

재난 구조산업의 효율성 제고를 위한 스마트 시스템 구축: 장시간 사용 가능한 웨어러블 기기 기술을 중심으로*

정성우** · 김영근***

요약

대형 재난의 경우 자주 일어나지는 않지만 발생 시 수많은 인명 피해가 발생된다. 이러한 인명 피해의 주된 원인 중 하나로 비효율적인 구조 활동이 지적되고 있다. 이러한 구조 작업의 비효율성을 낮추고 구조율을 제고하기 위해 재난 안전관리 스마트 시스템의 도입이 관련 산업에서 중요한 문제로 부각되고 있다. 본 연구는 재난 구조 활동에 있어 효율성을 높이는 재난 안전관리 스마트 시스템에 대한 기존 연구를 고찰하고 재난 구조산업에서의 효율성을 높이는 기술적 방안을 모색하고자 한다. 구체적으로, 웨어러블 기기를 사용한 재난 구조 시 음성정보의 에너지 효율적 전달을 위한 기술과 웨어러블 기기를 사용한 재난 구조 시 에너지 효율적인 지도 및 지형정보 공유 기술, 그리고 웨어러블 기기를 사용한 재난 구조 시 에너지 효율적인 실시간 구조 정보 공유 기술을 제안한다.

핵심 주제어 : 재난 구조산업, 안전관리, 스마트 시스템, 웨어러블 기기, 전력 관리

* 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보·컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No. 2017M3C4A7080243)

** 고려대학교 정보대학 컴퓨터학과 교수, swchung@korea.ac.kr

*** 고려대학교 정보대학 컴퓨터학과 박사과정, carrotone@korea.ac.kr

〈논문 투고일〉 2018. 05. 13 〈논문 수정일〉 2018. 05. 23 〈게재 확정일〉 2018. 05. 24

I. 서 론

대형 재난의 경우 자주 일어나지는 않지만 발생 시 수많은 인명 피해가 발생된다. 국내에서는 2014년 발생한 세월호 침몰 사고로 304명이 사망하였고(2018년 5월 현재 5명 실종 포함)되었음), 1993년 발생한 서해훼리호 침몰 사고로 292명이 사망하였다. 2003년 2월 18일에 발생한 대구 지하철 방화 사건으로도 192명이라는 많은 인원이 사망하였다. 해외에서도 대형 재난으로 수많은 인명 피해가 발생한 사건이 보고되고 있는데, 2004년 스리랑카에서 발생한 철도해일참사로 1,700명 이상이, 2013년 방글라데시의 백화점인 라나 플라자 붕괴로 1,129명이 사망하였으며, 자연재해로 인한 대표적인 대형 재난으로 약 12,000명이 사망한 영국의 그레이트 스모그도 보고되고 있다(1952년 발생). 이러한 인명 피해의 주된 원인 중 하나로 비효율적인 구조 활동이 지적되고 있다. 그런데 이러한 비효율성은 여러 요인에서 발생한다. 먼저 구조 요청자의 위치 파악이 어렵다는 점을 들 수 있다. 기존의 구조 활동은 주로 시야에 의지해서 구조 요청자의 위치를 일일이 탐색하는 방식으로 이루어지는데([그림 1(가)] 참조), 시야의 확보가 어려운 경우에는 구조 요청자의 위치를 확인하기 위해 여러 장소(예를 들어, 선박의 객실 또는 건물의 방)를 수색하는 데에 많은 시간이 소요된다. 그리고 이 경우, 구조 요청자의 위치 확인을 위해 골든타임을 소모하게 되어 버리는 경우가 많으며, 이는 결국 심각한 인명 피해로 이어지게 된다. 또 다른 비효율성의 배경으로 정보 공유를 들 수 있다. 현재 방식을 통해 구조 활동을 진행하는 경우, 구조 작업에 관한 긴급 정보를 구조대원들이 실시간으로 전달받을 수 없는 경우가 많고, 중앙 지휘부에만 구조 작업이 진행되는 장소에 대한 정보(건물 또는 선박의 구조도, 지형도 등)가 있으며, 구조대원들은 구조 활동을 벌이는 동안에는 이러한 정보를 접근하기 어렵다는 문제가 있다. 물론, 구조 작업 개시 전에 이에 대한 정보를 제공받기는 하지만 모든 정보를 기억하고 구조 작업을 진행하는 것은 실질적으로 어렵다. 따라서 구조 요청자는 자주 중앙 지휘부에 건물의 구조 또는 지형 정보를 문의하게 되고 이 경우 구조 작업이 지연되게 된다. 한편, 구조대원 간 의사소통의 어려움도 지적할 수 있는데, 구조 작업을 신속하고 체계적으로 진행하기 위해서는 각 구조대원이 다른 구조대원 또는 구조 요청자의 현황을 파악하고 있는 것이 중요한데도, 구조 현장은 큰 소음이 존재하는 경우가 많기 때문에 육성으로 의사소통이 어렵고, 현재의 무선에 기반한 시스템은 주로 중앙 지휘관과만 통신을 하기 때문에 최소한의 통신 수단만을 제공하며, 심지어, 구조대원 간 통신에 핸드폰 또는 문자 메시지가 사용되는 경우도 있음이 문제로 지적되고 있다.

이러한 구조 작업의 비효율성을 낮추고 구조율을 제고하기 위해 재난 안전관리 스마트 시스템의 도입이 관련 산업에서 중요한 문제로 부각되고 있다. 미국 정부는 이미 2014년에 미래 성장동력 중 하나로 재난 안전관리 스마트 시스템을 선정하였다. 재난 안전관리 스마트 시스템은 지능형

사물인터넷과 연계한 센서 기반 재난 대응 시스템 이외에도 재난 센싱·시뮬레이션 등 요소 기술까지 포함하는데, 이러한 재난 안전관리 스마트 시스템의 한 예로는 사물 인터넷 기반 센서를 통해 구조 요청자가 선체의 어느 객실에 있는지 혹은 건물의 어느 방에 있는지를 구조 작업 시작 전에 판별해내는 기능이 있다. 이러한 시스템이 실제 구조에 활용될 수 있다면 구조 요청자의 위치를 시야가 확보되지 않는 상황에서도 빠르게 파악하는 것이 가능하다(그림 1(나)) 참조).

[그림 1] 기존의 구조활동과 사물인터넷 기반 센서를 활용한 스마트 재난 구조활동의 비교

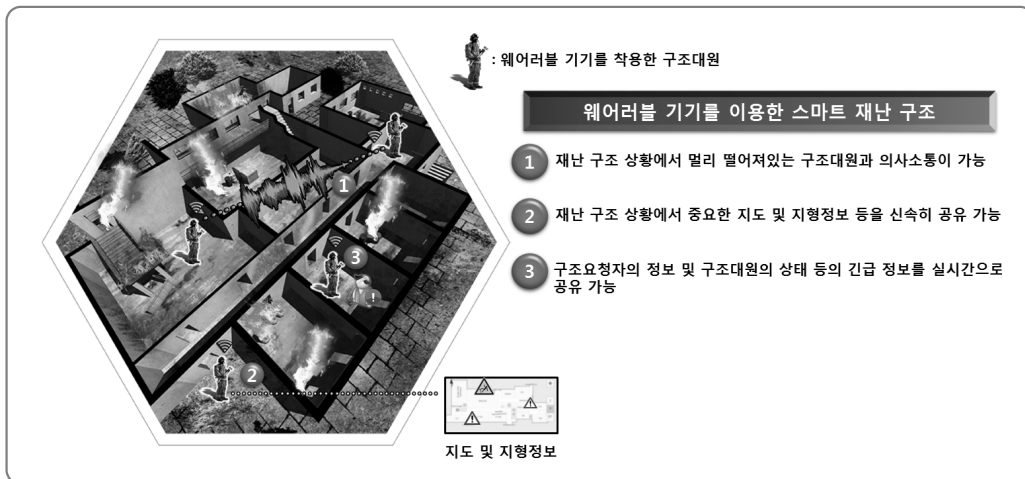


그러나, 이러한 구조대원이 실제 환경에서 이러한 시스템을 효과적으로 활용할 수 있도록 하는 기술에 대해서는 아직 많은 논의가 이루어지고 있지 않다. 특히 웨어러블 기기를 위한 구조 활동에 특화된 기술의 필요성이 증대되고 있는데, 구조대원이 긴박한 구조 현장에서 재난 안전 관리 스마트 시스템의 활용하기 위해서 특정 기기를 손에 쥐고 사용해야 한다면 활용도가 떨어질 수 밖에 없어서 착용한 채로 정보를 제공받거나 공유할 수 있는 웨어러블 기기를 사용해야 하기 때문이다. 그러나, 현재 재난 현장에서 사용되는 웨어러블 기기들은 동영상 촬영이 목적이며 실제 재난 구조에 도움이 되는 기능은 거의 제공하지 않고 있음 [1] 또한, 배터리 지속시간도 매우 짧으므로 구조대원들이 해당 기기들을 사용하기가 어렵다 [2][3] 동영상 촬영 이외에도 재난 안전관리 스마트 시스템과 연동하는 기능까지 사용하려면 이러한 기능들을 에너지 효율적으로 수행하여 배터리 지속시간을 증대시키는 기술이 필수적이다. 특히, 기존 웨어러블 기기의 짧은 배터리 지속시간 문제를 해결하지 못한다면 긴급 상황에서의 배터리가 방전되는 경우에 구조

대원의 안전이 위협받을 수 있고, 기기의 충전을 위해 구조작업을 중단해야 하는 경우에 구조작업의 지연으로 인한 인명피해가 발생할 가능성이 있다. 이러한 상황을 종합적으로 고려하면, 재난 구조용 웨어러블 기기는 아래 [그림 2]에 나타난 기능을 최대한 에너지 효율적으로 제공할 수 있는 기술을 필요로 한다고 볼 수 있다.

이러한 기기는 멀리 떨어진 구조대원 간의 의사소통을 원활하게 해서 원거리에서 구조작업을 진행하는 타 구조대원과 음성을 통한 의사소통 기능을 제공하며, 지도 및 지형 정보 등의 신속한 공유를 통해 중앙 지휘부에 문의 없이도 구조대원이 항상 지도 및 지형 정보를 확인할 수 있도록 지도 및 지형 정보의 공유 기능을 제공하고, 구조 요청자 또는 타 구조대원의 위치 및 상태, 퇴로 정보 등의 긴급 정보를 실시간 공유하며, 구조 요청자 또는 타 구조대원의 위치 및 상태가 지도에 항상 표시되어 구조대원이 주변 상태에 대해 인지할 수 있도록 긴급 정보 공유 기능을 제공해야 한다. 본 연구는 재난 구조 활동에 있어 효율성을 높이는 재난 안전관리 스마트 시스템에 대한 기존 연구를 고찰하고 재난 구조산업에서의 효율성을 높이는 기술적 방안을 모색하고자 한다.

[그림 2] 재난 구조용 웨어러블 기기에 필요한 핵심 기술



II. 선행연구

사실 그 동안 실제 구조 상황에서 재난 안전관리 스마트 시스템을 효과적으로 활용하기 위한 기술에 대한 연구는 거의 진해오지 못했다. 재난 구조 산업에서의 안전관리 스마트 시스템 구축 연구의 필요성을 언급하기 전에 본 연구는 우선, 재난 대응 및 긴급 상황에서 활용할 수 있는

사물인터넷 요소 기술과 해당 상황에 웨어러블 기기를 사용하기 위한 기술 및 연구에 대해서 살펴보고, 이후 웨어러블 기기를 활용한 기존의 재난 안전관리 스마트 시스템에 대해서 알아보 고자 한다. 이를 위해 1. 지능형 사물인터넷을 활용해 재난 대응 및 긴급 상황에 구조대원 및 피구조자의 위치를 파악하고자 하는 연구, 2. 재난 및 긴급 상황에 지능형 사물인터넷을 활용해 긴급 메시지를 전달하기 위한 연구, 그리고 3. 기존의 재난 안전관리 스마트 시스템에 대한 연구를 고찰하겠다. 먼저 살펴볼 지능형 사물인터넷을 활용해 재난 대응 및 긴급 상황에 구조대원 및 피구조자의 위치를 파악하고자 하는 연구는 지능형 사물인터넷을 활용해 재난 대응 및 긴급 상황에 구조대원 및 피구조자의 위치를 파악에 주목해왔다. 이는 건물 내부의 구조와 건물 안에 있는 사람의 상태 및 위치를 파악하기 위해 건물 내에 설치된 각종 센서를 활용하는 기법 [4]에 관심을 갖고 있는데, 이러한 기법은 지능형 재난 및 긴급 상황이 발생했을 때 지능형 사물인터넷 을 활용해 건물의 구조와 건물 안에 있는 구조 요청자의 상태 및 위치를 파악하는 기법으로 확장 될 수 있다. 또한 재난 상황에서 구조 요청자들이 대피할 때 돌발 상황을 구조 요청자들 각자가 소유하고 있는 지능형 사물인터넷을 통해 공유하는 서비스 [5]에 대한 연구도 있는데 이는 대피 하는 구조 요청자들로 하여금 돌발 상황 발생에 따라 달라지는 대피로의 상황을 실시간에 파악 할 수 있게 하여 보다 효율적인 대피를 가능하게 한다. 예를 들어, 해당 서비스를 사용하면 대피 로가 화재나 건물의 매몰로 인해 막혔을 때 대피하는 구조 요청자들이 대피로의 변화를 파악할 수 있다. 한편, 재난 및 긴급 상황에 지능형 사물인터넷을 활용해 긴급 메시지를 전달 하기 위한 연구 또한 진행되어 왔는데, 이들은 주로 재난 및 긴급 상황을 고려한 긴급 메시지 전달 기법 [6]에 주목해왔다. 이는 재난 및 긴급 상황에서 지능형 사물인터넷 센서들이 긴급 메시지를 재난 대응 및 구조 시스템에 반드시 전달할 수 있도록 하기 위한 기법으로, 각 사물인터넷 센서로 하 여금 근접해 있는 다른 사물인터넷 센서를 통해 긴급 메시지를 전달할 수 있는 경우에는 해당 센서를 통해 긴급 메시지를 전달하게 하고, 근접해 있는 사물인터넷 센서들이 모두 파괴 되어 다른 사물인터넷 센서를 통해 긴급 메시지를 전달할 수 없는 경우에는 기지국을 통해 긴급 메시 지를 전달하게 한다.

두 번째로, 재난 대응 및 긴급 상황에서 웨어러블 기기를 사용하기 위한 연구를 살펴볼 수 있다. 관련 연구들은 재난 대응 및 긴급 상황에서 웨어러블 기기를 사용해 구조대원의 상태 및 위치를 파악하고, 그들의 구조 활동을 돕기 위한 방안을 모색하는 데 주력해왔다. 이들은 특히 재난 대응 및 긴급 상황에서 웨어러블 기기를 활용해 구조대원의 상태 및 위치를 파악하는 기술 [7]에 주목했는데, 몇몇 연구들은 재난 대응 및 긴급 상황에서 웨어러블 기기를 착용한 구조대원 의 심장 박동수를 측정해 구조대원의 상태를 파악하고, 웨어러블 기기의 GPS 정보를 활용해 구 조대원의 위치를 파악하는 기술을 제안함했다. 그러나, 사물인터넷 기반 재난 안전관리 스마트 시스템을 활용하는 기술은 아니라는 단점이 있다. 한편, 또다른 선행 연구들은 재난 대응 및 긴

급 상황에 웨어러블 기기를 착용한 구조대원들을 도울 수 있는 시스템에도 주목했는데 [8], 이들은 해당 시스템의 중앙 통제 센터는 웨어러블 기기를 착용한 구조대원들의 심장 박동수나 GPS 정보를 받아 해당 구조대원의 상태 및 위치를 파악할 수 있도록 구성 되어 있다. 하지만 이 시스템은 구조대원의 단순히 구조대원들의 정보를 수집만 하기 때문에 구조 활동의 효율성 증대와는 거리가 있다는 단점이 있다. 정리하면, 기존의 재난 대응 및 긴급 상황에서 웨어러블 기기를 사용하고자 한 연구들은 지능형 사물인터넷을 활용해 피구조자의 상태 및 위치를 파악하는 기법들과 어우러져 있지 않고, 구조대원의 상태 및 위치를 파악하고 그들의 다음 행동을 지시 하는 데에만 그치고 있으며, 긴박한 구조 현장에서 결정적일 수 있는 웨어러블 기기의 짧은 사용시간을 고려하지 않는다는 데 한계가 있다고 볼 수 있다.

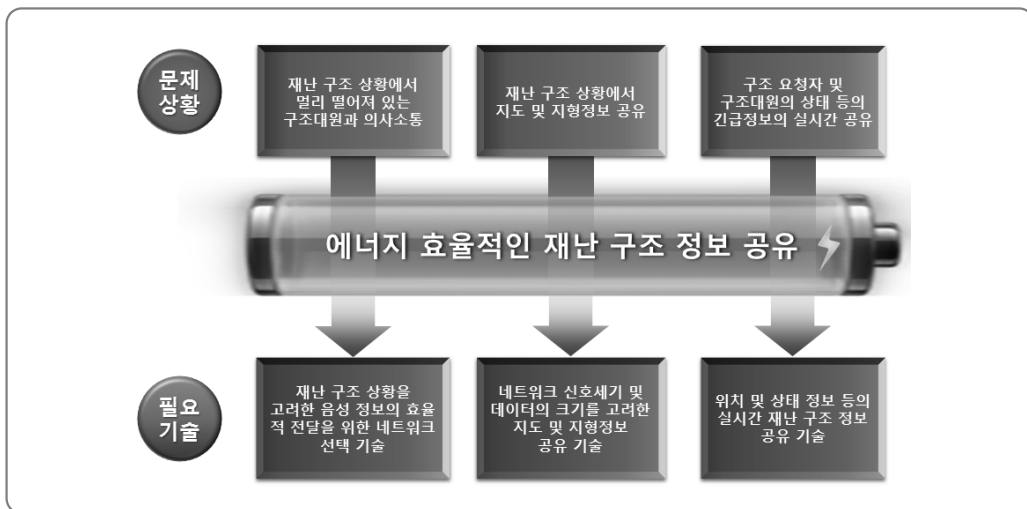
세 번째로 기존의 재난 안전관리 스마트 시스템에 대한 연구를 살펴볼 수 있는데, 이들에 의하면 실제 재난 대응 및 긴급 상황에서 웨어러블 기기를 활용하는 재난 안전관리 스마트 시스템을 구축하기 위한 시도들이 있어 왔다[9][10]. 예를 들어 어떤 재난 안전관리 스마트 시스템은 카메라가 달린 드론을 활용해 재난 현장의 사진 및 동영상을 공중에서 촬영하고, 촬영한 사진 및 동영상을 무선 네트워크를 통해 구조대원이 장착한 웨어러블 기기로 전송하여 해당 구조대원으로 하여금 재난 현장의 지도 및 지형정보, 그리고 구조 요청자의 위치를 파악할 수 있게 한다. 하지만, 이러한 시스템은 시야가 확보되지 않아 동영상 촬영으로도 구조 요청자의 위치를 확인하기 어려운 구조 상황에서는 사용될 수 없다는 단점이 있다. 한편 다른 재난 안전관리 스마트 시스템에서 구조대원들은 웨어러블 기기를 통해 재난 현장에 대한 실시간 정보를 음성으로 공유하기도 하며, 웨어러블 기기를 활용해 위급한 구조 요청자를 위한 응급처치 방법을 확인하기도 한다. 또한 시스템의 중앙 통제 센터를 통해 재난 현장의 지도 및 지형정보, 그리고 사물인터넷 센서를 통해 파악한 구조 요청자의 위치를 구조대원에게 전달하여 구조대원들로 하여금 해당 정보들을 파악할 수 있게 하기도 한다. 그러나 위와 같은 기존의 재난 안전관리 스마트 시스템들은 긴박한 구조 현장에서 결정적일 수 있는 웨어러블 기기의 짧은 사용시간을 고려하지 않는다는 단점이 있다.

III. 재난 안전관리 스마트 시스템 구축의 중요성과 필요성

재난 구조에 사용되는 웨어러블 기기에 필요한 핵심 기술은 [그림 3]에 나타난 것처럼 실제 구조 현장에서 필요하나 기존에는 공유되지 못하고 있던 정보를 에너지 효율적으로 공유하는 기술이라고 할 수 있다 이는 1. 재난 구조 상황을 고려한 음성정보의 효율적 전달을 위한 네트워크 선택 기술과 2. 네트워크 신호세기 및 데이터의 크기를 고려한 지도 및 지형정보 공유 기술, 그리

고 3. 위치 및 상태 정보 등의 실시간 재난 구조 정보 공유 기술로 나눌 수 있다. 우선, 재난 구조 상황을 고려한 음성정보의 효율적 전달을 위한 네트워크 선택 기술은 주로 구조대원 간의 의사소통에 관련된다. 긴박한 재난 구조 상황에서 문자 메시지를 타이핑 한다거나 전달받은 문자 메시지를 읽는 것은 실질적으로 불가능하므로 구조대원 간의 의사소통은 음성으로 이루어져야 한다. 그러나, 기존 재난 구조 현장에서 사용되고 있는 무선 시스템은 중앙 지휘부와의 의사 소통기능을 주로 지원하고 구조대원 간의 의사소통에는 잘 활용되지 않은 것이 현실이다. 따라서, 재난 구조 상황에서 멀리 떨어져 있는 구조대원과 원활히 의사소통을 하기 위해서는 음성 정보를 효율적으로 전달할 수 있는 기술이 필요하다. 이때 음성 정보 전달 기술은 음성 정보는 QoS만 만족되면 더 높은 네트워크 성능을 제공해도 사용자는 큰 차이를 느끼지 못한다는 사실을 고려해야 한다 [11][12]. 반면, 긴박한 구조 상황에 오고가는 음성 정보임을 감안하여, QoS가 만족되지 않으면 아무리 전력 소모가 적은 네트워크라도 사용할 수 없다는 점 또한 고려해야 한다.

[그림 3] 재난 구조를 위한 웨어러블 기기에 필요한 기술



두 번째 기술인, 네트워크 신호세기 및 데이터의 크기를 고려한 지도 및 지형정보 공유 기술 또한 구조 산업의 효율성 제고를 위해 매우 중요하다. 재난 구조 상황에서 구조 작업이 이루어지는 건물 및 장소의 지도 또는 지형정보는 구조 작업의 효율성을 크게 높일 수 있는 정보이다. 그러나, 기존 재난 구조 현장에서는 건물의 구조도와 같은 정보는 주로 중앙 지휘부에만 존재하고 구조대원들이 일일이 이에 대해 문의하는 방식으로 구조 작업이 이루어지므로 효율성이 떨어진다. 따라서, 재난 구조 상황에서 각각의 구조대원이 지도 및 지형정보를 자신의 웨어러블 기기에 전달받을 수 있도록 하는 기술이 필요하다. 이때, 지도 및 지형정보 공유 기술은 지형 정보가

일반적으로 넓은 지역에 대한 여러 가지 정보를 내포하고 있기 때문에 용량이 크다는 사실을 고려해야 한다. 또한 네트워크의 신호세기는 속도와 전력 소모에 영향을 미친다는 사실을 고려해야 한다[13][14].

마지막 기술인, 위치 및 상태 정보 등의 실시간 재난 구조 정보 공유 기술의 필요성도 부각되고 있다. 기존 재난 구조 현장에서는 재난 안전관리 스마트 시스템이 내포한 센서를 사용하여 구조 요청자를 찾아내더라도 실제 구조대원은 이러한 정보를 일일이 중앙 지휘부에 문의하는 방식으로 얻었다. 또한, 구조 작업이 진행되고 있는 장소에서 발생한 긴급 상황(퇴로의 차단, 건물의 붕괴, 선체의 침몰 등)에 대한 정보를 빠르게 전달받지 못해서 구조대원의 인명에도 많은 위협이 있었다. 따라서, 재난 구조 상황에서 각각의 구조대원이 자신이 착용한 웨어러블 기기에 공유된 지도 및 지형정보에 구조 요청자의 위치, 주변의 다른 구조대원, 구조 활동과 관련된 긴급 정보 등을 실시간으로 제공받을 수 있도록 하는 기술이 필요하다. 이때 실시간 재난 구조 정보 공유 기술은 실시간 정보는 일반적으로 데이터의 크기가 매우 작고 주로 푸시의 형태를 통해 서버로부터 실시간으로 전달된다는 사실을 고려하여야 한다. 또한, 실시간 정보를 받기 위해 네트워크 인터페이스를 자주 활성화 시키게 되면 웨어러블 기기의 에너지 소모가 매우 크게 늘어난다는 사실을 고려해야 한다[15].

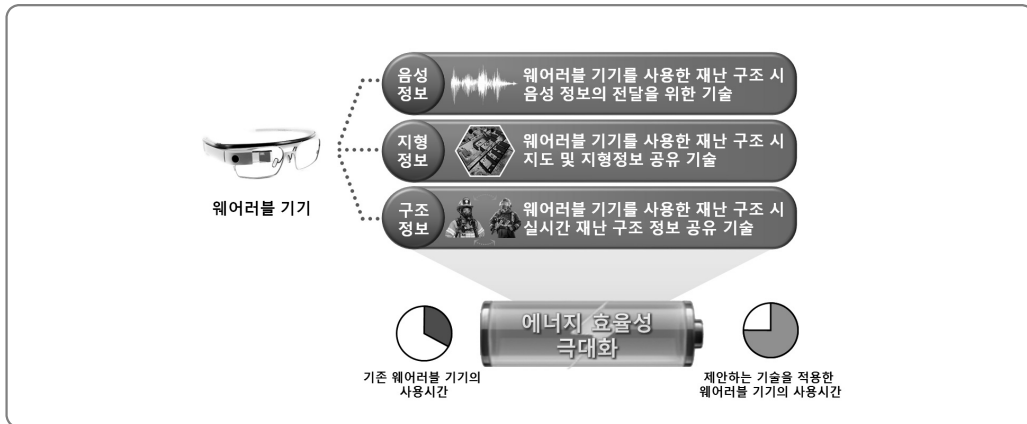
위의 내용을 정리하면, 기존의 관련 연구들은 기능 자체의 개발에만 치중하였으나, 배터리 지속시간이 짧으면 실제 구조 현장에 기기가 투입되기 어렵다는 현장의 문제점을 해결하기 위해서는 기능의 개발 시 부터 에너지 소모를 고려하는 스마트 구조 시스템의 구축에 대이 필요하다. 이때 기기는 구조대원이 직접 착용하기 때문에 스마트폰보다 훨씬 더 작고 가벼운 배터리를 사용해야 하는데, 제한적인 크기의 디스플레이로 인해 스마트폰보다 CPU를 적게 사용하는 대신, 많은 기능을 통신에 의지하므로 통신에 소모하는 에너지의 비중이 높기 때문에 가능한 저전력을 이용해 기기의 작동을 구현하는 기술에 대한 연구가 필요하다. 아울러 웨어러블 기기의 입력장치는 스마트폰의 터치스크린과는 다른 사용자의 모션을 인식하는 방식이기 때문에 모션 인식에 대한 연구도 병합이 되어야 의미가 있을 것이다.

IV. 향후 관련연구의 진행방향 제언

앞서 언급한 내용을 감안하여, 향후 관련연구에서 실제 재난 구조 상황에서 재난 안전관리 스마트 시스템을 효과적으로 활용하기 위해 장시간 사용 가능한 웨어러블 기기의 기반 기술을 개발한다면, 이는 재난 구조산업의 효율성을 크게 재고하는 계기가 될 것이다. 특히 재난 안전 관리 스마트 시스템: 사물인터넷을 활용하여 구조대원들 간에 정보를 공유하거나 사물인터넷에 연

결된 센서를 활용하여 구조 요청자의 위치를 판별하는 등 재난 구조 및 안전관리를 지원하는 시스템이 필요하다. 이를 위해 실제 재난 구조 상황에 필요한 정보를 [그림 4]에 나타난 것과 같이 음성 정보(즉, 구조대원들 간 의사소통 등의 정보), 지도 및 지형정보(즉, 구조 작업이 진행되고 있는 장소의 설계도 등의 정보), 그리고 실시간 구조 정보(즉, 재난 안전관리 스마트 시스템을 통해 획득한 구조 요청자의 위치 또는 타 구조자의 위치 및 구조대원의 퇴로 등의 정보)로 구분하고, 이를 에너지 효율적으로 전달하기 위한 기술을 개발할 필요가 있다.

[그림 4] 본 연구를 통해 개발하고자 하는 재난 구조를 위해
장시간 사용 가능한 웨어러블 기기 기반 기술

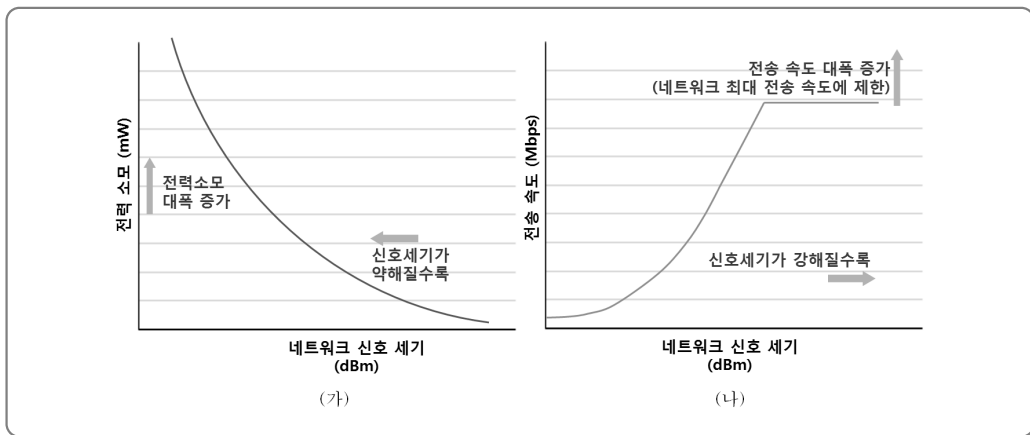


특히 웨어러블 기기를 사용한 재난 구조 시 음성 정보의 에너지 효율적 전달을 위한 기술 개발이 필수적이다. 여러 구조대원들이 구조 활동을 진행할 때 진행 상황 등의 정보를 음성을 통해 상호 공유해야 하는 경우가 자주 발생하고, 이러한 경우를 위해 구조대원 및 중앙 지휘부 간에 음성 정보를 웨어러블 기기를 통해 에너지 효율적으로 전달하는 기술을 개발할 필요가 있다. 이를 위해, 3G, Wi-Fi, Bluetooth 등 각 네트워크 종류 별로 신호세기에 따라 달라지는 음성 정보 전달의 QoS를 분석함. 더불어, [그림 5(가)][13]에 나타난 것과 같이, 각 네트워크 종류 별로 신호세기에 따라 달라지는 전력 소모를 분석함. 이를 통해, QoS만 보장되면 그 이상의 속도로 전송할 필요가 없는 음성 정보를 전송할 때 음성 정보의 QoS를 보장하는 네트워크 중 전력 소모가 가장 적은 네트워크를 선택하여 전송하는 기술이 반드시 개발되어야 한다.

다음으로 본 연구는 웨어러블 기기를 사용한 재난 구조 시 에너지 효율적인 지도 및 지형정보 공유 기술의 개발의 필요성을 강조한다. 구조대원들은 웨어러블 기기의 디스플레이에 표시되는 재난 구조 작업 지점의 도면 또는 지형 정보를 참조하여 구조 작업을 진행한다. 따라서, 비교적 용량이 큰 도면 또는 지형 정보를 구조대원들의 웨어러블 기기 간에 에너지 효율적으로 공유할

수 있도록 하는 기술을 개발할 필요가 있다. 이를 위해, 3G, Wi-Fi, Bluetooth 등 각 네트워크 종류 별로 지도 및 지형 정보 데이터의 크기에 따라 달라지는 데이터 송수신 에너지 소모를 분석함 [16]. 또한, [그림 5(나)][13]와 같이, 각 네트워크 종류 별로 신호세기에 따라 달라지는 송수신 속도를 분석함. 더 나아가 AP(Access Point) 또는 중계기 역할을 하는 드론이 움직임에 따라 신호세기가 변하는 실제 재난 구조 상황을 고려한 지도 및 지형 정보 공유 시 에너지 효율적으로 네트워크 종류를 선택하는 기술 개발이 진행되어야 한다.

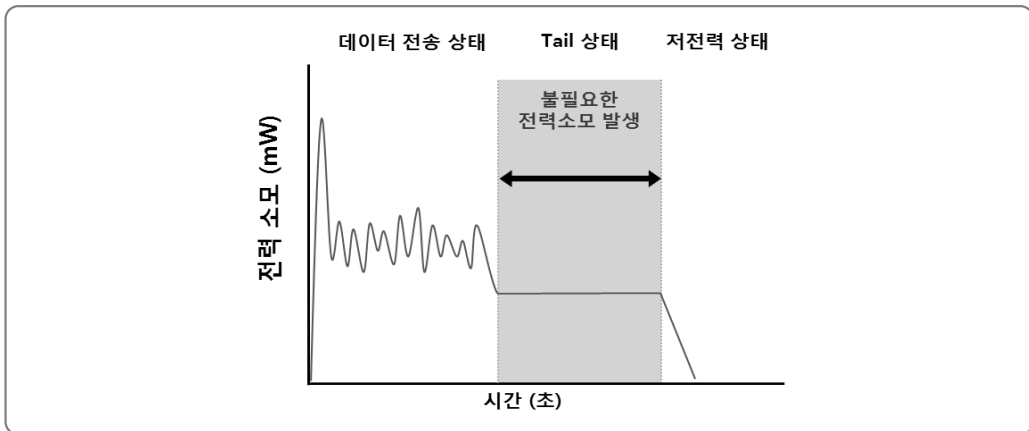
[그림 5] 네트워크 신호세기에 따른 전력 소모 및 전송 속도



마지막으로 웨어러블 기기를 사용한 재난 구조 시 에너지 효율적인 실시간 구조 정보 공유 기술에 대한 연구가 진행되어야 한다. 효율적으로 구조 작업을 진행하기 위해서는 구조 요청자의 위치, 퇴로의 정보 등이 구조대원들 간에 실시간으로 공유되어야 한다. 예를 들면, 구조대원들이 구조 요청자가 화재가 발생한 건물에 어느 위치에 있는지 정확히 알 수 있다면 수색에 소요되는 시간을 획기적으로 절감할 수 있다. 이러한 실시간 구조 정보는 비교적 작은 크기의 데이터 송수신을 통해 공유되는데, 이를 구조대원의 웨어러블 기기들이 에너지를 효율적으로 공유하는 방식으로 해결하는 기술을 개발할 필요가 있다. 이를 위해, [그림 6][17][18]과 같이 네트워크를 사용한 데이터의 송수신이 종료된 뒤 가까운 미래에 혹시 발생할지도 모르는 데이터 송수신에 대비해 일정 시간동안 저전력 상태에 진입하지 않고 머물러 있는 상태인 Tail 상태에서 소모되는 에너지(Tail 에너지) 소모를 절감하는 기법을 개발할 필요가 있다. Tail 에너지를 절감하기 위해 3G, Wi-Fi, Bluetooth 등 각 네트워크 종류 별로 Tail 상태의 유지시간 및 전력 소모를 분석하는데 실시간 구조 정보 중 긴급 정보 공유 시 Tail 에너지 절감을 위해, 서버에 연결 되어 있는 기기는 푸시를 통해 직접 전달 받고, 나머지 기기들은 저전력 근거리 통신을 통해 전달 받는 기

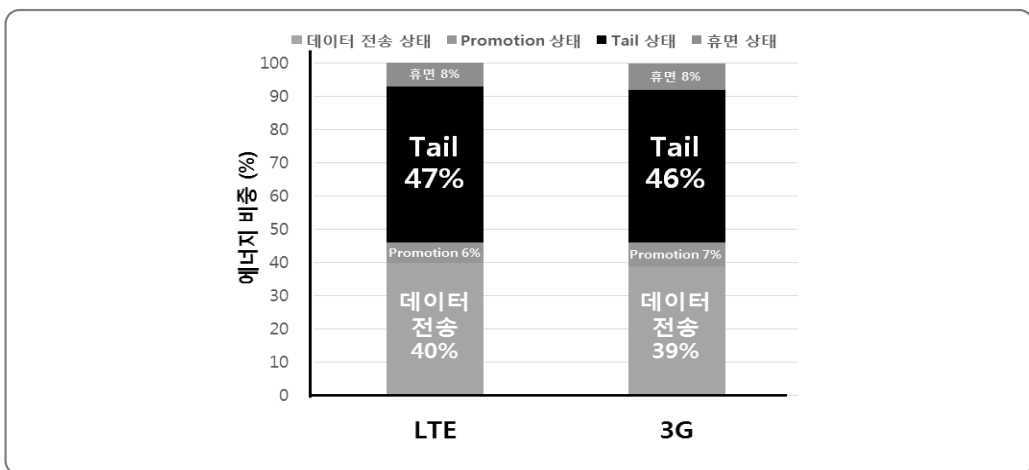
술을 개발할 필요가 있는 것이다. 이와 더불어, 실시간 구조 정보 중 구조 요청자 정보 공유 시 3G, Wi-Fi 등의 신호세기가 강한 위치에 있는 기기들은 3G, Wi-Fi를 통해 구조 요청자 정보를 획득하고, 나머지 3G, Wi-Fi의 신호세기가 약간 위치에 있는 기기들은 저전력 근거리 통신으로 구조 요청자 정보를 획득하는 기술을 함께 개발할 필요도 있다.

[그림 6] Tail 상태에서 추가 데이터 송수신이 발생하지 않는 경우의 불필요한 에너지 소모



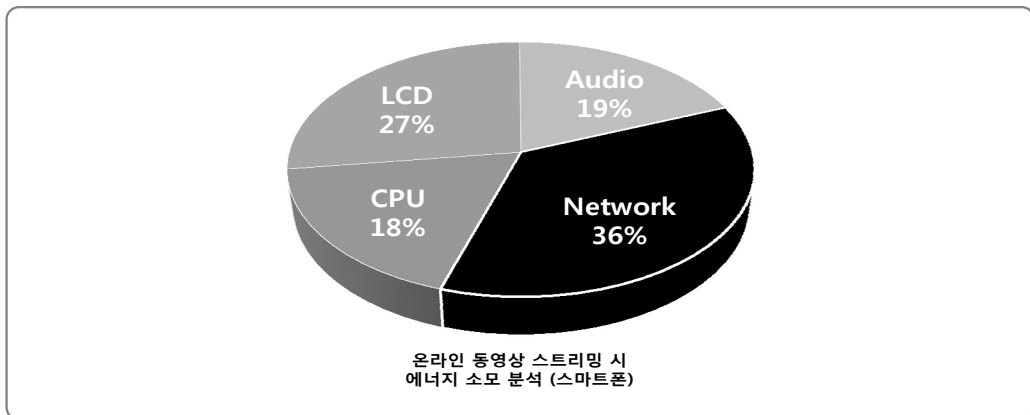
한편, Tail 상태에서 낭비되는 에너지는 [그림 7][19]에 나타난 것과 같이 네트워크 인터페이스가 소모하는 에너지의 40%에 달하는 것으로 알려져 있으므로 이를 줄이는 것은 매우 큰 효과가 있을 것으로 기대된다.

[그림 7] 네트워크 인터페이스가 소모하는 에너지 중 Tail 상태에서 소모하는 에너지의 비중



이러한 기술이 구현된다면, 사물인터넷에 기반한 재난 안전관리 스마트 시스템이 사용되는 재난 구조 상황에서는 음성, 지도 및 지형, 그리고 긴급 상황이 Wi-Fi, 모바일(3G 또는 LTE), Bluetooth 등의 네트워크를 통해 중앙 지휘부와 구조대원, 구조 요청자 사이에 공유될 수 있을 것이다. 특히 사물인터넷에 기반한 재난 안전관리 스마트 시스템이 사용되는 재난 구조 시 구조대원의 웨어러블 기기에 필요한 정보를 에너지 효율적으로 공유 및 전달하는 기술의 개발은 중요 정보의 공유를 통해 재난 구조의 효율성 극대화에 크게 기여하게 될 것이다. 특히 [그림 8]에 나타난 것과 같이, 웨어러블 기기에서보다 통신에 사용되는 하드웨어 컴포넌트가 전체 시스템 에너지 소모에서 차지하는 비중이 작은 스마트폰에서도 통신에 소모되는 에너지가 전체 시스템 에너지 소모의 36%를 차지하기 때문에[20], 복잡한 계산보다 통신에 기반한 작업을 많이 처리하는 재난 구조 상황에서는 통신에 소모되는 에너지의 비중이 더욱 높을 것으로 예상된다.

[그림 8] 스마트폰에서 온라인 동영상 스트리밍 시 각 하드웨어 컴포넌트 별 에너지 소모 비율

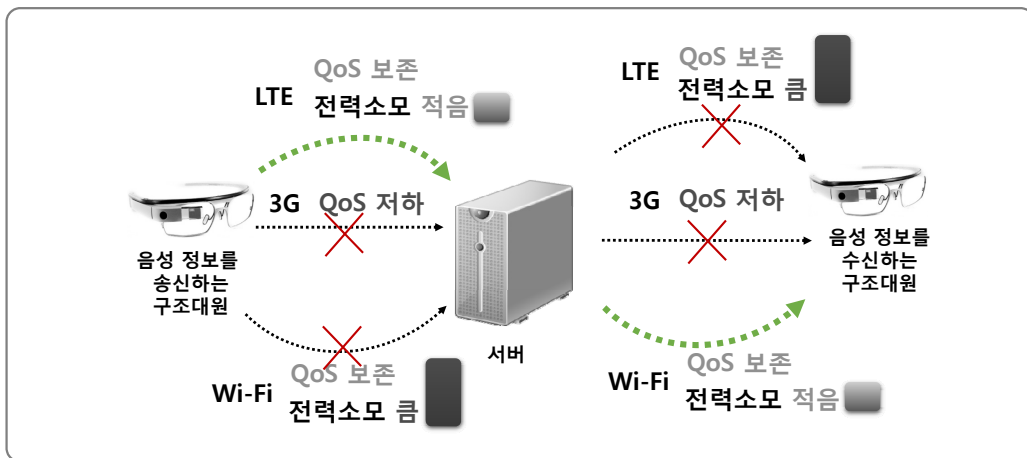


또한 이러한 기술은 [그림 9]에 나타난 것처럼 구조대원의 음성 정보 QoS를 해치지 않는 네트워크를 선별하고, 이들 중 신호세기에 따른 전력 소모 예측 결과가 가장 낮은 네트워크를 선택하여 음성 정보를 송신함으로써 실제 구조작업이 진행되는 현장에서 각 네트워크 별 신호세기에 따라 달라지는 데이터 송수신 전력을 실시간으로 예측할 수 있어서 가장 적절한 네트워크를 활용하게 하는 데 직접적으로 도움이 될 것이다.

구조대원이 지도 및 지형 정보 공유를 위해 사용하는 무선 네트워크들(예를 들어, 3G, Wi-Fi, Bluetooth 등)은 신호세기에 따라 데이터 전송속도가 달라진다. 무선 네트워크들은(3G, LTE, Wi-Fi, Bluetooth 등) 각각 지원하는 대역폭이 다르기 때문에 데이터의 송수신 속도가 다르기로 인해, 각 네트워크 별로 지도 및 지형 정보 데이터의 크기에 따라 데이터를 송수신 하는데 필요한 에너지 소모가 달라진다. 데이터 크기가 작은 경우 데이터 송수신 속도가 전체 데이터를

송수신 하는데 걸리는 시간이 크게 차이가 나지 않기 때문에 가장 전력 소모가 적은 네트워크를 통해 데이터를 송수신 하는 것이 가장 에너지 효율적이다. 반면, 데이터 크기가 큰 경우 데이터 송수신 속도에 따라 전체 데이터를 송수신 하는데 걸리는 시간이 크게 달라지기 때문에 가장 높은 데이터 송수신 속도를 갖는 네트워크를 통해 데이터를 송수신 하는 것이 가장 에너지 효율적이다. 더욱이, 앞서 분석한 바와 같이 각 네트워크 별로 신호세기에 따라 데이터의 전송 속도가 달라질 수 있다. 이를 고려해, 각 네트워크가 지원하는 대역폭뿐만 아니라 각 네트워크의 신호세기에 따라 달라지는 데이터 송수신 속도를 고려해 지도 및 지형 정보의 데이터 크기에 따라 달라지는 데이터 송수신 에너지를 측정할 필요가 있으며, 이를 토대로 각 네트워크 별로 지도 및 지형 정보의 데이터 크기에 따라 달라지는 데이터 송수신 에너지 소모의 예측 모델을 정립해야 한다. 그리고 이 예측 모델을 토대로, 각 네트워크 별로 지도 및 지형 정보의 데이터 크기에 따라 달라지는 데이터 송수신 에너지를 동적으로 살펴볼 수 있고, 특정 데이터 크기를 갖는 지도 및 지형 정보를 전송할 때 어떤 네트워크가 가장 적은 에너지를 소모하는지를 파악할 수 있을 것이다.

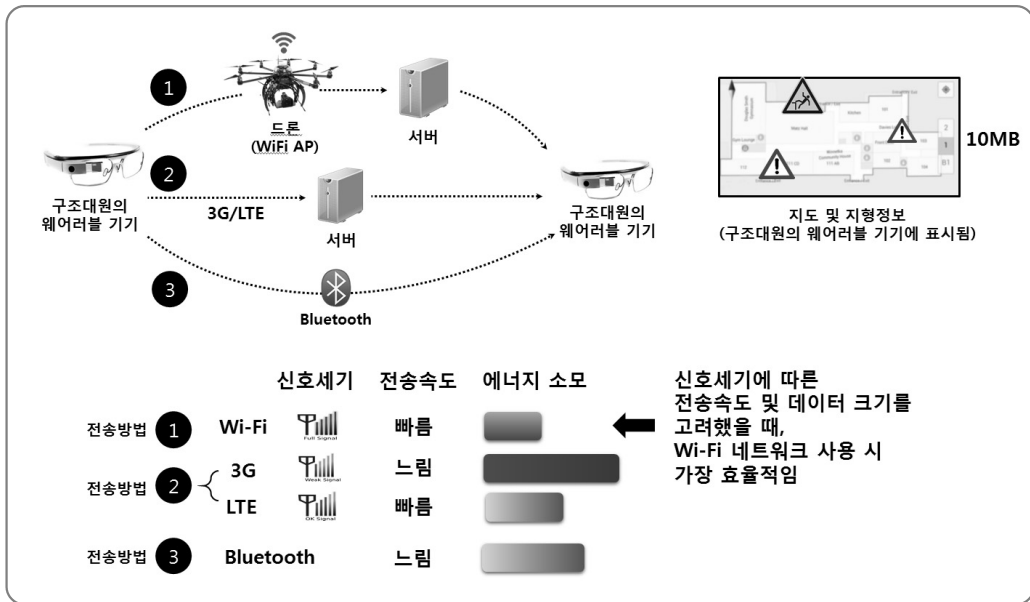
[그림 9] 제안하는 음성 정보의 에너지 효율적 전달을 위한 네트워크 선택 기술



한편, 향후 연구에서는 실제 상황을 고려한 에너지 효율적인 지도 및 지형 정보 공유 기술을 설계할 필요가 있다. 재난 구조 상황에서 지도 및 지형 정보는 구조 현장의 규모나 정보의 갱신이 필요한 지역의 크기에 따라 데이터의 크기가 다르다. 또한, AP(Access Point) 또는 중계기 역할을 하는 드론의 위치에 따라 구조대원이 장착한 웨어러블 기기의 네트워크 신호세기가 달라질 수 있다. 따라서, [그림 10]에 나타난 것처럼, 여러 종류의 네트워크 중 지도 및 지형 정보의 데이터 크기에 따라 가장 적은 에너지를 소모하는 네트워크를 선택하여 전송할 필요가 있다. 수

신하는 구조대원의 웨어러블 기기에서도 수신할 데이터의 헤더를 보고 지도 및 지형 정보라는 사실을 파악한 뒤 송신 측과 똑같은 작업을 수행하여 네트워크를 선택하게 할 수 있는데 만약, 기존의 네트워크 연결을 끊고 다른 종류의 네트워크를 사용해야 하는 경우 새로운 네트워크 연결을 수립하는데 소모되는 에너지 및 지연 시간도 고려해야 할 것이다.

[그림 10] 제안하는 에너지 효율적인 지도 및 지형 정보 공유 기술



마지막으로 네트워크 종류 별 Tail 상태 유지시간 및 전력소모 분석에 대한 연구를 제안한다. 긴급 정보 및 구조 요청자 위치 및 상태 정보 등의 실시간 구조 정보를 공유하기 위한 각각의 무선 네트워크 들은 데이터 전송 직 후 추가로 있을 데이터 전송에 대비해 일정 시간 동안 높은 전력 상태(Tail 상태)를 유지한다. Tail 상태일 때 추가적인 데이터 전송이 발생하지 않으면 네트워크는 Tail 상태가 유지되는 동안 높은 전력을 소모하게 된다. Tail 상태가 아닐 때 추가적인 데이터 전송이 발생하면 네트워크는 새로운 연결을 만들기 위해 추가적인 전력을 소모해야 한다. 그런데 각 네트워크 마다 Tail 상태 유지시간 및 전력소모는 다르다. 이를 파악하기 위해, 여러 종류의 네트워크에 대해서 Tail 상태 유지시간 및 전력소모를 측정할 필요가 있다. 그리고 측정 한 결과를 토대로 각 네트워크 별로 Tail 상태에서 소모하는 에너지의 예측 모델을 정립하며, 이 모델을 활용해 각 네트워크 별로 Tail 상태에서 소모하는 Tail 에너지를 실시간으로 확인해야 한다. 이를 위해 향후 연구에서는 Tail 에너지 소모 절감을 위한 에너지 효율적인 긴급 정보 선택적 푸시 기술에 보다 집중할 필요가 있다. 실제 재난 구조 상황에서 긴급 정보는 서버에서 모

든 구조 대원들이 장착한 웨어러블 기기들에게 전달해 주어야만(푸시) 하는데, 이 때, 구조대원들이 장착한 웨어러블 기기들 중 서버와 3G, LTE 또는 Wi-Fi 네트워크를 통해 이미 연결되어 있는 기기들의 경우에는 Tail 상태를 적어도 한 번 거쳐야 하기 때문에, [그림 11]에 나타난 것처럼 굳이 저전력 근거리 통신(Bluetooth 등)을 사용하지 않고 해당 연결을 통해 긴급 정보를 푸시 받는 편이 에너지 측면에서 이득이다. 반면, 구조대원들이 장착한 웨어러블 기기들 중 서버와 연결되어 있지 않은 웨어러블 기기들의 경우 서버에 접속하기 위해 3G, LTE 또는 Wi-Fi 네트워크를 사용하여 새롭게 연결을 수립할 경우 추가적으로 Tail 상태를 한 번 거쳐야 하므로, 역시 [그림 11]에 나타난 것과 같이 이미 해당 정보를 푸시 받은 기기에게 Tail 에너지 소모가 매우 적은 저전력 근거리 통신을 사용하여 정보를 푸시 받는 것이 에너지 측면에서 효율적이다. 이때 3G, LTE 또는 Wi-Fi 네트워크를 사용하는 경우, 휴면 모드로 일찍 진입하여 Tail 에너지를 줄이는 기술을 고려할 수도 있으나, 긴박한 정보가 오가는 실제 구조 현장을 고려할 때 이러한 기술은 오히려 네트워크로 하여금 새로운 연결을 자주 수립하도록 하므로 에너지 낭비를 초래할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 실용화 이전에 다양한 네트워크를 장착하고 있는 웨어러블 기기에 기술을 실제 적용하여 사용시간의 연장 정도를 평가할 필요가 있을 것이다.

[그림 11] 제안하는 에너지 효율적인 긴급 정보 선택적 푸시 기술



마지막으로 구조 요청자 위치 및 상태 정보의 에너지 효율적 공유를 위한 선택적 D2D 통신 기술을 제안한다. 실제 재난 구조 상황에서 사물 인터넷 센서가 파악하지 못한 구조 요청자들 어떤 구조대원이 발견하거나, 발견한 구조 요청자의 상태가 급변하는 경우 해당 구조 요청자의

위치 및 상태 정보를 모든 구조대원이 파악할 수 있도록 공유해 주어야만 한다. 이 때, 사물 인터넷 센서가 파악하지 못한 구조 요청자를 발견한 구조대원은 [그림 12]에 나타난 것처럼 먼저 자신과 가까운 거리에 있는 다른 구조대원들에게 Bluetooth 등의 적은 전력을 소모하는 근거리 통신을 통해 해당 구조 요청자의 위치 및 상태 정보를 직접 전달하게 될 것이다. 사물 인터넷 센서가 파악하지 못한 구조 요청자를 발견한 구조대원과 먼 거리에 있는 구조대원들에게도 구조 요청자의 정보를 전달하기 위해 [그림 12]에 나타난 것처럼 정보를 전달 받은 구조대원 중 가장 신호세기가 높은 구조대원이 서버를 통해 정보를 전달할 필요가 있다.

[그림 12] 제안하는 구조 요청자 위치 및 상태정보의 에너지 효율적 공유 기술



참고문헌

- Google Inc. Google Glass. [Online] Available: <https://www.google.com/glass/start/>
- Alexei, O., and G. Shih. 2014. "Batteries hold key to wearable device revolution". Reuters News.
- Matt, S. 2014. "Explorer edition upgrades to Android KitKat". TechRadar Google Glass Review.
- Anthony, D. W., J. A. Stankovic., G. Virone., L. Selavo., Z. He., Q. Cao., T. Doan., Y. Wu., L. Fang., and R. Stoleru. 2008. "Context-aware wireless sensor networks for assisted living and residential monitoring". *IEEE Network*. Vol.22(4), 26-33.
- Akihiro, F. and H. Miwa. 2014. "Disaster evacuation guidance using opportunistic communication: the potential for opportunity-based service". *Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments Studies in Computational Intelligence*. Vol.546, 425-446.
- Mythri, H., T. Mouldsley., A. Oyawoye., S. Vadgama. and M. Wilson. 2013. "D2D for energy efficient communications in disaster and emergency situations". in Proceedings of the IEEE International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM). pp.1-5.
- Ribeiro, D., M. Colunas., F. Marques., J. Fernandes. and J. Cunha. 2011. "A real time, wearable ECG and continuous blood pressure monitoring system for first responders". in Proceedings of the IEEE International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society. 6894-6898.
- Kunnath, A. T., P. Pradeep., and M. V. Ramesh. 2012. "Locating and monitoring emergency responder using a wearable device". in Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Communications, and Informatics (ICACCI). 1163-1168.
- Daniel, C., S. Mora., A. Perez., A. Ebert., A. Kerren., M. Divitini., D. Iglesia., and N. Otero. 2012. "Tangible and wearable user interfaces for supporting collaboration among emergency workers". *Collaboration and Technology Lecture Notes in Computer Science*. Vol.7493, pp.192-199.
- Emertech Inc. Emertech. [Online] Available: <http://www.emertech.org/index-en.html>

- Ramona, T., O. Ormond, and G. M. Muntean. 2014. "Enhanced power-friendly access network selection strategy for multimedia delivery over heterogeneous wireless networks". *IEEE Transactions on Broadcasting*. Vol.60(1), 85-101.
- Matti, S., M. A. Hoque., J. K. Nurminen., and M. Aalto. 2013. "Streaming over 3G and LTE: how to save smartphone energy in radio access network-friendly way". in Proceedings of the 5th Workshop on Mobile Video (MoVid), 3-18.
- Ning, D., D. Wagner., X. Chen., A. Pathak., Y. C. Hu., and A. Rice. 2013. "Characterizing and modeling the impact of wireless signal strength on smartphone battery drain". in Proceedings of the ACM International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems (SIGMETRICS), 29-40.
- Sahil, S., V. Navda., R. Ramjee., E. Lara. 2013. "EnVi: energy efficient video player for mobiles". in Proceedings of the Workshop on Cellular Networks: Operations, Challenges, and Future Design (CellNet), 25-30.
- Feng, Q., Z. Wang., A. Gerber., Z. M. Mao., S. Sen., and O. Spatscheck. 2010. "TOP: tail optimization protocol for cellular radio resource allocation". in Proceedings of the IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), 285-294.
- Fengyuan, X., Y. Liu., T. Moscibroda., R. Chandra., L. Jin., Y. Zhang., Q. Li. 2013. "Optimizing background email sync on smartphones". in Proceedings of the 11th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys), 55-68.
- Yeseong, K. and J. Kim, 2012. "Personalized diapause: reducing radio energy consumption of smartphones by network-context aware dormance predictions". in Proceedings of USENIX Workshop on Power-Aware Computing and Systems (HotPower), 1-5.
- Di, Z., Y. Zhang., and Y. Zhou. 2014. "Leveraging the tail time for saving energy in cellular networks". *IEEE Transactions on Mobile Computing*. Vol.13(7), 1536-1549.
- Junxian, H., F. Qian., A. Gerber., Z. M. Mao., S. Sen., and O. Spatscheck. 2012. "A close examination of performance and power characteristics of 4G LTE networks". in Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys), 225-238.

Abhinav, P., Y. C. Hu, and M. Zhang. 2012. "Where is the energy spent inside my app?: fine-grained energy accounting on smartphones with Eprof". in Proceedings of the 7th ACM European Conference on Computer Systems (EuroSys), 29-42.

Establishment of Smart System for Efficiency Improvement of Disaster Relief Industry: Focused on Wearable Equipment Technology that can be Used for a Long Time

Sung Woo Chung* · Young Geun Kim**

ABSTRACT

In the case of a major disaster, it does not happen frequently but there are many casualties. One of the main causes of this injury is inefficient rescue activities. In order to reduce the inefficiency of these rescue operations and to increase the rescue rate, the introduction of the disaster safety management smart system has become an important issue in the related industries. This study investigates the existing research on the disaster safety management smart system which improves the efficiency in disaster relief activities and seeks a technical scheme to improve the efficiency in the disaster relief industry. In details, this study suggests three types of technique as follows: 1. Energy efficient voice data transmission technique for disaster relief with wearable devices, 2. Energy efficient map and geography information sharing technique for disaster relief with wearable devices, and 3. Energy efficient real-time relief information sharing technique for disaster relief with wearable devices.

Key Words : Disaster Rescue Industry, Safety Management, Smart System, Wearable Device, Power Management

* Professor of Department of Computer science, College of Information, Korea University, swchung@korea.ac.kr

** Ph. D Candidate Department of Computer science, College of Information, Korea University, carrotone@korea.ac.kr