

Group Communication Enabler Technologies and a Verification Methodology for Mission Critical Service

Juyeop Kim*, Yong-Kyu Kim*, Yong-Soo Song**, Sang Won Choi^o

요약

재난안전통신망에서는 철도나 국방 등과는 다르게 그 환경에 특화된 그룹통신 서비스 요구사항이 존재하며, 재난안전통신망에서는 그룹통신 시스템에 대해 그런 요구사항을 만족시키기 위한 기술 적용이 필요하다. 또한 그 서비스 요구사항이 기능적인 측면 뿐 아니라 성능적인 측면에서의 항목도 포함하고 있으며, 이런 요구사항 항목에 대한 만족 여부 판단을 객관적으로 할 수 있는 검증 방법 또한 필요하다. 본 논문에서는 그룹통신 시스템이 재난 환경에 적용되기 위한 요구사항이 무엇이며, 이것을 만족시키기 위한 후보 기술에 대해 논하고자 한다. 또한 실제 구축된 재난용 그룹통신 시스템에 대해서 그런 요구사항에 대한 만족 여부를 검증할 수 있는 방법을 제안한다.

Key Words : Group Communication, Mission Critical, Railway, Public Safety, Verification

ABSTRACT

Unlike railway or military cases, there are some service requirements which are dedicated to the public safety case, so the public safety communication system requires the group communication system to have some specific technologies to satisfy the requirements. Also, since some of the service requirements are related to performance aspect, it is needed to have a verification methodology to estimate whether a specific communication system satisfies those requirements. In this paper, we study the service requirements of group communication system in public safety environments, and suggest candidate technologies which enables the group communication system to satisfy such requirements. We also propose a verification methodology which can estimate whether the group communication system deployed in a practical field satisfies those service requirements.

1. 서론

현재 국내외에서 Long Term Evolution(LTE) 기반의 재난안전통신망에 대한 기술 및 활용성에 대해 그

관심도가 높아지고 있다. 각국 정부에서는 국가 차원에서 재난안전통신망을 구축하고 운영하기 위해서 다방면에서 활발한 검토를 진행하고 있다. 특히, 최근 LTE 기반의 4세대 이동통신 기술이 발달하고 보급된

※ 이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2014-0-00532, 국가공공안전서비스를 위한 LTE기반 재난통신 시스템·단말 개발)

♦ First Author : Korea Railroad Research Institute, Signaling and Communications Research Team, jykim00@krii.re.kr, 정회원

^o Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, ICT Convergence Research Team, swchoi@krii.re.kr, 정회원

* Korea Railroad Research Institute, Signaling and Communications Research Team, ygkim1@krii.re.kr, 정회원

** Korea Railroad Research Institute, Railroad Type Approval Team, adair@krii.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-03-070, Received April 13, 2017; Revised May 10, 2017; Accepted May 11, 2017

에 따라, 우리나라를 비롯한 여러 국가에서 음성 위주의 2세대 기반의 TETRA/Trunked Radio System(TETRA/TRS) 기술이 아닌 LTE 기술을 재난안전통신망에 적용하여 재난안전에서 필요한 기능 및 성능을 제공하는 것을 고려하고 있다.^[1-4] 우리나라의 경우 2014년에 정책적으로 국가 재난안전통신망을 LTE 방식으로 구축하기로 결정되었고 이에 해당하는 주파수로 Band 28 (하향: 718MHz - 728MHz, 상향: 773MHz - 783MHz)이 할당되었다. 또한 2015년-2016년에는 정선, 강릉 및 평창 지역을 대상으로 국가 재난안전통신망 구축 및 운영에 대한 시범사업이 진행되었다.

재난안전 환경에서 사람들이 주로 필요로 하는 서비스는 그룹통신이다. 그룹통신은 여러 사용자로 구성된 그룹이 서로 발언을 주고받으며 소통을 하는 것으로, 그룹 내 한 사용자가 발언권을 부여 받고 발언을 전달하면 나머지 그룹 사용자들이 발언을 듣는 형태로 진행된다. 그룹통신 서비스는 그룹 내 사용자가 항상 발언을 할 수 있는 다자간 통화와는 다른 서비스로, 임무를 수행하는 여러 명의 그룹 사용자가 효과적으로 의사를 전달하게끔 해준다. 재난안전 관련 업무에서는 대부분의 경우 임무를 홀로 수행하지 않고 여러 명이 협업하여 수행하기 때문에 그룹통신을 통해 명령을 전달하거나 임무와 관련된 정보를 공유하는 것은 성공적인 임무 수행에 있어서 필수적인 요소이다.

지금까지 재난안전 분야에서는 주로 2세대 기반의 TETRA/TRS 시스템을 통해 그룹통신 서비스가 제공되어 왔다.^[5,6] 하지만 이들 시스템은 현재 Global System for Mobile communication(GSM)을 대표로 하는 상용 2세대 시스템들과 마찬가지로 문제점을 노출하고 있다. 우선 이들 시스템은 2세대 기반의 기술에 해당하며, 최근 상용에서 활용되는 이동통신 기술 수준과 비교할 때는 송수신 성능이 떨어진다고 볼 수 있다. 특히 상용 환경과는 다르게 약전계(weak received signal region) 분포가 두드러지는 재난 환경에서는 이러한 송수신 성능이 서비스 품질에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 뿐만 아니라 이런 기존 그룹통신 시스템은 음성 위주의 서비스 제공만 가능하며, 영상이나 사물인터넷 기반 센서 모니터링과 같은 데이터 통신 기반의 서비스를 제공하기 어려우므로 향후 서비스 확장성 측면에서 불리한 측면이 있다.

이런 추세에 따라, 재난안전통신 분야에서도 2세대 기술 수준에서 벗어나 이동통신에서의 최신 기술인 4세대 기반의 LTE 기술 적용을 통해 더욱 향상된 그룹통신 서비스를 제공하기 위한 노력이 지속적으로 이

루어져 왔다.^[7,8] 우선 All IP 관점에서 그룹통신 서비스를 제공하기 위해서 Open Mobile Alliance (OMA) 표준 단체에서는 IP를 기반으로 한 Push-To-Talk (PTT) 기본 기능을 제공하기 위한 프로토콜 표준화를 2000년 중반부터 진행하였다.^[9-11] 또한 이런 IP PTT를 재난환경에 적용하기 위한 기능 표준화인 Push to Communication for Public Safety (PCPS) 프로토콜에 대한 표준화도 2011년에 완성되었다.^[12,13]

LTE 표준을 제정한 3rd Generation Partnership Project (3GPP)에서도 최근 각국 정부의 요청에 따라 그룹통신 서비스를 LTE 기반으로 제공하기 위한 표준화를 진행하였다. 우선 Release 12 표준화를 통해 진행된 Group Communication Service Enabler (GCSE) Work Item에서는 그룹통신의 기본 메커니즘인 동일 데이터의 다수 사용자에게 대한 효율적인 전달 프로토콜에 대해 표준화를 2015년 3월까지 진행하였다. 또한 Release 13 표준화를 통해 Mission Critical Push To Talk (MCPTT) Work Item에서는 PTT에 기본 동작인 ID관리/그룹형성/호설정/발언권등 어플리케이션 수준에서의 프로토콜 및 망 인프라가 존재하지 않는 환경에서 D2D 기반 통신을 활용하는 off-network 환경에서의 그룹통신 프로토콜에 대해 표준화가 이루어졌다.^[14-16]

LTE 기반의 재난 그룹통신 시스템은 표준 측면 뿐 아니라 개발 측면에서도 망 장비 제조사를 중심으로 최근 몇 년 사이에 많은 진척이 이루어졌다. 특히 국가재난안전통신망에 대한 정책적 결정이 상당히 이루어지고 구축 사업이 가시화가 되었던 우리나라에서는 국내 재난안전망 시장 진입을 위해 삼성을 비롯한 다양한 망 장비 제조사들을 중심으로 솔루션 개발 및 시연 홍보 활동이 활발하게 진행되었다. 재난용 주파수가 할당이 된 2014년 하반기 이후부터 다양한 제조사들이 실제 현장에 적용 가능한 수준의 기지국 및 코어 망, 서버, 단말 장비를 통해 일반인이 볼 수 있는 공개 석상에서 그룹통신 서비스 기능을 시연하는 일을 흔히 볼 수 있었다.

이런 기술 및 시장 동향을 종합적으로 분석하면, LTE 기반의 재난안전통신 기술은 현재 단계에서는 단순하게 요소기술 개발이 필요한 수준을 넘어서 시스템 차원에서 현장 적용이 가능할 수준까지 어느정도 발전했다고 볼 수 있다. 이런 단계에서 가장 중요한 이슈는 과연 현 솔루션이 실제 수요처에서 바라보는 재난통신으로서 적합한지 여부를 판단하는 것이다. 즉, 재난통신에 대한 사용자 요구사항 분석을 기반으로 현 솔루션이 이를 만족하는지를 기술적으로 검증

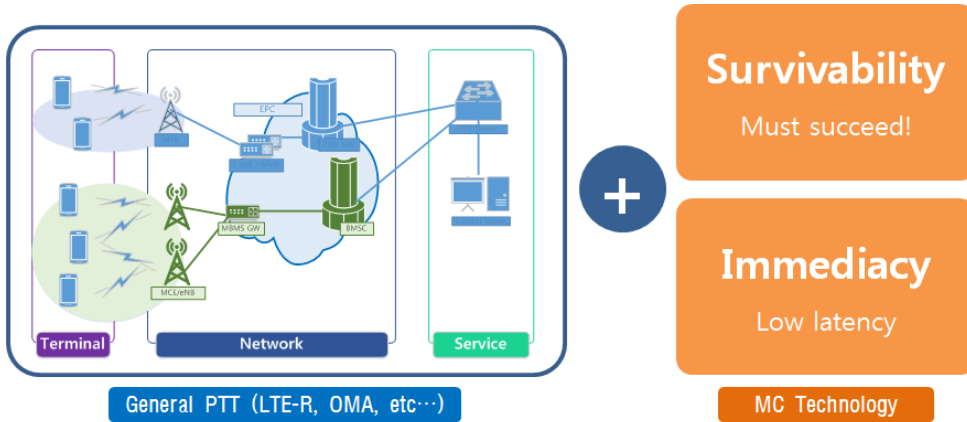


그림 1. 재난 그룹통신 서비스의 요구사항
 Fig. 1. The Requirements of Group Communication Service in Public Safety

하고, 필요 시 요구사항에 부합이 되도록 현 솔루션을 최적화하는 것이 현 단계에서 가장 중요한 문제라 볼 수 있다. 특히 일반적인 IP 기반 PTT의 경우 이미 상용이나 철도 분야에서 활용되고 있거나 실용화를 눈앞에 두고 있기 때문에 현 시점에서 그룹통신은 기본적인 원천기술 개발보다는 재난 환경에 특화된 요구사항을 고찰하고 이에 맞춰서 추가적인 기술 개발이 이루어질 필요가 있다. 또한 이동통신 시스템의 특성상 기지국 및 코어 서버, 단말 등 다양한 구성요소가 시스템을 이루며, 단말의 이동 패턴 및 기지국의 배치 상황 등에 따라 그 성능이 상당히 상이하기 때문에, 구축 과정이나 구축 시스템에 대한 검증 개념에서 실제 시스템에 대해 요구 기능 및 성능에 대한 만족 여부를 객관적으로 검증하는 절차가 반드시 필요하다.

본 논문에서는 재난 환경에서의 그룹통신 서비스가 기존의 그것과 어떻게 다른 특성을 가지며 이로 인해 기술개발 및 구축·운영 관점에서 어떤 추가적 노력이 필요한지를 말하고자 한다. 재난이라는 특정 환경에서 그룹통신 서비스가 만족해야 할 요구사항에 대해 알아보고, 이를 기반으로 기존의 그룹통신 시스템이 재난 환경에 적용되기 위해서 어떤 방향으로 기술 개발이 필요한지를 소개한다. 그리고 구축된 그룹통신 시스템이 어떤 절차로 요구사항 만족에 대한 검증이 이루어져야 되는지와 그 검증 결과에 대해 실측 데이터를 토대로 소개하고자 한다.

II. 재난 환경에서의 그룹통신 서비스 요구사항

재난 환경에서 그룹통신 서비스에 가장 중요하게 요구되면서 철도와 같은 다른 환경과 차별화되는 요

소는 생존성과 신속성이다. 재난 시나리오는 인프라가 정상 동작하는 일상적인 상황 뿐 아니라 지진, 화재, 해일 등 인프라가 정상 동작을 못하는 상황도 포함한다. 특히 인프라에 절대적으로 의존하는 기존 이동통신 기술에게 생존성을 요구하는 것은 도전이라 볼 수 있다. 또한 긴급한 재난 상황에서 특정 임무를 끝드나 임이라는 정해진 시간 안에 해결해야 하는 경우가 많기 때문에, 임무 해결의 도구가 되어야 할 그룹통신 서비스 또한 어떠한 환경에서도 신속성을 갖출 필요가 있다. 기존 로밍 통화처럼 발언이 상대방에게 늦게 도달하게 되면 신속하고 원활한 소통이 어렵기 때문이다.

이와 관련된 재난 요구사항 정립은 European Telecommunications Standards Institute (ETSI)에서 진행된 TETRA 나 OMA에서의 Push-to-talk over Cellular (PoC) 등 기존 표준화 활동을 통해 이미 어느정도 이루어졌다고 볼 수 있다. 그리고 이런 요구사항을 참고삼아서 최근 3GPP에서 Mission Critical Push To Talk (MCPTT) work item을 통해 재난용 그룹통신에 대한 요구사항이 LTE 기반에 맞게 재정립되었다. [15] 이 과정에서 삼성, LG 에릭슨, 쉐프, 노키아 등 3GPP 진영에서 LTE 표준화를 해온 기업과 더불어 모토로라나 Harris, General Dynamics, Kodiak Networks 등 기존 TETRA 및 OMA 진영에서 그룹통신 표준화 및 개발을 주도적으로 이끌어온 기업들도 MCPTT 표준화에 참여하였다. 이로 인해 재난 환경에서 필요한 기존의 기능 및 성능 요구사항이 기본적으로 수용되면서 LTE와 같은 4세대 이동통신 기술 기반의 재난 그룹통신 시스템이 지원 가능한 새로운 기능의 추가나 달성 가능한 성능 기준으로 상

표 1. 3GPP TS 22.179에 정의된 성능 지표

	Definition	Requirement
KPI 1	The time between when a user request to speak and when this user gets a signal to start speaking	<300 ms
KPI 2	The time between when a user requests to speak and when this user gets signal to start speaking (including call setabishment)	<1s
KPI 3	The time between an utterance by the transmitting user and the playback of the utterance at the receiving user's speaker	<300 ms
KPI 4a	From the time that user decides to monitor the group call to the time when the user's speaker starts to play the audio (Without encryption)	<150 ms
KPI 4b	From the time that user decides to monitor the group call to the time when the user's speaker starts to play the audio (with encryption)	<350 ms

향 조정되어 MCPTT 표준에 반영되었다.

MCPTT 표준화의 결과 중 서비스 시나리오 및 요구사항에 해당되는 표준 문서인 TS 22.179는 최신 그룹통신 시스템이 갖추어야 할 기능 및 성능에 대한 요구사항 내용을 포함하고 있다. TS 22.179는 무선 그룹통신 서비스에서 기본적으로 요구되는 셀룰라 기반의 호 설정과 late entry, 발언권 제어, 그룹 관리 및 identification 관리 등에 대한 기능 요구사항을 포함하고 있다. 이와 더불어 최근 Rel.12-13을 통해 Radio Access Network (RAN) Working Group에서 표준화가 진행된 단말 간 직접 통신 (D2D) 기능을 기반으로 기지국이 존재하지 않는 off-network 환경에서 호 설정 및 발언권 제어, broadcasting, late entry 등의 다양한 그룹통신 기본 기능에 대한 요구사항도 포함된다. 이로 인해 LTE 망 인프라가 붕괴된 재난 시나리오에서도 MCPTT 그룹 사용자들이 그룹 내 원활한 소통을 제공 받는 것이 가능하다.

성능 측면에서는 TS 22.179는 크게 4가지의 Key Performance Indicator (KPI)에 대해 정의를 하고 있으며 각각에 대해 특정 요구 기준을 그룹통신 시스템이 만족하도록 명시하고 있다. KPI 1 ~ KPI 4에 대한 정의는 표 1에 정리되어 있다. 이 중 사용자의 체감 측면에서 상대적으로 중요한 지표에 해당되는 것은 KPI 1 및 KPI 3에 해당된다. 이는 그룹통신 서비스의 실제 시나리오 특성상 그룹 사용자들이 최초 그룹 호 (group call)를 형성한 이후부터는 발언권 제어 동작이 반복되므로, 그룹 사용자들이 가장 많이 접하는 이벤트는 발언권 획득 및 발언 수신 이벤트이기 때문이다. KPI 1은 가장 기본적인 성능 지표로, 그룹 호가 연결된 상태에서 발언권을 획득하는데 걸리는 지연시간에 해당된다. KPI 3은 Mouth-to-Ear latency라고도 부르며, 발언권 획득 이후, 발언이 육성으로 나간 시

점부터 수신자들이 귀로 들을 때까지 시간이다. (따라서, KPI 3은 음성 패킷 전달에 의한 지연시간과 더불어 송수신 측 단말의 음성 처리에 대한 지연시간까지 포함한다.)

KPI 1 및 KPI 3에 대해서 TS 22.179에서는 95%의 확률로 300ms 이하가 되도록 요구하고 있다. 즉, 100번을 반복했을 때, 95번 이상은 300ms 이하가 되어야 하며, 반복 시험 결과의 확률적으로 worst 5% 성능이 300ms 이하가 되어야 한다는 뜻이다. 요구기준에 해당되는 300ms는 단순히 기술적으로 달성 가능한 지연시간이 아닌 그 이상의 중요한 의미를 내포하고 있다. 이 300ms는 평균적인 사람이 호를 걸거나 발언권을 잡기 위해서 단말의 User Interface (UI) 상에서 특정 입력을 넣고 그 반응을 기다릴 때, 체감을 할 수 있는 최소 반응 시간에 해당된다. 즉, 특정 이벤트가 발생하는데 걸리는 시간이 300ms 이하이면 사람들은 평균적으로 UI를 통한 입력과 동시에 그 이벤트가 지연 없이 일어났다고 느낀다. 반대로, 300ms 이상의 시간이 소요되면 일반 사람들은 UI 상의 입력

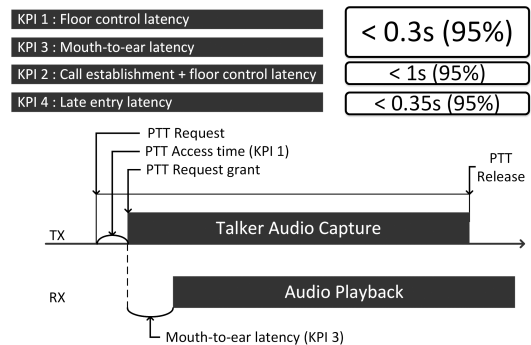


그림 2. 재난 그룹통신 서비스에 요구되는 성능 지표
Fig. 2. The Key Performance Indicators of the MCPTT Service Requirement

이후에 반응이 일어날 때까지 지연이 존재함을 체감하게 된다. KPI 1로 예를 들면, 발언권 획득을 시도할 경우 물리적인 버튼을 누른 후 발언권 획득 상태가 될 때까지 걸리는 시간이 300ms 이하가 되면 일반적인 사람은 버튼을 누름과 동시에 지연 없이 발언 가능한 상태가 된다고 느낀다. 그 반면, 물리 버튼을 누른 후 동작에 대한 소요 시간이 300ms 이상이 되면 일반적으로 사람들은 발언권 획득 시도 이후에 실제 발언 가능 상태가 될 때까지 특정 지연을 느끼게 된다. 이런 지연에 대한 체감은 짧은 시간 내 문제 해결을 요하는 급박한 재난 상황에서 임무 수행에 지장을 주게 되므로, KPI 1 및 KPI 3는 300ms 이상이 되지 않도록 규정되었다.

III. 재난 환경을 위한 LTE 기반 그룹통신 성능 향상 기술

TS 22.179에서 명시하는 요구사항으로부터 유추해 볼 수 있듯이, 재난 그룹통신 서비스를 제공함에 있어서 핵심 이슈 중 하나는 KPI 1 및 KPI 3에 대한 개선이다. 일반적으로 LTE 환경에서 무선 혹은 망 구간에서 발생하는 지연이나 데이터에 대한 처리 속도 등을 고려하면 「지연시간 300ms 이내」 목표를 달성하는 것은 크게 문제되지 않는 듯 보인다. 하지만 TS 22.179에서 요구하는 성능 조건은 평균이 아닌 worst case를 기준으로 하며, 통상적인 이동 경로 상에서 그룹통신 서비스를 지속적으로 제공 받을 때 최악의 경우에도 지연시간이 300ms를 넘지 않아야 한다. 이는 커버리지 내 수신 신호 감도가 약한 약전계 지점에 순간적으로 빠지거나 프로토콜 타이밍 상 불가피하게 패킷 전달이 지연되는 등 간헐적으로 발생하는 악조건 환경에서도 300ms 지연시간 기준이 만족되어야 한다는 의미이다. 따라서 이에 대한 성능 개선을 위해서는 평균적으로 패킷 지연을 해소하는 기법보다는 worst case에서 발생하는 지연을 최소화하는 기법이 더 효과적이라 볼 수 있다.

그림 3에서는 그룹 단말과 서버 간 발언권 제어 과정을 보여주고 있다. 발언권 제어 과정 시 발언권 획득을 원하는 발신 단말이 발언권 요청 메시지를 서버에게 전달하면, 서버가 이에 대한 회신 메시지를 발신 단말에게 전달한다. 그리고 그 이후에 발언 패킷이 발신 단말로부터 서버를 거쳐서 수신 단말로 전달이 된다. 따라서 KPI 1 및 KPI 3 두 경우 모두 단말 → 서버 → 단말 과정에서의 패킷 처리 및 전달 지연 시간에 해당된다. 발언권 제어를 위한 제어 메시지들은 그

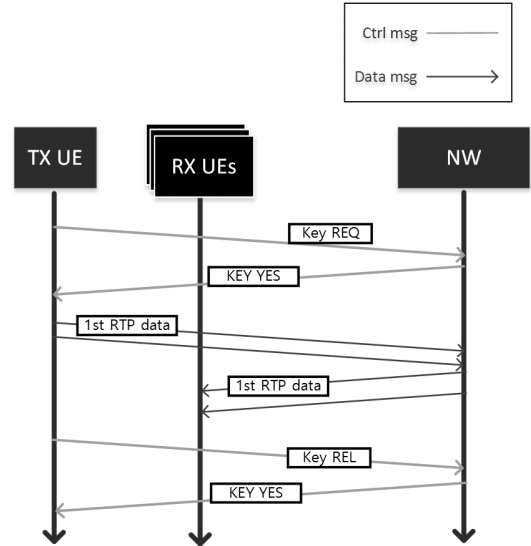


그림 3. 발언권 제어 및 발언 전달 과정
Fig. 3. Floor control and talk burst delivery processes

룹 번호와 발언권을 요청하는 단말 번호, 발언권 동작 종류 등의 같은 간단한 정보를 포함하는 것으로 대개 그 크기는 수십 바이트에 해당된다. 이는 호 관리 관련 동작에서 발생하는 수백 바이트 크기의 SIP 메시지들에 비해 현저히 작다. RTP data는 사용하는 음성 코덱에 따라 패킷 크기나 생성 주기가 달라진다고 볼 수 있다.

발언권 제어 과정을 살펴보면, KPI 1 및 KPI 3에 미치는 요소는 크게 서버 및 단말 단에서의 패킷 처리 속도와 서버 - 단말 간 패킷 전달 지연 시간 이렇게 두 가지가 있다고 볼 수 있다.

KPI 1의 경우, 패킷 처리 관점에서는 발신 단말이 최초 패킷인 발언권 요청 메시지를 생성하거나 서버에서 이를 처리하여 발언권 부여 메시지를 생성 및 전송하는 이벤트는 보통 빠르게 처리가 되므로 문제가 되는 수준의 지연을 유발하지 않는다. 다만 단말이 발언권 부여를 받은 직후부터 첫 RTP 음성 패킷을 생성하기까지는 눈에 띄는 지연이 발생할 수 있다. 따라서 이런 불필요한 지연을 줄이기 위해서 코덱 제어 동작에 대한 최적화가 필요하다. 패킷 전달 관점에서는 서버에서 단말로 패킷이 전달되는 경로인 하향링크는 지연 관점에서 큰 문제가 되지 않으나, 최초 패킷이 단말에서 서버로 전달하고자 할 때, 이전 트래픽이 없었으므로 상향링크 스케줄링에 눈에 띄는 지연시간이 걸릴 수 있다. 따라서 이러한 지연시간을 효과적으로 줄이기 위해서는 기지국 스케줄링 단에서 그룹통신 단말에 대한 스케줄링 지연을 줄일 수 있는 기법이 필

요하다. 예를 들어, 최초 단말에서 업링크로 패킷을 전달 할 때, 기지국에서의 업링크 스케줄링에 의한 Queuing 지연을 최소화하기 위해서, 호 설정 이후 현재 셀 로딩 상황에 맞게 자원할당을 수행하는 방법이 있을 수 있다.

KPI 3의 경우, 패킷 처리 관점에서 가장 지연을 유발할 수 있는 요소는 서버 단에서 다수의 수신 단말들에게 전달하기 위한 음성 패킷의 복사 과정이다. 특히 최대 500명까지 그룹 사용자를 지원해야 하는 재난 환경에서, 서버가 매 음성 패킷마다 최대 499번의 복사 과정이 수행되어야 하므로 가상 데이터 복사 기법과 같이 데이터 복사를 효율적으로 수행할 수 있는 서버 기술이 필요하다.^[17] 또한 KPI 3가 보코더의 인코딩 및 디코딩 시간까지 포함하는 만큼, 발신 및 수신 단에서의 음성 코덱에 의한 처리 지연 시간도 최대 100ms 이상 소요될 수도 있으므로, 이에 대한 최적화도 필요하다. 패킷 전달 관점에서 KPI 3에 가장 결정적으로 영향을 미치는 요소는 첫 RTP data에 대한 전달 지연 시간이다. 수신 단말에서 첫 RTP data를 수신함과 동시에 음성 재생이 시작되며, 이것이 늦으면 후속 음성 패킷들이 아무리 빨리 도달해도 버퍼링으로 인해 재생이 결론적으로 늦게 이루어지기 때문이다. 따라서 첫 RTP data 전달을 최대한 빨리 할 수 있도록 호 설정 혹은 발언권 획득 시도 시점에서 코덱을 미리 시작하는 기법을 활용하는 등의 노력이 필요하다.

KPI 3 개선 과정에서 음성 품질에 대한 일정 수준 보장에 대해 동시에 고려되어야 한다. 비록 TS 22.179 요구사항에는 음성 품질에 대해 요구하는 항목이 없으나, 모든 음성 통화 서비스에서 음성 품질은 기본적인 중요한 성능 지표인 만큼 그룹통신에서도 일정 수준의 음성 품질을 보장하는 노력이 필요하다. 가령 음성 품질에 도움을 주는 de-jittering buffer 크기에 대한 조절에 따라 KPI 3와 음성 품질이 trade-off 관계에 놓일 수 있다. 음성 품질은 결국 패킷 손실(제때 도달하지 않는 패킷까지 포함)에 반비례하게 되며, 제때 도달하지 않는 패킷에 의한 음성 품질 열화는 de-jittering buffer 기법을 통해 일정 크기의 버퍼에 패킷을 쌓은 뒤에 재생을 하는 형태로 함으로써 그 문제를 해소할 수 있다. 그러나 de-jittering buffer 크기를 늘릴수록 재생이 시작되는 시간이 늦어질 수밖에 없으며, 이는 KPI 3 성능을 악화시키는 요인이다. 따라서 음성 품질에 영향을 주는 요인(수신 신호 감도 혹은 현재 사용하는 코덱의 성능)에 따라 de-jittering buffer 크기를 실시간으로 설정할 수 있는 기법이 필요하다.

IV. LTE 기반 그룹통신의 성능 검증 방법론

TS 22.179에서 언급된 KPI들의 정의를 보면 재난 그룹통신 서비스의 성능은 통계적 관점에서의 요구조건을 만족시켜야 하는 것을 알 수 있다. TS 22.179에서는 각종 지연시간에 대한 기준을 95%의 확률로 만족을 시키도록 규정하고 있다. 즉, 경험적으로 특정 그룹통신 관련 동작을 100번 시도하였을 때 그 중 95번은 특정 지연 시간 이내에 그 동작이 완료되어야 한다는 의미이다. 이렇게 통계적으로 정의되는 것은 이동통신 환경에서 약전계 지역이 존재할 수밖에 없으며 특정 성능 조건을 100% 만족시킬 수 없기 때문이다.

따라서 TS 22.179의 성능 요구조건이 만족되었는지 여부를 검증하기 위해서는 반복 시험이 반드시 필요하다. 그리고 이 반복 시험은 재난 그룹통신 서비스를 이용하는 대상자의 이용 환경 상에서 이루어져야 한다. 특히 이동통신 특성 상 커버리지 내에서 단말이 자유롭게 이동하고 불시에 그룹통신 서비스를 이용하는 경우를 고려하여 시험이 이루어져야 한다. 가령 경찰을 대상으로 하는 그룹통신 서비스의 경우 대상 경찰들이 이동하는 경로 상에서 이동하면서 반복 시험이 이루어져야 하며, 그 경로의 길이를 고려하여 충분한 모수로 시험이 이루어져서 측정된 결과 값의 안정적인 통계적 특성을 가지도록 해야 한다.

4.1 그룹통신 서비스에 맞는 시험 항목정의 및 항목 별 시험 절차 설계

그림 4는 TS 22.179를 기반으로 그룹통신 서비스를 검증하기 위한 5가지의 세부 시험 항목을 도식화한 것이다. 우선 제어 영역 측면에서는 그룹 호 설정에 대한 성능과 KPI 2 성능을 평가할 수 있는 그룹 호 연결성 시험과 기존 그룹 호에 대한 접근 성능과 KPI 4 성능을 평가할 수 있는 Late entry 연결성 시험, 그리고 발언권에 대한 접근 성능과 KPI 1 성능을 평가

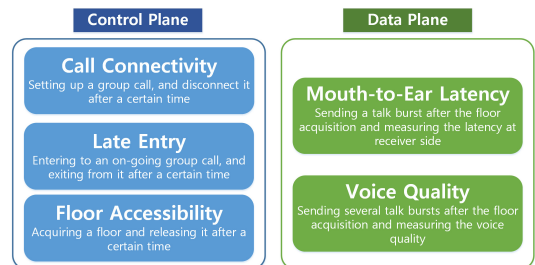


그림 4. 그룹통신 성능 검증을 위한 방법론
 Fig. 4. The Methodology for Performance Verification for Group Communication

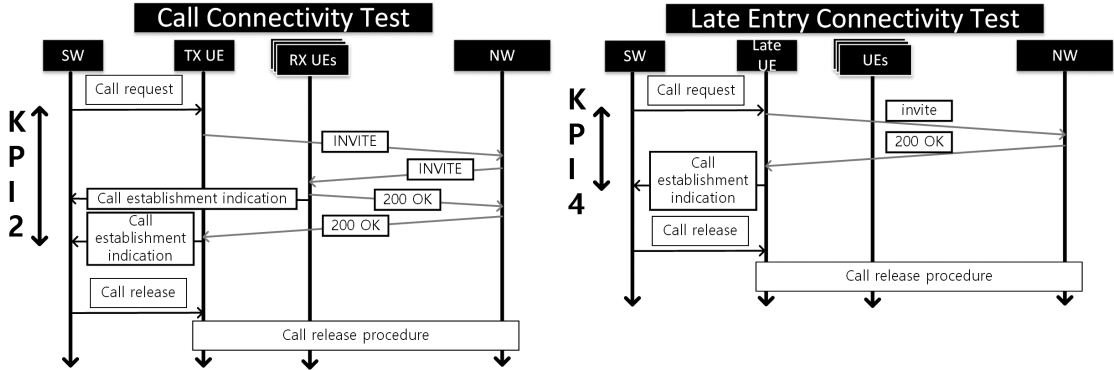


그림 5. 그룹 호 연결성 및 Late entry 연결성 시험 절차
Fig. 5. Test procedures of group call connectivity and late entry connectivity

할 수 있는 시험으로 구성된다. 데이터 영역 측면에서는 주로 그룹통신 발연에 대한 품질을 가늠하는 시험으로, 발연을 반복적으로 전달하여 KPI 3 및 음성 품질 성능을 평가할 수 있는 시험으로 구성된다. 그룹 호 연결성 시험은 그림 5의 왼쪽 흐름도와 같은 절차를 거치게 된다. 사전에 시험을 대상으로 하는 그룹 단말들을 그룹번호가 N인 하나의 그룹으로 묶는다. 그룹 내 특정 단말이 그룹번호 N으로 그룹 호를 설정하도록 어플리케이션에 입력을 주면 그 단말에서 SIP INVITE 메시지가 서버로 전송이 되면서 이후의 그룹 호 설정 과정이 그림 5처럼 벌어진다. 최종적으로 모든 그룹 단말들이 그룹 호가 설정이 된 상태임을 UI 상에서 표시하면 그룹 호 설정 과정이 성공적으로 끝났다고 판단한다. 여기서 그룹 호를 최초 설정한 단말이 SIP INVITE를 보낸 시점부터 ACK를 보낸 시점까지 시간 차를 측정하여 KPI 2 성능값의 샘플로 저장한다. 이후 그룹 호를 설정한 단말이 그룹 호를 해제함으로써 모든 그룹 단말들이 그룹호가 없는 상태로 돌아가도록 한다. 이후에 그룹호 설정 과정을 반복 하면서 충분한 KPI 2 샘플값을 확보하고, 이에 대한 95% worst case를 산출해낸다.

Late entry 연결성 시험은 그림 5의 오른쪽 흐름도와 같은 절차를 거친다. 전반적으로 그룹 호 연결성 시험과 유사한 절차이나 호 설정/해제 반복 동작을 최초 그룹 호를 설정한 단말이 아닌 Late entry를 할 수 있는 다른 단말이 수행한다는 점에서 다르다. 또한 시도별 성공 여부에 대해서도 그룹 호 연결성 시험은 모든 그룹 단말의 호 설정 여부를 보는 한편 Late entry 연결성 시험은 late entry를 시도하는 단말의 호 설정 여부만 보게 되는 점에서 다르다. 이 시험을 통해 KPI 4의 샘플값을 확보하고, 이에 대한 95% worst case를

산출해낸다.

발연권 접근성 시험은 그림 6의 왼쪽 흐름도와 같은 절차를 거친다. 사전에 그룹 호 설정을 마친 후에 특정 단말이 주기적으로 발연권 요청을 하고 발연권 해제를 수행하며, 이때 발연권 획득 성공 여부와 발연권 전환 시간인 KPI 1 샘플값을 산출하게 된다. KPI 1 샘플값은 발연권 요청 메시지를 전송하는 시점부터 첫 RTP data가 전송될 때 까지 시간차로 계산하게 된다. 충분한 반복시험을 통해 얻은 샘플들을 기반으로 95% worst case를 계산하여 그 값이 300ms 이하인지 여부를 판단하게 된다.

Mouth-to-ear 시험과 음성 품질 시험은 그림 6의 오른쪽 흐름도와 같은 절차로 이루어진다. 발연권 접근성 시험과 기본적으로 동일한 형태의 절차를 거치나, 여기서는 발연권 획득 후 정해진 패턴의 음성을 발신 단말에서 흘러보내고, 수신 단말들로부터 재생이 된 음성을 녹음하여 처리하는 과정이 추가된다. 즉 발신 단말에서부터 전송된 음성 원음과 수신 단말에서의 수신 음성을 대조하여 Mouth-to-ear 지연을 계산하

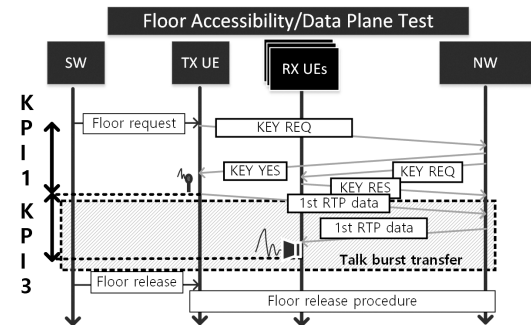


그림 6. 발연권 접근성 시험 절차
Fig. 6. Test procedure of floor accessibility

고 Mean Opinion Score (MOS)를 산출해낸다. 여기서 주목할 점은 Mouth-to-Ear 지연은 단순히 전송 단계에서의 지연으로 계산하지 않고 audio단에서의 지연까지 고려하였다는 점이다. 실제로 TS 22.179에서의 KPI 3 정의는 audio 단에서의 지연까지 포함된 성능 지표이므로, 이에 대한 검증 과정에서도 audio 단까지 고려하여 지연 시간을 검증할 필요가 있다.

4.2 그룹통신 시험 자동화 및 성능 측정 시스템

반복 시험을 수행할 때 항상 염두해야 할 점 중 하나는 객관성에 대한 확보이다. 시험을 반복할 때의 주변 환경이나 반복 패턴 등 다양한 외부 요인들이 시험 성능에 영향을 미칠 수 있으며, 이런 요인들을 잘 제어하지 않으면 반복시험을 할 때마다, 혹은 반복시험을 하는 주체가 달라질 때마다 성능 결과가 다르게 나올 수 있기 때문이다. 따라서 신뢰성 있는 성능 검증을 위해서는 이런 요인들에 의한 성능 결과의 유동성을 최소화하는 것이 반드시 필요하다.

이를 위한 한 가지 솔루션으로 시험을 자동화하는 시스템을 구축하는 것이다. 그룹 호를 설정하거나 발언권을 잡는 등의 시험을 위한 행위를 사람이 아닌 소프트웨어에서 최대한 이루어질 수 있도록 하면 반복 패턴이나 반복 시험의 환경이 일정해질 수 있다. 뿐만 아니라 시험 결과에 대한 산출 역시 더욱 수월해질 수 있다. 특히 재난 그룹통신 서비스의 경우 그 성능 요구 사항이 수백 ms 수준이므로, 지연시간 측정 역시 수 ms 이내의 오차로 엄밀하게 이루어져야 하므로, PC 등 측정 기기에서의 시간 오차에 대한 보정을 수월하게 하기 위해서는 소프트웨어 기반의 자동 시험 기능과 맞물려서 지연시간 측정이 이루어져야 한다.

그림 7은 제안하는 그룹통신 서비스 시험 자동화 및 측정 시스템의 전체 구조를 보여주고 있다. 복수의 그룹 단말이 노트북과 물리적으로 연결이 되며, 중간 장치는 그 연결의 허브 역할을 수행한다. PC의 시험 자동화 및 성능 측정을 위한 소프트웨어에서 설정된 시험 플랜에 따라 사람 대신 그룹 단말에게 그룹 호 설정이나 발언권 획득 요청 등 시험을 위한 단말 동작에 대한 명령을 내리면, 단말은 시험을 위한 동작을 수행하게 된다. 그리고 단말에서 송수신된 모든 IP 패킷을 소프트웨어에게 전달하면 소프트웨어에서 시험 플랜에 따라 시험 성공 여부와 지연시간 측정을 수행하게 된다. 데이터 영역 시험의 경우 음성에 대한 송수신을 마이크/이어폰 잭을 통해 수행하게 되며, 이에 대한 음성 신호 처리에 대한 역할 분담을 중간 장치에서 수행하게 된다.

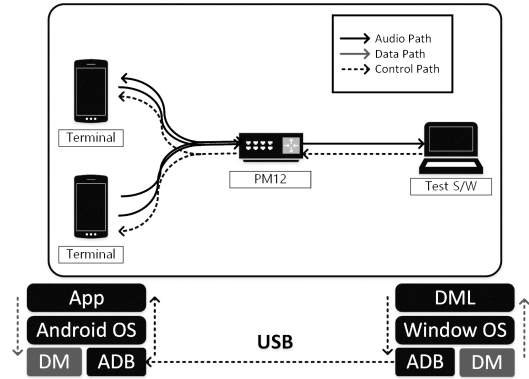


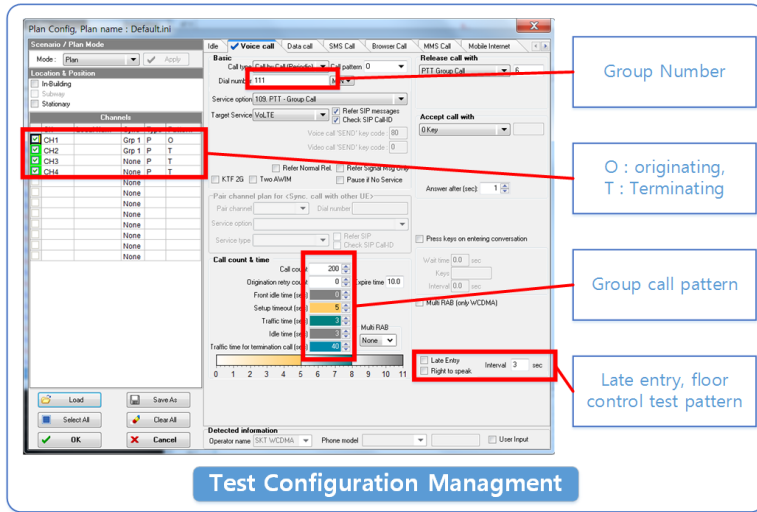
그림 7. 그룹통신 성능 검증을 위한 자동화 시스템
Fig. 7. Automation testing system for verifying the performance of group communication

위와 같은 시스템 개념으로 본 연구에서는 소프트웨어 기반으로 자동 시험 수행을 위한 명령 전달 및 지연시간에 대한 성능 측정을 동시에 수행하기 위한 Window 소프트웨어를 구현하였다. 명령 전달은 기본적으로 안드로이드와 단말 DM인 Netimizer DML을 플랫폼으로 활용하였다. Window 상에서 구동되는 Netimizer DML 소프트웨어가 안드로이드에서 제공하는 adb command를 통해 그룹 호 설정/해제 및 발언권 획득/해제 명령을 단말 상의 그룹통신 앱에게 전달하면, 단말 앱은 adb 명령을 해석하여 해당 명령에 맞는 동작 (그룹 호의 설정/해제나 발언권 획득/해제)을 수행하게 된다.

시험 플랜의 설정에 따라 앞에서 제안한 5가지 시험 절차 중 하나가 선택될 수 있다. 시험 플랜에서는 단말 별로 호 설정이나 발언권 요청 동작을 수행할 수 있도록 설정할 수 있다. 또한 호 설정 및 발언권 획득 요청에 대한 주기나 그룹 번호, 시험 시간, 반복 시험 횟수 등 시험을 위한 세부적인 파라미터 설정이 가능하다. 시험이 시작되면 이에 대한 로그 파일이 저장되며, 모니터링 화면을 통해 지금까지 성공률이나 지연 시간 데이터 등의 시험 경과에 대해 실시간으로 확인이 가능하다.

4.3 그룹통신 서비스의 시험 결과 예시

앞에서 제안한 그룹통신 서비스에 대한 시험 절차 및 시험 시스템을 활용하여 실제 그룹통신 시스템 테스트베드에 대한 검증을 진행하였다. 그림 9는 여기서 대상으로 하는 그룹통신 시스템에 대한 테스트베드 구성도 및 시험 루트를 나타내고 있다. 한국철도기술연구원 내에 구축된 PS-LTE 테스트베드 망은 실제 상용과 동일한 형태의 2개의 기지국과 Evolved



Test Configuration Management

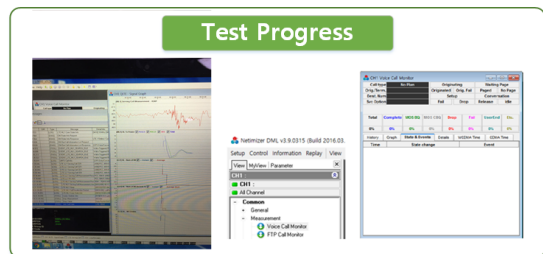


그림 8. 자동 시험 및 검증 시스템 설정 및 시험 경과 현시에 대한 예시

Fig. 8. An example of test configuration and test progress monitoring in the test automation system

Packet Core (EPC) 서버가 광 네트워크를 통해 연결되어 동작하면서, 연구원 전체 지역을 커버리지로 포

함하고 있다. 그리고 실제 재난 단말에 그룹통신 앱을 설치하고, EPC 외부 방향의 네트워크인 Packet Data Network (PDN)에 그룹통신 서버를 배치하여 재난 단말에 그룹통신 서비스를 제공할 수 있도록 되어 있다.

망 장비는 Contela사의 X3Cell 기지국 (최대 송신 전력 : 46dBm) 과 onebox EPC를 활용하였다. 단말은 사이버텔브릿지에서 재난망 시범사업용으로 제작한 스마트폰 타입의 단말을 활용하였으며, 그룹통신 서버와 인터페이스가 가능한 안드로이드 앱을 단말에 설치하여 그룹통신 서비스를 시험하였다. 주파수는 국가 재난안전 주파수로 설정된 Band 28 (DL:773-783MHz, UL:718-728MHz)를 활용하였다.

시험 루트는 총 2개의 실외 루트와 3개의 실내 루트가 존재한다. 실외 루트의 경우 연구원의 바깥쪽을 도는 루트와 핸드오버 지역을 중점적으로 다니는 루트로 구성되며, 실내 루트는 비교적 수신 신호 감도가 평균적으로 약한 3개의 건물 내에서 돌아다니는 루트로 구성된다. 특히 실내 루트 중 가장 오른쪽 루트인

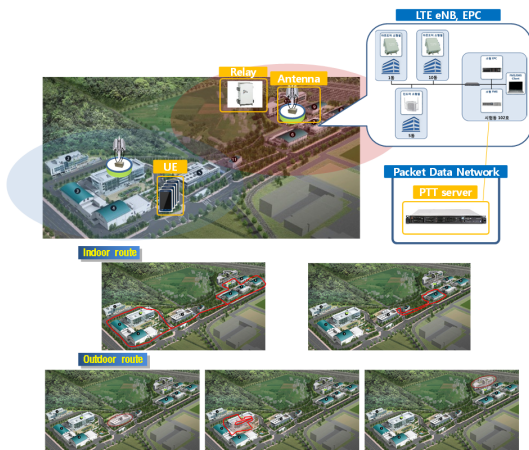


그림 9. 한국철도기술연구원 내 테스트베드 구성 및 시험 루트

Fig. 9. Testbed configuration and test route in KRRI

All-in-one center 루트의 경우 건물 외벽이 두텁고 창문이 베탈 소재를 일부 포함하고 있어 전자파 차폐가 상대적으로 많이 이루어지므로, -100dBm 이하의 약전계 지역이 자주 나타난다.

시험은 4대의 그룹통신 단말을 하나의 그룹으로 묶은 상태에서 위의 루트 상에서 이동을 하면서 수행하였다. 앞에서 언급된 제어영역 시험 항목 (call connectivity, late connectivity, floor accessibility)에 대한 반복 시험을 수행하기 위해서, 본 연구를 통해 개발한 그림 8의 시험 자동화 시스템을 단말에 연결하였다. 이 상태에서 Software 기반으로 반복 시험을 수행하고, 각 시험 시도 별 지연 시간을 측정하여 통계값을 얻었다.

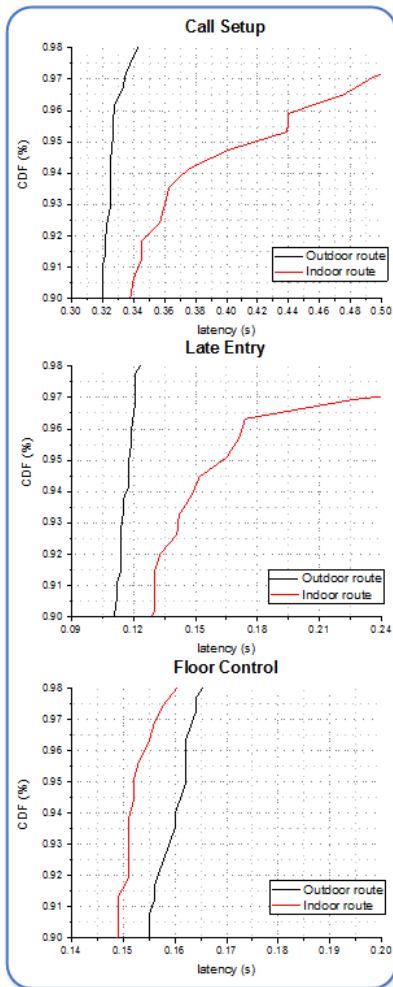


그림 10. 한국철도기술연구원 테스트베드 상에서의 성능 측정 결과
Fig. 10. Performance result measured in KRRI

그림 10은 연구원 바깥쪽을 도는 실외 루트와 5동 실내 루트에서의 제어영역 성능을 나타낸 것이다. 실외 루트의 경우 200번의 시험을 수행하였고, 실내 루트의 경우 150번의 시험을 수행하였다. 실제로 시험 시스템에서 시험 플랜을 설정한 후에 시스템을 들고 다니면서 시험 루트를 시험이 자동 종료될 때까지 걸어다녔다. 시험 결과 그룹 호 연결성, Late entry 연결성 및 발언권 접근성 시험 모두 100% 성공하였다. 또한 지연시간 관점에서 TS 22.179에서 요구한 KPI 1, KPI 2 및 KPI 4의 기준을 모두 만족하는 것을 확인하였다. 실외 루트의 경우, KPI 1 성능은 그에 해당하는 성능 지표인 floor control 측정 통계의 95% 지점인 161ms이고, KPI 2는 그에 해당하는 성능 지표인 call setup 측정 통계의 95%지점인 325ms이며, KPI 4는 그에 해당하는 성능 지표인 late entry 측정 통계의 95%지점인 120ms이다. TS 22.179에서 언급하는 KPI 1, 2, 4의 기준은 각각 300ms, 1s, 350ms이므로, 실외 루트는 MCPTT 표준 성능 기준을 만족함을 알 수 있다. 실내 루트도 마찬가지로 해석하면, KPI 1, 2, 4 측정 값은 각각 420ms, 155ms, 152ms이며, 역시 MCPTT 표준 성능 기준을 만족함을 알 수 있다. 시험 시스템을 활용해본 결과 사람의 노력이 필요하던 수백 번의 시험을 손쉽게 수행할 수 있었다. 또한 그룹통신 서버나 기지국, EPC 단에서의 로그와 대조해본 결과 성공 이벤트나 측정된 지연시간이 측정 시스템의 결과와 일치하는 것을 확인하면서 시험 시스템에 의한 성능 결과의 신뢰성도 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 재난 환경에서의 그룹통신 서비스에 대한 성능 요구사항을 살펴보았다. 재난 그룹통신 서비스에서 중요한 요소는 그룹통신 동작에 대한 생존성과 신속성이며, 이에 관련된 성능 지표가 TS 22.179 표준의 KPI 1 - 4로 정의되었다. 특히 KPI 1 및 KPI 3의 경우 그룹통신 서비스에서 가장 빈번하게 접하는 이벤트인 발언권 획득 및 발언 전달에 대한 지연시간을 정의하고 있다는 측면에서, 향후 재난 그룹통신 시스템을 구축하는데 있어서 가장 중요한 성능 지표라 볼 수 있다.

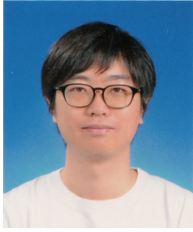
또한 본 논문에서는 재난 그룹통신 서비스의 성능 지표에 대한 검증 방법에 대해 논의하였다. TS 22.179에서 정의한 KPI들을 측정하는 형태로 5가지의 시험 항목 및 절차를 제안하였다. 또한 TS 22.179에서는 성능 지표에 대한 요구기준을 통계적 의미에서 정의

하였으며, 이에 대한 검증을 위해서는 반복시험이 필수이다. 따라서 반복 시험을 객관적으로 수행할 수 있도록 시험을 자동으로 수행하고 이를 통해 엄밀하고 정확도가 높은 지연시간을 측정할 수 있는 시스템 구조를 제안하였다. 이 시험 시스템을 실제 소프트웨어로 구현하고 실제 그룹통신 시스템에 대한 테스트베드를 대상으로 하는 검증 절차에 적용함으로써 이 시스템을 통해 TS 22.179에서 제시하는 성능 검증에 활용될 수 있음을 증명하였다.

References

- [1] L. G. Kruger, "The first responder network (FirstNet) and Next-Generation communications for public safety: Issues for congress," *Congressional Res. Serv.*, R42543, pp. 1-30, Jan. 2017.
- [2] T. Doumi, M. F. Dolan, A. Casati, G. Tsirtsis, K. Anchan, and D. Flore, "LTE for public safety networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 2, pp. 106-112, Feb. 2013.
- [3] J. Kim, S. W. Choi, Y.-S. Song, and Y. K. Kim, "Group communication over LTE: A radio perspective," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 4, pp. 16-23, Apr. 2016.
- [4] R. Fantacci, F. Gei, D. Marabissi, and L. Micciullo, "Public safety networks evolution toward broadband: Sharing infrastructures and spectrum with commercial systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 4, pp. 24-30, Apr. 2016.
- [5] E. B. Kim, "Korean digital TRS(TETRA)," *TTA J.*, no. 99, pp. 87-95, May 2005.
- [6] M. Mikulic and B. Modlic, "General system architecture of TETRA network for public safety services," *IEEE ELMAR*, vol. 1, pp. 207-210, Sept. 2008.
- [7] R. Ferrus, et al., "LTE: The technology driver for future public safety communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 10, pp. 154-161, Oct. 2013,
- [8] K. Balachandran, et al., "Mobile responder communication networks for public safety," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 1, pp. 56-64. Jan. 2006.
- [9] Open Mobile Alliance, *Push to talk over cellular(PoC) architecture*, OMA-AD-PoC-V2_1-20110802-A, ver. 2.1, pp. 1-69, Aug. 2011.
- [10] Open Mobile Alliance, *OMA PoC Control Plane*, OMA-TS-PoC_ControlPlane-V2_1-20110802-A, ver. 2.1, pp. 1-755, Aug. 2011.
- [11] Open Mobile Alliance, *PoC User Plane*, OMA-TS-PoC_UserPlane-V2_1-20110802-A, ver. 2.1, pp. 1-378, Aug. 2011.
- [12] Open Mobile Alliance, *Push to communicate for public safety control plane*, OMA-PCPS-TS-ControlPlane-V1_0-20150220-C, pp. 1-726, Feb. 2015.
- [13] Open Mobile Alliance, *Push to communicate for public safety system description*, OMA-PCPS-TS-Description-V1_0-20150130-D, pp. 1-129, Jan. 2015.
- [14] 3GPP TS 22.468 v12.1.0, *Technical Specification Group Services and System Aspects; Group Communication System Enablers for LTE (GCSE_LTE)*, 2014.
- [15] 3GPP TS 22.179 v13.2.0, *Technical Specification Group Services and System Aspects; Mission Critical Push to Talk (MCPTT) over LTE; Stage 1*, 2015.
- [16] 3GPP TS 23.468 v12.5.0, *Technical Specification Group Services and System Aspects; Group Communication System Enablers for LTE (GCSE_LTE); Stage 2*, 2015.
- [17] Y. Chae, Y. Choi, W. Jeong, B. S. Nam, and J. Kim, "Methods of high-speed data copy and key performance indicator enhancement for minimizing the transfer delay in the public safety push-to-talk service," *J. KICS*, vol. 41, no. 11, pp. 1481-1489, Nov. 2016.

김 주 엽 (Juyeop Kim)



2000년 3월~2004년 2월 :
KAIST 전기 및 전자공학과
졸업
2004년 3월~2010년 1월 :
KAIST 전기 및 전자공학과
박사
2010년 3월~2011년 2월 :

KAIST Institute IT융합연구소 박사후 연구원
2011년 4월~2013년 12월 : 삼성전자 무선사업부 책임 연구원
2014년 1월~현재 : 한국철도기술연구원 지능형제어 통신연구팀 선임연구원
<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 사물인터넷, 철도전용 통합무선망, SW 공학, ICT융합기술 연구개발

김 용 규 (Yong-Kyu Kim)



1984년 : 단국대학교 학사
1987년 : 단국대학교 석사
1993년 : 프랑스 로렌국립공학
원 (INPL) DEA
1997년 : 프랑스 로렌국립공학
원 (INPL) 박사
1997년~현재 한국철도기술연구

원지능형제어통신연구팀 수석연구원
<관심분야> ICT융합기술 연구개발

송 용 수 (Yong-Soo Song)



2003년 : 연세대학교 석사
2016년 : 연세대학교 박사
2003년~현재 : 한국철도기술연
구원 형식승인팀 선임연구원
<관심분야> 이동통신시스템,
재난통신망, 철도전용 통합
무선망, ICT융합기술 연구
개발

최 상 원 (Sang Won Choi)



1998년 3월~2002년 2월 : 고려
대학교 전기전자전파공학부
졸업
2002년 3월~2004년 3월 :
KAIST 전자전산학과 전기
및 전자공학전공 석사
2004년 3월~2010년 1월 :

KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2010년 2월~2014년 3월 : 삼성전자 무선사업부 책임
연구원
2014년 4월~현재 : 한국철도기술연구원 ICT융합신기
술연구팀 선임연구원
<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 통신 신호처
리, 특수 목적 통신, 공공 안전망, 단말 알고리즘
개발, ICT융합기술 연구개발