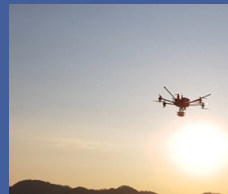


융합연구리뷰

Convergence Research Review

2018 January | vol. 4 | no. 1

ISSN. 2465-8456



Part. 1 재난 붕괴지역 형상정보 취득 및 매몰자 탐지 기술

Part. 2 복합재난관리의 현황과 전망

Contents

- 01 편집자 주
- 04 재난 붕괴지역 형상정보 취득 및 매몰자 탐지 기술
- 54 복합재난관리의 현황과 전망



융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2018 January vol.4 no.1

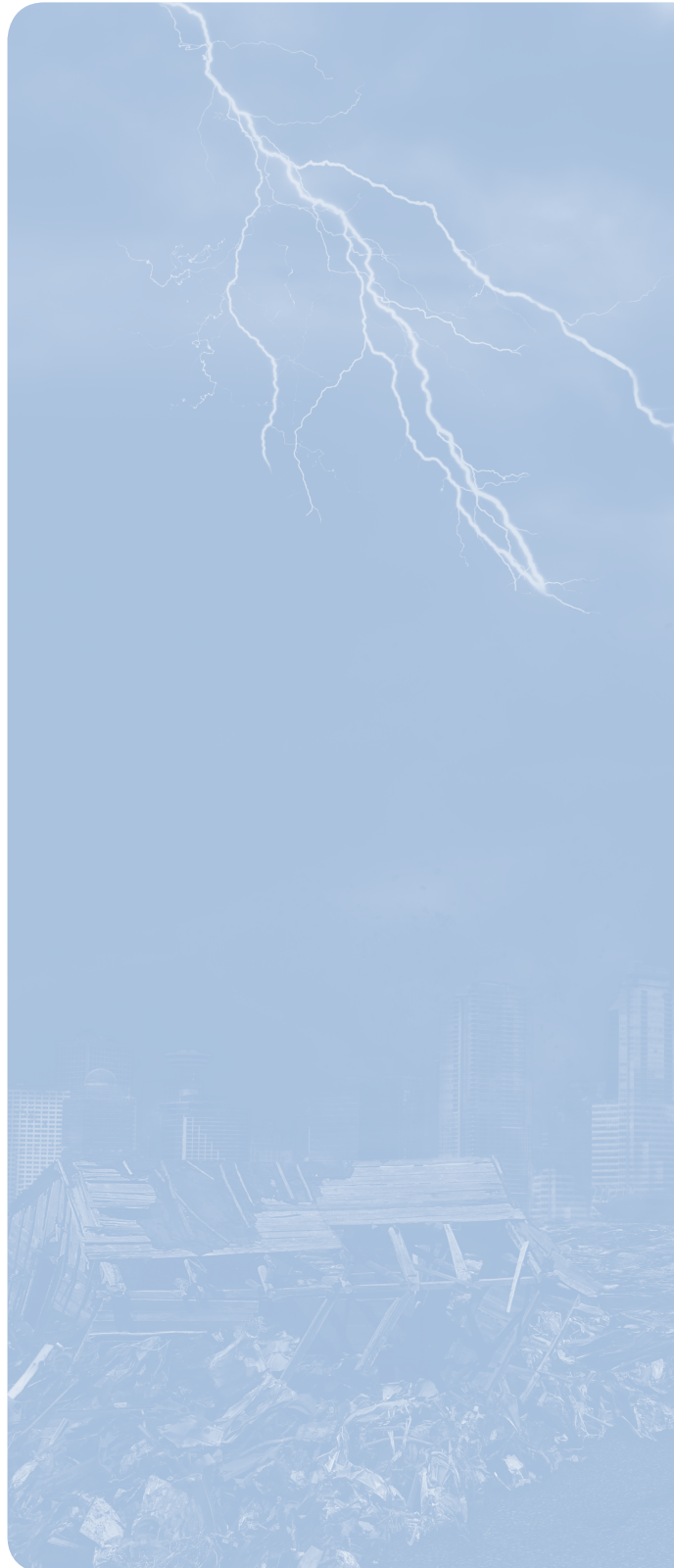
발행일 2018년 01월 04일

발행인 이광렬

편집인 최수영 · 이현숙

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터
02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
Tel. 02-958-4984 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 승일미디어그룹 주식회사 Tel. 070-7416-4124



| 재난 붕괴지역 형상정보 취득 및 매몰자 탐지 기술

2016년 개봉한 영화 '터널'은 붕괴된 터널 안에 갇힌 주인공이 애타게 구조를 기다리는 내용이다. 주인공은 붕괴된 터널 안에서 외부에 자신의 위치를 알리고자 하지만, 구조팀은 매몰된 주인공의 위치를 정확히 파악하지 못하고 다른 곳에 구조구멍(굴착지점)을 뚫어 구조에 난항을 겪는 장면이 나온다. 영화에서는 주인공은 구조되지만 원작 소설에서 주인공은 구조되지 못한다고 한다.

영화 '터널'이 인기를 모았던 이유는 최근 전세계에서 증가하고 있는 대형 지진 및 삼풍백화점 붕괴 및 도심지 싱크홀과 같은 직간접적인 경험으로 우리도 이와 같은 상황을 겪을 수 있다는 불안감이 반영되었기 때문일 것이다. 특히 최근 우리나라도 2016년 경주지진, 2017년 포항지진과 같은 진도 5이상의 지진이 발생하고 있는 만큼 재난으로 인한 사상자 및 재산피해를 줄일 수 있는 기술에 주목할 필요가 있다.

이에, 본 호 1부에서는 재난으로 인한 붕괴지역에 매몰자가 발생할 경우 드론을 이용해 붕괴지역의 형상정보를 취득하고 통신기술로 매몰자의 위치를 탐지하는 기술을 다루고자 한다. 이 기술은 현재 활용 영역이 확대되고 있는 드론과 매몰자 대부분이 가지고 있을 스마트폰을 활용하는 기술로 재난으로 인한 대형 인명 및 재산피해를 줄이는 데 유용할 것으로 예상되며 재난 발생 시 인명구조에 활용될 수 있기를 기대해본다.

| 복합재난관리의 현황과 전망

최근 전세계적으로 발생하는 재난은 지진, 화재, 풍수해 등과 같이 단순히 1차적인 재난이 아니라 재난의 양상이 복잡한 복합재난으로 변해가고 있다. 예를 들어, 동일본대지진의 경우 지진으로 인한 피해보다는 쓰나미로 인한 후쿠시마 원자력 발전소 파괴로 인한 피해가 더 컸다. 또한, 우리나라의 메르스 사태, 중국의 화학공장 폭발 사고 등 이제껏 우리가 겪어보지 못한 재난이 발생하고 있다.

재난을 사전에 예방하고 대응하는 기술도 중요하지만, 재난 발생시 사회 전반으로 피해가 확산되는 연쇄효과를 막아 대형재난으로 확대되는 것을 방지하는 것도 무엇보다 중요하다. 우리나라도 재난 방지 및 관리 체계 마련에 노력하고 있지만, 지진과 같은 재난에 익숙하지 않았기에 2016년 경주지진 당시 재난 관리 체계에 허점이 그대로 드러났다. 이렇듯 우리나라의 복합재난에 관한 노력에도 불구하고 아직까지 사회적 인식 및 학술적·제도적으로 부족한 것이 사실이다.

이에, 본 호 2부에서는 복합재난관리에 대한 필요성과 국내외에서 정의하는 복합재난 관리 및 복합재난 관리에 대한 효과적 대응 사례를 소개하고자 한다. 또한, 체계적인 복합재난관리를 위한 제언을 통해 우리나라의 복합재난관리의 체계 및 지원정책 마련에 활용 될 수 있기를 기대해본다.

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2018 January vol.4 no.1

<http://cipc.kist.re.kr>

01

재난 붕괴지역 형상정보 취득 및 매몰자 탐지 기술

한국건설기술연구원 ICT 융합연구소
문현석 (hsmoon@kict.re.kr), 이우식(wslee@kict.re.kr)

01' 서론

1.1 배경 및 필요성

2014년 4월 발생한 세월호 사건을 계기로 국가적 차원에서 다양한 분야의 재난관리 체제의 필요성이 증대 되었다. 해상사건 뿐만 아니라, 도심지의 싱크홀 붕괴 등으로 인해 지하시설물의 통합관리 필요성에 대한 인식이 널리 확대되었다. 또한 최근 발생한 포항지진에서도 이러한 시설물 안전관리와 재난발생시 인명구조에 대한 관심이 고조되고 있다.

그림 1

우리나라 대형 재난사고

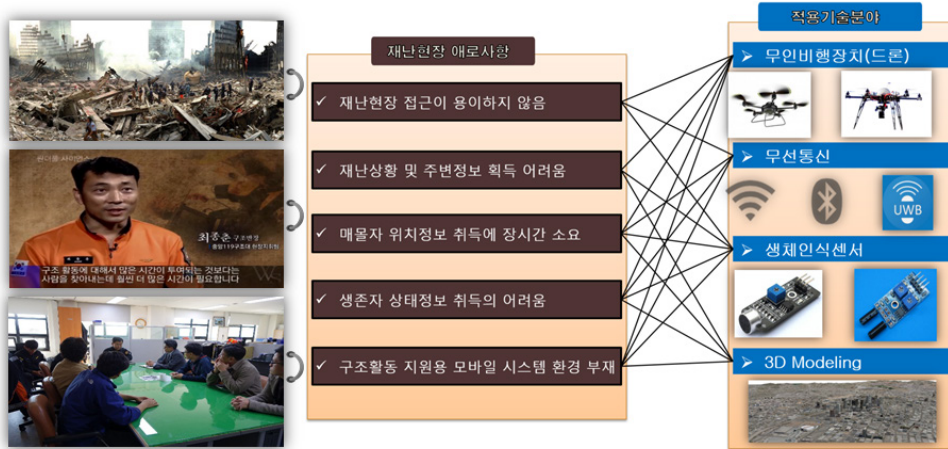


본 연구는 2015년부터 2017년까지 미래창조과학부(현, 과학기술정보통신부)의 예산을 받아 한국건설기술연구원에서 수행한 “붕괴지역 형상정보 구축 및 매몰자 탐지기술 개발” 연구의 일부 발췌 및 수정·보완 하였습니다.

특히 재난발생시 도심지의 건물이 붕괴되거나 싱크홀 등으로 지하철 및 지하철도 등이 붕괴될 경우 매몰자가 발생한다. 2012년을 기준으로 건물붕괴사고는 매년 증가되고 있고 인명 피해도 지속적으로 증가하고 있다. 2015년 국민안전처에 따르면 전국 재난위험시설은 1,193개, 서울의 40년 이상 노후건물은 12만채 수준으로 붕괴위험을 상시적으로 내포하고 있다. 이러한 시설에 포함지진과 같은 대형지진이 발생할 경우 막대한 인적·물적 손실이 발생할 가능성이 높다. 특히 다수의 건물, 지하구조물 등에 미쳐 대피하지 못한 사람들이 매몰될 가능성이 높아진다. 이들을 골든타임 내에 매몰위치를 확인하고 구호하는 것은 가장 중요한 활동이 될 수 있다. 이들의 매몰위치 및 상태를 확인하는 것은 주로 소방관 등 특수구조대가 인명탐지견 등을 대동하여 매몰지 상부나 주변을 탐색하거나 음향, 전파, 영상 등의 장비를 직접 휴대하여 매몰자의 위치나 상태를 확인한다.

하지만 기존 구호방식을 활용할 경우 구호인력이 붕괴지형 상부로 구호팀이 투입이 되어 생존자를 탐색하므로 많은 시간과 비용이 발생되고 이에 따른 신속한 생존자 탐지가 어려우며, 잔해들의 추가 붕괴 가능성에 따라 2차 피해가 발생할 수 있다. 따라서 구호인력의 붕괴지점에서의 직접 투입 방식을 지양하면서 매몰자의 위치를 신속하고 정확하게 탐지하기 위한 기술개발이 무엇보다 필요하다. 재난 현장에서 매몰자를 탐지하기 위해서는, 구조 업무를 수행하는 인력이나 관리자가 현장의 실제 붕괴 정도 및 현재 상태를 신속하게 파악하여야 구조 업무가 순조롭게 진행될 수 있다. 하지만 위험한 현장 여건 및 인력의 한계로 인하여 재난 현장의 상황을 신속하고 정확하게 파악하는 일은 쉽지 않은 일이다. 붕괴 현장의 경우 사람의 접근 시 추가 붕괴의 위험 등으로 사건이 발생한 부분에 접근이 어려워 현장의 정보를 쉽게 파악할 수 없으며, 넓은 재난 지역의 경우 한정된 구조 인력을 활용하여 현장의 실제 붕괴 상황을 파악하기 힘들어 생존자 구조에 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다. 이와 같은 어려움을 극복하기 위하여, 흔히 드론으로 알려진 무인비행체(UAV; Unmanned Aerial Vehicle)를 활용하여 재난 현장의 붕괴 지형의 형상을 파악하고 잔해 속에 매몰자 인명의 위치를 신속하게 확인하는데 활용하고자 한다. 인명구조를 위해서는 우선, 전체적인 붕괴지형을 입체적으로 파악한 후 매몰지점 상부와 하부에서 신속하고 정확하게 매몰자의 위치정보를 취득하여 구조자와 공유함으로써 원활한 구호활동을 수행할 수 있다.

그림 2 재난현장 문제점 및 적용기술 분야



1.2 드론기반 매몰자 탐지 및 확인을 위한 연구개발 프레임워크

드론기반 매몰자 탐지 및 확인을 위한 연구개발 프레임워크는 다음 그림과 같다.

그림 3 무인비행체(드론)기반 인명탐지 체계 구성도



지진에 의해 지반붕괴에 따라 건축물 또는 지하시설물이 붕괴될 경우 공동구¹⁾에 다수의 매몰자가 매몰된다. 이때 매몰자가 휴대하고 있는 휴대기기가 파손됨이 없이 신체 인근 또는 몸에 소지하고 있는 것으로 가정한다. 그리고 재난이 발생하면 무선신호를 강제적으로 활성화하기 위해 특정 코드를 담은 재난발생 문자를 해당 재난지역 거주자에게 전송한다. 이후 재난 발생상황을 소방서나 경찰 등의 구조인력에게 통보하고 신속한 시간 내에 재난현장에 접근할 수 있는 상황인지 파악한다. 매몰자의 생존 골든타임 내에 구호가 가능한 인접환경이라면 직접 현장에 도착하여 매몰자 탐지 드론을 운영할 수 있다. 그렇지 않을 경우 원격으로 드론을 현장에 투입하여 재난지역 반경으로 자율비행 기능을 활성화하고 경로 계획을 미리 설정한다. 이때 재난 구역의 규모에 따라 드론을 1대 또는 그 이상 투입할 수 있다.

드론이 경로계획에 따라 재난지역 상공을 비행하게 되고 드론에 탑재된 인명탐지 모듈과 함께 스테레오 비전 모듈을 활용하여 붕괴지형의 이미지를 취득하고 내부 알고리즘을 통해 3차원 붕괴형상 정보를 구축한다. 붕괴지형 정보 취득과 동시에 드론에 탑재된 매몰자 탐지 모듈을 통해 실시간으로 매몰자 휴대기기의 신호를 스캐닝하고 인명의 상태 또는 위치를 확인할 수 있는 센서 정보를 취득하게 된다. 만약 비행하는 동안 1개 또는 그 이상의 무선신호가 인식될 경우 관련 탐지정보를 드론의 비행제어 모듈에 전송하고 일정시간 동안 호버링(Hovering)²⁾ 모드로 자동 전환된다. 호버링 시간동안 매몰자가 송출하는 무선신호 정보와 기압센서 정보를 전송받아 실시간으로 내장 메모리에 저장되고 <그림 3>에 도식한 바와 같이 4G LTE망을 통해 지상부의 데이터 수집 서버로 전송된다. 만약 통신망이 단절될 경우 휴대용 재난안전 통신망인 재난-LTE를 활용할 수도 있다. 수집된 데이터는 정밀한 위치정보로 변환되고 웹 서버를 통해 해당 위치정보가 시각적 정보로 가공되어 3D 붕괴지형이나 Open Map상에 표출된다. 이때 신호강도에 따라 표출되는 위치 점의 색상이 달라진다. 이러한 과정에 따라 12시간 이내에 3D 붕괴지형 취득 및 인명탐지를 완료하여 생존 골든타임 내에 매몰자를 구호할 수 있도록 한다.

i) (편집자) 전기·가스·수도 등의 공급시설, 통신시설, 하수도 시설 등의 인프라 시설을 위한 지하 공간
ii) (편집자) 제자리 비행 또는 정지비행

02' 매몰자 탐지 기술현황 분석

2.1 국내외 측위기술 동향

국내의 무선신호를 활용한 위치 인식기술은 주로 실내공간을 중심으로 이루어졌다. 한국과학기술원(KAIST)은 등록된 액세스 포인트(Access Point, AP)ⁱⁱⁱ⁾ 기기의 위치 즉, AP DB(Data Base)를 기준으로 범위 내에 탐지되는 실내 휴대기기의 신호를 감지하여 사용자의 위치를 정확하게 탐지해 내는 기술을 개발한 바 있다. 이러한 기술을 활용하여 백화점 및 대형 쇼핑몰(COEX 등)에서 주차된 차량의 위치를 인식하거나 사용자의 구매 선호도를 고려하여 선호하는 가게의 위치나 구매 정보를 표현해주는 기술들이 실용화되고 있다. 또한 실내공간 지도(Radio Map) 구축을 통한 서비스 개발에 따라 실내 내비게이션(myCOEX) 등에 활용된 바 있다. 또한 베헤럴빌더스는 모바일 기기와 실시간 실내 측위 시스템과의 연동을 통해 실내 위치정보를 제공하기 위한 기술 IndoorLBS Mobile을 개발하였다. SKT는 비콘(Beacon) 기술을 활용하여 실내 위치 측위 플랫폼을 개발하였으며, 이를 통해 길 찾기, 쿠폰, 광고 등 생활 서비스 관련 기술 개발이 이루어지고 있다. 또한 SKT는 건물 내의 사용자 위치를 층 단위까지 알려주는 '차세대 복합측위 시스템(enhanced Hybrid Positioning System: eHPS)를 개발한 바 있다. 이는 GPS 신호가 도달하지 않는 건물 내에서 스마트폰 고도계 센서와 Wi-Fi 신호 정보를 활용, 사용자의 위치를 층 단위까지 확인할 수 있도록 하였다. 한국 전자통신연구원(ETRI)은 쇼핑센터 실내 측위를 통해 고객이 원하는 물건을 쉽게 찾고, 해당 상품 정보를 제공하도록 하는 기술을 개발한 바 있다. 이는 쇼핑카트에 설치된 LED 센서를 통해 LED 전등으로 측위를 하는 방식으로 각 위치에 따라 LED 조명의 가시 주파수를 조정하고, 이를 LED 센서로 인지하여 위치별로 부여된 위치 아이디를 블루투스를 통해 스마트폰 쇼핑 센서 지도 애플리케이션으로 전송하는 기술이다. 2013년 5월 국토교통부는 주요 다중이용시설의 실내공간정보를 구축하여 실내 이동경로, 긴급대피로 안내 및 긴급 상황 위치 알림 등의 서비스에 활용할 계획으로 구축하였다.

iii) (편집자) 무선 LAN에서 기지국(유선과 무선을 이어주는) 역할을 하는 소출력 무선기기



한국과학기술원(KAIST)에서는 실내 위치 인식을 위해 실내공간 지도 구축을 자동화하고 관련 위치 인식 알고리즘을 개발하여 참여형 스마트폰 실내 위치인식 시스템(KAILOS)을 구축한 바 있다.

최근 이동통신사는 경찰과의 공조를 통해 위급상황에서 제한적으로 개인 스마트폰의 Wi-Fi 기능을 강제로 활성화시켜 경찰의 긴급출동을 위해 사용자의 위치 정보를 활용한 바 있다. 또한 2014년 10월 방송통신위원회 주도로 실내의 Wi-Fi 정보 활용 플랫폼을 구축하여 관련 국가기관에 정보를 제공하고 있었으나, 스마트폰 Wi-Fi가 비활성화 되어 있을 경우 정보 확인이 불가능하였다. 하지만 본 연구에서 사용될 플랫폼은 화재, 구급, 납치 등 긴급 상황에서 전국의 Wi-Fi AP DB 정보 활용을 통해 긴급구호의 신속성과 정확성을 높일 수 있도록 하고 있다.

2.2 음향, 영상, 전파기반 탐지기술

국내외에 널리 활용되는 매몰자 탐지방법으로는 <그림 5>와 같이 영상, 음향 및 전파 등을 활용한 기기를 사용하여 구호인력이 직접 붕괴현장으로 투입되는 수동적 운용 방식을 따른다.

그림 5

기존 매몰자 탐지 장비



매몰자 영상탐지 장비는 주로 내시경 카메라를 이용하여 좁은 곳에서 영상으로 매몰자 확인 및 탐색하는 장비이다. 이는 LED 조명을 활용하여 어두운 곳에서 2m 밖의 물체 식별이 가능하며, 유·무선을 통해 휴대용 화면장치에 상황을 표시하는 방식을 사용한다. 음향을 이용한 탐지 장비는 붕괴지 내부의 진동 및 소리를 탐지하여 매몰자를 찾아내는 장비이다. 이는 다중 센서를 선택적으로 활용하여 음향을 탐지하며, 주로 영상 탐지 장비와 함께 운영된다. 한계 탐지거리는 30m내외이며 외부 소음에 영향을 받는다. 마지막으로 전파탐지 장비는 붕괴지 내부에 전파를 투사하여 손가락 움직임과 같은 불규칙적 활동, 호흡에 따른 흉부의 움직임을 감지하여 매몰자의 위치 및 생존여부를 파악하는 장비이다. 이는 UWB(Ultra Wide Band)기술을 이용하며, 움직임에 대한 최대 탐지거리는 30m, 호흡 감지거리는 10m 이내이다. 특히 다수의 안테나가 설치 활용될 수 있다.

이와 같은 탐지 방법들은 탐지 거리의 한계와 더불어 구조자가 수동적으로 임의의 위치를 찾아가 장비를 세팅해야 하므로 장비 운용이 어려워, 대형사고 현장에서는 사용되기 불가능 하다고 판단된다. 또한 현장으로 직접 장비를 투입하므로 2차 붕괴의 위험을 수반한다. 다수의 매몰자가 넓은 지역에 분포하였을 경우 탐지 거리를 벗어난 매몰자는 구조가 어렵고, 매몰자의 위치가 탐지 거리 내에 있는 경우 발견한다 할지라도 매몰자 발견 및 구호까지의 시간이 얼마나 걸릴지 알 수가 없다. 이를 해결하기 위해, 한국건설기술연구원(KICT)은 매몰자들이 스마트폰 등을 소지했다는 가정하에 기기들의 센서 신호정보에 따라 위치를 탐지하는 비접촉식의 UAV 탑재형 무선신호 기반 인명탐지 모듈을 개발하고 구현체계를 검증하였다.

2.3 드론을 활용한 긴급구호 및 재난분야

미국의 미래학자인 토마스 프레이는 192개의 드론 활용 분야 중 조기경보시스템(Early Warning System) 및 응급서비스(Emergency Services) 분야에서 드론을 재난재해용으로 활용할 수 있을 것이라고 하였다. 해외에서는 재난분야의 드론 개발 및 활용이 활발하지만, 국내에서는 화재로부터의 산림보호, 시민안전사고 예방, 재난현장 정보 제공, 조난자 위치파악 및 긴급물품 제공 등에 초기단계의 드론 활용이 이루어지고 있다.

최근 우리나라 소방분야에서 산악 화재시 사람이 접근할 수 없는 지역에 드론을 활용하는 등 초기 재난재해 대응에 드론을 활용하고 있다. 부산과 강원도 정선에서는 산불 진압용으로, 서울시는 재난사고 현장에 구조용 드론을 도입하여 재난현장의 실시간 상황 파악과 산악 및 수난사고시 실종자 수색에 활용할 예정이다.

그림6 재난분야 드론 개발 사례

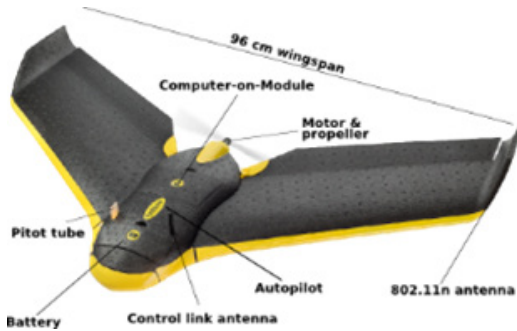


해외의 재난분야 드론 활용사례를 보면 2014년에 유튜브를 통해 소개되었던 앰블런스 드론이 대표적인 사례이다. 이는 사고로 고립된 고속도로나 산간벽지 같은 곳에 응급환자가 발생할 경우 자동제세동기(AED)를 탑재한 드론이 신속하게 접근하여 카메라를 통해 원격으로 구급대원의 지시에 따라 생존자를 구

호할 수 있도록 하는 프로토타입이었다. 스위스 Flyability 사에서 개발한 '짐볼(Gimball)'이라는 재난용 드론은 축구공 모양의 탄소섬유 뼈대로 구성되어 벽이나 사물과 충돌해도 추락을 방지할 수 있다. 특히 2014년 영국의 Wired지에는 스위스 로잔공대의 EPFL 연구소에서 개발된 오픈된 공간에서의 실종자 휴대기기 신호를 감지하여 10m 이내로 위치를 탐지하는 상용드론(SenseFly eBee)을 소개한 바 있다<그림 7>. 이는 휴대기기의 Mac 주소를 활용하여 휴대기기의 Wi-Fi 신호를 활성화하고 드론에 탑재된 2개의 안테나를 통해 해당 신호를 수신하여 위치를 측위하고 있다.

그림 7

스위스 로잔공대(EPFL)의 드론을 활용한 실종자 탐지 기술 개발 사례



03' 무선통신 기반 매몰자 탐지기술 타당성 분석

3.1 무인항공기 이동성을 고려한 최적 무선통신 방법

3.1.1 매몰자 탐지 방법 검토

〈2.2〉에서 설명한 바와 같이 기존의 영상, 음향, 전파 등을 이용한 탐지 장비들은 탐지 거리의 한계와 더불어 구조자가 붕괴지역으로 접근해서 장비를 운영해야 하는 제약이 있다. 이러한 방식은 2차 붕괴위험을 가질 수 있으며, 장비의 셋팅과 투입에 일정 시간이 소요되는 단점이 있어 신속한 매몰자 위치 탐지에는 한계가 있다. 이러한 한계는 구조자의 접근 방식이 아닌 비접근 방식의 무선신호 탐지를 통한 매몰자 탐지 방식이 대안이 될 수 있다. 이 방식을 활용하면 무선신호를 접촉하지 않고 붕괴지역 상공에서 수집하여 이에 따른 위치를 추정할 수 있다면 개략적인 매몰자의 위치를 판단하여 구호 프로세스를 마련하는 것이 가능하다. 그렇다면 과연 매몰자 휴대기기의 신호를 찾기 위해서는 어떠한 무선신호 타입과 방법을 적용해야 하며, 각 무선신호 타입에 따른 탐비범위와 적용 타당성을 검토할 필요가 있다.

3.1.2 매몰자 탐지를 위한 무선통신 선정

기존의 무선통신 기반 위치추위 기술은 Wi-Fi 등을 활용하여 건물의 실내를 대상으로 개발되었다. 그러나 붕괴 지형과 같은 재난상황에서는 건물의 매몰 형태를 특정할 수 없으며, 기존 실내위치 측위와 같이 무선 AP DB 정보를 활용할 수 없는 환경이 발생된다. 붕괴지형의 특성은 건물이 붕괴된 이후 관련 인프라도 손실되어 모든 통신망이 작동되지 않은 상태에 놓이게 된다는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존 통신망이 작동하지 않은 상태에서 위치를 탐색하기 위한 Wi-Fi 활용 정밀 위치탐지 기술이 개발되고 적용되고 있다.

Wi-Fi기반 위치는 주로 Wi-Fi가 송출하는 신호의 감도에 따라 위치 정확도가 달라진다. 신호 감도가 높을 경우 상대적으로 정확한 위치를 탐지할 수 있으며, 거리와 장애물에 따라 신호세기가 감쇄되어 위치탐지

확률이 감소된다. Wi-Fi를 활용한 위치 측위방식은 크게 삼각측량(Triangulation) 방식과 AP에 대한 신호 세기 정보를 활용하는 Fingerprint 방식이 있다. 삼각측량 방식은 지정된 AP 위치로부터의 신호세기를 통해 거리를 계산하는 방식이다. 수신되는 신호가 주변 환경에 따라 차이가 발생되므로 오차도 크게 발생된다. 반면, Fingerprint 방식은 위치 측위 공간을 다수의 셀로 분할하고 각 셀에서의 신호세기와 신호를 보낸 대상의 정보를 함께 저장한다. 이는 실내공간 지도로 구성되고 자신의 신호와 비교하여 위치를 결정하는 방식이며, AP 구축 수준에 따라 2m 내외에서 위치를 결정할 수 있다.

주파수 측면에서는 일반적으로 주파수가 낮은 전파일수록 회절성이 강하고, 높을수록 투과성이 강해진다. 회절성이 강한 경우 벽 등의 장애물 사이의 빈 공간을 통해 전파가 도달할 가능성이 높아지며, 투과성이 높으면 벽 등의 비회절성 물체를 통과하여 전파가 전달될 가능성이 커진다. Wi-Fi가 타 GPS나 RF의 경우와 달리 높은 대역폭을 가지므로 회절성보다는 투과 또는 반사의 특성을 가지므로 붕괴된 지형내부에서의 위치 탐지를 위한 최적의 기술로 선정하였다.

Wi-Fi를 활용한 실내 측위의 가장 큰 장점은 벽에 대한 투과성이 어느 정도 보장되고, 대부분의 사람이 스마트폰을 소유하고 있기 때문에 인프라 구성에 비용이 크게 들지 않는다는 점이다. Wi-Fi 송수신기는 스마트폰에 기본적으로 내장되어 있고, 스마트폰 초기 모델에서도 모바일 데이터를 Wi-Fi를 통해 다른 기기와 공유하는 기능이 포함되어 있다. 이는 인프라 구성 측면에서 시스템 구성에 제약이 거의 없음을 의미하며, Wi-Fi를 이용한 시스템 구성에 성공하였을 때 보다 많은 사용자가 혜택을 받을 수 있다.

3.2 무선신호 송출을 위한 휴대기기 탐지 커버리지 확인

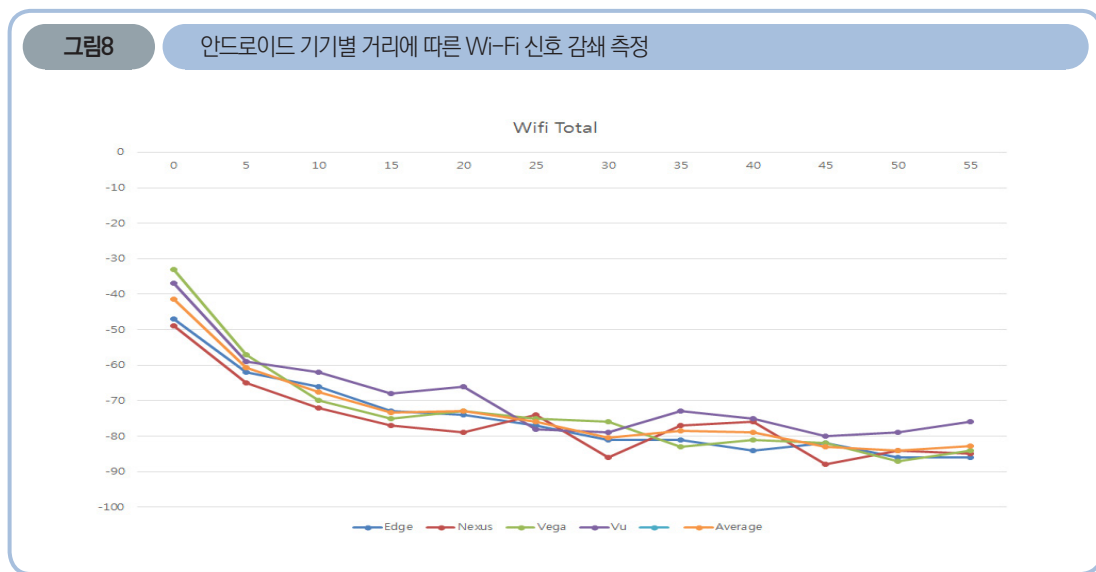
3.2.1 Wi-Fi 센서 데이터 수집 및 추출

본 기술에서는 Wi-Fi 신호의 탐지 커버리지를 확인하기 위하여 스마트폰의 센서 값을 주기적으로 수집하는 어플리케이션인 Sensor Collector를 안드로이드 플랫폼 기반으로 개발하였다. 이를 활용하여 실제 이상적인 현장에서 Wi-Fi 신호의 탐지 커버리지 확인 및 거리별 신호 감쇄특성에 대한 타당성을 분석하기 위해 실증 테스트를 수행하였다. 본 실증 테스트를 통해 이론적으로 무선신호가 Log 감쇄곡선을 갖는지 확인하였다.

사용된 장비로는 서로 다른 기존인 4대의 안드로이드 스마트폰이 선정되었다. 이를 통해 Wi-Fi 및 Bluetooth 신호의 상호 특성을 파악하고 거리에 따른 무선신호의 변화를 확인하였다. Wi-Fi 신호 분석은 측정지점을 5m 간격으로 55m길이로 설정하였다. 그런 다음 각 간격의 기준점에서 무선신호의 세기를 검토했다.

3.2.2 Wi-Fi 신호 감쇄 테스트

신호 데이터의 수집은 각 기기별로 수행되었으며, 일반적으로 Wi-Fi 신호 강도는 송신기로부터 거리가 멀어질수록 Log-scale로 감소하는 LDPL (Log-distance path loss) 모델을 따른다. 만약 Wi-Fi기반 위치인식 기법을 사용할 경우 LDPL 모델을 고려하지 않는다면 결과의 정확도 손실을 가져올 수 있다. 이를 고려하여 적합도 테스트를 수행하므로 이론과 신호의 실제 특성의 유사도 여부를 판단한다. Wi-Fi 신호 테스트는 5m 단위로 측정되므로 5m 간격의 측정지점사이를 이동하면서 시간에 따른 신호세기를 측정하였다. <그림 8>은 기기별로 거리에 따른 Wi-Fi 신호 변화 양상을 나타낸 것이다.



X축은 송신기로부터 55m 끝 지점까지 걸어가는 시간을 나타내며, Y축은 이동 시간 즉 거리에 따른 신호의 세기를 나타낸 것이다. 신호의 세기는 '-db'로 나타내며 값이 클수록 신호의 세기도 강함을 의미한다.

〈그림 8〉에서처럼 각각의 그래프에 대해 추세선을 확인하면 Log의 형태로 신호가 감쇄하는 것을 볼 수 있다. 기기의 Wi-Fi 모듈에 따라 송신하는 강도가 상이하므로 감쇄의 양상이 다소 차이가 있으나, 그 비율은 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 약 10m 정도의 거리까지는 Wi-Fi 신호가 급격히 감소하고, 이후 거리가 멀어짐에 따라 신호의 감소 비율이 크게 변하지 않는 것을 알 수 있다. 또한 각 기기별 거리에 따른 Wi-Fi 신호의 양상과 그 평균을 보여주며, 기기 별로 절대적인 신호 값은 다를 수 있으나, 그 차이가 크지 않고 비슷한 양상을 보인다는 것을 확인할 수 있다.

Wi-Fi 신호의 커버리지 확인 테스트를 통해 Wi-Fi 신호의 가용범위는 60-70m 정도인 것으로 확인하였다. 실제의 신호가 이론적으로 알려진 것과 다르지 않고 거리에 따라 신호의 강도가 감쇄하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 매몰자 탐지를 위해 드론의 비행고도와 무선신호 감쇄특성을 고려하여 최종 Wi-Fi에 의해 매몰자 탐지를 수행하는 것으로 결정하였다. 또한 매몰자 휴대기기에서 송출하는 Wi-Fi 신호를 어떻게 수신하고 이에 따라 위치를 측정할 수 있는지에 이를 수행하는 매몰자 탐지모듈 H/W와 위치정보를 2차원 지도에 표출하는 프로그램을 개발하였다.

04' 무선신호 기반 매몰자 탐지모듈 개발

4.1 개발개요

4.1.1 개발개요 및 요구사항

본 기술은 재난현장으로 UAV(드론)를 신속히 투입하여 생존 골든타임 내에 매몰자를 구호하기 위해 도입

하였다. 일반적인 드론은 비행을 통한 이미지 및 영상 촬영에 중점을 두고 있으나 본 기술에서 개발한 드론은 안정적인 비행 기능과 함께 매몰자의 휴대기기 신호를 탐지하여 위치를 측위 할 수 있는 매몰자 탐지모듈을 탑재하였다.

매몰자 탐지모듈의 개발 기본 요구사항은 드론탑재 및 상호 제어가 가능한 무선신호 기반 매몰자 통신모듈을 구축해야 하는 것이다. 본 모듈에는 매몰자 휴대기기의 무선신호를 감지하기 위한 신호 스캐닝 기술이 적용된다. 이는 드론 자체가 Wi-Fi AP 역할을 하며, 이에 따라 스마트폰에서 송출되는 Wi-Fi 신호 강도 감지 및 기압센서로부터의 매몰 깊이 정보 추정을 통해 매몰자의 위치를 측위 할 수 있도록 한다. 이러한 정보는 지상 통제부로 실시간 전송을 통해 매몰자의 정밀 위치를 계산한다. 이렇게 분석된 위치 정보는 드론 비행 동안 취득된 스테레오 비전(Stereo Vision)에 의해 구축된 3차원 붕괴지형 모델에 시각적으로 위치가 표출된다.

개발 조건 및 상세 기술적 요구사항으로는 기본적으로 자체 전원(4,200mA급)에 의해 1시간 이상 작동되어야 하고 전력이 일정수준 이하로 낮아지면 드론 및 짐벌의 배터리를 공유할 수 있도록 해야 한다. 지향성 안테나 탑재를 통해 탐지 범위를 특정화하고 오탐지를 줄여 무선신호 인식성능을 높일 수 있어야 한다. 또한 무선신호 표준인 IEEE 802.11 b/g/n을 지원하여 전송속도 및 인식강도를 개선해야 한다. 실시간으로 수집되는 매몰자 휴대기기의 무선신호 및 센서 정보는 LTE(Long-Term Evolution)를 통해 지상부에 송출되어 위치정밀도 처리 개선과 위치 표출에 활용된다. 본 모듈은 드론에 기본적으로 탑재되어 범용성을 갖도록 짐벌에 장착 가능한 형태의 마운팅 모듈을 탑재해야 한다. 드론에 탑재하는 경우 드론의 비행경로에 따라 매몰자 무선신호를 감지하게 되는데 감지 확률과 신뢰성 있는 데이터의 확보를 위해 강한 무선신호 값이 송출되는 지점에서 드론이 이를 인식하여 자동적으로 호버링 기능을 활성화 할 수 있도록 해야 한다. 그리고 일정 시간 동안 비행 후에는 사전 설정된 경로로 재비행하도록 한다. 특히 Wi-Fi 신호강도가 높은 지점의 위치 값을 GPS로부터 취득해야 한다. 특히, 기존 GPS가 오차가 크므로 매몰자 위치 변동성을 가질 수 있어 수 cm 이내의 측위 성능을 갖는 RTK-GPS 모듈을 탑재한다. 즉 H/W를 통해 취득된 위치 데이터를 1차 제공하여 S/W 분석을 통해 정밀한 2차 위치정보를 계산한다. 또한 매몰깊이를 추정하기 위해 매몰자 휴대기기로부터 기압센서 정보를 수집할 수 있어야 한다. 기압 및 기후정보를 통해 해면기압을 기준으로 고도 값 즉, 매몰 깊이 값을 추정할 수 있어야 한다. 이렇게 수집된 데이터는 무선통신망을 통해 지상부에 전송되고 분석된 매몰

자의 정밀 위치 값은 3D 붕괴지형이나 오픈 맵에 시각적으로 표출되도록 해야 한다.

4.1.2 무선신호 기반 매몰자 탐지 체계

드론에 탑재된 매몰자 위치탐지 모듈은 2차원 위치 및 깊이값을 포함한 3차원 위치측위를 수행한다. 붕괴 지형에 매몰된 매몰자는 휴대기기를 소유하고 있다고 하더라도 붕괴된 잔해 내에서는 휴대기기로부터 송출 되는 무선신호의 강도는 약해질 수밖에 없다. 그리고 붕괴잔해들 틈사이로 일부는 투과하고 일부는 회절이 나 반사를 통해 지상으로 송출되는 특성이 있다. 특히 Wi-Fi의 신호 특성으로 평면상에서의 신호강도만 확인할 수 있으며 이때 가장 강한 신호강도를 측정할 때의 GPS위치를 기록하여 매몰자의 2차원 평면위치를 추정하게 된다.

매몰깊이의 추정은 이론적으로는 무선신호만으로 측정이 가능하나 실제 측정 시에는 이를 확인할 수 없으므로 휴대기기에 탑재된 기압센서와 퓨전을 통해 매몰깊이의 Z값을 추정할 수 있다. 기압정보는 단순히 휴대기기가 측정하는 기압 값과 해당 지역의 측정일과 시간대의 기후에 따른 외부 기압정보를 동시에 활용하여 좀 더 정확한 매몰깊이를 추정할 수 있다. 특히 매몰깊이가 서로 다른 매몰자의 신호강도별 위치 측정 시에는 상대적으로 가장 깊이 매몰된 매몰자의 무선신호를 탐지할 확률이 낮아진다. 이러한 경우 가장 깊은 매몰자의 신호를 바로 상부의 위치에 매몰된 매몰자의 휴대기기로 해당 신호강도를 전송하고 이를 드론으로 송출할 수 있도록 한다면 깊이에 상관없이 다수 매몰위치의 동시 추정이 가능하다. 이렇게 측정된 휴대기기의 신호강도, Mac 주소, GPS위치 및 기압에 의한 깊이 값을 지상부에 무선통신을 통해 전송하여 드론으로 구축된 3차원 붕괴지형 정보위에 해당 위치 값을 신호강도에 따라 색상을 구분하여 2차원 Open Map(네이버 및 구글 지도)에 표시한다. 이들 정보가 모바일로 연계되면 현장에서 실시간으로 위치정보가 구현되며, 현재 구호인력의 위치에서 매몰자 위치방향으로의 네비게이션 역할을 할 수 있다. 이와 같이 매몰자 탐지 모듈은 신속한 매몰자 위치 탐지를 통해 정확히 골든타임 내에 인명구조를 위한 도구로 사용될 수 있다.

4.2 무선통신 기반 인명탐지 모듈 개발

4.2.1 인명탐지 모듈의 개발 메카니즘 구축

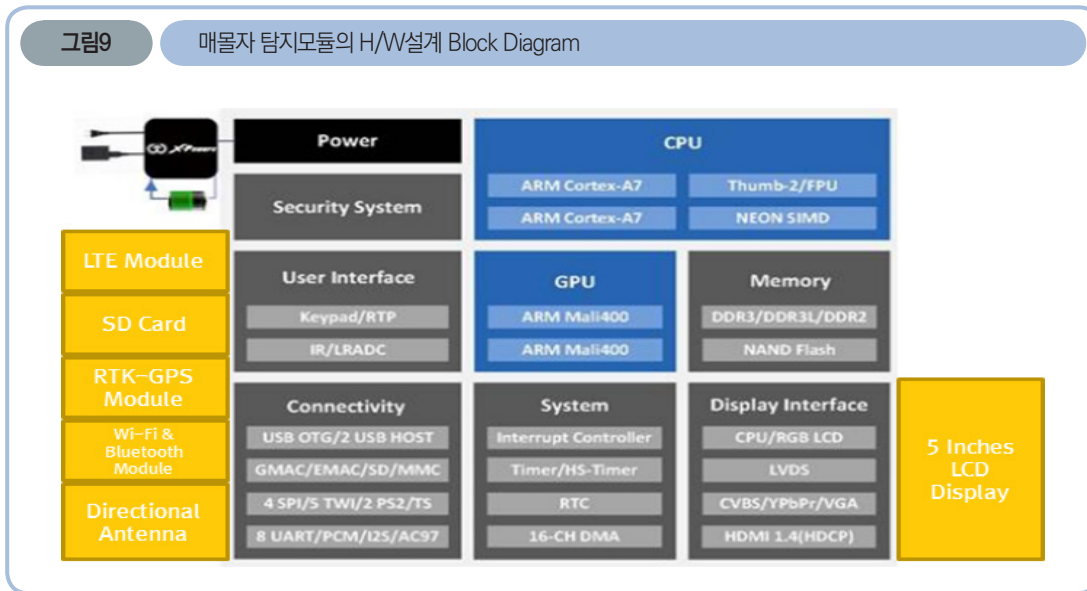
매몰자 탐지 모듈은 기본적으로 무선 AP의 역할을 함과 동시에 신호정보를 취득하여 높은 신호강도를 갖는 매몰자 지점의 위치를 기록하여 지상부에 실시간으로 전송하는 역할을 한다. 여기에는 무선신호 스캐닝 기술을 적용하였다. 본 기술은 매몰자 탐지모듈에 탑재한 지향성 안테나를 통해 일정 범위내의 휴대기기로부터 송출되는 무선신호 세기 즉, RSSI(Received Signal Strength Indication)를 측정한다. 이때 해당 기기의 Mac 주소 값을 취득하게 되어 어떠한 기기로부터 신호가 송출되는지 확인 가능하다. 이는 특정 SSID(Service Set Identifier)가 탐지되면 Wi-Fi 신호를 강제로 활성화하여 해당 무선신호 정보를 송출할 수 있도록 백그라운드 앱(Background Application)을 설치하여 정보를 전송하도록 설계 하였다. 이에 따라 Wi-Fi 신호의 감지와 함께 휴대기기에서 송출되는 기압센서 정보 값을 수신하여 저장할 수 있다. 이러한 모든 과정은 매몰자 탐지모듈의 CPU에 구현되는 펌웨어 알고리즘을 통해 일괄 처리된다.

무선신호는 스캐닝 시간과 드론 비행에 따라 일정한 신호강도를 수집하기 어렵다. 따라서 일정시간 동안 정지비행을 수행하게 되고 단일의 Mac 주소 즉, 1개의 기기로부터 다수의 신호 정보 수집을 통해 측정된 신호강도에 따라 GPS 위치 값을 기록하게 된다. 다시 말해 단일의 기기에 대한 다수의 GPS 값을 가지게 되므로 정확한 위치점을 특정하기 어려울 수 있다. 이를 위해 위치보정 알고리즘을 적용하게 되고 다수의 위치 값에서 높은 신호강도 값을 갖는 좌표 값으로 추정하도록 알고리즘을 내장하였다. 이때 수집되는 정보로는 Mac 주소, Channel, SSID, RSSI, 매몰자의 X, Y, Z 위치 값을 표출하게 된다.

4.2.2 인명탐지 모듈 시작품 회로 설계

매몰자 탐지모듈 H/W는 상기에 제시된 매몰자 위치를 확인하기 위한 기술 및 기능 요구사항을 기반으로 개발되었다. 기본적인 Wi-Fi AP역할을 통한 신호감지 및 감도 측정, 매몰자 휴대기기의 신호 데이터 수신 및 지상부로의 데이터 송신, 신호강도별 위치 저장을 위한 기본 프레임워크를 토대로 요구되는 부품 BOM(Bill Of Materials)을 구성하였다.

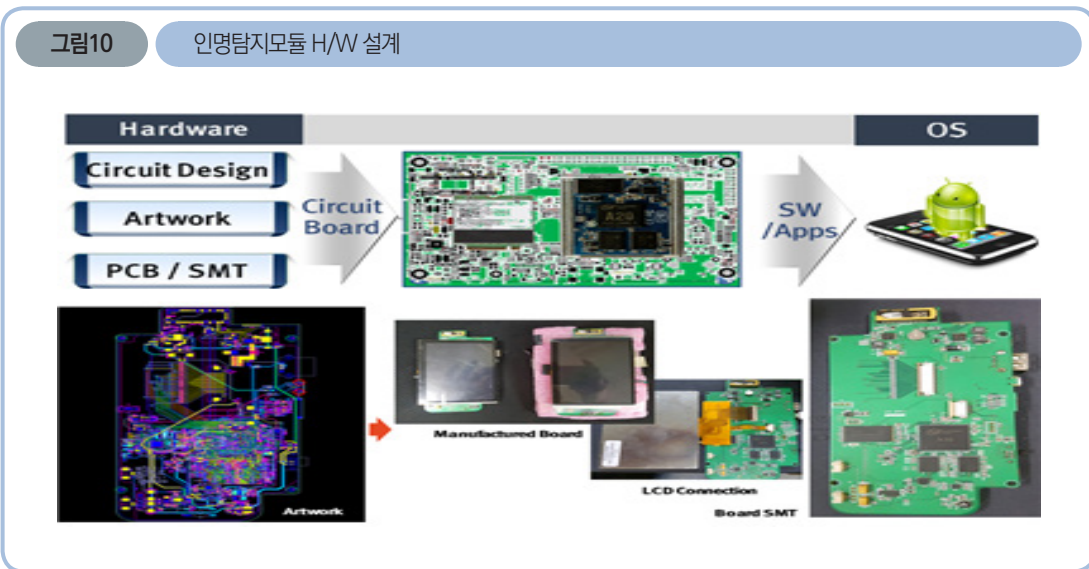
실제 회로 설계전의 기본 개념설계 단계로 부품들 간의 기능적 연관관계에 따라 인접하게 설계하고 전체적인 회로의 흐름을 확인하기 위해 <그림 9>의 H/W 블록 다이어그램을 구성하였다.



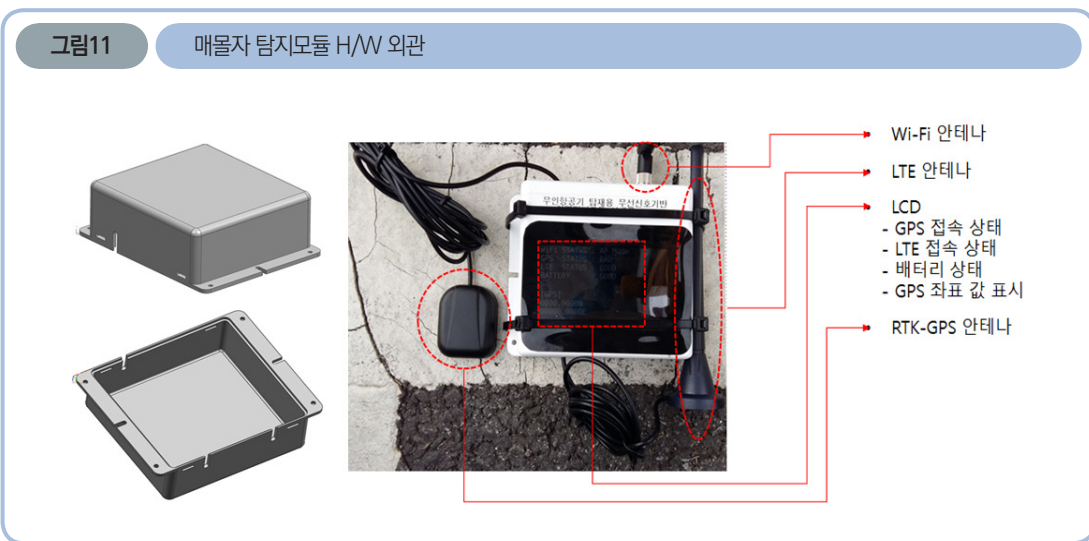
부품의 각 회로도 구성을 위해 다음의 성능을 고려하여 부품별 회로설계를 진행하였다. Wi-Fi 및 Bluetooth의 경우 고성능 모듈을 사용하고 Wi-Fi의 경우 듀얼 밴드를 사용하도록 하였다. 운영 전력은 3V로서 저전력 설계를 수행하였으며, 공급저항과 부하저항을 같게 하는 안테나 임피던스 매칭에 주의하여 최대 수신 감도를 유지할 수 있도록 설계하였다. 본 매몰자 탐지 H/W 모듈은 매몰자의 위치를 정확하게 추정하기 위해 활용된다. 이를 위해 기존의 D-GPS 방식이 아닌 오차를 수 cm 수준으로 개선하는 RTK-GPS를 탑재하였다. 매몰자의 2차원 위치는 드론의 정확한 위치를 추정하는 것이 관건이므로 RTK-GPS를 내장하였다. 이는 제작된 모듈에 탑재해야하므로 모바일 전용의 소형 부품을 선정하였다. 해당 RTK-GPS는 SwiftNav사의 Piksi 모듈을 적용하였다.

4.2.3 인명탐지 모듈 시작품 제작

매몰자 탐지모듈의 H/W를 제작하기 위해서는 다음의 Circuit Design, Artwork 및 PCB(Printed Circuit Boards), SMT(Surface Mount Technology)를 수행하여 최종 인명탐지 모듈 H/W Board를 제작하였다.



이와 같이 제작된 모듈의 보호 및 제품으로서의 기능을 위해 케이싱을 하였으며, 내구성을 갖도록 설계하였고 외부 디스플레이를 통해 정보가 표시되도록 제작하였다. 드론 고정을 위한 케이스 날개부를 구성하고 고정 홀 작업을 하였다. 드론의 페이로드를 고려하여 경량재질의 알루미늄으로 제작하였다. 중요한 것은 발열이다. 배터리 발열 전도를 막기 위해 방열 설계하였다.



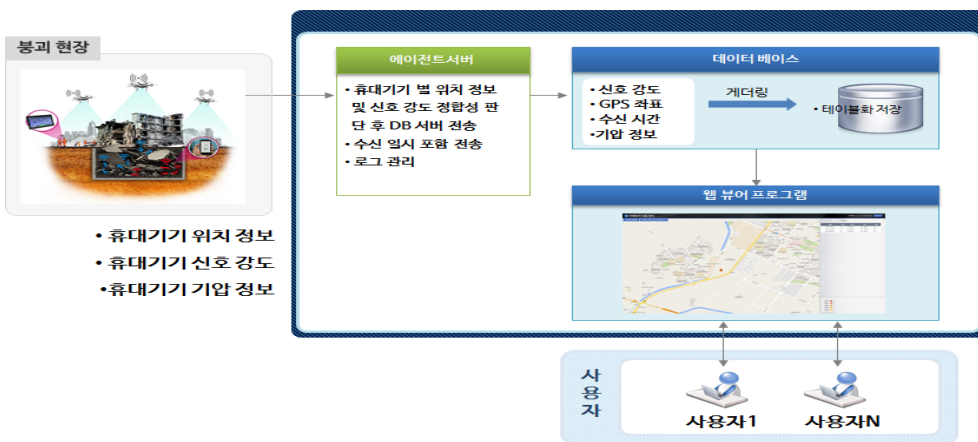
〈그림 11〉은 최종 완성된 매몰자 탐지모듈의 외관을 나타내고 있다. 해당 디스플레이에는 배터리상태, LTE, GPS, 수신된 GPS 좌표값을 표시할 수 있도록 매몰자 탐지모듈을 통해 수집된 매몰자 위치를 시각적으로 확인하기 위해 웹 지도기반의 위치 표시 프로그램을 개발하였다.

4.3 매몰자 위치정보 시각화 프로그램 개발

4.3.1 개발 프레임워크

개발된 매몰자탐지 모듈은 붕괴지 상부로 드론이 비행하는 동안 매몰자의 휴대기기 신호를 탐지하고 각종 센서 정보를 실시간으로 수집하는 역할을 하며, 신호강도가 가장 강한 지점의 위치(GPS)값을 기록하여 지상부 서버로 실시간으로 전송하는 역할을 담당한다. 이러한 체계를 활용하여 데이터의 취득, 저장, 분석, 전송, 처리 및 시각화 출력의 과정을 거치고, 이를 기반으로 온라인 기반 매몰자 위치 시각화 프레임워크를 구성하였다. 아래의 시스템 개념도를 보면 전체 데이터의 이동경로를 알 수 있으며 드론에 탑재된 인명탐지 시작품과 에이전트서버 간에 통신프로토콜을 지정하여 각 데이터를 수집한다. 이렇게 수집된 데이터를 필터링하여 DB 서버에 저장한다. 웹 뷰어 프로그램 실행시 DB에 저장된 값을 구글지도의 오픈 API를 통해 신호강도의 시각적 정보와 함께 위치 정보를 화면에 보여준다.

그림12 무선센서 기반 인명탐지 시스템 개념도



4.3.2 개발환경 및 통신규약

본 시스템은 인터넷이 가능한 곳에서는 언제든지 모바일 단말기 접속하여 웹 페이지를 통해 매몰자의 위치를 신호강도별로 시각적으로 구현하거나 가장 높은 신호를 갖는 매몰자의 위치를 직관적으로 파악할 수 있도록 하였다. 온라인 환경에서의 작동 가능하도록 웹 개발 언어는 JAVA를 사용하였으며, DB는 다소 무겁지만, 방대한 매몰자 신호 및 GPS데이터의 실시간 처리의 안정성 확보를 위해 ORACLE 11g를 적용하였다. 시스템 설계단계에서는 크게 통신규약, 에이전트 즉 미들웨어 및 DB 설계를 수행하였다. 시스템 코어 설계 이후 처리 결과의 온라인 환경에서 표출을 위해 웹 디자인의 UI를 채택하였으며, 모바일 환경에서도 접속 되도록 사용자 활용 중심의 직관적이고 간결한 사용자인터페이스(User Interface: UI)를 구성하였다. 그리고 드론에 탑재된 매몰자 탐지모듈과 지상부의 에이전트 서버간 통신을 위한 프로토콜을 사전에 정의하였다. 이러한 통신규약에 따라 매몰자 위치 시각화 데이터 구현을 위해 매몰자 휴대기기, 드론의 매몰자 탐지모듈, 지상부 에이전트까지의 통신 패킷 처리를 담당한다.

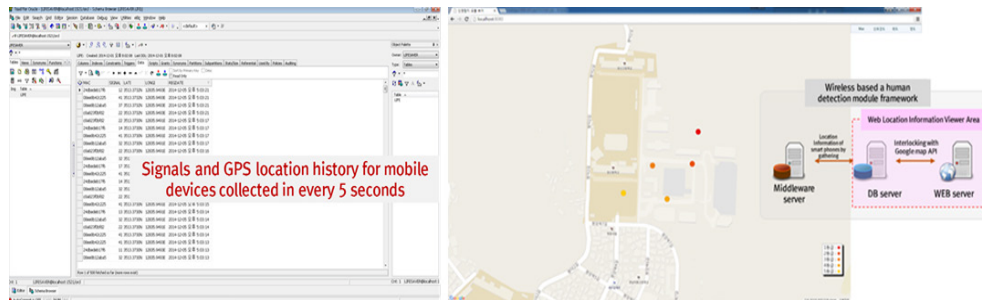
4.3.3 에이전트(미들웨어) 프로그램 구성

에이전트는 드론의 매몰자 탐지모듈로부터 취득된 데이터를 서버로부터 전송받아 신뢰도 및 무결성을 갖는 매몰자 탐지 위치정보로 활용하기 위해 처리하는 일종의 미들웨어^{iv)} 형태의 Tool이다. 탐지모듈 정보와 탐지 정보를 TCP 서버를 통해 지상부로 전송하게 되며 이들 정보는 DB정보로 입력된다. 또한 인명탐지 모듈은 위도, 경도, 핸드폰 감지수, Mac 주소, 신호강도 등의 정보를 TCP 통신 프로토콜에 따라 서버에 전송하게 된다. 이러한 탐지정보를 수집하여 사전에 정의된 Oracle DB로 등록된다. <그림 13>은 인명탐지 모듈에서 탐지한 매몰자 휴대기기 Wi-Fi 신호의 강도와 해당 모듈의 GPS 좌표 패킷을 실시간으로 받아 DB로 데이터를 전송완료하는 처리 결과를 구현한 것이다.

iv) (편집자) 서로 다른 기종의 H/W, 프로토콜, 통신환경 등을 연결하여, 응용프로그램과 운용환경 간 원만한 통신이 이루어지도록 하는 S/W

그림13

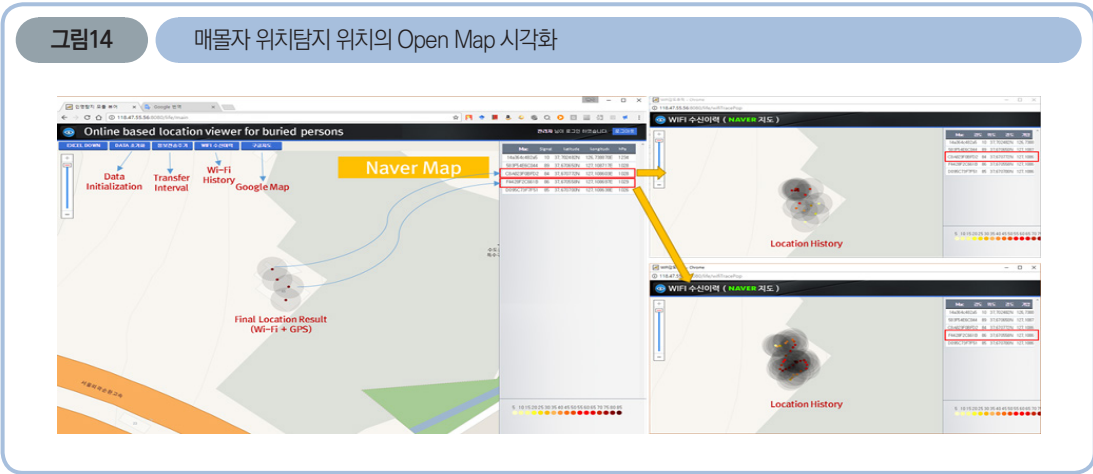
미들웨어 실시간 정보처리 결과



에이전트를 통해 처리된 최종 데이터 저장체계 구축을 위해 DB를 구축하였다. 이러한 DB 구성을 통해 에이전트 프로그램에서 받은 Wi-Fi 신호강도와 GPS좌표를 웹 프로그램에서 쉽게 표출될 수 있도록 테이블화하여 저장되는 모습을 확인할 수 있다. GPS정보는 초기값으로 5초 단위로 기록될 수 있으나 사용자 정의에 의해 1초 단위로 설정할 수 있도록 하였다. GPS의 특성상 최대 1초 단위로 위치정보를 수집할 수 있다.

4.3.4 위치표출 웹 뷰어 프로그램 구성

위치표출 웹 뷰어 프로그램은 온라인 기반의 매몰자 시각화 프레임워크를 기반으로 개발되었다. 이를 테스트하기 위해 실제와 유사한 붕괴 훈련장을 선정하였으며, 5대의 휴대기기를 대상으로 위치정보의 수집에서 시각화 표출까지의 과정을 확인하였다. 본 시스템은 드론에 탑재된 매몰자 탐지모듈로부터 수집된 매몰자 휴대기기의 위치 정보를 시각화하여 구호인력에게 신속한 의사결정 정보를 제공하기 위해 구축되었으며, 인터넷이 연결된 곳에서 접속이 가능하도록 하였다. 본 시스템은 범용성을 갖기 위해 구글지도와 한국의 범용 웹지도인 네이버 지도를 병행하여 적용하였으며, 구글지도와 네이버 지도 사이의 전환, 휴대기기의 신호 강도별 시각화 표현, 한 지점에 대해 기록된 Wi-Fi 위치 수신 이력, 정보전송 주기 설정, 지도별 위치시각화 표시 기능을 포함하고 있다. 또한 분석을 위한 기록된 위치정보의 로그파일은 Excel파일로 다운이 가능하며, 새로운 지역의 위치 탐지를 위해 이전 기록을 삭제하는 기능도 포함하고 있다.



〈그림 14〉는 개발된 매몰자 위치 시각화 시스템의 메인 화면을 나타낸 것이다. 현재의 지도화면은 네이버 지도 화면을 나타낸 것이다. 화면의 중심부에는 매몰자 4인이 휴대한 모바일 기기의 위치에서 측정된 가장 강한 무선 신호만을 필터링하여 시각화 한 것이다. 화면에서 해당 위치를 선택하며, 화면의 오른쪽에 있는 수집된 정보 리스트가 무엇인지 확인할 수 있다. 여기에서 선택된 위치에서의 휴대기기 Mac 주소, 신호강도, GPS기록 값 및 기압 정보를 확인할 수 있다. 우선 GPS 값만으로 평면위치의 확인이 가능하고 기압 값의 고도환산을 통해 개략적인 깊이 값을 확인할 수 있다. 또한 해당 위치를 선택하고 메인 화면의 Wi-Fi History 버튼을 선택하면 해당 위치에 대해 드론의 경로에 따라 기록된 매몰자 휴대기기의 신호별 위치값을 기록한 이력을 확인할 수 있다. 이러한 결과로부터 최대 신호값을 갖는 위치만을 필터링 하여 표시하게 된다. 여기서 표시된 위치정보는 단지 신호가 가장 강한 지점에서의 RTK-GPS 좌표값을 표출하고 있어 붕괴지역의 신호 감쇄 특성을 반영한 최적 위치값을 표시하고 있지 않다. 그러므로 다음의 장에서 3차원 공간측위 정확도 보정 알고리즘 개발을 통해 실제 신호감쇄 특성을 반영한 최적위치 결과를 제안하였다.

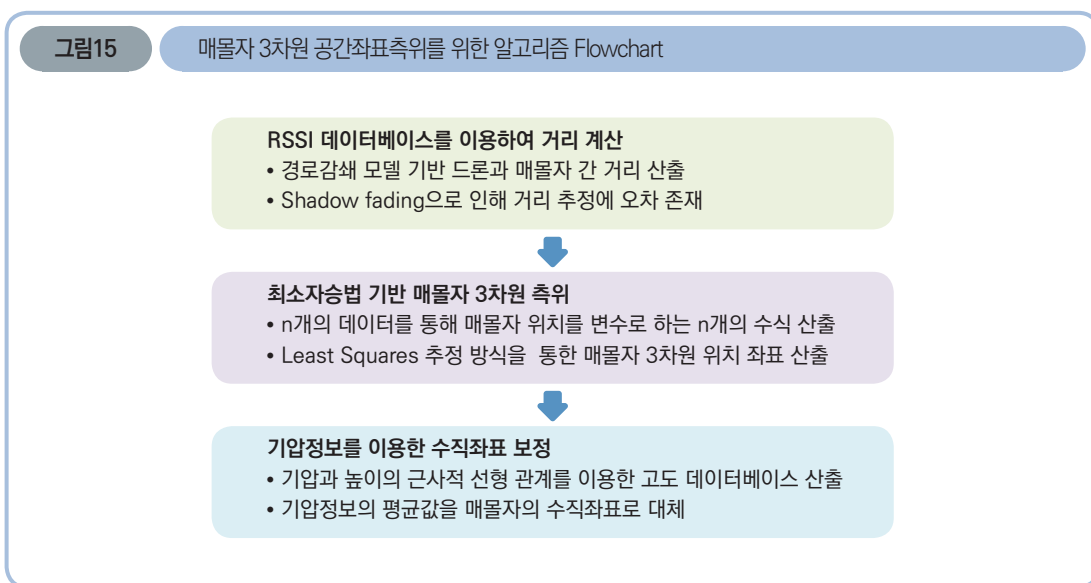
05¹ 무선신호 및 기압정보 퓨전에 의한 3차원 공간측위 정확도 보정 알고리즘 개발

5.1 개발 개요

현재 재난지역의 지하 및 지상 붕괴지형 내부의 생존자 탐지에 어렵고, 대형 재난현장에서는 붕괴지형에 매몰된 매몰자의 생존여부와 위치를 확인하기 어려워 골든타임을 놓쳐 조기에 사상자를 발생시킨다. 드론의 탐지 기준위치 오차 발생으로 인해 정확한 위치 탐지가 곤란하다. 해외에서 일부 유사한 연구사례(실종자 탐지 10m 오차)가 있으나 무선통신이 갖는 위치오차 범위가 커서 실제 재난현장의 정확한 매몰자 위치 탐색 곤란으로 구호에 어려움이 발생한다. 따라서 매몰자 휴대기기 신호의 불확실성과 GPS에 의한 오차가 다양한 크기로 발생하므로 이들의 패턴을 최적화한 정확한 위치 탐지가 필요하다. 즉, 단일의 신호강도 정보만으로 위치를 정확하게 측정하는 것이 어려우며, 붕괴지내에서 송출되는 신호자체의 감쇄에 따른 불확실성으로 정확한 위치 추정이 곤란하다. 이에 따라 신호강도별 GPS위치를 측정하게 되므로 오차의 변동성이 큰 문제가 발생하므로 최적화된 위치오차 개선이 필요하다. 따라서 재난지역의 매몰자 위치의 정확도 향상에 따른 객관적 구호 의사결정 체계를 개선해야 한다. 이를 위해 붕괴지의 매몰자 위치는 구호인력이 정확한 매몰자 구호를 위해 필수적인 정보이므로 신속하고 정확한 구호 의사결정을 위해서는 실제 매몰자 위치와 측정하여 분석된 위치 오차가 최소화되어야 한다.

5.2 개발 방법

매몰자 구조를 위한 연구개발 수행 내용은 다음과 같다.



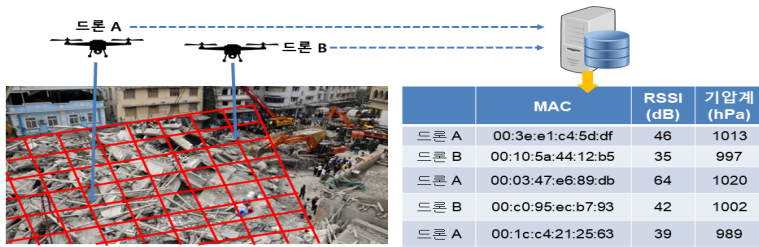
재난 상황이 일어난 경우 잔해 아래에 매몰된 매몰자의 위치를 신속하게 탐지하기 위해서 매몰자의 휴대 기기의 무선신호를 이용한다. 드론이 재난 현장 상부를 비행하면서 휴대기기의 무선신호를 수집하고 이와 동시에 드론은 GPS신호와 동기화를 통하여 자신의 위치좌표를 파악하게 된다. 따라서 드론은 비행하는 동안 일정 위치마다 수신신호의 MAC주소, 수신신호세기, 기압정보 및 드론의 위치를 포함하는 DB 집합을 수집·생성한다. 수집된 수신신호세기는 경로감쇄모델을 통해 거리로 변환될 수 있다. n 개의 DB 내 수신신호세기를 이용하여 n 개의 거리를 얻고 최소자승법을 이용하여 풀면 오차를 최소화하는 3차원 좌표의 해를 얻을 수 있다. 또한 수집된 기압정보를 활용하여 고도-기압 방정식을 통해 보다 정확한 고도값을 얻어 수직 좌표값을 보정함으로써 더욱 정확한 3차원 공간좌표를 얻을 수 있다.

5.3 드론을 활용한 DB 수집

재난 상황에서 건물이나 구조물이 붕괴되는 사고가 발생하였을 경우 잔해 아래에 매몰자가 발생할 수 있다. 매몰자 구조를 위하여 신속한 매몰자 위치 탐지가 중요하다. 드론을 이용하여 매몰자의 휴대기에서 발생하는 무선 신호를 수집하여 각 위치에서의 MAC주소와 수신신호세기, 기압정보의 DB를 생성한다. 드론은 GPS 신호와의 동기화를 통해 자신의 위치를 파악하여 수집, 생성한 DB에 자신의 위치좌표정보를 같이 저장한다. 다수의 매몰자가 발생한 경우 서로 다른 MAC주소를 확인하여 각 매몰자 휴대기기의 무선신호를 구분하게 된다. 또한 수신신호세기를 이용하여 드론 DB 수집 위치와 매몰자와의 거리를 구할 수 있다. 기압정보를 이용하여 보다 정확한 매몰자의 고도를 계산할 수 있다.

그림16

DB 구성



요구사항 도출

- 데이터 수집 계획 설정을 위한 재난지역의 공간정보가 필요함
- 신속한 매몰자 구조를 위한 실시간 데이터베이스 업데이트가 필요함

기술 개념 설계

- MAC 주소 확인을 통한 다수의 매몰자 식별
- RSSI 경로감쇄 모델 분석을 통한 드론과 매몰자 간 거리 추정

5.4 경로감쇄모델론

매몰자의 휴대기기로부터 송신되는 수신신호세기는 일반적으로 거리에 반비례하여 감소하게 된다. 수신신호세기로부터 거리를 구하기 위해서 경로감쇄모델을 사용하였다. 드론이 GPS신호와의 동기화를 통하여 자신의 위치를 인지하며 이와 동시에 MAC주소, 수신신호세기, 기압정보 등의 DB를 수집하게 된다. 따라서

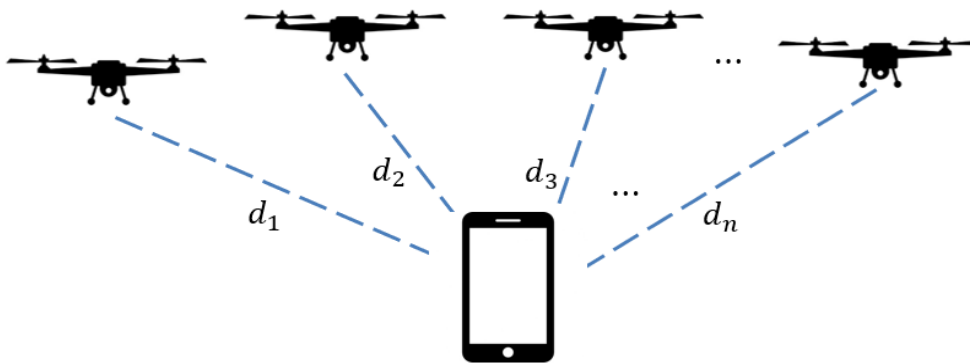
드론이 일정 위치마다 MAC주소, 수신신호세기, 기압정보와 드론의 위치좌표로 이루어진 DB 집합을 수집·생성하게 된다. 경로감쇄모델에서 n 는 경로 손실 지수를 나타내는데 이는 거리에 따라 송신신호의 세기가 감쇄되는 정도를 나타내며 경로 손실 지수가 클수록 신호 전력이 빠르게 감쇄한다. 보통 자유공간에서 2, 도심환경에서 3~4 정도의 값을 가진다. 수신신호세기는 거리에 의해 결정되거나 음영감쇄(Shadow Fading)의 영향에 의해 그 위에서 랜덤하게 요동치는 현상을 보인다.

5.5 최소자승법을 이용한 3차원 공간좌표 측위

매물자의 위치를 탐지하는 문제는 매물자의 3차원 공간좌표를 구하는 문제이다. 미지수의 개수는 3개뿐이지만 일반적으로 수신신호세기의 DB 개수는 미지수의 개수보다 많다. 이는 미지수의 개수보다 식의 개수가 많은 과결정연립방정식으로 치환되며 해가 존재하지 않는 문제이다. 이와 같은 문제는 데이터의 잔차의 합의 제곱을 최소화하는 최소자승법으로 풀 수 있다.

그림17

드론 위치와 매물자 위치의 거리를 이용한 최소자승법



최소자승법 외에도 n 개의 좌표와 미지좌표 간의 거리를 이용하여 미지좌표를 구하는 여러 방법들이 존재한다. 하지만 반복적인 알고리즘을 사용하는 방법들은 알고리즘 복잡도가 높고 계산량이 많다는 단점이 있다.

다. 이와 함께 본 연구에서는 Taylor Series Method와 Approximate Maximum Likelihood Method 및 Two-Stage Maximum Likelihood Method를 동시에 활용하였다. Taylor Series Method(또는 Gauss-Newton 보간법)은 동시에 대수적인 비선형 위치 방정식에 대해 반복적인 갱신을 통해 각 선형 최소 제곱 오차를 결정함으로써 다소 부정확한 초기값을 보정하는 방법이다. 이를 통해 위치 추정오차를 계산할 수 있다.

5.6 기압정보를 이용한 매몰자 매몰깊이 산출

일반적으로 기압은 고도와 반비례한다. 즉, 고도가 높아질수록 기압은 낮아지게 된다. 하지만 기압은 고도 뿐만 아니라 온도, 습도 등 다양한 변수들의 복잡한 기압과 고도사이의 관계식에 의해 결정된다. 신속한 탐지가 중요한 재난 상황의 매몰자 탐지 환경에서는 보다 단순화된 고도-기압 관계식이 요구된다. 매몰자의 깊이 즉 고도는 실제 기압 데이터를 활용하여 추정한다. 일반적으로 건물이 붕괴되는 재난 상황 시 매몰자는 건물의 잔해 아래에 존재하게 되며 지상으로부터 수 m에서 수십 m 이내에 위치하게 되므로 고도의 범위가 넓지 않다. 따라서 수십 m의 범위 내에서 기압과 고도가 근사적으로 선형 관계를 가짐을 이용할 수 있다. 해발고도와 대기압 그래프를 보면 완만한 곡선을 그리고 기압과 고도가 선형 관계를 가지지는 않지만 고도가 수십 m 이내일 경우 매우 작은 오차 안에서 충분히 선형관계를 가지게 된다.

그림18

해발고도-대기압 관계 데이터

Altitude Above Sea Level		Absolte Barometer		Absolte Atmospheric Pressure		
feet	meters	inches Hg	mm Hg	psia	kg/cm ²	kPa
-1000	-305	31.0	788	15.2	1.07	105
-500	-152	30.5	774	15.0	1.05	103
0	0	29.9	760	14.7	1.03	101
500						
aprox. Mollehoj, Denmark	152	29.4	746	14.4	1.01	99.5
1000	305	28.9	733	14.2	0.997	97.7
1500	457	28.3	720	13.9	0.979	96.0

일반적인 도심지의 건물이 붕괴된 매몰 상황을 가정한다면 매몰자의 해발고도는 0~152m 이내의 값을 가진다. 따라서 <그림 18>을 보면, 데이터 내에서 해발고도 0m일 때의 기압 1010hPa과 해발고도 152m일 때의 기압 995hPa을 사용하여 선형식을 구할 수 있다. 매몰자 발생 상황 시 복수의 매몰자가 존재할 경우 매몰자의 높이가 각각 다를 수 있기 때문에 서로 다른 기압 정보가 들어오게 된다. 이 경우 서로 다른 MAC주소를 이용하여 매몰자를 구분할 수 있다. 드론이 생성한 n 개의 DB를 이용하면 동일한 1명의 매몰자에 대한 n 개의 기압정보를 받게 되는데 이의 평균값을 사용하여 보다 정확한 고도를 얻을 수 있다.

5.7 시뮬레이션을 통한 알고리즘 성능평가

실제 실험을 통해 드론이 휴대기기로부터 나오는 수신신호세기, 위·경도, 기압정보 DB를 수집하여 XML 파일형식으로 구성하게 된다. 그리고 실측 데이터를 기반으로 연구된 알고리즘을 바탕으로 매몰자 3차원 공간좌표를 도출해낸다. 또한 이를 산출하기 위해 C++ 라이브러리 기반 알고리즘의 코드를 웹뷰어 프로그램 내에 구현하게 된다. 본 연구팀은 우선 XML 파일형식으로 제공받은 DB를 MATLAB 시뮬레이션 프로그램으로 불러온 후에 알고리즘에 넣어서 매몰자의 3차원 공간좌표를 추정하였다.

아래 그래프는 복수의 MAC 주소에 대해서 실측 데이터 기반 3차원 공간좌표 추정값과 실제 위치를 비교한 그림이다. 평균제곱근 오차(RMSE)로 나타낸 측위 오차는 <표 1>과 같다. 측위 오차는 매몰자의 실제 위치와 시뮬레이션 추정 위치 간의 오차(실제 대비 오차), 모듈이 수집한 매몰자의 위치—모듈이 수집한 데이터 중 수신신호세기가 가장 큰 위치—와 시뮬레이션 추정 위치 간의 오차(모듈수집 대비 오차) 두 가지의 비교를 통해 분석되었다. 위·경도 실측 데이터를 직각좌표로 변환하여 사용하기 때문에 우리나라 기준 위도 1초 차이가 약 30.8m, 경도 1초 차이가 약 24.69m이므로 위·경도 좌표 소숫점 단위에서 발생하는 오차도 직각좌표에서 크게 나타나게 된다. 또한 실제 재난 상황에서 매몰자는 건물의 잔해 아래에 위치하기 때문에 무선신호 수신환경에 존재하는 수많은 장애물로 인해서 수신신호세기를 통해 구한 추정거리의 정확도가 떨어지게 된다. 따라서 시뮬레이션에서는 장애물 환경을 고려하여 경로손실지수를 4로 놓았지만 실제로는 수신환경 측정을 통해 실제 경로손실지수를 사전에 추정하여야 한다. 추후 연구에서 이러한 점들을 고려한 점들이 연구되어야 할 것이다.

그림19

실측 데이터 기반 추정위치와 실제 위치와의 비교

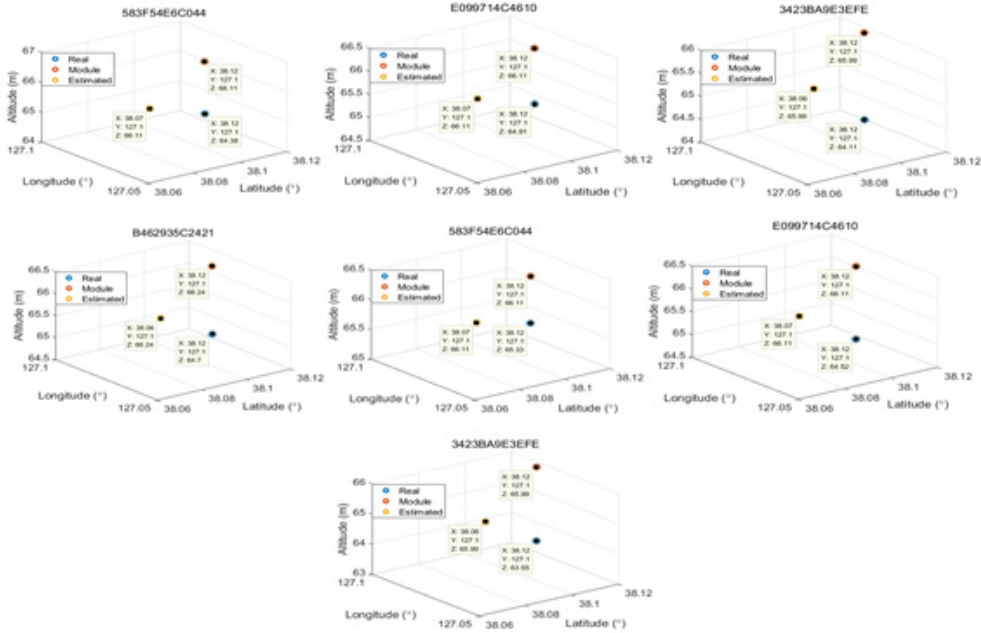


표 1

MAC 주소에 따른 추정좌표의 실제 위치와의 오차

MAC 주소	실제 대비 오차 (m)	모듈수집 대비 오차 (m)
583F54E6C044	2.3232	2.3288
E099714C4610	2.4184	2.419
3423BA9E3EFE	2.6084	2.6099
B462935C2421	2.5743	2.5739
583F54E6C044	2.3143	2.3177
E099714C4610	2.4099	2.4121
3423BA9E3EFE	2.6014	2.6035

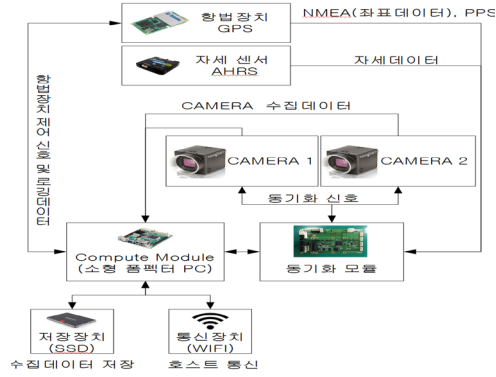
이와 같이 매몰자의 3차원 위치정보를 분석하여 위치탐지 확률을 계산하여 그 결과를 3차원 붕괴지형 모델에 시각적으로 증강할 수 있는 데이터로 활용할 수 있고 매몰자의 정확한 공간적 위치 탐색을 통한 구호 프로세스 개선에 활용 가능하다. 드론의 무선통신 신호 특성에 의한 GPS 위치 분석에 따른 공간 오차 보정을 통해 매몰자의 정확한 위치 탐색 방법으로 활용하고 구호인력의 매몰자 구호 프로세스 개선 과정에 활용 가능하다. 특히 1차 생명선의 굴착지점 결정시 매몰자 추정위치 정보 제공에 활용할 수 있다. 즉 1차 생명선(물, 통신, 공기 등)의 보급위치에 따른 굴착지점을 결정할 수 있도록 매몰자의 정확한 위치를 파악하여 매몰지 굴착팀에 제공하는데 활용된다.

06¹ 드론을 활용한 스테레오 비전 기반 3차원 붕괴형상 정보 취득 기술

6.1 현장영상 취득을 위한 스테레오 비전 모듈 제작

붕괴지의 붕괴형태를 입체적으로 파악하고 분석된 매몰자 위치를 3차원 공간으로 표현하여 직관된 매몰자 구호 의사결정 정보를 제공하기 위해 스테레오 비전 모듈을 개발하였다. 모듈의 구성은 위치 정보를 수집할 수 있는 항법 장치, 자세 정보를 수집할 수 있는 자세 센서, EO 이미지를 획득할 수 있는 가시광선 카메라로 구성된다. 또한 위치정보, 자세정보, 이미지 정보를 동기화 하여 저장할 수 있는 동기 신호를 발생하는 임베디드 보드와 생성된 정보를 저장할 수 있는 소형 폼팩터 PC 모듈로 구성되어 있다.

그림20 재난지역 지형 모델링 센서 모듈 구성



본 모듈은 크게 디지털 카메라, AHRS, GNSS, MCU, Form Factor Embedded Board, RTK로 구성된다. 동기화보드와 PCB 설계 결과는 <그림 21>과 같다. 또한 H/W제작을 위해 설계에 따른 SMT 부품실장도 수행하였다. 센서 모듈 탑재를 위한 기구 설계는 <그림 22>와 같다. 스테레오 카메라가 중심축에 가깝도록 설계를 하였으며, 안정감을 위해 기구에 최대한 가깝게 위치하도록 배치하였다. 설계에 맞추어 제작이 완료된 동기화 보드를 기구에 삽입하여 배선 및 라인 조립을 실시하였으며, 적정전압이 유지되는지 테스트 과정을 거쳐 최종적으로 조립을 완료하였다.

그림21 Sync Board PCB(좌)와 SMT(우)

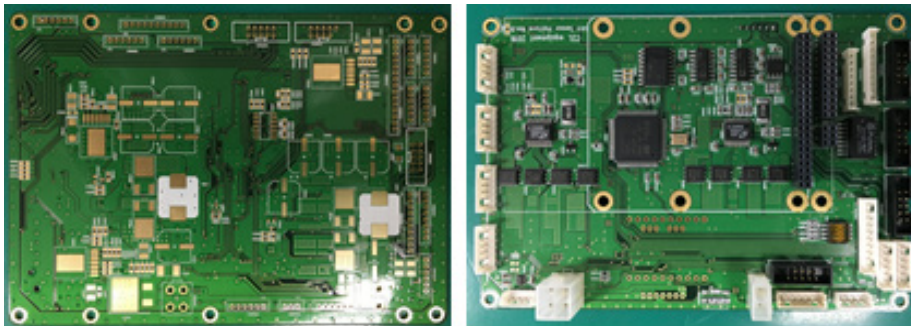
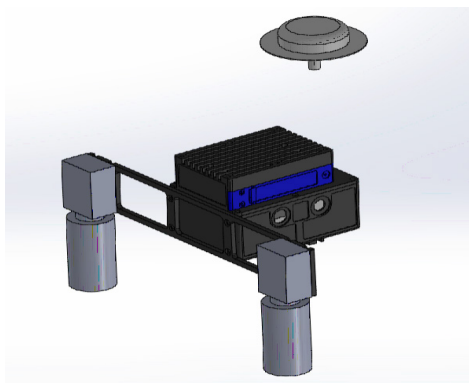


그림22

센서 모듈 기구 설계



6.2 재난지역 지형 모델링 및 센서 모듈 동작

센서 모듈은 외부 인터넷 연결을 위한 LTE Dongle과 드론에 장착할 인명탐지 센서모듈 그리고 지상 제어 로 구성되어 있다. LTE Dongle을 국토지리정보원의 RTK-VRS 서비스를 활용하기 사용되었다. 시스템이 활성화 되면 인명 탐지 모듈이 AP로 등록 되어 지상 제어시스템에서 접속이 가능하게 된다. 지상 제어부에서 Wi-Fi를 통해 접속이 완료 되면 원격 제어를 통해 모듈을 제어하고 모니터링이 가능하다. 지상 제어를 하기 위한 프로그램 실행 및 카메라와 위치·자세 정보를 수집 제어하며, Capture start를 실행하면 시스템이 정보를 수집하게 된다. 수집이 완료되면 FTP를 활용한 이미지와 로그를 다운로드 한다. 이후 이미지와 로그 파일을 확인 후 프로세싱을 수행한다.

그림23

카메라 간격 40cm의 스테레오 카메라

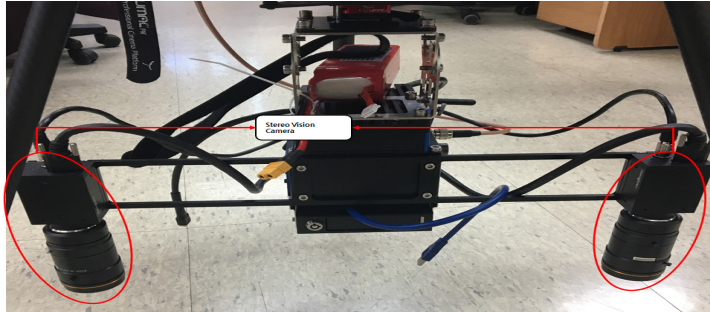
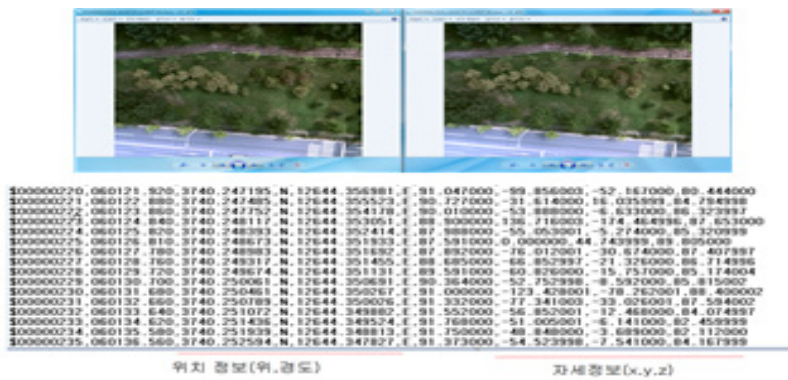


그림24

스테레오 비전 카메라에 의한 이미지 확인 및 처리



6.3 스테레오 비전 기반 3차원 붕괴형상 정보 모델링 기술

6.3.1 개발개요

재난 현장의 붕괴된 건물 아래의 매몰자를 탐지하기 위해서는 구조 업무를 수행하는 인력이나 관리자가 현장의 실제 붕괴 정도 및 현재 상태를 신속하게 파악하여야 구조 업무가 순조롭게 진행될 수 있다. 하지만 붕괴 현장의 경우 사람의 접근 시 추가 붕괴의 위험 등으로 접근이 어려워 현장의 정보를 쉽게 파악하기 어렵다. 또한 제한된 인원으로 인하여 붕괴 현장에 매몰된 사람들의 위치를 파악하는 것 또한 힘든 일이다. 이러한 어려

움을 극복하기 위하여 스테레오 비전 카메라를 장착한 무인비행장치인 드론이 활용되었고 이를 통해 붕괴지
형의 정보를 손쉽게 파악하고자 하였다. 매몰된 생존자를 구하기 위하여 빠르고 정확한 현장 정보 취득이 필
요하며, 이를 위하여 현장의 영상 정보 및 위치 정보를 빠르게 획득할 수 있도록 하였다. 붕괴 현장의 영상 정
보 및 위치 정보 취득 후 빠르게 관련데이터를 수집하고 분석할 수 있도록 하였다.

6.3.2 3차원 영상정보 추출 요구조건

스테레오 매칭을 위해서는 H/W와 S/W의 전 처리 작업이 우선적으로 되어 있어야 한다. H/W의 요구 조
건 사항은 정확한 자세 값을 알고 있어야 한다. 스테레오 매칭 알고리즘을 통한 결과물은 영상 하나에 별도
로 정합이 되기 때문에 오차의 누적이 없다. 하지만 다른 말로 하면 다른 영상들을 보정치로 쓰지 않기 때문
에 H/W의 정확도가 스테레오 매칭 출력물에 영향이 그대로 적용된다. INS^{v)} 장비로 RTK를 통해 신뢰도 높
은 위치, 자세 값을 통해 매칭의 정확도를 확보해야 한다.

6.3.3 붕괴지 상부 및 측면영상 3차원 모델링 알고리즘 구현

스테레오의 양안을 한 쌍의 사진 상으로 놓고 동일점에 대한 상점이 연직 하에서 만나야 되는 한 점에서
생기는 횡방향의 시각적인 오차를 통해 사물에 대한 위치점을 출력한다. 아래 그림은 양안에서 추출된 영상
을 기하 보정하고, 기하 보정된 영상을 스테레오 매칭하여 깊이지도(Depth map)를 추출한 영상이다. 좌측
카메라 기준으로 영상내의 위치점을 저장하고, 깊이지도에서 가지고 있는 시차 값을 3D Viewer를 통해 보
여주는 영상을 아래와 같이 확인할 수 있다.

v) (편집자) 운동의 관성력을 검출하여 측정대상의 움직이는 속도, 가속도, 방향 거리 등을 제공하는 센서

그림25

좌·우측 시차값을 색상으로 표현

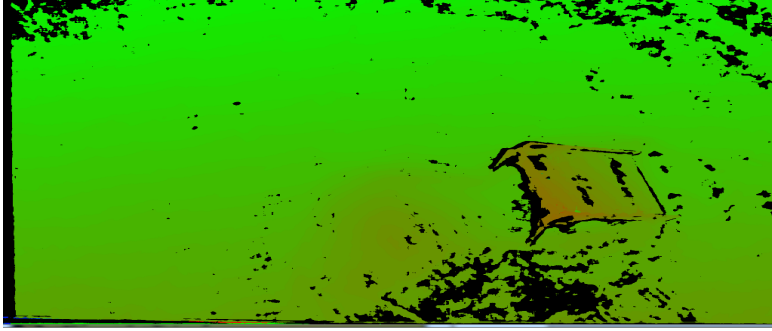
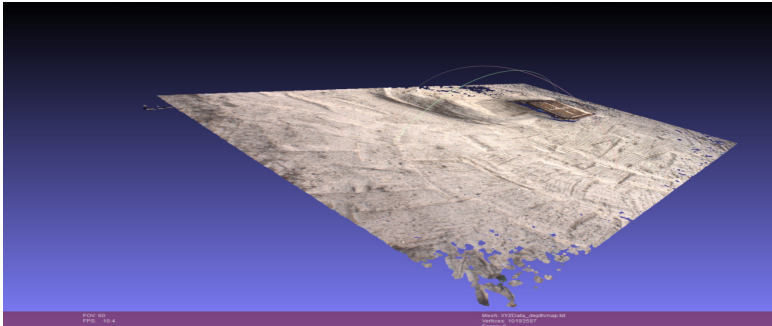


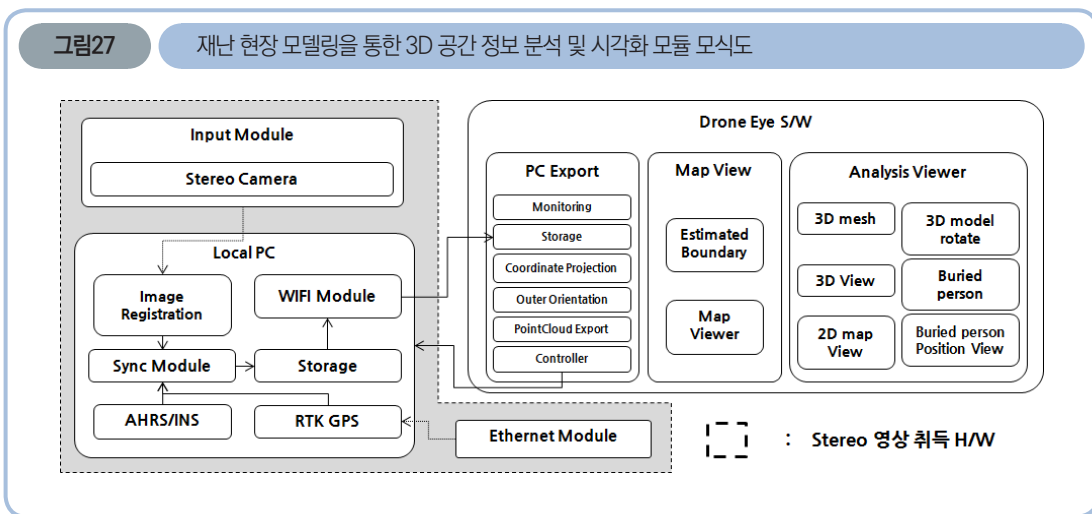
그림26

이미지 색상 값, 깊이 지도 값 출력

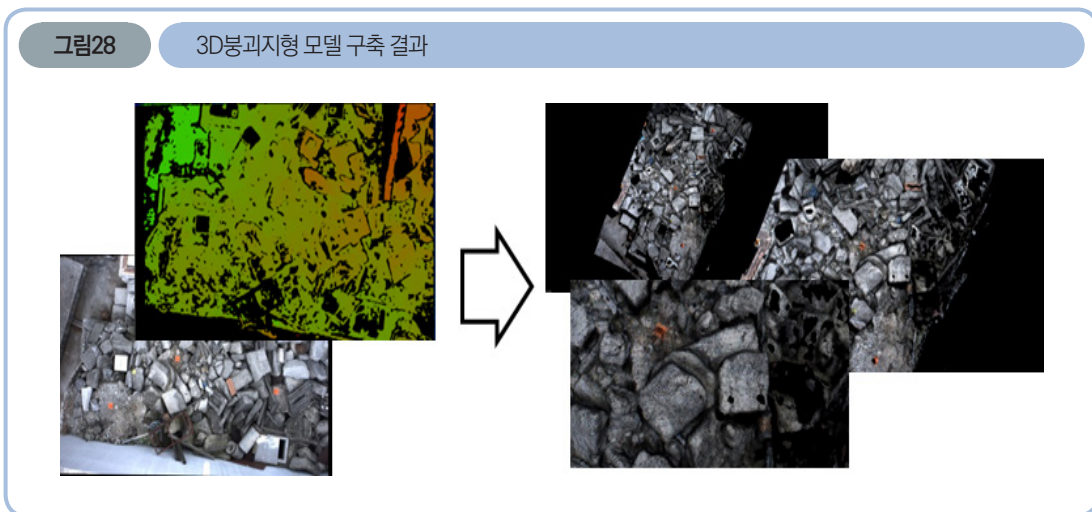


6.3.4 3차원 붕괴지형 모델링 구현 모듈

재난현장에서 붕괴 지형 형상 모델링을 위해 필요한 주요 요소기술은 스테레오 드론 모듈로써 여기에는 스테레오 영상 동기화, 드론에서 취득된 위치 경위도 좌표의 TM 좌표로의 변환, 스테레오 카메라의 외부표정 요소 산출, 스테레오 영상에서 추출된 깊이지도의 포인트 클라우드 추출 기법 등으로 구성된다.



Stereo Camera 자체의 트리거 모듈을 통해 시간 동기화된 두 사진과 해당 컷에 맞는 위치/자세 값을 취득한다. 스테레오에서 출력되는 영상의 길이 값을 지도상의 위치 값으로 변환하기 위해 선처리되는 좌표 변환 작업이다. 그런 다음 좌측 카메라 기준으로 추출된 깊이지도는 그 자체의 실제 길이좌표로 변환하는 작업을 통해 스테레오 카메라가 찍은 형상 정보에 대하여 거리정보화 시킨다.



07 | 개발 패키지 기술의 성능 검토를 위한 현장 검증

7.1 유사 붕괴현장 매몰자 위치탐지 실증환경 셋팅

테스트 현장은 경기도 연천에 소재한 한국건설기술연구원 SOC실증센터 내 구축한 테스트 베드현장을 대상으로 하였다. 테스트베드 현장내에는 실제 붕괴지형과 유사한 형태의 구조물을 구축하였다. 스테레오 카메라에 고정하여 건물 상부의 정보뿐 아니라 측면에 대한 정보를 취득하기 위한 촬영 동선을 계획하였다.

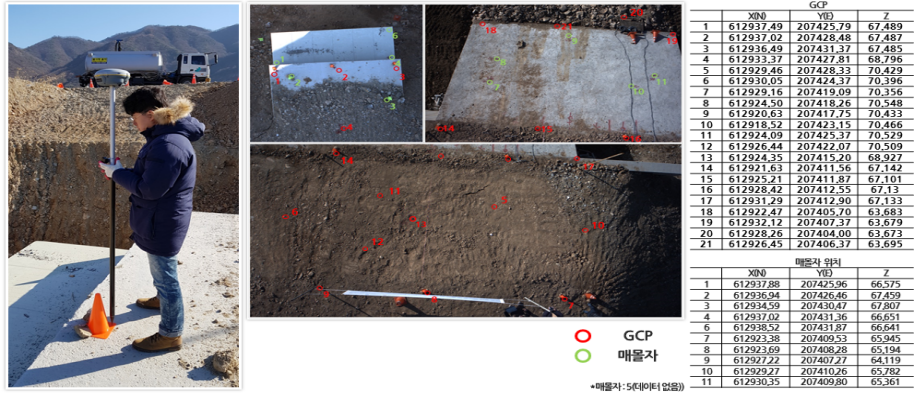
그림29

경기도 연천 Test Bed 현장



그림30

지상기준점(GCP) 및 매몰자 휴대기기 실제 위치 측량



스테레오 카메라에서 취득된 영상 값과 비교를 위한 위치 데이터 수집 과정인 지상 기준점(GCP) 측량을 실시하여야 한다. 지상기준점을 선정할 때에는 영상과 지도의 두 좌표계에서 공통적으로 분명한 좌표를 선정한다. 이는 절대표정^{vi)}에 사용하는 이미 알고 있는 좌표점을 말한다. 현장 테스트 수행 이전에 30분간 지상기준점 측량을 실시하였다. 데이터 수집 장비인 무인비행장치 즉, 드론은 UM-D12 제품을 사용하였으며, AIR Frame, F/C, Motor, Propeller 등으로 구성하였다.

Stereo Camera 모듈에는 스테레오 카메라, 배터리, PC, INS, Wi-Fi 등의 장비를 탑재하여 드론에 장착하였다. 드론은 회전익을 사용하였으며 자료 취득을 위한 촬영 계획은 다음 <그림 31, 32>의 순으로 진행하였다.

vi) (편집자) 상호표정에 의하여 구성된 입체 모형을 실제지형과 정확히 상사 조건이 되도록 하는 과정

그림31

현장 상황을 고려한 촬영 계획

비행 계획 수립

- 촬영 대상 지역 선정 및 기상 정보 조사
- UmacAir의 UM-D12 제품은 풍속 최대 20%
- 우선시 비행 불가

비행 코스

- 단 방향 촬영 범위를 설정 : 2-3회 촬영
- 비행기 시작 시 기체의 위치와 동일 지점 착륙

비행 상황 파악

- 기체가 비행코스애 맞춰 비행하는가 지속적 파악
- 비행 신호 송수신이 잘되는지 파악

촬영 고도

- 촬영 고도
 - 스테레오 카메라가 40cm의 baseline을 가지고 있기 때문에 8m-25m에서 유지
 - DSM/DEM 정보 연동을 지원하지 않아 건물, 식생 등의 높이를 고려하여 촬영

그림32

현장 테스트 프로세스



드론 이륙 준비를 위해 기체 전원을 켜기 전에 영상 취득 모듈의 전원을 먼저 켜서 영상 취득 모듈의 INS 장비를 캘리브레이션 작동과 RTK 모듈이 연동 되는지를 확인한다. INS 장비가 제대로 연결되지 않았다면 배터리 연결까지 끊어 영상 취득 모듈을 재시작 해야한다. 이후에 조종기의 전원을 켜 후 드론 배터리를 연

결하여 드론 전원을 켜다. 조종기를 켤 때는 기체의 이상 사고 발생을 피하기 위해 반드시 상하타 스틱을 내리고 실행한다. 드론은 보통 LED의 색으로 앞뒤를 구분할 수 있게 되어 있으며 드론이 보는 방향과 조종하는 사람이 보는 방향이 일치해야 한다.

7.2 붕괴현장 3D 모델링 및 검증

상기의 현장에서 테스트를 실시한 결과 드론과 모듈의 조립에서 3차원 모델링을 하는데 소요되는 시간은 약 1시간 50분이었다. 다음은 스테레오 카메라를 통해 촬영된 다방향의 Point Cloud를 취득하여 붕괴 현장을 모델링한 후, 무선통신을 활용한 매몰자 위치탐지를 통해 전달된 매몰자의 위치 값을 3차원 붕괴 형상 모델링상에 가시화한 것이다. 즉, 전방위 3D mesh 알고리즘을 통해 Point Cloud 형상을 객체화 시키고 객체화된 3D model data에 매몰자의 위치를 아래 그림과 시각화하였다.

그림33

깊이지도 출력 값에서 내/외부 표정 요소를 적용하여 절대 표정된 Point Cloud 출력

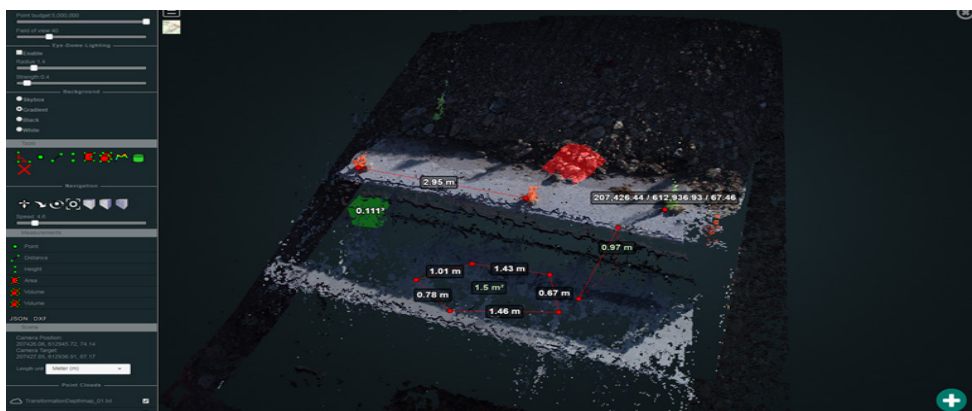
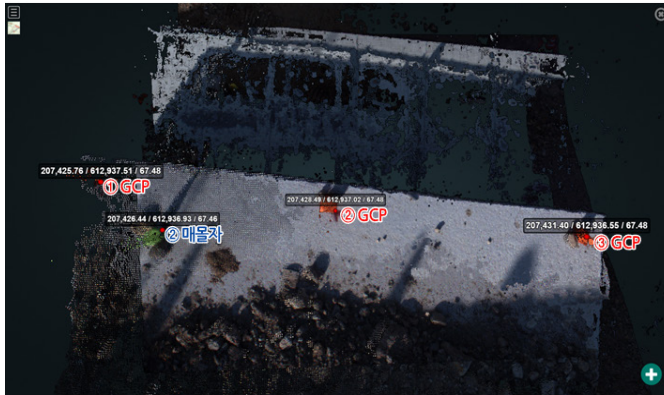


그림34

지상기준점에 의한 Point Cloud 검증



GCP 위치 측정표

	X(N)	Y(E)	Z
1	612937.5	207425.8	67.489
2	612937.0	207428.5	67.487
3	612936.5	207431.4	67.485
4	612933.4	207427.8	68.796
5	612929.5	207428.3	70.429
6	612930.1	207424.4	70.396
7	612929.2	207419.1	70.356

매몰자 위치 측정표

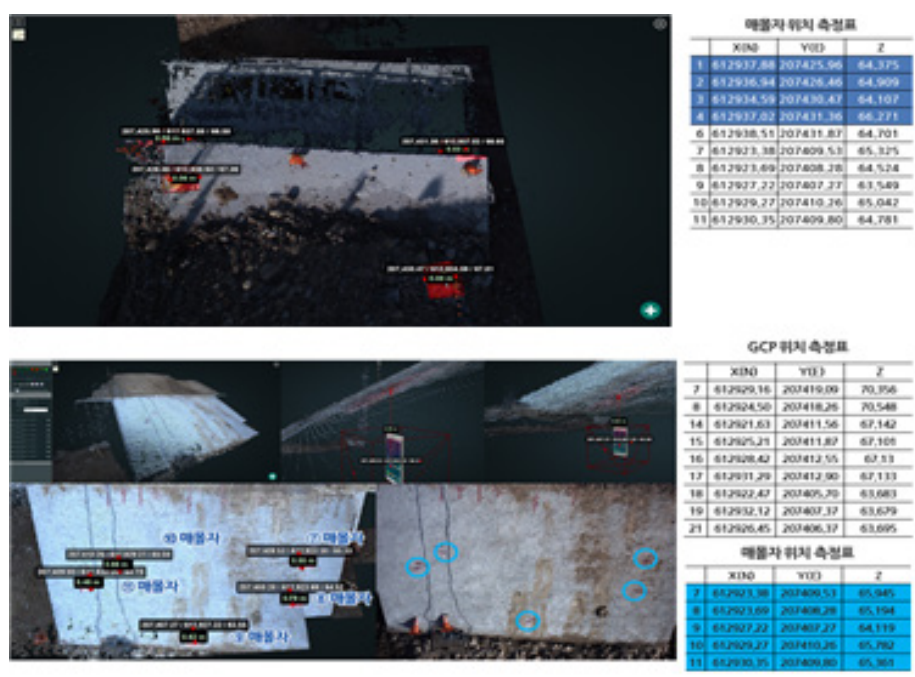
	X(N)	Y(E)	Z
1	612937.9	207426.0	66.575
2	612936.9	207426.5	67.459
3	612934.6	207430.5	67.807
4	612937	207431.4	66.651

이와 같이 붕괴지형 3D모델 구축 테스트 결과 원본크기 대비 1/30의 크기로 줄인 데이터를 활용하였으며, 웹 뷰어상에서 구현이 가능하도록 하였다. VRS-RTK로 측량한 GCP 위치점이 드론에서 취득한 데이터와 최대 ±2cm 오차의 차이를 가지는 것으로 검증되어 본 붕괴지형 3D모델이 활용 가능한 수준으로 구축된 것을 확인할 수 있다.

7.3 매몰자 위치정보 취득 및 검증

온라인 기반 매몰자 위치 시각화 프로그램을 상기의 동일한 테스트 베드 현장에서 테스트 하였다.

그림35 GPS에 의한 매몰자 휴대기기 실제 매몰 위치 측정



우선 서로 다른 제조사의 휴대기기 11대를 끈에 묶어 해당 현장에 매몰 깊이를 3~5m 내외로 달리하여 붕괴지형 상부로부터 매몰지 내부로 설치하였다. 이후 해당 붕괴지역의 내부의 계획된 경로에 따라 일정시간 간격으로 탐지할 수 있도록 드론에 매몰자 탐지모듈을 장착하였다. 해당 붕괴지역을 바운더리로 설정하면 자동으로 경로계획이 만들어지고, 자율비행 기능을 통해 지정된 경로와 속도에 따라 비행을 하게 된다. 이때 속도는 사용자가 사전설정할 수 있으나 5m/s의 속도로 이동하도록 하였다. 다만 이동 과정에 높은 신호강도가 발생하는 위치에서는 다수의 신호 정보를 수집하기 위해 드론 호버링을 활성화하게 되고 GPS정보 기

록 단위인 1초 마다 위치정보를 신호강도 정보와 함께 기록하게 된다. 이후 비행을 통해 붕괴현장 내의 매몰자 휴대기기 신호를 드론에 탑재된 매몰자 탐지모듈의 메모리에 실시간으로 저장하게 된다. 저장된 데이터를 지상부로 전송하기 위해 LTE망 또는 Wi-Fi를 활용하며, 지상부 서버를 통해 상기에서 구성된 수집 데이터의 처리를 통해 시각화를 수행한다.

이렇게 수집된 데이터는 XML파일의 형태로 3D뷰어로 전송되고 내장된 3차원 공간위치 보정 알고리즘을 통해 최종 분석된 매몰자 휴대기기 위치를 추정하여 3차원 붕괴지형 모델에 입력하면 해당 3차원 공간내에 실제 매몰자 위치가 어디인지를 시작적으로 확인할 수 있다. 다음은 이러한 과정을 통해 분석된 GPS에 의한 실제위치, 매몰자 탐지모듈에 의한 위치 및 알고리즘 분석에 의한 위치값을 비교하여 위치오차를 검증하였다. 그 결과 매몰상태와 조건에 따라 최종 측정결과 값이 다르겠으나 본 테스트 현장에서는 약 2.3m~2.7m 수준의 성능을 보여 유의미한 신뢰성을 확보한 것으로 평가된다.

08 | 결론

본 기술의 개발 목표는 재난 발생시 붕괴지역 내부의 매몰된 매몰자의 위치를 탐지하고 해당 취득 정보를 처리하여 해당 위치를 신호정보와 함께 시각화함으로써 구호인력의 매몰자 구호 의사결정을 위한 도구를 제공하는 것이다. 이를 위해 본 기술은 드론에 탑재된 매몰자 탐지모듈로부터 수집된 정보의 전송 메커니즘, 데이터의 처리 체계를 포함하였으며, 이러한 데이터를 시각화하기 위한 온라인 지도 기반의 매몰자 위치 시각화 시스템을 개발하였다. 또한 스테레오 비전 카메라 모듈과 이를 통해 취득된 이미지를 매칭하여 3차원 붕괴지형 모델을 가시화하는 뷰어를 개발하였다. 특히 매몰자 탐지모듈로부터 수집된 휴대기기의 위치정보를 좀 더 정확하게 추정하기 위해 매몰자 공간위치 오차 보정 알고리즘을 개발하여 검증하였으며, 이는 3차원 붕괴지형 모델 뷰어에 내장되어 위치정보 취득과 동시에 최적 위치가 분석되어 3차원 매몰위치를 가시화 할 수 있도록 하였다.

향후 본 기술은 다양한 재난상황에서 신속한 매몰자 위치 추정을 위한 의사결정 시스템으로 활용될 것이며, 매몰자의 골든타임을 확보하는데 중요한 도구가 될 것으로 기대한다. 최종 목표는 다수의 매몰자와 매몰된 지역, 생존자 여부 등을 파악하여 우선 구호대상 지역을 판정할 수 있는 의사결정 기능을 포함할 것이다. 이들 기술이 직접 재난현장에서의 활용성을 갖기 위해서는 다양한 테스트 결과를 통한 보완이 필요하고 제도적 개선을 통해 기술이 적용될 수 있는 환경을 구축하는 것이 필요하다. 현재의 기술개발을 통해 다양한 제약조건을 확인하였다. 붕괴지역이라는 특수성을 고려해야 하고 붕괴형태에 따라 최적화 알고리즘이 지능적으로 적용될 수 있도록 Machine Learning 기법 등을 검토할 필요가 있다. 최근 발생된 포항과 같은 지진 등이 국내의 타 지역에서 발생시 본 기술의 안정화를 통해 신속한 투입으로 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 보조 수단을 널리 활용될 수 있을 것이다. 본 기술은 모바일, 무선통신, 센서, 드론, 스테레오 비전 기술들과 융합함으로써 재난 붕괴환경에서의 신속하고 정확한 매몰자 탐지기술을 확보하고자 하였다. 이는 기존 기술을 완전히 대체하는 것이 아니라 기존 매몰자 탐지 장비들과 함께 병행 활용함으로써 재난 붕괴시 1명의 생명이라도 신속하게 구호할 수 있도록 하는데 기여할 수 있다는 점에서 특화된 인명구호지원 기술로 활용될 것으로 기대한다. 또한 타 센서(음향, 적외선 등)와의 융합을 통해 매몰자의 위치뿐만 아니라 상태정보까지 확인할 수 있는 기술로 확대될 것이다.

Hyoun Seok Moon



저자
문현석

학력

경상대학교 토목공학과 건설관리(건설IT) 공학박사
경상대학교 토목공학과 건설관리(건설IT) 공학석사
경상대학교 토목공학 학사

경력

現) 한국건설기술연구원 수석연구원
前) University of Michigan 박사후연구원
前) 부산대학교 강사

Woo Sik Lee



저자
이우식

학력

경상대학교 토목공학과 건설관리 공학박사

경력

現) 한국건설기술연구원 연구위원

참고문헌

1. 김대영, 송창근, 이선후, “스마트폰의 추측항법 및 Wi-Fi 지문을 이용한 실내위치 추적”, 정보과학회논문지:컴퓨팅의 실제 및 레터, 제20권 제2호, pp. 61-67, 2014
2. 김수희, 정인환, “Wireless LAN 환경 하에서 Access Point의 RSSI 삼각측량 방식을 이용한 RTLS 설계”, 한국정보과학회 2006 가을 학술발표논문집, 제33권 제2호(D), pp.330-333, 2006
3. 김창윤, 이우식, “재난지역의 붕괴지형 3차원 형상 모델링을 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론 개발”, 한국산학기술학회 논문집. 17권 6호, pp.33-38, 2016
4. 문현석, 이우식, 이건우, 한동수, “최적 무선통신 기술을 활용한 붕괴지형 매몰자의 2차원 매몰위치 결정 모델”, 한국산학기술학회 논문집, 16권 12호, pp.8879-8888, 2015
5. 문현석, 김창윤, 이우식, “붕괴매몰지형 특성을 고려한 무선통신기반 매몰자 탐지 방법론 구성에 관한 연구”, 2015 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.135-136, 2015
6. 문현석, 이우식, “붕괴지역의 매몰자 위치측위를 위한 모듈 개발 및 검증”, 한국산학기술학회 논문집, 17권 12호, pp.427-436, 2016
7. 박영진, 이순우, 강지명, 강문경, 김관호, “임펄스 UWB 기술 기반 실시간 위치인식 시스템(RTLS) 응용 기술”, 한국통신학회지(정보와통신), 제28권 제7호, pp. 37-43, 2011
8. 오암석, “블루투스 비콘 기반 실내위치 추적기술을 활용한 스마트팩토리 물류관리시스템”, 한국정보통신학회논문지, 제19권 제11호, pp. 2677-2682, 2015
9. 이우식, 문현석, “무선통신기술을 활용한 재난지역 매몰자 위치탐지 및 가시화 방법”, 위기관리이론과실천, 12권 12호, pp. 47-58, 2016
10. 조영선, 임형민, 최석근, 정성혁, “무인항공 사진측량을 이용한 고해상도 공간정보 취득”, 한국위기관리논집, 10권 2호, pp.273-287, 2014
11. 한국건설기술연구원. “도심지 지하붕괴 매몰지역 인명탐지 및 긴급구호 기술 개발 기획” 한국건설기술연구원 기획보고서. 건기연 2014-209.
12. 한국건설기술연구원, “재난지역 붕괴형상정보 취득 및 매몰자 탐지기술”, 한국건설기술연구원 2015년 1차년도 보고서

13. 한국건설기술연구원, “재난지역 붕괴형상정보 취득 및 매몰자 탐지기술”, 한국건설기술연구원 2016년 2차년도 보고서
14. 황원영, 최창열, “핑거프린트를 이용한 WLAN기반 실내 측위 시스템의 구현”, 한국통신학회 종합학술발표회 논문집(추계), pp.267-270, 2007
15. K. Kaemarungsi, and P. Krishnamurthy, Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting. INFOCOM 2004. Proceedings of Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 12, pp. 1012-1022, 2004.
16. L. Wang, M. Liao, M. Gong, R. Yang and D. Nister, “High-Quality Real-Time Stereo Using Adaptive Cost Aggregation and Dynamic Programming,” Proc. Int. Symp. 3D Data Proc., Vis. and Transm., pp. 798-805, 2006
17. Richard Hartley and Andrew Zisserman, “Multiple View Geometry in Computer Vision”, cambridge univ. press., 2000
18. S. Rosati, K. Kruzelecki, L. Traynard, and B. Rimoldi, "Speed-aware routing for uav ad-hoc networks," IEEE GLOBECOM 2013, 4th International IEEE Workshop on Wireless Networking & Control for Unmanned Autonomous Vehicles: Architectures, Protocols and Applications, 2013
19. S. Sagari, S. Baysting, D. Saha, I. Seskar, W. Trappe, and D. Raychudhuri, Coordinated Dynamic Spectrum Management of LET-U and Wi-Fi Networks, 2015 IEEE International Symposium on Dynamic spectrum Access Networks, pp. 209-220, 2015
20. T. Matsuyama, X. Wu, T. Takai, T. Wada, “Real-Time Dynamic 3-D Object Shape Reconstruction and High-Fidelity Texture Mapping for 3-D Video”, IEEE Trans. Circuits and System for Video Technology, Vol.14, no.3, pp.357-369, March, 2004.
21. T.-N. Nguyen, B. Michaelis, A. Al-Hamadi, M. Tornow and M. Meinecke, “Stereo-Camera-Based Urban Environment Perception Using Occupancy Grid and Object Tracking”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.13, No.1, pp.154-165, 2011

22. Zhang C. and Elaksher, A., An Unmanned Aerial Vehicle-Based Imaging System for 3D Measurement of Unpaved Road Surface Distresses, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 118-129, 2012.
23. EBS. 2010. 인명구조, 생명을 구하는 과학. 2010년 4월 11일자
24. 경실연. 2015. 삼풍백화점 사고 20주년 우리사회의 재난안전 진단과 과제. 경실연 도시개발센터 세미나 자료. 2015년 6월 25일자.
25. Google Indoor Map, [cited 2015 Oct. 10], Available From: <https://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/> (Accessed Oct. 10, 2015)
26. Kadhim Shubber, Smartphone-sniffing drone could help find disaster victims <http://www.wired.co.uk/news/archive/2014-07/16/drone-disaster-relief-survivors>. Accessed on: 15 Mar. 2016

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2018 january vol.04 no.01

<http://crpc.kist.re.kr>

02

복합재난관리의 현황과 전망

UNIST 도시환경공학부 정지범 교수
(learning@unist.ac.kr)

01' 복합재난의 정의

재난 양상이 변하고 있다. 풍수해, 지진, 화재, 폭발 등 익숙한 재난이 아니라 새로운 재난들이 발생하고 있다. 2000년 이후 우리가 경험한 다양한 재난들, 예를 들어 구미 불산사고, 메르스 사태, 사이버 공격 등은 예전에는 상상하지 못했던 새로운 재난이었다. 기후변화가 심화되면서 자연재난은 더욱 거대해지고, 여러 가지 재난들이 복합되어 발생하는 경우도 증가한다. 2005년 미국 허리케인 카트리나는 뉴올리언즈 지역을 쓸대밭으로 만들었고, 이로 인해 지역의 석유화학공장이 파괴되어 장기간의 환경 파괴로 이어졌다. 2011년 동일본대지진은 엄청난 해일과 이로 인한 석유화학공단 폭발, 후쿠시마 원자력발전소 멜트다운 사고로 이어졌다. 이는 자연재난에서 시작된 재난이 인적재난으로 나아가 장기적인 환경적 피해를 만들어 낸 대표적인 복합재난으로 볼 수 있을 것이다.

그림 1

동일본 대지진으로 인한 공단 폭발 및 원자력발전소 사고



최근 우리나라에서 발생한 2016년 경주지진은 규모 5.8의 관측 이래 최대 지진이었다. 또한 작년 발생한 포항지진은 규모 5.4의 지진으로 이제 우리나라도 지진의 안전지대가 아니라는 사실을 실감하게 해주었다. 두 지진 모두 인근지역에 원자력발전소가 밀집해 있어 자칫 대형복합재난으로 이어질 가능성도 간과 할 수 없었다. 이제 우리나라도 복합재난에 대한 체계적인 관리가 필요하다.

복합재난이라는 단어가 국제적으로 큰 관심을 끌게 된 계기도 2011년 동일본대지진이 다양한 형태의 재난으로 발전하면서 매우 복합적 양상을 띠었기 때문이다. 전통적으로 재난은 그 발생 원인이 무엇인가에 따라 자연재난 혹은 인적재난으로 구분되는 것이 일반적이다. 하지만 최근에는 이러한 구분 자체가 힘든 경우가 늘고 있으며, 재난 간 복합성 또한 증가하고 있다. 후쿠시마 사고와 같이 자연재난이 인적재난, 나아가 환경재난으로 발전하는 경우도 있지만, 자연재난 그 자체에 인간의 영향(anthropogenic)이 증가하고 있기도 하다. 최근의 국지성 집중호우 등 엄청난 강도의 자연재난은 기후변화때문이고, 이 기후변화는 인간의 활동(온실가스 배출) 때문이라면 지금의 자연재난 자체가 어쩌면 인적재난일 수도 있는 복합재난이라는 것이다.

이 글은 복합재난의 정의와 대응에 대한 국내외적 동향을 살펴보고, 미래지향적 정책 제언을 하는 것을 목적으로 한다.

1.1 국내외 법적, 제도적 정의

재난을 법적으로 정의하는 방법은 국가마다 다르다. 우리나라처럼 재난을 그 발생 원인에 따라 자연재난 및 사회재난으로 구분하는 경우도 있고, 재난을 그 피해에 따라 재난원인과 무관하게 포괄적으로 정의하는 경우도 있다. 일반적으로 재난의 법적, 제도적 정의는 ① 외부 재난 발생 요인(폭우, 지진, 화재 등) 중심 정의, ② 피해 중심(10명 이상 사망한 경우 등) 정의, ③ 사회적 취약성 중심 정의, ④ 기타(심리적 상태, 불확실성 등) 등이 있고 이 중 가장 일반적인 것이 발생원 중심의 정의라 할 수 있다.

우리나라에서는 법적 정의로서 재난 발생 원인에 따른 자연재난과 사회재난을 구분하지만, 복합재난이라는 특별한 정의는 없는 상황이다. 이는 우리나라뿐만 아니라 미국, 영국, 일본 등 재난관리의 선진국의 경우에도 마찬가지이다. 주요 국가의 재난관리 기본법에서 다루고 있는 재난 정의는 다음과 같다.

1.1.1 미국

미국에서 재난관련 기본법의 역할을 하고 있는 것은 「Stafford Act(Robert T. Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act, as Amended. April 2013, Public Law 100-707); 스태포드법」이다. 스태포드법은

1974년 제정된 「Disaster Relief Act of 1974(재난구호법)」을 개정하여 1988년 제정된 법으로 국가의 재난대응을 다루고 있으며, 특히 미국연방비상관리국(Federal Emergency Management Agency, FEMA)의 조직과 역할(프로그램)을 규정한다. 스테포드법은 총 7장으로 구성되어 비상상황(Emergency) 및 주요재난(Major Disaster) 정의, 재난대비 및 경감, 구호 등의 내용을 다루고 있다. 스테포드 법에서 정의하는 재난은 다음과 같다¹⁾.

비상상황(Emergency): 인명과 재산의 보호를 위해 연방정부의 지원이 필요한 모든 상황
 주요재난(Major Disaster): 심각한 피해가 발생하여 연방정부 지원이 필요한 허리케인, 토네이도 등 자연재난과 화재, 폭발 등 모든 형태의 재난

이와 함께 법 6장에서는 별도로 위해(hazard)와 자연재해(natural disaster)를 정의하고 있는데 그 내용은 다음과 같다²⁾.

위해(hazard): 자연재해 혹은 사고(accidental or man-caused event)에 의한 비상사태 혹은 재난
 자연재해(natural disaster): 허리케인, 토네이도 등 미국 내 인명과 재산에 큰 피해를 줄 수 있는 것들

한편 미국의 경우 법과 함께 재난관리 계획이 매우 중요하며, 이 계획에 따라 모든 재난 대응이 이루어지곤 한다. 미국에서는 2011년 허리케인 카트리나 이후, 재난대응체계인 NRF(National Response Framework)에

-
- 1) Title I – Findings, Declarations and Definitions / Sec. 102. Definitions (42 U.S.C. 5122)
 - (1) Emergency – “Emergency” means any occasion or instance for which, in the determination of the President, Federal assistance is needed to supplement State and local efforts and capabilities to save lives and to protect property and public health and safety, or to lessen or avert the threat of a catastrophe in any part of the United States.
 - (2) Major Disaster – “Major disaster” means any natural catastrophe (including any hurricane, tornado, storm, high water, wind driven water, tidal wave, tsunami, earthquake, volcanic eruption, landslide, mudslide, snowstorm, or drought), or, regardless of cause, any fire, flood, or explosion, in any part of the United States, which in the determination of the President causes damage of sufficient severity and magnitude to warrant major disaster assistance under this Act to supplement the efforts and available resources of States, local governments, and disaster relief organizations in alleviating the damage, loss, hardship, or suffering caused thereby.
 - 2) Title VI – Emergency Preparedness / Sec. 602. Definitions (42 U.S.C. 5195a)
 - (1) hazard – The term “hazard” means an emergency or disaster resulting from-
 - (A) a natural disaster; or
 - (B) an accidental or man-caused event.
 - (2) natural disaster – The term “natural disaster” means any hurricane, tornado, storm, flood, high water, wind-driven water, tidal wave, tsunami, earthquake, volcanic eruption, landslide, mudslide, snowstorm, drought, fire, or other catastrophe in any part of the United States which causes, or which may cause, substantial damage or injury to civilian property or persons.

다양한 특수재난을 다루는 부속서(Incident Annexes)를 신설했다. 이 사고 부속서에서는 포괄적 대형복합재난(catastrophe) 이외에도 화학사고, 사이버사고, 식량과 농업사고, 대규모 대피사고, 핵/방사능사고, 테러리즘에 대하여 다루고 있는데 이러한 재난들은 모두 이전에는 경험하기 힘들었던 특수한 상황을 고려한 것으로 볼 수 있다. 주요 사례들을 예시하면 다음과 같다.

- 원자력 발전소 사고로 지역사회에 광범위한 피해가 발생한 경우(방사능)
- 구미 불산사고와 같이 특수한 화학물질이 누출되어 지역사회에 광범위한 피해가 발생(화학)
- 테러로 인하여 대규모 인명피해 발생 및 기반시설 마비(테러)
- 생물학적 무기 및 세균 감염으로 인한 광범위한 피해(생물)
- 원인을 알 수 없는 재난 (재난조사 기능 포함)
- 극심한 우주전파(Space Weather)로 인한 기반시설 마비

이상을 바탕으로 살펴 본 미국의 재난정의의 특징은 다음과 같다(정지범 외, 2015).

첫째, 일반적인 재난(emergency)과 대규모 피해가 발생하는 주요재난(major disaster)을 구분하고 있다. 둘째, 재난을 허리케인, 토네이도 등과 같이 재난의 예를 드는 형태로 예시적 정의 방법을 통해 정의하고 있다. 이는 우리나라와 마찬가지로이다. 셋째, 복합재난에 대한 별도의 법적 정의가 없다. 그러나 재난종합 대응계획인 NRF에서는 사고부속서(Incident Annexes)에서 다양한 특수재난과 복합재난에 대한 관리 계획을 다루고 있다.

1.1.2 영국

영국에서도 재난(disaster) 혹은 중대사고(major incident)라는 용어를 사용하곤 하지만, 법적으로 재난은 비상상황(emergency)으로 정의한다. 영국 재난관리에서 기본법 성격을 가진 법은 「Civil Contingencies Act 2004(국가위기관리법)」이다. 이 법에서 정의하고 있는 비상사태(emergency)는 다음과 같다³⁾.

3) Civil Contingencies Act 2004, Part 1 Local Arrangements for Civil Protection In this Part "emergency" means—
 (a) an event or situation which threatens serious damage to human welfare in a place in the United Kingdom,
 (b) an event or situation which threatens serious damage to the environment of a place in the United Kingdom, or
 (c) war, or terrorism, which threatens serious damage to the security of the United Kingdom.
 (<http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2004/36/contents>).

- (a) 영국 내에서 인간복지를 위협하는 심각한 피해를 일으키는 사건이나 상황
- (b) 영국 내에서 심각한 환경적 피해를 일으키는 사건이나 상황
- (c) 영국의 국가안보에 심각한 영향을 줄 수 있는 전쟁이나 테러

영국 기본법에서의 재난 정의의 특징은 다음과 같다(정지범 외, 2015). 첫째, 자연재난이나 인적재난과 같이 재난 원인에 근거한 재난 분류를 하지 않고 있다. 또한 여러 가지 재난을 나열하는 열거식 정의 방식을 사용하지 않는다. 둘째, 피해를 받는 대상으로 인간복지(human welfare)와 환경(environment)을 강조하고 있다. 셋째, 특히 테러를 강조하여 재난 정의에 포함시키고 있다. 이는 미국 9/11테러 및 영국 7/7 테러ⁱ⁾에 영향 받은 바 큰 것으로 보인다. 넷째, 복합재난에 대한 별도의 법적 정의는 없는 상황이다.

1.1.3 일본

일본의 재난관련법령은 1946년 난카이(南海) 대지진을 계기로 「재해구조법(災害救助法)」이 제정되면서 시작되었다(內閣府, 2011). 이후 1959년 이세완(伊勢灣) 태풍을 계기로 종합적이고 계획적인 방재체제 정비를 위해 1961년에 「재해대책기본법(災害對策基本法)」이 제정되었고, 이 법이 일본 재난관리의 기본법으로서 우리나라의 「재난 및 안전관리 기본법」과 유사한 위상을 갖게 되었다(內閣府, 2011; 정지범·윤건, 2014). 「재해대책기본법」에서는 재해가 공식용어이며 이를 다음과 같이 정의한다⁴⁾.

“폭풍, 회오리바람(토네이도), 호우, 폭설, 홍수, 사면붕괴, 토석류, 사리, 지진, 해일, 분화, 산사태 그 외의 비정상인 자연현상 또는 대규모 화재 혹은 폭발 기타 그로 인한 피해, 이와 유사한 정령(政令)으로 정하는 원인에 의해 발생한 피해를 말한다.”

한편, 일본의 국가안전관리기본계획의 성격을 가지고 있는 방재기본계획(防災基本計画)에서는 복합재해를 다음과 같이 정의한다(정지범 외, 2015).

4) 第一章 総則 (定義) 第二条

- 災害 暴風、竜巻、豪雨、豪雪、洪水、崖崩れ、土石流、高潮、地震、津波、噴火、地滑りその他の異常な自然現象又は大規模な火事若しくは爆発その他その及ぼす被害の程度においてこれらに類する政令で定める原因により生ずる被害をいう。

i) (편집자) 영국 7/7테러

2005년 7월 7일 러시아워시간에 런던의 대중교통(버스, 지하철)에서 일어난 자살폭탄테러 사건. 이 사건으로 56명의 사망자와 700여명의 부상자가 발생.

“동시 또는 순차적으로 두 개 이상의 재해가 발생하고 그 영향이 복합화함으로써 피해가 심각해지면서 재해 응급 대응이 어려운 사건(中央防災會議, 2015: 24)”⁵⁾

일본의 「재해대책기본법」에서 정의하고 있는 재난의 특징은 다음과 같다(정지범 외, 2015). 첫째, 일본의 재해 정의는 우리나라와 유사하게 열거식 정의를 사용하고 있다. 둘째, 재난을 자연재해와 인적재난으로 구분하여 제시하고 있다. 셋째, 기본법에는 정의가 없지만 방재기본계획에서 복합재해를 정의하여 활용하고 있다.

1.1.4 한국

우리나라는 「재난 및 안전관리 기본법」에 따라서 재난이 발생하는 원인에 따라 자연재난과 사회재난(구 인적 재난 + 사회적 재난)을 구분하고 있다. 이러한 방식의 재난 정의는 재난의 원인을 나열하고 각각의 재난 특성에 따라 대응하는 업무 분장을 명확하게 할 수 있다는 점에서 우리나라와 같이 관료제 성격이 강한 정부 구조에 적합한 재난 정의 방식이다(정지범 외, 2015). 「재난 및 안전관리 기본법」에서는 발생 원인이 되는 ‘자연현상’을 기준으로 자연재난을 정의하고 있으며, 사회재난의 정의에서는 발생원에 따라 화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화생방사고, 환경오염사고 등을 명시함과 동시에 이러한 원인에 의해 발생한 재난의 피해 규모에 따라, ‘대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해’, ‘국가기반체계의 마비’, ‘감염병, 가축전염병으로 인한 피해’ 등의 정의를 포함하고 있다. 우리나라의 재난 정의는 다음과 같다.

「재난 및 안전관리 기본법」 제3조의1

가. 자연재난: 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대발생, 조수(潮水), 화산활동, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해

나. 사회재난: 화재·붕괴·폭발·교통사고(항공사고 및 해상사고를 포함한다)·화생방사고·환경오염사고 등으로 인하여 발생하는 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해와 에너지·통신·교통·금융·의료·수도 등 국가기반체계의 마비, 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따른 감염병 또는 「가축전염병예방법」에 따른 가축전염병의 확산 등으로 인한 피해

5) “同時又は連続して2以上の災害が発生し、それらの影響が複合化することにより、被害が深刻化し、災害応急対応が困難になる事象”

「재난 및 안전관리 기본법 시행령」제13조

제13조(대규모 재난의 범위) 법 제14조제1항에서 “대통령령으로 정하는 대규모 재난”이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 재난을 말한다.

1. 재난 중 인명 또는 재산의 피해 정도가 매우 크거나 재난의 영향이 사회적·경제적으로 광범위하여 주무부처의 장 또는 법 제16조제2항에 따른 지역재난안전대책본부(이하 "지역대책본부"라 한다)의 본부장(이하 "지역대책본부장"이라 한다)의 건의를 받아 법 제14조제2항에 따른 중앙재난안전대책본부의 본부장(이하 "중앙대책본부장"이라 한다)이 인정하는 재난
2. 제1호에 따른 재난에 준하는 것으로서 중앙대책본부장이 재난관리를 위하여 법 제14조제1항에 따른 중앙재난안전대책본부(이하 "중앙대책본부"라 한다)의 설치가 필요하다고 판단하는 재난

2014년 세월호 사고 이후에는 대형 교통수단 사고 등 특수재난의 중요성이 강조되었다. 이에 국민안전처에 특수재난실을 만들었고, 여기서는 기존의 자연, 사회재난과 달리 특수한 관리가 필요한 재난으로서 특수재난, 대형복합재난, 미래재난 등에 대한 관심을 갖게 되었다. 당시 특수재난실이 정의한 특수재난의 정의는 다음과 같다.

특수재난 : 사회·자연재난 중 항공, 철도, 터널, 에너지, 화학, 통신인프라, 원자력 등 주관부처(중수본)가 관리하는 대형·복합재난과 미래 예상되는 재난

그러나 특수재난을 기존의 사회재난과 분리하여 별도로 구분하는 것이 큰 의미가 없었고, 각 특수재난을 관리하는 개별부처(각 재난별 재난관리주관기관으로서 원자력안전위원회, 국토부, 산업통상부, 미래창조과학부(현, 과학기술정보통신부) 등)와의 업무상 중복 문제가 끊임없이 제기되는 등 여러 가지 문제점이 발생했다. 이에 문재인 정부 설립 이후 특수재난실은 폐지되었다.

그림 2

2015년 국민안전처관리 대상 특수재난

대형교통사고

- 도로터널, 고속철도, 지하철, 항공 등 교통수단별 다양한 형태의 재난이 있을 수 있으며, 재난 규모에 따라 법 정부차원의 대응 필요
- 사고수습 / 조사분석 : 국토교통부 항공·철도 사고조사위원회



유해화학물질 등 환경오염

- 대규모 유해화학물질 유출 등 사고로 인한 수질 및 대기 등 자연환경파괴 및 국민의 재산과 인명피해
- 사고수습 / 조사분석 : 환경부 화학물질안전원 화학사고 조사단



감염병 재난

- 질병으로 인해 국민의 건강과 보건에 심각한 위해가 가해지는 사태
- 사고수습 / 조사분석 : 보건복지부 질병관리본부 역학조사반



가축질병

- 구제역, 고병원성 조류인플루엔자 등의 가축전염병이 발생하거나 확산되어 발생하는 피해
- 사고수습/조사분석 : 농림축산식품부 농림축산검역본부 역학조사반



원자력안전사고

- 원자력시설에서의 사고·고장으로 인해 방사성물질이 외부로 누출되거나 누출될 우려가 있는 사고
- 사고수습 / 조사분석 : 원자력안전위원회 한국원자력안전기술원



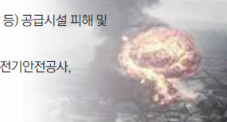
다중밀집시설 및 산업단지 등에서의 대형사고

- 다중밀집시설 및 산업단지 등에서 대형 붕괴·화재·폭발, 유해화학물질 누출 등이 발생하는 사고
- 사고수습/조사분석 : 국민안전처, 산업통상자원부, 환경부, 국토부 한국시설안전공단 사고조사위원회



에너지 관련 사고

- 재난으로 인해 발생하는 에너지(전기, 가스 등) 공급시설 피해 및 에너지공급 기능 마비 사고
- 사고수습/조사분석 : 산업통상자원부 한국전기안전공사, 한국가스안전공사



정보통신 사고

- 재난으로 인해 발생하는 정보통신망 피해 및 방송통신 기능 마비 사고
- 사고수습 / 조사분석 : 미래창조과학부



출처: <http://www.mps.go.kr/home/policy/policy/dataBoard/0006/>

1.1.5 종합

이상의 내용을 정리하여 우리나라와 미국, 영국, 일본의 재난정의를 종합하면 다음과 같다. 재난관리의 선진국이라 할 수 있는 미국, 영국, 일본의 경우에도 복합재난에 대한 법적 정의는 하지 않는 것으로 보인다. 하지만 계획 단위에서는 복합재난을 다루고 있는데, 미국의 경우 NRF Incident Annex(Catastrophe 등)에서, 일본의 경우에는 방재기본계획을 통하여 잠정적 정의를 하고 있고, 대응체제에 있어서 협업의 중요성을 강조하고 있다.

표 1

주요국의 법적 재난 정의 비교

국가	한국	미국	영국	일본
재난용어	재난, 재해(자연재해)	Emergency, Major disaster (대규모)	Emergency(법적), Major incident 혹은 Disaster 사용	재해
기본법	재난 및 안전관리 기본법	스태포드법 Stafford disaster relief and emergency assistance act	국가위기관리법 Civil contingencies act	재해대책기본법 災害對策基本法
재난 구분	원인중심 자연재난, 사회재난(기반시설 마비, 전염병 포함)	원인중심 자연재난, 인적재난(사고)	결과중심 재난구분 없음 테러를 별도로 정의	원인중심 자연재해, 인적재난
복합재난 법적정의	없음	기본법(없음) NRF Incident Annex (Catastrophe 등)	없음	기본법(없음) 방재기본계획 (복합재해)

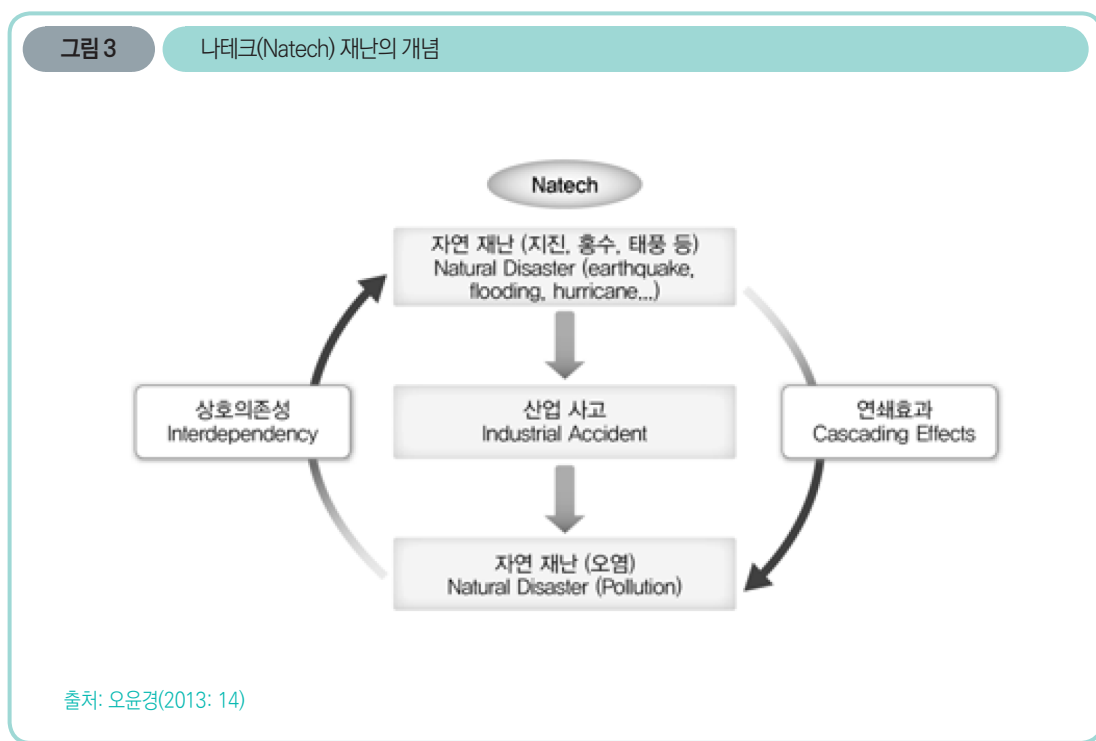
출처: 정지범 외(2015: 50)를 수정

1.2 국제기구 등에서 규정하는 정의

우리나라에서는 재난관리(Disaster management)가 매우 일반적인 용어이지만 이는 세계적으로 동일한 것이 아니다. 영미권에서는 재난관리보다는 비상관리(Emergency management)를 사용하는 경우가 많고, 이외에도 Contingency(영국), Homeland Security(미국) 등의 용어들이 사용되곤 한다. 이처럼 재난에 대한 용어들은 국제적으로 통일되어 있지 않으며, 각국의 문화 및 제도적 특성에 따라 용어 사용이 매우 다를 수 있다. 복합재난이라는 용어도 마찬가지이다. 단순 번역으로는 Complex Disaster, Compounding Disaster 등을 사용할 수 있을 듯하지만 이는 일반적인 용어가 아니다.

복합재난 성격을 가진 용어의 하나로 국제 사회에서 널리 쓰인 단어로는 나테크재난(Natech disaster)이 있다. 나테크재난이란 자연재난이 일으킨 기술재난(Natural hazards triggering a Technological Disaster)

을 의미한다(Cruz, Steinberg, Arellano, Nordvik, & Pisano, 2004). 나테크재난은 자연재난으로 인한 기술재난이지만 재난의 복합적 성격을 강조하는 복합재난 개념이다. 나테크재난은 학자들에 따라 정의방식이 약간씩 다르지만 태풍, 지진과 같은 자연재난 때문에 석유화학 공단 탱크 붕괴와 같은 기술재난(인적재난)이 발생하고, 여기서 유출되는 유해물질로 인하여 장기적인 환경피해가 발생하는 경우를 의미한다. 이를 도식화한 그림은 다음과 같다.



나테크재난에 대한 연구는 실제 피해사례 발생에 따라 증가해 왔다. 대표적으로 2005년 미국 허리케인 카트리나와 2011년 동일본 대지진의 여파로 관련 연구가 크게 발전했다. 나테크재난은 자연-기술재난이 복합된 현상을 의미하지만, 많은 연구자들은 나테크재난의 개념을 자연적 위해요소 및 자연 재난에 의한 화학사고(A chemical accident caused by a natural hazard or disaster) (Krausmann·Baranzini, 2012:1029; 오윤경(2013)에서 재인용)로 한정하여 해석하는 경우가 많았다.

나테크와 함께 국제 사회에서 복합재난에 해당하는 용어로 많이 사용되는 것은 멀티해저드(multi hazards)이다. 이 용어는 특히 국제연합의 재난관리 담당 조직인 UN-ISDR에서 공식적으로 사용하고 있다. UN-ISDR(2017)은 먼저 Hazard를 인명피해, 건강에 영향, 재산 피해, 사회경제적 파동, 환경 피해 등을 일으킬 수 있는 과정, 현상 혹은 인간의 활동(A process, phenomenon or human activity that may cause loss of life, injury or other health impacts, property damage, social and economic disruption or environmental degradation)으로 정의하고 있다. 또한 hazard를 자연적(Natural) 원인, 인적(Anthropogenic) 원인으로 구분하고 있으며, 이 두 가지가 합쳐진 사회자연적(Socionatural) 원인도 별도로 구분하고 있다. 환경파괴나 기후변화 등이 그 예가 될 수 있다.

멀티해저드는 (1) 한 국가가 경험할 수 있는 여러 개의 대형 재난(The selection of multiple major hazards that the country faces), 혹은 (2) 여러 개의 재난이 동시에 혹은 순차적으로 발생하여 이들이 상호 연계된 피해를 발생하는 경우(The specific contexts where hazardous events may occur simultaneously, cascadingly or cumulatively over time, and taking into account the potential interrelated effects)를 의미한다(UN-ISDR, 2017).

UN에서 멀티해저드를 강조하는 것은 UN-ISDR의 국제행동강령(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030)에서도 확인할 수 있다. 센다이 프레임웍은 이전 효고 프레임웍ⁱⁱ⁾(UN-ISDR, 2005)의 한계를 극복하기 위해 새로운 목표와 우선순위, 지도원칙 등을 내세웠다. 센다이 프레임웍의 전체 개요는 다음의 그림과 같다.

ii) (편집자) 효고프레임웍(효고행동강령)

효고행동강령(Hyogo Framework for Action 2005-2015)은 재난경감과 개발·빈곤퇴치와의 관계, 재난감소에 대한 각국의 1차적 책임, 자연 재해에 취약한 개도국에 대한 지원 필요성, HFA의 이행촉구 등을 주요 내용으로 하는 재난감소를 위한 국제사회의 협력을 위해 수립(출처: 국립재난안전연구원)

그림 4

센다이 프레임워크 개요

Chart of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030

Scope and purpose

The present framework will apply to the risk of small-scale and large-scale, frequent and infrequent, sudden and slow-onset disasters, caused by natural or manmade hazards as well as related environmental, technological and biological hazards and risks. It aims to guide the multi-hazard management of disaster risk in development at all levels as well as within and across all sectors

Expected outcome

The substantial reduction of disaster risk and losses in lives, livelihoods and health and in the economic, physical, social, cultural and environmental assets of persons, businesses, communities and countries

Goal

Prevent new and reduce existing disaster risk through the implementation of integrated and inclusive economic, structural, legal, social, health, cultural, educational, environmental, technological, political and institutional measures that prevent and reduce hazard exposure and vulnerability to disaster, increase preparedness for response and recovery, and thus strengthen resilience

Targets

Substantially reduce global disaster mortality by 2030, aiming to lower average per 100,000 global mortality between 2020-2030 compared to 2005-2015	Substantially reduce the number of affected people globally by 2030, aiming to lower the average global figure per 100,000 between 2020-2030 compared to 2005-2015	Reduce direct disaster economic loss in relation to global gross domestic product (GDP) by 2030	Substantially reduce disaster damage to critical infrastructure and disruption of basic services, among them health and educational facilities, including through developing their resilience by 2030	Substantially increase the number of countries with national and local disaster risk reduction strategies by 2020	Substantially enhance international cooperation to developing countries through adequate and sustainable support to complement their national actions for implementation of this framework by 2030	Substantially increase the availability of and access to multi-hazard early warning systems and disaster risk information and assessments to people by 2030
--	--	---	---	---	--	---

Priorities for Action

There is a need for focused action within and across sectors by States at local, national, regional and global levels in the following four priority areas.

Priority 1 Understanding disaster risk	Priority 2 Strengthening disaster risk governance to manage disaster risk	Priority 3 Investing in disaster risk reduction for resilience	Priority 4 Enhancing disaster preparedness for effective response, and to «Build Back Better» in recovery, rehabilitation and reconstruction
--	---	--	--

출처: UN-ISDR(2013: 14)

이 프레임워크의 7개 목표 중 하나는 복합재난에 대한 조기경보 시스템의 활용성을 높이는 것이다 (Substantially increase the availability of and access to multi-hazard early warning systems and disaster risk information and assessments to people by 2030). 이러한 복합재난에 대한 강조는 2011년 동일본 대지진과 그로 인한 원자력발전소 사고 등 다양한 복합재난 발생에 따른 것으로 판단된다. 이와 함께 총 13개의 지도 원칙(Guiding principles)을 제시하고 있는데 이 중 하나가 다양한 재난과 복합재난 대응 및 다양한 피해자들을 모두 포괄할 수 있는 접근(A multi-hazard approach and inclusive risk-informed decision-making)을 강조하고 있는 것이다. 센다이 프레임워크에서 제시하는 13가지 원칙은 다음과 같다.

그림 5

센다이 프레임워크 13가지 원칙



출처: UN-ISDR(2013)

센다이 프레임워크는 4개의 우선 행동원칙(Priorities for action)을 제시하고 있다. 이는 1) 재난위험 이해(Understanding disaster risk), 2) 재난거버넌스 강화(Strengthening disaster risk governance to manage disaster risk), 3) 회복력 강화를 위한 재난저감 사업에 투자(Investing in disaster risk reduction for resilience), 4) 효과적인 재난관리를 위한 재난대비 증진 및 복구과정에서 더 나은 재건(Enhancing disaster preparedness for effective response, and to “Build Back Better” in recovery, rehabilitation and reconstruction) 등이다.

그림 6

센다이 프레임워크 4가지 우선순위



출처: UN-ISDR(2013)

특히 재난위험 이해 측면에서 복합재난 연구를 강조하고 있는데, 이는 복합재난 연구에의 투자 증대, 복합 재난 조기경보시스템 구축을 위한 연구, 복합재난 위험에 대한 종합 서베이 등이 포함되었다. 또한 우선순위 4의 재난대비 및 대응 분야에서도 복합재난에 대한 대응력 향상을 강조하고 있다.

02' 복합재난 관리의 방법

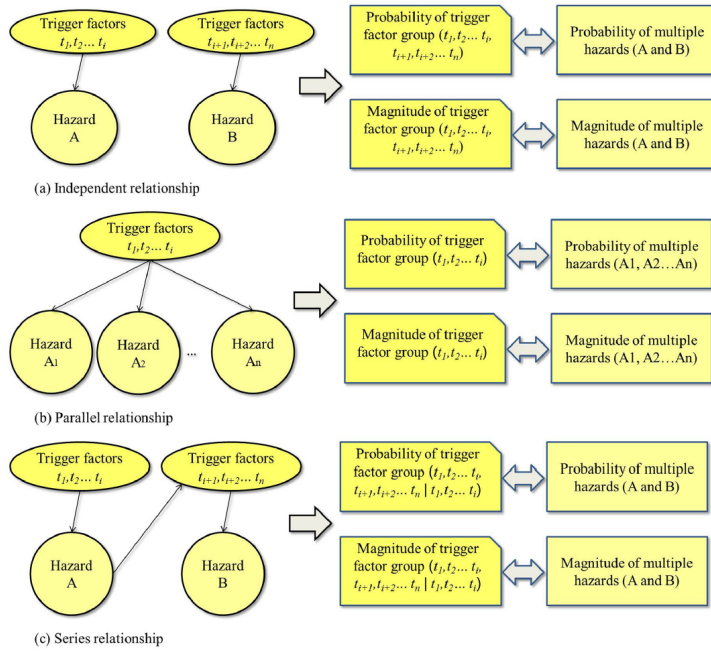
2.1 분석의 대상으로서의 복합재난

복합재난(Multi Hazards)은 허리케인 카트리나나 동일본 대지진과 같이 하나의 재난이 다른 여러 개의 재난과 겹치면서 그 피해가 커지는 것을 의미한다. 이를 좀 더 구분한다면, (1) 독립적인 여러 개의 재난이 동시에 발생하는 경우(Crowding), 혹은 (2) 하나의 재난이 원인이 되어 또 다른 재난으로 발전하는 경우(Cascading)를 들 수 있을 것이다. 첫 번째 경우는 어떤 한 지역에 태풍이 발생하여 피해가 커진 상황에서 동시에 지진이 발생하여 더욱 큰 피해가 발생하는 재난이 어떤 한정된 장소에 모이는(Crowding) 현상을 예로 들 수 있다(Liu, Siu, & Mitchell, 2016). 이 경우 이미 태풍으로 인하여 지역 방재시스템이 피해를 입었다면 지진으로 인한 피해에 효과적으로 대응하지 못하여 더욱 큰 피해가 발생할 수 있다. 두 번째의 경우는 일본 동일본 대지진과 같이 지진이 쓰나미를 불러일으키고, 이로 인하여 원자력발전소가 파괴되는 연쇄 효과(도미노 현상, Cascading disaster)를 강조하는 개념이다.

Liu, Siu, & Mitchell(2016)은 복합재난위험분석(Multi-hazard risk assessment)을 위해 복합재난현상을 모델링했는데, 이 역시 독립적 재난이 한 지역에서 동시에 발생하는 경우와 하나의 재난이 원인이 되어 다른 재난으로 발전하는 경우를 제시했다. 다음의 그림은 이러한 모델의 예를 보여준다.

그림 7

복합재난 발생 모형의 예시



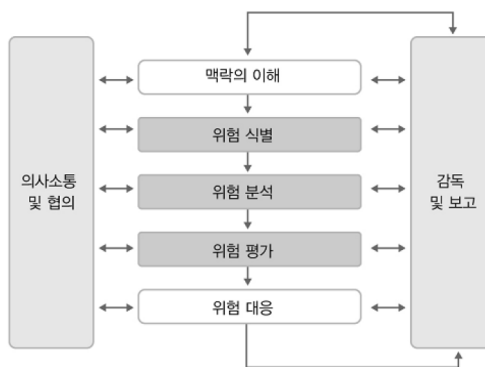
출처: Liu, Siu, & Mitchell(2016: 634)

2.2 복합재난의 효과적 분석

복합재난 위험의 분석 역시 일반적인 위험관리 방법론을 따른다. 위험관리(Risk management) 방법론에서 가장 잘 알려진 ISO 31000 표준에 따르면 일반적 위험관리의 절차는 다음의 그림과 같다.

그림 8

ISO 31000 위험관리 프레임워크



출처: 정지범(2015: 74)

이 절차에서 위험의 분석은 어떤 위험이 있는지를 확인하는 위험식별(Risk Identification) 과정, 식별된 위험이 어떻게 발생할 것인가를 분석하는(고장수목(Fault Tree), 사건수목(Event Tree) 등 활용) 위험분석(Risk Analysis) 과정, 그리고 그 위험의 발생가능성과 피해가 얼마나 될지를 평가하는 위험평가(Risk Evaluation) 과정으로 구성된다. 복합재난 위험 분석 역시 이러한 위험분석방법론의 큰 틀을 따르게 된다.

Marzocchi 등(2012)은 다양한 위험이 복합재난 양상을 띠는 경우에 각 위험의 예측 및 서로 간의 상호 영향에 따른 리스크 평가 절차를 다음과 같이 제시했다.

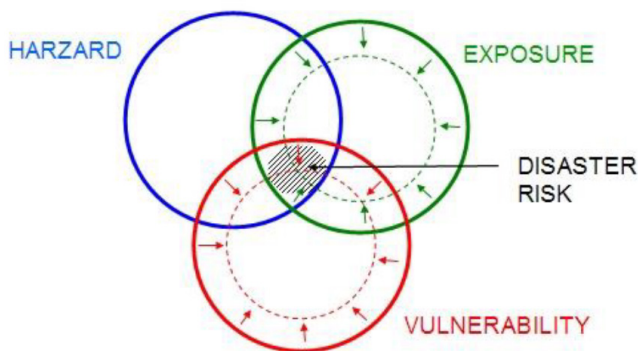
① 분석의 대상이 되는 시공간적 범위와 위험평가의 단위 선정(Definition of the space-time window for the risk assessment and the metric for evaluating the risks)

분석의 주체가 어떤 도시의 시장이나, 재난대응 담당자나, 도시계획 담당자냐에 따라 관심의 범위가 달라지며, 평가의 단위도 다르다. 재난대응 담당자는 인명피해(평가의 단위)를 줄이는 것이 가장 큰 목표이며, 시간적 범위는 재난이후 며칠간 정도로 짧은 편이며, 공간적 대상 범위도 좁다. 한편, 도시계획 담당자의 경우 인명과 재산을 모두 평가의 단위로 고려해야 하며, 도시 전체를 공간적 범위로 하고 시간적 관심 범위도 매우 길 수밖에 없을 것이다.

- ② 대상 지역을 위협할 수 있는 위험 식별 (Identification of the risks impending on the selected area)
 대상 지역을 위협할 수 있는 다양한 위험들을 식별한다. 위험 식별의 가장 좋은 방법은 해당 지역의 역사적 기록을 활용하는 것이다. 해당 지역에서 발생한 다양한 재난의 기록과 각 재난으로 인하여 연쇄적으로 발생했던 재난의 사례를 확인한다.
- ③ 다양한 강도와 상호관계를 모두 포괄하는 재난 시나리오 식별 (Identification of selected hazard scenarios covering all possible intensities and relevant hazard interactions)
 복합재난 위험성 분석의 경우 시나리오 분석법을 활용하는 것이 일반적이다. 다양한 위험들이 연계되어 나타날 경우 수많은 시나리오가 만들어질 수 있지만 모든 시나리오를 분석하는 것은 불가능하기 때문에 다양한 시나리오 중에서 가장 가능성이 높은 시나리오들을 식별하는 과정이 필요하다. 그리고 식별된 시나리오들이 다양한 위험들의 연계와 다양한 강도를 모두 포괄할 수 있도록 구성하는 것이 바람직하다.
- ④ 각 시나리오에 대한 확률론적 분석 (Probabilistic assessment of each scenario)
 시나리오 대한 확률론적 분석을 실시한다. 이를 위해 시나리오를 구성하는 사건수목(Event Tree)을 구성하고 이에 대한 분석을 실시한다.
- ⑤ 각 시나리오에 대한 취약성 및 노출도 분석 (Vulnerability and exposure assessment for each scenario, taking into account the vulnerability of combined hazards)
 사막에 지진이 발생한다면 재난이라고 볼 수 있을까? 사막에는 아무런 시설물도 없고 아무도 살지 않기 때문에 피해가 없을 것이다. 이러한 경우에 이 지진은 재난이라기보다는 자연현상에 불과하다. 하나의 위험이 재난이 되기 위해서는 이 위험에 노출된 사회와 사람들이 있어야 한다. 이를 노출도(Exposure)라 한다. 한편 어떤 도시에 지진이 발생한다 하더라도 그 도시의 모든 건물들에 완벽한 내진설계가 되어 있어서 아무런 피해가 없다면 이 역시 재난으로 발전하지 않을 것이다. 하지만 내진설계가 되어 있지 않다면 그 도시는 지진에 취약하여 많은 피해가 발생할 것이고, 따라서 재난이 발생할 수 있다. 이를 취약성(Vulnerability)이라 한다. 이를 도해하면 다음의 그림과 같다.

그림 9

위해-노출-취약성을 고려한 재난위험의 분석



출처: Liu & Huang(2014: 5).

노출도 및 취약성 분석을 위해서는 재난에 피해를 입을 수 있는 인구, 취약계층, 건물, 인프라 등 각종 자산에 대한 확인이 필요하다. 또한 각각의 취약성을 분석하는 것과 함께 다양한 위험이 복합적으로 나타나는 복합재난의 취약성도 함께 분석해야 한다. 일반적으로 두 가지 이상의 재난이 복합적으로 발생하는 복합재난에 대한 취약성은 단일재난들에 대한 취약성의 합보다 크다. 즉, 지진과 화재로 인한 어떤 건물의 취약성이 그 건물의 지진 취약성과 화재 취약성의 합 보다 크다는 것이다. 이는 지진으로 인하여 그 건물의 스프링클러 등 소방장치가 망가진 상태에서 화재가 발생하기 쉽다는 뜻으로 해석이 가능하다. 따라서 복합재난 취약성 분석은 지진으로 소방시설이 망가져서 취약성이 높아진 것을 고려한 분석이 수행되어야 한다. 이러한 분석을 위하여 베이지언 확률론적 분석이 활용되곤 한다.

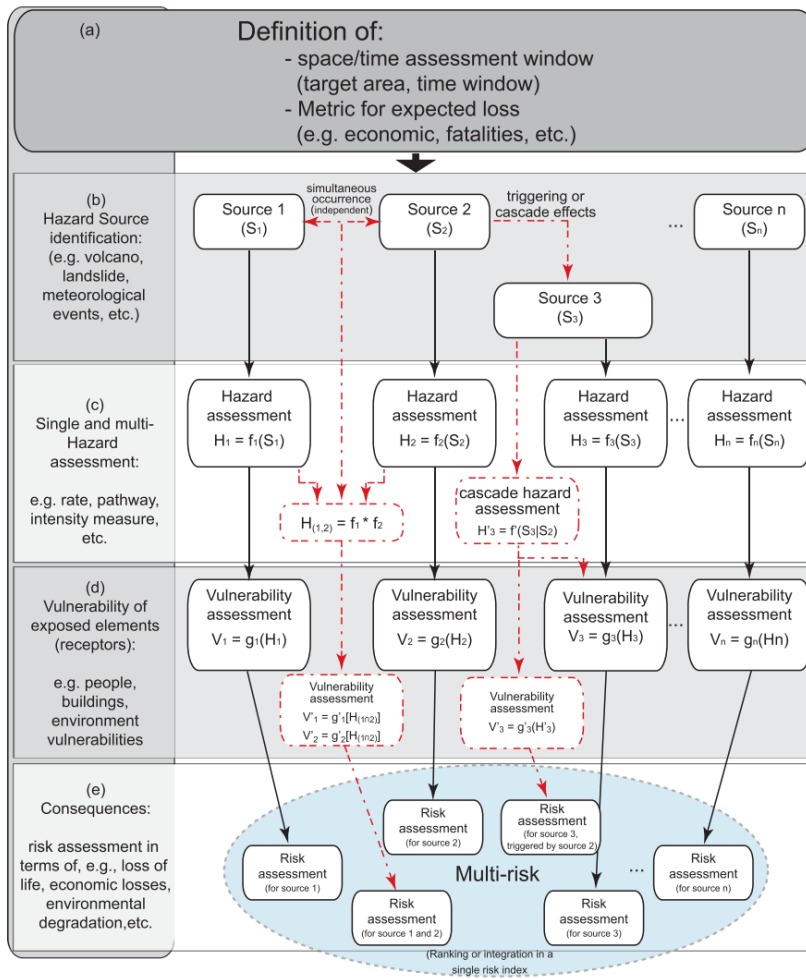
⑥ 피해 예측과 복합위험 분석 (Loss estimation and multi-risk assessment)

복합재난 위험도(Risk)는 일반적으로 피해확률(Probability)과 피해정도(Consequence or damage)의 곱으로 구성된다. 예를 들어, 앞서 구성된 노출도와 취약성을 바탕으로 어떤 가상적인 복합재난으로 인한 사망자 100명이 발생할 확률이 백만분의 일로 계산될 수 있다.

이러한 단계를 종합하면 아래의 그림과 같이 도식화가 가능하다.

그림 10

복합재난 위험 분석의 단계별 절차



출처: Liu & Huang(2014: 5).

2.3 복합재난에 대한 효과적 대응

(1) 미국 NRF 사례

미국의 재난관리는 법보다는 계획이 중심이 되어 수행된다. 미국 재난관리에서 특히 중요한 기본 계획은 NRF(National Response Framework)이다. NRF는 미국 연방정부가 모든 유형의 재난과 비상상황에 대응하는 방법에 대한 안내서 역할을 한다. 미국에서 복합재난에 대한 경각심이 높아진 것은, 대표적인 대형 복합재난이었던 허리케인 카트리나를 겪은 이후로 볼 수 있다. 그 결과 미국은 그 전까지 운영하던 재난계획 NRP(National Response Plan)를 NRF로 개정하게 되었다.

NRF는 기본문서(Base Document)와 응급지원기능(ESF: Emergency Support Function) 부속서(Annexes), 지원 부속서(Support Annexes), 사고 부속서(Incident Annexes)로 구성된다. 미국은 기본적으로 전 재해 접근법(All hazards approach)을 지향하기 때문에 재난 원인에 따라 대응 방법이 다르기보다는 재난 대응에 필요한 기능별(예를 들어, 인명 구조, 이재민 수송, 이재민 구호 등)로 재난 대응 계획을 운영한다. 응급지원기능(ESF) 부속서는 이러한 기능별 계획을 의미한다. 한편 복합재난 대응과 관련된 것은 사고부속서로 볼 수 있다.

그림 11

NRF의 구조



출처 : DHS(2013: 3).

NRF 사고 부속서는 일반 재난 대응에 필요한 것 이상의 특수한 형태의 재난에 대한 계획이다. 사고 부속서에서 다루는 특수한 재난이란 생물학 사고, 재앙적 사고, 사이버 사고, 식량과 농업 사고, 대규모 대피 사고, 핵/방사능 사고, 테러리즘 사고 등으로 특수한 대응 기술이 필요한 재난, 대형 복합재난 등을 포괄한다 (DHS, 2013: 37). 따라서 사고 부속서는 ESF에서 요구하는 일반적 핵심 기능을 뛰어넘은 특수한 재난, 대형 복합재난 대응을 위한 조정 구조를 다루고 있다. 카트리나와 같이 대형 복합재난으로 대규모 이재민이 발생하는 경우를 대비한 것은 대규모 대피 사고 부속서(Mass Evacuation Incident Annex)이다. 이 부속서가 제시하고 있는 각 기관별 대응 기능은 다음의 표와 같다.

표 2 대규모 대피 상황에서 협력기관의 기능

기관	기능						
농무부	<ul style="list-style-type: none"> • 동원 시설에 직원 제공 및 지원 • 피난민을 위한 주택 식별에 직원 제공 및 지원 						
상무부/ 국립해양대기청/ 통신정보관리청	<ul style="list-style-type: none"> • 작전지역을 위하여 날씨와 관련 환경 조건에 대한 데이터 제공 • 응급경보체계 지원, FEMA와 협력하여 국립해양대기청 통신국 등을 통하여 사건 전후의 중요한 정보의 공공보급 지원 • 대피와 관련한 방어 활동을 취하기 위하여 실시간으로 수송, 확산, 대기 배출 예측 • 통신정보관리청은 지원 대응을 위하여 빠르게 무선 주파수 배정을 받을 수 있도록 스펙트럼 관리 						
국방부	<p>국방부 장관의 승인을 얻어 요청 및 이용가능 여부에 따라 NDMS 하에서 환자 이송을 위한 피난 지원 제공</p> <table border="1"> <tr> <td>육군 공병병과</td> <td>군수자원 제공 및 현장 사무소 설립 지원</td> </tr> </table>	육군 공병병과	군수자원 제공 및 현장 사무소 설립 지원				
육군 공병병과	군수자원 제공 및 현장 사무소 설립 지원						
에너지부	대피용 응급운송수단을 위하여 대피 경로를 따라 연료 제공						
보건사회복지부	<ul style="list-style-type: none"> • 특수한 수요 및 의료용 대피소 위치에 대한 정보 제공 • 가벼운 의료 서비스와 정신건강 서비스를 제공하기 위하여 출발지점과 도착지점에 요원 배치 						
국토안보부	<table border="1"> <tr> <td>교통보안청</td> <td>대규모 대피시 수송 보안과 법집행 지원 및 자원 제공</td> </tr> <tr> <td>해안경비대</td> <td>수상 수송이 필요한 경우 기술적 지원, 자원 등 지원</td> </tr> <tr> <td>연방재난관리청</td> <td>물자, 장비, 응급요원의 이동을 위하여 연방 및 민간 수송 지원 요청 처리 및 조정</td> </tr> </table>	교통보안청	대규모 대피시 수송 보안과 법집행 지원 및 자원 제공	해안경비대	수상 수송이 필요한 경우 기술적 지원, 자원 등 지원	연방재난관리청	물자, 장비, 응급요원의 이동을 위하여 연방 및 민간 수송 지원 요청 처리 및 조정
교통보안청	대규모 대피시 수송 보안과 법집행 지원 및 자원 제공						
해안경비대	수상 수송이 필요한 경우 기술적 지원, 자원 등 지원						
연방재난관리청	물자, 장비, 응급요원의 이동을 위하여 연방 및 민간 수송 지원 요청 처리 및 조정						
사법부	<ul style="list-style-type: none"> • 연방으로부터의 지원의 정도와 유형에 관하여 주·부족·지방 사법당국의 자원과 안내사항 교섭 • 운송 시설에 대한 안전 평가 지원, 대피 장소의 안전, 교통 통제 및 보안, 무기 검사, 부대 방호, 일반적인 계획 및 기술적 원조, 집결지·대피 운송상에서의 군중 통제, 공공 안전 및 보안 평가, 접근 통제 및 기타 보안 사항 등과 관련한 역할 						

기관	기능
운수부	<ul style="list-style-type: none"> • 운송 체계 및 기반시설에 대한 피해 감시 및 보고 • 근무시간 및 기타 해당 규제 면제에 대한 발표 • 공중 대피 등에 필요한 공중항법 서비스 제공
재향군인회	내·외과, 정신 건강, 기타 공공 의료 서비스 지정 및 배치
총무청	전기 통신 지원 계약, 연방 대피 부서를 위한 설비 마련, 보급품과 장비를 징발 및 도급
적십자	자원 요청을 용이하게 하고 다수인 보호에 대한 정보를 제공하기 위하여 주의 주요 기관과 협력하는 연락 직원 제공

출처 : FEMA(2008c: 13); 정지범(2015: 61)

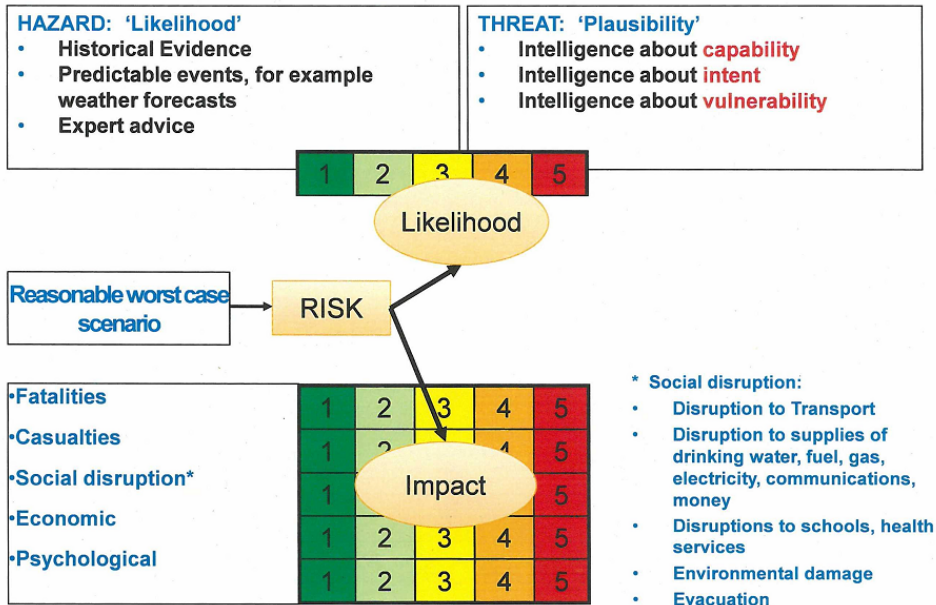
NRF의 사고부속서의 의의는 다음과 같다. 미국의 경우 재난상황에서 공통적으로 필요한 ESF 기능을 중심으로 전재해 접근법에 따른 재난 대응을 하지만, 특수한 재난과 대형복합재난에 대해서는 특정 시나리오에 따라 필요로 하는 다양한 추가 기능들을 확인하고 이를 각 부처에 적절히 배치했다는 것이다.

(2) 영국 사례

영국의 경우, 복합재난 관리에 효과적이라고 판단할 수 있는 제도는 국가위험평가(National Risk Assessment; NRA) 제도이다. NRA는 향후 5년 내에 영국과 영국 국민들이 경험할 수 있는 심각한 비상상황(significant emergency)을 예측하기 위한 작업이다. NRA의 결과에 따른 위협요인들은 중앙정부 및 지방정부의 계획 수립 용도로 비밀리에 관리된다. 계획 수립용 시나리오인 국가복원력계획가설(National Resilience Planning Assumptions; NRPAs)은 NRA의 결과를 활용하여 작성된다(정지범 외, 2015). NRA의 과정은 일반적인 위험분석과정과 유사하지만, 식별된 위협에 따른 최악의 시나리오(reasonable worst case scenario)를 상정하여 대비 계획을 세우는 것이 특징이다(정지범 외, 2015).

NRA의 결과를 통해 최악의 상황을 가정한 국가복원력계획가설(시나리오)을 바탕으로 과연 대응기관이 이를 관리하기 위한 적절한 역량(Capability)을 가지고 있는지 평가해야 한다. 이러한 시나리오에 적절한 대응이 불가능하다면 부족한 역량을 보충하거나 훈련 등을 실시할 수 있다(정지범 외, 2015). 이러한 시나리오에는 다양한 복합재난이 포함될 수 있고, 영국정부는 이 시나리오에 필요한 대응 역량(Capacity)을 확인하고 부족한 역량을 증진하기 위한 방안을 모색한다.

그림 12 위험요소 평가 및 최악의 시나리오 도입



출처: 정지범 외(2015: 26)

03' 복합재난관리의 미래

우리나라에서도 지속적으로 복합재난 관리에 대한 노력이 이루어지고 있다. 그러나 아직까지 학술적으로 그리고 제도적으로 부족한 면이 많은 상황이다. 국제적 동향과 관련 학술 연구들을 종합하여 향후 우리나라에 필요한 우선순위를 제시하면 다음과 같다.

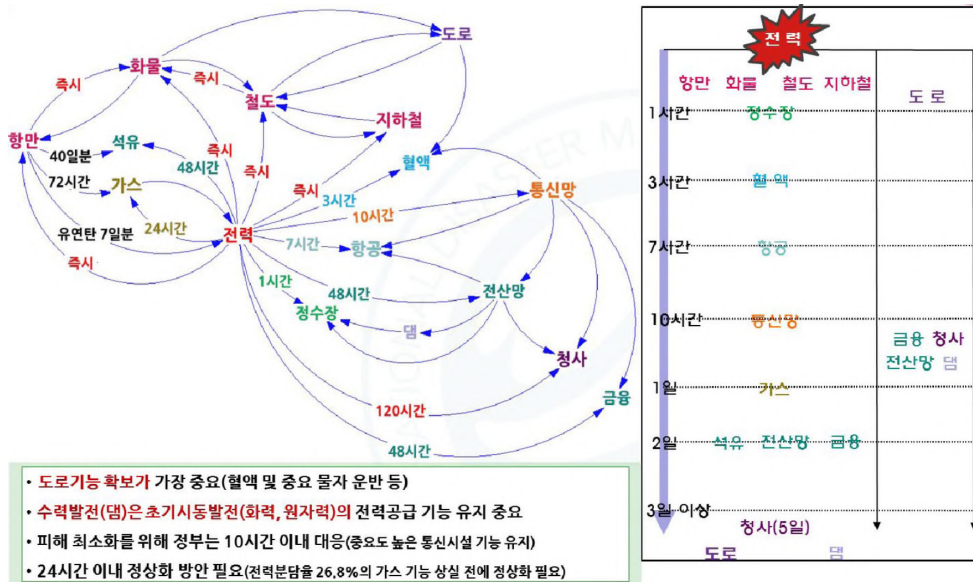
3.1 복합재난의 예측 기법 연구와 시나리오 발굴

여러 가지의 재난이 비슷한 시간에 한정된 공간에 동시에 영향을 주는 재난의 군집(Crowding) 효과와 하나의 재난이 유발 인자가 되어 또 다른 재난을 불러일으키는 연쇄(Cascading) 효과는 너무도 다양하기 때문에 모든 군집효과와 연쇄효과를 분석하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 다양한 복합재난 시나리오 중에서 특정한 기준을 마련하여 선별적인 예측을 하는 것이 보다 합리적일 수 있다. 기존 연구들을 종합해볼 때 바람직한 기준은 가장 가능성이 높은(Most Probable) 시나리오와 가장 큰 피해를 줄 수 있는(Worst Case) 시나리오를 선별하는 것일 수 있다.

이와 함께 사회 전반에 큰 영향을 줄 수 있는 주요 요인에 대하여 연구를 집중할 필요가 있다. 복합재난의 예측과 분석에 있어 최초의 단계는 복합재난 연구의 시공간적 범위를 명확히 하는 것이다. 국가적 차원에서 복합재난을 상정할 때 특히 염두에 두어야 할 것은 다양한 분야에 대한 파급 효과이다. 이러한 점에서 국가 인프라에 대한 연구가 중요할 수 있다. 일본 후쿠시마 원자력발전소 사고의 피해가 컸던 원인도 정전으로 인한 연쇄효과 때문이었다. 이처럼 인프라의 붕괴는 연쇄되는 대형재난 발생 가능성을 높인다. 국가 인프라의 연쇄 붕괴는 각종 인프라가 서로 상호의존하고 있는 관계의 파악이 선결되어야 하고, 이를 통해 치명적 결과가 발생할 수 있는 주요 인프라 관계망에 대한 해석이 필요하다. 아래의 그림은 국립재난안전 연구원에서 수행한 “국가기반시설 상호의존도 및 재난영향 분석”(신진동, 2013)의 한 예이다. 이 그림에서는 광역정전이

발생하고 10시간 정도가 지나면 통신망에 문제가 생겨 전산망, 청사, 금융 등 대부분의 국가 기반시설이 제 기능을 못하게 된다고 설명한다. 그렇기 때문에 광역정전이 발생한 후 초기대응을 얼마나 신속하게 수행하느냐가 복합재난을 방지하는데 매우 중요하다.

그림 13. 광역정전 시 국가기반시설 피해영향 분석 예시



출처: 신진동 외(2013: 111)

3.2 대형 복합재난에 대한 국가 대응 체계 검토 및 보완

복합재난에 대한 시나리오가 마련되었다면 특히 초대형 복합재난, 즉 재앙적 수준의 재난에 대한 국가적 차원의 대응 체계를 검토할 필요가 있다. 과연 우리나라가 동일본 대지진과 이로 인한 원자력발전소 사고와 같이 초대형 재난을 감당할 수 있을 것인가? 만일 이러한 재난이 발생한다면 우리가 특히 부족한 역량은 무

엇인가? 그리고 부족한 역량을 증진시키기 위해서는 어떠한 노력이 필요한가?

우리나라는 매년 실시하는 재난대응한국훈련을 통하여 다양한 재난에 대한 훈련을 강화하고 있다. 그러나 아직까지 부족한 것은 이러한 초대형 재난에 대하여 국가적으로 무엇을 준비해야 할지 알지 못한다는 것이다. 재앙적 수준의 초대형 복합재난이 발생하더라도 이를 극복하고, 다시 경제와 사회를 재건할 수 있는 방안을 미리 고민할 필요가 있다. 선진국의 사례를 참고할 필요가 있다. 영국에서 실시하는 NRA 제도와 여기서 마련된 최악의 시나리오 검토, 그리고 이에 대응하기 위한 역량 분석은 우리나라에도 도입을 검토해야 한다. 또한 미국 NRF에서 사고 부속서의 경우 역시 마찬가지이다. 초대형 복합재난을 대응하기 위해서는 정부 뿐만 아니라 민관군의 노력이 집중될 필요가 있고, 이러한 노력을 효과적으로 이끌기 위해서는 제대로 된 계획을 마련할 필요가 있다.

재난은 예방이 가장 중요하다. 그러나 지진과 같은 특정 재난들은 예방은 물론 예측 자체가 불가능하다. 따라서 이러한 재난들에 대해서는 재난이 발생한 후에 이로 인한 치명적 2차 재난이 무엇이 될 수 있는지를 사전에 분석할 필요가 있고, 최악의 경우에는 어떤 일이 벌어질지에 대한 냉철한 고민이 필요하다. 그리고 이러한 최악의 상황에서도 국민을 보호하고 되도록 빠르게 경제와 사회를 회복시킬 수 있는 회복력(resilience)의 마련을 위해 노력해야 할 것이다.

Ji Bum Chung



학력

연세대학교 도시공학과(도시계획) 공학박사
KAIST 대학교 원자력공학과(원자력안전) 공학석사
서울대학교 원자핵공학과 학사

경력

現) 울산과학기술원 도시환경공학부 부교수/복합재난연구센터장
前) 행정안전부 안전정책자문회의 자문위원
前) 한국행정연구원 안전통합연구부장

참고문헌

1. 오윤경. (2013). Natech재난관리방안 연구. 한국행정연구원.
2. 신진동 외. (2013). 국가기반시설 상호의존도 및 재난영향 분석.
3. 정지범·윤건. (2014). 안전혁신 마스터플랜 기본 방향 및 주요 해외 사례. 한국행정연구원.
4. 정지범. (2015). 안전사각지대 발굴 및 효과적 관리 방안 연구. 한국행정연구원.
5. 정지범 외. (2015). 대형복합재난 법적기반 구축 연구. 한국행정연구원.
6. Cruz, A.M., Steinberg, L.J., Arellano, A., Nordvik, J. & Pisano, F. (2004) State of the Art in Natech Risk Management. European Commission, Joint Research Centre.
7. DHS (Department of Homeland Security). (2013). National Response Framework.
8. Liu, B., Siu, Y. L., & Mitchell, G. (2016). Hazard interaction analysis for multi-hazard risk assessment: asystematic classification based on hazard-forming environment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(2), 629-642. doi:10.5194/nhess-16-629-2016
9. Liu, M., & Huang, M. C. (2014). COMPOUND DISASTERS AND COMPOUNDING PROCESSES. UNISDR.
10. Krausmann, E., & Baranzini, D. (2012). Natech Risk Reduction in the European Union. *Journal of Risk Research*. 15(8): 1027-1047.
11. Marzocchi, W., Garcia-Aristizabal, A., Gasparini, P., Mastellone, M. L., & Di Ruocco, A. (2012). Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy. *Natural Hazards*, 62(2), 551-573. doi:10.1007/s11069-012-0092-x
12. UN-ISDR. (2005). Hyogo Framework for Action 2005 - 2015.
13. UN-ISDR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030.
14. UN-ISDR. (2017). Terminology. <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>. 2017년 11월 12일 접속.

- 15. 内閣府. (2011). 日本の災害対策.
- 16. 中央防災会議. (2015). 防災基本計画(平成 27 年 7 月).



융합연구리뷰

Convergence Research Review

02792) 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

TEL 02. 958. 4984



융합연구정책센터
Convergence Research Policy Center