

ISSN. 2465-8456



02

2021 February | Vol. 7

# 융합연구리뷰

Convergence Research Review

**코로나-19 확산 방지를 위한 ICT 융합 방역 기술**

이석준(한국전자기술연구원 선임연구원)

**비대면 방역과 진단을 위한 의료 로봇 기술**

서준호(한국기계연구원 선임연구원)

김선권(한국전기연구원 선임연구원)

# CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 코로나-19 확산 방지를 위한 ICT  
융합 방역 기술
- 39 비대면 방역과 진단을 위한 의료  
로봇 기술



**융합연구정책센터**  
Convergence Research Policy Center

융합연구리뷰 | Convergence Research Review  
2021 February vol.7 no.2

**발행일** 2021년 2월 8일

**발행인** 김주선

**발행처** 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4977 | <http://crpc.kist.re.kr>

**펴낸곳** 주식회사 동진문화사 Tel. 02-2269-4783



## 코로나-19 확산 방지를 위한 ICT 융합 방역 기술

2020년 1월 세계보건기구(WHO)가 국제적 공중보건 비상사태를 선언한 이후 2021년이 시작된 현재까지도, 코로나-19 확산 상황은 좀처럼 나아지지 않고 있으며, 2차 확산 가능성 우려도 들려온다. 코로나-19 확산에 대응하기 위하여 첨단 방역 체계 구축의 일환으로 데이터 기반의 효율적인 ICT 융합 역학조사 지원시스템과 감염병을 추적 및 관리하는 시스템이 개발되었다. 1부에서는 스마트폰의 높은 보급률, 이동통신사 및 카드사의 체계적인 업무 시스템을 활용하여 국토교통부 및 과학기술정보통신부 등 범부처 협업으로 개발된 ICT 융합 역학조사 지원시스템에 대해 상세히 다룬다. QR코드를 기반으로 하는 전자출입명부, 자가격리자 안전보호 앱에 대한 내용도 실었으며, 또한 해외에서 개발된 방역 시스템 기술들도 소개한다.

코로나-19 확산으로 전 세계적으로 모든 나라들이 어려운 가운데, ICT 기술을 융합한 역학조사 지원시스템을 활용함으로써 이를 극복할 수 있다면 글로벌 방역 기술 경쟁에서 우위를 선점할 것으로 예상된다. 우수한 ICT 인프라 기반을 갖추고 있는 나라로서, 데이터를 기반으로 선도적인 ICT 기술을 활용하여 감염병 확산에 효율적으로 대응할 수 있기를 기대해 본다.

## 비대면 방역과 진단을 위한 의료 로봇 기술

2001년, 프랑스 소화기암연구소의 자크 마레스코(Jacques Marescaux) 교수는 로봇을 이용해 뉴욕 맨해튼에서 수 천 km 떨어진 프랑스 스트라스부르 대학병원에 있는 68세 여성 환자의 담낭을 떼어내, 원격수술에 성공했다. 이 원격수술은 프랑스에 있는 환자의 복강경에 소형 카메라와 로봇 팔·칼 등이 장착된 장비를 넣은 후 뉴욕에서 의사가 TV화면을 보면서 이 장비와 동일한 시뮬레이션 장치를 조작하면, 이 신호가 광섬유선을 타고 환자에게 그대로 전달되는 원리였다. 이는 ICT를 기반으로 한 의료 로봇 덕분이었다. 이후 더욱 발달한 ICT 기술로 로봇은 의료현장의 여러 분야에 도입되어 보다 나은 환자의 치료를 위해 의료진을 돕고 있다.

코로나 바이러스의 대유행으로 대면접촉으로 인한 감염 위험이 높아짐에 따라 사회 전반의 다양한 분야에서 비대면 기술 및 서비스가 확대되면서 로봇이 특히 비대면, 비접촉 서비스를 구현할 수 있는 대표적인 기술로 주목을 받고 있다. 의료 로봇은 의료공급이 부족한 지역의 주민들에게 양질의 의료 혜택을 제공하는 역할뿐만 아니라, 의료진의 일손을 거들고 감염예방 효과를 높일 수 있는 솔루션으로 급부상하고 있다.

안전하고 편리한 의료 서비스 제공 방안과, 인류를 위협하는 바이러스의 출현에 효율적으로 대응하기 위한 다양한 해결방안들이 마련되고 있는 가운데, 2부에서는 비대면 구현 기술인 자율 방역 로봇, 비대면 원격 초음파 영상진단 로봇 시스템 및 비대면 검체채취 로봇 시스템을 소개한다.



# 융합연구리뷰

Convergence Research Review 2021 February vol.7 no.2



# 01

## 코로나-19 확산 방지를 위한 ICT 융합 방역 기술

이석준(한국전자기술연구원)

# I 서론

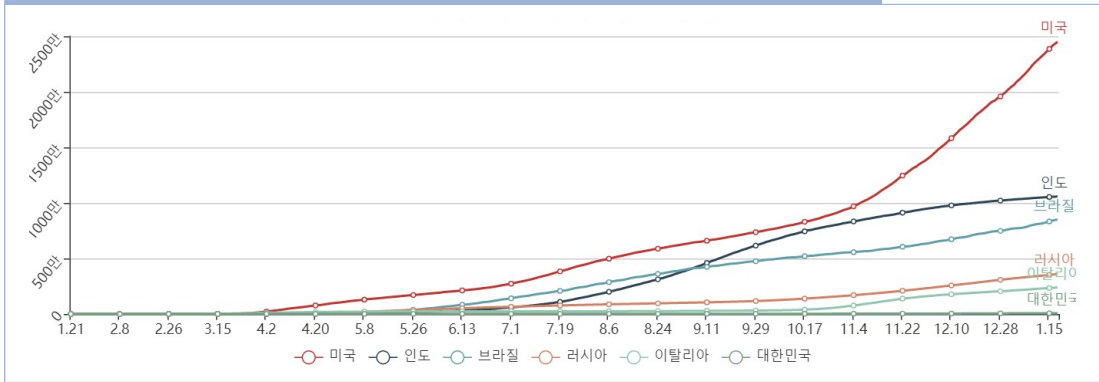
## 1. 코로나-19 현황

세계보건기구(WHO, World Health Organization)에 따르면 2019년 12월 31일 중국 우한에서 첫 코로나-19 확진자가 확인되었다. 중국에서 유행하던 코로나-19 바이러스는 이후 전 세계적으로 확산되어 2020년 3월 11일, 세계보건기구(WHO)는 코로나-19에 대해 대유행(Pandemic)을 선언한다. 대유행 선언을 기점으로 각 국가들은 코로나-19의 확산 방지를 위해 이동금지명령과 같은 강력한 조치를 취했다.

- 세계보건기구(WHO)의 코로나-19 팬데믹 선언(WHO, 2020. 03. 11)
- 필리핀 두테르테 대통령이 수도 마닐라에 대한 봉쇄조치 발령(로이터 연합뉴스, 2020. 03. 12, 필리핀)
- 미국 도널드 트럼프 대통령이 국가비상사태 선포(CNN뉴스, 2020. 03. 13, 미국)
- 스페인 국가비상사태 선포에 이어 국경봉쇄(Elpais뉴스, 2020. 03. 17, 스페인)
- 핀란드 수도 헬싱키 지역 봉쇄(yle뉴스, 2020. 03. 28, 핀란드)
- 러시아 푸틴 대통령 코로나-19로 인해 수도 모스크바를 떠나 교외에서 원격 집무 수행(뉴욕타임즈, 2020. 04. 13, 미국)
- 이탈리아 전 지역 이동 봉쇄 (뉴욕타임즈, 2020. 03. 09, 미국), 무단 외출 시 최대 징역 5년(AP통신, 2020. 03. 24, 스페인)

그러나 이러한 노력들에도 불구하고 이후 상황은 계속 악화되어 2021년 1월 18일 기준, 전 세계적으로 220개 국가에서 9천 5백만 명에 달하는 확진자가 발생했으며, 사망자는 2백만 명으로 치명률이 2.14%에 달한다. 특히, 미국의 경우 일일 확진자가 최고 30만 명에 달하며 사망자 수도 40만 명으로 매우 심각한 상황이다.

그림 1. 2021. 1. 18. 기준, 주요 국가 별 코로나-19 확진자 누적 추이



출처 : 코로나-19 실시간 상황판(coronaboard.kr)

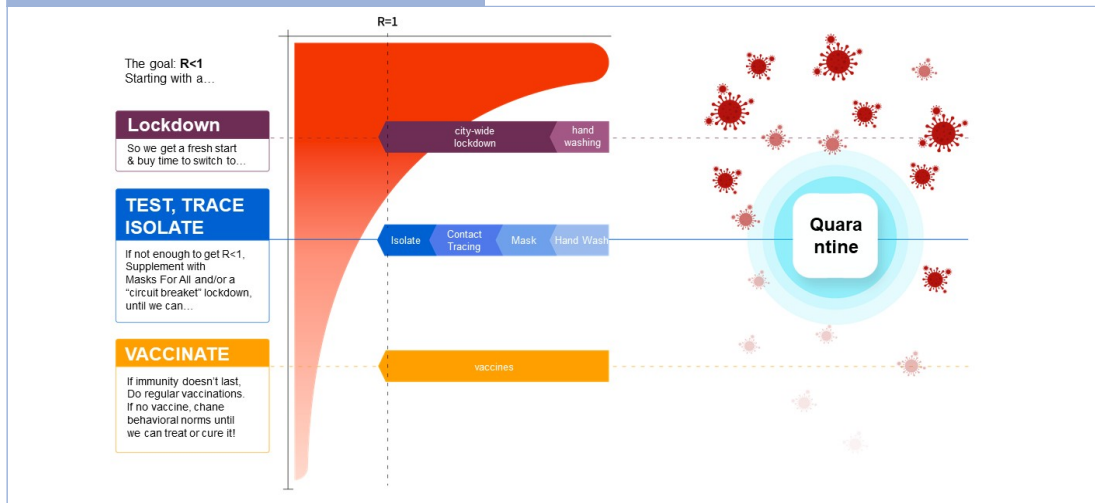
현재 전 세계 국가들은 코로나-19 대응에 총력전을 기울이고 있다. 모든 국력을 동원해 코로나-19 확산을 방지하기 위해 노력하고 있으며, 대표적으로 이동금지명령(락다운(Lockdown)), 모임인원 제한, 마스크 착용 의무화를 시행 중이다.

## 2. ICT 융합 방역 기술 등장 배경

일반적으로 감염병 방역은 크게 3개의 단계로 이루어진다. 첫째, 보건소 혹은 감염병 전담 진료소에서 감염병 환자를 검사한다. 확진 환자가 발생하는 경우, 보건당국의 시스템에 등록이 된다. 둘째, 감염된 환자의 동선정보를 추적해 접촉자 탐지 및 격리, 지역감염 여부 등을 파악하는 역학조사가 수행된다. 셋째, 역학조사를 진행하면서 확진자를 격리된 환경에서 치료하여 감염병 확산을 방지한다.

코로나-19의 확산 정도를 나타내는 기본 척도로 감염재생산지수( $R_0$ )가 널리 사용된다. 감염재생산지수( $R_0$ )는 확진자 1명이 감염시킬 수 있는 2차감염자의 평균 수로, 1을 넘으면 확산이 지속되고, 1아래로 감소하면 확산이 억제된다. 코로나-19의 종식을 위해서는 감염재생산지수( $R_0$ )를 1 미만으로 낮춰야 하는데, 해외 연구에 따르면 감염재생산지수( $R_0$ )를 감소시키는 가장 효과적인 감염병 확산 억제 수단은 백신이며, 이동금지명령(락다운)이 그 다음이고, 역학조사 기반의 방역 조치 및 개인적 차원의 방역이 가장 효과가 적은 것으로 간주된다. 그러나 백신은 개발 및 보급까지 많은 시일이 소요되며, 락다운은 경제적 타격이 크고 국민들이 일상생활을 하지 못하게 만든다. 따라서 가장 좋은 방법으로 역학조사 및 개인적 차원의 방역을 통해 백신이 나올 때까지 효과적으로 감염재생산지수( $R_0$ )를 낮게 유지하는 것이 권고된다.

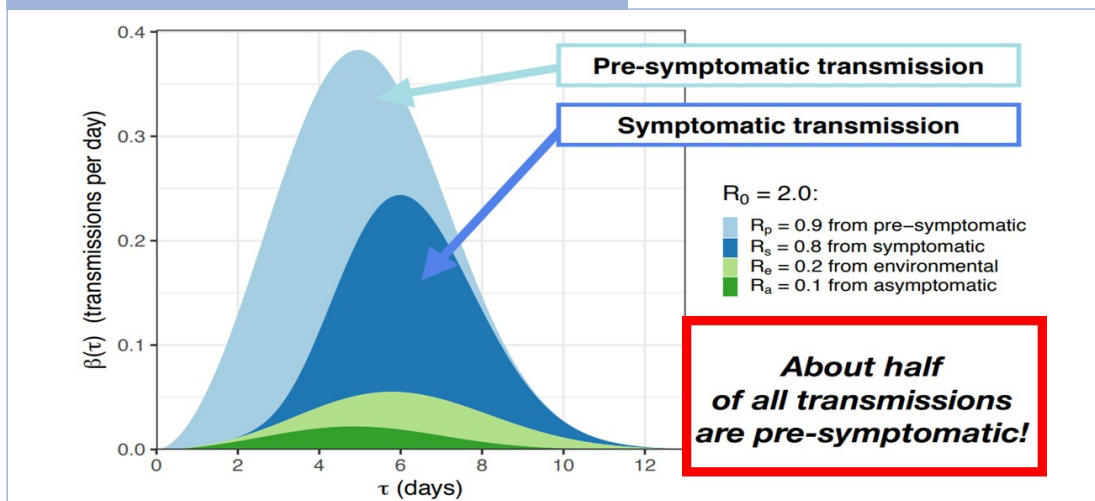
그림 2. 코로나-19 종식 시나리오



출처 : Luca Ferretti(2020) 참조 재구성

특히, 코로나-19는 증상발현 이전에 감염되는 비율이 높은 것으로 나타난다. 전체 확진자 중 절반 이상의 확진자가 증상발현 이전에 감염되었다는 연구 결과가 있으며, 이에 따라 감염 의심자에 대해 초기에 자가격리와 같은 이동억제를 통해 접촉자 발생을 조기에 방지하는 것이 코로나-19 확산 방지를 위한 중요한 방법이다.

그림 3. 코로나-19 증상발현 이전 감염되는 비율



출처 : Luca Ferretti(2020)



따라서 코로나-19의 성공적인 확산 방지를 위해서는 다음과 같은 2가지 방법이 필수적이다. 첫 번째로 마스크 착용, 손 씻기 등 개인적 차원의 방역을 통해 감염을 지속적으로 방지하는 것이 필요하다. 두 번째로는 최대한 신속한 역학조사를 통해 확진자를 탐지하고 격리하여 접촉자 수를 적게 유지하는 것이 필요하다.

그러나 전 세계적으로 확진자 수가 폭발적으로 증가함에 따라 종래 방식의 감염병 대응 방식으로는 코로나-19 확산 방지 한계에 도달했다. 이에, 확진자 한 명에 대해 검사 및 치료를 수행하는 것이 아닌, 확진자가 방문한 장소, 접촉한 사람, 지역감염의 위험도 파악, 필요 시 격리 등 광범위한 조사와 분석을 하는 역학조사가 특히 필요하다. 그러나 한정된 의료 인력에 비해 대규모로 발생하는 확진자 수는 역학조사의 신속성을 저해하고, 결과적으로 감염재생산지수( $R_0$ )를 낮추지 못해 감염병이 지속적으로 확산된다.

따라서, 역학조사의 효율성 향상을 위한 ICT 융합 역학조사 기술이 집중적으로 개발되었다. 한국에서는 역학조사 지원시스템, QR코드 전자출입명부, 자가격리자 안전보호 앱이 개발되었고, 구글과 애플은 공동으로 블루투스 기반 접촉 탐지 앱 등 다양한 기술들을 개발하였다. 융합연구리뷰에서는 이러한 국내외 ICT 융합 역학조사 기술에 대해 중점적으로 살펴본다.

## II ICT 융합 역학조사 기술의 국내 사례

### 1. 역학조사 지원시스템

#### 1.1. 개요

코로나-19가 국내에서 유행한 이후, 중앙방역대책본부는 지방자치단체 및 관계기관과 협력체계를 구축하여 확진자 동선 파악 등 역학조사를 시행했다. 역학조사는 기본적으로 확진자와 인터뷰를 통해 진행되었으며, 이 외에 2015년 메르스(MERS) 유행 이후 신설된 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률 제76조의 2」에 근거하여, 이동통신사 기지국 및 카드 결제내역 기반의 동선정보를 역학조사에 활용하였다. 기존 역학조사의 문제점은 확진자에 대한 동선정보를 모두 이메일 및 공문으로 이동통신사 및 카드사에 요청하여 동선 수집에 많은 시간이 소요되는 점이었다. 뿐만 아니라, 수집된 동선을 모두 수작업을 통해 취합하고 지도 기반 시각화를 하였는데, 이는 즉각적인 역학조사 수행을 어렵게 하였다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 국토교통부와 과학기술정보통신부에서 부처 협동으로 진행하는 스마트시티 혁신성장동력 프로젝트 실증사업의 일환으로 ICT를 융합하여 신속한 역학조사를 지원하기 위한 시스템을 개발하여 중앙방역대책본부와 협력하기로 결정했다. 역학조사 지원시스템은 스마트시티 프로젝트 중 개방형 데이터허브 개발 총괄을 담당하는 한국전자기술연구원 주도로 개발되었다.



출처 : 저자 연구결과 인용(한국전자기술연구원)

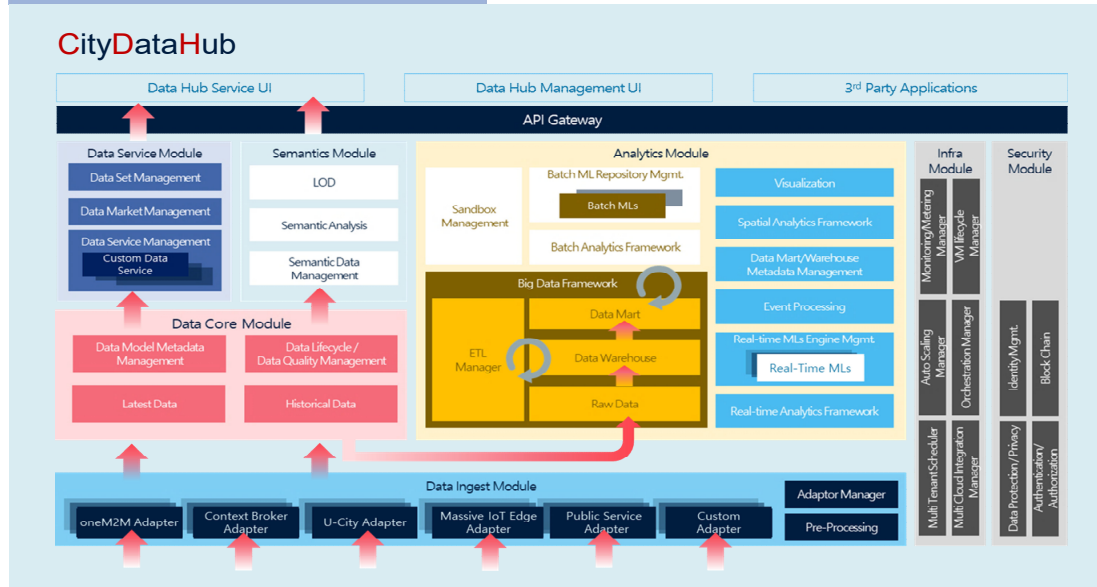
개발된 역학조사 지원시스템은 도시 내 다양한 데이터 소스(source)들과의 연계 및 도시 수준에서 수집된 대규모 데이터 처리에 특화된 스마트시티 데이터허브를 기반으로 동선정보 수집 및 분석 기능을 제공한다. 특히, 이동통신사 및 카드사와 협력하여 기존의 이메일 및 공문으로 요청하는 방식 대신 시스템을 통한 동선정보 수집 기능을 제공하여 기존에 비해 역학조사에 소요되는 시간을 획기적으로 단축하였다. 2020년 3월 말 운영을 시작한 이후, 지속적인 고도화를 거쳐 현재는 이동통신사와 서버 연계 기반 동선정보 자동 수집 기능, 빅데이터 기반 감염위험지역 분석 기능, 전자출입명부 연계 기반 접촉자 분석 등 다양한 기능을 제공하여 역학조사의 효율을 더욱 높이고 있다.

## 1.2. 스마트시티 데이터허브

데이터허브는 도시 환경 인프라 및 구성 주체에서 발생하는 방대한 정보의 수집과 데이터 기반 협업, 분석 및 의사결정 환경을 제공하는 스마트시티 타겟의 플랫폼이다. 데이터허브는 기능 블록 단위로 되어 블록들의 조합을 통해 다양한 유형의 데이터허브가 구성될 수 있다. 기능 블록을 모듈이라는 명칭으로 구분을 하며, 각 모듈 별로 인터페이스를 표준화하여 모듈들이 정해진 규약을 기반으로 연동을 할 수 있도록 한다.

데이터허브의 목적이 도시 통합 데이터 저장 및 관리이기 때문에 데이터허브 기반의 서비스(어플리케이션) 또한 표준화된 인터페이스를 통해 구현을 하도록 구성을 하여 다른 데이터허브에서도 손쉽게 서비스를 구축할 수 있는 환경을 제공하며, 데이터허브 간에도 연계가 가능하도록 연계 인터페이스도 표준화하여 정의하며 구현한다.

그림 5. 스마트시티 데이터허브 구조



출처 : 저자 연구결과 인용(한국전자기술연구원)

데이터허브의 모듈은 다음과 같이 구성된다.

- 데이터 수집 모듈 :** 사물인터넷(IoT) 플랫폼, 오픈 API(Open API, Open Application Programming Interface), 타 스마트시티 플랫폼 등 다수의 도시 인프라 운영 플랫폼의 데이터를 데이터허브로 수집하기 위해 프로토콜을 변환할 수 있는 어댑터 프레임워크를 제공하여 데이터 표준 모델 변환, 검증 및 실시간 모니터링 기능 등의 도시 인프라 데이터 수집 체계를 제공한다.
- 데이터 코어 모듈 :** 유럽 표준화 기구(ETSI, European Telecommunications Standards Institute)의 NGSI-LD(오픈 API에 대한 산업규격그룹(ISG, Industry Specification Group)의 기술 문서) 인터페이스 기반으로 개발되었다. 데이터허브에서는 제공하는 데이터들에 대한 호환성을 높이기 위해 데이터 모델 또한 규격화를 하는데, 데이터 코어 모듈에서는 규격화된 데이터 모델을 통해 인터페이스를 제공한다. 이를 위해 데이터 모델에 대한 정보 관리 기능을 제공하고 데이터들에 대해 최종/이력 데이터를 관리하며 빅데이터 환경과의 연계 기능을 제공한다.
- 데이터의 분석 모듈 :** 데이터 분석 주체의 요구에 맞는 데이터를 생성하기 위해 데이터 추출(extract), 변환(transform), 적재(load) 기능을 제공한다. 생성된 데이터를 기반으로 새로운 학습 모델을 생성하거나, 학습 모델 기반의 배치 동작을 수행하여 분석하는 기능 또한 제공한다. 실시간 분석을 위한 기능도

제공하며 분석가가 독립적인 환경 내에서 데이터를 분석할 수 있도록 샌드박스(sandbox) 제공 기능도 지원한다.

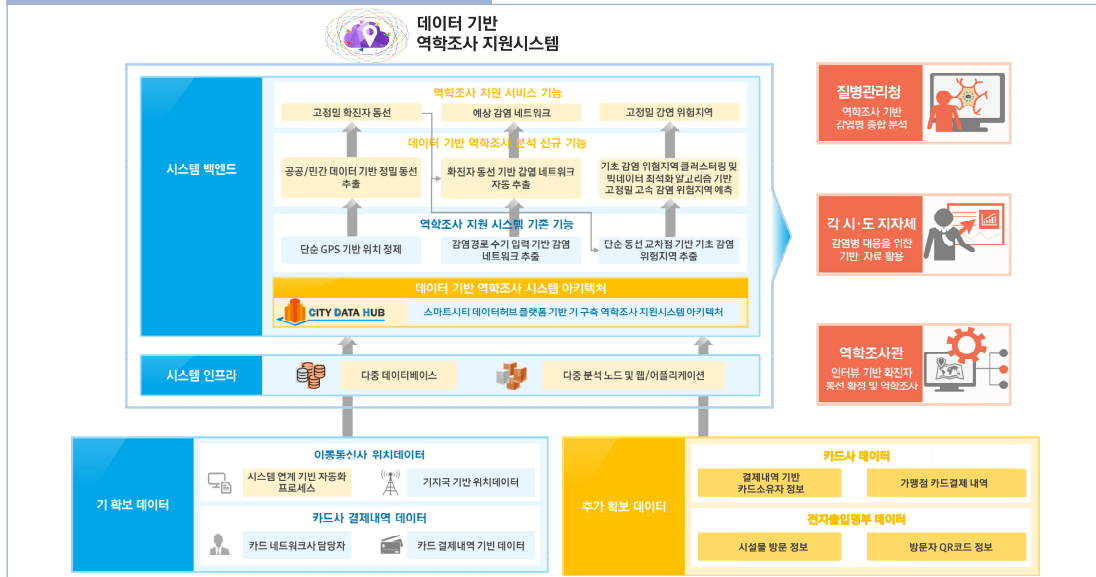
- **데이터 서비스 모듈** : 데이터허브를 운영 및 관리하기 위한 관리자 기능과 도시 데이터를 제공, 유통하기 위한 기능을 제공하는 모듈로, 사용자 중심의 데이터 제공, 마켓 플레이스 기능을 제공하여 도시 데이터를 이해하고, 판매 및 구매를 통해 스마트시티 서비스를 제공할 수 있도록 한다.
- **인프라 모듈** : 데이터허브가 동작하는 토대가 되는 클라우드 인프라 관리 기능을 제공한다. 공인 클라우드와 사설 클라우드를 지원함으로써 하이브리드 클라우드 관리 기능을 통해 자원을 활용하고 제어하여 통합 대시보드 및 자원 관리 기능을 제공하고 인프라의 원활한 운영을 위한 통합 모니터링 서비스를 제공한다.
- **인증/인가 보안 모듈** : 데이터허브 플랫폼의 인증/인가를 담당하는 모듈로, 데이터허브 사용자와 어플리케이션에 대한 인증, 접근 제어를 위한 접근 제어 정책 관리 및 접근 제어 토큰 관리 기능을 제공한다.
- **시맨틱 모듈** : 데이터허브의 링크드 데이터(Linked Data)를 구축하는데 목적이 있으며, 시맨틱 온톨로지를 기반으로 데이터허브의 데이터에 메타정보를 추가하고 모든 데이터들을 서로 연결한다. 공공데이터(LOD, Linked Open Data) 웹서비스를 통해 링크드 데이터(Linked Data) 시각화 서비스 및 데이터 배포, 온톨로지 등록 서비스들을 제공한다.

### 1.3. 역학조사 지원시스템 주요 기능

역학조사 지원시스템의 주요 기능으로는 이동통신사 및 카드사 연계 기반 동선정보 수집, 동선정보 정제, 지도 기반 동선정보 분석, 전자출입명부 연계 기반 접촉자 분석 등이 있다.

동선정보를 보유한 다양한 기관들과 연계하여 동선정보를 신속하게 수집하고 지도 기반으로 자동으로 표출하는 기능은 일일 확진자가 천명 이상 나오는 상황에서도 역학조사를 수행할 수 있도록 지원했다. 스마트시티 데이터허브의 데이터 수집 모듈을 기반으로 이동통신사, 카드사, 전자출입명부 시스템 등과 연계를 수행하며, 서버 간 데이터 통신의 보안을 위해 하드웨어 기반의 보안솔루션을 사용한다. 데이터 또한 암호화하여 하드웨어와 소프트웨어의 이중 암호화를 통해 데이터 유출 위험을 최소화한다. 수집된 동선정보는 역학조사 지원시스템의 알고리즘을 거쳐 정제되는데, 이 과정을 통해 기초국 기반 위치데이터와 확진자의 실제 동선 간 괴리를 최소화한다. 정제된 데이터를 기반으로 지도에 나타내 역학조사관이 확진자의 동선을 분석할 수 있도록 하고 확진자 간 동선 교차점을 기반으로 감염위험지역을 지도에 표시하여 역학조사를 지원한다.

그림 6. 역학조사 지원시스템 구성도



출처 : 저자 연구결과 인용(한국전자기술연구원)

그림 7. 역학조사 지원시스템 주요 기능

**동선정보 분석 기능**

**QR코드 기반 전자출입명부 연계 기반 방문 시설물 정보 분석 기능**

**감염 위험지역 분석 기능**

**감염 경로 분석 기능**

출처 : 저자 연구결과 인용(한국전자기술연구원)

## 2. QR코드 기반 전자출입명부

코로나-19 확진자가 노래방, 유흥주점 등의 집단감염 위험시설에서 지속적으로 발생하고 시기 기반 출입명부의 관리가 제대로 되지 않자, 정확한 출입자 명부 확보를 위해 2020년 5월 중앙재난대책본부 회의에서 QR코드 기반 전자출입명부 시스템 도입을 결정했다. 시기 기반 출입명부의 경우에는 방문자가 기재한 개인정보가 다른 방문자에게도 공개된다는 문제점과 점주의 보관으로 개인정보 유출 우려가 있었다. 또한, 정보를 허위로 기재하는 경우도 발생하여 이를 방지하기 위해 QR코드를 기반으로 사용자의 정보를 생성하고, 코드 스캔을 통해 출입명부를 작성하는 시스템을 개발했다.



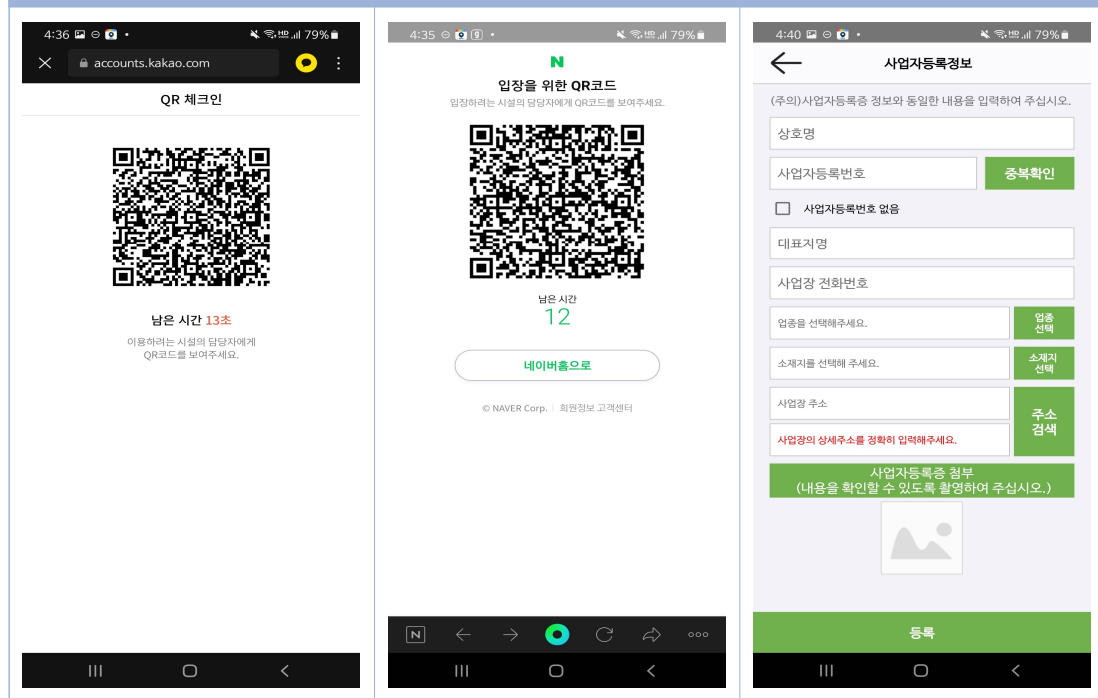
출처 : 보건복지부 정례브리핑 자료(2020.05.24)

QR코드 기반 전자출입명부의 구조는 <그림8>과 같다. 전자출입명부 시스템에서 집중한 기술은 개인정보 유출 위험성의 최소화이다. 방문자의 정보가 담긴 QR코드는 네이버/카카오와 같은 상용 앱에서 발급하며, 시설물 정보 및 해당 시설물에 방문 기록이 담긴 QR코드 목록은 전자출입명부 서버에서 관리한다. 이 때 방문자의 정보는 오직 QR코드 발급 앱 서버에만 저장되며, 전자출입명부 서버로는 전송되지 않는다. 전자출입명부 서버는 QR코드만 저장하며, 이에 따라 QR코드 발급 앱 서버의 정보와 전자출입명부 서버의 정보가 동시에 유출되지 않는 이상 시설물 방문자의 신원을 특정할 수 없다.

QR코드 발급 앱 서버와 전자출입명부 서버는 물리적으로 분리되어 있다. 따라서 역학조사관이 집단감염 위험시설에 대한 방문자나 확진자가 방문한 시설물을 확인하기 위해서는 두 서버의 데이터를 취합하여 분석하는 것이 필요하다. 현재 역학조사 지원시스템이 그 역할을 수행하고 있으며, 이동통신사 서버 연동과 마찬가지로 하드웨어 보안솔루션과 소프트웨어 보안솔루션의 이중 보안을 통해 정보 유출의 위험성을 최소화한다.

전자출입명부의 동선 데이터는 역학조사에 사용되는 동선 중 가장 정확한 정보로 사용된다. 이동통신사 기지국 기반 위치데이터의 경우, 기지국의 분포와 신호세기 기반 위치 계산 알고리즘에 따라 오차가 발생한다. 카드 결제내역의 경우에도 인터넷 결제나 카드 가맹점의 위치와 실제 점포의 위치가 다른 경우가 있다. 반면 전자출입명부는 점주가 정확한 위치를 등록하며, 사업자 등록번호가 등록되어 점포의 정확한 위치를 찾을 수 있으며 방문 시간이 정확하게 기록되기 때문에 신뢰도가 매우 높은 동선정보이다. 현재 역학조사관들은 인터뷰와 기존 동선정보 기반의 역학조사를 먼저 수행한 다음, 동선이 모호하거나 확실한 데이터가 필요한 경우 전자출입명부의 동선 데이터를 활용한다.

그림 9. 카카오의 QR코드 발급 화면(좌), 네이버의 QR코드 발급 화면(중), 점주용 전자출입명부 앱(우)



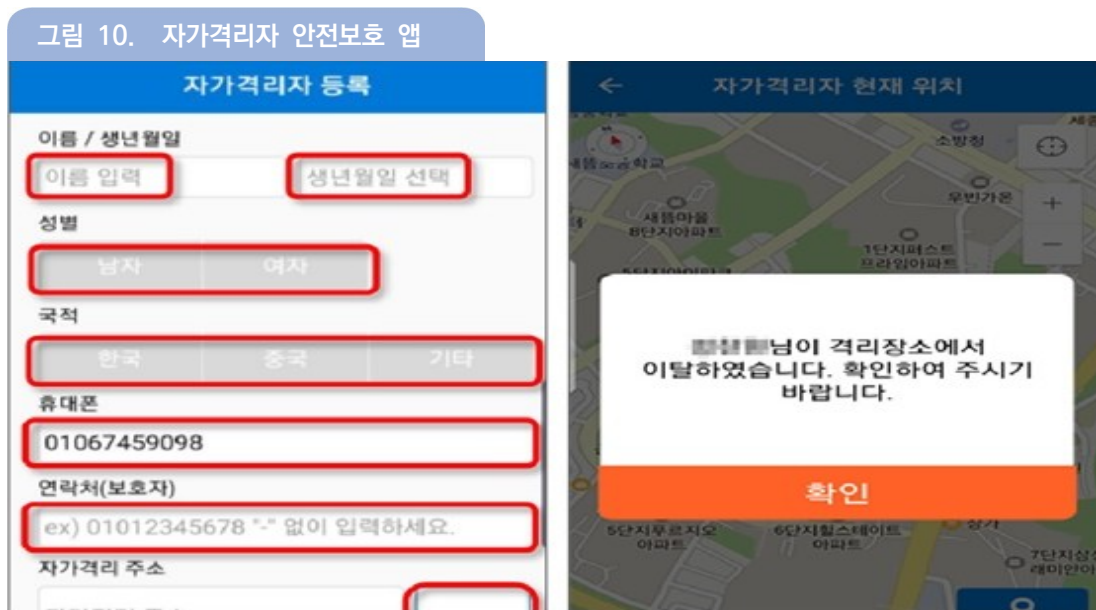
출처 : 자체 스크린캡처



### 3. 자가격리자 안전보호 앱

자가격리자 안전보호 앱은 행정안전부에서 개발한 앱으로 스마트폰의 위치 인식 기술을 기반으로 자가격리자의 상태를 원격으로 모니터링 및 관리하는 앱이다. 해외입국자의 경우 자가격리자 안전보호 앱의 설치가 의무이며, 전담 공무원과 매칭되어 공무원이 자가격리자의 상태를 모니터링 할 수 있도록 지원한다. 자가격리자 안전보호 앱 설치 시 이름, 거주지 주소 등의 개인정보를 입력하고 GPS를 기반으로 자가격리 위치를 설정한다. 이후 설정한 지점에서 특정 반경 이상 벗어날 경우 전담 공무원에게 알림을 보내 자가격리자의 이상 상태를 알 수 있도록 한다. 위치 정보뿐만 아니라 매일 2회 건강상태를 입력해 전담 공무원이 코로나-19 발병 증상을 즉각적으로 알 수 있도록 한다.

한편, 스마트폰의 GPS는 실내 환경에서는 위치 인식에 한계가 존재한다. 장애물이 많을수록 GPS 신호가 장애물에 반사되어 여러 신호 특성으로 수신이 되는 멀티패스 문제가 발생하며, 실내에서는 GPS 신호 세기가 크게 감소되어 수신되기 때문이다. 이러한 GPS의 특징을 악용하여 무단이탈 등 자가격리를 위반할 경우, 웨어러블 디바이스인 안심밴드를 착용하도록 함으로써 강화된 자가격리 관리를 수행하고 있다. 안심밴드는 블루투스 신호 세기를 기반으로 스마트폰과의 거리를 예측하여 스마트폰과 일정 거리 이상 멀어질 경우 전담 공무원에게 자동으로 통보된다. 또한, 밴드를 훼손하거나 절단 시에도 마찬가지로 전담 공무원에게 알림이 전송된다.



출처 : 보건복지부 사이트

그림 11. 안심밴드



출처 : 보건복지부

## III ICT 융합 역학조사 기술의 해외 사례

해외 다른 국가들의 경우 개인정보에 민감한 국민 정서와 우리나라의 감염병 예방법과 같은 법적 근거의 부재로 이동통신사 기지국 기반 동선데이터 또는 카드 결제내역 기반 동선데이터 수집과 같은 적극적인 역학조사는 시행하지 못하는 실정이다. 현재 가장 널리 사용되고 있고 연구가 진행 중인 ICT 융합 역학조사 기술은 저전력 블루투스(BLE, Bluetooth Low Energy) 기반의 접촉알림 앱이다.

### 1. 블루투스 기반 접촉알림 앱

#### 1.1. 블루투스 기반 접촉알림 솔루션 등장 배경

전 세계적으로 코로나-19 팬데믹이 지속됨에 따라 널리 보급된 스마트폰을 이용한 접촉알림 솔루션의 필요성이 대두되었다. 스마트폰은 일반적으로 외출할 경우 항상 소지하고 있기 때문에 개인 스마트폰을 이용해 신속하게 접촉 위험을 알려 자가격리 및 선별진료 방문 시점을 앞당김으로써 코로나-19 확산을 방지에 효과적일 것이라는 기대가 높았다. 스마트폰의 위치 인식 기술, 저전력 블루투스 기반 거리 예측 등 다양한 방식의 접촉알림 솔루션이 출시되었으나 개인정보보호 이슈로 인해 블루투스를 이용해 접촉 사실만을 탐지하는 방식이 선호되었다.

해당 방식은 GPS 등의 민감한 위치 정보 대신 블루투스 신호를 기반으로 근거리에서 있는 디바이스의 익명화된 정보만을 수집하여 개인정보를 보호한다.

저전력 블루투스는 약 10m의 도달 반경을 가진 2.4GHz 대역 기반의 저전력 데이터 송수신이 가능한 블루투스 4.0 기술규격을 의미한다. 장점은 작은 데이터를 저전력으로 송수신하기 위해 고안된 규격으로 블루투스 평균 전력 소모량 대비 100분의 1 정도만 소모하며, 스마트워치를 사용하는 적은 양의 전력만 소비하므로 스마트폰의 사용시간에 영향이 거의 없다. 단점으로는 비면허 주파수(2.4GHz) 대역을 이용하므로 타 전자기기의 신호 간섭, 주파수 감쇠, 다중경로 수신 등에 따라 신호세기의 오차가 발생할 수 있다.

## 1.2. 해외 스마트폰 블루투스 기반 접촉알림 기술

블루투스 기반 접촉알림 기술은 중앙집중형(centralized)과 분산형(de-centralized) 2가지 방식이 존재한다. 중앙집중형 방식은 접촉자와 확진자에 대한 모든 정보를 정부에서 관리하여 방역 효과성은 높은 반면 개인정보에 대한 문제점이 존재할 수 있다. 중앙집중형 솔루션으로는 PEPP-PT(스위스), BlueTrace(싱가폴), NHS contact tracing protocol(영국) 등이 있다. 분산형 방식은 모든 정보가 비식별화 되어 처리되며, 중앙으로 어떠한 정보도 보내지 않고 모든 정보를 디바이스에 저장하여 개인정보에 대한 보안은 철저하나 방역은 자발적 참여에 의지해야 하는 특징이 있다. 분산형 솔루션으로는 Exposure Notification(구글·애플), DP-3T(스위스), TCN Protocol(미국), Whisper Tracing Protocol(미국) 등이 있다.

표 1. 해외 코로나-19 접촉알림 프레임워크 현황

이름	데이터 처리방식	개발참여기관
Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing (PEPP-PT) project	부분 중앙집중형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraunhofer Institute for Telecommunications</li> <li>• Robert Koch Institute</li> <li>• Technical University of Berlin</li> <li>• TU Dresden</li> <li>• University of Erfurt</li> <li>• Vodafone Germany</li> </ul>
Coalition Network	분산형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coalition Foundation</li> <li>• Nodle</li> <li>• French Institute for Research in Computer Science and Automation</li> </ul>
Google / Apple privacy-preserving tracing project	분산형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Google</li> <li>• Apple</li> </ul>
Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing (DP-3T)	분산형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EPFL</li> <li>• ETHZ</li> <li>• KU Leuven</li> <li>• TU Delft</li> <li>• University College London</li> <li>• CISPA</li> <li>• University of Oxford</li> <li>• University of Torino</li> <li>• ISI Foundation</li> </ul>
BlueTrace / OpenTrace	부분 중앙집중형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Singapore Government Digital Services</li> </ul>
Privacy-Sensitive Protocols And Mechanisms for Mobile Contact Tracing (PACT) / CovidSafe	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft volunteers</li> <li>• University of Washington</li> </ul>

이름	데이터 처리방식	개발참여기관
PACT: Private Automated Contact Tracing	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory</li> <li>• Massachusetts General Hospital</li> <li>• MIT Lincoln Laboratory</li> <li>• MIT Media Lab</li> <li>• Boston University</li> <li>• Weizmann Institute of Science</li> <li>• Brown University</li> </ul>
Covid Watch / TCN Coalition / TCN Protocol	분산형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Covid Watch</li> <li>• CoEpi</li> <li>• ITO</li> <li>• Commons Project</li> <li>• Zcash Foundation</li> <li>• Openmined</li> <li>• Coalition Network</li> </ul>
OpenCovidTrace	분산형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nebula Ventures</li> <li>• open source community</li> <li>• Quantstellation</li> <li>• MLM Holdings</li> <li>• Evocativedeas</li> <li>• 1Checkin</li> </ul>

출처 : 위키피디아([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

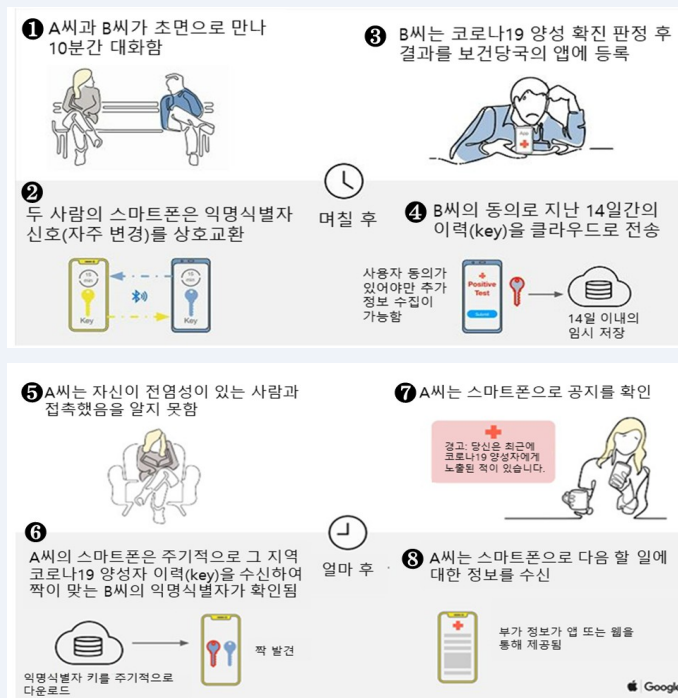
### 1.3. 구글·애플의 Exposure Notification

Exposure Notification은 구글과 애플에서 공동으로 개발하였으며, 안드로이드와 iOS 간 상호 호환되는 코로나-19 접촉 여부를 판별하는 응용 프로그램 프로그래밍 인터페이스(API, Application Programming Interface) 규격을 제공한다. 다른 접촉알림 프레임워크의 경우 백그라운드에서 블루투스 신호세기 수집이 불가하거나 배터리 소모량이 높다는 등의 문제점이 있었으나, 구글과 애플이 자사 운영체제에 최적화시켜 해당 문제들을 해결했다. Exposure Notification은 저전력 블루투스(BLE) 기술을 활용하여 디바이스 간 신호세기를 측정하며, 확진자가 앱에 확진사실 등록 시 확진일 전 14일간 확진자와 접촉한 것으로 의심되는 스마트폰 사용자에게 감염 가능성을 푸시 알림으로 알려준다.

주요 특징으로는 ① 정부 보건당국만 구글-애플에 앱 제작에 필요한 API 사용신청 가능(국가당 한 개의 앱만 가능), ② 이용자 동의가 필요한 옵트-인(Opt-in) 방식, ③ 위치데이터, 전화번호 등 개인정보가 저장되지 않아 프라이버시 보호에 유리하다는 점이다.

### 《 구글-애플 Exposure Notification 작동원리 》

- ① 이용자의 스마트폰은 주변 불특정 스마트폰과 암호화된 Tracing Key(15분 단위로 재생성)를 송수신하여 스마트폰에 저장
- ② 이용자가 앱에 확진 사실 등록 시 앱은 보건당국의 '진단서버(Diagnosis Server)'에 이용자의 14일간 변경되었던 Tracing Key를 전송
- ③ 각 스마트폰은 서버의 키 값을 주기적으로 다운로드하여 자신이 보관중인 키 값과 일치하는 것이 있는지 확인
- ④ 양 키 값이 일치하는 경우 해당 스마트폰에 '밀접 접촉 감염 가능성' 알림 표시
  - 알림에는 확진자에게 노출됐을 가능성, 확진자와 동선이 겹친 일자, 접촉 시간 등 포함



(출처 : 구글·애플 Exposure Notification 사이트)

2020년 5월 20일 구글과 애플은 공동으로 각자의 모바일 운영체계에 호환되는 블루투스 기반 확진자 접촉알림 기능인 Exposure Notification 1.0 버전을 탑재했다. 해당 프레임워크는 배터리, 개인정보 및 운영 정책을 포함하여 안드로이드와 iOS에 최적화되었다. 이후 구글과 애플은 접촉판단 알고리즘 개발에 용이하도록 보다 상세한 정보를 제공하는 1.5버전 솔루션을 개발하였고 2020년 7월 초 배포했다. 2020년 9월 초 애플은 별도 앱 없이도 알림기능을 이용할 수 있도록 운영체제에 접촉알림 기능을 내재화하는 업데이트를 iOS 13.7버전에 적용 완료했다. 구글은 운영체제에 내재화하는 대신 자체 개발한 레퍼런스 앱을 활용하기로 결정하여 개발 중이다.

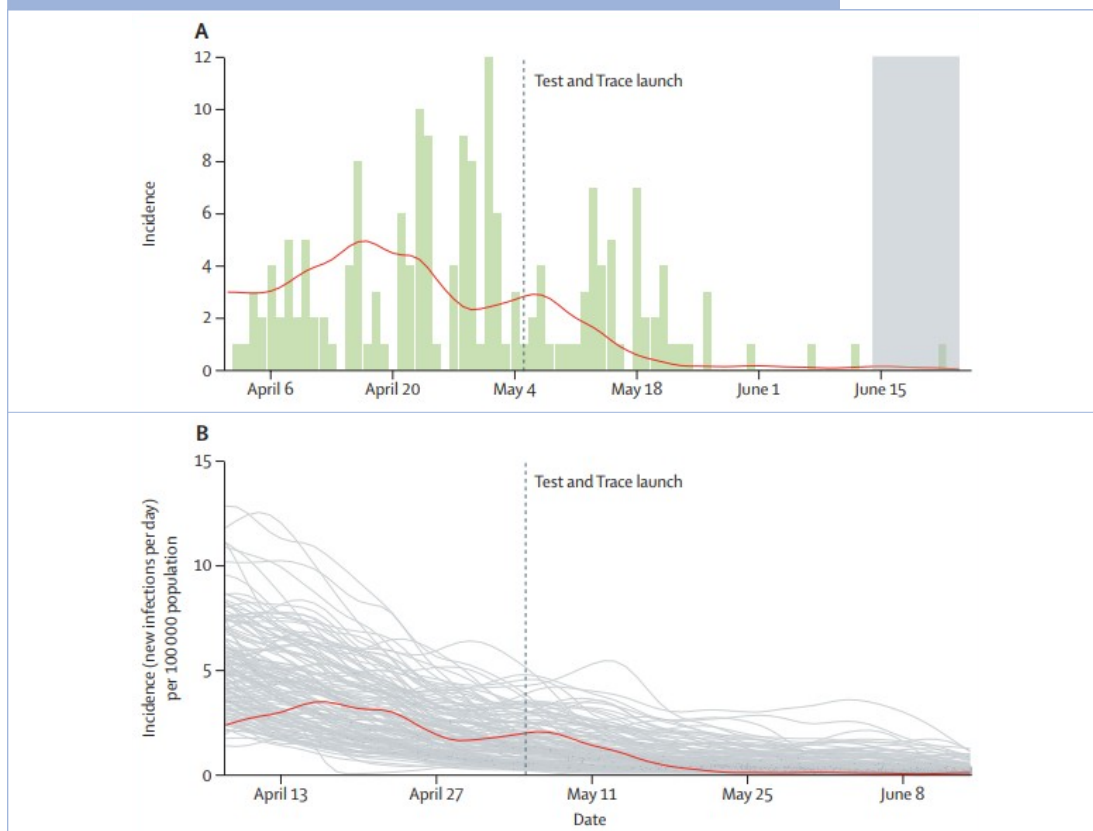
## 2. 블루투스 기반 접촉알림 솔루션 관련 현황

### 2.1. 스마트폰 블루투스 기반 접촉알림 솔루션의 효과성 관련 연구

영국 옥스퍼드 대학교에서 블루투스 기반 접촉알림 솔루션의 효과성에 대해 활발하게 연구를 진행하고 있다. 2020년 4월에는 인구의 60%가 앱을 사용하면 코로나-19 대유행을 종료시킬 수 있고, 앱 사용률이 60% 이하여도 확진자와 사망자 수를 줄이는 데 도움이 된다는 연구 결과를 발표했다.

또한, 영국 화이트 섬 지역 주민들에게 접촉 추적 어플리케이션을 배포한 이후 코로나-19 확진자 비율이 유의미하게 감소했다는 실증 연구 결과도 발표했다(K. Michelle et al., 2020). 논문에서 2020년 5월 5일 접촉알림 앱을 화이트 섬에 배포한 이후 확진자 수와 감염재생산지수( $R_0$ )가 감소했음을 밝혔다.

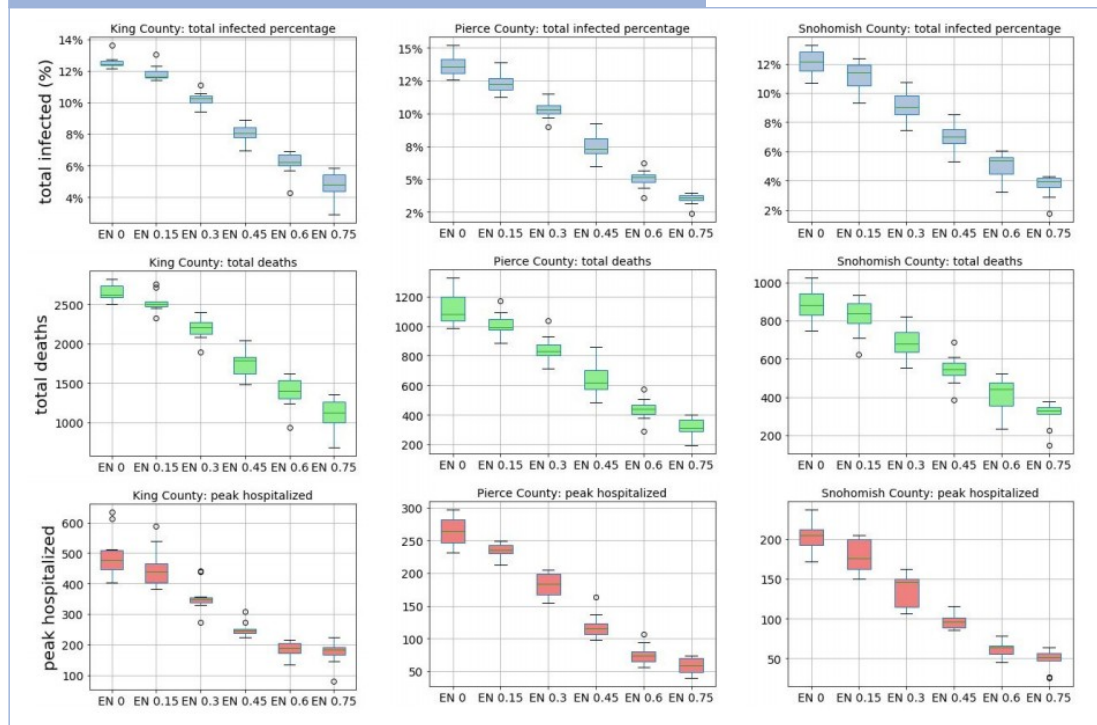
그림 12. 접촉알림 앱 출시 전후의 화이트섬 코로나-19 감염 추세



출처 : K. Michelle et al.(2020)

구글과 옥스퍼드는 공동 연구도 진행했는데, 미국 워싱턴 주의 3개 카운티를 대상으로 접촉알림 솔루션 설치율에 따른 확진자 감소 효과에 대해 연구 결과를 발표했다(M. Aduég et al., 2020). 해당 연구에서는 미국 워싱턴 주의 3개 카운티 대상 인구 이동성을 모델링 한 다음, 접촉알림을 수신한 인원의 90%가 자가격리를 수행한다고 가정했을 때 확진자 수에 대한 효과성을 검증했다. 이 때 접촉알림 솔루션의 정확도는 80%를 가정했다. 시뮬레이션 결과, 총 인구의 75% 설치 시 약 70%의 확진자가 감소하며, 15%만 설치하더라도 약 8%의 확진자 감소 효과가 있을 것으로 확인되었다.

그림 13. 앱 설치율에 따른 코로나-19 감염 예상 수치



출처 : M. Aduég et al.(2020)

## 2.2. 해외 구글·애플 Exposure Notification 기반 접촉알림 앱 사용 현황

Exposure Notification을 기반으로 개발한 접촉알림 앱은 전 세계 55개국(미국의 주(state)는 별도 국가로 간주)에서 개발 및 출시를 완료했으며, 6개의 국가에서 개발 중이다. 개발 중인 국가 중 3개의 국가에서는 사전체험버전을 출시해 앱 검증 중이다. 이는 해외 국가들이 블루투스 기반 접촉알림 앱의 효과에 대해 기대가



크다는 것을 의미한다. 특히 미국의 경우, 지나치게 많은 확진자 발생으로 인해 정상적인 역학조사를 기대하기 어려워 각 주들이 앞다투어 접촉알림 앱을 개발 및 출시하고 있다. 또한, 주(state) 간 확진자 키 값 공유를 통해 미국 전역을 아우르는 접촉알림 앱 구축을 추진 중이다. 영국에서는 기존에 중앙집중형 방식으로 접촉알림 앱을 출시했으나, 개인정보에 대한 국민들의 민감한 정서와 심각한 성능 상의 이슈로 인해 구글과 애플의 Exposure Notification 기반 앱을 재개발했다. 독일의 경우 국민들이 접촉알림 앱에 대한 기대가 커 출시 후 3주 만에 1,500만 다운로드를 기록했다.

표 2. 해외 Exposure Notification 기반 접촉알림 솔루션 출시 현황

지역	앱 이름	상태	앱스토어
오스트리아	Stopp Corona	출시	구글, 애플
호주	COVIDTrace	개발 중	-
벨기에	Coronalert	출시	구글, 애플
브라질	Coronavirus - SUS	출시	구글, 애플
브루나이	BruHealth	개발 중	-
캐나다	COVID Alert	출시	구글, 애플
크로아티아	Stop COVID-19	출시	구글, 애플
키프로스	CovTracer-EN	사전체험 버전 출시	구글, 애플
체코	eRouška (eMask)	출시	구글, 애플
덴마크	Smittestop	출시	구글, 애플
에콰도르	ASI	출시	구글, 애플
에스토니아	Hoia	출시	구글, 애플
핀란드	Koronavilkku	출시	구글, 애플
독일	Corona-Warn-앱	출시	구글, 애플
지브롤타	Beat COVID Gibraltar	출시	구글, 애플
아일랜드	Covid Tracker	출시	구글, 애플
이탈리아	Immuni	출시	구글, 애플
일본	COCOA	출시	구글, 애플
카자흐스탄	Saqbol	출시	구글
케냐	-	개발 중	-
라트비아	Apturi Covid	출시	구글, 애플
리투아니아	Korona Stop LT	출시	구글, 애플
말타	COVID Alert Malta	출시	구글, 애플
네덜란드	CoronaMelder	출시	구글, 애플
뉴질랜드	NZ COVID Tracer	출시	구글, 애플

지 역	앱 이름	상 태	앱스토어
북아일랜드	StopCOVID NI	출시	구글, 애플
폴란드	ProteGO Safe	출시	구글, 애플
포르투갈	STAYAWAY COVID	출시	구글, 애플
사우디 아라비아	Tabaud	출시	구글, 애플
스코틀랜드	Protect Scotland	출시	구글, 애플
슬로베니아	OstaniZdrav	출시	구글
북아프리카	COVIDConnect	출시	구글
스페인	Radar COVID	출시	구글, 애플
스위스	SwissCovid	출시	구글, 애플
영국	NHS COVID-19	출시	구글, 애플
영국-저지	Jersey COVID Alert	출시	구글, 애플
우루과이	Coronavirus UY	출시	구글, 애플
미국-알라바마	GuideSafe	출시	구글, 애플
미국-아리조나	Covid Watch	출시	구글, 애플
미국-캘리포니아	California COVID Notify	출시	구글, 애플
미국-콜로라도	CO Exposure Notifications	출시	구글, 애플
미국-코네티컷	COVID Alert CT	출시	구글, 애플
미국-델라웨어	COVID Alert DE	출시	구글, 애플
미국-콜롬비아	DC CAN	출시	구글, 애플
미국-괌	Guam Covid Alert	출시	구글, 애플
미국-하와이	AlohaSafe Alert	출시	구글, 애플
미국-메릴랜드	MD COVID Alert	출시	구글, 애플
미국-미시간	MI COVID Alert	출시	구글, 애플
미국-미네소타	COVIDaware MN	출시	구글, 애플
미국-네바다	Covid Trace Nevada	출시	구글, 애플
미국-뉴저지	COVID ALert NJ	출시	구글, 애플
미국-뉴욕	COVID Alert NY	출시	구글, 애플
미국-북캐롤라이나	SlowCOVIDNC	출시	구글, 애플
미국-오레곤	Oregon Exposure Notifications	사전체험 버전 출시	구글, 애플
미국-펜실베이니아	COVID Alert PA	출시	구글, 애플
미국-푸에르토리코	Rastrea el Virus BT	출시	구글, 애플
미국-남캐롤라이나	SC Safer Together	출시	구글, 애플
미국-북다코타	Care19 Alert	출시	구글, 애플
미국-와이오밍			
미국-버지니아	Covidwise	출시	구글, 애플
미국-워싱턴	WA Exposure Notifications	사전체험 버전 출시	구글, 애플

출처 : 자체 작성

### 2.3. 해외 구글·애플 Exposure Notification 기반 접촉알림 솔루션 개인정보 수집 현황

구글과 애플은 Exposure Notification 출시 초기에는 접촉알림 앱에서 어떠한 개인정보 수집도 허가하지 않았다. 이는 Exposure Notification의 철학이 철저한 개인정보보호 기반의 접촉알림 기능 제공에 초점을 맞췄을뿐만 아니라 개인정보 수집으로 인해 얻는 방역 효과성의 증대보다 개인정보 유출 위험성 증가에 더 예민한 해외국가의 정서를 고려한 결정이었다. 그러나 코로나-19 확산세가 점점 증가하자 방역의 효율성을 위해 사용자 동의하에 행하는 개인정보 수집에 대해서는 일부 용인하는 사례가 늘고 있다. 라트비아, 아일랜드의 접촉알림 앱에서는 앱 최초 설치 시 사용자 동의하에 전화번호를 수집한다. 뿐만 아니라 미국의 미시간주 및 네바다주의 경우 접촉알림 수신 시 사용자 동의하에 전화번호와 더불어 이름까지 수집한다. 극단적인 경우로 브루나이에서 출시한 접촉알림 앱의 경우 회원가입을 통해 주민등록번호까지 수집한다.

표 3. 해외 주요국 Exposure Notification 기반 접촉알림 앱 개인정보 수집 현황

지역	앱 이름	추가 수집 정보	비고
라트비아	Apturi Covid	- 전화번호	- 앱 설치 시 개인 동의하에 전화번호 수집 - 밀접촉 판단 시 연락을 취하기 위해 수집 - 전화번호 미입력 시 경고 팝업 표시
영국-저지	Jersey COVID Alert		
아일랜드	COVID Tracker		
영국	NHS COVID-19	- 우편번호 일부	- 전자출입명부와 유사한 Check-in 기능 탑재 - 지역별 코로나19 확산 정도 파악을 위한 우편번호 일부 수집
이탈리아	Immuni	- 거주 지역	- 유럽 내 다른 나라로 이동할 때 해당 나라의 GAEN 앱과 연동 지원
스코틀랜드	Protect Scotland	- 접촉알림 수신자 수 - 앱 기반 확진 신고 수 - 앱 사용자 수	
미국-미시간	MI COVID Alert	- 이름 및 전화번호	- 밀접촉 판단 시 개인 동의하에 이름 및 전화번호 수집
미국-네바다	Covid Trace Nevada		
미국-뉴욕	COVID Alert NY	- 성별, 나이 등 기본정보	- 건강일지 작성 시 보건자료로 사용하기 위해 개인 동의하에 성별, 나이 등 기본정보 수집 - 이름, 전화번호와 같은 개인정보는 수집하지 않음
미국-펜실베이니아	COVID Alert PA		
미국-뉴저지	COVID ALert NJ		
미국-델라웨어	COVID Alert DE		
브루나이	BruHealth	- 이름 - 전화번호 - 주민등록번호 - 주소지 - 이메일	- 회원가입을 통해 상세 개인 정보 수집

출처 : 자체 작성

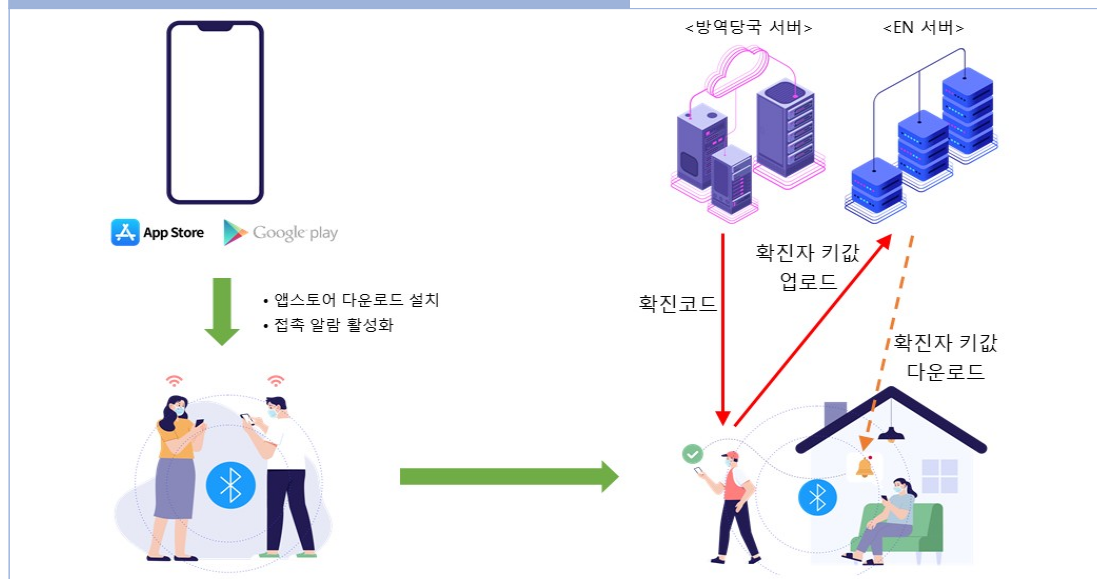
### 3. 구글·애플 Exposure Notification 동작 분석

#### 3.1. 동작 시나리오

Exposure Notification 기반의 접촉알림 앱이 동작하는 순서는 다음과 같다.

1. 사용자마다 자신의 디바이스에 접촉알림 앱을 설치하며, 설치 이후 디바이스의 설정에서 Exposure Notification을 활성화한다.
2. 접촉알림 앱을 설치한 사용자 간 접촉 시 저전력 블루투스를 이용해 서로의 블루투스 신호정보를 교환하여 접촉 이력을 자신의 디바이스에 저장한다.
3. 선별진료소 등에서 코로나-19 확진자로 판별 시, 방역당국이 서버를 이용해 확진자에게 코드(VC, Verification Code) 값을 발급하고, 확진자는 문자나 메일, 유선 등을 통해 전달받은 코드를 앱에 입력한다.
4. 앱에서는 최근 14일간 생성한 자신의 키 값을 서버로 전송한다.
5. 모든 접촉알림 앱은 주기적으로 서버에 접속하여 확진자 키 값을 다운로드하는데, 이 때 새롭게 추가된 확진자 키가 존재할 경우, 최근 14일간 수집한 이력 정보의 신호정보를 비교하여 노출 위험성을 계산하여 일정 수치 이상일 경우 사용자에게 푸시 알림을 전송한다.
6. 사용자는 접촉알림 수신 후 즉각적인 자가격리와 함께 안내받은 지침대로 행동하여 N차 감염을 방지한다.

그림 14. Exposure Notification 동작 시나리오



출처 : 자체 작성

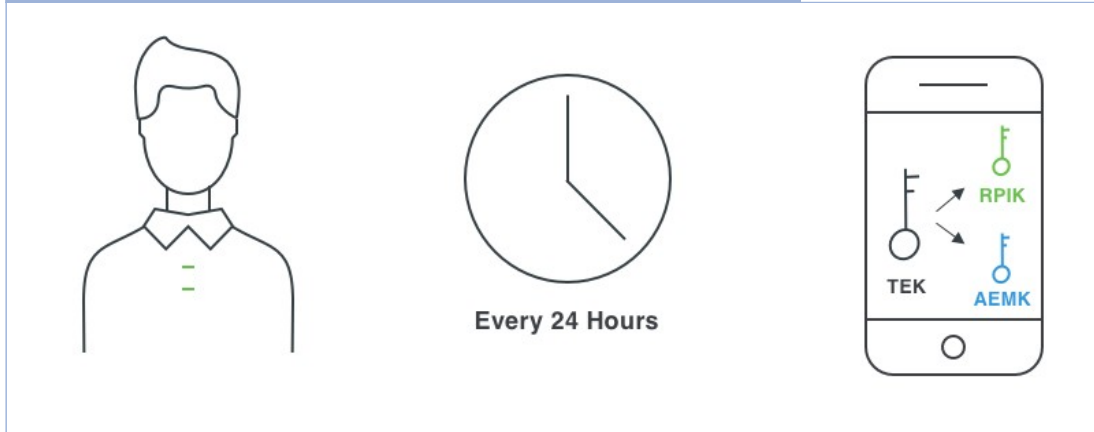
## 3.2. 접촉 이력 수집 방법

Exposure Notification에서 접촉 이력 수집은 크게 2가지 기능으로 구분된다. 그 중 하나는 자기자신에 대해 익명화된 키 값을 주기적으로 생성하는 것이다. 키 값을 10~20분마다 변경하여 추후 키 값 비교를 통해 개인을 특정할 수 없도록 한다. 다른 하나의 기능은 접촉한 디바이스와 익명화된 키를 교환하고 블루투스 신호 세기를 수집하는 것이다. 키 교환 시 디바이스에 미치는 영향을 최소화하기 위해 저전력 블루투스의 Advertisement 기능을 사용한다. 생성된 익명화된 키는 블루투스 규격에 맞춰 브로드캐스트하며, 해당 키를 수신한 디바이스는 해당 키에 대한 블루투스 신호 세기를 저장한다.

### 3.2.1. 익명화된 키 생성 기능 상세 분석

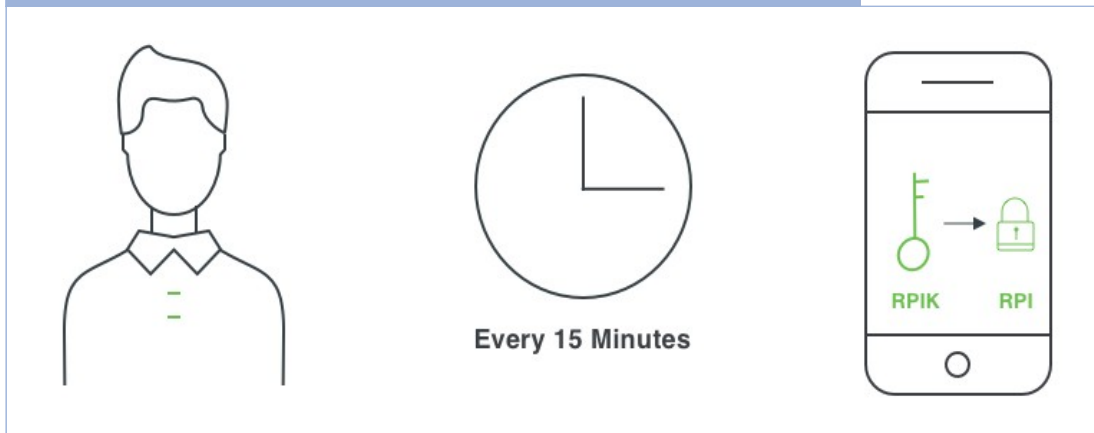
임시 노출 키(TEK, Temporary Exposure Key)는 Exposure Notification에서 생성하는 익명화된 키를 만들기 위한 임의의 키 값으로 24시간마다 임의의 값으로 변경된다. 임시 노출 키(TEK)는 디바이스 간에 교환되지는 않으며 확진자 등록 시 서버로 전송된다. 실제 10~20분마다 변경되며 디바이스와 교환하는 키는 롤링 근접 식별자(RPI, Rolling Proximity Identifier)로 임시 노출 키(TEK)를 기반으로 만들어지며, 롤링 근접 식별자(RPI)에서 임시 노출 키(TEK)를 역산할 수는 없다. 이러한 구조는 개인정보를 보호함과 동시에 서버로 업로드 되는 데이터의 양을 최소화하여 서버의 부하를 줄이기 위함이다. 롤링 근접 식별자(RPI)가 10분마다 변경된다고 가정할 경우 하루에 약 360개의 롤링 근접 식별자(RPI)가 생성된다. 확진 시 14일간의 데이터를 업로드 하므로, 롤링 근접 식별자(RPI)를 바로 서버로 올릴 경우 총 5,040개의 롤링 근접 식별자(RPI)가 업로드 된다. 이 때 모든 접촉알림 앱은 주기적으로 서버에서 확진자의 키 값을 다운로드 하는데, 천만 명이 접촉알림 앱을 사용할 경우 확진자 1명 당 약 5천만 건의 데이터가 다운로드 된다. 이는 서버에 부하를 많이 주며, 운영 비용을 증가시킨다. 반면 임시 노출 키(TEK)는 24시간마다 1개가 생성되므로 14일간 14개의 임시 노출 키(TEK)만 생성된다. 이러한 구조를 통해 서버의 효율을 약 300배 이상 증가시킬 수 있다.

그림 15. 임시 노출 키(TEK, Temporary Exposure Key) 개요



출처 : Exposure Notification 애플 웹사이트

그림 16. 롤링 근접 식별자(RPI, Rolling Proximity Identifier) 개요



출처 : Exposure Notification 애플 웹사이트

### 3.2.2. 익명화된 키 교환 및 블루투스 신호 세기 수집 상세 분석

Exposure Notification은 저전력 블루투스의 Advertising 기능을 이용해 롤링 근접 식별자(RPI)를 교환한다. Advertising은 저전력 블루투스의 특징적인 기능으로, 디바이스가 자신의 존재를 알리거나 적은 양(31 바이트 이하)의 데이터를 다수의 주변 디바이스에게 전송할 때 사용된다. 특히 기존 블루투스는 데이터 통신을 위해서는 페어링을 통해 1대1 전송 밖에 지원하지 않는 반면 Advertising은 페어링 없이 데이터 전송이 가능하며,

일반 블루투스 통신에 비해 훨씬 저전력으로 동작한다. Exposure Notification은 롤링 근접 식별자(RPI)를 포함하여 접촉이력 정보를 아래와 같이 31 바이트 이하로 구성하였다.

그림 17. Exposure Notification의 접촉이력 블루투스 Advertising 패킷

Flags			Complete 16-bit Service UUID			Service Data - 16 bit UUID				
Length	Type	Flags	Length	Type	Service UUID	Length	Type	Service Data		
0x02	0x01 (Flag)	0x1A	0x03	0x03 (Complete 16-bit Service UUID)	0xFD6F (Exposure Notification Service)	0x17	0x16 (Service Data - 16 bit UUID)	0xFD6F (Exposure Notification Service)	16 bytes Rolling Proximity Identifier	4 bytes Associated Encrypted Metadata

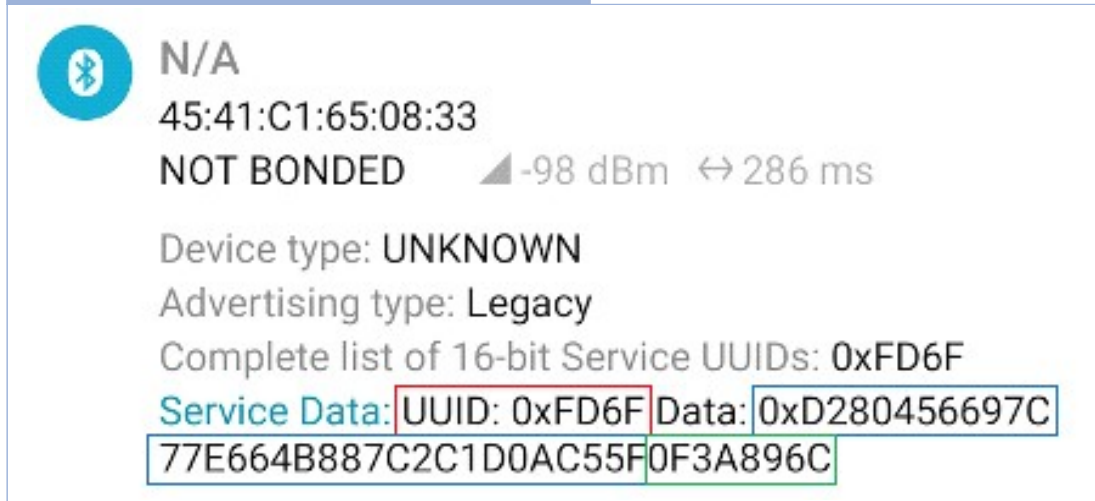
출처 : Exposure Notification 공식 문서

Exposure Notification의 각 패킷의 의미는 아래와 같다.

- Flags: 블루투스 LE discoverable mode는 첫번째 bit를 1로 설정
- Complete 16-bit Service UUID Section: UUID는 0xFD6F 그리고 서비스 데이터로 구성
- ServiceData 16-bit UUID Section: 16byte는 RPI이며, 나머지 4byte는 다음과 같이 정의
- byte 0 : 버전
- bit 7-6 : 메이저버전
- bit 5-4 : 마이너버전
- bit 3-0 : 현재 미사용
- byte 1 : 패킷 신호 세기로서 이 값을 이용하여 기기간의 거리를 유추한다.
- byte 2 : 현재 미사용
- byte 3 : 현재 미사용

수집된 Advertising 패킷에 대해 0x03036FFD로 필터링 시 Exposure Notification이 활성화된 기기들에서 브로드캐스팅하는 패킷을 스캔 가능하며, 해당 데이터를 확인하여 Exposure Notification의 동작을 확인할 수 있다. 아래는 해외 국가의 Exposure Notification 앱 중 하나를 설치한 후 패킷을 스캔한 화면이다.

그림 18. Exposure Notification 스캔 예시



출처 : 자체 스크린캡처

수집된 패킷은 각각 아래와 같다.

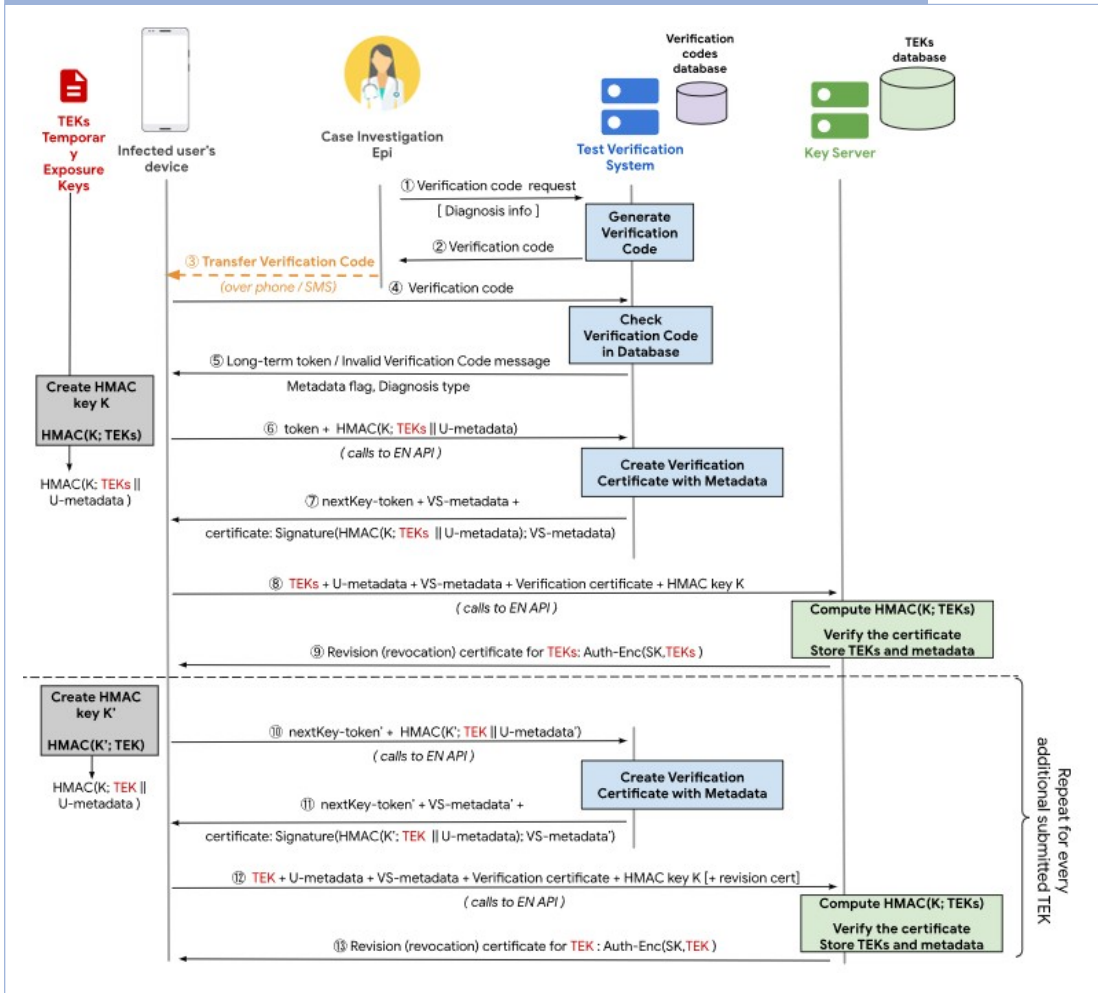
- UUID : 0xFD6F
- Data(0~16) : Rolling Proximity Identifier
- Data(17~20) : Associated Encrypted Metadata
- 15분 단위로 [Rolling Proximity Identifier], [Associated Encrypted Metadata], [Mac address]들의 데이터 값 변동 확인 가능

### 3.3. 확진자 등록 방법

확진자 정보를 잘못 업로드할 경우 부적절한 접촉알림이 발생할 수 있어 이를 방지하기 위해 보건당국에서 발행한 특정 길이의 숫자(VC, Verification Code)를 반드시 접촉알림 앱에 입력해야만 확진자 정보가 서버로 업로드 된다. 일종의 일회용 비밀번호(OTP, One-Time Password) 이다. 접촉알림 앱에서는 확진자 코드를 서버로 보내고, 서버에서 올바른 코드임을 확인한 이후 앱에 인증 토큰 및 접촉 관련 정보를 전달한다. 앱과 서버는 인증을 위해 핸드셰이크를 여러 번 수행한 다음 최종적으로 임시 노출 키(TEK)를 서버로 업로드하고, 서버는 임시 노출 키(TEK)를 데이터베이스에 저장한다.



그림 19. 접촉알림 앱의 확진자 등록에 대한 1차 인증 및 2차 인증 시퀀스

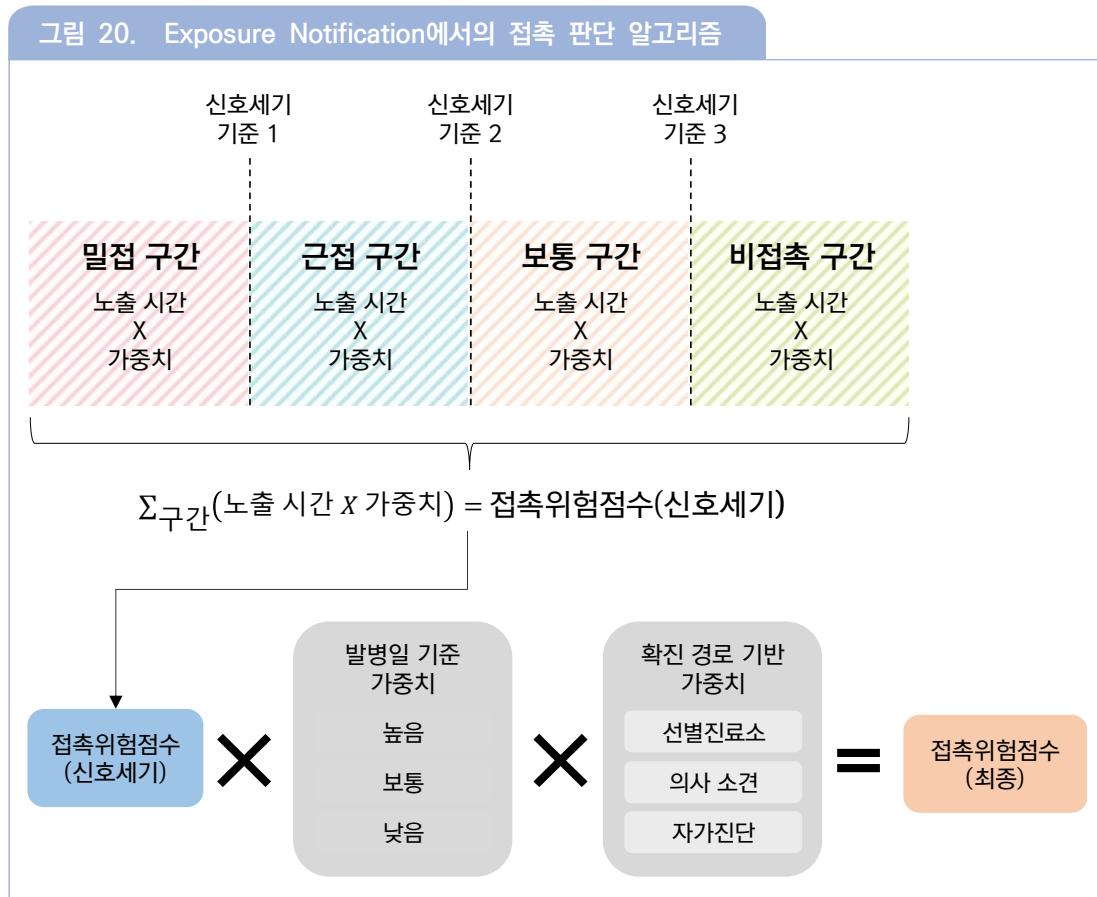


출처 : Exposure Notification 애플 웹사이트

### 3.4. 접촉 여부 판단 알고리즘

모든 접촉알림 앱은 주기적으로 서버에 접속하여 새로 추가된 임시 노출 키(TEK)와 함께 해당 임시 노출 키(TEK)에 대한 접촉 날짜, 접촉이 유지된 시간, 신호 세기 등의 접촉 관련 정보를 다운받는다. 개인정보 보호를 위해 임시 노출 키(TEK) 다운로드만 수행할 뿐, 서버로 자신의 어떠한 정보도 업로드하지 않는다. 이후 자신이 보유한 14일간의 임시 노출 키(TEK)와 다운받은 임시 노출 키(TEK) 기반 롤링 근접 식별자(RPI)를

비교해 일치하는 건이 있는지 검사한다. 일치하는 건이 존재하는 경우, 아래와 같은 접촉 판단 알고리즘을 수행한다.



출처 : 자체 작성

접촉의 판단 기준인 신호세기, 접촉시간 등을 종합한 ‘위험점수(Risk Score)’를 이용하여 접촉위험 알림 여부를 판단한다. 먼저 신호세기로 판단한 거리구간에 따라 가중치를 적용해 시간(초) 단위로 환산하여 신호세기 기반의 접촉위험점수를 산출한다. 이후 발병일 이후 접촉일까지 경과 시간, 확진 경로 등을 고려한 가중치를 곱해 최종적으로 접촉위험점수를 산출한다. 해당 산출한 위험점수가 미리 설정해 놓은 ‘최소 위험점수(Minimum Risk Score)’를 넘는 경우 접촉알림 앱에서 ‘접촉위험’ 알림을 표시한다. 알고리즘의 각 파라미터 별 내용은 아래와 같다.

표 4. 접촉 여부 판단 알고리즘 파라미터 내용

파라미터	내용
신호세기 구간 기준	· 신호세기에 따라 접촉 강도 구간 구분(총 3개의 기준값, 4개 구간)
구간 별 가중치	· 접촉 강도 구간에 따라 접촉위험점수에 미치는 가중치 부여
발병 이후 경과 시간에 대한 가중치	· 확진자의 발병 이후 경과시간에 따라 접촉위험점수 계산 시 가중치 부여
리포트 타입 별 가중치	· 확진 받은 경로(선별진료소 혹은 자가진단키트 등)에 따라 가중치 부여
접촉위험점수 기준	· 밀접 접촉자로 판별하기 위한 접촉위험점수 기준

출처 : 자체 작성

### 3.5. Exposure Notification의 운영체제 내재화

2020년 9월 1일 구글과 애플은 기존 Exposure Notification을 각 나라들이 쉽게 도입할 수 있도록 툴 키 솔루션, 즉 별도의 앱 개발을 할 필요가 없는 Exposure Notification Express(ENE)를 발표했다. 이는 접촉알림 앱의 방역 성공률이 앱 설치율에 따라 크게 변하기 때문에 운영체제에서 기본으로 지원하여 접촉알림 앱의 사용자를 최대한 높이기 위함이다.

구글은 현재 개발 중이며, 각 나라들이 앱 개발을 할 필요없이 구글에서 제공하는 레퍼런스 앱을 설치하여 Exposure Notification Express(ENE)를 사용할 수 있도록 지원할 계획이다. 애플은 운영체제 13.7버전 업데이트를 하면서 설정 앱 내에 노출 알림 메뉴가 생겨 Exposure Notification Express(ENE) 탑재가 완료되었음을 확인할 수 있다.

## IV 역학조사 외 ICT 융합 방역 기술 사례

### 1. 로봇 기술 융합 방역 기술 사례

대표적인 로봇 기술이 적용된 방역 기술로 자동 열감지 로봇을 활용한 체온 측정 기술이 있다. 영상인식 기술과 열화상 카메라 기술을 기반으로 방문객에게 자동으로 체온 측정 및 결과를 알려줌으로써 사람들이 많이 모이는 시설에서 체온을 측정하는 인력과 비용을 절감할 수 있다.

그림 21. 서울 서초구청에 배치된 체온 측정 로봇



출처 : 서울신문(2020.06.04)

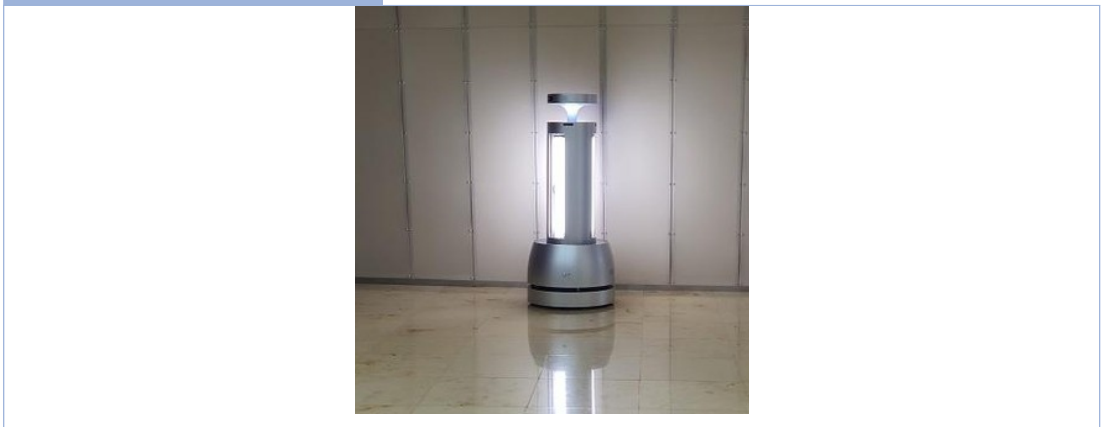
또 다른 사례로는 건물 내에서 소독 등의 방역 작업을 자동으로 수행하는 방역 로봇이 있다. 방역 로봇은 자율주행을 하며 건물 내 공간에서 자외선, 소독제 등을 이용해 소독을 수행한다. 이와 더불어 영상인식과 인공지능을 기반으로 보다 정밀한 소독 작업을 수행한다. 대표적인 방역 로봇으로 LG전자의 비대면 방역 로봇 'LG 클로이 살균봇', 한국과학기술연구원(KIST)에서 개발한 자율주행 방역 로봇 '에이드봇' 등이 있다.

그림 22. LG전자의 LG 클로이 살균봇



출처 : LG전자

그림 23. KIST의 에이드봇



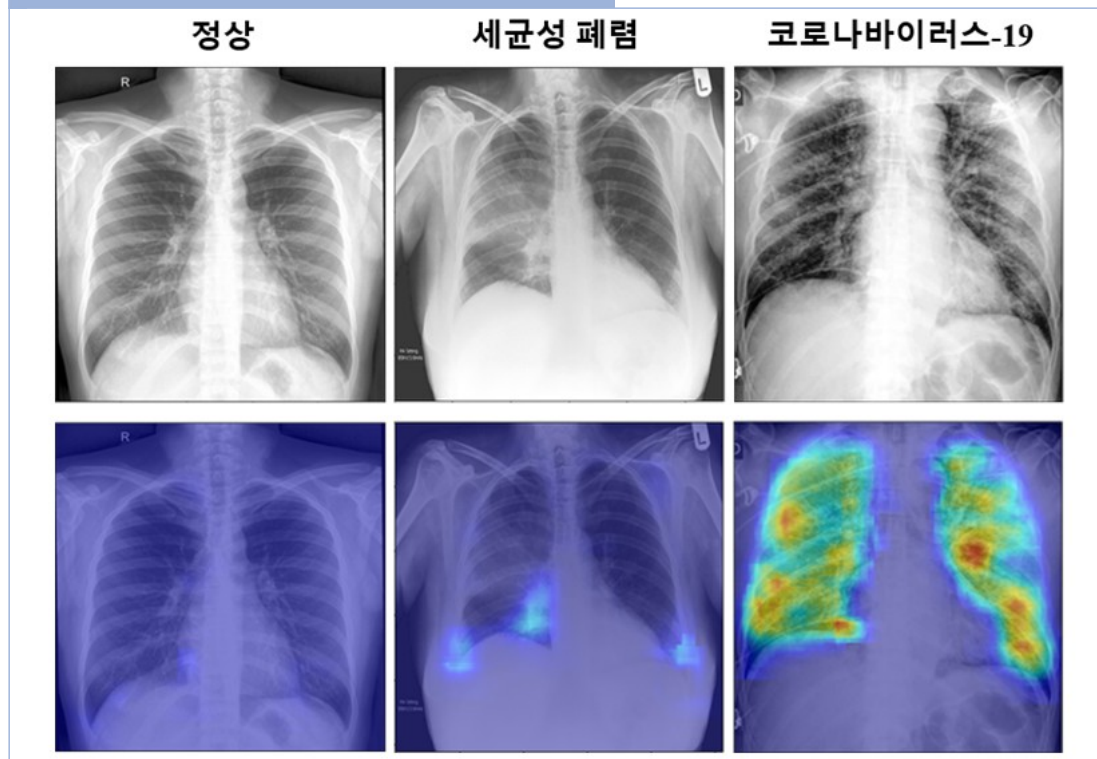
출처 : 조선비즈(2020.11.22)

## 2. 인공지능 기술 융합 방역 기술 사례

한국과학기술원(KAIST)에서는 흉부 단순 방사선 촬영 영상으로 코로나-19 진단의 정확성을 개선시킨 인공지능 기반의 진단 기술을 개발했다. 해당 기술은 영상 판독 전문가의 판단 정확도인 69%에 비해 17% 향상된 86%의 정확도를 보였다. 이는 기존의 유전자검출 검사법에는 조금 못 미치는 정확도이나 신속한 검사 속도와

저렴한 검사 비용이 장점이다. 인공지능을 위해 반드시 필요한 데이터의 양을 확보하기 위해 영상에 대한 전처리 방식을 개발하고, 이를 기반으로 국소 패치 방식을 적용해 하나의 영상에서 다양한 패치 영상을 얻는 방법을 사용했다.

그림 24. 영상 기반 코로나-19 분포 탐지 예시



출처 : 연합뉴스(2020. 05. 25)

코로나-19 백신 개발에도 인공지능 융합 기술이 많이 사용되었다. 미국 비영리 연구기관인 스탠퍼드 연구소(SRI, Stanford Research Institute)와 프랑스 파리 인공지능 신약개발 업체 이크토스(Iktos)에서는 백신 개발을 위한 공동 연구를 수행했다. 이 과정에서 인공지능이 약품을 설계하고 로봇 기술을 이용해 설계한 대로 약품을 배합했다. 이를 통해 연구 시작 4개월 내, 두 회사는 코로나-19 치료 후보 물질을 만들었다. 이와 같은 인공지능 기반의 백신 개발은 코로나-19를 기점으로 더욱 발전될 것으로 전망된다.

## V 결론

대규모 데이터 처리가 가능하며 자동화가 가능하다는 ICT의 특성은 역학조사의 효율성 증대를 위해 다양한 방법으로 활용되고 있다. 한국의 경우 역학조사 지원시스템, 자가격리자 안전보호 앱 등의 ICT 융합 역학조사 기술이 코로나-19 확산 방지에 중요한 역할을 수행하고, 이와 관련하여 해외 여러 국가들로부터 문의도 많다. 자가격리자 안전보호 앱의 경우 외국에 수출도 했다. 해외에서도 스마트폰, 인공지능을 적극적으로 활용해 코로나-19 대응에 나서고 있다.

코로나-19 대응을 위한 ICT 융합 방역 기술들은 시간이 지나면서 보다 더 신속해지고 정밀해질 것으로 예상된다. ICT의 성능 향상에 필수 요소인 방대한 데이터가 축적되고, 연구개발 인력들의 경험이 쌓이면서 방역 기술의 성능도 높아질 것이다. 이를 토대로 코로나-19 이후 발생하는 감염병들에 대해서 완전히 정복할 수 있기를 기대한다.

저자\_ 이석준(Seokjun Lee)

### • 학력

연세대학교 컴퓨터과학 박사  
연세대학교 컴퓨터과학 학사

### • 경력

現) 한국전자기술연구원 선임연구원  
前) SK hynix 책임연구원

## 참고문헌

### <국내문헌>

- 1) G. Hatke, M. Montanari, S. Appadwdula, M. Wentz, J. Mekelburg, L. Ivers, J. Watson, P. Fiore, "Using Bluetooth Low Energy (BLE) Signal Strength Estimation to Facilitate Contact Tracing for COVID-19," PACT Technical Report (2020)
- 2) K. Michelle et al., "Epidemiological changes on the Isle of Wight after the launch of the NHS Test and Trace programme: a preliminary analysis", The Lancet Digital Health, Volume 2, Issue 12, e658~e666 (2020)
- 3) M. Aduég et al., "Modeling the combined effect of digital exposure notification and non-pharmaceutical interventions on the COVID-19 epidemic in Washington state", medrxiv (2020)

### <기타문헌>

- 4) Apple Exposure Notification (<https://developer.apple.com/documentation/exposurenotification>)
- 5) EN App List (<https://www.xda-developers.com/google-apple-covid-19-contact-tracing-exposure-notifications-api-app-list-countries/>)
- 6) Google Exposure Notification (<https://developers.google.com/android/exposure-notifications/exposure-notifications-api>)





# 02

## 비대면 방역과 진단을 위한 의료 로봇 기술

서준호(한국기계연구원)

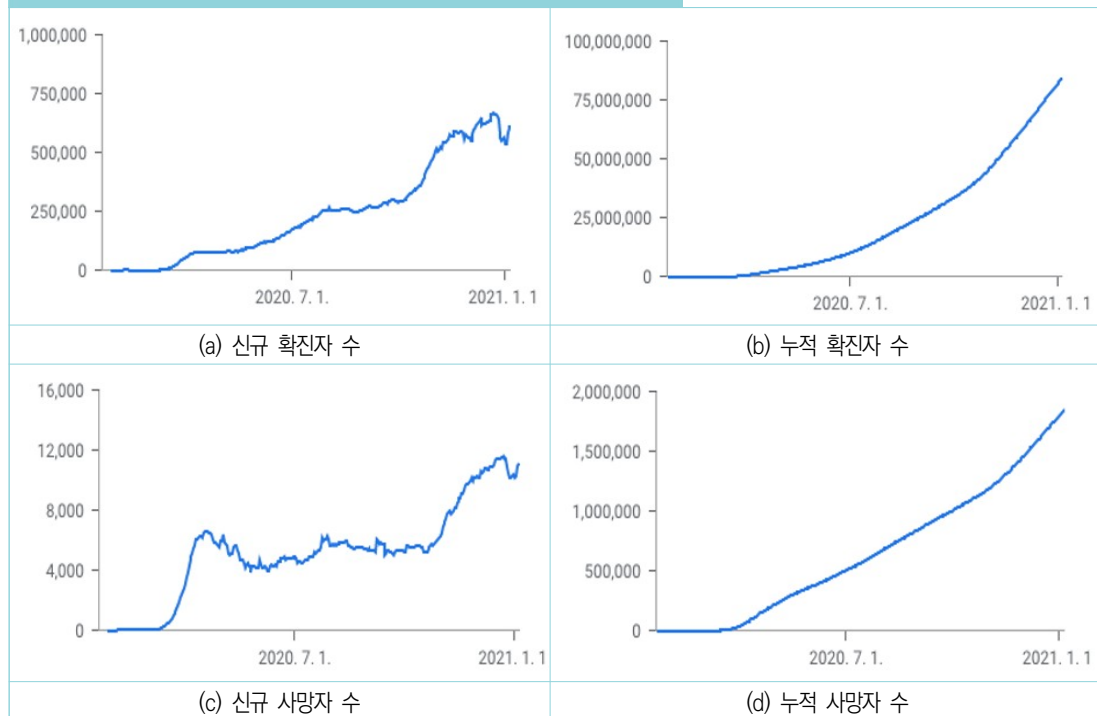
김선권(한국전기연구원)

\*도움주신 분 : 김창원(한국기계연구원, 자율 방역 로봇 전문가)

# I 서론

2019년 말 중국 후베이성 우한시에서 코로나-19(COVID-19 또는 Coronavirus Disease 2019) 첫 의심 환자가 보고된 이후, 1년이 지난 2021년 1월에도 전 세계적인 확산세가 꺾이지 않고 있다. 오히려 전파력이 강한 변이 바이러스가 발견됨에 따라 신규 확진자와 사망자 수는 더욱 가파르게 증가하고 있다. 전 세계의 누적 확진자 수도 지속적으로 증가하고 있으며, 누적 사망자 수 역시 증가하여 2021년 1월 8일에는 8천 8백만 명에 이르렀다. 여전히 전 인류가 고통 받고 있으며 그로 인한 사회적·경제적 피해가 천문학적인 규모로 증가하고 있다.

그림 1. 전 세계 코로나 바이러스 확진자 및 사망자 수



출처 : 위키백과(Google, 실시간 코로나 대유행 데이터) [1]

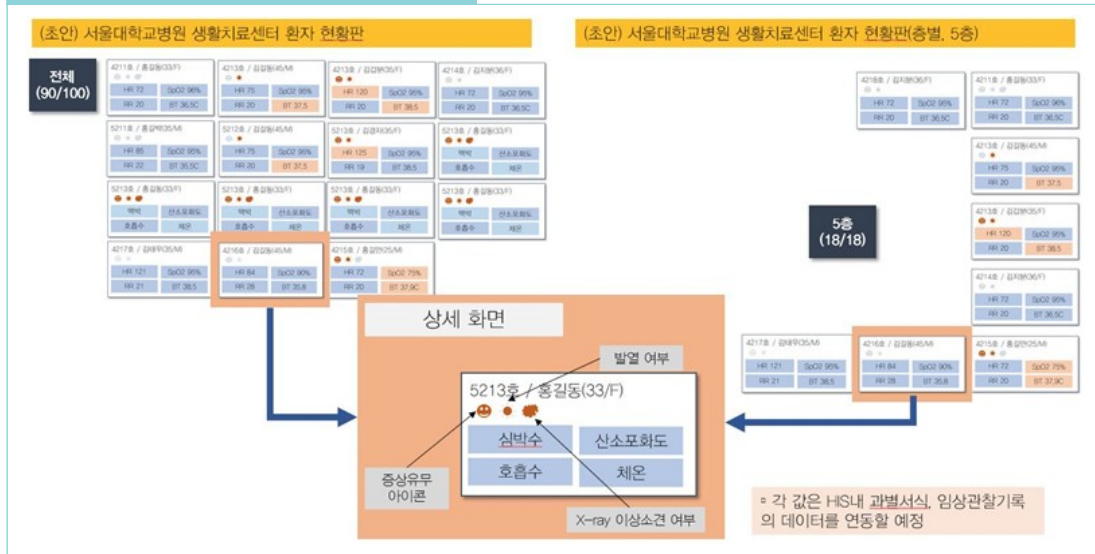
코로나 바이러스의 전파와 경제성장 둔화를 동시에 막기 위해서 여러 대안들이 제시되고 있으며, 이 중 비대면 기술은 가장 실효성이 높은 방법으로 고려되고 있다. 코로나 바이러스는 기존의 헬스케어 중심의 비대면 기술의 필요성을 증대시켜 선진국들은 앞 다투어 비대면 서비스를 출시하고 있다. 국내에서 코로나 바이러스 방역의 최전선이라 할 수 있는 대형 병원에서도 비대면 방역과 의료에 대한 시선과 자세가 바뀌고 있으며, 시험적으로 일부 의료서비스에 비대면 서비스를 도입하거나 논의를 시작했다. 2020년 7월 10일 서울대병원에서 열린 “의료환경은 어떻게 변화할 것인가?” 심포지엄에서 의료 전문가들은 코로나-19 중환자들이 증가함에 따라 비중증 환자를 대상으로 하는 비대면 의료의 수요가 증가할 것으로 전망했다. 2020년 7월 11일자 메디칼업저버 기사에 따르면, 맥킨지앤드컴퍼니 조사 결과, 비대면 의료를 활용할 의향이 있다고 응답한 미국인은 코로나-19 이전에는 11% 였으나 이후에는 76%로 증가했고, 의사들이 시행한 원격의료 건수도 평균 50~175배 늘어난 것으로 나타났다고 한다. 또한 비대면 진료에 대한 문경생활치료센터 환자들의 만족도를 평가한 결과, 5점 만점 기준 4.63점으로 서울대병원 대면진료와 비교해 비슷한 만족도를 보인 것으로 확인되었다고 한다. 서울대병원 공공진료센터장에 따르면, 환자 80% 이상이 의사를 직접 만난 것처럼 나쁘지 않았다는 반응을 보였으며 환자들이 퇴원할 때 느끼는 불안감, 거부감이 줄어들었고 이전에 입원했던 경험과 비교해 비대면에 대한 선호도가 높았다고 한다.[3]



\* 건강 상태에 대한 설문 문항에 답하고 측정할 활력징후를 직접 입력. 수기 작성에 따른 전달 오류를 방지할 수 있고 의료진 업무 부담도 줄어줄 것으로 기대됨.

출처 : 서울대학교 병원뉴스(2020.03.19) [2]

그림 3. 대형 환자 모니터링 현황판



\* 생활치료센터 내 모든 환자들의 주요 상태를 서울대병원, 문경생활치료센터, 질병관리본부에서 한 눈에 파악할 수 있는 시스템  
출처 : 서울대학교 병원뉴스(2020.03.19) [2]

뿐만 아니라 병원 내에서도 의료 종사자를 환자 또는 무증상 감염자로부터 보호할 수 있는 비대면 의료의 필요성이 증가하고 있다. 기존의 의료 업무 외에도 코로나-19 방역과 검진을 위한 업무가 추가됨에 따라 과중한 잡무를 효과적으로 줄이면서도 의료진 보호의 필요성이 꾸준히 제기되었다. 이에, 병원 내 감염 확률을 줄여 의료진이 안심하고 의료 행위를 할 수 있도록 정책과 기술이 마련되어야 한다.

융합연구리뷰에서는 의료진의 감염을 막기 위해 병원 내 방역과 진단에 적용 가능한 비대면 의료기술, 특히 로봇을 이용한 비대면 방역, 검진 시스템에 대해서 알아보려 한다. 구체적으로 1) 의료 인력이 반드시 투입되어야 하는 병실 소독을 자율주행 및 인공지능 기술이 접목된 첨단 로봇 기술로 해결하는 자율 방역 로봇, 2) 전문의가 반드시 환자와 대면해서 이루어지는 초음파 영상진단과 같은 전문적인 의료 서비스를 비대면 원격으로 받을 수 있도록 하는 원격 초음파 영상진단 로봇 시스템, 3) 마지막으로 코로나 바이러스 2차감염의 최전선에서 의료진의 감염을 원천적으로 차단하기 위한 비대면 검체채취 로봇 시스템의 연구동향 및 현황에 대해서 소개한다.

## II 비대면 의료 로봇 시스템

### 1. 자율 방역 로봇

기존에는 감염병 환자가 퇴원을 하면, 의료기관에서는 <그림 4>에서 보는 바와 같이 전문 의료인이 환자가 사용했던 침상과 주변 기구들은 소독액으로 닦아내는 접촉식 방식이나, 방역 대상물 근처에 자외선-C (UV-C, Ultraviolet-C) 램프를 조사하는 비접촉 방식의 수동형 방역을 하였다. 그러나 기존의 방법으로는 병실 구석구석이나 벽면, 천장에 붙어있는 바이러스 및 그 밖의 유해균을 완전히 제거하는데에 한계가 있었다. 특히, 다인실이 주를 이루는 국내의 병원 및 의료 시설 환경에서는 환자가 퇴원을 한다하여도 침대시트와 같은 개인 용구의 교체가 방역 작업의 전부여서 2차감염에 대한 위험에 노출되어 있다. 뿐만 아니라 수작업이 대부분인 방역 작업의 특성상 많은 노동력이 투입되어야하기 때문에 유한한 인적 자원을 효율적으로 활용하지 못하는 어려움이 존재하였다.

그림 4. 병실 방역 방식



출처 : (좌)중앙일보 헬스미디어(2015) [4], (우)Thejakartapost(2020) [33]

이는 비단 국내뿐만 아니라, 전 세계적으로 감염병으로 고통 받는 환자가 있는 곳에서는 동일하게 겪는 어려움이다. 국소적인 방역의 한계를 극복하고, 방역 작업의 효율성 향상을 위해 다수의 방역 로봇 시스템이 개발되었고, 현재 국내외 여러 기업 및 연구소에서 제품 혹은 시제품을 출시하고 있다.

본 장에서는 국내외에 소개되고 있는 방역 로봇의 개발 동향을 살펴보고, 방역 로봇의 동작과 구현을 위해 필요한 핵심 기술인 자외선-C(UV-C)의 방역 원리, 자외선-C(UV-C)의 직접 조사 시 인체 유해성으로 인해 필수적으로 고려되어야 할 운용상의 안전 대책과 무인 방역이 필수적인 방역 로봇의 운영을 위한 모바일 플랫폼의 자율주행 방식 등에 대해 소개하고자 한다.

한편, 현재 시장에 출시된 대부분의 방역 로봇은 대동소이한 기술을 집적하는 방식으로 개발되어 각 회사별 제품의 특징과 차별성을 찾기가 어려운 형편이다. 따라서 이미 레드오션으로 여겨지는 방역 로봇 시장에서 상대적 우위를 차지할 수 있는 방안도 제시하고자 한다.

## 1.1. 국내외 동향

### 1.1.1. 국외 기술 동향

연이은 코로나 바이러스의 공격으로 세계 각국에서는 방역 작업의 효율화를 위해 다양한 방역 로봇을 개발하고 있다. 대부분의 방역 로봇은 자외선-C(UV-C) 램프에서 조사되는 자외선을 통해 공기 중이나 방역 작업 공간의 벽면, 천장, 그리고 각종 집기에 붙어있는 바이러스, 박테리아 등의 유해 세균을 제거하는 방식을 택하고 있다. 또한, 몇몇의 로봇은 자외선광 기반의 방역과 더불어 살균액을 스프레이 타입으로 분사하여 살균 효율을 높이고자 한다.

한편, 자외선이 인체의 피부에 닿으면 DNA 변형, 피부노화, 시력 손상 등의 치명적인 피해를 입을 수 있기 때문에, 반드시 사람이 없는 곳에서 방역 작업이 이루어져야 한다. 이 때문에 방역 로봇의 필수 기능은 원격 제어 또는 자율주행이다. 원격 제어 방역 로봇은 사람이 직접 로봇을 방역이 필요한 공간에 위치시키고, 자외선-C(UV-C) 조사에 대한 안전이 확보된 이후에 원격 제어를 통해 자외선(UV) 램프를 동작 시키는 방식으로 방역이 이루어진다. 자율주행 방역 로봇은 주어진 작업 공간을 이동하면서 방역하는데, 이를 위해서는 자율주행 기술 및 작업 중 돌발적으로 나타나는 사람에 대한 인식과 안전한 대응 방안의 마련이 필수적이다. <표 1>은 국외에서 개발된 다양한 형태의 방역 로봇을 보여준다.[15]

표 1. 국외 방역 로봇 개발 동향	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UV-C 조사 방식 방역 로봇</li> <li>• Lidar와 3D 카메라를 사용한 자율 주행 방역 로봇</li> <li>• 사람이 작업 공간에 감지되는 경우 방역 작업을 즉시 중지하여 인체에 자외선 조사를 원천 차단</li> <li>• 원격 제어 기반 방역 시, 장애물이나 벽면에 근접하게 되면 자동 제동을 통해 충돌 방지</li> </ul>
<p>UVD Robot(Blue Ocean Robotic, 덴마크) [16]</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xenon 램프에서 발생하는 UV-C 조사 방식 방역 로봇</li> <li>• 사람이 직접 밀고 다니는 카트 방식의 로봇을 방역이 필요한 장소에 위치시키고, 사람이 완전히 대피한 후에 원격으로 UV 램프를 작동 시키는 방식</li> <li>• 첨단 기능의 구현보다는 방역 로봇의 기본 기능에 충실한 로봇</li> </ul>
<p>Light Strike(XENEX, 미국) [17]</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UV 램프, 기화 과산화수소 방사 및 에어 필터에 의한 공기 정화 등 다양한 형태의 방역 작업을 동시에 수행하는 방역 로봇</li> <li>• 사용자 조종모드, 맵 기반의 자율 주행모드, 자동 복귀 기능 등을 갖춘 멀티 모달 방역 로봇</li> </ul>
<p>TMI Rob(TMI Robotics, 중국) [18]</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UV-C 기반 방역 로봇</li> <li>• UV-C 조사거리에 따른 정밀한 광량제어를 통한 효율적인 방역 기술 보유</li> <li>• 사람이 로봇을 방역 위치로 이동시키고, UV-C 조사가 되지 않는 공간으로 이동 후, 리모컨을 이용하는 원격 제어 방역</li> </ul>
<p>Tru-D(SmartUVC, 미국) [19]</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공기 정화 모드와 UV 방역 모드의 두 가지 방역 모드로 운영</li> <li>• 공기정화모드: 고효율 UV 램프가 설치된 로봇의 UV 방역 채널로 공기를 통과시켜 공기 중의 곰팡이, 박테리아, 바이러스 유해 미생물 살균</li> <li>• UV 살균 및 소독 모드: 적외선 센서를 통해 인체의 부재가 확인되면 UV-C를 방사하여 살균 및 소독 작업 실시</li> <li>• 지정된 지점 방역 및 다중 경로 방역을 갖춘 자율 주행 기능 보유</li> </ul>
<p>The Helios UV(UVCLight, 영국) [20]</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UV-C 기반 방역 로봇으로 1.1m에서 2.25m 까지 방역 대상에 따른 높이 조절이 가능하여 지면부터 천정까지 방역이 가능</li> <li>• 6개의 캐스터 휠 타입의 모바일 플랫폼이며, 사람이 방역 작업이 필요한 곳을 직접 움직이는 형태</li> <li>• 모션센서 기반으로 사람의 움직임을 감지하여 UV-C 광선의 동작을 제어</li> </ul>
<p>THOR UVC(Finsen Technologies, 영국) [21]</p>	

### 1.1.2. 국내 기술 동향

국내에도 최근 코로나-19 사태를 겪으면서 병원 방역의 중요성과 비대면 방역의 필요성에 대한 인식이 확대되었다. 이로 인해 대부분의 방역 로봇이 2020년도에 개발 및 출시되었다. 대다수의 방역 로봇은 기본적으로 자외선(UV) 기반의 자외선 살균 방식을 사용하고 있고, 제품의 차별성 확보를 위해 스프레이를 통한 살균제 살포 방식이 추가된 모델도 확인 되었다. 최근 자율주행 기술의 발전과 일반화 추세에 따라 대부분의 방역 로봇이 자율주행 기능을 기본으로 갖추고 있는 것도 확인되었다. 특이한 점은 SK텔레콤이나 KT, 그리고 LG 전자에서도 방역 로봇사업에 뛰어들었다는 점이고, 이들은 각기 보유한 통신망을 활용하여 방역 상태에 대한 정보 제공 및 방역 데이터를 축적하기 위한 플랫폼도 함께 개발하고 있다는 점이였다. 국내의 자율 방역 로봇의 개발 동향에 대해서는 <표 2>에 정리하였다.



표 2. 국내 방역 로봇 개발 동향	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UV-C 광 기반 방역 시스템을 기본을 탑재하고 옵션에 따라 초미립자 차아염소산나트륨 스프레이 살포를 통한 살균</li> <li>• 주행 시스템 또한 옵션에 따라 사람이 키트를 직접 운전하는 모델부터 자율주행 기술 기반 방역 로봇까지 다양한 모델 보유</li> </ul>
<p>UVC 1000(주 인아텍) [22]</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SK텔레콤이 한국오므론제어기기와 함께 개발한 방역 로봇</li> <li>• 건물 출입자를 대상으로 체온 검사를 통해 고열 환자의 경우 출입 제한</li> <li>• UV 램프를 이용한 방역 기능</li> <li>• 영상 기반으로 사람의 밀도가 높은 곳을 찾아내어 사회적 거리두기 권장 및 마스크 미착용 자에게는 마스크 착용 권유 기능</li> </ul>
<p>AI-5G탑재 방역 로봇(SKT, 한국오므론) [23]</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AIDBOT: Artificial Intelligence Disinfection roBOT</li> <li>• UV-C 광기반 방역 및 소독약 분사 방식</li> <li>• 감염 위험이 있는 공간에서 3D 영상 기반 으로 자율적으로 이동하며 방역 목표를 자동 인식하여 방역 작업 실시</li> </ul>
<p>AIDBOT(KIST) [24]</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실내 자율주행을 기반으로 UVA(정파장 자외선), UVC(단파장 자외선) 출력과 소독약 분사 기능을 보유한 방역 로봇</li> <li>• 인체에 유해한 UVC는 열화상 카메라를 통해 무인환경을 감지한 뒤 작동하도록 설계</li> <li>• 3D 라이다 기반 자율주행 방역 로봇</li> </ul>
<p>캠피온(KT) [25]</p>	

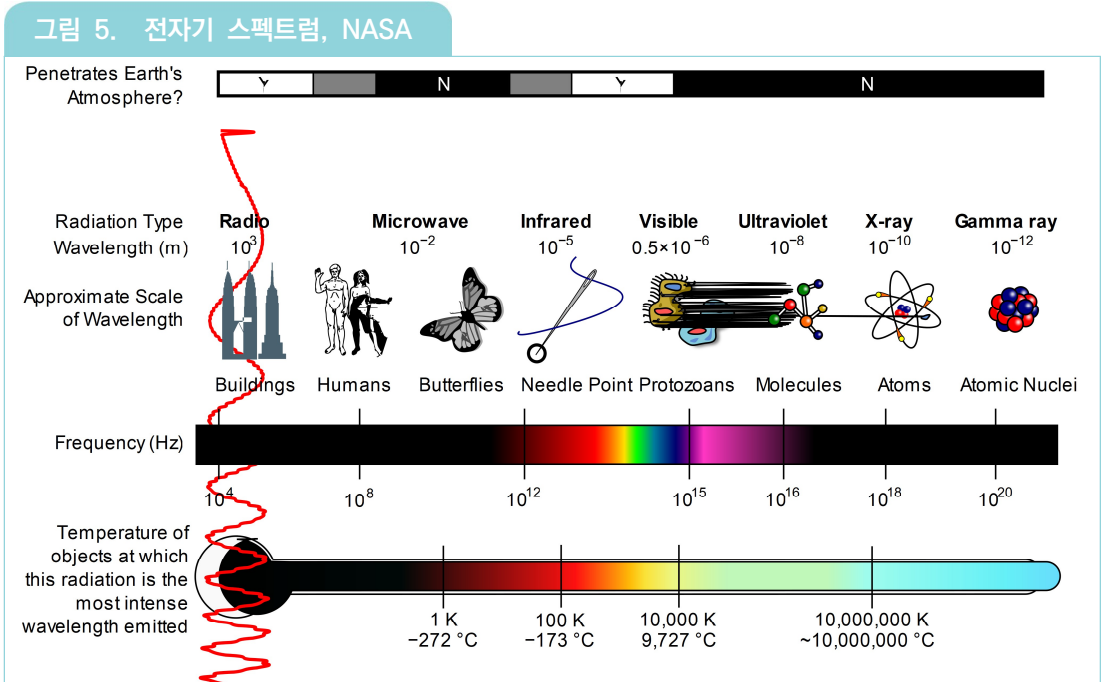
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UV-C 광기반 방역 로봇</li> <li>• 열화상 카메라를 통해 방문객 안면 발열 체크 및 발열자 사진 저장 기능 및 마스크 미착용자 경고 기능</li> <li>• 라이다 및 스테레오 카메라 기반 자율주행 가능하며, 원격 제어모드 및 방역 소독구역 별로 다수의 주행 경로 설정 기능</li> </ul>
<p>FURo-S Care((주)퓨처로봇) [26]</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LG B2B 사업부에서 개발한 자율주행형 방역 로봇</li> <li>• UV-C 램프 광기반 방역</li> <li>• 모바일과 연동하여 살균 상태 및 에러 알림 기능</li> <li>• 초음파 및 라이다 기반으로 자율주행 및 장애물 회피 기술을 적용한 방역 로봇</li> </ul>
<p>LG 클로이 살균봇(LG 전자) [27]</p>	

## 1.2. 방역 로봇 핵심 기술

앞서 국내외 방역 로봇에 적용된 기술에서 살펴봤듯이 모든 방역 로봇은 자외선을 사용한 방역 방식을 택하고 있다. 본 장에서는 자외선 방역 기술에 대하여 살펴보고자 한다.

### 1.2.1. 자외선(Ultraviolet C) 방역 기술

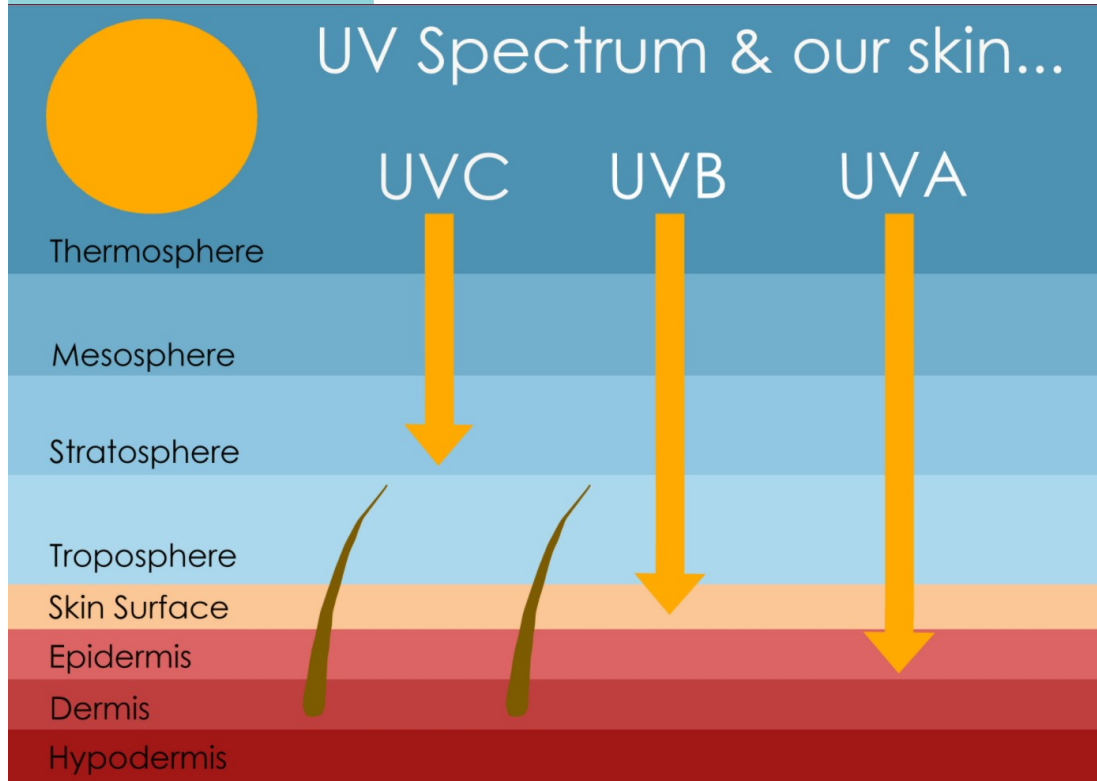
〈그림 5〉는 전자기 스펙트럼을 보여준다. 자외선(UV)은 전자기 스펙트럼에서 보라색 띠에 인접한, 사람의 육안으로는 볼 수 없는 10nm에서 400nm의 파장 영역을 갖는다. 자외선의 파장은 가시광선보다는 짧고, X선보다는 긴 파장대에 위치한다. 이러한 긴 파장의 자외선은 원자를 이온화시키기에는 에너지가 부족하지만, 분자의 화학 결합을 깨뜨려 분자를 비정상적으로 반응하게 만든다. 예를 들어, 여름철에 피부가 햇볕에 타는 것은 자외선의 파괴적인 영향으로 인해 발생하고 이는 피부암의 주요 원인이 된다.



출처 : 위키피디아(전자기 스펙트럼) [28]

자외선은 다시 그 파장 대역에 따라 <그림 6>과 같이 UV-A, UV-B, UV-C로 나뉘고, 방역 작업에 쓰이는 UV램프는 UV-C를 방출하도록 설계 및 제작된다. 태양광으로부터 방출되는 UV-A는 자외선 중 가장 긴 파장대를 가지며 피부 깊숙이 침투하여 노화 및 주름의 발생 원인이 된다. UV-B는 피부 표피에 심각한 영향을 주는 것으로 알려져 있는데, 피부에 홍반이나 화상, 심한 경우에는 피부암의 원인이 되기도 한다. 마지막으로 가장 짧은 파장대인 100~280nm의 파장대에 속하는 UV-C는 모든 광선 중에서 가장 위험하지만 다행히도 대기권을 통과하며 오존층에 흡수되어 지표에 도달하지는 못한다. 이러한 UV-C는 살균, 유기분해, 광중합 및 센싱과 같은 폭넓은 기능을 갖추고 있다.[29]

그림 6. 자외선 파장 대역



출처 : [simplysunscreen \[34\]](#)

UV-C에 대한 방역 원리는 다음과 같다. UV-C가 세포 내의 DNA에 조사되면 DNA의 염기 중 티민의 분자구조가 집중적으로 파괴된다. 자외선을 흡수한 티민은 이웃한 티민이나 시토신과 결합하게 되고 이로 인한 DNA의 복제가 불가능해져 생명체로서의 기능이 정지된다. 이외에도 자외선은 세포막을 이루는 인지질과 단백질을 산화시켜 세균들의 생명활동이 연장되지 못하게 한다. 또한, 세균들마다 DNA 속에 포함된 티민의 양이 다르기 때문에 자외선에 대한 민감성이 차이가 난다. 이러한 UV-C의 특성을 적용하여, 인공적으로 UV-C 광을 만들어 방역 작업에 사용한다.

〈표 3〉에 정리된 것처럼, 방역 대상에 따라 살균을 위해 요구되는 UV-C 적산광량이 상이하며 살균을 위해 필요한 최소 UV 파워는  $125 \text{ mW/cm}^2$  이며, 자외선 투과도가 1미터 거리에서 0.3%로 급감하기 때문에 1미터 기준 최소 UV 파워는 약  $40 \text{ mW/cm}^2$  이다.

표 3. 자외선 살균 파장 영역

생물무기 (Biological agent)	생물무기의 종류 (Type of Biological agent)	90% 살균을 위한 자외선 조사량 (UV-C Dosage( $\mu\text{W sec/cm}^2$ ) for 90% sterilization)	살균 시간 (Sterilization time(sec))
Penicillium spp.	Fungus	224,000	1800
Aspergillus flavus	Fungus/grains and legumes	24,900	300
Aspergillus niger	Fungus/fruits and vegetables	31,500	250
Yeast	Fungus	4,000	30
Influenza A	virus	1900	15
HIV-1	virus	28,000	220
Vaccinia	virus	1500	10
Escherichia coli	Bacteria	2000	20
Staphylococcus aureus	Bacteria	6600	50
Bacillus subtilis	Bacteria	6800	50
Mycoplasma spp.	Bacteria	8400	70
Pseudomonas aeruginosa	Bacteria	2200	20

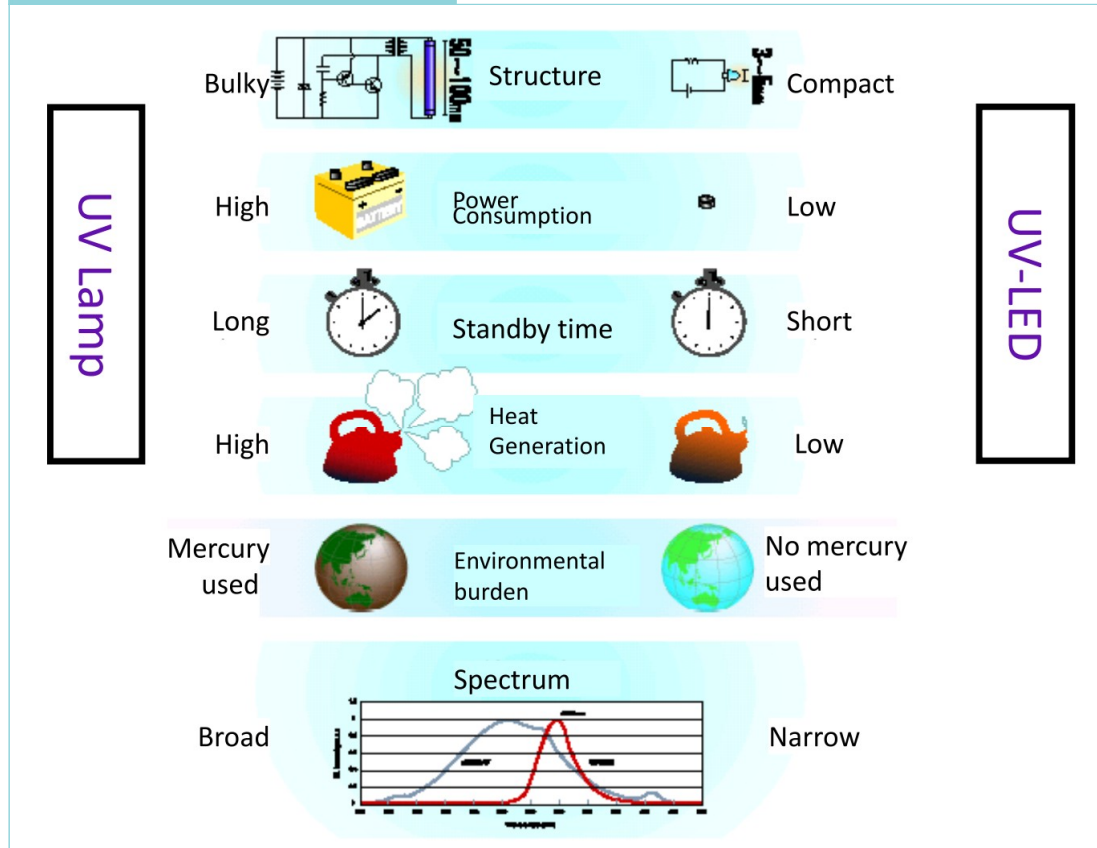
\* Using a UV-C intensity of  $125 \mu\text{W/cm}^2$

출처 : 오타와대학교 위기관리실(2016) [35]

### 1.2.2. UV-C 광원 개발 동향

앞서 살펴본 바와 같이 방역 로봇의 핵심 기술 중 하나는 UV-C 파장 대의 빛을 발생시키는 기술이다. UV-C의 발생을 위해서 기존에는 수은(Hg)을 사용한 UV램프를 이용하였지만, 발광다이오드(LED, Light Emitting Diode) 기술의 비약적인 발전과 다양한 장점으로 인해 최근에는 자외선 발광다이오드(UV LED)를 주로 사용하는 추세이다. 〈그림 7〉은 수은 UV램프와 자외선 발광다이오드(UV LED)의 차이점을 잘 설명해 준다. 자외선 발광다이오드(UV LED)는 사이즈가 작고, 저전력으로 운용이 가능하며, 시스템을 사용하기 위한 시동 시간도 짧다.

그림 7. UV-Lamp vs UV-LED



출처 : Y. Muramoto, M. Kimura and S. Nouda(2014) [9]

자외선 발광다이오드(UV LED)는 반도체 칩의 특성상 원하는 단일 스펙트럼만 방출되도록 설계가 가능하다. 따라서 수은(Hg) UV램프와 같이 광파워의 분산이 되지 않아 수은 램프 대비 효율이 훨씬 높을뿐만 아니라 선택적인 파장의 활용이 가능하다. 일반적으로 UV-C 밴드(200~280nm)에서 세균 및 바이러스에 대한 살균효과가 가장 극대화 된다. 또 다른 자외선 발광다이오드(UV LED)의 장점은 기존 수은 UV램프와는 달리 오존(O<sub>3</sub>)을 발생시키지 않는다. 유해물질 제한지침(RoHS, Restriction of Hazardous Substances Directive)의 제재로부터 자유로우며, 수명도 수은 UV램프가 2천 시간인 반면, 자외선 발광다이오드(UV LED)는 수만 시간의 수명을 유지할 수 있고 크기가 작아 디자인에서도 많이 자유롭다. 또 기존 UV램프의 경우 복사열로 인하여 거리가 가까우면 조사면의 온도가 상승하는 문제가 발생한다. 따라서 UV램프와 조사면 간 일정 거리 이상을 두거나

조사면 온도에 대한 조절이 필요하다. 광원과 조사 면이 멀어지면 광량이 감소해 효율이 저하되지만 자외선 발광다이오드(UV LED)의 경우에는 복사열이 적어 광원과의 거리를 가깝게 두는 것이 가능하다. 자외선 발광다이오드(UV LED) 조명은 순간적인 On/Off가 가능해 수은 UV램프처럼 가동을 위해 사용하지 않을 때도 켜놓을 필요가 없다.

한편 UV-C는 인체에 조사 시에 치명적인 상해를 가할 수 있기 때문에 엄격한 안전 규격을 따라야 하며, UV-C 전용 규격은 조명엔지니어링협회(IES, Illuminating Engineering Society)와 국제자외선협회(IUVA, International Ultraviolet Association)에서 재정 중이다. 현재 적용 가능한 조화규격(Harmonized Standard)은 다음과 같다.[30]

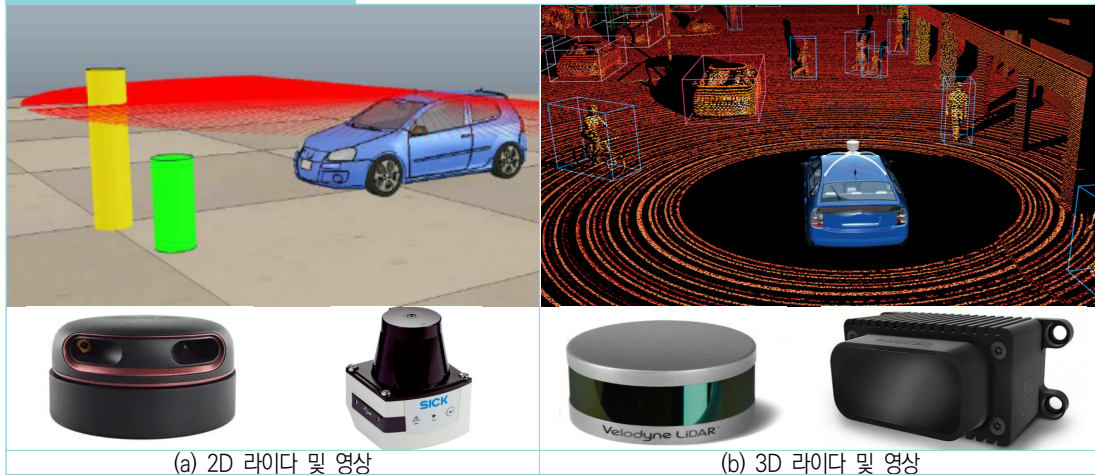
- ▶ ISO 규격 : ISO 15858:2016 (UV 빛이 사람에게 노출되었을 경우 안전에 대한 기준)
- ▶ IEC 규격 : IEC 62368-1:2018 Part 1(안전 요구사항), IEC 62471-2:2006 광생물학안전성 시험, IEC 62031, IEC 62035, IEC 62838, IEC 62776 규격 적용 가능
- ▶ UL 규격 : UL 867(오존시험 규격), UL 8750, UL 1993, UL 1598, UL 499 등의 규격 적용 가능

### 1.2.3. 자율주행 기술

국내 및 국외에서 개발되고 있는 대부분의 방역 로봇은 자율주행 기능을 기본적으로 탑재하고 있다. 자율주행 기술은 자동차 분야에 최초로 적용되기 시작하였으나, 고성능 라이더 센서의 저가화 및 소형화, 다양한 3D 카메라의 개발 등 센서 기술의 비약적인 발전을 바탕으로 모바일 로봇 분야에서도 많이 발전되었다. 자율주행 기술은 인지 모듈, 판단 모듈, 제어 모듈을 포함하며 세 모듈이 서로 상호작용하며 자율주행이 구현된다.

인지 모듈은 다양한 센서 데이터를 기반으로 한 환경인식 기술이다. <그림 8>에서 제시한 것처럼 실내 자율주행에서 사용되는 대표적인 센서는 2D/3D 라이다와 카메라이다. <그림 8>은 상용 2D/3D 라이다와 해당 영상을 나타낸다. 2D 라이다는 로봇을 중심으로 센서가 장착된 높이의 2차원 평면상에 존재하는 대상들의 거리를 표현한다. 한편 3D 라이다의 경우는 센서가 장착된 높이의 2차원 평면뿐 아니라 센서 장착 위치 상하의 일정 각도 구간에 존재하는 물체의 거리 정보도 획득할 수 있어서 대상물체의 3차원 형상 추출이 가능한 장점이 있다. 과거에는 3D 라이다로부터 획득된 많은 데이터 처리에 따른 계산 속도가 큰 장애물로 여겨졌으나, 최근 GPU 기술의 발전으로 대량의 데이터 처리도 가능해져 대부분의 자율주행 응용분야에 3D 라이다의 적용이 증가하는 추세이다.

그림 8. 라이다 및 영상



출처 : (좌)Yalcin, O., et al(2013) [14], (우)clearpath robotics(2017) [31]

자율주행 센서의 또 다른 한 축은 카메라이다. 스테레오 카메라의 경우 대상물의 형상 정보뿐만 아니라, 거리정보의 획득도 가능하기 때문에 대상물의 위치 정보와 검출에 있어서 탁월한 성능을 발휘한다. 뿐만 아니라, 인공지능 기반의 인식 기술의 발전을 통해 과거 열악한 환경(조도, 광량, 악천후)에서의 기능 저하 문제를 포함한 인식 성능의 불완전성이 개선되어 실내 공간에서 로봇의 자기위치 추정, 특정 사물의 검출 등이 필요한 응용 분야에서 다양하게 활용되고 있다.

최근에는 <그림 9>와 같이 카메라와 라이다의 기능을 통합한 형태의 센서도 개발 및 출시되고 있어 자율주행 성능의 향상이 기대된다.

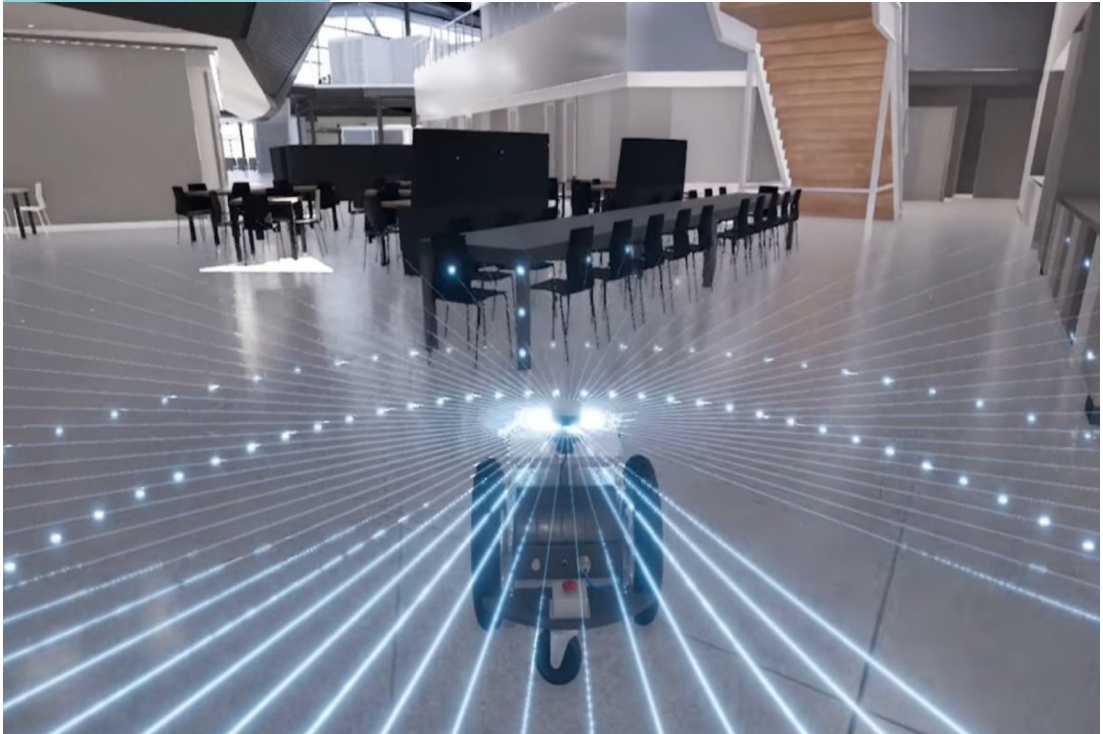
그림 9. 라이다-카메라 하이브리드 센서 및 영상



출처 : (좌)electronics-lab(2020) [36], (중)Intel Realsense [37], (우)ouster 블로그 [38]



그림 10. SLAM 기술



출처 : NVIDIA(2019) [32]

다음으로 판단 모듈은 인지 모듈을 통해 인식된 로봇이 위치한 작업 공간에 대한 정보, 로봇 내부 센서 및 각종 상태 데이터를 종합하여 의사판단을 내린다. 판단 모듈은 <그림 10>에서 보이는 로봇의 위치 인식 및 작업환경 지도 작성(SLAM, Simultaneous Localization and Mapping) 기술, 장애물의 인지 기술 등을 포함한다. 로봇이 자율적으로 이동하면서 특정한 공간에서 방역 작업을 수행하기 위해서 최초로 필요한 작업은 로봇이 방역 작업을 할 공간에 대한 지도의 작성이다. 이렇게 작성된 지도를 전역지도(Global map)라고 하며, 이를 기반으로 로봇의 이동을 위한 경로를 계획하게 된다. 방역 작업 공간이 위치 인식 및 작업환경 지도 작성(SLAM)에 의해 확보된 전역지도와 다르게 바뀔 수 있기 때문에 개별 로봇은 수시로 변경되는 환경에 대한 인식과 그에 따른 대응 방안도 필수적으로 구축해야 한다. 예를 들어, 로봇이 방역 작업을 하는 중에 지역지도(로봇이 센서를 통해 인지 가능한 지역을 나타내는 지도) 상에 존재하지 않던 장애물과의 충돌을 방지하기 위해, 인지 모듈에는 전역지도와 다른 경우를 인식할 수 있는 기능이 있어야 한다. 뿐만 아니라, 판단 모듈은 위치 인식 및 작업환경 지도 작성(SLAM)을 통해 확보된 작업 공간 지도와, 로봇의 작업 공간상의

위치를 통해 방역을 위한 최적의 경로를 생성하는 등의 역할을 담당한다. 특히, UV-C의 유해함으로 인해 사람이 감지되었을 때 방역 작업을 중단하거나, 예기치 못한 장애물의 출현에 대해 장애물 회피 주행을 하는 등의 상위레벨의 제어를 담당한다.

마지막으로 자율주행 플랫폼을 원하는 위치로 움직이게 하는 제어 모듈이 포함된다. 방역 로봇 시스템에서 제어 모듈은 모바일 플랫폼에 적용된 모터를 제어하는 기술로 기존의 모바일 로봇 제어 기술과 동일하다.

## 2. 비대면 원격 초음파 영상진단 로봇 시스템

일반적으로 원격진료 시스템은 영상과 음성을 전송하는 기능을 갖춘 유무선 통신기기를 이용하여 소위 “문진” 중심의 원격진료가 이루어지고 있다. 추가적으로 고성능 카메라나 생체신호 측정장치를 연결하여 혈압, 혈당, 심전도와 같은 신호를 전송하고, 전문병원의 의사가 그 결과를 분석하여 진단하는 시스템으로 이루어져 있다. 그러나, 초음파와 같은 해부영상 정보를 바탕으로 하는 진단은 반드시 도시에 있는 전문병원의 의료진과 대면하여 진단을 수행할 수밖에 없다. 특히 초음파 영상진단의 경우, 전문의에 따라 진단 가능한 부위가 다르고, 인체 초음파 단면영상을 해석하면서 진단 위치를 찾아야 하므로 의사의 숙련도에 매우 의존적이라는 특징이 있다. 그런데, 도서 산간, 원양어선, 격오지 군부대 등과 같은 의료 취약지에는 이러한 초음파 전문의가 배치되기 어려운 실정으로, 단 수분의 초음파 영상진단을 받기 위해서 도시의 병원을 직접 내원하는 수밖에 없는 것이 현실이다.

비대면 원격 초음파 영상진단 로봇 시스템은 이러한 문제를 해결하기 위한 시스템으로, 주로 도시의 있는 전문의와 의료 취약지의 시설을 인터넷 망으로 연결하여 전문의가 마스터 장치를 조작함에 따라 의료 취약지에 있는 피검자의 신체부위에 접촉하고 있는 슬레이브 로봇의 초음파 프로브가 연동되어 움직이면서 접촉부위에 대한 초음파 영상을 실시간으로 전문의에게 전달함으로써 실제 현장에서 환자와 대면하며 진단하는 것과 같이 보고 듣고 느끼면서 진단할 수 있는 기능을 제공한다.

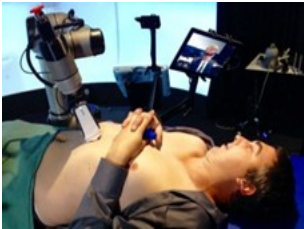
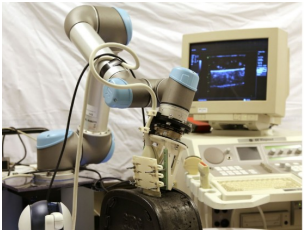
### 2.1. 연구 동향 및 상용화 현황

비대면 원격 초음파 영상진단 로봇 시스템은 원격의료, u-health, e-health 서비스에서 하나의 모델로써 주요 키워드로는 Robotic 또는 robot-assisted tele-echography 시스템이라는 이름으로 다양하게 연구 및 상용화된 바 있다.

〈표 4〉는 약 1990년대부터 최근까지 연구 및 상용화된 원격 초음파 진단 로봇 시스템을 정리하였는데, 초음파 진단을 위해 이동해야 하는 거리가 멀 것으로 예상되는 큰 영토를 가진 국가에서 그 필요성을 인정받아 상용화에 성공한 것으로 보인다.

로봇 시스템은 기본적으로 원격 조작을 위한 마스터-슬레이브 시스템 구조를 가지는 것을 알 수 있다. 또한 진단 방식을 기준으로 1) 슬레이브 측에서 로봇과 환자를 직접 대면하고 로봇을 직접 원격 조작하는 방식, 2) 로봇을 의료 취약지에 있는 의료진이 손에 들고 환자의 진단 부위에 배치하고, 마스터측 전문의가 정밀한 프로브의 움직임(Fine probe motion)을 할 수 있도록 하는 방식, 3) 환자에게 슬레이브 로봇을 입히고, 원격으로 프로브를 조작하는 방식으로 나누어 질 수 있다.

표 4. 원격 초음파 영상진단 로봇 시스템 개발 동향

시스템	특징
 <p>오스트레일리아 Deakin University</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산업용 다자유도 로봇 팔을 이용한 원격 초음파 영상진단 시스템</li> <li>• 프로브(Probe)에 가해지는 힘을 원격에서 모니터링 가능하도록 한 것이 특징 [39]</li> </ul>
 <p>스웨덴 Medirob AB사</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medirob Tele라는 시스템으로 상용화가 진행됨</li> <li>• 스칸디나비아 반도 국가들의 저밀도 인구 지역에서 정기적인 초음파영상진단을 받기 위한 원격 진단 시스템으로 개발 [5]</li> </ul>
 <p>영국 King's College</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UR5라는 상용 협업 로봇 팔을 이용하여 원격초음파 영상진단에 응용한 연구</li> <li>• 상용 로봇 시스템을 이용하여 원격 초음파 영상 진단 시 Haptic control을 구현한 연구 사례 [8]</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상용 로봇 시스템과 같은 고가, 이동이 불편한 문제를 보완하면서 low-force, long-distance 원격 초음파 영상진단을 직렬 manipulator 기반 원격초음파 영상진단 시스템</li> <li>• 미국 뉴욕과 독일 뮌헨을 연결하여 전문의에 의한 심장 초음파 영상진단 시연 [11]</li> </ul>
<p>미국 TeleHealthRobotics LLC</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• iFIND 시스템, 양팔 로봇을 Robotic 초음파 영상진단에 도입하여 주로 산모의 초음파 진단에 적용하고자 하는 연구 사례 [13]</li> </ul>
<p>영국 King's College</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유럽 우주국 ESA의 ARTIS(Advanced Robotic Tele-echography Integrated Service) 시스템</li> <li>• 우주인의 우주 활동 시 발생할 수 있는 긴급상황을 초음파 영상진단으로 모니터링하기 위해 2007년에 프로젝트가 시작되었음 [40]</li> </ul>
<p>유럽 우주국 ESA</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hand-held 타입의 MELODY 시스템</li> <li>• 4자유도 Spherical Wrist 구조 기반 원격 초음파 로봇</li> <li>• 1990년대부터 연구가 시작되어 TERESA, OTELO, ESTELE 로봇의 최종 상용화 버전임 [10]</li> </ul>
<p>프랑스 AdEchotech</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 의료취약지 현장진단 의료로봇 기술개발을 위한 국가과제를 통해 한국기계연구원에서 개발한 RADIUS(Robot-Assisted Diagnostic UltraSound) 시스템</li> <li>• Handheld type이며 마스터-슬레이브가 같은 구조로 되어 있어 원격조작이 직관적임</li> </ul>
<p>한국기계연구원</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일본 와세다 대학에서 응급 초음파 영상진단 FAST 기법을 대응하기 위한 착용형 원격초음파 진단 로봇 FASTele</li> <li>• 응급차 내 설치하여 환자를 이송중 원격 초음파 영상진단을 하기 위한 시스템 [6], [7]</li> </ul>
<p>일본 와세다 대학</p>	

## 2.2. 원격 초음파 영상진단 로봇 시스템 핵심기술

### 2.2.1. 다자유도 경량 로봇 설계 기술

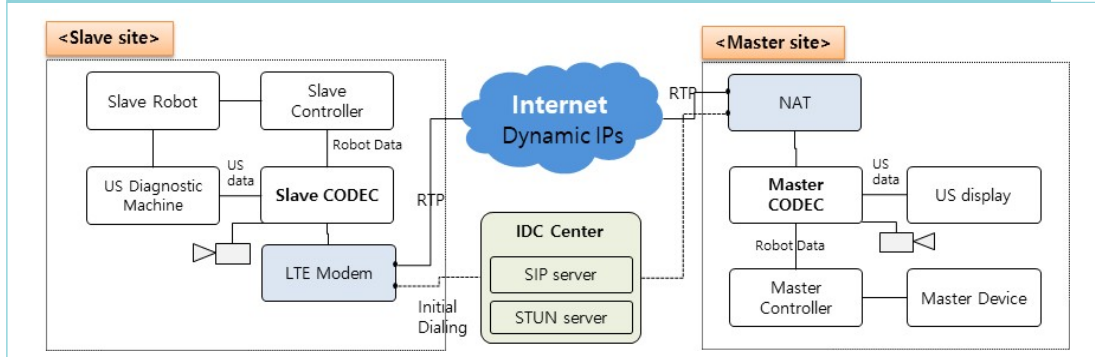
- 1) **전문의의 진단 움직임을 실시간 반영:** 일반적인 복부 진단을 위한 초음파 영상진단 시 전문의가 초음파 프로브를 환자 몸에서 이동 및 회전하는 움직임을 분석해 보면 거의 1Hz(1초에 1번 왕복) 하는 주기를 보인다. 원격으로 이러한 속도의 움직임을 충분히 구현하기 위한 로봇의 구동모듈과 구조를 제시해야 한다.
- 2) **초음파 프로브의 움직임 자유도 구현:** 초음파 프로브의 움직임 자유도는 진단 부위 마다 다를 수 있지만, 주로 초기 진단 기준점을 바탕으로 프로브의 기울임, 회전, 압박이 가능하도록 하는 4자유도 이상의 자유도가 필요함을 알 수 있다. 여기서 로봇에 의한 다소의 기준점 이동까지 필요하다면 2자유도의 위치 이동이 추가되어 6자유도 구현이 필요하다.
- 3) **프로브 접촉힘 구현:** 초음파 영상획득을 위해서는 반드시 일정 힘 이상의 접촉힘으로 피부를 눌러 프로브 센서부 접촉면적을 유지하며 acoustic window를 확보할 필요가 있다. 이를 위한 구동부 성능 및 프로브 연결구조에 대한 고려가 필요하다.
- 4) **이동의 편이성 고려:** 원격 진단을 위한 의료 취약지는 주로 이동이 어려운 곳일 확률이 크므로 이동이 간편하도록 소형, 경량의 시스템을 지향해야 한다.

이러한 필수 요소들에 대해서 위에서 소개된 로봇 구조들은 모두 그들만의 장단점을 가지고 있다. 하지만 아직 모든 기술적 요건을 만족하는 최적의 원격 초음파 진단 로봇이 제안되지 않았다고 할 수 있다.

### 2.2.2. 의료 취약지 원격 연결 기술

원격 초음파 진단 로봇 시스템은 마스터-슬레이브 간 로봇의 원격 제어뿐만 아니라 의료 취약지에 있는 환자와의 음성, 영상 통신이 수반되어야 하므로 화상통신을 위한 Codec 기술(음성 또는 영상의 신호를 디지털 신호로 변환하는 코더와 그 반대로 변환시켜 주는 디코더의 기능을 함께 갖춘 기술)과 연동되어야 한다. 특히 초음파 영상을 실시간으로 전송해야 하므로 기존 화상통신을 위한 통신 대역폭 이외에 초음파 영상과 로봇제어 신호 전송을 위한 프로토콜이 따로 필요하다. 초음파 영상의 경우 개인의료 정보이므로 암호화 기술도 수반되어야 한다. 또한 의료 취약지와 같은 일반동적 IP 기반 인터넷 환경과 전문의의 마스터 사이트의 연결이 용이해야 하는데, 최근 국내의 의료 취약지는 유선 인터넷 연결은 불가할지라도 무선 LTE 연결은 대부분 가능하므로 이러한 최신 통신 프로토콜과의 연결이 고려되어야 한다. 아래 그림은 한국기계연구원에서 개발한 슬레이브 측 무선 LTE를 인터넷망에 연결한 원격 초음파 영상진단 시스템의 구조도를 보여주고 있다.

그림 11. 무선 LTE와 동적 IP 인터넷 연결을 위한 원격 초음파 영상진단 시스템 구조



출처 : 저자 연구결과 인용(한국기계연구원)

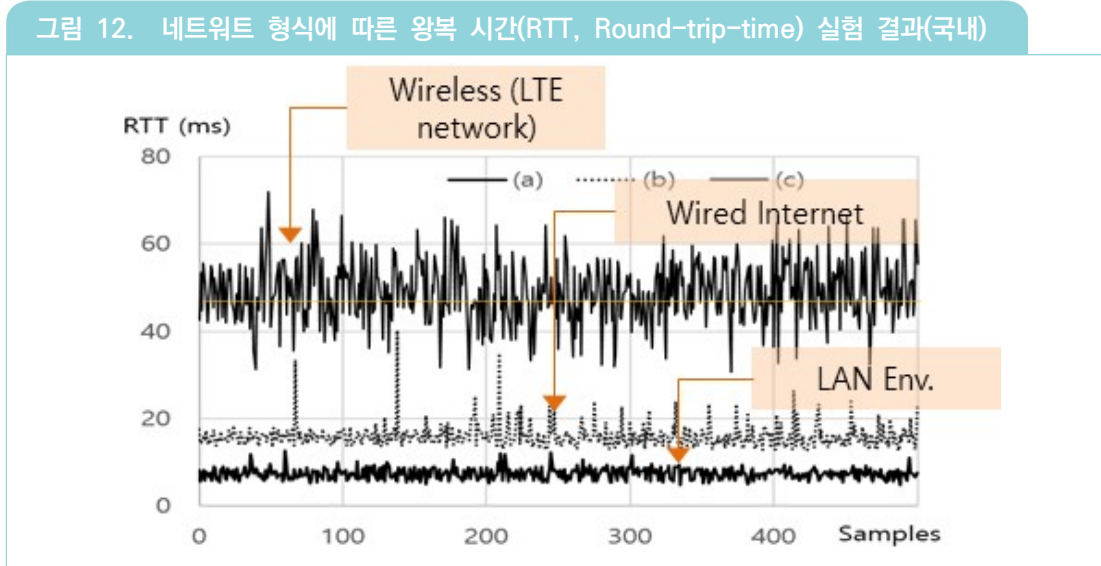
### 2.2.3. 원격 초음파 진단 가이던스 기술

원활한 원격 초음파 진단 환경 구성을 위해서 의료 취약지에 있는 환자의 영상과, 음성, 초음파 영상뿐만 아니라 추가적인 가이던스 정보(Guidance Information)가 필요하다. 예를 들어 프로브가 환자를 누를 때 발생하는 힘 정보라던지, 현재 환자 전체 신체에 대한 상대적인 프로브와 로봇의 위치 등이 로봇을 조작하는 전문의 측에서 쉽게 파악이 가능해야 한다. 특히 힘 정보의 경우는 직접 마스터 측에서 느낄 수 있도록 할 수 있는 힘 되먹임(force feedback) 기술이 구현되면 좋겠지만, 다음 파트에서 그 현실적인 한계에 대해서 설명한다. 또한 평면적인 영상뿐만 아니라 깊이 정보를 전달하기 위해 스테레오 영상을 전송한다든지, 의료 취약지의 슬레이브 측 환경을 3차원 가상현실로 구성하여 전송하는 가상현실(VR, virtual reality) 기술이 전문의의 진단에 적용 될 수 있을 것이다. 특히 환자마다 잦은 빈도의 진료 부위가 있을 것이고, 의료 취약지에 있는 환자의 주기적인 건강관리를 위한 진료 시, 그 부위를 매번 원격으로 찾는 것이 아니라 자동으로 찾아줄 수 있는 자동 내비게이션 기술이 적용 가능할 것이다.

### 2.2.4. 힘 되먹임(Force feedback) 기술

힘 되먹임(force feedback) 기술은 원격 로봇 제어에서 단골로 등장하는 핵심기술이다. 수술로봇을 포함하여 원격의료 로봇 분야에서 아직 힘 되먹임(force feedback) 기술이 상용화 수준에 오르지 못하는 가장 큰 이유는 이 기능이 원격 시스템의 불안정성을 높이므로 안전한 원격시술을 방해하는 요소가 될 수 있기 때문이다. 특히 아래 <그림 12>를 보면 각 통신 프로토콜에서 마스터-슬레이브 간 로봇제어 신호의 왕복 시간(RTT, Round Trip Time) 측정 결과를 나타내고 있는데, 통신 범위가 근거리 통신망(LAN, Local Area Network)을 벗어나는 순간 통신 지연시간이 늘어날뿐만 아니라 그 편차도 점차 심해지는 것을 알 수 있다. 이러한 상황에서

현재까지의 최신 제어 기술일지라도 시술안전성을 보장할 수 있는 힘 되먹임(force feedback) 기술이 구현되기는 아직 어려워 보인다. 대신 위에서 언급했듯이 힘 정보를 시각적인 정보로 제공하는 시각 피드백(visual feedback) 방식을 도입하는 것이 현실적일 것이다. 최근 5G 기술의 발전으로 이러한 기술의 구현이 가능해지길 기대한다.



출처 : 저자 연구결과 인용(한국기계연구원)

### 3. 비대면 검체채취 로봇 시스템

코로나 바이러스와 같은 상기도 호흡기 질환의 정확한 진단을 위해서는 코나 입을 통한 검체채취가 필수적이다. 우리나라에서는 구인두 및 비인두 모두에서 면봉에 검체를 묻혀 나오는 검사를 진행하는데, 면봉을 집어넣는 검사를 위해 의료진이 의심환자를 가까이 대면할 수밖에 없는 문제가 발생한다. 따라서 검사 도중 확진자의 비말이 검사자에 옮겨가 2차감염되는 것을 막기 위해 Level D 개인 보호 장비(PPE, Personal Protection Equipment)의 착용이 필수적이다. 코로나-19 발생 초기 대규모의 환자가 발생했을 때 이러한 개인 보호 장비(PPE) 부족으로 의료진의 2차감염은 더욱 심각해졌고, 환자와의 접촉을 최소화하기 위해서 워크쓰루(walk-through), 드라이브 쓰루(drive-through)와 같은 방법이 도입되기도 했다. 하지만 검사자는 여전히 개인 보호 장비(PPE)를 착용하여야 하고, 병원 내 전파를 막기 위해 선별검사소를 대부분 병원 외부에 위치시켜 계절적인 어려움(여름철 무더위, 겨울철 추위)에 시달리고 있는 실정이다. 이러한 문제로 검사자와 의심환자의 접촉을 막기 위해 로봇을 이용한 검체채취 방식의 필요성이 대두되고, 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

### 3.1 국내외 연구 개발 동향

〈표5〉에서 현재까지 검색 가능한 검체채취 로봇에 대해 정리하였다. 재미있는 점은 아래 시스템들이 모두 2020년 1년 내 개발되어 소개된 시스템이라는 점이다. 검체채취 로봇 시스템에 대한 구조적인 분류를 해보면 1) 상용 산업용 로봇암을 이용한 시스템, 2) 굴곡형 내시경 로봇을 이용한 타입, 3) 병렬로봇, 직선로봇과 같이 얼굴영역을 고려한 검체채취 전용으로 개발된 타입으로 나누어 질 수 있다. 검체채취 최적화를 위해 어떤 구조가 좋을지는 다음 로봇 설계 기술에서 좀 더 구체적으로 설명할 예정이다.

또한 현재 개발된 로봇이 수동 원격조작으로 작동 되는지 또는 자동으로 검체채취를 하는지에 대한 여부는 개발 과정에서 추가될 수 있는 기능으로 굳이 분류하지 않았다. 단지, 싱가포르의 Swabbot의 경우 환자 본인이 스스로 검체채취를 시작할 수 있도록 하였는데, 이는 각 국의 의료법 등 환경에 따라 도입 가능 여부가 나눠져 것으로 보인다.

검체채취뿐만 아니라 진단까지 자동화하기 위한 시스템도 소개되고 있다. 현재는 검체채취 후 결과물을 검체 수송(UTM, Universal Transport Medium) 배지에 담아 검사실로 이송한 후 수동으로 전처리하고 중합효소 연쇄 반응(PCR, Polymerase Chain Reaction) 과정을 거친다. 완전한 비대면 검체채취를 위해서는 채취 - 추출 - 분주 - 검출까지 모든 과정을 자동화하기 위한 로봇 시스템 설계기술이 필요한 것이 사실이다. Kawasaki Robotics의 경우 양팔로봇을 이용하여 검체채취 후 중합효소 연쇄 반응(PCR) 장치로의 전달까지 가능하도록 개발 중이다.



시스템	특징
 <p data-bbox="341 744 616 772">Lifeline Robotics(덴마크) [41]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 구인두 검체채취 목표물에 자동으로 접근하여 검체채취 가능</li> <li>• 상용 직렬 로봇암인 UR5를 이용함</li> <li>• 구인두 검체채취만 가능함</li> </ul>
 <p data-bbox="341 1069 616 1097">Kawasaki Robotics(일본) [42]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kawasaki 중공업에서 개발한 산업용 양팔로봇을 이용</li> <li>• 원격 검체채취 및 자동 수거 가능한 시스템을 개발</li> <li>• 검체채취 후 PCR 시스템으로 자동 이송</li> </ul>
 <p data-bbox="349 1396 608 1424">BrainNavi Tech(타이완) [43]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상용 직렬 로봇암인 UR5와 상용 gripper를 그대로 이용하여 검체채취 로봇 시스템을 구성함</li> <li>• 코 삽입구 확보를 위한 일회용품을 환자가 직접 코에 장착하여 검사하도록 함</li> </ul>
 <p data-bbox="393 1723 564 1751">칭화대학(중국) [44]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상용 직렬로봇인 UR 5를 이용하고, 구인두 검체채취에 대해서 구현 가능한 것으로 보임</li> <li>• 마찬가지로 구인두로의 스왑 삽입을 위한 일회용품을 장착해야하는 것으로 보임</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 로봇을 이용한 비대면 검체채취를 위한 최초의 시스템(2020년 3월 언론 보도)</li> <li>• 굴곡형 내시경 로봇 구조를 활용하여 원격 검체채취에 활용</li> <li>• 구인두 검체채취에만 활용 가능한 것으로 보임</li> </ul>
<p>중난산그룹(중국) [45]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비인두 검체채취만을 지원함</li> <li>• 1자유도의 직선운동만이 가능한 매우 단순한 구조</li> <li>• 환자가 직접 로봇의 코걸이에 자신의 코를 걸고, 턱으로 버튼을 눌러 시작시키는 셀프 검사 로봇</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한국기계연구원이 개발한 비대면 검체채취 로봇 [9]</li> <li>• 일회용 스왑을 장착하여 환자에 따른 코, 입의 검사위치로 자유롭게 이동 및 삽입 가능하므로 환자 접촉 최소화</li> <li>• 검사 타겟 지점에서 스왑에 발생하는 저항감을 원격에서 모니터링 가능함</li> <li>• 구인두 및 비인두 검체채취 지원함</li> </ul>
<p>Swabbot(싱가포르) [46]</p>	
<p>RAUSS 시스템(한국기계연구원)</p>	

### 3.2. 비대면 검체채취 로봇 시스템의 핵심기술

#### 3.2.1. 비대면 검체채취 최적화를 위한 로봇 시스템 설계기술

- 1) **다자유도 구현을 통한 로봇-환자 접촉 최소화:** 환자에 따라 얼굴 형상이나 면봉이 삽입되는 코나 입의 위치나 모양이 다르고, 환자의 얼굴을 고정한다고 해도 약간의 움직임은 배제할 수 없으므로 이를 대비하기 위해 다자유도 로봇이 필요할 것으로 보인다. 면봉 위치의 원점으로부터 상하좌우 위치이동 2자유도, 면봉 삽입을 위한 1자유도, 또한 비인두 검체채취의 경우 면봉을 비강을 따라 비인두벽까지 삽입 각도를 유지하는 것이 중요하므로 면봉 각도 변경을 위한 2자유도, 추가로 면봉에 검체를 잘 묻히기 위한 회전 자유도가 필요하여 총 6자유도의 검체채취 움직임을 지원하는 것이 바람직해 보인다.
- 2) **스왑 장착/수거 및 소독 기술 연동:** 로봇을 통해 비대면 검체채취가 잘 이루어지더라도 많은 수의 피검사자가 빠르게 검사를 받도록 하는 것이 중요하다. 사실 면봉의 장착, 수거, 소독을 위한 의료진이 따로 있다면

상관없지만, 의료진의 현장접촉을 최소화하기 위해 피검자가 스스로 면봉을 쉽게 장착 및 수거가 가능하도록 하고 또한 피검자가 퇴장한 후 자동으로 소독할 수 있는 기술이 필요하다. 또한 피검자가 검체채취를 마치고 퇴장한 후 UV-C를 이용하여 로봇 시스템을 소독하는 기술이 연동되어야 할 것이다. 아직 이런 시나리오까지 완벽하게 고려된 시스템은 없어 보이는데, 한국기계연구원의 RAUSS(Robot Assisted “Untact” Swab Sampling) 시스템의 경우, 피검자가 로봇이 있는 공간으로 입장하여 일회용 스왑을 쉽게 장착하고, 원격으로 검체채취 후 스왑을 검체 수송(UTM) 배지에 담그면서 동시에 로봇에서 분리하는 기술을 구현한 바 있다.

### 2.2.2. 검체채취 안전 모니터링 기술

피검자의 상태를 실시간으로 확인하고 검체채취 과정에서 불편함을 느끼지 않는지 확인하는 것이 중요하다. 따라서 검사 환경의 모니터링을 위한 영상 및 음성 통신 기능을 기본적으로 탑재하고 있어야 하고 또한 환자의 얼굴을 확대해서 면봉의 삽입 및 후퇴 과정을 모니터링 할 수 있어야 한다. 또한 손으로 직접 면봉을 삽입할 때는 면봉 끝이 비인두 벽 또는 구인두 벽에 닿았는지 저항감을 느끼면서 검체채취를 수행하는데, 원격에서 로봇으로 검체채취를 할 때도 면봉에 발생하는 저항감을 모니터링하기 위해 면봉을 연결하는 어댑터나 그리퍼에 힘 또는 압력 센싱 기술을 적용하여 원격의 조작자에게 전송되도록 할 필요가 있다. <그림 13>은 면봉 삽입 시 저항감을 센싱하여 원격으로 모니터링 하는 실험을 보여주고 있다.

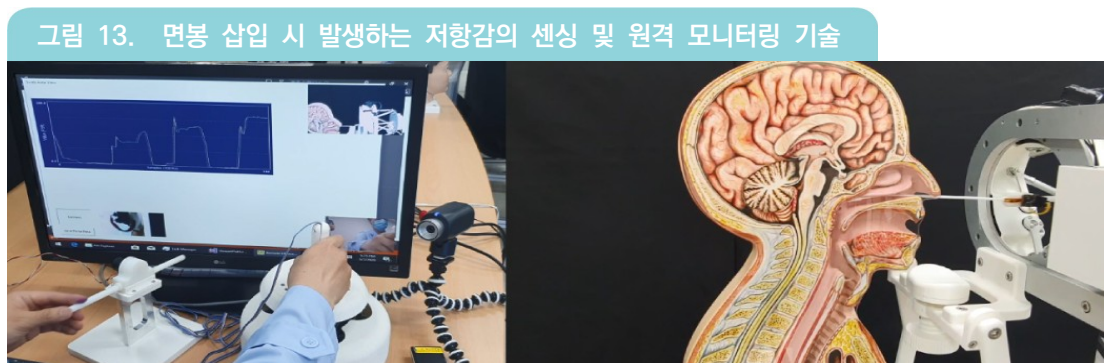
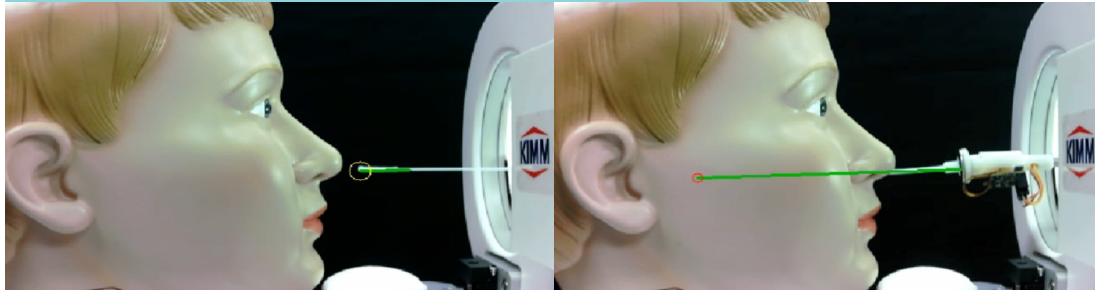


그림 13. 면봉 삽입 시 발생하는 저항감의 센싱 및 원격 모니터링 기술  
출처 : 저자 연구결과 인용(한국기계연구원)

추가로 비인두 검체채취의 경우 어떤 위치와 방향으로 면봉이 삽입되었는지 실시간으로 모니터링 하고 예측하는 기능이 있으면 더욱 안전한 검체채취가 가능할 것이다. 이를 위해 <그림 14>와 같이 한국기계연구원의 RAUSS 시스템의 영상에서는 면봉의 특징점을 자동으로 인식하고 삽입된 면봉의 방향과 위치를 예측하는 기술을 구현한 바 있다.

그림 14. 면봉 삽입 위치 예측 기술이 적용된 환자안전 모니터링

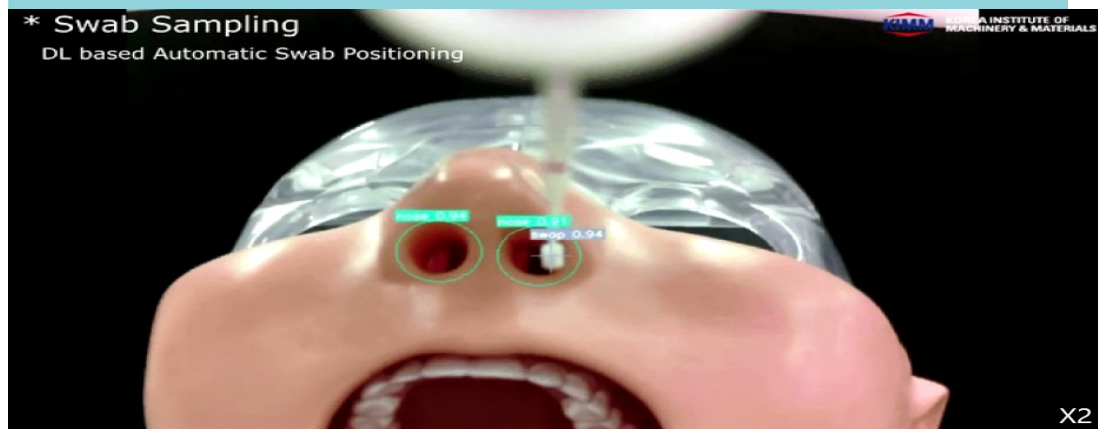


출처 : 저자 연구결과 인용(한국기계연구원)

### 2.2.3. 검체채취 자동화 기술

매번 다른 환자의 면봉 삽입 지점을 원격으로 조작하는 것에 생각보다 긴 시간이 소요될 수 있다. 그리고 매우 많은 환자에 대해서 일일이 삽입 지점을 판단하는 것이 번거로울 수 있다. 따라서 일부 기능들은 자동화하기 위한 기술을 적용할 필요가 있다. 예를 들어 <그림 15>와 같이 비인두 검체채취를 위해 콧구멍의 위치와 면봉 끝의 특징을 인공지능 알고리즘으로 인식하고, 이 둘 간의 위치관계를 이용한 비주얼 서보잉(visual servoing) 기술을 적용한다면 위치 선정을 자동화 할 수 있다. 또한 면봉의 위치 정보와 함께 면봉이 검사 타겟에 닿았을 때의 힘 정보를 학습시킨 후 이를 로봇을 이용한 채취 과정 자동화에 적용할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 연령, 성별, 인종에 따른 일반적인 사람의 해부학적 영상을 학습시켜 면봉의 진입점, 진입경로 등을 산출해 로봇에 적용함으로써 보다 정확한 검체채취가 가능하도록 할 수 있을 것이다.

그림 15. 인공지능 기반 얼굴특징 자동 추출 기술을 이용한 검체채취 Visual servoing

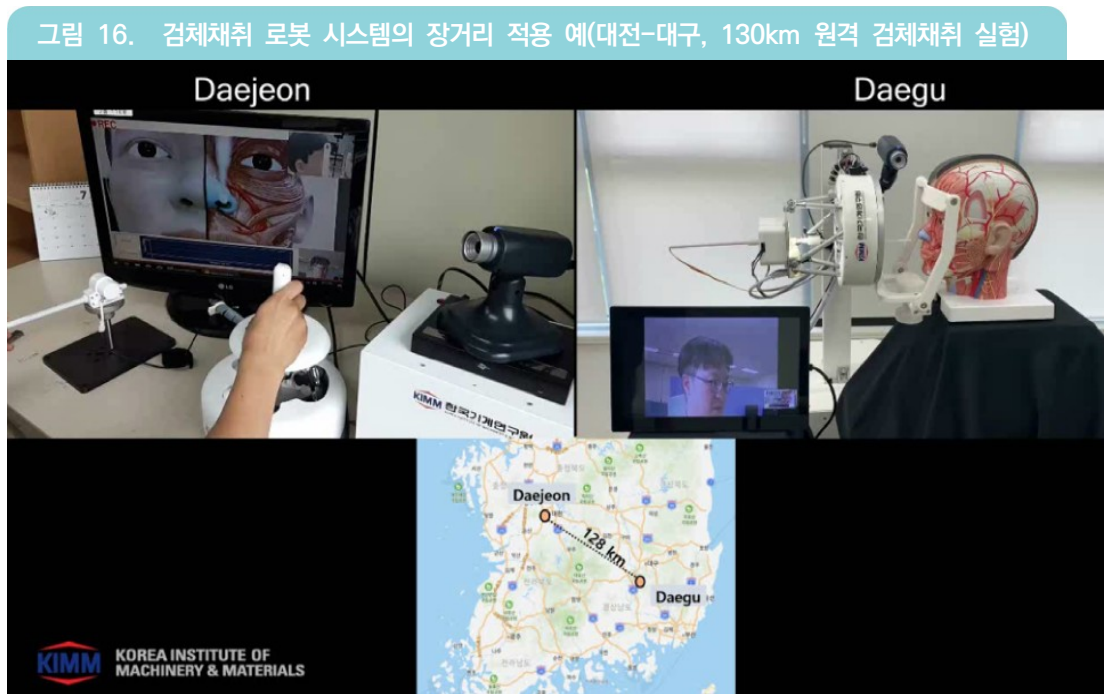


출처 : 저자 연구결과 인용(한국기계연구원)

#### 2.2.4. 장거리 원격 제어 기술

일반적으로 검체채취가 이루어지는 선별진료소의 경우, 국내에서는 보건소나 병원 영역 내 실외에 설치되므로 로봇을 통한 비대면 검체채취가 이루어지더라도 엄밀히는 소위 “원격진료”에 속하지 않는 것으로 판단된다. 하지만 장거리 적용이 가능하다면, 코로나-19 발생 초기에 문제가 되었던 여객선 내 밀폐된 공간의 의심환자 검체채취나, 일부 지역에 집중되어 심각한 집단감염에 따른 의료진 파견 문제를 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

〈그림 16〉은 한국기계연구원 RAUSS 시스템의 마스터 슬레이브 장치를 약 130km 떨어진 대전-대구에 각각 설치하여 서로 연결하고 실시간 검체채취 실험을 진행한 장면을 나타내고 있다.



출처 : 저자 연구결과 인용(한국기계연구원)

## III 마무리

융합연구리뷰에서는 비대면 기술 중 특히 병원 환경에서 활용 가능한 비대면 로봇 기술에 대해서 알아보았다. 특히 자율 방역 로봇, 비대면 원격 초음파 진단 시스템, 비대면 검체채취 로봇 시스템에 대해서 구체적으로 살펴보았는데, 각 분야에 대한 향후 전망과 발전방향에 대해서 정리하면 다음과 같다.

### 1. 자율 방역 로봇 발전 방향 및 향후 전망

현재 시장에 출시되어 운영 중이거나, 시장에 출시가 임박한 다양한 방역 로봇 시스템을 살펴보았다. COVID-19 팬데믹으로 인해 전 세계가 공통적으로 감염병 예방 및 살균을 위한 기술 개발에 집중하고 있고, 그 결과로 조사 시점을 기준으로 수년 사이에 다양한 방역 로봇이 출시된 것을 확인할 수 있었다. 이는 감염병의 확산을 방지하고 안전한 의료 환경의 조성을 위한 자율 방역 로봇의 필요성과 시급성이 반영된 결과로 보여진다.

현재의 방역 로봇 시스템은 기존의 기술을 융합하여 개발되었다. 모든 방역 로봇이 동일하게 UV-C 광기반의 방역 방식을 택하고 있고, 대부분의 로봇이 자율주행 기능을 포함하고 있는 점 또한 주목할 만한 부분이다. 이는 현재의 방역 로봇 시장은 태동기로 볼 수 있으며, 신뢰성 있고, 안전성이 보장된 방역 성능의 확보가 성공적인 방역을 위해 가장 시급히 해결되어야 할 문제임을 말해준다. 현재, UV-C 방역에 대한 표준 또한 재정 중이기 때문에, 방역 로봇의 기본 기능에 충실한 제품의 개발을 추진함과 동시에 기존의 방역 로봇과의 차별성의 확보가 중요하다.

### 2. 비대면 원격 초음파 영상진단 로봇의 향후 전망

초음파 영상진단 장비는 점차 작아지고 휴대가 간편해 지고 있다. 또한 초음파 영상진단 대상 질환은 무궁무진하다. 산부인과, 복부 주요 장기 진단을 넘어서 최근에는 신경과 및 근골격계 진단, 고주파 절제술(RFA, Radiofrequency ablation)과 같은 중재시술 모니터링 등 그 적용 범위가 점차 넓어지고 있다. 원격 초음파 영상진단 로봇이 도입되면 이러한 진단 서비스를 의료 취약지의 환자에게도 적용 가능할 것이다.

격리된 코로나-19 중증 환자의 진단에 있어서도 일반적인 중증환자 진단과 마찬가지로 초음파 영상진단을 적용해야 할 경우가 발생한다. 초음파 전문가가 두꺼운 방호복을 착용하고 감염의 위험을 무릅쓰고 초음파 진단을 하기 보다는 원격 초음파 진단 로봇을 격리병동에 투입하고 초음파 전문의는 안전한 곳에서 진단이 가능하도록 할 수 있다. 특히 전 세계적으로 코로나-19 사태를 겪으면서 국내에서도 비대면 진료, 원격진료에 대한 사회적 수용성이 높아지고 있는 추세이므로 이러한 로봇을 이용한 원격진료 기술이 더욱 발전할 수 있는 계기가 될 것이라 기대한다.

### 3. 비대면 검체채취 로봇의 향후 전망

코로나-19에 의한 고위험성 호흡기 감염병의 전 세계적인 팬데믹 사태는 사회·경제 모든 분야에서 변화를 가져오고 있다. 특히 의료 분야에서는 비대면 의료 기술의 수요가 높아짐에 따라 기존에 대면하여 처리하였던 의료 행위를 비대면으로 전환하는 추세이다. 의료진의 2차감염의 최전선인 고위험성 전염병의 검체채취 현장에서 비대면 기술은 점점 중요해지고 있는 추세이다. 이러한 수요에 빠르게 대응하기 위해서 비대면 검체채취 로봇의 상용화가 시급한 것이 사실이다. 만약 코로나-19 사태가 종료되더라도 앞으로 의심증상이 있는 환자가 병원을 찾는 경우, 기존처럼 대면해서 검체채취를 하는 시절로 다시 돌아가기 어려울 것으로 예상된다. 또한 백신이나 치료제가 개발되더라도 무증상 환자를 판별하기 위한 검체채취 수요는 여전할 것이라 생각한다. 따라서 비대면 검체채취 로봇은 이러한 의료환경 변화에 맞춰 반드시 필요한 시스템으로 각광받을 것으로 예상된다.

코로나 바이러스 시대를 맞아 인류는 기본적 생활을 영위하기 위한 경제 성장과 사람의 생명을 지키기 위한 방역을 동시에 달성해야 한다는 당면과제를 안게 되었다. 이를 얼마나 잘 수행해 내느냐에 따라 향후 각 나라의 미래가 결정될 것이라고 해도 과언이 아닌 상황이다. 비대면 기술은 경제 성장과 방역을 동시에 달성할 수 있는 실효성 있는 도구로 재조명 받고 있으며, 병원을 포함한 일상생활 속에 적용해야 될 필요불가결한 기술로 주목받고 있다. 비록 융합연구리뷰에서는 방역 로봇, 초음파 진단 로봇, 검체채취 로봇에 대해 한정하여 소개하였지만, 지금까지 학계, 연구소에서 개발하였거나 개발 중인 핵심기술을 바탕으로 의료현장에서 도움이 되는, 더 다양한 비대면 의료 로봇을 개발할 수 있을 것이라 기대한다. 또한 산업계는 이러한 비대면 의료 로봇 핵심기술을 바탕으로 제품을 개발하고 상용화에 성공한다면, 아직은 초기 단계인 비대면 의료 로봇 분야에서 세계적인 선도 기업이 될 수 있는 좋은 기회가 될 것이다. 물론 의료기기로 분류되는 로봇이 대부분일 것이므로 제도나 법적인 부분에 대해 정부의 유연한 대처와 적극적인 연구개발 지원이 필수적일 것이다.

저자\_ 서준호(Joonho Seo)

• 학력

The University of Tokyo 기계공학 박사  
서울대학교 기계공학 석사  
영남대학교 기계공학 학사

• 경력

現) 한국기계연구원 선임연구원  
前) 삼성전자 종합기술원 전문연구원  
前) 3D Systems Korea(구 아이너스기술)  
Senior Software Engineer

저자\_ 김선권(Sun Kwon Kim)

• 학력

서울대학교 의용생체공학 박사  
서울대학교 전기공학 학사

• 경력

現) 한국전기연구원 선임연구원  
前) 삼성전자 종합기술원 책임연구원



## 참고문헌

### 〈국내문헌 : 가나다 순〉

- 1) Google, 실시간 코로나 대유행 데이터 (위키백과)
- 2) 서울대학교병원 문경생활치료센터에 숨겨진 첨단정보시스템(서울대학교병원, 2020.03.19)
- 3) 포스트 코로나로 인한 의료환경 변화, 비대면 의료 필요성 제기(메디칼업저버, 2020.07.11)
- 4) 강동성심병원, 병원 전 구역 메르스 바이러스 미검출(중앙일보 헬스미디어, 2015.06.26.)

### 〈국외문헌 : 알파벳 순〉

- 5) Boman, K. et al. "Remote-controlled robotic arm for real-time echocardiography: the diagnostic future for patients in rural areas?" Telemedicine journal and e-health : the official journal of the American Telemedicine Association 15 2 (2009): 142-7 .
- 6) Ito, K., Tsuruta, K., Sugano, S. & Ivata, H. Evaluation of a wearable tele-echography robot system: FASTele in a vehicle using a mobile network. Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS 2093-2096 (2011) doi:10.1109/IEMBS.2011.6090389.
- 7) K Ito, et.al, "Noninvasive Internal Bleeding Detection Method by Measuring Blood Flow under Ultrasound Cross-Section Image," Proceeding of 34th Annual International IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference (EMBC'12) , pp.3191-3194 , 2012
- 8) Mathiassen, K., Fjellin, J. E., Glette, K., Hol, P. K. & Elle, O. J. An ultrasound robotic system using the commercial robot UR5. Front. Robot. AI 3, 1-16 (2016).
- 9) Muramoto, Yoshihiko, Masahiro Kimura, and Suguru Nouda. "Development and future of ultraviolet light-emitting diodes: UV-LED will replace the UV lamp." Semiconductor Science and Technology 29.8 (2014): 084004.
- 10) P. Arbeille, et.al, 'Use of a robotic arm to perform tele operated abdominal ultrasound'. Am J Roentgenology; 188: 317-322. 2007
- 11) Sengupta PP, Narula N, Modesto K, et al.Feasibility of intercity and trans-Atlantictelerobotic remote ultrasound: assessment facilitated by a nondedicated bandwidth connection.J Am Coll Cardiol Img 2014;7:804-9.
- 12) Seo, J.; Shim, S.; Park, H.; Baek, J.; Cho, J.H.; Kim, N.-H. Development of Robot-Assisted Untact Swab Sampling System for Upper Respiratory Disease. Appl. Sci. 2020, 10, 7707.
- 13) Wang, S. et al. Robotic-assisted ultrasound for fetal imaging: Evolution from single-arm to dual-arm system. Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics) 11650 LNAI, 27-38 (2019).

- 14) Yalcin, O., et al. "Approaches of road boundary and obstacle detection using LIDAR." IFAC Proceedings Volumes 46.25 (2013): 211-215.

#### 〈기타문헌〉

- 15) 9 disinfection robots fighting the coronavirus, <https://tectales.com/bionics-robotics/9-disinfection-robots-fighting-the-coronavirus.html>
- 16) UVD ROBOTS (BLUE OCEAN ROBOTICS), <https://www.uvd-robots.com/robots>
- 17) Light Strike (XENEX), <https://xenex.com/light-strike/>
- 18) TMiRob (TMI Robotics), <https://www.time-medical.com/intelligent-sterilization-robot>
- 19) Tru-D (SmartUVC), <https://tru-d.com/>
- 20) The Helios UV (UVC Lighth), <https://www.uvclight.co.uk/uvc-robot/>
- 21) THOR UVC (Finsen Technologies), <https://www.finsentech.com/products/thor-uvc/>
- 22) UVC 1000 ((주) 인아텍), [https://www.inatech.co.kr/product/product4.jsp?productno=49&seq\\_pk=182](https://www.inatech.co.kr/product/product4.jsp?productno=49&seq_pk=182)
- 23) AI-5G탑재 방역 로봇 (SKT, 한국오므론), [https://www.e4ds.com/sub\\_view.asp?ch=1&t=0&idx=11709](https://www.e4ds.com/sub_view.asp?ch=1&t=0&idx=11709)
- 24) AIDBOT (KIST), <https://www.time-medical.com/intelligent-sterilization-robot>
- 25) 캠페온 (KT), <http://www.lumisol.co.kr/sub/media/industry.asp?mode=view&bid=2&idx=133>
- 26) FURo-S Care ((주) 퓨처로봇), <http://www.futurerobot.com/default/product/sub05.php>
- 27) LG 클로이 살균봇 (LG 전자), <https://www.lge.co.kr/kr/business/product/it/robot-solution-hotel>
- 28) 전자기 스펙트럼, [https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A0%84%EC%9E%90%EA%B8%B0\\_%EC%8A%A4%E D%8E%99%ED%8A%B8%EB%9F%BC](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A0%84%EC%9E%90%EA%B8%B0_%EC%8A%A4%E D%8E%99%ED%8A%B8%EB%9F%BC)
- 29) 자외선 살균의 특징, [https://www.stanley-components.com/kr/uvc\\_technology/](https://www.stanley-components.com/kr/uvc_technology/)
- 30) COVID-19 바이러스를 잡는 UV LED 이야기, [http://www.lightingnews.net/media/news\\_view.asp](http://www.lightingnews.net/media/news_view.asp)
- 31) 3D LIDAR: TRUE 3D SENSING AND SPINNING 2D ALTERNATIVES, <https://clearpathrobotics.com/blog/2017/01/3d-lidar-true-3d-sensing-spinning-2d-alternatives/>
- 32) 자율주행 로봇 위한 필수 기술 SLAM을 NVIDIA Isaac에 적용하면?, <https://blogs.nvidia.co.kr/2019/09/02/what-is-simultaneous-localization-and-mapping-nvidia-jetson-isaac-sdk/>
- 33) On mission to eradicate virus germs, China firms see the UV light, SCIENCE & TECH, <https://www.thejakartapost.com/life/2020/03/15/on-mission-to-eradicate-virus-germs-china-firms-see-the-uv-light.html>
- 34) "How does sunscreen work?", <https://www.simplysunscreen.com/how-does-sunscreen-work.html>
- 35) GUIDELINE: USE OF UV GERMICIDAL LAMPS INSIDE BIOLOGICAL SAFETY CABINETS, uOttawa, [https://orm.uottawa.ca/sites/orm.uottawa.ca/files/guideline\\_use\\_of\\_uv\\_lamps\\_in\\_bsc.pdf](https://orm.uottawa.ca/sites/orm.uottawa.ca/files/guideline_use_of_uv_lamps_in_bsc.pdf)
- 36) ONION TAU, <https://www.electronics-lab.com/affordable-plug-and-play-lidar-camera-onion-tau/>

- 37) Intel Realsense, <https://www.intelrealsense.com/lidar/>
- 38) Lidar as a camera - digital lidar's implications for computer vision, <https://ouster.com/blog/the-camera-is-in-the-lidar/>
- 39) haptics-enabled ultrasound technology, <https://www.deakin.edu.au/research/research-news/articles/ultrasound-robots-go-the-distance>
- 40) ARTIS(Advanced Robotised Tele-echography Integrated Service) device, ESA GSP(General Study Programme)-funded activity
- 41) <https://www.therobotreport.com/danish-startup-develops-throat-swabbing-robot-for-covid-19-testing/>
- 42) <https://global.kawasaki.com/en/corp/sustainability/covid19/pcr.html>
- 43) <https://www.prnewswire.com/news-releases/brain-navi-develops-new-robot-performing-nasal-swab-tests-to-prevent-cross-infections-301103725.html>
- 44) <https://haosu-robotics.github.io/aim-mechatronics-for-infectious-diseases.html>
- 45) <https://www.globaltimes.cn/content/1182175.shtml>
- 46) <https://www.channelnewsasia.com/news/singapore/covid-19-singapore-swab-robot-reduces-risk-healthcare-workers-13129570>



# 융합연구리뷰

Convergence Research Review 2021 February vol.7 no.2