

# 대한기계학회 주최

## 제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

# 설계 최종 보고서

참가부	고등부 ( <input checked="" type="checkbox"/> )				
참가분야	공모주제 ( <input checked="" type="checkbox"/> ) / 자유주제 ( <input type="checkbox"/> )				
참가팀명	Assembly				
설계제목	다기능 센서 기반 스마트 건물 안전 및 재난 대응 시스템				
지도교수/교사	(소속) 하나고등학교 (성명) 정윤희 (연락처) (이메일)				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	권동한	하나고등학교			

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	권동한	하나고등학교 2학년	
2	김종원	하나고등학교 1학년	
3	안호성	하나고등학교 2학년	
4	안세용	하나고등학교 1학년	
5	고성원	하나고등학교 1학년	

# 설계 요약문

<b>참가분야</b>	공모주제 ( <input checked="" type="checkbox"/> ) / 자유주제 ( <input type="checkbox"/> )
<b>참가팀명</b>	Assembly
<b>설계제목</b>	다기능 센서 기반 스마트 건물 안전 및 재난 대응 시스템
<b>대표자명</b>	하나고등학교 권동한
<b>요약문</b>	<p>본 설계는 IoT 기반의 건물 안전 및 재난 대응 시스템을 제안한다. 이 시스템은 건물 내의 다양한 요소들을 실시간으로 모니터링하고, 이 데이터를 클라우드 서버에 저장하며, 재난 상황 발생 시 즉각적으로 대응할 수 있는 통합 솔루션을 제공한다.</p> <p><b>이 시스템의 핵심 기능은 다음과 같다.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 화재, 붕괴 등의 재난을 감지하고 예방한다.</li> <li>- 재난 발생 시 즉시 이를 알리고 대피 경로를 안내한다.</li> <li>- 재난 후 복구 작업을 지원한다.</li> </ul> <p><b>이 시스템은 다음과 같은 독창성을 가지고 있다.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 붕괴, 화재 및 가스 유출 등의 다양한 재난을 감지할 수 있는 센서를 사용한다.</li> <li>- MQTT 프로토콜을 사용하여 센서에서 수집한 데이터를 효율적으로 전송한다.</li> <li>- Unreal Engine을 사용하여 시뮬레이션을 수행하여 시스템의 성능을 평가한다.</li> </ul> <p><b>이 시스템은 다음과 같은 제약조건을 가지고 있다.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술적 제약: 일부 종류의 센서는 아직 정확도가 떨어지거나, 머신 러닝 알고리즘은 항상 100%의 정확도를 보장하지 못한다.</li> <li>- 비용 제약: 이러한 시스템의 개발과 운영은 상당한 비용이 발생한다.</li> <li>- 법률 및 규제: 개인 정보 보호 및 데이터 관리에 대한 법률을 엄격히 준수해야 한다.</li> <li>- 사용자 접근성 및 편의성: 시스템은 사용자 친화적이어야 한다.</li> </ul> <p><b>이 시스템은 다음과 같은 측면에서 향후 개선될 수 있다.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 센서의 정확도와 신뢰성을 향상시킬 수 있다.</li> <li>- 머신 러닝 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있다.</li> <li>- 시스템의 비용을 절감할 수 있다.</li> <li>- 사용자 접근성 및 편의성을 향상시킬 수 있다.</li> </ul> <p>이러한 개선을 통해, 이 시스템은 더욱 안정적이고 효율적인 건물 안전 및 재난 대응 시스템으로 발전할 수 있을 것이다.</p>
<b>설계프로젝트의 입상 이력</b>	

## 1. 설계의 필요성 및 목적

본 설계의 목적은 IoT(Internet of Things) 기반의 건물 안전 및 재난 대응 시스템을 개발하는 것이다. 삼풍백화점 붕괴 사고, 우암 상가아파트 붕괴사고, 용산 4층 건물 붕괴사고 등이 발생하며, 건물의 안전성 확충 및 효과적인 재난 대응 시스템의 필요성이 확인되었다.

삼풍백화점 붕괴 사고에서의 균열 등의 전조증상, 우암 상가아파트 붕괴사고에서의 가스 유출 등을 사전에 탐지할 수 있었다면 피해 규모를 줄일 수 있었을 것이다. 이에 본 설계에서 제안하는 “다기능 센서 기반 스마트 건물 안전 및 재난 대응 시스템”은 건물 내의 다양한 요소들을 실시간으로 모니터링하고, 이 데이터를 클라우드 서버에 저장하며, 재난 상황 발생 시 즉각적으로 대응할 수 있는 통합 솔루션을 제공한다. 이 시스템의 핵심 기능은 다음과 같다:

- 화재, 붕괴 등의 재난을 감지하고 예방한다.
- 재난 발생 시 즉시 이를 알리고 대피 경로를 안내한다.
- 재난 후 복구 작업을 지원한다.

## 2. 설계 핵심 내용

### (1) 설계 문제의 정의

본 설계로써 수행해야 할 과제는 IoT 기반의 건물 안전 및 재난 대응 시스템을 설계하고 개발하는 것이다. 이 시스템은 복잡한 건물 환경에서 다양한 재난을 감지하고, 이를 예방하며, 발생한 재난에 즉시 대응하는 등의 기능을 수행하여야 한다. 아래는 이 설계에서 해결하고자 하는 주요 문제이다.

우선 재난 감지 및 예방을 위해 건물의 안전성을 지속적으로 모니터링하고, 화재, 붕괴 등의 재난을 감지하며 이를 예방하는 기능이 필요하다. 이를 위해서는 신뢰성 있는 센서와 알고리즘, 그리고 안전 표준에 부합하는 시스템을 설계해야 한다.

또한 재난 발생 시, 시스템은 즉시 이를 감지하고 대응해야 한다. 그러므로, 시스템은 알람을 울리고, 안전한 대피 경로를 안내해야 하며, 필요한 경우에는 자동 화재 진압 시스템, 대피 지시등 점등 등 건물의 재난 대처 기능을 작동시켜야 한다.

이에 이어 효율적인 재난 대응을 위해, 건물의 상태 정보를 실시간으로 수집하고, 이를 분석하여 재난 예방 및 재난에 대응하여야 한다. 이에 빅데이터 관리 및 분석 기술, 그리고 클라우드 기반의 데이터 저장 및 공유 시스템등이 사용될 것이다.

나아가, 본 시스템은 다양한 크기와 기능의 건물에서 사용될 수 있어야 하는데, 이를 위해서는 모듈화 되고, 범용적인 설계를 필요로 한다.

마지막으로, 시스템은 에너지 측면에서 효율적이고 친환경적이어야 한다. 이를 위해 에너지 효율적인 센서 및 통신 기술, 그리고 재생 가능한 에너지 소스를 사용하는 설계가 필요하다.

## (2) 설계의 독창성 및 접근 방법

### 1) 설계 방법 및 배경

가속도센서는 직선운동에 대해서는 감지를 잘 하지만, 회전을 하는 원운동에 대해서는 감지를 거의 하지 못한다. 이에 대한 보완으로, 회전운동을 감지할 수 있는 센서가 자이로스코프센서이다. 본 시스템에서는 해당 센서를 건물의 붕괴 시 붕괴 모델을 예측하기 위하여 사용한다.

유해가스감지센서는 이름과 같이 특정 기체에 대한 존재 유무를 검출하는 센서이다. 본 시스템에서는 화재 및 유해가스 감지를 위하여 사용하며, LPG, 뷰테인, 프로판, 알코올, 연기 등을 감지할 수 있다.

PIR 센서는 수동적 적외선 감지 센서로서, 외부 물체로부터 반사 혹은 방출되는 적외선을 감지한다. 주로 인체에서 방출되는 적외선을 감지하여 인체감지 목적으로 사용되며, 본 시스템에서 또한 특정 위치의 사람의 유무 감지를 위하여 사용된다.

아두이노는 오픈소스를 기반으로 한 단일 보드 마이크로 컨트롤러이다. 손쉽게 마이크로컨트롤러를 동작시킬 수 있다는 것이 가장 큰 장점이며, 디지털 및 아날로그 입출력을 지원한다. 기 기술한 센서들을 아두이노에 연결시킴으로써 센서값 수집 및 전송을 수행한다. 이러한 값 전송을 위해서 와이파이 통신을 사용하는데, 최소한의 전력을 소비하고 효율적인 자원 사용을 위하여 이어서 기술하는 MQTT 프로토콜을 사용한다.

MQTT는 머신 대 머신 통신에 사용되는 표준 기반 메시징 프로토콜 또는 규칙 세트이다. 스마트 센서, 웨어러블 및 기타 사물 인터넷(IoT) 디바이스는 일반적으로 리소스 제약이 있는 네트워크를 통해 제한된 대역폭으로 데이터를 전송하고 수신해야 한다. 이러한 IoT 디바이스는 MQTT를 데이터 전송에 사용하는데, 구현이 쉽고 IoT 데이터를 효율적으로 전달할 수 있기 때문이다. MQTT는 디바이스에서 클라우드, 클라우드에서 디바이스로의 메시징을 지원한다. MQTT의 장점은 적은 자원을 사용하여 구동이 가볍고 효율적이란 것인데, 가장 작은 MQTT 데이터는 2바이트만큼 작으며, MQTT는 구동 시 아주 적은 전력만을 소비한다. IoT 디바이스를 구현할 때에는 최소한의 자원이 필요하여, MQTT를 사용한다면 최대 1만개의 디바이스에 연결이 가능할 뿐만 아니라, 효율적인 자원 이용이 가능하다.

존의 많은 IoT 디바이스는 대역폭은 낮고 지연 시간은 긴 셀룰러 네트워크를 통해 연결된다. 반면에 MQTT에는 IoT 디바이스에서 클라우드에 다시 연결하는 데 소요되는 시간을 줄여주는 기능이 기본적으로 탑재되어 있어 시간적 효율성을 보장받을 수 있다. 또한 보안적 측면에서 MQTT를 사용하면 메시지를 손쉽게 암호화하고 OAuth, TLS1.3 등의 기타 최신 인증 프로토콜을 사용하여 디바이스와 사용자를 인증할 수 있다. 마지막으로 접근성의 측면에서도 Python과 C++같은 다수의 언어가 MQTT 프로토콜 구현을 광범위하게 지원한다. 따라서 개발자는 모든 유형의 애플리케이션에서 최소한의 코드 작업으로 빠르게 이 프로토콜을 구현할 수 있다.

언리얼 엔진에서 MQTT 플러그인을 사용하여 MQTT 프로토콜과 통신한다. 모듈마다 클라이언트를 생성하여 MQTT에 연결하고, 각 모듈마다의 Subscribe를 통해 JSON 형식의 데이터를 받아오고, 이를 파싱하여 기울기, 온도, 공기질, 인체감지등의 정보 수집 후, 시물레이트 할 각 액터(모듈)에 전달한다. 그리고 각 액터에 전달된 내용은 최종적으로 계기판으로 전달되어 해당 모듈에 대응되는 정보들이 알맞게 시각화 된다.

## 2) 설계의 독창성

건축물(건물) 안전, IoT, 재난 방재 등에 대해 Google Scholar에서 선행연구를 탐색하였고, 선정한 [2-5]에 대해 분석한 사항은 아래와 같다:

[2]: 건축물에 설치된 IoT 센서 계측 정보를 실시간으로 수집 및 분석하고 관련 정보를 전문가 등 사용자에게 제공함으로써 지진, 건물 붕괴와 같은 재난상황을 사전에 대비할 수 있는 지능형 플랫폼으로, 플랫폼의 아키텍처 및 데이터 흐름도를 제시하였으며 실 구현이 이루어지지 않았고, 추상적인 구조에 대해 고찰하였다.

[3]: 건물재난관리에 필요한 다양한 센서로 건물 내 다양한 안전 상태를 표현하고 데이터는 스마트폰으로 송수신하여 주거환경을 제어할 수 있는 시스템 모델을 제안하였으며, 사물인터넷 전용망인 SK LoRa 통신망과 아두이노를 이용하였다. 이는 미시적인 환경에서 분석에서 그쳤으며, 본 보고서에서 다루는 내용 중 자이로스코프계에 관련된 내용만을 다루고 있다.

[4]: 센서를 이용한 화재 모니터링, 재실자 및 구조자의 재난대응을 위한 실내 위치추적 및 경로유도 시스템, 당사자 간 정보공유 통합시스템 중심으로 보고하였다.

[5]: AI와 IoT 센서를 활용한 클라우드 기반 실시간 건물 상태 모니터링 및 예측 시스템을 개발하였다. 시계열 데이터를 구성하는 건물 상태를 예측하기 위해 통계 기반 ARIMA와 AI 기반 LSTM 예측 모델을 설계하고 구축하였으나, [3]과 같이 건축물의 진동만을 중점적으로 연구하였다.

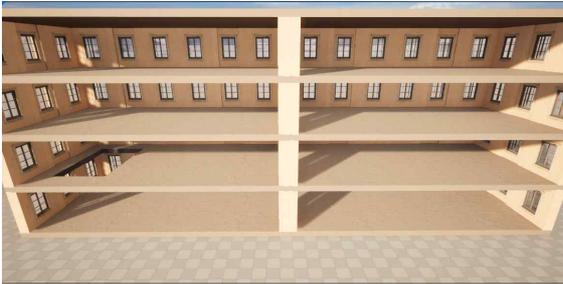
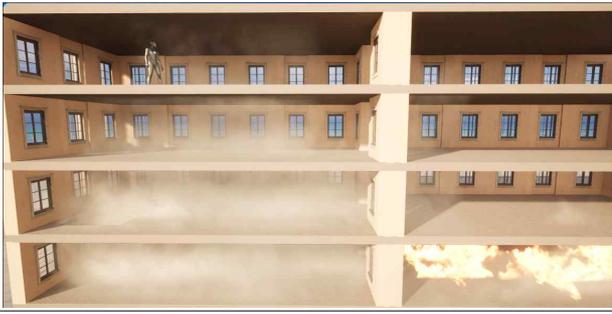
이에 본 설계는 붕괴, 화재 및 가스 유출 등의 재난 발생시 신속한 대응을 위해 자이로스코프 센서를 사용한 건축물 붕괴 징조 및 현황 탐지, 유해가스 감지 센서를 통한 화재 확산 경로 탐색, 온도 센서를 사용한 화재 발생 감지 및 PIR 센서를 사용하여 건물 내 사람을 감지하여 구조 전략을 수립하기 위한 IoT 모듈을 제시한다.

## 3) 설계의 제약조건 및 문제 해결 방법

- 기술적 제약조건: 현재의 기술 수준으로는 완벽한 재난 대응 시스템을 만드는 것이 어렵다. 예를 들어, 일부 종류의 센서는 아직 정확도가 떨어지거나, 머신 러닝 알고리즘은 항상 100%의 정확도를 보장하지 못한다.
- 비용 제약조건: 이러한 시스템의 개발과 운영은 상당한 비용이 발생하기 때문에, 비용 효율적인 설계와 경제성 분석이 필요하다.
- 법률 및 규제: 특히 개인 정보 보호 및 데이터 관리에 대한 법률을 엄격히 준수해야 한다.
- 사용자 접근성 및 편의성: 시스템은 사용자 친화적이어야 하며, 모든 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 설계되어야 합니다. 이는 특히 장애인과 고령자에게 중요한 요소이다.
- 시스템 분석 및 설계: 건물의 재난 대응 시스템을 설계하기 위해 첫 번째로는 건물 환경과 잠재적 위험 요소를 파악하는 시스템 분석이 이루어져야 한다. 이후 이러한 정보를 기반으로 시스템의 전체적인 구조와 각 기능을 설계한다.
- 센서 및 알고리즘 개발: 건물의 다양한 환경 요소를 감지하고 분석할 수 있는 센서와 알고리즘을 개발한다. 이를 위해 최신의 IoT 센서 기술과 머신 러닝 기반의 데이터 분석 알고리즘을 활용한다.

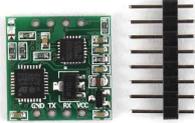
- 응용 시스템 개발: 감지된 데이터를 기반으로 경보를 발생시키거나, 안전한 대피 경로를 안내하는 등의 응용 시스템을 개발한다.
- 테스트 및 평가: 개발된 시스템의 성능을 테스트하고 평가한다. 실제 환경에서 시스템이 얼마나 잘 작동하는지 확인하고, 필요한 경우 시스템을 개선한다.

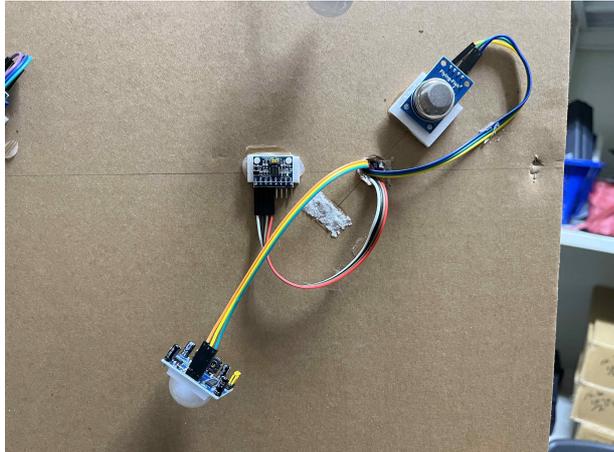
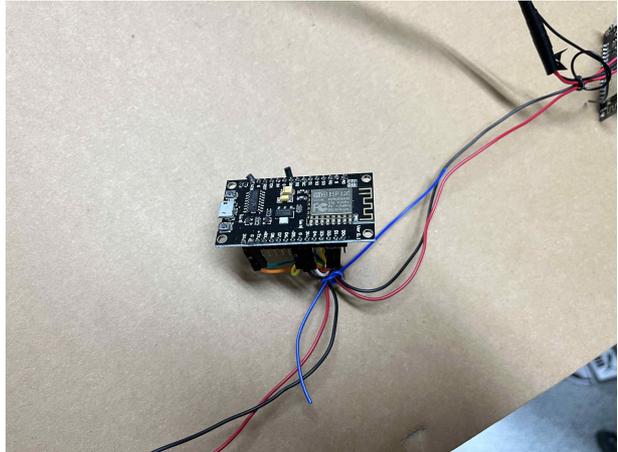
아래는 Unreal Engine 5를 사용하여 다양한 건축물 재해 상황에 대한 시뮬레이션을 진행하고 취약점을 시각적으로 분석하여 설계에 적용한다. 건축물 이상-무(idle) 상황, 건축물 붕괴 상황, 건축물 잔해 제거 상황, 건축물 화재 상황 등 시뮬레이션으로 고려할 수 있는 재해사항을 디자인하고 분석하였다.

<p>건축물 이상-무(idle) 상황</p> 	<p>건축물 붕괴 상황</p> 
<p>건축물 붕괴 상황-2</p> 	<p>건축물 잔해 제거 상황</p> 
<p>건축물 화재 발생 상황</p> 	<p>건축물 연기 확산 상황</p> 
<p>건축물 화재 발생 상황-2</p> 	<p>건축물 수재 발생 상황</p> 

### (3) 설계 내용

분석한 제약조건(기술, 비용, 법률 및 UI/UX)을 고려하여 장비에 사용할 기기 및 센서를 선정하였다.

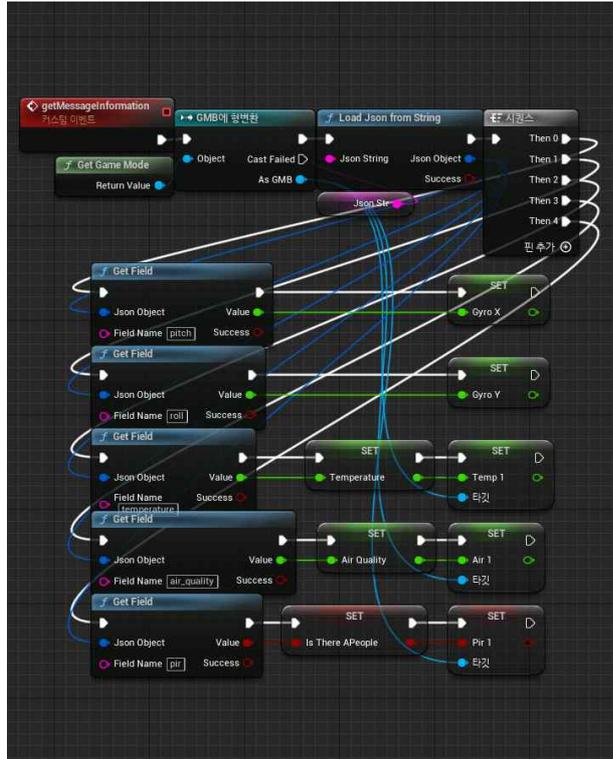
<p>NodeMCU V2 ESP-12F</p> 	<p>MPU6050 6축 자이로 센서</p> 	<p>MQ-135 유해가스/공기질 센서</p> 
<p>MQ-2 가연성 가스 센서 모듈</p> 	<p>HC-SR501 인체감지센서모듈</p> 	<p>RPi 카메라모듈 V2, 8MP</p> 

<p>ESP8266에 연결된 각 센서들 모듈 부착</p> 	<p>ESP8266 모듈 및 모듈간 전원 배선</p> 
---	--

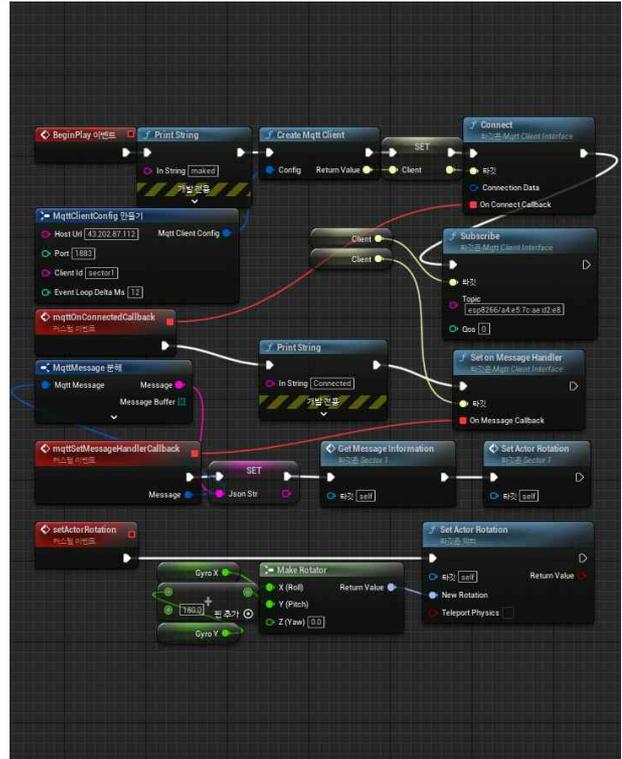
(소프트웨어) Unreal Engine을 사용해 각 모듈별로 액터를 생성하였다. 먼저, 플랫폼을 지정한 뒤, BeginPlay 이벤트 발생 시 Mqtt 클라이언트를 생성하고, 연결을 시도한다. 그리고 각 모듈에 맞는 MAC주소를 가지고 Subscribe를 한다. 그리고 돌아가 연결에 성공했을 시, 텔리게이트를 타고, Callback Custom 이벤트가 실행된다. 이때 연결상태를 확인시켜주는 메시지를 출력하고, Message Handle 이벤트에서 MQTT로부터 Message를 수신할 때 마 HandlerCallback 함수를 실행한다. 이후 JSON 데이터를 저장하고, 즉시 파싱하여 필요한 값만 골라낸 뒤 이를 저장하여, 실시간으로 플랫폼의 기울기를 변경하였다. 자이로 센서 값과 연동하여 실시간으로 플랫폼의 기울기를 변경하였다.

아래는 소프트웨어의 Blueprint 코드이다:

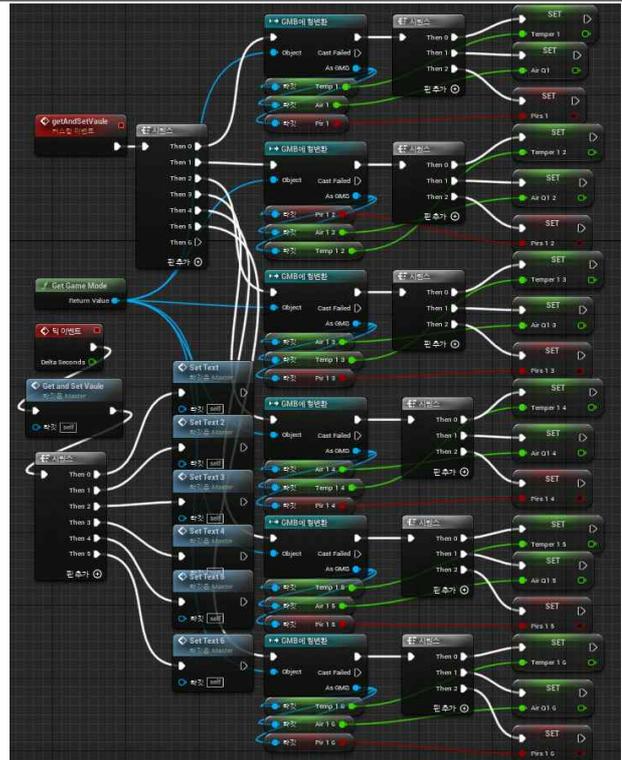
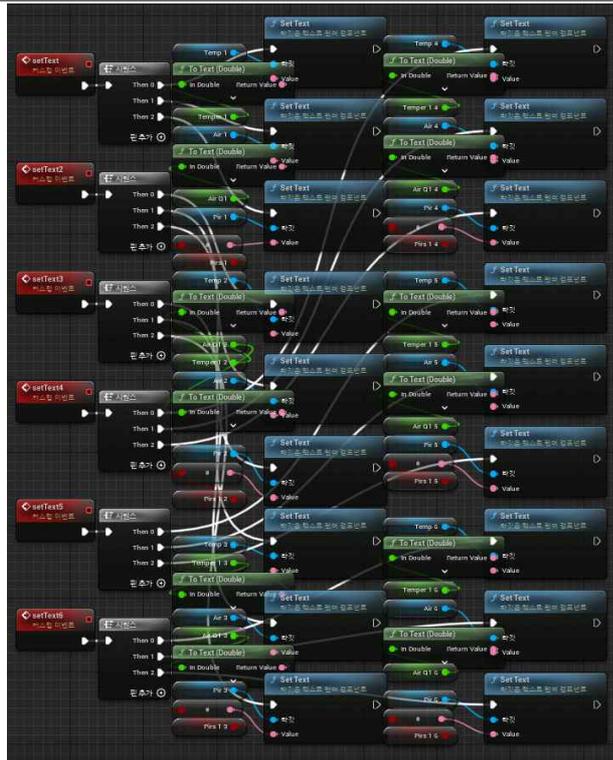
서버로부터 정보를 인식하는 코드



시물레이션을 조작하는 코드



화재, 인체 감지 등을 수행하는 코드



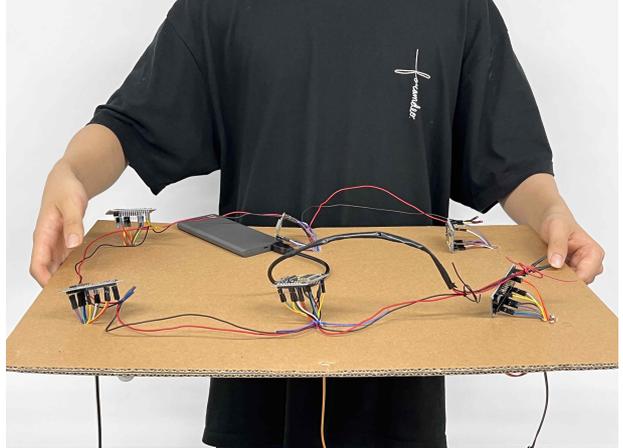
### 3. 설계 수행 일정

설계 진행 내용	4월	5월	6월	7월	8월	9월
설계 제안 구체화	██████████					
재난 상황과 목적에 적절한 센서 선정		██████████				
IoT 기기 설치 배치 연구			██████████			
IoT 기기 제작				██████████		
필드 테스트 및 개선						██████████

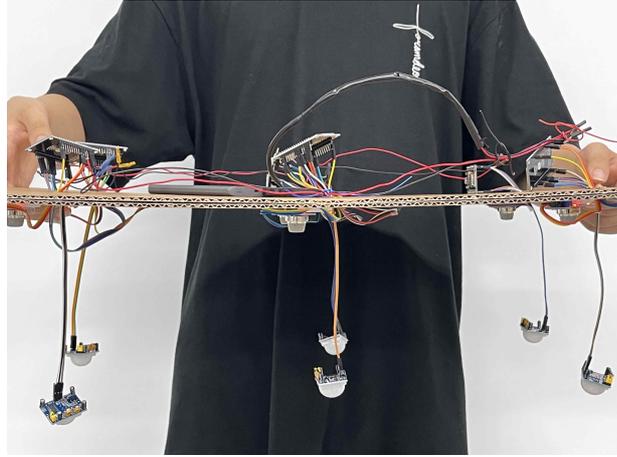
### 4. 설계 결과물

#### (1) 최종 결과물 형상 및 작동원리

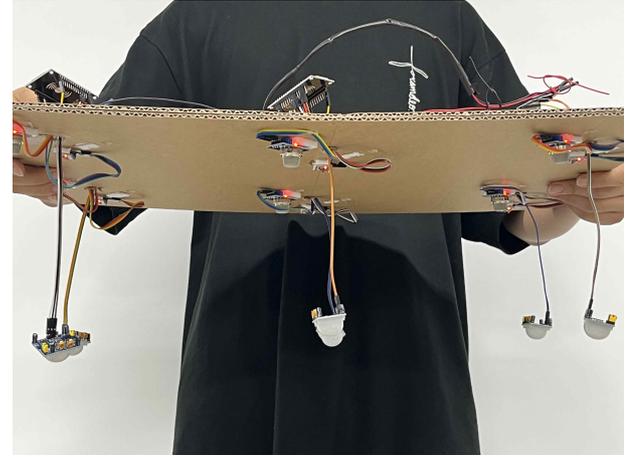
다기능 센서 건물 안전 및 재난 대응 모듈은 다음과 같다. 모듈을 설치한 골판지를 천장으로 가정하고, 6개의 모듈을 고정하여 천장을 시뮬레이션하였다. 센서에 측정되는 온도, 사람 이동, 유해 공기질 등을 데스크탑 클라이언트에서 3D로 확인할 수 있으며, 각 모듈에서 측정되는 이동(붕괴) 현황을 소프트웨어에서 확인할 수 있다.

다기능 센서 건물 안전 및 재난 대응 모듈	모듈 센서 모니터링 소프트웨어
	

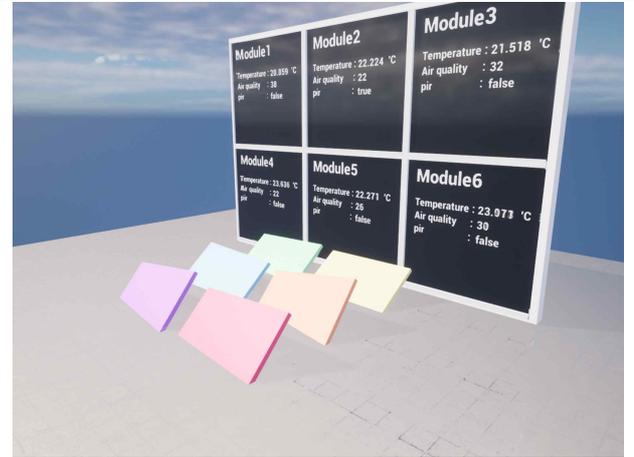
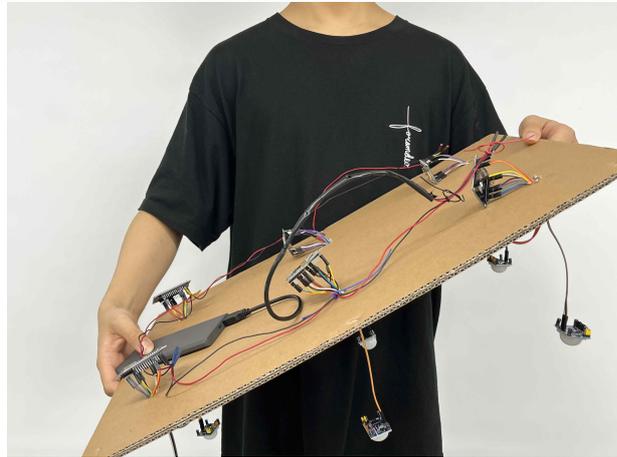
모듈 설치 정면



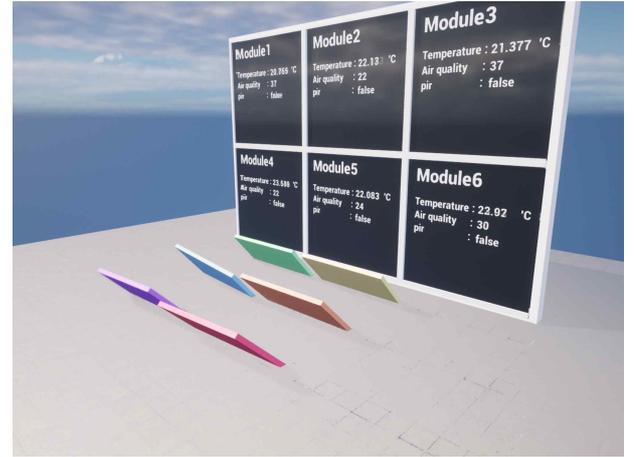
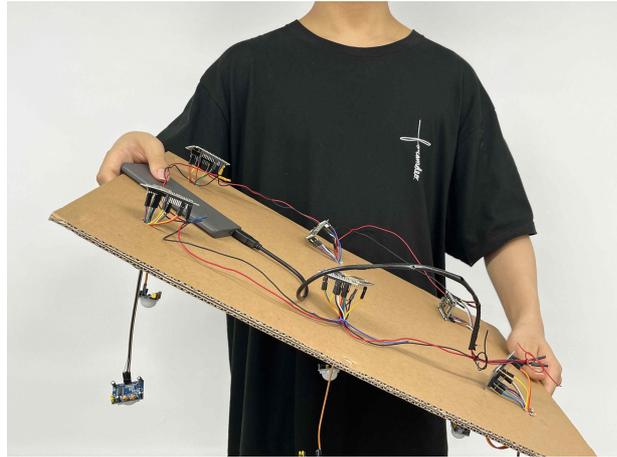
모듈 설치 하단



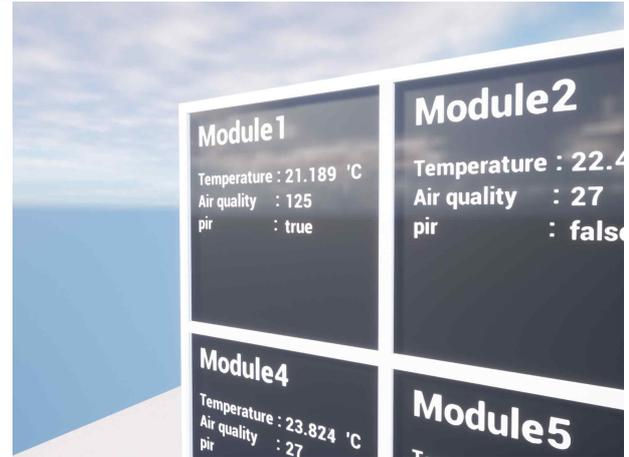
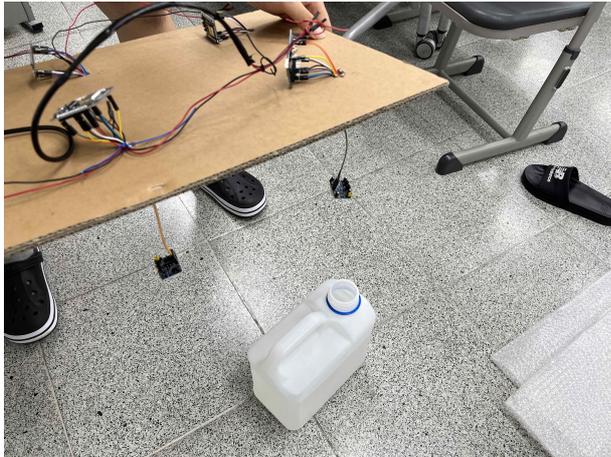
천장 좌측 붕괴



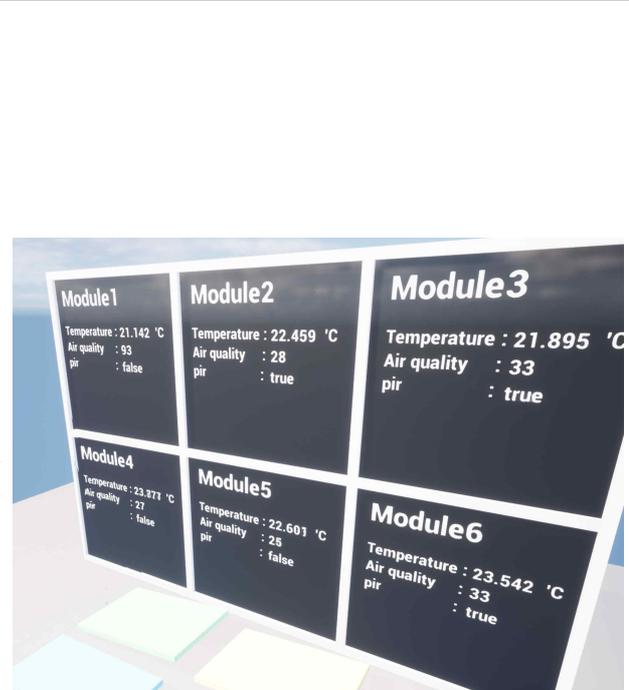
천장 우측 붕괴



알코올 유증기 감지



온도(화재)감지



인체 감지



\* 인체감지 및 온도 감지

## (2) 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

### 장점

독창성: 기존의 건물 재난 대응 시스템은 화재 감지에 주로 초점을 맞추고 있었으나, 본 시스템은 화재, 붕괴,

가스 유출 등 다양한 재난을 감지 및 예방하는 기능을 제공한다. 또한, 모듈화 및 범용성 설계를 통해 다양한 크기와 기능의 건물에 적용할 수 있도록 하였다.

**효율성:** 저전력 센서 및 통신 기술을 사용하여 에너지 효율을 높였으며, 클라우드 기반 데이터 저장 및 분석 시스템을 사용하여 효율적인 재난 대응을 지원한다.

**확장성:** IoT 센서의 추가 및 교체를 통해 시스템을 쉽게 확장할 수 있다.

## 의의

**건물 안전성 향상:** 본 시스템의 도입으로 건물의 안전성을 향상시키고, 재난 발생 시 인명 및 재산 피해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

**재난 대응 효율성 증대:** 재난 발생 시 신속하고 효과적인 대응을 지원함으로써 재난 피해를 최소화할 수 있다.

**건물 관리 비용 절감:** 재난에 의한 피해를 예방함으로써 건물 관리 비용을 절감할 수 있다.

## 개선 방향

**센서 및 알고리즘의 성능 개선:** 센서 및 알고리즘의 성능을 지속적으로 개선하여 재난 감지 및 예측의 정확도를 높여야 한다.

**실증 테스트 및 평가:** 개발된 시스템을 실제 환경에서 테스트 및 평가하여 성능을 검증해야 한다.

**사용자 친화성 향상:** 시스템의 사용자 친화성을 향상시켜 모든 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 해야 한다.

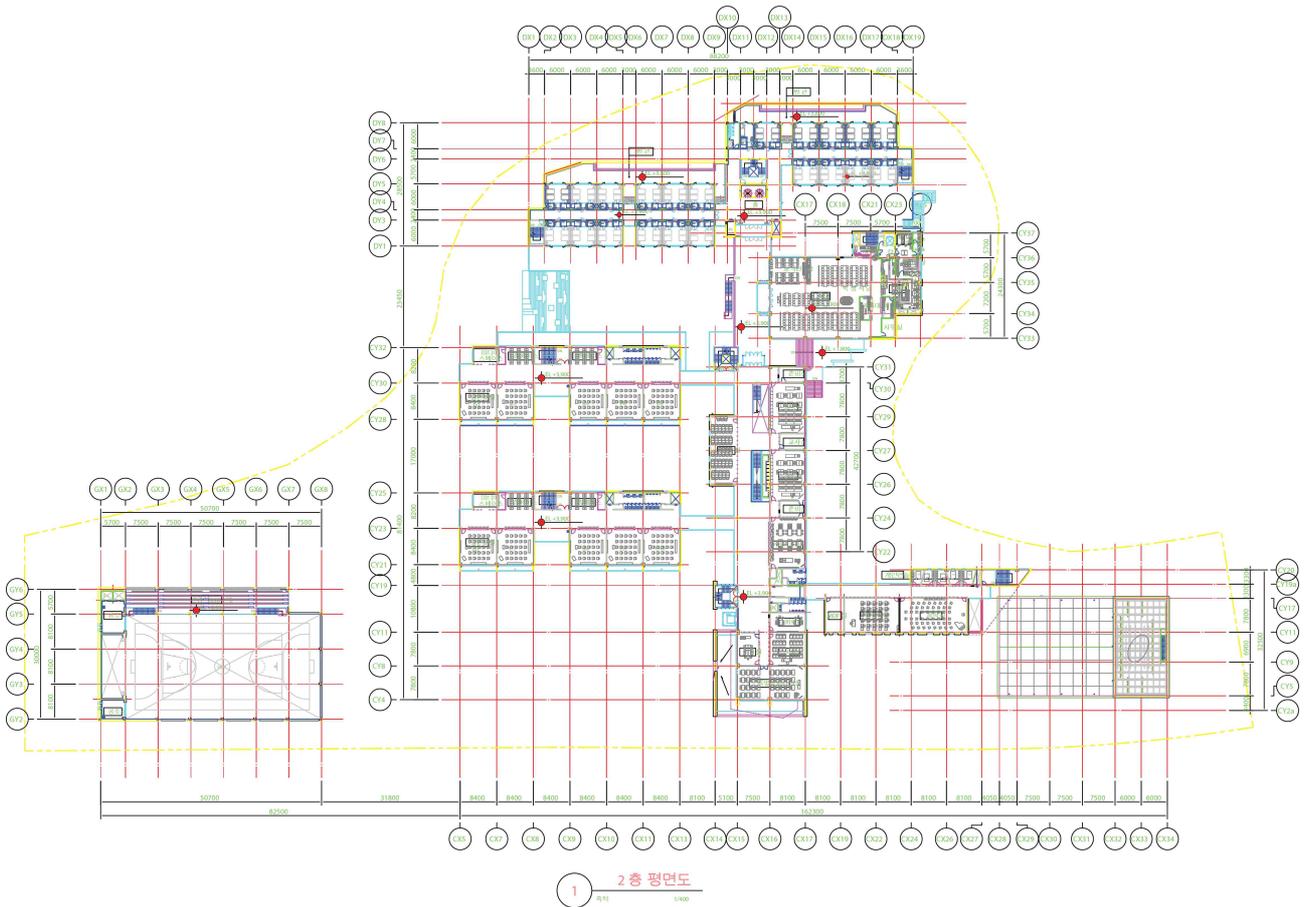
본 시스템은 IoT 기술과 머신 러닝을 기반으로 건물의 재난 대응 능력을 향상시키기 위한 독창적이고 효율적인 설계가 특징이다. 향후 센서 및 알고리즘의 성능 개선 및 실증 테스트를 통해 시스템의 성능을 검증하고, 사용자 친화성을 향상시킨다면 건물 안전성 향상과 재난 대응 효율성 증대에 기여할 것으로 기대된다.

## 5. 활용방안 및 기대효과

이를 통해 건물 이용자의 생명과 재산을 보호하고, 안전한 생활 환경을 제공하는 것이 목표이다. 이 외에도, 본 설계는 다양한 환경에서의 시스템 구축을 가능하게 하여 확장성을 제공한다.

- 건물 관리 및 유지보수 비용을 절감하여 경제적 이익을 창출한다.
- 에너지 효율적인 센서와 통신 기술을 사용하여 환경 친화적이다.
- 국제 협력과 기술 수출을 통해 국내 기술의 경쟁력을 강화하고 국가 경제에 기여한다.

본 설계는 또한 공공기관, 기업, 학계 등 다양한 이해관계자들과의 협업을 통해 발전할 수 있는 기회를 제공한다. 이러한 협업을 통해 지식과 자원을 공유하고, 새로운 아이디어와 기술을 발굴하여 프로젝트의 성공 가능성을 높일 수 있다. 사회적 인식 개선, 기술 혁신의 모델, 산업의 선도 등 다양한 방면에서의 기대효과를 가지고 있다. 마지막으로, 본 설계는 국내뿐 아니라 전 세계적으로 확산될 가능성이 있으며, 인류의 안전과 지속 가능한 사회를 위한 기술 혁신의 일환으로 인식될 수 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해, 우리는 최선을 다하며, 기술, 사회, 경제, 환경 등의 모든 측면을 고려한 포괄적인 접근 방식을 채택하고 있다. 하나고등학교 기숙사와 같은 다중생활시설에 재난 감지 센서를 적용하면 다음과 같은 활용방안 및 기대효과가 있다.



재난 조기 감지 및 대응: 화재, 지진, 폭발, 침수 등 다양한 재난을 조기에 감지하고, 이를 즉각적인 대응으로 이어질 수 있다.

재난 피해 최소화: 재난 발생 시 피해를 최소화하고 구조를 용이하게 하기 위해 건물 이용자의 대피 유도, 생존자 탐색 등을 지원한다.

건물 이용자의 안전 확보: 재난으로부터 건물 이용자의 생명과 재산을 보호하고, 안전한 생활 환경을 제공한다.

기존 자원 활용: 기존의 CCTV의 전력망을 공유하여 비상시에도 전력이 유지되고 추가적인 배선이 불필요 하다.

### <참고문헌>

- [1] 이용선. 하나고등학교 신축설계 (서울지역 자립형 사립고등학교). 건축, 2009, 53.7: 49-52.
- [2] 이주상, et al. 건물안전을 위한 스마트센서 IoT 플랫폼. 한국통신학회 학술대회논문집, 2020, 1055-1056.
- [3] 정창식; 권미란. 재난관리시스템을 이용한 어린이집 안전관리에 관한 연구. 한국인터넷방송통신학회 논문지, 2018, 18.1: 29-35.
- [4] 정수현; 차희성. ICT 융복합 기술 기반 건물 재난관리 연구동향-실내 화재· 안전관리를 중심으로. 건설관리: 한국건설관리학회 학회지, 2018, 19.3: 65-68.
- [5] 하창완, et al. AI 와 IoT 센서를 이용한 클라우드 기반 건축물 실시간 상태감시 및 예측시스템 개발. 2. 한국방재학회 논문집, 2021, 21.6: 31-39.