

재난현장정보의 효율적 수집과 활용을 위한 재난용 주파수자원의 최적 활용 방안에 관한 연구

용환성¹ · 김승철² · 이석주³ · 주영국⁴ · 류승완^{5*}

¹한양대학교 경영학과 박사과정

²한양대학교 경영학과 교수

³고려대학교 컴퓨터정보통신 대학원 교수

⁴국민안전처 중앙소방본부 소방정책국

⁵중앙대학교 경영학부 교수

hsyong71@gmail.com; sckim888@hanyang.ac.kr; seouklee@korea.ac.kr; jyk6082@korea.kr; ryu@cau.ac.kr

(2015년 9월 16일 접수; 2015년 9월 28일 수정; 2015년 9월 28일 채택)

요약: 본 연구는 재난현장의 정보를 실시간으로 신속하고 효율적으로 수집하기 위한 최적의 무선주파수 자원 활용 기술을 제안한다. 대형 재난의 경우, 복수의 현장에서 다양하고 방대한 재난현장 정보가 발생하며, 이의 신속하고 효율적인 수집, 전송 및 분석이 재난의 인적, 물적, 경제적 피해를 최소화하는데 매우 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 채널화된 접근 프로토콜, 제어접근 프로토콜, 그리고 임의접근 프로토콜 기법을 사용하는 다양한 후보 기술들을 기술적, 경제적인 다양한 관점들과 개발 가능성과 활용성을 중심으로 비교 분석하였다. 본 연구 결과 제어접근 프로토콜의 하나인 폴링방식이 무선자원의 활용도와 정보 수집의 유연성 측면 등에서 가장 우수한 방식으로 나타났다. 본 연구의 결과는 현재 국민안전처에서 추진하고 있는 재난안전통신망의 현장 정보 수집용 인프라로 활용될 수 있을 것이다.

키워드: 재난, 정보, 무선자원, 접근 프로토콜, 매체접근제어

A Study on Optimal Disaster Radio Resource Utilization for Real-time Disaster Site Information Gathering and Transmission

Hwan Seong Yong¹, Seung Chul Kim², Seouk Joo Lee³, Young Kuk Ju⁴, and Seungwan Ryu^{5*}

¹Department of Business Administration, Hanyang University, PhD Student

²Department of Business Administration, Hanyang University, Professor

³Graduate School of Computer, Information and Communications, Korea University, Professor

⁴Fire Policy Department, Central Fire Defense Headquarter, Ministry of Public Safety and Security

⁵School of Business Administration, Chung-Ang University, Professor

(Received A 00, 2015; Revised A 00, 2015; Accepted A 00, 2015)

Abstract: In this study, we analyze various wireless access technologies such as the channelized transmission technologies, controlled access technologies and random access technologies in order to utilize limited radio resources allocated to the disaster information gathering. In particular, in case of massive disaster, a large amount of various disaster information can be gathered from

본 연구는 강원대학교 석사학위 논문인 “재난발생시 현장대응정보 실시간 공유시스템 구축 방안에 관한 연구”를 발췌하여 정리한 것임.

*교신저자

many different disaster sites. In such case, this information can not be gathered timely and collected due to the limited radio resource. Therefore, in this study, we analyze many candidate wireless access technologies based on many techno-economical criteria. Our analysis result shows that the polling based controlled access protocol is the most appropriate technology for efficient utilization of limited disaster radio resource.

Keywords: Disaster, Radio resource, Wireless, Access Protocols, MAC

1. 서 론

최근의 전 세계적 재난 발생 현황을 살펴보면 9·11 테러, SARS(중증 급성 호흡기 증후군), 일본의 쓰나미와 후쿠시마 원전 폭발사고, 중국 텐진의 컨테이너 선적소 폭발사고, 푸젠성의 파라자일렌(PX) 공장의 대형 폭발 사고 등 점차 대형화 및 집중화되어가고 있으며 이의 예측이 거의 불가능한 실정이다. 우리나라의 경우 2014년 세월호 침몰 사건, 2012년 구미에서의 불산 누출사고, 삼성반도체 화성공장의 화학물질 누출사고, 2003년 대구 지하철 참사 등 다양한 대형 재난이 발생하여 이로 인한 인적·물적 피해가 매우 심각하였다(Ju, 2015).

규모가 크고 복합적인 재난이 발생할 경우 막대한 인적, 물적 자원의 손실을 최소화하기 위해서는 재난대응 주관기관과 유관기관간의 유기적인 협조와 더불어 재난현장과 재난지휘본부간의 효율적 의사결정과 신속한 대응이 매우 중요하다. 이를 위해서는 재난현장의 다양한 재난 정보의 신속하게 수집하고 분석할 수 있는 체계가 필요하며, 이를 위해서는 재난현장정보의 수집과 전송, 그리고 신속한 대응과 의사결정을 위한 효과적인 재난통신망 수립이 필수적으로 요구된다(Hong, 2014; Ju, 2015; Kim, 2014; Park, 2014).

재난통신망은 재난 발생 시에 재난관련 기관인 경찰, 소방 그리고 정부와 지방자치단체 등 유관기관을 유기적으로 연결하는 통신망을 의미한다. 재난통신망은 또한 인터넷, 이동통신 등 일반 사용자를 위한 네트워크의 이용이 힘든 상태에서도 재난대응 주관기관과 유관기관간의 유기적인 협조체계를 제공할 수 있는 기반적인 인프라로 사용된다. 그러나 우리나라는 재난과 안전에 신속히 대응할 범국가적인 통합된 재난통신 인프라를 구축하지 못하고 있으며, 경찰, 소방 등 재난관련 기관들에서 개별 통신망을 구축하여 사용하고 있는 실정이다. 따라서, 세월호 참사와 같은 대형 재난 발생 시 재난대응 주관기관과 유관기관간의 유기적인 협조와 신속한 대응이 어려운 실정이다(Bae, 2015; Cha,

2014; Hong, 2014; Jeong, 2015; Ju, 2015; Kim, 2014; Kim, 2015; Park, 2014).

국민안전처는 2014년 7월 재난 발생 시 의사소통의 혼선을 방지하고 효율적인 재난 구조 활동을 위한 국가 재난안전 기본 인프라로서의 재난안전통신망 구축 및 운영 계획을 발표하였다. 우리나라의 범국가 재난안전통신망은 PS-LTE(public safety- long term evolution) 기술을 기반으로 설계되고 구축될 예정이다. PS-LTE는 기존의 사용 LTE 기술을 기반으로 그룹통화, 단말기간 직접통신, 단독 기지국 기능 등 재난과 관련된 필수적인 부가 기술들이 추가된 방식이다(Kim, 2014; Hong, 2014; Kim, 2014; Lee, 2013). 재난안전통신망에 사용될 주파수 대역은 UHF(Ultra High Frequency) 대역에서 상대적으로 멀리 전파신호가 도달될 수 있는 700 MHz 대역에서 718~728 MHz, 773~783 MHz의 총 20 MHz폭이 배정될 예정이다. 또한 LTE 계열의 LTE-R(Railway) 기술방식을 사용하는 철도통합무선망과 해양수산부가 추진하는 e-내비게이션과 LTE 기반의 연·근해 통신망과 통합하여 운영하는 통합공공망의 형태로 추진되고 있다(Park, 2014; Kim, 2015; Choi, 2015).

재난발생시 신속한 현장의 상황 파악과 이를 기반으로 신속하고 효율적인 대응과 의사결정을 위해서는 다양한 재난현장정보의 실시간 수집 및 활용이 필수적이다. 그러나 재난현장의 경우 통신인프라의 고장 및 파괴로 인한 통신망 이용이 힘든 경우와 지하 및 전파음영지역에 의한 재난현장정보의 수집이 힘든 경우가 대부분이다. 따라서 PS-LTE기반의 재난안전통신망이 작동하지 않거나 사용이 불가능한 재난현장, 지하 그리고 기타 전파음영지역에 대한 재난정보의 수집 및 활용이 매우 시급히 요구되고 있으나, PS-LTE 기반의 재난안전통신망 구축계획에서 현장정보의 수집 및 전송을 위한 구체적인 계획은 현재로서는 수립되어 있지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 각종 재난현장의 영상, 음성, 데이터 등 각종 재난정보의 효율적인 실시간 수집과 이

의 전송기술과 이를 바탕으로 신속한 재난대응이 가능한 재난정보공유체계 구축 방안을 연구한다. 국민안전처 산하의 중앙119구조본부는 재난 현장에서의 구난, 구조활동과 각종 재난현장정보의 수집 활동을 수행하고 있다. 본 연구에서는 다양한 재난현장정보의 실시간 수집 및 활용을 위해 중앙119구조본부가 보유한 무선 주파수자원 효율적 활용 방안을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 세계 각국과 우리나라의 재난정보통신망 구축 및 활용현황을 분석한다. 3장에서는 재난현장정보의 수집환경을 분석한다. 4장에서는 재난현장정보의 효율적인 실시간 수집 및 전송을 위한 유력한 후보 기술의 분석을 제시한다. 5장에서는 한정된 재난용 주파수 최적 활용기술을 제안한다. 마지막으로 본 연구의 의의와 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 재난통신망 국내외 구축 현황

2.1 해외 각국의 재난통신망 현황

미국에서는 2012년 2월 연방정부가 LTE 방식을 광대역 재난통신망 기술로 선정하고 상무부 내의 재난대응 전담기관인 FirstNet(First Responder Network Authority)을 설립하였다(Hong, 2014; Kim, 2015). 또한 LTE 기반의 광대역 데이터망을 미국 전역에 구축하기 위한 법률 제정과 더불어 FCC(Federal Communication Committee)에서는 FirstNet에 700 MHz 대역에서 20 MHz 대역폭을 재난용 주파수로 사용하는 권한을 부여하였다. 향후 연방정부는 각 주정부와의 협상을 통해 미국 전역에 LTE 기반의 재난통신망을 구축할 계획이다. 현재는 아직 표준이 이루어지지 못한 재난대응 음성통신(mission critical voice)은 기존 Land Mobile Radio(LMR)를 이용하고, 재난데이터는 단기적으로는 일반 상용망을 사용하고 있으나, 향후 이러한 재난정보들의 인프라로서 LTE 기반의 공공 광대역 재난통신망으로 진화할 계획이다.

유럽에서는 현재 디지털 TRS(Trunked Radio System) 기술인 TETRA(Terrestrial Trunked Radio) 기술을 기반으로 국가 규모의 재난통신망을 보유하고 있는 국가가 다수 있다(Kim, 2015; Park, 2014). 그러나 영국의 경우 기존 재난통신망의 망 구축 비용 효율화와 운영 효율 증대를 위해 2016년부터 LTE 기반의 Emergency Services Network(ESN)으

로 진화하여 사용자 맞춤형 서비스 제공이 가능한 재난통신망으로 대체할 계획이다.

일본의 경우에는 지진, 태풍 등 자연재해의 피해가 타 국가에 비해 매우 빈번하므로 범국가 차원의 방재행정무선통신망을 구축하여 운영하고 있다. 그러나, 최근 재난대응기관들 사이의 통신이 곤란한 문제들이 자주 발생하고 있으며, 트래픽 폭주 시의 대응이 곤란한 문제점 등이 발생하고 있어 재난망 고도화 작업을 진행 중에 있다. 최근에는 J-Alert라는 시스템을 가동하여 위험상황을 실시간으로 알리는 서비스를 제공하고 있다(Kim, 2015; Park, 2014).

2.2 우리나라의 재난통신망 현황

현재 우리나라의 재난통신망은 평상시에는 각 기관이 자체업무를 위해 사용하고 재난 시에 공동 활용하는 목적으로 다양한 재난관련 무선통신망인 아이덴(iDEN), TETRA, VHF(Very High Frequency)/UHF(Ultra High frequency) 무전기를 사용하고 있다. 소방 및 산림기관은 VHF/UHF의 아날로그/디지털 TRS망을 사용하고 있으며, (구)소방방재청과 각 지방경찰청은 통합지휘무선통신망으로 TETRA망을 사용하고 있다. 또한 1700여개 공공기관은 UHF망과 연동되는 VHF망을 운영하고 있다(Kim, 2014; Lee, 2013; Park, 2014). 그러나 VHF/UHF 무전기용으로 할당된 제한된 2.8 MHz 대역폭을 1,700여개 공공기관이 공유하여 사용하고 있으므로 멀티미디어 서비스가 불가능하고, 할당 주파수폭이 작아 충분한 채널 확보가 힘들며 통신이 되지 않는 음영지역이 매우 많은 실정이다. TETRA망은 서울, 경기지역과 6대 광역시, 그리고 고속도로 주변에 운영 중이나 일부 지하구간의 통신이 힘들며, 데이터 정보의 제공이 곤란하다. 따라서 재난 발생시 소방, 경찰, 지자체 등이 서로 상이한 기술방식의 통신망을 별도로 운영함으로써 인해 재난대응 유관 기관 간의 유기적인 협조가 힘들고 재난발생 초기단계(Golden Time)에서의 신속한 대응을 위해 필수적인 실시간 영상 등의 재난현장정보 수집 및 활용이 불가능한 실정이다.

따라서, 우리나라에서는 통합된 범정부 국가재난안전통신망의 구축이 추진되고 있다. 이는 재난 환경 변화에 따른 대형화, 복합화, 다양화된 재난 발생 시 우수한 초기대응 능력을 위한 재난대응성 제공, 재난관련 8대 분야 321개 기관이 사용할 수 있는 상호운용성 확

보, 생존성을 제공할 수 있는 전국망 구축, 광대역 멀티 미디어 서비스 제공할 수 있는 국가재난안전통신망 구축 및 서비스 제공의 목표로 추진되고 있다. 우리나라의 재난안전통신망 구축을 위한 무선통신기술방식으로 37개의 기반 요구사항과 63개의 세부 기능 등을 고려하여 PS-LTE 방식이 선정되었다. 이러한 재난통신망의 37개 요구 사항들은 2011년에 안전행정안전부가 재난통신망 수요기관의 의견수렴 절차를 진행하여 분석한 생존 및 신뢰성, 재난대응성, 보안성, 상호운용성, 운영효율성을 위한 직접통화, 호폭주 대처 등의 17개 필수기능과 단독기지국, 영상통화 등 20개 부가기능으로 구성된다(Lee, 2013; Park, 2014).

2.3 재난현장정보 수집 및 전송 현황

2.3.1 PS-LTE 현황 및 문제점

LTE기술은 3GPP(Third Generation Partnership Project) Release 8 표준을 기반으로 상용화를 시작하여 LTE-Advanced로 불리는 Release 10이 상용 서비스 중이며, 현재 표준화 진행 중인 Release 13에서는 PS-LTE 기술들을 정의하고 있다(3GPP; 3GPP Release 13). PS-LTE는 LTE 기술을 기반으로 공공안전 통신에 필요한 기능들을 수용한 기술 방식으로서, 그룹통신, 단말간 직접통화, 망 생존성 등의 요구기능을 지원하도록 정의하고 있다(3GPP Release 13; Kim, 2013a; Kim, 2013b). PS-LTE의 기술적 요구사항은 다음과 같이 분류할 수 있다. 첫 번째로는 빠른 접속시간과 대용량 그룹통신을 지원하는 재난 대응성이다. 두 번째로는 단말간 직접통신 및 중계, 단독기지국 운용, 통화 품질 등을 포함하는 생존 및 신뢰성이다. 세 번째로는 단말기 사용허가 및 금지, 암호화 등의 보안성이며, 네 번째로는 기존 재난망 및 다른 유무선통신망과 연동하는 상호운용성이다. 마지막으로 망관리 및 용량 확장을 위한 운영 효율성이다(3GPP; 3GPP Release 13).

이러한 PS-LTE 기술은 우리나라 재난안전통신망 구축을 위한 기반 통신기술로 채택되어 우리나라의 재난통신망의 기반 인프라로 활용될 예정이다. 그러나 PS-LTE 기반의 재난안전망은 재난정보의 전송을 위한 전달망(Transport network) 인프라의 역할을 담당할 예정이다. 그러나 이러한 전달네트워크 인프라를 기반으로 전개될 재난안전서비스를 위한 서비스아키텍처의 설계와 구축 그리고 이를 이용한 다양한 서비스의 개발이 필요한 실정이다. 또한 이러한 새로운 인프라

기반의 재난안전서비스가 기존의 서로 상이한 인프라 기반의 서비스와 연동하기 위해서는 이를 수용할 수 있는 아키텍처와 인터페이스의 설계가 추가적으로 필요하다. 또한 PS-LTE 기반의 재난안전통신망은 재난현장의 정보를 실시간으로 수집하고 전송하는 기능은 제공하고 있지 못하므로 재난현장상황의 실시간 파악 및 분석을 통한 재난초기의 효율적 대응을 위해서는 다양한 재난현장정보의 실시간 수집 및 이를 통한 대응체계 기술 및 서비스의 개발이 시급히 요구된다.

2.3.2 재난용 주파수 활용 현황

본 연구에서는 영상, 데이터, 열화상 등 다양한 재난현장정보의 신속하고 효율적인 수집을 위해 한정된 무선주파수자원을 효율적으로 활용하는 방안을 분석하고 최적의 방안을 제시한다. 재난 현장의 구조, 구난 그리고 재난현장 정보의 수집은 국민안전처 산하의 중앙119 구조본부가 주관하여 운영하고 있다. 중앙119구조본부는 각종 대형 특수재난사고의 구조와 현장지휘 및 지원과 재난 유형별 구조기술의 연구, 보급 및 구조대원의 교육훈련 등을 주요임무로 하고 있다. 중앙119구조본부는 재난현장에서의 구조, 구난 및 정보수집을 목적으로한 재난용 주파수를 최근 미래창조부로부터 인가받았다. 재난용 주파수는 352~356 MHz 주파수 대역으로 중심주파수는 354 MHz이며, 이를 중심으로 상측과 하측 각각 1.25 MHz씩 총 2.5 MHz의 대역폭을 사용하고 있다.

특히 재난 현장의 건물 내·외부 구분 없이 구조요원을 통해 재난 현장의 상황에 대한 영상, 음성, 각종 데이터 등을 실시간으로 현장지휘소를 거쳐 중앙119구조본부로 송신하고 이에 따른 신속한 대응지시가 가능하도록 하는 현장대응 정보 공유 시스템 구축이 필요하다. 재난용 주파수는 재난 현장의 다양한 정보인 센싱데이터, 열화상, 영상, 내시경영상 등 다양한 재난영상정보, 그리고 재난현장작업자와의 음성통신 등에 사용된다. 그러나 재난용 주파수는 인가받은 대역폭이 4 MHz로서 매우 작아 수집된 다양한 재난현장정보를 재난지휘차량까지 무선으로 송신하는 용량이 충분치 않으며, 여러 개의 재난 현장이 존재하는 경우에는 현장별로 수집된 정보를 실시간으로 전송할 수 없게 된다.

본 논문에서는 한정된 재난용 무선주파수 대역폭을 활용하는 재난현장정보 수집 및 전송환경에서 다양한 재난정보를 신속하고 효율적으로 전송하기 위한 최적

의 방법을 분석하고 제안한다.

3. 재난현장의 정보수집 환경

3.1 재난현장 정보 수집 요구사항

재난 현장정보의 실시간 수집을 위해서는 재난 현장의 특성을 반영하여 현장 작업자가 수집한 각종 현장 정보를 무선통신을 이용하여 현장지휘차량으로 전송하는 것이 필요하다. 현재 재난현장에서의 구난활동은 재난의 유형 및 발생 지역별, 그리고 주관 부처에 따라 다르다. 일반적으로 지진, 화재, 홍수 및 기타 재난의 경우 국민안전처 산하의 중앙119구조본부가 구난활동을 주체가 된다. 중앙119구조본부는 미래창조과학부로부터 352~356 MHz 대역의 UHF(Ultra High Frequency) 주파수를 인가받아 재난현장 정보 실시간 수집 및 활용하고 있다. 재난용 UHF 무선주파수는 재난현장과 현장지휘차량간의 구간에서 재난관련 각종 영상 및 데이터의 전송을 위해 사용한다. 재난용 UHF주파수는 총 4 MHz로서 중심주파수 354 MHz를 중심으로 상측과 하측 각각 1.25 MHz씩 총 2.5 MHz의 대역폭을 사용하며, 1 W 출력의 송신기를 사용하여 재난 현장으로부터 현장지휘차량까지 단방향으로 영상정보를 송신하고 있다.

현재 중앙119구조본부의 재난현장 구조팀에서는 현장 모니터링과 구난활동을 위해 동영상카메라, 열화상카메라, 내시경카메라 그리고 간단한 데이터 측정을 위한 장비가 함께 운용되고 있다. 이러한 현장 장비들로부터 수집된 각종 영상 및 데이터 자료는 현장지휘차량으로 단방향송신(Simplex Transmission)으로 전송된다. 수집된 현장 영상정보는 현장 상황의 파악 및 구난활동의 기초자료로 활용되므로 이를 위해 요구되는 해상도와 전송용량은 영상 정보의 종류별로 각각 다르다. 현재는 카메라, 열화상, 내시경카메라 영상 중 하나의 영상만 송신할 수 있어, 이러한 영상들이 현장으로부터 지휘차량에 순차적으로 전송되고 있다.

재난 현장의 상황을 촬영하기 위해 운용되는 동영상카메라는 SD급¹⁾ 화상으로 촬영하여 H.264(혹은 MPEG-4)로 압축하게되며, 현장지휘차량에서 무선으로 수신하여 활용하기 위해서는 최대 2Mbps의 전송속도가 필요하다. 열화상 카메라는 재난 현장을 적외선 열화상으로 촬영하여 화재 및 화학가스 누출 정도를 영상을 통해 파악하는 장비로서 보통 SD급 정도 (712×

486, 혹은 동등한 해상도)의 해상도를 필요로한다. 열화상 정보는 특성상 각 픽셀이 8비트의 데이터로 표현되며, 이 경우 H.264(혹은 MPEG-4)로 압축할 경우 동영상의 1/3인 최대 800 kbps의 전송속도가 요구된다. 내시경 카메라는 붕괴현장의 내부를 촬영하는데 사용하며 제품별 차이는 있지만 일반적으로 H640xV480 픽셀의 해상도를 필요로하며 H.264(혹은 MPEG-4)로 압축할 경우 동영상카메라와 유사한 최대 2Mbps의 전송속도로 현장지휘차량으로 무선으로 송신된다.

재난 현장에서는 동영상 외에 재난과 관련한 다양한 데이터의 수집이 요구되는 경우가 많다. 예를 들어 재난 현장의 각종 화학가스 농도를 측정하여 현장지휘차량으로 송신하여 현장의 상황 파악 및 구난활동의 중요 자료로 활용할 수 있다. 재난현장 데이터는 수집장치의 종류에 따라 차이가 있으나 일반적으로 10 kbps 이하의 낮은 전송 속도를 요구하고 있으며, 이 경우 영상과 함께 압축하여 송신할 수 있다.

3.2 재난 현장 상황별 현장정보 수집 체계

현장정보는 재난의 규모, 종류 및 현장의 상황에 따라 다음과 같은 두 가지 현장 상황을 가정할 수 있다. 첫 번째의 경우는 재난의 규모가 크지 않고 단일 현장에서 발생한 경우이다. 이 경우 재난정보의 수집은 재난 현장에 파견된 복수의 작업자로 구성된 구조팀에서 수집된다. 단일 재난구조팀에서는 카메라, 열화상, 내시경 영상을 각 작업자가 수집하여 이를 하나의 정보 단위로 취합한 후 통합된 정보가 현장지휘차량으로 송신하게 된다. 현장지휘차량에서는 수신된 영상정보를 종류별로 분류하여 현장상황의 세밀한 분석을 통해 효율적이고 효과적인 재난 대응 및 구조 활동이 가능하다.

두 번째의 경우는 재난의 규모가 크거나 재난 현장에 복수의 구조팀을 운영하는 경우이다. 이 경우 각 구조팀에서는 첫 번째의 경우와 유사하게 카메라, 열화상 및 내시경 영상 정보를 수집하여 통합된 정보의 형태로 현장지휘차량에게 전송한다. 이 경우 복수의 현장으로부터 서로 상이한 현장정보가 현장지휘차량에게 전송되므로 이를 효율적으로 수신하고 모니터링하고, 현장

¹⁾SD급(Standard Definition): 프레임당 720×480 개의 픽셀을 제공하고, 초당 30프레임(30Hz), 그리고 각 픽셀은 영상을 표현하기 위해 24비트(RGB 각 8비트)로 구성되는 해상도를 제공한다.

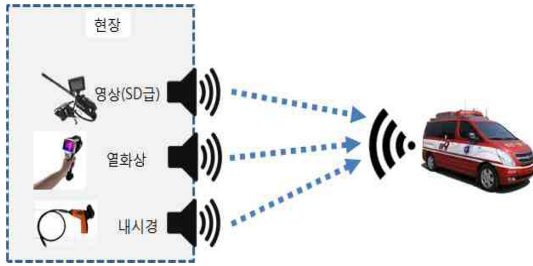


Figure 1. Single disaster site information gathering and transmit case.

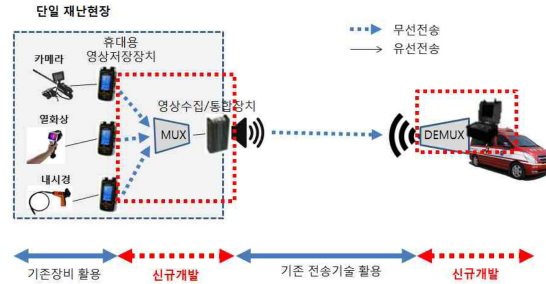


Figure 3. Example of information gathering and transmission system configuration for the case of a single site disaster.

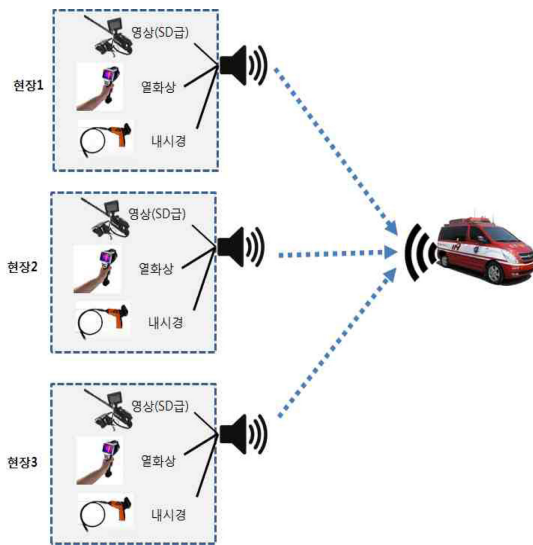


Figure 2. Multiple disaster sites information gathering and transmit case.

의 상황을 신속하게 파악하고 분석할 수 있는 방안 및 시스템 기술의 개발이 필요하다. Figure 1과 Figure 2는 각각 단일 재난 현장 및 복수 재난현장 정보의 수집 및 전송의 경우를 예시적으로 나타낸다.

3.1.1 단일 재난현장 정보의 수집 방안

소규모의 단일 재난현장의 경우 카메라, 열화상 및 내시경 등 최대 3가지의 동영상 정보가 동일한 지리적 위치에서 발생한다. 현재는 작업자별로 이러한 정보가 개별적으로 수집되므로 현장지휘차량으로의 실시간 전송 및 활용을 위해서는 현장에서 수집된 정보를 전송에 유리한 하나의 통합 정보로 취합하여 전송하고 이를 수신하는 현장지휘차량에서 영상의 종류별로 분리하여 활용하는 것이 필요하다. 현재 재난현장에서는 개별정

보의 수집기능을 활용하고 있으므로 이를 통합하여 전송하기 위한 다중화(Multiplexing) 장비의 개발 및 적용과 수신된 통합데이터를 분리하여 활용할 수 있는 역다중화(DeMultiplexing) 장비의 개발 및 적용이 필요하다. Figure 3은 단일 재난현장의 정보수집을 위한 정보 수집 및 전송체계 구성의 예를 나타낸다.

3.1.2 복수 재난현장 정보의 수집 방안

복수의 재난 현장의 경우 각 현장별로 카메라, 열화상 및 내시경 등 최대 3가지의 동영상 정보가 동일한 지리적 위치에서 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 각 현장별 다양한 영상이 현장지휘차량으로 효율적으로 전송되어야 현장에서 여러 재난현장의 상황을 파악하고 비교하여 적응적이고 적절한 조치를 취할 수 있게 된다. 그러나, 현재에는 이러한 재난현장정보의 수집과정이 체계적이지 않고, 복수 현장의 정보를 동시에 혹은 효율적으로 수집, 분석, 비교하기가 어려운 실정이다. 특히 재난현장 정보 수집용으로 확보된 주파수가 350 MHz 대역에서 4MHz 대역폭 밖에 제공되지 않으므로 이러한 한정된 무선주파수를 활용하여 복수의 재난현장 정보를 효율적으로 수집할 수 있는 무선주파수 활용 방안의 개발이 시급한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 복수의 재난현장에서 발생하는 다양한 재난정보의 효율적 수집을 위한 한정된 주파수자원 활용 방안을 연구한다.

4. 재난용 주파수 자원 최적 활용 방안

재난 발생 시 일반적으로 다수의 재난 지점별로 신속하고 정확한 재난상황을 파악하고 대처하기 위해 복수의 재난구조팀을 운영하는 것이 일반적이다. 이 경우

각 구조팀에서는 카메라, 열화상 및 내시경 영상 정보를 수집하여 통합된 정보의 형태로 현장지휘차량에게 전송한다. 복수의 현장으로부터 다양한 현장정보가 현장지휘차량에게 전송되므로 이를 효율적으로 수신하고 모니터링하고, 현장의 상황을 신속하게 파악하고 분석할 수 있는 방안이 필요하다. 그러나 재난용으로 인가된 UHF 무선주파수자원이 복수의 재난현장으로부터 전송되는 정보를 동시에 수용할 수 있을 만큼 충분하지 못하므로 이러한 제한된 재난용 주파수자원의 효율적 이용 방안의 개발이 필요하다. 이 경우 한정된 무선자원을 활용하여 분산된 지역에 위치한 여러 재난팀에서 수집된 정보를 하나의 현장지휘차량으로 전송할 수 있도록 무선전송채널의 효율적 설계(분할)와 이에 적합한 전송매체접근제어(Medium Access Control(MAC)) 프로토콜의 설계가 필수적이다. 본 연구에서는 복수의 재난현장에서 수집된 다양한 재난현장 정보를 현장지휘차량으로 효율적으로 송신할 수 있는 재난용 무선주파수자원 최적 활용 방안 제시를 위한 주요 후보기술을 분석한다. 또한 최적 무선자원 활용을 위해 고려되어야 하는 재난용 무선자원 활용기술 설계 및 개발 시의 주요 고려사항과 기준 지표들도 제시한다.

4.1 무선주파수 활용 후보 기술

무선통신에서는 복수의 정보단말기(Mobile Station (MS))가 하나의 기지국(Base Station(BS), 혹은 집중국(Central Station(CS))에 무선을 이용하여 정보를 전송하게 된다(Oh, 2012; Forouzan, 2012). 이 때, 한정된 주파수 자원을 사용하게 되므로 복수의 무선단말이 정보를 전송할 수 있도록 복수의 무선전송채널(Wireless Link)을 제공하게 된다. 복수의 무선전송채널 제공을 위해서는 무선 주파수 자원의 분할을 통한 복수의 전송채널 설계와 이러한 무선 전송채널(매체)에의 접근 권한을 제어하는 매체접근제어(MAC) 프로토콜을 설계하는 것이 필수적이다(Ryu, 2005). 무선채널 설계 및 매체접근제어 프로토콜 설계 기술은 크게 채널화 프로토콜(Channelized Protocol), 제어접근 프로토콜(Controlled-Access Protocol), 그리고 임의접근 프로토콜(Random Access Protocol)을 통한 설계의 세 가지 방식을 적용할 수 있다.

채널화 프로토콜을 통한 설계는 무선채널을 설정하는 세부 기술방식에 따라 주파수분할다중접속(Frequency Division Multiple Access(FDMA)), 시분할다중접속

(Time Division Multiple Access(TDMA)), 코드분할다중접속(Code Division Multiple Access(CDMA))의 세 가지 방식이 대표적이다. 제어접근 프로토콜을 통한 설계는 Polling 방식과 Token-passing 방식이 대표적이다. 임의접근 프로토콜을 통한 설계는 패킷예약 기반 다중접속(Packet Reservation Multiple Access (PRMA)) 기술과 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance) 기반의 무선다중접속 기술이 대표적이다.

4.1.1 임의접근 프로토콜 방식

임의접근 프로토콜을 통한 무선링크 제공과 정보 전송은 1970년대 하와이 대학에서 개발된 ALOHA 프로토콜이 시초가 되었다. 이 방식은 하나의 중앙제어기와 이와 연결된 다수의 단말로 구성된 시스템에서 단말로부터 중앙기기로의 효율적 전송을 목표로 한다. ALOHA 임의접근에서는 전체 무선채널을 모든 단말이 공유해서 사용하므로 동시전송의 경우 중앙의 기지국에서 충돌이 발생하는 문제가 발생한다. 전송간의 충돌문제를 해결하고 전송 성공율을 높이기 위해 슬롯화된 ALOHA(Slotted ALOHA) 프로토콜이 설계되었다. 이후 무선통신의 특성을 반영하여 충돌 문제를 해결하고 효율적 전송이 가능한 CSMA/CA 프로토콜이 개발되었다.

이동통신에서는 무선데이터통신을 위해 향상된 임의 접근방식인 PRMA방식²⁾이 사용된다. 이 방식에서는 전송채널은 자원예약을 위한 미니슬롯(Mini-slot)기반의 예약구간과 실제 데이터 전송을 위한 전송슬롯(Time-slot)으로 구분하여 설계되었다. PRMA에서는 우선 전송자원 예약을 위한 미니슬롯이 사용된 후 미니슬롯에 의해 전송이 예약되면 그 후 전송슬롯을 통해 전송이 이루어진다. Figure 4에서는 5개의 단말기(MS)가 존재하는 경우의 PRMA의 적용(예)을 제시하고 있다. 단말기 1, 3, 4가 미니슬롯을 통해 전송예약을 한 후 전송슬롯을 통해 단말 1, 3, 4의 데이터가 전송되었다. 이후 다시 단말 1이 전송을 위해 예약을 하고 전송슬롯을 통해 데이터를 전송한다.

4.1.2 제어접근 프로토콜 방식

²⁾물론 PRMA 방식과 유사한 임의접근(Random Access) 방식이 WCDMA와 LTE 기술에서 사용되고 있으며, WiMAX 혹은 (WiBro)에서는 Ranging이라는 방식이 OFDMA-TDD의 물리규격에 적합하도록 개발되어 사용되고 있음.

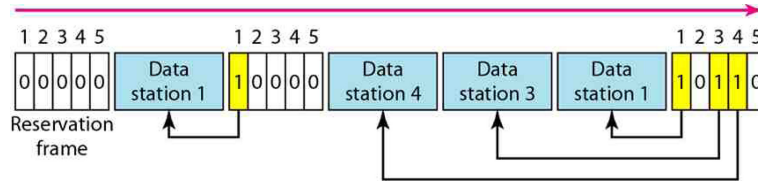


Figure 4. An example of the PRMA protocol operation

이 방식은 임의접근방식 구성과 동일한 네트워크 환경을 대상으로하며, 전송매체에 대한 각 단말의 접근 권한 제공과 이의 제어를 대상으로 한다. 대표적인 제어 접근프로토콜 방식으로는 Polling방식과 Token-Passing 방식이 있다. Polling 방식에서는 중앙기기가 우선권을 갖는 Primary Station(PS)가 되고 각 단말기는 Secondary station(SS)이 되며, PS는 각 SS를 순차적으로 호출하고, 호출당한 SS는 전송할 데이터가 있으면 이에 응답하여 전송을 하고, 그렇지 않으면 응답하지 않게 된다. Token-passing 방식에서는 각 SS는 정해진 논리적 순서에 의해 전송 권한(Token)을 가진 SS가 token을 전송데이터와 함께 보내고 전송이 끝나면 PS는 다음 순서의 SS에게 token을 넘겨주는 절차를 통해 전송 순서를 제어하게 된다.

4.1.3 채널화 프로토콜 방식

채널화 프로토콜은 하나의 유무선 전송매체를 시간, 주파수 혹은 코드 등 다양한 기술을 이용하여 복수의 다중 전송채널(부채널(sub-channels))을 구성하고 이를 이용하여 데이터 전송을 요구하는 복수의 전송기기(Transmitter(TX))에게 전용 전송 채널을 할당하는 방식이다. 채널화 프로토콜을 이용한 효율적 채널 설계 방법은 주어진 주파수 자원을 세부 주파수 대역으로 나누어 다중채널화하는 주파수분할다중접속(FDMA) 방식, 주어진 주파수 대역에서 시간 대역을 세분화하여 다중채널화하는 시분할다중접속(TDMA) 방식, 그리고 주어진 주파수 대역 전체를 사용하면서 각 사용자별로 특정코드를 기반으로 채널화 효과를 제공하는 대역확산방식(SS) 방식으로 분류할 수 있다.

FDMA 방식에서는 주어진 주파수 대역(F)을 동일한 대역폭을 갖는 N개의 부밴드(sub-band)로 분할하여 F/N의 대역폭을 갖는 부채널($f_i, i=1,2,3...$)을 구성하여 최대 N개의 단말기의 동시접속을 지원한다. TDMA 방식의 경우는 주어진 주파수 대역은 분할하지 않고 시간영역(time domain)을 미리 정한 N개의 타임

슬롯(time-slot)으로 나누고 각 타임슬롯이 하나의 부채널 되어 최대 N개의 단말기의 동시접속을 지원한다. 대역확산(SS)방식의 대표적 기법인 CDMA 방식에서는 전송되는 데이터의 전송속도(Data rate) 보다 빠른 속도(Chip rate)를 갖으며 상호 직교(orthogonal)하는 성질이 있는 코드 시퀀스 (PN(Pseudo-random Noise) code)를 각 데이터 전송기기에 제공하여 전송 채널을 구분하는 방식이며, 이러한 대역확산 방식을 직접대역확산(Direct Sequence SS(DSSS)) 방식이라 한다. PN code로는 일반적으로 Walsh Code를 사용하며, 이 경우 2의 거듭제곱 수($2^n = 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, ...$) 만큼의 채널을 제공한다. 또 다른 대역확산 방식은 가용 주파수를 FDMA 방식과 유사하게 동일한 대역폭을 갖는 N개의 부대역으로 분할하여 F/N의 대역폭을 갖는 sub-channel을 구성한 후 일정한 주파수간 호핑패턴을 각 데이터 source에 할당하여 전송 채널을 구분하여 대역확산 효과를 제공하는 Frequency Hopping SS(FHSS) 방식이 있다.

4.2 무선주파수 활용기술의 적용성 분석

4.2.1 임의접근 프로토콜 방식

임의접근 프로토콜 방식 사용의 장점은 다음과 같다. 현재 사용 중인 354MHz 대역의 주파수를 세분화하지 않고 전체 대역폭을 사용할 수 있어 주파수 분할에 따른 복잡성을 피하고, 주파수 분할에 따른 전송모뎀 개발, 전송을 위한 데이터 처리 등의 추가적 기술 개발이 필요하지 않다. PRMA 방식을 이용하는 경우에는 예약을 위한 미니슬롯 구간의 구성에서 다수의 현장 단말기를 모두 수용할 수 있도록 미니슬롯의 수를 조정할 수 있어 상대적으로 구성이 용이하고 운용이 쉽다.

그러나 채널제어정보 제공을 위한 별도의 양방향 제어 채널 확보, 여러 단말간의 시간 동기화 메카니즘, 단위전송량에 맞추는 데이터의 프레임화, 이러한 방식 적용을 위한 정교한 MAC 프로토콜의 설계 및 적용, 그

리고 전송자원 예약 정보 확인, 시간동기화 정보 제공 등의 제어정보 제공을 위한 별도의 하향링크 제어채널(Control Channel) 설정이 필요하다. 또한 시간 동기화를 통한 전송자원(time-slot)에 맞추어 단위전송량에 맞추어 전송해야하므로 전송이전에 각 현장기기에서 전송하고자하는 영상데이터를 단위전송량인 프레임으로 만드는 사전작업이 필요하다. 자원 예약 및 충돌방지를 위한 사전 절차 등으로 인해 영상정보의 전송지연이 발생하고 요구되는 전송속도 지원이 곤란하다. 따라서, 현재 중앙119구조본부에서 운용중인 장비의 적용이 불가하므로 현장지휘차량 장비 및 현장단말 장비를 모두 새롭게 개발해야한다.

4.2.2 제어접근 프로토콜 방식

제어접근 프로토콜 방식을 사용하면 임의접근 방식과 유사하게 현재 사용 중인 주파수를 세분화하지 않고 전체 대역폭을 사용할 수 있어 주파수 분할에 따른 복잡성이 없는 장점이 있다. 또한, Polling 방식과 Token-Passing의 경우 모두 다수의 현장 단말기를 모두 수용할 수 있도록 유연하게 논리적 시스템 토폴로지(topology)를 구성할 수 있어 상대적으로 구성이 용이하고 운용이 쉽다.

그러나, 현장의 각 단말은 PS로부터의 Polling 혹은 전송 권한인 Token을 사용하여 영상정보를 순차적으로 전송하므로 다수의 영상정보의 동시전송이 불가능하고 순차적 전송에 따른 전송지연이 발생하여 영상정보의 실시간 전송에 요구되는 전송속도 지원이 힘들다. 전체적으로는 채널제어정보 제공을 위한 별도의 양방향 제어채널 확보, 단말기간 우선순위 선정 및 방식 적용을 위한 정교한 MAC 프로토콜의 설계가 필요하다. 현재의 현장 기기는 현장으로부터 지휘차량까지의 단방향 송신용이므로 양방향 송신채널이 필요한 이 방식의 적용이 불가능하므로 현장지휘차량 장비 및 현장단말 장비를 모두 새롭게 개발해야하는 단점이 있다.

4.2.3 채널화 프로토콜 방식

재난현장의 경우 하나의 현장지휘차량과 다수의 현장 구난팀으로 구성되므로 하나의 기지국(Base Station(BS))의 커버리지 내에 다수의 단말기가 존재하고 채널화 프로토콜 방식을 사용하는 이동통신시스템과 매우 유사하다. 따라서, 채널화 프로토콜의 대표적 방식들인 FDMA, TDMA 그리고 CDMA(DS) 방식의 적용 가능성과 단점을 제시한다. 채널화의 경우 현장 작업팀의

수는 최대 3개로 가정하였다.

• FDMA 방식의 경우

- **적용성:** FDMA 방식을 적용할 경우 재난용 무선주파수 자원(542~546MHz)을 동일 주파수 대역폭을 갖는 3개의 부채널($f_i, i=1,2,3$)로 분할하여 3개의 현장에서 각기 다른 부채널을 사용할 수 있다. 이 경우 각 부채널은 1.25 MHz의 대역폭을 갖으며, 나머지 대역폭인 0.25 MHz는 채널간 분리를 위한 여유대역(Guard band)으로 사용할 수 있다.

- **단점 및 추가 개발 사항:** 그러나 FDMA방식을 사용하기 위해서는 몇 가지의 제한사항 혹은 추가적인 기술 및 장비 개발이 필수적이다. 첫째, 주파수 분할에 의한 무선 부채널화 사용을 위해서는 주무부처인 미래창조과학부(방통위)의 주파수 분할 사용에 대한 허가를 추가적으로 득해야한다. 둘째, 거의 모든 전송 및 수신 시스템 전체에 대한 신규 설계 및 개발이 필요하다. FDMA 기반으로 채널화하여 사용하기 위해서는 필수적 요소인 송신부(송신 모듈), 전송매체, 수신부(수신 모듈), 송수신을 위한 프로토콜, 그리고 송수신 데이터 포맷 등을 새롭게 설계하고 개발해야한다. 예를 들어, 송신 모듈은 채널화된 송신을 위해 분할된 부채널들의 주파수 대역폭을 기반으로 새로운 모듈 개발이 필요하고, 수신 모듈에서도 분할된 부채널들의 주파수 대역을 수용하여 데이터를 수신하고 역다중화 할 수 있도록 새로운 모듈 개발이 필요하다. 또한, 송수신 프로토콜은 데이터의 송신과 수신을 위한 부채널 할당 절차 및 정보 제공, 할당된 정보에 따른 전송프레임 구성, 송수신 데이터 제어정보 제공 등을 위한 송수신 프로토콜의 설계 및 적용이 필요하다. 이와 더불어 전송을 위한 전송 프레임 구성과 채널의 상태(품질)에 따른 변조 방식 적용, coding rate 등을 고려한 전송 데이터 포맷 구성 방법 등이 추가적으로 설계되고 개발되어야 한다.

- **기존 장치와의 연동성:** 또한 각 현장에서의 영상 수집/저장 및 복수의 영상데이터 중 전송을 위한 데이터원(source) 선정 및 연결장치 개발이 필요하다. 현장에 존재하는 3개의 영상 소스 중 전송을 원하는 영상원을 선정하고 이의 전송을 위해 각 영상원별로 존재하는 휴대용 영상저장장치와 전송모뎀을 연결하는 방식 및 기술 개발이 필요하다. 기존 시스템에서 사용하는 한 개의 팀 내에서 각종 영상장비의 순차적 연결 및 송신 방식의 적용 가능하다.

• TDMA 방식의 경우

- **적용성:** TDMA방식의 경우 주파수는 기존 사용 대역(542~546MHz)을 분할하지 않고 전체 대역을 사용할 수 있다. 전송 채널은 시간영역(Time-domain)에 대해 미리 정해진 수의 부채널(time-slot)을 설정하여 채널화할 수 있다. 채널 할당은 설정된 부채널들을 미리 정해진 순서 혹은 일정 사용 규칙에 의해 분산된 현장의 영상전송용으로 할당하여 각 현장에서는 할당된 부채널을 이용하여 영상정보를 현장지휘차량에게 전송한다.

- **단점 및 추가 개발 사항:** TDMA 방식을 적용하는 경우에도 FDMA방식 적용과 유사하게 거의 모든 전송 및 수신 시스템 전체에 대한 신규 설계 및 개발이 필요하다. TDMA방식을 적용하여 채널화하여 사용하기 위해서는 송신부(송신 모뎀), 전송매체, 수신부(수신 모뎀), 송수신을 위한 프로토콜, 그리고 송수신 데이터 포맷 등을 새롭게 설계하고 개발해야한다. 송신모뎀은 채널화된 송신을 위해 시분할 기반의 부채널(time-slot)을 제공할 수 있는 새로운 모뎀 개발이 필요하고, 수신모뎀 역시 시분할기반 부채널들의 데이터를 수신하고 역다중화할 수 있는 새로운 모뎀 개발이 필요하다. 또한, 전송매체는 시분할기반 채널화를 위해 각 데이터원의 수와 요구되는 최소 전송속도에 따라 최적의 부채널 수를 설계하고 이의 할당 및 할당정보 제공을 위한 송수신 프로토콜 설계도 필요하다. 이와 더불어 부채널 할당 정보에 따른 전송프레임 구성, 송수신 데이터 제어 정보 제공 등을 위한 송수신 프로토콜의 설계 및 적용이 필요하다. 이와 더불어 전송을 위한 전송 프레임 구성과 채널의 상태(품질)에 따른 변조 방식 적용, coding rate 등을 고려한 전송 데이터 포맷 구성 방법 등이 추가적으로 설계되고 개발되어야 한다.

- **기존 장치와의 연동성:** FDMA 방식과 유사하게 현재의 현장 장비와 채널화 전송을 연동하는 기술 및 장치의 추가 개발이 필요하다.

• CDMA 방식(DSSS)의 경우³⁾

- **적용성:** 주파수는 대역을 분할하지 않고 사용할 수 있으나 전송 채널은 미리 정해진 영상원의 수를 고려하여 충분한 채널을 제공할 수 있는 Walsh Code를 사용하여 채널화할 수 있다. 채널 할당은 생성된 직교코드들 단말 및 현장지휘차량에서 이용하여 복수의 독립적인 채널을 구성하고 이용한다.

- **단점 및 추가 개발 사항:** 이 경우에도 FDMA방식

혹은 TDMA 방식 적용의 경우와 유사하게 거의 모든 전송 및 수신 시스템 전체에 대한 신규 설계 및 개발이 필요하다. CDMA방식을 이용한 전송채널화를 위해서는 필수적 요소인 송신모뎀, 전송매체, 수신 모뎀, 송수신 프로토콜, 그리고 송수신 데이터 포맷 등을 새롭게 설계하고 개발해야한다. 송신모뎀과 수신모뎀 모두 채널화를 위한 PN code를 기반으로 분할된 부채널을 지원하는 새로운 모뎀 개발이 필요하고, 수신모뎀에서는 수신된 신호 중 원하는 채널의 신호를 검출할 수 있는 역다중화 기능도 필요하다. 이때, 채널할당 요구, 채널 할당 정보(PN code 할당) 제공, 단말과 기지국(현장지휘차량 모뎀)간의 시간동기화 등을 위한 별도의 양방향 제어채널 설계가 필요하며, 송수신 간의 부채널 할당절차 및 할당 정보 제공, 할당된 정보에 따른 전송프레임 구성 등 송수신을 위한 프로토콜의 설계도 필요하다.

- **기존 장치와의 연동성:** FDMA 방식과 TDMA방식의 경우와 유사하게 현재의 현장 장비와 채널화 전송을 연동하는 기술 및 장치의 추가 개발이 필요하다.

4.3 무선주파수 활용기술의 채널활용도 성능

재난용 무선 UHF 주파수는 다양한 재난현장의 정보를 실시간으로 수집하고 분석하기 위해 사용하므로 4MHz라는 제한된 자원의 활용성과 실시간성을 제공할 수 있는 지연성능이 중요한 성능 지표가 된다. 임의 접근과 제어접근 방식의 경우 주어진 주파수 자원을 활용하여 논리적인 시스템 운용기술의 설계 및 개발에 관한 사항이므로 채널별 활용도와 전체 활용도가 중요한 성능 지표가 된다. 그러나 채널화 방식의 경우 전송부채널을 이용하는 단말들의 전송 요구량에 따라 활용도가 결정된다. 따라서, 본 연구에서는 개별 단말(SS)의 채널의 활용도(Channel Utilization per individual terminal, $UTIL_{CH_SS}$)과 전체 주파수의 채널활용도(Total Channel utilization, $UTIL_{CH}$) 측면에서 임의접근 방식, 제어접근 방식을 비교 분석한다.

4.3.1 임의접근프로토콜 방식

• CSMA/CA 방식의 성능 분석

개별 단말의 채널 사용시간(T_{S_TOTAL})은 데이터전송시간(T_D)과 비전송시간으로 구분되며, 비전송시간에는 전송허가(Clear to Send(CTS)) 획득을 위한 제어

³⁾CDMA방식의 경우에 대해 본 논문에서는 직접대역확산방식(DSSS) 방식을 대상으로 적용 가능성 및 해결과제를 제시하며, FHSS방식의 경우도 유사한 분석이 가능하다.

정보 교환시간(즉, 그리고 SS와 PS간의 전파도달시간(T_T)), 충돌방지를 위한 Back-off 시간(β)⁴⁾, 전송을 위한 짧은 인터벌 시간들($DIFS, SIFS$), 그리고 단말간의 순서교체시간(α)으로 구성된다. 따라서, $T_{S_TOTAL} = T_D + \beta + DIFS + T_T + SIFS + T_T + SIFS + SIFS + T_T$ 이다. 그러므로 개별 단말은 $UTIL_{CH_SS} = T_D / \{3(T_T + SIFS) + DIFS + \beta + T_D\}$ 의 채널활용도를 제공한다. 전체 채널의 효율($UTIL_{CH}$)은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$UTIL_{CH} = \frac{T_{S_TOTAL}}{3T_{S_TOTAL} + 2\alpha}$$

$$= \frac{3(T_T + SIFS) + DIFS + \beta + T_D}{3\{3(T_T + SIFS) + DIFS + \beta + T_D\} + \alpha}$$

채널의 효율을 높이기 위해서는 데이터 전송단위인 프레임의 크기를 크게 하는 것이 좋으나, 이는 전송 에러의 발생확률과 정정방법의 적용과 관련되므로 최적의 효율과 성능을 제공하는 프레임 구성에 대한 추가적 연구와 분석이 필요하다. 이는 본 논문의 연구 범위가 아니므로 향후의 추가적 연구 이슈로 다룰 수 있다.

• PRMA 방식의 성능 분석

이 방식을 적용할 경우 전체 채널의 효율은 최대의 효율(CH_U_{Max})과 최소의 효율(CH_U_{Min})로 구분하여 지연성능의 구간을 설정할 수 있다. 최대의 효율은 3개의 SS가 항상 데이터를 보내는 경우이며, 최소의 효율은 1개의 SS만 데이터를 전송하는 경우이다. 전체 시스템의 최대 채널효율은 $CH_U_{Max} = 3T_U / (T_{Mini-slot} + 3T_U)$ 이며, 최소효율은 $CH_U_{Min} = TU / T_{min-slot} + TU$ 이다. 따라서, 시스템의 효율을 높이는 방안은 자원 예약을 위한 Mini-slot 구간보다 데이터 전송을 위한 Time-slot의 크기를 상대적으로 길게하는 것이다. 그러나 이는 전송에러의 발생과 정정과 관련되므로 최적의 효율과 성능을 제공하는 프레임 구성에 대한 보다 자세한 향후 연구가 필요하다.

4.3.2 제어접근프로토콜 방식

• Polling 방식의 성능 분석

이 경우 각 SS의 사용시간은 Polling을 기다리는 시간(T_{Poll}), 데이터 전송시간(T_D) 그리고 전송확인(ACK) 시간(T_C)으로 구성되므로 개별 SS의 전송효율($UTIL_{SS}$)은 $UTIL_{SS} = T_D / (T_{Poll} + T_C + T_D)$ 이며, 전체 채널 효율($UTIL_{CH}$)은 $3T_D / 3(T_{Poll} + T_C + T_D) = (1/3)UTIL_{SS}$ 이다. 따라서, 시스템의 효율을 높이는 방안은 데이터 전송 시간을 polling 시간과 제어(ACK) 시간보다 상대적으로 길게하는 것이다. 이는 전송 에러의 발생과 정정과 관련되므로 최적의 효율과 성능을 제공하는 프레임 구성에 대한 보다 자세한 추가적 향후 연구가 필요하다.

• Token-Passing 방식의 성능 분석

이 방식의 지연성능은 Polling 방식의 성능과 거의 유사하다. 전송시간은 SS간의 Token-passing 시간(T_{TP}) + 데이터 전송시간(T_D) + 전송확인(ACK) 시간(T_C)으로 구성되므로 개별 SS의 전송 효율($UTIL_{SS}$)은 $UTIL_{SS} = T_D / (T_{TP} + T_C + T_D)$ 이며, 전체 채널의 효율($UTIL_{CH}$)은 $3T_D / 3(T_{TP} + T_C + T_D) = (1/3)UTIL_{SS}$ 이다. 따라서, 시스템의 효율을 높이는 방안은 데이터 전송 시간을 Token-passing 시간과 제어(ACK) 시간보다 상대적으로 길게 하는 것이다. 이는 전송 에러의 발생과 정정과 관련되므로 최적의 효율과 성능을 제공하는 프레임 구성에 대한 보다 자세한 연구가 필요하다.

5. 무선주파수 활용 후보 기술의 비교 분석

본 연구에서는 채널화 방식, 임의접근 방식, 제어접근방식 등 세 가지를 후보기술을 대상으로 재난정보 수집을 위한 현장무선망 적용성을 비교 분석하였다. 특히, 채널화방식의 경우 FDMA, TDMA, 그리고 대역확산 방식(DSSS, FHSS)의 세 가지 방식을 고려하였다. 따라서 이러한 본 논문에서는 5가지의 후보 기술방식을 대상으로 기술적, 운용적, 비용적 측면을 중심으로 적용 혹은 신규 설계/개발 가능성을 분석하였다.

재난현장 정보 분석 및 전송을 위한 후보기술방식 선정을 위해서는 기존 주파수 활용성, 기존장비 활용성, 전송시스템 구성, 기타 기술적 고려사항, 성능 및 적용성, 시스템 운용성, 동시정보 전송 가능성, 개발난이도 및 개발비용 등의 측면을 대상으로 종합 비교분석을 수행하였다. 기존 주파수의 활용성 측면에서는 재난용 주파수로 확보된 354MHz 대역의 활용성, 그리고 주파수 분할의 필요성이 주요 분석 대상이다. 기존 장비의

⁴⁾RTS의 전송 후 전송허가(CTS)의 수신까지 timer를 작동하여 그 기간에 CTS가 도착하지 않으면 이산 지수 백오프(Binary exponential Back-off)를 작동하며, 백오프 시간은 $[0, \text{단위시간}(R) * 2^K, K=1,2,\dots]$ 사이에서 임의로 정하며, 여기서 K는 CTS 획득을 위한 시도 횟수임.

활용성 측면에서는 현재 재난현장에서 사용되고 있는 각종 영상장비들과 현장지휘차량에서 사용되는 영상 모니터링 및 분석 장비들의 활용성 측면을 분석한다. 전송시스템 구성 측면에서는 신규 기술방식을 적용할 경우 다양한 영상정보 전송을 위해 구성되는 전송시스템의 구성요소인 전송모뎀, 수신모뎀, 전송매체, 프로토콜, 전송메세지(단위)의 다섯 가지 부분에 대한 기술적 가능성을 분석하고 기존 기술의 수정 적용 혹은 신규 설계 및 개발의 관점으로 분석한다. 기타 기술적 고려사항에 대해서는 후보 기술의 적용 시 추가적으로 설계/개발 혹은 적용이 필요한 제어채널 필요성, 시간동기화, 기존 전송 프로토콜의 적용성을 중심으로 비교 분석하였다.

성능 및 적용성 관점에서는 후보기술 적용 시 복수의 영상정보 전송 성능을 채널활용도를 이용한 전송 지연성능을 중심으로 분석하였으며, 적용성은 개발 및 적용의 복잡도, 기존 기술의 수정적용 가능성을 중심으로 분석하였다. 시스템의 운용성 측면에서는 후보기술 적용 시 신규 시스템의 운용성과 편의성을 중심으로 분석하였다. 동시 전송 측면에서는 본 연구의 주요 목적 중의 하나인 재난현장에서 발생하는 복수의 동영상 정보의 동시전송 가능성을 비교분석하였다. 마지막으로 개발 가능성 및 개발 비용 측면에서는 재난용 주파수 자원의 효율적 이용을 위한 개발난이도와 개발을 위해 투입되어야 하는 시간 및 금전적 비용을 비교분석하여 현실적인 개발 가능성을 제시하였다. 개발 가능성은 국내에서의 외주 설계 및 개발, 시스템 제작의 가능성을 분석하였고, 개발 비용은 국내외에서 설계/개발할 경우 예상되는 개발 비용을 비교 분석하였다.

<Table 1>은 본 연구에서 고려한 5가지의 무선통신 재난현장 정보수집 방식에 대한 기술적, 운용적, 비용적 측면의 적용 혹은 신규 설계/개발 가능성을 비교 분석한 결과이다. 기존 주파수 활용 및 주파수 분할의 측면에서는 FDMA방식을 제외하고는 기존주파수의 분할 없이 사용이 가능하다. 기존의 현장 및 지휘차량 장비는 모두 활용 가능한 것으로 분석되었고, 전송시스템의 경우 임의접근 방식과 제어접근 방식은 기존 시스템의 수정 적용이 가능하며 채널화기술의 경우 새로운 전송시스템의 설계, 개발 및 적용이 필수적이다. 기타 기술적 고려사항에서는 모든 방식에서 양방향 제어 채널이 필요한 것으로 파악되었으며, 특히 임의접근 방식과 TDMA 방식에서는 시간동기화가 필요한 것

로 분석되었다. 프로토콜의 설계 및 적용에서는 임의 접근과 제어접근은 기존 기술을 용이하게 수정하여 적용할 수 있으나, 채널화방식의 경우 매우 복잡하고 정교한 프로토콜의 설계, 개발 및 구현이 필요한 것으로 분석되었다.

지연성능, 즉 채널활용도 측면에서는 채널화 방식의 경우가 매우 우수한 성능을 제공하며, 임의접근은 어느 정도의 지연이 예상되고, 제어접근의 경우 단말의 수에 따라 지연성능이 차이를 보이지만 최대 3개의 현장을 가정할 경우 거의 실시간의 동시영상전송이 가능할 정도의 성능을 제공할 수 있는 것으로 분석되었다. 기존 기술의 적용성과 적용 복잡성의 측면에서는 임의접근 방식과 제어접근 방식의 경우 비교적 용이하게 기존 기술의 수정적용이 가능하며, 채널화 방식은 매우 어렵고 복잡한 기술개발 및 적용과정이 필요한 것으로 분석되었다.

개발 가능성, 개발 기간 및 비용 측면에서는 임의접근방식과 제어접근방식의 경우 비교적 높지 않은 개발 비용으로 개발 및 적용이 가능 할 것으로 분석되었으나, 채널화방식의 경우 FDMA, TDMA, DSSS 모두 개발의 난이도, 신규 개발의 복잡도가 매우 높고, 매우 높은 개발 비용과 장기간의 개발기간이 필요한 것으로 분석되었다.

분석 결과를 종합해보면 제어접근 방식의 하나인 Polling 방식이 지연성능, 기술 적용성 및 운용성 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. Polling 방식은 전송용량 및 전송시간을 현장 상황에 따라 적응적으로 적용하여 균등채널화와 비균등채널화 모두를 제공할 수 있는 유연한 정보수집망 구성과 운용이 가능한 것으로 분석되었다. 균등채널화(Symmetric Channelization)는 재난 현장별로 동일한 전송시간(Polling time)을 할당하여 전체 가용 채널을 동일한 전송 용량을 제공하는 균등채널들로 분할하여 각 현장에 하나의 채널을 할당하는 방식이며, 비균등채널화(Asymmetric Channelization)는 현장별로 혹은 현장 단말(SS)의 영상 종류(카메라, 열화상, 내시경)에 따라 가변적인 전송시간을 부여할 경우 현장별로 혹은 현장 장비별로 상이한 전송용량을 제공하는 전송채널을 할당하는 방식이다.

6. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 각종 재난현장의 영상, 음성, 데이터 등 각종 재난정보의 효율적인 실시간 수집과 이의 전송

Table 1. A summary of techno-economic comparison result for the five candidate technologies

설계/개발 고려사항		임의접근 (PRMA, CSMA/CA)	제어접근 (Polling, Token-Passing)	채널화 프로토콜		
				FDMA	TDMA	DSSS
기존주파수 활용		분할 불필요	분할 불필요	주파수 분할	분할 불필요	분할 불필요
기존 장비 활용성	현장 영상장비	활용가능	활용가능	활용가능	활용가능	활용가능
	현장 지휘차량	활용가능	활용가능	활용가능	활용가능	활용가능
전송 시스템	전송모뎀	기존기술 수정 사용	수정개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발
	수신모뎀	신규 설계/개발	수정개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발
	전송채널	신규 설계/개발	기존 기술 사용	신규 설계/개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발
	프로토콜	신규 설계/개발	수정개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발
	전송단위(프레임)	신규 설계/개발	수정개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발	신규 설계/개발
기타 기술적 고려 사항	제어채널	별도의 양방향 채널	별도의 양방향 채널	별도의 양방향 채널	별도의 양방향 채널	별도의 양방향 채널
	시간동기화	정교한 설계/개발/운용	필요 없음	필요 없음	정교한 설계/개발/운용	필요 없음
	프로토콜 설계/적용	기존 기술 수정 개발	기존 기술 수정 개발	신규 설계/개발 (매우복잡)	신규 설계/개발 (매우복잡)	신규 설계/개발 (매우복잡)
성능/적용성	지연성능	어느 정도 발생	높은 지연 (단말의 수에 따라 다름)	우수함	우수함	우수함
	개발/적용 복잡도	비교적 용이	비교적 용이	매우 복잡	매우 복잡	매우 복잡
	기존 기술 적용성	기존기술 수정 적용(용이)	기존기술 수정 적용(용이)	불가능	불가능	불가능
시스템운용성		용이	용이	복잡	복잡	복잡
동시전송		불가능	불가능	가능	가능	가능
개발 가능성 및 비용	개발 가능성	가능	가능	거의 불가능	거의 불가능	거의 불가능
	개발 비용	중간규모	가장 저렴	매우 고가	매우 고가	매우 고가

기술과 이를 바탕으로 신속한 재난대응이 가능한 재난 정보의 수집 및 활용 방안을 분석하였다. 중소규모의 재난에서는 현장 정보가 단일 현장위주로 수집되고, 분석되어 적절하고 신속한 대응이 이루어진다. 그러나 대형 재난현장의 경우 복수의 현장에서 다양한 정보가 수집되므로 이를 활용한 신속한 의사결정 및 대응을 통해 물적, 인적 피해를 최소화하기 위해서는 현장정보의 효율적 수집이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 대형 재난현장에서 복수의 구조, 구난 현장에서 수집되는 다양한 재난정보의 효율적 수집 및 현장지휘차량으로의 전송 방안에 대해 연구하였다. 이를 위해 현재 재난용으로 할당된 350 MHz 대역의 4 MHz 라는 한정된 무선

주파수자원을 효율적으로 사용하는 방법을 연구하였다. 본 연구에서는 채널화방식, 임의접근방식 및 제어접근 방식 등 다양한 무선주파수활용 후보 방식들을 대상으로 각 방식의 적용성 및 특징을 중심으로 비교 분석연구를 수행하였다. 여러 후보 방식들에 대한 비교 연구는 기존 장비의 활용성, 전송시스템 구성 방법, 기술적 고려사항, 각 방식의 성능, 시스템 운용성, 그리고 개발 가능성 및 비용의 다양한 측면에서 실시하였다.

연구결과 4 MHz라는 한정된 주파수 자원을 이용하여 복수의 현장정보를 현장의 상황에 맞게 적응적으로 그리고 효율적으로 수집하고 전송할 수 있는 최적의 기술로 Polling 기반의 제어접근 방식이 도출되었다.

Polling 방식은 상기의 다양한 기술적 및 비기술적 기준에 대부분 만족하며, 특히 복수의 재난현장의 상황에 적응적이고 효율적으로 운영할 수 있으면서 타 방식과의 동일성능을 제공할 수 있고, 개발 비용도 매우 저렴한 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 재난용으로 할당된 한정된 주파수의 효율적 이용을 위한 최적의 방식을 여러 가지 기준에 의해 비교하여 최적의 방식으로 Polling 방식의 제어 접근 프로토콜 방식을 제안하였다. 그러나, 이러한 통신시스템의 실제 개발 및 적용을 위해서는 다양한 환경을 가정한 모의실험, 실제 장비 개발을 통한 현장시험, 그리고 재난 현장에의 적용을 위한 적용화 개발이 이루어져야한다. 향후 이러한 후속연구를 진행하여 최적의 운용방법, 운용환경 분석 및 이에 맞는 현장 운용 가이드라인의 개발이 필요하다. 이와 더불어, 현재 국민안전처에서 개발, 구축하고 있는 PS-LTE 기반 재난안전통신망과의 연계가 이루어진다면 재난현장정보가 국민안전처는 물론 다양한 유관기관에 공유되어 재난에 대한 신속하고 정확한 대응체계 구축 및 운용에 도움이 될 것으로 기대한다.

References

- [1] S. Bae, K. Shin, J. Yoon, J. Kim, Y. Park and M. Shin, "A Study on Construction Strategies for Disaster Safety Communications Network," *Journal of The Korean Association for Regional Information Society*, Vol. 18, No. 2, pp. 69-90, 2015.
- [2] J. Choi, H. Cho and H. Oh, "Technologies and Standardization Trend on LTE based Railway Radio Communications," *TTA Journal*, Vol. 158, pp. 80-86, 2015.
- [3] D. Cha, D. Kwak, J. Lee and Y. Kimm, "Construction of Mobile Communications Based Public Safety Networks," *Information and Communications*, 2014, pp. 25-33.
- [4] P. Hong, D. Kim and S. Lee, "A Study on National IT Planning based on EA Approach," *Journal of Information Technology and Architecture*, Vol. 11., No. 2, pp. 235-247, 2014.
- [5] Y. Hong, "FirstNet PS-LTE Network Construction Status in US," *Information and Communications*, pp. 34-42, 2014.
- [6] C. Jeong and I. Kim, "The Development Direction of Korean e-Government based on Enterprise Architecture," *Journal of Information Technology and Architecture*, Vol. 12., No. 1, pp. 19-31, 2015.
- [7] Young Kuk Ju, *A Study on Real-time Disaster Site Information Sharing System Construction Methodologies*, Ms Degree Thesis, Kangwon National University, February 2015.
- [8] T. Kim, S. Kim, S. Ryu, H. Lee and C. Cho, "Distributed Power Control Mechanisms in an LTE-Advanced System with Device-to-Device," *JNIT: Journal of Next Generation Information Technology*, Vol. 4, No. 2, pp. 49-58, 2013.
- [9] H. Kim and J. Lim, "PS-LTE Standard for Public Disaster Safety Communication Network and Development Status," *Information and Communications*, pp. 43-48, 2014.
- [10] N. Kim, C. Oh and D. Kim, "Standardization of Wideband Disaster Safety Communications Network (PS-LTE) Technologies," *TTA Journal*, Vol. 156, pp. 21-26, 2015.
- [11] T. Kim, S. Ryu, H. Lee and C. Cho, "Proximity User Detection based Resource Allocation Scheme for Device-to-Device Communication," *IETE Journal of Research*, Vol. 59, pp. 356-363, 2013.
- [12] S. Kim, S. Ryu, C. Cho and H. Lee, "Performance Analysis of a Cellular Network Using Frequency Reuse Partitioning," *Performance Evaluations*, Vol. 70, pages77-89.
- [13] S. Lee and J. Yoon, "Research Trend on PS-LTE Technology for Wideband Disaster Safety Communications Network," *NIPA Weekly Technology Trend*, pp. 1-14, 2013.
- [14] S. Oh, S. Ryu, S. Park, D. Shin and Y. Kim, "Development of Service Use Cases and Business Models for 4G Mobile Communications Based on Device-to-Device Communications," *Journal of IT Services*, Vol. 11, No. 2, pp. 339-353, 2012.
- [15] N. Park, S. Lee, K. Lee, D. Kim and D. Kwon, "Communications Technology for National Disaster Safety Communication Network," *Information and Communications*, pp. 12-18, 2014.
- [16] S. Ryu and B. Ryu, "Next Generation Mobile Communications Medium Access Control," *Information and Communications*, Vol. 22, No. 9, pp. 51-62, 2005.
- [17] 3GPP, <http://www.3gpp.org/>
- [18] 3GPP Release 13, <http://www.3gpp.org/release-13>
- [19] B. Forouzan, *Data Communications and Networking, 4th Edition, McGraw-Hill*.



용 환 성

고려대학교 컴퓨터정보통신대학교에서 2012년 공학석사학위를 취득하고 현재 한양대학교 경영학과에서 박사과정 중이다. 1999년부터 2006년까지 (주)이네트에서 e-Business 솔루션 개발 및 프로젝트 관리자 역할을 수행하였다. 현재 다양한 프로젝트에서 PMO로 활동 중이며, 한국프로젝트경영학회 건설팅산업 분과위원이다. 주요 연구관심분야는 프로젝트 관리 성숙도, 리스크 관리, 프로젝트 복잡성 등이다.

E-mail: hsyong71@hanyang.ac.kr



김 승 철

1991년 오레곤 대학에서 경영학 박사학위를 취득한 후 홍콩중문대학교에서 교편생활을 시작하였으며 2000년도에 귀국하여 세종대학교를 거쳐 2002년부터 한양대학교 경영대학의 생산서비스경영 분야의 교수로 재직하고 있다. 한국SCM학회 회장 및 한국프로젝트경영학회 회장을 역임하였다. 주요 연구관심분야는 SCM, 서비스경영, 프로젝트경영(PM) 등이다.

E-mail: sckim888@hanyang.ac.kr



이 석 주

고려대학교 공과대학을 졸업하고, 1991년에 아리조나 주립대학에서 산업시스템공학 박사학위를 취득하였다. 1992년부터 1998년까지 삼성그룹에서 근무하였으며, 모토로라 컨설턴트 및 CJ그룹에서 e-Business solution 개발 책임자를 역임하였다. 2011년에는 지식경제부 SW-SOC동반추진전략수립 공모로 대통령상을 수상한바 있으며, 현재 소방방재청 재난업무 매뉴얼 협회 자문위원이고, 고려대학교 컴퓨터정보통신대학원 교수로 재직중이다. 주요 연구관심분야는 프로젝트 관리 및 프로젝트 관리 성숙도 등이다.

E-mail: seouklee@korea.ac.kr



주 영 국

강원대학교 산업과학대학원에서 2015년 소방방재학 석사를 취득하였고, 2002년부터 2010년까지 행정자치부 민방위재단 통제본부 소방국과 소방방재청 및 중앙소방학교에서 2011년부터 2013년까지 충청남도 천안동남·서북소방서에서 소방행정과장으로 근무하였다. 2014년부터 국민안전처 직속의 중앙119구조본부를 거쳐 현재는 소방정책국 소방정책과에서 소방정책에 관한 업무를 담당하고 있다. 주요 연구 관심분야는 각종 재난현장(지상·지하공간)에서 무선영상전송시스템을 활용한 효율적 현장대응체계 등이다.

E-mail: jyk6082@korea.kr



류 승 완

정회원(교신저자)

고려대학교 산업공학과에서 1988년과 1991년에 각각 공학사와 공학석사를 취득하였으며, 뉴욕주립대(SUNY at Buffalo) 산업공학과에서 2003년에 공학박사를 취득하였다. 1991년부터 1993년까지 LG전자 영상미디어연구소에서 주임연구원으로 근무하였으며, 1993년부터 2004년까지 한국전자통신연구원 이동통신연구단에서 선임연구원으로 근무하였다. 2004년부터 중앙대학교 경영경제대학 경영학부에서 교수로 재직 중이다. 주요 연구 관심 분야는 유무선 정보시스템 설계 및 성능분석, 정보서비스 설계, 응용 및 분석, 서비스 디자인 등이다.

E-mail: ryu@cau.ac.kr