

20TBIP-
C144394
-03

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호()

국토교통기술사업화지원사업 제3차년도 최종보고서

R&D / 20TBIP-C144394-03

지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 개발 최종보고서

2021.02.04.

주관연구기관 / 주식회사 두잇
공동연구기관 / 주식회사 엠텍
공동연구기관 / 한국건설기술연구원

지진사전경보 및
긴급 건축물
손상도
평가시스템
개발
최종보고서

2020

국
토
교
통
부

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

보고서 요약서

과제 고유 번호	20TBIP C144394-03	해당 단계 연구 기간	2020.01.01 - 2020.12.31	단계구분	3단계 / 3단계
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	국토교통기술사업화지원사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 개발			
연구책임자	노진석	해당단계 참여연구원 수	총: 22명 내부: 22명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부: 760,000 천원 민간: 510,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 1,270,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 22명 내부: 22명 외부: 0명	총 연구비	정부: 1,500,000 천원 민간: 1,017,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 2,517,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	주식회사 두잇			참여기업명 주식회사 엠텍 한국건설기술연구원	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	공개
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호		2	1		1	2					

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서면수: 172p
※첨부서류 제외

요약문

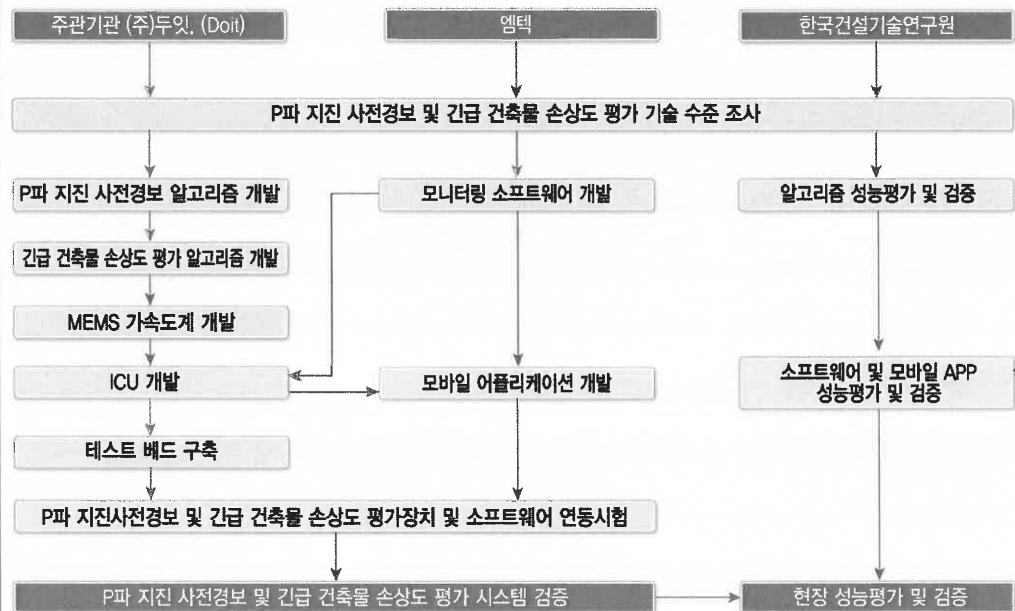
[연구개발 목표]

- 모바일 어플리케이션을 접목한 P파 지진사전경보 장치 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 개발
 - 지진 사전경보를 위한 P파 지진사전경보 장치 및 긴급 건축물 손상도 평가가 가능한 시스템 개발 및 사업화
 - 실시간 지진동 모니터링/Utility program 개발
 - P파 지진사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가와 연계한 모바일 어플리케이션 개발

[연구개발 내용]

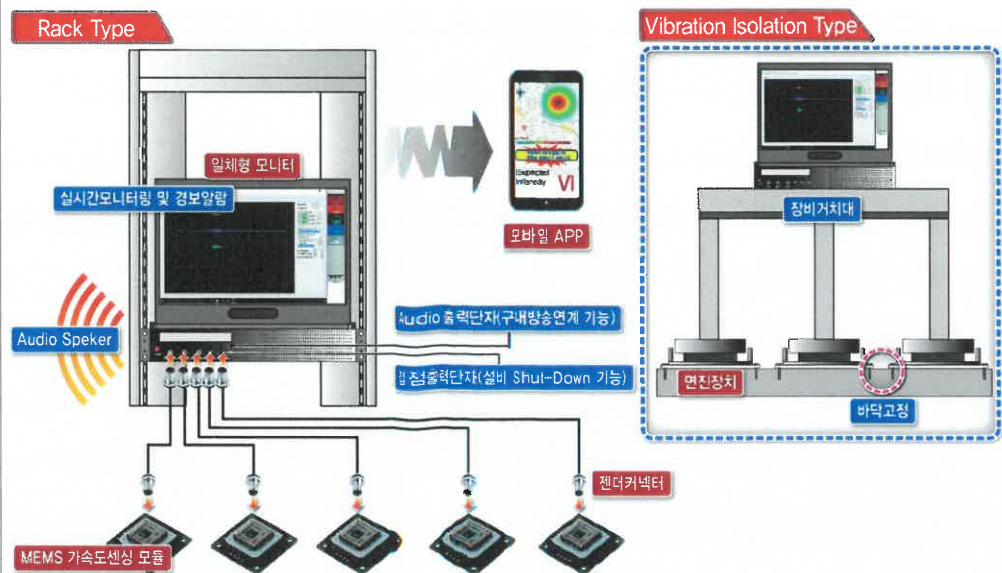
- 주관기관 (주)두잇 : PEEWD & EBDAS H/W 개발 및 핵심 알고리즘 개발
- 참여기관 (주)엠텍 : PEEWD & EBDAS 모니터링 S/W 및 알고리즘 개발, App 개발
- 참여기관 한국건설기술연구원 : 개발 플랫폼 검증, 장치 성능 및 알고리즘 성능평가/검증

연구의
목적 및 내용



연구개발성과

- 연구개발 최종목표
 - P파 지진사전경보 장치 및 긴급 건축물 손상도 평가 알고리즘 개발을 통한 통합 소프트웨어 및 유틸리티 프로그램 개발
- 연구개발성과
 - P파 지진사전경보 장치 개발 (MEMS 지진가속도계, ICU)
 - 지진 사전경보 알고리즘 개발
 - P파 지진사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 소프트웨어 개발



연구개발성과의
활용계획
(기대효과)

- 지진발생 시 진앙지 인근 100km 이내 Shadow Zone의 거주자들이 대피할 수 있는 여유시간 제공
- 지진사전경보 장치개발을 통하여 재난방재의 전방위적인 분야에 다각도로 활용가능
- 본 개발 시스템은 선도적인 기술이 탑재되어있는 장비로 구성되어있어 향후 기술발전에 이바지 할 수 있음
- 국산화 된 지진사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가시스템과 모바일 애플리케이션 개발을 통하여 지진발생 후 신속한 대응에 결정적인 역할을 수행하여 인명 및 재산피해 예방에 기여할 것으로 기대
- 피해건물에 대한 신속한 손상도 예/검측 및 예상되는 수리소요 파악이 가능해져 건축물 내상으로 인한 추가피해 사전 예방가능

국문핵심어 (5개 이내)	사전경보	손상도	알고리즘	가속도	어플리케이션
영문핵심어 (5개 이내)	Pre-warning	Damage degree	algorithm	acceleration	Application

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

목 차

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 사업화 추진 배경	1
나. 사업화 대상 기술 요약	1
2. 연구수행내용 및 성과	16
가. 개요	16
나. P파 지진 사전경보 가속도센서 개발	16
다. P파 사전경보 가속도 센서의 제측특성 시험	50
라. P파 지진 사전경보 지진가속도 알고리즘 개발	61
마. 건축물 손상도 평가 알고리즘 개발	65
바. 자료수집처리를 위한 ICU 개발	79
사. 모니터링 소프트웨어 개발	89
아. 현장 실증을 위한 테스트 베드 구축	101
자. 연구 성과(성능 시험 결과)	121
차. 위기단계에 따른 대응방안	152
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	164
가. 목표	164
나. 목표달성 여부	165
다. 관련분야 기여도	167
4. 연구개발성과의 활용계획	169
가. 현장 적용 방안	169
나. 실용화, 제품화 방안	170
<참고문헌>	171

[별첨] 증빙서류

1. 연구개발과제의 개요

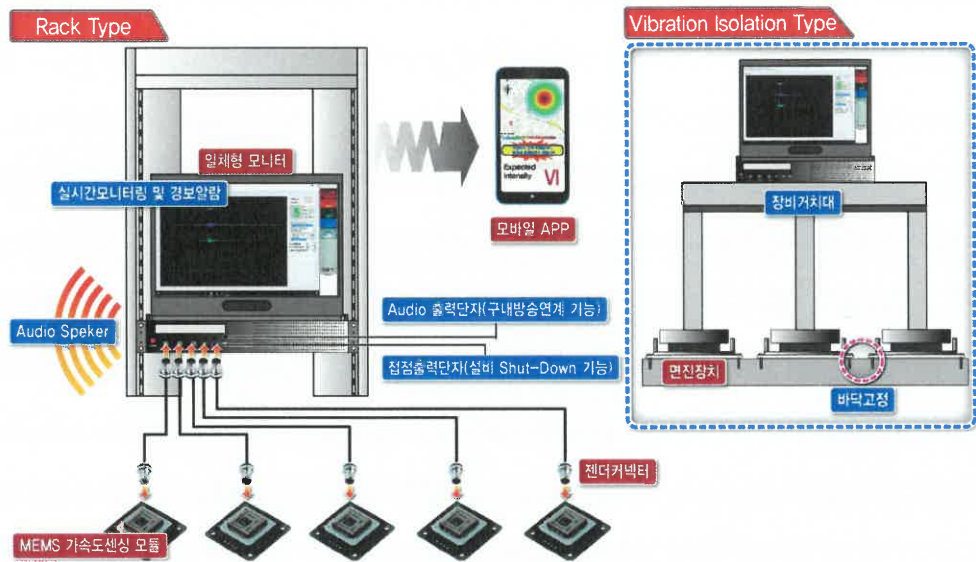
가. 사업화 추진 배경

- (1) 최근 발생한 경주/포항 지진과 빈번한 여진으로 인한 국민적 관심이 증대되어 민간 주거시설 및 공장시설, 학교, 병원 등 인프라 시설에서 P파 지진사전경보장치의 수요 급증
- (2) 경주/포항 지진발생 시 진앙지 인근 100km 이내 지역은 기상청에서 발표하는 긴급 재난문자를 받기 전에 건축물에 직접적인 영향을 주는 S파가 도착하여 지진에 대해 대비할 수 없었음
- (3) P파 지진사전경보 알고리즘과 건축물 손상도 평가 알고리즘 개발을 통해 Shadow Zone의 인명과 재산을 보호하고자 함

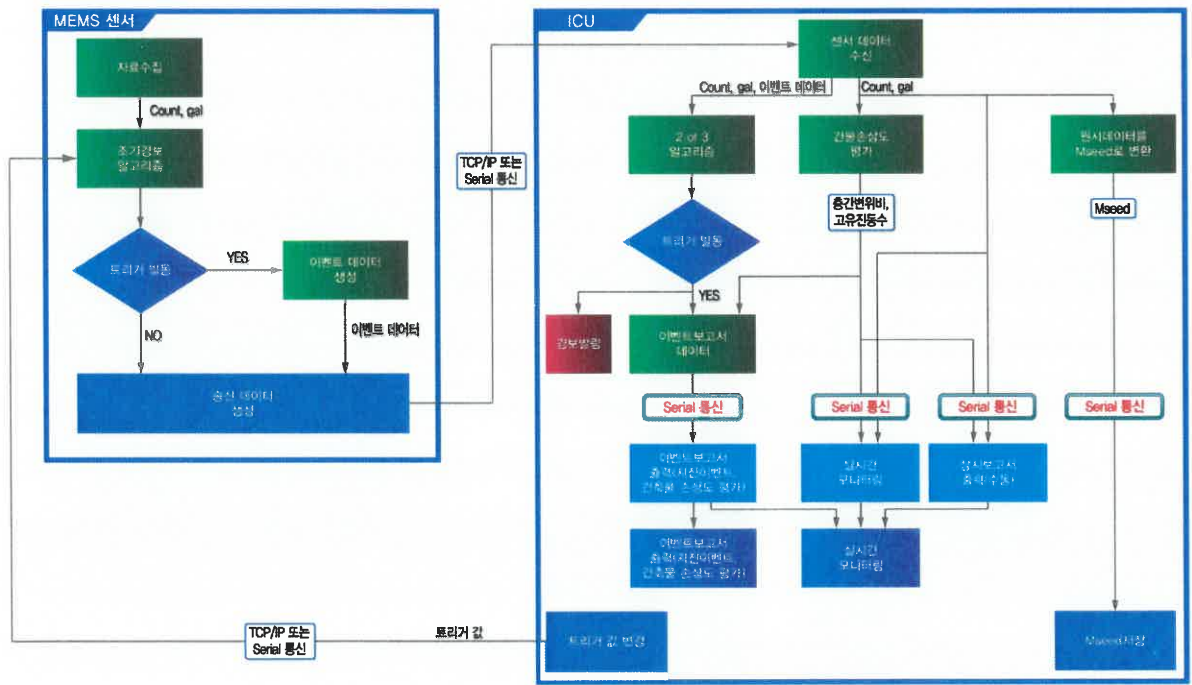
나. 사업화 대상기술 요약

구 분	기존 보유기술 또는 이전받은 기술	사업화 기술
▪ 과제명	지진계 개발 기술	지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 개발
▪ 사업화 기술 및 분야	☒ 자체보유 ☐ (이전 받은 기관명)에서 기술이전	☐ 공공기술 중소기업 이전 및 사업화 ☐ 중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화 ☒ 국토교통 안전기술 사업화 ☐ 서비스 R&D 융합기술 사업화
▪ 사업화 대상이 되는 기술의 지식재산권	(특허번호) 제10-1526098호	(특허번호)
* 특허, 실용신안 등 유형별 기재	(특허명) 지진계	(특허명)
	(권리자) 주식회사 두잇(Doit)	(권리자)
▪ 기존 사업화 과제 신청 전 보유(이전)한 기술과 비교하여 성능 개선 등 차별화한 내용	지진발생 시 지표면과 함께 진동할 수 있는 판스프링형 3축 지진계 개발 기술로 내구성이 우수하고 저렴한 비용으로 제작할 수 있음	지진계 개발 기술을 통해 MEMS형 지진가속도계를 개발하고, P파 지진사전경보 알고리즘을 탑재한 실시간 지진사전경보 기능을 구현하여 저렴하고 실효성있는 솔루션을 공급

(1) 사업화 대상 기술의 개념도



<사업화 개발 장치 모식도>



<개발장치 데이터 흐름도>

(2) 국내외 유사기술과 수준 비교

구 분	해당기술	유사기술	
		행정안전부 ¹⁾	기상청 ²⁾
기반기술	▪ MEMS 반도체를 이용한 가속도센서	▪ 지진계 내부의 진자 운동을 이용한 센서	▪ 지진계 내부의 진자 운동을 이용한 센서
품질	▪ 동적범위 100dB 이하	▪ 동적범위 120dB 이상	▪ 동적범위 130dB 이상
공사비 ³⁾	▪ 40,900천원 (센서 5대, ICU 1대)	▪ 110,400천원 (센서 4대, 기록계 2대)	▪ 58,300천원 (센서 1대, 기록계 1대)
공사기간	▪ 1일~2일	▪ 2주~3주	▪ 2주~3주
설치수량	▪ 총 5개소 (최상층 1개, 중간층 1개, 최하층 3개)	▪ 총 4개소 (최상층 2개, 최하층 1개, 자유장 1개)	▪ 총 1개소 (자유장 1개)
알고리즘	▪ 2개 (P파 지진사전경보 알고리즘, 건축물 손상도 평가 알고리즘)	▪ 0개 (내장 알고리즘 없음)	▪ 0개 (내장 알고리즘 없음) ▪ 기상청 서버에 분석 알고리즘 탑재
현장 적용성	▪ 건축물 내 현장적용 제약없음	▪ 인위적/환경적 노이즈를 고려하여 현장 적용 필요	▪ 자유장에 설치하기 때문에 현장적용 제약이 많음
경보발령	▪ P파 탐지 후 4~5초 이내 경보 발령 ▪ S파 탐지 후 즉시 경보발령	▪ P파 탐지 기능 없음 ▪ S파 탐지 후 즉시 경보발령	▪ 잔양지 인근 다수 관측소 (10개 이상)에서 계측된 데이터를 이용하여 경보발령 (가파에 따라 수초~수십초)

¹⁾ 행정안전부 : 행정안전부 고시 “지진가속도계측기 설치 및 운영기준”에 의거하여 설치

²⁾ 기상청 : 기상청 고시 “지진·지진해일 및 화산활동 관측기관협의회 운영지침”에 의거하여 설치

³⁾ 공사비 : 조달청 공사 원가계산 제비율을 적용하여 공사비 산출

(3) 사업화 대상 기술의 우수성에 대한 상세 설명 및 근거

(가) 국내외 유사기술은 Regional 개념의 지진사전경보 체계 구축 및 개선에 대한 연구가 주를 이루었으나, 본 사업화 과제는 On-site에 적용할 수 있는 P파 지진사전경보 장치를 개발함으로써 Regional 경보의 원론적인 취약 부분을 보완하고 개선할 수 있는 장치

(나) 저비용 MEMS 기반의 가속도 센싱 모듈을 채용하여 저렴한 제작비로 P파 지진사전경보 체계 구축 가능

(다) 유사기술 수준비교

구 분	해당기술	유사기술
기능 및 성능	국산 P파 지진사전경보장치	Regional 지진사전경보시스템
장점 및 단점	· On-Site Warning에 특화된 기술 · 진앙지로부터 100km 이내 지역에서 사전경보에 효과적임 · 단말장치로 개발되기 때문에 바로 사업화가 가능하며, 민간시장에서는 포항지진 이후로 수요가 높음	· Regional Warning에 특화된 기술 · 진앙지로부터 100km 이상 지진에 영향이 적은 지역에 사전경보 효과가 있음 · 국가에서만 운영할 수 있는 시스템이기 때문에 민간에서 적용할 수 없음
경제성 (공사비, 유지관리비, 공사기간 등)	· 공사비(장비포함): 40,900천원/개소 · 유지관리비: 1,500천원/년간 이내 · 공사기간 : 1~2일	· 공사비(장비포함): 58,300천원~110,400천원/개소 · 유지관리비: 10,000천원/년간 · 공사기간 : 2~3주

(라) 유사기술 차별성

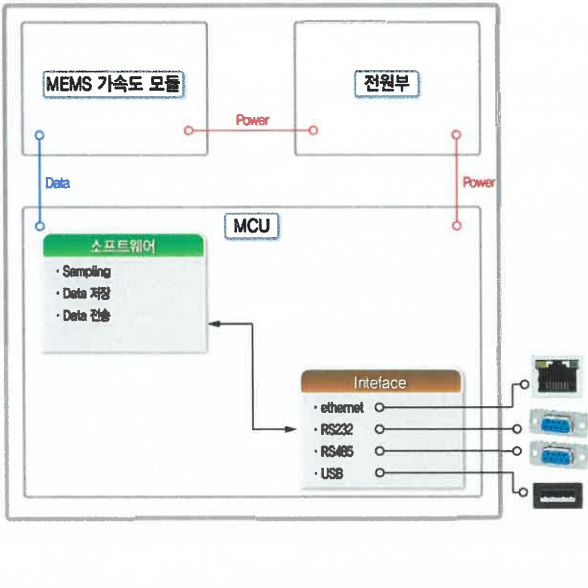
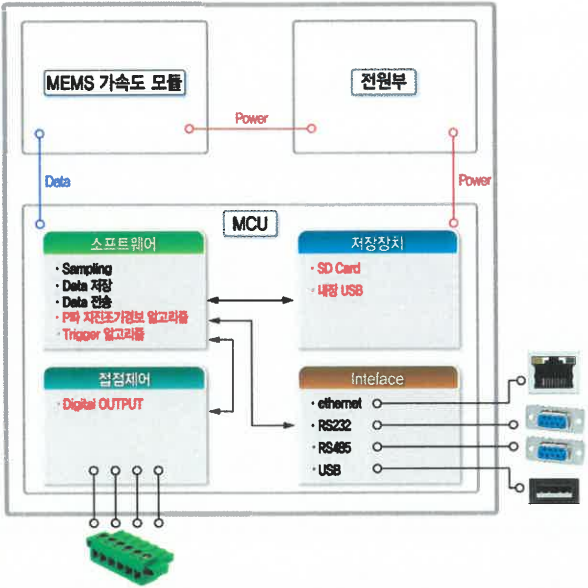
구 분	내 용
유사기술과 차별성	· 건축물에 직접적인 영향을 끼치는 S파의 실시간 감시 알고리즘과 P파 지진사전경보 알고리즘이 탑재된 임베디드형 MEMS 기반의 장치 개발로 유사기술과 차별성 · 지진사전경보와 건축물 손상도 평가의 통합 장치는 유일 · 최근 발생한 지진으로 인해 국가 정책에 부합하는 기술 · 지진 알고리즘의 개선으로 기술 고도화
	· MEMS 기반으로 개발된 장비는 Mechanic 기반의 장비와 가격적인 부분에서 상당한 이점 확보 · 지진 시장의 확대와 민간에서 빠르게 적용 가능한 솔루션으로 개발
	· 경주/포항 지진으로 인해 지진에 의한 국민 불안감으로 증폭으로 시장개척이 수월함 · 빈번하게 지진이 발생하는 지역 주민의 지진 방재 대책 요구 증가 · 적극적인 해외진출 지원 정책 · 경주/포항 지진으로 인해 국내 시장이 더 넓어지고 있음
	· 모방 장치 및 시스템의 납품 우려 (관련 특허 및 인증으로 방어) · MEMS 기술 향상에 따른 추후 성능경쟁 예상

- ① MEMS형 건축물 손상도 평가시스템을 통해 최소한의 비용으로 지진에 대한 사전경보, 실시간 경보, 사후 안전성에 대한 경보까지 병행할 수 있는 저비용, 고효율 시스템임
- ② 임베디드형 MEMS 센서는 국내 공인인증 기관의 인증을 받아 개발 모듈의 신뢰성을 높이고자 함

(마) 품질향상 효과

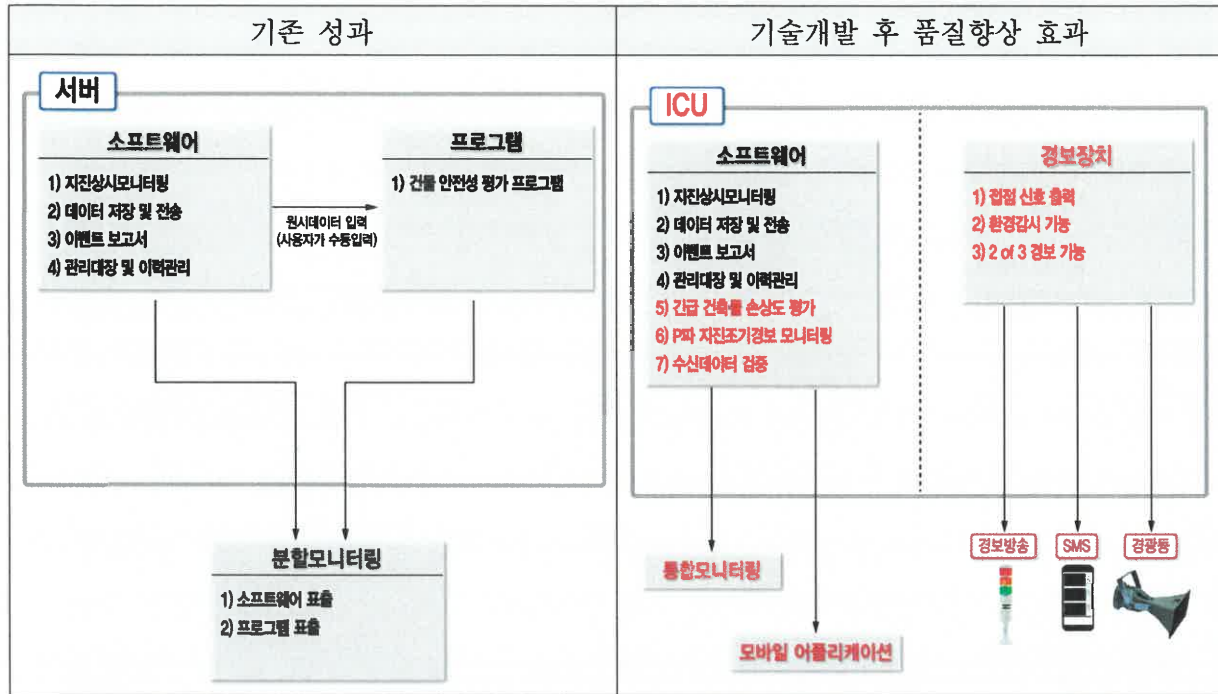
- 본 연구를 통하여 지진사전경보 및 건축물 손상도 평가를 동시에 수행 가능한 시스템으로 개발
- 지진발생 지역으로부터 100km 이내 Shadow Zone)의 기상청 Regional 지진사전경보 발령은 한계가 있음
 - 본 연구를 통해 P파 지진 사전경보 알고리즘 기술 개발을 통해 Shadow Zone의 인명과 재산을 보호
- 지진의 영향으로 인해 건축물이 손상되었는지 여부를 확인할 수 있는 긴급 손상도 평가 기능을 개발하여 추가 인명 피해를 방지

① 기존 MEMS 센서 개량 및 알고리즘 개발

기존 성과	기술개발 후 품질향상 효과
· P파 지진사전경보 알고리즘 미탑재 · Trigger 알고리즘 미탑재 · 접점 신호 출력 불가	· P파 지진사전경보 알고리즘 탑재 · Trigger 알고리즘 탑재 · 접점 신호 출력 가능
	

- 기존 MEMS 가속도 센서에 P파 지진 사전경보 알고리즘, 접점제어 모듈 및 저장장치를 설치
- P파 지진 사전경보 알고리즘을 이용하여 직접적인 피해를 입히는 S파가 도착하기 전에 경보 발령
- Trigger 알고리즘(PGA, Pd, STA/LTA)을 탑재하여 지진발생을 감시하고 경보를 발생 시키는 접점제어 모듈과 연계하여 즉각적인 지진경보발령 시스템으로 개선
- 접점 제어 모듈을 추가하여 타 장비(경광등, 경보방송 등) 및 지진경보/건축물 손상 평가와 연계하여 경보 시스템을 개선
- 기존 MEMS 가속도 센서는 단순 계측과 데이터 전송 기능만 보유하고 있었으나, 본 연구 장비의 알고리즘, 접점제어 및 저장장치 기능을 개선함으로써 지진발생 시 피해가 가장 많은 반경 100km 이내 진앙지 부근의 인명과 재산 피해를 경감할 수 있음

② 시스템 중앙제어를 위한 ICU 및 통합 소프트웨어 개발



- 기존 시스템은 서버 컴퓨터에 소프트웨어와 프로그램을 설치하는 개념으로 구축했으나, 본 연구에서는 ICU 장치를 개발하여 통합 소프트웨어와 경보장치 시스템으로 개선하여 현장 설치 제약과 사용자 인터페이스를 최적화 시킴
- MEMS 가속도 센서로부터 P파 지진사전경보 데이터와 접점신호를 전송받아 통합 모니터링 화면과 모바일 어플리케이션, 기타 경보 장비와 연동할 수 있도록 개선
- 기존 시스템의 건축물 손상도 평가 프로그램은 사용자가 수동으로 원시 데이터를 입력한 후 프로그램을 실행시켜야 그 결과를 알 수 있었으나, 개선 시스템은 지진 또는 자연재해 발생 후 건축물의 손상 여부를 판단할 수 있는 긴급 건축물 손상도 평가 기능을 개선하여 사용자가 별도 조작없이 자동으로 건축물의 안전성을 확인할 수 있음
- 지진사전경보와 건축물 긴급 건축물 손상도 평가를 통합한 모바일 어플리케이션으로 개발
- IT 융합기술을 적용하여 재해로 인한 인명과 재산을 보호할 수 있는 One-Package 경보 시스템으로 구현

(바) 비용절감 효과

행정안전부 “지진가속도계측기 설치 및 운영기준(행정안전부고시 제2017-1호)”의거 설치비용 기준

① 기존 시스템

지출세목	금 액(천원)	산출 근거	비 고
재료비	77,800	· 건축물 최상층, 최하층, 자유장 설치 기준 · 지진기록계 : 16,000천원 × 2대 · 가속도센서 : 4,500천원 × 4대 · 전원장비 : 900천원 × 2식 · 소프트웨어 및 PC : 20,000천원 × 1식 · 기타 자재(케이블, 허브, 함체 등) : 6,000천원 × 1식	
인건비	18,600	· 정보통신공사 표준품셈 일위대가 적용 · 2017년 하반기 시중노임단가 적용	
경 비	6,000	· 조달청 공사원가계산 제비율 적용	
일반관리비, 이윤	8,000	· 조달청 공사원가계산 제비율 적용	
소 계	110,400		

② 개발 시스템

지출세목	금 액(천원)	산출 근거	비 고
재료비	29,900	· 건축물 최상층, 최하층, 자유장 설치 기준 · 가속도센서 : 3,000천원 × 4대 · ICU : 9,500천원 × 1대 · 무정전전원장치 : 900천원 × 1대 · 소프트웨어 : 6,000천원 × 1식 · 기타 자재(케이블, 허브 등) : 1,500천원 × 1식	
인건비	5,000	· 정보통신공사 표준품셈 일위대가 적용 · 2017년 하반기 시중노임단가 적용	
경 비	2,800	· 조달청 공사원가계산 제비율 적용	
일반관리비, 이윤	3,200	· 조달청 공사원가계산 제비율 적용	
소 계	40,900		

③ 구축 비용 비교

- 110,400천원 - 40,900천원 = 69,500천원

- 약 63% 비용 절감 발생

지진·지진해일 및 화산활동 관측기관협의회 운영지침(2017.4.28., 기상청고시 제2017-1호)에 의거 설치 기준

① 기존 시스템 (기상청 국가지진조기경보 관측망)

지출세목	금 액(천원)	산출 근거	비 고
재료비	40,400	· 건축물 또는 자유장 1개소 기준 · 지진기록계 : 23,000천원 × 1대 · 가속도센서 : 8,000천원 × 1대 · 전원장비 : 4,500천원 × 1식 · 무정전전원장치 : 900천원 × 1대 · 기타 자재(케이블, 허브, 함체 등) : 4,000천원 × 1식	
인건비	9,000	· 정보통신공사 표준품셈 일위대가 적용 · 2017년 하반기 시중노임단가 적용	
경 비	4,000	· 조달청 공사원가계산 제비율 적용	
일반관리비, 이윤	4,900	· 조달청 공사원가계산 제비율 적용	
소 계	58,300		

② 개발 시스템

지출세목	금 액(천원)	산출 근거	비 고
재료비	29,900	· 건축물 최상층, 최하층, 자유장 설치 기준 · 가속도센서 : 3,000천원 × 4대 · ICU : 9,500천원 × 1대 · 무정전전원장치 : 900천원 × 1대 · 소프트웨어 : 6,000천원 × 1식 · 기타 자재(케이블, 허브 등) : 1,500천원 × 1식	
인건비	5,000	· 정보통신공사 표준품셈 일위대가 적용 · 2017년 하반기 시중노임단가 적용	
경 비	2,800	· 조달청 공사원가계산 제비율 적용	
일반관리비, 이윤	3,200	· 조달청 공사원가계산 제비율 적용	
소 계	40,900		

③ 구축 비용 비교

- 58,300천원 - 40,900천원 = 17,400천원

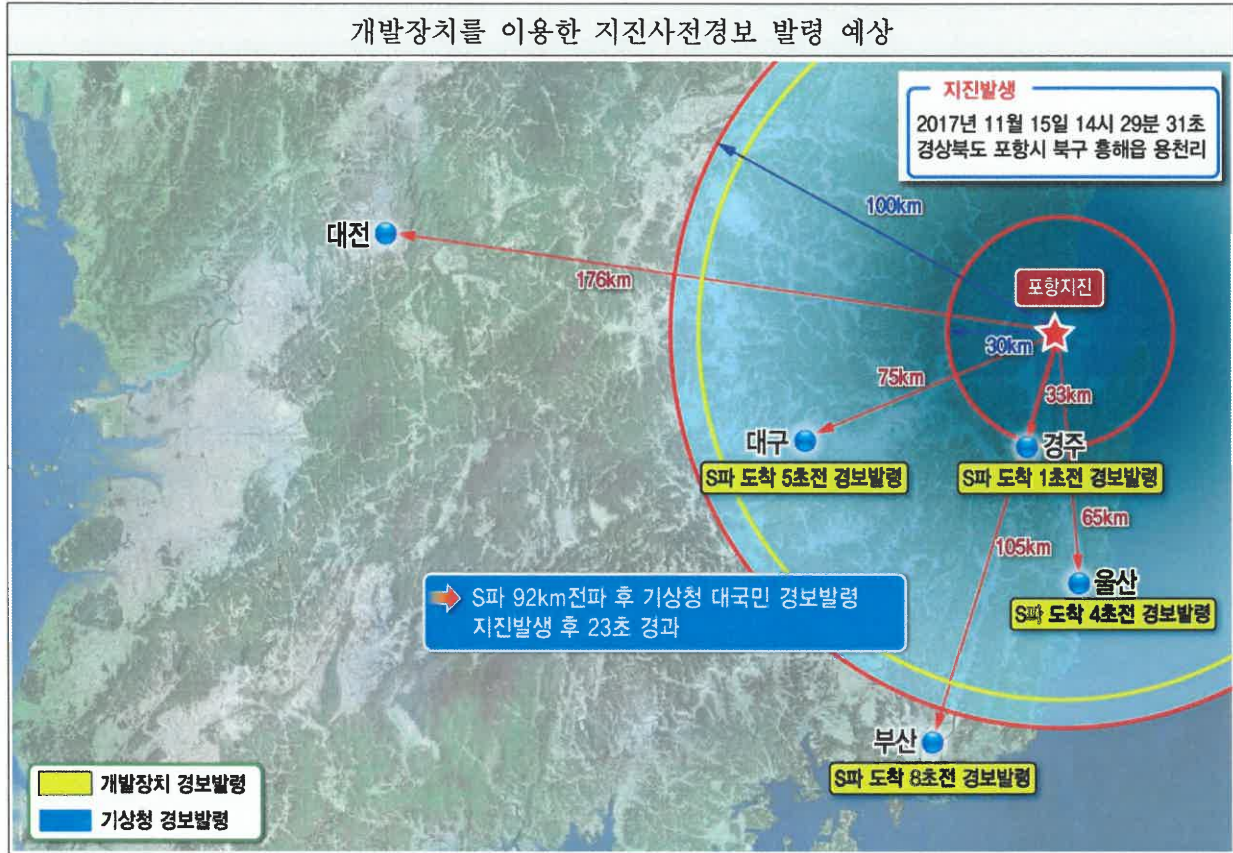
- 약 30% 비용 절감 발생

※ 기존시스템은 가속도센서 1개로 오경보의 대책이 미경여된 구축안으로 실제 On-Site Warning 목적이 아닌 Regional Warning 목적으로 단순 비교가 제한됨

(사) 기술의 독창성

<포항지진 발생 시 사전경보 발령>

① 사전감지 기능 (2017년 11월 15일 14시 29분 31초 규모 5.4 포항지진 발생)



경보발령 지역	진앙지 이격거리	개발장치				기상청	
		P파 도착	경보발령	S파 도착	대피 여유시간 (S파 도착 - 경보발령)	경보발령	대피여유시간 (S파도착-경보발령)
경주	33km	4.7초	7.7초 이내	8.2초	0.5초	23초	-14.8초
울산	65km	9.2초	12.2초 이내	16.2초	4초		-6.8초
대구	75km	10.7초	13.7초 이내	18.7초	5초		-4.3초
부산	105km	15초	18초 이내	26.2초	8.2초		3.2초
대전	176km	25.1초	28.1초 이내	44초	15.9초		21초

※ 지진발생 후 S파 도착시간 기준

- 기상청 시스템은 지진발생 지점 인근 다수 관측소(10개 이상)에서 계측된 데이터를 이용하여 사전경보를 발령하기 때문에 100km 이내 Shadow Zone에서는 P파 지진사전경보 알 고리듬이 탑재된 개발장치가 보다 신속한 경보 발령이 가능함

- 기상청의 Regional 지진사전경보에서 커버할 수 없는 Shadow Zone의 인명과 재산을 보호할 수 있는 독보적인 알고리즘과 기술력 적용
- 개발장치 사전경보 기능을 이용하여 지진발생 사전 대응력 제고와 대피 가능 시간 증대로 인명피해 예방에 기여할 수 있음

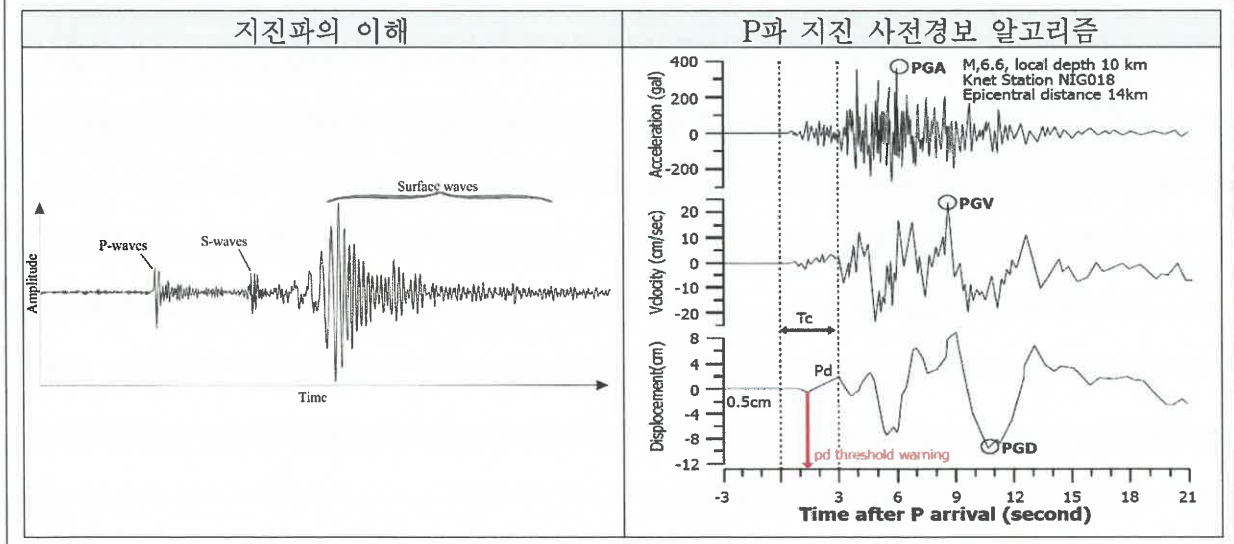
<지진사전경보 장치>

① 개발 장치와 기존 지진계 비교

항 목	지진 사전경보 장치(PEEWD)	기존 지진계
기본기술	· MEMS 기반 - MEMS 반도체를 이용한 가속도 센서	· Force Balance 기반 - 지진계 내부의 진자 운동을 이용한 센서
경보 알고리즘	· P파 지진 사전경보 알고리즘	· 미탐재
적용대상	· 고층빌딩, 병원, 학교, 아파트 등 건축물 어디든 설치 가능 - 건축물 내 설치공간 제약 없음	· 현재 지진재해대책법에 명시된 대상 건축물에 적용 · 설치 공간 제약으로 인해 일부 적용 불가 - 공장 상시노이즈, 기초 타설공간 부족 등
장비 효율성	· 비용 : 저비용으로 구축 가능 - 기존지진계에 비해 약 50% 비용 절감 · 설치기간 : 1일 - 간단한 설치방법 · 설치인원 : 1인 ~ 2인	· 비용 : 설치방법에 따라 금액 변동 소요가 많음 - 케이블 포설, 기초타설에 따라 변동 · 설치기간 : 2주 ~ 3주 - 기초콘크리트 양생 및 부대공사 소요가 많음 · 설치인원 : 3인 ~ 4인

P파 지진 사전경보 알고리즘

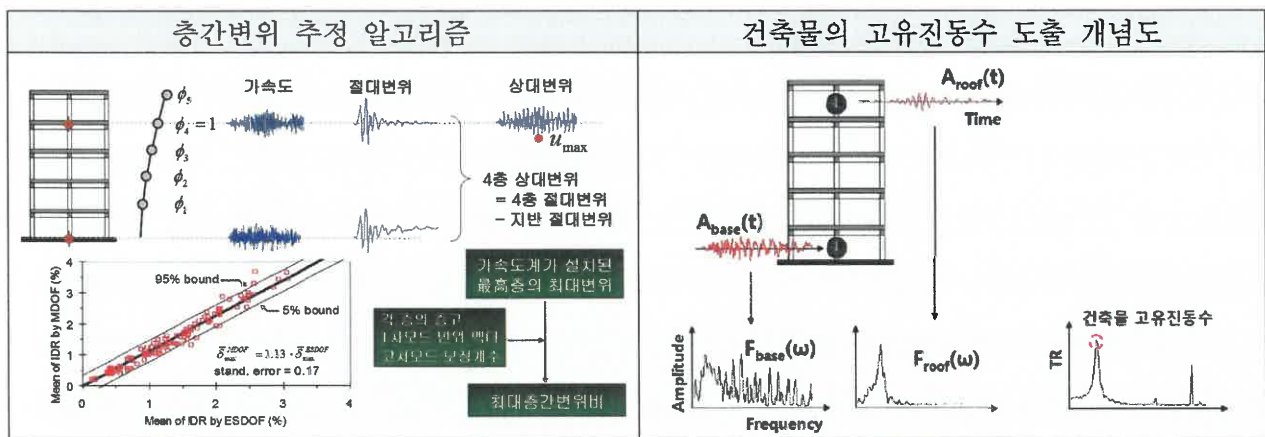
- Trigger 기능을 통해 P파 초동 신호 탐지 시 신속한 지진 경보 기능 구현
- 지진파 중 P파가 S파에 비해 약 1.73배 빠르게 전파되는 특성 이용
- 지진 발생 시 P파의 최단시간 내에 Pd(P-wave Displacement) 도출하여 임계값 이상 계측 시 경보 발령



<긴급 건축물 손상도 평가>

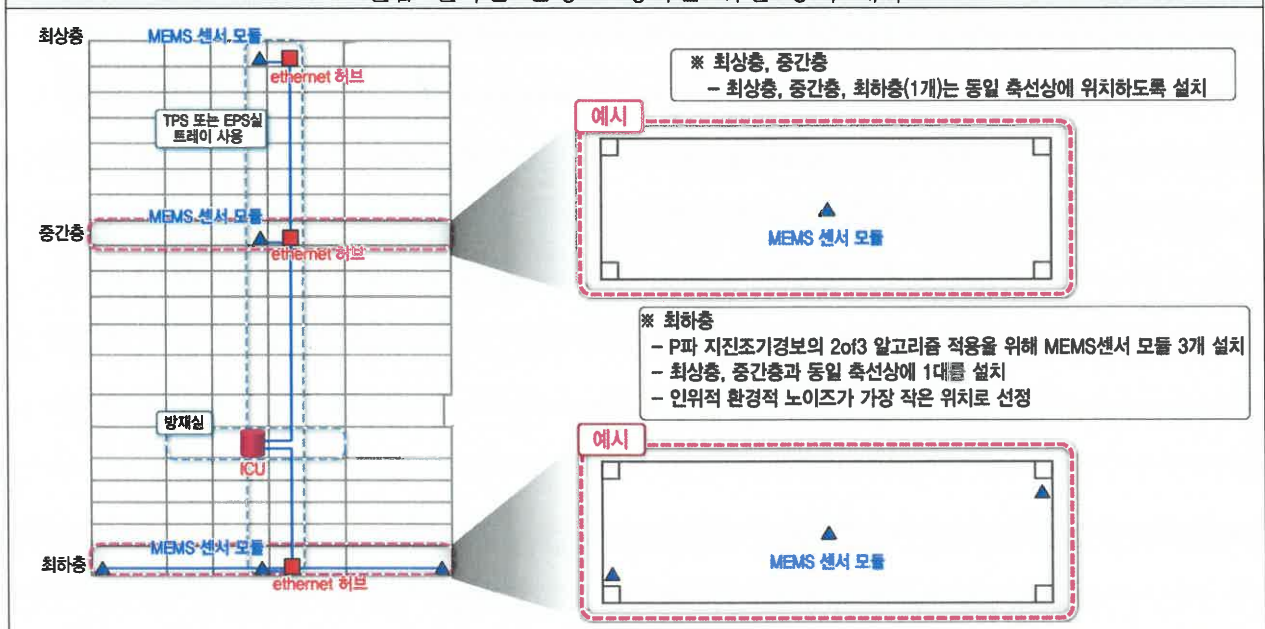
① 최대 층간 변위비에 근거하여 긴급 건축물 손상도 평가 알고리즘 개발

- 가속도계가 설치된 최상층의 상대변위와 건축물의 1차 모드 형상을 이용하여 최대 층간 변위비를 추정
- 층간 변위비는 소방방재청(현 행정안전부) 연구보고서에서 제시한 지진력 저항 시스템과 층간 변위비에 따른 건물의 성능수준을 기준으로 평가하여 평가결과의 신뢰성 향상
- 건축물의 고유진동수 변화에 의한 상시 건축물 건전성 평가 알고리즘 개발
 - 건축물의 최하층, 중간층, 최상층의 가속도계측 값으로부터 전달함수를 구하여 고유진동수를 추정
 - 고유진동수 변화율은 안전한 상태의 평균값에 비해서 손상된 상태 고유진동수 감소율의 관리 기준 (예, 30%)초과 여부로 평가하여 데이터 신뢰성 확보



- 건축물의 모드형상 변화 측정에 의한 구조 손상 부위 예측 기법을 개발하여 안전 정밀진단 소요 도출에 활용

긴급 건축물 손상도 평가를 위한 상시 계측



- 건축물 손상도 평가 기준

- 최대 층간변위비, 고유진동수 변화율, 설계가속도 초과율을 기준으로 평가
- 최대 층간변위비 평가 기준

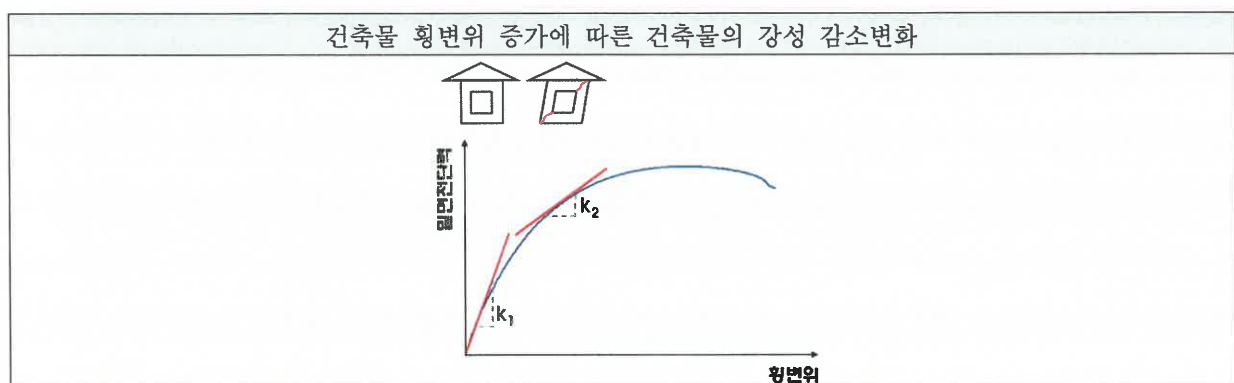
: 소방방재청(현 행정안전부) 연구보고서(2009년)의 지진력 저항 시스템과 층간변위비에 따른 건축물의 성능수준을 통해 층간변위 기반 손상도 분석 기준으로 산정

※ 산식: $\alpha \times \left(\frac{\Delta_{\max}}{H} \right) \times 100$ (α : 모드 보정계수, $\Delta_{\max}$: 최상층 최대변위, H : 최하층 최대가속도)

지진력 저항 시스템	손상도 평가 기준			
	안전 (Operational)	점검필요 (Immediate Occupancy)	심한손상 (Life Safety)	대피 (Collapse Prevention)
철골 모멘트 구조	0.44% 이하	0.7% 이하	2.5% 이하	5.0% 이하
철골 편심 가새 골조	0.31% 이하	0.5% 이하	1.5% 이하	2.0% 이하
철근 콘크리트 골조	0.50% 이하	1.0% 이하	2.0% 이하	4.0% 이하
철근 콘크리트 전단벽	0.25% 이하	0.5% 이하	1.0% 이하	2.0% 이하

- 고유진동수 변화율 평가 기준

- 지진하중과 같은 횡하중에 의하여 건축물의 횡변위가 증가할수록 건축물에 손상이 발생하며 이 때의 강성 (k_2)은 손상이 없는 상태의 강성 (k_1)보다 작아짐
- 지진 발생 후 건축물의 강성이 손상이 없는 상태의 강성의 64% 이하로 감소한 경우는 손상이 없는 상태의 고유진동수가 지진 발생 후 고유진동수의 120% 이상으로 증가한 경우에 해당
- 고유진동수 변화율 안전관리기준은 120% 미만인 경우를 '안전'으로, 120% 이상인 경우를 '점검필요'로 정의하며 이를 평가 기준으로 산정



- 설계가속도 초과율 평가 기준

- 측정된 수평방향의 최대가속도와 설계지반가속도의 비를 이용하며, 측정된 수평방향의 최대가속도가 설계지반가속도보다 작으면 안전으로 평가

- 이상진동으로 인한 건축물 손상도 평가



- 서울 강변 테크노마트에서 2011년 7월 5일 10분간 상하로 흔들리는 이상진동이 발생하여 3일간 퇴거 명령 (피트니스센터에서 발구르는 태보 동작으로 인한 진동으로 판명되었으나, 테크노마트 건축물에 대한 의구심은 여전히 존재함)
- 1995년 삼풍백화점 붕괴 사고는 사전에 건축물의 균열/유감진동 등 붕괴 징후를 확인하였으나 이에 대한 미조치로 인해 발생한 인재 사고
 - 본 개발 장치를 건축물에 설치하여 긴급 건축물 손상도 평가를 수행했을 경우 유감진동 발생 시 즉각적인 조치가 가능했음 (평가를 통해 건축물의 안전정밀진단 소요 도출에 활용)
- 철골 구조물과 콘크리트 구조물 등 테스트 베드 건축물의 계측자료 및 이를 기반으로한 손상도 평가 결과를 이용하여 유형별 데이터를 확보하고 알고리즘의 신뢰도를 향상
- 시스템으로부터 수집된 계측자료는 통계 분석을 통하여 건축물 안전관리기준의 적절성 검증에 활용

<지진사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 모바일 어플리케이션 개발>

- ① 기존 지진계 시장에서 지진사전경보와 건축물 손상도 평가를 모바일 어플리케이션으로 개발한 사례는 전무함
- ② 지진발생 시 Shadow Zone 지역에서 거주하는 사람들의 지진대응이 빨라지고 피해를 최소화 할 수 있음
- ③ P파 지진사전경보 모드
 - 일반적으로 지진이 발생하면 2초만에 지진을 감지하고 5초 후 책상 아래 등 근거리로 대피하며 10초 후 건물 밖으로 뛰쳐 나갈 수 있음 (출처 : 동경대학생산기술연구소)
 - ICU와 연동하여 지진발생 시 모바일을 통해 실시간 지진경보를 제공하면 Shadow Zone 지역의 거주자들도 어느정도 대피할 수 있는 여유 시간을 제공받을 수 있음
- ④ 긴급 건축물 손상도 평가 모드
 - 지진 발생 후 사람들이 거주하고 있는 건축물의 손상 여부를 판단하기 위해 지진발생 직후 모바일을 통해 건축물 손상 여부를 제공받을 수 있음
 - 건축물 손상 정도에 따라 거주자들의 지속 거주가능 여부를 판단할 수 있음

(아) 기술의 활용성

<지진가속도계측기 설치 사업분야>

① 행정안전부 “지진가속도계측기 설치 및 운영기준(행정안전부고시 제2017-1호)”

지진가속도계측기 설치 및 운영기준
제3장 지진가속도계측기 설치대상 시설물 제9조(설치대상 시설물) ① 「지진·화산재해대책법 시행령」 제5조제1호에 해당하는 지진가속도계측기 설치대상 시설물은 다음 각 호와 같다. 1. 건축물 가. 중앙행정기관의 청사 : 「정부청사관리규정」 제3조제2항에 따른 국유청사로 중앙행정기관의 본부가 위치한 곳을 말하며 별표 1과 같다. 나. 지방자치단체의 청사 : 지방자치단체의 본부가 위치하고 해당 지방자치단체가 소유한 청사를 말하며 별표 2와 같다. 다만, 재난안전대책본부 또는 재난상황실이 별도 건물에 설치된 경우에는 특별한 사유가 없으면 그 건물에 지진가속도계측기를 설치해야 한다. 다. 국립대학교 : 「고등교육법」 제2·3조에 따라 고등교육을 실시하기 위해 국가가 설립·경영하거나 국가가 국립대학 법인으로서 설립한 국립학교를 말하며 별표 3과 같다. 라. 높이 200미터 또는 50층 이상 공공건축물

② 행정안전부 “초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법 시행규칙(행정안전부고시 제2호)”

초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법 시행규칙
제1장 총칙 제7조(종합방재실의 설치기준) ① 초고층 건축물 등의 관리주체는 법 제16조제1항에 따라 다음 각 호의 기준에 맞는 종합방재실을 설치·운영하여야 한다. 4. 종합방재실의 설비 등 사. 지진계 및 풍향·풍속계

- 청사, 국립대학교, 초고층 건축물의 지진가속도계측기 설치하도록 법적 규제화
- 본 연구과제의 기술을 적용하여 구축할 경우, 저비용/고효율 지진가속도 계측 시스템이 될 것으로 기대됨 (법제화 뒷받침 필요)

③ 민간 건축물 사업분야

- 소방방재청(현 행정안전부) 시뮬레이션에서 “서울 중구에 규모 6.5의 지진이 발생하면 7,726명 사망, 10만 7,524명 부상, 10만 4,011명 이재민 발생” 결과 발표 (자료: 소방방재청)

지역	건축물수	전파(붕괴)	전파(비붕괴)	반파	인구수	사망자	부상자	이재민
서울	66만9859동	6280동	2만240동	3만7132동	1019만4327명	7394명	9만9243명	9만2782명
인천	22만961동	16동	110동	478동	272만4315명	35명	1367명	1997명
경기	102만3869동	185동	751동	231동	1158만9717명	297명	6914명	9232명
기타지역	516만8243동	0동	0동	0동	2542만5767명	0명	0명	0명
합계	708만2932동	6481동	2만1101동	4만1동	4993만4126명	7726명	10만7524명	10만4011명

- 인구밀집 지역에서 규모 6이상의 지진이 발생할 경우 대량의 인명 피해 발생
 - 본 개발장치를 통해 지진발생 시 사람들이 대피할 수 있는 여유 시간을 제공
- 전국 초·중·고등학교 54%가 지진발생 시 대규모 피해 예상 (교육부 전수 조사 결과)
 - 전국 약 12,000개소, 54% = 약 6,480개소가 대규모 지진피해 예상
 - 학교 건축물의 지진발생으로 인한 손상도 평가와 지진사전경보를 통해 학생들의 생명 보호

④ 개별 건축물의 P와 지진사전경보 장치의 적용

- 건축물의 종류, 시공방법에 따라 지진에 의한 거동이 다르기 때문에 개별 건축물의 상시 진동 계측을 통한 지진경보 및 건축물 손상도 평가 시스템 구축은 방재 개념에서 충분히 현실성이 있음 (기상청은 개별건축물의 피해에 대해 경보하지 않음)
- 민간이나 공공 건축물에서 주거/근무하는 국민들은 지진동에 의해 자신이 현재 위치하고 있는 건축물의 거동과 안전성이 가장 중요하기 때문에 개별 건축물에 본 개발시스템을 적용하여 실질적인 대응을 할 수 있음
- 개별 건축물의 재산가치 대비 본 시스템 구축 비용을 비교한다면, 건물주 입장에서 건축물의 안전성 보장을 위해 적절히 대응 가능하고 지진발생 시 인적/물적 재산을 보호할 수 있다면 충분히 매력트 있는 시스템임

2. 연구수행 내용 및 성과

가. 개요

본 연구 개발은 지진 발생 시 발생하는 탄성과 전달특성을 이용한 P파 감지원리를 이용하여 개발하려는 가속도센서에 P파 검출 알고리즘을 탑재한 임베디드(embedded) 기반 MEMS 형 P파 지진 사전경보 가속도센서 개발을 수행 하였다. P파 지진 사전경보 가속도센서는 지진발생 시 지진신호를 획득하여 지진 신호검출에 필요한 트리거 알고리즘인 STA/LTA, Pd 및 PGA를 적용하여 다양한 트리거 기법의 이벤트를 검출하도록 개발되었으며, 지진신호의 최대 변위(Pd), 최대지반 가속도(PGA) 및 최대지반 속도(PGV) 파라미터 등 지진신호 분석에 있어서 의미 있는 파라미터를 생성할 수 있는 멀티센서 기능의 P파 지진 사전경보 가속도 센싱 모듈 개발을 수행 하였다.

일반적으로 시중에 상용화되는 지진 가속도센서의 경우 감지된 신호의 출력(아날로그 및 디지털 자료)만 전송할 뿐 지진 신호감시를 위한 알고리즘이나 신호처리 등의 모듈은 실장되지 않기 때문에 사실상 사용자가 원하는 자료를 취득하기 위해서는 별도의 프로세서 모듈 및 운영 프로그램이 필요하였다. 이러한 문제점을 개선하자 본 개발에서는 지진 가속도센서에 P파 조기경보 알고리즘 및 다양한 트리거 알고리즘을 탑재하고 사용목적에 맞도록 편의성을 가지는 다양한 기능을 추가하여 독립 운영이 가능하도록 본 연구 개발을 수행하였다.

나. P파 지진 사전경보 가속도센서 개발

(1) 하드웨어 개발 내용 및 요구사항

지진 감지를 계측 목적으로 하는 임베디드 가속도센서를 개발하기 위해서는 측정, 저장, 전송 및 활용에 필요한 여러 요소들의 영향을 반드시 고려하여 시스템 사양을 결정해야 한다. 일반적으로 멀리 떨어진 진원지에서 발생한 지진은 대부분의 고주파수 에너지가 소멸된 체 대체로 5Hz 미만의 저주파수 탄성파로 관찰되기 때문에 현 개발 장비의 측정 주파수의 범위는 저주파 0.01 ~ 50 Hz 이다. 또한, 지진에 대한 정밀한 측정값을 얻기 위해서는 고분해능 아날로그-디지털 변환기가 요구되며, 많은 양의 측정데이터 값을 처리하기 위해서는 고속 연산 및 대량의 신호처리에 특화된 ARM Processor가 필요하다. 또 다른 요구사항으로는 많은 양의 데이터를 처리하여 실시간 모니터링을 할 수 있도록 빠른 통신 속도를 유지할 수 있는 통신 프로토콜을 선정해야 한다. 따라서 지진 가속도 하드웨어 개발에서는 3축 MEMS 지진가속도센서의 성능지표를 설정하고 이에 상응되는 개발품의 성능 및 기능 구현을 하도록 하였다.

[표 2-1] 하드웨어 구성 및 개발 요구사항

구 분	기능
설계 및 구성	· MEMS 가속도계 PCB 설계시 성분간(X,Y,Z) 감도 오차를 최대한 줄일 수 있는 구조로 설계 및 제작 · LCD Display 상태값 표현 - 센서 표출 값(임계값 초과에 따른 intensity 및 gal 값 표출) - 설정 IP 정보 및 시간 정보 · 하우징 케이스(알루미늄 인클로저 IP67 등급 사용) - 벽 부착형 제작 및 센서 방향성 표시 · 전원, 통신 및 센서제어를 위한 입출력 포트 설계 · 다양한 통신프로토콜 적용을 위한 Modbus 설계
성능 및 사양	· 아날로그-디지털 컨버터를 적용한 24bit 이상 분해능 · 가속도 범위 : $\pm 2g$ · 샘플링 주기: 20Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz(선택사용) · 동적범위 : 90 dB 이상 · 성분간 감도오차 : 1 % 미만 · 선형성 오차 : 1 % 미만 · 주파수 범위 : 0.01Hz ~ 50 Hz까지 평활한 주파수 응답특성 · 시각동기화 : NTP 서버 시각 동기화 · LCD 디스플레이 : IP 주소 및 센서 값 표출 · LED 표시 : 전원 및 동작 상태 · offset 기능 : Auto offset (조건 : 동적범위 80 dB 이상 만족) · 저장 : 마이크로SD 저장기능(옵션)
노이즈 저감	· 전원회로의 노이즈 최소화 · Low pass 및 Anti-Aliasing 필터 적용
전원 및 통신	· 전원 및 통신 설계 구조 - 전원 및 통신 커넥터의 경우 PoE 방식으로 적용(DC 48V) · Ethernet 통신(UDP 프로토콜) · 시리얼 통신(RS-232C) 가능
기능	· 독립적 운영이 가능한 기능 설계 구현 · 시간동기화 기능 탑재(NTP 및 RTC 시간동기화 가능) · 점점 릴레이모듈을 이용한 점점출력 제어가 가능하도록 구현 · Power over Ethernet로 하나의 케이블로 전원 및 통신 가능

(2) 펌웨어 요구사항 및 개발내용

펌웨어는 ROM에 상주하며 하드웨어 시스템에 전원이 공급될 때 실행되기 때문에 시스템이 초기화 된 후에도 실행 가능한 상태로 남아 있을 수 있으며, 기본적인 시스템 동작을 지원을 해야 한다. 또한 특정한 시스템에 어떤 펌웨어를 사용할 것인가에 대한 선택은 특정 어플리케이션에 따라 달라질 수 있는데, 펌웨어마다 그 요구 사항은 달라지며, 펌웨어의 주요 목적은 운영체제를 로드하여 부팅하기 위한 안정적인 메커니즘을 제공하는데 있으며, 특정 동작을 위한 인터페이스 역할을 하는 것이다. 따라서 본 연구에서 최종 개발되는 P파 조기경보 가속도센서의 펌웨어는 제품의 적용 목적에 맞는 정확한 동작을 위해 기능이 가능해야함에 따라 네트워크 기반인 지진가속도센서 기능 구현을 위한 아날로그-디지털 변환 Driver, 추출된 데이터의 연산 및 신호처리 로직, 지진신호 처리를 위한 트리거 알고리즘, P파 검출 알고리즘, 데이터 통신 등이 가능해야 한다. 과제수행의 경우 사업화 개발에 초점을 두었기 때문에 사용자의 편의성을 고려하여 다양한 기능을 포함하도록 개발하였다. 아래 최종 개발품의 기능 구현에 대한 사항을 나타내었다.

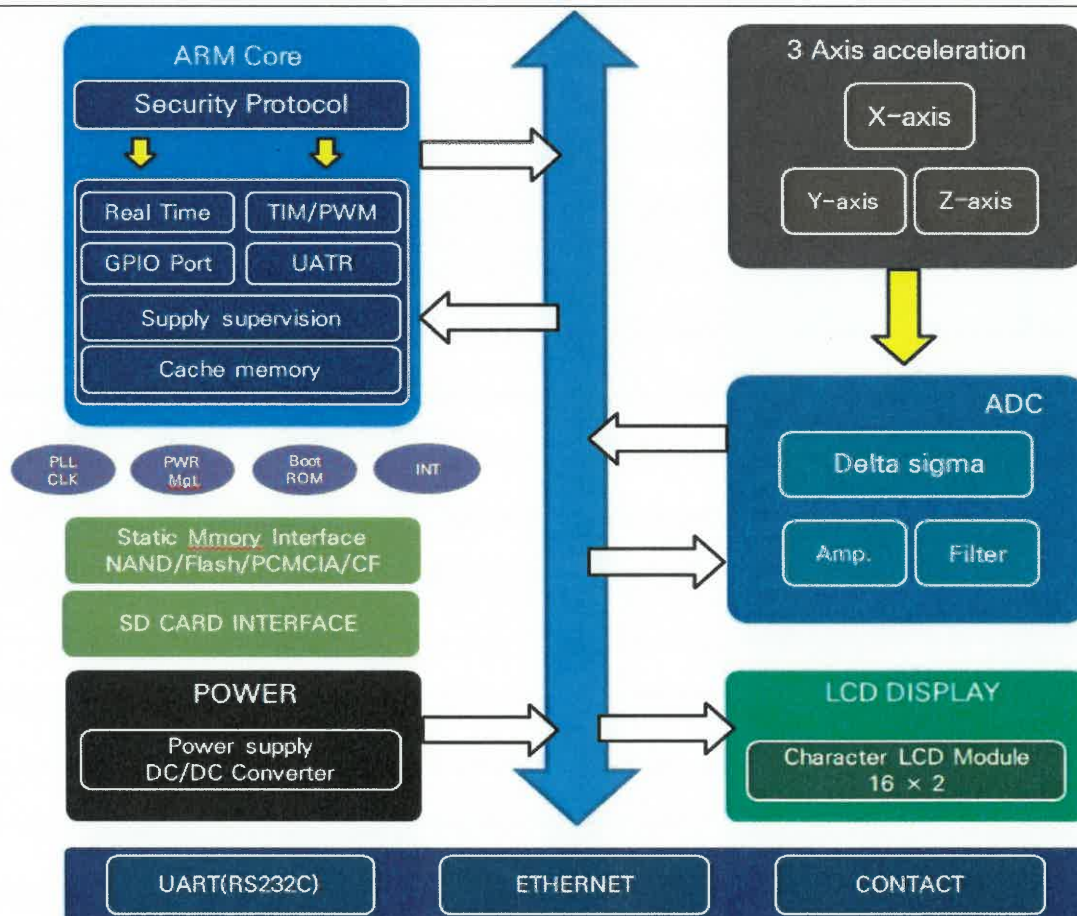
[표 2-2] 펌웨어 구현 및 개발 요구사항

구 분	기능
시스템 운영	· 계측장비(PC)에 연결 가능 (local ip,port로 전송) · 호스트 서버 데이터 전송 가능 - 호스트 서버 IP 적용 시 설정된 호스트 서버로 데이터 전송
통신 인터페이스 및 프로토콜	· Local 단에 계측장비(PC) 없이 개발센서 단독으로 운영 가능 - 설정한 목적지 IP 및 PORT로 데이터 전송 - 원격으로 접속하여 세팅 값을 변경할 수 있어야 함. - IP 주소 + 특정포트를 통한 원격접속 및 환경설정 지원 가능 - 센서는 특정포트를 열어 해당 포트로 환경설정 값 변경 가능 - 계측 정보 (가동 상태)에 확인 가능 - 통신IP설정의 경우, Static 및 DHCP 적용 - 통신은 UDP 및 TCP/IP 프로토콜 적용 - 시리얼 통신 프로토콜 가능
동작 상태 구현	- 계측 주기는 1초 단위 설정하여 구현 - 샘플링 주기는 20, 50, 100, 200 선택적인 사용 - 센서는 각 성분별 샘플 데이터 계측 및 전송 - 외부 NTP서버 시간 동기화 기능 구현

(1) 제품 상위설계

P파 조기경보 알고리즘을 탑재한 지진가속도센서 개발을 위해서는 지진신호 감지를 위한 MEMS 가속도 센서와 필요한 분해능과 변환 속도, 고속신호 처리를 위한 CPU 프로세서의 선정이 시스템의 성능을 판단할 정도로 중요하다.

24 Bit의 분해능과 아날로그 신호처리를 위해 Delta-Sigma ADC가 진동 해석 용도로 적합하기 때문에 다이내믹 레인지가 충분히 넓으며, 미분직선성에도 우수한 특성을 가진 24 bit ADC로 설계하고, 아날로그 신호를 AD 변환기를 통해 디지털 신호로 변환하여 최종적으로 고속신호처리 및 ATRA(실시간 가속기)가 내장된 갖는 ARM Core를 통한 Ethernet 통신 시스템으로 구상하였다. 추가기능으로는 ARM9 Core를 통한 UART를 통한 시리얼 통신 및 이더넷 통신을 지원하여 데이터 처리를 하도록 하며, 시간정보를 위한 NTP 시간동기화 기능 구현을 하도록 하였다. 또한, 사용자의 편의성을 위해 LCD Display 모듈을 장착하여 동작 상태를 실시간으로 확인하고, 접점신호 출력을 통하여 제어기기를 제어하도록 설계하였다.



[그림 2-1] 하드웨어 개발 상위설계 모식도

아래 표에 상위 설계된 P파 사전경보 지진 가속도센서의 기능 및 사양을 나타내었다.

[표 2-3] P파 사전경보 지진 가속도센서의 기능 및 사양

구분	지진가속도센서 기능 및 사양
센서	3 축 MEMS 가속도센서
ADC	24Bit Delta-sigma A/D converter
CPU	ARM Cortex-M4
LCD Display	LCD 모듈(16×2 캐릭터 문자출력)
통신기능	Ethernet and, UART/USB
구동전원	DC 48 V, PoE Connector
시간정보	NTP for time synchronization

(2) 제품 상세설계

(가) 제품 구상

상기 그림에서 보는 바와 같이 3성분 MEMS 가속도 센서 모듈을 이용하여 지진 이벤트 발생시 Amp 및 Ampfilter를 통해 신호를 필터링하고 24bit Delta-sigma A/D Converter를 통해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 ARM과 SPI Interface 통신으로 고속 연산 및 신호처리를 하도록 한다. 또한 ARM은 각각의 주변회로와 SPI 및 232C 통신으로 구성된다. 제품의 전원 및 통신 연결은 PoE(Power over Ethernet)를 통해 동시에 처리되며, UART 및 접점출력이 가능하도록 구상하였다.

(나) 지진 가속도계(Accelerometer) 선정

본 개발품인 P파 조기경보 지진가속도 센서의 경우 적용되는 가속도계는 3축 MEMS형 타입의 센서이다. 적용된 센서는 아날로그 디바이스社의 ADXL354와 SkyMEMS社의 MA1002 가속계이다. 아래에 개발품에 적용된 MEMS형 가속도 센서의 사진 및 사양을 나타내었다. ADXL354 가속도계의 경우 일반적으로 상용화된 가속도계이다. 측정 주파수의 경우 저주파부터 고주파 대역의 측정주파수를 가지며, 측정 범위는 $\pm 2g$ 제품이다. ADXL354 가속도계는 고사양의 제품이 아닌 노멀 제품의 사양을 가지며 가속도계 시장에서 중저가형 모델에 많이 적용되는 제품이다. MA1002 가속도계는 고사양의 가속도계로 측정 주파수는 0.01 ~ 200 Hz이

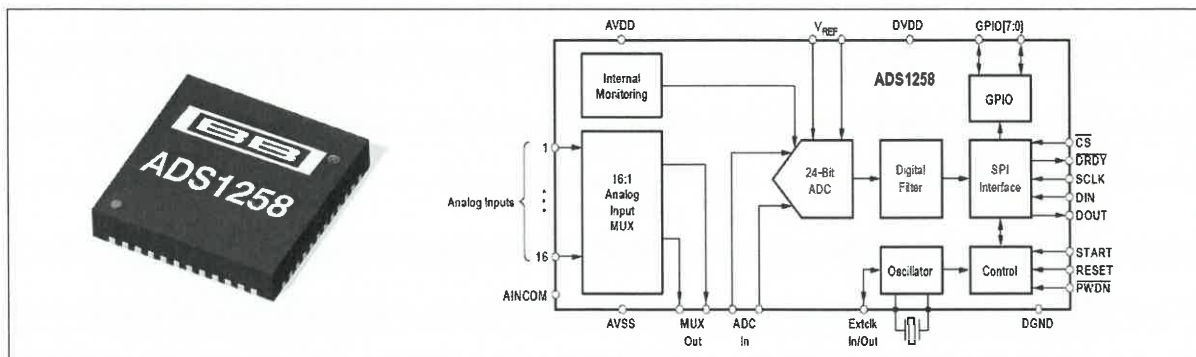
며, 동적범위는 110 dB를 가지는 제품이다. 본 연구에서는 사업화과제로 민간시장에서도 충분히 적용이 가능한 제품을 개발하는 것이 목표임에 따라 중저가형 모델을 적용하도록 하였으며, 개발품의 사양 비교를 위해 MA1002 가속도계도 적용하도록 하였다.

[표 2-4]MEMS 지진 가속도 센서의 기능 및 사양

구분	ADXL354	MA1002
사진		
출력 방식	아날로그	아날로그
성분	3성분	단일성분
측정 주파수	0.075 ~ 1500 Hz	0.01 ~ 200 Hz
측정 범위	± 2 g	± 2 g
민감도	Max 432 mV/g	1800 mV/g
노이즈	20 $\mu\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$	2.5 $\mu\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$
비선형성	0.1 %	0.1 %

(다) 아날로그 디지털 변환기(ADC) 선정

아날로그-디지털 변환기(ADC)를 선정하는데 있어서 중요한 요점은 필요한 분해능과 변환 속도이다. 앞서 검토한 바에 따르면 24 Bit Delta-sigma 형의 ADC가 고속 분해능 및 다이내믹 레인지가 넓으며, 미분직선성 특성이 우수하여 진동 해석 용도로 적합하다. 따라서 본 개발품의 사용 목적인 지진 측정을 할 수 있는 시스템을 구성하기 위해서 아래 그림에서 나타난 바와 같이 24 Bit Delta-sigma 아날로그 변환기인 ADS1258을 선정하였다.



[그림 2-2] ADS1258 외형 및 내부 블록도

(라) DC-DC Converter 선정

아래 표에 나타낸 PS15-48-5는 DC 입력을 받아서 안정적으로 +5V 및 $\pm 15V$ 의 양전원을 만들어 주는 디바이스이다. 센서 및 CPU에 필요한 전압을 공급 할 때 사용되어지며 아래에 PS15-48-5의 특징을 나타내었다.

[표 2-5] 전원공급을 위한 DC-DC 변환기(PS15-48-5)의 외형 및 사양

제품 사진	제품 사양	
	입력	DC 5V, 12V, 24V, 48V
		73% - 83% (Efficiency)
		Remote on/off
	출력	3.3V, 5V, 12V, 15V, $\pm 12V$, $\pm 15V$
		$\pm 2.0\%$ (Single), $\pm 3.0\%$ (Dual)
		1% (Ripple and Noise)
	절연	Input -Output Isolated

(마) LCD 모듈 선정

LCD모듈을 장착하여 지진가속도센서의 계측 값 및 해당 IP주소 등과 같은 계측 정보를 사용자가 보다 쉽게 파악하도록 LCD 모듈을 선정하도록 하였다. 선정된 LCD 모듈의 경우 저 전력 5V 레벨의 RS232와 I2C 접속이 가능하며 별도의 인버터가 필요 없이 LED 백라이트를 기본 내장된 제품이다.

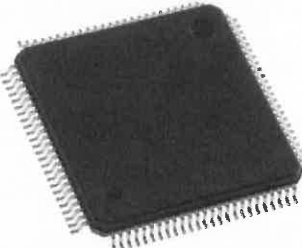
[표 2-6] 선정된 LCD Display 외형 및 사양

제품 사진	제품 사양 및 특성	
	타입	RJ45
	절연저항	$> 500M\Omega$
	접촉저항	$< 1M\Omega$
	정격전류	25A
	와이어사양	2~14 AWG
	직경	8mm~12mm
	사용 온도	$-40^{\circ}C \sim + 80^{\circ}C$
	방수등급	IP67

(바) ARM Core 선정

제품을 개발할 때 가장 중시하는 것이 바로 프로세서를 선택하는 작업일 것이다. 통상적으로 좋은 개발환경 및 좋은 프로세서들은 많은 비용을 요구한다. 그리고 개발하고자 하는 응용 프로그램에 따라서 쓸모없는 기능이 있을 수 있다. 따라서 프로세서의 선택은 제품의 개발 기간 및 비용 그리고 제품의 질을 결정하는 가장 큰 요소가 된다. 본 개발에서는 아래에 나타난 저전력 기반으로 임베디드 시스템에 가장 많이 쓰이고 있는 CORTEX-M4계열의 STM32F407을 선정하였다. 그 이유는 32bit의 RISC프로세서로 내부적으로 32bit 데이터 버스와 32bit 어드레스 버스를 제공 및 210MIPS의 처리 속도를 가지는 저전력 설계가 가능한 프로세서이다.

[표 2-7] ARM Core(STM32F407) 외형 및 사양

제품 사진	제품 사양	
	코어	ARM® 32-bit Cortex®-M4 CPU
	클럭	210, 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1)
	플래쉬	1 Mbyte
	메모리	192+4 Kbytes
	전원	Sleep, Stop and Standby modes
	연결성	3 × I2C interfaces 4 USARTs/2 UARTs 3 SPIs (42 Mbits/s),

(사) 저장 장치 선정

최근 기기들의 소형화, 고용량 등의 기술발전에 따라 개발되는 지진 가속도 센서에서는 자료 저장을 위해 Micro SD 메모리카드 방식을 적용하였다.

[표 2-8] Micro SD Card 커넥터의 외형 및 사양

제품 사진	제품 사양	
	타입	Right Angle
	종류	Micro SD Card
	접근성	HDR 8 POS 1.1mm

(아) 케이스 선정

하우징 케이스 선정에 있어서 먼저 고려해야할 점은 가속도센서 설치환경이 우선시 된다. 일반적으로 가속도센서 설치의 경우 벽부착형, 바닥고정형 등으로 구분되어지며, 설치 환경 조건에 있어서 온도나 습도에 최대한 영향이 받지 않는 제품을 선정해야한다. 따라서 본 연구에서는 개발품의 하우징 케이스는 상기 고려점을 모두 수용할 수 있는 인클로저 IP67등급의 하우징 케이스를 선정하였다.

[표 2-9] IP67 등급의 하우징 케이스 외형 및 사양

제품 사진	제품 사양	
	재질	Aluminium
	특징	RFI 보호 및 EMI offers
	색상	Natural
	NEMA	4, 4X, 6, 6P, 12, 13
	커버덮개	나사를 이용하여 장착
	사이즈	124×80×51 mm
	방수등급	IP67

(자) PoE 커넥터 선정

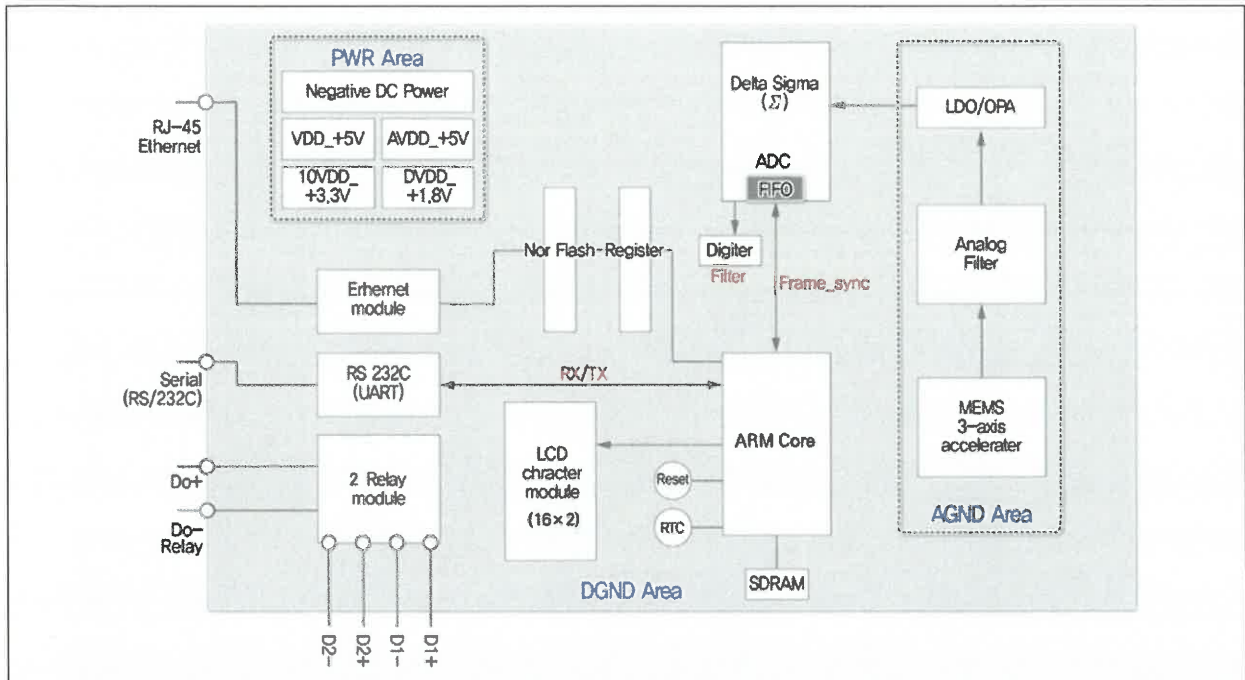
전원공급 및 데이터 송수신을 위하여 적용된 커넥터의 경우 전원과 통신을 동시에 하나의 케이블로 구성할 수 있는 방수방진 등급이 IP67인 PoE(Power over Ethernet) 커넥터를 선정하였다. 그 이유는 제품 설치시 케이블 설치에 대한 용이성 및 열악한 설치환경에도 사용가능한 제품이기 때문이다.

[표 2-10] 선정된 PoE 커넥터 외형 및 사양

제품 사진	제품 사양	
	타입	RJ45, 3Pin, 4Pin
	절연저항	>500M Ω
	접촉저항	<1M Ω
	정격전류	25A
	와이어사양	2~14 AWG
	사용 온도	-40℃ ~ + 80 40℃
	방수등급	IP67

(3) P파 지진 사전정보 가속도센서 회로설계

(가) 회로 설계

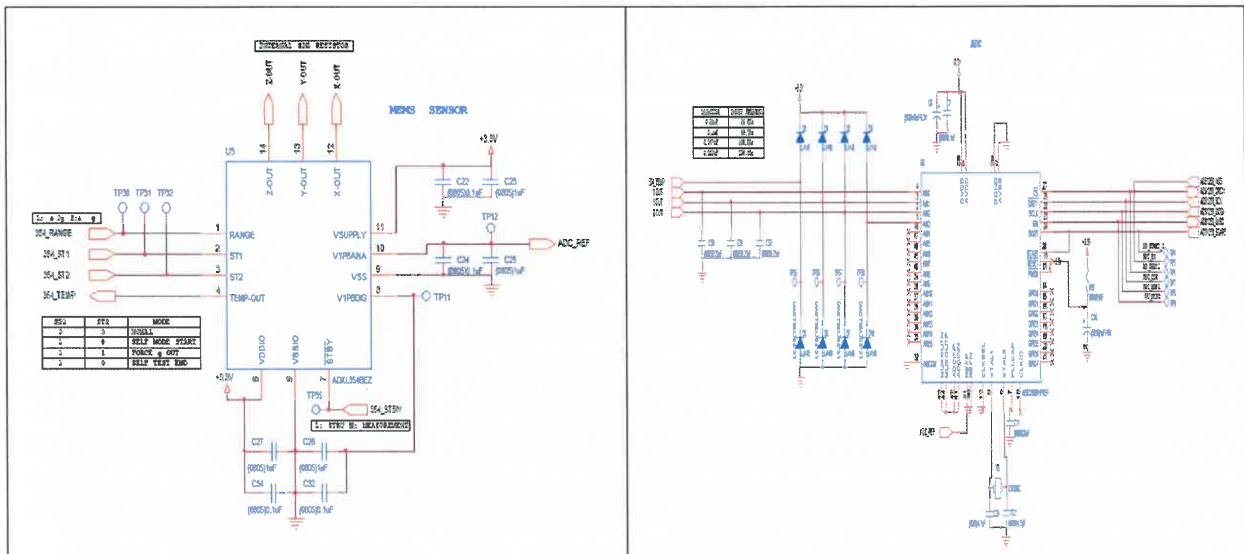


[그림 2-3] P파 지진 사전정보 가속도센서 회로설계 모식도

네트워크 기반의 P파 조기경보 지진가속도 센서 및 주변 부품을 선정하고 Data Sheet 검토가 이루어짐으로써, 상세 설계를 마무리하고 회로 설계를 진행하였다. 그림 3에서 나타난 바와 같이 크게 센서부, 전원부, 신호 입·출력부, 신호 처리부, 통신부로 구성된다. 전원부는 각 모듈에 대한 안정적인 전원 공급이 이루어지도록 설계하였으며, 신호 입·출력부는 3 채널의 아날로그 신호를 MEMS 가속도센서로부터 입력받아 신호 필터링 처리를 하고, ADC를 통해 디지털 신호로 변환되게 설계하였다. ARM와의 인터페이스는 최고 25 Mhz 통신속도를 가지는 SPI(serial peripherals interface) 통신 방식을 채택하여 처리되도록 구성하였다. 신호 처리부는 샘플링 데이터를 각종 알고리즘에 의해 연산 및 신호처리 과정을 수행하여 데이터를 추출하고 추출된 데이터를 저장 관리 및 통신부로 전송시키는 역할을 한다. 통신부는 네트워크 기술인 이더넷 통신, 범용 비동기 송수신기인 UART(universal asynchronous receiver transmitter)통신 모듈로 구성되며 통신과 전원은 PoE를 적용하여 동시에 적용이 가능하도록 설계하였다. 회로 설계가 끝나는 동시에 선정한 부품의 Data sheet를 참조하여 선정한 부품으로 회로도도를 작성하는 작업을 진행하였다. 본 개발에서는 아날로그 신호처리를 해야 함에 따라 내부 및 외부 노이즈에 영향을 최소화하도록 아날로그 필터 및 앨리어싱 필터를 적용하여 회로설계를 진행하였다.

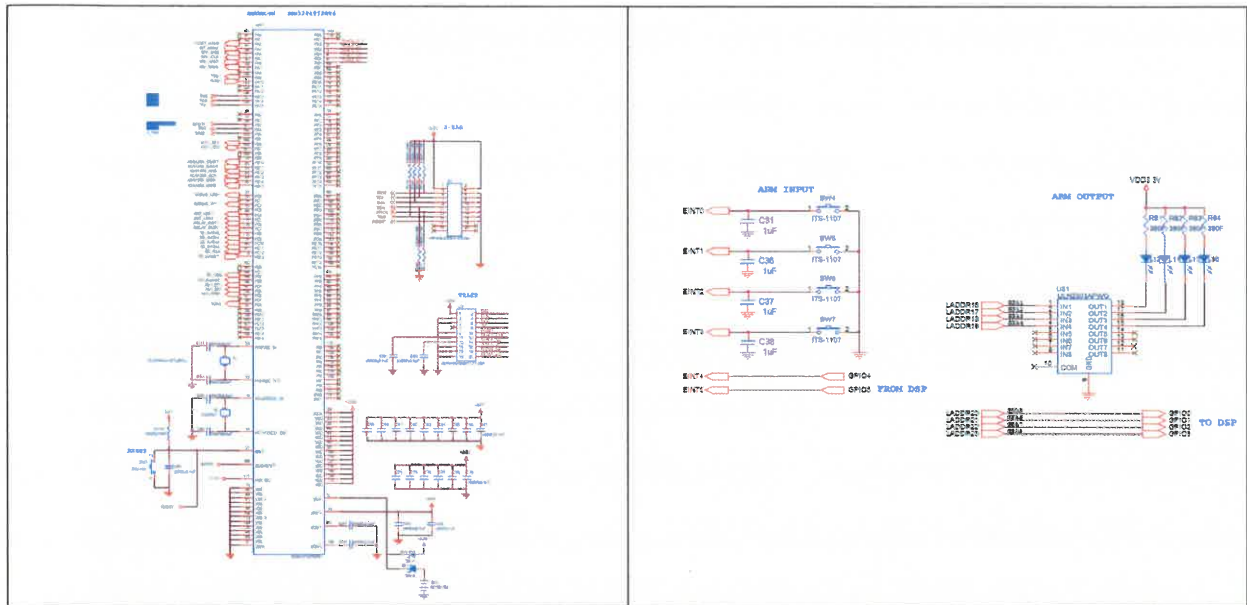
(나) 회로도 작성

P파 지진 사전경보 가속도 센서의 설계를 위한 개발환경은 Orcad 10.5로 설계가 이루어졌다. 아래 그림에 좌측에 나타난 회로는 나타나 낸 회로는 P파 지진 사전경보 가속도 센서의 핵심부품인 MEMS 가속도계의 회로도이다. 본 개발에서는 아날로그 출력을 가지는 가속도계를 적용하였기 때문에 이에 따른 아날로그 노이즈 필터를 적용하여 입력신호의 일그러짐과 손실을 '0'에 가깝게 하였다. 또한 아날로그 신호입력부와 전기적인 노이즈의 발생원인 CPU 및 전원단을 하드웨어적으로 분리하여 노이즈 및 절연을 위한 Isolation을 적용하였다. 아래 그림 우측에 나타난 그림은 센서 아날로그 신호인 3 채널의 입력단으로부터 검출신호를 입력 받은 후 디지털 신호로 변환시켜주는 AD변환기 회로도이다. 아날로그-디지털 변환 이후 CPU와 SPI 인터페이스 방식으로 통신하는 적용회로를 포함하고 있다.



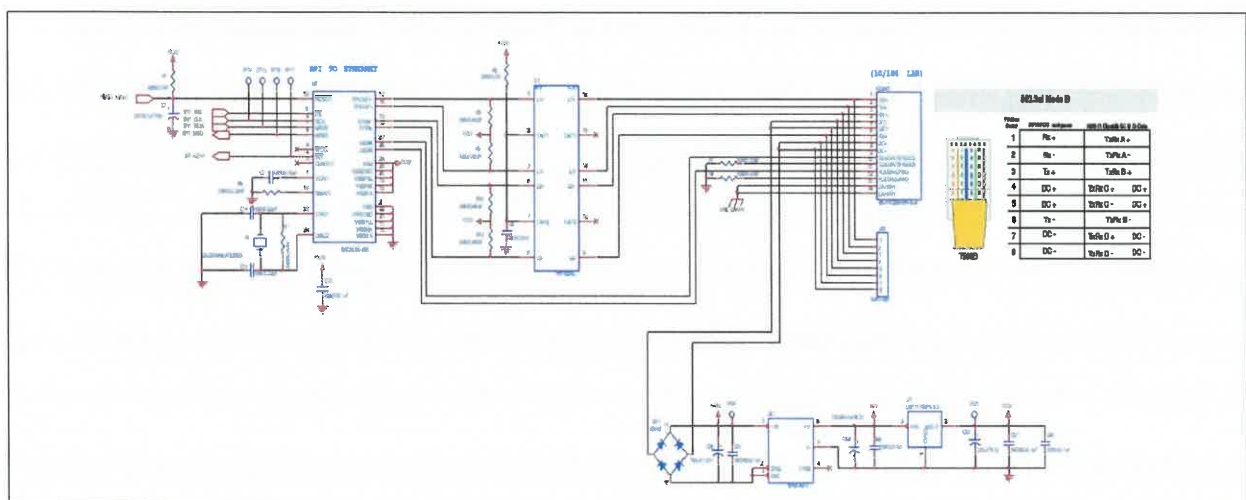
[그림 2-4] P파 지진 사전경보 가속도센서 입력부 및 아날로그-디지털 변환부 회로도

아래의 좌측의 설계 회로도는 CPU STM32F407의 Pin Header와 주변회로를 나타낸다. AD C와 SPI 통신을 위한 Master와 Slave Port 및 I2C Post를 연결하여 ARM 과의 데이터 통신의 목적을 가진다. ARM의 회로의 경우 다양한 입출력 포트인 GPIO핀 정보와 여러 장치의 통신(SPI, CAN)회로를 위한 정확한 설계 및 펌웨어 업로드 등을 위한 J-TAC 회로를 구성해야 해야 한다. 아래 우측 그림은 이더넷 통신을 하기위한 Port 구성을 나타내며, ARM 정상 동작을 하드웨어적으로 확인하기 위한 LED 구성을 상기 그림에 나타내었다. 주요 목적은 측정 데이터 신호 전송과 ARM 인터페이스이다. ARM은 SPI&I2C로 연결되어 상호 데이터 통신을 한다.



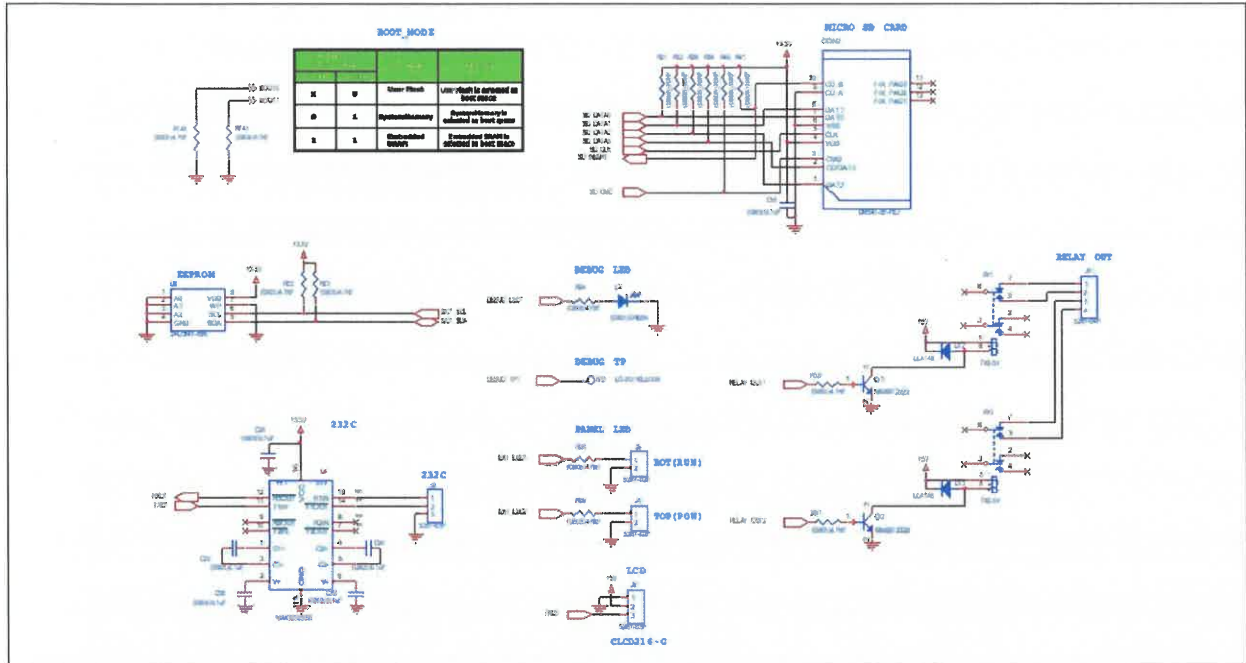
[그림 2-5] P파 지진 사전경보 가속도센서 신호처리부 및 통신 인터페이스 회로도

아래 P와 지진 사전경보 지진가속도 센서의 전원 및 통신부의 회로도를 나타내었다. 전원의 경우 입력전압 DC 48V를 공급받아 DC/DC 변환기를 통해 실장된 모든 전자부품의 필요 전압으로 변환하는 회로이며, 통신의 경우 10/100 Base 트랜스포머를 적용하여 이더넷 통신을 지원할 수 있는 회로 설계도를 나타낸다. 또한 이더넷 통신도 SPI 통신으로 제어되도록 설계되었다. 본 개발품의 설계는 PoE(Power over Ethernet)기술을 적용하여 상세설계를 하였기 때문에 전원과 통신을 하나의 R-45 젠더를 이용한다. 이에 따라 회로도에 해당 Pin정보를 나타내었다.



[그림 2-6] P파 지진 사전경보 가속도센서 전원 및 통신부 회로도

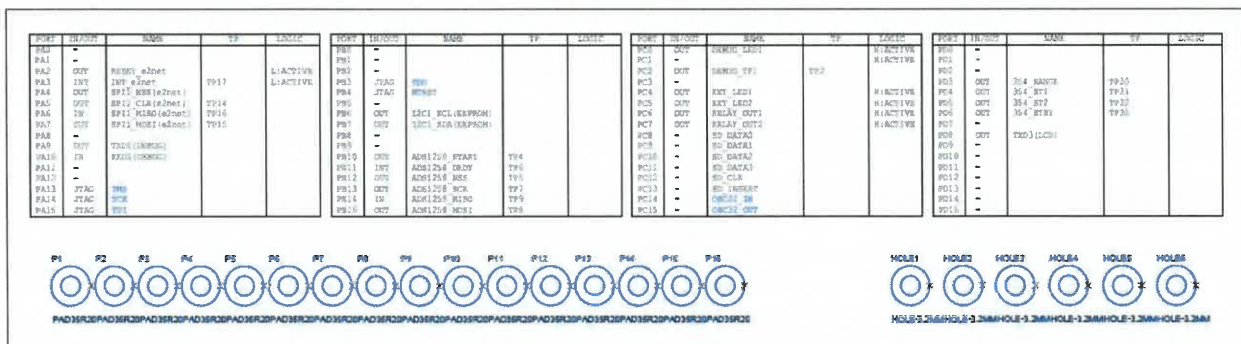
시리얼 통신을 위한 RS-232C, 제어상태 표시를 위한 LED, 점점제어를 위한 RELAY, 저장 기능을 위한 SD CARD 및 EEPROM의 회로도 아래 그림에 나타내었다.



[그림 2-7] P파 지진 사전정보 가속도센서 기능부 회로도(LED, RELAYM, SD Card)

(4) 제어보드에 대한 홀 가공 및 핀 배열 설계

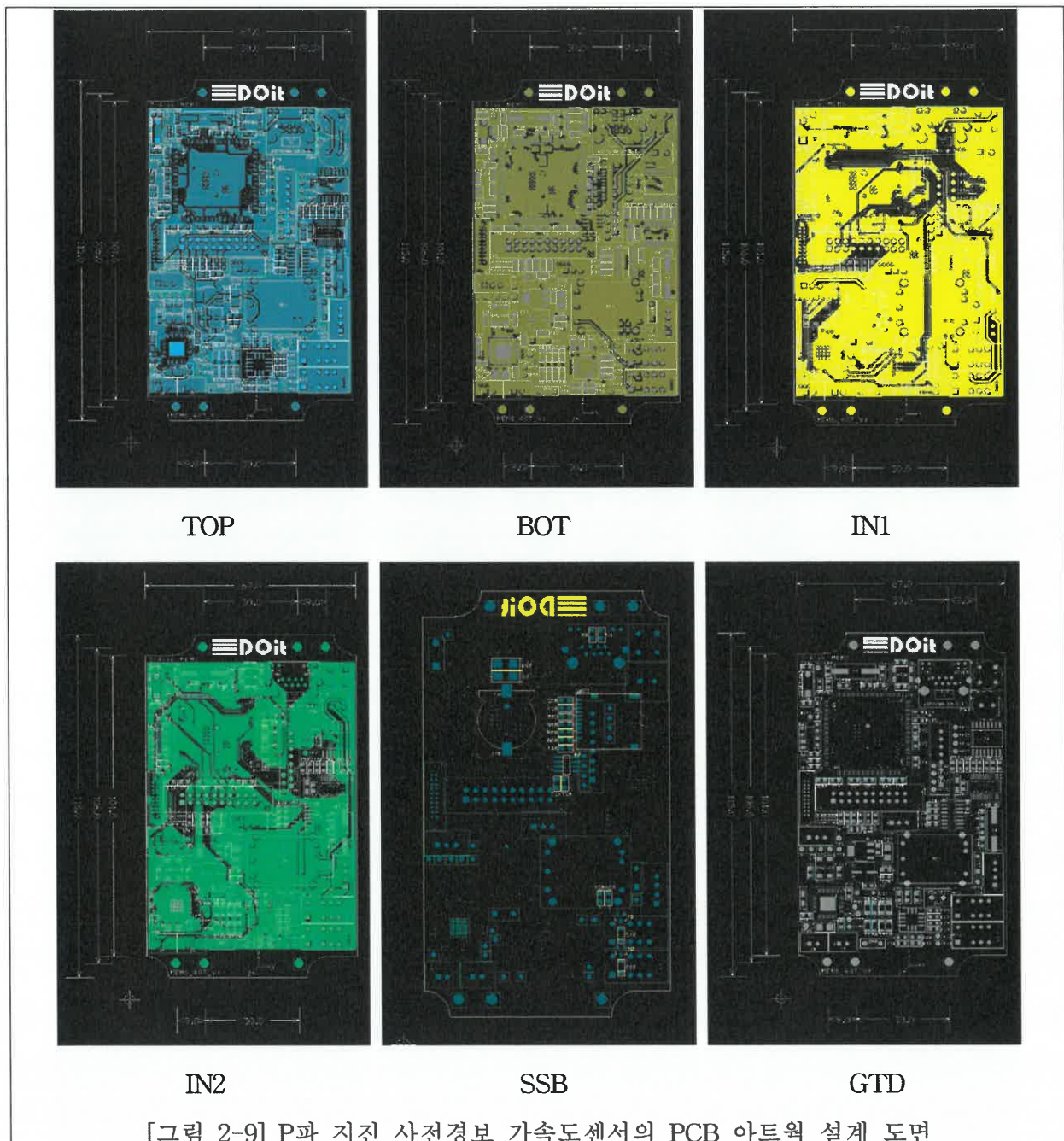
설계한 P파 지진 사전정보 가속도센서의 회로에 대한 보드 형상에 대한 설계를 실시하였다. MEMS 가속도센서 및 CPU 등 적용된 부품의 입출력 단자에 대한 PIN 정보를 확인한 후 회로상에 설계 반영하였으며, 제어보드의 홀 가공을 3.2mm로 설계하여 선택한 케이스에 정확하게 일치하도록 반영하였다.



[그림 2-8] 제어 보드의 홀 가공 및 핀 배열 설계도

(5) P파 지진 사전경보 가속도센서 PCB 설계(Artwork lay-out)

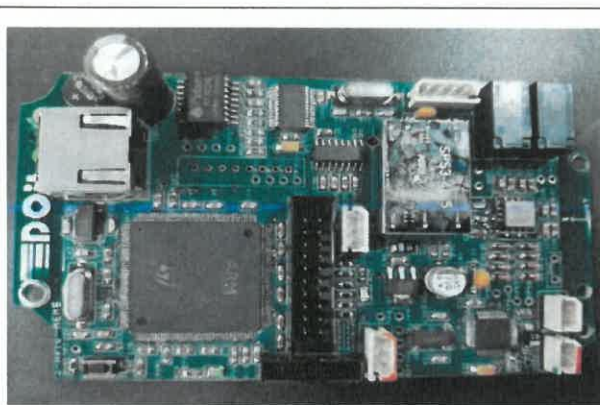
P파 조기경보 가속도센서의 PCB 설계를 위해서 아트웍 작업을 수행하였다. 아트웍 작업 환경은 OR CAD 10.5이며, P파 조기경보 가속도센서 회로도 설계단의 Capture에서 만든 Net list 파일을 이용하여 부품의 풋프린트를 배치하고 배선을 한 후, 후처리(Post processing)를 거쳐 거버 데이터(Gerber Data)를 생성하였다. 각 레이어의 회로정보(패드와 패턴), Solder Mask, Silk Screen, NC Drill, Drill Draw 및 Solder Paste정보를 통한 작업을 진행하였으며, 아래 그림에 작업한 결과물을 나타내었다.



(6) P파 지진 사전경보 가속도센서 제작

(가) 제어보드 및 모듈 준비

ARTWORK 작업 완료 후 PCB 제작 및 부품 조립 단계이다. PCB 공정 및 SMD 부품 실장의 경우 외주업체에서 SMT(표면실장기술) 작업공정을 거친 후 입고된다. 아래 그림에 조립에 사용된 Board를 나타내었으며, 지진가속도센서 하우징을 위한 케이스 및 커넥터를 나타내었다. 조립에 사용되는 PCB 기판 Layer는 다층인 5층 구조로 되어있으며, Board 분할은 메인 보드와 LCD 보드로 2개로 나눌 수 있다.



(a) 알루미늄 인클로저 케이스



(b) PoE 방수 커넥터

[그림 2-10] P파 지진 사전경보 가속도센서 제어보드 및 LCD 모듈

P파 조기경보 가속도센서의 경우 방수 및 방진을 위해 IP67 인증제품인 인클로저 하우징 케이스 및 PoE 방수 커넥터를 적용하였다.



(a) 알루미늄 인클로저 케이스

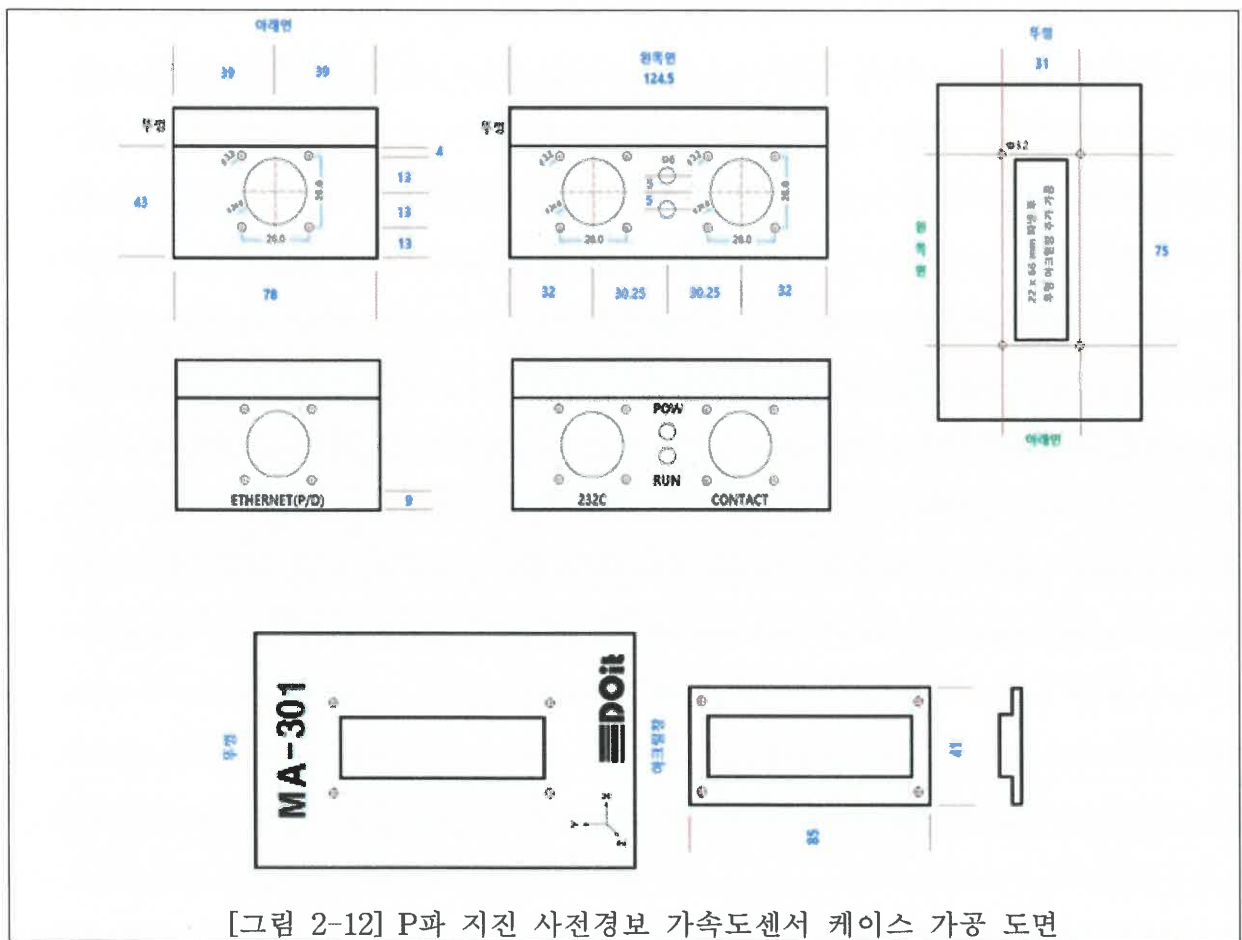


(b) PoE 방수 커넥터

[그림 2-11] P파 지진 사전경보 가속도센서 케이스 및 PoE 방수 커넥터

(나) 케이스 가공

P파 조기경보 지진가속도 센서의 케이스를 위해서 선정된 케이스는 알루미늄재질의 인클로저 케이스이다. 알루미늄 인클로저 케이스의 장점의 경우 내구성이 우수하며, 사용자의 가공의 편의성을 가진다. 특히 본 개발에서 선택한 인클로저 케이스의 가장 큰 장점은 방수/방진인증 IP67등급을 제품으로 케이스 내부로 먼지, 물 등이 침투가 되지 않는다는 것이다. 케이스 가공을 위해서는 먼저 케이스에 실장되는 커넥터, LED홀더 및 LCD 모듈의 홀 가공 사이즈와, 적용되는 부품의 배치를 우선적으로 고려해야 한다. 아래 그림에 본 개발에서 사용될 케이스의 가공 도면을 나타내었다.



[그림 2-12] P파 지진 사전경보 가속도센서 케이스 가공 도면

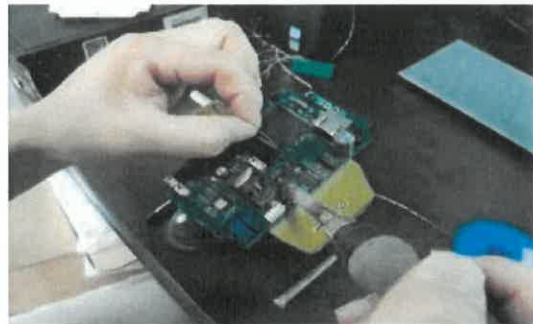
(다) 지진가속도센서 물품준비 및 제작

가속도 센서 제작을 위한 적용되는 부품 및 케이스 가공 등 준비완료 후 제작을 진행하였다. 먼저 PCB기반에 SMD부품 이외 소자는 수작업으로 납땜공정을 통해 조립을 실시한다. 그 후 커넥터의 해당 핀에 맞는 신호선을 연결한 후 커넥터를 케이스에 조립하여 고정하도록 한다. LCD 보드의 경우 인클로저 케이스 상면에 부착되어야하기 때문에 각 홀에 맞는 나사

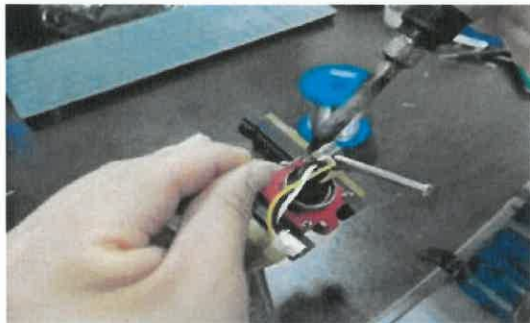
를 이용하여 고정하도록 한다. 마지막으로 메인보드를 케이스에 삽입 후 나사를 이용하여 고정한다. 여기서 고려해야할 점은 PCB기판이 정확한 수평을 유지하도록 수평계를 이용하여 수평을 맞추도록 해야 한다. 아래 그림에 가속도 센서의 제작 공정을 나타내었다.



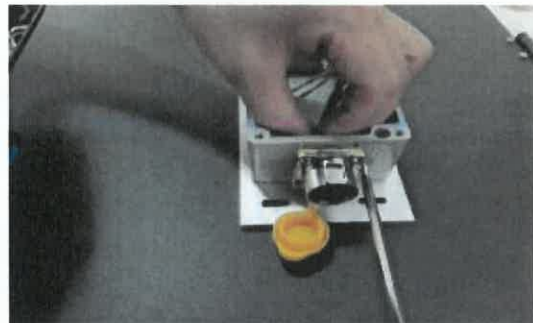
하우징 케이스 도장 및 홀 가공



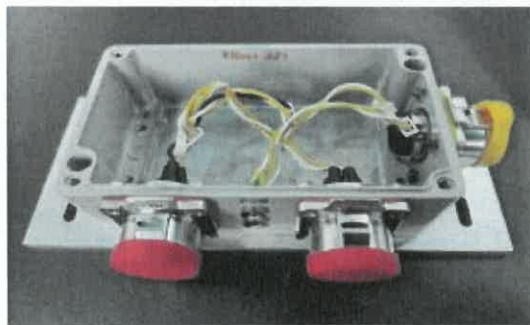
부품 조립



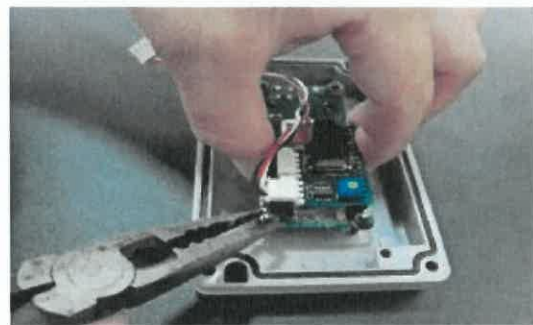
커넥터 케이블 연결



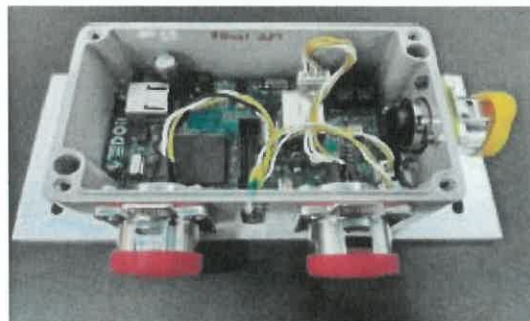
커넥터 삽입



커넥터 고정



LCD 보드 실장 및 고정



메인보드 실장 및 고정



조립 완료

[그림 2-13] P파 지진 사전경보 가속도센서 제작 과정

(7) 시간동기화 기능 연구

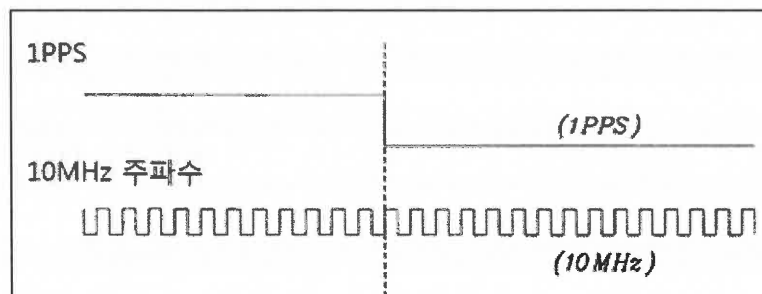
(가) 개요

지진 발생 여부 및 지진 발생 위치를 파악하기 위해서는 지진 발생이 예측되는 지역에 다수의 지진 계측장치를 설치하여 주변의 진동을 측정한 후 다수의 지진 계측장치로부터 측정 및 수신된 진동 신호를 분석함으로써 지진 발생 유무를 파악하게 된다. 이때 정확한 지진 발생 여부 및 지진 발생 위치를 분석하기 위해 모든 계측 장치의 측정 시간을 동기화시키는 것이 중요하다. 만약, 계측된 여러 지진가속도계의 시간이 다르다면 데이터분석에 있어서 정확도가 떨어지며 장애 및 오 경보를 유발할 수 있다. 이 같은 이유로 정확도가 높은 지진 조기경보 가속도계 개발을 위해서는 시간동기화 기술은 반드시 접목되어야 한다.

시간동기화의 종류는 다양한 분야에서 활용도가 높은 시간동기화 적용 기술로 GPS(Global Positioning System), NTP(Network Time Protocol), RTC(Real-Time clock), 시리얼 통신방식의 시간동기화 등이 있다.

① GPS (Global Positioning System)

GPS 기반의 시간동기화 기술은 최근 GPS 위성기술의 발달로 인하여 매우 정확한 시간정보를 표현할 수 있기 때문에 선박, 항공 및 계측 등 여러 분야에서 많이 활용되고 있다. GPS 기반의 시간동기화는 위성에 내장된 원자시계와 동기 기준으로 GPS 위성으로부터 수신되는 1PPS와 GPS 수신모듈 내부의 정밀시각발진회로에서 출력되는 소정의 주파수를 대상기기의 클럭과 정확히 동기화하여 출력되도록 하여 시간동기를 맞추게 된다. 예를 들어 10MHz의 클럭을 발생하는 CPU가 있다고 가정하면 클럭에서 발생하는 10 MHz의 주파수 타이밍과 1 PPS의 시간 기준의 타이밍을 이용하여 아래 그림에서와 같이 시작점을 동일하게 가져간다는 것을 의미한다.

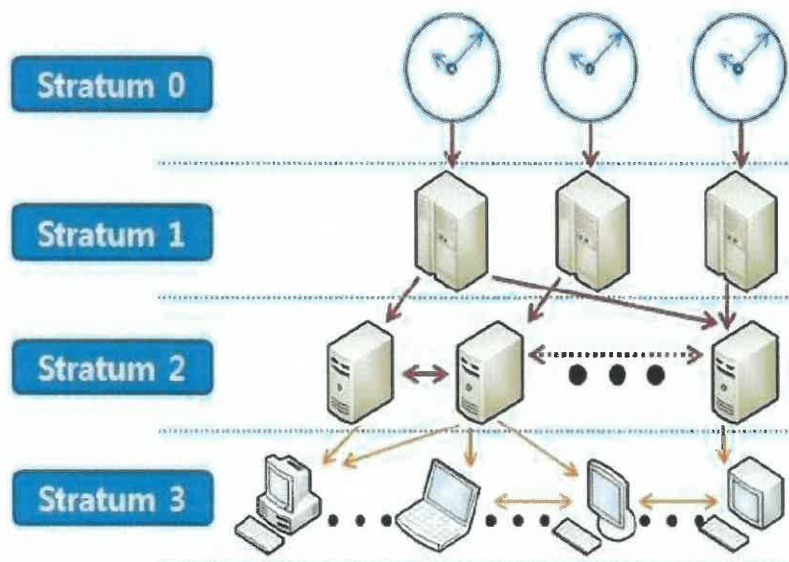


[그림 2-14] 1PPS 시간기준 및 내부클럭 10Mhz 출력 타이밍

일반적으로 1PPS(초당 펄스)신호는 GPS 모듈(수신기)의 출력신호로부터 유도되며, GPS 입력을 판독하여 절대 시간 및 날짜를 업데이트하고, 내부 시간 기준을 동기화한다. GPS 시간동기화의 경우 1PPS 펄스를 이용하여 십억분의 1초 즉, 나노 초(nsec) 정도의 정확성을 가질 수 있는 장점이 있으나, 수신 안테나가 외부로 노출되어 전파의 방해를 받지 않아야하며, 수신모듈 및 수신안테나를 적용해야 함에 따라 별도의 비용이 발생한다는 단점을 가진다.

② NTP (Network Time Protocol)

NTP 시간동기화 기술은 인터넷상의 시간을 정확하게 유지시키기 위한 통신망 시간 규약으로 가변 대역폭 네트워크를 사용하여 클라이언트단의 운영기기 시간을 최상위 동기 클럭원(Master clock)에 동기화하기 위한 네트워크 프로토콜 기술이다. 아래 그림에서와 같이 NTP 프로토콜은 Stratum 0부터 3의 4개의 층으로 구분 되는데, Stratum 0은 원자시계나 GPS 시계 등의 장치들로 구성되어, Stratum1의 타임 서버에 시간을 제공하게 된다. Stratum 2는 1의 타임 서버로 시간을 요청하여 Stratum 3의 요청에 응답하기 위한 시간을 유지하게 되고, 마지막으로 사용자층에 해당하는 Stratum 3은 이를 사용하여 시간을 동기화하게 된다.



[그림 2-15] NTP 프로토콜 Stratum 계층 구조

NTP 프로토콜은 실행되는 클라이언트와 서버 모두 둘에 해당되며 NTP 클라이언트는 타임 서버에 정확한 현재 시간 교환을 요청한다. 이를 통해 클라이언트는 서버의 시간과의 차이를 이용하여 링크 지연시간을 계산할 수 있고 실행되는 자신의 클럭과 서버의 클럭과 일

치하도록 조정할 수 있다. 또한 NTP 프로토콜은 시스템 복구를 위한 재부팅 프로세서를 구성하기 위해 정확한 시간 계산과 함께 정기적인 시간 체크가 가능한 프로세서를 생성해야한다. 일정 간격으로 시간 업데이트를 수행하는 NTP를 이용하여 재부팅 프로세서를 구성할 경우 시간적 오차를 최소화 할 수 있는 특수 알고리즘 덕분에 이상적인 로컬 네트워크 영역에서는 나노 초(nsec)의 정확성을 유지할 수 있다. 또한 NTP는 정확한 시간으로 클라이언트에게 안정적이고 사용하기 쉬운 가상의 Time Server 클러스터를 제공한다. 아래 표에 Time server와 제공사를 나타내었다.

[표 2-11] NTP Time server 및 제공사 목록

제공사	Time server
LG U+	time.bora.net
아이네트 호스팅	time.nuri.net
KRISS(한국표준과학연구원)	time.kriss.re.kr
NIST	time.nist.gov
MS(마이크로소프트)	time.windows.com
KT	ntp.kornet.net

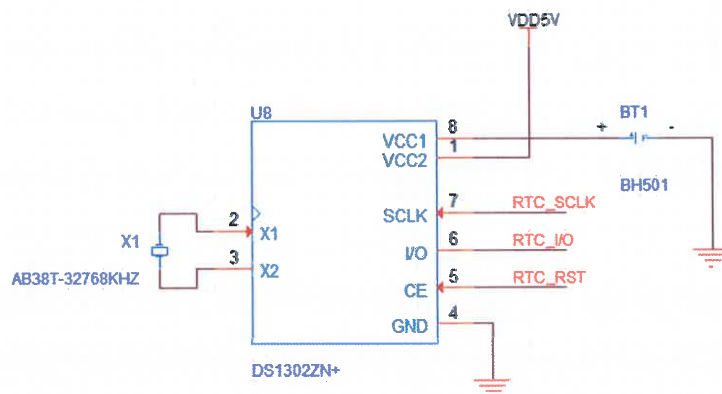
NTP 클라이언트와 NTP 서버 간의 시간을 동기화를 위해 UDP 프로토콜을 이용하여 타임 서버의 123번 포트로 64비트 타임스탬프 4개를 사용하여 아래와 같은 순서로 동작한다.

- ㉓ 클라이언트는 NTP 서버에 현재 시간을 요구하는 요청을 보낼 때, 패킷에 클라이언트의 현재 시간(T1)을 포함하여 보낸다.
- ㉔ 클라이언트의 요청을 받은 NTP 서버는 요청을 받았을 때의 NTP 시간(T2)을 패킷에 포함한다.
- ㉕ NTP 서버는 현재 UTC 시간을 패킷에 포함하고, 클라이언트로 보내는 순간의 시간(T3)도 패킷에 포함하여 클라이언트의 요청에 응답한다.
- ㉖ 클라이언트는 NTP 서버의 응답을 받는 순간의 시간(T4)과 나머지 시간들을 이용하여 네트워크에서 얼마만큼의 *시간을 보냈는지 판단하여 UTC 시간에 더한 후 시스템의 시간으로 설정한다.

$$\text{※ 네트워크에서 보낸 시간} = [(T2-T1)+(T4-T3)]/2$$

③ RTC (Real-Time clock)

실시간 클럭(RTC)은 현재 시간을 추적하는 컴퓨터 클럭(대부분 집적 회로의 형태)으로 개인용 PC, 서버 및 임베디드 시스템에서 정확한 시간을 유지해야 하는 거의 모든 전자 장치에서 사용한다. 클럭 신호를 사용하여 시간을 측정하는 일반적인 하드웨어 타이머(카운터)와 구조와 동작은 같으나 RTC는 사용자가 쉽게 구별할 수 있는 시간 단위(시, 분, 초 등)로 시간을 측정할 수 있는 타이머를 의미한다.



[그림 2-16] RTC 회로 구성도

위 그림과 같이 RTC는 일반적으로 32.768KHz의 클럭 신호를 많이 사용한다. 이 클럭 소스를 사용하면 15bit의 자료형(32,768)일 경우 1초마다 오버플로우를 발생하게 된다. 이것을 필요에 따라 프리스케일러로 클럭 속도를 낮춰서 사용하면 사용자에게 친숙한 단위의 초, 분, 시간을 쉽게 정수로 관리할 수 있게 된다. 이처럼 주 전원을 사용할 수 없는 상황에서 보조 전원을 사용하여 지속적으로 RTC를 사용할 수 있고, 32.768 kHz 외부 크리스탈 클럭 또는 내부 고정밀 크리스탈 클럭을 사용하여 정확한 시간을 유지할 수 있다. 하지만, RTC만으로는 다른 기기와의 시간 동기화가 불가능하다는 단점이 있다.

(나) 시간동기화 기술 선정

앞서 설명한 것처럼 시간동기화에는 다양한 방법이 있고, 각 방법마다 장·단점이 존재한다. 우선 GPS방식으로 시간동기화를 할 경우 고도의 시간 정확성을 가지는 장점이 있지만, 위성으로부터 시간 정보를 전달 받아 시간 정보를 획득하는 과정에서 시간 정보에 오차가 발생할 수 있는 단점이 있다. 이런 수신 오차를 줄이기 위해선 실외에 설치를 하거나 GPS 수신기를 실외에 두어야 하는데 이 때문에 센서 설치 위치의 공간적 제약이 발생하거나 설치비용이 증가한다. P파 지진 조기경보를 위해 지하에 설치되는 경우가 있는 센서의 특성과

비용절감을 위해 GPS 방식의 시간동기화 방식을 채택하기엔 어려움이 있다. NTP 방식으로 시간동기화를 할 경우 네트워크에 연결된 모든 기기가 특정 NTP 서버의 시간 정보와의 오류 교정을 통해 수 밀리초 이하의 정확도를 유지한다는 장점이 있지만, 외부 서버와 네트워크를 연결해야하기 때문에 보안상의 취약점이 있다. 하지만 별도의 Time Server를 이용하는 것으로 이를 해결할 수 있다. 마지막으로 RTC 방식으로 시간동기화를 할 경우 회로가 단순하여 저비용 구현이 가능하고, 주 전원을 사용할 수 없는 상황에 보조 전원을 통해 지속적으로 운영할 수 있다는 장점이 있지만, 클럭 오차에 의해 하루 8.6초의 오차가 발생할 수 있고, 여러 기기의 시간동기화 구현은 어렵다는 단점이 있다.

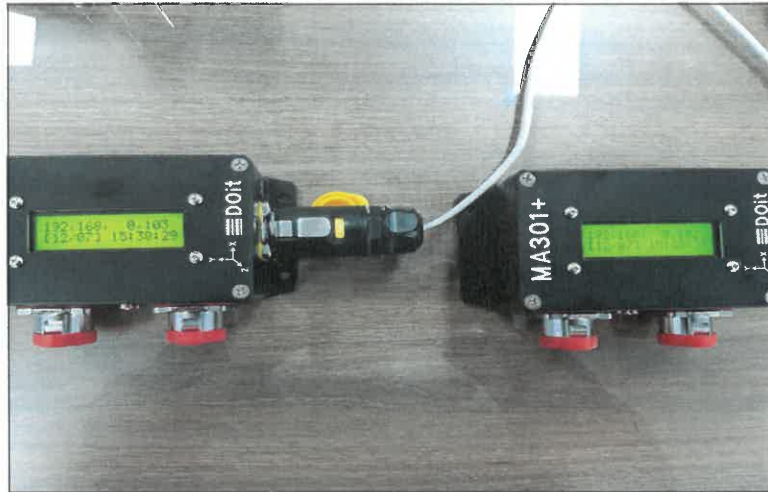
따라서 여러 개의 센서가 하나의 네트워크를 통해 계측 및 통신을 수행하는 본 개발품에 적합한 NTP 기술을 채택하였고, 네트워크나 전원 공급에 문제가 발생하여도 지속적인 시간 동기화를 진행할 수 있도록 RTC 기술도 채택하였다.

[표 2-12] 시간동기화 기술의 장·단점

기술 구분	장점	단점
GPS	- 위성에서 수신되는 1PPS펄스로 시간을 동기화 하기 때문에 매우 정확한 시간동기를 할 수 있다.	- 기술 구현이 복잡하다. - 위성 신호 수신 오차를 줄이기 위해 선 설치 환경의 제약을 받는다. - 정확한 시간동기화를 위해 별도의 정밀모듈이 필요하기 때문에 구현 시 많은 비용이 필요하다.
NTP	- 네트워크만 연결되어 있으면 실내든 실외든 시간 동기화가 가능하다. - 여러 기기의 시간동기화 구현에 용이하다.	- 외부에 있는 NTP 서버와 동기화를 위해 네트워크로 연결되어 있어, 보안상 매우 취약하다.
RTC	- 저 전력 운영이 가능하다. - 회로가 단순하여 저비용 구현이 가능하다. - 주 전원을 사용할 수 없는 상황에서 보조 전원을 통해 지속적으로 운영 가능하다.	- 클럭 오차에 의해 하루에 약 8.6초의 오차가 발생할 수 있다. - 단일 기기의 정확한 시간은 유지가 가능하나, 여러 기기의 시간동기화 구현은 사실상 불가능하다.

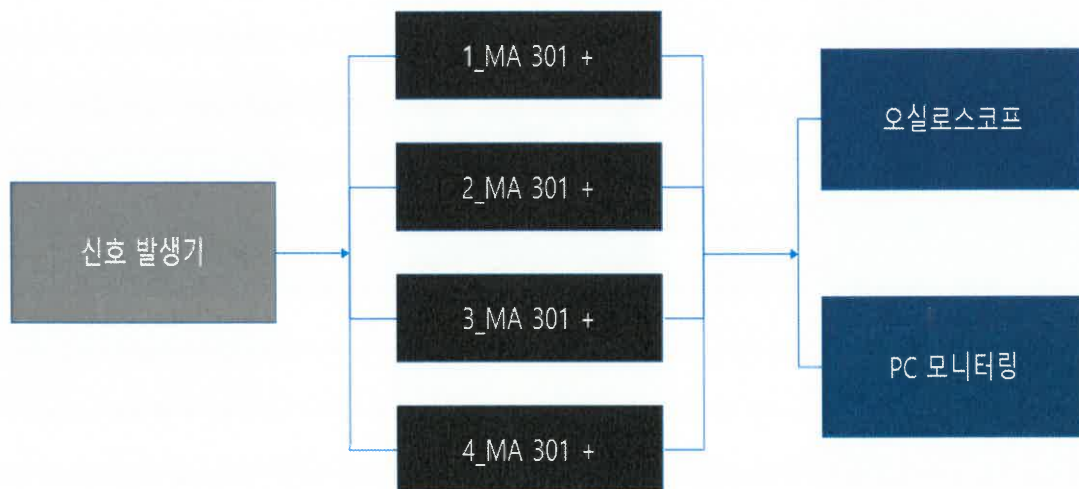
(다) 시간동기화 기능 구현 및 검증

NTP 기술을 적용하여 개발된 지진조기경보 가속도계의 시간동기화의 오차 성능을 마이크로초(1/1,000,000초)이내 단위까지 확보하였다.



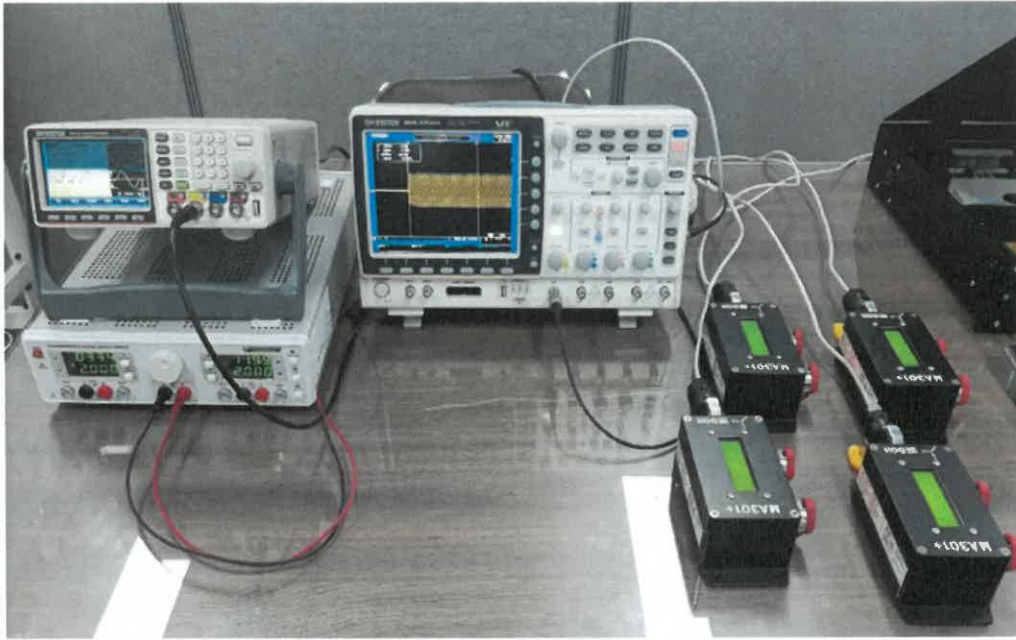
[그림 2-17] 시간동기화 기능이 구현된 개발된 지진 사전경보 가속도센서

시간동기화 점검을 위해 4대의 MA 301 센서를 이용하여 시간동기화 점검을 진행하였다. 아래 그림에는 미소진동 모니터링 시간동기화 점검을 위한 모식도를 나타내고 있다.



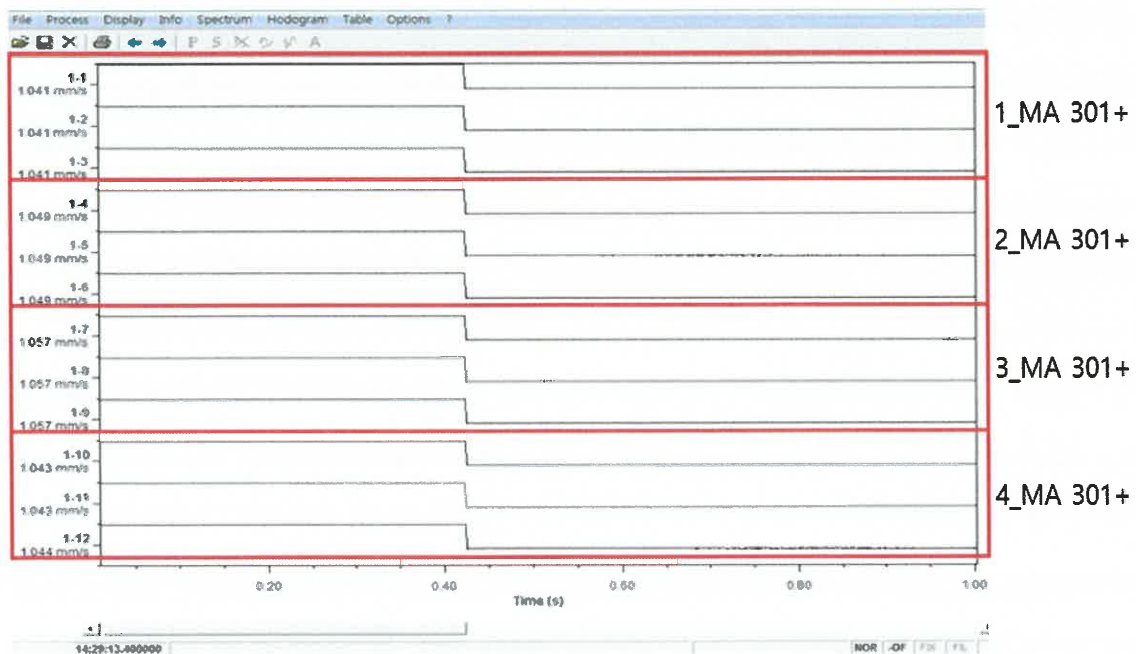
[그림 2-18] 시간동기화 점검을 위한 시스템 구성도

장비 점검을 위해서 신호발생기에 DC offset 전압을 인가하여 4대의 계측 장비에서 발생 되는 파형에 대한 시작점을 분석하였다. 점검은 아래 그림과 같이 신호발생기의 신호가 각각의 MA 301+ 센서를 통과하여 오실로스코프 및 모니터링 시스템에서 신호 발생기의 신호를 확인하는 방식으로 진행하였다.



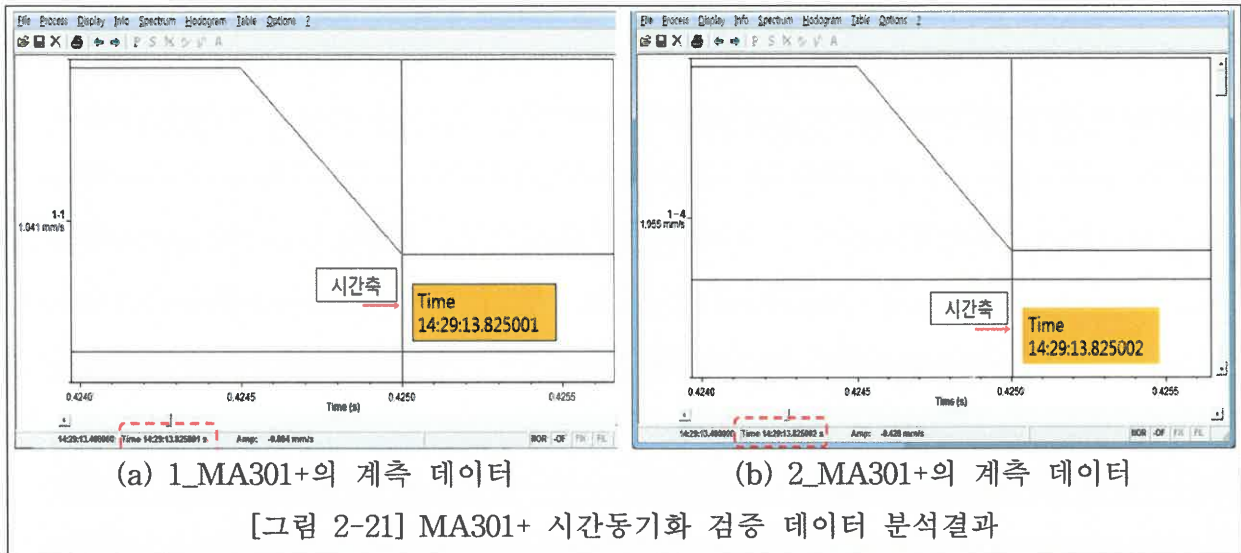
[그림 2-19] 시간동기화 검증을 위한 실험 사진

MA 301+ 센서는 Z, N, E 축으로부터 데이터를 수신 받는다. 따라서 신호발생기에서 인가된 전압이 4개의 계측 장비를 통과하여 모니터링 시스템의 수신 받게 되면 아래 그림과 같이 총 12개의 파형이 오실로스코프 및 모니터링 프로그램에 나타났다. 아래 그림은 모니터링 프로그램의 계측 화면이다.



[그림 2-20] 시간동기화 계측 데이터

1_MA301+의 계측 데이터와 2_MA301+의 계측 데이터를 확대한 후 피킹을 통하여 시간을 비교해 본 결과 아래 그림에 나타난 바와 같이 $1\mu\text{s}$ 의 오차가 발생하였다. 이와 같은 검증을 통해 본 개발품의 시간동기화 기능이 완벽하게 이루어졌다고 판단된다.



(8) 네트워크 자동할당 기능 연구

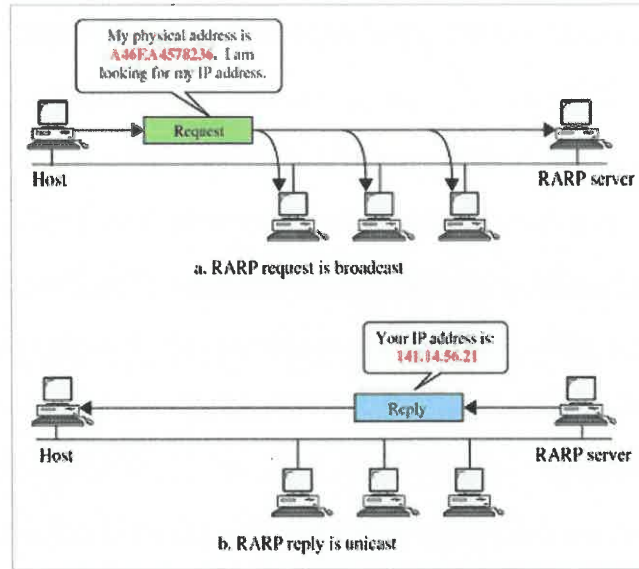
센서를 설치 및 네트워크에 연결할 때마다 일일이 센서의 IP를 입력하는 번거로움을 줄이고, 센서의 전원이 재부팅 되거나, 네트워크가 불안정하여 인터넷이 재연결 되었을 경우 충돌 없이 자동으로 IP주소를 할당하기 위해 센서를 네트워크에 연결하는 것만으로 자동으로 IP주소를 설정할 수 있도록 IP주소 자동 할당 기술을 접목시켰다.

가) 네트워크 자동할당 기술에 대한 사전조사

IP 주소를 자동으로 할당하는 기술로 RARP (Reverse Address Resolution Protocol), BOOTP(Bootstrap Protocol), DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) 등이 있다.

① RARP

디스크가 없는 단말 등이 IP 주소를 얻기 위해 사용하는 프로토콜로 RARP(Reverse Address Resolution Protocol)라 한다. RARP에 대한 표준은 RFC 903 문서에 정의되어 있으며, 물리(MAC)주소를 논리(IP)주소로 변환시켜주는 프로토콜이다. 시스템 부팅 시 프로토콜이 수행되는데 자신의 MAC 주소에 대응하는 자신의 IP 주소를 얻기 위해 아래의 과정을 따른다.



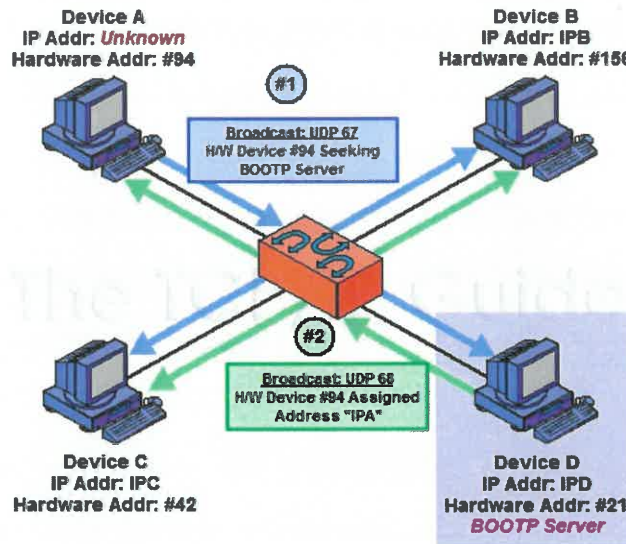
[그림 2-22] RARP 동작 방법

- ㉓ 자신의 IP를 알기 위해 RARP 서버를 찾게 되는데 RARP의 주소를 모르기 때문에 RARP Request(MAC 주소)를 브로드 캐스트한다.
- ㉔ RARP 서버가 네트워크의 RARP Request 정보를 받는다. RARP Request 정보는 네트워크의 모든 컴퓨터가 받을 수 있지만 RARP 서버만 이에 응답을 한다.
- ㉕ RARP Request를 요청한 Client는 RARP 서버로부터 RARP Response(IP 주소)를 할당 받는다.

각 클라이언트가 디스크 없이 서버의 데이터를 받아 사용할 수 있기 때문에 전체 하드웨어 비용을 줄이는 장점이 있으나, IP 주소 이외의 추가 정보를 얻을 수 없고 link layer broadcast 방식으로 동작하기 때문에 모든 링크마다 서버가 존재해야 한다는 단점이 있다.

② BOOTP

TCP/IP상에서 IP 주소를 얻기 위해 사용하는 프로토콜로 BOOTP (Bootstrap Protocol)라 한다. BOOTP에 대한 표준은 RFC 951와 RFC 1542 문서에 정의되어 있으며, 디스크 장치가 없는 클라이언트를 구동시키기 위한 목적으로 개발된 프로토콜이다. 디스크를 갖지 않은 컴퓨터에게 IP 주소 등 구성정보를 클라이언트/서버 형태로 서버 간의 단일 메시지 교환하는 프로토콜로 IP 주소, 부트 파일있는 서버 이름, 부트 파일 이름의 3가지 정보를 주고받는다. BOOTP 통신 프로세스는 아래 그림과 같다.



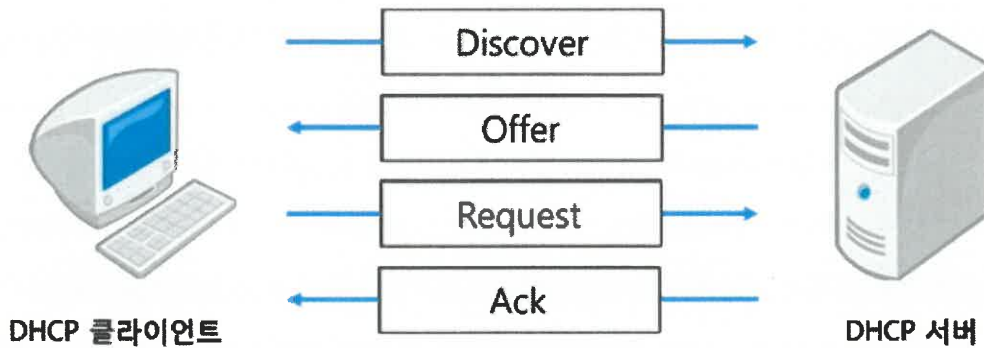
[그림 2-23] BOOTP 통신 프로세스

- ㉓ 장치 A는 IP 주소 및 기타 매개 변수를 확인하기 위해 UDP 포트 68을 사용하여 로컬네트워크에서 BOOTP 요청을 브로드캐스트 한다.
- ㉔ BOOTP 서버인 장치 D는 67 포트를 수신 대기하다가 BOOTP 요청을 받으면 67 포트를 이용해 IP 주소 등 구성정보를 브로드캐스트로 응답한다.

이처럼 IP 정보뿐만 아니라 다른 구성 정보도 주고받을 수 있다는 점과 BOOTP Relay를 통해 서버가 없는 서브넷으로부터 다른 서브넷에 존재하는 BOOTP 서버를 통해 BOOTP 요청을 중계해줄 수 있다는 장점이 있으나, 정적인 주소 설정 방식을 사용하기 때문에 관리자에 의해 미리 정의된 물리(MAC) 주소와 논리(IP)주소와의 정해진 매핑 테이블 값을 사용하기 때문에 테이블 값이 서버에 미리 지정되어있지 않으면 서비스 불가능하다는 단점이 있다.

③ DHCP

호스트의 IP주소와 각종 TCP/IP 프로토콜의 기본 설정을 클라이언트에게 자동적으로 제공하는 프로토콜로 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)라 한다. DHCP에 대한 표준은 RFC 1541 문서에 정의되어 있으며, DHCP 클라이언트는 시스템이 시작됨과 동시에 DHCP서버를 찾는 메시지를 네트워크에 발송하여 IP Address임대를 요청하게 되며, DHCP 서버는 이러한 클라이언트의 요청에 응답하여 자신의 DHCP Database에서 IP Address를 임대해 주게 된다.



[그림 2-24] DHCP 통신 프로세스

위의 그림을 보면 4가지 단계로 나뉘어 있는 것을 알 수가 있는데 각 단계별 기능은 다음과 같다.

- ㉔ Discover : 클라이언트 | DHCP 서버를 찾아서 IP 주소 할당을 요청한다. 메시지 본문에는 누구의 요청인지 알 수 있도록 DHCP 클라이언트의 MAC주소 정보가 들어있다.
- ㉕ Offer : 서버 | Discover 메시지를 받은 DHCP 서버는 사용 가능한 IP 주소를 브로드캐스트를 이용하여 전파한다. 메시지 본문 안에는 서브넷 마스크와 디폴트 게이트웨이 정보, DHCP서버 자신의 IP 주소 등을 포함한다.
- ㉖ Request : 클라이언트 | 후보로 제시된 IP 주소 사용을 요청하거나 IP 주소의 유효기한 연장을 요청한다. 메시지 본문 안에는 후보로 받은 IP주소와 DHCP서버의 IP 주소가 포함되어 있다. "DHCP서버에게 이 IP 주소를 사용한다."고 선언하는 의미의 메시지이다.
- ㉗ Ack : 서버 | 수신확인을 나타내는 메시지를 DHCP 클라이언트에게 응답한다.

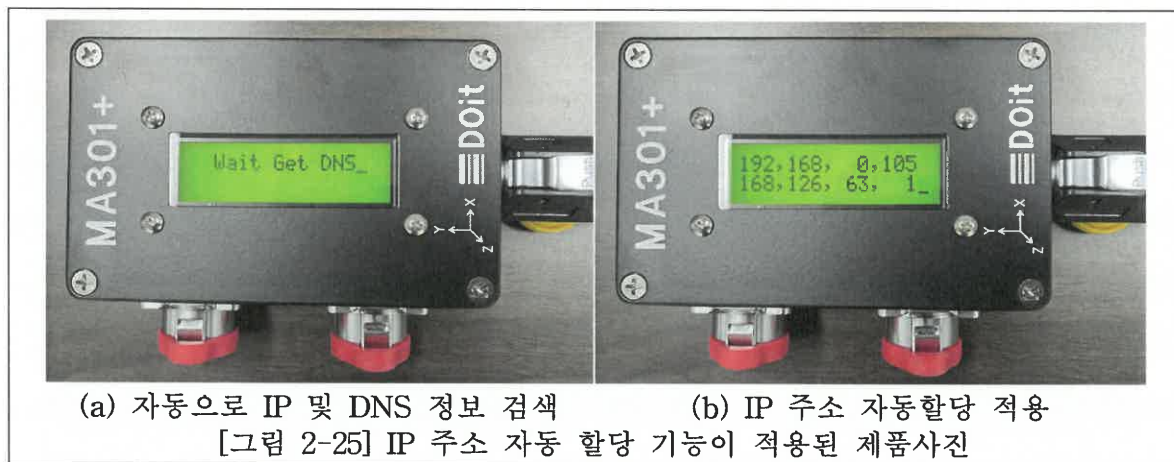
나) 네트워크 자동할당 기능 선정 및 구현

앞서 설명한 것처럼 IP 주소 자동 할당 기능에는 다양한 방법이 있고, 각 방법마다 장·단점이 존재한다. 우선 RARP 방식으로 IP 주소 자동 할당을 할 경우 각 클라이언트가 디스크 없이 서버의 데이터를 받아 사용할 수 있기 때문에 전체 하드웨어 비용을 줄이는 장점이 있으나, IP 주소 이외의 추가 정보를 얻을 수 없고 link layer broadcast 방식으로 동작하기 때문에 모든 링크마다 서버가 존재해야 한다는 단점이 있다. BOOTP 방식으로 IP 주소 자동 할당을 할 경우 IP 정보뿐만 아니라 다른 구성 정보도 주고받을 수 있다는 점과 BOOTP Relay를 통해 서버가 없는 서브넷으로부터 다른 서브넷에 존재하는 BOOTP 서버를 통해 BOOTP 요청을 중계해줄 수 있다는 장점이 있으나, 정적인 주소 설정 방식을 사용하기 때문에 관리자에 의해 미리 정의된 물리(MAC) 주소와 논리(IP)주소와의 정해진 매핑 테이블 값

이 서버에 미리 지정되어 있지 않으면 서비스 불가능하다는 단점이 있다. 마지막으로 DHCP 방식으로 IP 주소 자동 할당을 할 경우 새로운 IP장비를 연결할 때마다 관리자가 직접 IP주소와 MAC 주소를 맵핑시켜줘야 할 필요 없이 연결과 동시에 IP 주소가 할당되기 때문에 편리하게 IP 주소를 관리할 수 있고 내부/외부의 DHCP 서버에 의해 IP가 관리되기 때문에 IP주소 충돌과 같은 예방할 수 있다는 장점이 있지만, DHCP 서버에 의존되기 때문에 서버가 다운되면 IP 주소 할당이 제대로 이루어지지 않을 수 있다는 단점이 있다. 언급한 여러 기능 중 DHCP의 기능이 본 개발품에 적합하다 판단하여 DHCP 기능을 채택하였고, 수집처리장치에서 IP 정보를 별도로 관리하는 것으로 IP 주소 할당 기능이 원활히 동작할 수 있도록 하였다.

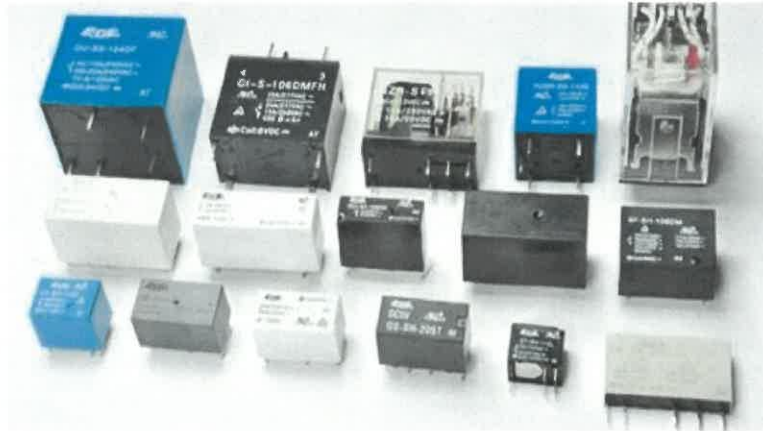
다) 네트워크 자동할당 기능 검증

네트워크 IP주소 자동 할당(DHCP) 기술을 적용하여 개발된 지진조기경보 가속도계는 전원연결과 동시에 IP 주소를 자동적으로 할당됨을 확인하였다.



(9) 출력신호 점점제어 기능 연구

본 개발품에 적용된 출력신호 점점제어는 지진조기경보 가속도계에 설정된 임계값 초과 시 디지털 병렬회로로 구성된 릴레이(Relay) 회로를 이용하여 대상 설비의 전류의 흐름을 차단하거나 흐르게 함으로써 가동할 수 있거나 멈출 수 있도록 하며, 미리 설정된 음성과일 을 추가함으로 경보기, 스피커 등을 통해 음성까지 지원할 수 있도록 하는 디지털 인터페이스이다. 이를 적용하기 위해서는 릴레이를 적용하여 회로를 구성해야하는데 릴레이는 일종의 ON, OFF 역할을 하는 스위치로 일반적으로 접하는 수동 ON, OFF 스위치와는 동작원리가 다른 자동으로 그 역할을 하는 전자부품이다.



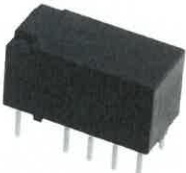
[그림 2-26] 현재 상용화 되고 있는 릴레이 부품들

릴레이는 별도로 분리되어 흐르는 전기를 스위칭 할 수 있는 신호 또는 펄스를 만들어 주며 작동을 하기 위해서는 필요한 전압은 낮지만, 입력될 수 있는 전압은 높다. 따라서 릴레이는 흔히 낮은 전압/전류를 이용하여 더 높은 전압/전류를 제어하는 곳에 많이 적용된다. 릴레이는 내부에 전자석(코일)을 포함하여 전류가 통하게 되면 자석이 되는 성질을 통해 전원을 공급하게 되면 릴레이 내부에 전자석이 스위치를 끌어당기는 원리로 구동되며, 릴레이는 내부 구성 및 구조, 접점 방식으로 구분될 수 있으며 다양한 종류가 있지만 모두 동일한 원리로 작동한다.

가) 릴레이 부품 선정

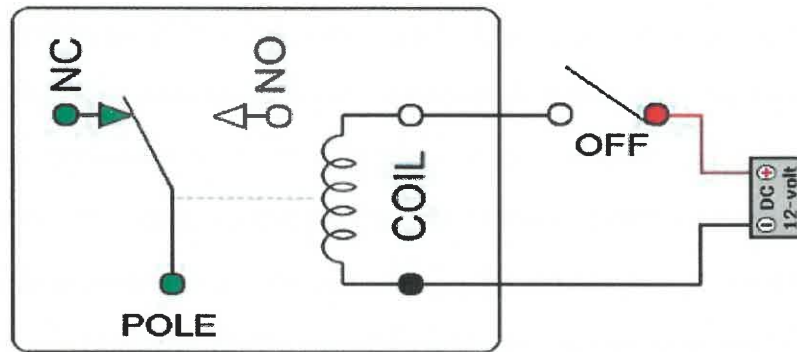
본 개발품에 적용된 릴레이의 경우 TX 2-5V의 부품을 선정하여 적용하여 회로를 구성하였으며, 이를 통해 임계값이 초과된 신호에 대해 디지털 D0, D1 입출력 포트단자를 생성하여 제어하도록 하였다. 선정된 제품의 경우 입력전압의 경우 2A, 30V DC의 용량을 가지고 있다. 이는 30V DC전원을 사용하는 기기제어가 가능하다.

[표 2-13] 선정된 TX 2-5V 릴레이 사진 및 사양

제품 사진	제품 사양	
	코일 전압	5 V DC
	코일 전류	20 mA
	입력전압	2 A, 30 V DC
	최고 스위치 전압	220V DC
	최고 스위치 전력	30 W

나) 릴레이 회로 구성

본 개발품에 적용된 릴레이 회로는 SPDT(Single Pole Double Throw)구성으로 입력 하나에 출력이 둘이 가능한 회로로 구현하였다.



[그림 2-27] 개발품에 적용된 릴레이 회로 구성 모식도

다) 릴레이 구현회로 및 출력신호 점점제어 검증

본 개발품에 구현된 릴레이 구현회로를 검증하기 위하여 점점단자에 경보기를 연결하고 개발품의 임계값을 최대지반가속도(PGA) 25.11 gal로 선정 후 임계값 이상의 이벤트 발생 시 점점생성을 통한 경보기의 출력반응 테스트를 하도록 하였다. 그 결과 경보기가 점등되어 정상적인 제어가 가능함을 확인하였다.



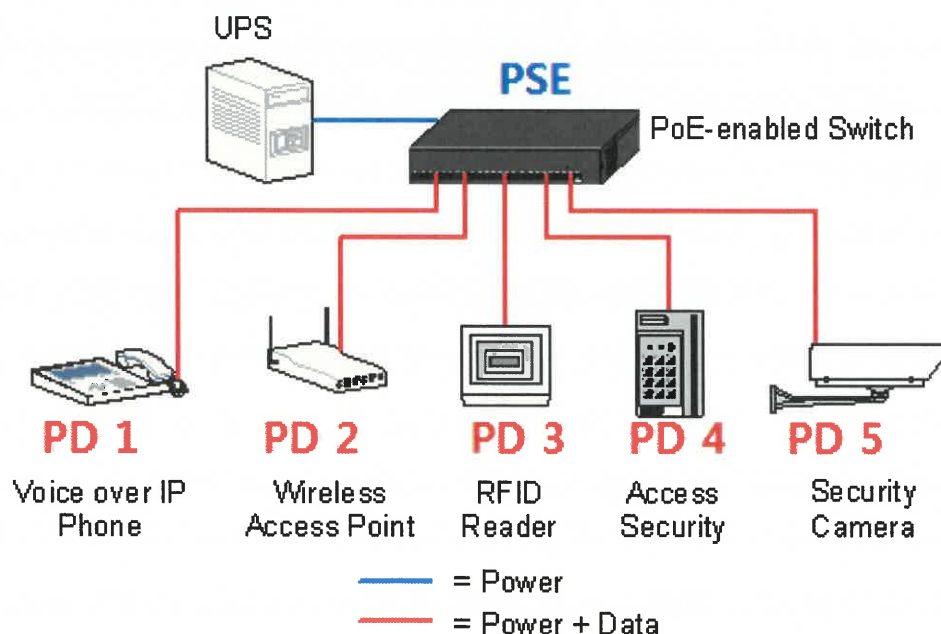
[그림 2-28] 출력신호 점점제어 검증 사진(경보기)

(10) PoE 기술 연구

PoE(Power over Ethernet)란 무선 AP나 기타 유선 LAN에 사용되는 네트워크 장비들에 전원(전력)을 별도 공급할 필요가 없이 이더넷 케이블 하나에 데이터와 전원을 동시에 보낼 수 있는 기술이다. 본 제품에 PoE 기술을 접목하기 위한 목적은 사용자의 편의성을 고려하는 동시에 비용절감에 있다. 일반적으로 계측장치를 운영하기 위해서는 통신에 필요한 데이터라인과 전원공급에 필요한 전원라인이 구성되어져야하는데 이를 하나의 케이블로 구성함에 따라 설치의 편의성과 비용절감을 가질 수 있기 때문에 본 제품에 적용하도록 하였으며 특히 본 개발품은 설치대상의 경우 건축물, 구조물 등에 적용할 수 있기 때문에 반드시 적용하여 설치의 편의성을 고려해야한다.

(가) PoE 구성 연구

일반적으로 PoE를 구성하기 위해서는 네트워크와 전원을 동시에 구성할 수 있는 PoE 허브나, 인젝터가 필요하며, PoE 호환장비가 아닌 경우에는 DC 픽커 또는 탭이라고 불리는 방법을 통해 PoE로 변환시킬 수 있다. 이들 장비들은 네트워크 케이블에 실려있는 직류 전원을 분리한 후 일반 직류전원 잭을 통해 장비에 공급하게 된다. 즉, PoE를 사용하려면 인젝터나 PoE호환 장비(PoE 허브 or 스위치) 또는 픽커와 PoE 호환되지 않은 장비의 구성이 필요하다 아래 그림은 일반적인 PoE를 구성하는 방법을 나타낸다.



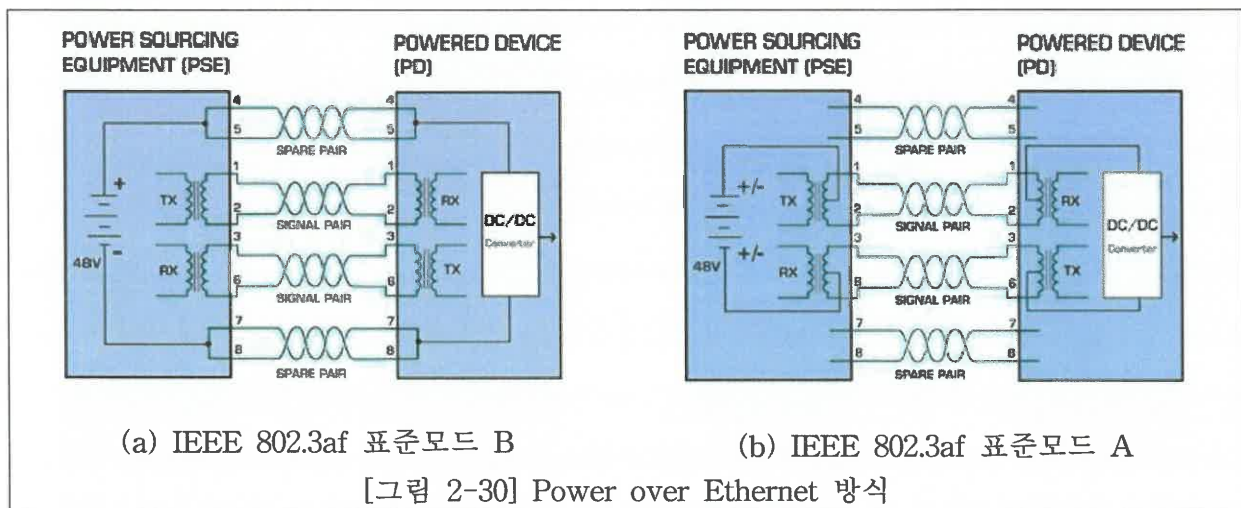
[그림 2-29] PoE 구성 모식도

(나) PoE 기술 선정 및 검토

PoE는 보다 지능적인 전원공급이 가능함에 따라 SNMP와 같은 기존의 네트워크 관리 프로토콜을 이용하여 시스템 관리가 가능하고, 네트워크를 통해 보안 감시 관리자가 전원을 차단하거나 재공급이 가능한 동시에 과부하 누전으로부터 자동 보호되는 장점을 가진다. 또한 PoE를 통한 중앙 집중식 전원 공급은 UPS시스템과 연결하면 메인 전원이 차단되어도 UPS에 의해 미드스팬 허브에 연결된 모든 계측장치가 자동적으로 동작되어 만약의 사태에도 지속적인 장치 운영이 가능하며보다 간편하고 비용절감 효과를 가지는 특징이 있다.

① 모드방식 선정

PoE 시스템은 IEEE 802.3af 표준모드 A 와 IEEE 802.3af 표준모드 B 로 2가지 방식으로 구성된다. 아래 그림 (a)와 같이 라인 1,2,3,6을 이용하여 데이터를 전송하고 라인 4,5,7,8에 최대DC 80V, 1.5A까지 전력 공급하는 방식과 그림 (b)와 같이 라인 1,2,3,6에 DC전력과 데이터 전송을 동시에 사용하는 방식이다.



PoE 시스템 구조는 기존 네트워크 하부구조를 활용하여 원거리 이더넷 장치에 대한 전력을 공급하는 것으로 표준규격은 IEEE 802.3af 와 IEEE 802.3at에 규정되어 있다. 이 표준은 이더넷 케이블상의 전력전송 방식을 구체화하여 이더넷 전원 공급 장비와 가동 터미널 고안 방식을 규정하고 있다.

본 제품에 적용된 PoE 는 통신규약 802.3af Standards B Mode로 적용되었으며, Pin 4-5, 7-8(Pair #1, 4 T568A, T568B)로 선정하여 데이터와 전원이 하나의 케이블로 구성이 가능하다.

[표 2-14] 802.3af Standards A and B타입에 따른 핀정보

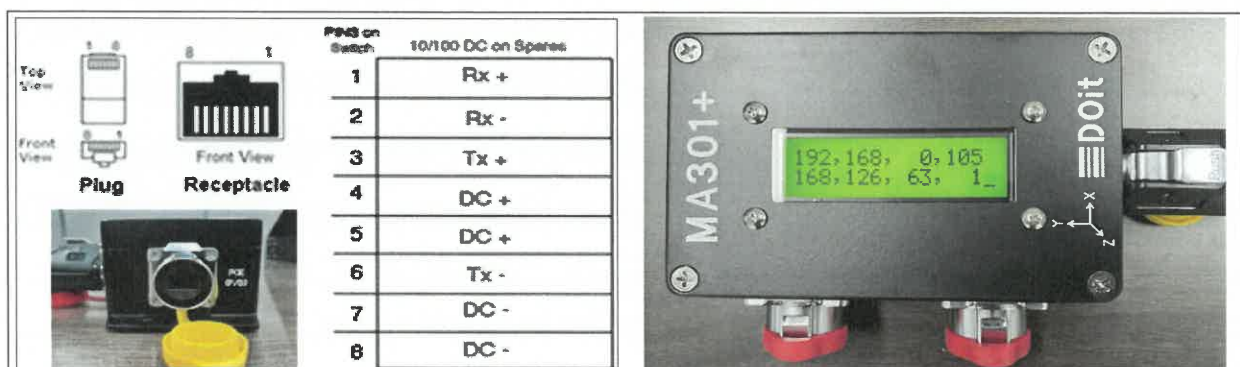
802.3af Standards A and B				
Pin	Mode B	Mode A		1000 Gigabit DC
Pin 1	RX+	RX+	DC+	TXRX A+ DC+
Pin 2	RX-	RX-	DC+	TXRX A- DC+
Pin 3	TX+	TX+	DC-	TXRX B+ DC-
Pin 4	DC+	unused		TXRX C+
Pin 5	DC+	unused		TXRX C-
Pin 6	TX-	TX-	DC-	TXRX B- DC-
Pin 7	DC-	unused		TXRX D+
Pin 8	DC-	unused		TXRX D-

[표 2-15] T568A and T568B wiring 규격

T568A and T568B								
Pin	1	2	3	4	5	6	7	8
T568A Pair	3	3	2	1	1	2	4	4
T568B Pair	2	2	3	1	1	3	4	4
wire	tip	ring	tip	ring	tip	ring	tip	ring

② PoE 기술 구현 및 검증(802.3af Standards B Mode)

본 개발품에 PoE를 구현을 위해 아래 그림에서와 같이 802.3af Standards B Mode 핀정보를 동일하게 적용하였으며, 구현된 개발품에 적용된 PoE로 구현하여 전원공급 및 네트워크 연결이 정상적으로 동작됨의 검증을 하였다.



(a) 구현된 PoE 핀정보 및 제품사진

(b) PoE 기술 구현 검증 사진

[그림 2-31] 구현된 PoE 기술 정보 및 검증 사진

다. P파 사전경보 가속도 센서의 계측특성 시험

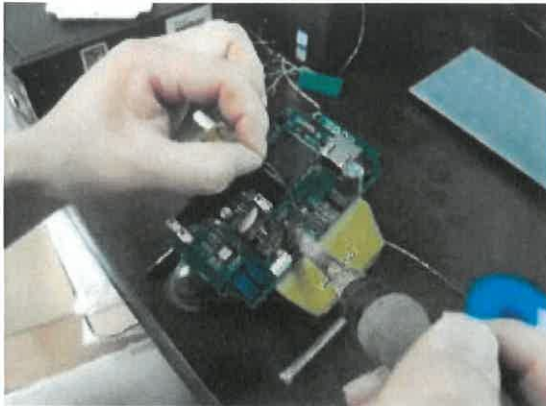
하드웨어 조립 이후 가장 먼저 해야 할 것은 동작 시험을 하는 것으로 센서의 특성 검토 및 기초 동작 시험이 이루어지지 않은 제품이라면 아무리 기능이 많고 성능이 좋은 제품이라도 제 기능을 발휘하지 못 할 것이다. 그러므로 일단 PCB 제작 및 부품 조립 후 가장 먼저 아래 그림과 같이 각 부품에 공급될 전원 특성 검사 및 배선/단락 유무 검사를 하였다. 또한 오실로스코프를 이용하여 CPU 및 통신에 대한 클럭점검 및 JTAG 에뮬레이터를 통한 시스템 점검 하였으며, P파 조기경보 가속도센서에 있어서 가장 중요한 센서의 초기 특성, Isolation 회로 점검 및 AD(최대 연산)따른 파형 관찰을 해보았다.

- PCB 배선 연결 및 부품 장착 등 단락 유무 검사(멀티테스터기)
- 전원특성 검사(과전압, 전류 방지)
- 클럭 점검 및 JTAG 에뮬레이터를 이용한 점검
- 센서의 초기 특성 검토 및 Isolation 회로 검토
- 다양한 AD 변환기에 따른 AD 특성 검토
- LPF 특성 및 주파수 응답 시험
- 동작범위 시험

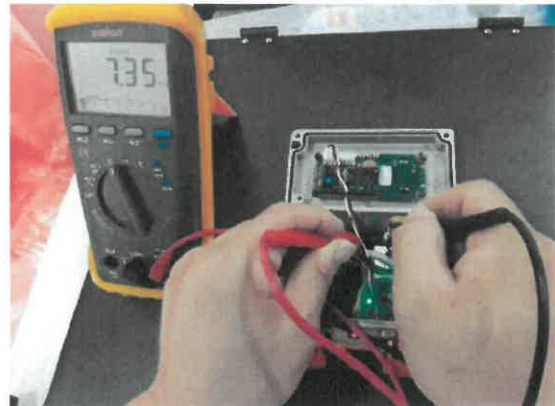
(1) 배선/단락 및 전원특성 검사

개발된 보드의 경우 설계한 소비전류에 대해 계산한 전류량과의 차이를 이용해 시스템 이상 여부를 판정할 수 있어야 한다. 전원을 인가함과 동시에 전원 공급기를 이용하여 비정상적으로 많은 전류가 공급되는 현상이 벌어지면 빠르게 전원 공급을 중단해야 한다. 단락의 원인은 잘못된 회로 설계, 조립과정에서 Solder Ball 문제, PCB 설계 오류도 있을 수 있다. 육안 검사로 단락을 일으키는 외적 요인을 최대한 제거 후 전원을 재 인가하여 검사하여도 단락상태라면 부품의 극성을 점검해야 한다. 잘못된 바이어스로 인해 소비전류가 발생하는 경우는 멀티테스터기를 이용하거나, JTAG 에뮬레이터를 사용하여 점검하도록 한다. 부품 조립 후 배선/단락 시험을 한 결과 이상이 없었으며, 전원특성 또한 설계단에서 계산된 출력 전원이 정상적으로 공급됨을 확인하였다.

아래 그림에 개발된 지진 사전경보 가속도 센서의 동작시험 특성으로 부품 조립 후 진행해야 하는 배선/단락 검사 및 부품의 전원 특성을 확인하는 검사 진행에 대한 사진을 나타내었다.



(a) 부품 조립 후 단락 검사



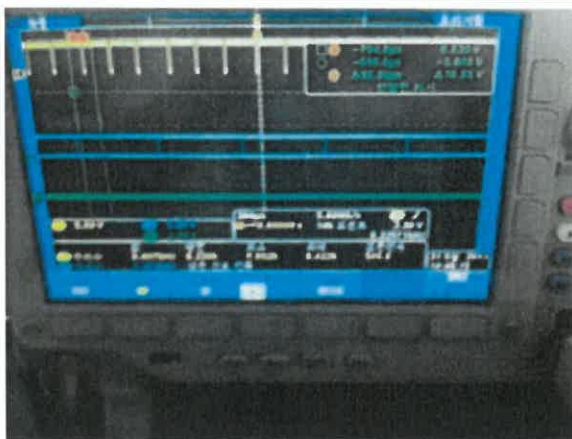
(b) 부품의 전원특성 확인

[그림 2-32] 조립 후 배선/단락검사 및 전원특성 검사

(2) 클럭 점검

클럭 점검은 오실로스코프를 이용하여 CUP의 CLKOUT PIN에 연결한 후 공급 클럭의 1/2배가 되는 값이 측정된다. 만약 측정되지 않는다면 CUP가 동작하는 조건을 제대로 갖추지 못한 것이기 때문에 클럭 공급회로를 점검해야하며, 그럼에도 불구하고 CPU가 동작을 하지 않는다면 CPU의 불량이라고 생각해도 무방하다. 전원이 안정적으로 공급되고 클럭이 제대로 공급된다 하더라도 CPU가 정상적인 동작을 하지 못하는 경우가 있는데, 이런 경우에는 JTAG 에뮬레이터를 사용하여 손쉽게 디버깅을 할 수 있다.

제작된 P파 조기경보 가속도센서의 통신 및 CPU단의 클럭 점검을 한 결과 통신 클럭의 경우 25 Mhz, CPU의 경우 210 MHz으로 모두 정상임을 확인하였다. 아래 그림에 통신 및 CPU 클럭 점검에 대한 사진을 나타내었다.



SPI 클럭 확인



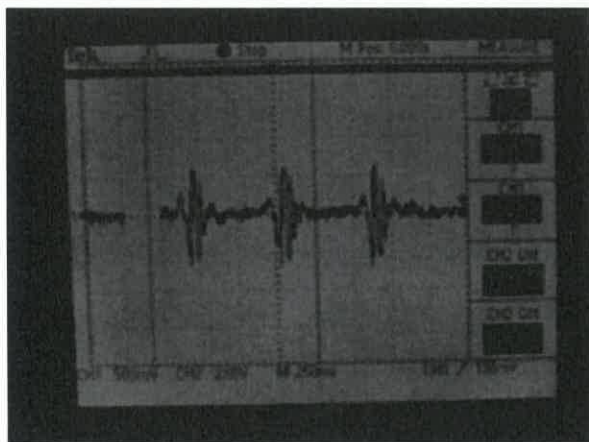
CPU단 클럭 점검

[그림 2-33] 통신 및 CUP 클럭 점검

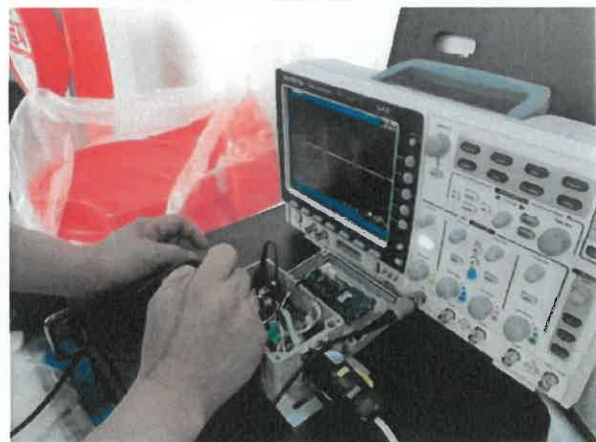
(3) 센서의 초기 특성 및 Isolation 회로 검토

하드웨어 초기실험으로 진행하였지만, P파 조기경보 가속도센서의 가장 중요한 실험 중에 하나라고 할 수 있는 아래 그림에서와 같이 센서의 초기 특성 검토 및 Isolation회로 검토를 진행 하였다. 센서의 입력을 받아 AD입력까지 하드웨어적으로 최대의 원 파형이 입력되어야 추후 진행되는 AD 연산 값도 신뢰도가 높아지기 때문이다.

실제 측정하고자 하는 진동은 1sec 단위로 시간 축으로 되어 있는데, 취득되는 저주파의 진동수의 경우 100 point 이다. 물론 측정 횟수가 많아지면 그 만큼 디테일한 측정 그래프가 그려질 것이다. 센서의 입력 구성을 통해 센서의 특성을 확인한 결과 센서의 기준 전압과 동일한 거의 완벽에 가까운 특성을 나타내는 것을 확인하였다. 또 다른 동작시험으로는 개발된 3성분 가속도 센서의 AD 연산 배율에 따른 특성검토를 진행하였다. 시험방법은 센서의 아날로그 신호를 받아 차동 입력을 통해 Isolation된 신호를 AD 변환하였으며, 이때 AD 연산 배율을 증가시키면서 오실로스코프를 통해 출력 파형을 확인하였다.



(a) 센서의 초기 특성 검토



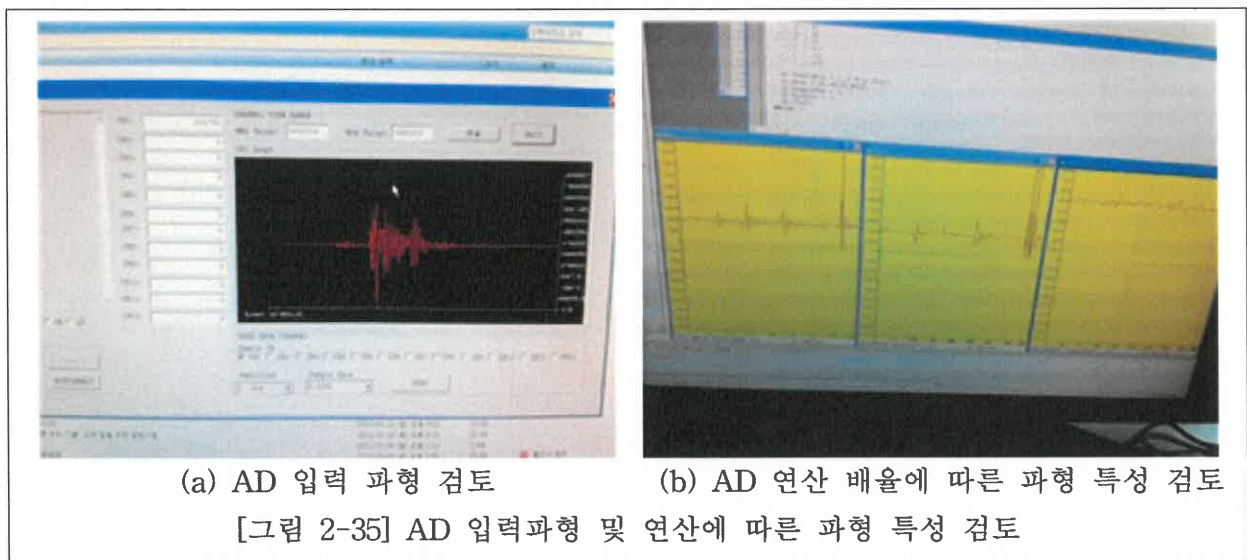
(b) Isolation 특성 검토

[그림 2-34] 센서 특성 검토

(4) AD 변환에 따른 특성 검토

하드웨어적으로 아날로그신호를 디지털 신호로 변환할 수 있는 소자는 대표적으로 AD series 이다. 실험에서 사용된 AD변환기는 AD1258, AD8574, ADR4550 이다. AD변환기의 종류에 따라 Pin-to-Pin 배율이 다른 소자를 이용하여 AD 변환 파형을 검토한 결과 AD 연산을 많이 할수록 출력값의 정확도와 파형의 손실이나 일그러짐이 제거되는 것을 확인하였다.

아래 그림. (a)에서 보여지는 것은 오실로스코프의 1 Ch의 출력되는 신호는 Isolation을 거쳐 AD로 들어가는 입력신호이다. 그림 (b)에 AD변환기 AD1258, AD8574, ADR4550를 사용하여 신호의 파형을 관찰하였으며, AD 연산 배율을 X1, X16, X32, X64로 늘려가며 측정하였다. 측정결과 AD1258 변환기를 적용하였을 때 신호의 일그러짐이나 왜곡의 특성이 가장 우수하였으며, AD 연산을 X64 배율로 하였을 때 출력 값에 대한 정확도나 신뢰성을 가질 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 AD1258 변환기를 적용하여 X64 연산 배율을 적용하도록 하였다.

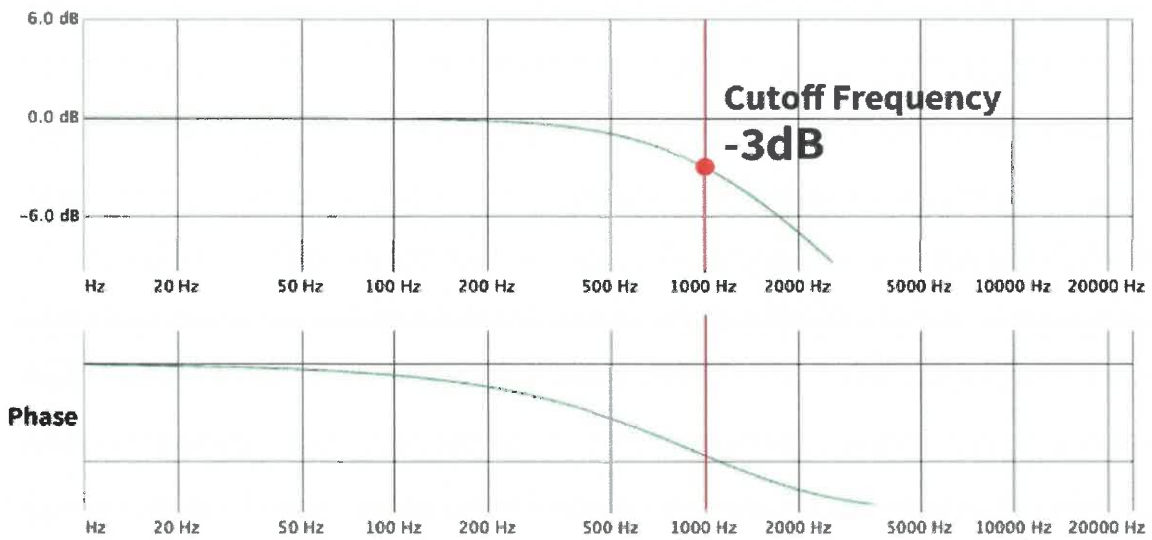


(5) LPF(Low Pass Filter) 및 주파수 응답 시험

아날로그 및 디지털 필터는 주파수 관점에서 신호를 컨트롤 하며, 제품의 사용목적에 맞는 측정 주파수의 범위를 조절하기 위해서 다양한 곳에서 사용될 수 있다. LPF를 조작하기 위해 사용되는 기본적인 Cutoff Frequency, Slope)를 고려하여 로우 패스 필터를 적용하도록 해야 한다.

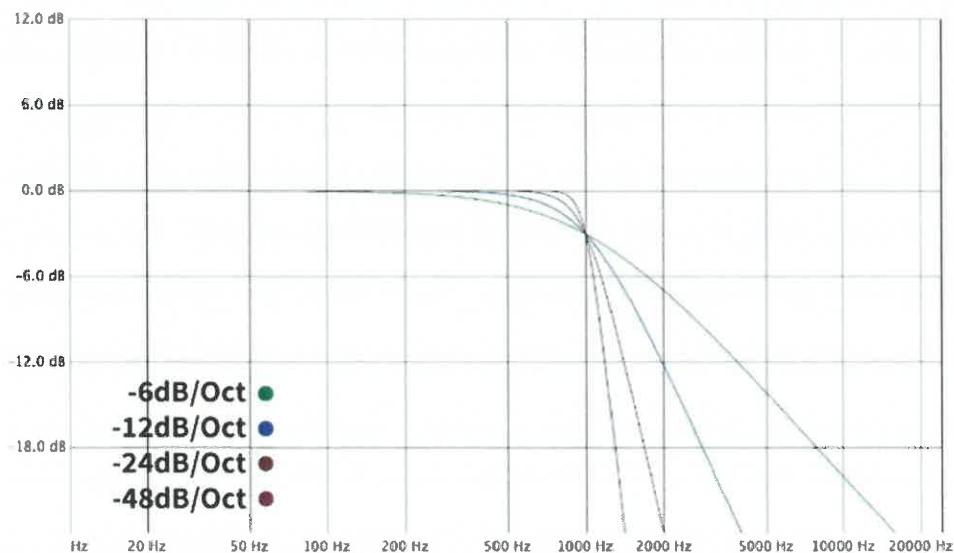
LPF는 낮은 주파수 대역을 통과시키는 필터로 높은 주파수 대역은 통과하기 어렵고 적용된 Hz 대역에서 감쇠하는 특성을 가지기 때문에 High Cut Filter이라고 한다.

아래 그림에 나타난 바와 같이 LPF를 1 kHz의 Cutoff 주파수로 설정할 경우 1 kHz 주파수 대역에서 -3dB(약 0.707배)의 Cutoff 주파수 기준점이 나타나며 위상응답 관점으로 관찰할 경우 45도가 되는 지점으로 나타난다. 때문에 Cutoff 주파수부터 응답주파수의 감쇠 시점이 아닌 아래 그림과 같이 더 낮은 주파수에서부터 감쇠가 시작된다.

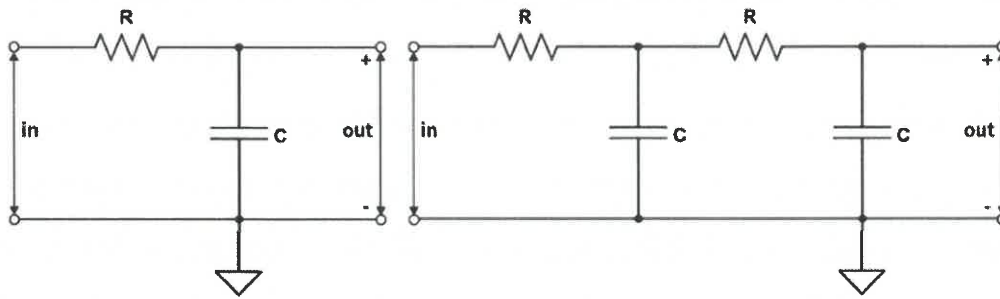


[그림 2-36] 1 kHz의 Cutoff Frequency에 따른 LPF의 주파수 응답, 위상 그래프

Slope(기울기)의 경우 Cutoff 주파수로부터 얼마나 급격하게 Cut되는 정도를 나타내는 것으로 표현은 -dB 혹은 옥타브(Oct)로 표현된다. 1 옥타브는 즉, 주파수가 2배되는 동안 -dB씩 감소하는 것을 의미한다. 또한 Slope를 고려한 필터를 구현하기 위해서는 저항(R)과 커패시턴스(C)를 이용한 시정수로 필터를 구현할 수 있으며 Slope에 따른 필터의 경우 1차, 2차, 4차, N차 필터로 구현할 수 있다.

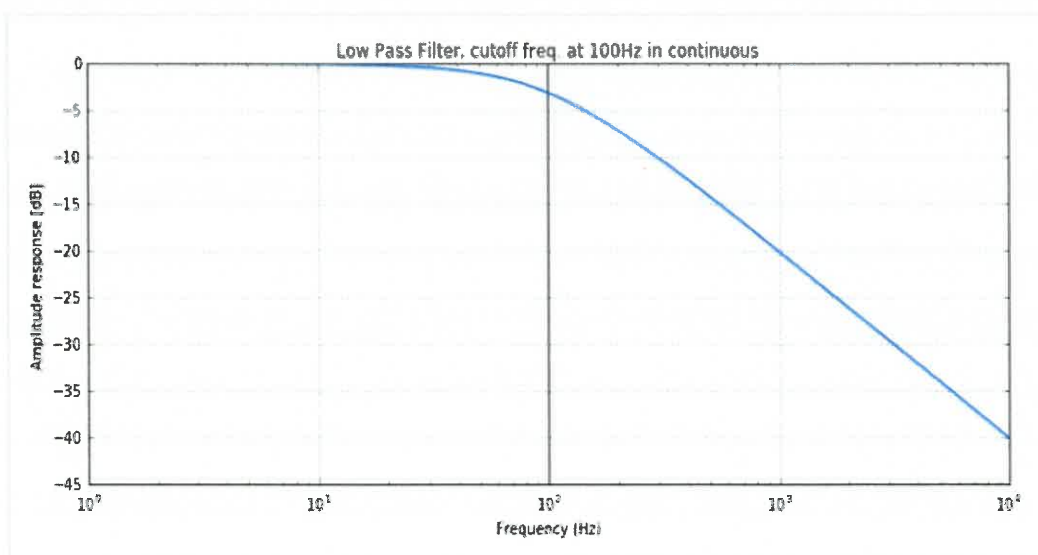


[그림 2-37] 1 kHz의 Cutoff Frequency에 따른 Slope의 차이



[그림 2-38] R-C를 이용한 필터회로(1차, 2차 필터)

본 연구에서는 LPF의 경우 주파수 응답특성이 0.1 ~ 50 Hz까지 주파수 구간에 대한 일정 레벨을 유지해야 할 필요가 있으며 Slope의 경우에도 -3 dB를 기준으로 하였다. 이에 따라 개발품에 적용되는 LPF의 경우 50 Hz까지의 평활화를 위해 R-C를 이용한 1차 필터로 100 Hz의 Cutoff 주파수를 설정하여 구현하였다. 그 이유는 앞서 서술한 바와 같이 100 Hz Cutoff 주파수를 적용하면 응답주파수의 감쇠시점이 100 Hz가 아닌 더 낮은 주파수부터 감쇠가 되기 때문이다. 아래 그림에는 본 개발품에 LPF를 적용하여 나타낸 주파수 응답특성 곡선을 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 Cutoff 주파수가 100 Hz인 시점이 -3 dB지점이며 Slope의 경우 약 75 Hz 주파수대역에서 감쇠가 나타남을 알 수 있었다. 이에 따라 제작된 P와 사전정보 가속도 센서에 적용된 LPF의 시험결과는 당초 설계목표인 주파수의 범위 0.1 ~ 50 Hz에 만족됨을 확인하였다.



[그림 2-39] Cutoff 주파수 100 Hz 적용에 대한 주파수 응답특성 곡선

(6) 자체 동적범위 성능시험

동적범위의 경우 지진가속도센서가 신뢰적으로 동시 측정 가능한 최대 레벨신호와 최소 레벨신호 사이의 범위, 즉 지진가속도 센서가 갖는 최대 진폭레벨에 대한 범위를 나타내며 단위로는 dB로 표기한다. 일반적으로 동적범위는 지진가속도센서의 성능지표로 많이 사용되며 계산식은 다음과 같다.

$$\text{동적범위} = 20\log_{10} (\text{센서신호의 최대값} / \text{배경잡음의 표준편차})$$

일반적으로 동적범위 시험의 경우 주변 환경노이즈 적은 장소에서 시험을 통해 배경잡음에 대한 표준편차를 구하며, 가속도센서의 최대 입력 값은 가진기를 통해 정현파 입력을 가하여 도출된 값을 이용하여 계산한다. 본 연구에서의 자체 동적범위 시험방법은 제진대에 개발품을 고정한 후 24시간 운영하여 취득된 데이터를 가지고 결과를 확인하였다.

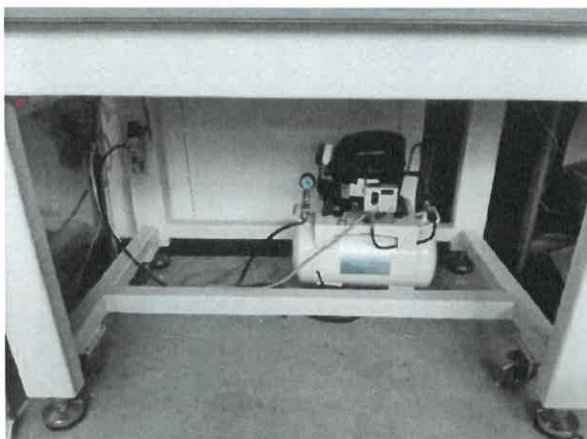
배경잡음에 대한 표준편차의 경우 주변 환경노이즈를 최소화하기 위해 제진대위에서 실험을 하였으며, 주변 환경노이즈가 최소화 시간인 새벽 2시부터 ~ 4시까지의 샘플 중에서 12,000개를 수집하여 분석하였으며, 동적범위 계산을 위해서 배경잡음의 표준편차는 12,000개의 샘플의 모집단의 표준편차를 사용하여 계산식에 대입하였다. 또한, 자체 동적범위 시험에서는 가진기나 진동대가 없기 때문에 센서의 최대측정 범위인 $\pm 2g$ 의 이론 값을 최대 입력 값으로 적용하였다. 여기서, 센서의 최대 입력에 대한 이론 값은 다음과 같이 결정될 수 있다.

ADXL354 센서를 적용한 개발품의 측정가속도는 $\pm 2g$ 로 1g당 0.4V가 출력되며, ADC reference 전압은 1.8V이다. 아래에 ADXL354 센서의 출력에 따른 AD 변환 후의 유효 범위를 나타내었다. AD 변환에 따른 유효 전압 및 출력 값(Hex)은 센서의 출력에 대비하여 AD 변환의 사양을 나타내는 것으로 센서의 출력이 +2g일 경우 ADC 유효전압은 1.7V이기 때문에 그에 해당하는 ADC 디지털 출력 값으로 변환된다. 즉, AD의 분해능은 24비트의 유효 값의 경우 ADC 유효 값인 7F FF FF(부호비트를 제외한 $2^{23} = 8,388,608$) 출력되어야 하지만 ADXL354센서의 출력사양으로 인해 ADC 유효 값인 78 E3 8D(7,922,573)으로 변환된다는 것이다. 따라서, ADXL354 센서를 적용한 개발품의 경우 센서의 최대 입력 값은 7,922,573 이다. MA1002 센서를 적용한 개발품의 경우에는 아래 표에서 보이는 바와 같이 +2g의 가속도에서 ADC의 입력전압 범위는 1.8V이며 유효 값은 7F FF FF로 온전히 24비트 분해능에 대한 출력 값이 변환됨에 따라 MA1002 센서를 적용한 개발품의 경우 센서의 최대 입력 값은 8,388,608 이다. 아래 센서 출력에 따른 ADC 유효 전압 및 출력 값에 대한 범위를 표로 나타내었다.

[표 2-16] 센서별 출력에 따른 ADC 유효 전압 및 출력

적용 센서	가속도 범위	ADC 입력전압 범위	ADC 유효전압 범위	ADC 유효값 범위(Hex)
MA1002	+2g	1.8 V		7F FF FF
ADXL354			1.7V	78 E3 8D
MA1002	0g	0.9V	0.9V	3F FF FF
ADXL354				
ADXL354	-2g		0.1V	07 1V 71
MA1002		0V		00 00 00

아래 계측자료는 자체 동적범위 시험에 있어서 ADXL354센서와 MA1002센서를 적용한 개발품으로 새벽 시간대(02시 ~ 04시)에서 가공되지 않은 12,000개 샘플자료를 취득하여 각각 그래프로 나타낸 것이다. 아래 그림에 자체 동적범위 시험환경을 나타내고 있다. 제진대의 경우 수평을 정확하게 유지하도록 수평계를 이용하여 고정하였으며, 개발품을 제진판위에 밀착시켜 센서의 방향성을 고려하여 시험을 진행하였다.

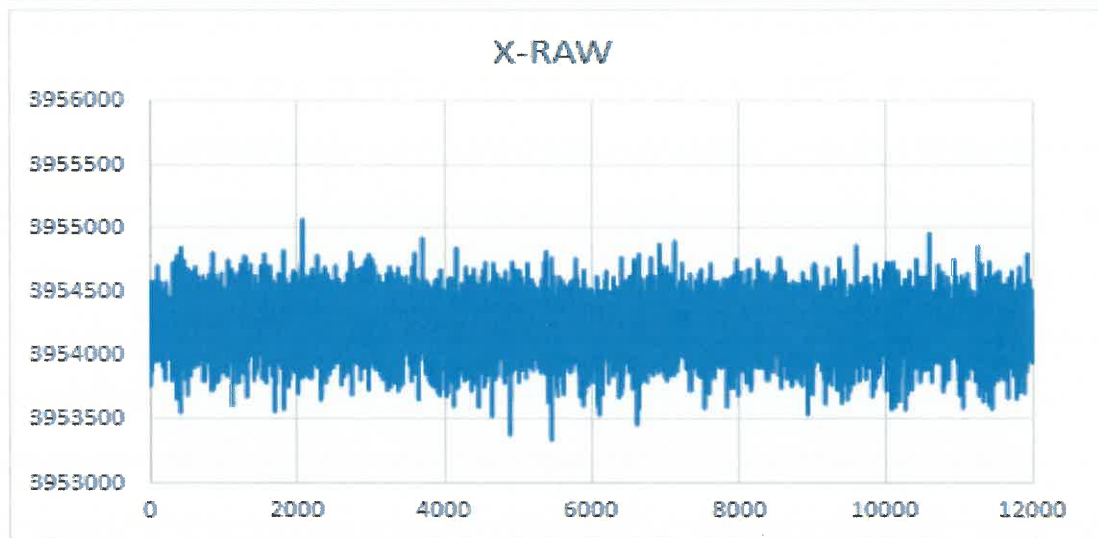


(a) 시험을 위한 제진대 사진

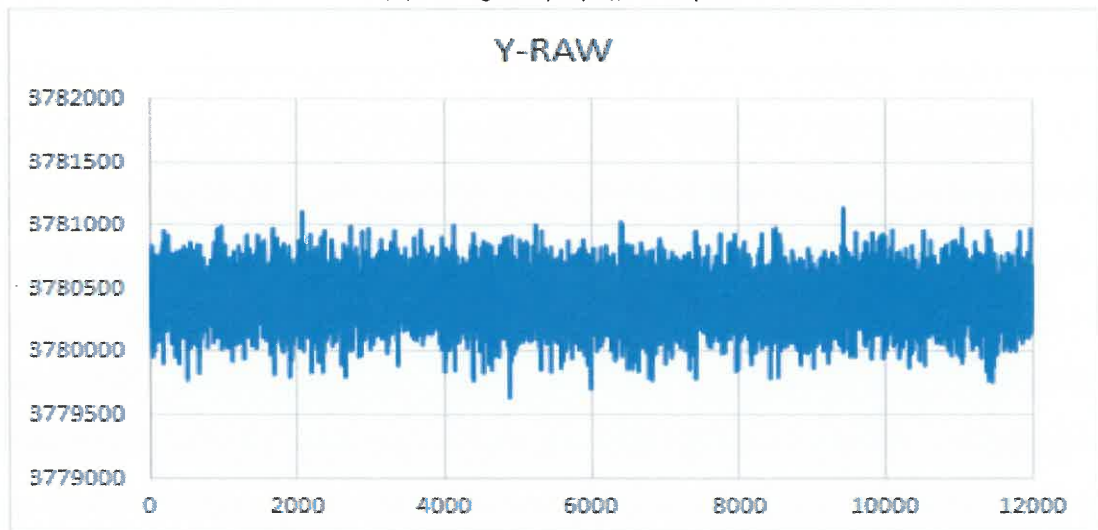


(b) 자체 동적범위 시험

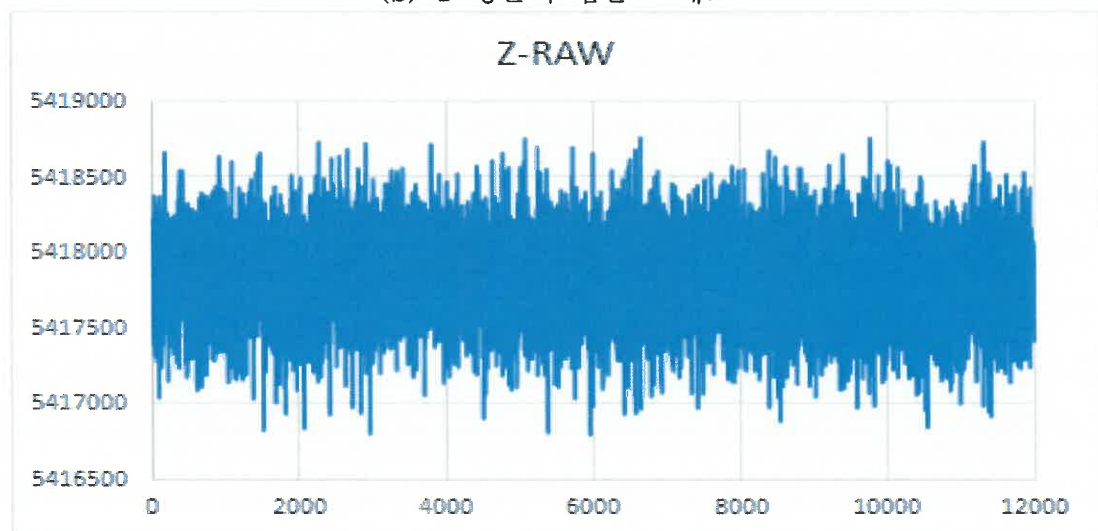
[그림 2-40] 센서 동적범위 시험을 위한 제진대 및 시험 진행 사진



(a) X 성분의 샘플 그래프

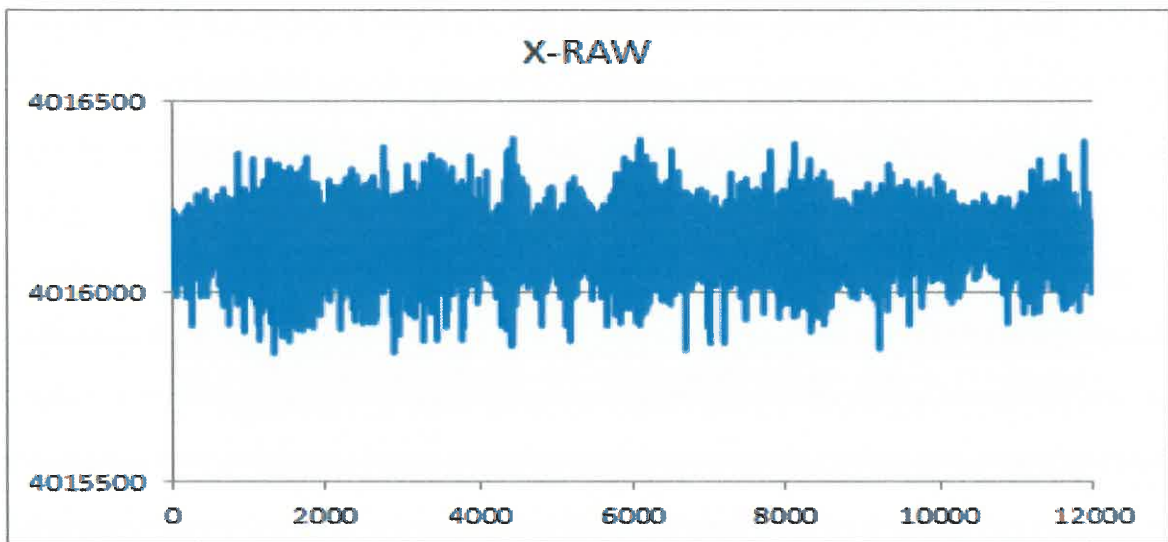


(b) Y 성분의 샘플 그래프

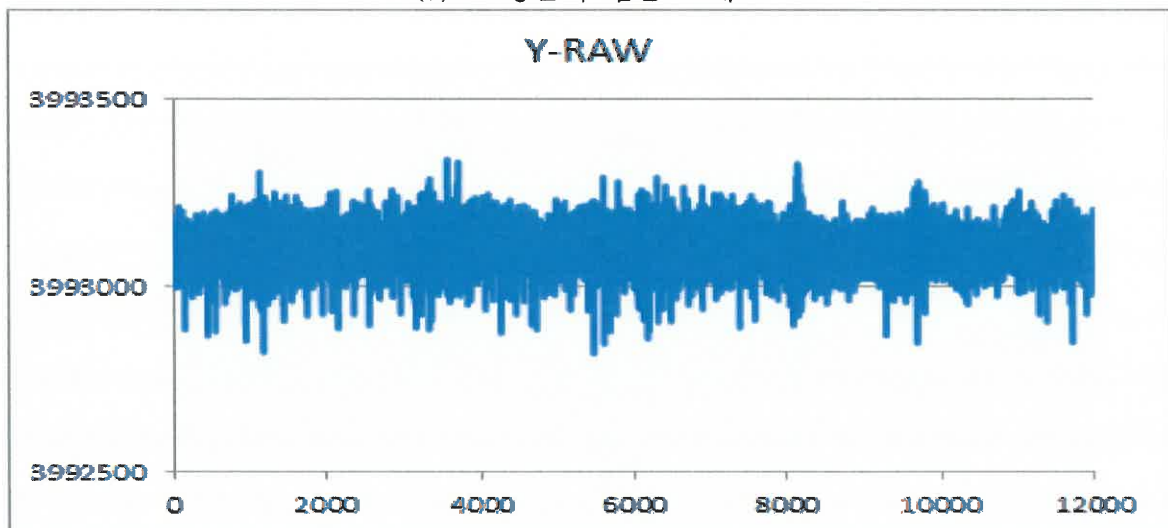


(c) Z 성분의 샘플 그래프

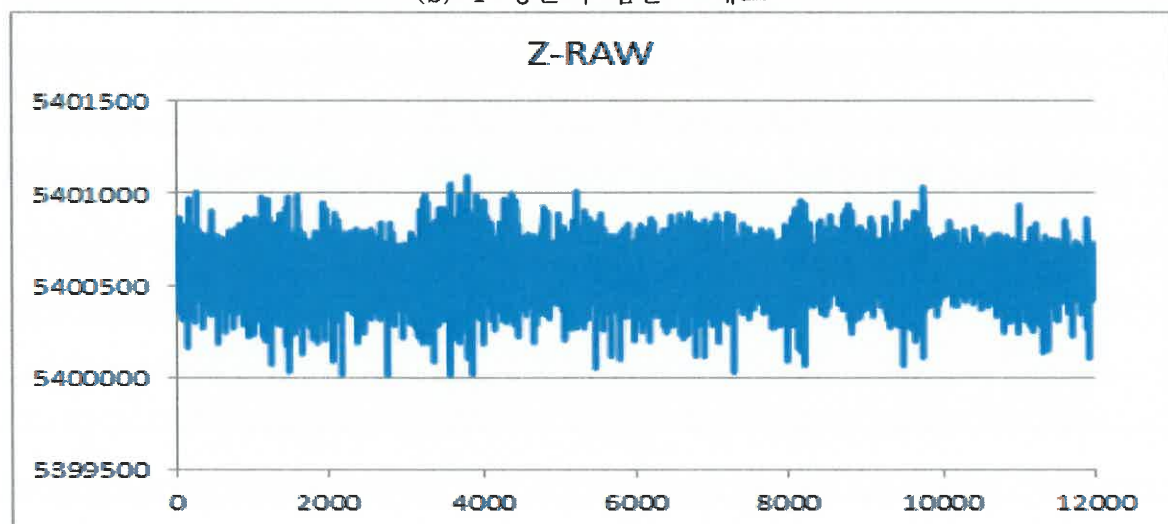
[그림 2-41] 동적범위 성능시험을 위한 12000개의 샘플 그래프(ADXL354센서 적용 개발품)



(a) X 성분의 샘플 그래프



(b) Y 성분의 샘플 그래프



(c) Z 성분의 샘플 그래프

[그림 2-42] 동적범위 성능시험을 위한 12000개의 샘플 그래프(MA1002센서 적용 개발품)

상기 자체 동적범위 시험의 경우 각 센서별 3회를 실시하였다. 그 결과 아래 표에 나타난 것처럼 ADXL354 가속도센서를 적용한 개발품의 경우 동적범위는 약 90 dB, MA1002센서를 적용한 개발품의 경우 동적범위는 약 105 dB로 산출되었다. 이에 따라 당초 P파 조기경보 지진가속도센서의 제품사양의 목표치인 동적범위 90 dB를 충족시키는 결과를 확인하였으며, 나아가 동적범위 100 dB 이상의 제품사양을 가지는 개발품으로 인해 향후 제품 사업화에 큰 이점으로 작용될 것으로 사료된다.

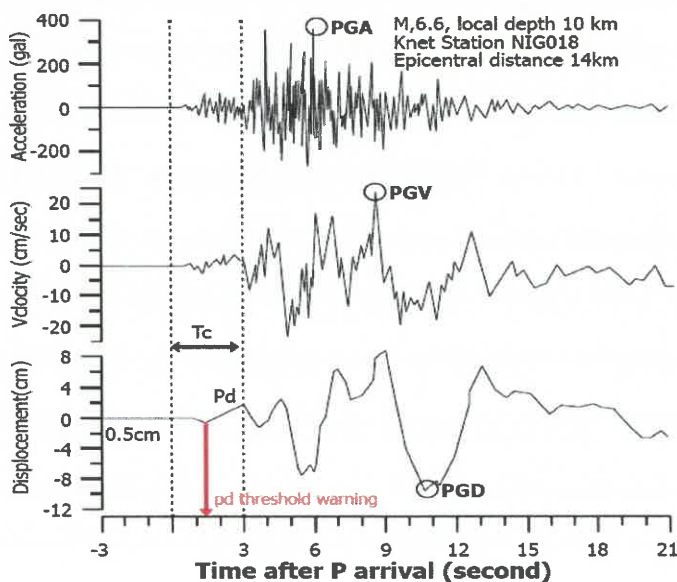
[표 2-17] 센서별 자체 동적범위 시험결과

구분	차수	동적범위		
		표준편차	최대입력 값 (이론값)	동적범위(dB)
ADXL354 가속도센서 적용 개발품	1차	250.4	7,922,573	90.01
	2차	257.3	7,922,573	89.76
	3차	255.7	7,922,573	89.82
MA1002 가속도센서 적용 개발품	1차	41.8	8,388,608	106.05
	2차	45.6	8,388,608	105.29
	3차	44.2	8,388,608	105.56

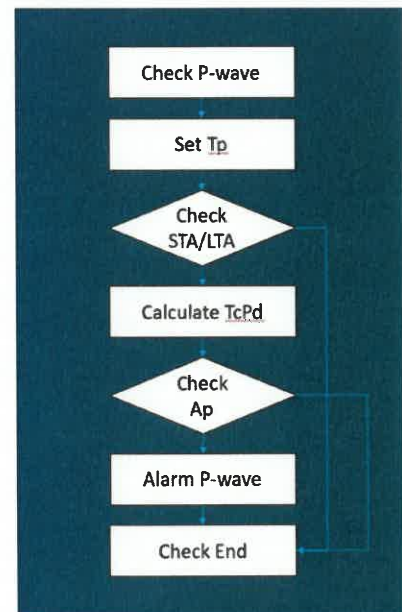
라. P파 지진 사전경보 지진가속도 알고리즘 개발

이상 징후에 대한 판단을 위한 자료처리는 그 과정 및 구조적인 복잡성 등으로 인해 해당 분야의 전문가가 아닌 경우에는 활용하기가 어렵다, 또한 이상 징후에 대하여 즉각 대응할 수 있도록 실시간 분석이 이루어져야한다. 이를 위하여 개발된 P파 사전경보 알고리즘은 기존의 복잡한 분석을 자동으로 처리함으로써 신속하게 결과를 도출할 수 있도록 하였다. 이벤트 감지를 위해서는 각 신호에 대한 초동주기를 정확하게 획득해야하며 이를 실시간으로 처리하기 위해서는 자동 피킹(auto-picking) 처리과정이 요구된다. 본 연구에서는 STA/LTA(short term average/long term average) 알고리즘을 적용한 자동 피킹 알고리즘을 구현하여 이벤트 신호에 대한 초동주기를 획득하고 이를 P파 지진 사전경보 및 트리거 알고리즘 기법에 적용함으로써 이벤트 감지에 대한 사전경보를 처리할 수 있도록 개발하였다. P파 지진 사전경보 알고리즘에 대한 내용은 다음과 같다

- Trigger 기능을 통한 P파 초동 신호 탐지 시 신속한 지진경보 기능
- 지진파 중 P파가 S파에 비해 약 1.73배 빠르게 전파되는 특성 이용
- 지진 발생 시 P파의 최단시간 내에 Pd(P-wave Displacement)를 도출하여 임계값 이상 계측 시 경보 발령



(a) P파 지진 사전경보 알고리즘



(b) 알고리즘 처리 흐름도

[그림 2-43] P파 지진 사전경보 알고리즘 모식도 및 처리 흐름도

(1) DC Auto Picking 알고리즘

지진 신호의 자동 감지는 지진자료 처리에서 가장 중요한 단계 가운데 하나이다. 효과적인 자동 감지를 통하여 올바른 지진 발생 기록을 확인할 수 있으며 후속 자료 처리 과정을 원활하게 진행할 수 있다. 기본적으로 지진 신호 발생을 선언하는 것은 그 이후의 자료를 필요로 하지 않는 어떤 실시간 알고리즘을 사용해도 가능하다. 그러므로 재귀필터를 이용하는 방법이나 파소변환을 이용하는 방법들은 단순한 STA/LTA 방법보다 정확할 수는 있어도 지진 조기경보에는 적절하지 않다. 이러한 이유로 현장조기경보 알고리즘 개발을 위하여 STA/LTA 방법을 채택하였다. STA/LTA 방법의 기본 원리는 연속적인 지진파형의 진폭에 대하여 각각 단기 평균(short-term average)과 장기 평균(long-term average) 이동 시간영역을 이용하여 지진 신호를 처리하는 것이다. STA는 신호의 순간 진폭을 측정하여 지진 발생을 감시하기 위하여 사용된다. LTA는 연속적인 지진파형의 잡음수준을 다루기 위하여 사용된다. STA/LTA는 다음과 같은 식을 이용하여 계산된다.

$$STA = \frac{1}{t_{STA}} \int_t^{t+t_{STA}} |x(t)| dt$$

$$LTA = \frac{1}{t_{LTA}} \int_t^{t+t_{LTA}} |x(t)| dt$$

위 식에서 t_{STA} 와 t_{LTA} 는 각각 STA와 LTA의 시간영역 길이를 나타내며, $x(t)$ 는 임의의 시간 t 에서의 지진파형을 나타낸다. 현장조기경보 신호 도출을 위한 알고리즘은 다음의 자료 처리 절차와 같이 작성되었다.

- 수직 및 수평 가속도 기록을 이용한 mean과 trend 제거 후, Allen(1982)이 제안한 특성 함수(CF)를 적용하여 아래의 특성함수 생성

$$CF_i = S_i^2 + C_i(S_i - S_{i-1})^2$$

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^i |S_j|}{\sum_{j=1}^i |S_j - S_{i-1}|}$$

C_i : CF_i 의 균형을 위한 가중치 값

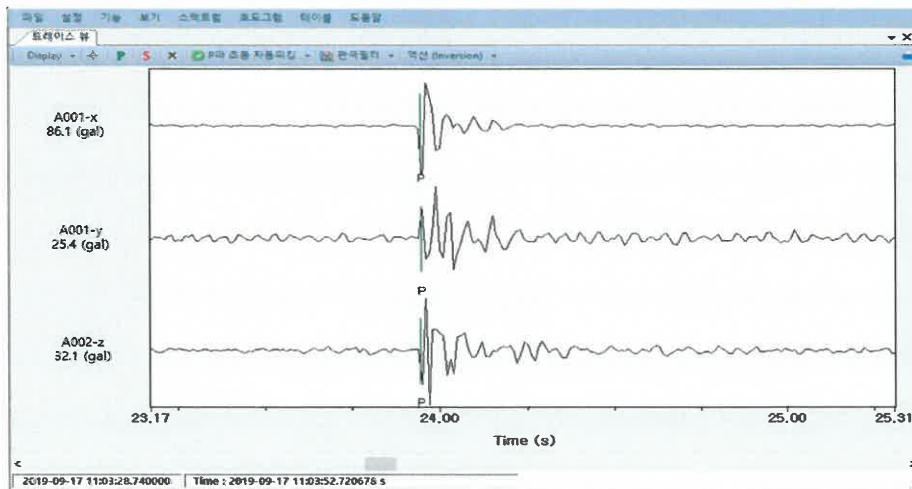
- 생성된 특성함수를 이용하여 단기평균과 장기평균의 비를 계산

$$\frac{STA_i}{LTA_i} = \frac{\frac{1}{N_{STA}} \sum_{j=i}^{i+N_{STA}-1} CF_j}{\frac{1}{N_{LTA}} \sum_{j=i-N_{LTA}}^{i-1} CF_j}$$

N_{STA}, N_{LTA} : 시간영역의 크기

- STA/LTA 비 값이 한계치(Threshold)를 초과하면 P파 Picking

아래의 그림은 임의의 이벤트를 발생시켜(타격) 발생된 신호에 대해 개발한 알고리즘을 통해 도출된 결과를 나타내고 있다. 그림에 표시된 P 지점이 초동에 대한 포인트이다.



[그림 2-44] 개발한 STA/LTA 알고리즘에 대한 검증 결과

(2) 경보 트리거 알고리즘

지진 신호가 감지되었을 때, 그 신호가 어느 정도 크기의 지진으로부터 야기된 것인지를 측정함으로써 경보 발령 여부를 판단할 수 있다. 이를 위하여 Kanamori (2005)가 개발한 τ_c 방법을 이용한다. 이 방법은 지진의 크기, 즉 규모를 결정하기 위하여 P파 도착 선언 이후 최초 3초 동안의 지진파형 자료를 이용한다. 조기경보의 또 다른 중요한 요소는 τ_c 를 평가하는데 이용한 것과 같은 시간 동안에 해당 지진 관측 지점에서 야기될 S파 진동 수준을 예측하는 것이다. 이것은 P파 도착 선언 이후 최초 3초 동안의 2차 고주파 필터를 통과한 수직 성분 변위의 최대 진폭을 계산하여 얻을 수 있으며, 이를 Pd 라고 한다. Pd 는 해당 지점에서

의 최대지반속도(PGV)를 추정하는데 사용된다. 그러므로 Pd 를 경보 목표 지역에서 지진 진도를 추정하기 위한 기준으로 사용할 수 있다. 이와 같은 τ_c 와 Pd 파라미터를 실시간 연속 파형으로부터 도출하기 위한 알고리즘은 다음의 자료 처리 절차와 같이 작성되었다.

- 적분구간은 P pick으로부터 이전 5초, 이후 3초
- 원시 자료 가속도 파형에 대하여 P파 이후 1,2,3초 범위 내 가장 큰 진폭 P_a 도출
- 1차 적분 속도 파형에 대하여 P파 이후 1,2,3초 범위 내 가장 큰 진폭 P_v 도출
- 2차 적분 변위 파형에 대하여 P파 이후 1,2,3초 범위 내 가장 큰 진폭 P_d 도출
- 1차 적분 속도(v)와 2차 적분변위(u)자료 사용하여 다음 식을 이용하여 τ_c 계산

$$\tau_c = 2\pi \sqrt{\frac{\int_o^{t_o} u^2(t)dt}{\int_o^{t_o} v^2(t)dt}} \quad o, t_o: \text{P pick 시간과 고정된 시간영역}$$

본 연구에서는 상기 트리거 알고리즘과 병행하여 단순히 Amplitude Level을 임계값으로 하여 해당 임계값을 초과하는 신호를 감지할 수 있도록 하는 트리거 기능도 추가 적용하여 개발하였다. 또한, 2 of 3 알고리즘 즉, 최하층 3개의 센서 중 2개 이상에서 트리거 되어야만 경보발령을 처리할 수 있도록 하여 오경보 방지를 위한 알고리즘도 적용하여 개발하였다.

○ 지진 조기경보 알고리즘 동작 확인

- 개발된 MEMS 가속도 모듈에 P파 사전경보 알고리즘을 탑재하여 동작 테스트 수행
- 측정방법 : 실시간 계측값을 분석하여 Trigger 동작상태 확인
- 확인방법 : 저장된 Data log를 통한 확인

```

8791 201810190245354821 STA/LTA_trig > 4
8792 201810190245354921 STA/LTA_trig > 4
8793 201810190245355021 STA/LTA_trig > 4
8794 201810190245355121 STA/LTA_trig > 4
8795 #####
8796 P_WAVE Trigg
8797 201810190245355222 Pd: 6.13647
8798 P_WAVE END
8799 #####
8800 #####
8801 STA/LTA Trigger Off
8802 201810190245355222 STA/LTA < 4
8803 201810190245355322 STA/LTA < 4
8804 201810190245355422 STA/LTA < 4
8805 201810190245355522 STA/LTA < 4

```

(a) Pd trigger 모드 동작 확인

```

8702 201810190245346121 STA/LTA < 4
8703 #####
8704 STA/LTA Trigger On
8705 201810190245346222 STA/LTA_trig > 4
8706 201810190245346322 STA/LTA_trig > 4
8707 201810190245346422 STA/LTA_trig > 4
8708 201810190245346522 STA/LTA_trig > 4
8709 201810190245346622 STA/LTA_trig > 4
8710 201810190245346721 STA/LTA_trig > 4
8711 201810190245346822 STA/LTA_trig > 4

```

(b) STA/LTA 초동 Trigger 모드 동작 확인

[그림 2-45] Pd trigger 및 STA/LTA 트리거 동작 확인

마. 건축물 손상도 평가 알고리즘 개발

본 연구는 지진동에 의한 건축물의 안전성을 판단하기 위하여 건축물의 지진가속도 응답 신호를 활용하는 사례를 토대로 지진가속도 응답신호로부터 건축물의 손상을 판단하는 알고리즘 개발에 대한 연구를 진행하였다. 건축물의 지진가속도 응답신호는 상시 미진동 측정을 통한 건전성 평가와 유사하게 활용될 수 있다. 보다 효율적이고 합리적인 연구수행을 위해 건축물 안전성 평가 기술에 대해 입증된 선행연구 자료를 바탕으로 지진 발생 시 지진 가속도 응답신호 데이터를 활용한 건축물의 안전성을 평가할 수 있는 평가지표를 선정하였으며, 그에 따른 안전관리기준을 채택하여 평가기준에 대한 신뢰성 및 적합성을 확보할 수 있도록 하였다. 또한 건축물의 안전성 판단에 대한 결과만을 제시하는 것이 아니라 건축물 모드형상 변화 측정에 의한 지진동에 의한 건축물의 구조 손상부위 예측 기법을 개발하여 안전 정밀 진단 소요 도출에 활용할 수 있도록 하였다. 개발된 건축물 손상도 평가 알고리즘을 통해 지진 발생 직후 신속한 건축물 안전성 평가가 수행될 수 있을 것으로 사료된다.

(1) 긴급 건축물 손상평가 지표

국내 건축물 긴급 건정성 평가를 위한 평가지표는 국립방재연구원에서 수행된 연구(2012)에 의해 제시된 바 있다. 일반적으로 지진발생시 계측된 가속도 응답을 분석하여 건축물의 안전성을 평가하기 위한 평가지표는 최대층간변위비, 고유진동수 변화율, 설계가속도 초과율을 기반으로 하며, 이중에서도 특히 최대층간변위비와 고유진동수 변화율은 긴급 안전성 평가의 주요지표로 선정하여 두 지표중 하나라도 관리기준을 초과하는 경우에는 긴급점검을 수행하도록 권고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 건축물 손상도 평가지표로 상기 언급한 최대층간변위비, 고유진동수 변화율, 설계가속도 초과율에 대해 평가지표로 선정하고 그의 따른 안전관리기준을 적용하였다.

(가) 최대층간변위비

① 정의

변위는 건축물의 거동을 나타내주는 가장 직접적인 지표이다. 최대층간변위비는 층 변위의 최대값을 해당층 높이로 나눈 값이다. 본 연구에서는 계측센서가 설치된 층 즉, 최하층과 중간층 그리고 최상층의 상대변위의 최대값을 건축물의 높이로 나누고 보정계수를 곱하여 도출할 수 있다. 이 식을 나타내면 다음의 식과 같다.

$$\text{최대층간변위비} = \alpha \times \frac{\delta'_{\max}}{h} \times 100$$

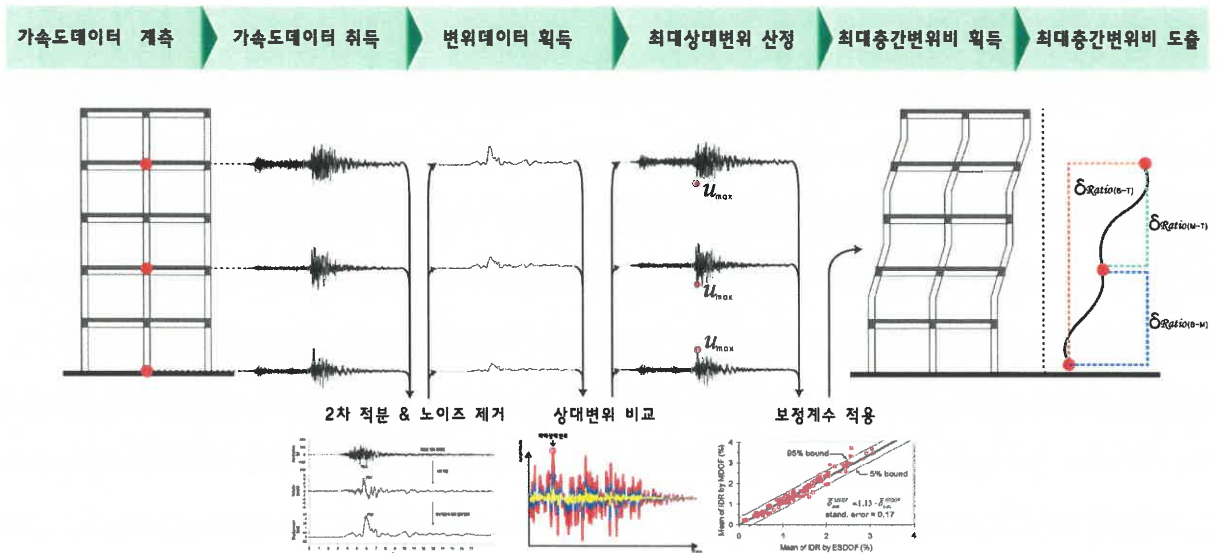
여기서 $\delta'_{\max}$ 와 h 는 상대변위의 최대값과 건축물의 높이를 나타낸다. α 는 층간변위비 보정계수로 1차 모드로 예측한 건축물의 최대층간변위비의 평균값과 실제 다자유도 건축물의 최대층간변위비의 평균값의 비율로 구할 수 있다. 층간변위비 보정계수를 통해 1차 모드형상을 바탕으로 예측한 최대변위에서 고차모드의 영향을 반영할 수 있게 해준다.

$$\alpha = \frac{\frac{-MDOF}{\delta_{\max}}}{\frac{-ESDOF}{\delta_{\max}}}$$

건축물의 동적특성은 건축물의 구조형식 등에 따라 서로 다르다. 그러므로 절대값의 층간변위가 아닌 상대적인 비율인 층간변위비를 도출하여 적용하였다.

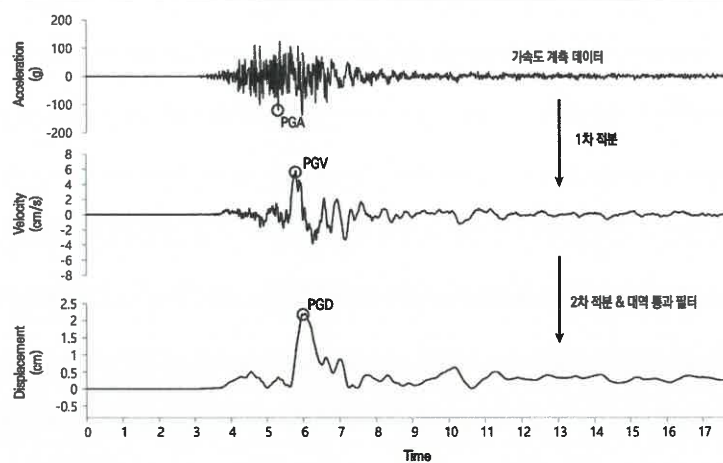
② 최대층간변위비 도출 절차

건축물에 설치된 가속도센서로부터 계측된 가속도응답을 통한 최대층간변위비 산정 절차는 아래의 그림과 같다. 최대층간변위비를 도출하기 위해서는 1)가속도 계측데이터 취득, 2) 계측자료의 노이즈 제거 및 이중적분을 통한 변위데이터 획득, 3)최대상대변위 산정, 4)무차원화를 통한 최대층간변위비 도출의 분석과정을 수행한다.



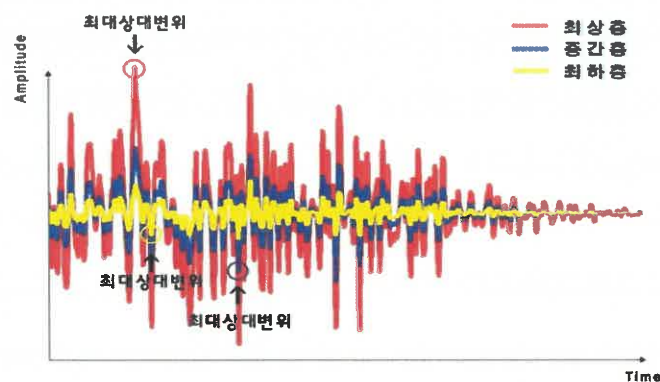
[그림 2-46] 최대층간변위비 도출 절차

가속도센서로부터 계측된 데이터를 활용하여 건축물의 거동을 파악하기 때문에 가속도 계측데이터로부터 변위로 변환하기 위해서는 2번 적분하여 변위데이터를 획득해야한다. 적분을 하게 되면 일반적으로 초기조건을 알 수 없으므로 적분상수만큼의 오차가 발생되며 이중 적분에 의해 구한 변위데이터는 적분상수의 오차가 누적됨에 따라 발산하는 등의 오차가 발생하게 된다. 이와 같은 오차를 최소화해야하므로 노이즈를 제거할 수 있는 필터를 사용하였다. 본 연구에서는 지정된 통과대역에 있는 주파수만 통과시키고 그 이상과 이하의 주파수는 제거하는 대역 통과 필터를 사용하여 노이즈에 의한 오차를 최소화하도록 하였다.



[그림 2-47] 이중적분 및 필터를 이용한 변위 데이터 산출 과정

지진은 같은 건축물이라도 층의 위치에 따라 그 응답이 달라지고, 최대응답 발생시간에도 위상차가 발생한다. 이 때문에 최대 상대변위는 최대값의 차이가 아닌 동일 시간에 대한 각 층의 상대변위 중 최대값으로 선정하도록 하였다.



[그림 2-48] 계측센서 설치 층에 따른 응답비교(최상층, 중간층, 최하층)

또한, 설치된 센서의 위치 즉, 건축물의 층수가 높고 낮음에 따라 응답이 서로 달라진다. 이는 저층건물에서의 변위값과 고층건물에서의 변위 값은 건축물의 안전성에 끼치는 영향이 다르다는 것을 의미한다. 따라서 선정된 최대 상대변위 값을 센서가 설치된 층의 높이로 나누고 그에 따른 보정계수를 곱하여 획득된 최대층간변위를 나누는 무차원화를 통해 최대층간변위비를 도출한다.

③ 안전관리기준

긴급 건축물 안정성 평가를 위한 안전관리기준은 소방방재청(현 행정안전부)에서 2009년 우리나라 지진발생시 개략적인 지진피해 수준을 조기에 정확하게 추정하기 위한 목적으로 제시한 국내 건축구조물의 지진취약도함수(정란 외, 2009)를 제시한 바 있다. 본 연구에서는 지진력 저항 시스템과 층간 변위비에 따른 건물의 성능수준을 기준으로 선정하여 그 신뢰성을 향상토록 하였다. 지진취약도함수의 손상상태는 기존 지진재해대응 시스템의 4단계 손상도 분류에 따라 Slight, Moderate, Extensive, Complete로 분류되어 정의한다.

[표 2-18] 지진재해대응시스템의 피해구분(지진취약도함수, 2009)

항목	피해구분			
FEMA 356 내진성능	기능수행 (OP)	주거기능 (IO)	인명안전 (LS)	붕괴방지 (CP)
전반적 손상도	매우 경미 (Very Light)	경미 (Light)	중과 (Moderate)	심각 (Severe)
일반적인 손상상태	· 영구적 층간변위는 발생하지 않음 · 구조물은 원래 강도 및 강성을 상당한 정도로 유지 · 구조체 및 건물 외관, 칸막이벽, 천정 등에 경미한 균열 발생 · 건물의 정상적 기능수행에 중요한 모든 시스템이 정상	· 영구적 층간변위는 발생하지 않음 · 구조물은 원래 강도 및 강성을 상당한 정도로 유지 · 구조체 및 건물 외관, 칸막이벽, 천정 등에 경미한 균열 발생 · 승강기 사용기능 · 소방설비 작동 가능	· 전 층에서 잔류 강도 및 강성을 보유 · 중력하중을 지지하는 기둥 및 벽체는 기능 수행 · 벽체나 난간의 면외 변형 파괴는 발생하지 않음 · 일정 정도의 영구 층간변위 발생 · 건물의 파손이 경제적 보강 가능 수준을 넘음	· 잔류 강도 및 강성이 거의 없음 · 중력하중을 지지하는 기둥 및 벽체는 기능 수행 · 큰 영구 층간변위 발생 · 일부 비상구 막힘 · 채움벽 및 난간은 파괴 시작 또는 완파된 상태 · 건물은 부분 또는 전체적 붕괴 직전 상태
4단계 명칭	Slight	Moderate	Extensive	Complete
지진재해 대응 시스템	부분손실		반파	전파

지진취약도함수에서는 건축물 유형에 따른 손상도 기준과 그에 해당하는 손상상태를 제시하고 있다.

○ 건축물 구조 및 유형에 따른 손상도 기준

- 철골모멘트골조의 허용 층간변위비 및 손상상태

[표 2-19] 철골모멘트골조의 허용 층간변위비 및 손상상태(지진취약도함수, 2009)

손상도 수준	FEMA 356	부재 종류별 손상상태		최대 층간 변위비
		주요 부재	하위 부재	
Slight	기능수행 (OP)	- 구조물은 원래 강도 및 강성을 상당한 정도로 유지 - 구조체 및 건물 외관, 칸막이벽, 천정 등에 경미한 균열 - 건물의 정상적 기능수행에 중요한 모든 시스템이 정상		-
Moderate	즉시거주 (IO)	- 일부 경미한 국부항복 발생 - 파단 발생치 않음 - 부재의 경미한 좌굴 또는 변형 발생	· 왼쪽과 같음	0.7
Extensive	인명안전 (LS)	· 한지발생 · 일부 보에서 국부좌굴발생 · 접합부의 상당한 변형 발생 · 독립된 모멘트접합부가 파괴되지만, 전단접합은 온전함 · 일부 부재 부분 파괴됨	· 보 및 기둥 패널의 광범위한 변형 · 모멘트접합부가 많이 파괴되지만, 전단 접합은 온전함	2.5
Complete	붕괴방지 (CP)	· 광범위한 보 및 기둥 패널 변형 · 모멘트접합부가 많이 파괴되지만, 전단접합은 온전함	· 왼쪽과 같음	5.0

- 철골가새골조의 허용 층간변위비 및 손상상태

[표 2-20] 철골가새골조의 허용 층간변위비 및 손상상태(지진취약도함수, 2009)

손상도 수준	FEMA 356	부재 종류별 손상상태		최대 층간 변위비
		주요 부재	하위 부재	
Slight	기능수행 (OP)	- 구조물은 원래 강도 및 강성을 상당한 정도로 유지 - 구조체 및 건물 외관, 칸막이벽, 천정 등에 경미한 균열 - 건물의 정상적 기능수행에 중요한 모든 시스템이 정상 기능		-
Moderate	즉시거주 (IO)	· 가새의 경미한 좌굴이나 항복	· 왼쪽과 같음	0.5
Extensive	인명안전 (LS)	· 다수의 가새가 항복하거나 좌굴하지만, 모두는 아님 · 많은 접합부의 파괴	· 왼쪽과 같음	1.5
Complete	붕괴방지 (CP)	· 가새의 좌굴과 항복이 심화됨 · 다수의 가새와 접합부의 파괴	· 왼쪽과 같음	2.0

- 철골철근콘크리트구조의 허용 층간변위비 및 손상상태

[표 2-21] 철골철근콘크리트구조의 허용 층간변위비 및 손상상태(지진취약도함수, 2009)

손상도 수준	FEMA 356	부재 종류별 손상상태		최대 층간 변위비
		주요 부재	하위 부재	
Slight	기능수행 (OP)	- 구조물은 원래 강도 및 강성을 상당한 정도로 유지 - 구조체 및 건물 외관 칸막이벽, 천정 등에 경미한 균열 발생 - 건물의 정상적 기능수행에 중요한 모든 시스템이 정상 기능		10/16 = 0.63
Moderate	즉시거주 (IO)	- 경미한 미세균열 발생 - 일부 부재에서 제한된 항복 발생 가능 - 콘크리트의 압괴는 발생하지 않음 (변형률 0.003이하)	- 연성 기둥과 보에 경미한 콘크리트 탈락 발생 - 기둥과 보에 휜 균열 발생 - 접합부에는 폭 1.6mm 미만의 전단균열 발생	1.0
Extensive	인명안전 (LS)	- 소성한지 형성 - 일부 보요소 국부좌굴 발생 - 심각한 접합부 뒤틀림 발생 고립된 모멘트접합부의 파괴가 발생하나 전단 접합부는 손상되지 않은 상태 - 일부 부재에서 부분적인 파괴	- 기둥과 보 패널에 광범위한 뒤틀림 발생 - 모멘트 접합부에 파괴가 다수 발생하나 전단 연결부는 손상되지 않은 상태	2.5
Complete	붕괴방지 (CP)	- 기둥과 보 패널에 광범위한 뒤틀림 - 모멘트접합부에 파괴가 다수 발생하나 전단 연결부는 손상되지 않은 상태	- 기둥과 보패널에 광범위한 뒤틀림 발생 - 모멘트접합부에 파괴가 다수 발생하나 전단 연결부는 손상되지 않은 상태	5.0

- 콘크리트전단벽의 허용 층간변위비 및 손상상태

[표 2-22] 콘크리트전단벽의 허용 층간변위비 및 손상상태(지진취약도함수, 2009)

손상도 수준	FEMA 356	부재 종류별 손상상태		최대 층간 변위비
		주요 부재	하위 부재	
Slight	기능수행 (OP)	- 구조물은 원래 강도 및 강성을 상당한 정도로 유지 - 구조체 및 건물 외관 칸막이벽, 천정 등에 경미한 균열 발생 - 건물의 정상적 기능수행에 중요한 모든 시스템이 정상 기능		0.5/1.6 = 0.31
Moderate	즉시거주 (IO)	- 폭 1.6 mm 이하의 경미한 미세균열 발생 - 연결보에는 32 mm 이하의 균열 발생	- 경미한 미세 균열 발생 - 사공이음 부위에서 일부 미끄러짐 - 연결보는 32 mm 이하의 균열 발생 - 경미한 콘크리트 박리 현상	0.5
Extensive	인명안전 (LS)	- 일부 경계요소에서 응력 증가 및 철근의 제한적 좌굴 발생 - 접합부에서 일부 미끄러짐 발생 - 개구부 주위의 손상 - 일부 콘크리트 압괴 및 휜균열 발생 - 연결보에 광범위한 전단 및 휜균열이 발생하고 콘크리트의 압괴도 일부 발생	- 중대한 휜 및 전단 균열 발생 - 접합부에서 미끄러짐 발생 - 광범위한 콘크리트 압괴 발생 - 개구부 주위의 파괴 - 경계요소의 심각한 손상 - 연결보는 분쇄되고 실질적으로 파괴됨	1.0
Complete	붕괴방지 (CP)	- 중대한 휜 및 전단 균열과 콘크리트 결손 - 광범위한 콘크리트 압괴 및 철근의 좌굴 - 개구부 주위의 파괴 - 경계요소의 심각한 손상 - 연결보는 분쇄되고 실질적으로 파괴됨	패널이 분쇄되고 실질적으로 파괴됨	2.0

본 연구에서는 건축물의 긴급 안전성 평가를 위한 허용 층간변위비의 안전관리기준은 지진취약도함수에 나타난 기준 및 목조 건축물 및 조적구조에 대한 기준을 제외한 지진저항시스템에 대한 안전관리기준을 선정하여 적용하였다. 이를 아래의 표는 본 연구에서 건축물 구조에 따른 층간변위비의 관리기준을 나타내고 있다.

[표 2-23] 지진력 저항시스템에 따른 허용 층간변위 관리기준안

건축물 구조 (지진력 저항 시스템)	손상도 평가 기준			
	안전 (Operational)	점검필요 (Immediate Occupancy)	심한손상 (Life Safety)	대피 (Collapse Prevention)
철골 모멘트 구조	0.44% 이하	0.7% 이하	25% 이하	50% 이하
철골 편심 가새 골조	0.31% 이하	0.5% 이하	15% 이하	20% 이하
철근 콘크리트 골조	0.50% 이하	1.0% 이하	20% 이하	40% 이하
철근 콘크리트 전단벽	0.25% 이하	0.5% 이하	10% 이하	20% 이하

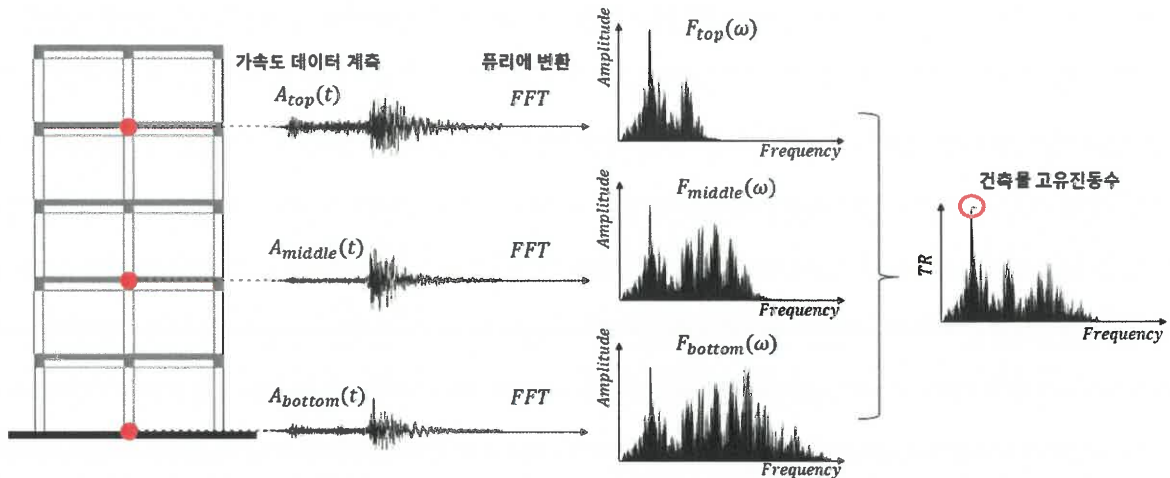
(나) 고유진동수 변화율

① 정의

고유진동수는 건축물의 손상을 판단하는 가장 일반적인 지표중에 하나로써, 지진 가속도 응답신호로부터 손상검색을 위한 목적함수를 구성하는데 있어 한 점의 계측만으로 쉽게 추출할 수 있는 장점으로 인하여 많이 이용되어져 왔다. 구조물의 손상 정도는 구조물의 강성 변화와 밀접한 관련이 있다. 건축물의 강성 변화를 직접 파악하는 것은 쉽지 않으므로 지진에 의해 손상 받은 건축물에서 측정된 고유진동수를 손상이 발생하기 전의 고유진동수로 나눈 값으로 정의된 고유진동수 변화율을 이용하여 강성의 변화를 파악한다(윤성원 외3인, 2009). 지진으로 인한 건축물의 손상을 판단하기 위해서는 강성의 저하를 고려해야하므로 고유주기가 아닌 고유진동수의 변화율을 분석하여 건축물의 안전성을 평가하는 데 활용할 수 있다.

② 고유진동수 변화율 도출 절차

건축물의 고유진동수 변화율을 산정하기 위해서는 건축물이 갖는 고유진동수를 알아야 한다. 본 연구에서는 상시계측을 통해 해당 건축물의 고유진동수를 도출하고 지진이 발생하였을 때의 고유진동수와와의 변화율과의 비교평가를 통해 건축물의 건정성 평가를 하고자 하였다. 아래의 그림은 건축물에 설치된 계측센서로부터 계측신호를 획득하여 전달함수인 TR 를 이용하여 건축물의 고유진동수를 도출하는 개념도를 나타나고 있다.



[그림 2-49] 건축물 고유진동수 도출 개념도(최상층, 중간층, 최하층)

건축물에 설치된 계측 센서로부터 계측신호를 획득하여 노이즈를 제거 후, 푸리에 변환 (FFT)를 이용하여 시간 영역을 주파수 영역으로 변환한다. 주파수 영역으로 변환된 계측자료를 서로 나누게 되면 전달함수가 계산된다. 최상층으로부터 계측응답의 Auto-Power Spectrum과 그 이외의 Reference인 중간층, 최하층의 계측 응답 간의 Cross-Power Spectrum으로부터 주파수 응답 함수가 구성된다. 이러한 주파수 응답 함수의 Peak에 해당하는 주파수 대역으로부터 건축물의 고유진동수를 추출할 수 있다. 이 때 계산된 전달 함수는 고유진동수를 의미하는 Peak점을 찾기 어려우므로 가중평균필터를 이용하여 평활화하면 전달함수의 Peak점 즉, 건축물의 고유진동수를 쉽게 찾을 수 있다. 하지만, 간혹 노이즈에 의해 고유진동수가 아닌 저주파부근에서 최대값을 갖는 경우가 발생할 수도 있기 때문에 상시 계측을 통해 해당 건축물의 고유주파수의 범위를 설정할 수 있도록 하였다. 아래 전달 함수의 식의 $F_t(\omega)$ 는 최상층에서 계측된 자료를 FFT를 통해 주파수 영역으로 변환한 결과를 나타내며, $F_r(\omega)$ 은 중간층, 최하층의 계측자료를 주파수 영역으로 변환한 결과이다.

$$TR = \frac{F_t(\omega)}{F_r(\omega)}$$

지진 발생에 따른 고유진동수 변화율 기반에 따른 건축물 손상평가 시 정량적으로 평가하기 위해서는 상시와 지진시의 고유진동수를 비교하여 변화율을 산정한다. 지진시의 고유진동수와 비교를 위하여 상시 고유진동수 선정은 장기간의 계측을 통해 해당 건축물의 고유진동수 변화를 관찰하고 배경잡음이 가장 덜한 시간대의 자료를 추출하여 사용하여 고유진

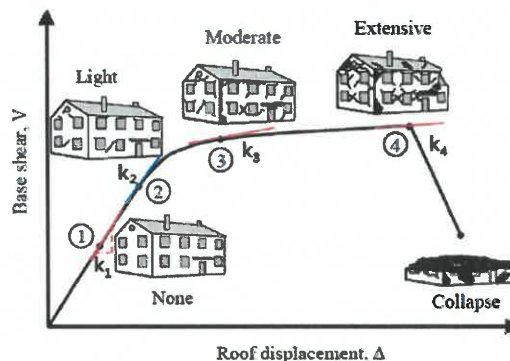
동수로 선정하도록 한다. 또한, 건축물의 경우 시간 경과에 따른 노후화 및 구조적인 변형으로 인하여 해당 건축물의 고유진동수가 변하게 되기 때문에 본 연구에서는 6개월 주기마다 배경잡음이 없는 시간대의 계측된 고유진동수의 평균값을 해당 건축물의 고유진동수로 선정하여 적용하였다.



[그림 2-50] 고유진동수 변화율 도출 절차

③ 안전관리기준

국내에서 실제 건축물의 손상 전.후에 대한 실험연구가 진행된 바 있으며(윤성원 외3인, 2009), 지진 발생에 의한 건축물의 손상 전.후에 대한 고유진동수 변화율의 안전관리기준이 소방방재청(현 행정안전부) 연구보고서(2012)에 의해 제시되었다. 자료에 의하면 강성 변화율은 건축물의 손상 후에 측정된 강성을 손상 전에 측정된 강성으로 나눈 값으로 대상 건물의 가력실험 전.후의 강성 변화율이 대략 66%일 때 시설물의 손상이 육안으로 관찰되었으며, 이때의 고유진동수 변화율은 대략 20%로 지진하중에 의한 안전성 평가기준으로 건축물의 고유진동수 변화율은 20%로 설정하는 것이 타당하다고 제시되어 있다.



[그림 2-51] 건축물의 횡변위 증가에 따른 강성변화

지진하중과 같은 횡하중에 의하여 건축물의 횡변위가 증가할수록 건축물에 손상이 발생하며 이때 강성 k_2 는 손상이 없는 상태의 강성 k_1 보다 작아지게 된다. 지진 발생 후 건축물의 가성이 64% 수준으로 감소한 경우 손상이 없는 상태의 고유진동수가 지진 발생 후 고유진동수의 120% 이상으로 증가한다는 보고가 있다. 따라서 본 연구에서의 고유진동수 변화율 안전관리기준은 국내 고유진동수 변화율의 안전관리기준으로 제시된 자료에 의거해 120% 미만인 경우를 ‘안전’으로, 120% 이상인 경우를 ‘점검필요’로 정의하며 이를 평가 기준으로 산정하였다.

(다) 설계가속도 초과율

국내의 경우 건축물 내진설계 시 ‘건축물의 내진능력산정 기준’(건축법 제60조의2항, 2017.1.20.)에 의거해 건축물의 설계 최대지반가속도를 산정한다. 따라서, 본 연구의 건축물 손상도 평가지표에 적용한 설계가속도 초과율은 건축물의 내진설계에 따른 설계지반가속도와 해당 건축물에 설치된 최하층의 가속도센서로부터 측정된 수평방향의 최대가속도의 비를 이용하여 적용하며, 별도로 해당 건축물의 설계지반가속도는 산정하지 않는다.

① 정의

설계가속도 초과율은 해당 건축물에서 계측된 최대지반가속도의 값이 건축물 내진설계 시 건축구조설계기준에 명기된 설계 최대지반가속도를 얼마나 초과하는 지에 대한 값으로 정의된다.

$$\text{설계지반가속도 초과율} = \frac{(\sqrt{(H_N^2 + H_E^2)} - PGA)}{PGA} \times 100$$

여기서 H_N 는 남북방향의 수평방향 최대 가속도이고, H_E 는 동서방향의 수평방향 최대 가속도이다. PGA 는 설계 최대지반가속도를 나타낸다.

② 설계가속도 초과율 도출 절차

본 연구에서의 설계지반가속도 초과율 분석절차는 다음과 같다. 1) 최하층의 계측데이터로부터 수평방향 최대 가속도 도출, 2) 해당 건축물 내진 설계 최대지반가속도와 1)의 값 비교를 통한 초과율 산정에 의해 해당 건축물의 설계지반가속도 초과율을 산정한다.



[그림 2-52] 설계가속도 초과율 도출 절차

③ 안전관리기준

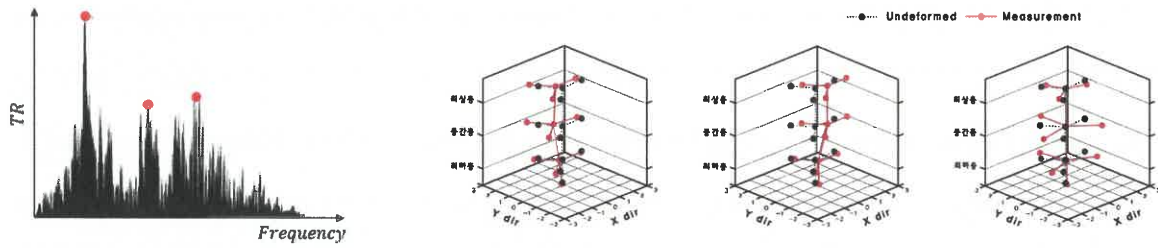
본 연구에서는 설계 지반가속도값과 계측된 최하층의 계측데이터로부터 수평방향 최대 가속도값이 동일 할 때 설계지반가속도 초과율이 0%로 나타나고 양수인 값으로 나타나는 것은 초과 정도를 나타낸다. 현재 설계가속도는 지표의 가속도를 기준으로 제시되어 있으므로 계측된 최대값이 설계값을 넘어서는 것은 건축물의 안전성에 문제가 될 것으로 사료된다. 따라서 설계값과 동일해지는 0%를 최대 안전 상태로 보고 안전관리기준을 0%로 설정한다.

(2) 건축물 모드형상 알고리즘 개발

본 연구에서는 건축물에 설치된 가속도 계측 응답신호로부터 건축물의 손상 부위 예측을 위한 건축물 모드형상 알고리즘을 개발하였다. 모드형상 알고리즘에 적용될 환경인자 값을 추출하기 위하여 가) 주파수 응답 모드형상 추출 기법, 나) 층간변위에 대한 Intensity 기법, 다) Hodogram 기법 등을 적용하였다.

가) 주파수 응답 모드형상 추출 기법

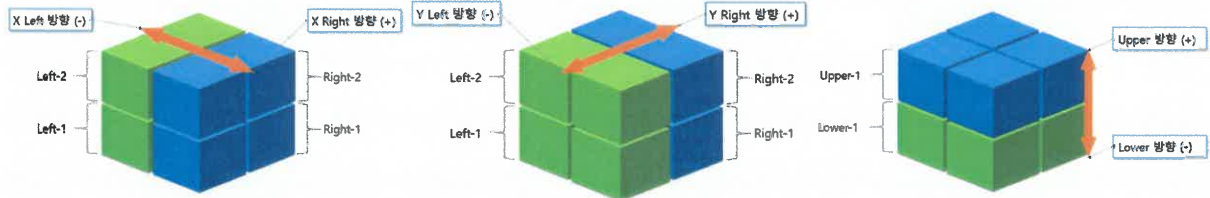
상대적으로 입력하중을 제어하기 어려운 건축물, 교량과 같은 대규모 구조물을 대상으로 대상 구조물의 미진동을 계측하고, 계측한 응답만으로 주파수 응답 함수(Frequency Response Function)를 구성하여 대상 구조물의 동특성을 추출하는 방법을 적용할 수 있다. 아래의 식과 같이 Reference로 선정한 계측 응답의 Auto-power Spectrum, 그리고 Reference 응답과 그 외의 계측 응답 간의 Cross-power Spectrum으로부터 주파수 응답 함수가 구성된다. 앞서 언급한 고유주파수 산정에 사용된 함수와 동일하다. 이러한 주파수 응답 함수의 Peak에 해당하는 주파수 대역으로부터 모드형상을 추출할 수 있다. 본 연구에서는 강축방향(X axis)의 파 약축방향(Y axis)의 축 성분의 계측자료만을 이용하여 수평방향의 주파수 응답 Cross-power Spectrum을 도출하고 그에 따른 Peak 주파수별 모드를 도출하여 건축물 비틀림의 방향을 설정하는 환경변수로 적용하였다.



[그림 2-53] 방향성에 따른 주파수 응답 모드형상

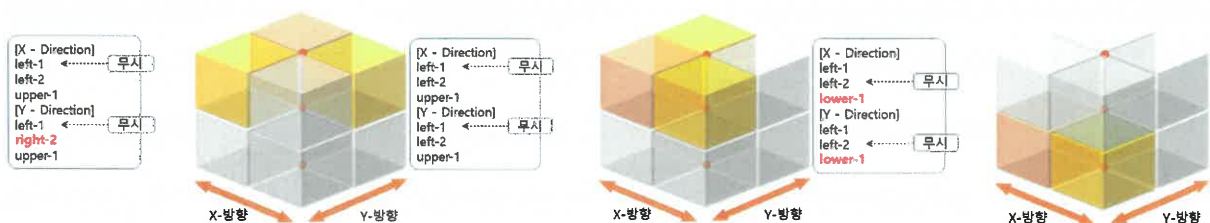
나) 최대층간변위에 대한 Intensity 기법

앞서 최대층간변위비 도출 절차에 언급한 바와 같이 본 연구에서는 최상층, 중간층, 최하층에 대한 가속도 계측 센서로부터 가속도 데이터를 획득하고 이를 이중적분을 통해 각 설치 층의 강축방향(X axis)과 약축방향(Y axis), 장축방향(Z axis)의 최대 변위값을 산출한다. 각 설치 층의 방향성에 따른 최대변위 및 최대층간변위를 비교하여 해당 건축물의 손상구역을 대략적으로 판별할 수 있다.



[그림 2-54] 변위비교를 이용한 건축물 손상위치판별 기준

- lower-1 $\cap$ (left-1 or right-1) : 유효 · upper-1 $\cap$ (left-2 or right-2) : 유효
- lower-1 $\cap$ (left-2 or right-2) : 무시 · upper-1 $\cap$ (left-1 or right-1) : 무시
- X방향(or Y방향)의 값(left1, right1, left2, right2)과 겹치는 구간
- X방향(or Y방향)의 값과의 겹치는 구간이 없는 경우 Z방향 값(lower1 or upper1) 전체구간을 손상 위치로 파악



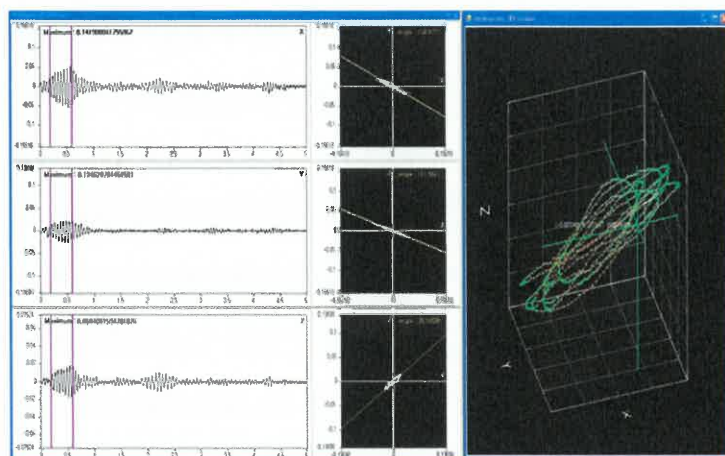
[그림 2-55] 변위비교를 이용한 건축물 손상위치판별 모식화

다) Hodogram 기법

일반적으로 역학적인 힘에 의해 진동이 발생되면 항상 P파 (종파)와 S파 (횡파)가 동시에 생성되고 생성된 P파는 S파와 서로 연계되어 특유의 탄성파를 유발하여 전달한다. 탄성파가 전달되는 과정은 미시적 측면에서 하나의 입자 움직임으로 관찰되는데 이때 P파는 파의 진행이 평행하고 S파는 그와 수직인 입자 움직임을 나타낸다. 이러한 입자움직임은 x, y, z 의 3성분의 데이터 신호를 시간에 대한 함수로 표현하여 진동의 동적 경로인 즉, 건축물의 거동을 대변할 수 있다. 진동 경로를 표현하기 위해 오차항의 제곱의 합을 최소화하는 최소자승법 (least square method)을 이용한 리니어 피팅 알고리즘 (linear fitting algorithm)이 사용되었다. 이 때, 하나의 특정한 직선 (linear model)은 $f(x) = a \cdot x + b + \text{noise}$ 로 나타낸다면 이때 두 성분의 최소자승의 기준 하에서 a 와 b 를 구할 수 있는 식 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$E(a,b) = \sum (y_i - (ax_i + b))^2 \quad (3-1)$$

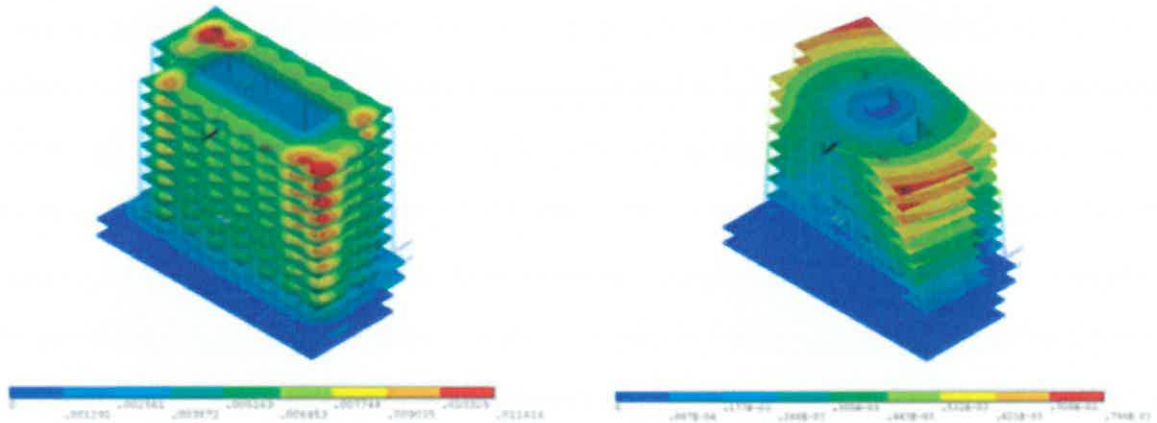
a 에 대한 편미분 값이 0이고 b 에 대한 편미분 값이 0인 a, b 를 구하여 함수 값의 최소점을 찾아 피팅을 적용하고 삼각함수를 이용하여 기준이 되는 성분의 각도를 계산하여 표현함으로써 입자움직임에 대한 정보를 나타내었다. xy, xz, yz 의 2차원 그래프뿐만 아니라 3차원 그래프를 이용하여 입자움직임을 표현함으로 더욱 효율적인 분석이 가능하다.



[그림 2-56] Hodogram을 이용한 건축물 동적 거동 분석

최상층, 중간층, 최하층에 대하여 Hodogram 기법을 적용해 방향성의 입자움직임 데이터를 획득하고, 최상층과 중간층, 중간층과 최하층의 입자움직임 데이터를 Interpolation 하여

지진 발생시 건축물의 거동에 대한 모션 값을 도출할 수 있다. 또한 획득된 모션 값에 주파수 응답에 대한 모드형상 추출결과와 각 방향성에 대한 층간변위의 데이터를 보정한 후 통해 이를 변위의 강도에 따른 결과로 표출하여 해당 건축물의 구조진동해석이 가능하다.



[그림 2-57] 건축물 진동에 따른 손상도 및 거동해석

바. 자료수집처리를 위한 ICU 개발

(1) 개요

최근 발생한 경주/포항 지진과 빈번한 여진으로 인한 피해가 빈번히 발생되고 있다. 이로 인한 피해는 개인은 물론 국가적으로도 막대한 손실을 초래함에 따라 시급한 예방대책이 필수적이다. 특히, 지진발생 시 진앙지 인근 100km 이내 지역은 기상청에서 발표하는 긴급 재난문자를 받기 전에 건축물에 직접적인 영향을 주는 S파가 도착하여 지진에 대해 대비할 수가 없다. 이러한 사고를 예방하기 위해서는 건축물 상태에 대한 유용한 정보를 취득할 수 있는 측정 시스템을 이용하여 진동의 발생 시간, 속도, 에너지의 규모 및 탄성과 모멘트 등과 같은 진동특성 분석으로 사전에 사고를 예방할 수 있다. 최근 국내에서도 센서 기술, 신호처리 기술 및 컴퓨터의 발전으로 안정적이면서 정밀성이 우수한 계측기의 구성이 가능해짐에 따라 이를 활용한 계측 시스템 개발이 활발히 이루어지고 있지만 아직 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 실시간 모니터링에 필요한 센싱 기술, 유·무선 네트워크 기술, 데이터 처리기술, 데이터 해석기술 등을 지진 감시 및 건축물 감시 모니터링에 대한 관련기술을 적용하여 효과적이고 실현가능한 모델을 구현하였다.

(2) 자료수집을 위한 ICU 개발

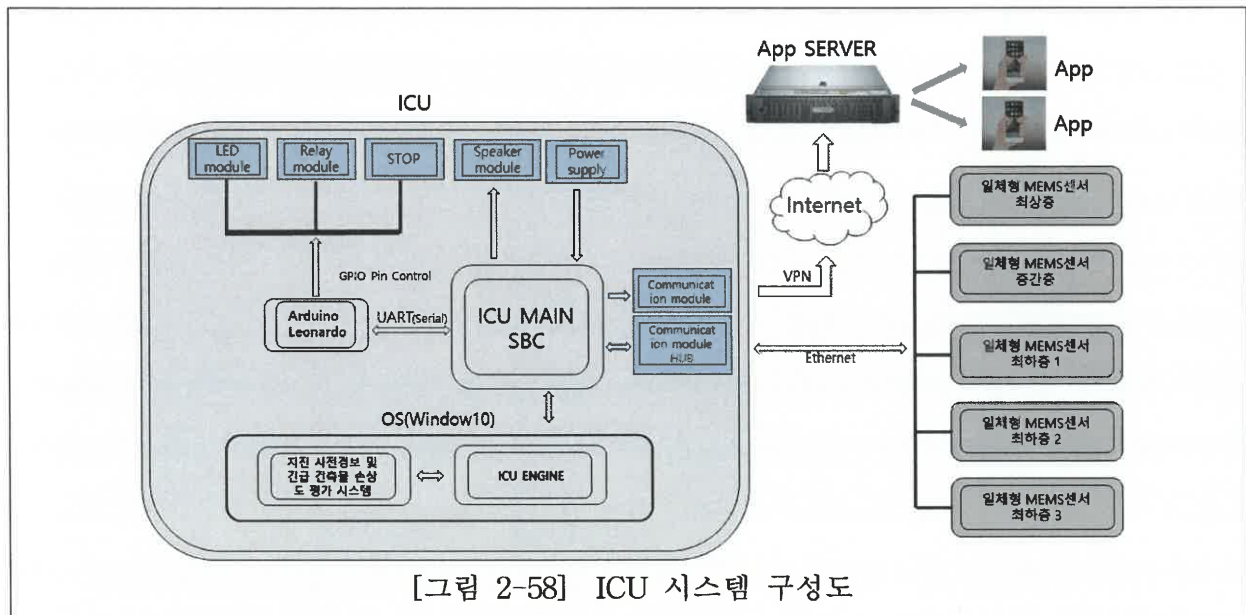
(가) 개발의 요구사항

지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 개발에 있어서 ICU의 경우 지진 가속도 센서에서 감지된 신호를 수집하여 실시간 계측 모니터링 및 자료저장 전송 등을 할 수 있어야 하며, 지진 감지를 통한 사전경보 및 건축물 손상도 평가 등의 기능 구현이 되어야 한다. 이에 따라 본 연구 개발에서는 설계, 하드웨어 제작 및 을 진행하였으며, 아래 ICU 개발에 대한 요구사항을 나타내었다.

- 지진 및 지진동 신호에 대한 고속/분해능 등 AD 지원
- 지진 및 지진동 신호에 대한 고속/분해능 등 AD 지원
- 상시 계측에 따른 안정적인 전원 공급
- 다 채널(센서) 계측을 위한 고속/멀티 통신모듈 설계
- 소프트웨어적 처리를 위한 프로세서의 충분한 퍼포먼스(스레드) 지원
- 이상 발생에 따른 경보 시스템 기능
- 경보에 따른 점점신호 및 신호출력을 위한 제어 기능
- 제품화를 위한 하우징 설계

(나) ICU 설계

ICU는 일체형 MEMS 센서 5대(최상층 1대, 중간층 1대, 최하층 3대)와 Ethernet을 통해 연결된다. 개발된 지진 가속도센서로부터 계측 데이터에 대한 수집 및 처리는 ICU ENGINE 즉, 지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 S/W에 의해 처리되고 이벤트 발생 시 ICU ENGINE이 설치된 ICU MAIN SBC를 통해 제어S/W인 Arduino Leonardo로 LED 정보와 Relay 제어 정보 음성 등을 출력하고, STOP버튼을 누를 시 모든 정보가 OFF 될 수 있도록 구성하였다. 이외에 VPN을 통해 서버에 데이터를 전송할 수 있도록 Ethernet 포트를 하나 더 구성하여 센서 데이터 처리와 서버 통신처리를 분리하였고, ICU전원은 제어 장치 및 정보장치 그리고 ICU MAIN SBC가 정상적으로 구동될 수 있게 350W의 전력을 공급하도록 구성하였다.



[그림 2-58] ICU 시스템 구성도

(다) 주요 부품 선정

① 전원 공급모듈

전원 공급에서 중요한 사항은 오랜 시간동안 안정된 전압을 공급해야 한다. 특히 본 연구에서 개발되는 시스템의 경우 상시 모니터링이 되어야하기 때문에 더욱 안정된 전압이 공급될 필요가 있다. 현재 시중에 판매되는 POWER SUPPLY의 종류는 많이 있지만, 가장 보편적으로 사용되며 전 세계적으로 안정성을 인정받은 민웰의 POWER SUPPLY를 선정하게 되었다. 아래 그림은 민웰사의 LRS-350-12 POWER SUPPLY 이다.



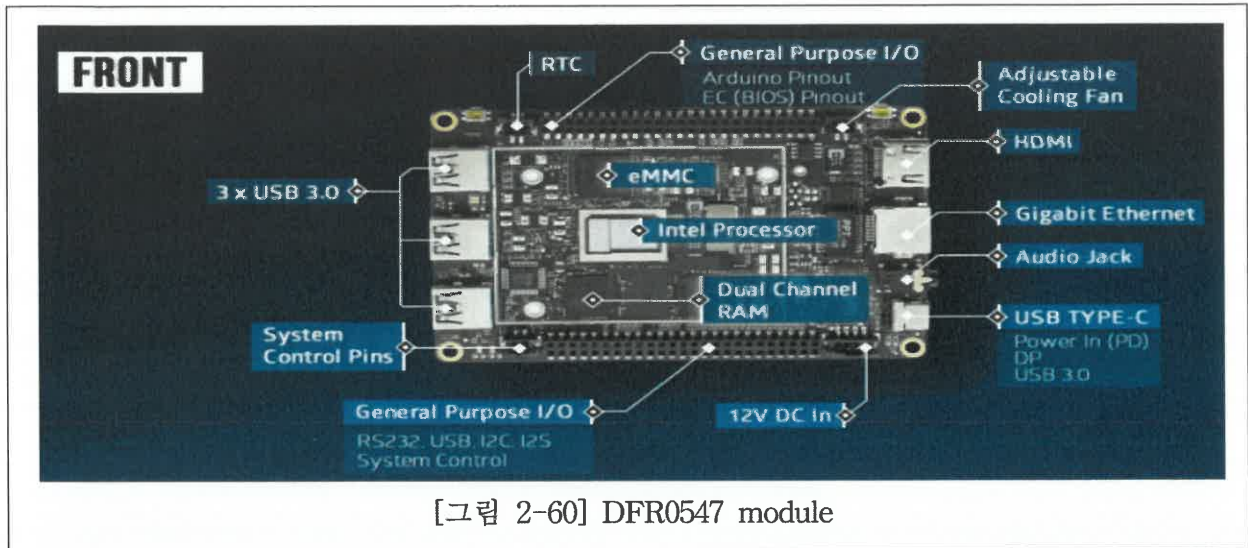
[그림 2-59] LRS-350-12 POWER SUPPLY Module

② 메인 프로세서 모듈

계측 장비를 개발할 때 가장 중시하는 것이 바로 프로세서를 선택하는 작업이다. 통상적으로 좋은 개발환경 및 좋은 프로세서들은 많은 비용을 요구한다. 그리고 개발하고자 하는 응용프로그램에 따라서 쓸모없는 기능이 있을 수 있다. 따라서 프로세서의 선택은 제품의 개발 기간 및 비용 그리고 제품의 질을 결정하는 가장 큰 요소가 된다. 본 연구에서 개발하는 계측장치의 프로세스 선정 시 고려되는 요소는 다음과 같다.

- 프로세서 가격 및 성능
- 프로세서 칩 내부 기능
- 프로세서와 응용프로그램과의 관계
- 응용프로그램 개발 환경

프로세서의 가격은 낮고 기능 및 성능이 높은 칩을 선택하면 좋지만, 개발 환경 및 응용프로그램과의 관계 역시 중요하기 때문에 본 연구에서 개발된 지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템인 ICU의 경우 개발 환경 및 응용프로그램의 호환성을 위해 윈도우 환경에서 설계 및 개발하였으며 선정된 프로세서인 ICU MAIN SBC의 DFR0547 모델의 사양은 Intel 8th m3-8100y로 윈도우에서 안정적으로 구동되며 특히, 그래픽을 사용하는 모니터링 S/W구동에서도 끊김이 없고 저전력의 전원과 구성에 필요한 인터페이스 환경을 지원한다. 또한, Arduino Leonardo(ATmega32u4 MCU)가 탑재되어 정보시스템을 구성하기에 적합하다. 따라서 본 계측 장비인 ICU의 프로세서는 DFR0547 제품으로 선정하여 개발하였다. 아래에 표는 DFR0547 모델 특성을 나타내고 있다.

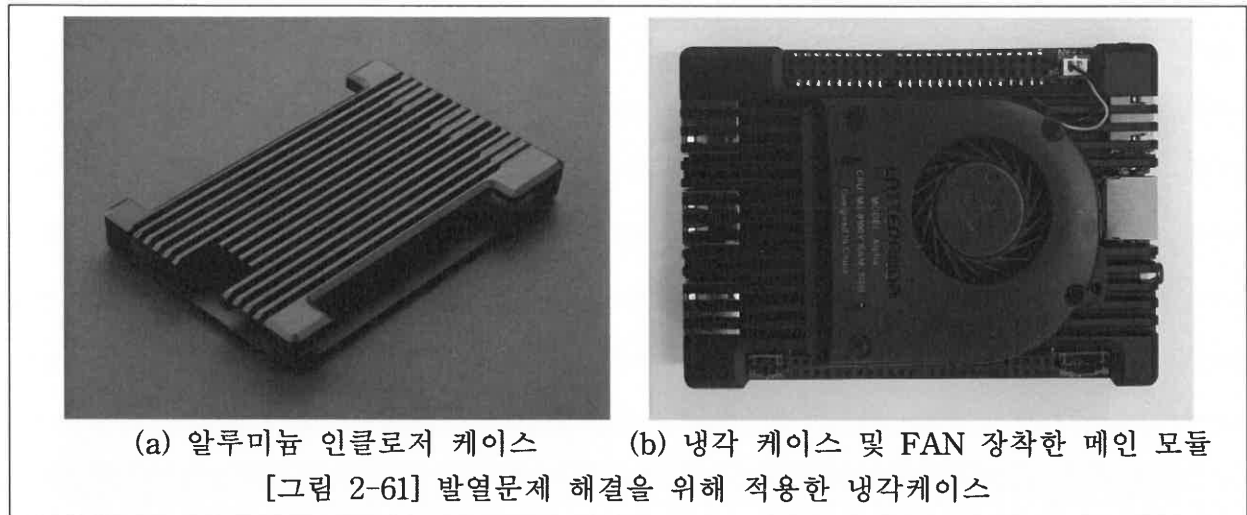


[표 2-24] 메인 프로세서의 사양 및 특징

구분	ICU MAIN SBC(DFR0547)
CPU	Intel 8th m3-8100y(8세대 인텔 CPU)
그래픽	Intel HD Graphics 615, 300-900MHz
RAM	8G LPDDR3
스토리지	64GB eMMC V5.01
외부확장슬롯	1xM.2 M Key, PCIe 4x, Supports NVMe SSD and SATA SSD 1x M.2 E Key, PCIe 2x, Supports USB2.0, UART, PCM
연결성	WIFI 802.11 AC, & 5G Dual Band 4.2 Gigabyte Ethernet
디스플레이	풀사이즈 HDMI 출력, Type-C DP 출력지원
아두이노 모듈	Arduino Leonardo
GPIO 및 I/O	I2C, I2S, USB, RS232, UART, RTC, 전원관리
OS	Windows 10 Pro, Linux Ubuntu

일반적으로 CPU가 탑재된 계측장치의 경우 제품 운영에 있어서 발열문제를 가장 신경 써야 한다. CPU모듈의 발열문제가 발생하는 이유는 제품 동작을 위해 소비되는 전력에 비해 낮은 전력을 공급받거나 CPU에서 발생하는 열을 빠르게 식히지 못하는 구조로 설계되어 발열문제가 발생하게 된다. 과열 또는 발열이 발생되면 프로세서 열 트립 오류나 블루 스크린이 발생되며 심하게는 부품이나 회로가 타버리는 현상이 발생되기 때문에 메인모듈의 발열문제는 제품 운영에 있어서 매우 중요한 사항이기 때문에 반드시 해결해야 한다. 따라서

본 개발에서는 메인모듈의 발열문제를 해결하기 위하여 적용한 방법으로는 적용된 메인모듈의 급속냉각을 위한 전용 냉각 케이스를 이용하였으며, 추가적으로 팬을 장착하여 이중으로 발열문제를 해결하도록 하였다.



③ 음향 출력을 위한 스피커

P파 조기경보 지진가속도센서의 경우 P파를 감지하여 임계 값에 따른 경보 및 방송을 지원하기 위해서는 음향을 지원하는 스피커가 내장되어야 한다. 이에 따라 무선통신(블루투스) 지원이 가능한 스피커를 실장하여 사용자의 편의성을 고려하도록 하였다.



④ PoE 모듈

지진가속도센서의 경우 제품의 설치 편의성을 위하여 PoE(Power over Ethernet) 방식의 통신기법을 적용하여 통신 및 전원이 하나의 케이블로 전송됨에 따라 ICU에서도 이를 호환할 수 있도록 PoE 통신방식의 전원 및 통신 모듈을 실장하도록 하였다.



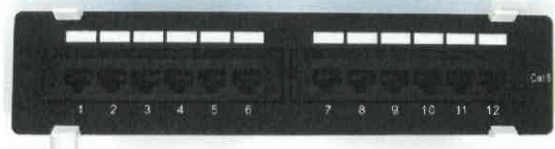
[그림 2-63] PoE 허브

⑤ 입출력 포트 단자

입출력 포트의 경우 점점 포트와 통신포트로 구분할 수 있다. 점점 포트의 경우 임계값 이상 이벤트 트리거 발생 시 점점 출력을 통한 알람, 방송 및 기기제어를 할 수 있는 포트이며 통신포트의 경우 지진 가속도센서의 계측자료 수집을 위한 데이터라인과 외부 인터넷망 연결라인이다. 본 개발에서는 점점포트 단자의 경우 나사체결 방식의 점점단자로 선정하여 내구성 및 조립의 편의성을 고려하였으며, 패치패널은 입력단의 확장성을 위하여 12포트를 지원하도록 개발하였다. 아래 그림에 개발에 적용된 입출력 포트 단자를 나타내었다.



(a) BR-762 나사체결 방식의 점점 단자

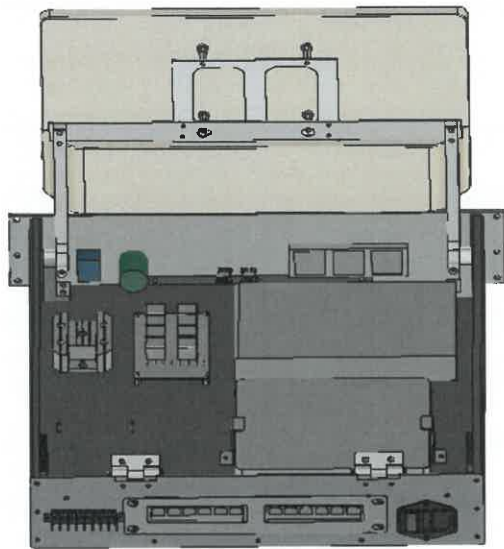


(b) 12포트 패치패널

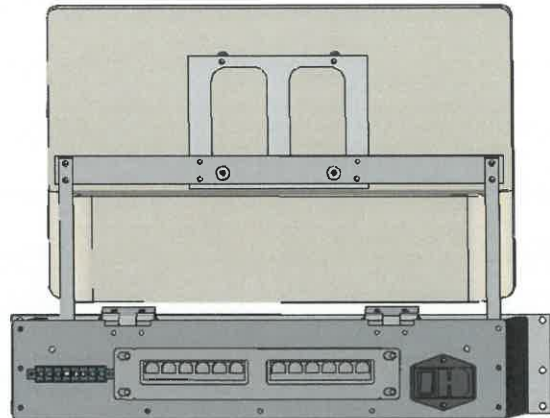
[그림 2-64] 선정된 입출력 포트 단자

⑥ ICU 하우징

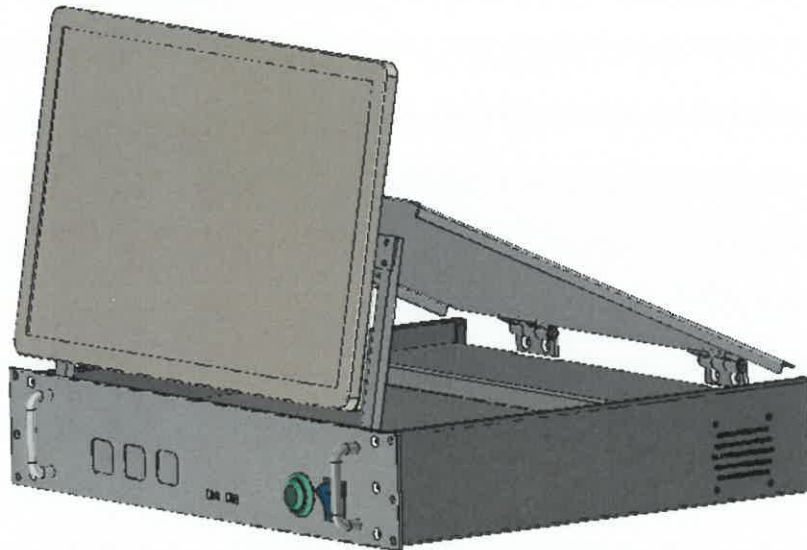
ICU 하우징은 설치의 용이성을 위해 19인치 랙 장착(1.5U) 타입으로 선정된 부품의 크기, 배치 및 공기 순환 등을 고려하여 최적화 설계를 실시하였다. 또한 LCD 패널이 장착되어야 함에 따라 이를 거치할 수 있는 거치대의 안정성 및 편리성을 고려하였다. 아래 그림은 최적화된 ICU 하우징 설계도면으로 그림에서와 같이 LCD 거치대 부분을 외각으로 설계하여 공간확장을 통한 내부공기 순환이 잘 되도록 하였으며, 모듈 배치 공간도 충분히 확보되도록 하였다. 또한 외부 입출력 포트단자를 장착할 수 있도록 조임나사를 이용하여 거치되도록 하였다.



(a) 내부 설계 모식도



(b) 후면부 설계 모식도

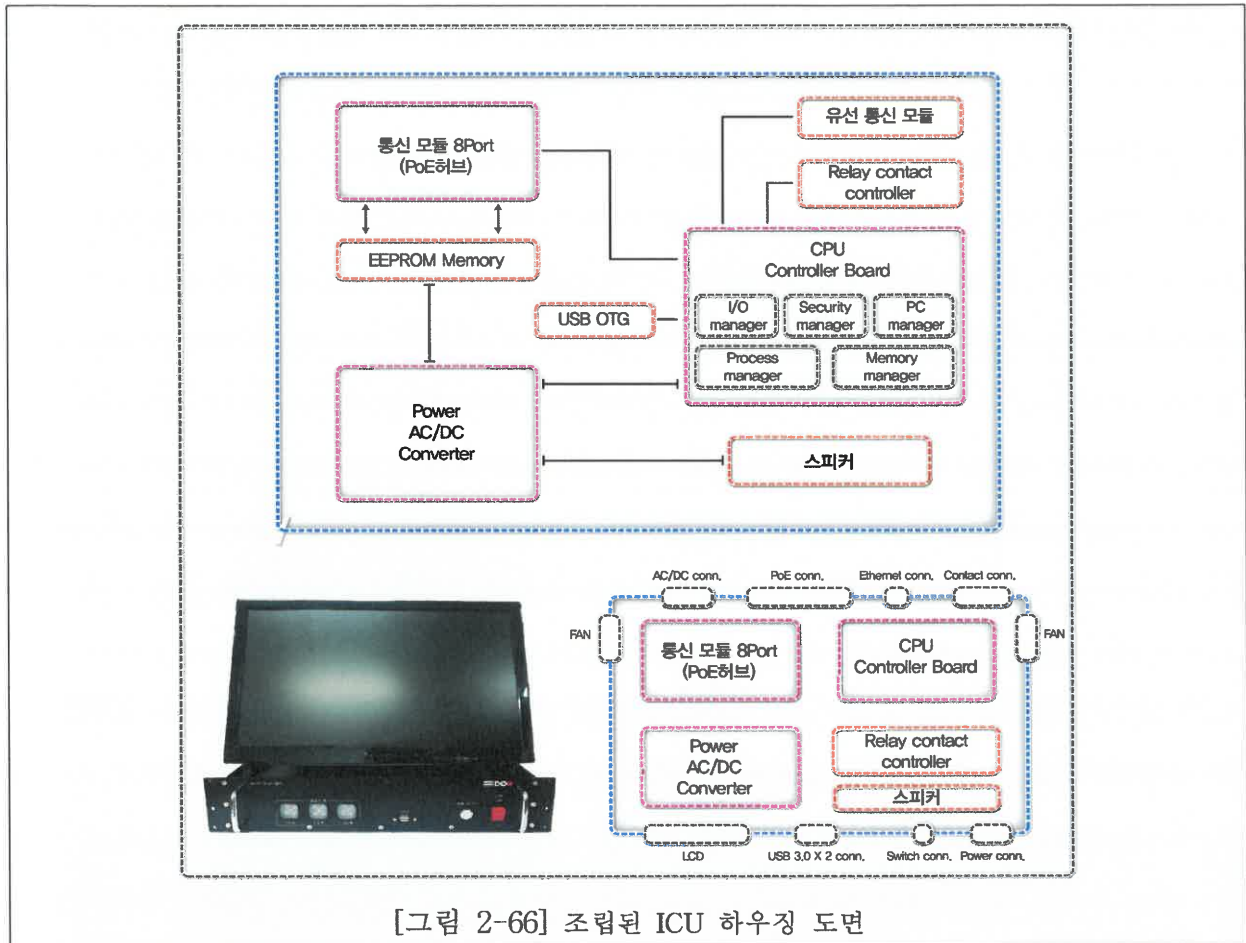


(c)조립된 ICU 하우징 모식도

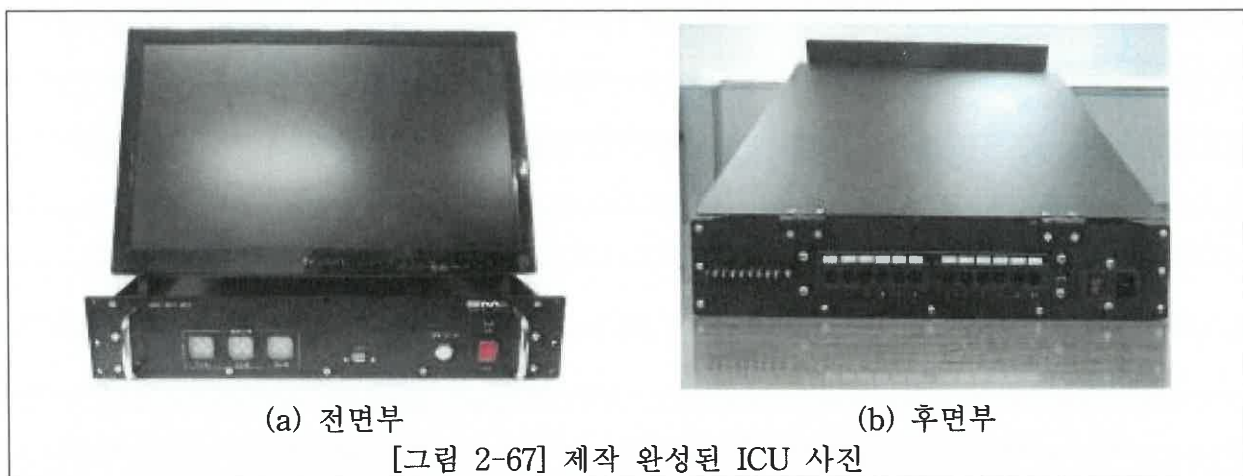
[그림 2-65] ICU 설계 및 조립완성 모식도

(다) ICU 제작 및 조립

ICU 하우징 및 부품을 배치하여 ICU 제작을 진행하였다. 제작된 자료수집 장치인 ICU의 경우 아래 나타낸 구성도에서 보는 바와 같이 적용부품 및 모듈을 배치하였으며, 내부 발열 및 배치공간을 확보하여 시스템이 안정적으로 운영될 수 있도록 제작하였다. 아래 그림에 ICU 내부 구성도와 완성된 제품을 나타내었다.



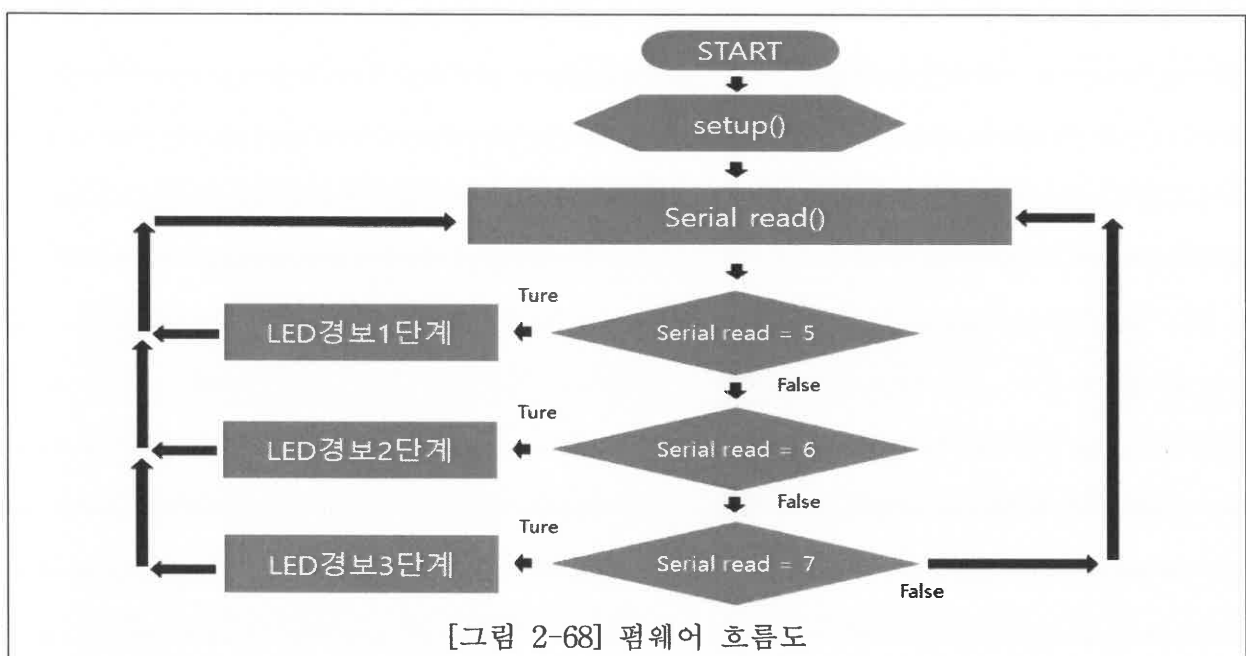
아래 그림에서 나타낸 바와 같이 개발된 ICU 전면부는 자료 전송 및 백업을 위한 USB, 경보 알람용 LED 및 사운드, 구동 릴레이 등을 종료시킬 수 있는 STOP 버튼으로 구성되어 있으며 전원을 ON으로 변경 시 스위치 LED가 켜지며 모니터에서 화면이 출력된다. ICU의 후면부의 경우 RELAY, AC전원, 네트워크 통신 관련 모듈로 구성되어 있다.



(라) 펌웨어 개발

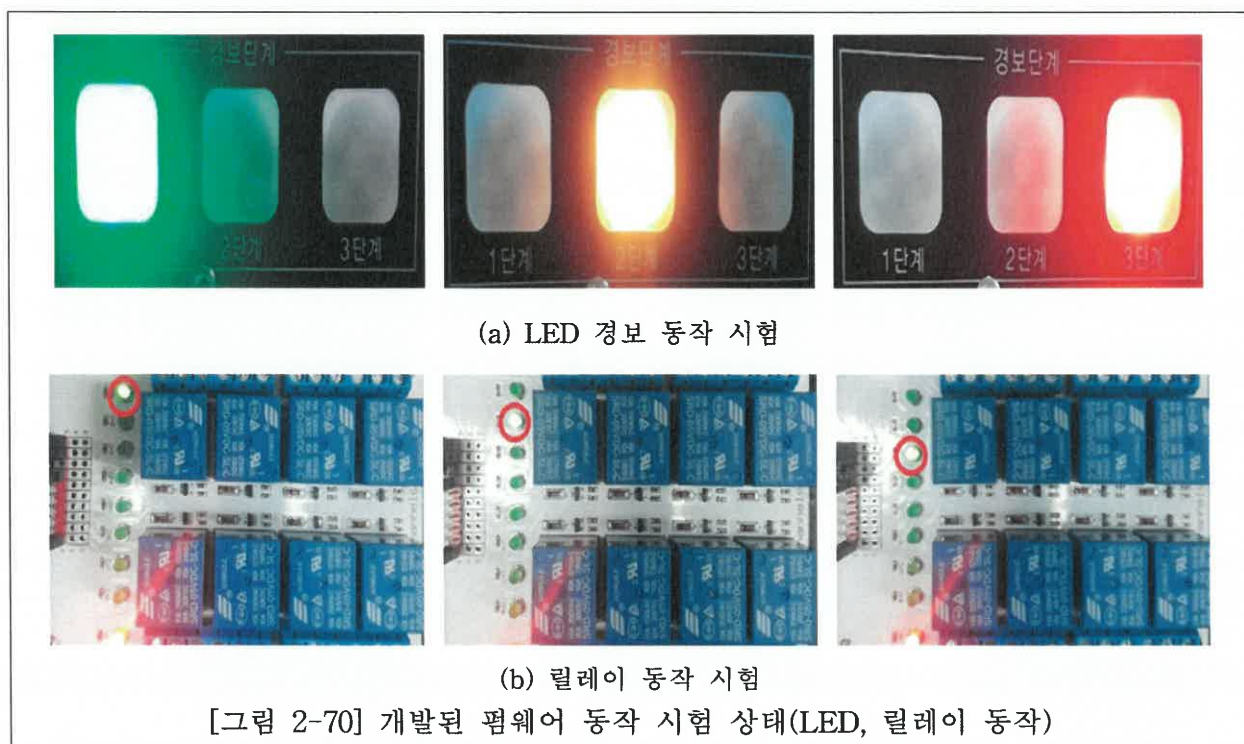
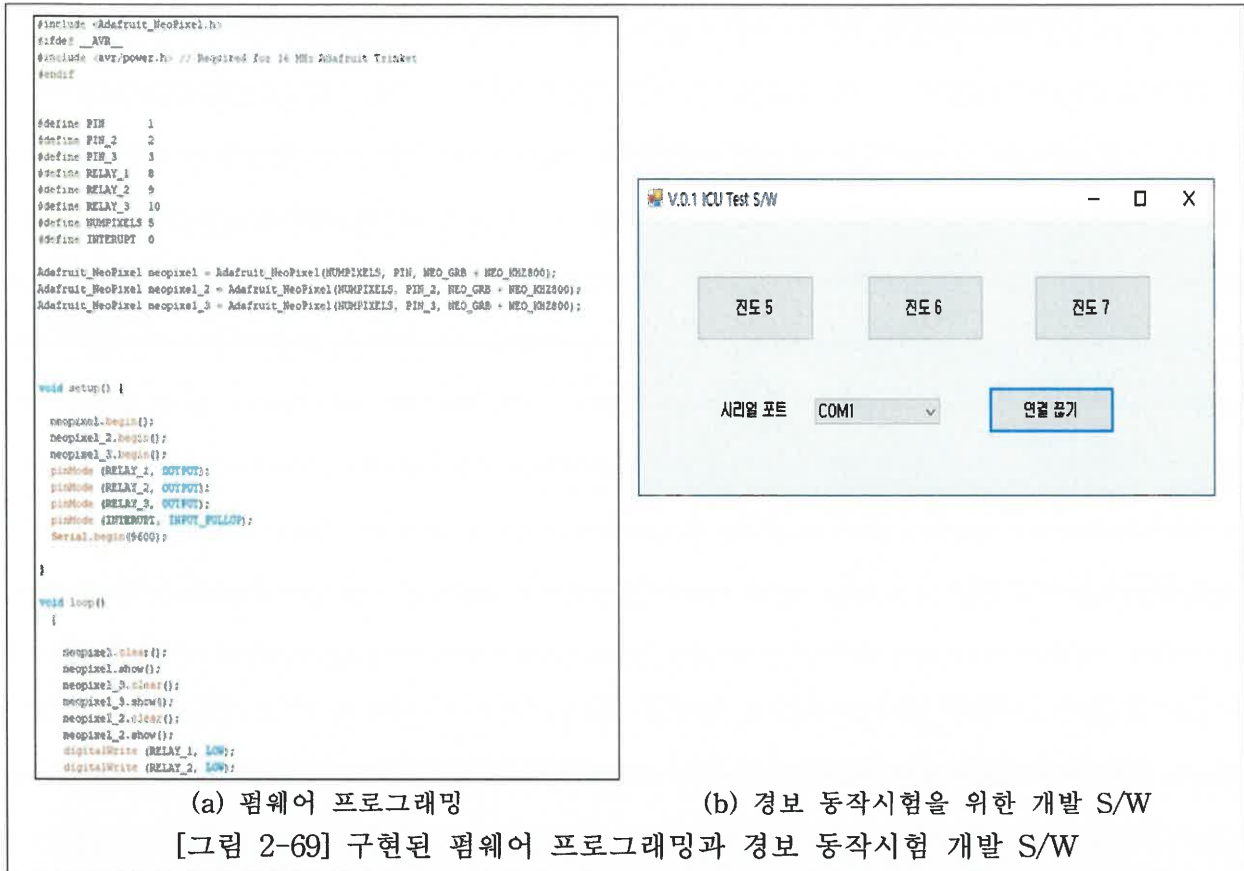
① 펌웨어 설계

지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템인 ICU의 동작은 아래 그림에 나타난 바와 같이 장비 ON시 내부 파라미터의 설정을 시작으로 이벤트 임계 값을 설정하고 지진 가속도 센서의 출력 값으로부터 1, 2, 3 단계로 경보 LED 및 음성 출력이 이루어지도록 설계되었다. 경보 단계의 설정의 경우 행정안전부 지진가속도 계측기 운영 기준에 고시된 진도표를 기준으로 경보 1단계는 진도표(지진가속도 진도표)의 진도 5 이상일 경우이며, 경보 2단계는 진도 6 이상, 경보 3단계는 진도 7 이상으로 설정하였다.



② 펌웨어 구현 및 동작시험

개발된 펌웨어의 경우 아두이노 개발환경에서 구축되었으며 아두이노 GPIO 입출력 포트를 제어하는 동시에 릴레이 보드를 통해 제어될 수 있도록 하였다. 아래 그림에 ICU 펌웨어 구현을 위해 프로그래밍된 자료 일부를 나타내었으며, 경보 동작에 대한 검증 위해 아래 그림과 같은 S/W를 구현해 시리얼통신으로 LED 및 RELAY의 동작 테스트를 진행하였다. 테스트는 현재 연결된 시리얼 포트와의 연결을 누르고 진도5, 진도6, 진도7을 클릭하여 그에 따른 LED와 RELAY가 구동되는지 테스트를 진행하였다.



사. 모니터링 소프트웨어 개발

(1) 개요

ICU 전용 계측센서(MEMS)의 센싱을 통하여 실시간 모니터링 및 자료저장/전송, 지진 감지를 통한 사전 경보, 건축물 손상도 평가 등 다양한 기능을 수행할 수 있는 계측 소프트웨어 개발을 달성하고자 한다.

(2) 소프트웨어 설계사항

본 연구를 통해 개발하는 소프트웨어는 지진 및 지진동 계측에 대한 실시간 모니터링을 할 수 있는 동시에 계측 데이터에 대한 기록 그리고 이벤트 발생 시 그에 따른 지진 사전경보 및 건축물에 대한 손상도 계측 기능이 포함되어야 한다. 이에 대한 요구사항은 다음과 같다.

- 계측 데이터 누락 없이 데이터 수집이 원활하도록 개발
- 각 채널에서 측정신호의 수집 및 저장이 가능하도록 구현
- 데이터 수집을 위한 초기 설정 단계에서 각 채널별 설정이 가능하도록 설계
- 계측 센서에 대해 조정 및 설정이 용이하도록 프로그램 설계
- 계측 데이터 및 연산 결과에 대한 저장이 효과적으로 이루어져야 하며 시간, 속도 등 기준이 되는 파라미터 값들과 각각의 모듈에 대한 신호 데이터가 동시에 기록되도록 데이터의 동기화를 고려하여 설계
- 일부 항목에 대한 시험 측정 과정에서 데이터의 수집 및 저장이 디스플레이 되도록 시스템을 구성하고 인터페이스 설계
- 실시간 계측 및 저장에서 발생 할 수 있는 이상 현상이 모니터링 되어야 함.
- 이벤트 발생 시 P파 조기경보 및 건축물 손상도 평가에 대한 결과 가시화
- 분석에 적합한 데이터 형식의 Format지원

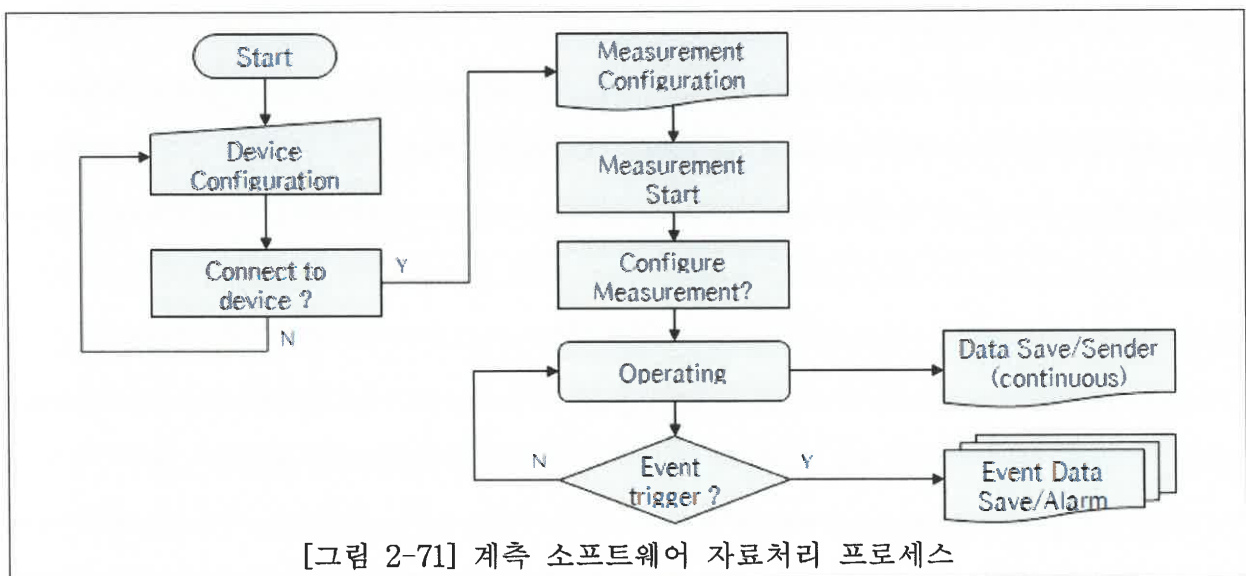
(3) 계측 소프트웨어 개발

(가) 개발환경

본 연구에서의 프로그래밍 개발은 .Net 프레임워크 4.6 기반의 Microsoft Visual Studio 2017(C#)이며, 네트워크 기반의 측정 시스템으로 얻어진 방대한 양의 입출력 데이터를 효율적으로 처리해야 하므로 최대한 사용자가 손쉽게 시뮬레이션 파라미터들을 조정할 수 있도록 GUI 환경으로 개발하였다.

(나) 계측 소프트웨어 프로세스

지진 및 지진동 측정에 대한 실시간 모니터링을 할 수 있는 동시에 동적 응답 시간이력 데이터에 대한 수집을 통하여 진동에 대한 특성 규명을 활용하기 위한 데이터에 대한 기록 및 지진 사전경보 그리고 그에 따른 건축물에 대한 손상도 계측을 목적으로 개발되었다. 상기와 같은 목적을 가지는 측정프로그램을 구현하기 위해서는 진동 이벤트 발생 시에 수집된 방대한 자료를 실시간으로 제공할 수 있는 장치 간 통신 프로토콜 기준을 정하여 전송 프로토콜을 작성하고 수집된 자료를 바탕으로 연산 결과, 시간, 속도 등에 관한 전송 메시지 정보 및 형식을 분석하여 필요한 파라미터 값들과 각각의 처리모듈에 대한 신호 데이터가 동시에 기록/처리될 수 있도록 프로세스를 설계하였다. 아래 그림은 계측 소프트웨어 자료처리 프로세스를 나타내는 것으로 ICU 장치와 센서를 연결하고 관측소 정보, 샘플링, 트리거 시간, 트리거 레벨, 계측요소(factor)등 계측의 기준이 되는 파라미터 값인 계측정보를 설정 후 계측 자료를 획득하고 이를 실시간 모니터링을 수행한다. 지진 및 지진동 발생 시 조기경보 알고리즘을 통해 지진 사전 경보 및 건축물 손상도 평가정보를 제공하며 측정 데이터 및 연산 결과에 대한 데이터가 저장장치에 저장된다.



(다) 기능별 모듈 설계

소프트웨어 개발에 있어 모듈 설계는 해당 프로그램의 기능에 대한 상세 정의가 요구되며 기능 정의를 바탕으로 각 모듈에 대한 구조 및 설계가 이루어진다. 본 연구에서 개발된 소프트웨어의 기능 및 설계는 다음과 같다.

[표 2-25] 기능별 모듈 설계 기능표

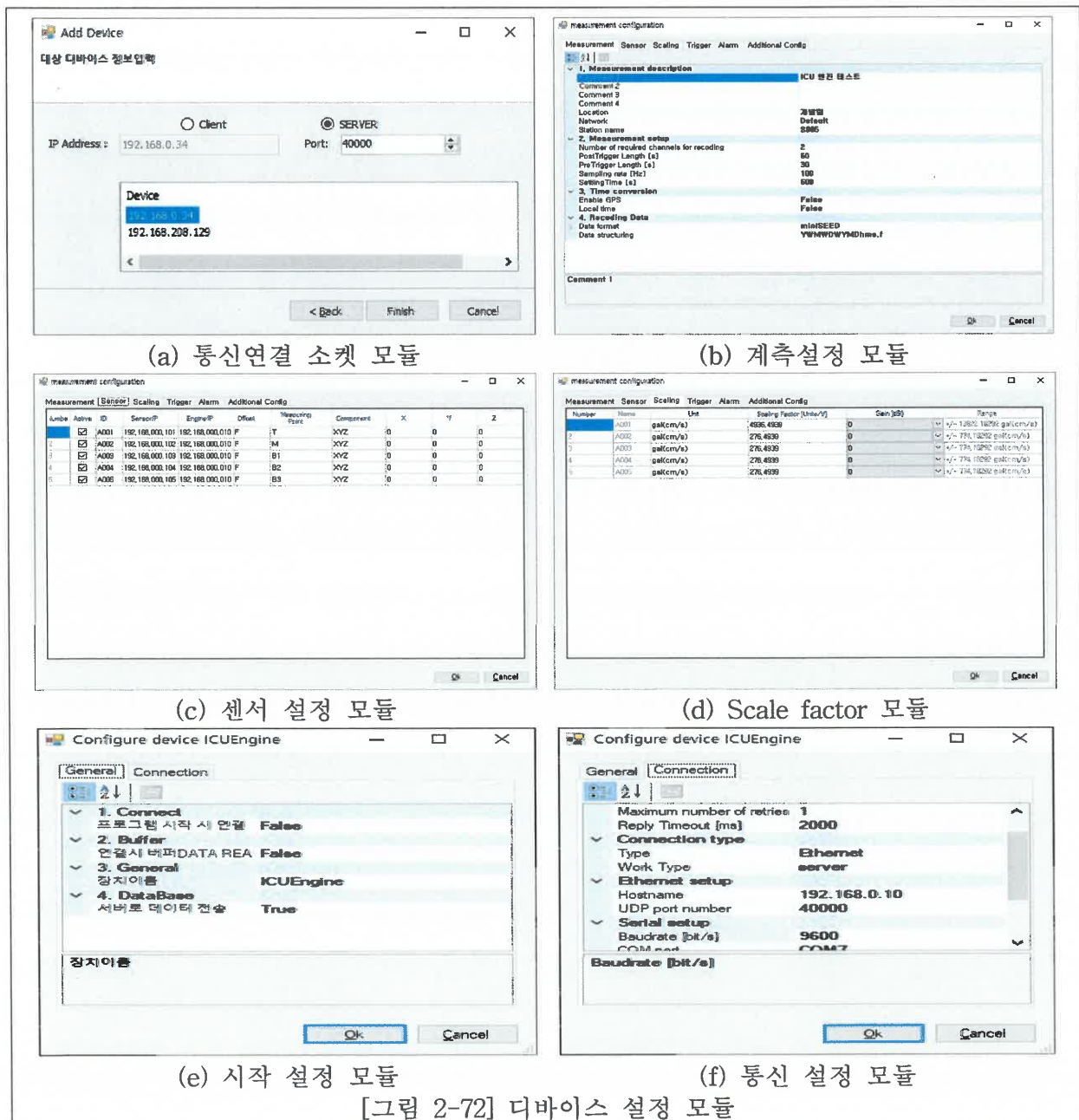
구분	모듈	기능/내용
통신	센서 소켓	ICU와 센서간 소켓 통신
	클라이언트 소켓	개발 응용프로그램간의 소켓 통신
	센서동작	센싱 시작 및 종료
계측 설정	Measurement	측정에 관한 환경 파라미터 설정 - 계측현장 코드, 트리거 발생에 따른 자료 저장범위 - 샘플링 속도, 시간 정보 및 저장 양식 설정
	Sensor	센서 설정 - 센서ID, 환경변수 및 목적지 IP/Port, Offset 설정
	Scaling	계측 단위환산을 위한 scale factor 설정
	Trigger	이벤트 발생 트리거 처리에 대한 환경설정
	Alarm	측정신호의 특정 level을 설정하여 SMS 알람
상시 모니터링	RealTime Trace	실시간 계측 신호에 대한 모니터링
	Signal Level	실시간 계측 신호에 대한 레벨 값 모니터링
	Spectrum	실시간으로 측정된 신호의 진폭 스펙트럼
	Hodogram	실시간 입자의 움직임을 3차원으로 표현
	건축물 손상도	건물의 고유진동수 및 층간변위비 모니터링
	Message	실시간 계측 및 저장 로그 기록
정보	이벤트 트리거 P파 사전정보 건축물 손상도	P파 사전정보 및 이벤트 트리거 알고리즘 - STA/LTA 알고리즘을 이용한 P파 감지 - Amplitude 및 트리거 알고리즘을 통한 정보 처리 건축물 손상도 평가 알고리즘 - 2 of 3 알고리즘을 통한 건축물 손상 이벤트 감지 - 실시간 건축물 손상도 평가 데이터 추출
	정보/방송 발령	이벤트 감지에 따른 상황전파 - 정보 컨트롤러 제어 및 신호 출력
자료저장	실시간 자료	실시간 데이터 저장(miniSEED)
	이벤트 자료	이벤트 발생에 따른 이벤트 데이터 저장 - 이벤트 구간에 대한 데이터 저장(miniSEED) - 건축물 손상도 평가보고서, 이벤트 결과보고서
	보고서 자료	자료 요청 시 수동보고서 생성/저장
자료전송	서버 전송	RawData 자료 전송(서버)
	클라이언트 전송	클라이언트 응용 소프트웨어 전송 - 실시간 PGA 데이터, 실시간 건축물 손상도 평가 데이터 이벤트 발생 시 이벤트 자료 전송 - 이벤트 구간에 대한 데이터(miniSEED) - 건축물 손상도 평가보고서, 이벤트 결과보고서 자료 요청에 대한 데이터 전송(수동보고서)

(라) 계측 소프트웨어 모듈 개발

① 연결 및 설정 모듈 개발

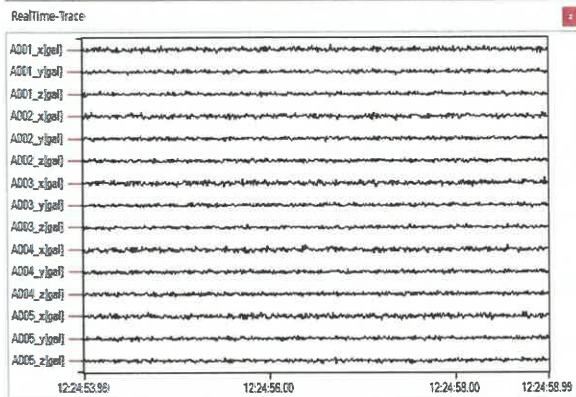
ICU와의 통신 인터페이스를 위하여 서버방식과 클라이언트 방식으로 모두 동작할 수 있게 개발되었다. 서버방식의 경우 ICU가 서버 모드가 되고 센서가 클라이언트 모드가 되는 것을 의미하며 클라이언트 방식의 경우 ICU가 클라이언트 센서가 서버로 동작함을 의미한다.

본 개발에서의 통신 소켓은 UDP 프로토콜을 채택하였으며, 다수의 센서에 대한 입력 값을 받아야하기 때문에 1:N 통신을 위한 비동기 방식으로 개발되었다. 아래 개발된 소프트웨어 모듈을 나타내도록 하였다.

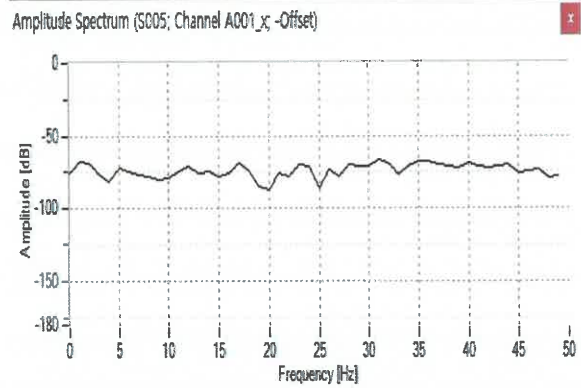


② 분석 모듈 개발

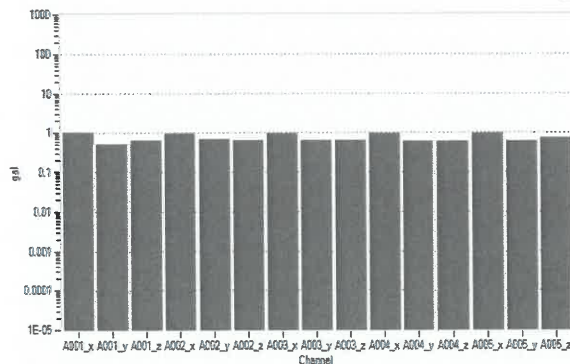
분석 모듈은 지진가속도 센서의 실시간 계측자료를 모니터링 할 수 있는 모듈로 계측 센서로부터 수신 받은 데이터에 시간의 연속성을 부여하는 Real-Time Trace, 진폭 스펙트럼, 신호의 레벨 및 신호의 방향성을 감지할 수 있는 호도그램 모듈을 개발하였다.



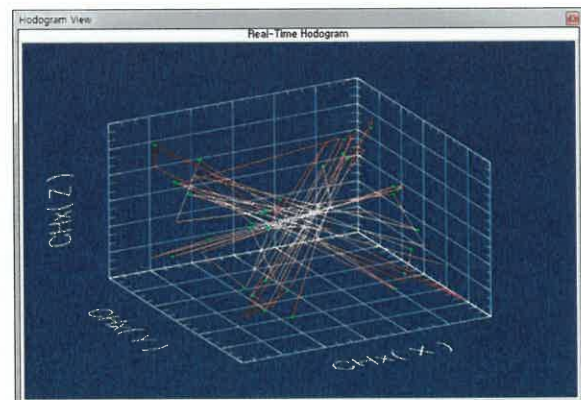
(a) Real-Time Trace 모듈



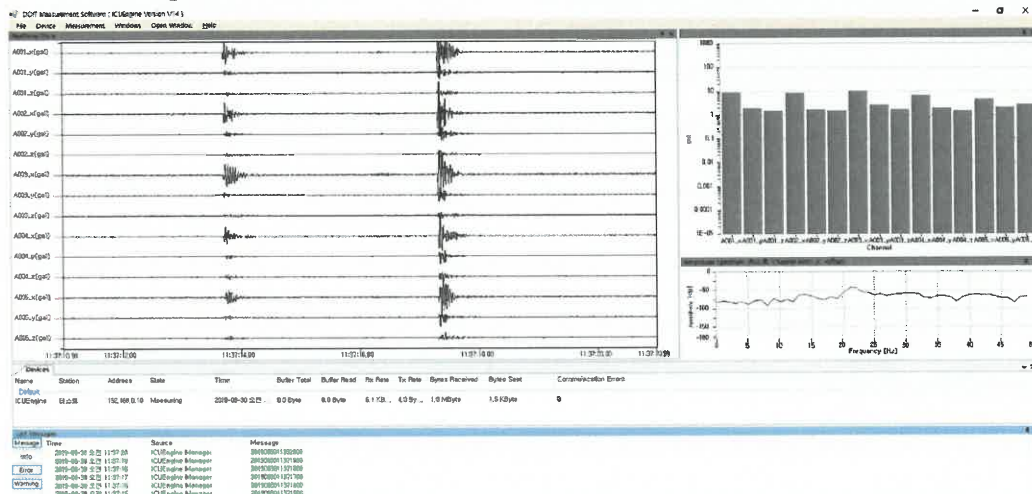
(b) 진폭 스펙트럼 모듈



(c) Signal level 모듈



(d) 호도그램 모듈



(e) 메인 계측 소프트웨어
[그림 2-73] 개발된 ICU 계측 소프트웨어

(4) 모니터링 소프트웨어 개발

(가) 개요

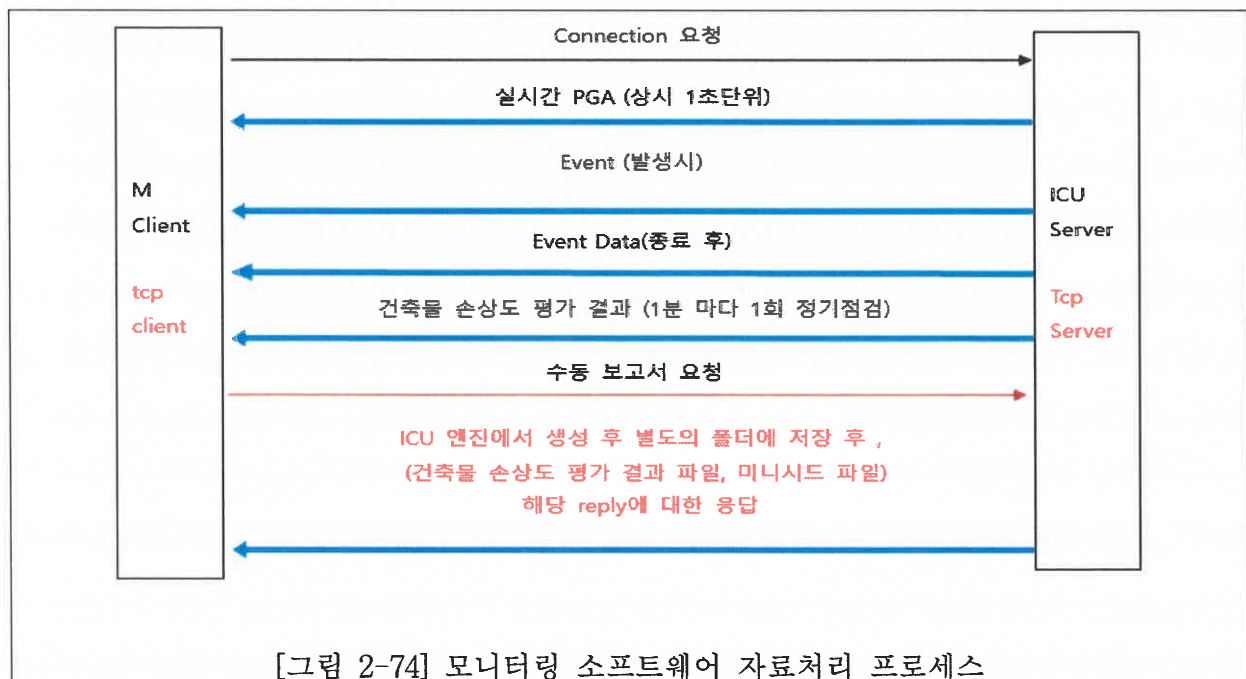
P과 지진사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 모니터링 소프트웨어는 기개발된 ICU와 연동하여 지진발생 시 실시간 지진경보 및 정보를 제공하여 Shadow Zone 지역의 거주자들도 어느 정도 대피할 수 있는 여유 시간을 제공하기 위한 목적을 가지며 동시에 긴급 건축물 손상도 평가 기능을 포함하여 지진 발생 후 사람들이 거주하고 있는 건축물의 손상 여부를 판단하여 빠르게 모니터링 함으로서 안전성을 도모하고자 한다.

(나) 모니터링 소프트웨어 구현

① 통신 프로토콜

모니터링 소프트웨어의 통신 인터페이스를 위한 통신 프로토콜의 경우 TCP/IP이며 ICU Server로 접속 상태를 유지하고 실시간 PGA, 이벤트 데이터와 건축물 손상도 평가 결과를 수신하도록 한다.

- 건축물 손상도 평가 결과 파일 및 miniseed 파일은 별도의 포트로 ICU Server에서 MClient로 전송
- ICU Server가 1 초 이상 응답이 없으면 Time out 처리 및 재전송 요청
- iCU엔진은 TCP 서버로 동작, MClient는 Client로 동작
- 통신포트 51000번으로 고정



② 명령어 작성

모니터링 소프트웨어를 개발하기 위해서는 먼저 ICU와의 연동을 위해 해당 기능에 대한 명령어를 작성해야하며 각 명령어에 대한 프로토콜 규격을 동기화해야 한다. 명령어 구성의 경우 명령코드(2byte) + 전송할 데이터 크기(4byte) + Data[가변]으로 나타내도록 하였으며, 기록방식은 Big-Endian이다. 아래 표에 모니터링 소프트웨어 개발을 위해 작성된 명령어를 나타내도록 하였다.

- PS : ICUServer가 Mclient로 초당 PGA 값을 전송하기 위한 명령어
 - 'PS' + 전송할 데이터 크기(4byte) + [Data] Len 81bytes
- ES : ICUServer가 Mclient로 이벤트 발생시 정보를 전송하기 위한 명령어
 - 'ES' + 전송할 데이터 크기(4byte) + [Data] Len 53bytes
- ED : ICUServer가 Mclient로 이벤트 종료 후 정보를 전송하기 위한 명령어
 - 'ED' + 전송할 데이터 크기(4byte) + [Data] Len 16bytes
- NF : ICUServer가 Mclient로 1분마다 건축물 손상도 평가결과 정보를 전송명령어
 - 'NF' + 전송할 데이터 크기(4byte) + [Data]
- RR : Mclient가 ICUServer에 수동보고서 요청을 위한 명령어
 - 'RR' + 전송할 데이터 크기(4byte) + [Data] Len 32bytes
- FS : ICUServer가 Mclient로 건축물 손상도 평가 결과를 전송하기 위한 명령어
 - 'FS' + 전송할 데이터 크기(4byte) + [Data] Len 가변
- AF : Mclient가 ICUServer에 알람끄기 요청을 하기 위한 명령어
 - 'AF' + 전송할 데이터 크기(4byte) + [Data]

[표 2-26] 모니터링 소프트웨어 명령어

명령	의미	송신	비고
PS	PgaSend	ICUServer --> MClient	PGA 데이터
ES	EventStart	ICUServer --> MClient	이벤트 시작 정보
ED	EventData	ICUServer --> MClient	이벤트 종료 후 응답
NA	Building Assesment	ICUServer --> MClient	건축물 손상도 평가 결과
NF	Natural Frequency	ICUServer --> MClient	고유진동수, 층간변위비
RR	Report Request	MClient --> ICUServer	보고서 요청
FS	File Send	ICUServer --> MClient	보고서 요청에 대한 응답
AF	Alarm Off	MClient --> ICUServer	ICU 알람끄기 요청

③ 관리테이블 작성

ICU 지진사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 소프트웨어의 데이터베이스 설계는 실시간 모니터링에 적합하도록 설계되어 있으며, 각 관리테이블의 구성도는 아래와 같다.

[표 2-27] TB_STATION 관리테이블 구조

TB_STATION			
0	Station_ID	Integer	관측소 고유 번호
1	Event_Bt	Integer	이벤트 발생 전 시간
2	Event_At	Integer	이벤트 발생 후 시간
3	Station_Code	Char(45)	관측소 코드
4	Network_Code	Char(45)	네트워크 코드

[표 2-28] TB_SENSOR : 건축물 손상도 평가 결과테이블 구조

TB_SENSOR			
0	Station_ID	Integer	관측소 고유 번호
1	Sensor_ID	Integer	센서 고유 번호
2	SN	Integer	시리얼 넘버
3	Model	Char(45)	모델명
4	Install_Date	DateTime	설치 날짜
5	Location	Char(45)	설치 위치
6	Chan_ID_01	Integer	1번 채널 명
7	Chan_ID_02	Integer	2번 채널 명
8	Chan_ID_03	Integer	3번 채널 명
9	Sensor_IP	Char(15)	센서 설정 IP
10	Subnet	Char(15)	센서 설정 서브넷 마스크
11	Gateway	Char(15)	센서 설정 게이트웨이
12	DNS	Char(15)	센서 설정 DNS
13	SL_LT_Value	Integer	STA/LTA 설정 중 LTA 시간에 관한 설정 값
14	SL_ST_Value	Integer	STA/LTA 설정 중 STA 시간에 관한 설정 값
15	SL_Ratio_Value	Integer	STA/LTA 적용 되는 설정 중 비율 설정 값
16	PGA_TH	Double	PGA Threshold입니다.
17	Pd_TH	Double	Pd Threshold입니다.
18	Dis_TH	Double	변위값의 Threshold입니다.
19	Sample_R	Integer	센서에 설정 되는 Sample rate입니다.
20	Pos_X	Double	프로그램에서 표시되는 센서 설치 X좌표 위치
21	Pos_Y	Double	프로그램에서 표시되는 센서 설치 Y좌표 위치

[표 2-29] TB_CHAN : 채널 관리 테이블

TB_CHAN			
0	Station_ID	Integer	관측소 고유 번호
1	Event_Time	DateTime	이벤트시간

[표 2-30] TB_CHAN : 채널 관리 테이블

TB_CHAN			
0	Station_ID	Integer	관측소 고유 번호
1	Sensor_ID	Integer	센서 고유 번호
2	Chan_ID	Integer	채널 고유 번호
3	Chan_Status	Char(45)	채널 상태
4	Chan_Name	DateTime	채널 명
5	Coeff	Char(45)	Coefficient
6	Initial	Integer	Initial 값
7	Point	Integer	소숫점 자리수
8	Unit	Integer	단위
9	Remarks	Char(15)	비고

[표 2-31] TB_ES : 이벤트 시작정보 테이블

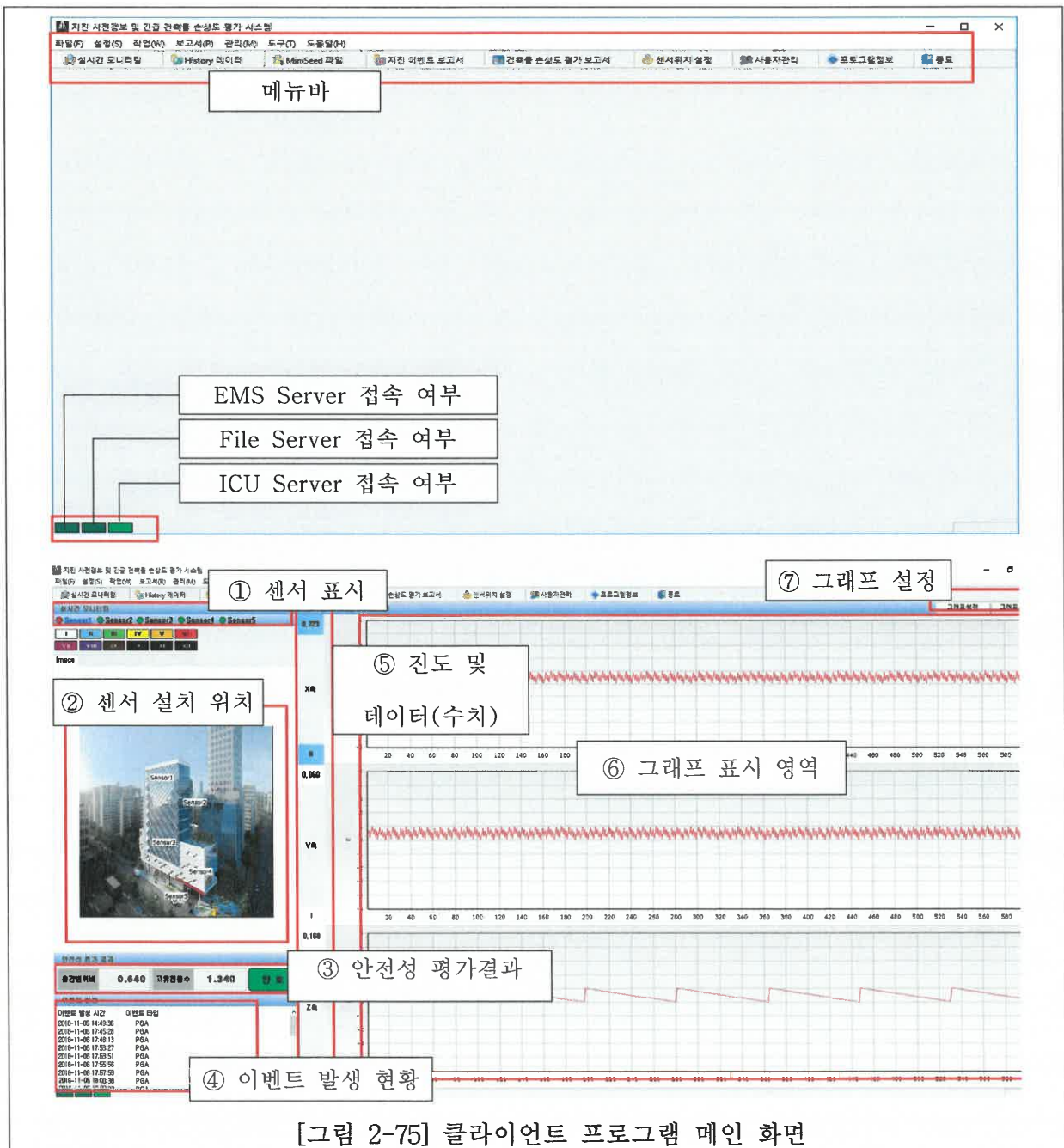
TB_ES			
0	Station_ID	Integer	관측소 고유 번호
1	Event_Time	DateTime	Event 발생 시간
2	Event_Type	Integer	채널 고유 번호
3	TC1	Double	트리거 발생시점 Sensor1의 Tc
4	TPD1	Double	트리거 발생시점 Sensor1의 Pd
5	PGA1	Double	트리거 발생시점 Sensor1의 PGA
6	TC2	Double	트리거 발생시점 Sensor2의 Tc
7	TPD2	Double	트리거 발생시점 Sensor2의 Pd
8	PGA2	Double	트리거 발생시점 Sensor2의 PGA
9	TC3	Double	트리거 발생시점 Sensor3의 Tc
10	TPD3	Double	트리거 발생시점 Sensor3의 Pd
11	PGA3	Double	트리거 발생시점 Sensor3의 PGA

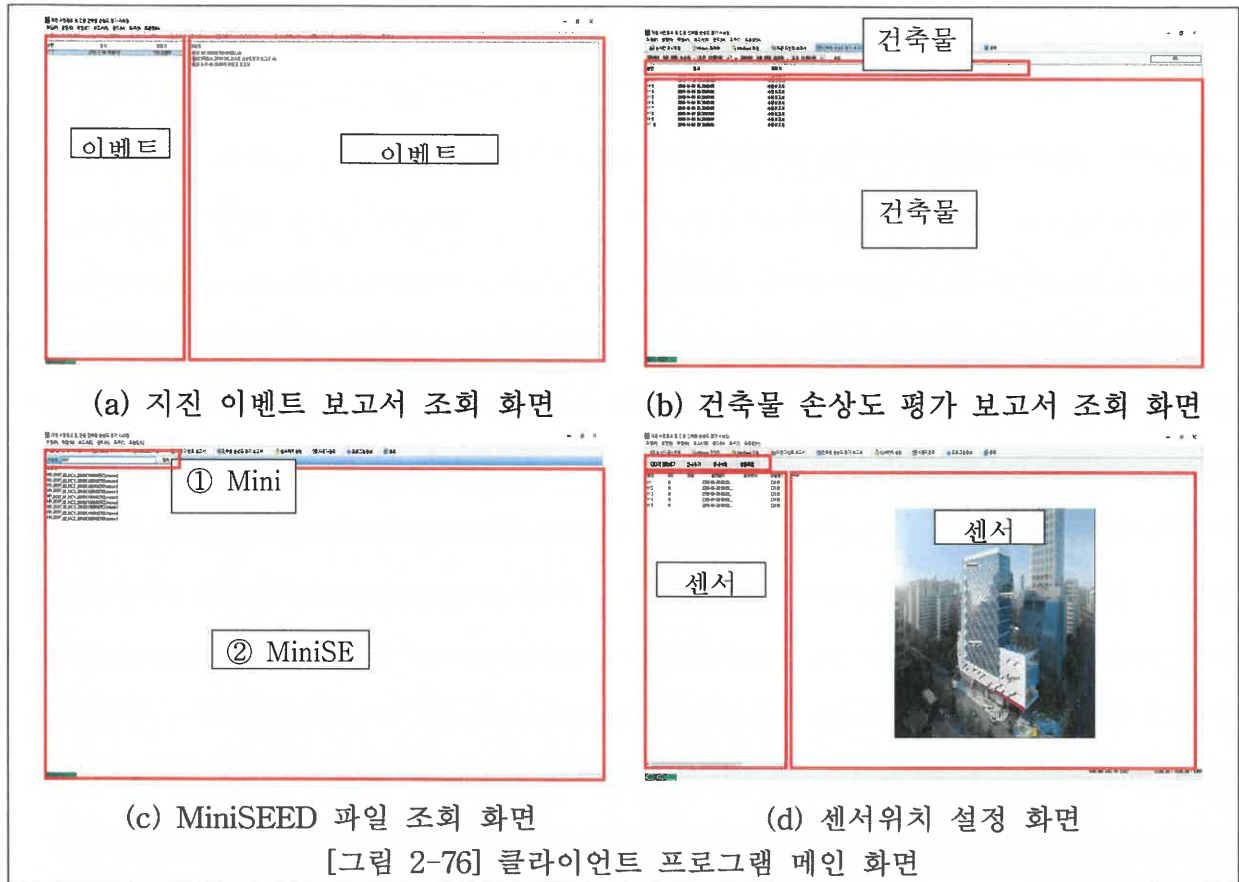
[표 2-32] TB_EVENT_FILE_LIST : 이벤트 파일정보 테이블

TB_EVENT_FILE_LIST			
0	Station_ID	Integer	관측소 고유 번호
1	Event_File_ID	DateTime	이벤트 보고서의 고유번호
2	Event_File_Type	Integer	이벤트 파일 유형 1: 지진 자동 데이터, 2: 지진 수동 데이터, 3: 건축물 자동데이터, 4: 건축물 수동 데이터
3	Event_Start_T	Double	이벤트 보고서의 데이터 시작 시간
4	Event_End_T	Double	이벤트 보고서의 데이터 끝 시간

④ 클라이언트 프로그램 개발

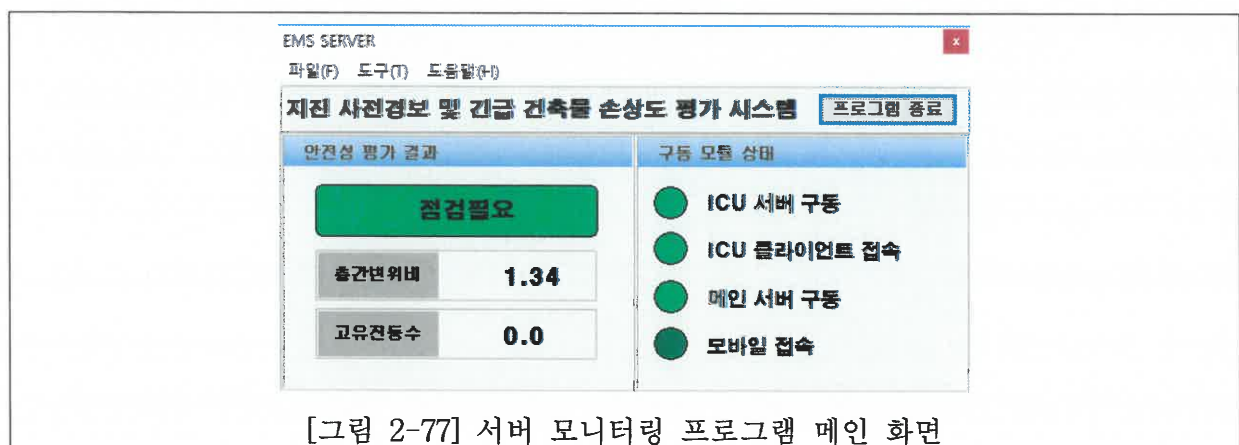
ICU 지진사전경보 및 긴급건축물 손상도 평가 클라이언트 모니터링 프로그램의 경우 ICU에서 계측된 실시간 모니터링 및 자료저장 History, 자료검색, 지진 이벤트 및 건축물 손상도 평가 보고서 요청 및 조회와 센서의 위치설정 및 사용자관리를 위한 창으로 구성되며 접속 여부 상태를 실시간으로 파악하도록 개발되었다. 아래 개발된 모니터링 소프트웨어인 클라이언트 프로그램을 나타내었다.





⑤ 서버 모니터링 프로그램 개발

ICU 지진사전정보 및 긴급건축물 손상도 평가의 서버 모니터링 프로그램을 위해서 전송되는 계측 값의 정보를 바탕으로 안정성 평가 결과, 층간 변위비, 고유진동수 및 건축물 손상도 평가 결과가 표시되도록 구현하였다. 아래 그림에 나타난 바와 같이 안전성 평가 결과 및 구동 모듈 상태를 구분하여 개발하였으며, 구동 모듈 상태의 경우 운영 상태 점검을 보다 편하게 할 수 있도록 개발하였다.



⑥ 모바일 모니터링 프로그램 개발

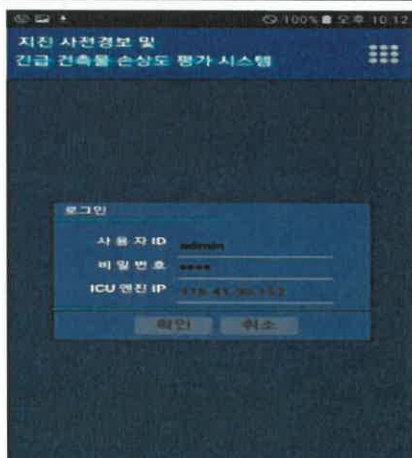
ICU 지진사전경보 및 긴급건축물 손상도 평가 시스템의 모바일 어플리케이션 활용을 위한 APP 개발을 수행하였다. 아래 그림에 개발된 지진 사전경보 및 긴급건축물 손상도 평가 시스템 모바일 모니터링 프로그램을 나타내었다.

○ 접근성 및 보안성을 위한 로그인 접속 기능

- 사용자 ID 및 비밀번호 입력을 통한 접속
- ICU엔진 IP의 기본 값 : Local Host

○ 모바일 모니터링 프로그램(APP 기능)

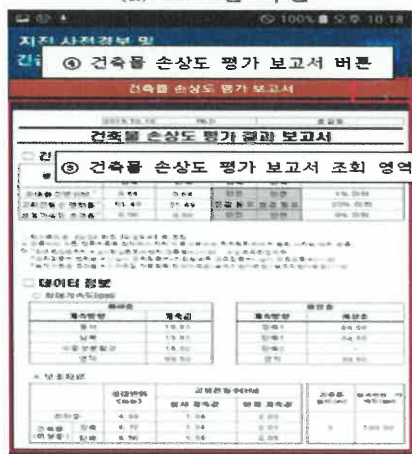
- 실시간 모니터링, 안정성 평가 조회 및 결과 확인
- 지진 이벤트 및 건축물 손상도 평가 보고서 조회 결과 확인
- 이벤트 발생에 따른 알람 표시



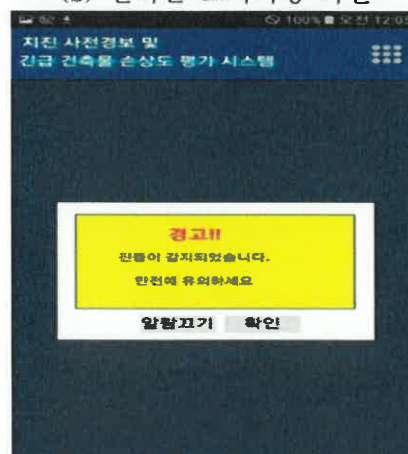
(a) 로그인 화면



(b) 실시간 모니터링 화면



(c) 안정성 평가 조회



(d) 이벤트 발생에 따른 알람 화면

[그림 2-78] 개발된 모바일 APP 화면

아. 현장 실증을 위한 테스트 베드 구축

(1) 개 요

본 연구 사업인 “지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 개발”에서 개발된 과제 연구 성과물의 현장 실증시험을 위해 주요 공공기관 및 학교 등 On-site를 대상으로 테스트 베드를 구축하고 이를 통한 운영 결과를 도출/반영하여 기술검증 및 보다 신뢰성 높은 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다.

(2) 현장 테스트 베드 구축 현황 및 진행사항

본 연구에서 수행된 테스트베드 구축 및 운영의 경우 국내 주요공공기관 및 학교를 대상으로 사전협의를 통해 적용성 및 타당성 검토를 진행하여 추진하도록 하였다. 2019년에 5개소에 현장 설치되어 약 1 년간 운영되어 시스템의 기술검증이 이루어졌으며, 2020년에는 이전 테스트 베드 시험운영을 바탕으로 시스템의 개선점을 보완한 후 4개소의 테스트베드를 구축 및 운영하였다. 아래 표에 개발된 지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템의 기술검증을 위한 테스트베드 설치대상 및 진행사항을 나타내었다.

[표 2-33] 테스트 베드 구축현황 및 수행 내용

구축년도	설치지역	대상 현장	진행 사항 및 수행 내용
2019	포항	한동대학교	구축완료 (운영시험 및 개발시스템 검증/보완)
		동해 석곡도서관	
		동산요양병원	
		포항대학교	
	태안	한국서부발전 본사	
2020	논산	건양대학교	구축완료 (개발 고도화 및 실시간 계측 중)
	울산	울산화력 동서발전	
	제천	세명대학교	
	부산	부경대학교	

※ 코로나19로 인해 주요공공기관 및 학교의 경우 출입이 제한되어 3차 년도 테스트베드 구축에 있어서 많은 지연이 발생됨.

※ 병원, 시청 등 테스트베드 진행 협의 완료 후 코로나19 재확산으로 인해 무산됨에 따라 설치 대상현장을 변경하여 구축 완료함.

(3) 현장 테스트 베드 구축

(가) 테스트 베드 구축을 위한 시스템 제원

지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 테스트베드 구축을 위한 시스템은 1개 소당 P와 알고리즘이 탑재된 지진가속도센서 5대와 수집장치인 ICU 1대로 구성될 수 있으며, 해당 시스템을 운영하기 위한 계측소프트웨어 및 클라이언트 응용소프트웨어가 필요하다. 아래 그림에 테스트베드 구축에 필요한 지진가속도센서와 자료수집처리장치 및 해당 시스템 운영을 위한 관련 소프트웨어를 나타내었다.



나) 시공계획 수립

테스트 베드 구축의 경우 최상층 중간층 최하층(중간지점)에 설치될 센서는 동일 축선상에 설치하여 자료에 대한 정확도를 높일 수 있도록 한다. 최상층 및 중간층에 설치된 지진가속도 센서의 경우 건축물의 안정성 평가 자료에 필요한 정보를 수집하도록 하며, 최하층 3개에 설치된 지진가속도센서는 지진 발생시 P파 조기경보를 위한 정보를 수집하도록 한다. 지진가속도센서 및 자료수집장치(ICU)의 설치 방법으로는 지진가속도센서의 경우 건물 내벽에 벽취부형으로 칼 볼록 및 조임 볼트를 사용하여 완벽하게 벽면에 고정하도록 한다. 자료수집처리 장치의 경우 서버실(방재실)에 기존에 설치된 19인치 Rack에 장착하며, 자료전송을 위한 통신의 경우 기존 설치된 인터넷 회선(통신망)을 이용하도록 한다.

① 설치 위치 : 최상층 1개소, 중간층 1개소, 최하층 3개소

- 세로축 : 최상층, 중간층, 최하층(1개소)은 동일 축 선상에 설치
- 가로축 : 최상층, 중간층과 동일 축 선상에 1개소 설치

② 설치 위치별 사용목적

- 최상층, 중간층, 최하층 각 1개소(세로축) : 건축물 안전성 평가(동일 축선상)
- 최하층 3개소(가로축) : P파 지진조기경보, 2 of 3 알고리즘을 통한 오 경보 방지

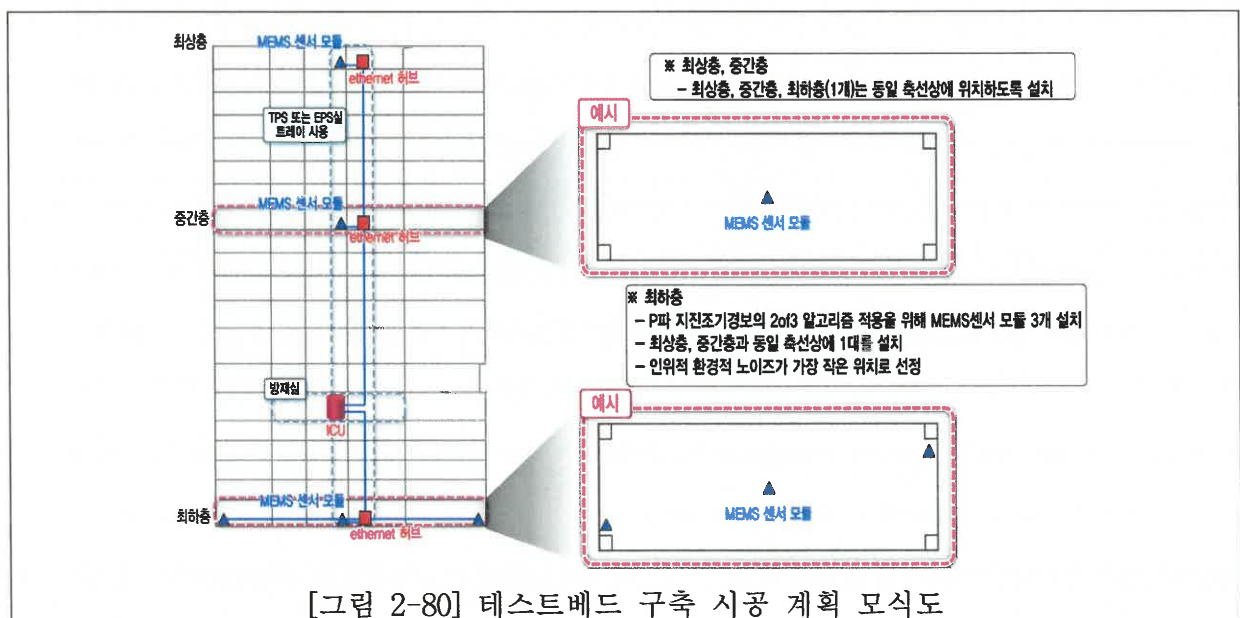
③ 설치 방법 및 위치

구분	지진가속도센서	자료수집장치(ICU)
설치 위치	인위적/환경적 노이즈가 가장 작은 위치로 선정	19인치 Rack과 통신기기가 설치된 장소(서버실 혹은 방재실)
설치 방법	- 벽취부형으로 건축물 내벽에 설치 - 칼블럭 또는 직결볼트를 통한 벽체 고정	19인치 Rack type으로 설치

④ 통신 방법

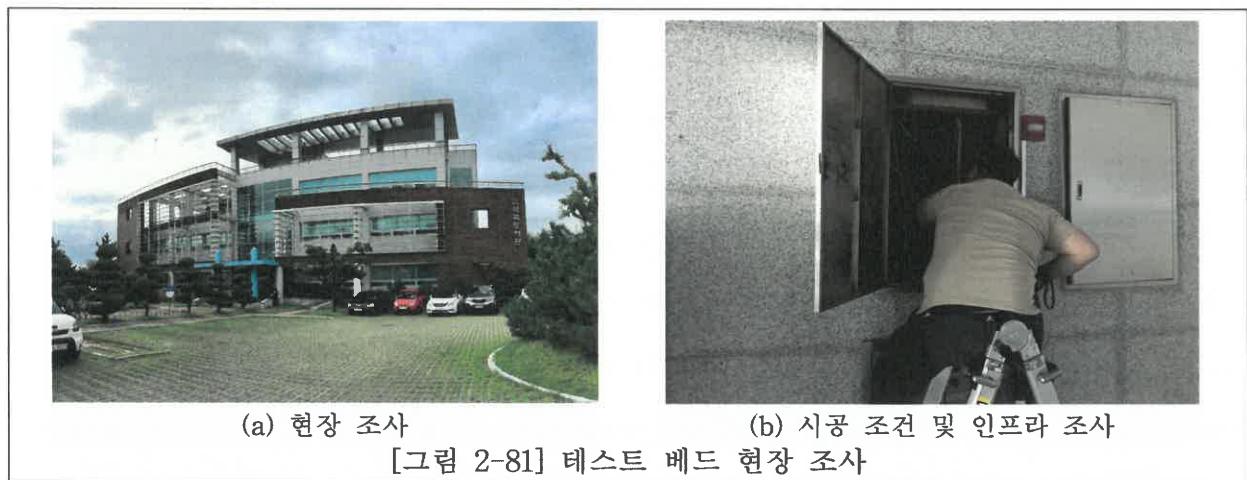
- 지진가속도센서 모듈 ↔ ICU : TCP/IP 통신 (UTP 케이블 포설)
- ICU ↔ 수집 서버 : 인터넷 회선을 통한 TCP/IP 통신

⑤ 기공 계획 모식도



(다) 현장 조사

자료의 수집·검토 결과 선정된 계측 대상지에 대하여 사전 현지조사를 실시하였다. 수집·검토한 자료와 현지상황이 상이한지 점검하고 계측대상지의 시공조건, 통신 인프라, 전원공급 가능여부 등을 확인하였다.



(라) 가속도센서 설치 위치 및 설치 방안 검토

현장조사를 통하여 가속도센서 설치위치는 인위적/환경적 노이즈가 가장 작은 위치로 선정하고 현장여건을 고려하여 설치방안을 검토하였다. 아래의 표는 현장조사 결과를 반영한 각 설치개소에 따른 센서 설치위치를 나타낸다.

[표 2-34] 테스트 베드 지진 사전정보 가속도센서 설치 위치

설치지역	대상 사이트	대상 건물	센서 설치 위치
포항	한동대학교	느헤미아홀	상층 1개(4층), 중층 1개(2층), 하층 3개(지하 1층)
	동해 석곡도서관	본관	상층 1개(3층), 중층 1개(2층), 하층 3개(1층)
	동산요양병원	본관	상층 1개(5층), 중층 1개(3층), 하층 3개(지하 1층)
	포항대학교	평보관	상층 1개(8층), 중층 1개(4층), 하층 3개(1층)
태안	한국서부발전 본사	본관	상층 1개(6층), 중층 1개(3층), 하층 3개(지하 1층)
논산	건양대학교	선행화학사	상층 1개(10층), 중층 1개(5층), 하층 3개(지하 1층)
울산	울산화력 동서발전	본관	상층 1개(4층), 중층 1개(2층), 하층 3개(지하 1층)
제천	세명대학교	공학관	상층 1개(5층), 중층 1개(3층), 하층 3개(1층)
부산	부경대학교	본관	상층 1개(6층), 중층 1개(3층), 하층 3개(지하 1층)

(마) 현장 설치

아래 그림은 테스트베드 구축 사례로 대상 현장(건양대학교 기숙사)의 현장답사부터 시스템 설치완료까지의 설치 과정을 나타내고 있다.

① 현장답사 및 케이블 매설작업

현장 설치를 위해 현장 답사를 통해 센서의 설치위치나 케이블 시공 루트 확인을 진행하였으며, 센서와 수집장치간의 전원/통신라인 구축을 위해 케이블 매설작업을 실시하였다.



(a) 현장 답사



(b) 센서 설치위치 확인



(c) 케이블 루트 확인



(d) 케이블 매설작업

[그림 2-82] 현장답사를 통한 케이블 매설작업 과정

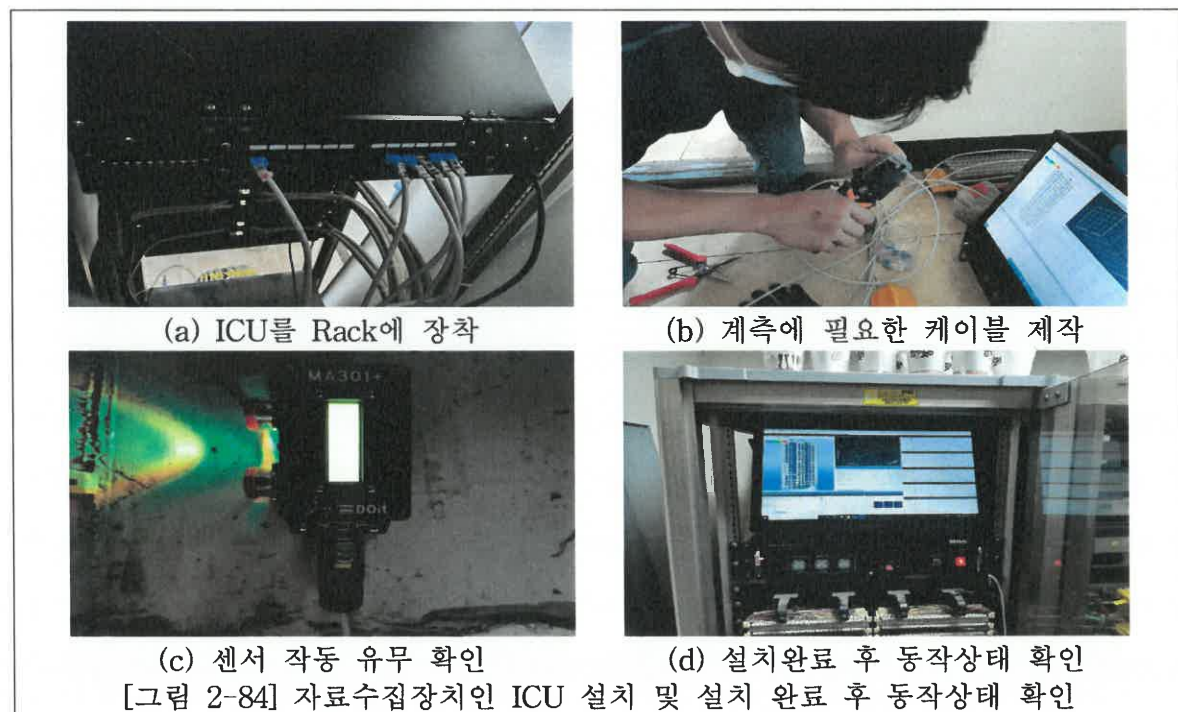
② 지진 사전경보 가속도센서 설치

케이블 매설작업이 완료된 후 센서설치 위치에 홀을 내어 칼 블록을 고정한 후 조임나사를 이용하여 완벽하게 센서를 고정하고 센서 케이블의 커넥터 작업을 실시 한 후 가속도센서와 케이블을 체결한다. 자료 수집장치인 ICU의 경우 설치될 랙에 장착 장착한 후 해당 가속도센서 케이블을 모두 연결하도록 한다. 센서 및 케이블의 연결이 완료된 후 ICU의 전원을 인가하여 가속도센서와 ICU의 동작 상태를 확인하도록 한다.

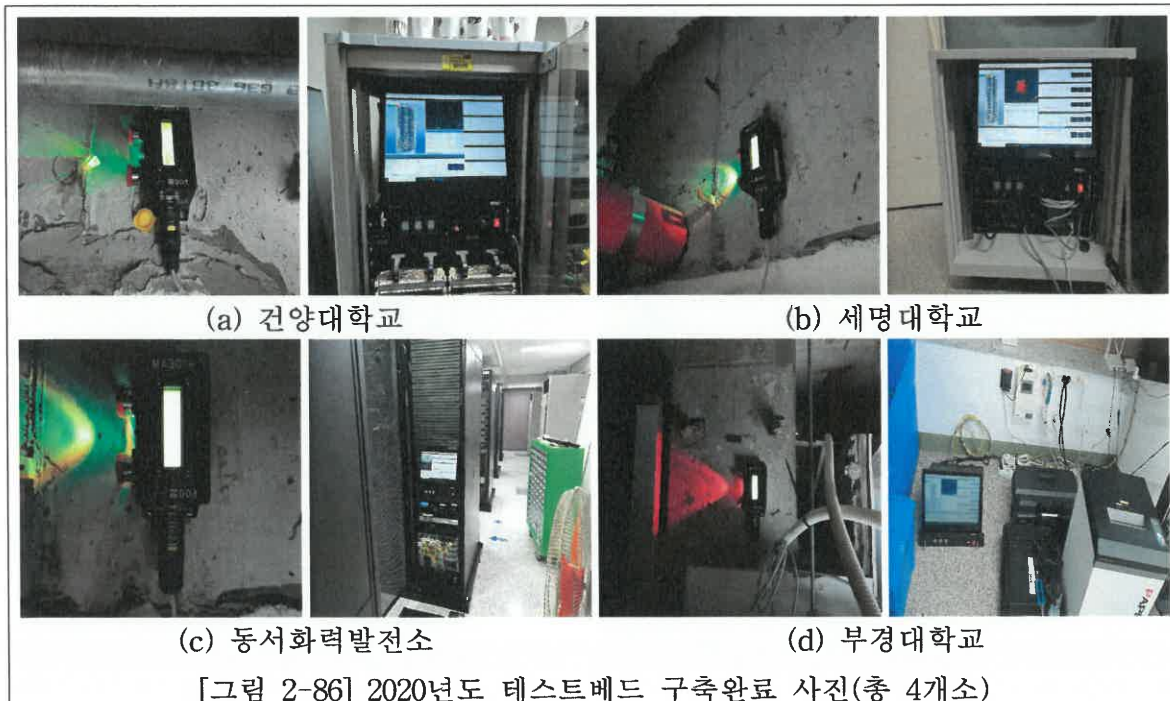


③ ICU 설치 및 동작상태 점검

자료수집 장치인 ICU는 19인치 Rack type으로 제작되어 기존에 사용 중인 Rack에 장착하였다. 이후 ICU와 센서의 연결을 위한 통신 케이블 및 전원 케이블을 연결한 후 자료측정 및 저장상태, 배경잡음 등 동작상태 점검을 통해 완료하였다.



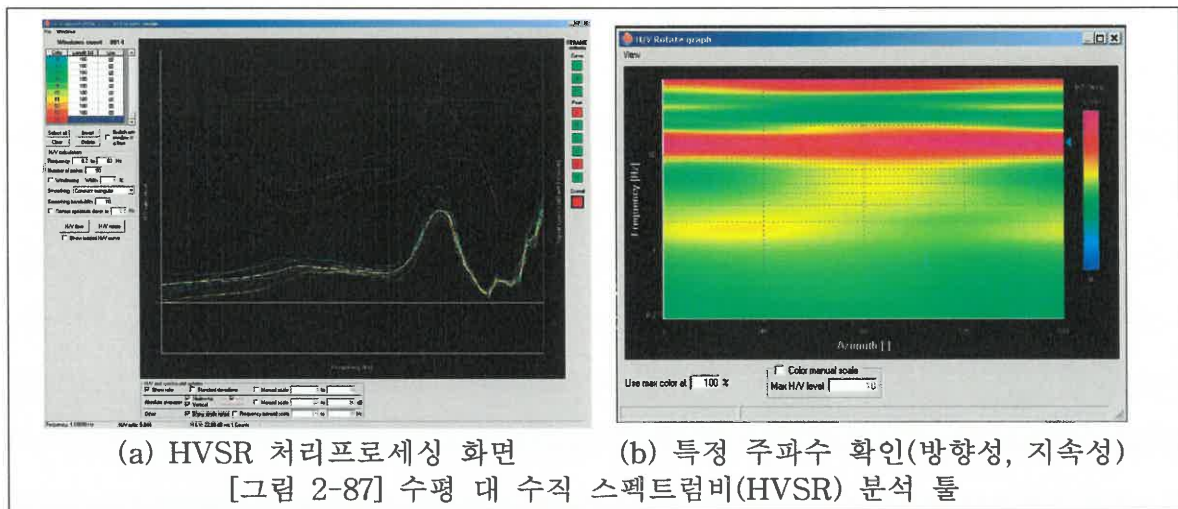
④ 테스트베드 구축완료



(4) 테스트 베드별 현장특성 비교분석

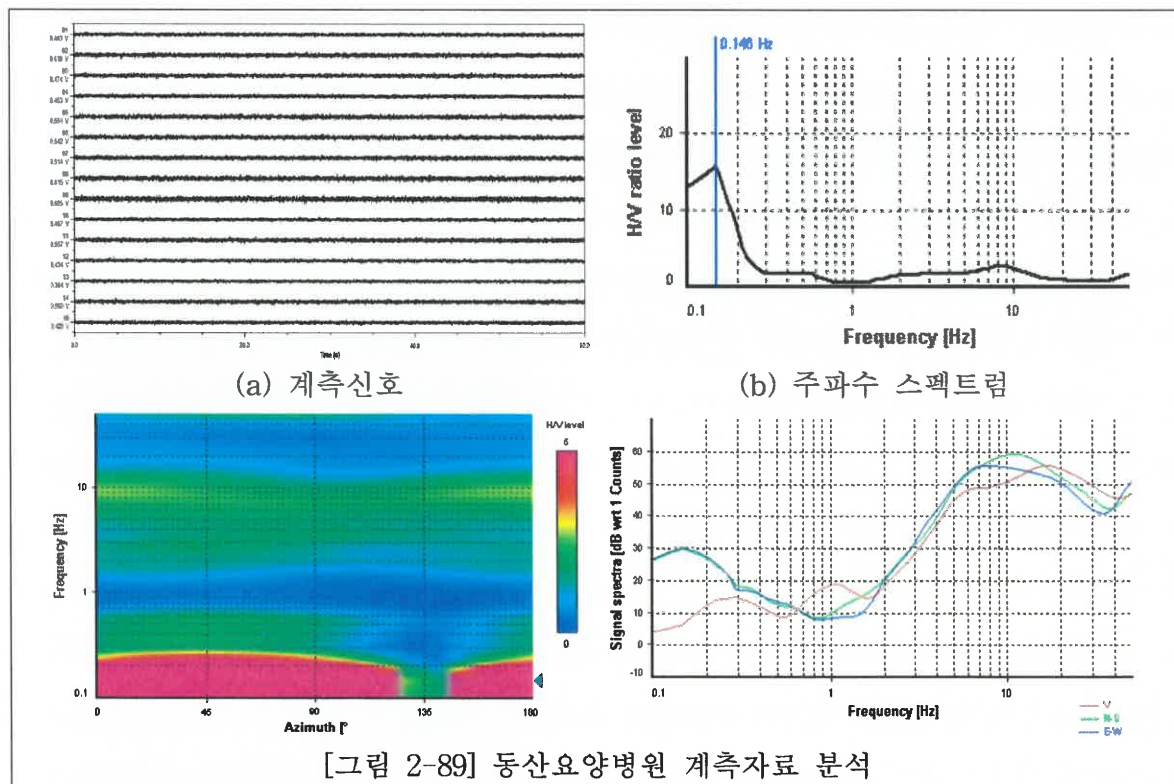
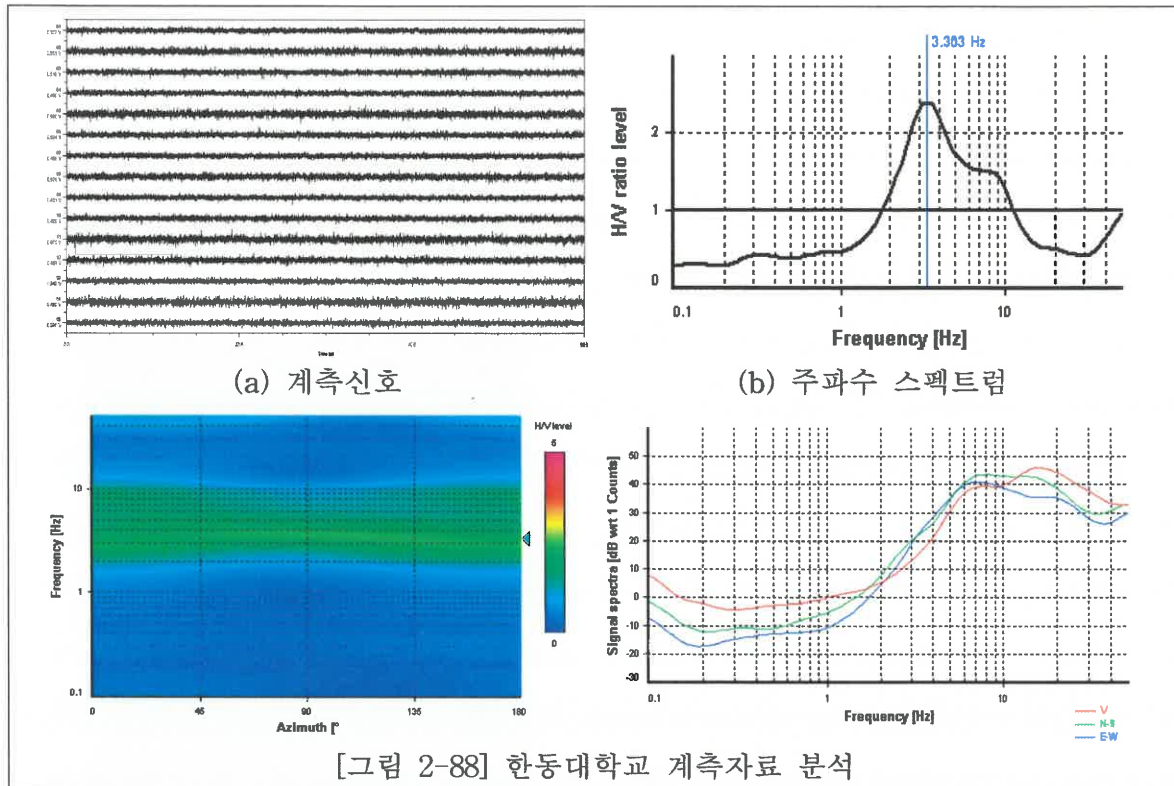
본 연구 사업인 “지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템 개발”에서 개발된 과제 연구 성과물의 현장 실증시험을 위해 선정된 테스트 베드 현장(On-site)을 대상으로 구축완료 후 각 계층 개소별 현장특성 비교분석을 실시하였다.

각 현장의 특성을 비교분석하기 위해서 수평 대 수직 스펙트럼비(Horizontal to Vertical Spectral Ratio) 분석을 실시하였다. 수평 대 수직 스펙트럼비(HVSR) 분석 틀은 3축 지진기록자료에서 수직성분의 스펙트럼과 수평 성분 사이의 관계를 추정할 수 있으며 통계적으로 계산된 모든 비율의 평균을 계산함으로써, 현장의 특성을 대표하는 HVSR 곡선을 이용하여 해당현장의 고유 진동주파수를 파악할 수 있다.

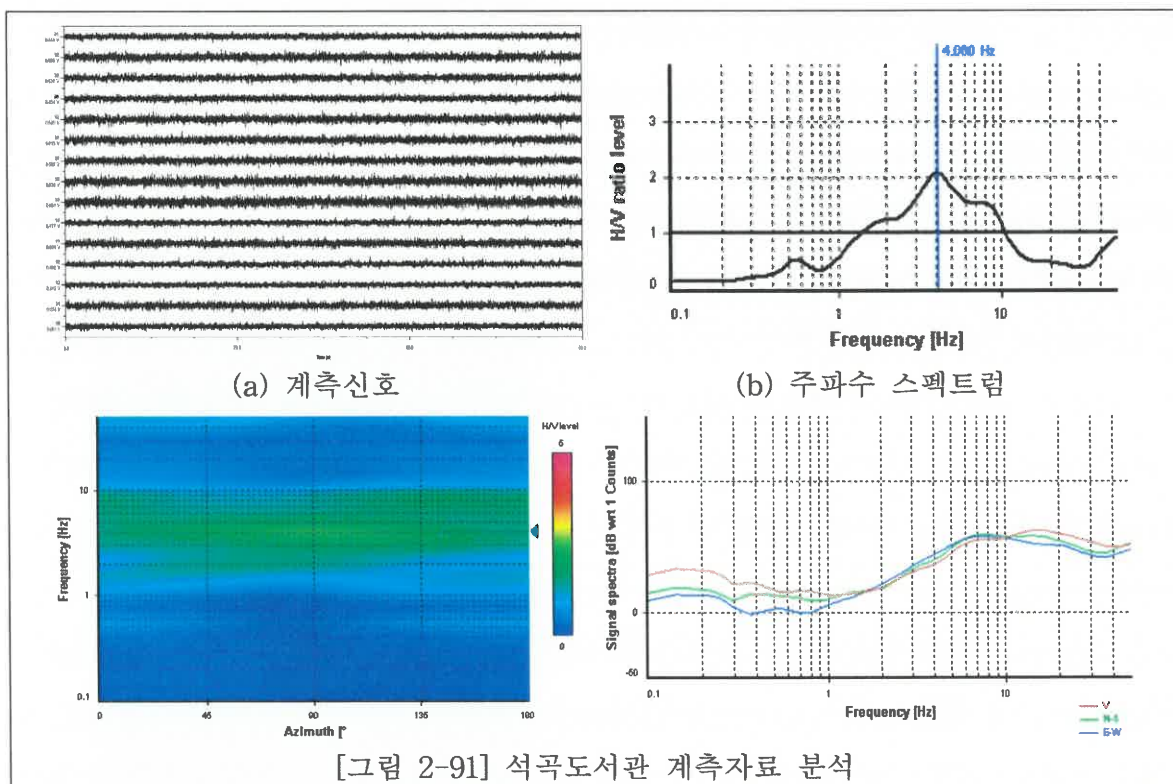
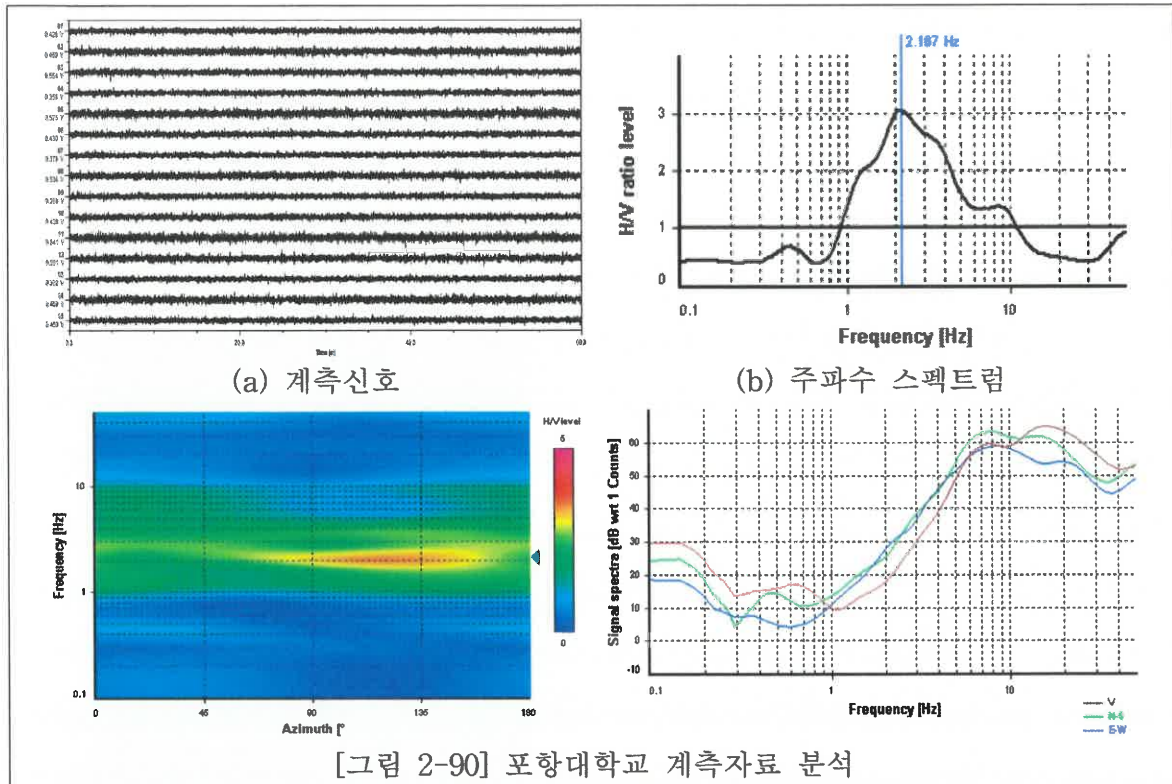


각 현장의 특성을 비교분석하기 위해서는 먼저 해당 테스트 베드 구축 현장에서 기록된 데이터를 적용해야하는데 현장의 특성비교 분석을 위해서 고려해야 할 점으로는 현장 주변의 생활환경 신호 노이즈이다. 일반적으로 해당 계층지점의 현장특성 분석의 경우 유동인구가 많은 시간인 평일 낮 시간이 아닌 유동인구가 적으며 가동 설비나 기기들을 운영하지 않는 새벽시간대의 기록 자료를 이용한다. 따라서 본 연구에서는 상기와 같은 이유로 인해 평일이 아닌 주말의 새벽 02시:00 시간대의 기록 자료를 이용하였으며, 분석자료의 대상 센서는 설치 대상 건축물의 최하층부의 중앙지점의 센서를 선정하여 각 현장에 대한 특성을 비교 분석하도록 하였다.

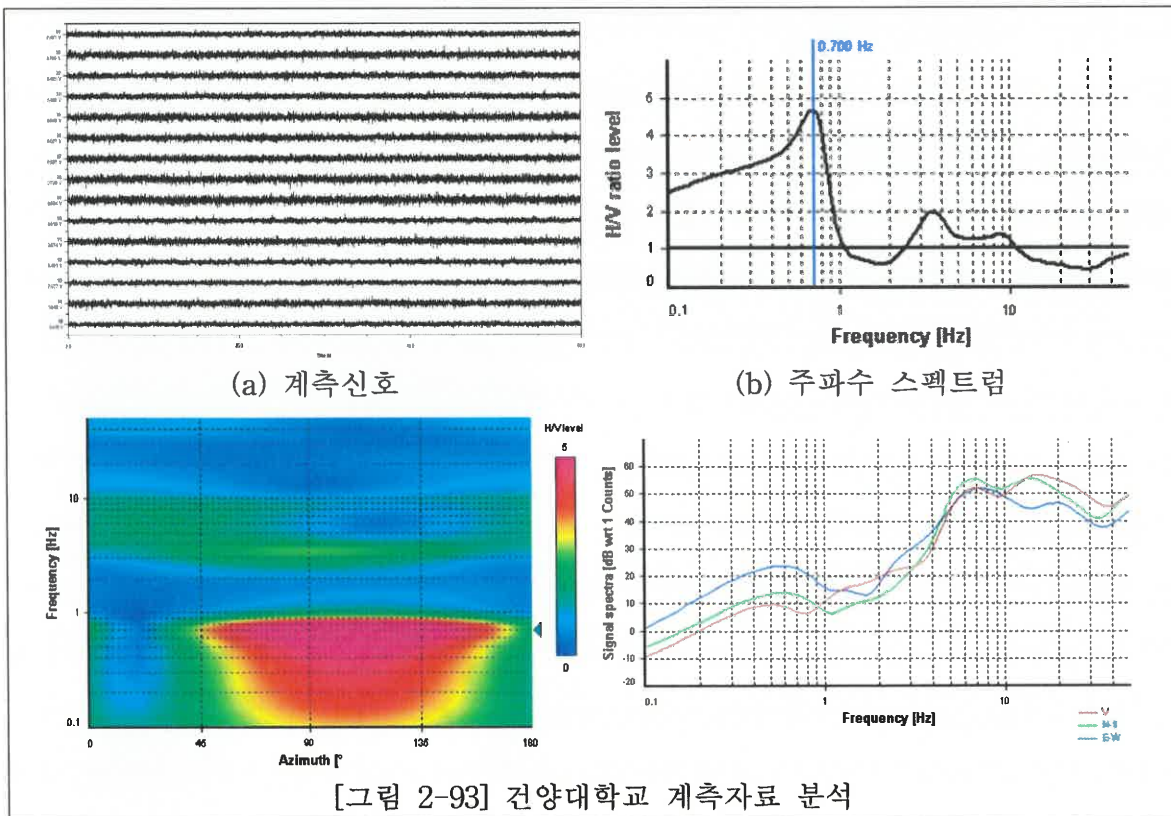
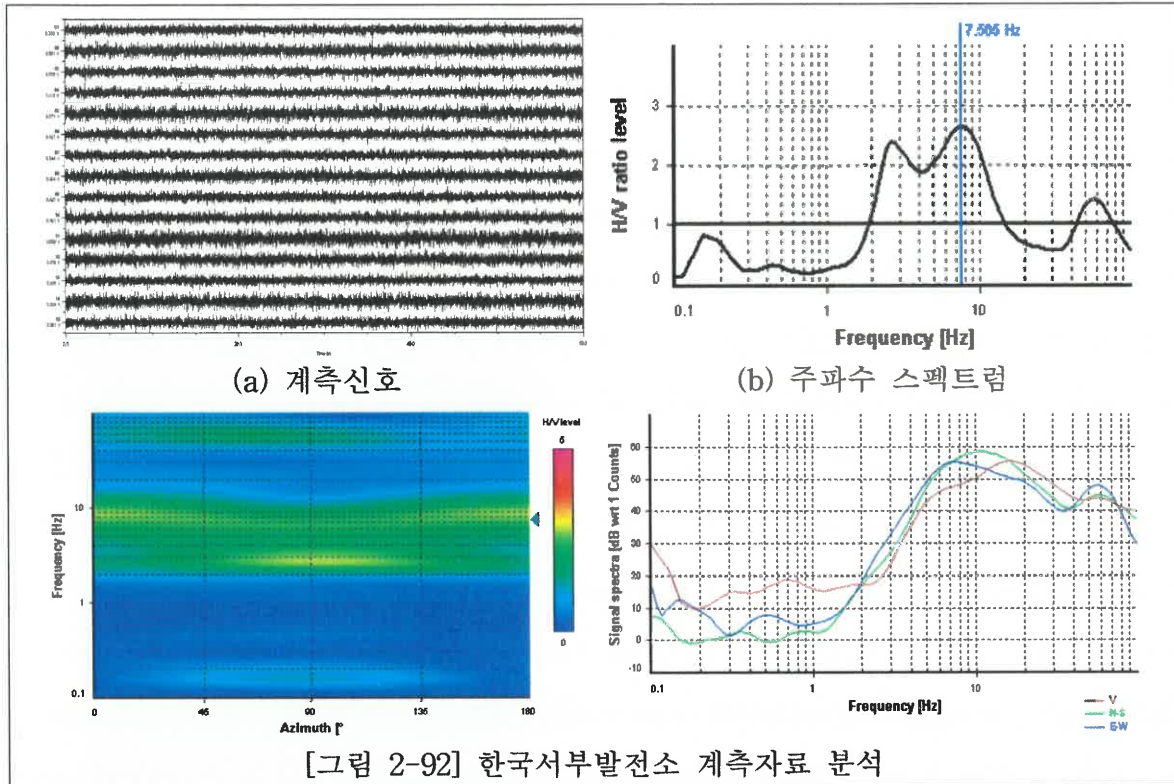
아래 그림에 나타낸 자료는 현장 실증시험을 위해 선정된 테스트 베드 현장(9 개소)에 대한 기록자료로 현장의 실시간 계층자료 및 HVSR 분석 틀을 이용하여 각 현장에 대한 특성을 분석한 자료이다.



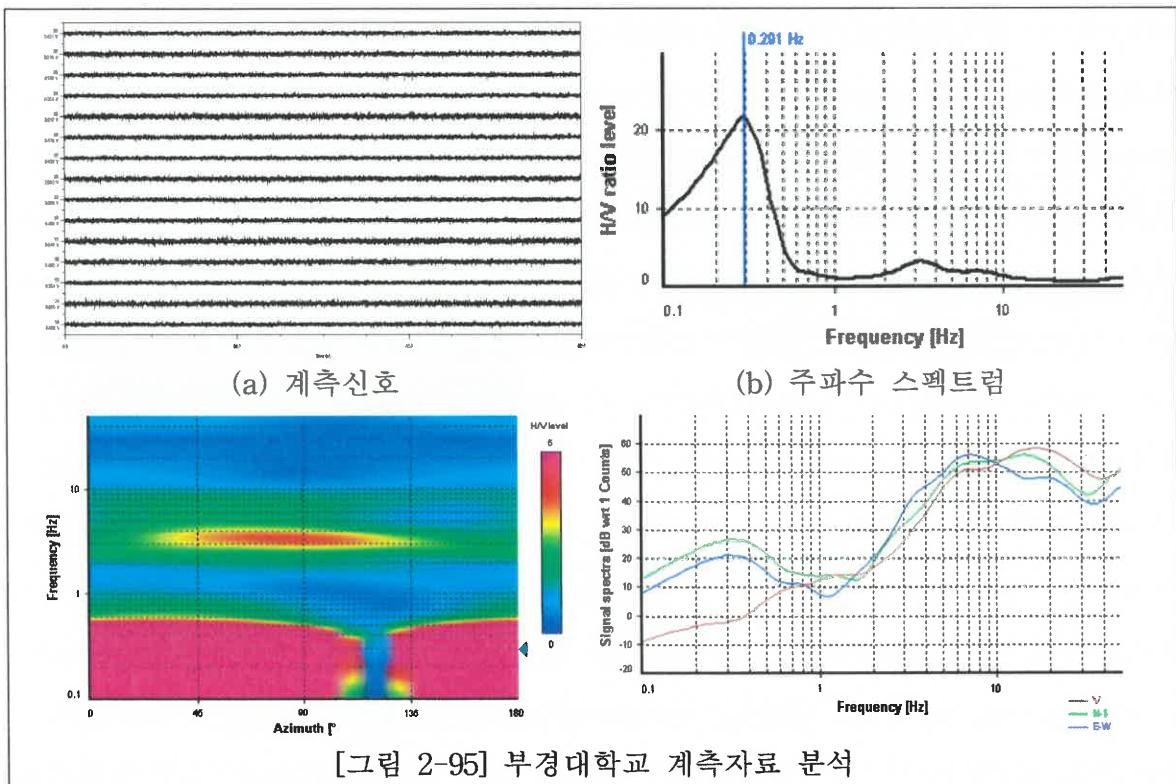
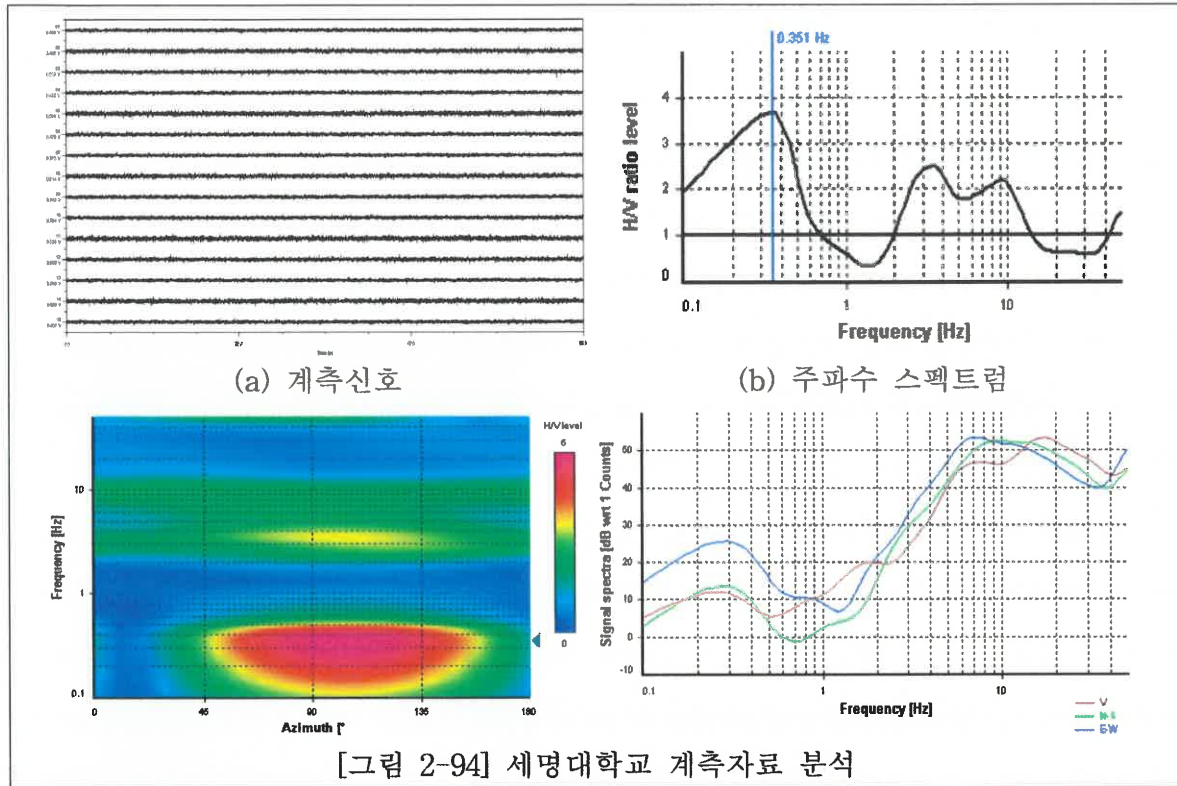
- ▶ 한동대학교 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 3.363 Hz
- ▶ 동산요양병원 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 0.146 Hz



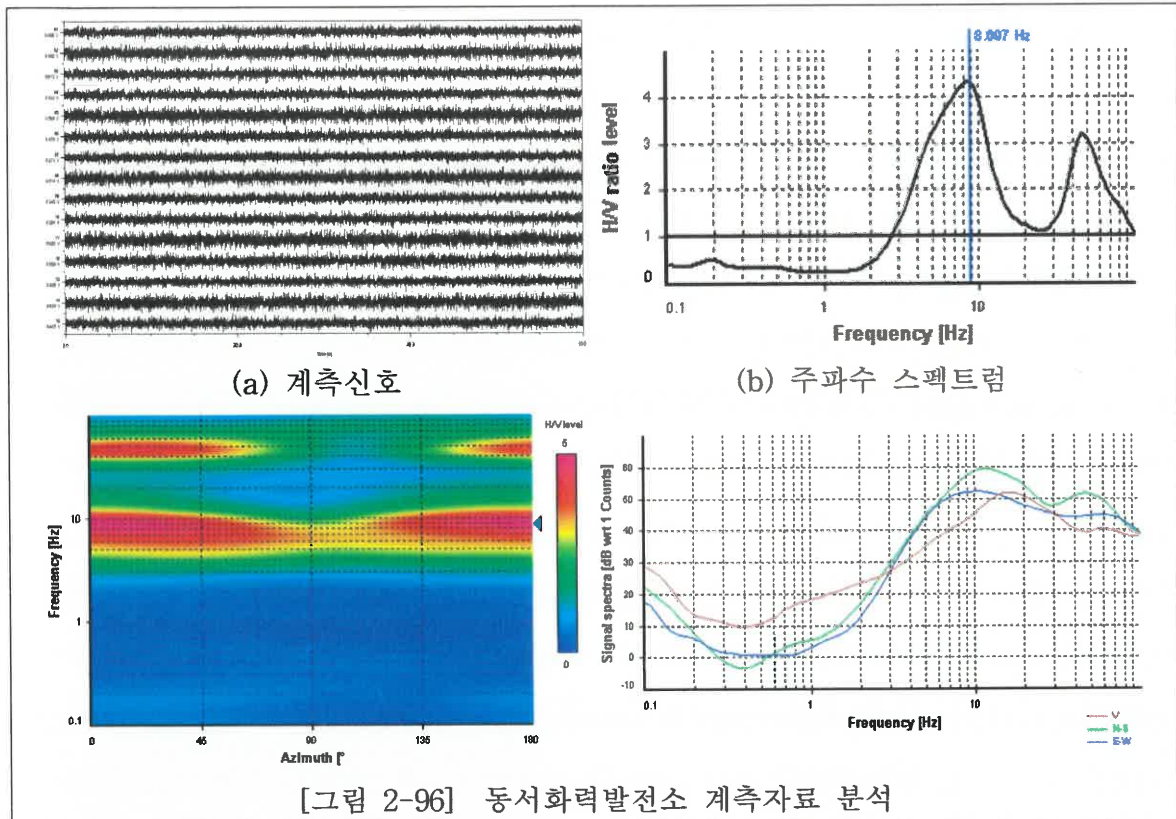
- ▶ 포항대학교 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 2.167 Hz
- ▶ 석곡도서관 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 4.060 Hz



- ▶ 한국서부발전소 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 7.565 Hz
- ▶ 건양대학교 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 0.700 Hz



- ▶ 세명대학교 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 0.351 Hz
- ▶ 부경대학교 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 0.291 Hz



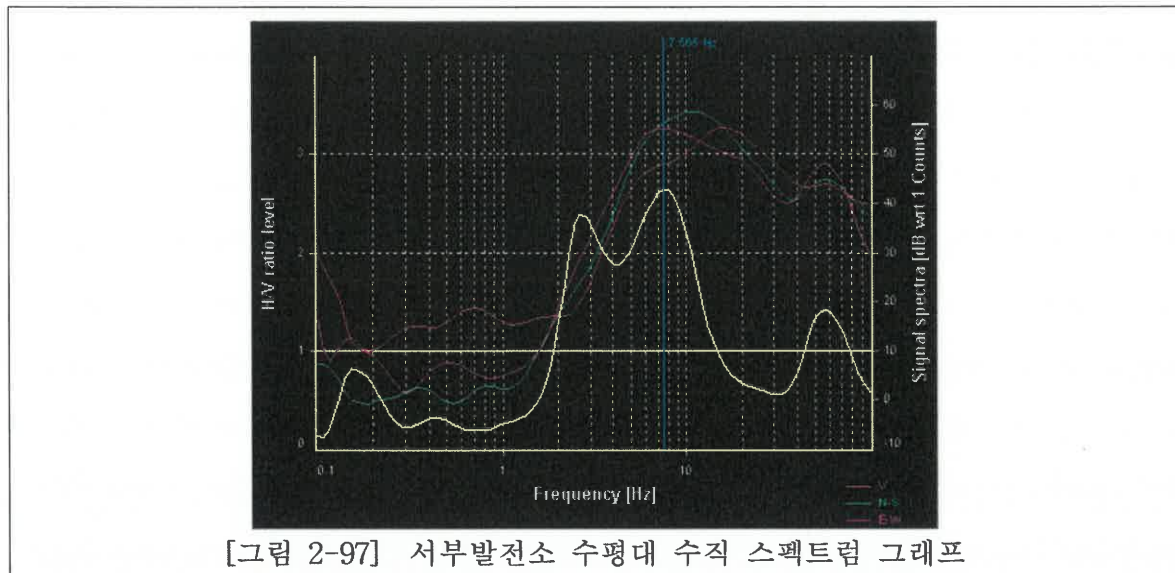
▶ 동서화력발전소 : 고유진동수 (natural frequency(f_0)): 8.697 Hz

본 연구에서 구축 완료된 9개의 테스트 베드별 실증현장에 대한 부지특성을 비교 분석한 결과를 아래 표에 나타내었다. 상기 분석 자료에 나타내었듯이 각 계측현장별 고유진동주파수는 해당 현장에 따라 모두 다르며, 지진 가속도센서가 설치된 주변에 PC, 서버, 발전기 및 다양한 가동설비 등의 운영여부에 따라 현장특성이 결정된다.

[표 2-35] 현장 특성분석에 따른 테스트베드 현장별 고유진동주파수

테스트 베드 현장 특성분석			
구분	고유진동주파수(f_0)	구분	고유진동주파수(f_0)
한동대학교	3.363 Hz	건양대학교	0.700 Hz
동산요양병원	0.146 Hz	세명대학교	0.351 Hz
포항대학교	2.167 Hz	부경대학교	0.291 Hz
석곡도서관	4.060 Hz	동서화력발전소	8.697 Hz
한국서부발전소	7.565 Hz		

상기 분석의 결과의 사례로 예를 들자면 한국서부발전소의 현장특성의 경우 설치된 지진가속도센서 주변에 보일러시설과 함께 인근에서는 전기 생산을 위해 터빈을 24시간 가동 중이다. 아래 그림을 살펴보면 고유진동의 주주파수의 경우 7.565 Hz이나 그 범위는 대략 2 Hz에서 상승곡선으로 나타나 10 Hz에서 하향곡성을 나타낸다. 이는 설치된 지진가속도 센서 인근에서 그 범위에 해당 고유진동 주파수가 발생한다는 것이다.



(5) 시험운영 결과 및 검증

본 연구를 통해 개발된 시스템에 대한 현장 실증시험을 위해 TEST Bed를 구축하고 이를 통한 운영결과를 도출하고자 하였다. 설치된 시스템의 성능 및 운영결과를 파악을 위해서는 지진과 같은 지반거동을 유발할 수 있는 이벤트를 발생되어야만 가능하다. 하지만 여건상 인위적으로 이러한 이벤트를 발생시키기에는 어려움이 있다. 따라서 기상청에서 발표한 지진 자료 중 테스트베드가 구축된 인근 지역에서 발생한 지진 자료를 바탕으로 테스트베드 현장에 설치된 계측 시스템에 대한 시험 운영을 검증하였다.

이를 위해서는 이상 징후에 대한 정확한 판단을 위하여 경보 발령에 대한 관리기준을 정립하는 것은 매우 중요한 사안이라 할 수 있다.

본 연구에서 이벤트 경보 발령을 위한 임계치는 기상청 발표 자료인 “진도 등급별 현상”을 토대로, “거의 모든 사람이 진동을 느끼고, 그릇, 창문 등이 깨지기도 하며, 불안정한 물체는 넘어진다.” 수준인 진도 5의 최대가속도 범위를 이벤트 단계 1단계로 설정하였다. 같은 방식으로, 진도 6의 경우 이벤트 2단계, 진도 7의 경우 이벤트 3단계로 설정하였다.

[표 2-36] 등급에 따른 진도별 현상과 최대가속도(기상청 발표자료)

등급	진도 등급별 현상	최대가속도 (gal=1cm/sec ²)
1	대부분 사람들은 느낄 수 없으나, 지진계에는 기록된다.	$0 \leq \text{gal} < 0.68$
2	조용한 상태나 건물 위층에 있는 소수의 사람만 느낀다.	$0.68 \leq \text{gal} < 2.25$
3	실내, 특히 건물 위층에 있는 사람이 현저하게 느끼며, 정지하고 있는 차가 약간 흔들린다.	$2.25 \leq \text{gal} < 7.45$
4	실내에서 많은 사람이 느끼고, 밤에는 잠에서 깨기도 하며, 그릇과 창문 등이 흔들린다.	$7.45 \leq \text{gal} < 25.11$
5	거의 모든 사람이 진동을 느끼고, 그릇, 창문 등이 깨진다.	$25.11 \leq \text{gal} < 67.29$
6	일부 무거운 가구가 움직이며, 벽의 석회가 떨어짐	$67.29 \leq \text{gal} < 144.50$
7	일반 건물에 약간의 피해가 발생하며, 부실한 건물에는 상당한 피해가 발생한다.	$144.50 \leq \text{gal} < 310.58$
8	일반 건물에 부분적 붕괴 등 상당한 피해가 발생하며, 부실한 건물에는 심각한 피해가 발생한다.	$310.58 \leq \text{gal} < 667.17$
9	잘 설계된 건물에도 상당한 피해가 발생하며, 일반 건축물에는 붕괴 등 큰 피해가 발생한다.	$667.17 \leq \text{gal} < 1433.63$
10	석조 및 골조건물이 파괴되고, 기차선로가 휘어진다.	$1433.63 \leq \text{gal} < 3080.34$
11	다리가 무너지고, 기차선로가 심각하게 휘어진다.	$3080.34 \leq \text{gal}$
12	지표면이 심각하게 뒤틀리며, 물체가 공중으로 튀어 오른다.	

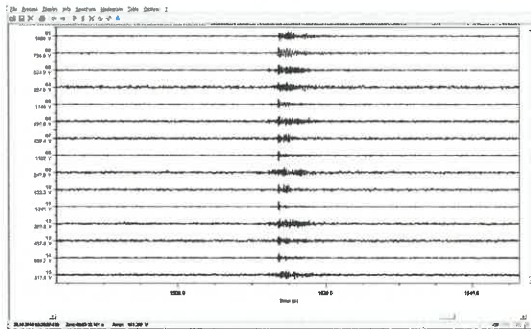
(가) 2019년도 포항지진에 따른 계측자료 분석

○ 지진발생 정보

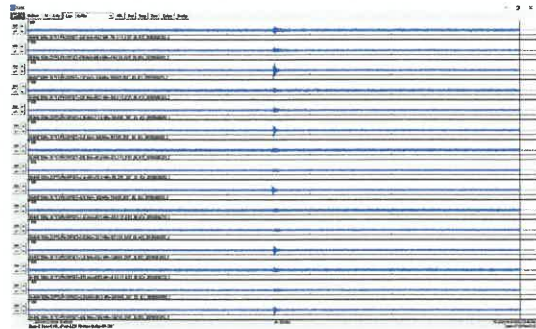
- 발생시각 : 2019년 09월 26일 02시 57분 31초
- 규모 : 2.3 (± 0.2)
- 발생위치 : 경북 포항 북구 북북서쪽 6km지역(위도:36.09 N, 경도:129.33 E, $\pm 0.8\text{km}$)



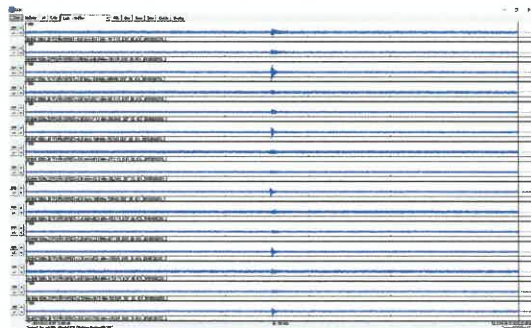
테스트 베드 시험운영 검증 및 자료분석의 경우 테스트베드 해당 설치 지점인 한동대학교, 동산요양병원, 포항대학교, 석곡도서관에서 지진 사전경보 가속도센서에 의해 감지된 지진자료로 데이터분석을 진행하였다.



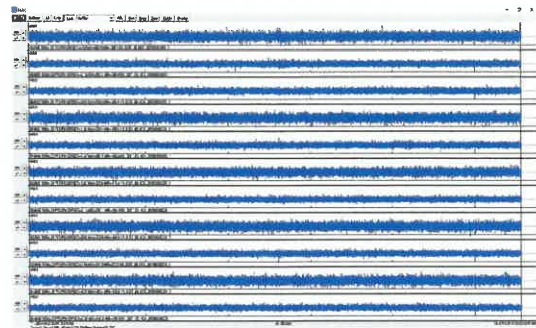
(a) 한동대학교



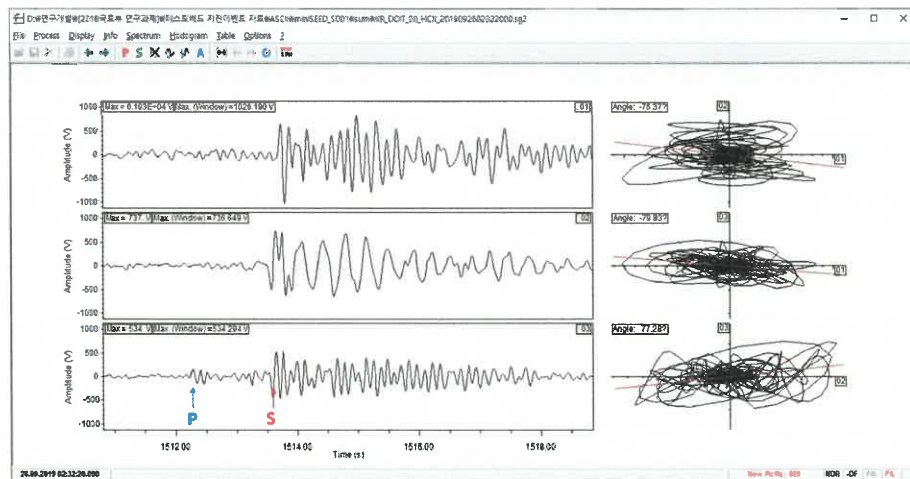
(b) 동산요양병원



(c) 포항대학교



(d) 석곡도서관



(e) P파 초동주시 및 S파 초동주시 도출을 통한 자료분석 화면

[그림 2-99] 포항지진 규모 2.3에 대한 각 계측지점의 자료 및 자료분석

기상청 발표자료에 따르면 지진 발생시간은 2019.09.26. 02:57:31 이다. 이를 토대로 대략적인 지진파(P파) 속도는 $5,500(m) / 1.2(초) \approx 4,500(m/s)$ 이며, S파 속도는 $\approx 2,400(m/s)$ 로 추정되는 결과를 도출할 수 있었다.

[표 2-37] 해당지점별 설정 임계치 및 예측된 최대 지반가속도(2019년 포항지진)

구분	지반가속도 설정 임계치 및 등급	최대지반가속도(gal)
한동대학교	> 25.11 (1단계) > 67.29 (2단계) > 144.50 (3단계)	6.28
동산요양병원		6.1
포항대학교		5.3
석곡도서관		-

상기 표에 나타난 바와 같이 2019년 09월 26일 02시 57분경 발생한 지진에 대한 지진동 신호가 계측되었으며 해당지점별 최대지반가속도는 6.28 gal의 지반가속도가 나타난 한동대학교로 확인되었으며 석곡 도서관에서는 해당 지진에 대한 신호가 감지되지 않았다. 그 이유는 지진파가 전달되는 과정에서 그 에너지는 매질의 물성 및 거리에 따라 감쇄되어 지진 발생위치와 거리가 가장 먼 석곡 도서관의 경우는 신호가 도달되지 않음을 확인할 수 있었다. 최대지반가속도가 나타난 한동대학교의 경우 지진 발생위치로부터 한동대학교 위치까지의 거리는 약 5.5km 이며, 자료를 분석한 결과는 다음과 같다.

- 최대 진폭(gal) : 6.28 gal
- P파 도달시간 : 2019.09.26. 02:57:32.278
- S파 도달시간 : 2019.09.26. 02:57:33.340
- PS시 : 1.06 초
- 건축물 손상도 이벤트 발생 여부 : 무



[그림 2-100] 포항지진 발생위치에서 해당지점까지의 거리(한동대학교)

(나) 2020년도 인근 지진에 따른 계측자료 분석

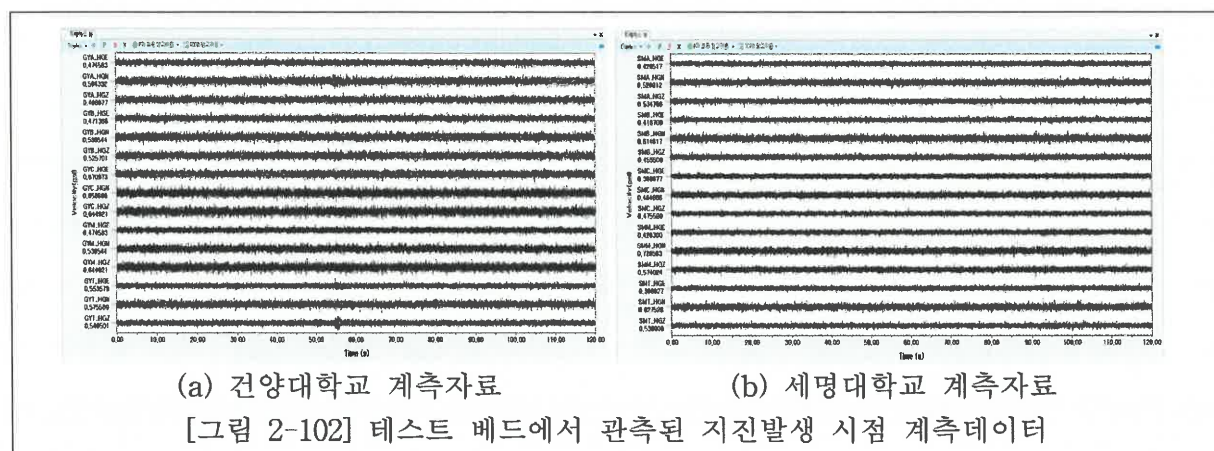
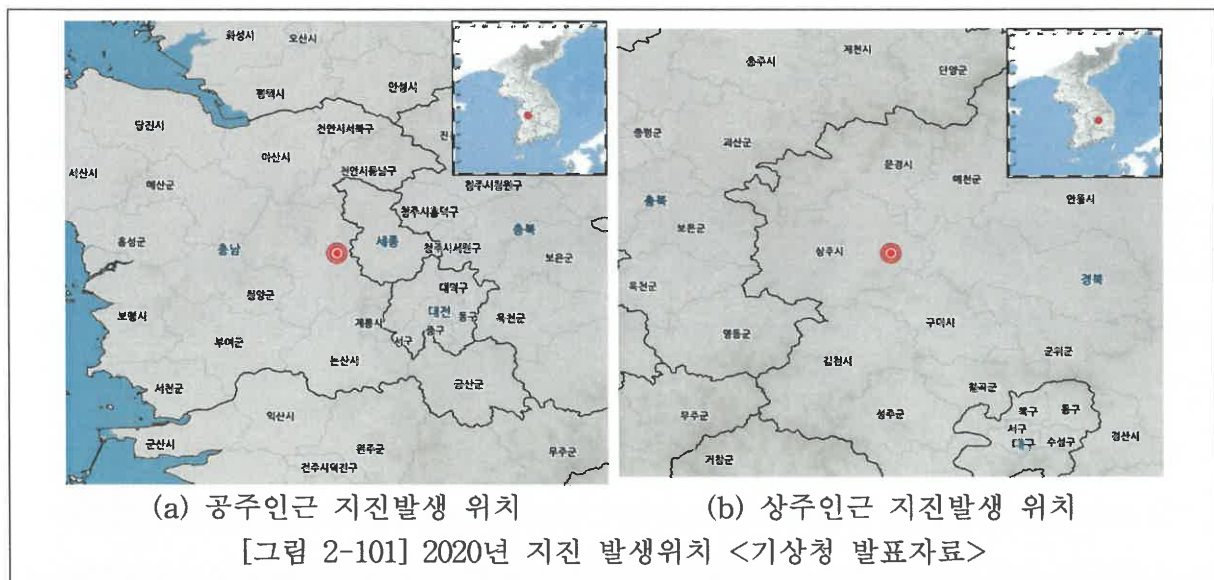
2020년도 개발 고도화가 진행되어 신규 구축된 테스트베드 인근에 발생한 지진으로부터 계측된 결과를 바탕으로 운영시험 중인 테스트베드의 신뢰성을 검증 하였다.

○ 공주인근 지진발생 정보

- 발생시각 : 2020년 09월 20일 01시 22분 14초
- 규모 : 2.2 (± 0.2)
- 발생위치 : 충남 공주시 북북동쪽 7km 지역 (위도:36.51 N, 경도:127.14 E, ± 0.6 k)

○ 상주 인근 지진발생 정보

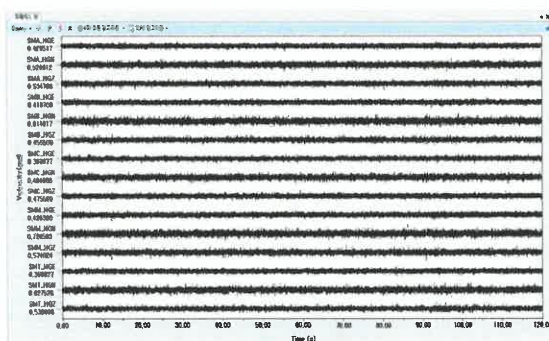
- 발생시각 : 2020년 11월 08일 15시 26분 09초
- 규모 : 2.9 (± 0.3)
- 발생위치 : 경북 상주시 동쪽 5km 지역 (36.41°N,128.22°E, ± 0.7 km))



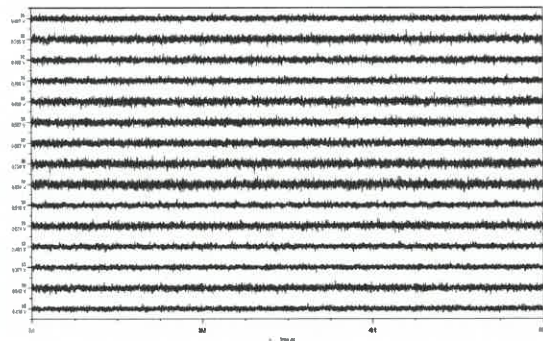
[표 2-38] 해당지점별 설정 임계치 및 계측된 최대 지반가속도(2020년 관련지진)

구분	지반가속도 설정 임계치 및 등급	최대지반가속도(gal)
건양대학교	> 25.11 (1단계)	0.67
세명대학교	> 67.29 (2단계) > 144.50 (3단계)	-

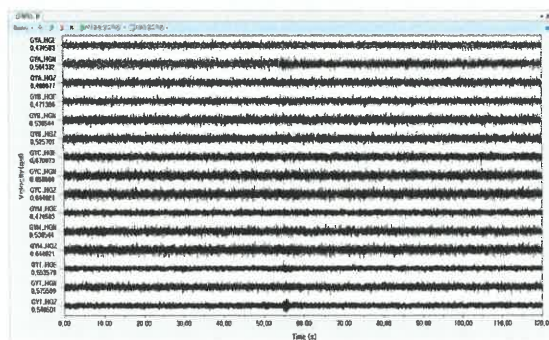
지진 발생위치로부터 테스트 베드 구축지점인 건양대학교 및 세명대학교는 센서 위치까지의 거리가 각각 50 km, 86 km이며, 테스트 베드 실증에서 이벤트 경보 발령을 위한 임계치는 25.11 (gal)이다. 상기 자료를 분석한 결과 지진 발생위치로부터 거리가 멀리 떨어져 있기 때문에 지진파 전달에 있어서 매질에 의한 감쇠현상으로 인해 건양대학교에서 계측된 최대지반가속도는 0.67(gal), 세명대학교는 이벤트로 기록되지 않음을 확인하였다.



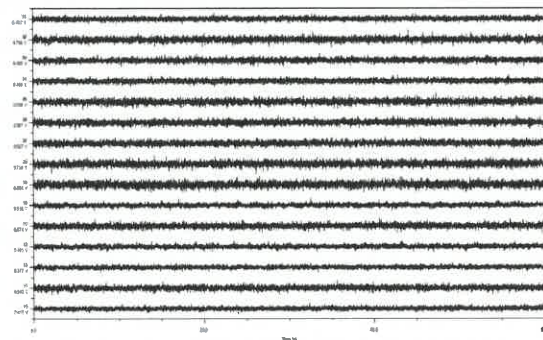
(a) 세명대



(b) 부경대



(c) 건양대



(d) 울산화력 발전소

(e) P파 초동주시 및 S파 초동주시 도출을 통한 자료분석 화면

[그림 2-103] 포항지진 규모 2.3에 대한 각 계측지점의 자료 및 자료분석

(5) 결론

본 연구에서 개발한 지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 계측 시스템에 대한 실증시험을 위해 테스트베드를 구축하였다. 지진 및 지반거동에 의해 발생하는 건축물 손상을 정확하게 감지할 수 있도록 개발된 센서 및 계측기를 설치하였으며 이를 운용하여 실시간 모니터링을 수행하고 있다. 설치된 시스템의 검증은 위해서는 지진과 같은 지반거동을 유발할 수 있는 이벤트를 발생되어야만 가능한데 인위적으로 이러한 이벤트를 발생시키기에는 어려움이 있다. 따라서 포항 지진(2019년 09월 26일 02시 57분경 발생) 및 구축된 테스트베드 인근에서 발생한 지진(2020년 09월 20일 01시 22분경 발생한 공주 지진, 2020년 11월 08일 15시 26분경 발생한 상주 지진)에 대한 자료 분석을 통한 지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 계측 시스템의 검증을 수행하였다.

지진계측 자료 분석결과 테스트 베드 구축완료에 따른 지진 사전경보 가속도 센서와 시스템은 원활한 계측이 가능하다. 지진 사전경보 가속도 센서의 설치 현장으로부터 진앙지와 이격 거리가 멀어지면 감쇠현상으로 인해 임계값이 넘지 않지 않음을 알 수 있었다.

본 연구에서 개발된 지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 계측 시스템에 대한 완벽한 검증이 이루어지지 않아 많은 아쉬움이 남지만 추후 보다 정확한 검증 시뮬레이션 구축환경을 통해 지진 사전경보와 긴급건축물 손상도 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 설치환경에 따라 관리기준이 다르기 때문에 이는 현장 설치 후 시험운영을 실시하여 임계값 및 관리 기준을 선정하고 지속적인 모니터링을 통해 시스템 보완 및 개선이 이루어진다면 실효성 높은 지진 사전경보 및 긴급건축물 손상도 평가 시스템이 될 것으로 사료된다.

자. 연구 성과(성능 시험 결과)

(1) 계측특성 성능시험

본 연구에서 개발된 P파 조기경보 지진가속도센서에 대한 정확한 성능을 파악하기 위해서 공인인증기관에 성능시험을 요청하여 진행하도록 하였다. 제품 성능시험 진행을 위한 공인인증기관은 KOLAS 인증기관으로 등록된 한국센서연구소이며, 성능시험 항목은 지진가속도센서계측기 설치 및 운영기준(행정안전부고시 제2020-26호)에 고시된 [별표 18]지진가속도감지기 검사방법(제37조)를 참고하여 성능시험을 진행하였다. 단, 행정안전부고시된 지진가속도감지기 검사방법의 경우 mechanism 가속도센서를 기준으로 나타나있기 때문에 본 연구에서 개발된 MEMS Type 지진가속도계측기에 대한 성능시험 기준규격이 달라짐에 따라 성능시험 진행방법만을 참고하여 진행하였으며, 본 개발품인 P파 지진 조기경보 가속도센서의 대표적인 요구사항과 시험기준은 아래 표에 나타내었다.

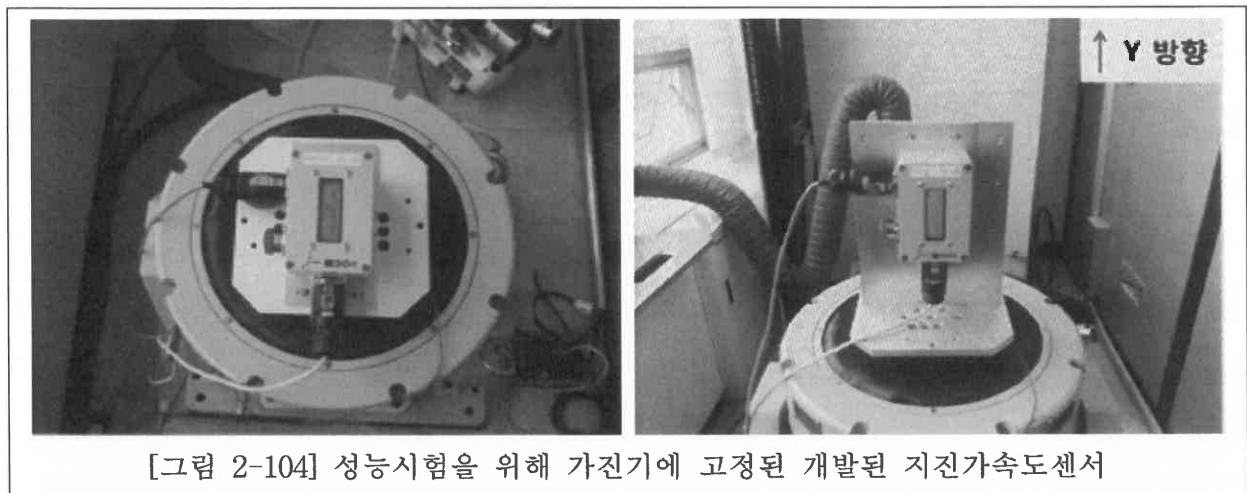
[표 2-39] 센서별 자체 동적범위 시험결과

시험 항목	측정 방법	목표 사양
동적범위	· 입력을 가하지 않은 상태에서의 배경잡음 측정 · 최대입력값 2g 가속도를 인가하여 최대값 측정 · 동적범위=20log 10 (센서신호의 최대값/배경잡음의 표준편차)	90dB
주파수 응답특성	· 2g 이내의 가속도를 인가한 후 정현파 입력 · 가진기 입력 주파수 0.1 ~ 20 Hz의 평활도 · 진폭비 변화 및 위상 확인(센서출력/입력 가속도)	3dB 이내
성분간 감도오차	· 가진 진동방향에 직교하는 2개 센서 출력의 상대적 비율	1% 이내
출력전압 선형비	· 경사대를 통해 0°, 15°, 30°, 60°, 90°측정 · 가진기 진동입력(30Hz, 1g) 인가 측정 · 사잇각 0°을 기준으로 출력전압 선형비 측정	1% 이내
환경시험	· 40℃, 93% R.H. 96시간 조건에서 전 후 동적범위 측정	만족

지진 조기경보 가속도센서의 항목별 성능시험을 위해서는 공통적으로 고려해야할 사항 및 방법으로는 다음과 같다.

- 시료의 동작상태의 정상유무를 파악한 후 미리 전원을 넣어 30분 이상 예열한다.
- 성능검사 진행에 필요한 계측기의 경우 검교정 인증제품을 사용하도록 한다.
- 성능시험에 있어서 진동대 및 시험지그 사용의 경우 주변 환경을 고려한다.
- 처음부터 마지막까지 시험에 대한 일관성을 유지하도록 한다.

아래 그림은 센서연구소에서 환경시험을 제외한 시험 진행 시 가진기에 장착된 센서 사진을 나타내고 있다.



[그림 2-104] 성능시험을 위해 가진기에 고정된 개발된 지진가속도센서

(가) 동적범위 특성시험

지진 가속도센서의 동적범위는 센서의 측정 가능한 최대 레벨신호와 최소 레벨신호 사이의 범위로 센서의 분해능을 나타내는 지표가 되는 항목이다. 즉 센서의 +, - 최대진폭 레벨이며, 보통 단위로는 dB로 표기한다. 본 개발품의 가속도 범위는 $\pm 2g$ 로 개발되었기 때문에 가속도가 인가되지 않았을 때의 최소입력 값과 최대 입력 값인 $2g$ 가속도로 동적범위를 구할 수 있으며, 이에 대한 계산식은 다음과 같다.

$$\text{동적범위} = 20\log_{10}\left(\frac{\text{센서신호의 최대값}}{\text{배경잡음의 표준편차}}\right)$$

동적범위 확인을 위한 배경잡음은 잡음이 거의 발생되지 않는 무진동, 무소음 환경에서 진행해야한다. 배경잡음의 RMS 값은 잡음신호의 표준 편차와 동일하기 때문에 상기 식에 의해 적용될 수 있다. 본 시험에서는 무진동 환경을 구축하기가 매우 어렵기 때문에 새벽시간에 공인인증기관인 한국센서연구소의 시험환경에서 성능시험을 진행하였다. 시험 방법은 다음과 같이 진행하였다.

시험 시료의 Z 방향이 진동축과 일치하도록 시험시료를 가진기에 장착한 후 측정 주파수 10 Hz, 15 Hz, 20Hz의 정현파를 인가하여 시료에 가속도를 가하지 않았을 때 시료로부터 출력되는 신호를 수집하여 배경잡음의 표준편차 적용

○ 시험 결과

[표 2-40] 동적범위 시험결과(인가주파수: 10Hz, 인가가속도: 2g)

횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	배경잡음 표준편차	센서신호의 최대값[Count]	동적범위[dB]
1	10.0	2.0	260.06	7,449,284	89.14
2	10.0	2.0		7,449,606	89.14
3	10.0	2.0		7,449,878	89.14
4	10.0	2.0		7,449,524	89.14
5	10.0	2.0		7,449,563	89.14
평균	10.0	2.0	260.06	7,449,571	89.14

[표 2-41] 동적범위 시험결과(인가주파수: 15Hz, 인가가속도: 2g)

횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	배경잡음 표준편차	센서신호의 최대값[Count]	동적범위[dB]
1	15.0	2.00	260.06	7,377,480	89.06
2	15.0	2.00		7,377,783	89.06
3	15.0	2.00		7,377,238	89.06
4	15.0	2.00		7,377,211	89.06
5	15.0	2.00		7,377,060	89.06
평균	15.0	2.00	260.06	7,377,354	89.06

[표 2-42] 동적범위 시험결과(인가주파수: 20Hz, 인가 가속도: 2g)

횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	배경잡음 표준편차	센서신호의 최대값[Count]	동적범위[dB]
1	20.0	2.00	260.06	7,248,136	89.90
2	20.0	2.00		7,248,974	89.90
3	20.0	2.00		7,248,054	89.90
4	20.0	2.00		7,248,908	89.90
5	20.0	2.00		7,248,302	89.90
평균	20.0	2.00	260.06	7,248,674	89.90

상기 표에 개발된 지진가속도센서의 동적범위 성능시험을 실시한 시험결과를 나타내고 있다. 시험조건은 인가 가속도 2g, 인가 주파수는 10, 15, 20 Hz로 진행하였으며, 그 결과 약 90 dB로 주파수별 크게 차이하지 않으며 당초 목표인 동적범위를 달성했다고 판단된다. 또한 본 시험의 경우 무진동, 무소음 환경을 구축하기 매우 어려움에 따라 새벽시간에 진행하였지만, 시험장소의 경우 주변의 환경적 잡음(다양한 계측장비 및 챔버 등이 운용)을 고려한다면 더 높은 동적범위 결과도 나올 수 있다고 사료된다.

(나) 주파수 응답특성(Frequency response)

주파수 응답특성 시험은 입력 축을 따라 가속도가 인가될 때, 인가되는 주파수에 대응하여 진폭비 및 위상이동 변화 주파수를 확인을 통해 지진가속도센서의 측정주파수 대역의 평활화 여부를 확인하는 시험이다. 주파수 응답특성을 확인하기 위해 인가되는 주파수를 2 ~ 20 Hz로 달리하면서 시료의 출력 진폭을 측정하였다. 여기서 2 Hz 주파수 대역부터 시험한 이유는 다음과 같다. 보통 주파수 응답특성은 DC 성분부터 측정하여 해당 주파수 대역까지를 확인하지만 해당시험기관에서 측정할 수 있는 조건은 2 Hz부터 시험이 가능하였기 때문이다. 또한 가진기의 입력은 인가 가속도가 정현 파형에서 왜곡이 일어나지 않는 범위에서 주파수를 인가해야 하기 때문에 센서의 진폭비를 구해야하며, 이상적인 경우 가속도센의 출력이 동일해야 하므로 진폭비는 1이된다. 주파수 응답특성 시험에서는 인가 주파수에 대응하여 진폭비를 구하기 위해서는 출력 신호의 절대 값을 M이라고 가정하였을 때 진폭비는 다음 수식으로 정의할 수 있다.

$$\text{진폭비} = 20\log_{10}\left(\frac{M}{\text{인가가진의 } G\text{-peak}}\right)$$

○ 시험 방법

- 시험 시료의 Z 방향이 진동축과 일치하도록 시험 시료를 가진기에 장착
- 인가 주파수 2, 5, 10, 15, 20 Hz의 조건으로 0.1g 가속도 인가
- 수집한 데이터로 진폭비 수신을 이용하여 주파수에 따른 진폭비 계산

인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]
2, 5, 10, 15, 20	0.1

○ 시험 결과

[표 2-43] 주파수 응답특성 결과(인가주파수: 2 Hz, 인가가속도: 0.1g)

횟수	인가주파수 [Hz]	(A)인가 가속도 G-peak[g]	(B)센서신호 최대값	B/A	진폭비 [dB]
1	2.0	0.10	5,551,648	55,516,480	154.89
2	2.0	0.10	5,552,718	55,527,180	154.89
3	2.0	0.10	5,553,972	55,539,720	154.89
4	2.0	0.10	5,554,345	55,543,450	154.89
5	2.0	0.10	5,554,745	55,547,450	154.89
평균	2.0	0.10	5,553,485	55,534,856	154.89

[표 2-44] 주파수 응답특성 결과(인가주파수: 5 Hz, 인가가속도: 0.1g)

횟수	인가주파수 [Hz]	(A)인가 가속도 G-peak[g]	(B)센서신호 최대값	B/A	진폭비 [dB]
1	5.0	0.10	5,584,926	55,849,260	154.94
2	5.0	0.10	5,585,449	55,854,490	154.94
3	5.0	0.10	5,585,587	55,855,870	154.94
4	5.0	0.10	5,585,683	55,856,830	154.94
5	5.0	0.10	5,586,019	55,860,190	154.94
평균	5.0	0.10	5,585,532	55,855,328	154.94

[표 2-45] 주파수 응답특성 결과(인가주파수: 10 Hz, 인가가속도: 0.1g)

횟수	인가주파수 [Hz]	(A)인가 가속도 G-peak[g]	(B)센서신호 최대값	B/A	진폭비 [dB]
1	10.0	0.10	5,600,120	56,001,200	154.96
2	10.0	0.10	5,615,711	56,157,110	154.99
3	10.0	0.10	5,612,947	56,129,470	154.98
4	10.0	0.10	5,613,831	56,138,310	154.99
5	10.0	0.10	5,614,932	56,149,320	154.99
평균	10.0	0.10	5,611,508	56,115,082	154.98

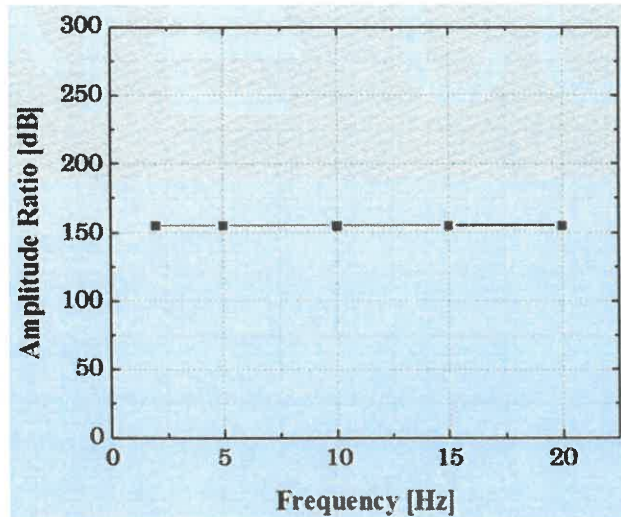
[표 2-46] 주파수 응답특성 결과(인가주파수:15 Hz, 인가가속도 :0.1g)

횟수	인가주파수 [Hz]	(A)인가 가속도 G-peak[g]	(B)센서신호 최대값	B/A	진폭비 [dB]
1	15.0	0.10	5,558,328	55,583,280	154.90
2	15.0	0.10	5,558,782	55,587,820	154.90
3	15.0	0.10	5,559,078	55,590,780	154.90
4	15.0	0.10	5,559,528	55,595,280	154.90
5	15.0	0.10	5,575,117	55,751,170	154.93
평균	15.0	0.10	5,562,166	55,621,666	154.906

[표 2-47] 주파수 응답특성 결과(인가주파수:20 Hz, 인가가속도 :0.1g)

횟수	인가주파수 [Hz]	(A)인가 가속도 G-peak[g]	(B)센서신호 최대값	B/A	진폭비 [dB]
1	20.0	0.10	5,555,182	55,551,820	154.89
2	20.0	0.10	5,556,359	55,563,590	154.89
3	20.0	0.10	5,554,887	55,548,870	154.89
4	20.0	0.10	5,554,134	55,541,340	154.89
5	20.0	0.10	5,554,578	55,545,780	154.89
평균	20.0	0.10	5,555,028	55,550,280	154.892

주파수 응답특성 성능시험은 인가가속도 0.1g로 2 ~ 20Hz 주파수 대역의 평활도를 확인하는 시험으로 진행을 하였다. 여기서 인가주파수의 경우 해당시험기관의 측정기의 측정범위 한계로 인해 주파수 최소대역을 2 Hz로 설정하였다. 주파수 응답특성결과 해당 구간에서의 진폭비를 계산하여 비율을 비교한 결과 2 ~ 20Hz 주파수 대역의 평활도의 진폭비 오차는 대략 0.1 dB로 확인할 수 있었다. 당초 주파수 응답특성 목표의 경우 해당 주파수 구간에서의 평활도를 3 dB로 설정하였는데, 이는 목표치를 충분히 달성한 결과를 나타내고 있다. 아래 그림에 개발된 지진가속도센서의 주파수 응답특성 결과 그래프를 나타내었다.



[그림 2-105] 개발된 지진가속도센서의 주파수 응답특성 시험 결과 그래프

(다) 성분간 감도오차

성분간 감도오차는 지진가속도계에 가해지는 가속도 크기에 대한 각 성분간 출력오차를 확인하는 시험으로 가진기 및 지그를 통해 일정 방향으로 가속도를 인가한 상태에서 이와 직교한 방향의 센서 출력과의 상대 비율로 측정될 수 있다. 이 경우 센서의 장착 오차에 의해서도 성분간 감도가 달라짐에 따라 가진기 및 지그에 장착한 상태에서 수평계를 이용하여 정확하게 측정하여야 한다.

성분간 감도오차의 경우 시험시료에 표기된 방향 i 를 진동축과 일치시켜서 장착한 후 획득된 배경잡음의 평균값을 N_i , 시험시료 i 방향으로 가속도를 가하여 시험시료로부터 수집한 I 방향에 대한 신호의 절대 값의 최대 값을 M_i 이라 가정하였을 경우 I, j 성분간 감도오차는 다음 수식과 같이 정의된다.

$$\text{성분간 감도오차} = \frac{|(M_i - N_i) - (M_j - N_j)|}{\frac{(M_X - N_X) + (M_Y - N_Y) + (M_Z - N_Z)}{3}}$$

○ 시험 방법

- 시험 시료의 X 방향이 진동축과 일치하도록 시험 시료를 가진기에 장착한다.
- 시험 시료에 진동을 가하지 않았을 때 시료부터 출력되는 신호를 수집하여 배경 잡음의 표준편차를 계산한다.
- 시험 시료에 인가주파수 20 Hz, G-peak인 가속도 2g인가 후 출력신호를 수집 한다.

- 상기 과정을 Y, Z 방향에 대해서도 동일하게 수행하며, 획득된 데이터로 성분간 감도 오차 수식을 대입하여 산출하도록 한다.

방향성	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]
X,Y,Z	20	2g

○ 시험 결과

[표 2-48] X방향의 성분간 감도오차 시험결과(주파수: 20 Hz, 가속도: 2 g)

방향	횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 시 신호 최대 값	(B) 배경잡음 평균 값	A-B
+X	1	20.0	2.00	7,262,821	5,431,595.7	1,831,225.3
	2	20.0	2.00	7,262,828	5,431,592.5	1,831,235.5
	3	20.0	2.00	7,263,593	5,431,598.2	1,831,994.8
	4	20.0	2.00	7,264,289	5,431,601.0	1,832,688.0
	5	20.0	2.00	7,264,553	5,431,599.6	1,832,953.4
	평균	20.0	2.00	7,263,616.8	5,431,597.3	1,832,019.4

[표 2-49] Y방향의 성분간 감도오차 시험결과(주파수: 20 Hz, 가속도: 2 g)

방향	횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 시 신호 최대 값	(B) 배경잡음 평균 값	A-B
+Y	1	20.0	2.00	7,256,747	5,437,799.5	1,818,947.5
	2	20.0	2.00	7,256,934	5,437,764.2	1,819,169.8
	3	20.0	2.00	7,257,181	5,437,758.8	1,819,422.2
	4	20.0	2.00	7,256,600	5,437,763.9	1,818,836.1
	5	20.0	2.00	7,257,523	5,437,735.2	1,819,787.8
	평균	20.0	2.00	7,256,997	5,437,764.3	1,819,232.7

[표 2-50] Z방향의 성분간 감도오차 시험결과(주파수: 20 Hz, 가속도: 2 g)

방향	횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 시 신호 최대 값	(B) 배경잡음 평균 값	A-B
+Z	1	20.0	2.00	7,256,747	5,437,799.5	1,818,947.5
	2	20.0	2.00	7,256,934	5,437,764.2	1,819,169.8
	3	20.0	2.00	7,257,181	5,437,758.8	1,819,422.2
	4	20.0	2.00	7,256,600	5,437,763.9	1,818,836.1
	5	20.0	2.00	7,257,523	5,437,735.2	1,819,787.8
	평균	20.0	2.00	7,256,997	5,437,764.3	1,819,232.7

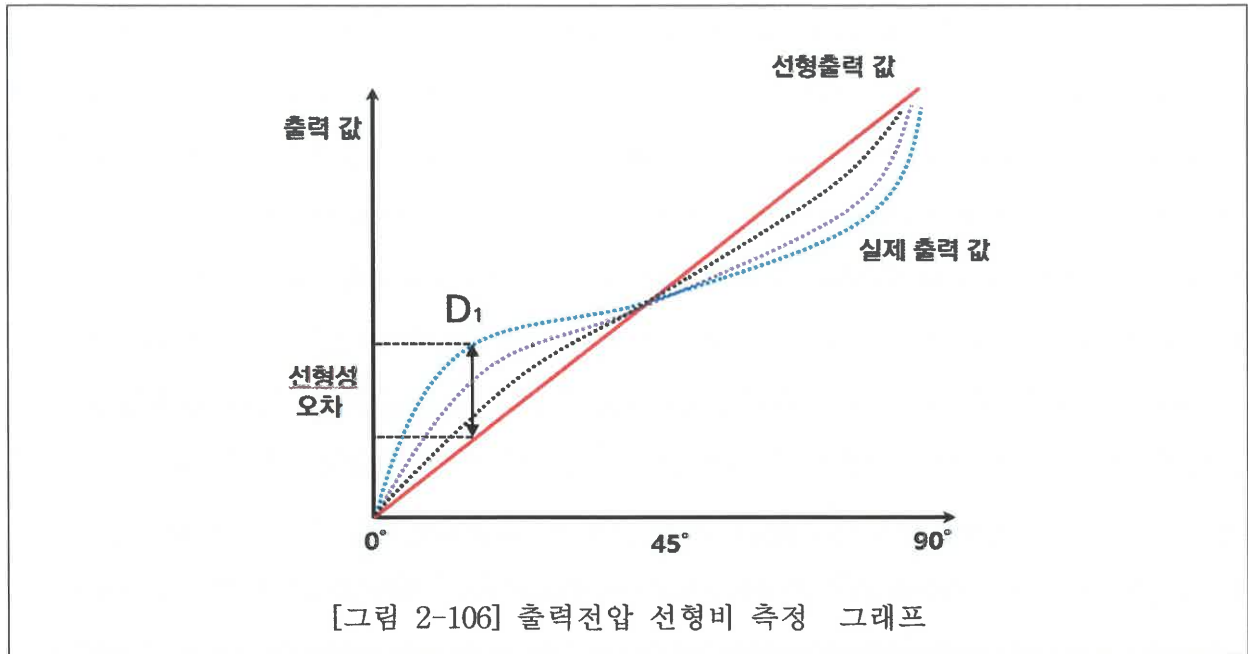
성분간 감도오차 측정은 20 Hz 인가 주파수, X, Y, Z 방향으로 2g의 가속도를 인가하여 센서의 출력신호 최대 값과 배경잡음의 평균 값을 구해서 직교방향에 대한 오차를 확인하도록 하였다. 그 결과 +X, +Y 방향의 감도 오차는 0.7 %, +Y, +Z 방향의 감도 오차는 0.386 %, +X, +Z 방향의 감도 오차는 0.314 %로 나타났다. 본 연구 개발에 있어서 성분간 감도오차 달성목표는 1% 이내로 본 시험을 통해 나타난 시험결과를 통해 해당시험 항목은 만족한 결과를 나타내기에 충분하다고 판단된다. 아래 표 23에 지진가속도센서의 성분간 감도오차 시험결과를 나타내었다.

[표 2-51] 개발된 지진가속도센서 성분간 감도오차 시험결과

방향	성분간 감도오차 [%]
+X, +Y	0.700
+Y, +Z	0.386
+X, +Z	0.314

(라) 출력전압 선형비

출력전압 선형비는 1g 가속도 범위내에서 아래 나타낸 그림처럼 센서의 기울기에 따른 출력 값의 최소 값과 최대 값을 직선으로 연결했을 때 나머지 출력값 중 직선과 가장 크게 벗어난 곳의 편차를 측정하거나 DC 전압의 이론값과 출력 값의 오차범위 측정하는 시험으로 이를 평가하기 위해서 정확한 기준 가속도를 인가한 상태에서 지진가속도센서의 출력신호를 측정해야 한다.



본 시험에서 적용한 출력전압 선형비 시험방법은 지진가속도센서를 지구 중력 가속도에 대해 0°, 15°, 30°, 60°, 90° 각도로 기울어진 상태에서 인가 주파수 30 Hz, 인가 가속도 1g 이내에서 시험을 진행하였다. 시험 시료의 Z방향과 가진축이 이루는 각도가 θ 가 되도록 가진기에 장착하고, 이 때 얻은 배경잡음의 평균 값을 N_θ , 시험 시료에 가진을 가하여 시료로부터 수집한 신호의 최대 값을 M_θ , 수집한 신호를 정규화하여 환산한 결과를 $f(M_\theta, N_\theta)$ 및 가진 G-peak을 a_0 로 하였을 때, 출력전압 선형비의 수식은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{출력전압 선형비} = \frac{f(M_\theta, N_\theta) - a_0 \cos \theta}{a_0 \cos \theta}$$

○ 시험 방법

- 시험 시료의 Z방향이 가진축과 이루는 각도가 0°, 15°, 30°, 60°, 90°각도가 되도록 시험 시료를 가진기에 장착한다.
- 가진을 가하지 않은 상태에서 시료로부터 출력되는 신호를 수집한다.
- 시험 시료에 인가 주파수 30 Hz, 인가 가속도 G-peak 1g로 가진하였을 때 시료로부터 출력되는 신호를 수집한다.
- 사잇각 0°를 기준으로 정규화하여 환산 측정 값을 계산한다.
- 획득한 데이터로 수식을 이용하여 출력전압 선형비를 계산한다.

○ 시험 결과

[표 2-52] 측정 최대 값, 배경잡음 측정 값(각도: 0°주파수: 30 Hz, 가속도: 1 g)

사잇각 [°]	횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 시 신호 최대 값	(B) 배경잡음 최대 값	(C) A-Offset
0	1	30.0	1.00	6,498,900	5,426,192	1,072,708
	2	30.0	1.00	6,498,416	5,426,269	1,072,147
	3	30.0	1.00	6,498,151	5,425,949	1,072,202
	4	30.0	1.00	6,497,927	5,425,829	1,072,098
	5	30.0	1.00	6,497,601	5,426,058	1,071,543
	평균	30.0	1.00	6,498,199	5,426,059.4	1,072,139.6

[표 2-53] 측정 최대 값, 배경잡음 측정 값(각도: 15°주파수: 30 Hz, 가속도: 1 g)

사잇각 [°]	횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 시 신호 최대 값	(B) 배경잡음 최대 값	(C) A-Offset
15	1	30.0	0.99	6,413,212	5,370,350	1,042,862
	2	30.0	1.00	6,413,655	5,370,371	1,043,284
	3	30.0	1.01	6,413,173	5,370,190	1,042,983
	4	30.0	1.00	6,413,075	5,370,703	1,042,372
	5	30.0	1.00	6,414,341	5,370,488	1,043,853
	평균	30.0	1.00	6,413,491.2	5,370,420.4	1,043,070.8

[표 2-54] 측정 최대 값, 배경잡음 측정 값(각도: 30°주파수: 30 Hz, 가속도: 1 g)

사잇각 [°]	횟수	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 시 신호 최대 값	(B) 배경잡음 최대 값	(C) A-Offset
30	1	30.0	1.00	6,143,612	5,206,291	937,321
	2	30.0	1.00	6,143,963	5,206,300	937,663
	3	30.0	1.00	6,143,381	5,206,309	937,072
	4	30.0	1.00	6,144,603	5,206,431	938,172
	5	30.0	1.00	6,143,392	5,206,542	936,850
	평균	30.0	1.00	6,143,790.2	5,206,374.6	937,415.6

[표 2-55] 측정 최대 값, 배경잡음 측정 값(각도: 60°주파수: 30 Hz, 가속도: 1 g)

사잇각 [°]	횟수	인가 주파수[Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 시 신호 최대 값	(B) 배경잡음 최대 값	(C) A-Offset
60	1	30.0	1.00	5,151,599	4,611,007	540,592
	2	30.0	1.01	5,151,786	4,611,177	540,609
	3	30.0	1.01	5,150,808	4,611,293	539,515
	4	30.0	1.00	5,151,117	4,610,591	540,526
	5	30.0	1.01	5,150,481	4,610,788	539,693
	평균	30.0	1.006	5,151,158.2	4,610,971.2	540,187.0

[표 2-56] 측정 최대 값, 배경잡음 측정 값(각도: 90°주파수: 30 Hz, 가속도: 1 g)

사잇각 [°]	횟수	인가 주파수[Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 시 신호 최대 값	(B) 배경잡음 최대 값	(C) A-Offset
90	1	30.0	1.00	4,011,621	3,787,964	223,657
	2	30.0	1.00	4,011,533	3,788,410	223,123
	3	30.0	1.00	4,017,916	3,788,133	229,783
	4	30.0	1.00	4,018,629	3,788,064	230,565
	5	30.0	1.01	4,019,016	3,788,148	230,868
	평균	30.0	1.002	4,015,743.0	3,788,143.8	227,599.2

개발된 지진가속도센서의 출력전압 선형비 시험결과를 아래 표에 나타내었다. 출력전압 선형비의 시험결과 최대 선형성 오차를 가진 선형비는 사잇각 60°각도에서, 0.924 %로 당초 목표치인 오차범위 1%이내를 만족한 결과를 확인하였다.

[표 2-57] 개발된 지진가속도센서의 출력전압 선형비 결과

사잇각 [°]	인가 주파수 [Hz]	인가 가속도 G-peak[g]	(A) 가진 센서신호 최대 값	(B) 배경잡음 최대 값	(C) A-Offset	환산 측정 값	이론 값	출력전압 선형비 [%]
0	30.0	0.998	6,498,199	5,426,059	1,072,139	1.000	1.000	-
15	30.0	1.000	6,413,491	5,370,420	1,043,070	0.973	0.966	0.725
30	30.0	1.000	6,143,790	5,206,374	937,415	0.874	0.866	0.924
60	30.0	1.006	5,151,158	4,610,971	540,187	0.504	0.500	0.800
90	30.0	1.002	4,015,743	3,788,143	227,599	0.212	0.000	-

(마) 환경시험

환경시험은 안정상태의 내습성 표준 성능시험 규격(KS C IEC 60068-2-78:2002)을 기준으로 특정조건의 온습도에 대한 제품의 변질 및 제품 오류에 대한 성능을 평가하는 시험으로 진행하였다. 그 이유는 개발품의 설치조건의 경우 건축물 내부에 설치되어 운영되기 때문에 온도 및 습도 등이 일정부분 안정 상태임을 고려하였기 때문이다.

○ 시험 방법

- 시험 시료를 항온항습기에 설치 후 지진가속도센서의 전원을 ON 시킨다.
- 조안의 온도를 ($40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), 습도(93% R.H.)로 설정한다. 단, 항온항습기 내부의 온도는 5분 이내 매분 1°C 이상의 변화가 발생하지 않도록 한다.
- 시험조를 96시간 동안 작동시키며 시험 종료 후 시험조안의 온습도 상태를 표준상태로 만든 후 동적범위 시험을 실시하고 시험 전과 후의 동적범위를 비교한다.

[표 2-58] 개발된 지진가속도센서의 온,습도 규격범위와 측정 온습도에 대한 측정 값

구분	시간[hour]	규격범위	최저값	최고값	평균값
습도[% R.H]	0 ~ 96	90 ~ 96	92.0	93.0	93.0
온도[$^{\circ}\text{C}$]	0 ~ 96	38 ~ 42	39.8	40.2	40.0

환경시험은 안정상태의 내습성 표준 성능시험 규격(KS C IEC 60068-2-78:2002)을 기준으로 개발된 지진가속도센서에 대한 환경시험을 진행하였다. 환경시험은 제품 외관의 문제나 동작상태 여부를 확인한 후 환경시험 전, 후 동적범위를 측정을 하여 3 dB 범위 이내 만족 여부를 확인하도록 하였다. 환경시험 결과 제품 외관 및 동작상태는 정상적이었으며, 동적범위 변화율도 전 후 1% 이내로 만족되었다.

[표 2-59] 개발된 지진가속도센서의 환경시험 후의 동적범위 시험결과

인가 주파수 [Hz]	환경시험 전 동적범위 [dB]	환경시험 후 동적범위 [dB]	동적범위 변화율 [%]
10.0	89.140	88.740	-0.449
15.0	89.060	88.660	-0.449
20.0	88.900	88.500	-0.450

(2) 방수 및 방진 성능시험

본 연구에서 개발된 “MEMS 지진 조기경보 가속도계”에 대한 제품의 내구성, 적용성을 위한 핵심기술인 방수 및 방진을 위해 P67등급의 케이스와 커넥터를 적용하였으며 이를 검증하기 위해 한국산업기술시험원에 IEC 60529에 따른 IP 등급을 확인한 결과 IP67(방수/방진) 등급의 적합 판정을 받았다. 본 검증을 위한 시험조건 및 결과는 아래 표에 나타내었다.

[표 2-60] 시험조건 및 시험 결과

구분	시험 조건	인증기준	시험 결과
방진 시험	· 시험용 활석분진의 표준체 와이어 공칭지름 : 50 μm · 시험용 활석분진의 표준체 와이어 간격 : 75 μm · 단위 부피당 활석분진의 양 : 2 km/m^3	6	6(만족)
방수 시험	· 물속에 잠긴 시료의 가장 낮은 지점의 수위 : 1,000 mm · 물속에 잠긴 시료의 가장 높은 지점의 수위 : 921 mm · 수온과 시료의 온도차 (5.0 K 이내) : 2.0 K	7	7(만족)

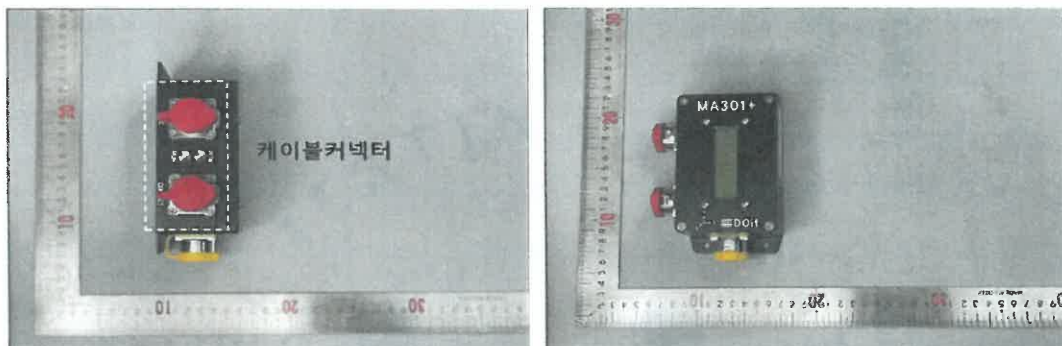
(가) 시험 개요

○ 시험 규격

- “IEC 60529:1989 + AMD1:1999 + AMD2:2013 CSV/COR2:2015” 적용

○ 시료 정보

- 품명 : MEMS 지진 가속도계
- 모델 : MA301 PLUS
- 치수 : 124mm * 79mm * 43mm



[그림 2-107] 성능시험에 사용된 MEMS 지진 조기경보 가속도계

○ 시험 환경

- 온도 : $(20.0 \pm 2.0) ^\circ\text{C}$
- 습도 : $(20.0 \pm 2.0) \% \text{ R.H.}$
- 대기압 : $(100.2 \pm 2.0) \text{ kPa}$

○ 참고 사항

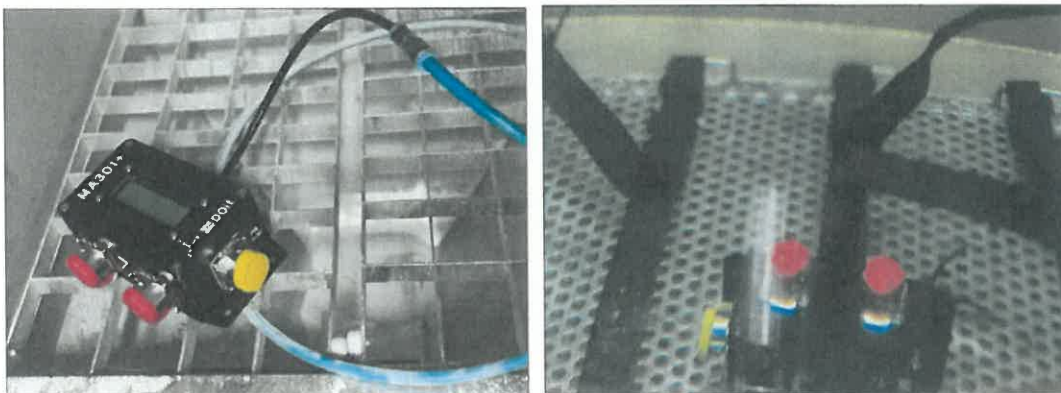
- 케이블커넥터는 방수커버로 막고 시험한 결과임(그림 2-81 참조).

○ 사용 장비 목록

[표 2-61] 시험 장비목록 및 관련정보

장 비 명	모 델 명	제 조 회 사	교 정 일	차 기 교 정 일
Thermo-hygro meter	Testo 622	Testo	2020-04-09	2021-04-09
Timer	HS-30W	CASIO	2019-09-02	2021-09-02
Veriner calipers	CD-20APX	Mitutoyo Corp.	2021-05-14	2021-05-14
Water temperature gauge	SDT8Q	SUMMIT	2020-06-12	2021-06-12
Flowmeter (IP5X, IP6X)	RMA-13-SSV	DWYER	2020-04-09	2021-04-09

○ 시험 사진



[그림 2-108]왼쪽 - IP6X, 오른쪽 - IP7X

(3) 전자파적합성 성능 검증

본 연구에서 개발된 “MEMS 지진 조기경보 가속도계”가 전파환경 및 방송통신망 등에 위해를 줄 우려가 있거나 중대한 전자파장해를 주거나 전자파로부터 정상적인 동작을 방해받을 정도의 영향을 받는 기자재인지에 대한 검증을 위해 (주)규격인증센터의 적합성평가기준에 따라 방송통신기자재등(전자파적합성) 시험 결과 전자파적합성 적합 판정을 받았다. 본 검증을 위한 시험 내용 및 시험 결과는 아래 표에 나타내었다.

(가) 시험 개요

○ 시험 기자재

- 명칭 : P파 지진감지 가속도센서
- 모델명 : MA301+
- 제조자 : 주식회사 두잇(Do it)
- 제품구분 : 업무용 (A급)

[표 2-62] 시험 내용 및 시험 결과

시 험 내 용	시 험 결 과
주전원포트에서의 전도성 방해 시험	적합
비대칭모드 전도성 방해 시험	적합
방사성 방해 시험 (1 GHz 이하 대역)	적합
정전기 방전 내성 시험	적합
방사성 RF 전자기장 내성 시험	적합
전기적 빠른 과도현상 / 버스트 내성 시험	적합
서지 내성 시험	적합
전도성 RF 전자기장 내성 시험	적합
전압강하 및 순간 정전 내성 시험	적합

[표 2-63] 시험 내용 및 결과

구 분	제 목	고 시 일 자
고시	방송통신기자재등의 적합성 평가에 관한 고시	국립전파연구원고시 제 2020-7호 (2020.10.20.)
고시	전자파적합성 기준	국립전파연구원고시 제 2019-32호 (2019.12.31.)
공고	전자파적합성 시험방법	국립전파연구원공고 제 2019-132호 (2019.12.31.)

(나) 시험 방법 및 결과

① 주전원포트에서의 전도성 방해 시험

○ 측정 설비

[표 2-64] 시험 장비목록 및 관련정보

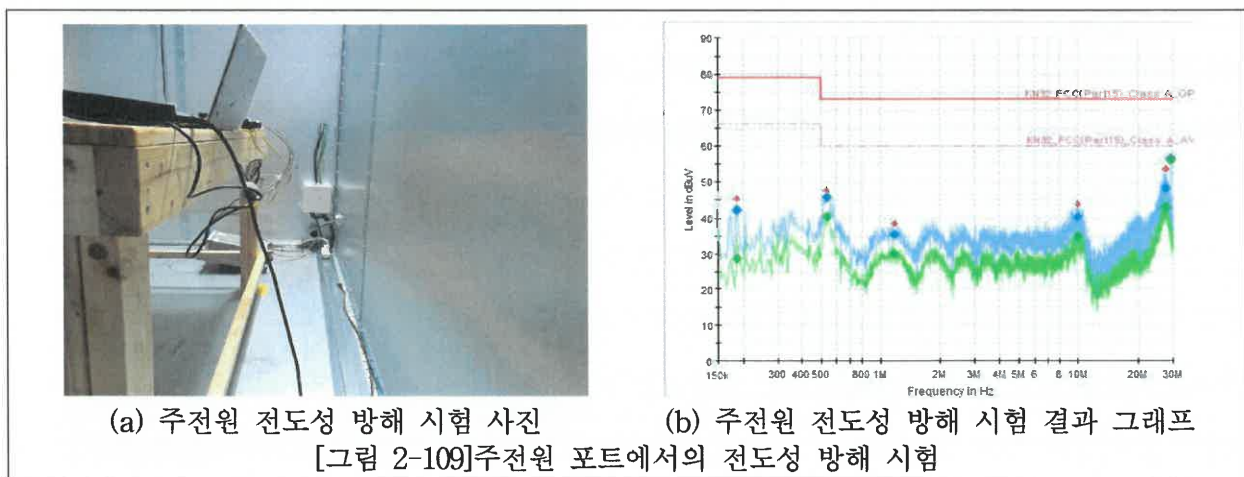
사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제 조 번 호	차 기 교 정 일
TEST RECEIVER	ESR7	ROHDE & SCHWARZ	102112	2021-02-21
LISN	ENV216	ROHDE & SCHWARZ	101732	2021-02-21
LISN	HM6050-2	HAMEG	043810114	2021-02-21

○ 환경 조건

[표 2-65] 시험 환경 조건

기 준 치	측 정 치
온도 (25.0 ± 10) °C	18.5 °C
습도 (45.0 ± 15) % R.H.	43.0 % R.H.
대기압 (96.0 ± 10) kPa	101.0 kPa

○ 시험 결과



[표 2-66] 주전원포트에서의 전도성 방해 시험 결과

시험항목	제품 구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격
주전원포트에서의 전도성 방해 시험	A급 (업무용)	LINE/NEUTRAL	60 ~ 79 [dBμV]	60 ~ 79 [dBμV]	KN 32

② 비대칭모드 전도성 방해 시험

○ 측정 설비

[표 2-67] 시험 장비목록 및 관련정보

사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제조 번호	차 기 교 정 일
TEST RECEIVER	ESR7	ROHDE & SCHWARZ	102112	2021-02-21
ISN	NTFM 8158	Schwarzbeck	8158-0030	2021-02-25

○ 환경 조건

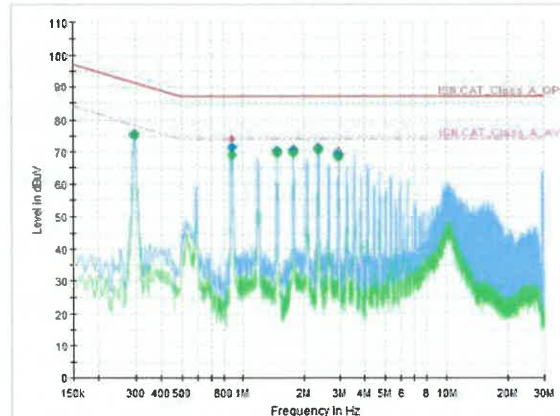
[표 2-68] 시험 환경 조건

기 준 치	측 정 치
온도 (25.0 ± 10) °C	18.5 °C
습도 (45.0 ± 15) % R.H.	43.0 % R.H.
대기압 (96.0 ± 10) kPa	101.0 kPa

○ 시험 결과



(a) 비대칭모드 전도성 방해 시험 사진



(b) 비대칭모드 전도성 방해 시험 결과 그래프

[그림 2-110] 비대칭모드 전도성 방해 시험 및 결과

[표 2-69] 비대칭모드 전도성 방해 시험 결과

시험항목	제품 구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격
비대칭모드 전도성 방해 시험	A급 (업무용)	비대칭 모드	74 ~ 97 [dBμV]	74 ~ 91.30 [dBμV]	KN 32

③ 방사성 방해시험 (1 GHz 이하 대역)

○ 측정 설비

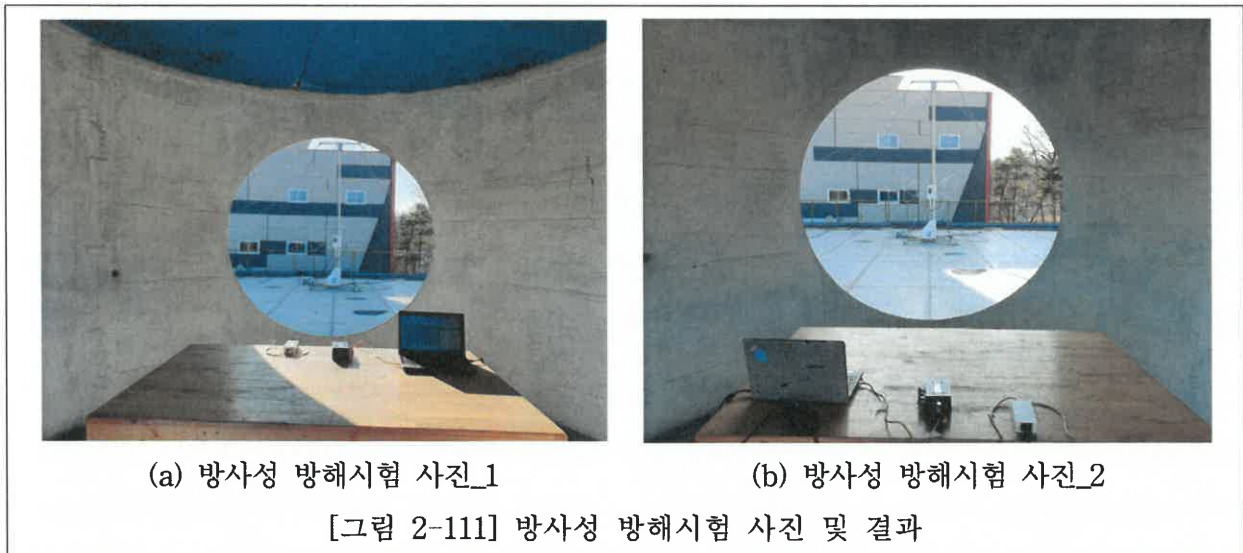
[표 2-70] 시험 장비목록 및 관련정보

사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제조 번호	차 기 교 정 일
TEST RECEIVER	ESR7	ROHDE & SCHWARZ	102112	2021-02-21
AMPLIFIER	310N	SONOMA	251847	2021-02-21
Bi-log Antenna	HLP-2006C	TDK RF Solutions Inc.	131010	2022.06.10

○ 시험 방법

- 전자파 적합성시험방법 [국립전파연구원공고 제2019-132호] 기준

○ 시험 결과



[표 2-71] 방사성 방해시험 시험 결과

시험항목	제품 구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격
방사성 방해시험	A급 (업무용)	1 GHz 이하	40 이내	28.78	KN 32

④ 정전기 방전 내성시험

○ 측정 설비

[표 2-72] 시험 장비목록 및 관련정보

사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제 조 번 호	차 기 교 정 일
ESD SIMULATOR	EDS 30V	3ctest	ES0121602	2021-05-29

○ 환경 조건

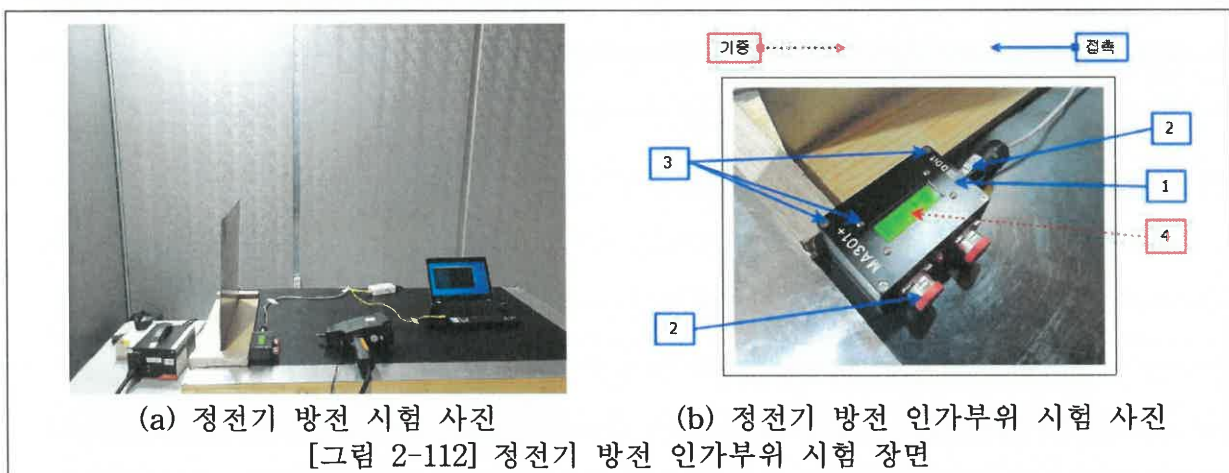
[표 2-73] 시험 환경 조건

기 준 치	측 정 치
온도 (25.0 ± 10) °C	18.5 °C
습도 (45.0 ± 15) % R.H.	45.0 % R.H.
대기압 (96.0 ± 10) kPa	101.0 kPa

○ 시험 조건

- 방전종류 : 직접방전 - 기중방전/접촉방전, 간접방전 - 수평결합면/수직결합면, 1회/1초

○ 시험 결과



[표 2-74] 정전기 방전시험 시험 결과

시험항목	제품 구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격
정전기 방전 시험	A급 (업무용)	간접 / 직접	B	A	KN 61000-4-2

⑤ 방사성 RF 전자기장 내성시험

○ 측정 설비

[표 2-75] 시험 장비목록 및 관련정보

사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제 조 번 호	차기교정일
Signal Generator	SMB 100A	ROHDE & SCHWARZ	101608	2021-10-23
HIGH POWER AMPLIFIER	ITA0040-400	Infinitech	ITA0040-400-1	-
HIGH POWER AMPLIFIER	ITA0300-800	Infinitech	ITA0300-800-1	-
HIGH POWER AMPLIFIER	ITA0750-500	Infinitech	ITA0750-500-1	-
HIGH POWER AMPLIFIER	ITA2000-200	Infinitech	ITA2000-200-1	-
HIGH POWER AMPLIFIER	ITA4500-50	Infinitech	ITA4500-50-1	-
SYSTEM POWER SUPPLY	AC110V-230VAC	Infinitech	AC110V-230VAC1	-
Power Meter	E4419B	Agilent	GB41293611	2021-04-28
Power Sensor	E9300A	Agilent	MY41499615	2021-04-22
Power Sensor	E9300A	Agilent	MY41497678	2021-04-22
Stacked Periodic Antenna	STLP9128E	Schwarzbeck	VHA.9103B	-
Horn Antenna	BBHA 9120 D	Schwarzbeck	1282	-

○ 환경 조건

[표 2-76] 시험 환경 조건

기 준 치	측 정 치
온도 (25.0 ± 10) °C	20.8 °C
습도 (45.0 ± 15) % R.H.	45.0 % R.H.
대기압 (96.0 ± 10) kPa	100.9 kPa

○ 시험 조건

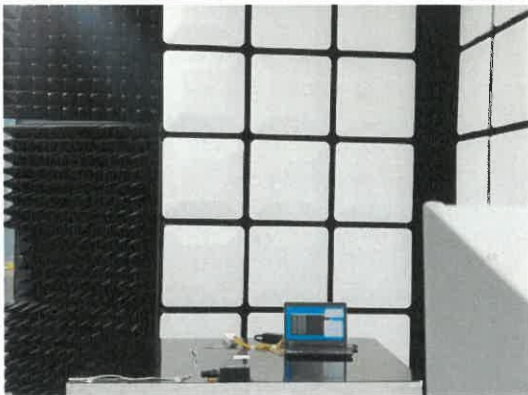
- 안테나위치 : 수평 및 수직
- 안테나거리 : 3 m

- 전계강도 : 3 V/m(무변조, rms)
- 주파수범위 : 80 MHz ~ 1 GHz, 1.8 GHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz, 5 GHz (± 1 %)
- 변조형태 : AM(80 %변조)
- 변조주파수 : 1 kHz(Sinewave)
- 주파수스텝 : 1 % 스텝

○ 시험 방법

: 전자파 적합성시험방법 [국립전파연구원공고 제2019-132호] 기준

○ 시험 결과



(a) 방사성 RF 전자기장 내성시험 사진_1

(b) 방사성 RF 전자기장 내성시험 사진_2

인가부위	성능평가기준	성능평가결과		비고
		수평	수직	
전 면	A	A	A	
후 면	A	A	A	
우 측 면	A	A	A	
좌 측 면	A	A	A	

(c) 방사성 RF 전자기장 내성시험 결과 표

[그림 2-113] 방사성 RF 전자기장 내성시험 시험 사진 및 결과표

[표 2-77] 방사성 RF 전자기장 내성시험 결과

시험항목	제품구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격
방사성 RF 전자기장 내성 시험	A급 (업무용)	함체포트	A	A	KN 61000-4-3

⑥ 전기적 빠른 과도현상/버스트 내성시험

○ 측정 설비

[표 2-78] 시험 장비목록 및 관련정보

사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제 조 번 호	차 기 교 정 일
Compact Immunity Test System	CCS600	3ctest	ES0801921	2021-05-22
Coupling/Decoupling Network	SEPN 4532T	3ctest	ES3741901	2021-05-22
Capacitive CouplingClamp	CCC 100	3ctest	CCC19051481	2021-05-22

○ 시험 조건

- 버스트 지속시간 : 15 ms $\pm$ 20 %
- 버스트 주기 : 300 ms $\pm$ 20 %
- 인가 시간 : 1 분 이상

○ 시험 사진

(a) 전기적 빠른 과도현상 및
버스트 내성시험 사진_1

적용부분	성능평가기준	성능평가결과		비고
		(+) 버스트	(-) 버스트	
L	B	A	A	
N	B	A	A	
L - N	B	A	A	
PE	B	A	A	
L - PE	B	A	A	
N - PE	B	A	A	
L - N - PE	B	A	A	

(b) 전기적 빠른 과도현상 및
버스트 내성시험 결과표

[그림 2-114] 전기적 빠른 과도현상/버스트 내성 시험 사진 및 결과

[표 2-79] 전기적 빠른 과도현상/버스트내성시험 결과

시험항목	제품 구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격
전기적 빠른 과도현상/버스트 내성시험	A급 (업무용)	교류포트	B	A	KN 61000-4-4
		데이터포트	B	A	

⑦ 서지 내성시험

○ 측정 설비

[표 2-80] 시험 장비목록 및 관련정보

사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제 조 번 호	차 기 교 정 일
Compact Immunity Test System	CCS600	3ctest	ES0801921	2021-05-22
Coupling/Decoupling Network	SEPN 4532T	3ctest	ES3741901	2021-05-22

○ 환경 조건

[표 2-81] 시험 환경 조건

기 준 치	측 정 치
온도 (25.0 ± 10) °C	21.1 °C
습도 (45.0 ± 15) % R.H.	48.0 % R.H.
대기압 (96.0 ± 10) kPa	101.0 kPa

○ 시험 결과



[그림 2-115] 서지 내성시험

[표 2-82] 서지 내성시험 결과

시험항목	제품 구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격
서지 내성시험	A급 (업무용)	교류 전원포트	B	A	KN 61000-4-5

⑧ 전도성 RF 전자기장 내성시험

○ 측정 설비

[표 2-83] 시험 장비목록 및 관련정보

사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제조 번호	차 기 교 정 일
Continuous Wave Simulator	CWS 500N1	EM Test	V1143110967	2021-05-21
CDN	CDN M2/M3	EM TEST	P1509150897	2021-05-20
EM Clamp	KEMZ801	Schaffner	14302	2021-05-21

○ 환경 조건

[표 2-84] 시험 환경 조건

기 준 치	측 정 치
온도 (25.0 ± 10) °C	21.1 °C
습도 (45.0 ± 15) % R.H.	48.0 % R.H.
대기압 (96.0 ± 10) kPa	101.0 kPa

○ 시험 결과



[그림 2-116] 전도성 RF 전자기장 내성시험

[표 2-85] 전도성 RF 전자기장 내성시험 결과

시험항목	제품 구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격	
전도성 RF 전자기장 내성시험	A급 (업무용)	교류 및 직류 전원포트	A	A	KN 32	KN 61000-4-6
		아날로그/디지털 데이터 포트	A	A		KN 61000-4-8

⑨ 전압강하 및 순간정전 내성시험

○ 측정 설비

[표 2-86] 시험 장비목록 및 관련정보

사 용 장 비	모 델 명	제 조 회 사	제 조 번 호	차 기 교 정 일
PFS single Phase Power Fail Simulator	PFS4530T1	3ctest	ES3481901	2021-05-22
DTV MODULATOR	TVB599A	TELEVIEW	23.53.20.15.1 0.00.00.06	2021-05-21

○ 환경 조건

[표 2-87] 시험 환경 조건

기 준 치	측 정 치
온도 (25.0 ± 10) °C	20.6 °C
습도 (45.0 ± 15) % R.H.	46.0 % R.H.
대기압 (96.0 ± 10) kPa	101.0 kPa

○ 시험 결과



[그림 2-117] 전압강하 및 순간정전 내성시험

[표 2-88] 전압강하 및 순간정전 내성 시험 결과

시험항목	제품 구분	시험구분 및 조건	허용기준	결과	시험규격
전압강하 및 순간정전 내성시험	A급 (업무용)	감쇄량 90 %, 주기 0.5	B	A	KN 61000-4-11
		감쇄량 30 %, 주기 30	C	A	
		감쇄량 90 %, 주기 300	C	B	

(4) P파 조기경보 알고리즘 성능 검증

본 연구에서 개발된 “MEMS 지진 조기경보 가속도계”에는 신속 정확한 지진 조기경보를 위해 “P파 지진조기경보 알고리즘”이 탑재되어 있다. “P파 지진조기경보 알고리즘”은 대부분의 지진 조기경보 시스템에서 사용되는 P파 초동검출기법인 신호대 잡음비(SNR) 기반의 ‘STA/LTA 알고리즘’과 P파 초동검출 시점을 기준으로 3초간의 최대지반가속도(PGA) 값을 변위로 환산하여 지진 경보신호 결정 파라미터로 사용하는 기존 알고리즘을 개선하여 1초 구간의 최대지반가속도를 변위 값으로 환산한 결과를 지진 경보신호 결정 파라미터로 사용하는 기존 알고리즘에 비해 최대 2초를 앞당긴 지진 경보신호 결정 기법인 ‘지진 경보신호 결정 알고리즘(TPd)’으로 구성되어 있다. 본 개발품에 적용된 알고리즘에 대한 검증 및 유효성 판단을 위해 한국건설생활환경시험연구원(KCL)에 성능 평가를 요청하였고, 기상청의 ‘국가지진종합정보시스템(NECIS)’에서 제공하는 실 데이터를 이용한 “P파 지진조기경보 알고리즘”의 수행 결과 확인을 통해 제안한 알고리즘에 대한 신뢰성을 입증 받았다. 본 검증을 위한 평가 항목 및 평가 방법에 대한 시험 결과는 아래 표에 나타내었다.

[표 2-89] 시험 내용 및 시험 결과

평 가 항 목	평 가 방 법	시 험 결 과
P파 초동검출 알고리즘 (P파 초동시간 비교 성능 달성 비율)	○ 지진신호파형(2016년 경주 지진, 2017년 포항 지진, 2018년 포항 지진) 자료에 대해 P파 검출 알고리즘 수행 ○ 관측소별 P파 초동검출 최대 시간차 산출 ○ 최대 시간차가 1초 내인 관측소 비율 평가	적합
지진 경보신호 결정 알고리즘 (단위 진폭 당 오차범위)	○ 총 501개의 지진신호(2016년 경주 지진, 2017년 포항 지진, 2018년 포항 지진) 자료에 대해 지진 경보신호 결정 알고리즘 수행 ○ Max PGA, Max 변위 값 확인 및 변위에 대한 최대, 최소 기울기 산출하여 단위진폭(gal)당 변위(cm)의 오차범위 산출 ○ 수행결과 목표치 : 1gal 당 0.01cm 이내	적합

(가) 시험 개요

○ 개요

: 지진센서(MA301+)의 P파 조기경보 알고리즘 검증 평가

○ 시험 목적

: 실증자료를 이용한 P파 지진조기경보 알고리즘의 수행 결과 확인을 통해 시험대상 알고리즘에 대한 검증 및 유효성 판단의 기준자료로 활용

○ 시험 평가 기관

: 한국건설생활환경시험연구원(KCL)

○ 시험 범위

- P파 초동검출 알고리즘(STA/LTA) 검증

: P파 초동검출 시간 비교 및 성능달성 비율 산출

- 지진 정보신호 결정 알고리즘(TPd) 검증

: 단위 진폭 PGA(gal)당 변위(cm)로 환산된 결과의 오차범위 산출

○ 시험 시료 구성 (실증 자료)

실증자료는 기상청의 ‘국가지진종합정보시스템(NECIS)’ 에서 제공하는 자료를 가공하지 않고 사용한다. 시험 알고리즘의 유용성 검증을 입증하기 위해서는 많은 샘플자료를 이용하여 검증할 필요가 있다. 지진으로 인해 발생한 지진파는 거리가 멀어질수록 고주파수 에너지가 감쇠되기 때문에 지진 규모가 일정이상 크지 않다면 거리가 멀리 떨어진 지진관측소에서 감지되지 않는다. 따라서, 특정 지진을 통해 많은 샘플 자료를 취득하기 위해서는 국내에서 설치된 많은 지진관측소에서 관측이 될 수 있을 정도의 규모가 큰 지진을 선별하고 해당 지진 신호를 감지한 모든 지진관측소에서 기록된 자료를 대상으로 한다.

- 알고리즘의 원활한 검증을 위하여 대상 관측소 중 50 ~ 60개소 내외의 임의의 관측소로 선정하여 시험적용 입력 자료로 사용.

: 알고리즘 검증 시 일괄처리 가능한 입력자료 사이즈는(60개 이내의 신호파형)로 제한.

- 한 관측소는 Z, N, E 의 3축의 지진 신호파형으로 구성.

- 시험 적용 입력자료 수는 총 501개의 지진 신호파형. [표2-83. 참조]

[표 2-90] 시험시료(실증자료) 구성

지진발생지역	발생일시	규모	대상 관측소 (개소)	시험적용 관측소 (개소)	시험적용 입력 자료 수 (Z, N, E 3축의 신호 파형)
경주	2016.09.12	5.8	167	53	159
포항	2017.11.15	5.4	155	54	162
포항	2018.02.11	4.6	187	60	180
합 계					501

(나) 시험 방법 및 결과

- 지진 신호파형을 임의로 생성하기에는 한계가 있으므로 과거 실제 지진발생 시 기록된 실증자료를 이용하여 알고리즘 수행 결과를 확인.
- 지진센서(MA301+)의 P파 조기경보 알고리즘이 적용된 S/W를 이용하여 평가.
- 검증용 S/W는 가칭 'P파 조기경보 알고리즘 검증용 Analysis Tool' 이라 명함.

1) P파 초동검출 알고리즘

○ 알고리즘 설명

STA/LTA 방법의 기본 원리는 연속적인 지진파형의 진폭에 대하여 각각 단기 평균(short-term average)과 장기 평균(long-term average) 이동 시간 창을 이용하여 지진 신호를 처리하는 것이다. STA는 신호의 순간 진폭을 측정하여 지진 발생을 감시하기 위하여 사용된다. LTA는 연속적인 지진파형의 잡음수준을 다루기 위하여 사용된다. STA/LTA는 다음과 같은 식을 이용한다.

$$STA = \frac{1}{t_{STA}} \int_t^{t+t_{STA}} |x(t)| dt$$

$$LTA = \frac{1}{t_{LTA}} \int_t^{t+t_{LTA}} |x(t)| dt$$

위 식에서 t_{STA} 와 t_{LTA} 는 각각 STA와 LTA의 시간창 길이를 나타내며, $x(t)$ 는 임의의 시간 t 에서의 지진파형을 나타낸다. 현장조기경보 신호 도출을 위한 알고리즘은 다음의 자료 처리 절차는 다음과 같다.

- i) 수직 및 수평 가속도 기록 이용
- ii) mean과 trend 제거
- iii) Allen(1982)이 제안한 특성함수(CF)를 적용하여 특성함수 생성

$$CF_i = S_i^2 + C_i(S_i - S_{i-1})^2 \quad (1)$$

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^i |S_j|}{\sum_{j=1}^i |S_j - S_{i-1}|} \quad (2)$$

C_i : CF_i 의 균형을 위한 가중치 값

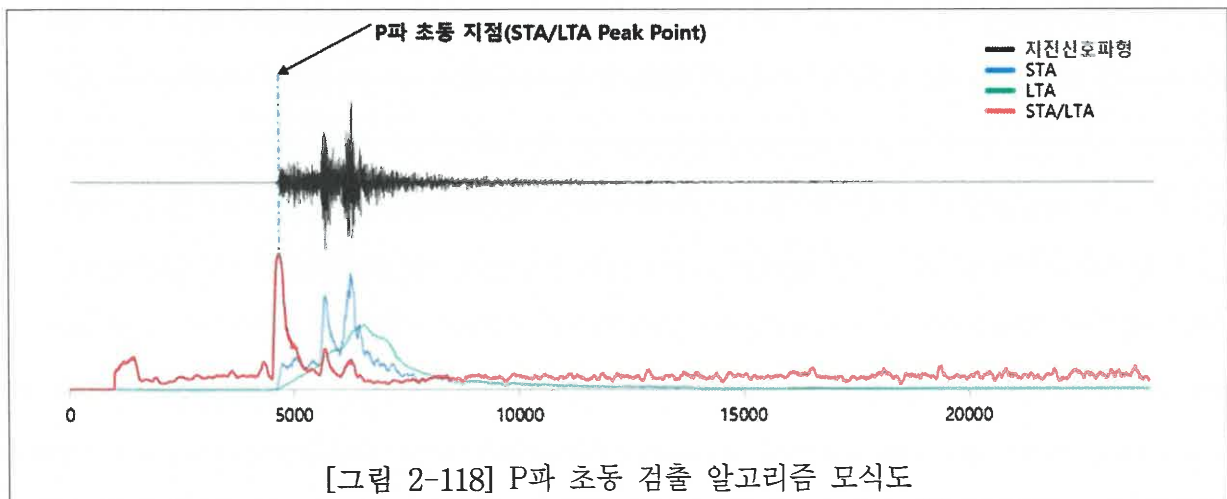
- iv) 생성된 특성함수를 이용하여 단기평균과 장기평균의 비를 계산

$$\frac{STA_i}{LTA_i} = \frac{\frac{1}{N_{STA}} \sum_{j=i}^{i+N_{STA}-1} CF_j}{\frac{1}{N_{LTA}} \sum_{j=i-N_{LTA}}^{i-1} CF_j} \quad (3)$$

N_{STA}, N_{LTA} : 시간 창 크기

- v) STA/LTA 비 값이 한계치(Threshold)를 초과하면서 최대 피크지점을 P파 초동지점으로 검출

아래 그림은 P파 초동검출 알고리즘에 대한 예시로써 2017년 11월 15일 규모 5.4의 포항지진 발생으로 인한 송현관측소(ADOA) 지진가속도기록계 Z축 성분에서 관측된 신호파형을 통해 P파 검출 알고리즘에 대한 신호파형 그래프를 나타낸 것이다. STA/LTA Ratio의 최대 피크지점이 해당 지진 신호파형의 P파 초동지점이 된다.



○ 시험 방법

- 하나의 관측소를 대상으로 Z, N, E 축별로 P파 초동검출 알고리즘을 수행 후 각 축별 P파 초동시간 획득
- 획득된 Z, N, E 축에 대하여 각 P파 초동검출 시간을 비교
- P파 초동검출 시간차가 1초 이내인 경우 성능만족
- P파 초동검출 수행결과에 성능달성 비율 확인을 통해 알고리즘 검증

○ 시험 결과

시험항목인 P파 초동검출 알고리즘에 대해서는 P파 초동시간 비교성능 달성비율이 실증대상지진 3종에 대해 인증기준 대비 100%의 평가결과를 보임으로서 “P파 조기경보 알고리즘”이 신뢰할 만 수준임을 입증하였다.

[표 2-91] P파 초동검출 알고리즘 초동시간 비교성능 결과

평 가 항 목		평 가 방 법	시 험 결 과	평 가 결 과
P파 초동검출 알고리즘 (P파 초동시간 비교성능 달성비율)	2016년 경주지진	· (기상청)2016년 경주지진자료 활용 · 관측소 53개소, 총 159개의 지진신호파형에 대해 P파 검출 알고리즘 수행 · 관측소별 P파 초동검출 최대 시간차 산출 · 최대 시간차가 1초 내인 관측소 비율 평가	적합	100%
	2017년 포항지진	· (기상청)2017년 포항지진자료 활용 · 관측소 54개소, 총 162개의 지진신호파형에 대해 P파 검출 알고리즘 수행 · 관측소별 P파 초동검출 최대 시간차 산출 · 최대 시간차가 1초 내인 관측소 비율 평가	적합	100%
	2018년 포항지진	· (기상청)2018년 포항지진자료 활용 · 관측소 60개소, 총 180개의 지진신호파형에 대해 P파 검출 알고리즘 수행 · 관측소별 P파 초동검출 최대 시간차 산출 · 최대 시간차가 1초 내인 관측소 비율 평가	적합	100%

차. 위기단계에 따른 대응방안

(1) 개요

(가) 배경 및 목적

현재 국내 지진재난 위기대응 실무매뉴얼은 「재난 및 안전관리기본법」을 기반으로 해당 위기 관리 표준매뉴얼에서 규정한 책임과 역할을 근거로 작성되고 있으며, 지진 발생에 따른 위기 상황 발생 시 정부부처, 관련부서 및 산하기관에게 적용할 세부 대응절차 및 제반조치사항 등을 규정하고 있다.

[표 2-92] 위기대응 실무매뉴얼의 구성 체계(재난위기관리 표준매뉴얼)

구성	주요내용
제 1장 개요	1. 목적, 2. 법적근거, 3. 적용범위, 4. 용어 정의, 5. 위기형태, 7. 위기대응 지침 및 판단/고려 요소, 8. 위기관리 업무수행 체계
제2장 위기경보 수준별 조치사항	1. 관심, 2. 주의, 3. 경계, 4. 심각
제3장 위기대응 조치 및 절차	1. 위기대응 조치, 2. 위기대응 절차
제 4장 위기관리 활동	1. 예방, 2.대비, 3. 대응, 4. 복구
부록	1. 서식, 2. 참고자료, 3. 위기관리 커뮤니케이션 매뉴얼, 4. 관련기관 연락처 등

위기대응 실무매뉴얼은 크게 5개의 장과 1개의 부록으로 구성되어 있으며, 구성 체계는 상기 표에 나타내었다. 제1장에서는 위기관리 실무매뉴얼의 개요를 명시하고 있으며, 제2장에서는 위기경보 수준(관심-주의-경계-심각)별 조치내용, 재난유형별 관련부서의 임무·역할, 유관기관의 조치사항 등을 명시 하고 있다. 제3장에서는 재난유형별 발생 가능한 상황(시나리오)을 기반으로 한 세부조치내용, 절차, 관계기관 및 부서별 임무·역할 등을 명시하고 있다. 제4장에서는 해당재난유형별로 위기관리 단계별 활동내용을 명시하고 있다. 마지막으로 부록에서는 필요한 보고서의 각종 양식과 작성요령을 제공하고 있으며, 해당 재난유형의 정보를 수록한 참고자료, 위기관리 커뮤니케이션 매뉴얼 및 관리기관·부서의 연락처 등과 관련한 정보를 수록하고 있다. 본 연구에서는 지진 발생 시 기 개발된 P파 지진사전경보 시스템의 단계별 위기경보에 따른 지진피해가 예상되는 경우 설치대상지점의 해당기관 실무자 및 소속기관의 역할 및 조치사항 등을 규정하여 체계적이고 신속한 대응이 이루어지게 함으로써 피해를 최소화하는데 그 목적을 두고 있다.

(나) 지진재난 피해 양상

지진이 발생하면 지반의 진동으로 인한 직접적인 피해와 직접피해로 인한 연계피해가 발생한다. 직접피해란 지반이 흔들려 발생하는 직접적인 피해로 지반 변형, 붕괴, 산사태, 건축물 등 구조물의 피해를 의미하며, 연계피해의 경우 직접피해로 인하여 발생하는 화재, 가스 누출, 전력 및 수도 단절 등의 피해를 들 수 있다.

[표 2-93] 지진발생에 따른 피해 양상

평 가 항 목		직접피해	연계피해
피해 발생	지반피해	지반 변형·붕괴·지반침하	구조물의 2차 붕괴
		산사태, 매물	교통 두절
	구조물 피해	건축물 손상 · 파손 · 붕괴	이재민의 발생, 다중밀집시설 대형사고 발생 등
		도로, 철도 시설 손상 · 파손	교통 두절, 고속철도 대형사고,
		공항 시설 손상 · 파손	항공 운항 및 수송 마비
		항만시설 손상 · 파손	해상운항 및 항만 물류수송 마비
		전기, 가스, 수도 등 라이프라인 및 공동구 손상 · 파손	전력 · 가스 · 수도 공급 중단, 통신마비, 금융전산 마비
		위험물 관리시설 손상 · 파손	유해화학물질 유출, 오염, 위험물 중독 등
		댐 등 주요 시설물 손상 및 붕괴	댐 하류부 침수 · 범람 등
		가스관, 유류탱크, 전기설비 등 손상 · 파손	시설물 화재 발생, 지하철 대형화재 등

(2) 지진재난 위기관리 적용범위

본 연구에서 제시하는 지진재난 위기관리의 적용범위는 P파 지진사전경보 시스템이 설치되어 운영되는 지자체 실무자 및 소속기관에서 P파 지진사전경보 시스템의 경보에 따른 지진재난 위기관리의 대응방안에 해당된다. 이에 따라 아래에는 본 연구에서 해당되는 위기관리의 적용범위를 나타내었다.

- 지진 위기관리 업무와 관련되는 해당 실무자 및 해당기관의 활동에 적용된다.
- P파 지진사전경보 시스템의 경보발령 단계에 따른 위기관리 대응활동에 적용된다.
- 지진으로 인한 피해 저감을 위해 해당기관에서의 예방대책을 수립하고, 지진 발생 시 피해 최소화를 위한 응급대책 및 긴급 지원 활동이 필요할 때 적용된다.
- 지진으로 인한 건축물 붕괴와 같은 직접적인 피해와 화재, 가스 누출등과 같은 연계 피해가 발생한 복합재난 상황일 경우 적용된다.

(3) 지진재난 위기관리 기본방침

지진 사전경보를 위해 본 연구에서는 행정안전부에서 발표한 지진 진도표를 기준으로 지진 발생에 따른 경보단계는 PEEW가 발생의 경우 관심단계, 최대 진도 4 미만(경보 1단계 발령)은 주의단계, 최대 진도 5이상(경보 2단계)은 경계단계, 최대 진도 6이상(경보 3단계)의 경우 심각단계로 설정하였다. 이에 따라 지진 재난 위기관리의 대응의 경우 지진 발생에 따른 P와 지진사전경보 시스템의 경보발령 위기대응 단계별 절차를 우선 시행하도록 하며, 해당기관의 자체상황판단 회의를 개최하여 위기대응 단계를 조정하도록 한다.

※ PEEW는 지진 발생 시 P과는 감지하였으나 경보수준이 주의단계일 경우 해당되는 이벤트이다.

(가) 대응방침

[표 2-94] 지진발생에 따른 대응방침

구분		대응방침
대응단계	초동조치	· 재난상황 파악 및 전파, 재난상황 신속보고 · 해당기관 안전상황실 근무자 비상소집 및 신속한 응소 · 지자체, 유관기관과 비상연락체계 구축
	대응조치	· 단계별 위기대응기구 구성·운영 · 현지조사단 구성·운영 : 주요 피해 조사 및 상황지원 · 2차 피해 방지를 위한 응급조치 실시요청 (전기·가스시설 차단, 도난방지대책 등)

(나) 위기경보 단계별 수준

지진재난 위기경보의 단계별 수준은 해당기관의 상황판단회의를 통한 자체위기평가를 실시하여 관심/주의/경계/심각으로 구분될 수 있다.

- ① 관심(Blue) : 해당지점에서의 최대진도 5 미만의 지진 징후가 있으나 그 활동수준이 낮아서 가까운 기간 내에 국가 위기로 발전할 가능성이 비교적 적은 상태
- ② 주의(Yellow) : 해당지점에서의 최대진도 5 미만의 지진 징후 활동이 비교적 활발하고 국가위기로 발전할 수 있는 일정 수준의 경향성이 나타나는 상태
- ③ 경계(Orange) : 해당지점에서의 최대진도 5 이상의 지진 징후 활동이 매우 활발하고 전개속도, 경향성 등이 현저하여 국가위기로 발전할 가능성이 농후한 상태
- ④ 심각(Red) : 해당지점에서의 최대진도 6 이상의 지진 징후 활동이 매우 활발하고 전개속도, 경향성 등이 심각하여 국가위기 발생이 확실시 되는 상태

[표 2-95] 지진발생에 따른 단계별 경보수준 및 대응방침

구분	판단기준	주요활동	대응활동
관심(Blue)	· 지진 발생 시 PEEW 이벤트가 감지되어, 상황 관리 및 감시활동이 필요한 상황 · ‘경계’ 및 ‘심각’ 단계 해제 이후, 낮은 위험 수준의 여진이 지속적으로 발생 하는 상황	상황판단회의 진행, 연락체계 점검	대비단계
주의(Yellow)	· 최대진도 4 미만의 지진이 특정 지역에서 짧은 기간 동안 3회 이상 발생하여, 상황관리 및 관련기관과의 협조가 필요한 경우 · ‘경계’ 및 ‘심각’ 단계 해제 이후, 높은 위험 수준의 여진이 지속적으로 발생 하는 상황	관련기관 간 협조체계 가동	대비단계
경계(Orange)	· 최대진도 5 이상의 지진이 발생한 경우 · 지진으로 인한 인명과 재산 피해가 발생하거나 예상되어 중앙정부 차원의 대처가 필요한 상황 ※ 추가 지진(본진·여진) 발생, 피해 확대에 대비하기 위하여 “경계” 경보 발령	조치계획 점검 및 인적, 물적 자원 동원 준비	2차 피해 방지를 위한 응급조치 실시요청
심각(Red)	· 최대진도 6 이상의 지진이 발생한 경우 · 지진으로 인한 인명과 재산 피해가 발생하고, 피해 확대가 예상되어 범정부적 대처가 필요한 상황 ※ 추가 지진(본진·여진) 발생, 피해 확대에 대비하기 위하여 “심각” 경보 발령	즉각 대응태세 유지	지원계획 수립 및 지원, 안점점검 실시

(다) 위기경보 절차

지진 발생에 따른 위기경보 절차의 경우 P파 지진사전경보 시스템을 운영하는 지자체 및 해당 소속기관은 아래에 작성된 절차 순으로 이루어지도록 하고 이에 맞는 대응조치를 취하도록 해야 한다.

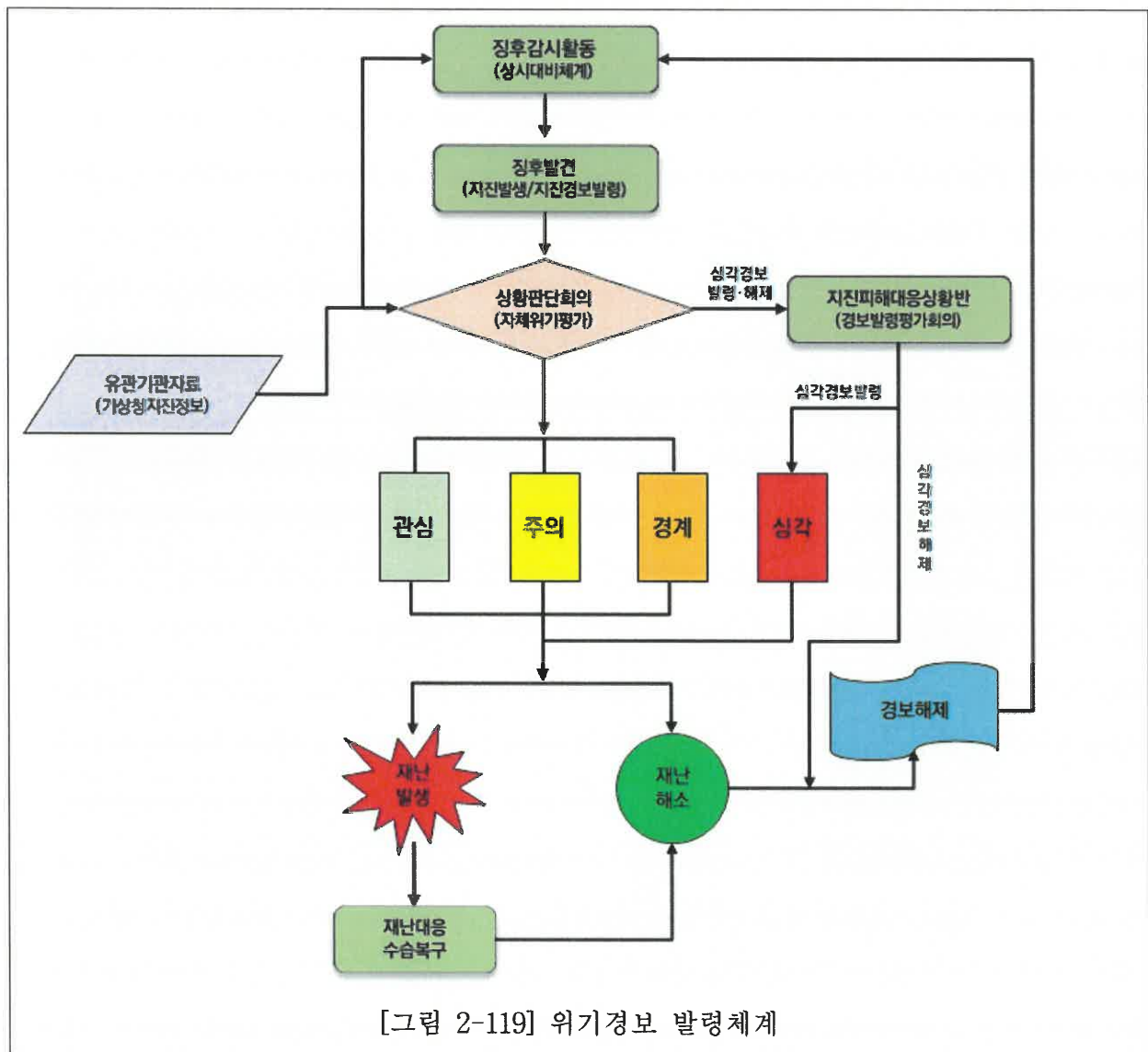
① P파 지진사전경보 시스템에 적용된 단계별 경보수준에 반영된 예측 최대진도 결과 및 기상청의 지진통보(지진정보, 지진속보, 지진조기경보)등을 바탕으로 인명 및 재산피해가 예상되는 경우, 우선적으로 상황판단회의(위기평가회의)를 개최하도록 한다.

② 위기 평가는 상황의 심각성, 시급성, 확대 가능성, 전개 속도, 지속 기간, 파급 효과 등을

고려하여 평가하여 위기경보를 발령하도록 한다.

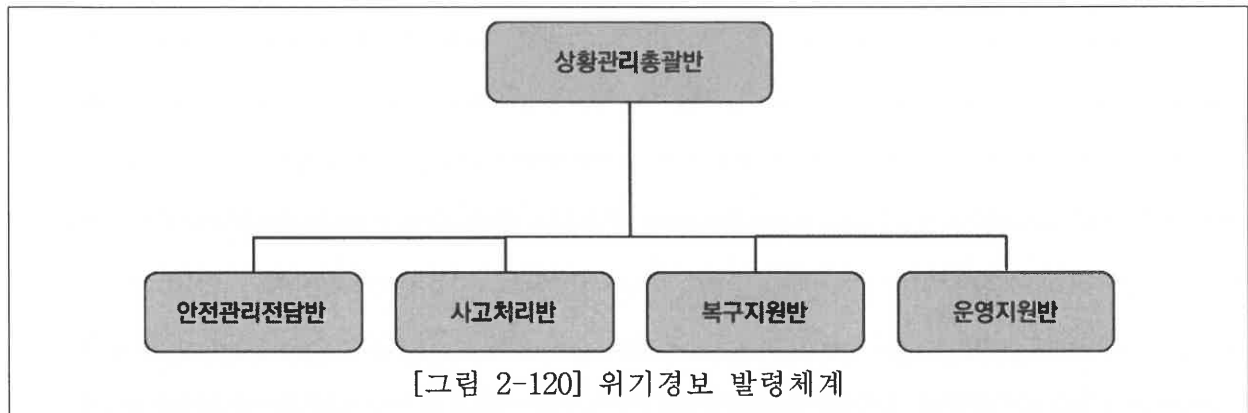
- ③ 신속한 상황보고·전파를 위하여 안전재난 담당자 또는 담당 책임자가 동시보고를 실시하도록 한다.
- ④ 상황판단회의 시 피해규모 등에 따라 위기대응 단계를 조정하도록 하며 상황관리전담반 및 사고수습전담반을 구성하도록 한다.
- ⑤ 유관기관과 비상연락체계를 구축하여 해당지점에 대한 피해상황 접수를 하도록 한다.

(라) 위기경보 절차



(4) 대응조직 구성 및 운영

(가) 구성



(나) 운영방안

① 지진발생 정보의 접수

- P파 지진사전경보 시스템의 경보단계 및 최대진도 확인
- 기상청 및 행정안전부 재난특보 SMS, 웹사이트, FAX 등의 관련정보 주기적 확인

② 경보발령 및 전파

- 경보기, 사이렌, 구내방송 시스템 등을 이용하여 지진발생 상황 및 행동요령 전파

③ 자체상황판단회의(자체위기평가) 실시

- 지진발생에 따른 피해상황 집계 및 초기 상황판단회의 준비 및 보고
- 피해현황에 따른 대응 수준 결정 및 기타 조치사항 실시

④ 지자체 및 유관기관 비상연락체계 구축 및 전파

- 재난상황 및 사고처리에 필요한 사항 파악·보고(지역 내 시·군·구 재난안전대책본부)

⑤ 피해현황 집계 및 수습/복구활동(연계피해 방지대책 확인)

- 피해상황 현황·집계 및 대처상황보고서 작성
- 폭발, 가스누출 및 화재 위험이 있는 시설의 연계피해 방지를 위한 점검 및 응급조치

⑥ 긴급지원 및 사후관리(피해 복구활동)

- 피해 복구계획 수립 및 시행(시설물 피해현장 조사 분석)
- 인적, 물적 자원 동원 요청 및 사후관리 지원

(5) 위기경보 수준별 조치사항 및 부서별 역할

(가) 관심(대비 단계)

지진 발생 시 P파 지진사전경보 시스템에서 계측된 최대진도 4 미만의 계측 값이 나타나 경보는 이루어지 않은 단계로 PEEW 이벤트가 발생하여, 상황관리 및 감시활동이 필요한 상황일 경우 이를 “관심” 단계로 정의하도록 한다. 또한 “경계” 및 “심각” 단계 해제 이후, 낮은 위험 수준의 여진이 지속적으로 발생하는 상황도 동일한 단계로 간주하도록 한다.

관심 단계의 조치사항으로는 지진 발생상황에 대한 정보를 수집하고 보고하도록 하며 유관기관과 비상연락체계를 구축해야 한다.

① 조치사항 및 내용

- 지진 발생상황 접수 및 관련 재난안전관련 부서 혹은 담당 책임자에게 보고
 - 지진 계측자료(P파 지진사전경보 시스템, 기상청 문자시스템)을 바탕으로 지진발생 상황 접수
 - 지진발생 일시, 장소, 계측 최대진도, 횡수, 기상청 지진통보자료 및 방송매체정보를 이용한 상황보고 실시
- 초기상황 확인 및 자체상황판단회의 개최
 - 지진 횡수 및 지진 발생 경향을 확인하여 자체상황판단 실시
 - 초기상황 확인 및 대응상황 점검
- 유관기관과 비상연락체계 구축
 - 비상근무자 확인, 비상연락망 및 연락체계 점검

② 부서별 임무와 역할

[표 2-96] 관심 단계에서의 부서별 대응방침

부서	임무와 역할
안전관리전담반	· 지진 관측자료(P파 지진사전경보 시스템, 기상청 문자시스템 및 방송매체자료 등)를 바탕으로 지진상황 모니터링 · (필요시) 자체점검 및 순찰활동
상황관리총괄반	· 자체상황판단회의 개최를 통해 초기대응 방안 마련

(나) 주의(대비 단계)

지진 발생 시 P과 지진사전경보 시스템에서 예측된 최대진도 4 미만의 예측 값이 나타나거나 경보 발령이 1단계가 발생하여, 상황관리 및 유관기관/관련기관과의 협조가 필요한 상황일 경우 이를 “주의” 단계로 정의하도록 한다. 또한 “경계” 및 “심각” 단계 해제 이후, 높은 위험 수준의 여진이 지속적으로 발생하는 상황도 동일한 단계로 간주하도록 한다.

① 조치사항 및 내용

○ 피해현황 파악 및 총괄 보고

- P과 지진사전경보 시스템, 기상청 문자시스템을 바탕으로 지진발생 상황 접수
- 지자체로부터 피해현황 접수 및 비상연락체계 구축
- P과 지진사전경보시스템 1단계 경보발령 또는 기상청 지진발표 규모 3.1 이상 지진 발생시 즉각적인 상황보고 실시

○ 유관기관과 비상연락체계 구축

- 비상근무자 확인, 비상연락망 및 연락체계 점검

○ 피해발생 시, 보호조치 실시(소속기관, 지자체)

- 응급복구 실시 및 도난 대비 긴급보호 조치

○ 지자체, 관리단체, 안전관리담당자 등 순찰 활동 강화

② 부서별 임무와 역할

[표 2-97] 주의 단계에서의 부서별 대응방침

부서	임무와 역할
안전관리전담반	· 관심단계 조치 계속 실행 · 안전상황실 운영 · 자체점검 및 순찰활동 강화 요청
사고처리반	· 현장별 재난 피해우려 점검 및 위험요인 제거
상황관리총괄반	· 자체상황판단회의 개최를 통해 초기대응 방안 마련 · 유관기관 협조체계 점검 및 비상연락망 확인 · 지진피해에 따른 긴급 정비 추진 및 긴급복구 시행

(다) 경계(대응 단계)

지진 발생 시 P과 지진사전경보 시스템에서 예측된 최대진도 5 이상의 예측 값이 나타나 경보가 2단계 이상 발령되었으며, 내륙에서 발생한 지진규모 4.0 ~ 4.9 이상으로 기상청 지진 경보가 발표되어 지진으로 인한 인명과 재산 피해가 발생하거나 예상되어 중앙정부 차원의 대처가 필요한 상황일 경우 “경계” 단계로 정의하도록 한다.

① 조치사항 및 내용

○ 피해현황 파악 및 총괄 보고

- P과 지진사전경보 시스템, 기상청 문자시스템을 바탕으로 지진발생 상황 접수
- 피해현황 파악 및 비상연락체계 구축(지자체, 유관기관)
- 지진발생 상황 및 피해현황 총괄보고
- 유관기관 전파

○ 해당소속 기관 안전상황실 운영

- 비상근무자 소집 및 관리(필요시 담당부서 근무자 지원 요청)
- 지자체, 유관기관 대처상황 및 비상대응 활동 모니터링
- 상황판단회의를 통한 위기평가 및 비상대응 상황 확인(지진피해대응상황반 운영)

○ 대처상황에 따른 대응조치

- 안전상황실(상황반) 대처상황 보고서 작성
- 피해 및 대응상황에 대한 조치계획 및 진행사항 확인
- 지진 피해지역 안전관리전담반 인력투입 및 피해조사

○ 응급복구인력 지원계획 수립 및 지원(필요시)

- 응급복구 지원대상, 투입인원, 인력지원 기간, 응급복구 지원 등 계획수립

○ 2차 피해방지 대책 수립 및 지원(필요시)

- 화재, 가스누출, 전력차단 등 연계피해로 인한 피해 방지대책 강구
- 파손부재 보호 및 관리 실시

○ 지진피해 건축물 및 구조물 안전점검 실시

- 지진발생에 따른 피해 건축물 및 구조물 안전점검 계획 수립
- 민간 전문가 등이 참여하는 합동 점검반 편성(필요시)

② 부서별 임무와 역할

[표 2-98] 경계 단계에서의 부서별 대응방침

부서	임무와 역할
안전관리전담반	· 안전상황실 운영 모니터링 · 피해정보의 수집 및 수습상황 분석자료 작성 · 재난 및 사고 현황, 진행상황 판단 및 분석 등 · 재난상황 예보·경보 발령 등 위험수준 판단 의사결정 지원
사고처리반	· 현장별 재난 피해우려 점검 및 위험요인 제거 · 재난 및 사고현장 응급조치 등 수습 지원 · 사상자 구호 및 구급상황 모니터링 및 지원 · 중앙수습지원단 현지파견 검토 및 요청 · 관계부처 및 유관기관 수습 지원 및 요청
상황관리총괄반	· 일일상황보고서 작성 및 보고 · 사고수습 추진상황 총괄·관리 · 재난수습상황 판단회의 주관 · 재난 수습상황 전파 및 재난방송 요청 · 보고주관 및 보고서 작성 · 그 밖에 사고수습본부 운영 총괄
복구지원반	· 인명피해 상황 파악 및 관리 · 피해상황 조사 및 피해금액 산정 총괄 · 피해지원 대책 및 복구계획안 마련 · 피해자 응급구호 및 구호물품 지원 · 부상자 치료 및 의료지원, 사망자 유족 지원대책 등
행정지원반	· 각종 여론정보 수집 및 방송 상황 모니터링 · 재난 수습에 필요한 행동요령 홍보 및 전파 · 재난 예·경보 발령사항 등의 전파 · 재난수습을 위한 보도 및 취재지원 · 수습본부 상황실 운영 장비 설치·지원 및 근무자 후생관리 · 상황실 출입통제 및 수습본부 상황실 운영지원 · 관계기관 파견근무요청 및 근무상황 관리 · 그 밖에 수습본부 운영에 필요한 지원

(다) 심각(대응 단계)

지진 발생 시 P파 지진사전경보 시스템에서 예측된 최대진도 6 이상의 예측 값이 나타나 경보가 3단계 이상 발령되었으며, 내륙에서 지진규모 5.0 이상으로 기상청 지진경보가 발표되어 지진으로 인한 인명과 재산 피해가 발생하고 피해확대가 예상되어 범정부적 대처가 필요한 상황일 경우 “심각” 단계로 정의하도록 한다.

① 조치사항 및 내용

○ 피해현황 파악 및 총괄 보고

- P파 지진사전경보 시스템, 기상청 문자시스템을 바탕으로 지진발생 상황 접수
- 피해현황 파악 및 비상연락체계 구축(지자체, 유관기관)
- 지진발생 상황 및 피해현황 총괄보고
- 유관기관 전파

○ 사고수습을 위한 비상소집

- 사고수습본부 구성 대책반 비상소집 및 상황판단회의 준비

○ 해당소속 기관 안전상황실 운영 및 유관기관 협력체계 구축

- 비상근무자 소집 및 관리(필요시 담당부서 근무자 지원 요청)
- 지자체, 유관기관 대처상황 및 비상대응 활동 모니터링
- 상황판단회의를 통한 위기평가 및 비상대응 상황 확인(지진피해대응상황반 운영)

○ 대처상황에 따른 대응조치

- 안전상황실(상황반) 대처상황 보고서 작성
- 피해 및 대응상황에 대한 조치계획 및 진행사항 확인
- 지진 피해지역 안전관리전담반 인력투입 및 피해조사

○ 응급복구인력 지원계획 수립 및 지원

- 응급복구 지원대상, 투입인원, 인력지원 기간, 응급복구 지원 등 계획수립
- 응급복구 실시 및 도난 대비 긴급보호 조치

○ 2차 피해방지 대책 수립 및 지원

- 화재, 가스누출, 전력차단 등 연계피해로 인한 피해 방지대책 강구
- 파손부재 보호 및 관리 실시

○ 지진피해 건축물 및 구조물 안전점검 실시

- 지진발생에 따른 피해 건축물 및 구조물 안전점검 계획 수립
- 민간 전문가 등이 참여하는 합동 점검반 편성

② 부서별 임무와 역할

[표 2-99] 심각 단계에서의 부서별 대응방침

부서	임무와 역할
안전관리전담반	· 안전상황실 운영 모니터링 · 피해정보의 수집 및 수습상황 분석자료 작성 · 재난 및 사고 현황, 진행상황 판단 및 분석 등 · 재난상황 예보·경보 발령 등 위험수준 판단 의사결정 지원
사고처리반	· 현장별 재난 피해우려 점검 및 위험요인 제거 · 재난 및 사고현장 응급조치 등 수습 지원 · 사상자 구호 및 구급상황 모니터링 및 지원 · 중앙수습지원단 현지파견 검토 및 요청 · 관계부처 및 유관기관 수습 지원 및 요청
상황관리총괄반	· 일일상황보고서 작성 및 보고 · 사고수습 추진상황 총괄·관리 · 재난수습상황 판단회의 주관 · 재난 수습상황 전파 및 재난방송 요청 · 보고주관 및 보고서 작성 · 그 밖에 사고수습본부 운영 총괄
복구지원반	· 인명피해 상황 파악 및 관리 · 피해상황 조사 및 피해금액 산정 총괄 · 피해지원 대책 및 복구계획안 마련 · 피해자 응급구호 및 구호물품 지원 · 부상자 치료 및 의료지원, 사망자 유족 지원대책 등
행정지원반	· 각종 여론정보 수집 및 방송 상황 모니터링 · 재난 수습에 필요한 행동요령 홍보 및 전파 · 재난 예·경보 발령사항 등의 전파 · 재난수습을 위한 보도 및 취재지원 · 수습본부 상황실 운영 장비 설치·지원 및 근무자 후생관리 · 상황실 출입통제 및 수습본부 상황실 운영지원 · 관계기관 파견근무요청 및 근무상황 관리 · 그 밖에 수습본부 운영에 필요한 지원

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표

구분	핵심연구 성과 (level1)	단위 성과 (level2)	총괄 실적 성과						해당 기관	예산 (백만)	총괄 양적 목표			
			질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			목표치	가중치		
총괄	A	Sensor	A-1	Sensor Pd Trigger	①	동작 가부	可	log 확인	자체 테스트	2	(주)두잇	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시작품 : 1 건 시제품 : 1 건	3 2 5 15	
			A-2	동작범위	②	동작범위	100dB	관측자료 취득 분석	자체 테스트	1	(주)두잇			
			A-3	시작품 제작							(주)두잇			
			A-4	시제품 제작						(주)두잇				
	B	ICU	B-1	오경보 방지 알고리즘	①	동작 가부	可	임의 이벤트 테스트	자체 테스트	2	(주)두잇	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시작품 : 1 건 시제품 : 1 건	3 2 5 15	
			B-2	sensor - ICU data 전송	②	손실률	5% 미만	전송전후 data 비교	자체 테스트	1	(주)두잇			
			B-3	건축물 손상도 평가	③	동작 가부	可	동작 테스트	자체 테스트	2	(주)두잇 (주)엠텍			
			B-4	시작품 제작							(주)두잇 (주)엠텍			
			B-5	시제품 제작							(주)두잇 (주)엠텍			
	C	SW	C-1	소프트웨어 개발	①	동작 가부	可	동작 테스트	자체 테스트	3	(주)엠텍	S/W : 2 건	15	
			C-2	APP 경보 알람	②	경보발령	可	발령여부 검사	자체 테스트	1	(주)엠텍			
	D	성능 검증	D-1	Test Bed 구축	①	기간/ 개소	건축물 9개소 대상/4개월간 운영	현장실증 시험	결과 보고서	3	(주)두잇	전기전자분야 계측기기 NEP 인증 : 1 건 센서 성적서 : 1 건 Test Bed : 9개소	20	
			D-2	데이터 신뢰성 시험	②									(주)두잇 (주)엠텍 건기연
			D-3	MEMS 센서 기반 임베디드 시스템	③	전기전자 분야 NEP 인증	인증 획득	검증 기관의뢰	인증서 획득	2	(주)두잇 (주)엠텍 건기연			
			D-4	주파수 분석	④	스펙트럼 안정화	0~50Hz 구간 내 스펙트럼 평활화	실험실 테스트	공인 기관 보고서	2	(주)두잇 (주)엠텍 건기연			
	E	E-1	신규채용								(주)두잇	채용건수 : 신규 9 인 매출액 : 1.5 억 구매건수 : 3 건	15	
	F	F-1	핵심성과지 표수집(KPI)	①	성과지표 타당성	可	타당성 확인	SWOT 분석보고서	1	(주)두잇				
	G	G-1	매출액	①							(주)두잇 (주)엠텍			
		G-2	구매건수	②							(주)두잇 (주)엠텍			
계												20	특허 : 출원 2 건 등록 2 건 시작품 : 2 건 시제품 : 2 건 S/W : 2 건 NEP 인증 : 1 건 센서 성적서 : 1 건 Test Bed : 9개소 채용건수 : 9 인 매출액 : 1.5 억 구매건수 : 3 건	100

나. 목표달성성 여부

(1) 목표달성성 종합

구분	핵심연구성과 (level1)	단위 성과 (level2)	질적 목표 및 성과						해당 기관	예산 (백만)	양적 목표 및 성과						
			성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	기종치			목표치	기종치	달성치				
총괄	A	Sensor	A-1	Sensor Pd Trigger	①	동작 기부	可	可	log 확인	시험의뢰	3	(주)두잇		특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시작품 : 1 건 시제품 : 1 건	3 2 5 15		
			A-2	동적범위	②	동적범위	100dB	101dB	관측자료 취득 분석	시험의뢰	1	(주)두잇					
			A-3	시작품 제작							(주)두잇						
			A-4	시제품 제작						(주)두잇							
	B	ICU	B-1	오경보 방지 알고리즘	①	동작 기부	可	可	임의 이벤트 테스트	자체 테스트	2	(주)두잇		특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시작품 : 1 건 시제품 : 1 건	3 2 5 15		
			B-2	sensor - ICU data 전송	②	손실률	5% 미만	1% 미만	전송전후 data 비교	자체 테스트	1	(주)두잇					
			B-3	건축물 손상도 평가	③	동작 기부	可	可	동작 테스트	자체 테스트	3	(주)두잇 (주)엠텍					
			B-4	시작품 제작						(주)두잇 (주)엠텍							
	C	SW	B-5	시제품 제작								(주)두잇 (주)엠텍					
			C-1	소프트웨어 개발	①	동작 기부	可	可	동작 테스트	시험의뢰	4	(주)엠텍	S/W : 2 건	15	S/W : 2 건		
D	성능 검증	C-2	APP 경보 알람	②	경보발령	可	可	발령여부 검사	자체 테스트	1	(주)엠텍						
		D-1	필드테스트	①	기간/개소	1개월 /4개소	1개월 /4개소	장비실제 운용	자체 테스트	4	(주)두잇	NEP 인증 : 1 건 센서 정확서 : 1 건 Test Bad : 9개소	20	NEP 인증 : 진행중 센서 정확서 : 6건 Test Bad : 9개소			
		D-2	데이터 신뢰성 시험	②							(주)두잇						

3. 목표달성도 및 관련분야 기여도

구분	핵심연구성과 (level1)	단위 성과 (level2)	질적 목표 및 성과						해당 기관	예산 (백만)	양적 목표 및 성과					
			성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	기중치			목표치	기중치	달성치			
									(주)엠텍 건기연							
		D-3	NEP인증	③						(주)두잇 (주)엠텍 건기연						
		D-4	Test Bed 구축	④						(주)두잇 (주)엠텍 건기연						
	E	E-1	신규채용							(주)두잇						
	F	F-1	핵심성과지 표수집(KPI)	①	성과지표 타당성	可	타당성 확인	SMOT 분석보고서	1	(주)두잇 (주)엠텍	채용건수 : 신규 9 인 매출액 : 1.5 억 구매건수 : 3 건 전락수립건수 : 1 건	15			채용건수 : 신규 9 인 매출액 : 1.37 억 구매건수 : 4 건 전락수립건수 : 1 건	
	G	G-1	매출액	①						(주)두잇 (주)엠텍						
		G-2	구매건수	②						(주)두잇 (주)엠텍						
		G-3	마케팅 전락수립	③					(주)두잇							
계												20		100		특허 : 출원 2 건 등록 2 건 시작품 : 2 건 시제품 : 2 건 S/W : 2 건 NEP 인증 : 진행중 센서 상용서 : 6 건 Test Bed : 9 개소 채용건수 : 9 인 매출액 : 1.5 억 구매건수 : 3 건 전락수립건수 : 1 건

다. 관련분야 기여도

(1) 기술적 측면

(가) 기존 지진 사전경보는 국가 지진관측망을 통해 발령되는 Regional Warning 시스템이었으나, 본 연구과제를 통해 On-Site Warning을 구현할 수 있는 시스템으로 개발되었습니다.

개발 항목	개발 전	개발 후	기여분야
P파 지진사전경보 장치 개발	- MEMS 가속도센서는 단순 계측을 위한 아날로그/디지털 출력값만 제공 - 단독으로 운영할 수 없는 타입으로 후처리를 위한 Data Logger 필수 - 별도 알고리즘(계측, 지진)은 탑재되지 않음 - 단순 계측용으로 제작되기 때문에 별도 기능이나 기술이 탑재되지 않음	- MEMS 가속도센서를 이용한 센서+Data Logger 일체형 타입 제품 24bit 고해상도 AD 채용 및 단독으로 운영 가능 - 계측 및 지진을 탐지하기 위한 다수 알고리즘(P파 사전경보, 건축물 손상도 등) 탑재 - 신호제어를 위한 접점 출력 포트 탑재 - 시각동기화를 위한 NTP 서버/클라이언트 기능 - 전원/통신 일체형 PoE 방식 적용 - IP67 등급의 알루미늄 인클러저 적용	- 기존 구조물/핸드폰 등 단순 계측 용도로만 사용되던 MEMS 센서를 지진계 목적으로 개발 - MEMS 가속도센서를 채용하여 저비용으로 구축 - 신속한 경보발령을 위한 P파 지진사전경보 알고리즘이 탑재되어 On-Site 지진 경보 발령 가능 > 하여 지진방재 분야에 기여
긴급 건축물 손상도 평가 시스템 개발	- 건축물 거동을 측정하기 위해서는 다양한 종류(변위계, 지진계 등)의 센서를 계측 - 전/후 데이터 처리를 통해 건축물 계측 결과를 상세히 파악할 수 있으나, 계측 장비 및 소프트웨어를 설치하는 비용이 과다하게 소모	- 긴급 건축물 손상도 평가 알고리즘을 통해 신속한 결과 도출 - 충간변위비 및 고유진동수의 변화량 모니터링 및 예상 손상부위 파악 기능 탑재 - 기존 건축물 계측 비용에 비해 저비용으로 구축 가능	지진 또는 이상진동 발생 시 건축물의 손상도 여부를 판단할 수 있는 건축물 손상도 평가 알고리즘을 통해 지진방재 및 건축물 내진 분야에 기여

(표 계속)

개발 항목	개발 전	개발 후	기여분야
모바일 애플리케이션 개발	· 지진관련 기존 애플리케이션은 국가 기관에서 공표(홈페이지, SMS 등)하는 자료만 활용 · 기존 지진데이터만 활용하는 정도의 표출 가능	· 현장에서 실시간 계측하고 있는 MEMS 가속도센서와 연동하여 모니터링 · 설치/운영되고 있는 건축물의 이상거동 및 지진발생 시 신속한 정보 발령 가능 탑재	· 지진/이상거동 발생 시 신속한 대응을 위한 지진방재 분야에 기여

- (나) MEMS 가속도 센서 모듈 개발에 따른 복합적인 진동 모니터링 기술을 확보하고, 신속한 지진/이상거동 대응과 건축물의 피해 및 안전성 평가에 활용
- (다) 지진피해 지역의 신속한 피해 평가와 정밀 안전진단 소요 판단이 가능해지므로 건축물 내상에 의한 추가 피해 방지
- (라) 기존 Regional Warning 시스템에서의 Shadow Zone(진앙지 인근 100km 이내)을 현격하게 줄일 수 있는 효과를 기대

(2) 사회·경제적 측면

- (가) 대부분 수입에 의존해 오던 지진계 시장에서 지진사전경보 분야에 특화된 P파지진사전경보장치를 국산화함으로써 향후 지진사전경보용으로 설치가 요구되는 곳에는 굳이 고가의 외산 지진계가 아닌 사전경보 및 긴급 손상도 평가 기능이 특화된 본 개발 시스템이 설치가 가능해짐으로써 개발 후 10년간 약 200억원대의 수입대체 효과가 기대됨
- (나) 국산화된 PEEWD & EBDAS와 Mobile App 소프트웨어를 통하여 지진발생 후 신속한 대응에 결정적인 역할을 담당하여 인명과 재산피해 예방에 기여할 것으로 기대됨
- (다) 지진사전경보 정보를 제공함으로써 지진에 대한 경각심을 도모하며 국가 주요 시설 및 민간시설의 시스템과 연동하여 재난 발생 시 피해를 최소화할 수 있으며, 예상피해 지역에 대한 신속한 대응 가능
- (라) 서비스 방식에 따라 실시간 지진동 모니터링 또는 모바일 APP 등 다양한 방법으로 서비스할 수 있기 때문에 사용자의 접근성이 용이하고 실제 위치하고 있는 On-site의 다수 기능을 구현하여 그 어떤 지진계보다 체감도가 높은 만족도 제공
- (마) 긴급 건축물 손상도 평가를 통해 주민이 해당 건축물에 계속 거주가능 여부에 대한 신속한 대응안 제시

4. 연구 개발 성과의 활용 계획

가. 현장 적용 방안

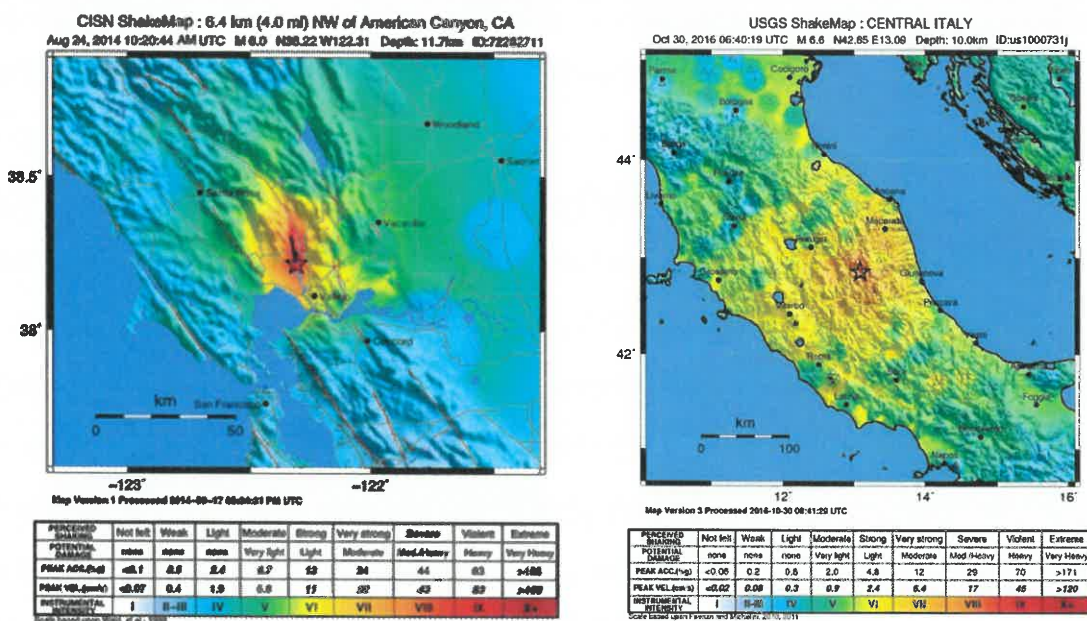
(1) 개요

P파 지진 사전경보 장치에 추가로 긴급 건축물 손상도 평가 기능을 포함한 시스템 개발로 시장의 요구를 완벽히 반영한 제품으로써, 민간시장 측면에서는 기상청과 행정안전부에서 운영하는 국가 지진관측망, 지진가속도계측망과 달리 미소지진까지 측정하는 고성능 지진장비를 필요로 하는 것이 아니라 빠르고 신속한 정보를 필요로 하기에 고객의 요구에 부합하도록 개발하였다.

본 연구를 통하여 개발된 지진 사전경보 및 긴급 건축물 손상도 평가 시스템을 활용한다면, 언제 어디서 발생할 지 모르는 지진에 대한 사전 대비책을 구축할 수 있을 뿐만 아니라, 지진 이후 신속한 대응을 할 수 있도록 도와주는 모바일 피드백을 통하여 인명 및 재산 피해를 예방할 수 있을 것으로 판단한다. 또한, 향후 전국적으로 촘촘한 감시망을 통하여 보다 정확하고 빠른 정보 알람 시스템으로 자리 매김할 수 있다.

(2) 활용방안

아래 USGS Earthquake Hazards Program인 ShakeMap과 유사하게 본 개발장비를 활용한 지역 간 통합시스템 구축을 통하여 국내에서 발생하는 지진에 대해 지상의 움직임과 흔들림 강도를 실시간으로 파악할 수 있는 지도 서비스를 제공할 수 있다.



나. 실용화, 제품화 방안

(1) 활용방안

기존 Regional Warning으로 인한 Shadow Zone에서는 기상청에서 발표하는 긴급 재난문자를 받기 전에 사전대비를 할 수 없었으나, 본 기술이 실용화 될 경우 On-site Warning으로 새로운 시장을 개척할 수 있을 것이다.

무선통신 및 모바일 애플리케이션 연동 서비스를 이용하여 제품화함으로써 국내는 물론 개발도상국 등의 건설사업에 적극 적용이 가능할 것이다.

건축물 및 지역 특성마다 다양하게 적용가능한 시스템으로써 사용자가 원하는 용도 및 규격에 맞도록 커스터마이징이 가능한 점을 토대로 다양한 수요층의 만족도에 크게 기여할 것으로 예상되며, 실시간 모니터링 시스템을 통하여 크게는 도시 안전성 확보에 크게 기여할 것으로 생각된다.

(2) 적용성

행정안전부 “지진가속도계측기 설치 및 운영기준(행정안전부 고시 제 2017-1호)”에 따라 청사, 국립대학교, 초고층 건축물에 설치하도록 규제화되어 있으나, 일부 기준에 해당하지 않는 건축물을 대상으로 본 개발장비 서비스를 도입한다면 안전 사각지대에 있는 인적·물적 재산의 보호를 위하여 사전 및 사후에 즉각 대비할 수 있는 방안을 마련할 수 있다는 점에서 매우 큰 의미가 있다.

(3) 후속 연구개발의 전망

유관기관으로부터 지진데이터를 취득·활용하여 좀 더 정확한 사전 경보 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 건축물 손상도 평가 측면에서도 신뢰성있는 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

AI(인공지능)를 활용한 다양한 서드파티 제품군과의 연결 확장을 통하여 사용자로 하여금 원하는 방식으로 시·청각적 피드백을 받아볼 수 있게 함과, 설비 및 모듈의 소형화, 안정화를 통하여 건축물, 구조물 외 다양한 산업분야에서 활용가능하도록 지속적인 연구수행이 필요할 것이다.

또한, 국가지리정보체계(NGIS) 자료를 활용한다면 향후 ShakeMap 기능성을 증대시키고, 이에 따라 운용효율성을 가져올 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 국내 최적 지진조기경보체제 구축방안, 기상청, 2007년
2. 국가 지진조기경보시스템 구축 설계 및 실시간 지진자료 공유기반 연구, 기상청, 2009년
3. 지진조기경보 관측변수 조기산출 장비의 성능개선 및 표준화 기술개발, 기상청, 2014년
4. 지진 조기경보, 한국과학기술기획평가원, 2019년
5. Chau, K.H.L, Lewis, S.R., Zhao, Y., Howe, R.T., Bart, S.F. (1996) An Integrated Force-balanced Capacitive Accelerometer for Low-g Application, *Sens. & Actuators A: Physical*, 54, pp. 472-476.
6. Bae, I.H., Ha, G.H. (2002) Structural Behavior on Self-Anchored Suspension Bridge with Three Dimensional Main Cable Using The Bridge Health Monitoring System, *Proc. Annual Conference of Korean Society of Civil Engineers*, pp. 672-675.
7. Castellini, P., Martarelli, P., Tomasini, E.P. (2006) Laser Doppler Vibrometry: Development of Advanced Solutions Answering to Technology's Needs, *Mech. Sys. & Signal Proc.*, 20, pp. 1265-1285.
8. Sivakumar, C., Srinivasan, C. and Willy, Y.A., (2008) Real Time Microseismic Monitoring to Study Geomechanics of Underground Structures," The 12th International conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Coa, India, October 1-6, pp. 1972-1979.
9. Wu, Y. M., and H. Kanamori (2005). Rapid assessment of damaging potential of earthquakes in Taiwan from the beginning of P waves, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 95, pp. 1181-1185.
10. Wu, M.Y., Chen, Y.D., Lin, T.L., Hsieh, C.Y., Chin, T.L., Chang, W.Y., Li, W.S., and Ker, S.H. (2013) A High-Density Seismic Network for Earthquake Early Warning in Taiwan Based on Low Cost sensors, *Seismological Research Letters*, Vol. 84, No. 6, pp. 1048-1053.
11. Kwon, N.Y., Kang, D.Y., Sohn, H. (2016) Application of High-precision Accelerometer Made in Korea to Health Monitoring of Civil Infrastructures, *Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol. 29, No 3, pp. 277-283.
12. Kim, K.H., Kang, T.S., Rhie, J., Kim, Y., Park, Y., Kang, S.Y., Han, M., Kim, J., Park, J. Kim, M., Kong, C., H, D., Lee, H., Park, E., Park, H., Lee, S.J., Cho, S., W, J.U., Lee, S.H., and Kim, J. (2016) The 12 September 2016 Gyeongju

- earthquakes: 2. Temporary seismic network for monitoring aftershocks, *Geosciences Journal*, Vol. 20, No. 6, pp 753-757.
13. Kim, Y., J. Rhie, T.S., Kang, K.H., Kim, M., and Lee, S.J. (2016) The 12 September 2016 Gyeongju earthquakes: 1. Observation and remaining questions, *Geosciences Journal*, Vol. 20, No. 6, pp. 747-752.
14. Kim, H.Y., Kang, T.S., Rhie J. (2017) Development and Application of a Real-Time Warning System Based on a MEMS Seismic Network and Response Procedure for the Day of the National College Entrance Examination in South Korea, *Seismological Research Letters*, Vol. 88, No. 5, pp. 1322-1326.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.