발간등록번호
11-B552989-000506-01

최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)
공고번호	공고-제2호	연구개발과제번호		21CTAP-C152128-03

국가과학기술 표준분류	EI0606	50%	EI1101	30%	EI1205	20%
연구주제	걱정없는 안심사회		생활안전, 재난재해, 에너지, 주거, 교통		불량주택 및 시설물	

연구개발과제명	국문	ICT기술을 활용한 350km/h급 궤도결함 고속 진단 및 실시간 분석 시스템 개발		
	영문	Development of high speed 350km/h track defect inspection and real-time analysis system using ICT technology		
주관연구개발기관	기관명	주식회사 지에스지	사업자등록번호	897-87-00706
	주소	(34324) 대전시 대덕구 신일동로 105, 302호	법인등록번호	160111-0474851
주관연구책임자	성명	조호진	직위	대표
	연락처	직장전화	휴대전화	
		전자우편	국가연구자번호	
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 9개월)		
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(0년 9개월)		
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1년 0개월)		
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년 0개월)		

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	17,693	158,477	-	-	-	-	617,693	158,477	776,170	-
1년차	134,000	4,468	40,202	-	-	-	-	138,468	40,202	178,670	-
2년차	175,000	5,950	52,800	-	-	-	-	180,950	52,800	233,750	-
3년차	291,000	7,275	65,475	-	-	-	-	298,275	65,475	363,750	-

공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	모루기술(주)	서종철	대표			공동	중소기업
위탁연구개발기관	한국철도공사	유영준	대리			위탁	대기업

연구개발담당자 실무담당자	성명	여인권	직위	대리	
	연락처	직장전화	휴대전화		
		전자우편	국가연구자번호		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 3월 18일

연구책임자 : 조 호 진 (직인)

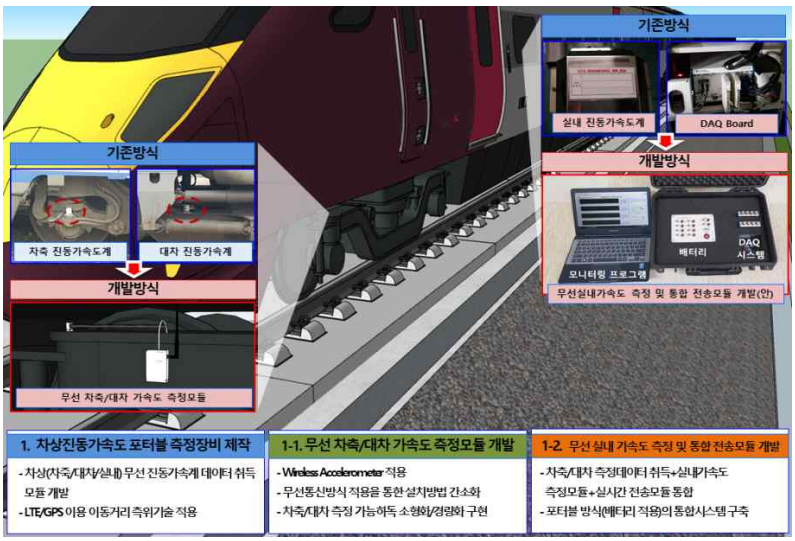
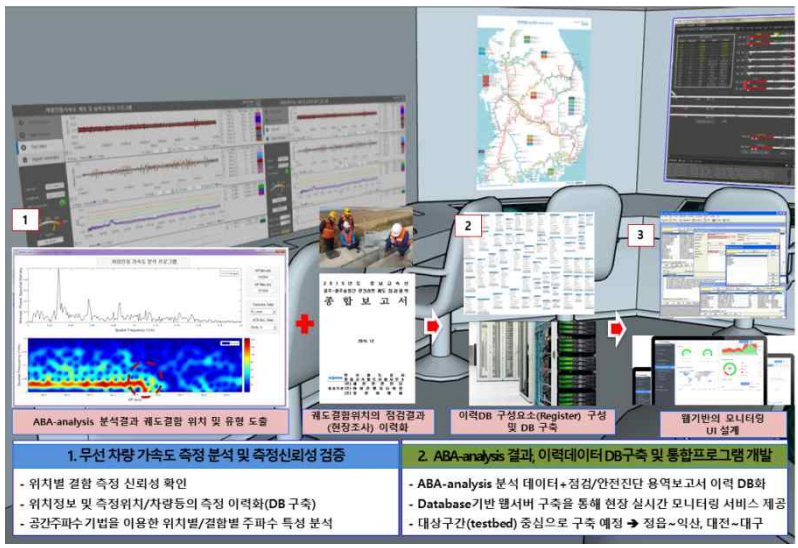
주관연구개발기관의 장 : 주식회사 지에스지 조 호 진 (직인)

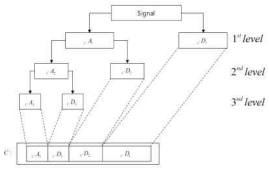
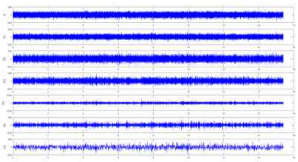
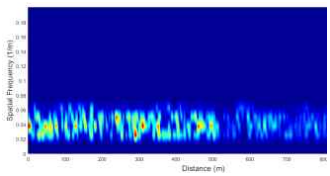
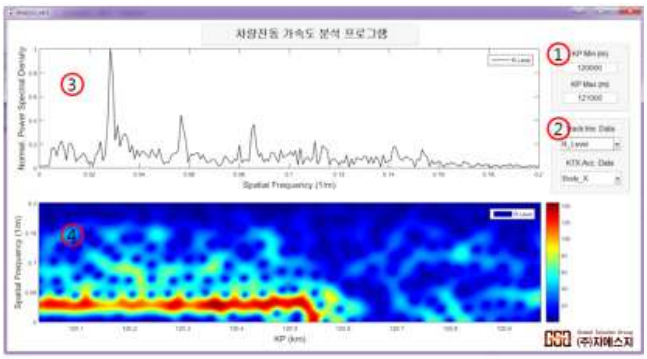
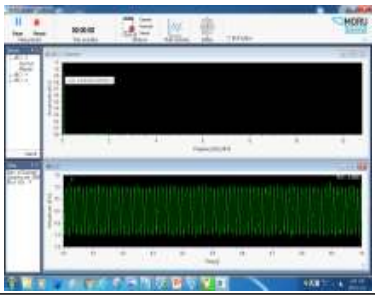
공동연구개발기관의 장 : 모루기술(주) 서 종 철 (직인)

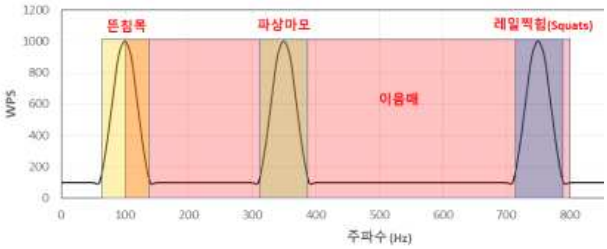
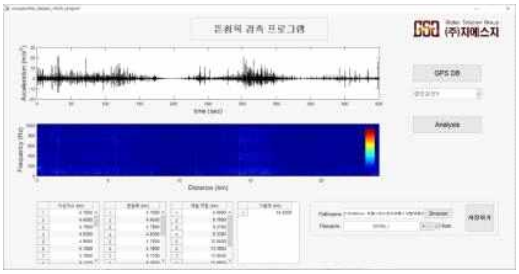
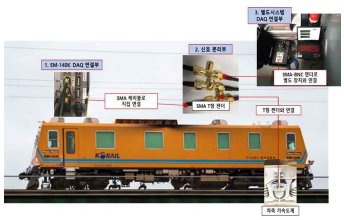
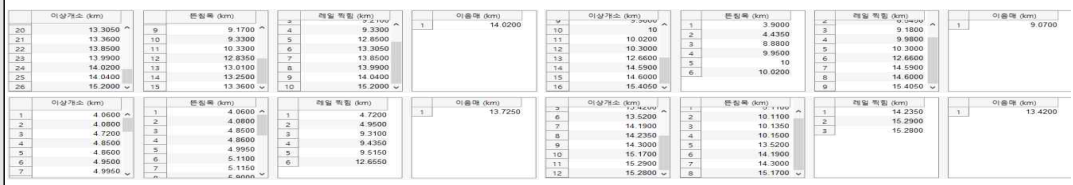
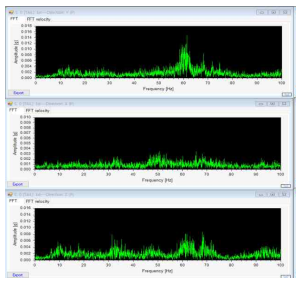
위탁연구개발기관의 장 : 한국철도공사 나 희 승 (직인)

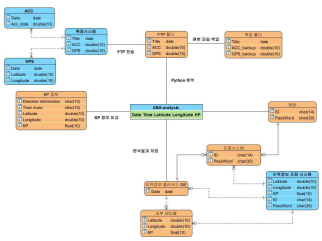
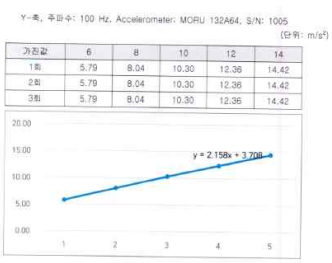
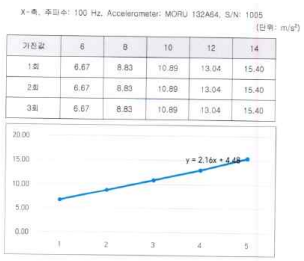
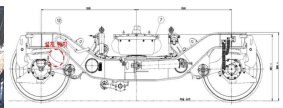
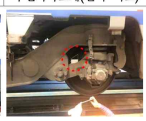
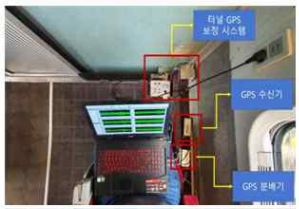
국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

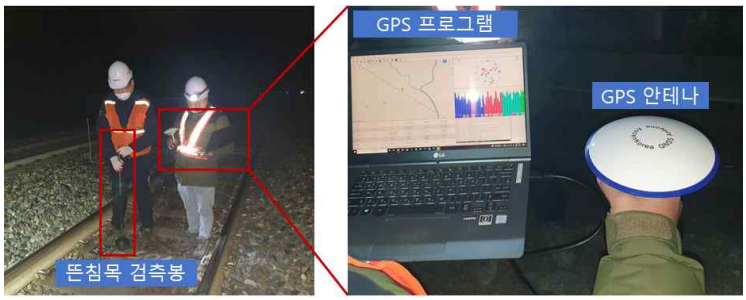
사업명	국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호		21CTAP-C152128-03	
내역사업명	국토교통기술혁신연구					
국가과학기술표준분류	EI0606	50%	EI1101	30%	EI1205	20%
연구주제	걱정없는 안심사회		생활안전, 재난재해, 에너지, 주거, 교통		불량주택 및 시설물	
연구개발과제명	ICT기술을 활용한 350km/h급 궤도결함 고속 진단 및 실시간 분석 시스템 개발					
전체 연구개발기간	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 9개월)					
총 연구개발비	총 776,170천원 (정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 176,170천원, 지방자치단체 : 0원, 그 외 지원금 : 0원)					
연구개발단계	기초[ ] 응용[✔] 개발[ ] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]		기술성숙도		착수시점 기준(3단계) 종료시점 목표(7단계)	
연구개발과제 유형	지정공모 [ ] 자유공모 [✔]					
연구개발과제 특성	사회이슈 해결					
연구개발목표 및 내용	최종 목표	ICT기술을 활용한 350km/h급 궤도결함 고속 진단 및 실시간 분석 시스템 개발				
	전체 내용	1. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 개발  2. Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA-analysis) 개발  1) Wireless Accelerometer-Portable Total Measurement System 2) Axle Box Acceleration-Realtime Analysis System				

	1년차	목표	- Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA-analysis) 기초설계 **개념(안) 제시** - 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 기초설계 **개념(안) 제시**
		내용	1-1. 관련기술 및 문헌조사 ○ 현장계측자료 수집을 통한 철도 궤도결함 발생 현황 조사 ○ 국내 선로검측자료/KTX-36호 궤도점검자료 수집 → **레일찍힘(Squats), 스폴링(Spalling), 헤드체크(Head Check), 뜬침목, 축이음매 열화 등으로 유형 도출** 1-2. 사용자 요구사항 및 설문 조사를 통한 주요 궤도결함 도출 ○ 사용자 요구사항에서 도출된 주요 궤도결함 모니터링 방안 적용 ○ 현장유지보수 담당자 및 운영자 대상 선로결함 유지관리 현황 도출 ○ ABA-analysis 핵심요구사항 정립 → **각 개발품별, 기술성, 유지관리성, 내구성, 경제성 순의 우선순위 제시** 1-3. 기초설계 개념(안) 제시 ○ 공간주파수/Wavelet 기법 활용 궤도결함 분석로직 개발 **→ 이산웨이블릿 활용 결함 발생 위치 및 유형 분석로직 개발 완료 (게재논문 1편)**    ○ matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 초기모형 설계(안) 도출 **→ 공간주파수 기반의 PSD 모니터링 그래프 적용, Wavelet 기법 적용 공간주파수 기반의 PSD 모니터링 그래프 적용 (특허출원 1건)**  ○ 차축/대차 무선진동가속도 포터블 측정장비 초기모형 설계WA-PMS(데이터 취득 장치, 무선가속도계) 및 시작품 제작 ○ 무선 차상진동가속도 측정 및 통합 전송모듈 초기모형 설계(WA-TMS) 및 시작품 제작 **→ Wifi기반의 무선가속도 및 데이터 취득장치 제작 완료 (시험성적서 1건)** 

	2년차	목표	- Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) **파일럿 모형 제작** - 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) **파일럿 모형 제작**
		내용	2-1. 궤도결함 결정을 위한 유형분석 및 유형차트 개발 ○ 대상구간 주파수 대역별 궤도결함 유형분석 → 경인선 구간(약 15km)을 대표 구간으로 설정하여 육안검사를 실시, 시범구간 내 측정데이터 분석 육안검사 결과와 측정데이터 분석결과와 비교, 주파수 대역별 궤도결함 유형 차트 개발 ※ 2차년도 연구에 대한 평가과정에서 뜬침목을 대상으로 연구추진 결정  2-2. Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 파일럿 모형 개발 ○ **(시제품 제작)** Matlab 기반의 ABA-analysis) 파일럿 모형 개발  ○ **(시제품 검증)** 일반선 검측차량(EM-140K) 활용 시범구간 내 측정데이터 분석 및 이상개소 정확도 확인※   → 궤도 결함 발생 조사 데이터와 시스템에서 측정한 궤도결함 개소 비교 결과 94.7%의 정확도, Matlab기반 궤도결함 측정위치 분석 프로그램 적용 시 결함유형 도출 결과 정확도 94.4% 확보(공인기관 시험성적서 1건) 2-3. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) 파일럿 모형 개발 ○ **(시제품 제작)** 차축/대차용 무선진동가속도 및 데이터 취득 장치 제작  → 성능 요구조건 감도 50mv/g±5%, 주파수 0~2,000Hz 확보 완료(공인기관 시험성적서 1건) → 실차량 테스트를 통한 무선가속도계 운영 환경 적정성 확인 완료

	3년차	목표	- Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) **신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작** - 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) **신뢰성 검증** 및 매뉴얼 제작
		내용	3-1. ABA-analysis 이력관리용 클라우드-DB 구축 ○ 시범대상구간 이력정보 DB 스키마 설계 ○ 취득 데이터 및 이력 관리용 Cloud-DB 구축 완료 ○ ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램 개발 완료 ○ ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 검증(공인기관 의뢰)  → <u>클라우드-DB 검증 실시 및 서버 응답성 90%이상 확보(공인기관 시험성적서 1건)</u> 3-2. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 고도화 ○ WA-PMS 무선진동센서 추가 설계(거치지그 등) 및 제작 ○ WA-PMS 정확성 검증   → <u>차량 설치용 무선가속도계 개발 완료, 성능검증 완료(공인기관 시험성적서 1건)</u> 3-3. 성과품 기능 및 신뢰성 검증 ○ 고속선 대상 운영차량 내 성과품 설치 및 현차시험 수행(총 10회 시험 완료)  무선가속도계 설치 도면 무선가속도계(센서+지그)  무선가속도계 설치 위치 

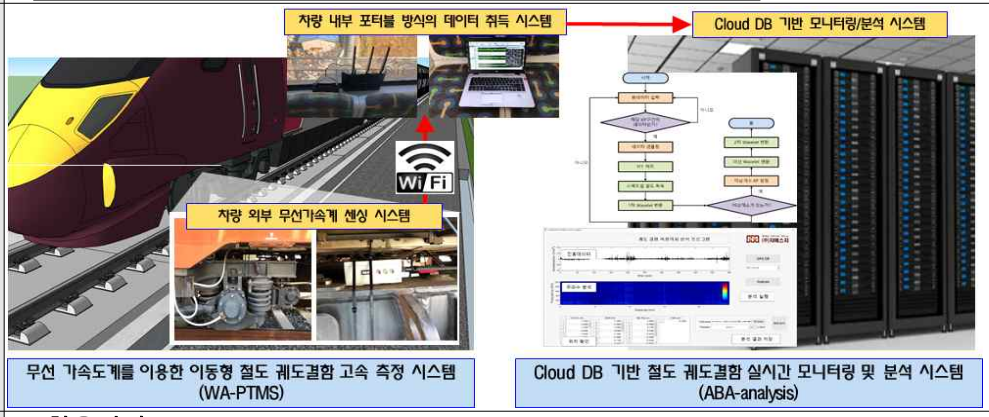
○ 현차시험 분석결과 신뢰성 검토를 위한 검측구간 현장조사



○ 프로그램 측정 정확도
▪ 매칭 이상개소 / 측정 총 이상개소 × 100 = 54 / 60 × 100 = 90.0%
▪ 매칭 이상개소 / 실 이상개소 × 100 = 54 / 58 × 100 = 93.1%
▪ 매칭 이상개소 / 검측 이상개소 × 100 = 54 / 56 × 100 = 96.4%

→ 매칭 정확도 96.4% 확보 완료 (공인기관 시험성적서 1건)

연구개발성과



연구개발성과 활용방안 및 기대효과

1. 활용방안

○ 한국철도공사에서 운행중인 검측챠량과 연계하여 미비된 검측 항목의 확장이 가능함

○ 현재, 철도 궤도 유지관리 운영기관인 한국철도공사 대상으로 본 연구 성과품에 대한 적용성 평가 예정(6개월간의 **시범운용을 통한 신뢰성 확대 및 기술 고도화 예정**, 기술 사업화 계획 수립 완료

○ 한국철도공사와 본 연구 주관기관에서 공동으로 추진 중인 **개발도상국 지원사업을 통해, 낙후된 철도 선로에 대한 전방위적 검측 및 유지관리 운영 프로세싱 전수 예정**

2. 기대효과

○ 궤도검측차량/트랙마스터를 이용하여 현장에서 궤도틀림 및 결함을 측정함에 따라 발생하는 **선로 유지관리 및 상태평가 비용 및 인력 증가를 최소화하고, 측정시간(야간)의 제약 없이 상시 모니터링이 가능**

○ 선로 유지관리 시 정정보수(사후보수)체계 적용에 따른 적정 시기 유지관리 의사결정이 불가능한 부분을 현행 운행되는 상용차량(일반/고속차량 구분 없이)을 이용한 상시 모니터링을 통해 적정 시기에 데이터 확인 및 유지보수 시행이 가능함

연구개발성과의 비공개여부 및 사유: 해당없음

연구개발성과의 등록·기탁 건수

논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
							생명 정보	생물 자원		정보	실물
3	1	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

국문핵심어 (5개 이내)	철도	궤도결함	차상가속도	웨이블릿	실시간 모니터링
영문핵심어 (5개 이내)	Railway	Track Defect	ABA (axle box acceleration)	Wavelet	Real time monitoring

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
1.1. 연구개발과제의 필요성 ····· 1
1.2. 연구개발 대상의 국내 기술 수준 및 문제점 ····· 3
1.3. 연구개발 대상의 국외 기술 수준 및 문제점 ····· 5
1.4 관련기술 시장현황 ····· 6
1.5. 연구개발과제의 최종 목표 ····· 7
1.6. 연구개발과제의 년차별 목표 ····· 8
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 9
2.1. 1차년도 ····· 9
2.2. 2차년도 ····· 56
2.3. 3차년도 ····· 80
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 148
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 163
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 164
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 165

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1.1. 연구개발과제의 필요성

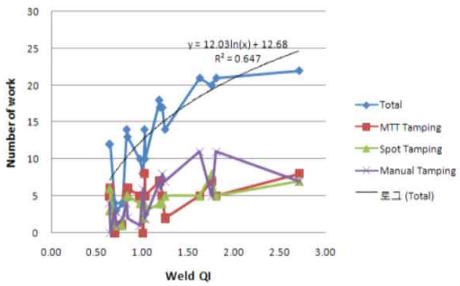
□ 열차는 선로에 설치된 레일 위에서 차륜을 구동하며 이동함에 따라, 차륜과 직접 접촉하는 레일의 결함은 열차의 운행 장애뿐만 아니라, 열차 탈선까지 유발할 수 있는 매우 심각한 결함이다.

□ 레일결함 중 절손은 레일 이음매와 같은 이격구간, 용접부 및 텅레일, 크로싱부 등에서 열차 통과 시 불연속부에 가해지는 큰 충격이 하부로 전달되어 궤도재료를 손상시킴에 따라 주로 발생하며, 해당구간의 유지보수를 위한 용접 시 모체보다 취약하여 지속적인 결함현상이 발생한다.

□ 「레일 표면결함 등급에 따른 궤도틀림 발생 추세분석(2012, 한국철도공사)」에서는 고속선에서 발생하는 레일 흠집과 궤도틀림과의 관계에 관한 분석을 진행한 바 있으며, 궤도틀림은 궤도 내외측의 손상을 발생시켜 레일의 건전성에도 상당한 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다.

□ 특히,「레일 용접부 요철과 궤도틀림 상관관계 분석(2012, 우병구 외 4인)」에서는 현장측정을 통해 레일 용접부 요철에 따른 궤도틀림 진전의 상관관계를 분석하여, 레일용접부 요철 정도에 따라 궤도틀림 진전 속도가 빨라지고, 이에 따른 궤도보수작업 빈도도 높은 것으로 결과가 나타나는 것으로 보고되고 있다. (요철의 상태평가 ESVELE의 직진도 검사기에서 제시하는 품질지수 활용)

(a) RAILPROF(digital straightedge)



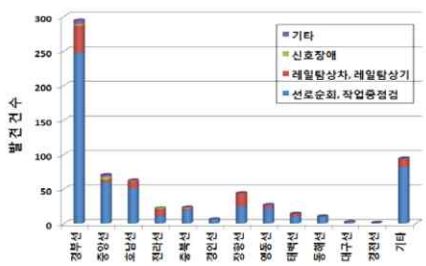
(b) 레일 용접부 요철에 따른 궤도보수작업량 비교

<그림 1.1> 궤도상태평가 장비(RAILPROF) 및 레일용접부와 궤도틀림과의 비교분석 결과

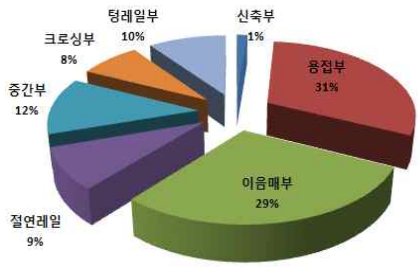
□ 자갈궤도는 열차의 주행에 의해 궤도틀림이 빈발하고, 보수주기가 상대적으로 짧으며, 특히 도상의 다짐이 불균일하거나, 교량 단부와 같이 하부구조의 단차 및 강성차이가 발생하는 구간, 접속부나 분기부와 같이 하부강성 천이구간에서는 궤도틀림이 더욱 가속화되는 특징을 가진다.

□ 국외 통계 자료에 의하면 1975년-2006년 사이에 궤도의 제반 결함에 의해 발생한 열차탈선사고의 원인 중 레일 자체의 결함에 의한 사고는 27%를 차지한다. 발견된 결함의 55%는 횡방향 결함(transverse defect), 용접결함, 레일 두부(head) 수직 결함이며, 이 중 75%가 레일 파손으로 연관된다. 또한 '98-'08년 사이에 미국에서 두부 결함, 열개(fissure) 등의 레일 결함으로 인해 발생한 크고 작은 탈선사고는 1,200 여건에 달하며 이로 인한 직접적인 누적 피해 금액은 297 백만 달러(한화 환산 시 3,600 백억원)에 이른다는 통계가 있다.(미국)

□ 국내「일반선 주요선구별 레일훼손 현황분석(2012, 한국철도공사)」에서는 레일결함 현장조사 및 측정 데이터 분석을 통해 경부선, 중앙선, 호남선, 장항선 순으로 레일결함의 발생빈도가 높은 것으로 분석되었고, 구간별로는 용접구간, 이음매 구간, 분기기기 구간 순으로 취약구간을 제시하고 있다.



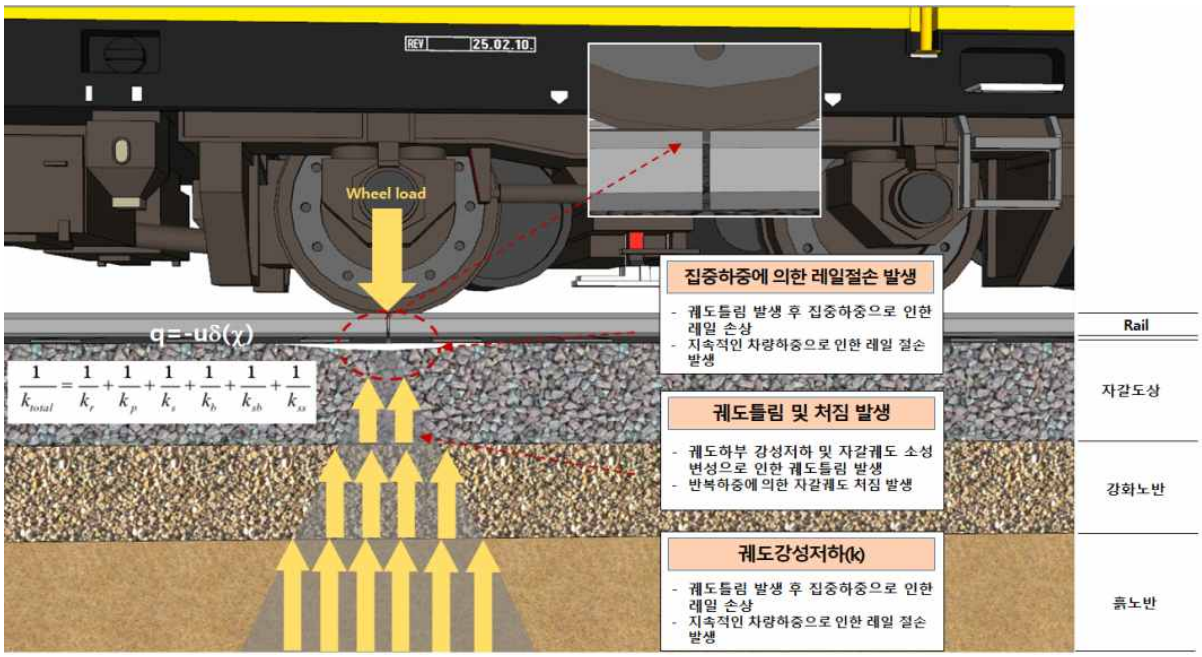
(a)노선별 레일결함 발생현황



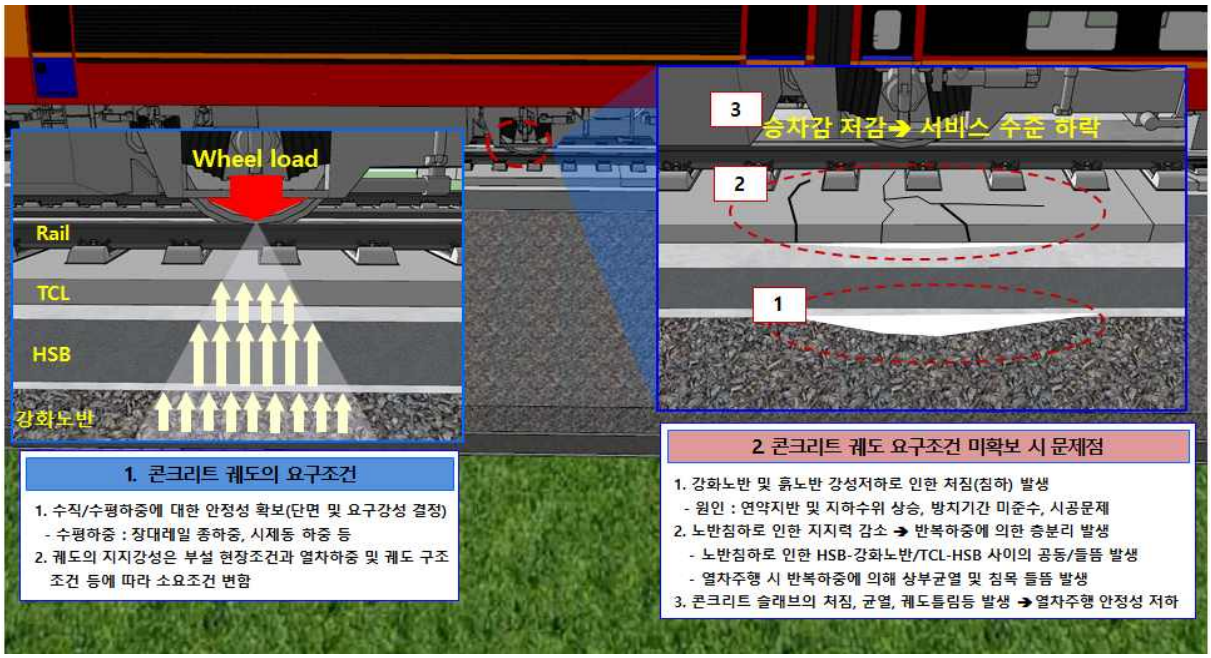
(b)부위별 레일결함 발생현황

<그림 1.2> 노선별/부위별 레일결함 발생현황 자료(한국철도공사, 2012)

□ 이러한 레일상의 결함은 단순히 레일의 노후화 및 열차주행 중에 발생하는 문제점(차량의 동적하중 및 횡압 증가, 사행동 등)때문만이 아닌, 궤도하부(자갈/콘크리트궤도, 강화노반, 흙노반 등)에서 발생한 다양한 결함(하부강성변화, 침하, 배수불량, 분니 등)이 복합적으로 작용하여 궤도틀림 및 레일절손 등으로 귀속되는 것으로 판단된다.



<그림 1.3> 자갈궤도 강성저하 등 하부결함에 의한 궤도틀림 및 레일절손 발생과정



<그림 1.4> 콘크리트궤도 강성저하 등 하부결함에 의한 궤도틀림 및 레일절손 발생과정

□ 그러나, 이와 같이 레일결함 뿐만이 아닌 궤도의 안전성에 크게 영향을 미칠 수 있는 전반적인 궤도문제점의 발생조짐을 미연에 파악하고, 궤도 상태를 분석한 결과 기반으로 유지관리 및 보수·보강을 시행하는 개념은 현재까지 미적용 상태이다. 이를 위해서는 레일/궤도/하부노반 전반에 걸친 상호 거동분석 및 영향파라미터 추출과 레일을 포함한 실제궤도의 차륜하중에 의한 반응을 상시 모니터링하고 이를 체계적으로 분석할 기술이 꾸준히 요구되고 있다.

□ 따라서, **1) 레일/침목/궤도등 결함이 발생한 위치를 차량 차단 없이 현 운행차량을 이용하여 정확히 파악할 수 있는 검측 및 결과분석 기술 개발과 2) 검측된 이상위치의 상태를 실시간으로 확인(레일상태/침목의 뜸여부, 하부노반 침하 및 틈새 발생 여부 등)하고, 결과를 해당개소의 유지관리 이력(유지관리비 포함)과 통합하여 DB(Database)화하는 기술의 현장 적용이 중요**할 것으로 판단된다.

□ 여기에 철도 유지관리 운영기관(한국철도공사)이 보유하고 있는 데이터(검측데이터, 현장 모니터링 용역 보고서 등) 및 장비(KTX 36호 검측장비/궤도검측차/다수의 비파괴 검측장비 등)를 적극 활용하여 추가적인 개발장비 관리인력 투입 및 교육시간 소요를 최소화하고, 현 운영중인 궤도관리시스템(KTMSYS)에 연동되어 현행의 유지관리 의사결정 프로세스의 고도화 및 상시 모니터링 시스템이 적용 될 수 있는 플랫폼 제시가 주요할 것으로 보인다.

□ 이를 통해, 현재 철도 선로 유지관리 과정에서 적용하고 있는 사후 보수(Corrective Maintenance)의 개념에서 탈피하여 예방보수(Preventive Maintenance)의 개념에 입각하여 선로의 상태를 상시 모니터링 하고 이렇게 누적된 자료(Database)를 바탕으로 유지관리 의사결정까지 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

1.2. 연구개발 대상의 국내 기술 수준 및 문제점

□ 궤도절대 선형을 측정하고 관리하는 기술과 관련해서는, 고속철도 유지관리부서에서는 최적 선형 구축과 유지보수 최적화를 위해 트롤리 형태의 독일 “GEDO”장비를 도입하여 유지보수에 활용 중이며, 이 외에 2000년대 초반 디지털 카메라를 이용하여 짧은 곡선구간에서의 궤도선형을 관리하는 기술을 도입하여 적용한 바 있으나, 궤도상태평가를 위한 장비 및 시스템은 미개발, 미도입 상태이다.

<그림 1.5> GEDO 궤도선형 측정 장비

□ 또한, 이 외에 궤도틀림 및 레일 결함 등의 종합적인 검측을 위해 선로검측차량을 도입, 운영 중에 있으며, 일정한 주기별로 측정되는 궤도검측데이터(track geometry data/Track induction data)를 이용하여 궤도 세그먼트의 이론상 길이에 대한 실측길이의 비로 궤도의 상태를 정량화하는 궤도품질지수(TQI : Track Quality Index)로 궤도선형 관리를 실시하고 있다.

<표 1.1> 국내 선로점검차량 운영현황

장비명	도입년도	용 도	검측속도	사 진
종합검측차	2004	궤도틀림, 전차선, 신호, 통신 등	160km/h	
선로점검차	2006 ~2007	선로순회(동영상), 도상자갈, 체결구, 침목, 레일표면	100km/h	
궤도검측차	2013	궤도틀림, 전차선, 레일프로파일, 건축한계 등	140km/h	

□ 궤도검측차 중 일반 및 고속선에 운행중인 궤도검측차는 EM-140K과 Roger-1000K 가 있다. 종합검측차는 위에서 제시한바와 같이, 궤도틀림, 전차선, 신호, 통신 등 궤도상에서 발생하는 다양한 결함을 측정하는 장비이다. 하지만, 아래와 같은 문제점이 있어, 장비의 고도화 및 요구사항이 지속적으로 발생하고 있다.

<표 1.2> 국내 고속종합검측차(Roger-1000K) 문제점

분류	주요 문제점
위치정보	- KP 설정 : 타코미터가 측정하는 휠의 마모에 따라 보정량 산정 및 반영 필요 - KP 위치 : 선로상의 KP정보 및 검측 KP와 약간의 오차발생 → 검측원이 보정작업을 통한 위치입력에 따른 소요 발생
DB 관리	- Program : 설정항목이 많고 변경 요청 시 장시간 소요 - data : 검측 raw data 값의 그래프 모니터링 기능이 미비함, 별도 분석 필요
장비문제	- 검측차별 다수의 컴퓨터가 직·간접적으로 연계되어 오류발생 또는 계절적 영향 (온도, 설빙 등)에 따른 검측장치의 시스템 고장으로 운행지연 발생 - 전산장비를 보호를 위한 항온, 항습기 미비
사후지원 문제	- 국외장비를 사용하므로 장기간 A/S(기본 6 개월) 및 비용과다 문제로 인한 검측지장(검측장치불량/잦은 고장발생/시스템 에러)→ 관련 기술 국산화 필요

□ 현재, 관련장비의 고도화 및 세부적인 측정을 위해 「선제적 선로장애 예방을 위한 레일결함 탐상 및 상태평가 기술개발」연구를 진행 중에 있으며, 검사속도 2~60 km/h를 목표로 레일탐상을 위해 초음파/와전류 모듈 개발을 목표로 하고 있다, 이를 통해 향후 보다 정밀한 레일의 결함을 측정할 수 있을 것으로 보인다.

<그림 1.6> 선제적 선로장애 예방을 위한 레일결함 탐상 및 상태평가 기술개발 개요

□ 그러나, 해당 선로점검차량을 통해 측정된 데이터는 한국철도공사 유지관리 부서에서 궤도관리시스템(KTMSYS)으로 관리하고 있으나, 궤도의 강성변화와 이로 인한 틀림의 발생 상관성 및 레일절손과 같은 레일이상상태로의 발전가능성에 대한 정보를 제공하지 못하며 이는 **레일을 포함한 궤도상태평가를 위한 시스템의 미개발 및 측정데이터를 활용한 의사결정 프로세스 개발이 불완전**하기 때문이다.

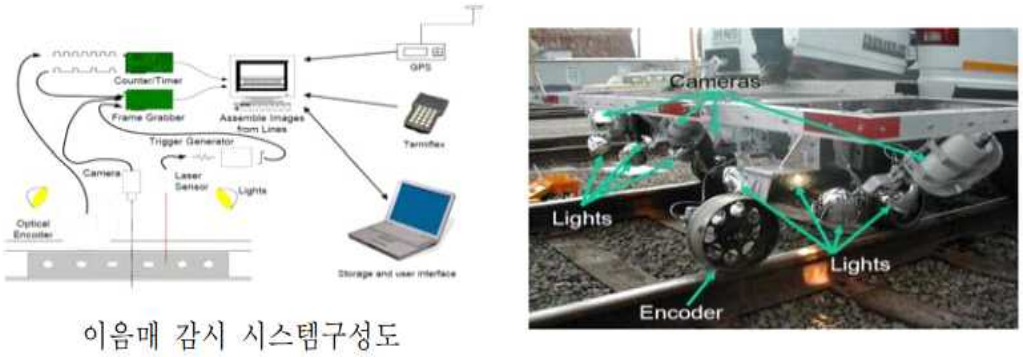
□ 위의 모든 시스템은 강성과 특성이 상이한 다층으로 이루어진 궤도상에 측정위치별 별도의 장비를 적용함에 따른 상호간의 문제점을 포괄적으로 파악할 수 없고, 고속철도의 경우 350km/h의 운행속도 구간에서 80km/h 이상의 측정속도를 보이는 장비 적용에 따른 철도 차량 차단시간을 고려해야되는 한계점으로 측정시간의 제약으로 이어지는 문제점이 내재되어 있다. **따라서, 철도 차단 및 속도제한 없이, 운영 일반차량에 탑재하여 주행중 결함데이터 확보가 가능한 본 연구기술의 적용이 예방적 유지관리 개념 적용상에 보다 타당한 기술로 판단**된다. 여기에 다양한 장비를 운영 및 관리가 요구되는 운영부서 입장에서 해당 인력 및 비용소요를 최소화할 수 있는 이점을 확보 할 수 있을 것으로 보인다.

1.3. 연구개발 대상의 국외 기술 수준 및 문제점

□ 국외에서도 국내와 유사하게 각 층별 관리장비를 별도로 운영하고 있다. 미국 Network Rail 사에서 개발한 휴대형 레일결함 측정장치는 레일을 따라 진행하는 롤러 서치유닛(Roller Search Unit: RSU)으로서 UTU 5 모델의 경우 RSU에 장착된 액체가 채워진 타이어는 9개의 초음파센서를 포함하고 있으며 각 초음파 센서는 서로 다른 초음파 빔 입사각을 가지고 레일 내부의 결함을 검사한다.

□ 일본 Tokimec Rail Techno 사에서는 초음파를 적용한 차량형 (URIC), 보행형(PRD-100), 휴대형 (SM-2R) 검사 시스템을 개발하여 레일 내부의 결함을 검사한다.

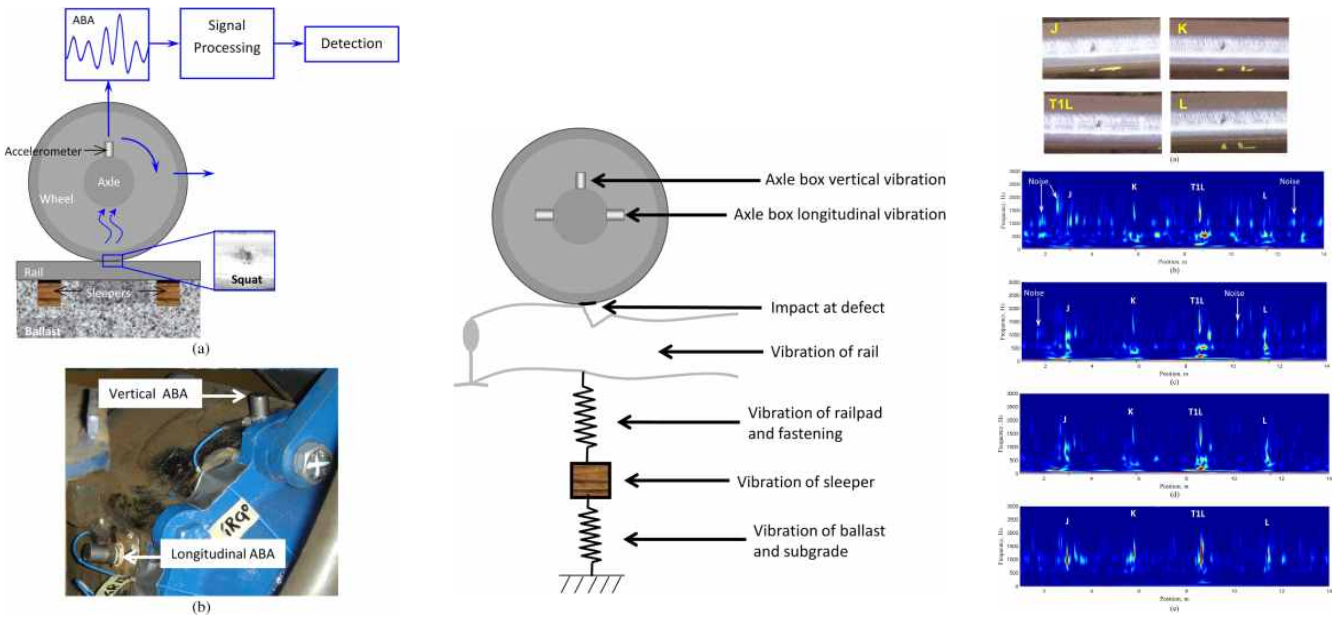
□ 미국의 전류형 고속카메라 방식을 이용한 이음매 감시 시스템(ENSCO INC)은 카운터, 타이머, 카메라, 인코더, 조명, 트리거 생성기, 프레임 캡처기, 이미지 처리장치로 구성되며 부가적으로 GPS를 설치하여 위치보정을 하는 방식이다.



<그림 1.7> 미국의 이음매 감시 시스템

□ 도로구조 및 궤도강성을 측정하는 대표적인 장비로서는 FWD (Falling Weight Deflectometer)를 들 수 있다. FWD는 고무 완충장치에 일정높이에서 낙하추를 떨어트려 이로 인한 충격하중을 측정하고 일정 이격거리 상에 설치된 지오폰(geophone)으로부터 표면파를 측정한 후 이를 역해석 하여 궤도 하부 또는 도포포장 하부의 강성을 추정해 내는 장치이나 궤도하부 강성 측정장치로서는 아직 개발중으로 해석체계가 미완성 상태이다.

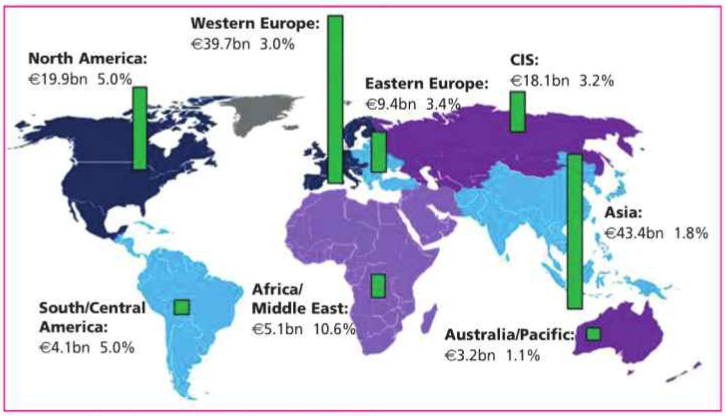
□ 네덜란드 TU delft 대학의 Zili Li 교수팀에서는 철도차량에 축상가속도(ABA, Axle Box Acceleration)를 부착하고 차량 주행 시 측정되는 가속도 데이터를 이용하여 레일에 발생한 결함이나, 이음매 레일의 위치를 모니터링하는 시스템을 제시하였다. 하지만 본 시스템의 경우도 측정하는 범위가 레일결함으로 국한되어 있어, 데이터 취득 후 전반적인 궤도 상태를 파악하는 부분에서는 한계가 있을 것으로 판단된다.



<그림 1.8> Zili Li 교수팀 철도차량 차상가속도 설치를 통한 궤도상태 파악 시스템 구성

1.4 관련기술 시장현황

□ SCI Verkehr는 현재 143조 유로에 달하는 철도기술 제품 세계 시장은 그 중 절반이 판매 후 시장(after-sales)에서 생산되며, 연간 3.3%씩 성장하여 2016년에는 168조 유로에 달할 것으로 예상한다.



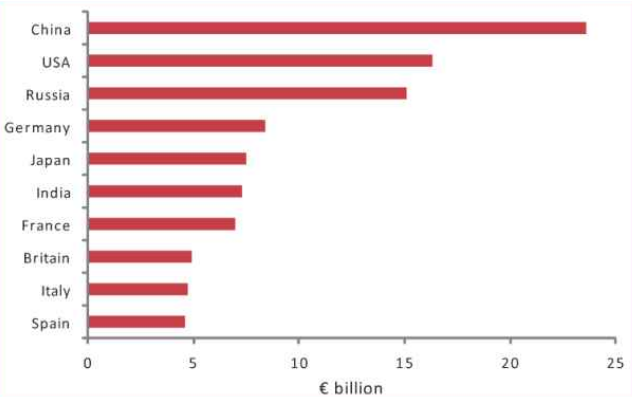
<그림 1.9> 2016년까지의 예측성장율

□ 궤도분야의 유지보수에 투입되는 장비를 제작하고 있는 회사는 전 세계적으로 약 60여개에 이르며, 이 중 대부분이 유럽에 집중되어 있다.

□ 현재 시장규모는 중국으로 대표되는 아시아가 가장 크나, 2016년까지의 성장예측율 측면에서는 상대적으로 철도기반 조성이 열악한 아프리카 및 중동이 높은 성장이 예상되는 것으로 분석되었다.

<표 1.3> 대륙별 철도 시장 예측성장 규모

지역	현재(유로)	예측성장(%)	지역	현재(유로)	예측성장(%)
북미	19.9조	5%	중남미	4.1조	5%
서유럽	39.7조	3%	아프리카/중동	5.1조	10.6%
동유럽	9.4조	3.4%	독립국가연합	18.1조	3.2%
아시아	43.4조	1.8%	호주/태평양	3.2조	1.1%



<그림 1.10> 철도 시장규모 10위원 국가

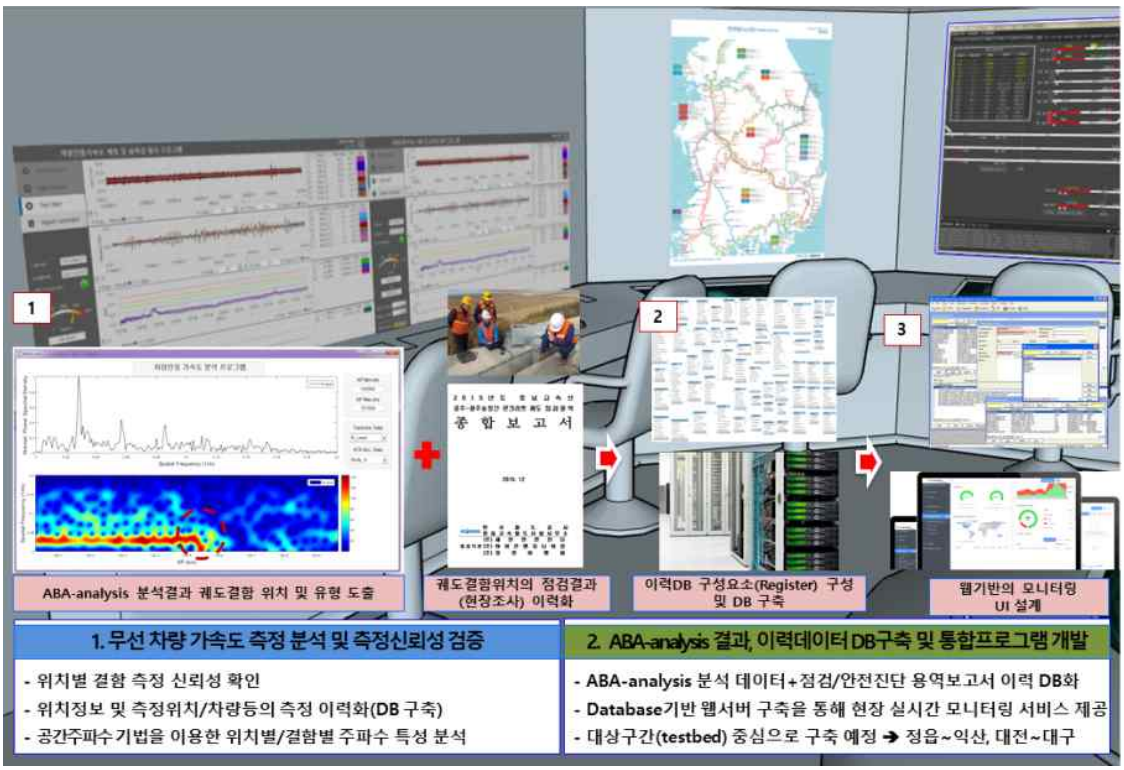
□ 현재 2010년~2012년의 궤도시스템 분야의 제품 및 서비스에 대한 전 세계적 시장은 약 346억 가량이었으며 2015~2017년까지 약 418억 유로로 연간 약 4%의 성장률을 기록할 것으로 예상된다.

□ 현재 국내·외 시장에서 사용되는 시스템은 정확도가 떨어지고 도상분석 시스템은 측정 장비와 연계되어 사용되는 관계로 광범위하게 사용되고 있지 않고 있음. 본 과제에서 독자적으로 개발되는 시스템은 많은 여러 측정 장비와 연계가 가능하여 전 세계적으로 확산이 가능하다.

1.5. 연구개발과제의 최종 목표

구분	내용 및 설정근거
최종 목표	ICT기술을 활용한 350km/h급 궤도결함 고속 진단 및 실시간 분석 시스템 개발
세부 목표	1. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 개발 2. Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA-analysis) 개발

<그림 1.11> 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS[1])) 개발



<그림 1.12> Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA-analysis[2]))

1) Wireless Accelerometer-Portable Total Measurement System
2) Axle Box Acceleration-Realtime Analysis System

1.6. 연구개발과제의 년차별 목표

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 기초 설계개념(안) 제시	공간주파수/Wavelet 기법 활용 궤도결함 분석로직				10
		matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 초기모형 설계(안)				10
	무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) 기초 설계개념(안) 제시	무선진동가속도 성능검증				10
		무선 차상진동가속도 측정시스템 정확성 검증				10
2년차 (2020)	Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 파일럿 모형	matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 파일럿 모형	(네덜란드/TU Delft) 인식률 90% 정확도 10m 이내 결함일치률 70%이상	인식률 90% 정확도 10m 이내 결함일치률 70%이상	국외 최고수준 동일 기술 확보	10
	무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) 파일럿 모형	차축/대차 무선진동가속도 포터블 측정장비 파일럿 모형		4,000Hz		10
3년차 (2021)	Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작	클라우드-DB기반 ABA-analysis 분석프로그램	(네덜란드/TU Delft) 인식률 90% 정확도 10m 이내 결함 일치률 70%이상 응답정확성 90% 이상	인식률 90% 정확도 10m 이내 결함일치률 70%이상 응답정확서 90% 이상	국외 최고수준 동일 기술 확보	20
	무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) 신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작	무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS)		4,000Hz		20

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2.1. 1차년도

2.1.1. Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA-analysis) 기초 설계개념(안) 제시(수행기관 : 주식회사 지에스지)

1) 현장계측 자료 및 궤도결함 유형분석 자료 수집

가. 현장계측 개소 및 방법

□ 레일은 운행속도, 차체하중, 사행동 등에 의해 불규칙적인 반복하중을 받고 있으며, 자갈도상의 다짐정도 및 뜬침목, 궤도지지강성, 차륜플렛(wheel flat) 등에 의해 충격하중이 발생함으로써 예측이 매우 어렵기 때문에 실제 사용조건에 대한 현장계측이 필요하다. 또한, 레일용접부는 용접부와 모재부 사이의 열영향부에서 경도차이로 인한 요철이 발생하여 레일저부에서 발생하는 휨응력을 증가시킨다.

□ 따라서 본 연구에서는 국내 일반철도 레일의 휨 피로수명을 평가하기 위해 임의의 요철량에 따른 하중이력 및 변동응력을 계측하고자, 레일표면요철이 발생한 구간에 대해 현장답사 후 계측개소를 선정하였다.

□ 본 연구에서는 다음과 같은 항목을 고려하여 현장계측개소를 선정하였으며, 선정된 현장계측개소 현황은 <표 2.1>과 같다.

□ 레일표면요철의 크기 및 열차속도에 따른 동적윤중 및 레일저부 휨응력 증가량 계측개소 선정조건

· 레일표면요철의 위치 : 침목과 침목사이 중앙부

· 레일표면요철의 크기 : 임의의 요철깊이(mm)

· 레일표면요철의 크기별 동시 계측이 가능한 개소

□ 현장계측은 국내 일반철도구간 중 대표적인 경부선, 호남선, 경의선, 충북선, 중앙선에 대해서 실시하였다. 레일표면요철 계측은 누적통과톤수에 따른 레일표면요철성장률을 확인하기 위해 실시하였으며, 궤도동적응답은 레일표면요철량에 따른 궤도동적응답의 변화를 확인하기 위해 실시하였다. <그림 2.1>는 현장계측개소 전경을 나타낸다.

<표 2.1> 현장계측개소

궤도형식	구간	누적통과톤수 (100MGT)	운행열차	열차속도 (km/h)	계측항목
자갈궤도 (50kg 레일 BM/TW/ GPW)	경부선 (가산～독산)	4.87	무궁화, 화물	20～70	요철계측(30회), 동적응답계측
	충북선 (주덕～달천)	1.42	무궁화, 화물	80～100	요철계측(30회), 동적응답계측
자갈궤도 (60kg 레일 BM/TW/ GPW)	경부선 (가산～독산)	0.12	KTX, 새마을, 무궁화	30～100	요철계측(25회), 동적응답계측
	경의선 (금릉～금촌)	0.47	전동차, 화물	20～70	요철계측(25회), 동적응답계측
	중앙선 (제천～고명)	0.33	무궁화, 화물	50～130	요철계측(25회), 동적응답계측
		0.61			

경의선(금릉-금촌)

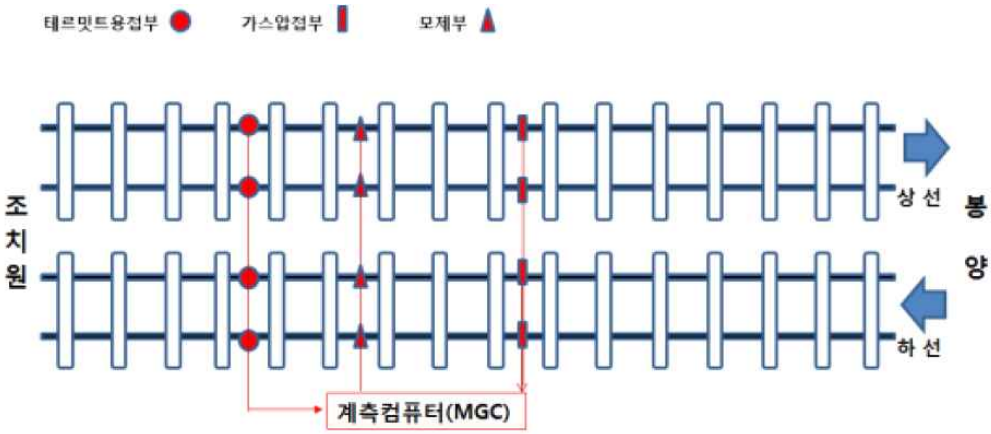
경부선(가산-독산)

충북선(주덕-달천)

중앙선(제천-고명)

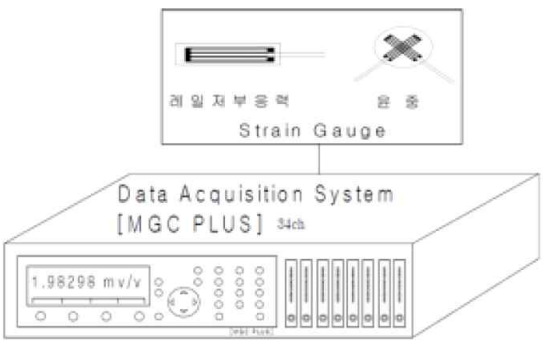
<그림 2.1> 현장계측개소 전경

□ 궤도의 동적응답계측은 스트레인게이지를 이용하여 동적윤중 및 레일저부변형율을 계측하고 증폭기를 통해 증폭된 신호들을 MGC-PLUS(Data Acquisition System)에 저장한후, 오리진TM 프로그램을 이용하여 분석하였다. 계측항목별 센서 배치는 임의의 레일표면요철에 따른 궤도동적응답을 계측하기 위해 총 12개소에서 계측하였다. <그림 2.2>는 센서 설치도이다.



<그림 2.2> 센서설치도

□ 현장계측시스템의 개략적인 구성은 <그림 2.3>과 같다. 각 계측개소에 대해 스트레인게이지 1개, 윤중게이지 1개로 총 24개의 센서를 통해 데이터를 수집하였다. <표 2.2>는 계측에 사용된 장비의 주요 사양을 나타낸다.



<그림 2.3> 현장계측시스템 구성

<표 2.2> 주요 계측장비 사양

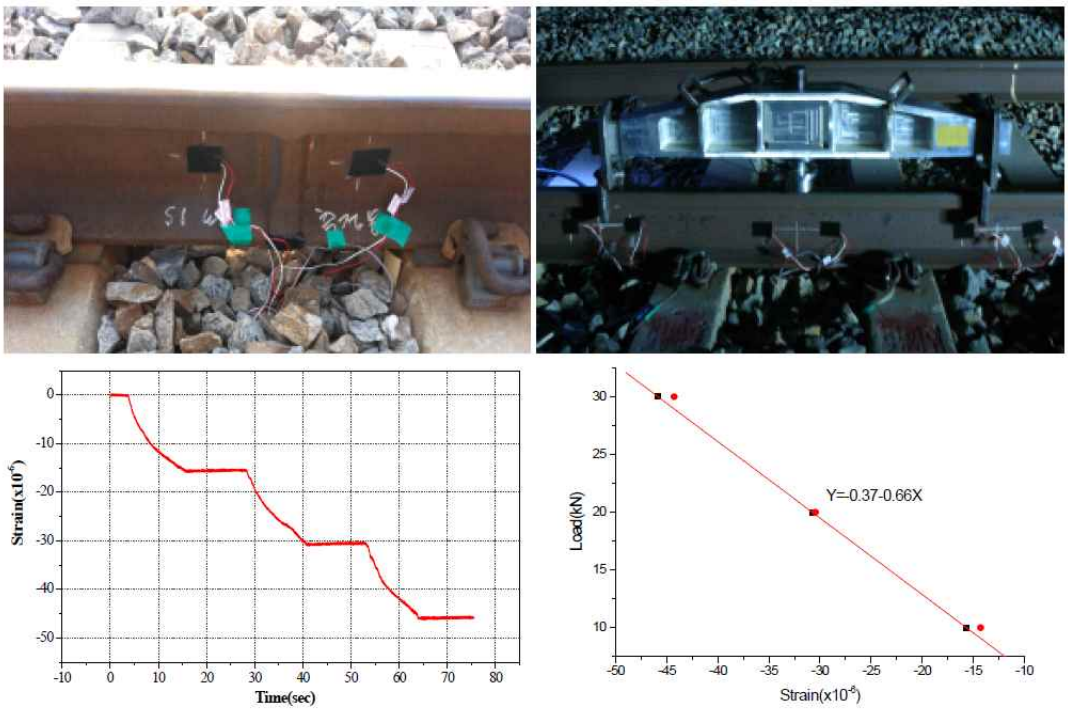
장 비 명	용 도	모델명	주 요 사 양
Data Acquisition System	신호 저장	MGC-Plus	• Sampling rate : 100～4,000Hz • 32-Channel
Dynamic Strain Amplifier	신호증폭 및 센서구동	SC32	• 32-Channel • Sensitivity : ± 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500mV, 1, 2, 5 & 10V • Output : ± 10V (Peak to Peak) single ended
		AP815	• 32-Channel • Sensitivity : 0～1,000mV
Strain Gauge	계측센서		• Resistance : 120 Ω

나. 현장계측 항목

① 동적윤중

□ 윤중은 침목중심에서 각각 10cm 떨어진 위치에 레일복부의 중립축에 45°의 각도를 가지고 8방향으로 스트레인게이지를 부착하여 계측하며, 게이지 회로를 결선함으로써 단면휨의 영향을 배제한 전단변형을 계측할 수 있다. 이러한 전단변형을 동하중 상태의 윤중으로 환산하여 산출한다. 또한, 내력형의 윤중검정기를 이용하여 0tonf에서 4tonf(40kN)까지 재하한 정하중 상태의 변형률을 계측하여 현장계측값에 적용함으로써 이를 검정(Calibration)한다.

□ 모든 윤중은 열차가 궤도상을 주행할 때 얻어지는 동적응답의 결과로서 계측하였으며 윤중게이지 부착전경은 <그림 2.4>와 같다. 레일에 부착한 스트레인게이지를 통하여 직접계측한 값은 변형률데이터로써 전단변형과 비례하여 발생한다. 전단변형은 역시 윤중과 비례하여 발생하므로 데이터 수집장비(Data Acquisition System)를 통하여 얻은 변형률을 실제 작용하는 윤중의 절대량으로 환산하기 위하여 윤중 검정(Calibration)을 수행하고, 이때 얻어진 정적윤중 데이터를 이용하여 선형회귀분석(Linear Regression)에 따른 환산윤중을 도출함으로써 동적 윤중값(tonf)을 산출한다. 윤중게이지 부착전경은 다음과 같다.



<그림 2.4> 윤중게이지 부착 및 윤중 검정

② 레일휨응력

□ 실 열차하중에 대한 레일휨응력을 계측하기 위해 <그림 2.5>와 같이 변형률게이지를 휨응력이 가장 크게 발생하는 침목사이 중앙의 레일저부에 부착하였다.

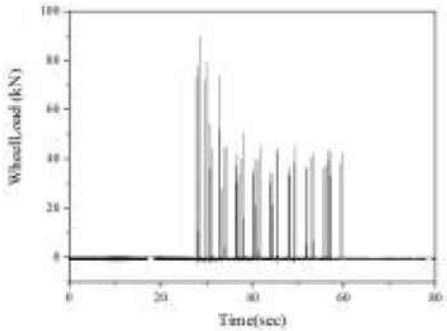
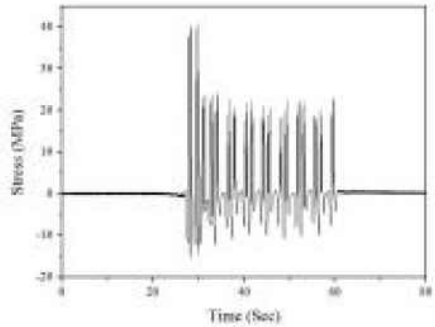
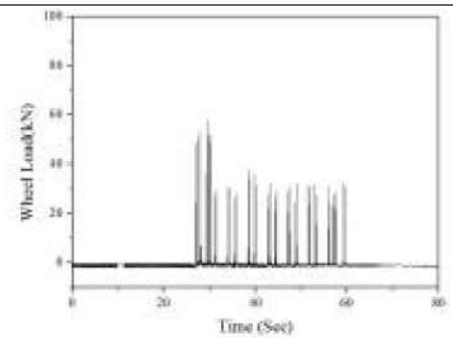
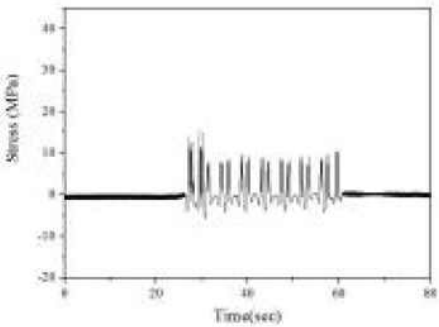
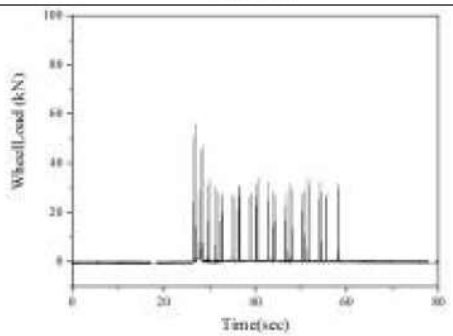
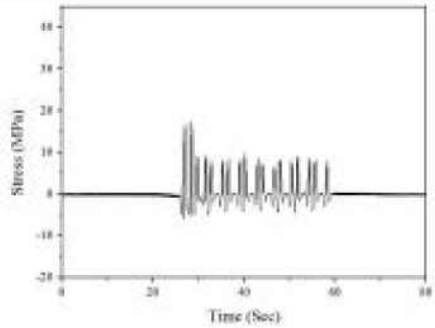
③ 레일표면요철

□ 레일표면요철 계측은 <그림 2.6>과 같은 레일요철계측기(Railprof)를 이용하여 용접부를 중심으로 총 1m에 대한 요철량을 계측하였다.

<그림 2.5> 레일휨응력 센서 설치 전경 <그림 2.6> 레일표면요철 계측 전경

④ 직선부 현장계측 결과

□ <그림 2.7>은 현장계측한 동적윤중과 레일휨응력 계측결과 예시를 나타낸다.

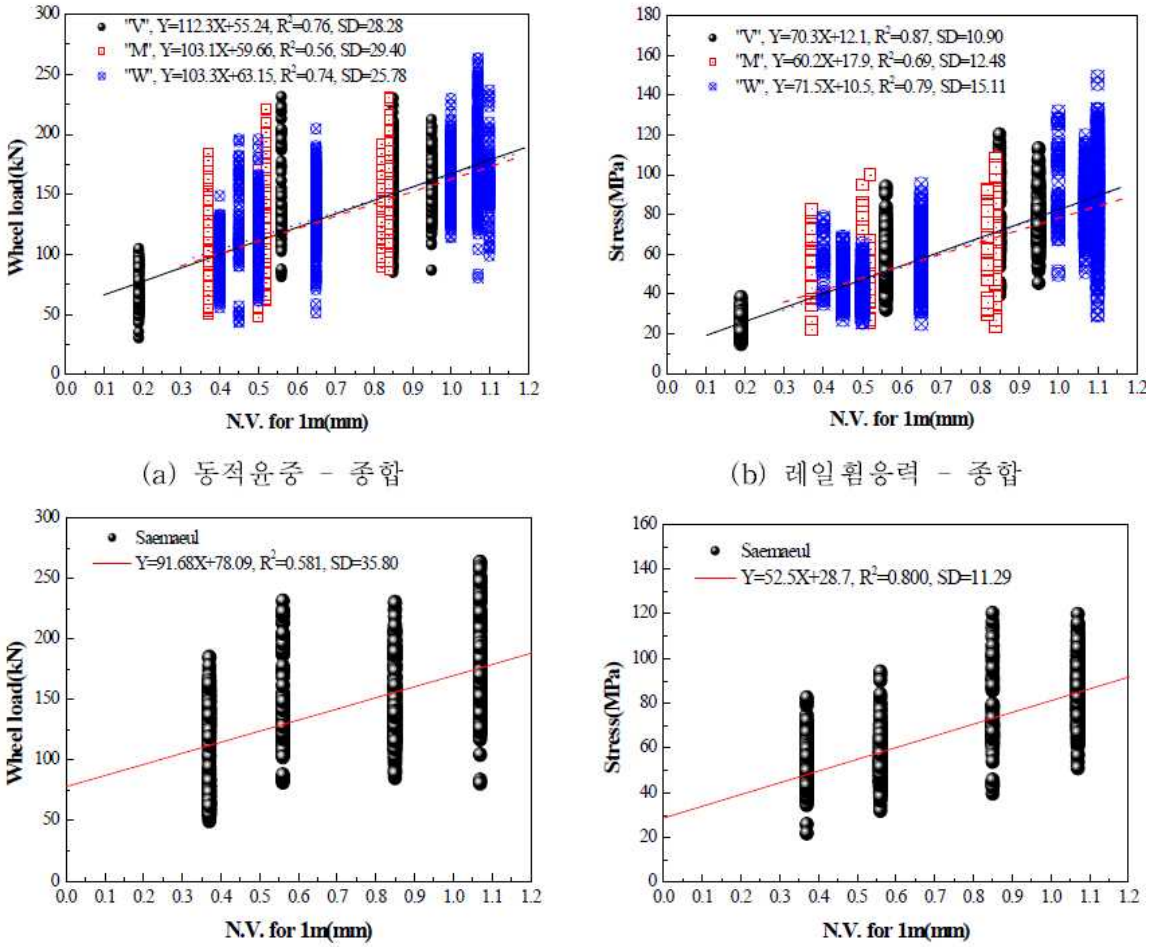
	동적윤중	레일휨응력
테르밋 용접부		
가스압접부		
모재부		

<그림 2.7> 궤도동적응답 계측결과 예(무궁화)

⑤ 일반철도 직선부 레일요철량에 따른 궤도동적응답 분석

□ <그림 2.8>는 3가지 요철유형에 대하여 요철깊이에 따른 동적윤중 및 레일휨응력을 분석한 결과를 나타낸다. <그림 2.8>는 일반철도를 주행하는 전동차, 새마을, 무궁화, 화물, KTX열차를 종합하여 나타낸 것으로 열차속도, 축중, 궤도상태 등이 서로 상이하기 때문에 동적윤중 및 레일휨응력 계측데이터가 넓은 범위에 분포되어 있는 것을 알 수 있다.

□ 하지만 레일표면요철량과 궤도동적응답과의 상관관계를 분석하기 위한 선형회귀분석결과 레일표면요철깊이가 클수록 동적윤중과 레일휨응력이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 동적윤중 및 레일휨응력의 최대값은 용접부를 중심으로 한 넓은 범위의 장파장 요철보다는 용접부 직상부에 발생하는 단파장 요철의 깊이에 직접적으로 영향을 받음을 알 수 있다. 따라서 레일용접부의 요철관리는 용접부 직상부에서 발생하는 단파장 요철을 적정 수준 이하로 관리하는 것이 중요한 것을 알 수 있다.



(a) 동적윤중 - 종합 (b) 레일휨응력 - 종합

(c) 동적윤중 - 새마을호 (d) 레일휨응력 - 새마을호

<그림 2.8> 레일표면요철량과 궤도동적응답의 상관관계

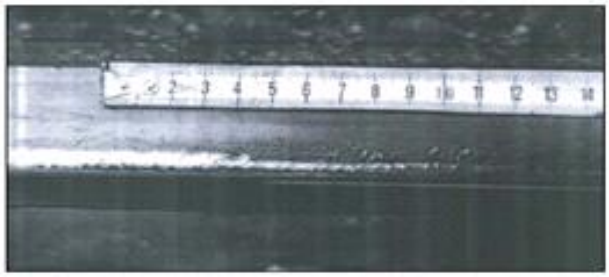
□ 현장계측결과를 바탕으로 한 레일표면요철량과 궤도동적응답간의 상관관계 분석결과, 레일표면요철량은 동적윤중 및 레일휨응력을 증가시키는 것을 알 수 있다. 하지만 현장계측에서 발생하는 다양한 변수들로 인해 상관계수가 낮아, 레일요철 및 뜬침목, 열차속도에 대한 정량적인 평가를 위해 차량/궤도 상호작용 해석을 통해 레일표면요철량과 궤도동적응답의 상관관계를 도출하고자 하였다.

다. 레일 결함의 유형과 원인

① 헤드체크(Head Checks)

□ 0.5~7mm 간격으로 분리된 게이지 코너에서의 미세한 표면 균열 그룹으로 열차속도, 캔트부족, 레일요철에 따른 차륜과의 높은 접촉응력에 의해 발생한다. 곡선반경이 1,500m이하 높은 쪽 레일의 게이지 코너에서 주로 발생하고 용접부의 미소한 단면변화 개소, 분기기 가동 노오스부에서도 발생한다.

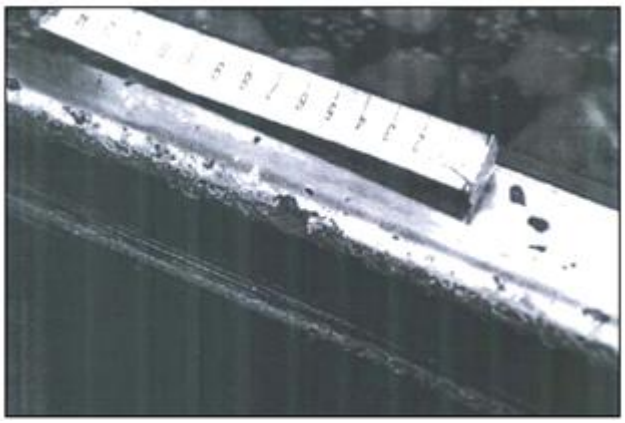
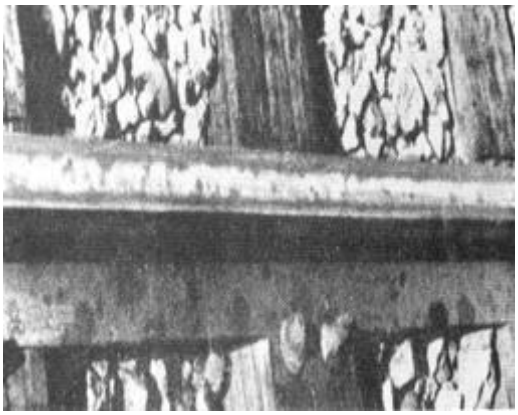
□ 레일표면 결함으로 길이 방향의 30~60°의 각으로 발생, 표면 박리 박락으로 진행하며, 레일 절손을 유발한다. 헤드체크는 레일연마로 예방 및 제거하며, 심각한 경우 레일 교환 필요하다.



<그림 2.9> 헤드체크(Head Checks) 발생 사진

② 스폴링(Spalling)

□ 표면에서 시작된 균열이 레일 두부에서 다른 유사한 얕은 깊이의 균열에 의해 횡단되었을 때 레일 금속 조각이 얕게 떨어져 나가는 결함이다. 스폴링은 추운 기후에서 좀 더 자주 발생하고 주로 열처리 레일에서 형성된다. 레일 연마를 조속히 시행하고, 시기를 놓쳤을 경우 교환하여야 한다.

<그림 2.10> 스폴링(Spalling) 발생 사진

③ 스쿼트(Squats)

□ 스쿼트는 쉐링과는 달리 직선구간에서 레일 두부 중앙부에서 발생하며, 구름접촉피로(RCF,rolling contact fatigue)에 의해 형성되는 표면에서 시작되는 결함이다. 여기에 차륜 주행면의 좁은 구간에 차륜의 힘이 쏠리므로 접촉 피로에 의해 발생하며, 초기에는 마이크로 정도의 균열이 생겨 점점 균열이 커진다.

□ 스쿼트는 두개의 균열(선두 균열과 후방균열)에 의해 형성되며 선두균열은 차량 주행방향으로 진행하며 후방균열은 선두균열보다 빠르게 진전 한다. 초기단계에서 스쿼트는 중앙부에서 움푹한 것처럼 보이고 만약 적절한 조치가 초기에 수행되지 않으면 후방균열이 확장하여 레일 복부 쪽 하방으로 성장하게 되며, 3~5mm 깊이에 도달하면 레일절손으로 진행된다.

□ 균열이 점진적으로 진전되고 주행면 아래에서 수평으로 확장된 결과이다. 이 결함은 연마에 의해서 예방할 수 있으며 용접부 및 파상마모 구간, 육성용접부에서 빈번히 관찰된다.

<그림 2.11> 스쿼트(Squats) 발생 사진

2) 철도 차상가속도계 운영상의 사용자 요구사항 도출

가. 사용자 요구사항 및 설문조사 방안 수립

① 설문조사 방법

□ 본 연구과제의 최종 성과물인 「ICT기술을 활용한 350km/h급 궤도결함 고속 진단 및 실시간 분석 시스템」 개발을 위해 실사용자 및 철도 현장 유지관리 담당기관의 요구사항을 도출하기 위해 진행하였다. 이를 위해, 사용자 입장에서의 우선순위를 도출하여 합리적이고 효율적인 개발이 가능하도록 하였다.

② AHP기법의 개요

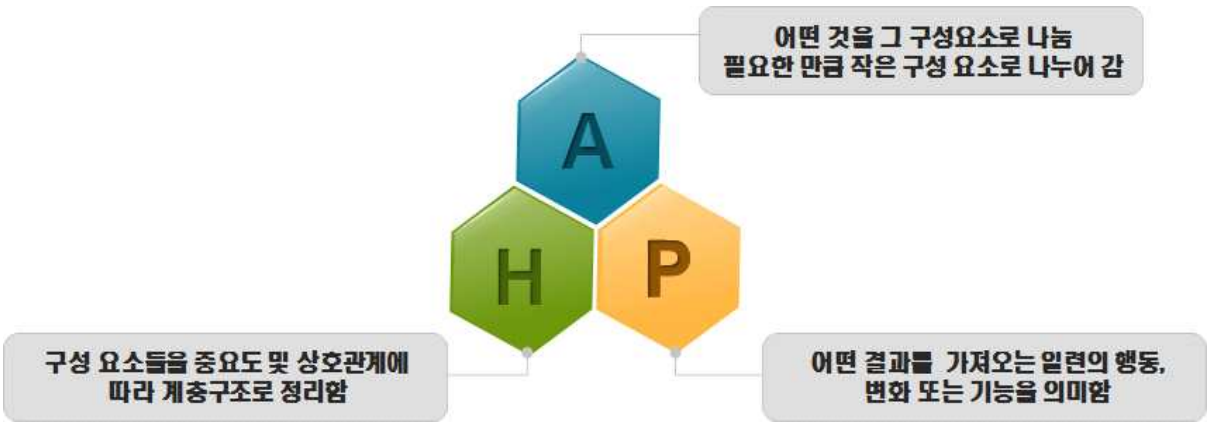
□ 계층분석적 의사결정방법(AHP)은 의사 결정 문제를 계층적으로 표현하고 의사결정자의 판단에 기초해서 대안들의 우선순위를 부여하는 다기준 의사 결정 모델이라고 할 수 있다. AHP는 어떤 문제를 최상위 수준으로부터 점차적 중요도가 낮은 하위수준의 문제(목표)로 계층구조를 만들고 계층구조 내 각 요소에 대한 상대적인 중요도를 판단할 수 있는 쌍대비교행렬을 구성함으로써 정량적 요소는 물론 정성적인 요소를 동시에 고려할 수 있는 방법이다.

③ AHP기법의 개념

□ 분석적 계층화 과정(AHP)은 Tomas L. Saaty(1980)에 의해 제안된 다수 대안에 대한 다면적 평가 기준을 통한 의사결정 방법이다. 이 기법은 인간이 의사결정을 할 때 인간의 뇌가 단계적으로 또는 계층제적 분석과정을 활용한다는 사실에 착안하여 개발되었으며, 모형을 이용하여 상대적 중요도 혹은 선호도를 체계적으로 비율척도(ratio scale)화하여 정량적인 형태의 결과를 얻을 수 있다는 점에서 그 유용성을 인정받고 있다.

□ 또한 다수의 평가기준을 계층화하여 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 중요도를 산출하는 분석방법으로 합리적으로 우선순위를 도출하고 논리적 일관성을 검증할 수 있는 장점이 있으며, 객관적/정량적 요소 뿐 아니라 주관적/정성적인 요소와 같은 질적 요소를 의사결정과정에 통합하여 현실적인 의사결정이 가능케 한다.

□ AHP는 최종목표에 대한 주요 구성요소를 나누어 각 구성요소 간의 중요도 및 상호관계에 대해 계층구조로 정리하고, 이로써 상대적 중요도를 평가하여 가장 적절한 대안을 찾는다는 의미를 갖는다.



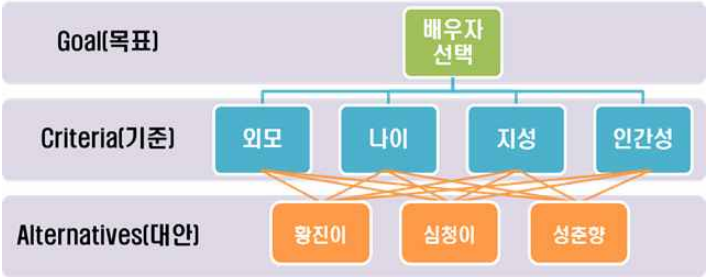
<그림 2.12> AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층적 분석 기법)의 의미

④ AHP기법의 적용절차

□ 최적의 대안을 선정하는 방법은 쌍대비교를 통해 가중치를 선정한 후, 최하위의 계급에서 대안으로 적용하여 결정한다. 일반적인 AHP기법을 통한 최적안 선정과정은 다음과 같다.

<그림 2.13> AHP 기법 적용 절차

1) 문제의 계층구조화 : 문제를 정확히 정의하여 문제의 요구사항을 명확히 한다. 또한, 문제와 관련된 모든 요소들을 조망하여 최고단계인 문제의 목표에서부터 중간 수준의 평가 항목 선정 및 배치를 거쳐 최하위 수준인 대안들의 비교까지를 포괄하는 계층구조를 구성한다.



<그림 2.14> 배우자 선택을 위한 외모(기준)에 대한 평가(예시)

2) 계층별 요소간 이원비교 : 평가기준 간의 상대적 중요도, 각 평가기준 하에서 대안들의 상대적 선호도 등을 도출하기 위해 사전에 수행하는 이원비교단계이다. 평가기준 항목 간 상대적 중요도를 1:1로 평가한다.

<그림 2.15> 나이(기준)에 대한 하위기준 중요도 평가(예시)

3) 평가기준 상대적중요도 도출 : 이원비교행렬을 정규화 행렬로 변환하여 상대적 선호도를 도출한다.

4) 판단의 일관성 측정(C.I. / C.R.), C.I.(Consistency Index)는 평가자가 얼마나 일관성을 가지고 응답을 했는지를 보여주는 지표이며, 응답의 논리적 모순을 검증하여 준다.

- 일관성 없는 경우 : A > B 이고 B > C이면 A < C - 일관성 높은 경우 : A > 2B 이고 B > 3C이면 A > 6C

□ 판단의 일관성은 일관성 비율(Consistency Ratio, C.R.)을 계산하여 그 값이 작을수록 판단의 일관성이 크다고 볼 수 있으며, C.R.이 10%(0.1)보다 작은 경우 응답자가 상당히 일관성이 있게 이원비교를 수행한 것으로 판단한다.

$$-C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$, λ : 일관성비율 (가중치곱/가중치), n : 비교요소(기준)의 수

$$- \ C.R. = \frac{C.I.}{RI}$$, RI : 무작위지수(Random Index)

<표 2.3> 무작위지수(RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RCI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

5) 평가기준 상대적 중요도(가중치) 계산 : 평가기준들 간의 이원비교를 수행한다.

6) 제품 개발 시 중요항목 선정 : 각 대안의 전반적 선호도는 각 평가기준 하에서 해당 대안의 상대적 선호도를 각 평가기준의 가중치를 곱해 모두 더한 가중합계로 계산되는데, 이 가중합계의 크기로 우선순위를 구할 수 있다.

⑤ AHP 평가 방법

□ AHP의 적용은 각 요소들의 중요도(선호도)를 측정하기 위해 각 이원 비교로부터 얻어지는 행렬의 특성벡터(eigen vector)와 특성치(eigen value)를 구한다. 이 때 이원비교에 사용되는 척도는 Miller(1956)의 '인간은 7(±2)개까지의 대상을 혼동 없이 동시에 비교 가능하다'는 실험적 결론에 근거하여 9점척도법을 적용하였다. 이들 숫자는 일상의 언어적 표현과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 정리하면 아래의 표와 같다(Saaty and Vargas, 1982).

<표 2.4> 이원비교 시 9점척도 표현

척도	표현(영어)	표현(한글)
1	Equal	동등
2	between Equal and Moderate	등등과 약간 사이
3	Moderate	약간
4	between Moderate and Strong	약간과 많이 사이
5	Strong	많이
6	between Strong and Very Strong	많이와 매우 많이 사이
7	Very Strong	매우 많이
8	between Very Strong and Extreme	매우 많이와 극히 사이
9	Extreme	극히

예시) **항목 A**가 **항목 B**보다 <u>**매우 많이 중요**</u>하다고 판단되는 경우

A	← A가 더 중요함								동등	B가 더 중요함 →								B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A			√															B

항목 B가 **항목 A**보다 <u>**약간 중요**</u>하다고 판단되는 경우

A	← A가 더 중요함								동등	B가 더 중요함 →								B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A											√							B

항목 A와 **항목 B**가 <u>**동등**</u>하다고 판단되는 경우

A	← A가 더 중요함								동등	B가 더 중요함 →								B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A									√									B

<그림 2.16> 9점척도법 적용 예시

⑥ 평가항목 및 계층설정

□ AHP 적용절차의 첫 단계로 우선 평가하고자 하는 문제와 관련된 항목을 설정하고 평가항목에 대한 기준을 확실히 규정하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 개발 장비 개발에 대한 각각의 최종목표에 맞는 구성요소 4가지를 1단계(기준) 모형으로 설정하였고, 2단계(하위기준) 모형을 총 12가지 기준으로 세분화하였다.

□ 먼저 장치 및 장비를 개발하는데 있어서 가장 중요하게 구성되는 요소는 기술성, 경제성, 내구성, 유지관리성, 사용성 등으로 나눌 수 있다. 기술성의 경우 각 개발 형식에 따라 측정능력의 정도, 데이터 저장능력, 작동의 편리성, 분석처리 능력 등으로 요소를 압축할 수 있다. 경제성의 경우 초기제작비용, 제작으로 인해 절감되는 비용, 유지관리비용 등으로 나누어 볼 수 있으며, 내구성의 경우 진동에 대한 저항성, 기상의 영향을 받지 않는 방수성, 내열성 등으로 나누어 볼 수 있다. 또한 유지관리성은 장비가 고장났을 경우 업체의 A/S대체 능력, 필요한 부품을 쉽게 조달받을 수 있는 부품조달력 등으로 나눌 수 있으며, 사용성은 사용자와 제작자의 인터페이스, 현장에서의 용이성, 사용 편리성 등으로 나눌 수 있다.

⑦ 설문조사를 통한 궤도결함 고속진단 요구사항 도출

□ 철도 차상가속도계 운영상의 사용자 요구사항 도출을 위해 호남고속선과 경부고속선 운영기관 대상으로 사용자 요구사항 회의는 호남고속선 관할 사업소인 정읍고속철도시설사무소와 경부고속선 관할 사업소인 경주고속철도시설사무소에서 각각 한 차례씩 개최하였다.

□ 연구책임자의 연구의 목적과 개요를 설명한 후 질의응답을 하는 형식으로 진행이 되었으며, 경주고속철도시설사무소의 토목 및 궤도 담당자는 자유롭게 의견 및 요청사항을 제시하였으며, 그 내용은 아래와 같다.

나. 표본 및 자료수집

□ 본 연구를 위한 설문조사는 장치 및 장비의 개발단계에 앞서 사용자 입장에서의 우선순위를 도출하는 것이 목표이므로 본 연구 성과물을 사용하게 될 지역본부 사무소 직원 및 기술원 등을 주 대상으로 직접 방문하여 설문조사가 진행되었다. 설문조사 개요는 아래와 같다.

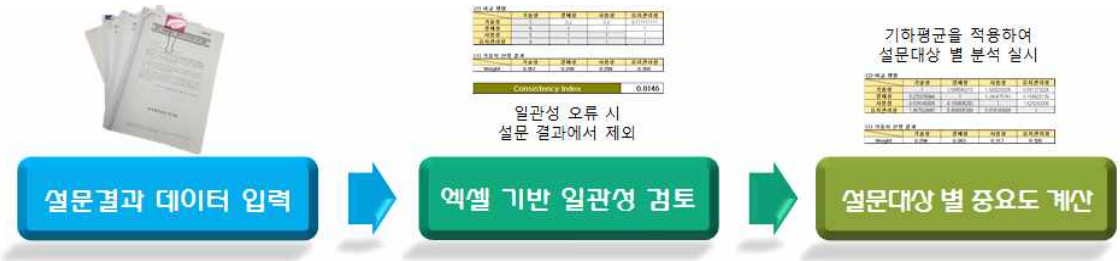
1) 총 설문 인원 : 총 48명

2) 설문대상 : 시설장비사무소직원, 경주고속철도시설사무소 토목 및 궤도 담당직원, 한국철도공사 연구원 및 기술단, 정읍고속철도시설사무소 토목 및 궤도 담당 직원

3) 설문 문항 : 총 54문항(9점척도법에 의한 1:1 쌍대비교 문항)

5) 소요 시간 : 약 15~20분/건

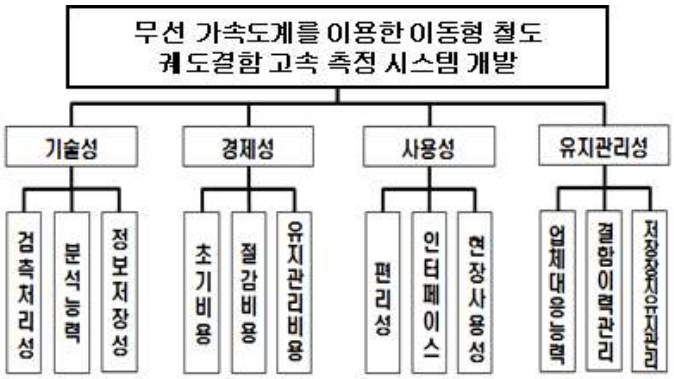
6) 분석 방법 : excel 기반의 프로그램을 통한 일관성 및 중요도 계산



<그림 2.17> AHP 분석 방법

다. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 개발에 관한 요구사항 조사

□ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템을 개발하는 것으로써 그 기준 및 하위 기준을 아래와 같이 구성하였다.



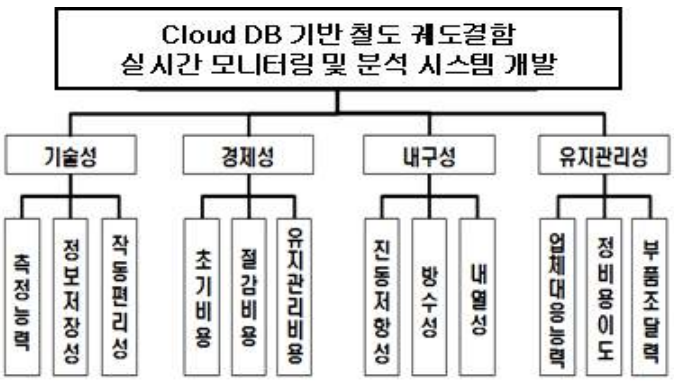
<그림 2.18> 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 개발 계측 모형

<표 2.5> 각 기준에 대한 하위 기준 설명

기 준	하위 기준	하위 기준 설명
1. 기술성	1.1 측정능력	카메라분해능, 고속카메라 등을 이용하여 균열 도상을 측정하는 능력 GPS 데이터 및 전주인식장치의 위치 정확성
	1.2 정보저장성	정보 저장량 및 정보 수집 장치 공간의 확보
	1.3 작동편리성	사용자가 쉽게 운용할 수 있는 작동의 편리성
2. 경제성	2.1 초기비용	장비의 최초 구매비, 초기 개발 비용
	2.2 절감비용	기술의 국산화 및 인력대체로 발생하는 절감 비용
	2.3 유지관리비용	장비 운영비, 부품 교체, 운영자 인건비 등의 비용
3. 내구성	3.1 진동저항성	차량탑재 시 주행 진동에 대한 저항성
	3.2 방수성	기상(눈, 비 등)에 대한 방수성
	3.3 내열성	혹한, 혹서에 대한 저항성
4. 유지관리성	4.1 업체대응능력	문제 발생 시 A/S 대응 및 기술적 자문
	4.2 정비용이도	정비 작업 시 사용자가 작업을 쉽게 수행
	4.3 부품조달력	필요한 부품 등을 쉽게 조달받는 서비스망 구축

라. Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA -analysis) 개발에 관한 요구사항 조사

□ 최종목표는 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템을 개발하는 것으로써 그 기준 및 하위기준을 아래와 같이 구성하였다.



<그림 2.19>무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 계측 모형

<표 2.6> 각 기준에 대한 하위 기준 설명

기 준	하위 기준	하위 기준 설명
1. 기술성	1.1 검측처리성	검측처리속도, 검측위치처리 등
	1.2 분석능력	균열검출률, 균열방향/폭 등 균열지수 산출, 균열 등급별 관리 등
	1.3 정보저장성	정보 저장량 및 정보 수집 장치 공간의 확보
2. 경제성	2.1 초기비용	라이센스 취득, 의존성 소프트웨어 구매, 초기개발비용
	2.2 절감비용	기술의 국산화 및 인력대체로 발생하는 절감 비용
	2.3 유지관리비용	장비 운영비, 부품 교체, 운영자 인건비 등의 비용
3. 사용성	3.1 편리성	균열 알고리즘 및 통합관리시스템 사용의 편리성 사용 매뉴얼 및 유지관리 지침서 제공
	3.2 인터페이스	관리자 및 사용자 중심의 사용자 인터페이스 사용자 피드백의 즉각적인 반영
	3.3 현장사용성	현장에서 통합관리시스템 접근 및 사용성
4. 유지관리성	4.1 업체대응능력	문제 발생 시 A/S 대응 및 기술적 자문
	4.2 결함이력관리	검측일을 기준으로 결함의 등급 표출 보수 및 미보수에 대한 분류 표출
	4.3 저장장치유지관리	데이터 저장장치 노후화에 대한 문제 해결

3) ABA-analysis 핵심요구사항 도출

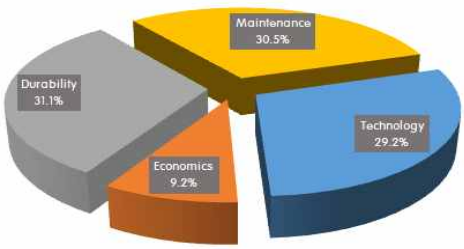
가. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 분석결과

① 1계층 평가 결과

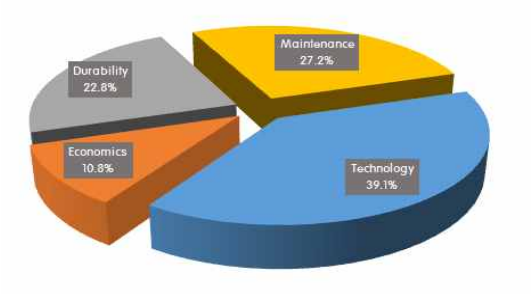
□ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS)에 있어 시설장비사무소 직원의 우선순위는 내구성(31.1%), 유지관리성(30.5%), 기술성(29.2%), 경제성(9.2%)로 나타났다. 실제 장비를 관리하는 관리자의 입장이므로, 장비의 내구성을 가장 중요한 항목으로 선정한 것이다.

□ 연구원 및 기술단 직원은 장비를 개발하여 실용화하고자 하는 입장이므로, 기술성(39.1%), 유지관리성(27.2%), 내구성(22.8%), 경제성(10.8%) 순으로 중요도를 평가하였다.

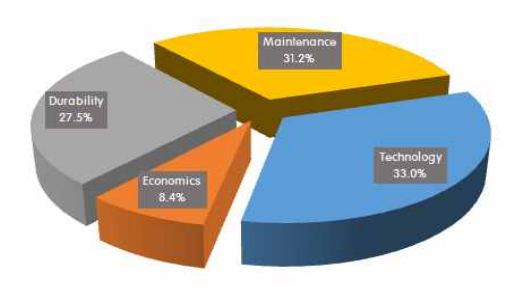
□ 정읍 및 경주고속철도시설사무소의 토목 및 궤도 담당직원은 실제 개발된 장비로부터 측정된 데이터를 관리하며 유지보수를 시행하는 입장으로써 기술성(33.0%), 유지관리성(31.2%), 내구성(27.5%), 경제성(8.4%) 순으로 중요도를 평가하였다.



<그림 2.20> 시설장비사무소 직원의 1계층 평가 결과 ①



<그림 2.21> 연구원 및 기술단 직원의 1계층 평가 결과 ①

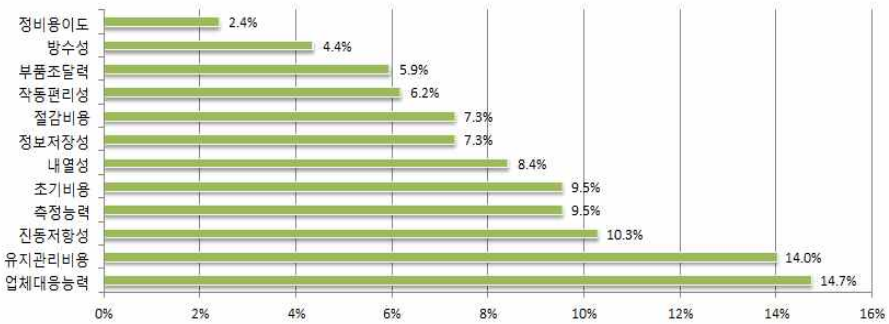


<그림 2.22> 경주 및 정읍 고속철도시설사무소 직원의 1계층 평가 결과 ①

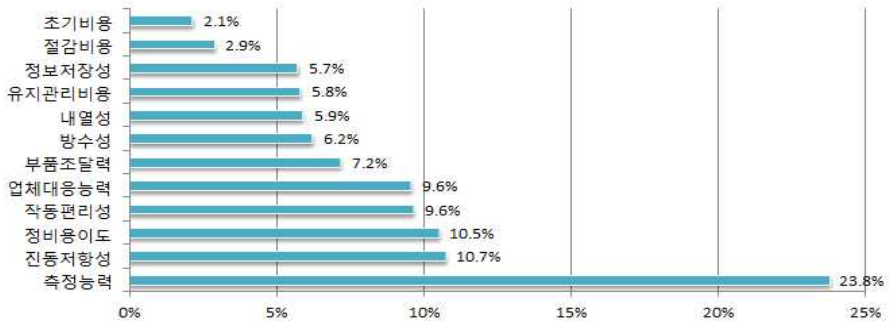
② 2계층 평가 결과

□ 12개의 하위기준 중 상위 3가지 항목으로 시설장비사무소 직원은 업체대응능력(14.7%), 유지관리비용(14.0%), 진동저항성(9.5%) 등의 우선순위를, 연구원 및 기술단 직원은 측정능력(23.8%), 진동저항성(10.7%), 정비용이도(10.5%) 등의 우선순위를, 정읍 및 경주고속철도시설사무소 토목 및 궤도담당 직원은 측정능력(14.5%), 진동저항성(14.5%), 작동편리성(12.6%) 순의 우선순위를 나타냈다.

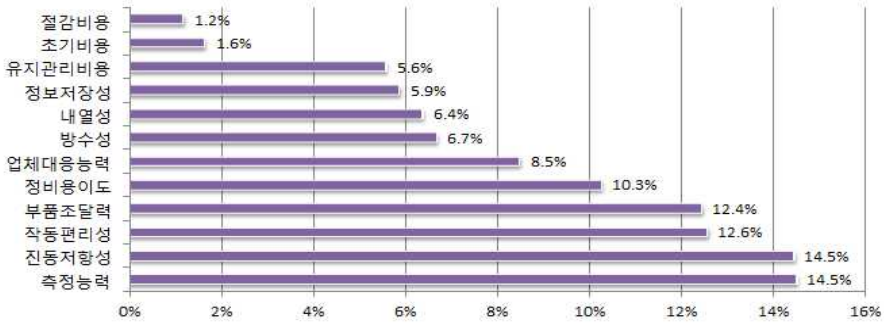
□ 여기서 시사점은 사용자 모두 진동저항성을 상위 우선순위 3위내로 뽑은 것인데, 이는 차량에 탑재되어 운용되는 검측 모듈로써 진동의 영향을 최소화하는 것을 중요하게 생각하고 있음을 의미한다.



<그림 2.23> 시설장비사무소 직원의 2계층 평가 결과 ①



<그림 2.24> 연구원 및 기술단 직원의 2계층 평가 결과 ①

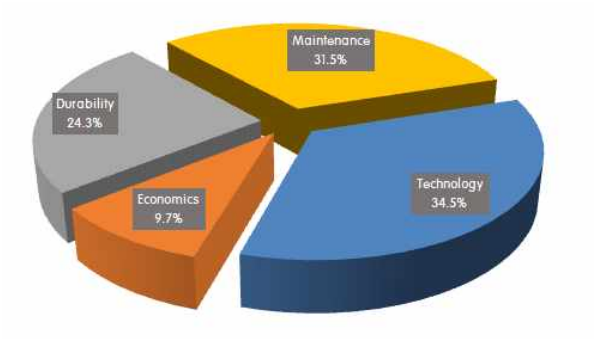


<그림 2.25> 정읍 및 경주고속철도시설사무소 직원의 2계층 평가 결과 ①

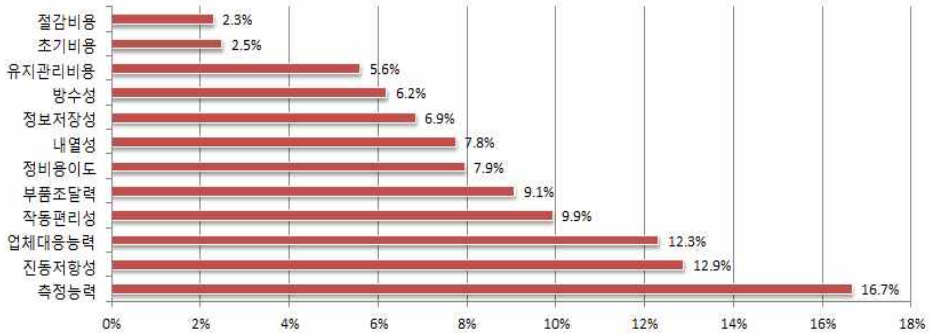
③ 계층별 종합 결과

□ 본 연구의 최종목표에 대한 분석 결과를 종합해보면 1계층의 경우 기술성(34.5%), 유지관리성(31.5%), 내구성(24.3%), 경제성(9.7%) 순의 우선순위를 나타냈으며, 2계층의 경우 상위 3가지항목으로 측정능력(16.7%), 진동저항성(12.9%), 업체대응능력(12.3%) 순의 우선순위를 나타냈다. 이는 본 연구의 성과물인 검측 모듈 개발에 있어 측정능력 등의 기술성이 가장 중요한 요소이며, 진동저항성 등의 내구성, 업체대응능력 등의 유지관리성이 그 다음 중요한 요소로 평가된 것이다.

□ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS)하는 기관에서는 이와 같은 분석 경향을 장비 개발 단계에서 반영할 수 있도록 충분한 검토가 필요하다.



<그림 2.26> 1계층 종합 결과 ①



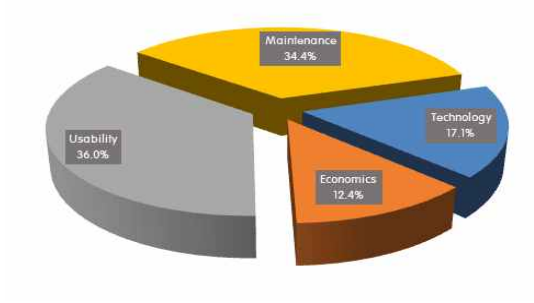
<그림 2.27> 2계층 종합 결과 ①

나. Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 개발

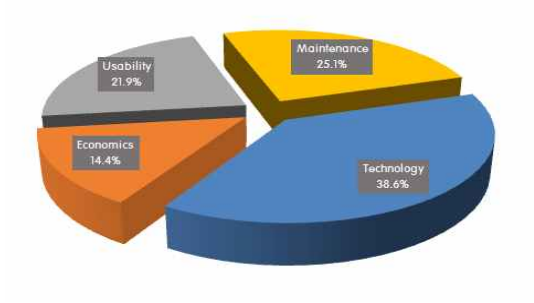
① 1계층 평가 결과

□ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 개발에 있어 시설장비사무소 직원의 우선순위는 사용성(36.0%), 유지관리성(34.4%), 기술성(17.1%), 경제성(12.4%)로 나타났다. 시설장비사무소는 유지관리 이력 등의 정보를 입력·관리하는 입장이므로 장치의 사용성을 가장 중요하다고 판단한다는 의미이다. 연구원 및 기술단 직원은 기술성(38.6%)을 가장 높은 우선순위로 평가하였고, 다음으로 유지관리성(25.1%), 사용성(21.9%), 경제성(14.4%) 순으로 중요도를 평가하였다. 장치 제작비용이나 유지비용 보다 장치의 기능 및 분석 능력 등을 상대적으로 중요하게 생각하고 있었다.

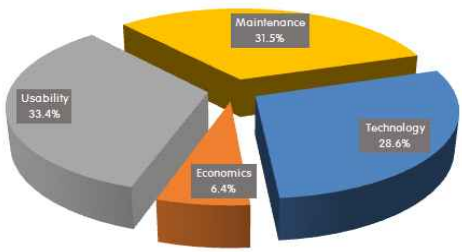
□ 정읍 및 경주고속철도시설사무소의 토목, 궤도 담당직원은 실제로 개발된 장치를 직접 사용하며 유지관리 이력을 관리하고 열람하는 입장으로써 사용성(33.4%), 유지관리성(31.5%), 기술성(28.6%), 경제성(6.4%) 순으로 중요도를 평가하였다.



<그림 2.28> 시설장비사무소 직원의 1계층 평가 결과 ②



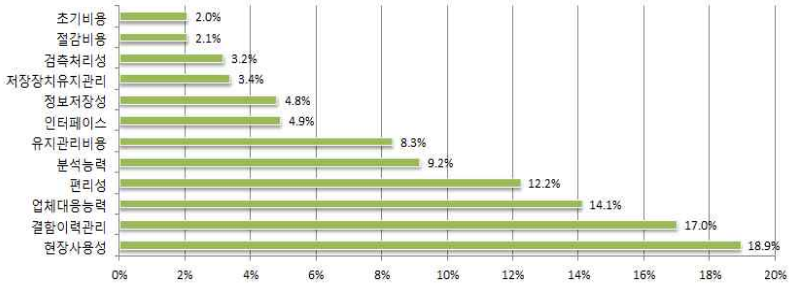
<그림 2.29> 연구원 및 기술단 직원의 1계층 평가 결과 ②



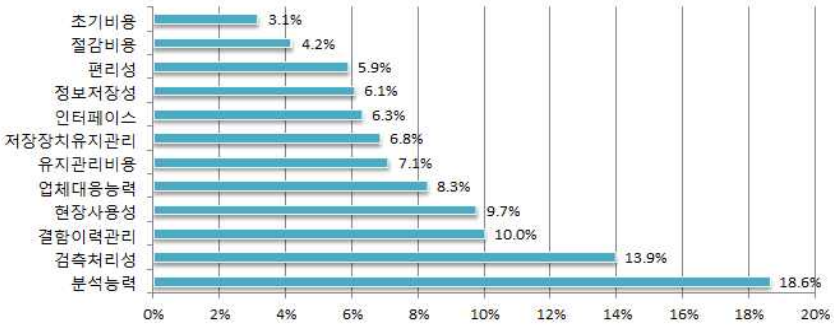
<그림 2.30> 정읍 및 경주고속철도시설사무소 직원의 1계층 평가 결과 ②

② 2계층 평가 결과

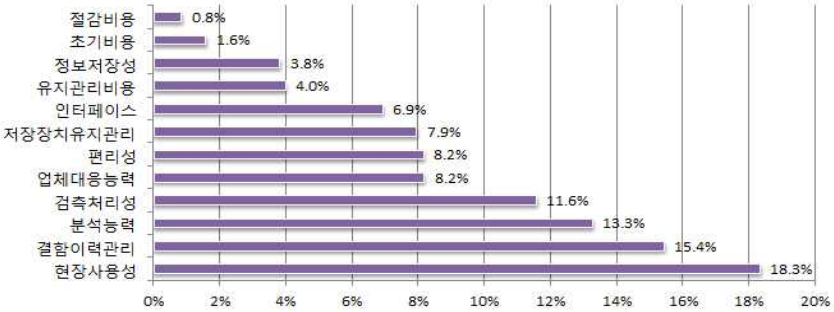
□ 12개의 하위기준 중 상위 3가지 항목으로 시설장비사무소 직원은 현장사용성(18.9%), 결함이력관리(17.0%), 업체대응능력(14.1%) 등의 우선순위를, 연구원 및 기술단 직원은 분석능력(18.6%), 검측처리성(13.9%), 결함이력관리(10.0%) 등의 우선순위를, 정읍 및 경주고속철도시설사무소 토목 및 궤도담당 직원은 현장사용성(18.3%), 결함이력관리(15.4%), 분석능력(13.3%) 등의 우선순위를 나타냈다. 여기서 시사점은 사용자 모두 결함이력관리를 상위 우선순위 3위내로 뽑은 것인데, 이는 현재 수기로 작성되고 있는 균열 등의 결함점검을 자동화하여 관리하는 기능을 가장 중요하게 평가하고 있음을 의미한다.



<그림 2.31> 시설장비사무소 직원의 2계층 평가 결과 ②



<그림 2.32> 연구원 및 기술단 직원의 2계층 평가 결과 ②

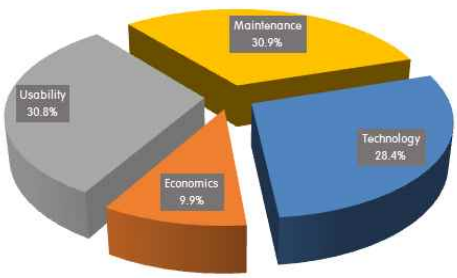


<그림 2.33> 정읍 및 경주고속철도시설사무소 직원의 1계층 평가 결과 ②

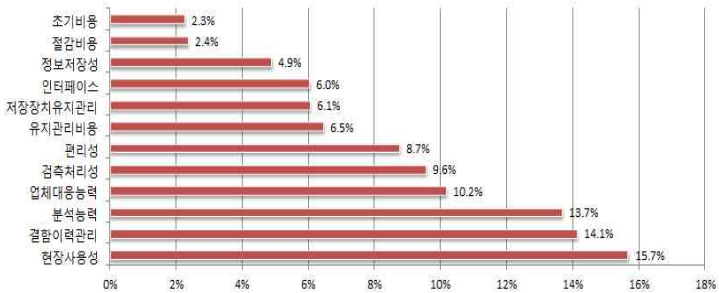
③ 계층별 종합 결과

□ 본 연구의 최종목표에 대한 분석 결과를 종합해보면 1계층의 경우 유지관리성(30.9%), 사용성(30.8%), 기술성(28.4%), 경제성(9.9%) 순의 우선순위를 나타냈으며, 2계층의 경우 상위 3가지 항목으로 현장사용성(15.7%), 결함이력관리(14.1%), 분석능력(13.7%) 순의 우선순위를 나타냈다. 이는 본 연구의 성과물인 알고리즘 및 통합관리시스템 개발에 있어 현장사용성 등의 사용성이 가장 중요한 요소이며, 결함이력관리 등의 유지관리성, 분석능력 등의 기술성이 그 다음 중요한 요소로 평가된 것이다.

□ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템하는 기관에서는 이와 같은 분석 경향을 시스템 개발 단계에서 반영이 필요할 것으로 보인다.



<그림 2.34> 1계층 종합 결과 ②



<그림 2.35> 2계층 종합 결과 ②

4) 공간주파수/Wavelet 기법 활용 궤도결함 분석로직 개발

가. 공간주파수/Wavelet기법 활용 궤도결함 분석로직 개발 개념

□ 철도 시스템은 궤도, 토목, 차량, 전기, 신호 분야 등 각 기술이 서로 유기적으로 맞물려 있는 통합 시스템이다. 특히, 선로구조물은 철도시스템의 근간이 되는 분야로서 열차 주행에 대한 안전성 및 승차감에 큰 영향을 미치며, 진동 및 소음 뿐만 아니라 철도 건설과 운영비에 직접적인 영향을 주게 된다.

□ 선로구조물 중 궤도는 도상, 침목 및 레일 등으로 구성되어 열차의 원활한 주행을 유도하는 중요한 역할을 한다. 그러나 열차의 반복적인 공용하중으로 궤도의 변형에 의한 궤도틀림(Track Irregularities)을 유발하여 주행 안전성 문제를 야기할 수 있다. 따라서 반복적인 안전점검을 통해 궤도의 선형성을 유지·관리하는 것은 열차의 주행 안전성에 중요한 문제라 할 수 있다.

□ 따라서, 열차의 주행속도가 향상되고 승차감에 대한 요구가 증가함에 따라 선로관리를 위해 중·장파장의 궤도틀림에 대한 관리가 요구되고 있고, 이를 위해 푸리에(Fourier) 변환에 근거한 FFT와 Power Spectral Density(PSD) 함수를 이용한 방법 등을 제안하고 있다.

□ 궤도틀림은 길이에 따른 주기적인 파동운동의 정보를 파악하기 위해 푸리에 변환을 사용할 수 있고, 이로부터 공간주파수(spacial frequency) 특성을 파악할 수 있어 궤도틀림의 파장관리에 매우 편리한 도구이다. 시간영역에서 자기상관함수에 해당하는 푸리에 변환이 주파수영역에서 임의의 신호가 가지고 있는 energy의 분포를 나타내는 함수인 PSD는 궤도틀림의 진행 상황을 판단하는데 사용된다.

□ 이를 위해 본 연구에서는 열차의 안전한 주행을 위해 중요한 역할을 하는 궤도틀림을 역추정하기 위한 웨이브렛 변환 알고리즘을 적용하였다. 또한, 기준 궤도틀림과 대차 가속도 응답신호의 상관관계를 웨이브렛 변환을 이용하여 등가 SISO(single input single output) 전달함수를 정의하고 이를 적용하였다.

□ 본 연구에서는 시간-주파수 영역에서 신호처리에 유용한 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform)을 소개하고 실제 공용 열차에서 획득한 축가속도 데이터의 주파수를 분석하여 동일 구간에서 실측 궤도틀림 데이터와 비교하였다. 이로부터 공용 열차의 축가속도 데이터를 활용하여 궤도틀림 관리에 적용할 수 있음을 보이고 향후 열차의 고속화에 따른 궤도틀림 관리의 효율성을 증대할 수 있는 방안을 제시하였다.

① 거리-공간주파수 해석 이론

- 연속 웨이브렛 변환(CWT)

□ 연속 웨이브렛 변환(Continuous Wavelet Transform :CWT)은 해상도 문제를 해결하기 위해 단시간 푸리에 변환(Short-Time Fourier Transform : STFT)의 대안적 접근법으로서 개발되었다. 웨이브렛 변환에서는 STFT에서 창 함수(window function)에 대응하는 함수로 웨이브렛(Wavelet)을 사용한다. 먼저 연속 웨이브렛 변환을 정의하기 전에 다음과 같은 특성이 있는 실수 혹은 복소수의 연속시간 함수 Ψ(t)는 다음 두 조건을 만족해야 한다[S.H. Lee, D.H. Yoon, 2004)].

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t)dt = 0, \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t)^2 dt \leq \infty \tag{5.1}$$

□ 함수 Ψ(t)가 위 두 조건을 만족하고, 뒤에 정의될 허용조건(admissibility condition)을 만족한다면, 이 함수를 모웨이브렛(mother wavelet)이라고 부른다. 허용조건은 웨이브렛 역변환을 형식화하는 데 사용되는 반면, 위의 두 조건은 연속웨이브렛 변환을 정의에 필요한 웨이브렛 함수의 필요조건 이다. 먼저 두 번째 특성은 Ψ(t)에서의 에너지 대부분이 유한구간에 국한된다는 것을 의미한다. 그리고 첫 번째 특성은 진동 혹은 파동을 나타내는 함수를 의미한다. 따라서 사인함수와 대조적으로 이것을 wavelet이라고 한다. 이 두 특성이 만족되면, 모웨이브렛의 속성은 무한구간 함수가 된다. 일반적으로 정의되는 웨이브렛 Ψ(t)를 웨이브렛 모함수(mother function)라고도 정의하며 이 모함수로부터 웨이브렛의 스케일을 변화시키는 즉 주파수를 변화시키는 웨이브렛 압축계수 “a”와 시간상에서의 웨이브렛의 전이를 나타내는 전이계수 “b”와의 합성을 통해 다음과 같이 웨이브렛 집합이 정의된다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{5.2}$$

여기서, a: 압축계수, b: 전이계수

□ 식 (5.2)는 웨이브렛 모함수 Ψ(t)로부터 웨이브렛 계수 “a”와 “b”를 변화시켜 크기가 다른 다양한 웨이브렛의 집합을 정의한다. 위와 같이 정의된 웨이브렛은 다음의 조건을 만족한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(\omega)^2 \frac{d\omega}{|\omega|} = C_g < \infty \tag{5.3}$$

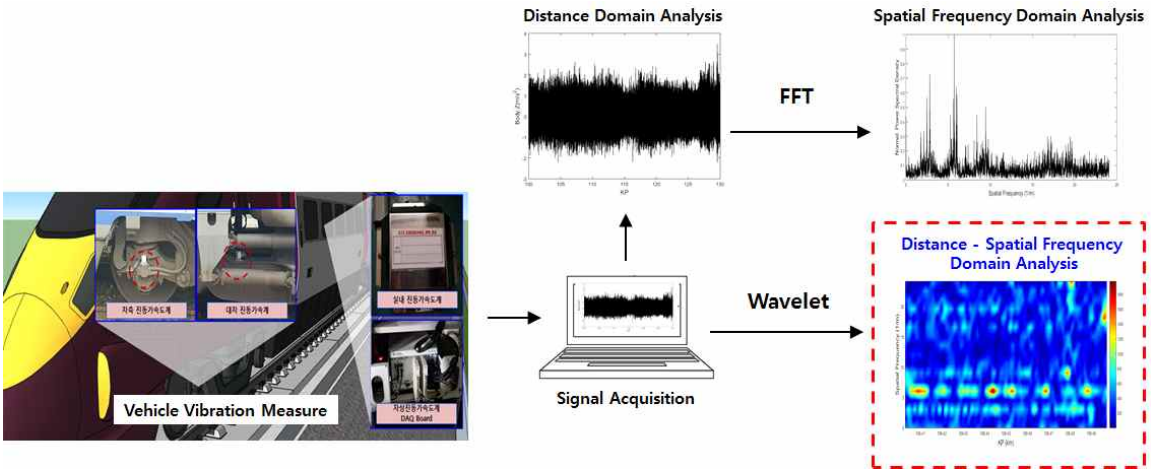
여기서, Ψ(ω)는 웨이브렛 Ψ(t)의 푸리에 변환이다. 이 조건을 만족하기 위해서는 Ψ(ω)는 ω=0에서 무한대로 발산하지 않기 위해 0이 되어야 하며 이를 푸리에 변환과 연결하면 다음의 관계식을 얻는다.

$$\Psi(\omega = 0) = 0, \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t)dt = 0 \tag{5.4}$$

□ 푸리에 변환은 신호처리에 있어 가장 널리 쓰이는 강력한 기법으로서 계측된 신호를 각기 다른 주파수 성분을 갖는 여러 개의 정현파로 나누는 방법이다. 이러한 변환기법은 계측된 신호의 총 주기 내에서 평균적인 주파수 특성을 평가하게 되므로 시간에 따라 주파수 특성이 변화하는 신호에 대해서는 시간 정보를 손실하게 된다.

□ 즉 시간에 따른 주파수의 변화 특성을 규명하기 위한 방법으로는 적합하지 않다. 이러한 한계를 극복하기 위해 신호의 시간 정보 및 주파수 정보를 동시에 능동적으로 해석 할 수 있는 시간-주파수 해석 기법이 도입되었다(Gabor, 1946; Santamarina & Fratta, 1998; etc.).

□ 본 연구에서는 시간 영역을 거리(위치) 영역으로 변환하여 FFT처리 후 공간주파수(Spatial Frequency)를 획득하였다. 또한 시간-주파수 해석 기법을 이용한 거리-공간주파수 해석을 실시하여 Wavelet 변환을 실시하였다. 다음은 철도 차량에 부착된 가속도센서로 획득한 진동 신호를 FFT 및 Wavelet 변환하는 절차에 대해 도시한 것이다.



<그림 2.36> FFT 및 Wavelet 변환

□ 거리-공간주파수 해석으로 획득되는 파워스펙트럼 밀도(Power Spectral Density)는 주파수에 대한 스펙트럼의 변화율을 나타낸다. 스펙트럼 밀도함수는 전 주파수 대역에서 시간영역 신호의 평균 제곱값을 적분한 것이며, 단위는 단위주파수당 파워를 의미한다.

$$S(f) = \lim_{T\to\infty} \frac{E|X_T(f)|^2}{T} \tag{5.5}$$

여기에서, S(f)는 파워스펙트럼 밀도, E는 에너지 기대값, T는 시간, XT(f)는 퓨리에변환 값을 의미한다.

② 이산 웨이블릿 변환기법 개념 및 적용

- 이산 웨이블릿 변환(DWT)

□ 이산 웨이블릿 변환은 일반 웨이블릿 변환에 비해 계산 시간을 충분히 감소시키면서도 원신호를 분석하고 조합하는데 효과적이다. 웨이블릿 변환은 분석창의 스케일이 변함에 따라, 시간에 따라 창을 쉬프팅하여 신호를 곱한 후 모든 시간에 걸쳐 적분하여 계산한다.

□ 이와 다르게, 이산 웨이블릿 변환의 경우 잘려진 주파수의 필터들이 다른 스케일에서 신호를 분석하기 위해 사용된다. 측정된 신호의 해상도는 적용된 필터링에 따라 다양하게 변화하며, 신호의 크기는 업 샘플링(Up-sampling)과 다운 샘플링(Down-sampling)에 의해 변화된다.

□ 신호의 업 샘플링은 신호에 새로운 샘플을 더하여 샘플 비율을 증가시키는 것을 말하며, 신호의 다운 샘플링은 샘플링 비율의 감소 또는 신호의 샘플들을 제거하는 것을 말한다.

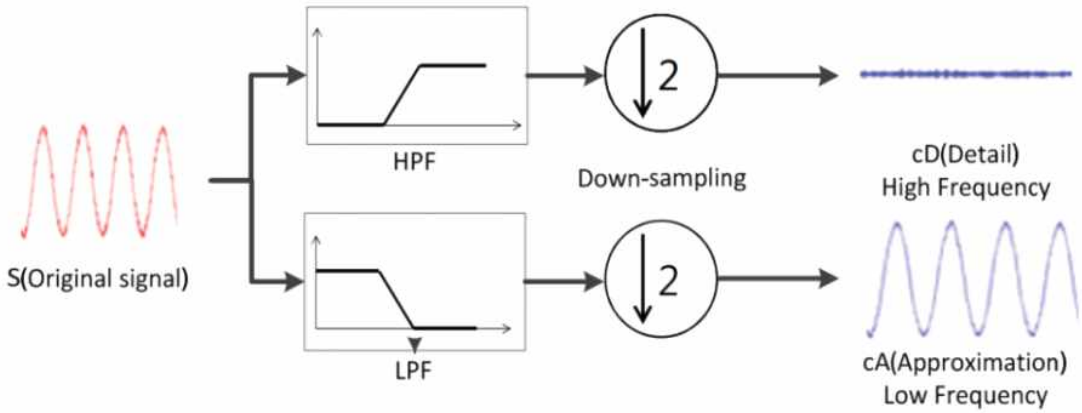
□ 즉, 이산 웨이블릿 변환은 특정 해상도를 갖는 낮은 해상도(Resolution)에서 출발하여 원하는 해상도에 이르기까지 다중 해상도로 원신호를 해석하는 다중해상도 분석(Multi Resolution Analysis)을 제공하며, 이는 신호처리 관점에서 보면 필터 뱅크를 기반으로 대역별 신호의 재구성과 아주 밀접한 관계가 있다.

□ 다중 해상도 분석은 아래 그림과 같이 원 신호를 저주파 성분(Approximation)과 고주파 성분(Detail)으로 분할할 수 있는데, 이러한 과정은 고역 필터와 저역 필터를 동시에 사용하는 2가지 필터링의 개념으로 확장될 수 있다.

□ 아래 식과 같이 −∞ < t < ∞ t 에서 f 는 웨이블릿만으로 표현할 수 있는데 이것을 급수 전개 형태로 쓰면 스케일을 표현하는 인덱스 (j)와 평행이동을 나타내는 (k)에 대한 이중 합으로 표현된다.

$$f = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} < f, \Psi_{j,k} > \Psi_{j,k} \equiv \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_j[k] \Psi_{j,k} \tag{5.6}$$

□ 위 식의 f, ψ, j, k 는 f 와 ψ, j, k 와의 내적(inner product)을 나타낸다. 다중 해상도 분석의 개념을 활용하면 위식의 웨이블릿 ψ(t) 는 스케일링 함수 y(t)로 부터 식 (5.7)을 구할 수 있으며 또한 스케일링 함수 사이에서도 식 (5.8)의 웨이블릿 함수와 같은 관계가 있다.



<그림 2.37> Multi Resolution Analysis

$$y_{LPF}(k) = \sum_n x(n) \cdot h_n(2k-n) \tag{5.7}$$

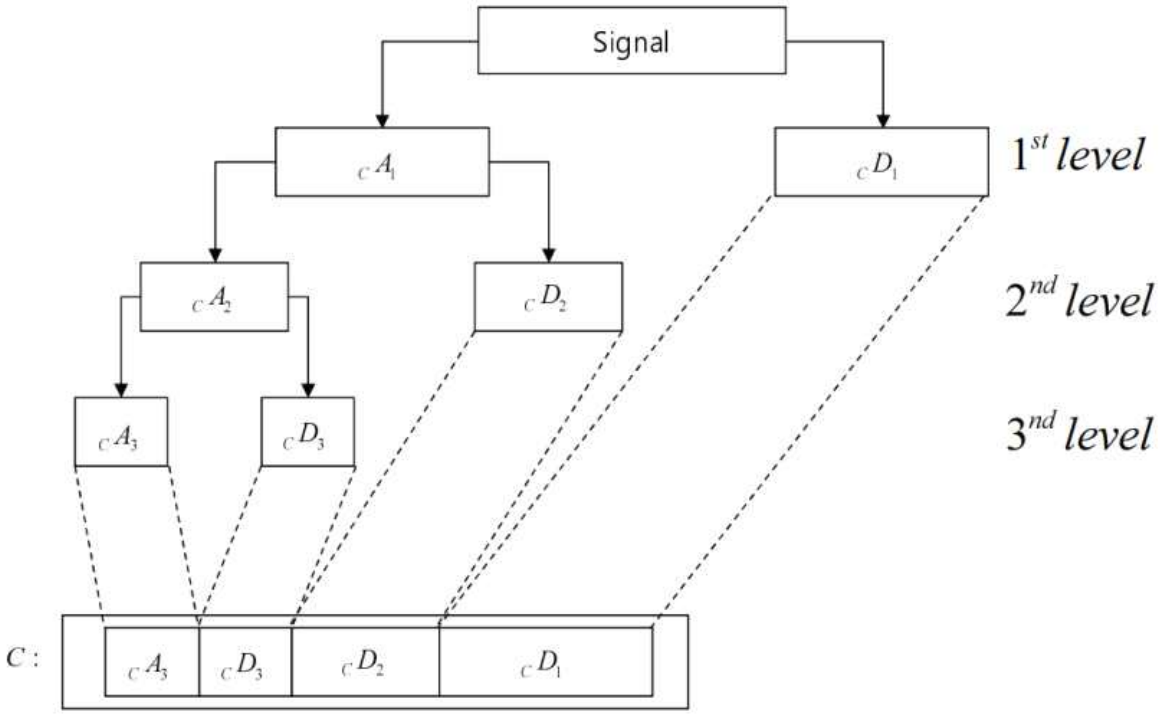
$$y_{HPF}(k) = \sum_n x(n) \cdot g_n(2k-n) \tag{5.8}$$

□ 식 (5.7), (5.8)에서 나타내는 계수 hn 와 gn 은 저역 필터, 고역 필터로 hn 와 gn 의 관계는 식 (5.9)와 같다.

$$g_n(L-1-n) = (-1)^n h_n(n) \tag{5.9}$$

□ 여기서 L 은 필터의 길이(포인트들의 수)이다. 두 개의 필터들은 홀수 인덱스로 서로 교차되는 역 버전이다. 저역 필터에서 고역 필터로의 전환은 (-1)n 에 의해 제공된다.

□ 한 단계(level)위의 스케일 함수는 한 단계 아래의 스케일 함수와 웨이블릿 함수의 합성(Convolution)으로 표현할 수 있다. 이는 저주파영역을 다시 고주파영역과 저주파영역으로 분해할 수 있음을 의미한다. 이러한 관계는 아래 그림과 같다. 원신호에서 뚜렷하지 않은 주파수 대역(ex. 잡음)들은 아주 작은 진폭으로 조화운동을 하며, 이산 웨이블릿 변환을 통해 어떤 주요 정보의 손실 없이 데이터의 감소에 따라 필터링 된다.



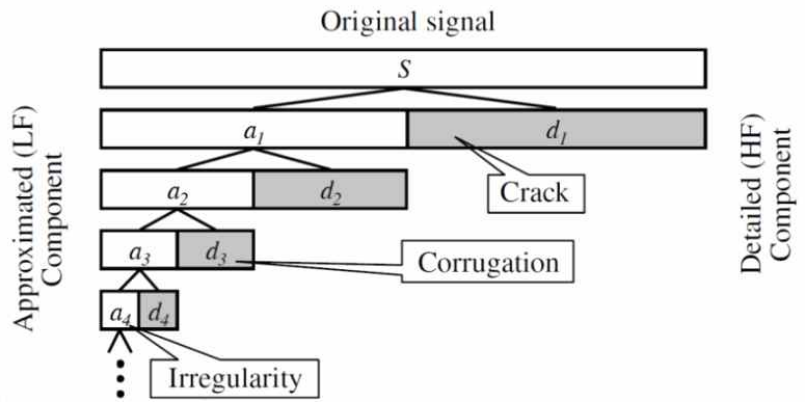
<그림 2.38> Decomposition of discrete wavelet transform

- 이산 웨이블릿 변환을 통한 궤도 결함 감지

□ 주파수에 따라 창 크기를 자동으로 변경하는 웨이블릿 변환은 알 수 없는 신호를 분석하는데 적합하다. 이로부터 이산 웨이블릿 변환을 사용하여 차량에서 측정된 가속도에서 궤도 결함을 감지하는 방법이 개발되었다. 이러한 기법은 측정 신호를 저주파수의 근사 성분과 고주파의 세부 성분으로 분해하여 결함을 감지할 수 있다.

□ H. Tsunashima 등은 이산 웨이블릿 변환으로 다중 해상도 분석(MRA; multi-resolution analysis)을 실시하여 신호를 각기 다른 해상도의 여러 구성 요소로 분해한 후 아래 그림과 같이 궤도의 이상개소를 평가할 수 있는 주파수대역을 구분하였다.

□ 또한, 열차의 속도가 국내의 무궁화호와 비슷한 80 ~ 100 km/h이고, 차체의 수직가속도에 대한 샘플링 주파수가 1 kHz일 때 D1, D2, D3, D4 및 A4는 대략 500~1000 Hz, 250~500 Hz, 125~250 Hz, 62.5~125 Hz 및 62.5 Hz 이하의 주파수 대역으로 구분하여 레일의 균열은 D1, 차륜과 레일의 마찰로 인해 발생하는 파상마모(Corrugation)는 D3, 궤도 틀림은 A4 대역에서 발생한다고 제시하였다.



$$S = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + \cdots + d_n + a_n$$

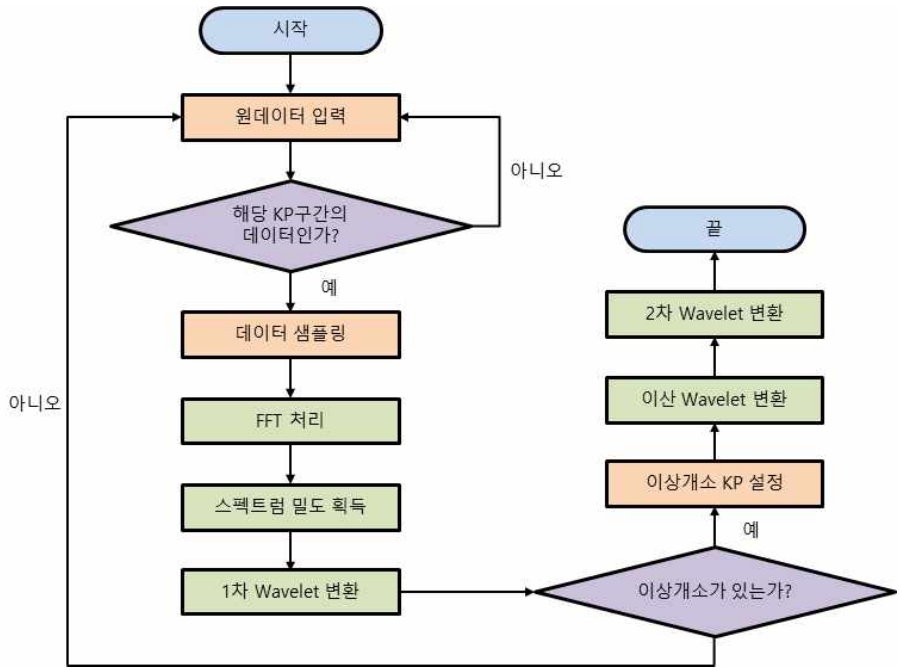
<그림 2.39> Multi-resolution analysis (MRA)

③ 공간주파수 및 Wavelet 기법을 활용한 궤도결함 분석로직

□ <그림 2.40>는 차량의 운용중에 취득한 진동 데이터를 웨이블릿 및 이산 웨이블릿 변환을 통하여 궤도결함의 원인 및 발생 구간을 확인할 수 있는 분석 로직의 다이어그램을 나타낸 것이다.

□ 궤도결함 분석을 위한 로직의 다이어그램 순서는 다음과 같다.

1. 차량에서 측정된 진동데이터 중 분석을 실시할 구간의 KP정보 확인
2. KP정보가 정확하다면 진동 원데이터에서 해당 KP 구간의 데이터 추출
3. 추출한 데이터를 FFT 처리하며 PSD를 확인
4. 특정 주파수 대역에서 PSD 값이 증폭되었는지 확인 후 1차 웨이블릿 변환 실시
5. 1차 웨이블릿 변환 후 공간주파수와 KP 위치를 확인하여 이상개소 발생 유무 확인
6. 이상개소 발생시 KP 위치를 확인한 후 발생 구간에 대해서 이산웨이블릿 변환을 실시하여 주파수 대역별로 분리
7. 주파수 대역별 2차 웨이블릿 변환 실시 후 최종 궤도결함 원인 및 발생구간 확인



<그림 2.40> 궤도결함 분석로직 다이어그램

6) Matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 초기모형 설계

가. Matlab 프로그램

□ MATLAB(매트랩)은 MathWorks 사에서 개발한 수치 해석 및 프로그래밍 환경을 제공하는 공학용 소프트웨어이다. 행렬을 기반으로 한 계산 기능을 지원하며, 함수나 데이터를 그림으로 그리는 기능 및 프로그래밍을 통한 알고리즘 구현 등을 제공한다. MATLAB은 수치 계산이 필요한 과학 및 공학 분야에서 다양하게 사용된다.

① Matlab 내장프로그램(도구상자)

□ Matlab의 구조는 상당히 유연성이 있고, 특정한 목적을 요구하는 도구상자(toolbox)들을 추가함으로써 보다 다양하고 기본적인 기능을 쉽게 추가할 수 있도록 되어 있다. 이러한 toolbox들은 여러 학문 분야의 개념을 빠른 수학적 알고리즘으로 함수화하여 모아 놓은 Matlab의 함수들로서 다양한 toolbox가 제공되고 있는데 이들을 간단히 소개하면 다음과 같다.

□ 신호 처리(Signal Processing) Toolbox : 디지털 신호 처리 기술을 위한 다양한 종류의 함수들이 모인 집단으로써 신호 및 선형 시스템의 모델, 디지털 및 아날로그 필터의 설계와 분석 및 Power Spectrum 평가를 위한 기능(FFT 분석)을 포함하고 있다.

□ 영상 처리(Image Processing) Toolbox : 2차원적인 영상 신호의 처리 및 해석을 위한 각종 함수들을 제공한다.

□ 제어 시스템(Control System) Toolbox : 시스템의 분석 및 제어기 설계를 위한 Matlab프로그램들의 함수들이 있다. 여기서 다루어지는 함수들의 주요한 특징은 전달 함수와 상태방정식을 대상으로 하여 시스템의 해석 및 설계가 가능하며, 수치해석의 알고리즘은 상당한 정확성을 갖고 있다. 그리고 이러한 결과들을 쉽게 다룰 수 있는 그래프를 통해 이해의 폭을 넓게 한다.

□ 퍼지(Fuzzy Logic) Toolbox : 복잡하고 비선형적인 시스템에 대한 정확한 모델링이 없어도 제어를 가능하게 할 수 있는 방법이다. 이러한 퍼지 기술을 응용 시스템에 적용하여 제어기 디자인과 시뮬레이션 및 실시간 제어 등을 가능하게 한다.

□ 통신(Communication) Toolbox : 통신 시스템의 해석과 디자인 및 시뮬레이션을 위한 해석함수들을 포함하고 있다.

□ 신경 회로망(Neural Network) Toolbox : 패턴 인식이나 비선형 시스템의 모델링과 제어와 같은 해석이 극히 어려운 경우에 신경회로망을 적용하여 종종 만족스런 결과를 얻을 수 있다. 여러 가지의 신경망을 제공하여 시스템의 디자인과 수행 및 시뮬레이션이 가능하도록 하고 있다.

□ 최적화(Optimization) Toolbox : 비선형 함수의 최적화 문제, 선형 2차 형식의 최적화, Non-negative least square, 비선형 방정식의 해 등을 위해 다양한 함수 프로그램들을 제공한다.

□ 통계(Statistics) Toolbox : 확률 및 통계의 자료들을 해석, 모델링 및 시뮬레이션할 수 있는 다양한 함수들을 제공한다.

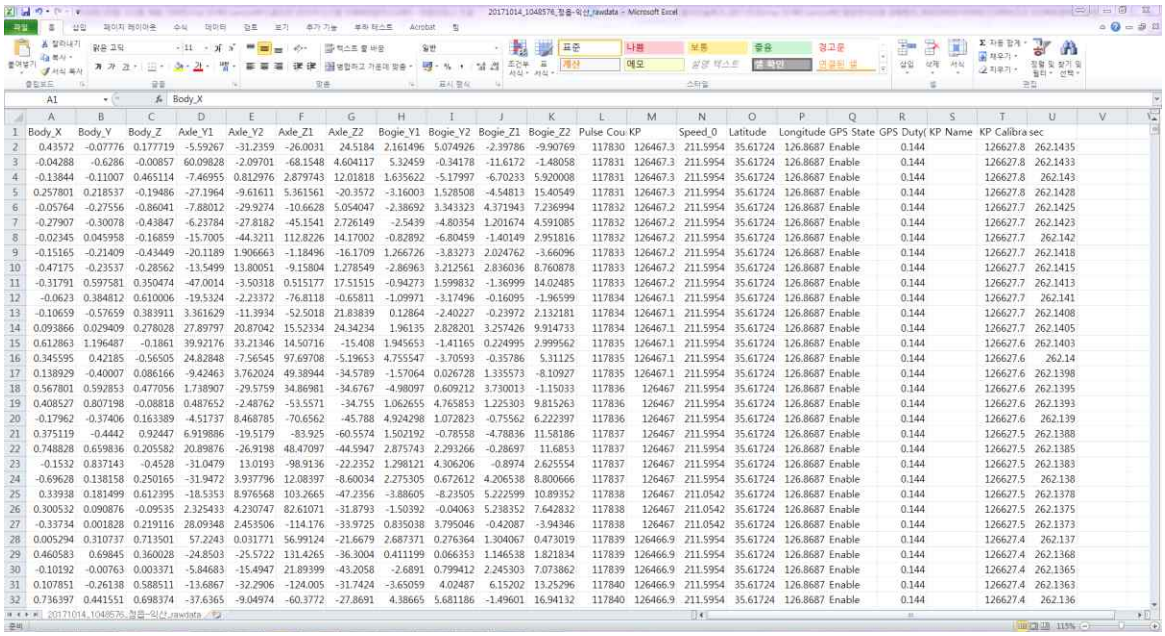
□ 시스템 추정(System Identification) Toolbox : 입출력 데이터로부터 동적 시스템의 선형모델을 만들 수 있는 방법으로, 제어 설계 및 신호처리에 응용되고 있으며, 최근에 금융, 경제분야에서의 모델링 방법으로도 각광을 받고 있다.

□ 기초수학(Symbolic Math) Toolbox : Maple V.를 기본으로 하여 각종 수학 계산식 등을 실행한다.

□ ABA-analysis 분석프로그램 개발을 위해 사용된 내장 프로그램은 신호 처리(Signal Processing), 통계(Statistics) 등이며, 기본적으로 취득된 진동 가속도 데이터는 행렬기반이므로 Matlab 프로그램을 사용하기에 알맞은 조건이다.

② 진동 가속도 데이터

□ ABA-analysis 분석프로그램 초기모형 설계를 위해 사용된 계측 데이터는 KTX 36호차에서 매달 주기적으로 측정하고 있는 차상 가속도 데이터이다. KTX 36호차에서 측정한 원데이터(Raw Data)는 <그림 2.41>과 같이 차체(3축; X, Y, Z), 대차(2축; Y, Z), 윤축(2축; Y, Z)의 진동가속도와 속도 및 위치(KP, GPS)데이터로 구성된다.



Body_X	Body_Y	Body_Z	Axle_Y1	Axle_Y2	Axle_Z1	Axle_Z2	Bogie_Y1	Bogie_Y2	Bogie_Z1	Bogie_Z2	Pulse Cou	KP	Speed_0	Latitude	Longitude	GPS State	GPS Duty(	KP Name	KP Calibra	sec
0.43572	-0.07776	0.177719	-5.59267	-31.2359	-26.0031	24.5184	2.161496	5.074926	-2.39786	-9.90769	117830	126467.3	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.8	262.1435
-0.04288	-0.6286	-0.00857	60.09828	-2.09701	-68.1548	4.604117	5.32459	-0.34178	-11.6172	-1.48058	117831	126467.3	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.8	262.1433
-0.13844	-0.11007	0.465114	-7.46955	0.812976	2.879743	12.01818	1.635622	-5.17997	-6.70233	5.920008	117831	126467.3	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.8	262.143
0.257801	0.218537	-0.19486	-27.1964	-9.61611	5.361561	-20.3572	-3.16003	1.528508	-4.54813	15.40549	117831	126467.3	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.8	262.1428
-0.05764	-0.27556	-0.86041	-7.88012	-29.9274	-10.6628	5.054047	-2.38692	3.343323	4.371943	7.236994	117832	126467.2	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.1425
-0.27907	-0.30078	-0.43847	-6.23784	-27.8182	-45.1541	2.726149	-2.5439	-4.80354	1.201674	4.591085	117832	126467.2	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.1423
-0.02345	0.045958	-0.16859	-15.7005	-44.3211	112.8226	14.17002	-0.82892	-6.80459	-1.40149	2.951816	117832	126467.2	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.142
-0.15165	-0.21409	-0.43449	-20.1189	1.906663	-1.18496	-16.1709	1.266726	-3.83273	2.024762	-3.66096	117833	126467.2	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.1418
-0.47175	-0.23537	-0.28562	-13.5499	13.80051	-9.15804	1.278549	-2.86963	3.212561	2.836036	8.760878	117833	126467.2	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.1415
-0.31791	0.597581	0.350474	-47.0014	-3.50318	0.515177	17.51515	-0.94273	1.599832	-1.36999	14.02485	117833	126467.2	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.1413
-0.0623	0.384812	0.610006	-19.5324	-2.23372	-76.8118	-0.65811	-1.09971	-3.17496	-0.16095	-1.96599	117834	126467.1	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.141
-0.10659	-0.57659	0.383911	3.361629	-11.3934	-52.5018	21.83839	0.12864	-2.40227	-0.23972	2.132181	117834	126467.1	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.1408
0.093866	0.029409	0.278028	27.89797	20.87042	15.52334	24.34234	1.96135	2.828201	3.257426	9.914733	117834	126467.1	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.7	262.1405
0.612863	1.196487	-0.1861	39.92176	33.21346	14.50716	-15.408	1.945653	-1.41165	0.224995	2.999562	117835	126467.1	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.6	262.1403
0.345595	0.42185	-0.56505	24.82848	-7.56545	97.69708	-5.19653	4.755547	-3.70593	-0.35786	5.31125	117835	126467.1	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.6	262.14
0.138929	-0.40007	0.086166	-9.42463	3.762024	49.38944	-34.5789	-1.57064	0.026728	1.335573	-8.10927	117835	126467.1	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.6	262.1398
0.567801	0.592853	0.477056	1.738907	-29.5759	34.86981	-34.6767	-4.98097	0.609212	3.730013	-1.15033	117836	126467	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.6	262.1395
0.408527	0.807198	-0.08818	0.487652	-2.48762	-53.5571	-34.755	1.062655	4.765853	1.225303	9.815263	117836	126467	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.6	262.1393
-0.17962	-0.37406	0.163389	-4.51737	8.468785	-70.6562	-45.788	4.924298	1.072823	-0.75562	6.222397	117836	126467	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.6	262.139
0.375119	-0.4442	0.92447	6.919886	-19.5179	-83.925	-60.5574	1.502192	-0.78558	-4.78836	11.58186	117837	126467	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.5	262.1388
0.748828	0.659836	0.205582	20.89876	-26.9198	48.47097	-44.5947	2.875743	2.293266	-0.28697	11.6853	117837	126467	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.5	262.1385
-0.1532	0.837143	-0.4528	-31.0479	13.0193	-98.9136	-22.2352	1.298121	4.306206	-0.8974	2.625554	117837	126467	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.5	262.1383
-0.69628	0.138158	0.250165	-31.9472	3.937796	12.08397	-8.60034	2.275305	0.672612	4.206538	8.800666	117837	126467	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.5	262.138
0.33938	0.181499	0.612395	-18.5353	8.976568	103.2665	-47.2356	-3.88605	-8.23505	5.222599	10.89352	117838	126467	211.0542	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.5	262.1378
0.300532	0.090876	-0.09535	2.325433	4.230747	82.61071	-31.8793	-1.50392	-0.04063	5.238352	7.642832	117838	126467	211.0542	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.5	262.1375
-0.33734	0.001828	0.219116	28.09348	2.453506	-114.176	-33.9725	0.835038	3.795046	-0.42087	-3.94346	117838	126467	211.0542	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.5	262.1373
0.005294	0.310737	0.713501	57.2243	0.031771	56.99124	-21.6679	2.687371	0.276364	1.304067	0.473019	117839	126466.9	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.4	262.137
0.460583	0.69845	0.360028	-24.8503	-25.5722	131.4265	-36.3004	0.411199	0.066353	1.146538	1.821834	117839	126466.9	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.4	262.1368
-0.10192	-0.00763	0.003371	-5.84683	-15.4947	21.89399	-43.2058	-2.6891	0.799412	2.245303	7.073862	117839	126466.9	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.4	262.1365
0.107851	-0.26138	0.588511	-13.6867	-32.2906	-124.005	-31.7424	-3.65059	4.02487	6.15202	13.25296	117840	126466.9	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.4	262.1363
0.736397	0.441551	0.698374	-37.6365	-9.04974	-60.3772	-27.8691	4.38665	5.681186	-1.49601	16.94132	117840	126466.9	211.5954	35.61724	126.8687	Enable	0.144		126627.4	262.136

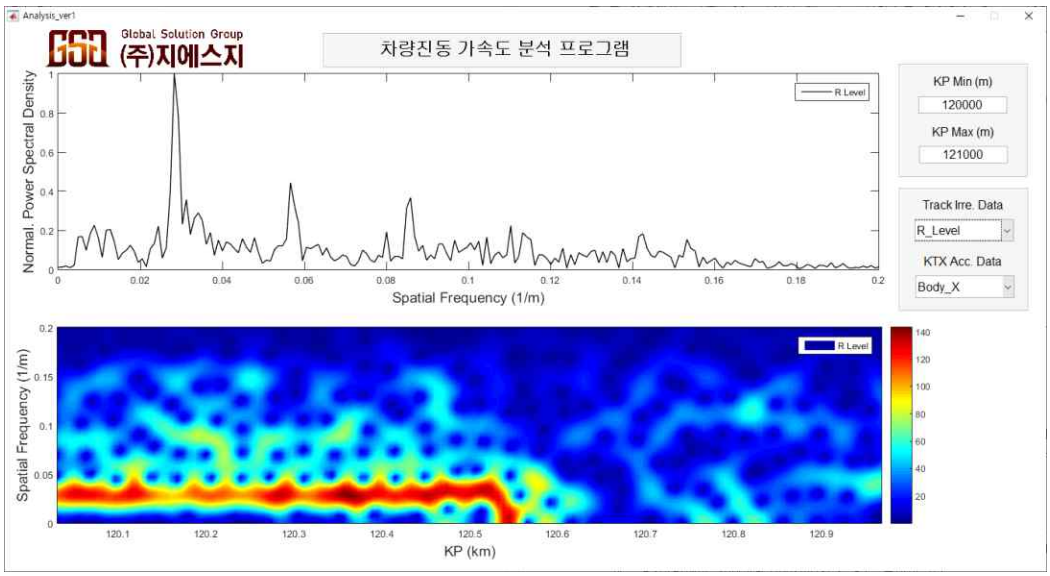
<그림 2.41> KTX 36호차 차상 가속도 원데이터

나. 차량진동 가속도 분석 프로그램

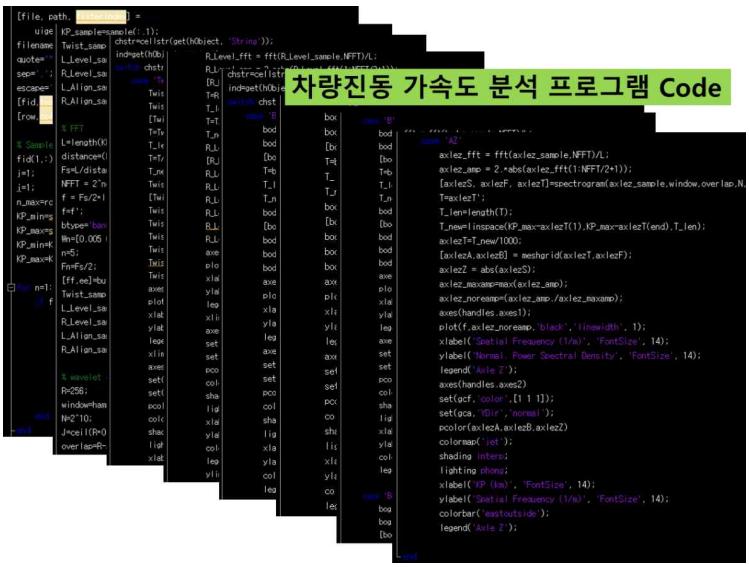
① 공간주파수-웨이블릿 분석 프로그램

□ 본 용역에서는 KTX 36호차에서 계측한 차상가속도 데이터의 추출 및 분류를 위하여 <그림 2.42>와 같이 Matlab 기반의 공간주파수-웨이블릿 분석GUI는 개발하였다. input 데이터는 엑셀(*.csv) 타입 원본 데이터인 차량 진동 데이터를 사용한다.

□ <그림 2.43>은 Matlab 프로그램을 이용한 차량진동 가속도 분석 프로그램을 code이다. code상에 원데이터 input기능, 분석 KP구간에 해당하는 데이터 구분 및 취득, 구간데이터를 이용한 FFT, PSD, Wavelet 분석 등의 내용이 포함되어 있다. 본 프로그램을 이용하면 전체구간 중 어느 구간에서 이상개소가 발생하였는지 확인이 가능한 장점이 있다.



<그림 2.42> 차량진동 가속도 분석 프로그램



<그림 2.43> 차량진동 가속도 분석 프로그램 Code

□ 차량진동 가속도 분석 프로그램 GUI의 구성은 크게 4부분으로 구성된다. ① 데이터 추출을 위한 최소·최대 KP 구간 설정창, ② 원데이터의 종류(차축, 대차, 차량) 선택창, ③ 데이터 추출 구간의 공간주파수 그래프, ④ 데이터 추출 구간의 Wavelet 그래프로 구성된다.

□ 공간주파수(Spatial Frequency)는 거리 Domain의 원데이터를 고속푸리에변환(FFT; Fast Fourier Transform)하여 획득할 수 있다. 또한 본 연구에서는 FFT 결과를 PSD(Power Spectral Density)의 값으로 표현하였다.

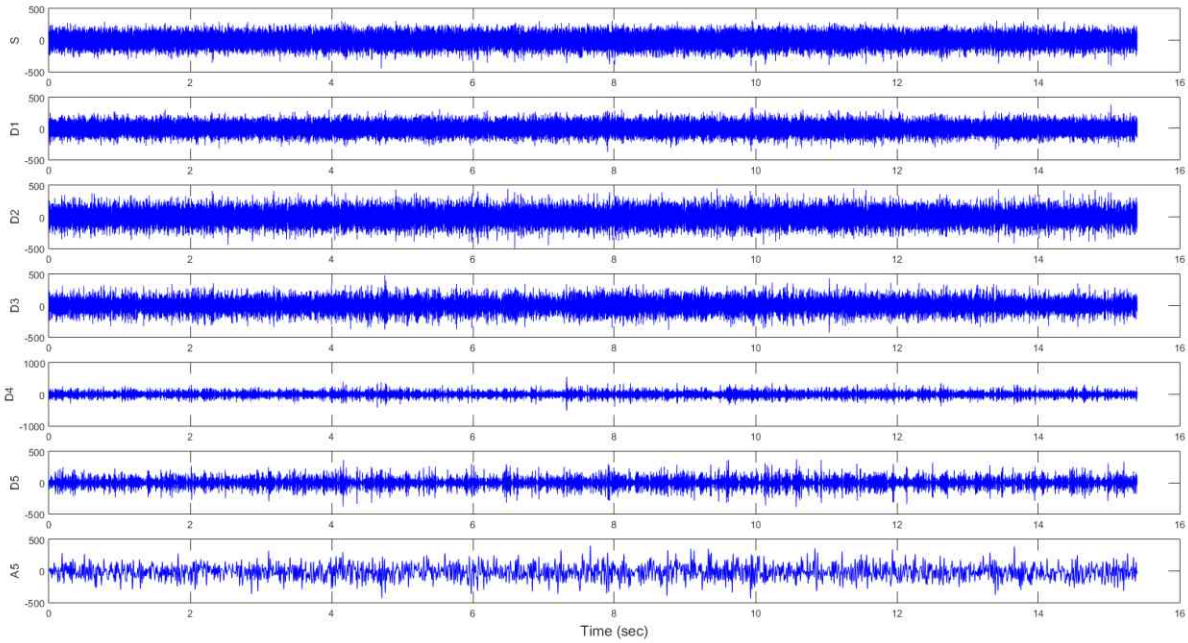
□ Wavelet 변환은 위의 FFT결과와 거리 Domain을 동시에 확인할 수 있는 장점이 있으며 z축의 PSD값을 컬러 컨투어로 나타내어 값의 고저를 쉽게 확인할 수 있다.

② 이산웨이블릿 분석 프로그램

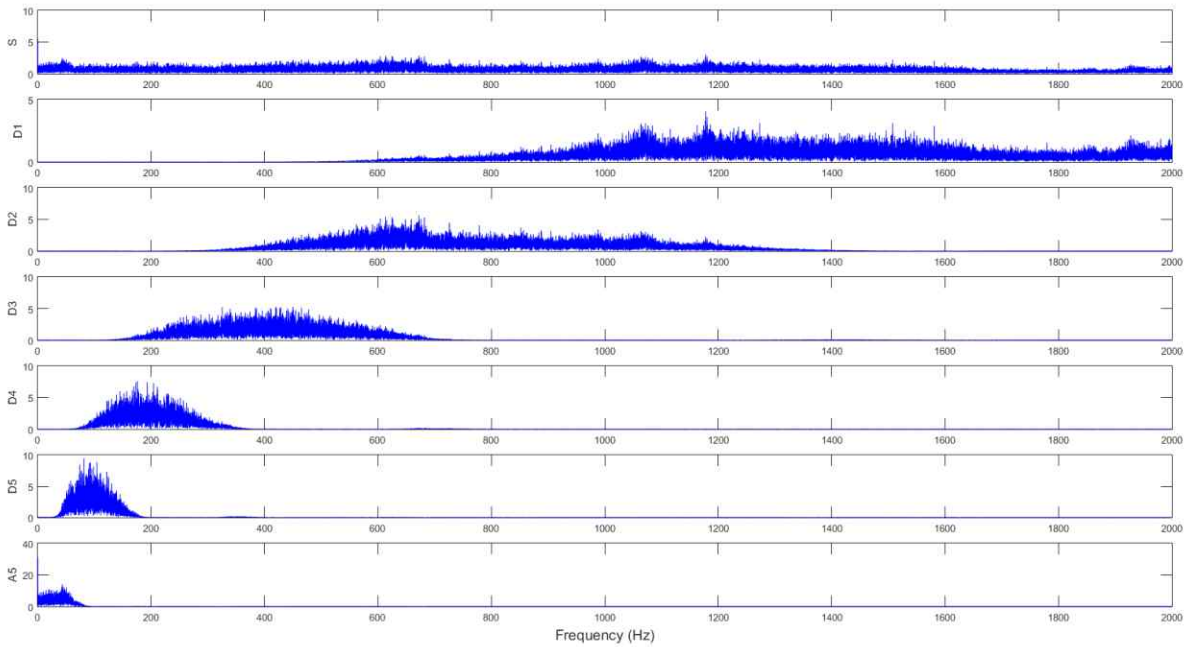
□ 공간주파수-웨이블릿 분석을 통하여 확인된 이상개소에 대한 자세한 주파수 분석을 위하여 해당 구간에 대한 이산웨이블릿 변환을 실시하였다. 이산웨이블릿 변환을 실시하게 되면 원 데이터(시그널)를 여러 주파수 성분으로 나누어 볼 수 있다(5장 참조).

□ <그림 2.44>는 이산웨이블릿 프로그램 code를 나타낸 것이다. <그림 2.45>는 원 데이터를 이산웨이블릿 변환을 실시하여 여러 주파수 대역으로 분리하여 시간대역으로 나타낸 그림이며 이를 FFT 처리하면 <그림 2.46>과 같다.

<그림 2.44> 이산웨이블릿 프로그램 Code



<그림 2.45> 이산웨이블릿을 통한 데이터 분리



<그림 2.46> 이산웨이블릿 변환 결과에 대한 FFT 처리 결과

□ 본 연구에서 위와 같은 이산웨이블릿 결과를 활용하여 궤도 위를 주행하며 취득한 진동데이터를 분석할 수 있는 프로그램의 초안을 개발하였다.차년도 집중적으로 연구할 내용은 위의 주파수 대역 중 집중적으로 파악하고자 하는 레일찍힘(Squats), Corrugation, 신축이음매 열화에 해당하는 영역을 시험을 통해서 파악하고 이를 분석할 예정이다.

다. 차량 수직가속도와 궤도 고저 틀림 비교

① 궤도 고저 틀림

□ 본 연구에서는 KTX 차량에서 취득한 데이터를 분석하여 궤도의 상태를 평가하기 위한 분석 프로그램을 개발하고 있다. 그 초기연구로서 데이터 분석의 유효성을 확인하기 위하여 동일 구간에서 취득 한 궤도 고저틀림 데이터와의 비교를 실시하였다.

□ 연구에 사용된 궤도 틀림 데이터는 궤도 검측차량인 Roger 1000k에서 매달 주기적을 측정하고 있는 호남고속철도의 일부구간 자료이다. 호남고속철도의 경우 콘크리트 슬래브 궤도이며 해당 구간은 궤도틀림이 철도유지관리 기준에서 제시한 기준치를 초과하지 않았기 때문에 유지보수를 실시하지 않은 구간이다.

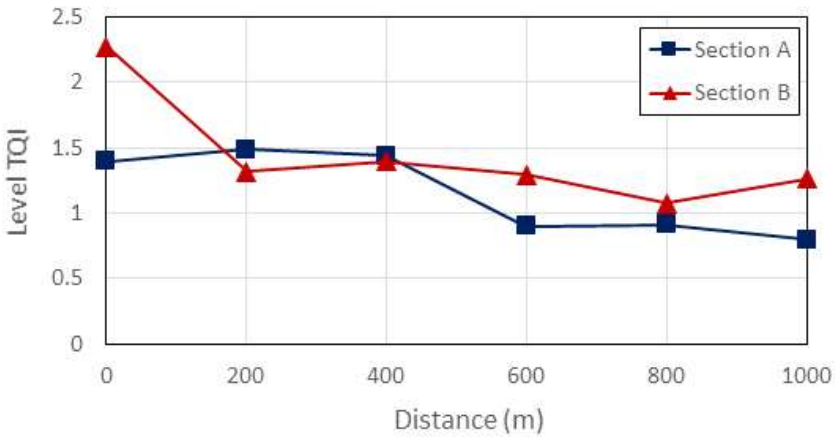
□ 시험구간은 두 구간이며 각 연장은 1,000m 길이의 성토구간이다. 본 연구에서는 차량의 수직 가속도와 비교하기 위하여 고저틀림 데이터만을 사용하였다.

□ 현재 국내 고속철도구간은 Roger 1000K로 취득한 궤도 틀림데이터를 이용하여 궤도품질지수(TQI)를 산정한다. 이는 각 틀림 데이터를 표준편차법으로 구한 것으로서 UK 지수와 동일한 방법이다. UK 지수는 궤도 품질 매개 변수와 연관된 7 개의 표준 편차 {σi = 1, 2, ..., 7}로 구성되며 아래 식과 같이 궤도 세그먼트(국내 200 m 기준)에 대한 매개 변수의 측정값으로부터 계산된다. 지수가 클수록 궤도의 품질은 나빠지는 것을 의미한다.

□ 아래 그림은 본 연구에 사용된 호남고속철도 구간의 고저틀림에 대한 지수를 도시한 것이다. 해당 구간의 지수에 대한 편차는 A구간의 경우 약 1.2이며, B구간의 경우 0.6 정도로 비교적 양호한 품질을 보인 것으로 나타났다.

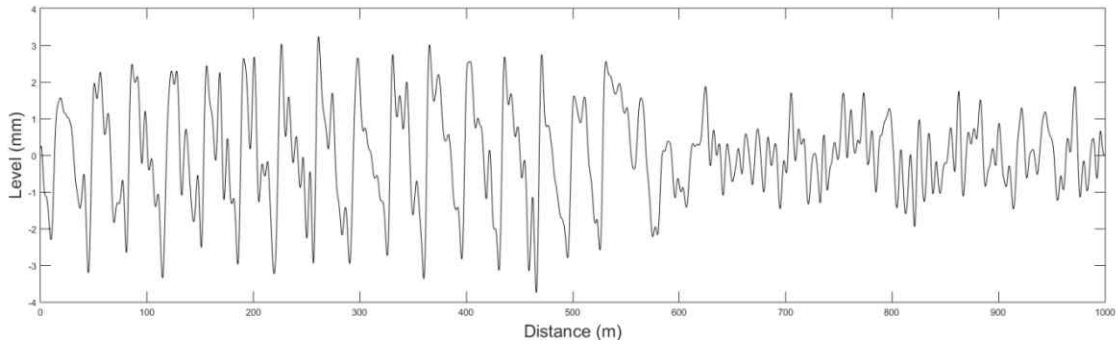
$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(x_{ij}^2 - \overline{x}_i^2)}\,, \quad \overline{x}_i = \sum_{i=1}^{n}\frac{x_{ij}}{n} \tag{6.1}$$

□ 여기서 σi는 품질 매개 변수의 표준 편차(mm), xij는 궤도 세그먼트의 j 번째 샘플링 지점에서 매개 변수의 측정값(mm), n은 궤도 세그먼트의 샘플링 지점수이다.



<그림 2.47> 궤도 고저틀림

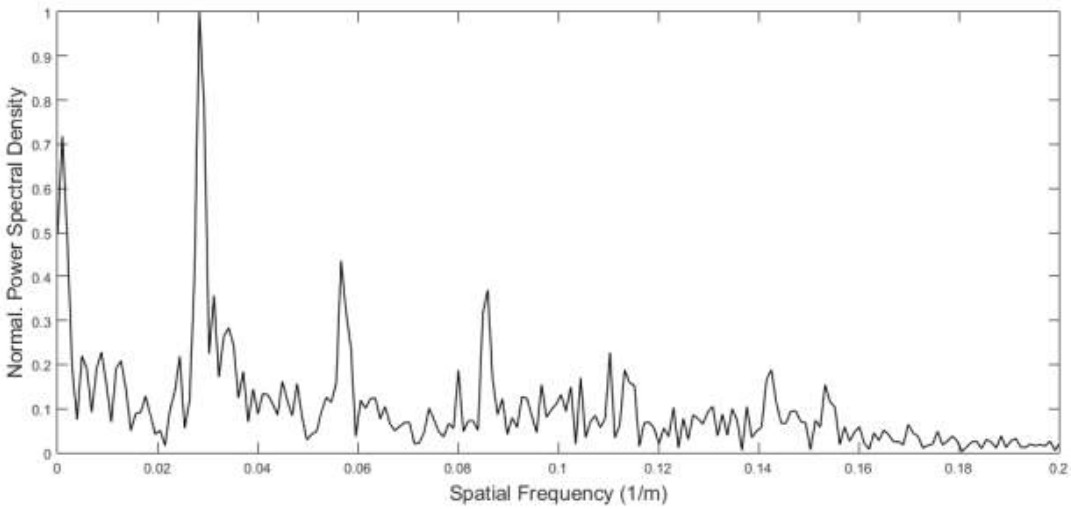
□ <그림 2.48>은 Section A 구간의 거리에 따른 고저틀림을 나타낸 것이다. 틀림의 크기는 최대 +4 ~ −3 mm 정도이며, 거리 0 ~ 550 m 구간은 진폭의 크기가 미소하게 변하지만 일정한 주기를 갖는 진동 패턴을 보이며 550 m이상의 거리에서는 불규칙적인 진동이 발생하였다.



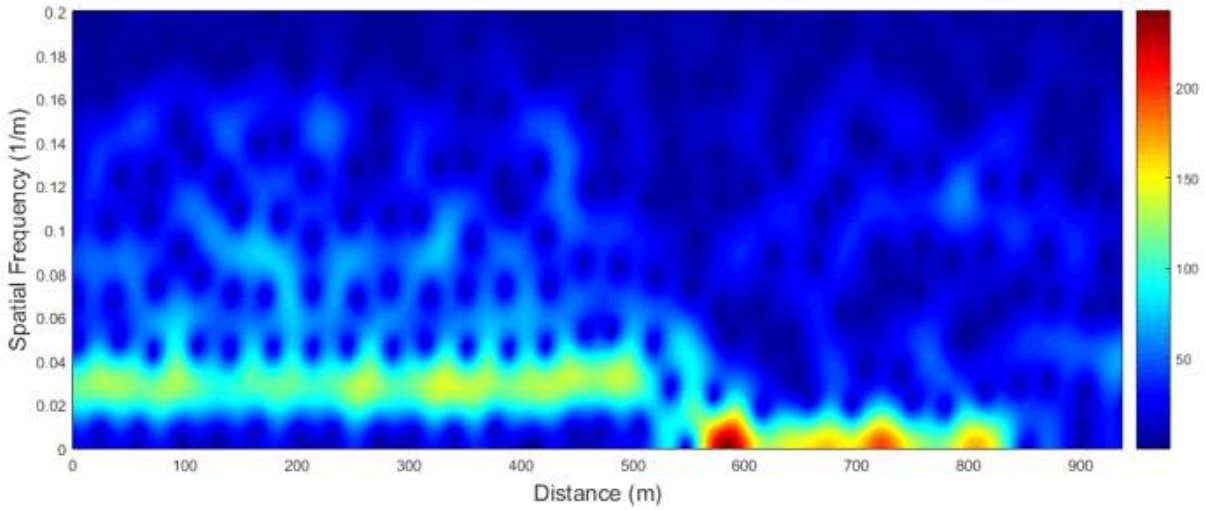
<그림 2.48> Rogel 1000k로 측정한 고저틀림 (Section A)

□ <그림 2.49>는 위 그림의 고저틀림 데이터를 FFT 처리한 후 공간주파수(Spatial Frequency)와 PSD를 정규화하여 도시한 것이다. 공간주파수가 0.03 (1/m) 구간에서 증폭한 것으로 보아 약 30 m 간격으로 진동이 발생한 것을 알 수 있다. 이를 Wavelet 변환을 실시하여 거리에 따른 공간주파수의 크기로 도시하면 <그림 2.50>과 같다. 0 m에서 약 500 m 지점까지 일정한 주파수로 진동이 발생하였으며 550 m 이후에는 일정하지 않은 간격으로 PSD 값이 200 이상으로 큰 진동이 발생하였다.

□ <그림 2.50>과 같이 궤도틀림 데이터를 Wavelet 기법으로 변환하여 진동이 발생하는 주파수 대역을 확인함으로서 기존의 TQI(Track Quality Index)를 이용한 방법보다 비교적 간단하게 틀림의 발생위치 및 주기 등을 확인할 수 있다. 단, 추가 연구를 실시하여 공간주파수의 유효범위 및 주파수 구간 별 영향인자에 대한 정의가 필요하며, PSD의 정량화를 통한 해당구간의 유지관리 기준을 제시 하여야 한다.

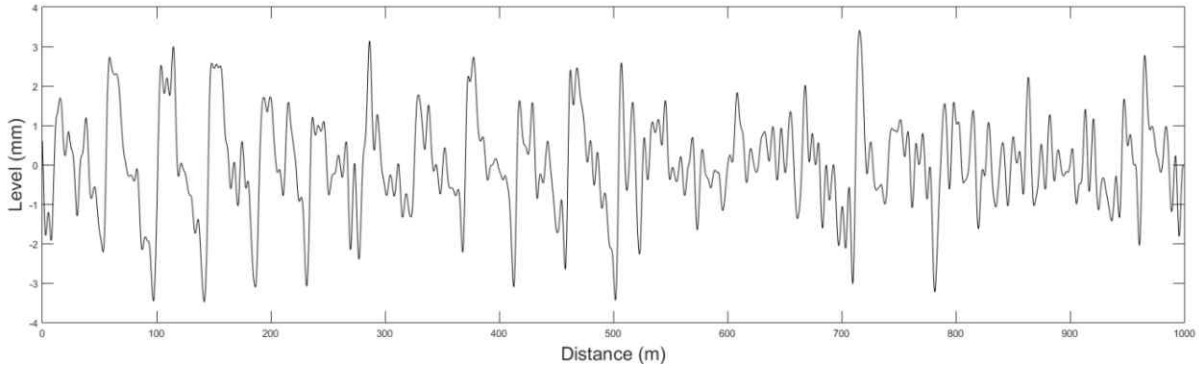


<그림 2.49> 공간주파수에 따른 정규화 PSD 변화 (Section A)



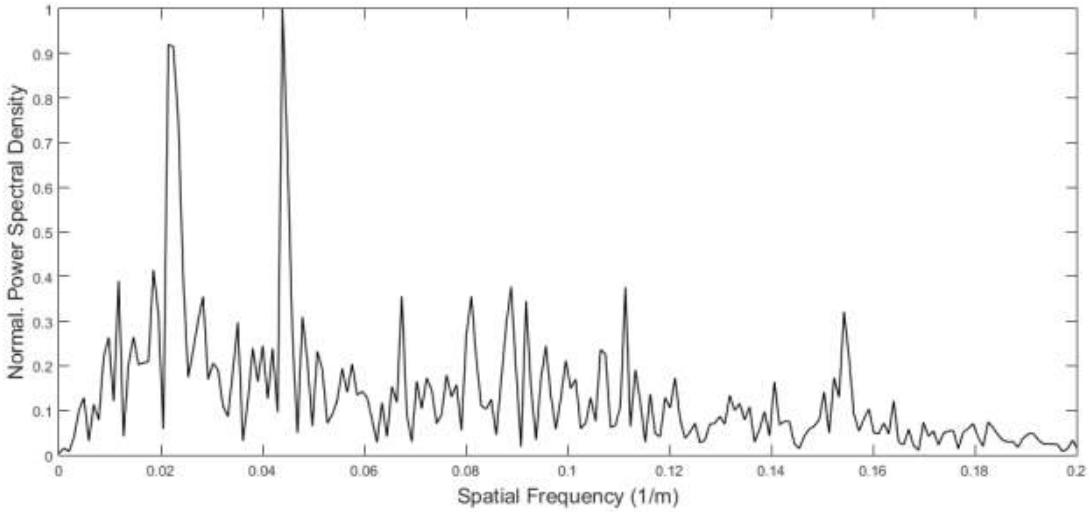
<그림 2.50> 웨이블릿 변환을 통한 거리별 공간주파수 변화 (Section A)

□ <그림 2.51>은 Section B 구간의 고저틀림을 나타낸 것이다. Section A 구간과 비교하여 틀림의 크기는 동일하며, 진동의 간격, 즉 주파수의 범위가 넓어 졌다. 또한, 거리 0 ~ 500 m는 일정한 진동 패턴을 보이며 500m 이상에서는 불규칙적인 진동이 발생하였다.

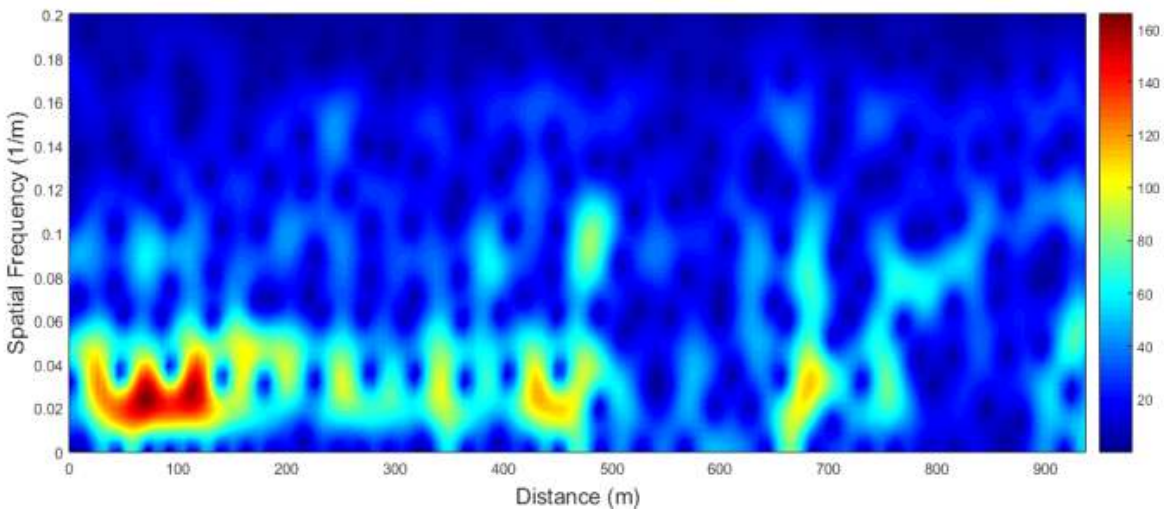


<그림 2.51> Rogel 1000k로 측정한 고저틀림 (Section B)

□ <그림 2.52>는 위 그림에서 제시한 고저틀림 데이터를 FFT 처리한 후 공간주파수(Spatial Frequency)와 PSD를 정규화하여 도시한 것이다. 공간주파수가 0.02와 0.045 (1/m) 구간에서 증폭한 것으로 보아 약 50 m 및 22.5 m간격으로 진동이 발생한 것을 알 수 있다. 이를 Wavelet 변환을 실시하여 거리에 따른 공간주파수의 크기로 도시하면 <그림 2.53>과 같다. 0 m에서 약 500 m 지점까지 일정한 주파수로 진동이 발생하였으며 약 700 m 지점에서 0.04 (1/m)의 공간주파수를 갖는 진동이 발생하였다.



<그림 2.52> 공간주파수에 따른 정규화 PSD 변화 (Section B)



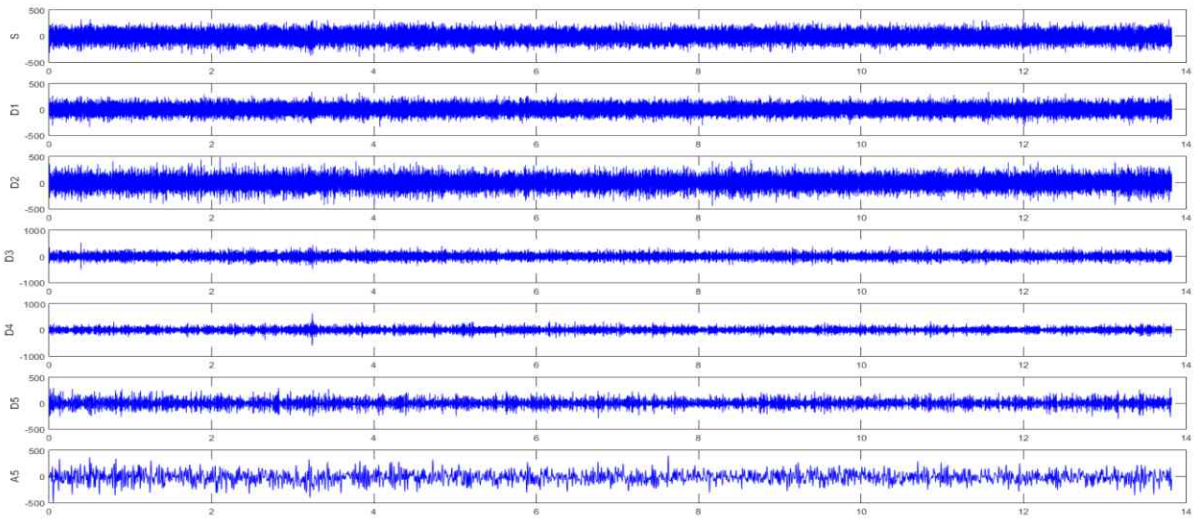
<그림 2.53> 웨이블릿 변환을 통한 거리별 공간주파수 변화 (Section B)

② 차륜 수직가속도 분석

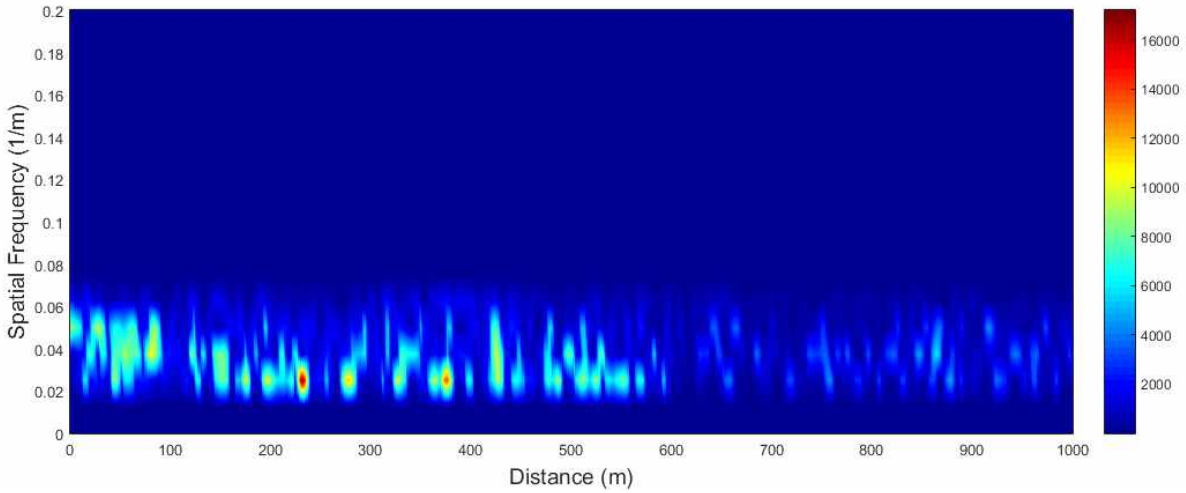
□ 본 연구에 사용된 차륜 수직가속도는 위의 궤도틀림 측정구간과 동일한 구간에서 운영중인 KTX 36호의 측정 데이터이다. KTX 36호에서 측정된 가속도 데이터는 차량의 안정성 및 승차감을 평가하는데 사용되며, 이 때 사용되는 주파수 대역은 약 10 Hz 이하의 저주파수이다. 그러나 10 Hz 이상의 데이터를 분석하면 레일 및 궤도의 상태를 역추적할 수 있으며 이러한 기법들이 국내외에서 꾸준히 연구되어지고 있다.

□ 본 연구에서는 궤도 틀림과 동일한 구간의 차륜 수직가속도를 측정하여 주파수 대역을 분석하고 이를 궤도 틀림과 비교, 분석하기 위하여 Fig. 11 및 Fig. 13과 같이 5단계(level)의 이산웨이블릿 변환을 실시하였다. 이때 열차의 속도는 약 300 km/h이며, 가속도 취득 시간은 약 14초로 총 연장은 1,000 m이다.

□ <그림 2.54>의 이산웨이블릿 변환 결과 중 D4의 signal에 대하여 웨이블릿 변환의 정의역 구간을 벗어나는 파장성분을 제거한 차륜의 수직가속도를 거리-공간주파수로 나타낸 것이다. 공간주파수가 약 0.03과 0.06 (1/m) 구간에서 PSD가 크게 증가한 것으로 보아 약 30 m 및 17 m 간격으로 진동이 발생한 것을 알 수 있다. 이는 앞서 제시한 궤도 틀림결과와 유사한 것을 알 수 있다. 또한 500 m를 기준으로 이러한 진동이 감소한 것도 유사함을 알 수 있다.

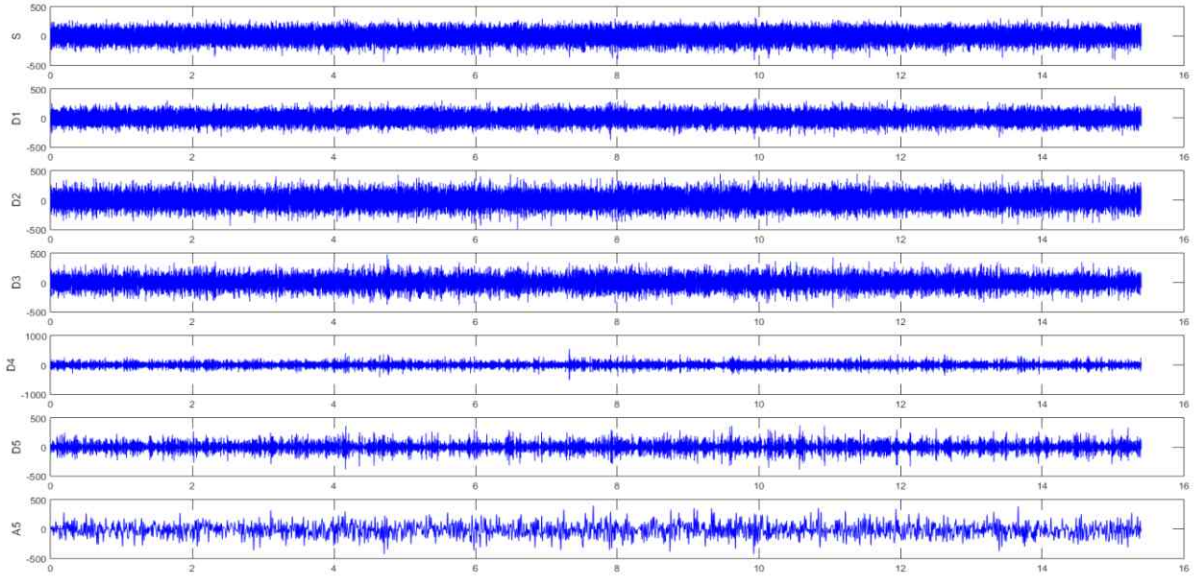


<그림 2.54> 이산웨이블릿 결과 (Section A)

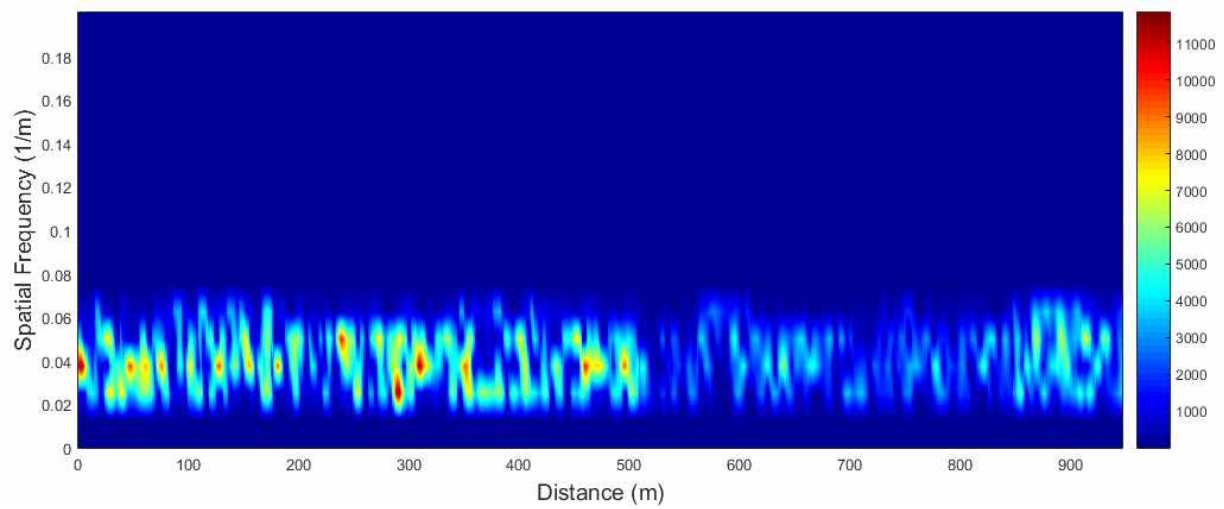


<그림 2.55> D4 신호에 대한 웨이블릿 변환 결과 (Section A)

□ <그림 2.56>은 이산웨이블릿 변환 결과 중 D4의 signal에 대하여 웨이블릿 변환의 정의역 구간을 벗어나는 파장성분을 제거한 차륜의 수직가속도를 거리-공간주파수로 나타낸 것이다. 공간주파수가 약 0.02와 0.05 (1/m) 구간에서 PSD가 크게 증가한 것으로 보아 약 50 m 및 20 m 간격으로 진동이 발생한 것을 알 수 있다. 이는 <그림 2.50>의 궤도 틀림결과와 유사한 것을 알 수 있다. 또한 500 m를 기준으로 이러한 진동이 감소한 것도 유사함을 알 수 있다.



<그림 2.56> 이산웨이블릿 결과 (Section B)



<그림 2.57> D4 신호에 대한 웨이블릿 변환 결과 (Section B)

□ 위의 결과로부터 고속차량의 진동 가속도 데이터를 이산 웨이블릿 변환으로 주파수 대역을 분리하고 이를 다시 웨이블릿과 공간주파수 기법을 이용하여 분석을 실시하면 특정위치의 틀림 발생 유무를 확인할 수 있다.

□ 본 연구에서는 차년도에 위의 분석 기법을 활용하여 고주파수 대역에서 발생하는 레일찍힘(Squats), Corrugation, 신축이음매 열화 등을 실차 시험 및 분석 통하여 확인할 예정이다.

2.1.2. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 기초설계개념(안) 제시

(수행기관 : 모루기술㈜)

1) 운영 검측차량 적용기술 현황 및 성과물 적정 설치 위치 검토

가. 국내외 검측차량 적용기술 현황

① 국내 검측차량 적용기술 현황

□ 고속철도의 도입으로 철도는 가장 신뢰성 있고 빠른 교통수단으로 자리 잡고 있다. 철도교통은 가장 안전한 교통수단으로 인식되어 왔으며, 교통수단별 수송분담율과 사망자수 통계를 기준으로 평가한 교통수단별 안전도가 이를 입증한다.

□ 이러한 철도교통이 안전성과 신뢰성, 승차감과 고속성을 유지하기 위해서는 선로구축물을 적절하게 경제적으로 유지하는 것이필수이며, 이를 위해서는 가장 먼저 선로의 상태를 정확히 검측하여 판단하는 것이 중요하다.

□ 정확한 판단을 통하여 적절한 유지보수 방법과 시기를 결정할 수 있어서 경제적인 유지보수가 가능하게 된다. 국내에서는 한국철도공사와 서울메트로(현 서울교통공사) 등 철도운영기관에서 약 35년 전부터 해외에서 전문 검측장비를 구비한 종합검측차, 레일탐상차, 선로점검차 등의 검측 결과를 통해 필요한 유지보수 작업을 하고 있으며 최근에는 열차의 고속화 및 선로용량의 증가에 따라 유지보수에 투입되는 시간은 점차 감소되고 있어서 고속검측차량을 적용하여 영업차량과의 간섭을 최소화필요가 있다.

□ 그러나, 국내에서는 고속검측을 위한 연구가 본격적으로 추진되지는 않았고 자체적으로 장비나 검측차량을 개발하여 상용화한 사례는 없으며, 주로 국외에서 검측장비나 검측차를 도입하여 사용하고 있는 실정이다. 국외에서 제작되어 신규로 도입된 검측장비는 국내의 궤도 유지보수 기준 및 기존의 장비체계와 호환되지 않는 경우가 많아 즉각적인 적용에 어려움이 있었으며, 사양 업그레이드 및장애 발생 시 수리에 많은 시간이 필요하고 장비의 활용 또한 제한적이다.

□ 한국철도공사의 경우 EM-120, EM-140K과 Roger-1000K 등의 검측차를 해외에서 수입하여 운용하여 왔으며, Roger-1000K는 2004년 이탈리아 MERMEC으로부터 도입한 자주식 종합검측차로서, 차량운행 속도가 160㎞/h로서 주간 운행이 곤란하여 야간 검측을 수행하고 있으나, KTX의 고속운행 조건과 상이한 조건 (열차, 운행속도 등)하에서 검측이 수행됨에 따라 KTX의 고속주행 거동과 검측결과를 동기화하여 궤도 유지보수에 필요한 자료 확보에 한계가 있으며, 궤도 등에 대한 야간 유지보수 시간을 충분히 확보하기에 어려움이 있다.

□ 선로 검측시스템은 운용국가의 철도 운영환경과 밀접한 관련이 있으며, 열차의 운행속도 및 객화차의 혼합통행 여부, 선로 유지보수 체계 및 비용, 이용객의 승차감 요구수준 등에 맞추어 적절한 시스템의 개발 및 운용이 필요하므로, 국외의 시스템을 바로 도입할 경우 국내의 운영환경과 상이하여 비효율성 발생하며 철도 운영기술의 종속이 우려된다.

□ 아래 표는 선진국 대비 요소기술의 기술수준을 나타낸다

<표 2.7> 선진국 대비 요소기술의 기술수준

기술항목	선진국 대비 기술수준				
	부족	다소부족	동등	우월	보다우월
비접촉식 선로검측 기술	○				
고속카메라 이미지 측정 및 프로세싱 기술		○			
고내구성 광센서 기술	○				
고속이동체 정밀 위치추적 기술	○				

□ 비접촉식 선로검측 기술 : 선로시스템 검측을 위한 원천 세부기술에 대한 연구(한국철도기술연구원, 2005~2008)가 일부 진행되었으며, 이들 연구를 통하여 검측시스템의 개발을위한 세부 핵심기술을 일부 확보하였으나, 선진국의 최고수준에는 부족하다.

□ 고속카메라 이미지 측정 및 프로세싱 기술 : 한국철도기술연구원에서 2006년 레이저-카메라 조합에 의한 광절단 측정 방법과 DSP 기반 고속영상처리시스템을 이용한 300km/h 속도에서 최소 25cm 간격으로 레일의 단면형상측정시스템을 개발, 2008년 1메가급해상도 영상을 480프레임의 속도로 처리할 수 있는 DSP와 FPGA기반의 고성능 영상처리보드를 개발하였다.

□ 한국전자통신연구원과 한국기계연구원에는 다수의 비전처리 전문가가 있으며, 형상 측정 기술을 보유하고 있음. 또한 한국기계연구원에서는 기구 모듈화 및 진동저감 기술을 확보하고 있다

□ 고내구성 광센서 기술 : 센서 측정 기술의 경우 KIST와 몇몇 기업체에서 개발 중이나 국내에서 핵심 부품은 거의 수입해서 쓰는 실정임. 온도, 변형률 측정 등 구현 가능한 기술이 제한적임. 센서 다중화 기술은 연구실 레벨에서 실험이 이루어졌고 최근에 일부 응용에서 상용화 성공하였다

□ 고속이동체 정밀 위치추적 기술

- GPS 국내 수준: 국내 GPS 수신 기술과 관련해서 GPS 단일 및 다중 주파수 수신기 등의 연구내용을 중심으로 산학연에서 다양한 기술을 보유하고 있음. 그러나 칩셋 개발은 프로젝트 형태로만 개발되었으며, 수신 감도가 선진기술에 비해 떨어진다

- INS 및 INS/GPS 국내 수준: INS의 기술은 센서 레벨에서의 IMU 기술에 의존적임. 국내에서 민간용으로 중급 이상의 IMU는 개발하고 있지 않으며 MEMS 센서 기반의 저급 IMU를 개발하고 있음. Airgate사에서 UAV용 IMU를 AHRS(Attitude Heading Reference System)의 이름으로 개발하여 판매하고 있으며 3축 자이로, 3축 가속도계, 3축 지자계 센서를 탑재하고 있으며 GPS/INS 기능을 지원하고 있음. Microinfinity사는 접촉식 DR 방식인 Odometer와 자이로로 DR을 수행하고 GPS와 결합한 CruizCore GA1030을 개발하였으며, 비접촉식 DR 방식으로 IMU를 사용하고 GPS와 결합한CruizCore GA2310을 개발하였음

② 국외 검측차량 적용기술 현황

□ 열차의 고속화 및 선로용량의 증가에 따라 유지보수에 투입되는 시간은 점차 감소되고 있으며, 철도선진국에서는 고속검측기술을 적용한 검측차량을 적용함으로써 영업차량과의 간섭을 최소화하고자 노력하고 있음

□ 해외의 검측기술은 이탈리아의 MERMEC 사가 주도하고 있으며, 영국의 Balfour Beatty, 프랑스의 Egis, 오스트리아의 Plasser & Theurer 등 유럽에서 많은 기술이 개발되고 있음

□ 미국의 Ensco사, Bentley 등에서도 미국의 철도 특성에 맞는 검측기술을 개발하고 있으며, 장비의 개발 뿐만 아니라, 검측용역도 같이 수행하고 있음

□ 최신 검측기술의 주요 동향은 다음과 같이 정리할 수 있음

- 고속화 : 검측으로 인한 열차운행에 지장을 최소화하기 위하여 열차의 고속화에 따라 검측기술도 고속화 되고 있음

- 비접촉식 : 관성식, 광학식 기술 등 비접촉식 기술이 활발히 적용되고 있음

- 모듈화 : 검측의 목적에 맞도록 모듈화로 개발하여, 다양한 차량의 형식에 적용가능

- 소형화 : 소형차량에도 적용할 수 있도록 검측시스템을 소형화 하고 있음

㉮ 이탈리아 MERMEC 사

□ 궤도, 전차선을 검측 및 조사하는 전문적인 장비업체이다. 노반을 제외한 대부분의 철도구조물을 검측하는 측정 장치를 보유하고 있음

- 가속도계, 자이로, 광학센서를 사용한 비접촉식 검측방법 적용하여 궤도틀림의 경우 시속 400km/h까지 측정가능, 분기기는 240 km, 레일단면형상은 350km 까지 측정 가능함, 파상마모는 160km/h 까지
- 영상이미지를 처리 기술을 적용하여, 200km/h의 속도로 레일, 체결구, 침목, 접착절연이음매 등 궤도구성품의 결함을 파악함
- 초음파탐상기술을 적용하여 120 km/h의 속도로 레일내부의 결함을 탐지함
- 가속도계 및 로드셀을 사용하여 판토그래프의 압상력을 320 km/h의 속도록 모니터링

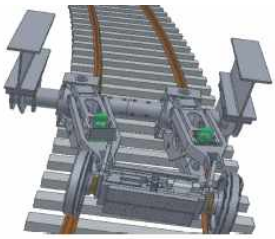
<그림 2.58> MERMEC사의 검측기술 현황

㉯ 미국 ENSCO사

□ 궤도 검측 종합회사로 검측 차량 (동력차, 부수차, 트럭이용 검측차) 외에 각종 검측 장비 및 기술을 보유하고 있음

- 소형검측차 및 철도차량에 비접촉식 검측기술을 적용하여 궤도틀림, 파상마모 등을 측정
- 궤도에 물리적인 하중을 가하여 강성을 80km/h의 속도로 측정
- 고속영상처리기술을 이용하여 궤도구성품의 결함 검측

소형 검측차


궤도강성측정

궤도구성품 결함 측정

<그림 2.59> ENSCO사의 검측기술 현황

㉰ 스위스 Amberg Technologies사

- 3차원 측량기술 전문회사이며 선로구축물 검측을 위한 모듈화된 장비를 개발하고 있다.
- 고정밀 레이져 측량기술을 적용하여 궤도틀림, 건축한계, 터널내공단면 측정기술 보유

측량식 궤도틀림 검측

터널 내공단면 측정

건축한계 측정

<그림 2.60> Amberg Technologies 검측기술 현황

③ KTX-36호차량의 신호계측시스템

□ 고속선 신호 검측을 위해 영업차량인 KTX-36호의 1호 객차 및 18호 객차를 개량하여 검측하고 있으며, KTX-36호에 설치된 신호 관련 검측 항목은 다음과 같다.

- ATC 연속정보 메시지 및 레벨
- ATC 불연속정보 메시지 및 레벨
- 보상콘덴서 이상 유무
- ATS 지상자 주파수 및 응동 시간

□ ATC 검측설비(연속정보 검측장치, 불연속정보 검측장치)와 ATS 검측설비는 차량의 양끝단에 설치되며 양방향에 대하여 각각의 안테나 입력을 수신하여 총괄 제어장치(또는Data logging 장치)에서 정보를 처리함

□ 불연속정보 검측장치는 왼쪽 및 오른쪽 안테나에 전원을 공급하고 수신된 불연속 PSK신호를 처리하여 메시지를 복원한 후, 직렬 통신으로 총괄제어 컴퓨터에 관련 정보를 전송하며 보상 콘덴서 검측장치는 검측된 레벨의 분석을 통하여 보상 콘덴서의 이상을 확인함

□ ATS 검측장치는 측정한 ATS 응동 주파수와 응동 시간을 네트워크 통신으로 총괄제어컴퓨터로 전송하며, 총괄제어 컴퓨터는 차량의 속도 정보, 위치 정보와 함께 측정한 모든 정보를 자체 데이터베이스에 저장함과 동시에 표시장치로 관련 정보를 운영자에게 표시, 검색, 및 인쇄할 수 있으며, 데이터 로깅 장치는 차량의 속도 정보, 위치 정보와 함께 측정한 모든 정보를 자체의 데이터베이스에 저장하고 운영자가 데이터 검색 및 백업을 할 수 있도록 구성됨

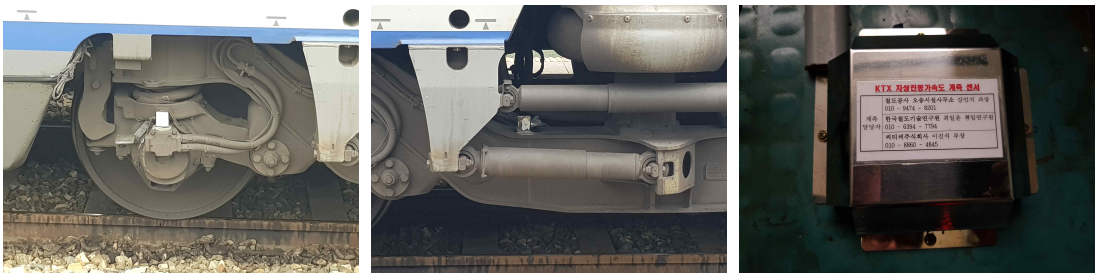
□ 검측장치의 내부/외부의 정보 흐름에 따라 관련 기능을 실현하며, 각각의 기능별 장치에서 측정한 정보는 총괄제어장치에서 연산 및 저장하며 운영자 표시장치에 표시함

④ KTX-36호차량의 승차감 평가 시스템

□ KTX-36호에 설치된 승차감 평가 관련 검측 항목은 다음과 같음

- 차축, 보기, 차상 진동가속도 데이터
- GPS를 활용한 위치 데이터
- 타코메터를 활용한 차륜 회전수에 따른 거리데이터

□ 진동가속도는 X축을 진행방향으로 선정하고 Y축을 차체의 횡방향의 거동으로 설정, Z축을 차량의 수직적 거동이라고 하였을 때, 차축 및 보기의 진동가속도는 Y축과 Z축의 데이터를 수신하고, 차상의 진동가속도는 X축, Y축 Z축의 진동가속도를 측정하여 데이터 수집 장치로 전송함



<그림 2.61> KTX-36호차에 장착된 차축, 대차, 차상 진동가속도계

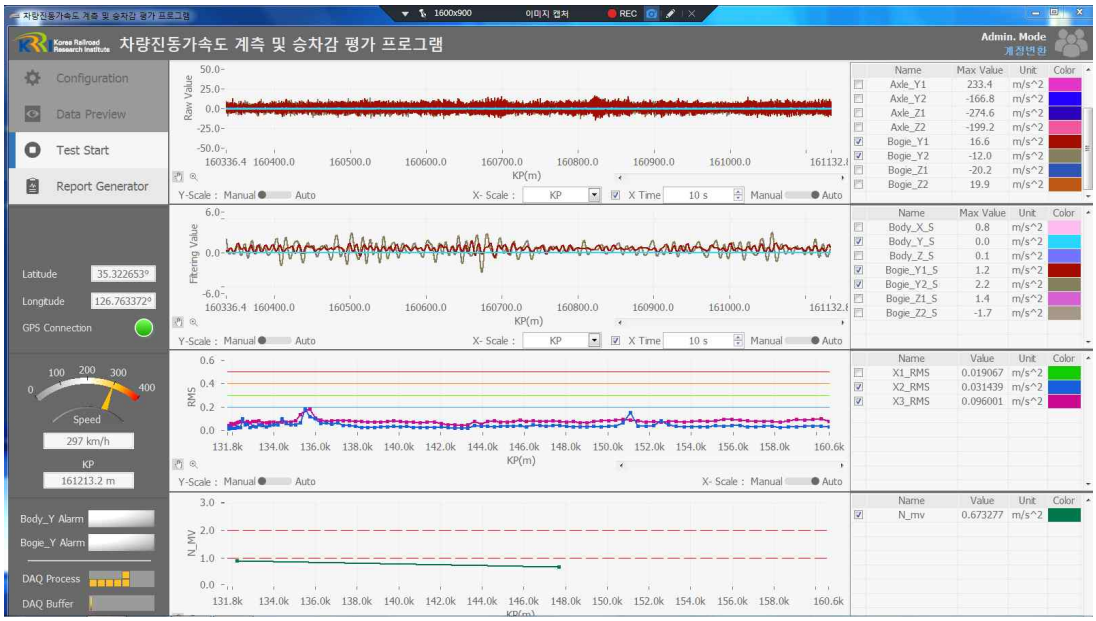
□ GPS 위치데이터는 GPS신호를 통하여 차량의 속도, 차량의 위치 등의 데이터를 측정하여 데이터 수집 장치로 전송함

<그림 2.62> KTX-36호차에 장착된 GPS 안테나

□ 타코메터는 차량이 터널, 교량 등 차량의 위치를 GPS신호로 측정 불가 시에 차량의 차륜의 회전수를 측정하여 거리로 환산이 가능하며, 차륜의 회전수를 측정하여 데이터 수집장치로 전송함

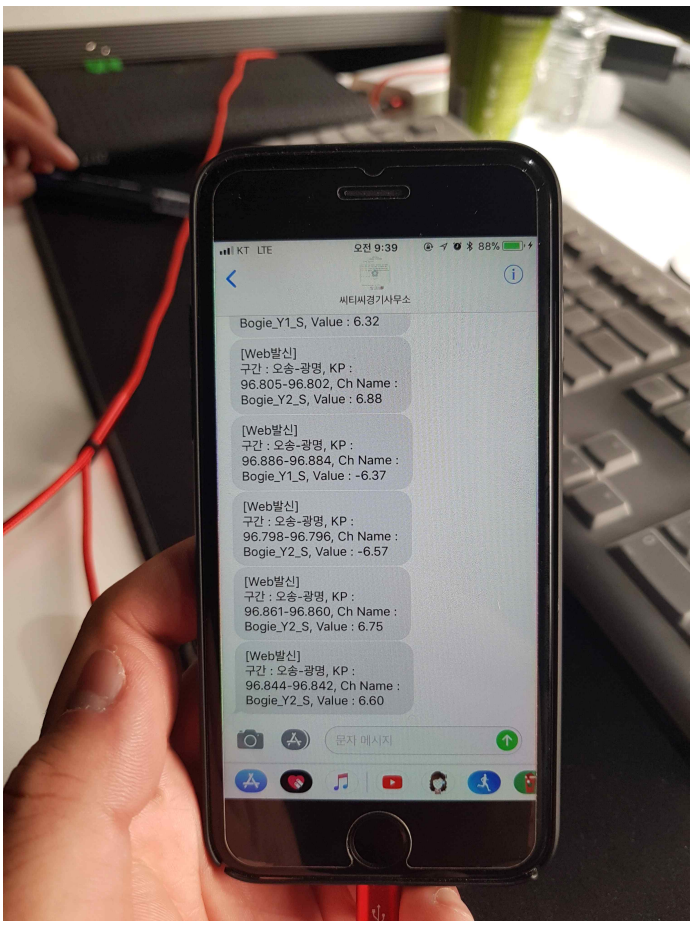
<그림 2.63> 차량보기에 장착된 타코메터

□ 데이터 수집장치는 가속도데이터, GPS데이터, 타코메터 데이터를 취합·분석하여 결과 값을 저장하며 가속도RAW데이터, UIC518분석 값, 가속도RMS(승차감도) 값, EN12299분석 값 등을 차량에 탑재된 모니터에 출력함



<그림 2.64> KTX-36호차에 탑재된 차량진동가속도 계측 및 승차감 평가 프로그램

□ 차량진동가속도 계측 및 승차감 평가 프로그램에서 수집·분석된 값이 기준치 이상의 값을 감지한 경우, 관리자에게 문자메시지 알림을 보냄



<그림 2.65> 기준 값 이상 발생 시 문자 전송

2) 차축/대차 무선진동가속도 포터블 측정방비 초기모형 설계 및 시작품 제작 (WA-PMS)

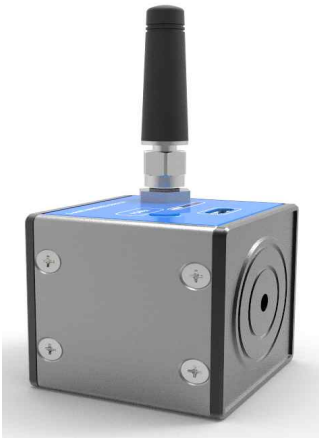
가. WA-PMS 하드웨어

□ WA-PMS 요구 SPEC

- 센싱 감도 : 50㎷/g ±10%
- 측정 주파수 성능 : 0 ~ 1,000㎐
- 진동 계측 지오메트리: X축, Y축, Z축, 총 3축

□ WA-PMS 하우징 디자인

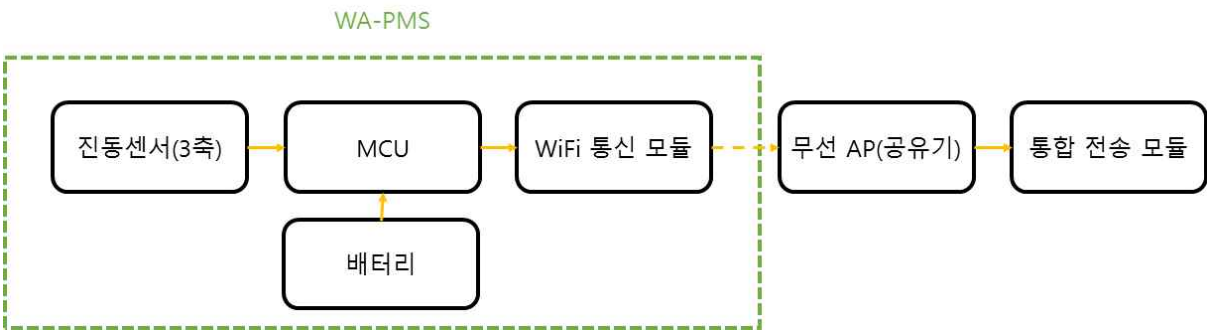
<그림 2.66> 하우징 상부



<그림 2.67> 하우징 측면1

<그림 2.68> 하우징 측면2

□ WA-PMS 블록다이어그램



<그림 2.69> WA-PMS 블록다이어그램

□ WA-PMS 주요 사양

- 배터리 3.7V
- 3축 Digital Sensor
- WiFi 통신(1dBi 안테나)

나. WA-PMS 펌웨어 프로그램

□ 센서 IP 설정

- 센서 및 서버 IP 변경 가능하도록 조정
- IP는 C클래스를 이용
- 센서 Default IP : 192.168.10.100 (초기값)
- Destination IP(엔진) : 192.168.10.126 (초기값)
- PORT : 09999 (초기값)
- 초기 센서 및 엔진 IP는 위와 같이 설정됨.
- 통신 방식: TCP/IP

□ Command List

<표 2.8> 커맨드 리스트

※ Command = ASCII

No	Command	Description
1.	EDIT	센서 설정
2.	READ	센서 설정값 읽어오기
3.	STAT	측정시작
4.	STOP	측정종료

□ Command packet Part : 센서 설정 포트는 9999으로 고정

□ 장비 확인

- Command : EDIT, 모든 바이트는 문자열 (ASCII)
- reply data

<표 2.9> 센서 장비 확인 요청에 따른 센서 답변 코드 정보

MI (4)	Ver (1)	S. ID (4)	SensorIP (15)	EngineIP (15)	PORT (5)	TIME (15)	Saving (1)	G_value (2)	Sampling (4)	offset (7)	sensitivity (7)
EDIT											

*Ver: ASCII 1byte 0

- 펌웨어 Version 정보 확인 바이트

*S.ID(=Sensor ID) : ASCII 4byte (ex) 0001/ F0002

- SENSOR ID 정보 셋팅 바이트

*Sensor IP: ASCII 15byte (ex) 192.168.000.100

- SENSOR IP 정보 셋팅 바이트

*Engine IP: ASCII 15byte (ex) 192.168.000.010

- Engine IP 정보 셋팅 바이트

  *PORT: ASCII 5byte (ex) 09999

- PORT 정보 셋팅 바이트

  *TIME: ASCII 15byte (ex)190820202135650 ->2019년8월20일20시21분35초650ms

-TIME 정보 셋팅 바이트

  *Saving: ASCII 1byte

- 'R' : 실시간 데이터 전송

  *G_value: ASCII 2byte (ex) 08/ 16/ 32/ 64

- 센서 G값 셋팅 바이트

  *Sampling: ASCII 4byte (ex) 0006/ 0012/ 0013/ 0018/ 0024/ 0025

  *offset: ASCII 7byte (ex) 01113.3/ 013.450

- 센서 offset 셋팅 바이트

  *sensitivity: ASCII 7byte (ex) 0004096/0002048/0001024/0000512

- 센서 sensitivity 셋팅 바이트
- response data

<표 2.10> EDIT 명령어에 대한 응답 값 예시

MI (4)	Result(12)
EDIT	010000010000

□ 센서 설정 값 읽기

- Command: READ, 모든 바이트는 문자열 (ASCII)
- reply data

<표 2.11> 센서 설정 값 읽기에 대한 명령어

MI (4)
READ

- response data

<표 2.12> 센서 설정 값 요청에 따른 센서 답변 코드 정보

MI (4)	Ver (1)	S. ID (4)	SensorIP (15)	EngineIP (15)	PORT (5)	TIME (15)	Saving (1)	G_value (2)	Sampling (4)	offset (7)	sensitivity (7)
READ											

*Ver : Sensor 해당 펌웨어 version 정보 송신

*EDIT로 설정한 Value 반환

□ 512샘플 데이터 송/수신 Part : 512샘플 데이터 송/수신 포트는 9999로 고정 측정 시작/ 종료 Command 추가

□ 측정시작

- Command : STRT
- reponse data의 xdata, ydata, zdata를 제외한 byte는 Ascii
- reply data

<표 2.13> 센서 값 측정 시작 요청에 대한 명령어

MI (4)
STRT

- response data

<표 2.14> 센서 값 측정 시작 요청에 따른 센서 답변 코드 정보

MI (4)	S.ID (4)	StartTime (15)	G_value (2)	Sampling (4)	reserved (3)	Xdata (1024)	Ydata (1024)	Zdata (1024)
STRT								

- reserved : 3byte는 ASCII로 '000'으로 설정 요망.

□ 측정종료

- Command : STOP
- reply data

<표 2.15> 센서 값 측정 정지 요청에 대한 명령어

MI (4)
STOP

- response data

<표 2.16> 센서 값 측정 정지 요청에 따른 센서 답변 코드 정보

MI (4)
STOP

다. WA-PMS 시제품 자체 교정 성적서

□ 검사(교정) 기관 : 모루기술 주식회사

□ 검사(교정) 대상 / Model : 3축 무선 가속도 센서 / WA-PMS

□ 검사(교정) 사용장비 / 제작사 : 9110D / The Modal shop, Inc

□ 검사(교정) 일자 : 2019년 11월 28일

□ 검사(교정) 환경 : 온도 23.2 ±0.3℃, 상대습도 46 ±3% R.H.

□ 검사(교정) 결과

□ 주파수 특성 시험(1g RMS 가진 입력)

<표 2.17> WA-PMS 시제품 자체 교정 결과

주파수[Hz]	감도 [g RMS]			주파수[Hz]	감도 [g RMS]		
	X	Y	Z		X	Y	Z
20	1.08	0.84	0.99	160	1.11	0.86	0.97
40	1.08	0.85	0.97	315	1.09	0.87	1.01
80	1.08	0.85	0.97	630	1.32	0.87	1.19
100	1.08	0.84	0.98	1000	1.11	0.94	1.75

라. WA-PMS 시제품 KOLAS 교정 성적서

□ 검사(교정) 기관 : ㈜시스피아

□ 검사(교정) / Model : 3축 무선 가속도 센서 / 1001

<표 2.18> 검사(교정) 사용장비

기기명	제작회사 및 형식	기기번호	차기교정 예정일자	교정기관
Accelerometer	B&K / 8305	2537529	2020.09.27	한국산업기술시험원
Conditioning Amp	B&K / 2692	2951889	2020.09.30	한국산업기술시험원
Digital Multimeter	Agilent / 34401A	US36076740	2020.09.30	㈜에이치시티
Frequency Counter	Agilent / 53181A	1514495	2020.09.27	㈜에이치시티
Thermometer / Hygrometer	Testo / 176H1	40801418	2020.09.27	㈜에이치시티
Power Amplifier	B&K / 2718	E01A14K0945	-	교정불필요
Vibration Exciter	B&K / 4808	2913441	-	교정불필요

□ 검사(교정) 일자 : 2019년 11월 13일

□ 검사(교정) 환경 : 온도 22.4 ±0.1℃, 상대습도 43 ±2% R.H.

□ 검사(교정) 결과

<표 2.19> 가속도(Acceleration) - X축

주파수 [Hz]	기준값(A) [m/s2, RMS]	지시값(B) [m/s2, RMS]	보정값(A-B) [m/s2]	상대 측정불확도 [%] (신뢰수준 약 95%, k=2)
20	10.0	10.4	-0.4	2.0
40	10.0	10.4	-0.4	2.0
80	10.0	10.5	-0.5	2.0
100	10.0	10.5	-0.5	2.0
160	10.0	10.6	-0.6	2.0
315	10.0	11.2	-1.2	2.0
630	10.0	14.3	-4.3	2.0
1000	10.0	23.7	-13.7	2.8

<표 2.20> 가속도(Acceleration) - Y축

주파수 [Hz]	기준값(A) [m/s2, RMS]	지시값(B) [m/s2, RMS]	보정값(A-B) [m/s2]	상대 측정불확도 [%] (신뢰수준 약 95%, k=2)
20	10.0	10.8	-0.8	2.0
40	10.0	10.8	-0.8	2.0
80	10.0	10.8	-0.8	2.0
100	10.0	10.9	-0.9	2.0
160	10.0	11.0	-1.0	2.0
315	10.0	11.5	-1.5	2.0
630	10.0	14.4	-4.4	2.0
1000	10.0	24.0	-14.0	2.7

<표 2.21> 가속도(Acceleration) - Z축

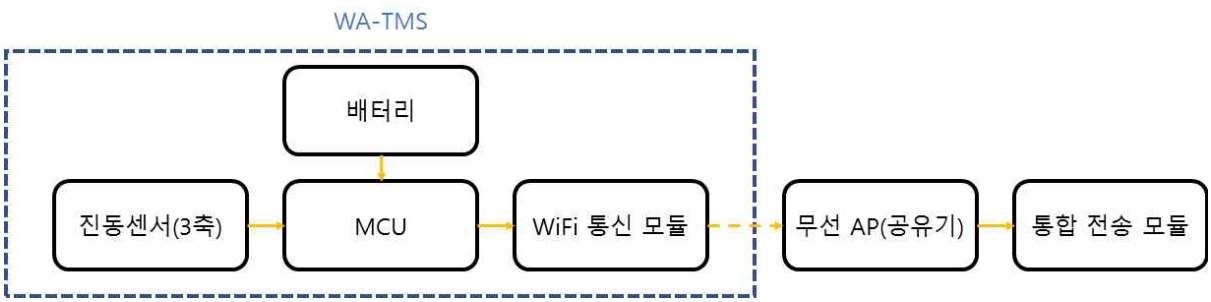
주파수 [Hz]	기준값(A) [m/s2, RMS]	지시값(B) [m/s2, RMS]	보정값(A-B) [m/s2]	상대 측정불확도 [%] (신뢰수준 약 95%, k=2)
20	10.0	10.2	-0.2	2.0
40	10.0	10.2	-0.2	2.0
80	10.0	10.3	-0.3	2.0
100	10.0	10.3	-0.3	2.0
160	10.0	10.0	-0.3	2.0
315	10.0	10.4	-0.4	2.0
630	10.0	10.6	-0.6	2.0
1000	10.0	11.3	-1.3	2.7

3) 무선 차상진동가속도 측정 및 통합 전송모듈 초기모형 설계 및 시작품 제작 (WA-TMS)

가. WA-TMS 요구 SPEC

- 센싱 감도 : 50㎷/g ±10%
- 측정 주파수 성능 : 0 ~ 1,000㎐
- 진동 계측 지오메트리: X축, Y축, Z축, 총 3축

나. WA-TMS 블록다이어그램



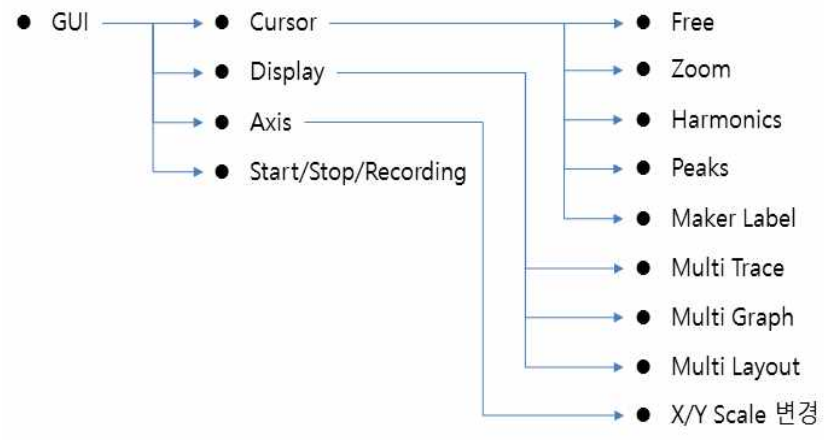
<그림 2.70> WA-TMS 블록다이어그램

□ 주요사양

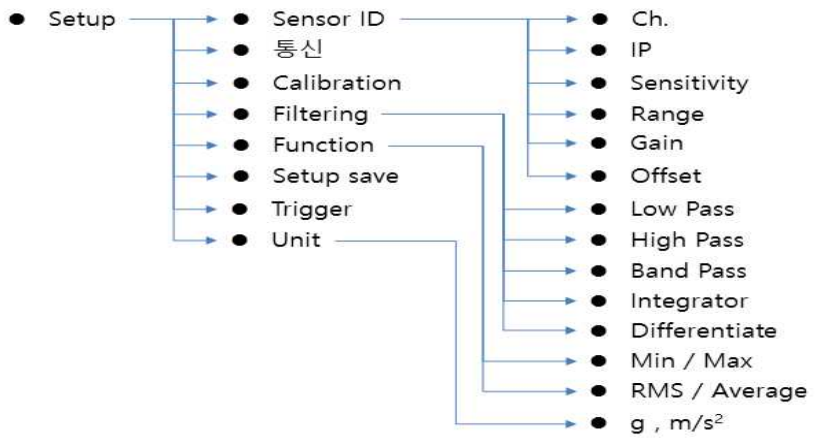
- 배터리 3.7V
- 3축 Digital Sensor
- WiFi 통신(1dBi 안테나)

다. WA-TMS UI 소프트웨어

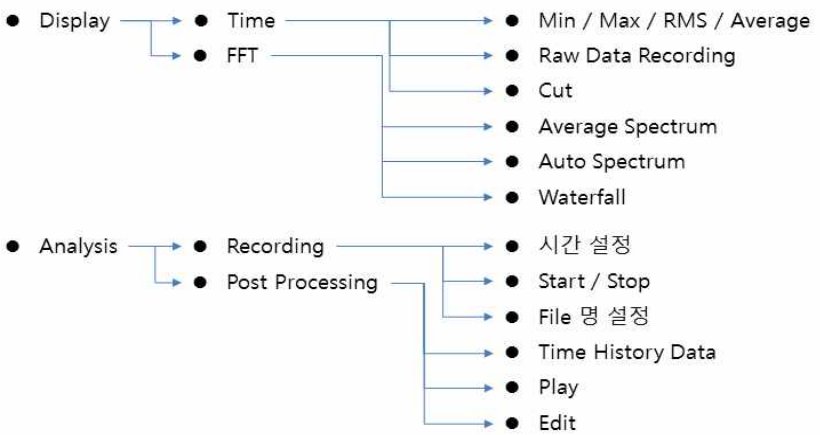
□ 소프트웨어 기능



<그림 2.71> 소프트웨어 GUI

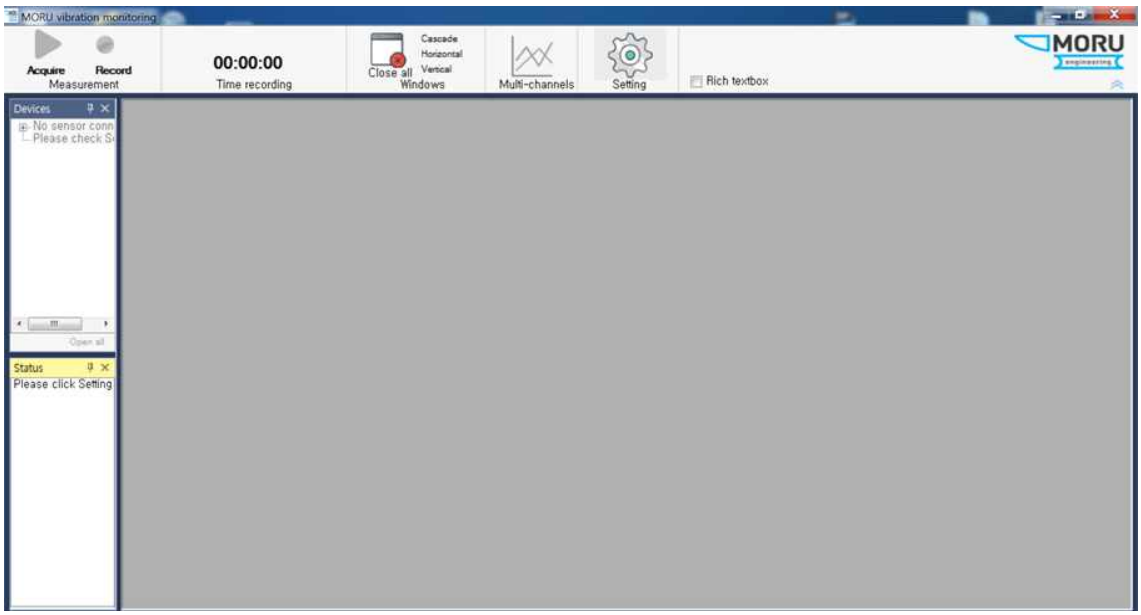


<그림 2.72> 소프트웨어 SETUP



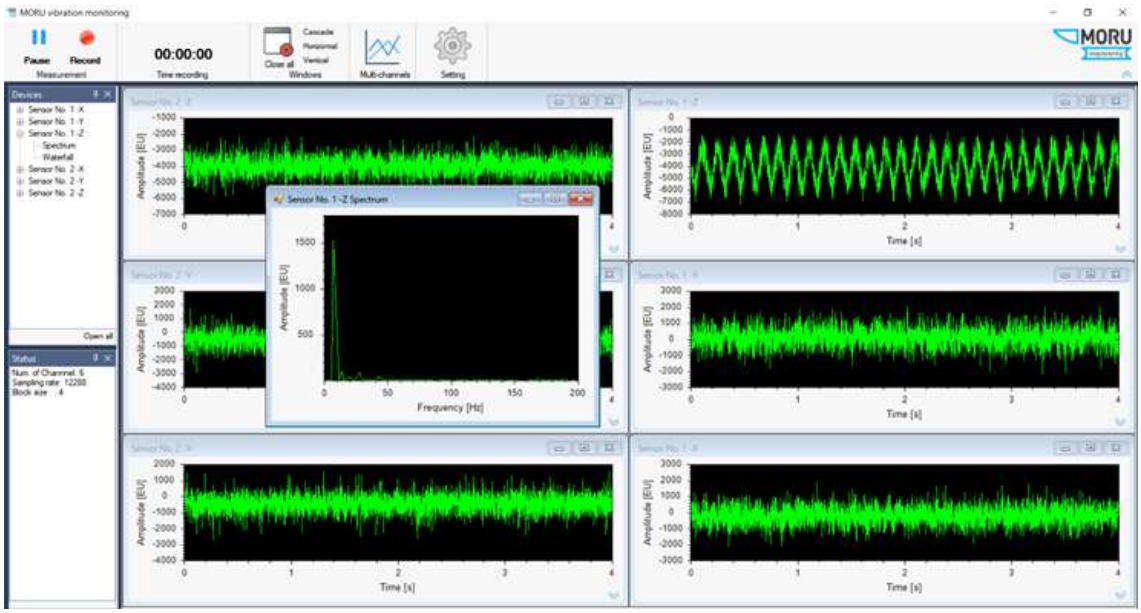
<그림 2.73> 소프트웨어 Diplay, Analysis

□ UI 소프트웨어 초기 화면



<그림 2.74> 소프트웨어 초기 실행 화면

□ UI 소프트웨어 실행 화면



<그림 2.75> 소프트웨어 제품 실행 화면

라. WA-TMS 자체 교정성적서

□ 검사(교정) 기관 : 모루기술 주식회사

□ 검사(교정) 대상 / Model : 3축 무선 가속도 센서 / WA-TMS

□ 검사(교정) 사용장비 / 제작사 : 9110D / The Modal shop, Inc

□ 검사(교정) 일자 : 2019년 11월 28일

□ 검사(교정) 환경 : 온도 23.2 ±0.3℃, 상대습도 46 ±3% R.H.

□ 검사(교정) 결과

<표 2.22> 주파수 특성 시험(1g RMS 가진 입력)

주파수[Hz]	감도 [g RMS]			주파수[Hz]	감도 [g RMS]		
	X	Y	Z		X	Y	Z
20	1.00	0.97	1.14	160	1.04	1.00	1.12
40	1.00	0.96	1.12	315	0.99	0.91	1.19
80	1.00	0.97	1.13	630	1.03	0.96	1.38
100	1.00	0.97	1.13	1000	1.11	1.0	1.82

마. WA-TMS KOLAS 기관 선형성 시험 성적서

□ 검사(교정) 기관 : ㈜시스피아

□ 검사(교정) / Model : 3축 무선 가속도 센서 / 1002

<표 2.23> 검사(교정) 사용장비

기기명	제작회사 및 형식	기기번호	차기교정 예정일자	교정기관
Accelerometer	B&K / 8305	2537529	2020.09.27	한국산업기술시험원
Conditioning Amp	B&K / 2692	2951889	2020.09.30	한국산업기술시험원
Digital Multimeter	Agilent / 34401A	US36076740	2020.09.30	㈜에이치시티
Frequency Counter	Agilent / 53181A	1514495	2020.09.27	㈜에이치시티
Thermometer / Hygrometer	Testo / 176H1	40801418	2020.09.27	㈜에이치시티
Power Amplifier	B&K / 2718	E01A14K0945	-	교정불필요
Vibration Exciter	B&K / 4808	2913441	-	교정불필요

□ 검사(교정) 일자 : 2019년 11월 13일

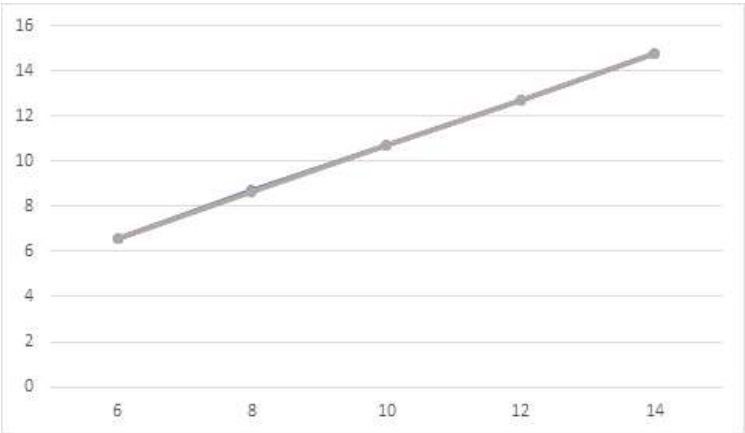
□ 검사(교정) 환경 : 온도 22.4 ±0.1℃, 상대습도 43 ±2% R.H.

□ 검사(교정) 결과

<표 2.24> X-축, 주파수 : 100Hz, Accelerometer : MORU 132A64, S/N : 1002

(단위 : m/s2)

가진값	6	8	10	12	14
1회	6.61	8.68	10.7	12.7	14.8
2회	6.61	8.67	10.7	12.7	14.8
3회	6.61	8.66	10.7	12.7	14.8

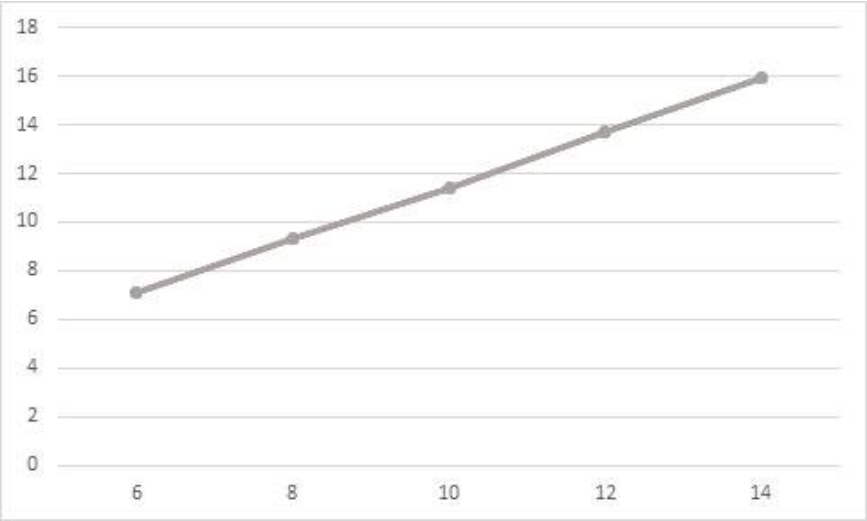


<그림 2.76> X-축, 주파수 : 100Hz, Accelerometer : MORU 132A64, S/N : 1002 그래프

<표 2.25> Y-축, 주파수 : 100Hz, Accelerometer : MORU 132A64, S/N : 1002

(단위 : m/s2)

가진값	6	8	10	12	14
1회	7.13	9.34	11.4	13.7	15.9
2회	7.11	9.34	11.4	13.7	15.9
3회	7.13	9.34	11.4	13.7	15.9

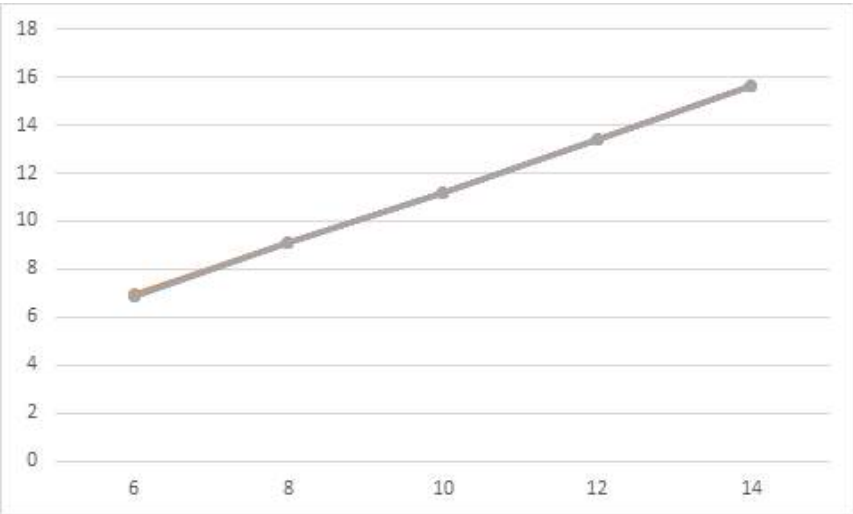


<그림 2.77> Y-축, 주파수 : 100Hz, Accelerometer : MORU 132A64, S/N : 1002 그래프

<표 2.26> Z-축, 주파수 : 100Hz, Accelerometer : MORU 132A64, S/N : 1002

(단위 : m/s2)

가진값	6	8	10	12	14
1회	6.91	9.13	11.2	13.4	15.6
2회	6.92	9.13	11.2	13.4	15.6
3회	6.90	9.13	11.2	13.4	15.6



<그림 2.78> Z-축, 주파수 : 100Hz, Accelerometer : MORU 132A64, S/N : 1002

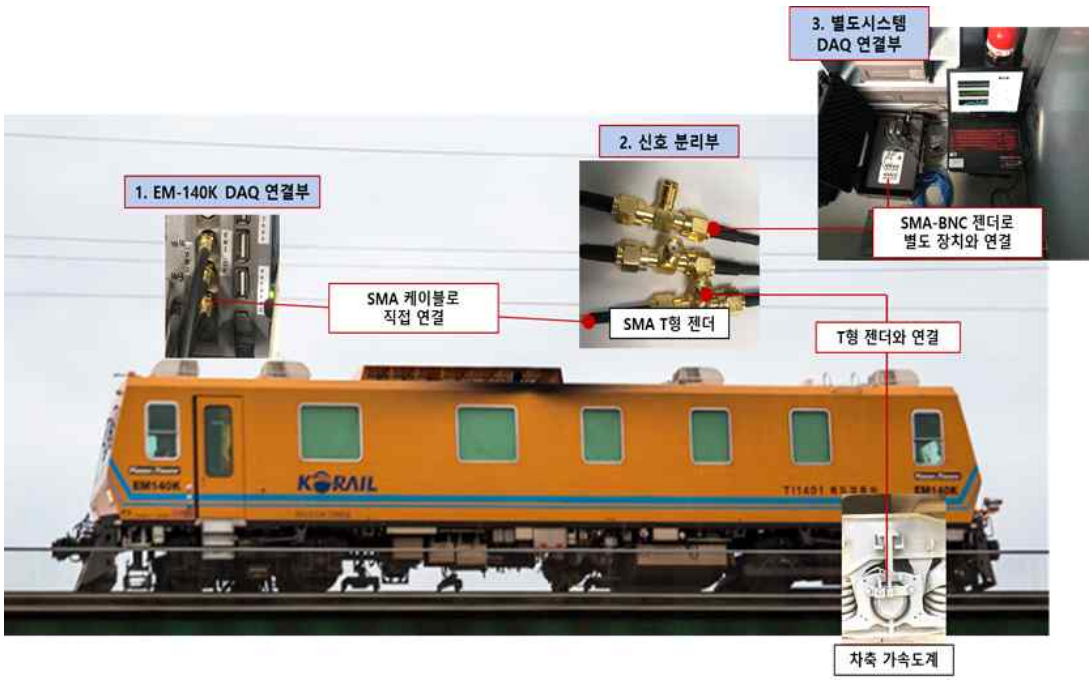
2.2. 2차년도

2.2.1. Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 파일럿 모형 제작(수행기관 : 주식회사 지에스지)

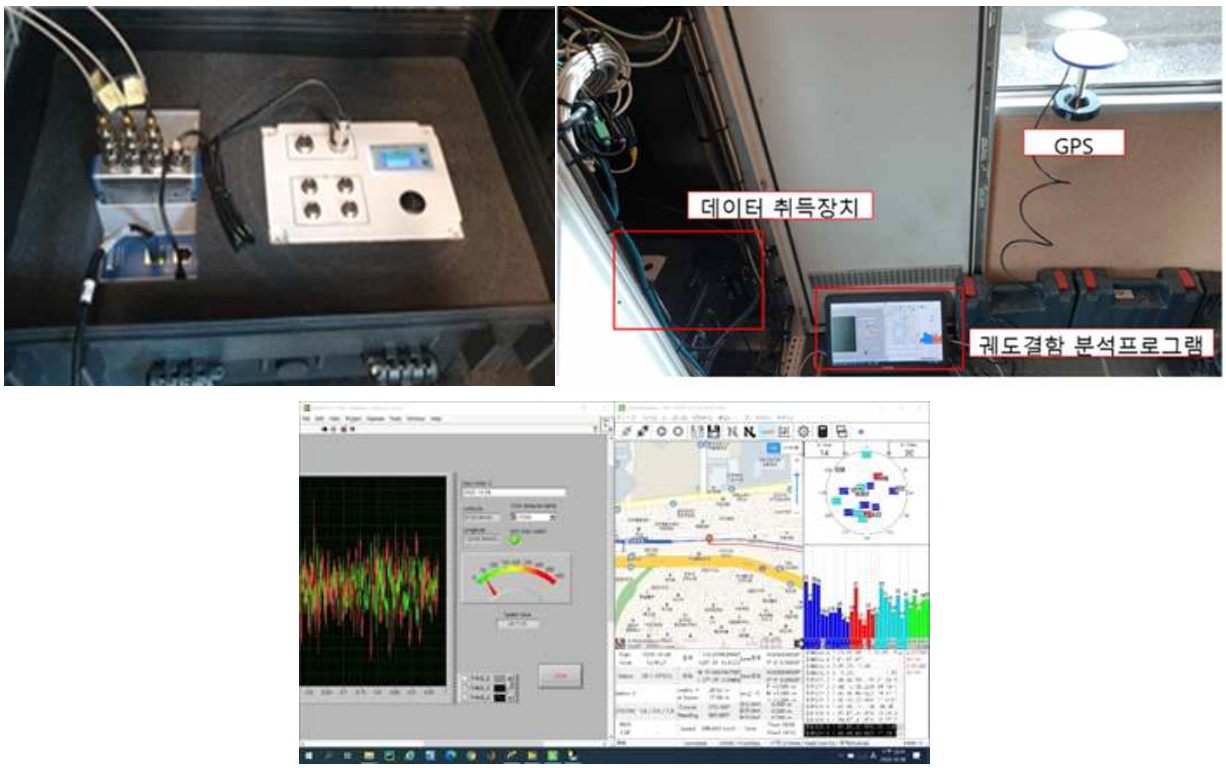
1) 시범구간 내 측정데이터 분석 및 이상개소 정확도 확인

가. 궤도검측차량 활용(일반선 구간) 궤도 결함 유형별 주파수 특성 분석

□ 가속도의 주파수 대역을 궤도 결함의 유형별로 분류하기 위하여 한국철도공사의 궤도점검차인 EM-140K를 이용하여 경인선(상·하선) 및 경부선 대전-옥천(상·하선)구간의 데이터를 취득하였다.



<그림 2.79> EM-140K를 이용한 축상가속도 취득

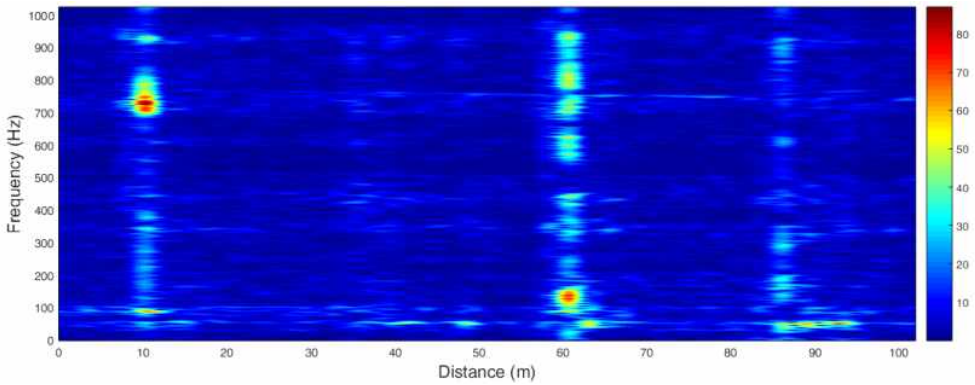


<그림 2.80> 축상 가속도 측정을 위한 시스템 및 EM-140K 내부 전경

① 웨이블릿 변환을 이용한 주파수 분석

□ 시간 도메인의 축상 가속도 측정은 작은 결함을 감지하기에 충분하지 않다. 신호의 주파수 특성을 분석하기 위해 여러 분석 기법을 사용할 수 있지만 본 연구에서는 웨이블릿 파워 스펙트럼 (Wavelet Power Spectrum, WPS)을 이용한 시간-주파수 분석기법을 이용하였다.

□ 웨이블릿 파워 스펙트럼의 그래프는 반응도(scalogram)로 표현된다. 웨이블릿 그래프의 오른쪽에 위치한 수직 슬라이스는 일반 스펙트럼의 척도이다. 이러한 그래프는 <그림 2.81>과 같으며, 궤도 결함에 대한 가속도 신호의 반응도를 나타낸 것이다. 붉은색은 스쿼트에서의 충격으로 인한 높은 신호 에너지 레벨을 나타낸 것이다. 본 연구에서 반응도는 궤도 결함과 축상 가속도 신호의 시간-주파수 관계를 정의하는데 사용되었다. 또한, 웨이블릿 분석시 속도를 적분하여 거리로 환산한 후 시간축(X축)을 거리축으로 변환하여 도시한 것이다.



<그림 2.81> 거리-주파수의 반응도

② 노이즈 필터링

□ 측정된 데이터의 노이즈 필터링은 두 단계로 실시하였다.

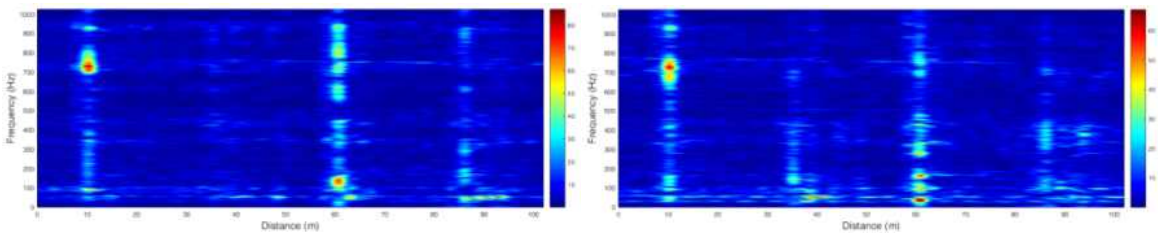
1) 축상가속도 필터링 : 데이터는 MATLAB 프로그램의 신호처리 도구상자를 사용하여 필터링하였다. 컷오프 주파수가 1,000Hz 인 저역 통과 필터를 적용하여 궤도 결함의 응답 데이터를 분리하였다.

2) 차륜 손상에 따른 노이즈 필터링 : 차륜 상태가 좋지 않은 경우 추가 신호 처리를 실시하였다. 차륜 손상은 차륜 둘레의 파장에서 차륜과 레일 사이에 주기적인 충격을 가하기 때문에 궤도 결함을 보다 쉽게 감지 할 수 있다. 손상된 차륜의 진동은 가속도계에서 반복적으로 나타난다. 가속도의 반복적인 신호문제는 반복패턴을 제거하여 해결하였다.

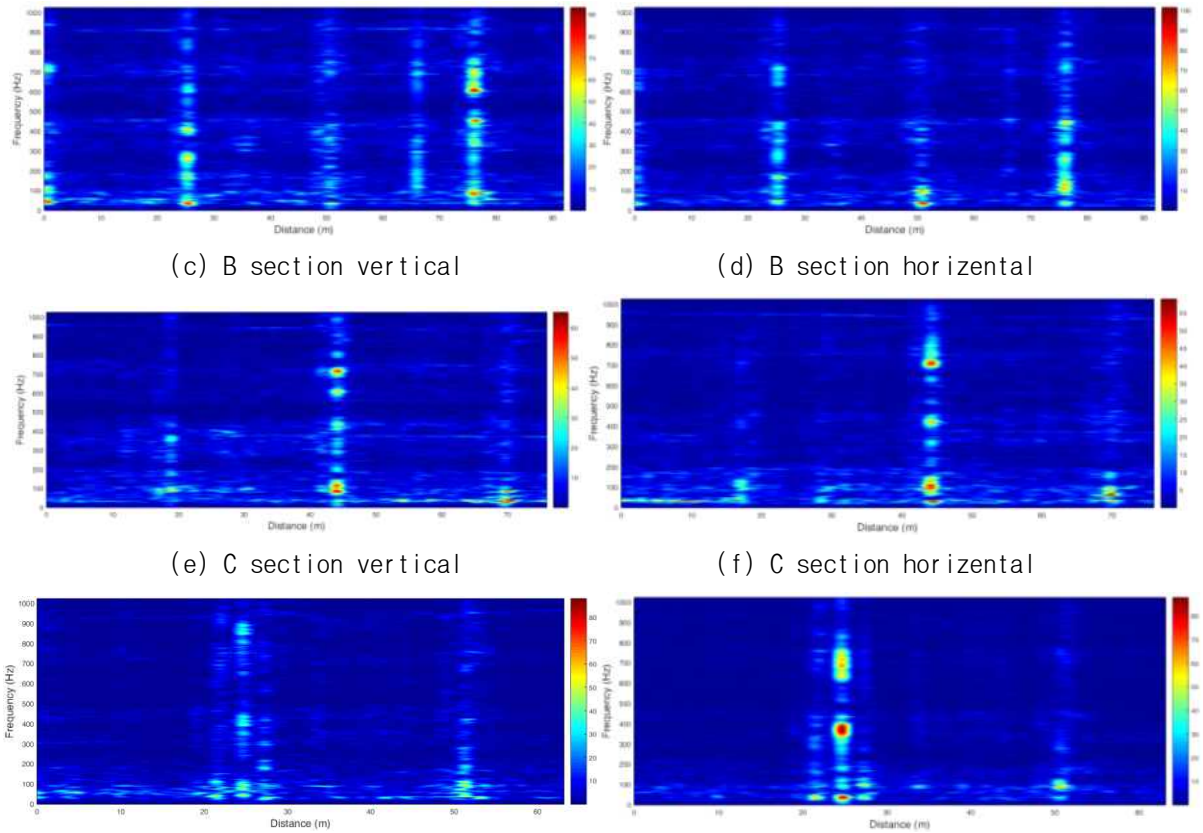
3) 차량의 고유진동 필터링 : 차량의 고유진동은 운행시 가속 및 감속에 따른 열차의 진동에 따라 변화한다. 따라서 열차의 속도에 따른 가변필터를 적용하여 문제를 해결하였다.

③ 일반 철도구간 주파수 특성

□ 측정된 진동 가속도를 이용하여 웨이블릿 분석을 실시하였다. 궤도 결함에서 수직 및 횡 방향 가속도 모두에서 최대 1.0 kHz의 주파수 응답이 관찰되었다. 궤도 결함의 주파수 대역은 결함의 크기 및 발생 위치에 따라 차이를 보이지만 주요 대역은 약 100 ~ 200 Hz와 700 ~ 800 Hz에서 WPS가 크게 나타났으며, 일부구간의 횡가속도가 300 ~ 400 Hz 대역에서 WPS 크게 발생하였다.



(a) A section vertical (b) A section horizental



(c) B section vertical (d) B section horizental

(e) C section vertical (f) C section horizental

(g) D section vertical (h) D section horizental

<그림 2.82> 수직 및 수평가속도의 웨이블릿 결과

④ 궤도 결함 육안점검

□ 본 연구에서는 국내 일반선로에 대한 궤도 결함 유형을 확인하기 위하여 경인선(상1,2선, 하1,2선) 구간(약 15km)과 경부선 대전-옥천(상선) 구간(약 7km)을 대표 구간으로 설정하여 육안검사를 실시하였다. <표 2.26>는 각 구간의 육안점검 결과를 나타낸 것이다.

<표 2.27> 일반선로(경인선)구간 육안점검 결과

구 분	구 간	선	거리(㎞)	내 용
1	오류동	상1선	4.100	뜬침목
2	오류동	상1선	4.450	뜬침목
3	오류동	상1선	4.780	뜬침목
4	오류동	상1선	4.830	뜬침목
5	오류동	상1선	4.990	뜬침목
6	오류동	상1선	5.050	뜬침목
7	오류동	상1선	5.100	뜬침목
8	오류동	상1선	5.160	뜬침목
9	부천	상1선	9.100	뜬침목
10	부천	상1선	9.160	뜬침목
11	부천	상1선	9.170	뜬침목
12	부천	상1선	9.190	레일찍힘
13	부천	상1선	9.210	레일찍힘
14	부천	상1선	9.330	뜬침목

구 분	구 간	선	거리(㎞)	내 용
15	부천	상1선	9.330	레일찍힘
16	부평	상1선	12.840	뜬침목
17	부평	상1선	12.850	뜬침목
18	부평	상1선	13.010	뜬침목
19	부평	상1선	13.250	뜬침목
20	부평	상1선	13.360	뜬침목
21	부평	상1선	13.850	레일찍힘
22	부평	상1선	13.990	뜬침목
23	부평	상1선	14.020	뜬침목
24	부평	상1선	14.040	뜬침목
25	부평	상1선	15.200	뜬침목
26	오류동	상2선	3.900	뜬침목
27	오류동	상2선	4.060	뜬침목
28	오류동	상2선	4.440	뜬침목
29	부천	상2선	8.880	뜬침목
30	부천	상2선	9.070	이음매
31	부천	상2선	9.950	뜬침목
32	부천	상2선	9.960	뜬침목
33	부천	상2선	9.980	뜬침목
34	부천	상2선	10.000	뜬침목
35	부천	상2선	10.020	뜬침목
36	부평	상2선	12.660	레일찍힘
37	부평	상2선	14.595	레일찍힘
38	부평	상2선	14.600	레일찍힘
39	부평	상2선	15.400	레일찍힘
40	오류동	하1선	4.060	뜬침목
41	오류동	하1선	4.080	뜬침목
42	오류동	하1선	4.720	레일찍힘
43	오류동	하1선	4.850	뜬침목
44	오류동	하1선	4.860	뜬침목
45	오류동	하1선	4.950	뜬침목
46	오류동	하1선	4.995	뜬침목
47	오류동	하1선	5.110	뜬침목
48	오류동	하1선	5.115	뜬침목
49	오류동	하1선	5.900	뜬침목
50	부천	하1선	9.330	레일찍힘
51	부천	하1선	9.420	뜬침목
52	부천	하1선	9.425	뜬침목
53	부천	하1선	9.434	뜬침목
54	부천	하1선	10.000	뜬침목

구 분	구 간	선	거리(㎞)	내 용
55	부천	하1선	10.140	뜬침목
56	부평	하1선	12.650	레일찍힘
57	부평	하1선	13.230	뜬침목
58	부평	하1선	13.720	이음매
59	부평	하1선	14.070	뜬침목
60	부평	하1선	14.190	뜬침목
61	부평	하1선	14.395	뜬침목
62	부평	하1선	14.750	뜬침목
63	부평	하1선	15.000	뜬침목
64	부평	하1선	15.100	파상마모
65	부평	하1선	15.200	뜬침목
66	오류동	하2선	5.110	뜬침목
67	부천	하2선	10.110	뜬침목
68	부천	하2선	10.150	뜬침목
69	부평	하2선	13.420	이음매
70	부평	하2선	13.520	뜬침목
71	부평	하2선	14.190	뜬침목
72	부평	하2선	14.230	뜬침목
73	부평	하2선	14.235	뜬침목
74	부평	하2선	14.300	뜬침목
75	부평	하2선	15.170	뜬침목
76	부평	하2선	15.290	레일찍힘
77	부평	하2선	15.280	레일찍힘
78	부평	하2선	15.680	파상마모
79	대전시설반	상선	171.050	뜬침목
80	대전시설반	상선	171.735	뜬침목
81	대전시설반	상선	171.810	뜬침목
82	대전시설반	상선	171.840	레일찍힘
83	대전시설반	상선	171.860	레일찍힘
84	대전시설반	상선	171.928	뜬침목
85	대전시설반	상선	171.985	레일찍힘
86	대전시설반	상선	172.180	레일찍힘
87	대전시설반	상선	172.420	레일찍힘
88	대전시설반	상선	172.480	뜬침목
89	대전시설반	상선	172.580	이음매
90	대전시설반	상선	172.585	레일찍힘
91	대전시설반	상선	172.610	뜬침목
92	대전시설반	상선	172.620	이음매
93	대전시설반	상선	172.630	레일찍힘
94	대전시설반	상선	174.800	뜬침목

구 분	구 간	선	거리(㎞)	내 용
95	대전시설반	상선	176.040	이음매
96	대전시설반	상선	176.060	레일찍힘

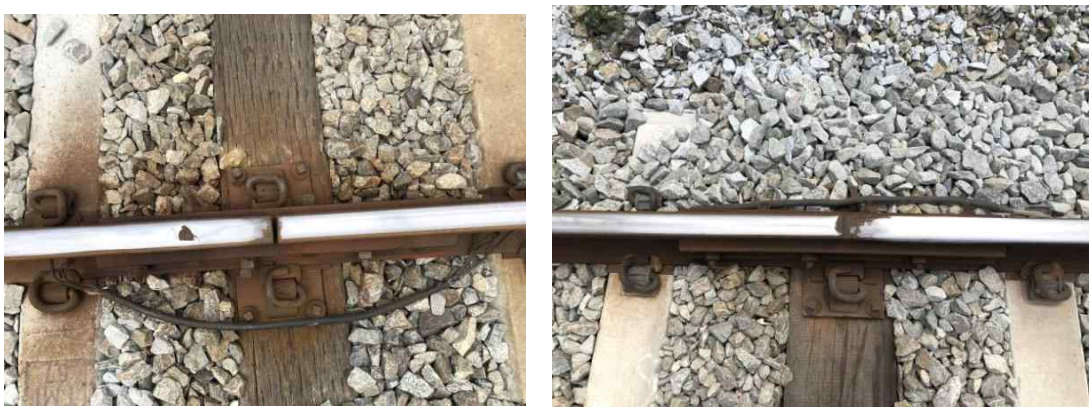
⑤ 궤도 결함 육안점검 결과

□ 국내 경인선 구간을 대상으로 육안점검으로 실시한 결과 대표적인 궤도 결함 내역은 레일찍힘 21개소, 이음매 열화 6개소, 파상마모 2개소, 뜬침목 67개소로 나타났으며, 발생 비율로 보면 레일 찍힘 22%, 이음매 열화 6%, 파상마모 2%, 뜬침목 70% 이다.

□ 경인선 구간은 국내 일반선로 중 가장 많은 통행량을 보이며, 유지보수가 활발히 이루어지는 구간이다. 따라서 본 구간의 궤도 결함 발생 비율이 국내 궤도를 대표할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 고속선의 경우 이음매가 없으며, 열차의 속도 또한 일반선에 비해 고속이므로 향후 고속선에 대한 자료검토 및 육안점검을 통하여 고속선만의 결함유형을 확인할 필요가 있다.

□ 본 연구에서는 3차년도에 고속선을 대상으로 자료 조사 및 육안점검을 실시하였다

<그림 2.83> 레일찍힘(Squats)



<그림 2.84> 이음매 구간

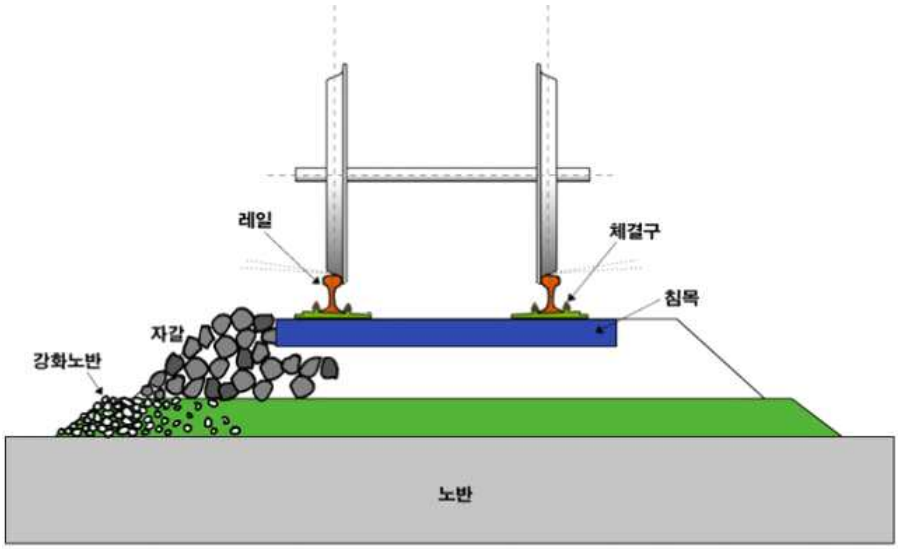
<그림 2.85> 파상마모(Corrugation)

<그림 2.86> 뜬침목 발생

나. 가속도 주파수 대역별 궤도결함 유형차트 개발

① 궤도 결함 유형 및 측정 방법

□ 궤도의 역할은 차량을 직접지지(support)하며 정해진 길로 차량을 유도하는 것이다. 궤도는 레일(rail), 체결장치(fastener), 침목(sleeper), 자갈도상(ballast), 노반(roadbed)으로 구성된다. 따라서 궤도 결함은 위의 구성 요소에서 발생하며 결함이 발생할 경우 공용중인 열차에 심각한 안정상의 문제를 야기할 수 있기 때문에 사전에 유지관리 기준에 따라 점검 및 유지보수를 실시한다.



<그림 2.87> 궤도의 구성요소(자갈궤도)

② 궤도 결함 유형 및 측정방법

□ 대표적인 궤도 결함의 유형은 궤도틀림, 이음매 열화, 레일 찍힘(Squats), 파상마모(Corrugation), 레일 용접부 찍힘, 레일 절손, 체결장치 파손 및 탈락, 침목 균열, 뜬침목 등으로 구분된다. 이와 같은 결함은 다양한 방법으로 측정·관리하며 측정방법은 크게 검측차량와 인력검측으로 나뉜다.

□ 국내 검측차량의 경우 종합검측차, 선로점검차, 궤도점검차 등이 있으며, 고속선의 승차감 및 안정성 평가를 위하여 KTX 36호차에 별도의 검측시스템을 부착하여 관리하고 있다.

□ 검측차량의 경우 검측 대상에 따라 일정한 간격(월, 분기, 년)으로 관리를 하고 있으며, 일상 안정점검은 인력이 직접 확인하는 방법으로 궤도 관리를 실시하고 있다.

□ 궤도결함의 종류는 아래 <표2.28>과 같으며 이중 궤도틀림, 레일절손, 체결장치 파손 및 탈락, 침목 균열 등은 궤도검측차에서 확인 가능한 결함이므로 본 연구에서는 그 외의 이음매 열화, 레일찍힘, 파상마모, 레일 용접부 찍힘, 뜬침목 등 열차의 축상가속도 진동을 분석하여 확인 할 수 있는 항목들로 목표를 설정하였다.

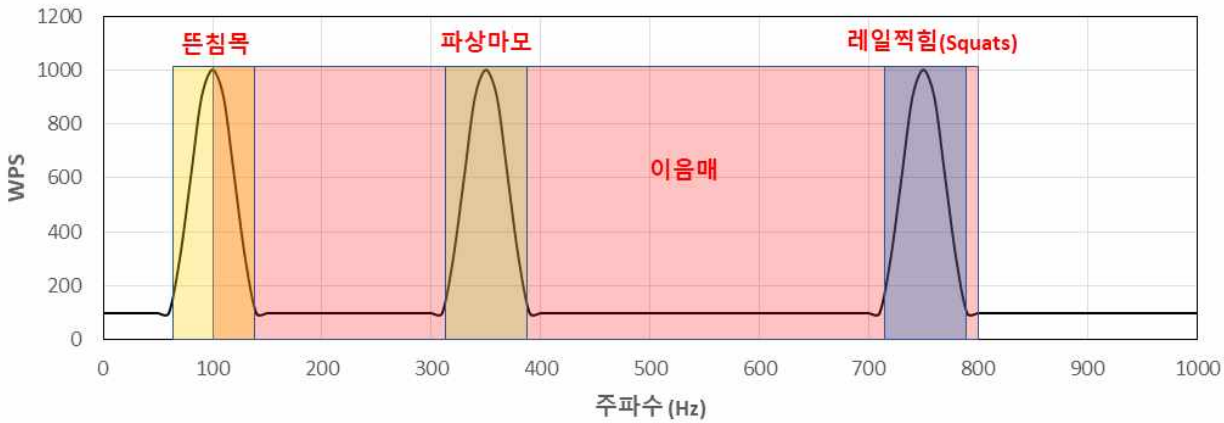
<표 2.28> 궤도 결함 유형 및 측정방법

결함 유형	측정 방법	비고
궤도 틀림	종합검측차, 궤도점검차	종합검측차
이음매 열화	육안검사	
레일 찍힘(Squats)	육안검사, 선로점검차	
파상마모(Corrugation)	육안검사	선로점검차
레일 용접부 찍힘	육안검사	
레일 절손	궤도검측차	
체결장치 파손 및 탈락	선로점검차	궤도점검차
침목 균열	선로점검차	
뜬침목	육안검사	

② 주파수 대역별 궤도결함 유형차트 개발

□ 본 연구에서는 WPS가 크게 발생한 구간에 대한 현장 검증을 실시하였다. 현장검증 결과, 약 700 ~ 800 Hz대역에서 WPS가 크게 나타난 곳은 레일찍힘(Squats)이 발생한 구간이며, 100 ~ 800 Hz 까지 광범위하게 WPS가 크게 나타난 구간은 이음매에서 발생 결함으로 나타났다. 특히 이음매 구간의 결함에서 100 Hz 정도에서 WPS가 크게 발생한 구간은 뜬침목이 발생하였다. 일부구간이지만 횡가속도가 300 ~ 400 Hz 대역에서 WPS가 크게 발생한 구간은 파상마모(Corrugation)가 발생하였다. 또한 100 Hz 이하의 비교적 저주파수에서 WPS가 크게 발생한 구간은 뜬침목이 발생한 곳으로 나타났다.

□ <그림 2.88>는 궤도 결함 별 주파수 대역을 나타낸 차트이다. 뜬침목의 경우 약 20 ~ 80Hz에서 WPS의 값이 증폭하며, 용접부의 경우 약 100 ~ 200 Hz에서 WPS의 값이 증폭하며, 이음매의 경우 700 ~ 800 Hz에서 WPS의 값이 증폭한다. 본 차트는 국내 일반선로를 기준으로 제시된 차트이며, 향후 고속선에 대한 진동 데이터 취득을 통해 고속선의 궤도 결함 유형 및 주파수 특성을 제시할 계획이다.



<그림 2.88> 궤도 결함 유형별 주파수 차트

3) 1차년도 기본모형 도출결과 요구사항 검토

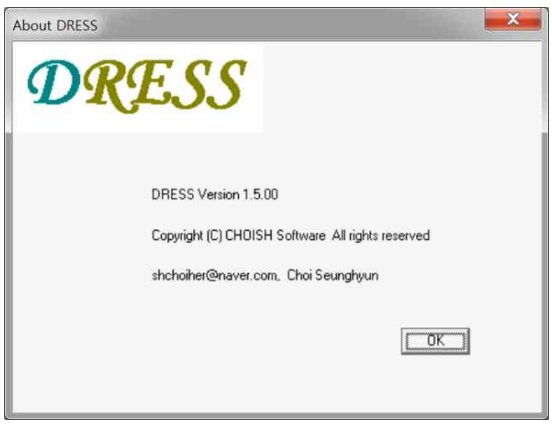
가. 철도 궤도결함 유형 및 중요도 도출을 위한 AHP분석 개요

□ AHP(Analytic Hierarchy Process)방법을 이용한 철도 궤도결함 유형 중요도 분석은 한국철도시설공단 선로유지관리지침상(레일마모, 궤도틀림 등)의 관리항목과 현장 조사를 통해 도출한 궤도결함(뜬침목, 이음매 열화 및 볼트 풀림, 용접부 열화)을 중심으로 수행하였다.

□ 철도 궤도 결함 발생 유형별 중요도 분석을 위한 평가자 대상은 현 철도 궤도분야 유지관리 운영기관(한국철도공사/도시철도공사 등) 담당자, 전문가 그룹(대학/연구원 등)내 해당분야 전문가들로 구성하였다.

□ AHP 분석은 Saaty가 제안한 방법으로 쉽게 세부분석이 가능한 DRESS 프로그램을 활용하였고, DRESS는 AHP 분석을 소프트웨어로 개발되어 서베이를 통해서 다수의 평가자가 속성들간의 쌍대비교를 하여 얻어진 다량의 데이터를 보다 편리하고 신속하게 분석하고 리포팅하여 의사결정문제에 손쉽게 활용이 가능하다.

□ DRESS는 각 계층에서 속성간 쌍대비교 평가에 대해 고유벡터방법(eigenvector method)에 의해 속성의 상대적 중요도를 산출한다. DRESS는 응답자 별로 상대적 중요도를 산출하며, 이들의 평균치로 종합 상대적 중요도를 산출한다. 또한, 평가자의 논리적 일관성을 검토할 수 있도록 일관성비율(consistency ratio)을 지원한다.



<그림 2.89> AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석 프로그램(Dress)

나. 철도 선로 유지관리 측면에서 우선순위 검토 분석

□ DRESS 프로그램을 활용하여 변수구성과 질문지를 다음과 같이 구성하였다. 본 연구에서 궤도결함으로 선정한 레일찍힘, 궤도틀림, 이음매 열화등 앞서 선로유지관리지침과 현장조사를 통해 도출한 결함을 대상으로 변수를 구성하였다. 해당 설뭉의 대상으로 철도 선로 유지관리 담당자 및 전문가 100인에게 아래 질문지로 쌍대비교 분석을 실시하였다.

Depth	Hierarchy Level	Measure	Attributes	Variables
Depth-1	Hierarchy 1	Rating	(01) 레일마모 (02) 궤도틀림 (03) 뜬침목 (04) 이음매 열화 및 볼트풀림 (05) 용접부 열화	A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10

Qu	Variable	ATTR1	Strongly Prefer <<								Equally				>> Strongly Prefer					ATTR2
Qu1	A1	레일마모	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	궤도틀림
Qu2	A2	레일마모	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	뜬침목
Qu3	A3	레일마모	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	이음매 열화 및 볼트풀림
Qu4	A4	레일마모	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용접부 열화
Qu5	A5	궤도틀림	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	뜬침목
Qu6	A6	궤도틀림	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	이음매 열화 및 볼트풀림
Qu7	A7	궤도틀림	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용접부 열화
Qu8	A8	뜬침목	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	이음매 열화 및 볼트풀림
Qu9	A9	뜬침목	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용접부 열화
Qu10	A10	이음매 열화 및 볼트풀림	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용접부 열화

<그림 2.90> 하부노반 강성을 저하시키는 직접적인 원인 분석용 변수 및 질문지

□ 분석결과 레일마모와 이음매 열화 및 볼트풀림에 대한 우선순위가 높게 분석되었다. 해당 레일마모의 경우 선로유지관리지침상에 관리기준을 명확하게 제시하는 결함 유형으로 철도 선로 유지관리 운영기관인 한국철도공사에도서도 위 궤도결함을 중요 유지관리 항목으로 선정하여 정밀하게 관리 중에 있다.

□ 해당 유형은 선로검측차 및 궤도점검차에서 관리하는 결함항목으로 궤도품질에 직접적인 영향을 미치는 영향인자로서 인식되고 있음을 나타내고 있다.

□ 다음으로 순위가 높은 변수는 이음매 열화 및 볼트풀림로 이음매 열화 및 볼트 풀림의 경우 육안점검 방식을 가장 많이 적용하는 있는 점검항목으로 자동화 및 신속한 점검 방법이 필요한 점검 영역으로 운영기관에서는 관련기술 개발을 준비 중인으로 조사되었다.

Average Importance Index

Attributes	Geometric Mean	Atrithmetic Mean
레일마모	0.28	0.27
궤도틀림	0.14	0.15
뜬침목	0.14	0.15
이음매 열화 및 볼트풀림	0.29	0.28
용접부 열화	0.15	0.14

<그림 2.91> 하부노반 강성을 저하시키는 가장 직접적인 원인 분석결과

<표 2.29> 하부노반 강성을 저하시키는 가장 직접적인 원인 분석결과

Attributes	Scores for the geometric mean	Scores for the arithmetic mean
레일마모	0.28	0.27
궤도틀림	0.14	0.15
뜬침목	0.14	0.15
이음매열화및볼트풀림	0.29	0.28
용접부열화	0.15	0.14
[Total]	1.00	1.00
[Max Eigenvalue]	5.03	7.45
[Consistency Index]	0.01	0.95
[Consistency Ratio]	0.01	0.92

다. 철도 선로 현장 유지관리 과정에서 육안점검 비율이 높은 결함 분석(이음매 볼트 풀림, 뜬침목)

□ 철도 선로 현장 유지관리 과정에서 육안점검이 높은 결함 유형 분석은 현재 연구중인 기술(가속도 데이터를 활용한 궤도결함 모니터링)이 점검차량(궤도점검차, 선로검측차)에서 관리하는 결함 유형 중 중복되는 영역부분과 음영 결함 부분을 도출하기 위해 분석을 진행하였다.

Depth	Hierarchy Level	Measure	Attributes	Variables
Depth-1	Hierarchy 1	Rating	(01) 레일마모 (02) 궤도틀림 (03) 뜬침목 (04) 이음매 열화 및 볼트풀림 (05) 용접부 열화	A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10

Qu	Variable	ATTR1	Strongly Prefer <<								Equally								>> Strongly Prefer	ATTR2
Qu1	A1	레일마모	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	궤도틀림
Qu2	A2	레일마모	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	뜬침목
Qu3	A3	레일마모	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	이음매 열화 및 볼트풀림
Qu4	A4	레일마모	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용접부 열화
Qu5	A5	궤도틀림	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	뜬침목
Qu6	A6	궤도틀림	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	이음매 열화 및 볼트풀림
Qu7	A7	궤도틀림	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용접부 열화
Qu8	A8	뜬침목	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	이음매 열화 및 볼트풀림
Qu9	A9	뜬침목	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용접부 열화
Qu10	A10	이음매 열화 및 볼트풀림	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용접부 열화

<그림 2.92> 콘크리트궤도 주행안정성에 영향을 미치는 궤도틀림의 원인 분석용 변수 및 질문지

□ 그 결과, 이음매 열화 및 볼트풀림 결함이 가장 육안점검 비율이 높게 도출되었다. 해당 결함은 점검차 및 전용 검측장비가 개발되지 않은 부분으로 현장 유지관리 인력의 육안점검을 통해 현장에서 직접적으로 도출하는 영역으로 분석되었다.

Average Importance Index

Attributes	Geometric Mean	Atrithmetic Mean
레일마모	0.15	0.15
궤도틀림	0.15	0.16
뜬침목	0.28	0.27
이음매 열화 및 볼트풀림	0.27	0.26
용접부 열화	0.16	0.16

<그림 2.93> 콘크리트궤도 주행안정성에 영향을 미치는 궤도틀림의 원인 분석결과

<표 2.30> 콘크리트궤도 주행안정성에 영향을 미치는 궤도틀림의 원인 분석결과

Attributes	Scores for the geometric mean	Scores for the arithmetic mean
레일마모	0.15	0.15
궤도틀림	0.15	0.16
뜬침목	0.28	0.27
이음매열화및볼트풀림	0.27	0.26
용접부열화	0.16	0.16
[Total]	1.00	1.00
[Max Eigenvalue]	5.01	7.49
[Consistency Index]	0.00	0.91
[Consistency Ratio]	0.00	0.89

라. 철도 선로 뜬침목 다수 발생 구조물 분석(이음매, 접속슬래브)

□ 철도 선로에서 발생하는 뜬침목(Hanging Sleeper)이 다수 발생하는 원인을 이음매, 접속슬래브, 노반침하구간, 레일 마모구간을 변수로 선정하여 분석을 실시하였다.

Depth	Hierarchy Level	Measure	Attributes	Variables
Depth-1	Hierarchy 1	Rating	(01) 이음매 (02) 접속슬래브 (03) 노반침하구간 (04) 레일 마모구간	A1 A2 A3 A4 A5 A6

Qu	Variable	Depth	Parent	ATTR1	Strongly Prefer					<<			Equally			>>			Strongly Prefer			ATTR2
Qu1	A1	Hierarchy1		이음매	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	접속슬래브
Qu2	A2	Hierarchy1		이음매	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	노반침하구간
Qu3	A3	Hierarchy1		이음매	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	레일 마모구간
Qu4	A4	Hierarchy1		접속슬래브	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	노반침하구간
Qu5	A5	Hierarchy1		접속슬래브	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	레일 마모구간
Qu6	A6	Hierarchy1		노반침하구간	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	레일 마모구간

<그림 2.94> 콘노반결함 발생 시 궤도 상부 발생 결함 중 가장 연관성이 높은 원인 분석용 변수 및 질문지

□ 분석결과 뜬침목이 자주 발생하는 구간은 이음매 구간으로 분석되었다. 해당 구간의 경우, 이음매 열화 및 볼트풀림 등 이음매 성능을 상실한 구간에서 발생하는 이음매와 차륜간의 충격으로 뜬침목이 발생하는 것으로 분석된다. 따라서, 뜬침목 또한 육안점검 비율이 높은 궤도결함으로 주파수 분석과 위치 융합기술을 통한 검측 자동화가 가능할 것으로 판단된다.

Average Importance Index

Attributes	Geometric Mean	Atrithmetic Mean
이음매	0.37	0.36
접속슬래브	0.32	0.31
노반침하구간	0.15	0.16
레일마모구간	0.16	0.16

<그림 2.95> 노반결함 발생 시 궤도 상부 발생 결함 중 가장 연관성이 높은 원인분석결과

<표 2.31> 노반결함 발생 시 궤도 상부 발생 결함 중 가장 연관성이 높은 원인 분석결과

Attributes	Scores for the geometric mean	Scores for the arithmetic mean
이음매	0.37	0.36
접속슬래브	0.32	0.31
노반침하구간	0.15	0.16
레일마모구간	0.16	0.16
[Total]	1.00	1.00
[Max Eigenvalue]	4.02	5.44
[Consistency Index]	0.01	0.98
[Consistency Ratio]	0.01	0.95

4) 일반선 대상 Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 파일럿 모형 성능검증

가. 시범구간 내 이상개소 정확도

① 현장검증

□ 국내 일반선로에 대한 궤도 결함 유형을 확인하기 위하여 경인선(상1,2선, 하1,2선) 구간(약 15km)을 대표 구간으로 설정하여 육안검사를 실시하였다. <표 2.32>은 각 구간의 육안점검 결과를 나타낸 것이다.

□ 국내 경인선 구간을 대상으로 육안점검으로 실시한 결과 대표적인 궤도 결함 내역은 레일찍힘 13개소, 이음매 열화 3개소, 뜬침목 60개소로 나타났으며, 발생 비율로 보면 레일 찍힘 17%, 이음매 열화 4%, 뜬침목 79% 이다. 경인선 구간은 국내 일반선로 중 가장 많은 통행량을 보이며, 유지보수가 활발히 이루어지는 구간이다. 따라서 본 구간의 궤도 결함 발생 비율이 국내 궤도를 대표할 수 있을 것으로 판단된다.

<그림 2.96>일반선로(경인선)구간 육안점검 실시

<표 2.32> 일반선로(경인선)구간 육안점검 결과

구 분	구 간	선	거리(㎞)	내 용
1	오류동	상1선	4.100	뜬침목
2	오류동	상1선	4.450	뜬침목
3	오류동	상1선	4.780	뜬침목
4	오류동	상1선	4.830	뜬침목
5	오류동	상1선	4.990	뜬침목
6	오류동	상1선	5.050	뜬침목
7	오류동	상1선	5.100	뜬침목
8	오류동	상1선	5.160	뜬침목
9	부천	상1선	9.100	뜬침목
10	부천	상1선	9.160	뜬침목
11	부천	상1선	9.170	뜬침목
12	부천	상1선	9.190	레일찍힘
13	부천	상1선	9.210	레일찍힘
14	부천	상1선	9.330	뜬침목
15	부천	상1선	9.330	레일찍힘
16	부평	상1선	12.840	뜬침목
17	부평	상1선	12.850	뜬침목
18	부평	상1선	13.010	뜬침목
19	부평	상1선	13.250	뜬침목
20	부평	상1선	13.360	뜬침목
21	부평	상1선	13.850	레일찍힘
22	부평	상1선	13.990	뜬침목
23	부평	상1선	14.020	뜬침목
24	부평	상1선	14.040	뜬침목
25	부평	상1선	15.200	뜬침목
26	오류동	상2선	3.900	뜬침목
27	오류동	상2선	4.060	뜬침목
28	오류동	상2선	4.440	뜬침목
29	부천	상2선	8.880	뜬침목
30	부천	상2선	9.070	이음매
31	부천	상2선	9.950	뜬침목
32	부천	상2선	9.960	뜬침목
33	부천	상2선	9.980	뜬침목
34	부천	상2선	10.000	뜬침목
35	부천	상2선	10.020	뜬침목
36	부평	상2선	12.660	레일찍힘
37	부평	상2선	14.595	레일찍힘
38	부평	상2선	14.600	레일찍힘
39	부평	상2선	15.400	레일찍힘

구 분	구 간	선	거리(㎞)	내 용
40	오류동	하1선	4.060	뜬침목
41	오류동	하1선	4.080	뜬침목
42	오류동	하1선	4.720	레일찍힘
43	오류동	하1선	4.850	뜬침목
44	오류동	하1선	4.860	뜬침목
45	오류동	하1선	4.950	뜬침목
46	오류동	하1선	4.995	뜬침목
47	오류동	하1선	5.110	뜬침목
48	오류동	하1선	5.115	뜬침목
49	오류동	하1선	5.900	뜬침목
50	부천	하1선	9.330	레일찍힘
51	부천	하1선	9.420	뜬침목
52	부천	하1선	9.425	뜬침목
53	부천	하1선	9.434	뜬침목
54	부천	하1선	10.000	뜬침목
55	부천	하1선	10.140	뜬침목
56	부평	하1선	12.650	레일찍힘
57	부평	하1선	13.230	뜬침목
58	부평	하1선	13.720	이음매
59	부평	하1선	14.070	뜬침목
60	부평	하1선	14.190	뜬침목
61	부평	하1선	14.395	뜬침목
62	부평	하1선	14.750	뜬침목
63	부평	하1선	15.000	뜬침목
64	부평	하1선	15.200	뜬침목
65	오류동	하2선	5.110	뜬침목
66	부천	하2선	10.110	뜬침목
67	부천	하2선	10.150	뜬침목
68	부평	하2선	13.420	이음매
69	부평	하2선	13.520	뜬침목
70	부평	하2선	14.190	뜬침목
71	부평	하2선	14.230	뜬침목
72	부평	하2선	14.235	뜬침목
73	부평	하2선	14.300	뜬침목
74	부평	하2선	15.170	뜬침목
75	부평	하2선	15.290	레일찍힘
76	부평	하2선	15.280	레일찍힘

② 궤도 결함 육안점검과 프로그램 결과 비교 및 정확도 확인

□ 육안 검측결과 실 이상개소는 76 개소이며 프로그램으로 검출된 이상개소와 매칭되는 개소는 총 72개소이다. 따라서 정확도는 72 / 76 = 94.7 %로 나타났다. 이때 프로그램의 위치 오차는 10m로 하였다. 정확도 평가는 공인시험기관인 한국기계연구원에서 실시하였으며, 결과에 대한 성적서를 발급하였다.

□ 검출유형은 뜬침목, 레일 찍힘, 이음매 열화로 구분하였으며, 파상마모는 구간이 길고 총 검측 구간에서 2개소에 발생할 만큼 발생빈도가 적기 때문에 분석 내용에서 제외하였다. 검출 정확도는 <표 2.34>와 같으며, 결함유형 도출은 <표 2.35>과 같다.

<표 2.33> 일반선로(경인선)구간 매칭 결과

구 분	선	현장 확인(km)	검측 결과(km)	내 용	비 고
1	상1선	4.100	4.100	뜬침목	
2	상1선	4.450	4.450	뜬침목	
3	상1선	4.780	4.780	뜬침목	
4	상1선	4.830	4.830	뜬침목	
5	상1선	4.990	4.990	뜬침목	
6	상1선	5.050	-	뜬침목	현장 확인 검측 불능
7	상1선	5.100	5.100	뜬침목	
8	상1선	5.160	5.160	뜬침목	
9	상1선	9.100	9.110	뜬침목	
10	상1선	9.160	9.160	뜬침목	
11	상1선	9.170	9.170	뜬침목	
12	상1선	9.190	9.190	레일찍힘	
13	상1선	9.210	9.210	레일찍힘	
14	상1선	9.330	9.330	뜬침목	
15	상1선	9.330	9.330	레일찍힘	
16	상1선	-	10.330	뜬침목	현장 미확인 검측됨
17	상1선	12.840	12.835	뜬침목	
18	상1선	12.850	12.850	뜬침목	
19	상1선	13.010	13.010	뜬침목	
20	상1선	13.250	13.250	뜬침목	
21	상1선	-	13.305	레일찍힘	현장 미확인 검측됨
22	상1선	13.360	13.360	뜬침목	
23	상1선	13.850	13.850	레일찍힘	
24	상1선	13.990	13.990	뜬침목	
25	상1선	14.020	14.020	뜬침목	
26	상1선	14.040	14.040	뜬침목	
27	상1선	15.200	15.200	뜬침목	
28	상2선	3.900	3.900	뜬침목	
29	상2선	4.060	4.065	뜬침목	
30	상2선	4.440	4.435	뜬침목	
31	상2선	-	8.545	레일찍힘	현장 미확인 검측됨
32	상2선	8.880	8.880	뜬침목	

구 분	선	현장 확인(km)	검측 결과(km)	내 용	비 고
33	상2선	9.070	9.070	이음매	
34	상2선	-	9.180	레일찍힘	현장 미확인 검측됨
35	상2선	9.950	9.950	뜬침목	
36	상2선	9.960	-	뜬침목	현장 확인 검측 불능
37	상2선	9.980	9.980	뜬침목	
38	상2선	10.000	10.000	뜬침목	
39	상2선	10.020	10.020	뜬침목	
40	상2선	-	10.300	레일찍힘	현장 미확인 검측됨
41	상2선	12.660	12.660	레일찍힘	
42	상2선	14.595	14.590	레일찍힘	
43	상2선	14.600	14.600	레일찍힘	
44	상2선	15.400	15.405	레일찍힘	
45	하1선	4.060	4.060	뜬침목	
46	하1선	4.080	4.080	뜬침목	
47	하1선	4.720	4.720	레일결함	
48	하1선	4.850	4.850	뜬침목	
49	하1선	4.860	4.860	뜬침목	
50	하1선	4.950	4.950	뜬침목	
51	하1선	4.995	4.995	뜬침목	
52	하1선	5.110	5.110	뜬침목	
53	하1선	5.115	5.115	뜬침목	
54	하1선	5.900	5.900	뜬침목	
55	하1선	-	9.310	레일찍힘	현장 미확인 검측됨
56	하1선	9.330	-	레일찍힘	현장 확인 검측 불능
57	하1선	-	9.370	뜬침목	현장 미확인 검측됨
58	하1선	9.420	9.420	뜬침목	
59	하1선	9.425	9.425	뜬침목	
60	하1선	9.434	9.435	뜬침목	
61	하1선	-	9.515	레일찍힘	현장 미확인 검측됨
62	하1선	10.000	10.000	뜬침목	
63	하1선	10.140	10.145	뜬침목	
64	하1선	12.650	12.655	레일찍힘	

구 분	선	현장 확인(km)	검측 결과(km)	내 용	비 고
65	하1선	13.230	13.235	뜬침목	
66	하1선	13.720	13.725	이음매	
67	하1선	14.070	14.070	뜬침목	
68	하1선	14.190	14.195	뜬침목	
69	하1선	14.395	14.400	뜬침목	
70	하1선	14.750	14.755	뜬침목	
71	하1선	15.000	15.000	뜬침목	
72	하1선	15.200	15.205	뜬침목	
73	하2선	5.110	5.110	뜬침목	
74	하2선	10.110	10.110	뜬침목	
75	하2선	-	10.135	뜬침목	현장 미확인 검측됨
76	하2선	10.150	10.150	뜬침목	
77	하2선	13.420	13.420	이음매	
78	하2선	13.520	13.520	뜬침목	
79	하2선	14.190	14.190	뜬침목	
80	하2선	14.230	-	뜬침목	현장 확인 검측 불능
81	하2선	14.235	14.235	뜬침목	
82	하2선	14.300	14.300	뜬침목	
83	하2선	15.170	15.170	뜬침목	
84	하2선	15.280	15.280	레일찍힘	
85	하2선	15.290	15.290	레일찍힘	

<표 2.34> 일반선로(경인선)구간 결함 정확도 결과

구 분	개소
측정 총 이상개소	85 개소
실 이상개소	76 개소
매칭 이상개소	72 개소
◦ 정확도 72 / 76 = 94.7 %	

<표 2.35> 일반선로(경인선)구간 결함유형 도출 결과

구 분		개소
결함 유형	뜬침목	총 52 / 56 개소
	레일 찍힘	총 16 / 12 개소
	이음매 열화	총 4 / 4 개소
◦ 결함유형 도출 결과 68 / 72 = 94.4 %		

2.2.2. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 파일럿 모형 제작 (수행기관 : 모루기술㈜)

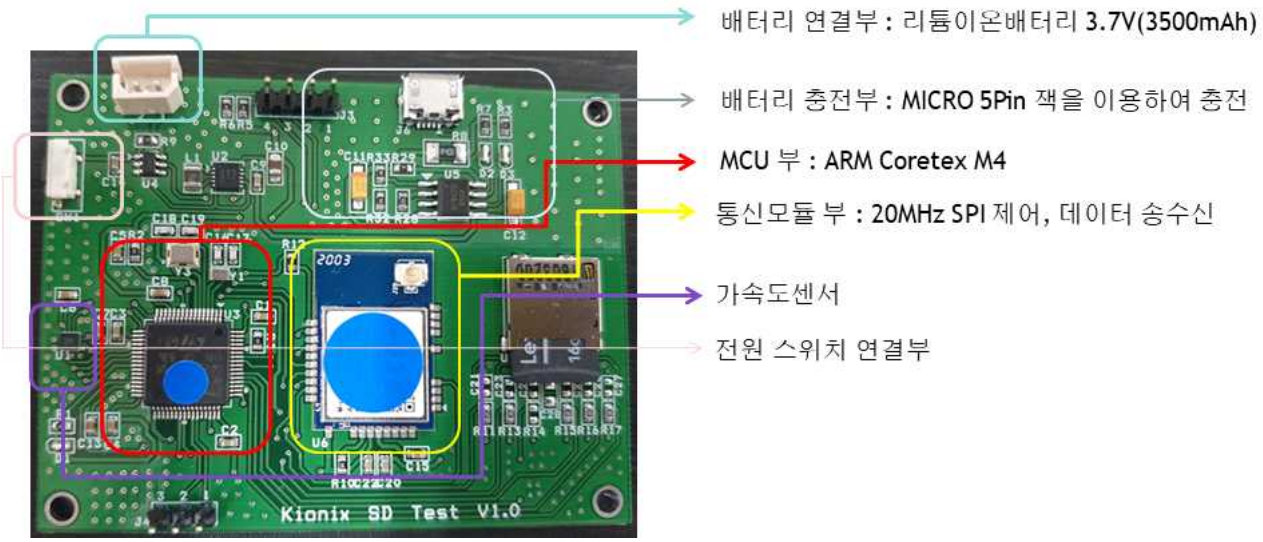
1) 차축/대차 무선진동가속도 포터블 측정장비 파일럿 모형 제작 (WA-PMS)

가) WA-PMS 현장 적용 하드웨어 설계

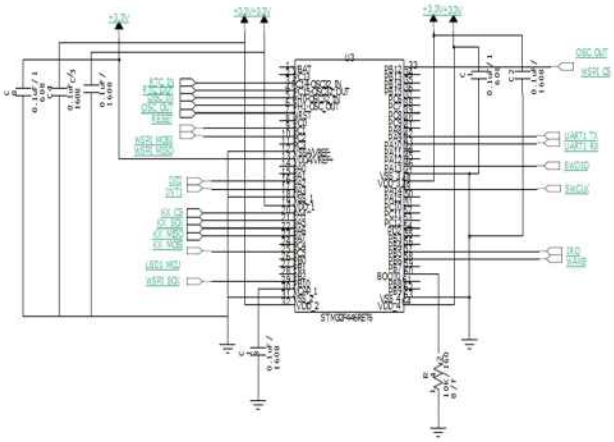
□ 본 연구에서 개발한 무선가속도계의 하우징 크기는 130 x 90 x 50 mm 이며, 무게는 약 660g정도이다. 알루미늄 재질의 프로토타입이며 차량 외부에서 내부로 데이터를 손실없이 보내기 위하여 8dBi 안테나를 사용하였다. 가속도계 외부에는 전원스위치와 통신상태 및 배터리 충전상태를 확인 할 수 있는 LED가 있다. 센서하부에는 계측하고자 하는 위치에 안전하게 부착하기 위하여 네오디움 자석을 설치하였다.

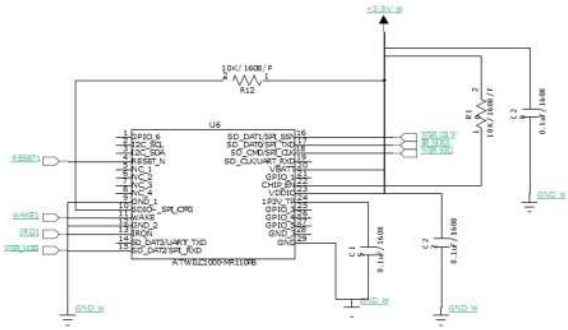
□ 센서 내부에는 센서 회로와 리튬이온 베터리로 구성되어 있으며, MCU부와 통신모듈부의 회로도는 <그림 2.99>와 같다.

<그림 2.97> WA-PMS 무선가속도센서 내·외관



<그림 2.98> WA-PMS 무선가속도센서 회로기판





· ARM Cortex M4
· 클라주파수 : 180 MHz
· 메모리 : 512 Kbytes Flash Memory
128 Kbytes SRAM
· 동적전압 : 1.7 ~ 3.6 Vdc
· Package 타입 : LQFP64

· 통신모듈 : MR110UB (20MHz SPI 통신제어)
· MR110UB-SPI 통신, WIFI 모듈, TCP/IP 통신
· 안테나 : 8dBi Helical 안테나 장착 가능 모듈 부착

<그림 2.99> WA-PMS 무선가속도센서 회로도

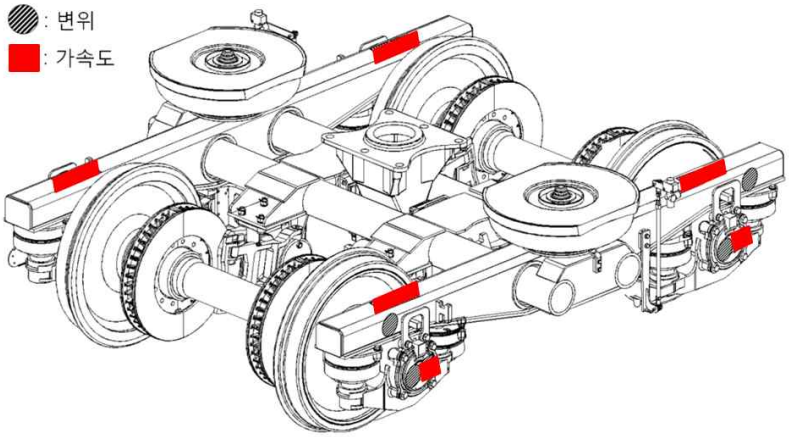
나) 현장 적용성 시험

□ 본 연구에서 개발한 무선 가속도계를 이용하여 실차 테스트를 진행하였다. 시험구간은 충북 오송에 위치는 한국철도기술연구원의 종합시험선로에서 2 회 실시하였다.

□ 시험 시스템의 구성은 <그림 2.100>와 같으며 대차의 차축에 무선가속도센서를 부착하여 진동을 측정하고 차량 내부에 있는 공유기를 통해 측정 컴퓨터로 전송된다.

<그림 2.100> WA-PMS 무선 가속도계의 데이터 전송 플로우

□ 가속도계를 이용하여 열차의 진동을 측정할 경우에 철도차량기술기준(KRTS-VE-Part1-2014(R1)) Part 41에 의거하여 차륜축 또는 차륜축상 대차프레임에 부착하여 측정하도록 명시되어있다. 따라서 본 연구에서는 가속도의 부피 및 무게를 고려하여 차륜축상의 대차프레임에 부착하여 시험을 실시하였다.



<그림 2.101> WA-PMS 무선 가속도센서 측정 위치

① 1차 실차 테스트

□ 시험 일시 : 2020년 10월 23일

□ 시험 장소 : 오송 종합시험선로

□ 시험 시료 : 3축 무선가속도 센서 1EA

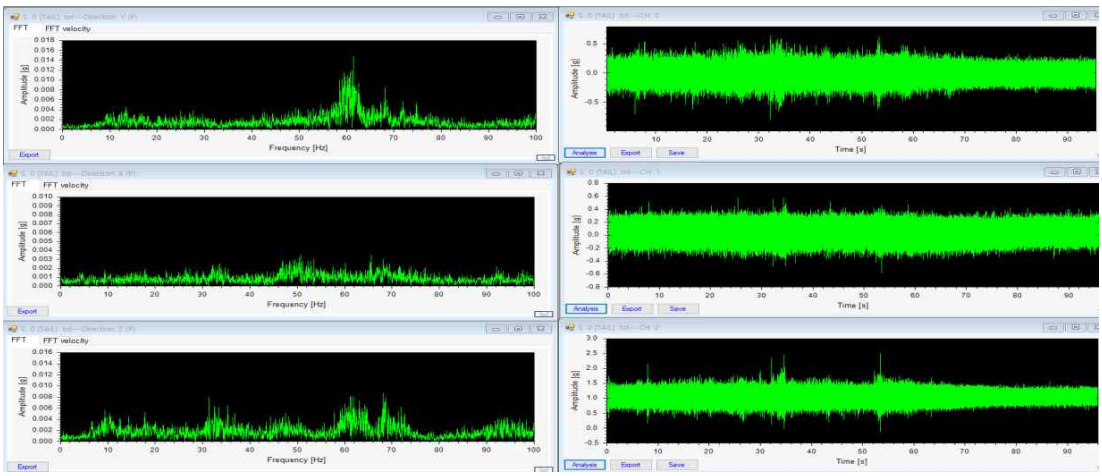
□ 시험 방법 : 3축 무선가속도 센서를 대차에 부착한 후 대차 내부에 공유기와 PC를 설치 한 후 측정 실시

□ 열차속도 : 최대 60 km/h

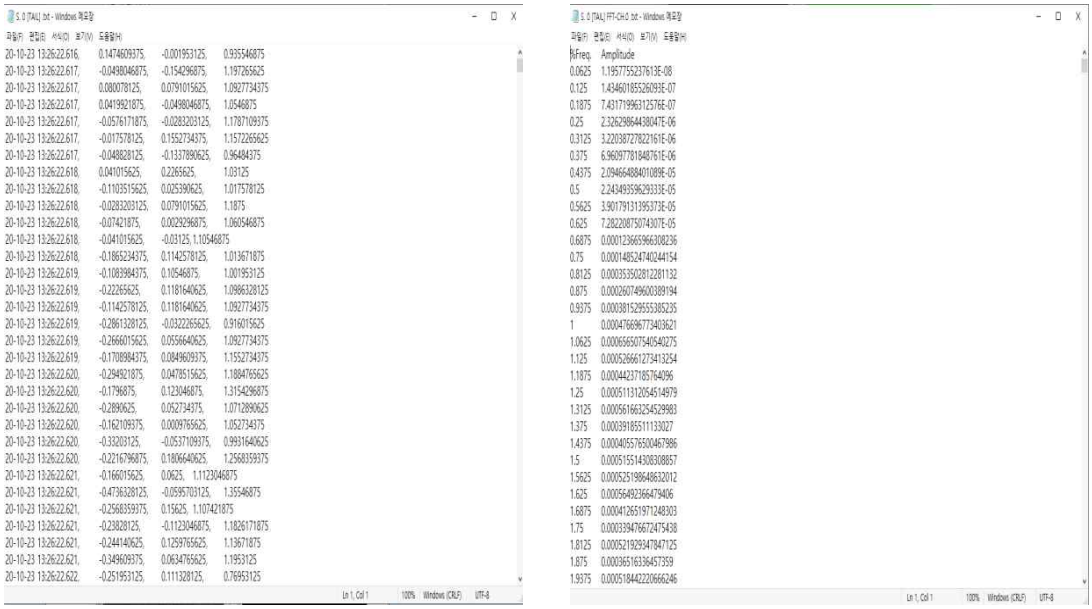
<그림 2.102> WA-PMS 무선가속도센서 부착 및 데이터 측정>

□ 시험 결과

1) 1차 테스트 Data : Sensor setting 64g, Sampling rate 6144 (정지 상태)

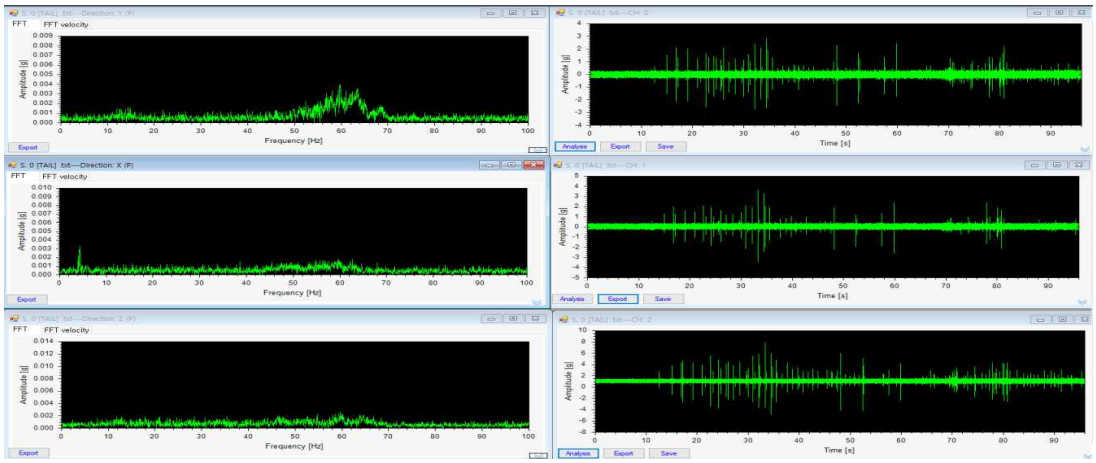


<그림 2.103> WA-TMS UI 동작화면

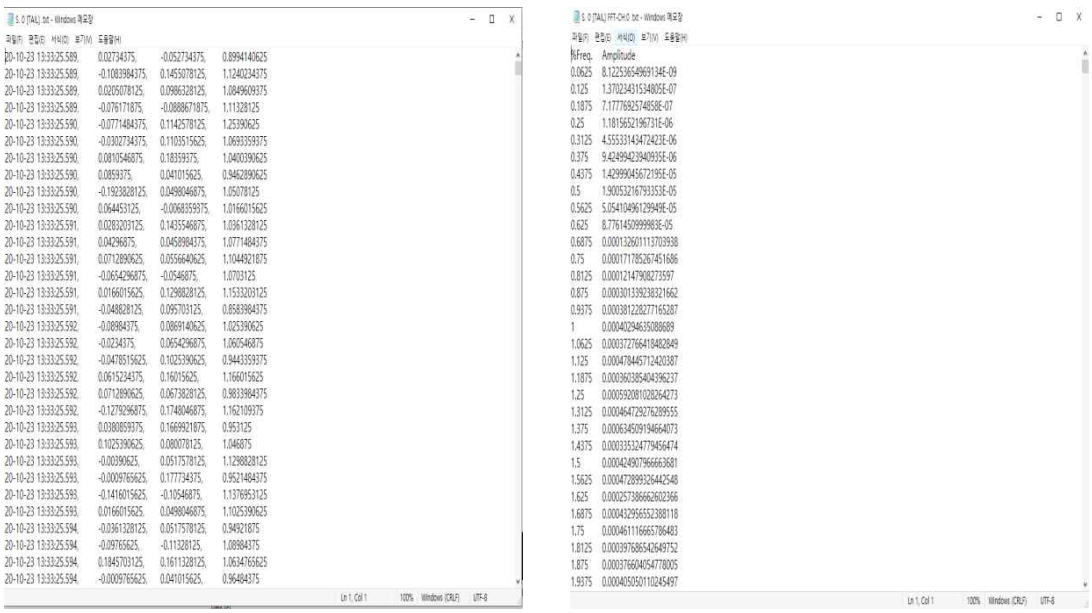


<그림 2.104> WA-TMS를 통한 진동 데이터 저장화면

2) 2차 테스트 Data : Sensor setting 64g, Sampling rate 6144 (주행 중)



<그림 2.105> WA-TMS UI 동작화면



<그림 2.106> WA-TMS를 통한 진동 데이터 저장화면

② 2차 실차 테스트

□ 시험 일시 : 2020년 11월 03일

□ 시험 장소 : 오송 종합시험선로

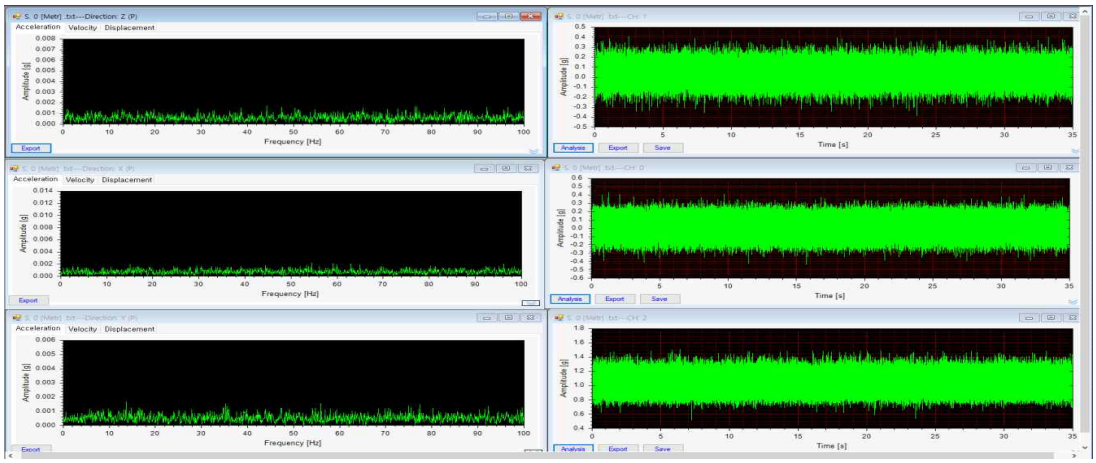
□ 시험 시료 : 3축 무선가속도 센서 1EA

□ 시험 방법 : 3축 무선가속도 센서를 대차에 부착한 후 대차 내부에 공유기와 PC를 설치한 후 측정 실시

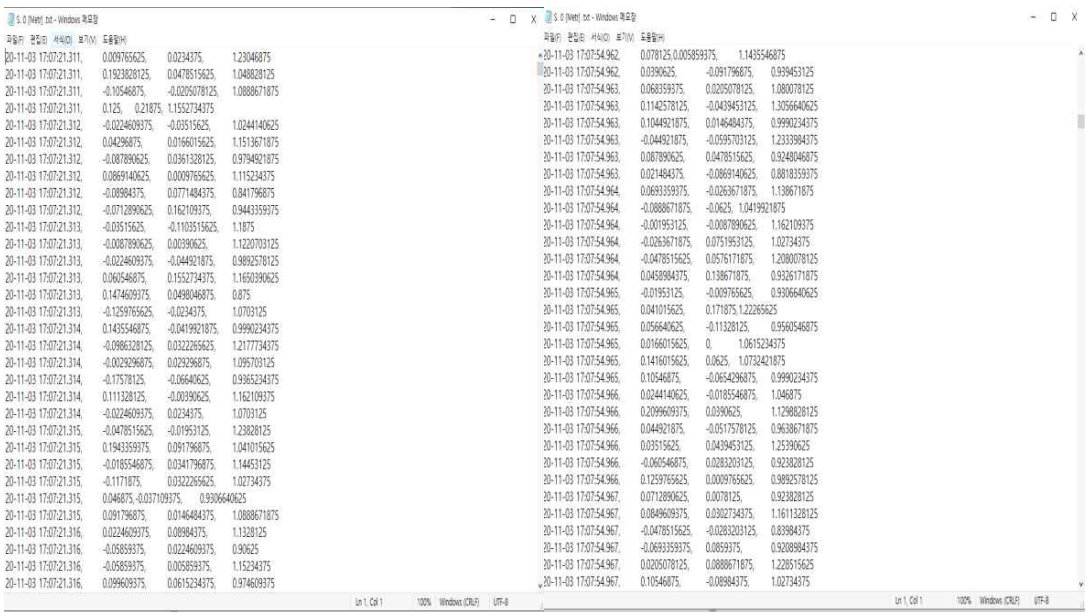
□ 열차속도 : 최대 60 km/h

<그림 2.107> WA-PMS 무선가속도센서 부착 및 데이터 측정

1) 1차 테스트 Data : Sensor setting 64g, Sampling rate 6144 (정지 상태)

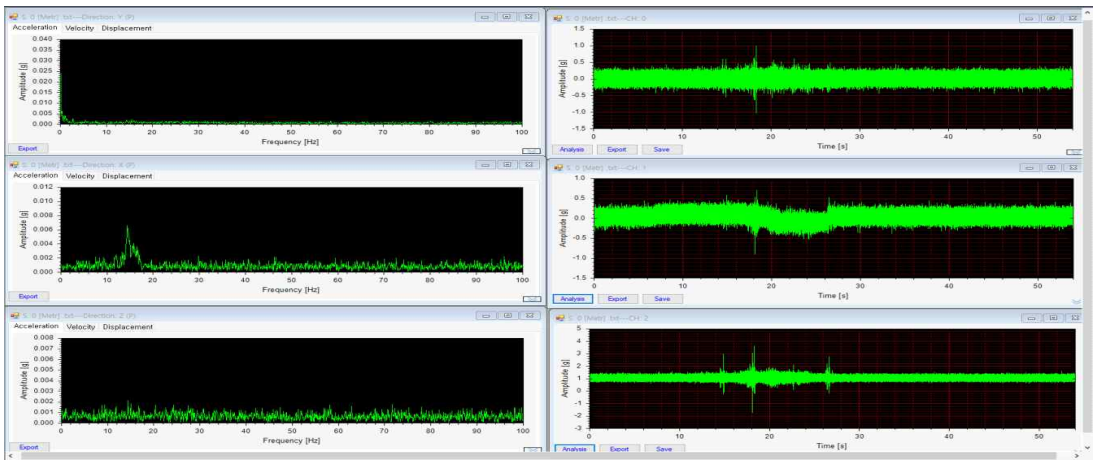


<그림 2.108> WA-TMS UI 동작화면

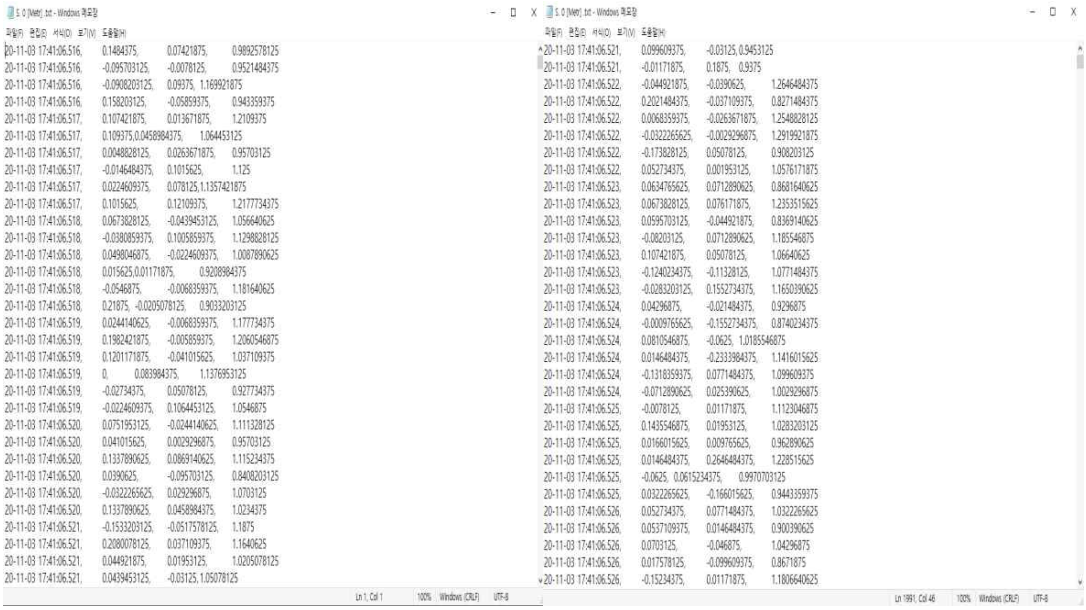


<그림 2.109> WA-TMS UI를 통한 데이터 저장화면

2) 2차 테스트 Data : Sensor setting 64g, Sampling rate 6144 (주행 중)



<그림 2.110> WA-TMS UI 동작화면



<그림 2.111> WA-TMS UI를 통한 데이터 저장화면

③ WA-PMS 무선진동센서 KOLAS 기관 시험성적서

□ 검사(교정) 기관 : ㈜시스피아

□ 검사(교정) / Model : 3축 무선 가속도 센서 / 1029

□ 검사(교정) 사용장비

<표 2.36> 검사(교정) 사용장비

기기명	제작회사 및 형식	기기번호	차기교정 예정일자	교정기관
Accelerometer	B&K / 8305	2537529	2020.09.27	한국산업기술시험원
Conditioning Amp	B&K / 2692	2951889	2020.09.30	한국산업기술시험원
Digital Multimeter	Agilent / 34401A	US36076740	2020.09.30	㈜에이치시티
Frequency Counter	Agilent / 53181A	1514495	2020.09.27	㈜에이치시티
Thermometer / Hygrometer	Testo / 176H1	40801418	2020.09.27	㈜에이치시티
Power Amplifier	B&K / 2718	E01A14K0945	-	교정불필요
Vibration Exciter	B&K / 4808	2913441	-	교정불필요

□ 검사(교정) 일자 : 2019년 11월 11일

□ 검사(교정) 환경 : 온도 23.0 ±0.3℃, 상대습도 49 ±2% R.H.

□ 검사(교정) 결과

<표 2.37> 가속도(Accelerometer) - X축 검사(교정) 결과

주파수 [Hz]	기준값(A) [m/s2, RMS]	지시값(B) [m/s2, RMS]	보정값(A-B) [m/s2]	상대 측정불확도 [%] (신뢰수준 약 95%, k=2)
20	5.0	5.0	0.0	2.4
40	5.0	5.1	-0.1	2.4
100	5.0	5.1	-0.1	2.1
315	5.0	6.1	-1.1	2.1
630	5.0	6.6	-1.6	2.1
2000	5.0	6.7	-1.7	3.0

<표 2.38> 가속도(Accelerometer) - Y축 검사(교정) 결과

주파수 [Hz]	기준값(A) [m/s2, RMS]	지시값(B) [m/s2, RMS]	보정값(A-B) [m/s2]	상대 측정불확도 [%] (신뢰수준 약 95%, k=2)
20	5.0	5.0	0.0	2.4
40	5.0	5.1	-0.1	2.4
100	5.0	5.1	-0.1	2.1
315	5.0	6.0	-1.0	2.1
630	5.0	5.5	-0.5	2.1
2000	5.0	3.9	1.1	3.0

<표 2.39> 가속도(Accelerometer) - Z축 검사(교정) 결과

주파수 [Hz]	기준값(A) [m/s2, RMS]	지시값(B) [m/s2, RMS]	보정값(A-B) [m/s2]	상대 측정불확도 [%] (신뢰수준 약 95%, k=2)
20	5.0	5.1	-0.1	2.4
40	5.0	5.2	-0.2	2.4
100	5.0	3.4	1.6	2.1
315	5.0	2.1	2.9	2.1
630	5.0	1.7	3.3	2.1
2000	5.0	2.4	2.6	3.0

2.3. 3차년도

2.3.1. Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA-analysis) 시제품 개발 (수행기관 : 주식회사 지에스지)

1) 1, 2차년도 사용자 요구사항 검토 보고서

가. 1차년도 사용자 요구사항 검토 결과

□ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS)의 경우 1계층에서 기술성(34.5%), 유지관리성(31.5%), 내구성(24.3%), 경제성(9.7%) 순의 우선순위를 나타냈으며, 2계층의 경우 상위 3가지항목으로 측정능력(16.7%), 진동저항성(12.9%), 업체대응능력(12.3%) 순의 우선순위를 나타냈다. 이는 본 연구의 성과물인 검측 모듈 개발에 있어 측정능력 등의 기술성이 가장 중요한 요소이며, 진동저항성 등의 내구성, 업체대응능력 등의 유지관리성이 그 다음 중요한 요소로 평가된 것이다.

□ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 개발에 있어서는 12개의 하위기준 중 상위 3가지 항목으로 시설장비사무소 직원은 현장사용성(18.9%), 결함이력관리(17.0%), 업체대응능력(14.1%) 등의 우선순위를, 연구원 및 기술단 직원은 분석능력(18.6%), 검측처리성(13.9%), 결함이력관리(10.0%) 등의 우선순위를, 정읍 및 경주고속철도시설사무소 토목 및 궤도담당 직원은 현장사용성(18.3%), 결함이력관리(15.4%), 분석능력(13.3%) 등의 우선순위를 나타냈다. 여기서 시사점은 사용자 모두 결함이력관리를 상위 우선순위 3위내로 뽑은 것인데, 이는 현재 수기로 작성되고 있는 균열 등의 결함점검을 자동화하여 관리하는 기능을 가장 중요하게 평가하고 있음을 의미한다.

□ 본 연구의 최종목표에 대한 분석 결과를 종합해보면 **1계층의 경우 유지관리성(30.9%), 사용성(30.8%), 기술성(28.4%), 경제성(9.9%) 순의 우선순위**를 나타냈으며, **2계층의 경우 상위 3가지 항목으로 현장사용성(15.7%), 결함이력관리(14.1%), 분석능력(13.7%) 순의 우선순위**를 나타냈다. 이는 본 연구의 성과물인 알고리즘 및 통합관리시스템 개발에 있어 현장사용성 등의 사용성이 가장 중요한 요소이며, 결함이력관리 등의 유지관리성, 분석능력 등의 기술성이 그 다음 중요한 요소로 평가된 것이다.

나. 2차년도 사용자 요구사항 검토 결과

□ **철도 선로 유지관리 측면에서 우선순위** 검토 분석결과 ① 레일마모와 ② 이음매 열화 및 볼트풀림에 대한 우선순위가 높게 분석되었다.

□ **철도 선로 현장 유지관리 과정에서 육안점검이 높은 결함 유형 분석**은 현재 연구중인 기술(가속도 데이터를 활용한 궤도결함 모니터링)이 점검차량(궤도점검차, 선로검측차)에서 관리하는 결함 유형 중 중복되는 영역부분과 음영 결함 부분을 도출하기 위해 분석을 진행하였다. 그 결과, **이음매 열화 및 볼트풀림 결함이 가장 육안점검 비율이 높게 도출**되었다. 해당 결함은 점검차 및 전용 검측장비가 개발되지 않은 부분으로 현장 유지관리 인력의 육안점검을 통해 현장에서 직접적으로 도출하는 영역으로 분석되었다.

□ **철도 선로에서 발생하는 뜬침목(Hanging Sleeper)이 다수 발생하는 원인**을 이음매, 접속슬래브, 노반침하 구간, 레일 마모구간을 변수로 선정하여 분석을 실시하였다. 분석결과 뜬침목이 자주 발생하는 구간은 이음매 구간으로 분석되었다. 해당 구간의 경우, 이음매 열화 및 볼트풀림 등 이음매 성능을 상실한 구간에서 발생하는 이음매와 차륜간의 충격으로 뜬침목이 발생하는 것으로 분석된다. 따라서, 뜬침목 또한 육안점검 비율이 높은 궤도결함으로 주파수 분석과 위치 융합기술을 통한 검측 자동화가 가능할 것으로 판단된다.

2) 궤도결함 유형별 위험평가 로직 개발

□ 궤도결함 발생에 따른 철도 차량 주행 시 결함에 대한 유지관리 우선순위 측면의 위험도를 아래와 같이 제시하였다.

□ 앞서 1차년도와 2차년도에 수해안 AHP(Analytic Hierarchy Process)방법을 이용한 궤도결함별 요구사항 조사 결과를 바탕으로 가장 선정율이 낮은 결함을 안정권으로 배치하고 선정율이 높은 결함(콘크리트궤도 결함 궤도틀림, 노반결함 배수불량) 쪽으로 배치하였다.

□ 아래 제시된 결함 유형별 위험도 결과는 AHP 분석 방법인 설문결과를 중심으로 제시한 것으로 현재 개발되어 본 연구를 통해 개발되는 성과물에 설치 및 중요 결함 요소를 선정하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

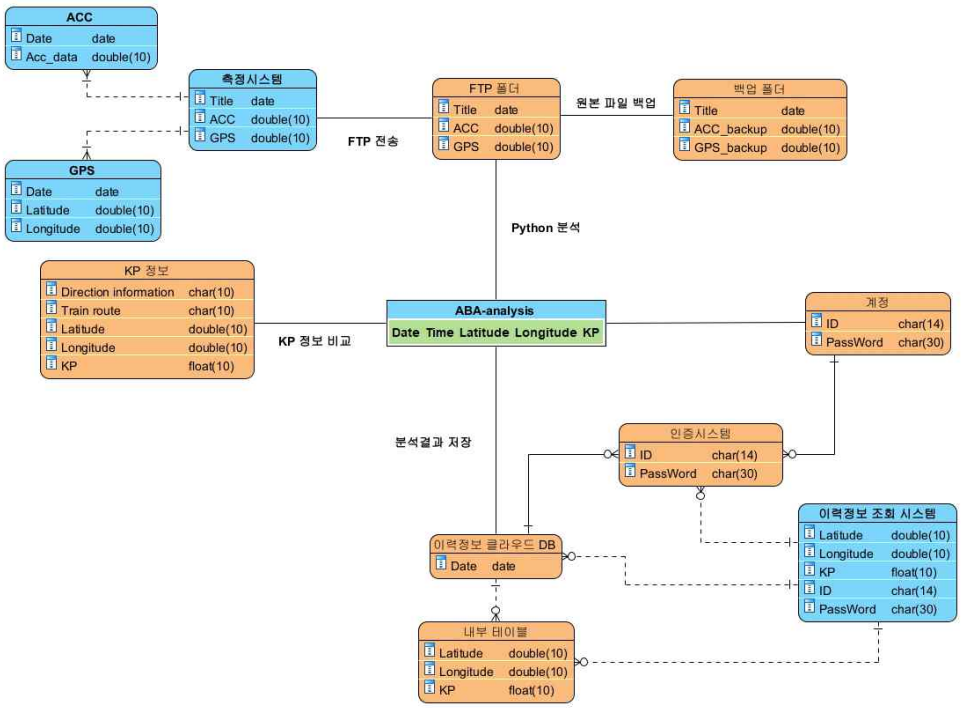
<표 2.40> 궤도 결함 유형별 위험도(Risk Assessment)

구분		도상 결함 발생 측면				
		레일마모	궤도틀림	뜬침목	이음매 및 볼트풀림	용접부 열화
하부 노반 강성 측면	레일마모	1	2	3	4	5
	궤도틀림	2	3	4	5	6
	뜬침목	3	4	5	6	7
	이음매 열화 및 볼트 풀림	4	5	6	7	8
	용접부 열화	5	6	7	8	9

3) 시범대상구간 이력정보 DB스키마 설계

가. 데이터 측정, 전송, 가공 및 저장, 사용 정의

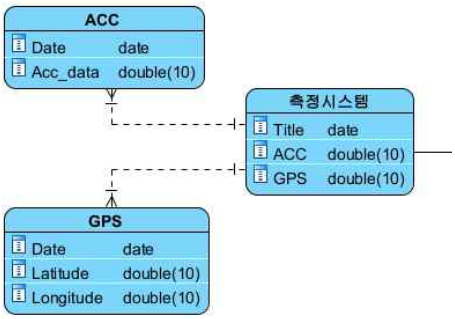
□ 본 연구에서는 Cloud DB를 기반 시범대상구간 이력정보 DB를 구축하였다. 무선진동가속도계와 GPS 데이터를 측정부터 시작하여 측정, 전송, 가공 및 저장, 사용까지의 과정을 정의하고 이를 스키마 설계에 반영되도록 하였으며, 하늘색 배경은 ABA-analysis서버 외에서 처리되는 데이터를 표기 하였고, 주황색 배경은 서버 내에서 처리되는 데이터를 표기하였다.



<그림 2.112> 이력정보 클라우드-DB 스키마설계도

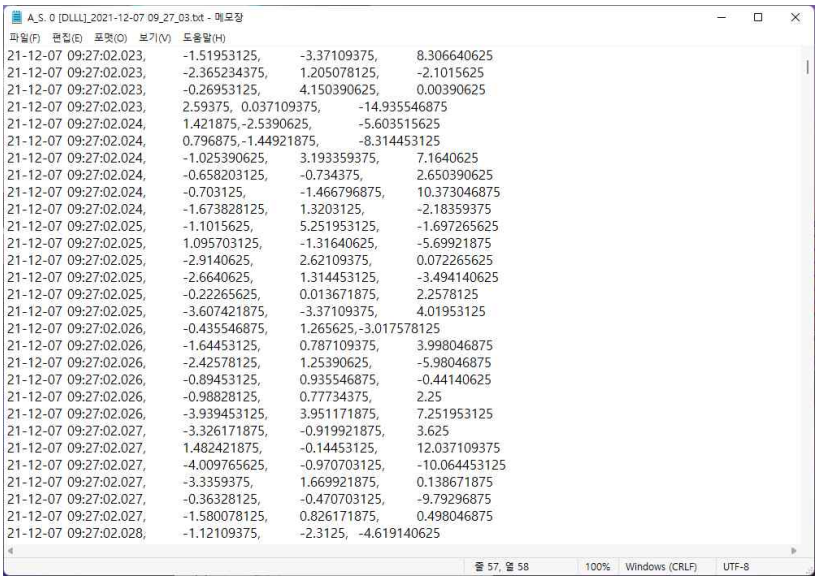
① 데이터 측정

□ ABA-analysis 계측을 진행 시 무선진동가속도 데이터와 GPS 데이터를 측정한다. 이를 스키마설계도 좌측 위의 하늘색으로 표시하였다.



<그림 2.113> 이력정보 클라우드-DB 스키마 설계도 중 데이터 측정 부

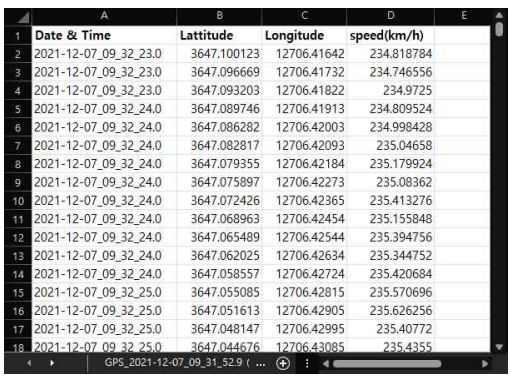
□ 무선가속도계 데이터는 스키마설계도에서 ACC 부분으로 표현되어있으며, 데이터 측정하여 저장 시 TXT 파일 형태로 저장이 된다. TXT 파일 내부에는 DATE(시간)과 ACC_DATA(무선진동가속도데이터)가 저장이 되어있으며, 각 데이터는 탭(TAP)으로 구분이 되어 있으며, 시간, 무선진동가속도데이터 X, Y, Z 순으로 저장되어 있다.



```
21-12-07 09:27:02.023,	-1.51953125,	-3.37109375,	8.306640625
21-12-07 09:27:02.023,	-2.365234375,	1.205078125,	-2.1015625
21-12-07 09:27:02.023,	-0.26953125,	4.150390625,	0.00390625
21-12-07 09:27:02.023,	2.59375,	0.037109375,	-14.935546875
21-12-07 09:27:02.024,	1.421875,	-2.5390625,	-5.603515625
21-12-07 09:27:02.024,	0.796875,	-1.44921875,	-8.314453125
21-12-07 09:27:02.024,	-1.025390625,	3.193359375,	7.1640625
21-12-07 09:27:02.024,	-0.658203125,	-0.734375,	2.650390625
21-12-07 09:27:02.024,	-0.703125,	-1.466796875,	10.373046875
21-12-07 09:27:02.024,	-1.673828125,	1.3203125,	-2.18359375
21-12-07 09:27:02.025,	-1.1015625,	5.251953125,	-1.697265625
21-12-07 09:27:02.025,	1.095703125,	-1.31640625,	-5.69921875
21-12-07 09:27:02.025,	-2.9140625,	2.62109375,	0.072265625
21-12-07 09:27:02.025,	-2.6640625,	1.314453125,	-3.494140625
21-12-07 09:27:02.025,	-0.22265625,	0.013671875,	2.2578125
21-12-07 09:27:02.025,	-3.607421875,	-3.37109375,	4.01953125
21-12-07 09:27:02.026,	-0.435546875,	1.265625,	-3.017578125
21-12-07 09:27:02.026,	-1.64453125,	0.787109375,	3.998046875
21-12-07 09:27:02.026,	-2.42578125,	1.25390625,	-5.98046875
21-12-07 09:27:02.026,	-0.89453125,	0.935546875,	-0.44140625
21-12-07 09:27:02.026,	-0.98828125,	0.77734375,	2.25
21-12-07 09:27:02.026,	-3.939453125,	3.951171875,	7.251953125
21-12-07 09:27:02.027,	-3.326171875,	-0.919921875,	3.625
21-12-07 09:27:02.027,	1.482421875,	-0.14453125,	12.037109375
21-12-07 09:27:02.027,	-4.009765625,	-0.970703125,	-10.064453125
21-12-07 09:27:02.027,	-3.3359375,	1.669921875,	0.138671875
21-12-07 09:27:02.027,	-0.36328125,	-0.470703125,	-9.79296875
21-12-07 09:27:02.027,	-1.580078125,	0.826171875,	0.498046875
21-12-07 09:27:02.028,	-1.12109375,	-2.3125,	-4.619140625
```

<그림 2.114> 무선진동가속도 데이터 예시

□ GPS 데이터는 스키마설계도에서 GPS 부분으로 표현되어있으며, 데이터 측정하여 저장 시 TDMS파일 형태로 저장이 된다. TDMS 파일 내부에는 DATE(시간), Latitude(위도), Longitude(경도), Speed(속도)가 저장되어있으며, 각 데이터는 쉼표로 구분이 되어 있으며, DATE(시간), Latitude(위도), Longitude(경도), Speed(속도) 순으로 저장되어 있다.



	A	B	C	D
1	Date & Time	Lattitude	Longitude	speed(km/h)
2	2021-12-07_09_32_23.0	3647.100123	12706.41642	234.818784
3	2021-12-07_09_32_23.0	3647.096669	12706.41732	234.746556
4	2021-12-07_09_32_23.0	3647.093203	12706.41822	234.9725
5	2021-12-07_09_32_24.0	3647.089746	12706.41913	234.809524
6	2021-12-07_09_32_24.0	3647.086282	12706.42003	234.998428
7	2021-12-07_09_32_24.0	3647.082817	12706.42093	235.04658
8	2021-12-07_09_32_24.0	3647.079355	12706.42184	235.179924
9	2021-12-07_09_32_24.0	3647.075897	12706.42273	235.08362
10	2021-12-07_09_32_24.0	3647.072426	12706.42365	235.413276
11	2021-12-07_09_32_24.0	3647.068963	12706.42454	235.155848
12	2021-12-07_09_32_24.0	3647.065489	12706.42544	235.394756
13	2021-12-07_09_32_24.0	3647.062025	12706.42634	235.344752
14	2021-12-07_09_32_24.0	3647.058557	12706.42724	235.420684
15	2021-12-07_09_32_25.0	3647.055085	12706.42815	235.570696
16	2021-12-07_09_32_25.0	3647.051613	12706.42905	235.626256
17	2021-12-07_09_32_25.0	3647.048147	12706.42995	235.40772
18	2021-12-07_09_32_25.0	3647.044676	12706.43085	235.4355

<그림 2.115> GPS 데이터 예시

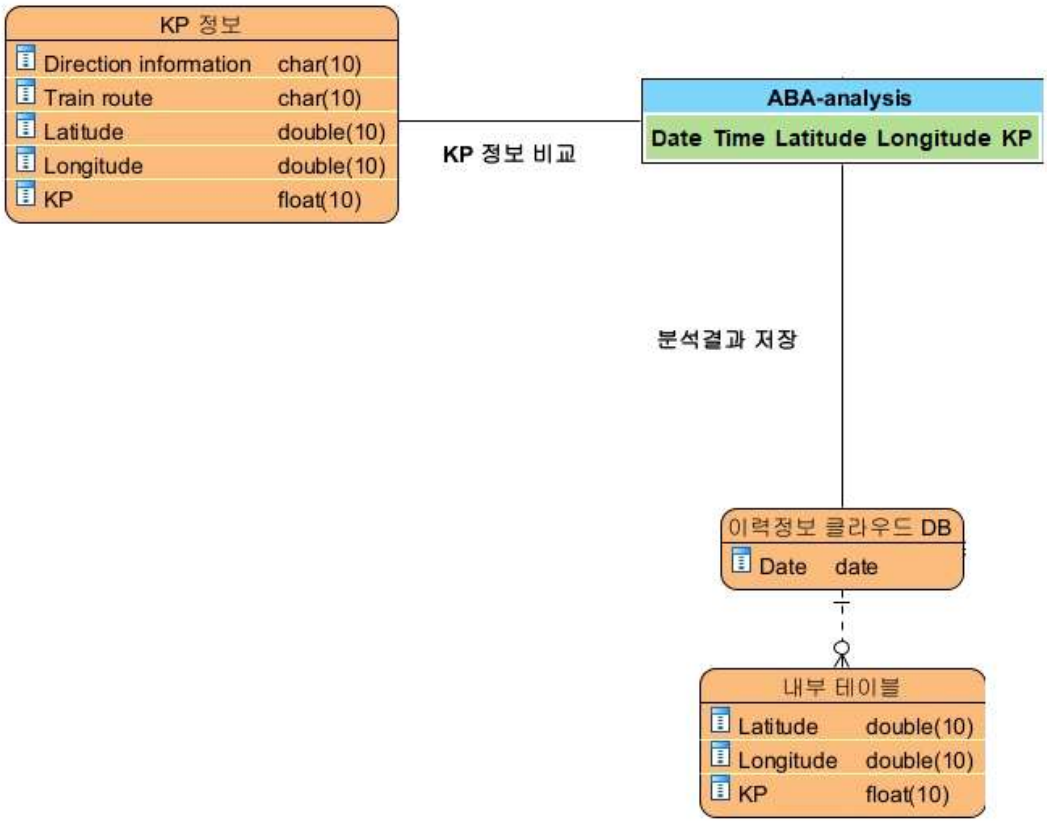
② 데이터 전송

□ 계측이 완료된 후 저장된 무선가속도데이터(TXT 파일)과 GPS데이터(TDMS)파일을 FTP전송을 활용하여 ABA-analysis 서버로 전송하며, 전송된 파일은 ABA-analysis 프로그램에 의하여 백업폴더로 저장 및 가공된다.

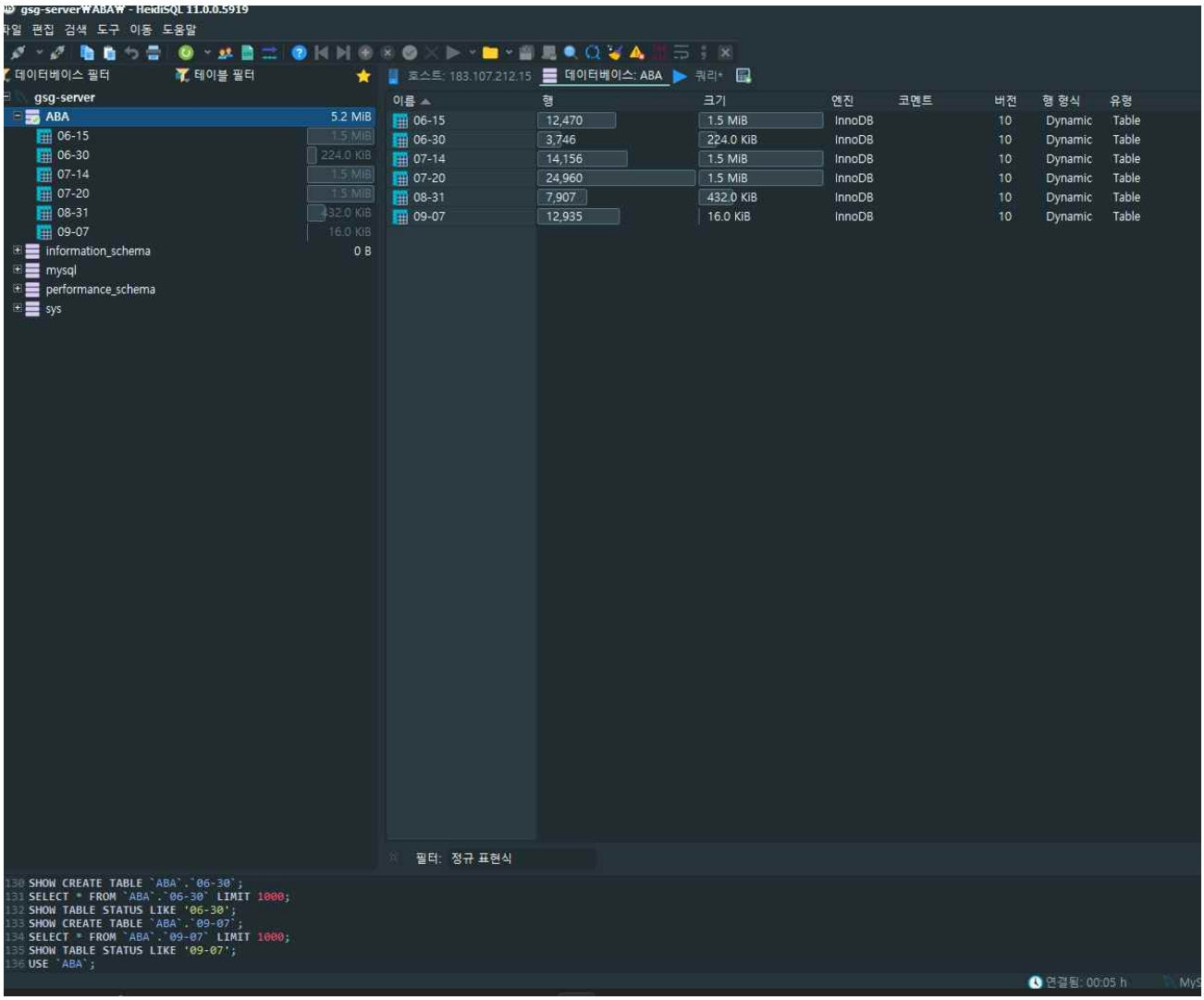
<그림 2.116> 이력정보 클라우드-DB 스키마 설계도 중 데이터 전송 부

③ 데이터 가공 및 저장

□ ABA-analysis프로그램은 무선가속도데이터(TXT)와 GPS데이터(TDMS)를 불러와 각 데이터의 시간데이터를 비교하여 두 데이터를 결합하며, 이후 웨이블릿 변환을 이용한 주파수 분석을 통해 이상개소 검측 데이터를 분석한다. 이후 철도유지관리기관인 한국 철도공사가 보유하고 있는 자료인 시설물 좌표 및 거리표에 나타난 KP(킬로미터정)데이터와 비교하여 매 KP(킬로미터정)지점마다 좌표를 보정하고, GPS 데이터의 거리 변환방법을 활용하여 이상개소의 위치를 미터단위로 세분하여 일자를 Table명으로, 테이블 내용은 GPS 좌표(위도, 경도) 및 KP(킬로미터정)으로 저장한다.



<그림 2.117> 이력정보 클라우드-DB 스키마 설계도 중 데이터 분석 및 저장 부



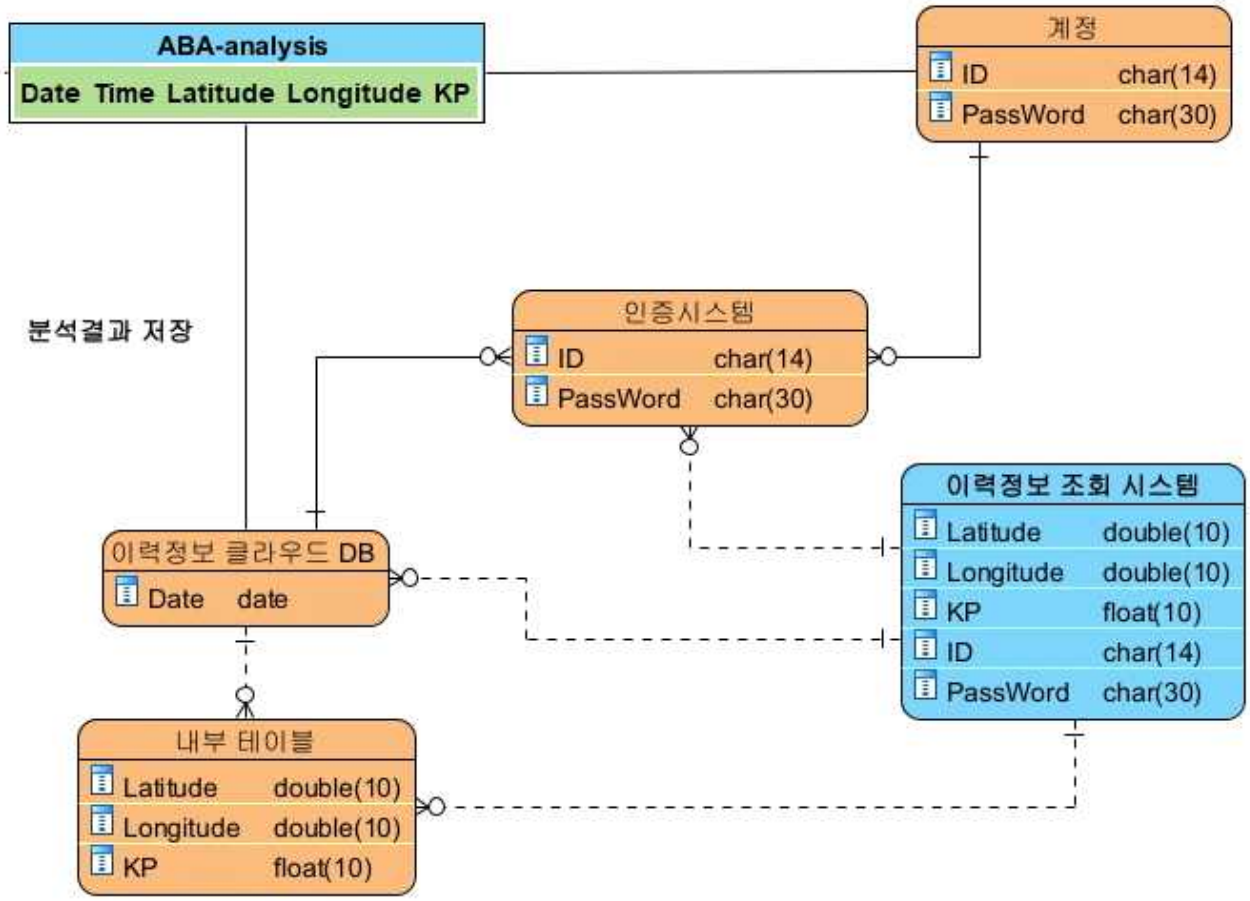
<그림 2.118> 이력정보 클라우드-DB에 저장된 분석데이터

	A	B	C	D	E
1	36.70697	127.1908	109.0075		
2	36.70692	127.1909	109.015		
3	36.7068	127.191	109.0365		
4	36.70676	127.1911	109.0434		
5	36.70669	127.1912	109.0575		
6	36.70657	127.1914	109.0785		
7	36.70654	127.1915	109.0855		
8	36.7065	127.1916	109.0924		
9	36.7064	127.1918	109.1131		
10	36.70637	127.1918	109.1198		
11	36.70634	127.1919	109.1266		
12	36.70631	127.1919	109.1334		
13	36.70628	127.192	109.1402		
14	36.70621	127.1921	109.1537		
15	36.70618	127.1922	109.1605		
16	36.70611	127.1923	109.1741		
17	36.70605	127.1925	109.1877		
18	36.70601	127.1925	109.1945		
19	36.70598	127.1926	109.2013		
20	36.70591	127.1927	109.2149		
21	36.70588	127.1928	109.2217		
22	36.70584	127.1928	109.2285		
23	36.70581	127.1929	109.2352		
24	36.70578	127.193	109.242		

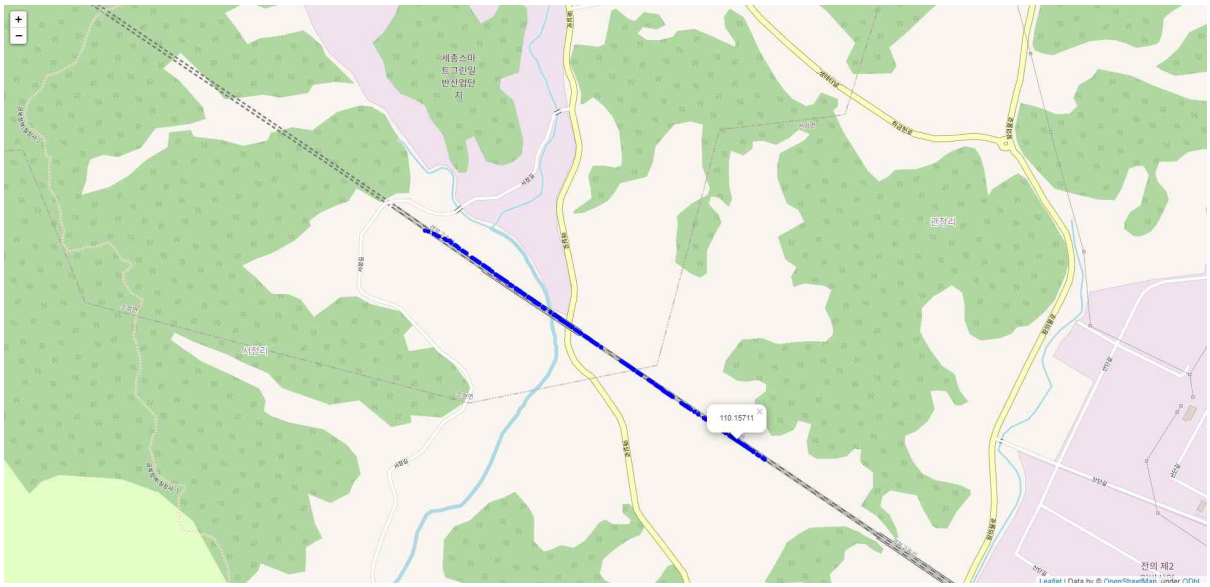
<그림 2.119> 이력정보 클라우드-DB에 저장된 데이터 중 일부

④ 데이터 사용

□ ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB의 데이터는 MySQL 기반으로 제작되어 서버 내 설정된 계정정보(ID, Password)를 활용하여 인증이 가능하며, 외부 프로그램 또는 본 연구에서 개발한 ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램에서 데이터 열람 및 조회가 가능하다.

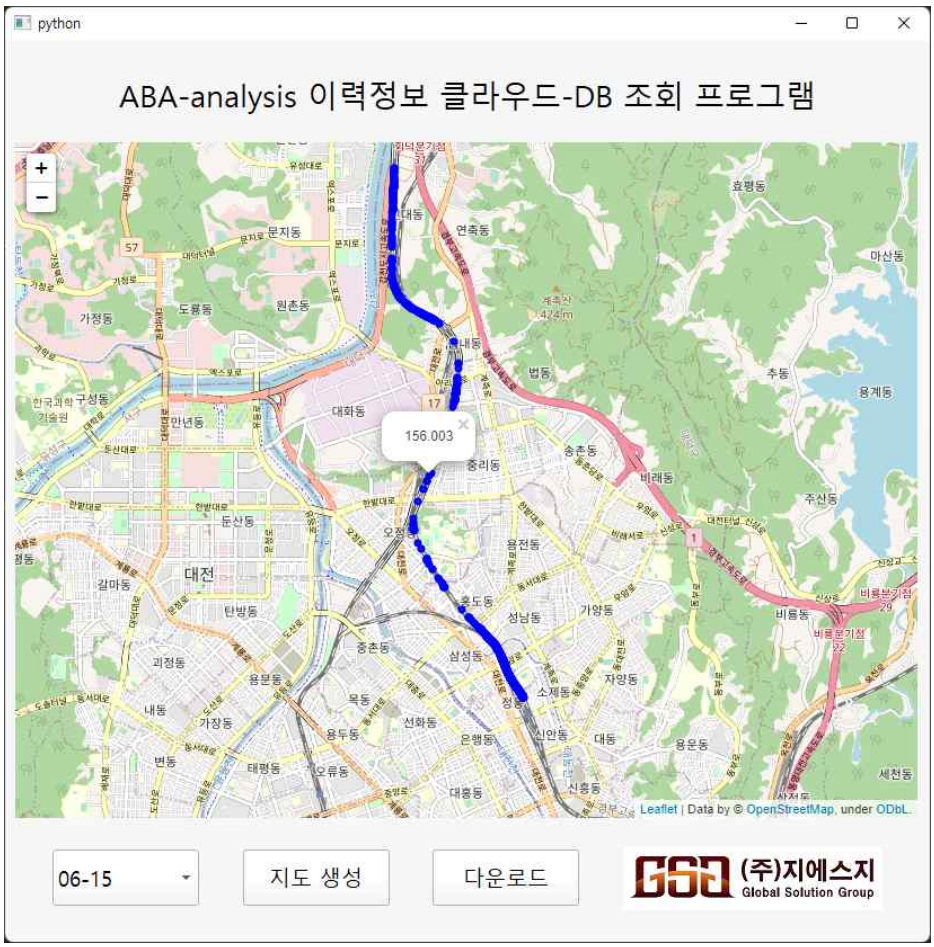


<그림 2.120> 이력정보 클라우드-DB 스키마 설계도 중 데이터 사용 부



<그림 2.121> 이력정보 클라우드-DB에서 추출한 데이터로 나타낸 일부 이상개소 위치

□ ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램은 이력정보 클라우드-DB내의 Table명을 조회하여 Combobox(선택박스) 형태의 리스트로 사용자에게 제공이 된다. 위 combobox(선택박스)의 Table 중 원하는 날짜의 Table을 선택하여 지도 생성 버튼을 누르면 아래 그림과 같이 지도내의 이상계소의 위치를 표출하여 주며, 웹기반 지도를 활용하여 파란색 원(이상개소)를 선택할 경우, 아래 그림의 지도 내 팝업처럼 KP(킬로미터정) 정보를 볼 수 있도록 하였다. 또한 다운로드 버튼 클릭 시 Table 내의 데이터를 불러와 CSV파일 형태로 저장하여 현장관리인원에 전달이 용이하도록 하였다.



<그림 2.122> 이력정보 클라우드-DB에서 추출한 데이터로 나타낸 테이블 및 지도

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	37.48671	126.8803	29.078					
2	37.48668	126.8803	29.08					
3	37.48648	126.8804	29.103					
4	37.48531	126.8809	29.241					
5	37.48421	126.8814	29.37					
6	37.48391	126.8815	29.405					
7	37.48389	126.8815	29.408					
8	37.60117	126.8704	29.466					
9	37.60116	126.8705	29.468					
10	37.60102	126.8706	29.489					
11	37.601	126.8706	29.491					
12	37.60064	126.8711	29.547					
13	37.60062	126.8711	29.549					
14	37.60045	126.8713	29.576					
15	37.60043	126.8713	29.578					
16	37.60042	126.8713	29.58					
17	37.60039	126.8714	29.584					
18	37.48235	126.8822	29.588					
19	37.48233	126.8822	29.591					
20	37.48223	126.8822	29.602					

<그림 2.123> 이력정보 클라우드-DB에서 추출한 데이터로 저장된 CSV 파일

4) ABA-analysis 이력관리용 클라우드-DB 구축

가. 이력관리용 클라우드-DB 구축 현황

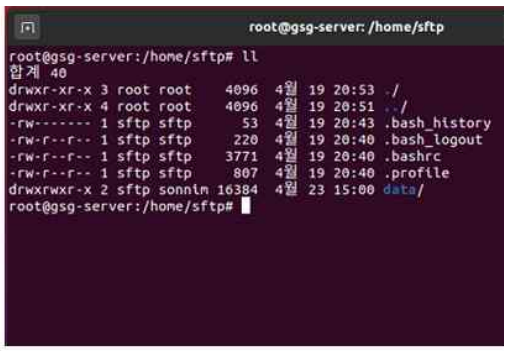
□ 취득 데이터 및 이력 관리용 Cloud-DB 구축 완료

<그림 2.124> Cloud-DB기반 ABA-analysis 시스템 구축 현황

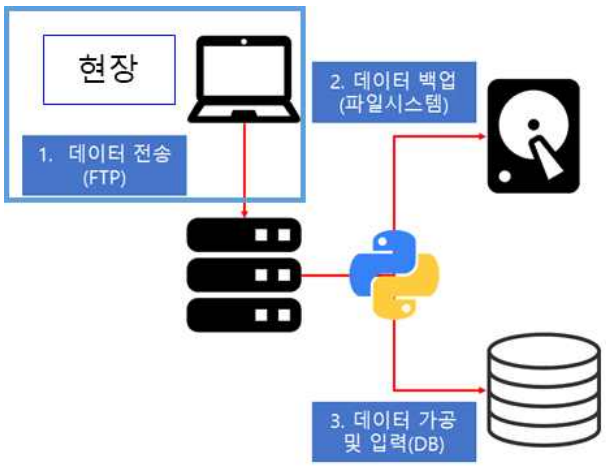
□ 클라우드-DB기반 ABA-analysis 분석프로그램 구축현황

- 데이터 취득 및 관리를 위한 클라우드-DB기반 ABA-analysis 분석프로그램 구축 완료

주관기관이 보유한 이력 DB 서버



SFTP(파일전송시스템) 접속화면



데이터 백업 순서도

데이터 분석 순서도

<그림 2.125> 클라우드-DB기반 ABA-analysis 분석프로그램 구축 현황

5) 시범대상구간 이력정보 클라우드-DB 구축 검증

가. ABA-analysis 이력관리용 클라우드-DB 구축

□ 본 연구에서 ABA-analysis 이력관리용 클라우드-DB는 현차시험에서 측정된 무선가속도데이터와 GPS 데이터를 활용하여 ABA-Analysis프로그램에서 분석한 이상계소의 GPS좌표와 KP(킬로미터정)정보를 일자별로 저장하는 관계형 데이터베이스(RDB)로 세계적으로 제일 많이 사용되는 관계형 데이터베이스 관리시스템(RDBMS)인 MySQL을 활용하여 구축이 되었다. 데이터베이스를 구축 시 위 3) 시범대상구간 이력정보 DB스키마 설계를 기준으로 구축을 하였으며, 데이터베이스 구축 후에 KOLAS 인증기관인 ㈜와이즈스톤에 의뢰하여 시범대상구간 이력정보 클라우드-DB 구축 검증(응답 정확성)을 받았다.

나. 시범대상구간 이력관리용 클라우드-DB 구축 검증(응답 정확성) 시험 방법

□ 시범대상구간 이력관리용 클라우드-DB 구축 검증을 위하여 데이터베이스, 서버에 있는 DB 테이블 데이터를 요청하는 스크립트(save_table.py), 저장된 테이블 데이터 CSV 파일과 DB 내 테이블 데이터의 일치 여부를 확인하여 정확도 산출 및 출력하는 스크립트(compare_table_and_csv.py)파일을 준비하였고, 시험 진행은 ㈜와이즈스톤 고정시험실(서울 서초구 서운로 34, 우정빌딩 별관 지하 1층)에서 진행하였다. ㈜와이즈스톤과 협의한 시험 결과 요약 및 절차는 아래 표와 같다.

<표 2.41> 시범대상구간 이력관리용 클라우드-DB 시험 절차

번호	시험 항목	신청기관 기준	결과
1	시범대상구간 이력정보 클라우드-DB 구축 검증 (응답 정확성)	90% 이상	기준만족 (100%)
시험 절차			
1. DB 테이블 확인 - 테이블 수 : 7개 - 테이블 내용 : 철도 결함 관련 데이터 2. 소스 코드 확인 1) 서버에 있는 DB 테이블 데이터를 요청하는 스크립트(save_table.py) - 서버에 있는 DB 테이블을 불러오는 코드 - 테이블 당 3회씩 데이터를 요청하는 코드 - 요청한 테이블 수신 여부 확인 코드 - 요청한 테이블을 CSV 파일로 저장하는 코드 2) 저장된 테이블 데이터 CSV 파일과 DB 내 테이블 데이터의 일치 여부를 확인하여 정확도 산출 및 출력하는 스크립트(compare_table_and_csv.py) - 서버에 있는 DB 테이블 데이터를 요청하는 스크립트 실행 후 저장된테이블 데이터 CSV 파일을 불러오는 코드 - 서버에 있는 DB 테이블을 불러오는 코드 - 서버에 있는 DB 테이블 데이터를 요청하는 스크립트 실행 후 저장된테이블 데이터 CSV 파일과 DB 내 테이블 데이터의 일치 여부 확인코드 - 응답 정확도 산출 및 출력 코드 3. 시험 PC에서 서버에 있는 DB 테이블 데이터를 테이블 당 3회씩 총 21회 데이터 요청하여 테이블을 CSV 파일로 저장하는 스크립트 실행 4. 시험 PC에서 순서 3을 실행한 후 저장된 테이블 데이터 CSV 파일과 DB내 테이블 데이터의 일치 여부를 확인하여 응답 정확도 산출 및 출력하는 스크립트를 실행하여 응답 정확도를 확인			

다. 시범대상구간 이력관리용 클라우드-DB 구축 검증(응답 정확성) 시험 진행

① 시험 대상 정보

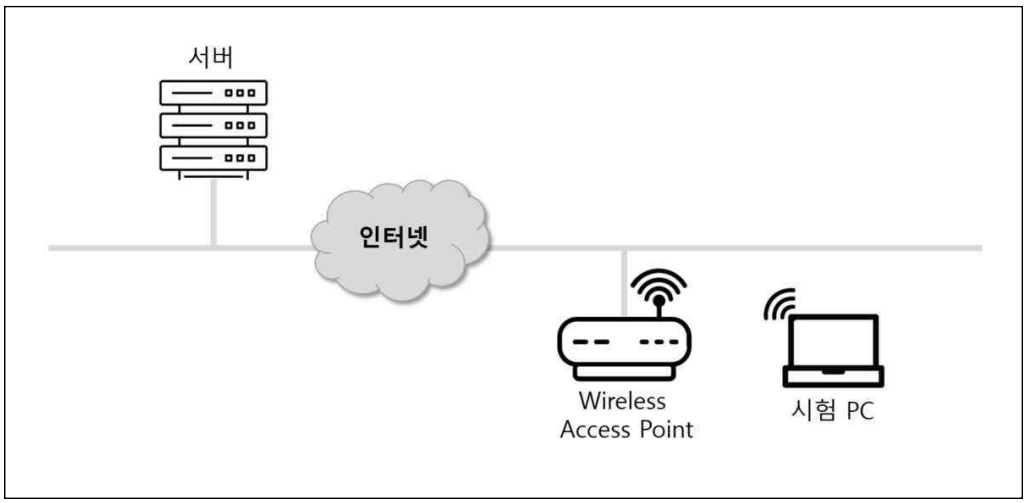
□ 시험 대상의 소스코드를 제공 하였고, ㈜와이즈스톤은 해당 소스코드를 해시 값으로 저장하였다.

<표 2.42> 시범대상구간 이력관리용 클라우드-DB 시험 대상 정보 및 해시 값

식별자	소프트웨어 명	분류	구분	해시 값(SHA256)
1-A	이력정보 클라우드-DB v1.0	기타 산업특화 소프트웨어	save_table.py	8dafd25e087b2d569510ff646f85568d 9a7411c70890ab5aa0af4bb9906c7128
			compare_table _and_csv.py	731c8043998e8ee86fc65cd3e0e0b8f4 93c4cc4426c384bf742b4d006a69098b

② 시험환경(ENV-1)

□ 시험환경은 ㈜와이즈스톤의 시험실(서울 강남구)에서 진행하였으며 ABA-analysis서버(대전)에 상용 인터넷을 활용한 접속으로 진행 하였다.



<그림 2.126> 시범대상구간 이력관리용 클라우드-DB 시험 절차

③ 시험 환경 상세정보

□ 시험환경은 ABA-analysis 서버(서버)와 주관연구기관이 보유한 노트북(시험 PC)을 활용하여 진행 하였다.

<표 2.43> 시범대상구간 이력관리용 클라우드-DB 시험 환경 상세정보

구분	시스템사양	운영SW 및 시험도구	구현모듈
서버	· CPU : Intel(R) Xeon(R) Silver 4114 CPU @ 2.20 GHz · RAM : 134.6 GB · HDD : 35.9 TB	· Ubuntu 20.04.3 LTS · MySQL 8.0.27	-
시험 PC	· CPU : Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60 GHz 2.59 GHz · RAM : 16 GB · HDD : 931.50 GB	· Windows 10 Pro · PyCharm 2021.1.3 · Python 3.8.8rc1 · HeidiSQL 11.3.0.6295 · PyMySQL 1.0.2 · Pandas 1.3.0 · Microsoft 365 Business Excel 2111	· save_table.py · compare_table_and _csv.py

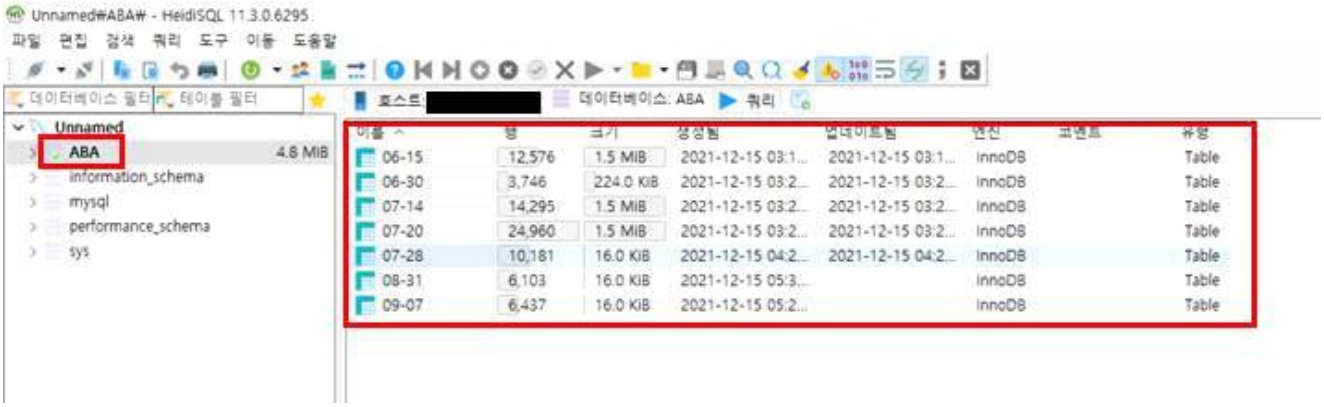
④ 시험 항목

시험 항목	시험 대상	시험 환경
1) 시범대상구간 이력정보 클라우드-DB 구축 검증 (응답 정확성)	1-A	ENV-1

⑤ DB 테이블 확인

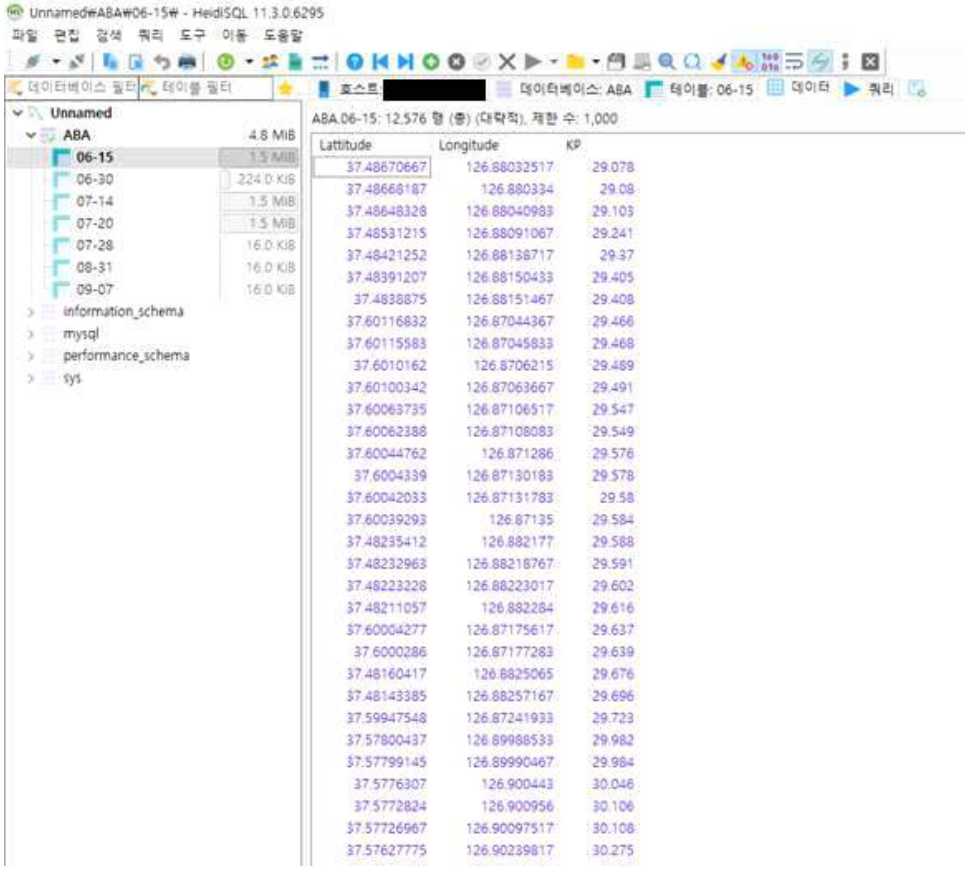
□ DB 테이블 확인은 시범대상구간 이력관리용 클라우드-DB의 테이블 및 테이블 내 데이터를 확인하는 절차이다.

□ 테이블 수 : 7개



<그림 2.127> 테이블 개수 확인

□ 테이블 내용 : 철도 결함 관련 데이터



<그림 2.128> 테이블 내용 확인

⑥ 소스 코드 확인

□ 서버에 있는 DB 테이블 데이터를 요청하는 스크립트(save_table.py)

□ 테이블 당 3회씩 데이터를 요청하여 요청한 테이블의 수신 여부 확인 및 출력하고 수신여부 결과를 CSV 파일로 저장하는 코드이며, 요청한 테이블을 CSV 파일로 저장하는 코드를 검증하는 과정이다.

```
import csv, pymysql, sys
import pandas as pd

tables = ['06-15', '06-30', '07-14', '07-20', '07-28', '08-31', '09-07']

query_log = [['시험횟수', '요청테이블', '요청쿼리']]

conn = pymysql.connect(host='[redacted]', user='yyk', password='2281', db='ABA', charset='utf8')
cur = conn.cursor()
for w in range(3):
    for q in tables:
        table_name = q
        cur.execute("select * from `" + str(table_name) + "`;")
        reseve = cur.fetchall()
        dataframe_data = pd.DataFrame.from_records(reseve)
        last_query = cur._last_executed
        query_log.append([str(w+1)+'차', q ,last_query])
        print('마지막 요청 쿼리는 \"'+last_query+'\" 입니다.', str(w+1)+'차')
        list_res = dataframe_data.values.tolist()
        f = open(table_name +'_'+str(w+1)+'차.csv', 'w', newline='')
        fw = csv.writer(f)
        fw.writerows(list_res)
        f.close()
conn.commit()
conn.close()

f = open('./query_history.csv', 'w', newline='')
fw = csv.writer(f)
fw.writerows(query_log)
```

<그림 2.129> 소스코드 확인(save_table.py)

□ 저장된 테이블 데이터 CSV 파일과 DB 내 테이블 데이터의 일치 여부를 확인하여 정확도산출 및 출력하는 스크립트(compare_table_and_csv.py)

□ 서버에 있는 DB 테이블 데이터를 요청하는 스크립트 실행 후 저장된 CSV 파일과 DB 내의 데이터의 일치 여부 확인 코드이며, 응답 정확도 산출 및 출력 코드를 검증하는 과정이다.

```
import csv, pymysql, sys
import os
import pandas as pd

file_list = os.listdir('./')
target_list = []
for q in file_list:
    if '.py' in q  or 'query' in q or 'compare' in q:
        continue
    else:
        target_list.append(q)

conn = pymysql.connect(host='[redacted]', user='yyk', password='2281', db='ABA', charset='utf8')
cur = conn.cursor()

compare_res = [['테이블명', '측정파일', '응답정확도']]
for w in target_list:
    table_name = w.split('_')[0]
    csv_list = []
    f = open(w,'r')
    for e in f:
        e = e.replace('\n', '')
        e = e.split(',')
        csv_list.append(e)

    cur.execute("select * from `" + str(table_name) + "`;")
    reseve = cur.fetchall()
    dataframe_data = pd.DataFrame.from_records(reseve)
    list_res = dataframe_data.values.tolist()

    countor = 0

    table_length = len(list_res)

    for r in range(len(list_res)):
        for t in range(len(list_res[r])):
            list_res[r][t] = str(list_res[r][t])

    for a in range(len(list_res)):
        if list_res[a] == csv_list[a]:
            countor += 1
        else:
            continue
```

<그림 2.130> 소스코드 확인(compare_table_and_csv.py)

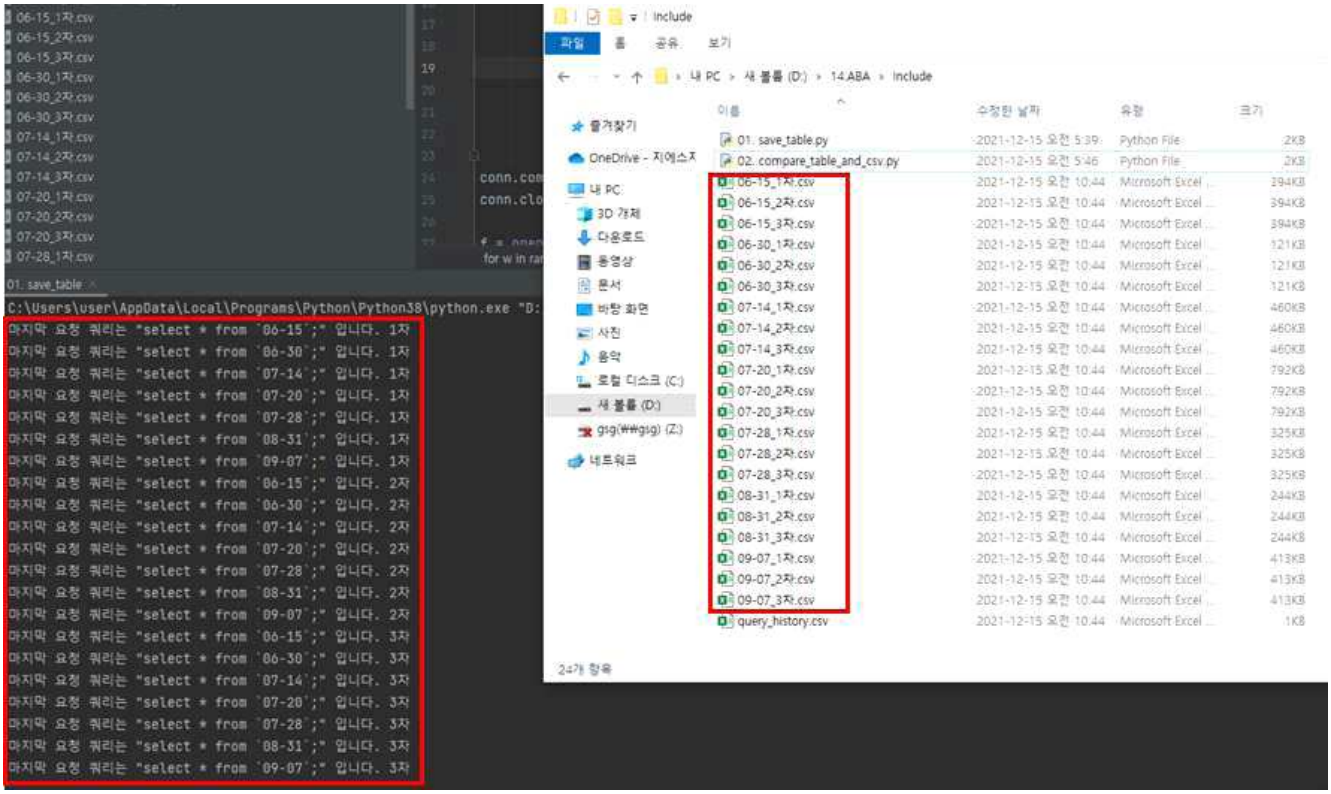
⑦ **결과확인**

□ 시범대상구간 이력정보 클라우드-DB 구축 검증 (응답 정확성) : 100%

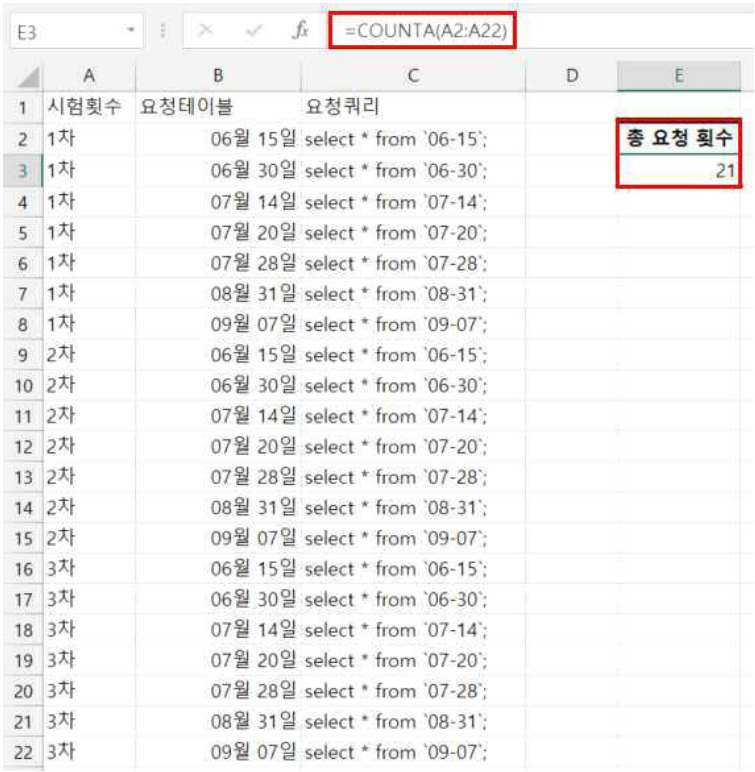
= Σ(응답 정확성) ÷ 측정 횟수

= 21 * 100 ÷ 21

= 100%



<그림 2.131> DB 데이터 요청 스크립트 실행 결과 출력 및 CSV 파일 저장 화면



E3 =COUNTA(A2:A22)

	A	B	C	D	E
1	시험횟수	요청테이블	요청쿼리		
2	1차	06월 15일	select * from `06-15`;		총 요청 횟수
3	1차	06월 30일	select * from `06-30`;		21
4	1차	07월 14일	select * from `07-14`;		
5	1차	07월 20일	select * from `07-20`;		
6	1차	07월 28일	select * from `07-28`;		
7	1차	08월 31일	select * from `08-31`;		
8	1차	09월 07일	select * from `09-07`;		
9	2차	06월 15일	select * from `06-15`;		
10	2차	06월 30일	select * from `06-30`;		
11	2차	07월 14일	select * from `07-14`;		
12	2차	07월 20일	select * from `07-20`;		
13	2차	07월 28일	select * from `07-28`;		
14	2차	08월 31일	select * from `08-31`;		
15	2차	09월 07일	select * from `09-07`;		
16	3차	06월 15일	select * from `06-15`;		
17	3차	06월 30일	select * from `06-30`;		
18	3차	07월 14일	select * from `07-14`;		
19	3차	07월 20일	select * from `07-20`;		
20	3차	07월 28일	select * from `07-28`;		
21	3차	08월 31일	select * from `08-31`;		
22	3차	09월 07일	select * from `09-07`;		

<그림 2.132> DB 데이터 요청 스크립트 실행 결과 시험 횟수 확인

```
C:\Users\user\AppData\Local\Programs\Python\Python38\python.exe "D:/14.ABA/Include/02. compare_table_and_csv.py"
06-15_1차.csv의 06-15테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
06-15_2차.csv의 06-15테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
06-15_3차.csv의 06-15테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
06-30_1차.csv의 06-30테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
06-30_2차.csv의 06-30테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
06-30_3차.csv의 06-30테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-14_1차.csv의 07-14테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-14_2차.csv의 07-14테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-14_3차.csv의 07-14테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-20_1차.csv의 07-20테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-20_2차.csv의 07-20테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-20_3차.csv의 07-20테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-28_1차.csv의 07-28테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-28_2차.csv의 07-28테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
07-28_3차.csv의 07-28테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
08-31_1차.csv의 08-31테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
08-31_2차.csv의 08-31테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
08-31_3차.csv의 08-31테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
09-07_1차.csv의 09-07테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
09-07_2차.csv의 09-07테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
09-07_3차.csv의 09-07테이블에 대한 응답정확도는 100.0% 입니다.
총 시험횟수는 21회 입니다.
```

<그림 2.133> 수신한 CSV 파일과 데이터베이스 파일의 응답정확도 확인

E3 =AVERAGE(C2:C22)

	A	B	C	D	E
1	테이블명	측정파일	응답정확도		
2	06월 15일	06-15_1차	100.00%		평균 응답정확성
3	06월 15일	06-15_2차	100.00%		100.00%
4	06월 15일	06-15_3차	100.00%		
5	06월 30일	06-30_1차	100.00%		
6	06월 30일	06-30_2차	100.00%		
7	06월 30일	06-30_3차	100.00%		
8	07월 14일	07-14_1차	100.00%		
9	07월 14일	07-14_2차	100.00%		
10	07월 14일	07-14_3차	100.00%		
11	07월 20일	07-20_1차	100.00%		
12	07월 20일	07-20_2차	100.00%		
13	07월 20일	07-20_3차	100.00%		
14	07월 28일	07-28_1차	100.00%		
15	07월 28일	07-28_2차	100.00%		
16	07월 28일	07-28_3차	100.00%		
17	08월 31일	08-31_1차	100.00%		
18	08월 31일	08-31_2차	100.00%		
19	08월 31일	08-31_3차	100.00%		
20	09월 07일	09-07_1차	100.00%		
21	09월 07일	09-07_2차	100.00%		
22	09월 07일	09-07_3차	100.00%		

<그림 2.134> 응답 정확도 산출 후 결과를 저장한 CSV 파일로 평균 응답 정확성 산출 화면

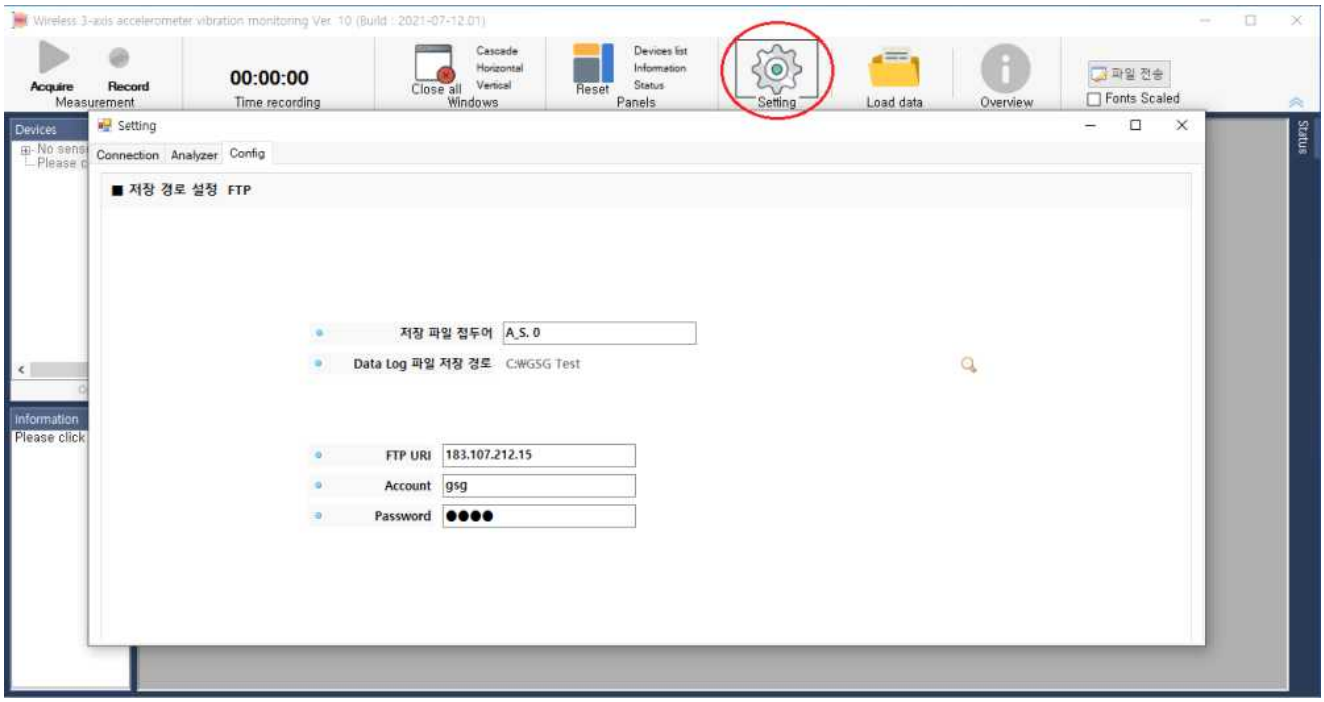
2.3.2. 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) 신뢰성 검증 (수행기관 : 모루기술㈜)

1) LTE(무선통신 중계기(Egg) 활용)기반 실시간 전송모듈 제작

□ 진동계측모듈 휴대용 장치 제작: Carrying Case 내부에 진동센서 고정 장치, 배터리 고정 장치, 무선통신 중계기, 레이저 마킹

□ 진동계측용 모니터링 장치 제작: 진동 계측용 모듈 및 FTP 전송 프로그램 탑재

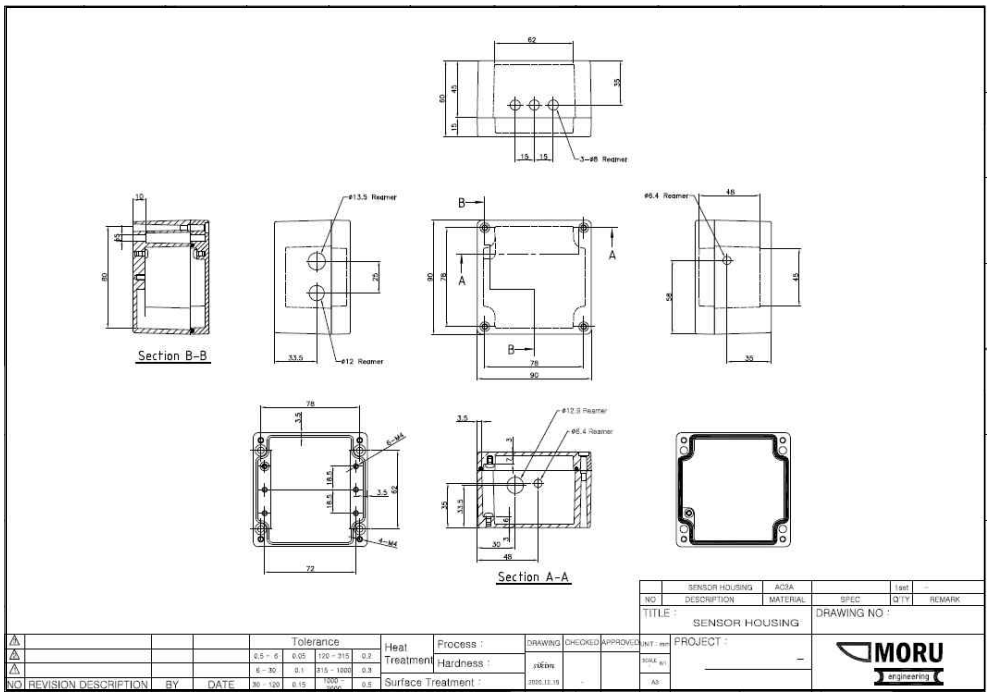
<그림 2.135> LTE기반 실시간 전송모듈



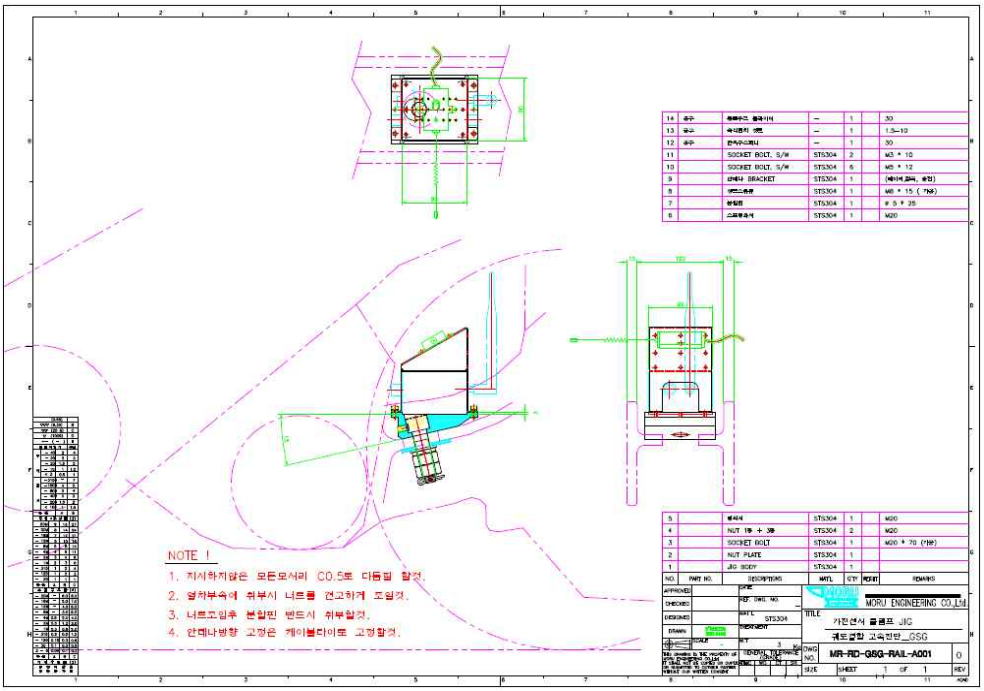
<그림 2.136> FTP를 이용한 실시간 데이터 전송 UI

2) 무선 차상진동차도 측정 및 통합 전송모듈 제작

① WA-PMS 무선진동센서 제작



<그림 2.137> WA-PMS 무선진동센서 제작도면



<그림 2.138> WA-PMS 무선가속도센서 설치용 지그 제작 도면

② WA-PMS 사양

- □ 센서 사이즈 : 90 x 90 x 60mm, 620g
- □ 통신모듈 : Wifi
- □ 안테나 : 5dBi 무지향성 안테나
- □ 배터리 사용시간 : 8시간 이상 사용
- □ 내환경성 : IP65

<그림 2.139> WA-PMS 무선가속도센서

③ WA-PMS 통신용 공유기 사양

□ 802.11 b/g/n 2.4GHz

□ 동작전압 : 12V, 2.5A

□ 무게 : 750g

□ 외장안테나 3EA + 내장안테나 1EA

□ 사이즈 : 285x 184.5 x 50 mm

□ WA-PMS와 최대한 근접한 거리(WA-PMS 직상부)에 위치하도록 설치

□ 220V 상전 연결 또는 AGM베터리(오토바이배터리)를 사용하여, 전원 인가

<그림 2.140> WA-PMS 통신용 공유기

④ WA-PTMS 진동데이터 수집 구성도

□ WA-PMS용 무선가속도계 차륜축 또는 차륜축상 대차프레임에 부착 및 부착을 위한 모듈 제작

□ 차량내부 무선가속도계와 수신부 PC 간 Wi-Fi통신을 위한 공유기 설치

□ 데이터 모니터링 및 서버에 전송을 위한, 수신부 PC 설치

<그림 2.141> WA-PMS 무선가속도센서 데이터 전송 흐름도

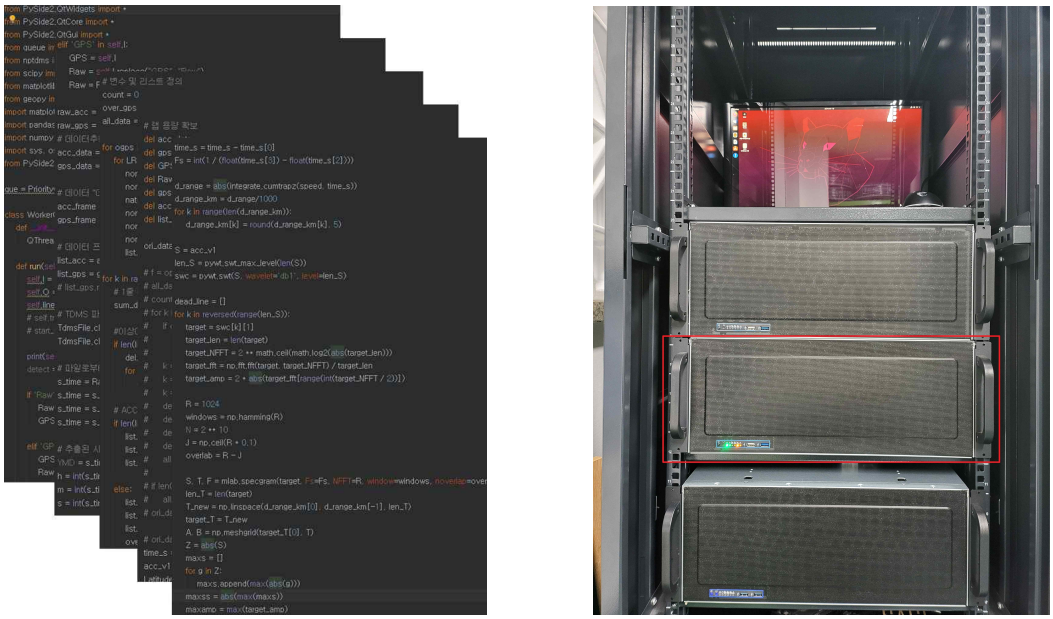
2.3.3. 무선 가속도계를 이용한 Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 신뢰성 검증(수행기관 : 주식회사 지에스지, 모루기술㈜)

1) 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) 현장검증

가. 시스템 구축

① (주관, ㈜지에스지) Cloud-DB기반 ABA-analysis 시스템 최종 완성 및 매뉴얼 개발

□ 취득 데이터 및 이력 관리용 Cloud-DB 구축 완료



<그림 2.142> Cloud-DB기반 ABA-analysis 시스템 구축 현황

□ 이력관리 스키마 적용 및 실데이터 입력 (5월~ 10월 예정), 현차시험 통한 데이터 누적

□ Cloud-DB기반 ABA-analysis 시스템 조회 및 표출 (6월 예정), 외부저장 매체 적용

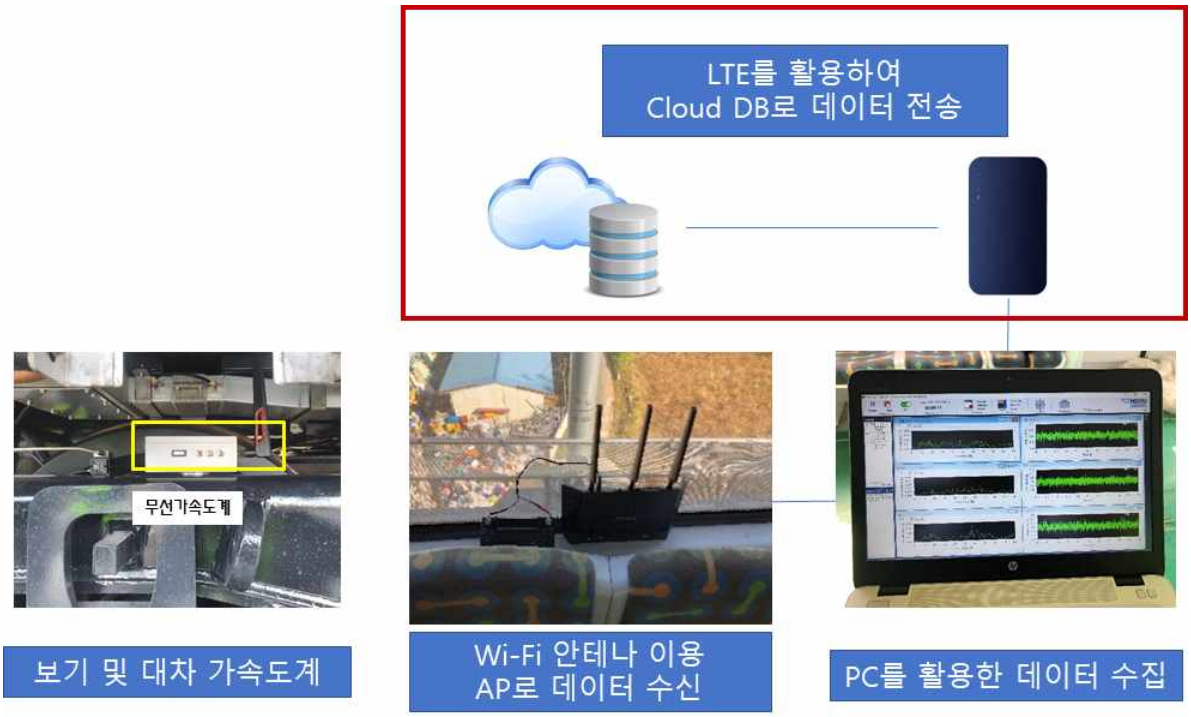
<그림 2.143> Cloud-DB기반 ABA-analysis 시스템 최종 구성

② (공동, 모루기술㈜) 무선 가속도계를 이용한 포터블형 궤도결함 측정 시스템(WA-PTMS) 최종 완성 및 매뉴얼 개발

□ 무선 가속도계를 이용한 포터블형 궤도결함 측정 시스템 개발 완료

□ LTE활용 무선가속도 측정데이터 전송모듈 제작 (9월 예정), 2차 현차시험부터 적용

<그림 2.144> 무선 가속도계 및 데이터 측정 시스템



<그림 2.145> 무선 가속도계를 이용한 포터블형 궤도결함 측정 시스템(WA-PTMS) 최종 구성

③ (위탁, 한국철도) 개발품 현차시험을 위한 대상구간(Testbed) 운영 및 2차 사용자 요구사항 조사

□ 수도권철도차량정비단(한국철도) 대상 무선가속도계 설치위치 및 현자 운영 협의 완료

<그림 2.146> 정비단 대상 현차시험 업무 협의 및 실사

1. 현차시험을 위한 개발품 차량 부착방법

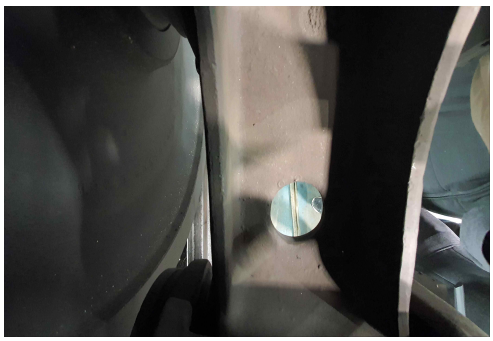
① 대차 직상부가 아닌 대차-바퀴 연결부에 거치지그 및 가속도계를 고정하는 방식으로 변경

② 가속도계 고정 시 노크너트 및 스프링 와셔 활용

③ 지그 및 가속도계 여유분(2~3세트) 추가 제작(설치차량 미 복귀 상황 대비)

④ 1회 시험 시 부착/탈착하는 방식으로 현차시험 수행

※ 2~3일 정차정비 대상 고속차량을 선정하여 설치



<그림 2.147> 무선가속도계 설치 위치 및 방법

2. 고속선 운영차량(KTX) 현차시험 세부계획

① 주 1~2회 시험으로 총 10회 1차 시험(약 3개월 소요), 총 2차에 걸쳐 현차시험 수행

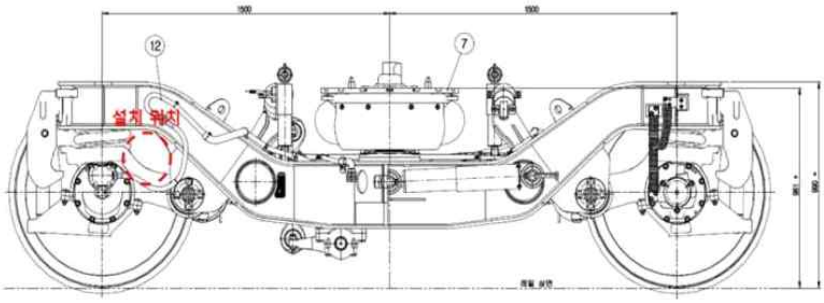
② 수도권철도차량정비단에서 가속도계가 부착된 차량 운행정보 확인 후 시험인원 정보 전달(출발역 및 출발시간 등)

③ 차량 출발 전 시험인원이 수도권철도차량전비단에 방문하여 가속도계 동작

④ 차량 확인 후 탑승 및 왕복시험으로 진행

□ 6월 15일 1차시험 수행 (행신 → 포항 구간)

- 2호차와 3호차 사이 무선가속도계 설치 (5번 대차 2호차측)
- 록타이트활용, 무선가속도계 너트 풀림 방지
- Y핀활용, 너트풀림 방지 및 Y핀 설치용 공구

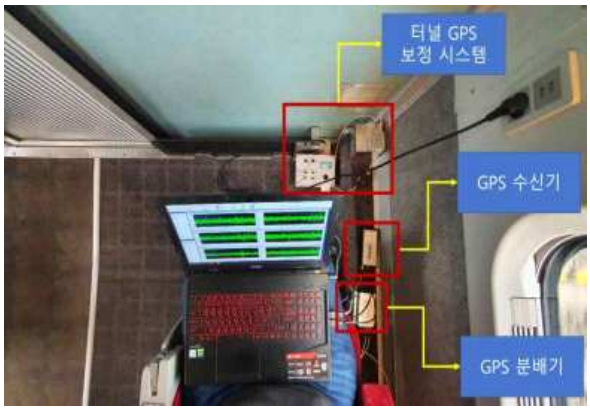


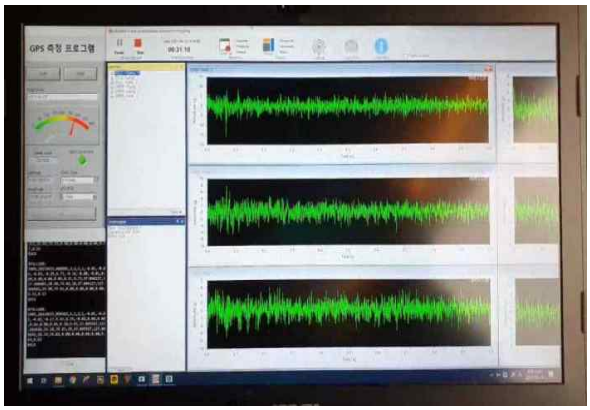
무선가속도계 설치 도면

무선가속도계(센서+지그)

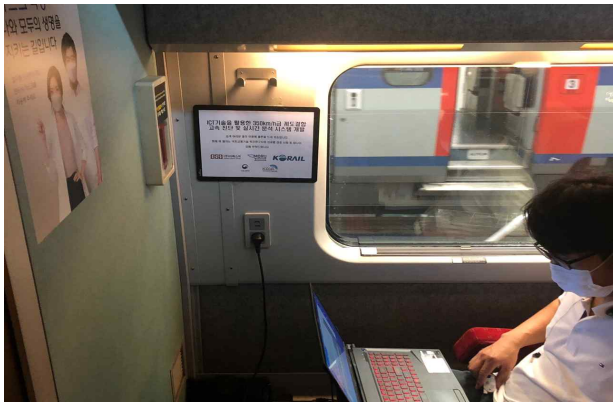
무선가속도계 설치 위치

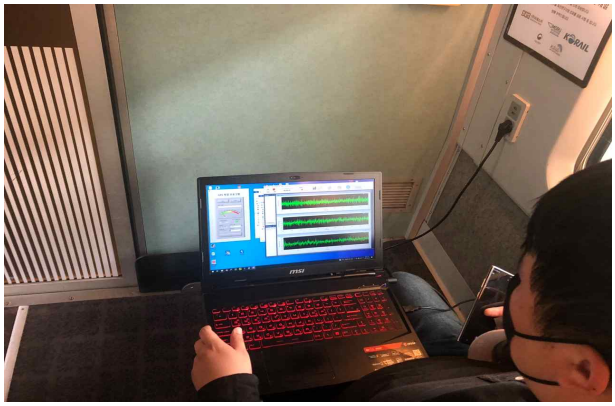
<그림 2.148> 무선가속도계 설치 위치





<그림 2.149> 1차 시험전경





□ 현차시험 수행현황

- 총 10회 중 9회 수행 완료 및 경부고속선, 호남고속선 등 운행 완료

<표 2.44> 현차시험 운행구간 정보

회차	편성	계측일	호차	구간
1	KTX-22	2021-06-15	245	행신-포항
2	KTX-16	2021-06-30	245	
3	KTX-08	2021-07-14	245	
4	KTX-26	2021-07-20	245	
5	KTX-06	2021-07-28	17	행신-부산
6	KTX-13	2021-08-31	245	행신-포항
7	KTX-13	2021-09-07	245	
8	산천-21	2021-09-14	4041	행신-목포
9	KTX-13	2021-11-02	245	행신-포항
10	- 10차 시험 시 공인시험기관 입회, 기능검증 실시			

<그림 2.150> 시험수행구간

2) Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 현장검증

① 고속철도구간 내 이상개소 확인

□ 본 연구에서는 Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템의 현장검증을 위해 경부고속선(하선) 구간(세종시 소정면인근, KP 109 ~ KP 111 구간, 약 2km)을 대표 구간으로 설정하여 뜬침목 검측봉을 활용하여 현장의 뜬침목 발생위치 확인 및 발생 위치의 GPS 데이터 값을 저장하였다.

<그림 2.151> 뜬침목 검측봉을 활용한 뜬침목 발생위치 확인

<그림 2.152> 뜬침목 발생 위치 GPS 및 KP 기록

<표 2.45> 현장시험 결과 뜬침목 발생위치 GPS 및 KP 정보

구 분	위 도	경 도	고속선 KP (km)
1	36.70703	127.1908	109.001
2	36.70696	127.1909	109.020
3	36.70182	127.2003	109.037
4	36.70682	127.1911	109.040
5	36.70677	127.1912	109.055
6	36.70666	127.1914	109.077

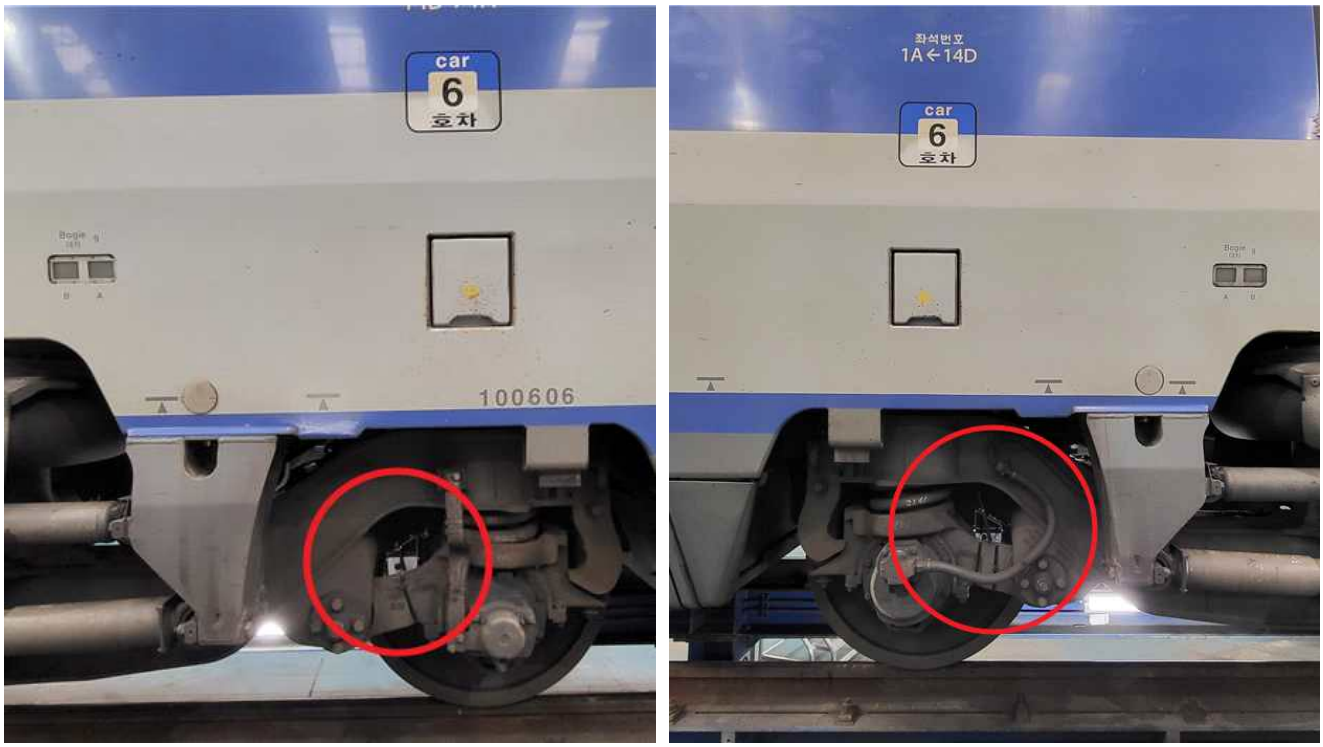
구 분	위 도	경 도	고속선 KP (km)
7	36.70663	127.1915	109.081
8	36.7066	127.1915	109.088
9	36.70658	127.1916	109.092
10	36.70647	127.1918	109.112
11	36.70645	127.1918	109.115
12	36.70643	127.1919	109.120
13	36.7064	127.1919	109.125
14	36.70639	127.1919	109.135
15	36.70633	127.192	109.141
16	36.70627	127.1921	109.153
17	36.70624	127.1922	109.160
18	36.70619	127.1923	109.170
19	36.70616	127.1924	109.176
20	36.7061	127.1925	109.187
21	36.70607	127.1925	109.192
22	36.70602	127.1926	109.203
23	36.70597	127.1927	109.213
24	36.70591	127.1928	109.225
25	36.70588	127.1929	109.230
26	36.70585	127.1929	109.235
27	36.70584	127.1929	109.239
28	36.70578	127.193	109.250
29	36.70449	127.1954	109.506
30	36.70432	127.1957	109.540
31	36.70427	127.1958	109.551
32	36.70675	127.1913	109.590
33	36.70405	127.1962	109.595
34	36.70394	127.1964	109.616
35	36.70384	127.1966	109.636
36	36.70382	127.1967	109.640
37	36.70371	127.1969	109.661
38	36.70362	127.197	109.680
39	36.70356	127.1971	109.690
40	36.70329	127.1976	109.745
41	36.70326	127.1977	109.751
42	36.70325	127.1978	109.754
43	36.70319	127.1978	109.761

구 분	위 도	경 도	고속선 KP (km)
44	36.70303	127.198	109.790
45	36.70302	127.1981	109.796
46	36.70299	127.1982	109.802
47	36.70297	127.1982	109.808
48	36.70193	127.2001	110.010
49	36.70178	127.2004	110.043
50	36.70168	127.2006	110.064
51	36.70158	127.2008	110.084
52	36.70154	127.2008	110.091
53	36.70152	127.2009	110.097
54	36.70113	127.2016	110.174
55	36.70102	127.2018	110.194
56	36.70065	127.2025	110.269
57	36.69977	127.2041	110.443
58	36.69974	127.2041	110.448

② 시험대상열차 무선가속도계 설치

□ 본 시험의 열차는 KTX-006호 열차로 한국철도공사의 수도권철도차량정비단에 해당 열차가 정기 입고 될 시기에 맞추어 방문(시험 전일), 무선진동가속도계를 설치하였으며, 6호차와 7호차 사이에 있는 9번 대차의 6호차 방향에 설치하였다.

<그림 2.153> KTX-006호차



<그림 2.154> KTX-006호에 장착된 무선가속도계 우측(좌) 좌측(우)

③ 시험대상열차 운행 전 무선가속도계 점검 및 가속도계 전원 인가

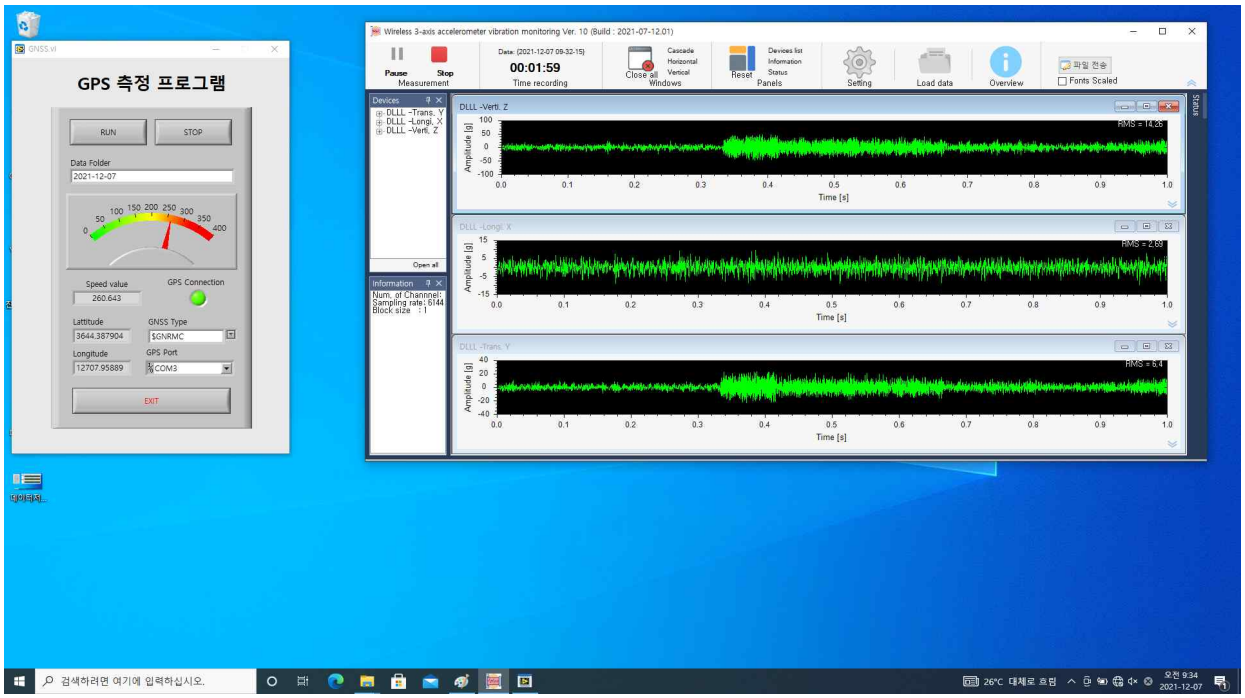
□ 본 시험의 열차는 시험당일 행신역에서 08:30분에 출발하는 KTX-017로 열차번호가 부여되었고, 08:00에 시험기관(주관연구기관, 공동연구기관) 및 성능검증기관(한국기계연구원)은 행신역에 도착하여 열차가 행신역 으로 진입, 정차하는 것을 대기하였다.

□ 정차 중 한국 철도공사의 수도권 철도차량정비단의 현장 근무자의 도움으로 무선가속도계 부착여부를 확인 및 전원을 인가하였다.

<그림 2.155> 시험당일 KTX-017열차에 장착된 무선가속도계 우측(좌) 좌측(우)

④ 시험대상열차 탑승 및 시험

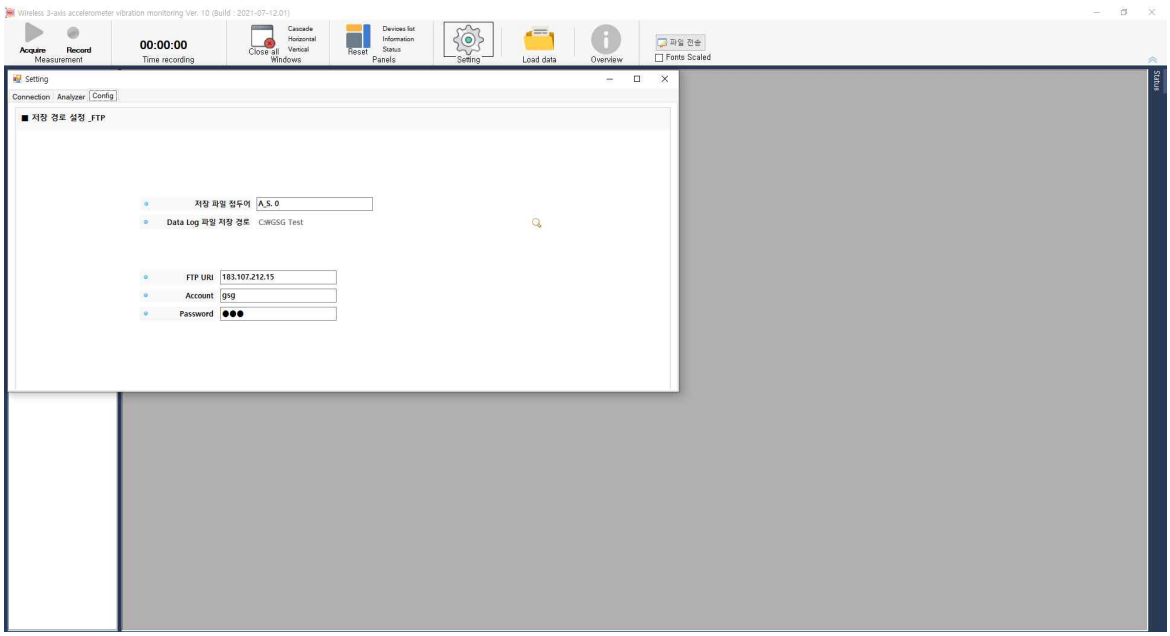
□ 시험 대상 열차에 탑승하여 데이터 전송모듈, 노트북, GPS 등의 시험 장치를 설치 후 무선진동가속도데이터 수신프로그램 및 GPS데이터 수신 프로그램을 실행하여 각각의 데이터가 정상적으로 수신 및 저장 여부를 확인하였고, 행신~대전 구간에 대한 현차시험을 진행 하였다.



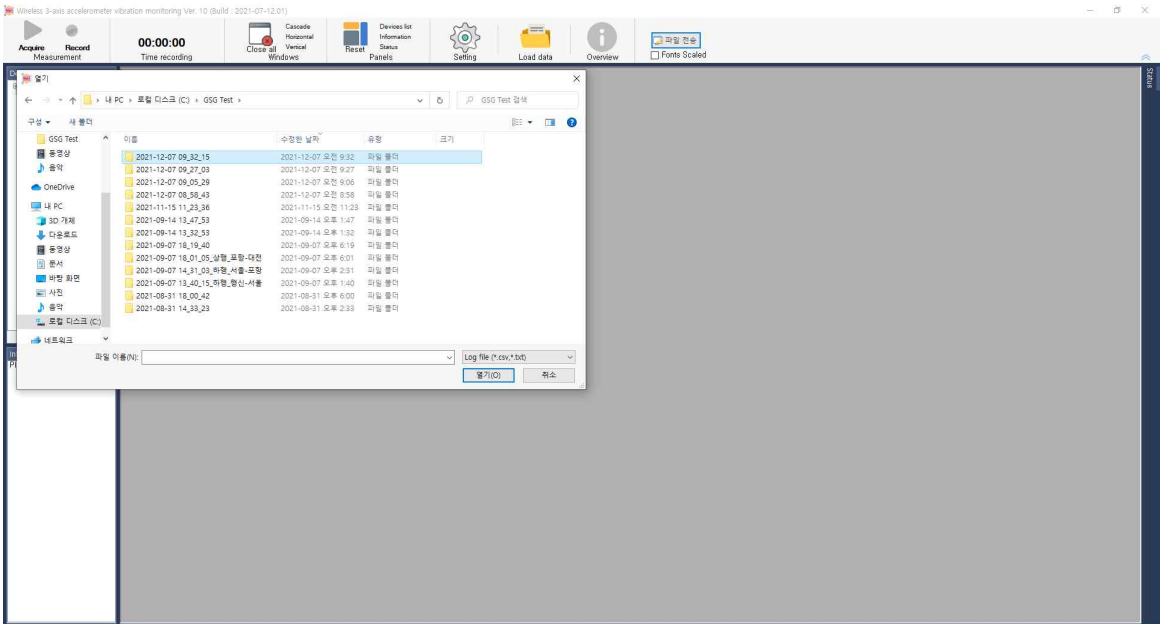
<그림 2.156> 무선진동가속도데이터 및 GPS 데이터 수신 여부 확인

⑤ 시험대상구간 통과 후 데이터 전송

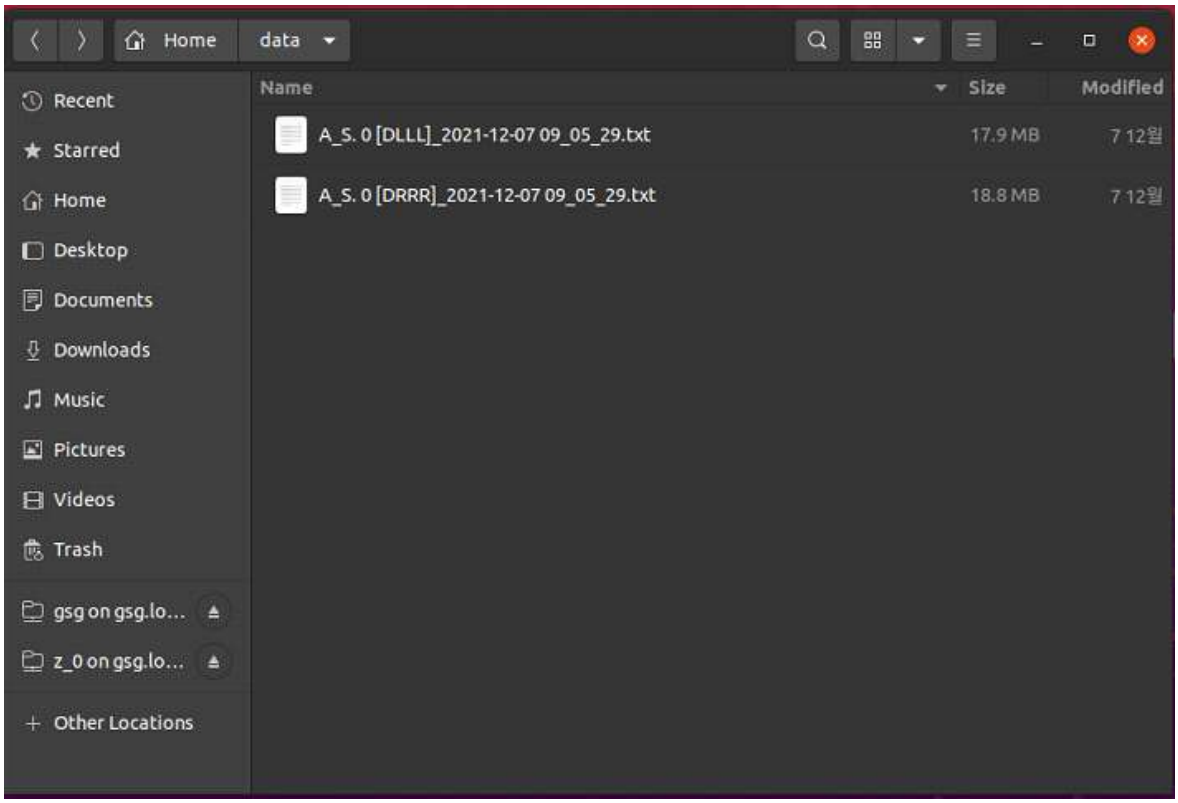
□ 시험대상열차(KTX-017)가 시험 대상구간(KP 109 ~ KP 111)통과 후 현차시험을 종료하였으며, 종료 후 무선가속도계를 제외한 시험장비를 철거하였다. 이후 대전역에 하차하였으며, 현차시험으로 저장된 데이터를 ABA-analysis 서버로 전송하였다.



<그림 2.157> 무선가속도 데이터 전송 설정 화면



<그림 2.158> 무선가속도 데이터 전송 폴더 선택



<그림 2.159> 서버로 전송된 무선가속도 데이터

⑥ 데이터 분석 후 시험 대상구간 내 뜬침목 발생 데이터 추출 및 비교

□ 전송된 현차시험 데이터는 ABA-analysis 분석시스템에 의하여 이력정보 클라우드-DB에 저장된 12월 07일 시험데이터 중 시험 대상구간(KP 109 ~ KP 111)의 데이터를 추출 및 저장하여 기존에 측정한 뜬침목 발생위치와 비교를 진행하였으며, 아래 표는 현차시험에서 무선진동가속도 및 GPS데이터를 활용하여 찾아낸 뜬침목 검측위치이다.

<표 2.46> ABA-analysis 프로그램을 활용하여 찾은 뜬침목 위치

구 분	위 도	경 도	고속선 KP (km)
1	36.70697	127.1908	109.008
2	36.70692	127.1909	109.015
3	36.7068	127.191	109.037
4	36.70676	127.1911	109.043
5	36.70669	127.1912	109.058
6	36.70657	127.1914	109.079
7	36.70654	127.1915	109.086
8	36.7065	127.1916	109.092
9	36.7064	127.1918	109.113
10	36.70637	127.1918	109.120
11	36.70634	127.1919	109.127
12	36.70631	127.1919	109.133
13	36.70628	127.192	109.140
14	36.70621	127.1921	109.154
15	36.70618	127.1922	109.161
16	36.70611	127.1923	109.174
17	36.70605	127.1925	109.188
18	36.70601	127.1925	109.195
19	36.70598	127.1926	109.201
20	36.70591	127.1927	109.215
21	36.70588	127.1928	109.222
22	36.70584	127.1928	109.229
23	36.70581	127.1929	109.236
24	36.70578	127.193	109.242
25	36.70574	127.193	109.249
26	36.70509	127.1942	109.378
27	36.70444	127.1954	109.507
28	36.70427	127.1957	109.541
29	36.7042	127.1959	109.555
30	36.704	127.1962	109.595
31	36.70389	127.1964	109.616
32	36.70379	127.1966	109.637
33	36.70376	127.1967	109.643
34	36.70365	127.1969	109.663
35	36.70355	127.1971	109.684

구 분	위 도	경 도	고속선 KP (km)
36	36.70352	127.1971	109.691
37	36.70324	127.1976	109.745
38	36.70321	127.1977	109.752
39	36.70317	127.1978	109.759
40	36.70314	127.1978	109.765
41	36.703	127.1981	109.793
42	36.70297	127.1981	109.800
43	36.70293	127.1982	109.806
44	36.7029	127.1983	109.813
45	36.70245	127.1991	109.902
46	36.70197	127.2	110.000
47	36.70176	127.2004	110.041
48	36.70162	127.2006	110.068
49	36.70155	127.2007	110.082
50	36.70152	127.2008	110.089
51	36.70149	127.2009	110.096
52	36.70107	127.2016	110.178
53	36.701	127.2018	110.192
54	36.70062	127.2025	110.267
55	36.69975	127.204	110.440
56	36.69971	127.2041	110.447

□ 아래 표는 현장에서 확인한 이상개소의 KP와 검측 결과의 KP를 10m범위의 오차에서 비교한 표이며, 현장에서 실측한 '실 이상개소', ABA-analysis에서 검측한 '검측 이상계소', 이를 합하여 '측정 총 이상개소'로 정의하였으며, 두 개소가 일치하는 경우를 '매칭 이상개소'로 하였다. 아래 표의 비고에서는 실 이상계소와 검측 이상계소가 일치하는 경우는 공란으로 비어있으며, 현장에 이상개소가 있지만 검측결과에서 이상개소가 없는 경우를 '현장확인 검측불능', 검측결과에서 이상개소가 있지만 현장에 이상개소가 없는 경우를 '현장 미확인 검측됨'으로 표기 하였다. 아래 표는 측정 총 이상개소를 비교한 표 이다.

<표 2.47> 총 이상개소 및 현장확인과 검측결과 비교

구 분	현장확인 KP (km)	검측결과 KP (km)	비고
1	109.001	109.008	
2	109.020	109.015	
3	109.037	109.037	
4	109.040	109.043	
5	109.055	109.058	
6	109.077	109.079	
7	109.081	109.086	

구 분	현장확인 KP (km)	검측결과 KP (km)	비고
8	109.088	109.092	
9	109.092	-	현장확인 검측불능
10	109.112	109.113	
11	109.115	109.120	
12	109.120	109.127	
13	109.125	109.133	
14	109.135	109.140	
15	109.141	-	현장 확인 검측불능
16	109.153	109.154	
17	109.160	109.161	
18	109.170	109.174	
19	109.176	-	현장 확인 검측불능
20	109.187	109.188	
21	109.192	109.195	
22	109.203	109.201	
23	109.213	109.215	
24	109.225	109.222	
25	109.230	109.229	
26	109.235	109.235	
27	109.239	109.242	
28	109.250	109.249	
29	109.506	109.378	
30	-	109.507	현장 미확인 검측됨
31	109.540	109.541	
32	109.551	109.555	
33	109.590	109.595	
34	109.595	-	현장 확인 검측불능
35	109.616	109.616	
36	109.636	109.636	
37	109.640	109.643	
38	109.661	109.663	
39	109.680	109.684	
40	109.690	109.691	
41	109.745	109.745	
42	109.751	109.752	
43	109.754	109.759	

구 분	현장확인 KP (km)	검측결과 KP (km)	비고
44	109.761	109.765	
45	109.79	109.793	
46	109.796	109.800	
47	109.802	109.806	
48	109.808	109.813	
49	-	109.902	현장 미확인 검측됨
50	110.010	110.000	
51	110.043	110.041	
52	110.064	110.068	
53	110.084	110.082	
54	110.091	110.089	
55	110.097	110.096	
56	110.174	110.178	
57	110.194	110.192	
58	110.269	110.267	
59	110.443	110.440	
60	110.448	110.447	

□ 이를 통하여 측정 총 이상개소, 매칭 이상개소, 실 이상개소, 검측 이상개소의 값을 구하였으며, 이를 '매칭 이상개소 - 측정 총 이상개소', '매칭 이상개소 - 실 이상개소', '매칭 이상개소 - 검측 이상개소'의 세 가지 값을 퍼센트로 나타내어 프로그램 측정 정확도를 검증받았으며, 아래 표는 각 이상개소의 값들과 프로그램 측정 정확도 세 가지 값의 퍼센트를 나타낸다.

○ 측정 총 이상개소 : 60 개소 (현장확인 개소와 프로그램 검측 개소의 합)	○ 매칭 이상개소 : 54 개소 (현장확인과 프로그램 검측 결과가 일치된 개소)
○ 실 이상개소 : 58 개소 (현장확인 개소)	○ 검측 이상개소 : 56 개소 (프로그램 검측 개소)

○ 프로그램 측정 정확도
▪ 매칭 이상개소 / 측정 총 이상개소 × 100 = 54 / 60 × 100 = 90.0% ▪ 매칭 이상개소 / 실 이상개소 × 100 = 54 / 58 × 100 = 93.1% ▪ 매칭 이상개소 / 검측 이상개소 × 100 = 54 / 56 × 100 = 96.4%

2.3.4. 무선 가속도계를 이용한 Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 매뉴얼 개발(수행기관 : 주식회사 지에스지, 모루기술㈜)

1) 무선가속도계 설치

가. 무선가속도계 준비

□ 무선 가속도계는 2개 1조 구성이다.

□ 무선 가속도계의 구성은 다음과 같다.

1) 센서 본체

2) M20 NUT

3) Washer Plate

4) M20 Washer(스프링, 평)

5) Ø4, 50mm 분할핀

<그림 2.160> 무선진동가속도계 세트

□ 무선 가속도계 설치 시 필요한 공구는 다음과 같다.

1) 육각렌치세트

2) 롱노우즈

3) 토크렌치 & M20 롱복스

4) 케이블타이

5) 록타이트 No. 243

6) 손거울

7) 페인트마커

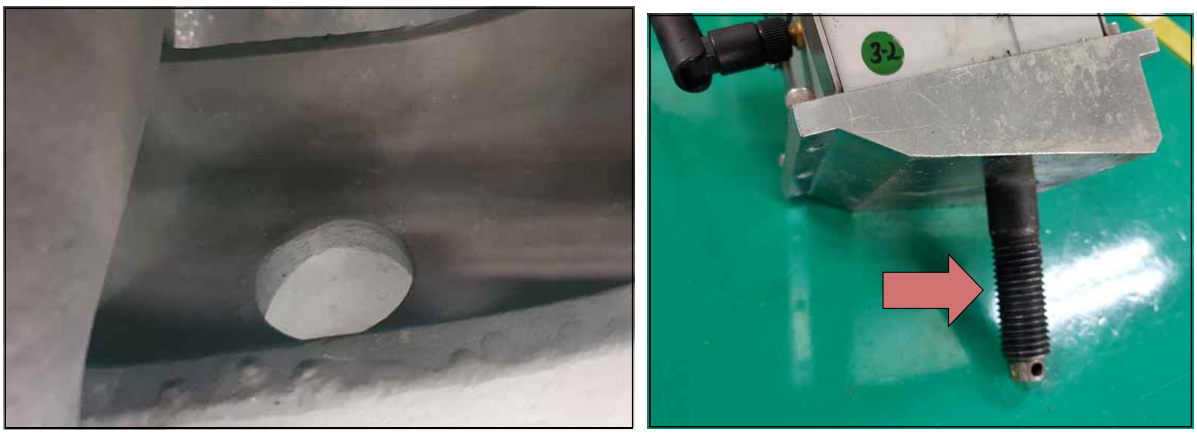
나. 현장 설치

□ 설치현장의 KTX 정비스케줄을 확인 한 뒤 설치할 열차를 확인한다.

<그림 2.161> 무선가속도계 설치 KTX

□ 설치 위치를 확인한다.

□ 대차에 홀을 확인하고 센서 본체를 홀 위에 안착한다. 이때, 본체에 있는 장착 볼트에 록타이트 No.243을 미리 도포한다.

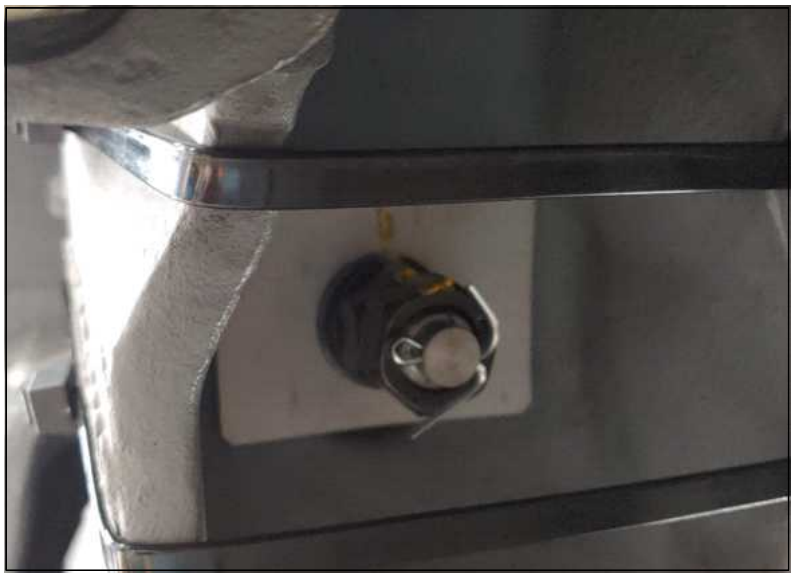


<그림 2.162> 무선가속도계 설치위치(좌) 무선가속도계 고정볼트(우)

<그림 2.163> 무선가속도계 설치 후 사진

□ 센서를 고정시키기 위해 Washer Plate 2개와 M20 평와셔, 스프링와셔를 순서대로 끼우고 M20 Nut 2개로 조인다. 이때 Nut는 토크렌치를 사용하여야 하며, Nut의 조임토크는 17.3kgf·m로 설정하여 조이도록 한다.

□ Nut체결이 끝나면 페인트마커를 이용해서 대차, Washer Plate, 평와셔, 스프링와셔, Nut까지 일직선을 그려주도록 한다. 마지막으로 고정볼트 끝단에 분할핀을 꽂아서 Nut의 이탈을 방지하도록 한다.



<그림 2.164> 무선가속도계 센서 고정 방안

□ 설치작업이 끝나면 전원을 눌러서 센서가 켜지는지 확인한다. 센서 작동 여부는 LED를 통하여 확인 할 수 있는데, LED가 보이지 않을 경우 손거울을 활용하여 확인하도록 한다.

다. 정비 시 주의 사항

□ 센서를 설치하기전에 안전사항을 반드시 숙지하고 실행해야 한다.

** 현장에 출입하거나 이동시에 반드시 현장 책임자와 동행하도록 한다.

** 반드시 KTX열차의 운행 스케줄을 확인하도록 한다.

** 현장은 열차를 움직이기 위해 고압전류가 흐르는 곳이기 때문에 전기 안전에 항상 주의하도록 한다.

□ 설치 시 하기 지침을 따른다.

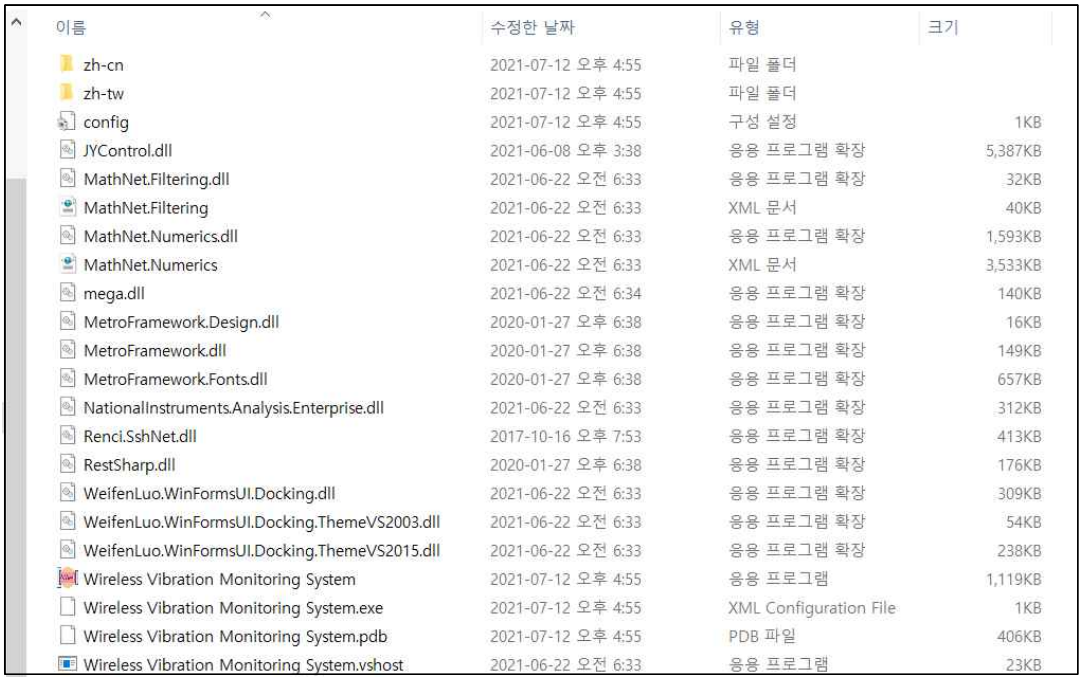
- 현장에 있는 동안 항상 안전모를 착용할 것
- 내유성 깔창을 가진 하드커버 안전화를 착용할 것
- 긴 머리는 묶여 있어야 하고, 긴 소매, 헐렁한 옷 또는 장신구 등을 착용하지 말 것
- 규격에 맞는 도구를 사용할 것
- 정비 시 불의의 사고에 대비해 항상 2인 이상 행동할 것

2) 무선가속도 측정 소프트웨어 설치 방법

가. Wireless vibration monitoring 프로그램 설치 과정

1) 폴더: 3 Axes - Ver_10_210626_01

2) ₩Test dockpanel₩bin₩Debug₩Wireless Vibration Monitoring System(응용프로그램) 실행



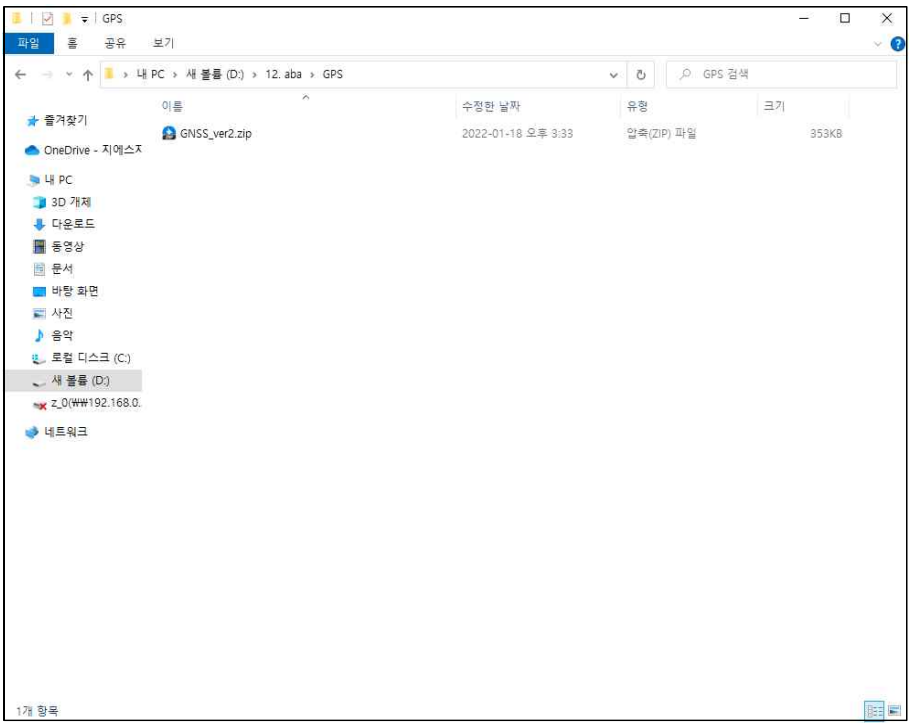
이름	수정한 날짜	유형	크기
zh-cn	2021-07-12 오후 4:55	파일 폴더	
zh-tw	2021-07-12 오후 4:55	파일 폴더	
config	2021-07-12 오후 4:55	구성 설정	1KB
JYControl.dll	2021-06-08 오후 3:38	응용 프로그램 확장	5,387KB
MathNet.Filtering.dll	2021-06-22 오전 6:33	응용 프로그램 확장	32KB
MathNet.Filtering	2021-06-22 오전 6:33	XML 문서	40KB
MathNet.Numerics.dll	2021-06-22 오전 6:33	응용 프로그램 확장	1,593KB
MathNet.Numerics	2021-06-22 오전 6:33	XML 문서	3,533KB
mega.dll	2021-06-22 오전 6:34	응용 프로그램 확장	140KB
MetroFramework.Design.dll	2020-01-27 오후 6:38	응용 프로그램 확장	16KB
MetroFramework.dll	2020-01-27 오후 6:38	응용 프로그램 확장	149KB
MetroFramework.Fonts.dll	2020-01-27 오후 6:38	응용 프로그램 확장	657KB
NationalInstruments.Analysis.Enterprise.dll	2021-06-22 오전 6:33	응용 프로그램 확장	312KB
Renci.SshNet.dll	2017-10-16 오후 7:53	응용 프로그램 확장	413KB
RestSharp.dll	2020-01-27 오후 6:38	응용 프로그램 확장	176KB
WeifenLuo.WinFormsUI.Docking.dll	2021-06-22 오전 6:33	응용 프로그램 확장	309KB
WeifenLuo.WinFormsUI.Docking.ThemeVS2003.dll	2021-06-22 오전 6:33	응용 프로그램 확장	54KB
WeifenLuo.WinFormsUI.Docking.ThemeVS2015.dll	2021-06-22 오전 6:33	응용 프로그램 확장	238KB
Wireless Vibration Monitoring System	2021-07-12 오후 4:55	응용 프로그램	1,119KB
Wireless Vibration Monitoring System.exe	2021-07-12 오후 4:55	XML Configuration File	1KB
Wireless Vibration Monitoring System.pdb	2021-07-12 오후 4:55	PDB 파일	406KB
Wireless Vibration Monitoring System.vshost	2021-06-22 오전 6:33	응용 프로그램	23KB

<그림 2.165> 무선가속도 측정 소프트웨어 설치폴더

3) GPS 측정 프로그램 설치

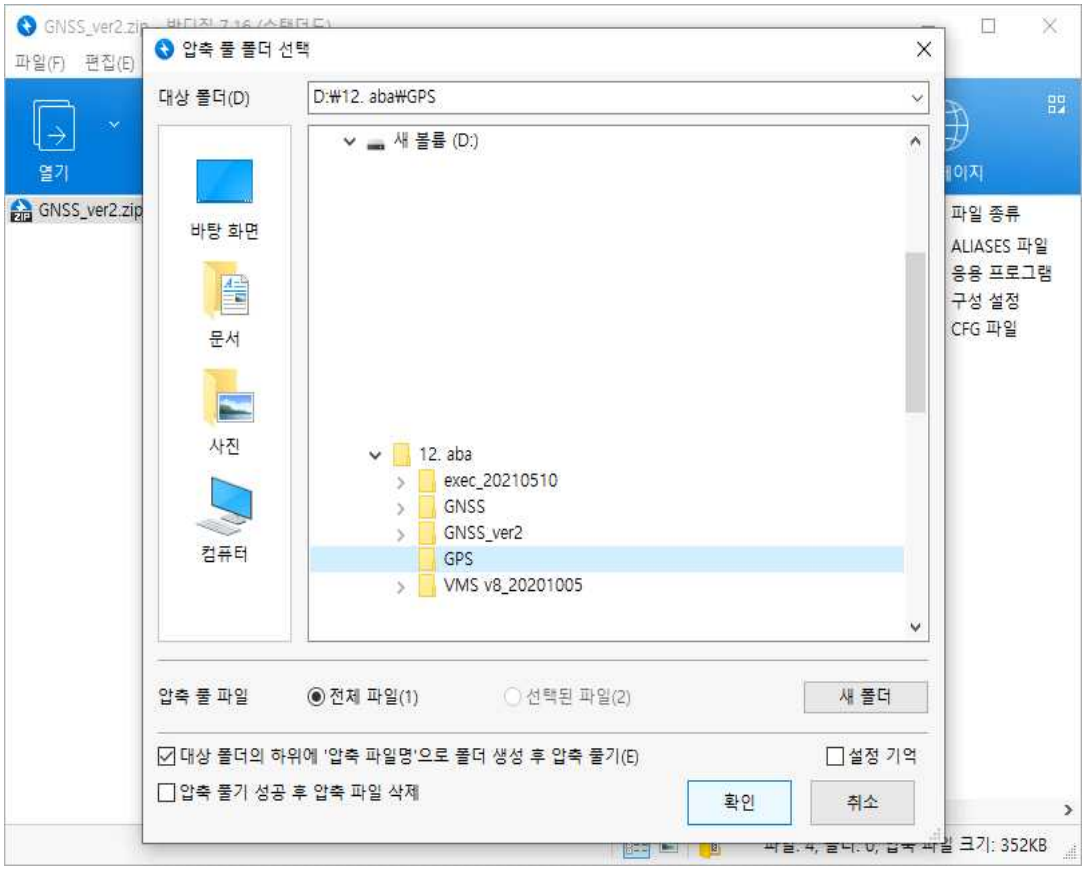
가. GPS 수신 프로그램 설치 과정

① GPS 측정프로그램의 압축파일을 설치 대상 폴더에 위치한다.



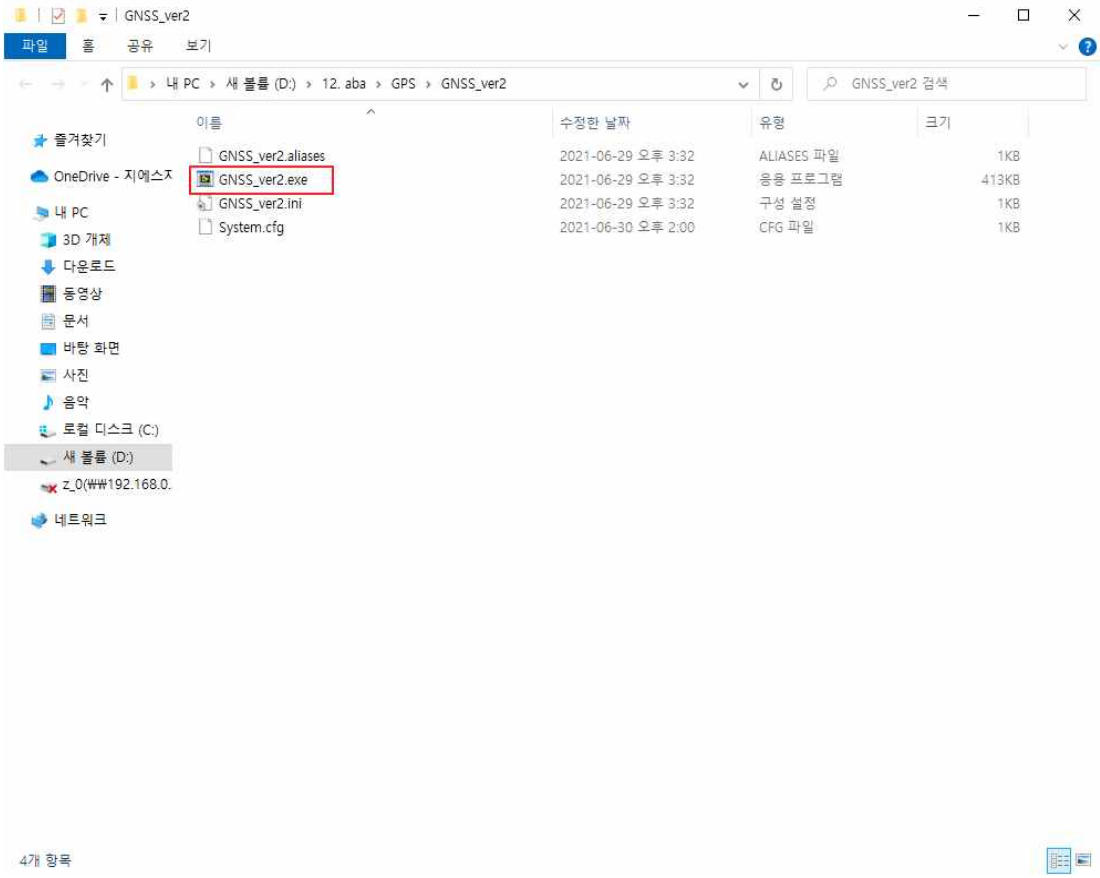
<그림 2.166> GPS 측정프로그램 압축파일

② GPS 측정프로그램의 압축파일을 설치 대상 폴더에 압축을 푼다.

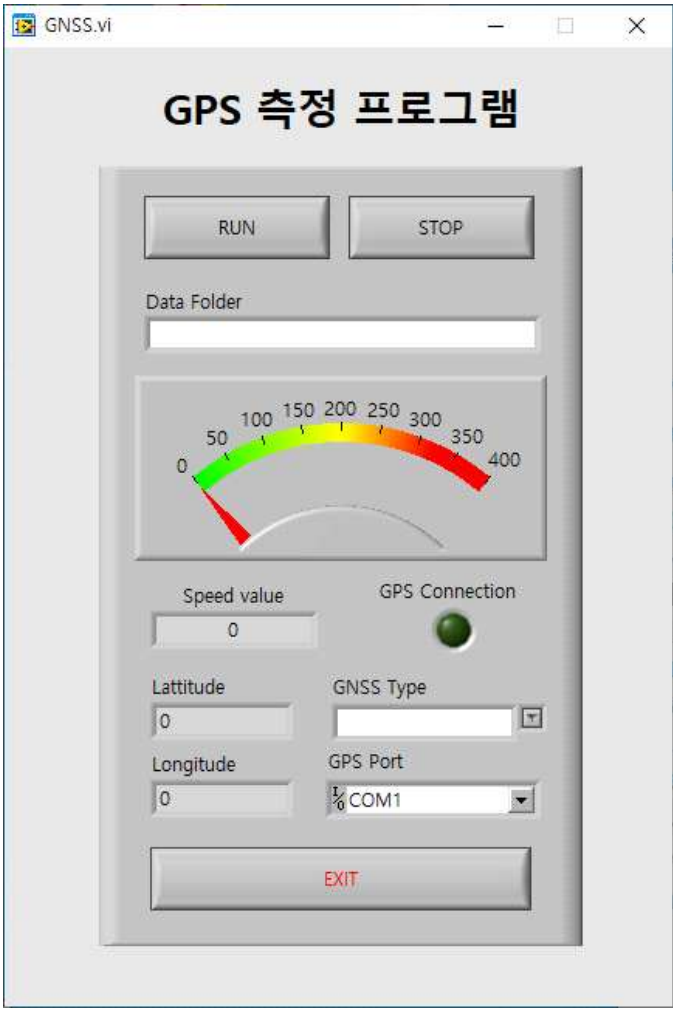


<그림 2.167> GPS 측정프로그램 압축해제 화면

③ 압축이 풀어진 폴더로 들어가 GNSS_ver2.exe를 실행하여 프로그램이 정상 동작여부를 확인한다.



<그림 2.168> GPS 측정프로그램 설치 폴더



<그림 2.169> GPS 측정프로그램 실행화면

4) 무선가속도계 연결 및 측정

가. 무선가속도계 전원인가, 리모콘 및 거울을 통한 전원 확인

□ 센서 테스트 시 센서의 검은색 스위치를 푸쉬한 상태로 탑승한다.

(* 행신에서 철도공사 담당자 입회하에 스위치를 푸쉬하며, 테스트인원이 푸쉬 또는 철도공사 담당자가 푸쉬를 한다.)

나. 무선통신망 구축(AP 및 중계기)

- 지정된 좌석에 탑승 후 공유기를 휴대용 배터리에 연결하여, 공유기 전원을 ON한다.
- 노트북에서 무선네트워크 WIFI SSID : MoruAP1, PW:moru1234 에 접속한다.
- 노트북 IP : 192.168.10.136, subnet : 255.255.255.0 이 맞는지 확인한다.

다. 무선가속도계의 통신망 접속(Wireless vibration monitoring 프로그램)

- Wireless Vibration Monitoring system.exe 프로그램을 실행한다.
- New sensor버튼을 누른후 400MHz 스위치를 이용하여, 전원을 켠다.

  ※ Senor No. 1은 스위치 상 1번, Sensor No. 2는 스위치 상 2번.

  ※ 400MHz 리모콘 버튼을 누른 후 5초간 대기한다.(연속 푸쉬 금지)

- 테스트 셋팅값: Sensor No.1

  Sensor ID: DRRR(상행 시 URRR)

  Sensor G_value: 64g

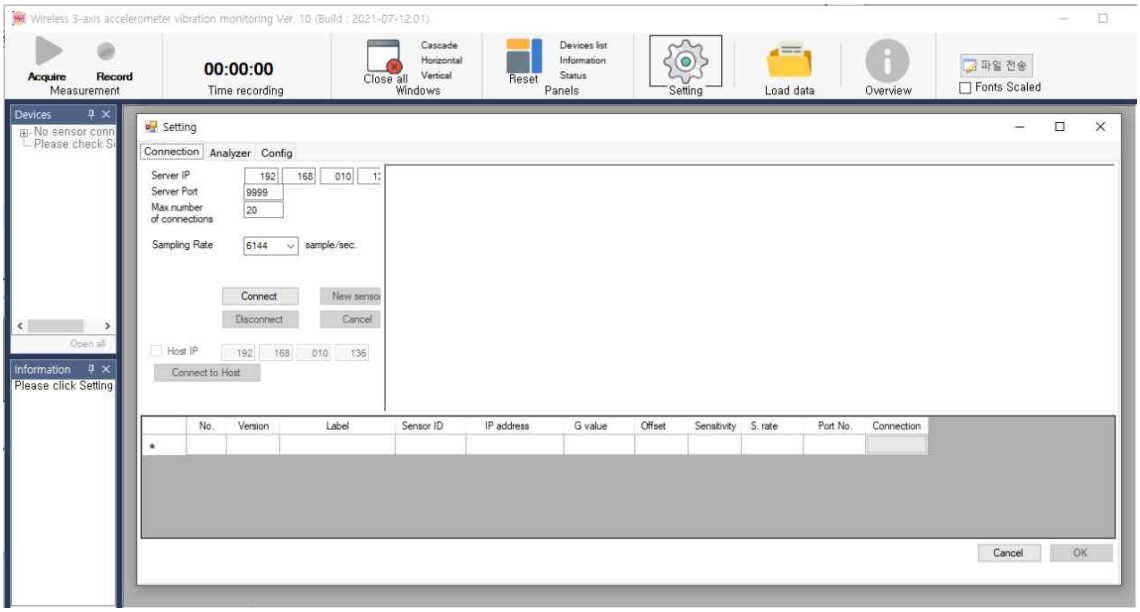
  Sensor Sampling rate: 512

- 테스트 셋팅값 : Sensor No.2

  Sensor ID: DLLL(상행 시 ULLL)

  Sensor G_value: 64g

  Sensor Sampling rate: 512



<그림 2.170> 무선가속도 측정 소프트웨어 실행화면

라. 데이터 측정 및 저장

- 데이터 확인 후 측정을 실시한다.

5) GPS 연결 및 측정(지에스지 작성)

가. GPS 부속품 조립 및 노트북 연결 방법

① GPS 기기 사용 시의 조립하는 부품은 아래와 같다.

- GPS 안테나-GPS 수신기 연결케이블
- GPS 안테나
- GPS 수신기
- GPS 안테나 지지봉
- 노특북-GPS 수신기 연결 케이블
- GPS 안테나 지지대

<그림 2.171> GPS 측정 구성품

② GPS 안테나, 안테나 지지봉, 안테나 지지대를 조립한다.

<그림 2.172> 조립 완료된 GPS 안테나

③ GPS 안테나와 GPS 안테나-GPS 수신기 연결 케이블을 연결한다.

<그림 2.173> GPS 안테나-GPS 수신기 연결케이블이 장착된 GPS 안테나

④ GPS 안테나-GPS 수신기 연결 케이블을 GPS 수신기를 연결한다.

<그림 2.174> GPS 수신기와 케이블로 연결된 GPS 안테나

⑤ 노트북-GPS 수신기 연결 케이블을 활용하여 노트북과 GPS 수신기를 연결한다.

<그림 2.175> GPS 측정 모듈 이 연결된 노트북

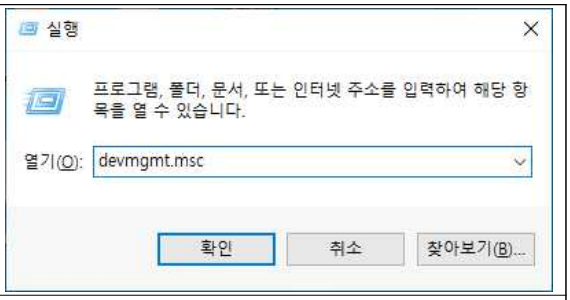
나. 노트북과 GPS 연결

□ GPS 수신기에서 GPS 데이터를 노트북으로 가져오기 위해서 GPS수신기를 연결한 노트북을 가동하여 GPS 수신기와 연결된 USB 포트의 COM포트 번호를 알아야 한다.

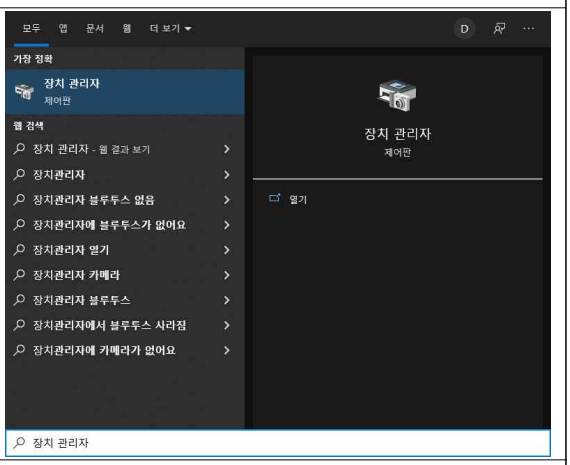
□ 이를 위해 Windows에서 제공하는 장치관리자를 활용하여 COM 포트 번호를 확인 가능하다.

① 장치관리자를 실행한다. (아래 그림의 3가지 방법 중 하나를 선택하여 실행하면 된다.

시작메뉴의 우클릭 시 나타나는 화면



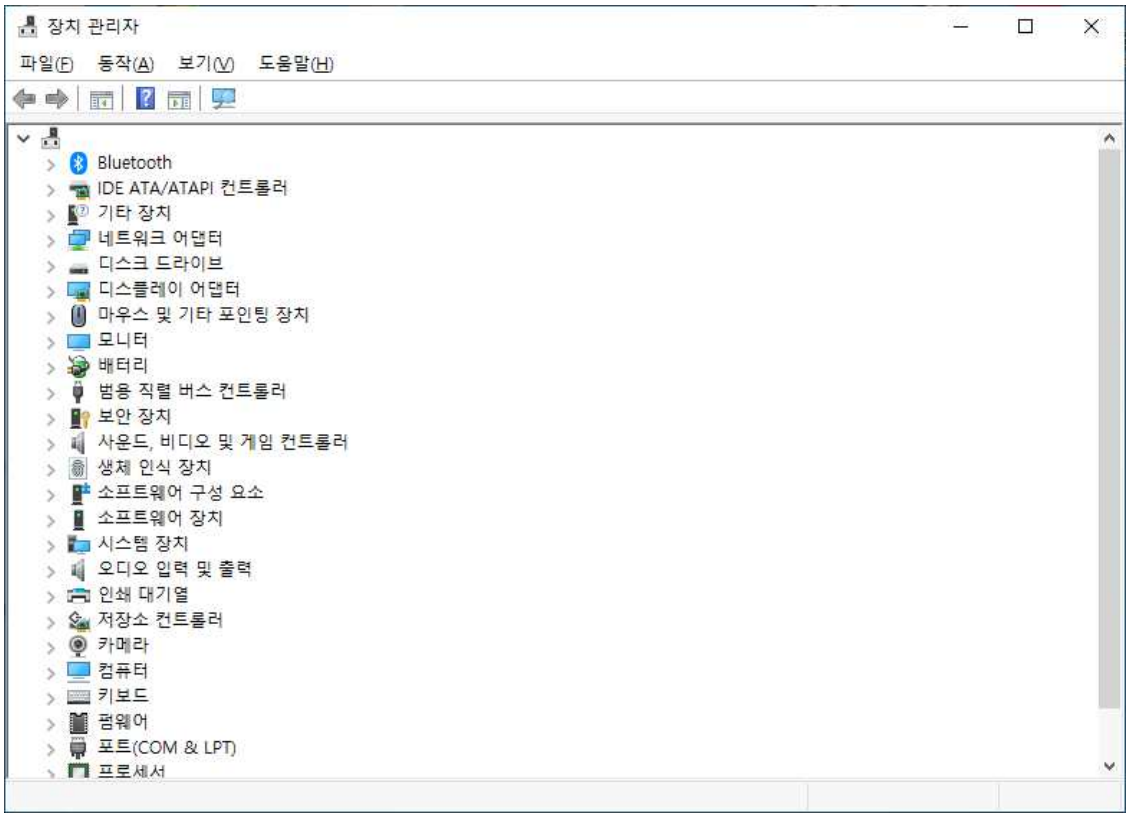
Windows의 실행 기능을 활용하는 방법



Windows의 검색 기능을 활용하는 방법

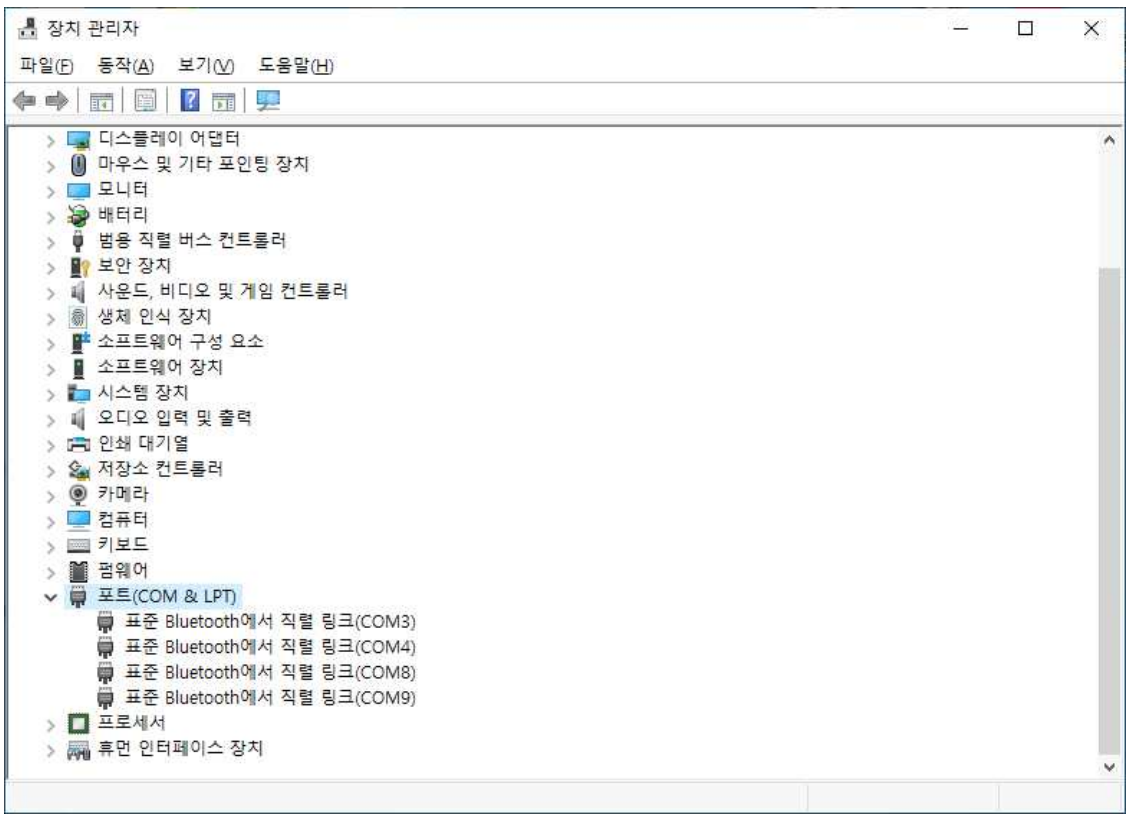
<그림 2.176> 장치 관리자를 실행하는 방법

② 장치 관리자의 초기 화면은 아래 그림과 같으며, 컴퓨터 스펙, 포트(USB, 썬더볼트 등) 등에 따라 내용은 다를 수 있다.



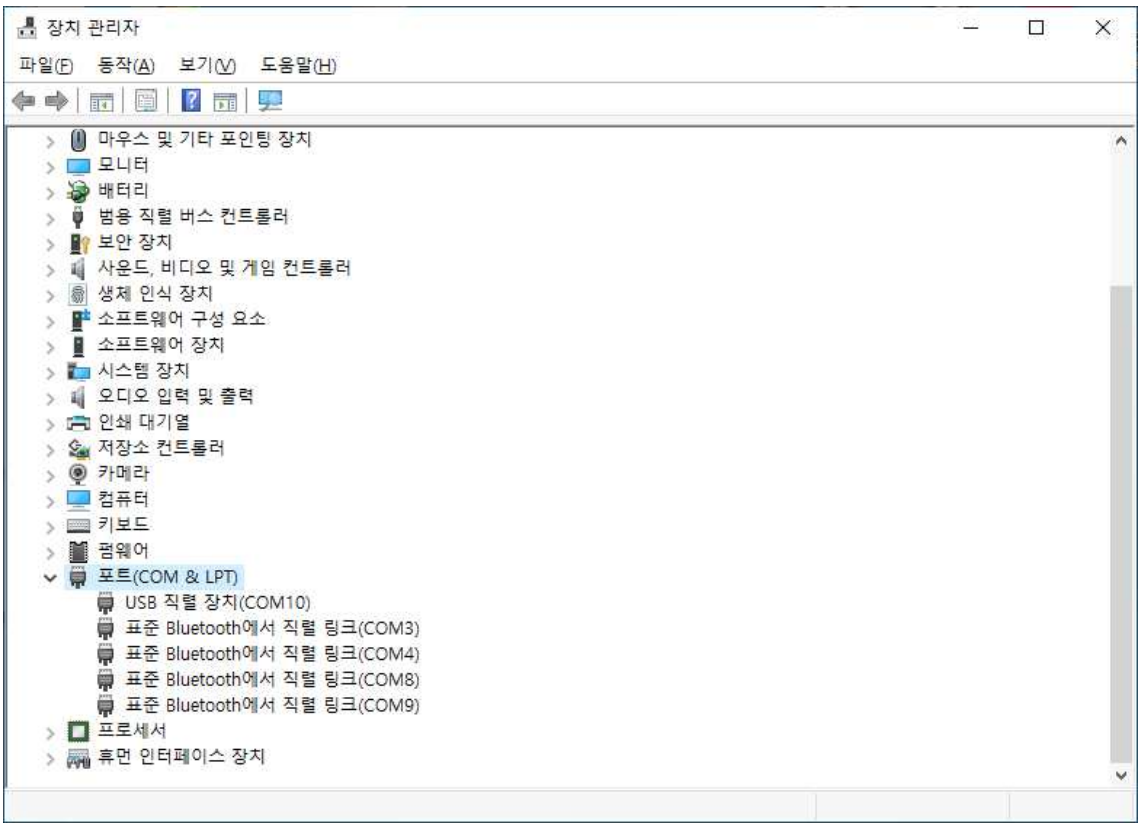
<그림 2.177> 장치 관리자 실행 화면

③ 장치 관리자 내용 중 포트(COM&LPT)를 더블클릭해서 세부 내용을 확인한다.



<그림 2.178> 장치 관리자 내 포트(COM & LPT) 확인

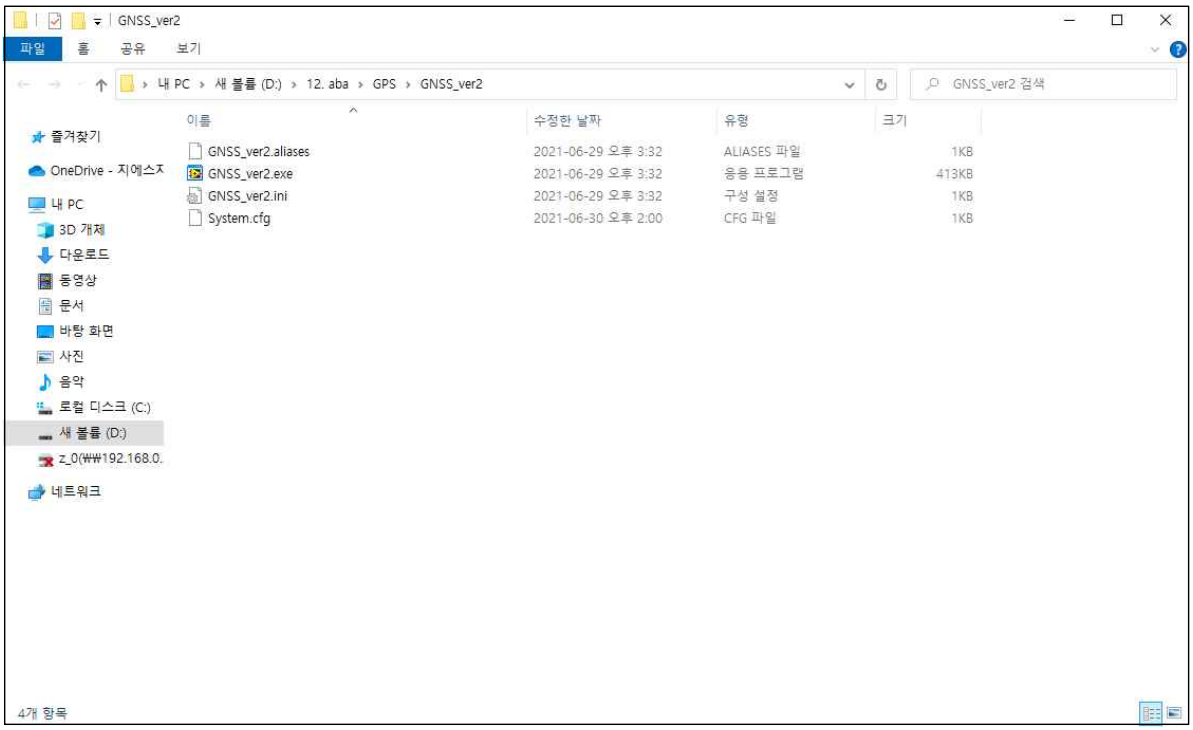
④ GPS의 노트북-GPS 수신기 연결 케이블을 활용하여 노트북과 GPS 수신기를 연결하며, GPS 수신기와 노트북이 정상적으로 연결될 경우 아래 그림처럼 포트(COM&LPT)의 항목에 기기(USB 직렬 장치(COM10))가 추가되며, 장치마다 COM 뒤의 번호가 다르다.



<그림 2.179> 장치관리자 내 GPS 측정 모듈의 USB 포트 확인

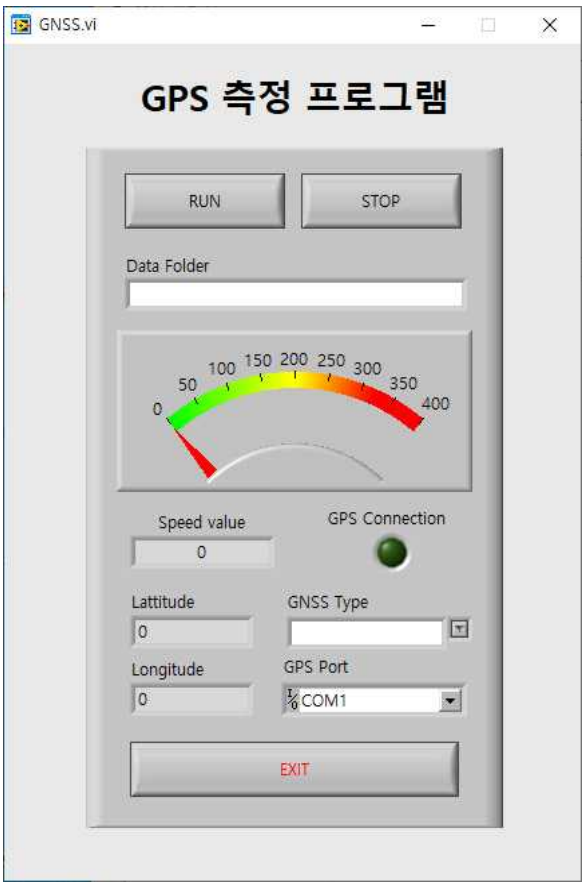
다. GPS프로그램 실행 및 GPS 데이터 저장

① GPS프로그램 설치 경로로 들어가 GNSS_ver2.exe를 실행하여 GPS 측정 프로그램을 실행한다.



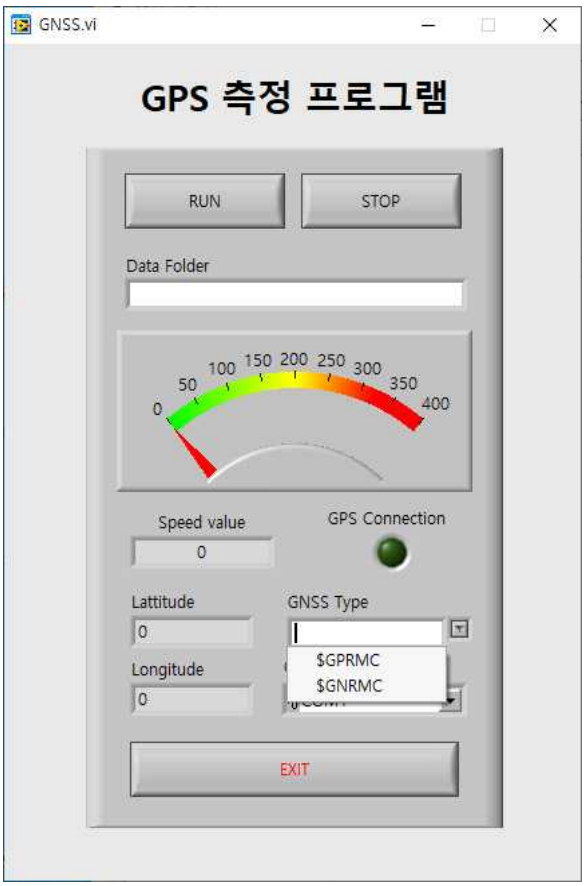
<그림 2.180> GPS 측정 프로그램이 설치된 폴더

② GPS 측정프로그램의 초기 화면은 다음과 같다.



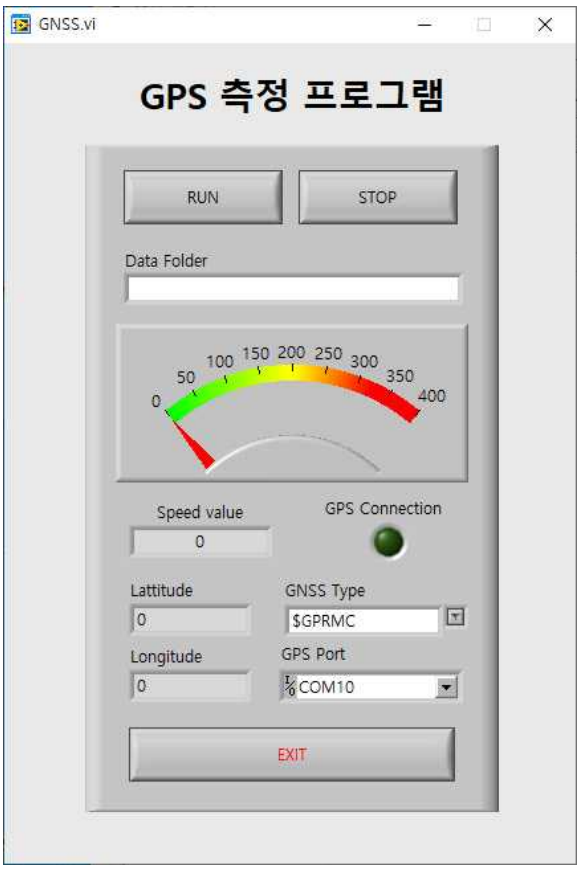
<그림 2.181> GPS측정 프로그램 실행 초기화면

③ GNSS Type 아래의 Combobox를 선택하여 $GPRMC를 선택한다.



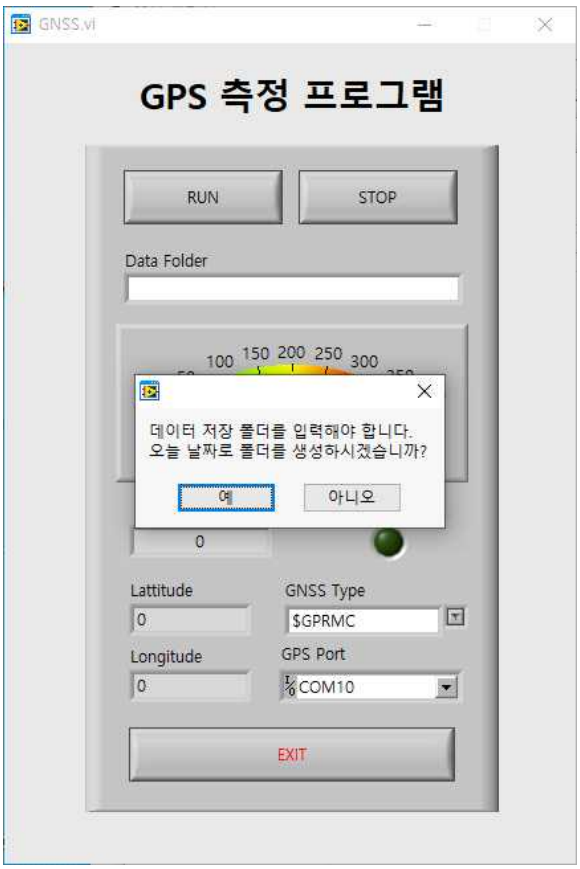
<그림 2.182> GNSS Type 선택 화면

④ GPS Port아래의 Combobox를 선택하여 나.의 ⑤에서 알아낸 GPS Port 번호를 선택한다.



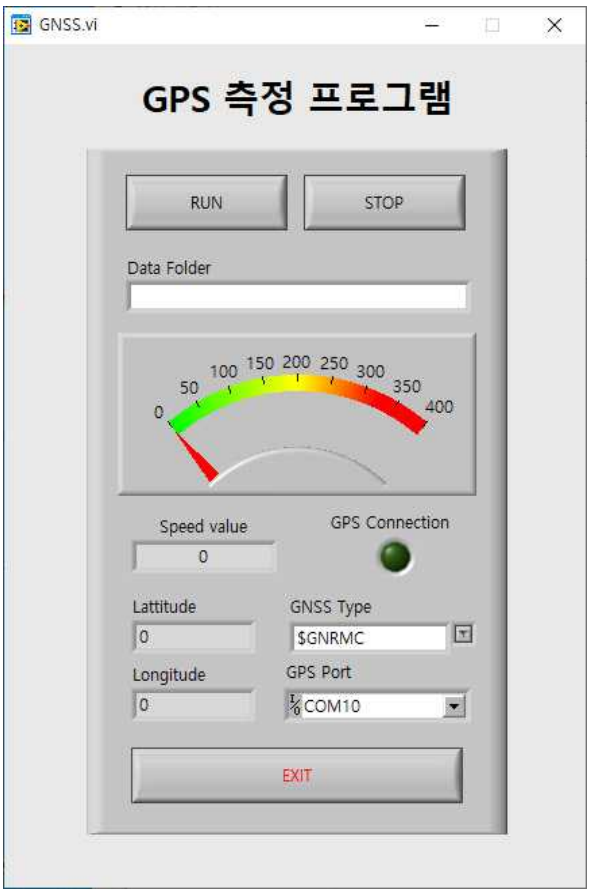
<그림 2.183> GPS 측정 모듈 GPS Port 선택

⑤ RUN 버튼을 입력하여 GPS 측정을 실행한다. 이때, GPS 측정프로그램이 설치된 폴더 내에 RawData 폴더가 없는 경우 아래 경고창이 뜨며, 위 경고창이 뜬 경우 확인을 누른 후 RUN을 다시 입력하여야 한다.



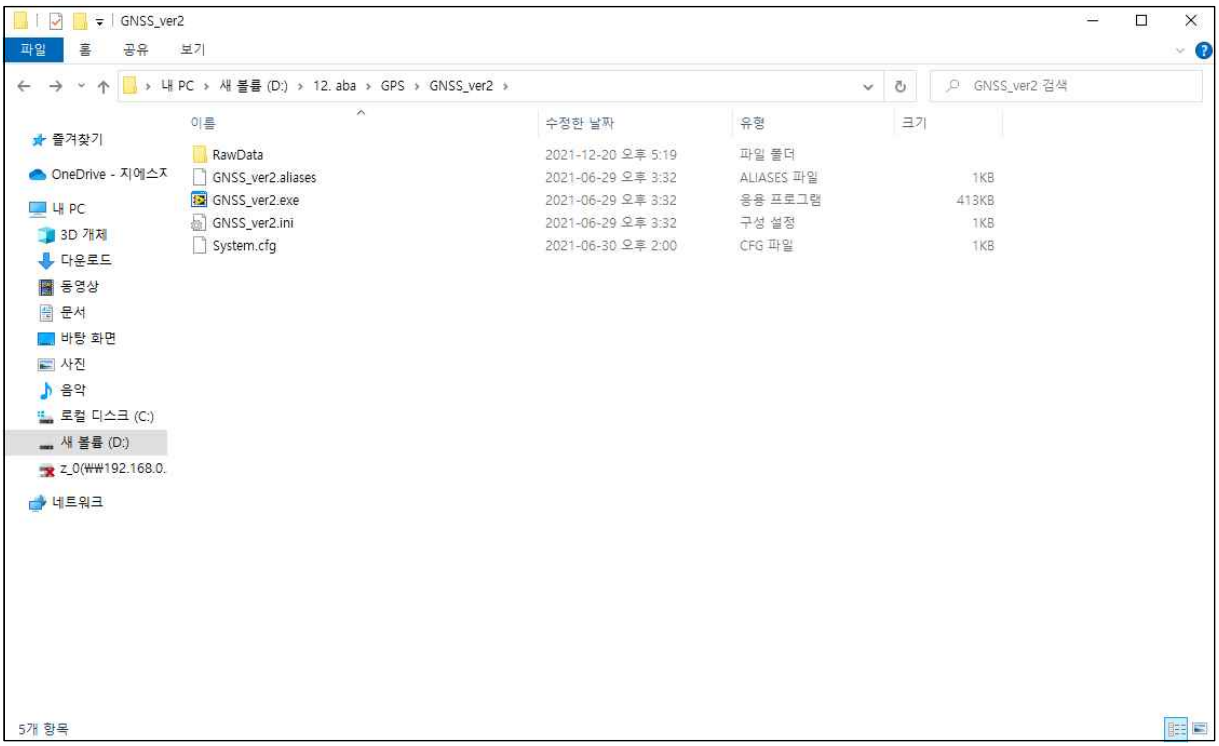
<그림 2.184> Run 버튼 클릭 시 저장 폴더가 없는 경우 출력되는 알림창

⑥ GPS의 경우 시간, 장소, 환경에 따라 $GPRMC Type이 잡히지 않는 경우가 있다. 위 경우 최대 5분간 GPS 연결 상태를 확인하여 GPS 연결을 대기하여야 한다. 대기 이후에도 GPS 신호가 잡히지 않는 경우 STOP버튼을 눌러 측정을 정지한 후, GPS Type을 $GNRMC로 변경하여 RUN버튼을 입력한다.



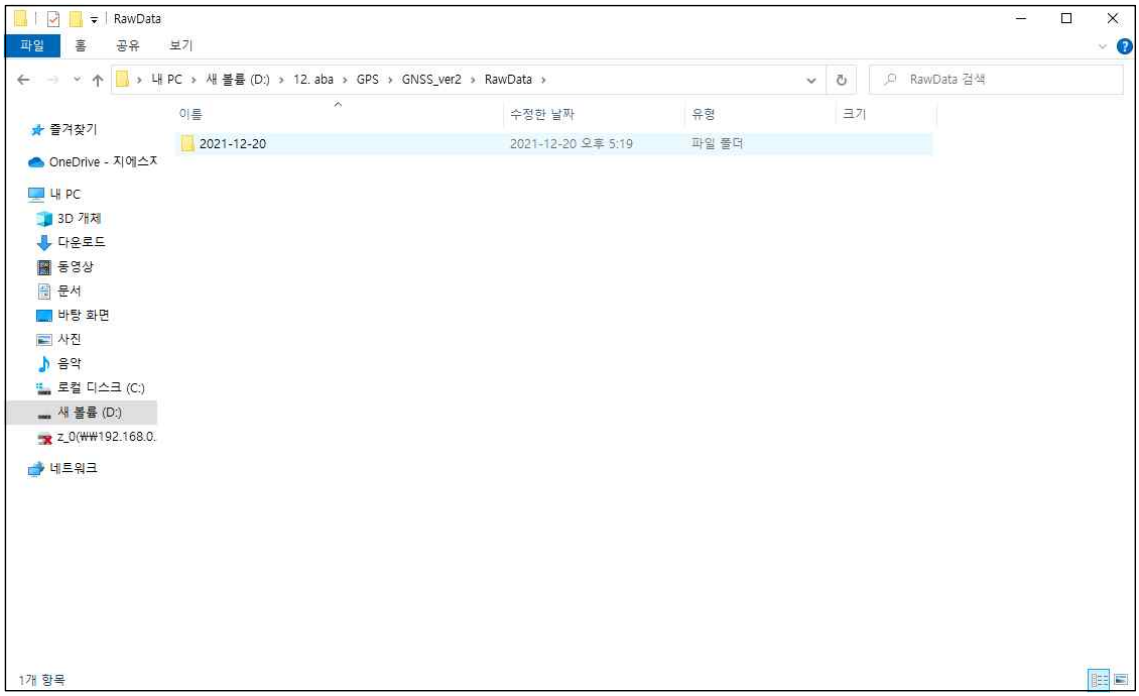
<그림 2.185> GPS 신호 수신 불가시 변경되는 GNSS Type

⑦ 데이터 측정 후 STOP 버튼을 누르면 GPS측정프로그램이 수신한 GPS신호를 TDMS 파일로 저장하며, 이는 GPS 측정프로그램이 설치된 폴더 내에 RawData 폴더 내에 저장된다.

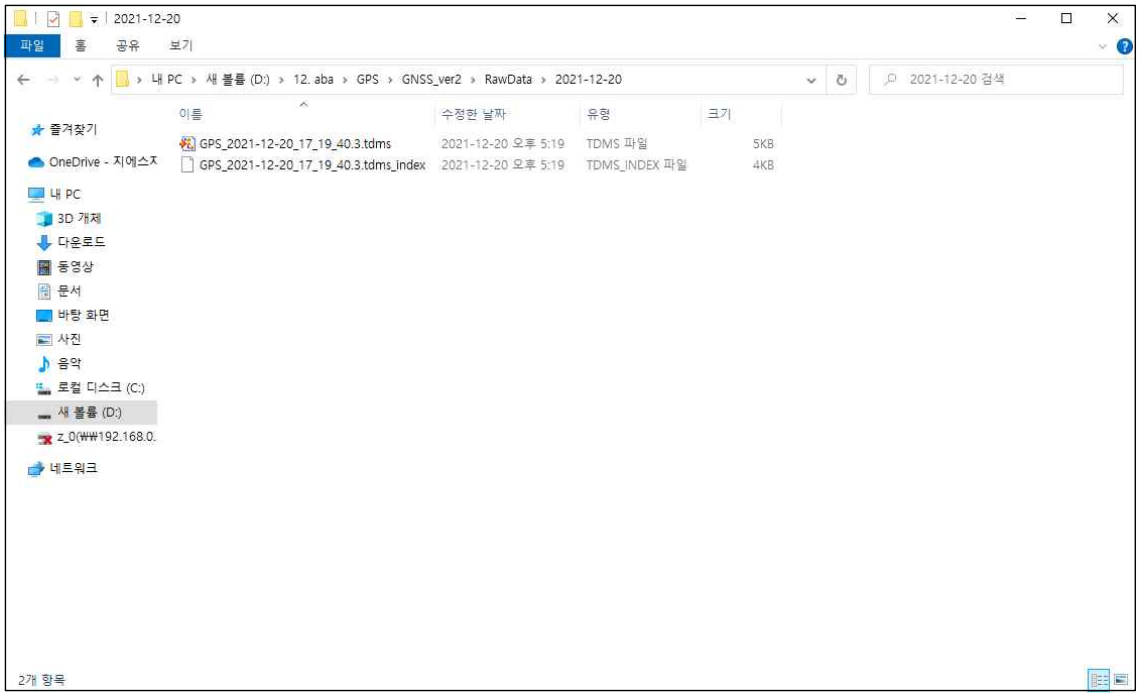


<그림 2.186> 데이터 측정 시 생성되는 RawData 폴더

⑧ GPS 측정프로그램이 설치된 폴더 내에 RawData 폴더에 들어가면 측정 날짜에 맞추어 폴더가 자동 생성되며, 해당 폴더 내에 측정한 GPS데이터의 TDMS파일이 존재한다.



<그림 2.187> 측정 일자와 동기화되어 생성되는 TDMS파일 저장 폴더

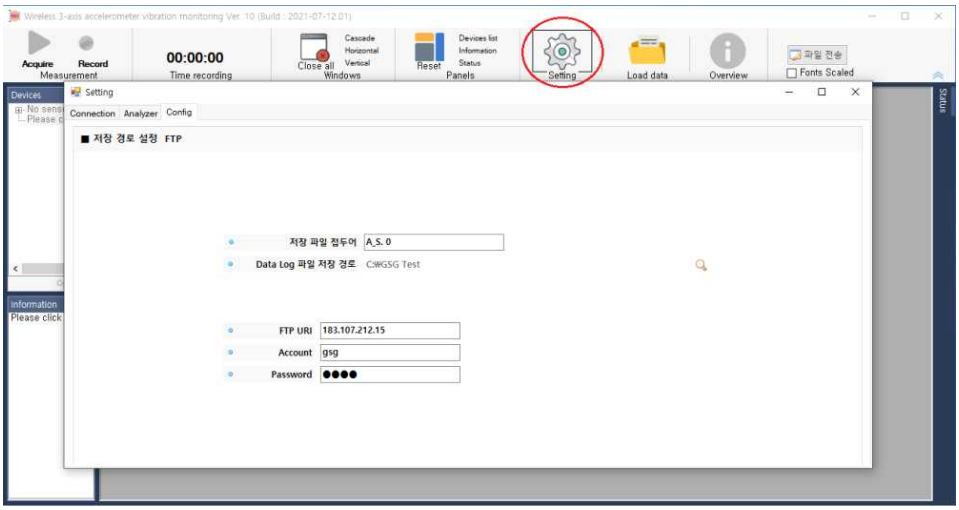


<그림 2.188> 측정된 GPS 데이터가 저장된 TDMS 파일

6) 무선가속도계 데이터 및 GPS데이터 전송

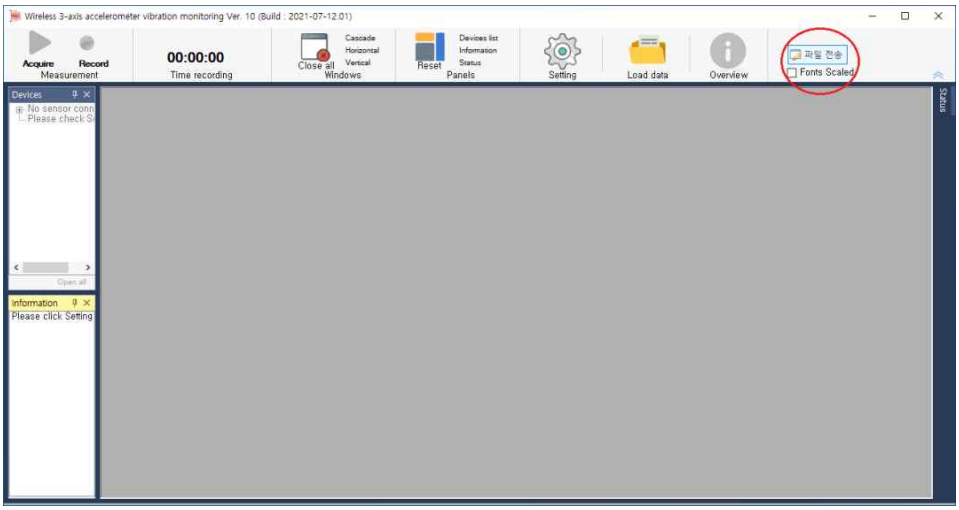
가. FTP를 활용한 무선가속도 데이터 및 GPS 데이터 전송

□ 저장 경로 설정 FTP



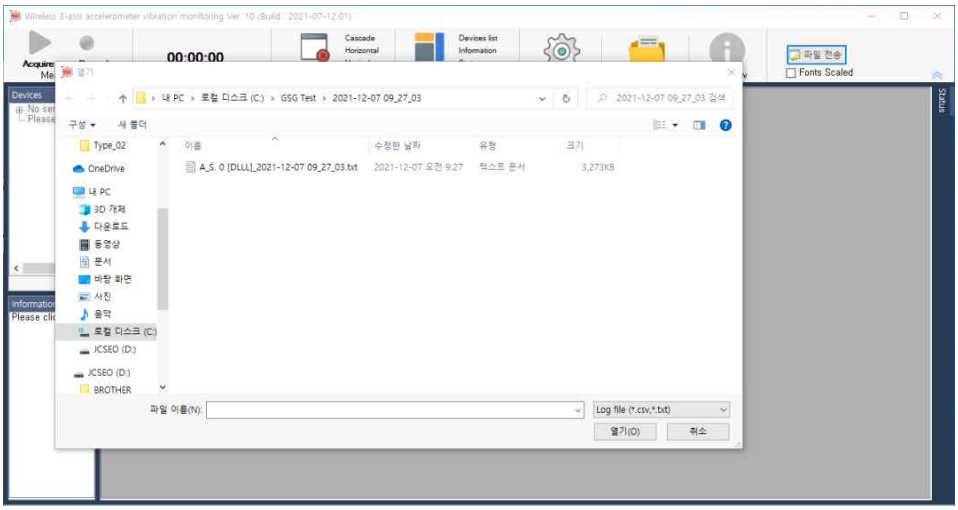
<그림 2.189> FTP서버 전송정보 입력화면

□ FTP로 파일 전송



<그림 2.190> FTP서버 정보를 활용한 파일 전송 버튼

□ 저장 파일 Load



<그림 2.191> 파일 전송 버튼 클릭 시 나타나는 전송파일 선택 다이얼로그

7) ABA-analysis서버

□ ABA-analysis서버는 Debian Linux(Ubuntu 20.04.3 LTS)를 기준으로 2개의 상용 소프트웨어(FTP 서버, MySQL)와 ABA-analysis 분석프로그램으로 구축이 되었다.

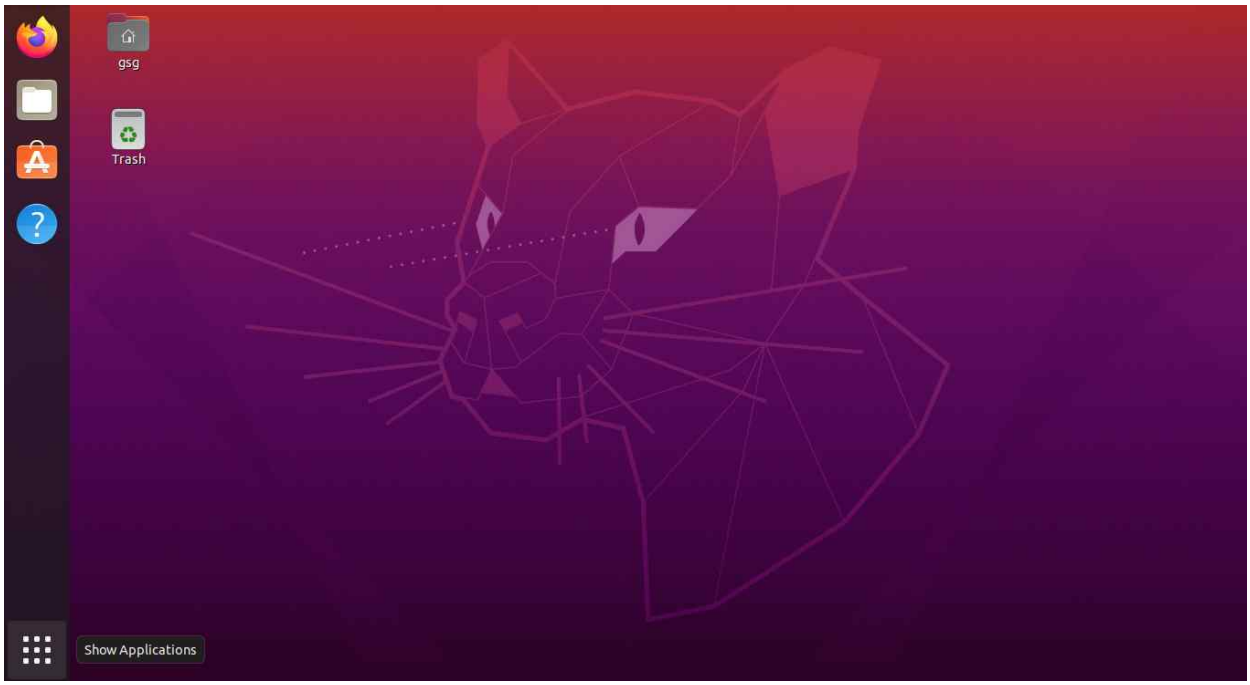
□ FTP 서버와 MySQL의 구축방안은 아래 8.과 9.에서 언급하지만, 그 전에 리눅스 환경의 설정이 필요하다.

<그림 2.192> Ubuntu 서버 부팅 후 나타나는 바탕화면

가. 터미널

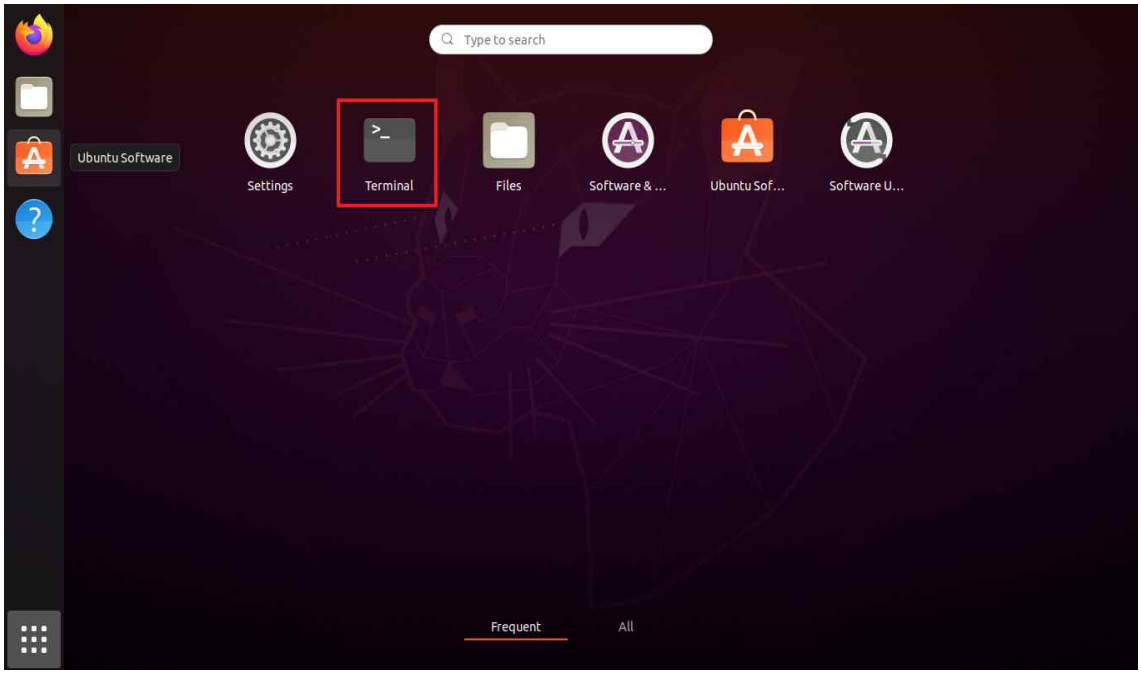
□ 본 매뉴얼 에서는 Ubuntu 20.04.3 LTS의 기본 터미널을 사용하여 각종 시스템을 구축하며, 우분투에서 터미널 창을 여는 법은 아래 그림과 같다.

① 좌측 하단의 Show Applicatons를 누른다.



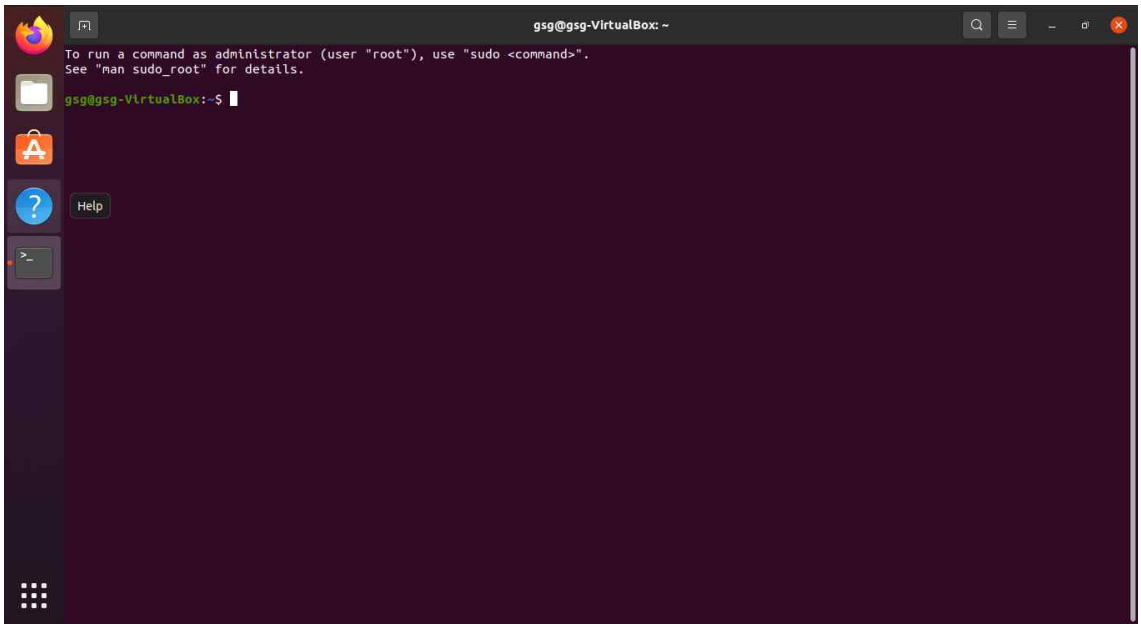
<그림 2.193> Show Applications 버튼

② Show Applicatons내의 Terminal을 클릭하여 실행한다.



<그림 2.194> Terminal 프로그램 아이콘

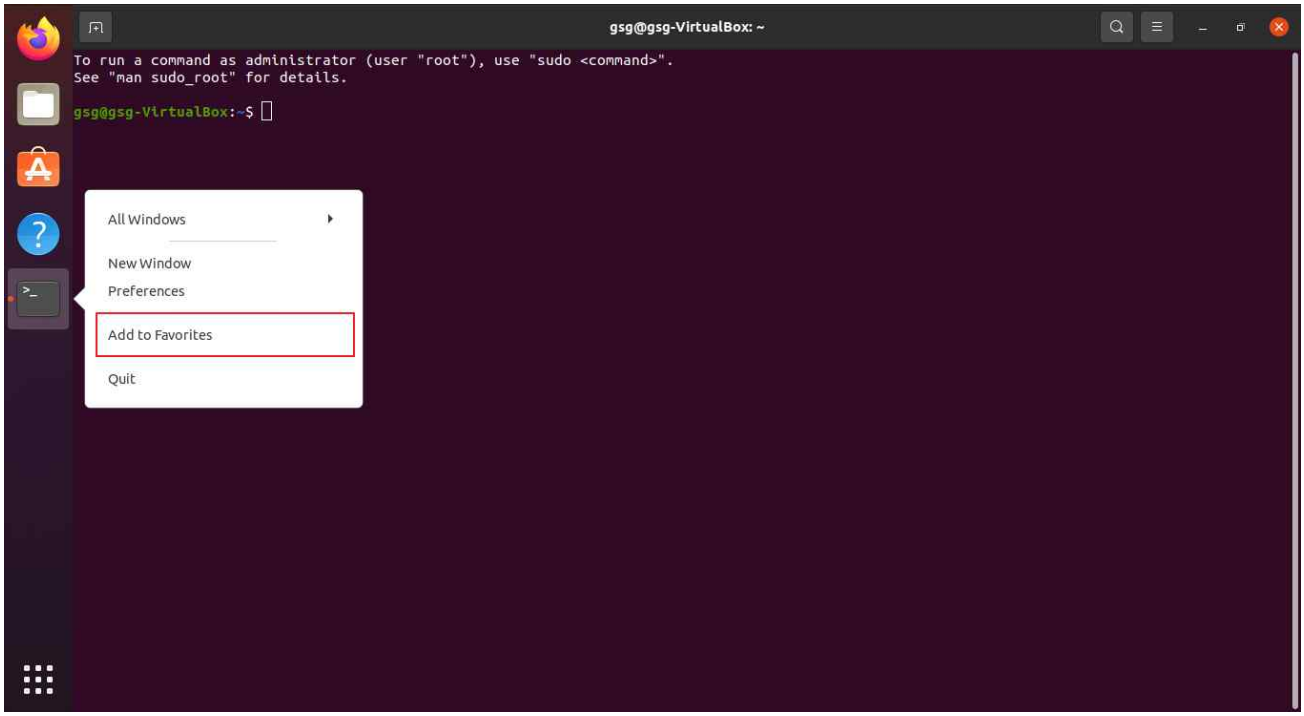
③ Terminal실행 시 초기 화면



<그림 2.195> Terminal 실행 시 나타나는 터미널 초기화면

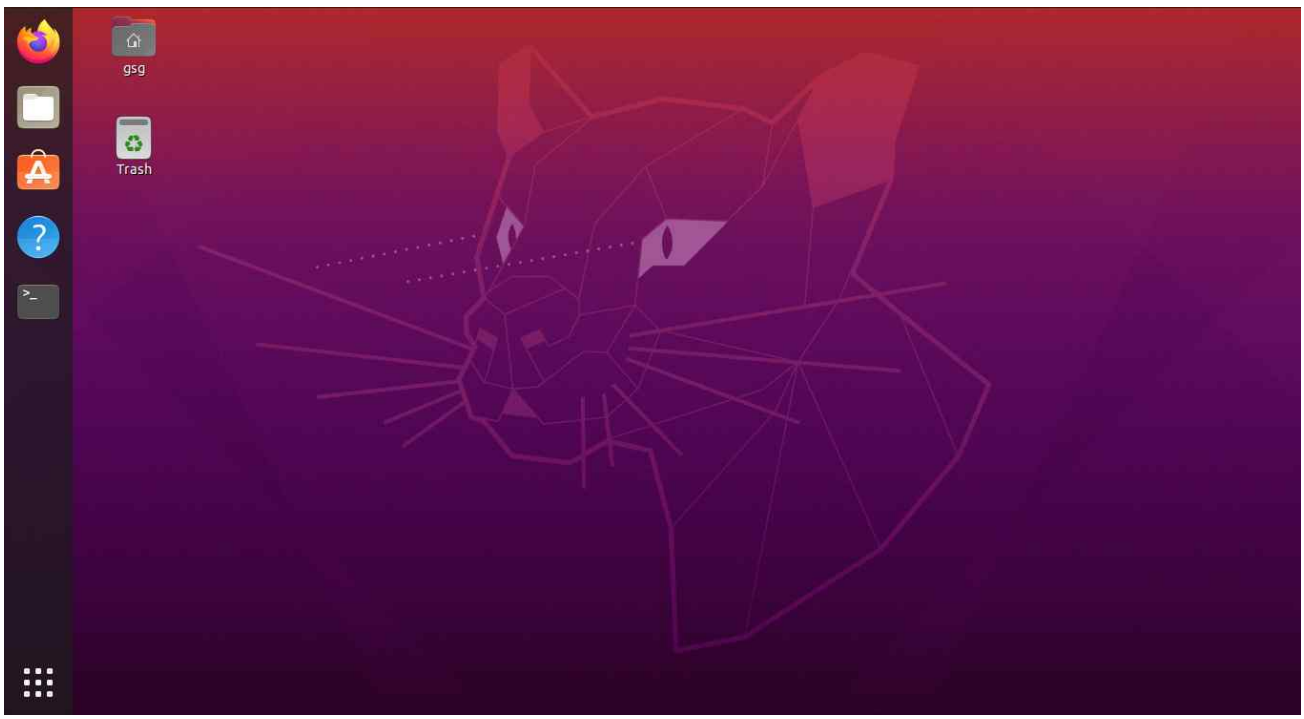
□ 자주 이용하는 터미널을 작업표시줄(좌측 별도 공간)에 등록하여 이후 터미널 이용 시 터미널 접근이 더욱 편리하도록 할 수 있다.

④ 작업표시줄의 터미널 아이콘을 마우스 오른쪽버튼을 눌러 Add to Favorites를 누른다.



<그림 2.196> 터미널프로그램을 작업표시줄의 Favorites 추가

⑤ Terminal실행을 종료하여 작업표시줄에 Terminal이 정상 등록여부를 확인한다.

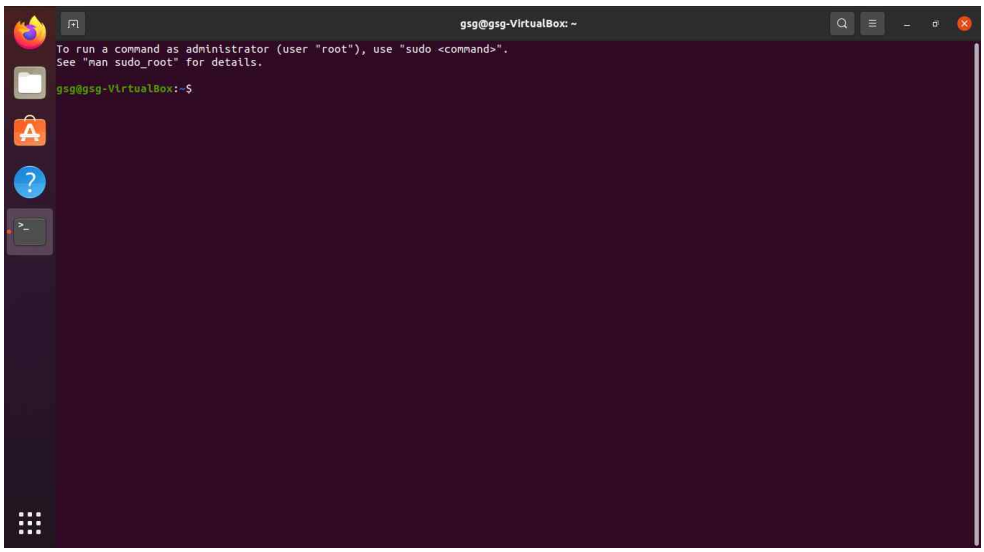


<그림 2.197> 작업표시줄에 추가된 터미널 프로그램

나. 소프트웨어 및 보안 업데이트

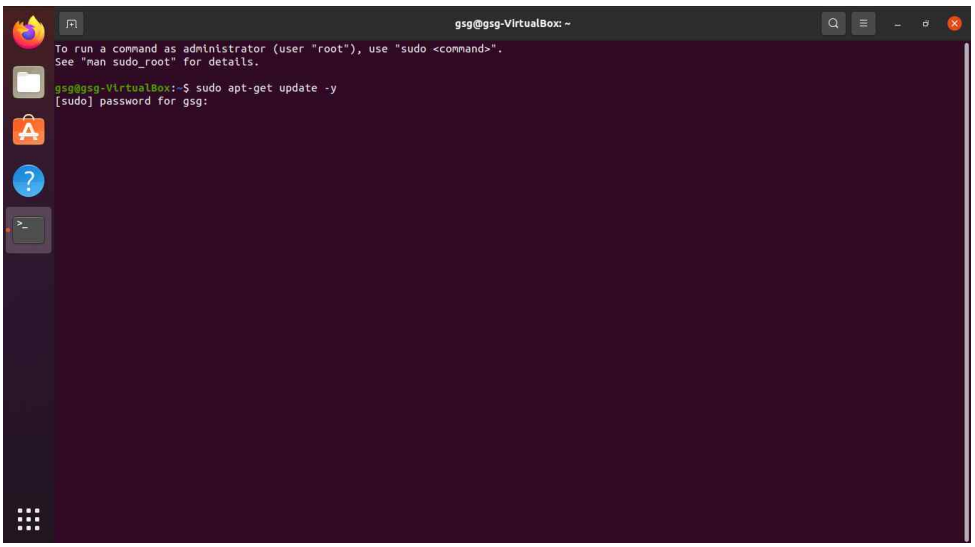
□ FTP 서버와 MySQL 서버를 구축하기 위하여 Ubuntu의 패키지 및 보안을 최신버전으로 설치하여야하며, 설치 방법은 아래와 같다.

① Terminal을 실행한다.



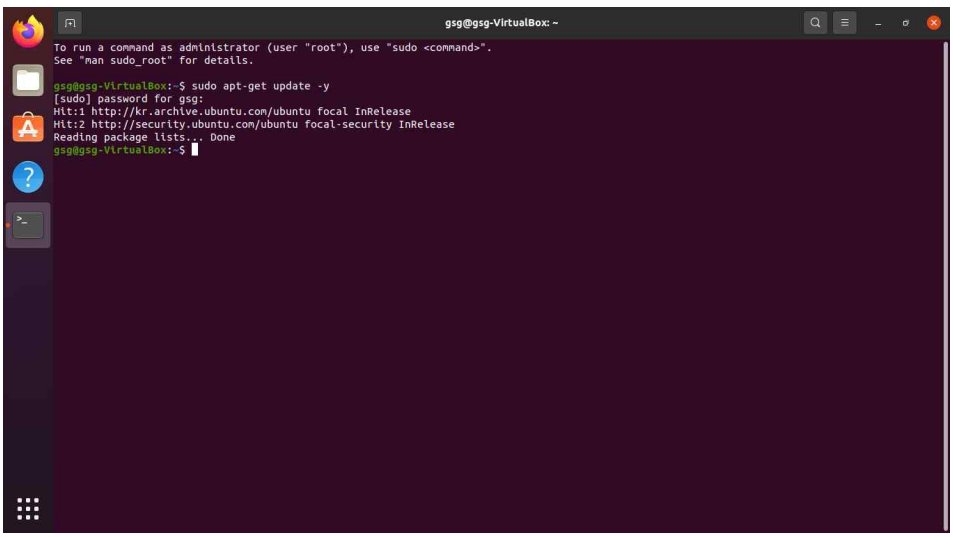
<그림 2.198> 실행된 Terminal 화면

② Terminal 창에 sudo apt-get update -y를 입력하여 설치 되어있는 패키지들의 새로운 버전이 있는지 확인한다.



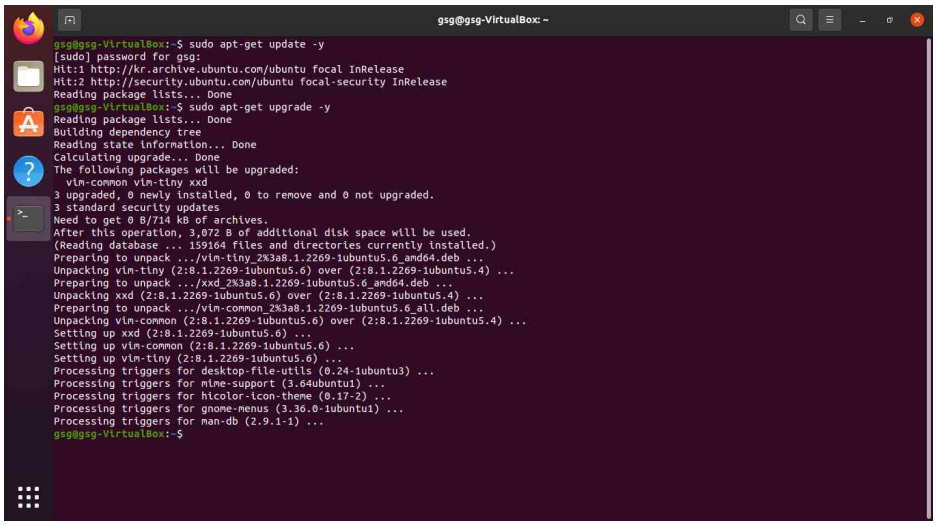
<그림 2.199> 패키지 업데이트 확인 명령어 입력 시 출력화면

③ 설치 되어있는 패키지들의 새로운 버전이 확인되면, 아래 그림과 같이 새로운 명령입력 줄이 생성된다.



<그림 2.200> 패키지 업데이트 확인이 종료된 Terminal 화면

④ Terminal 창에 apt-get upgrade -y를 입력하여 위에 있는 apt-get update를 통해서 확인한 패키지들의 최신 버전에 따라서 패키지들의 버전을 업그레이드 해주는 명령어이다.

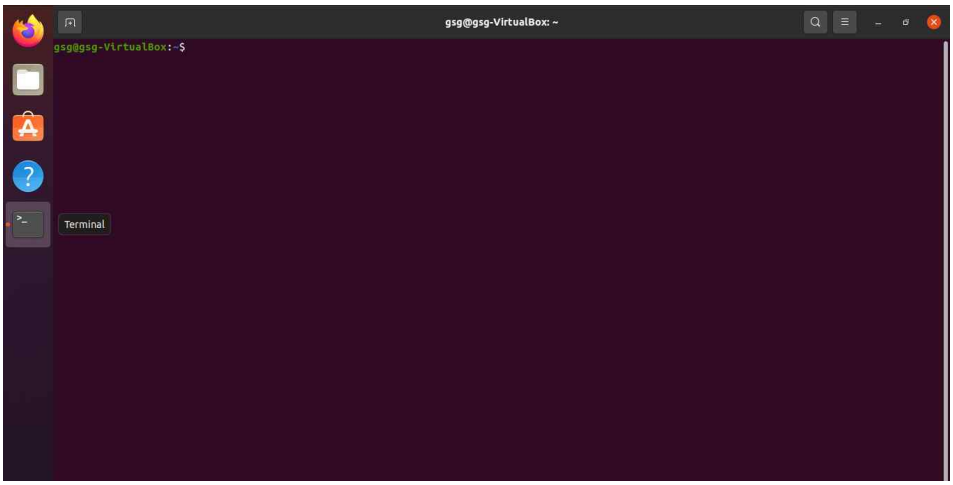


<그림 2.201> 패키지 업데이트가 완료된 Terminal 화면

8) FTP 서버구축

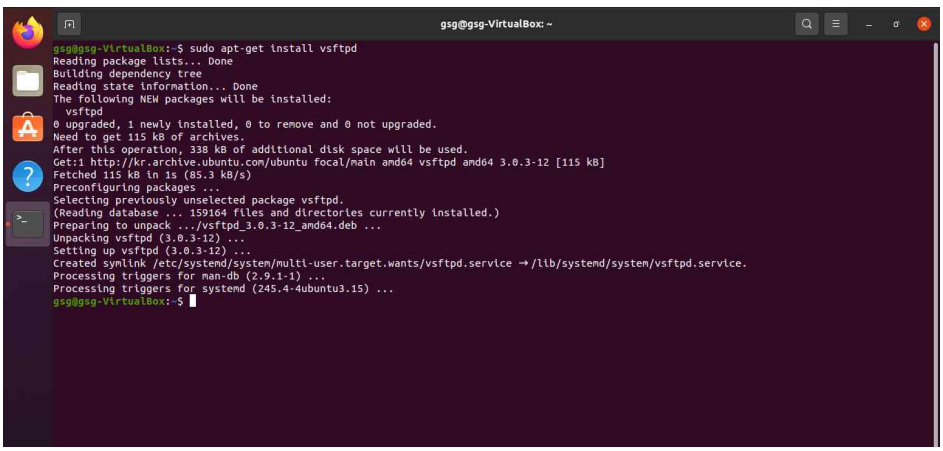
□ 현장에서 측정한 무선진동가속도 및 GPS데이터 수신을 위하여 FTP(File Transfer Protocol)를 사용하였고 이를 리눅스서버 (Ubuntu 20.04)에 구축 및 운영방법에 대하여 서술한다.

① Ubuntu에서 터미널창을 연다.



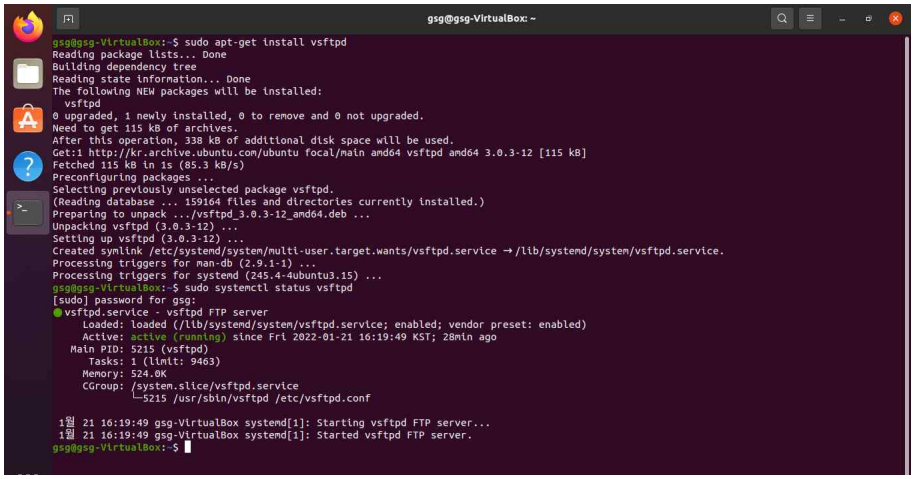
<그림 2.202> Terminal 초기 화면

② 명령어 sudo apt-get install vsftpd를 입력하여 ftp서버 설치를 요청하고, 사용자 계정 암호을 물어볼 경우, 사용자 계정 암호를 입력하여 설치한다.



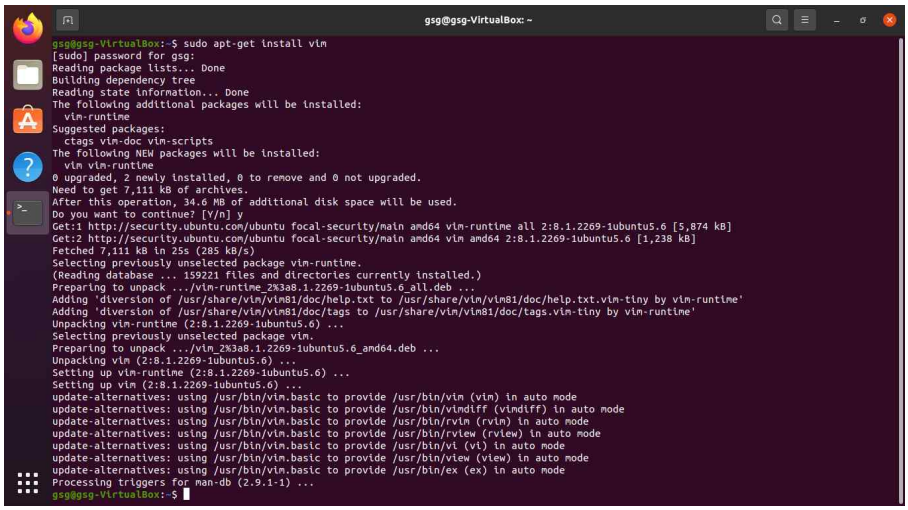
<그림 2.203> vsftpd 설치 명령을 통한 FTP 서버 설치

③ 터미널 화면에 sudo systemctl status vsftpd를 입력하여 설치상태 및 동작 상태를 확인가능하다.



<그림 2.204> FTP서버 설치상태 및 동작상태 확인

④ vsftpd 패키지 설치 진행 후 외부에서 FTP 접속이 가능하도록 하여야 한다. 이를 위해서 vsftpd실행규칙을 수정해야한다. 이를 위해 vim 패키지 이용이 권장되며, vim 패키지는 sudo apt-get install vim을 입력하여 설치 가능하다.

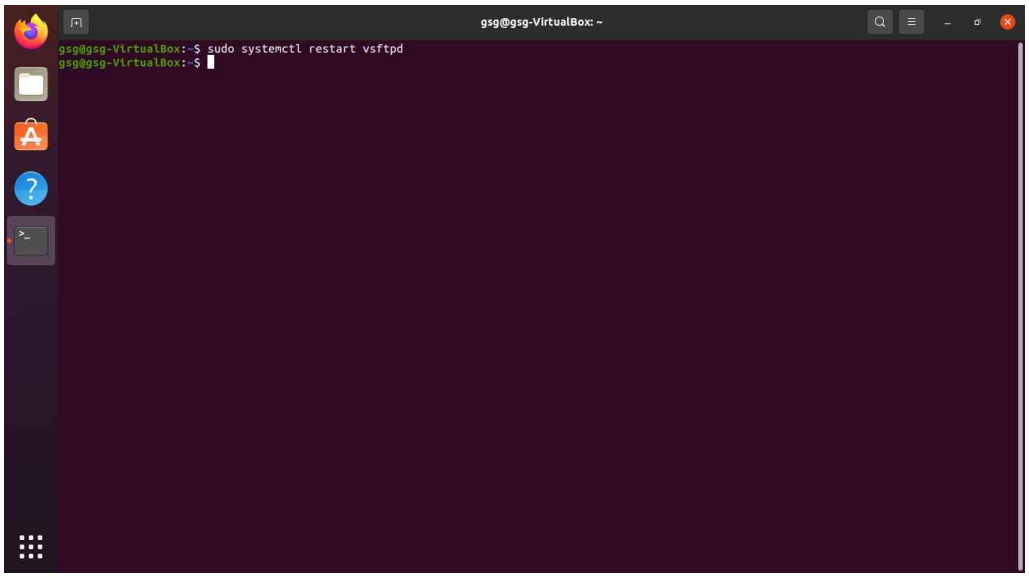


<그림 2.205> 텍스트 수정 프로그램 vim 패키지 설치 화면

⑤ 외부 접속을 위해 Terminal에 sudo vim /etc/vsftpd.conf를 입력하여 vsftpd설정파일 중, 아래에 서술한 변수부분을 수정하여야 한다.

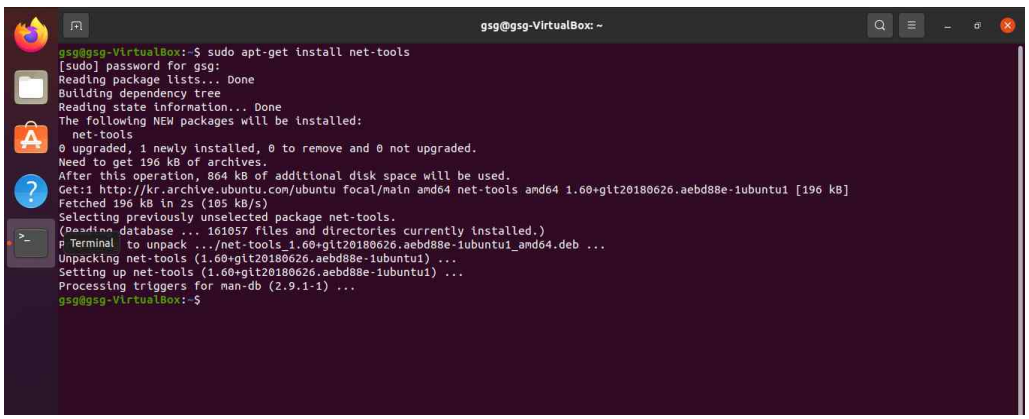
```
listen=NO
# 익명 FTP허용하지 않음
anonymous_enable=NO
# 로컬 사용자가 로그인할 수 있음
local_enable_YES
# 모든 형태의 FTP 쓰기 명령을 활성화
write_enable=YES
# umask를 022로 변경
local_umask=022
# 원격 접속 시 사용자가 디렉토리를 이동할 때 메시지 활성화
dirmessage_enable=YES
# 원격접속시 접속할 포트로 변경
listen_port=21
```

⑥ 설정 적용을 위해 vsftpd 재시작명령어(sudo systemctl restart vsftpd)를 Terminal에 입력하며, 정상적으로 재시작 시 아래와 같은 화면이 된다.



<그림 2.206> vsftpd 서비스 재시작 화면

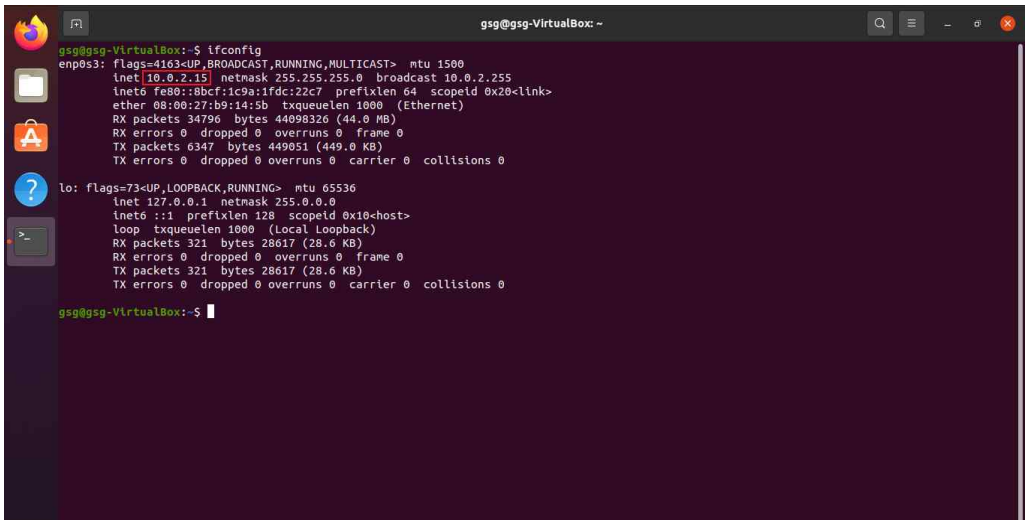
⑥ 서버외부접속을 위해 FTP설치 서버의 IP주소(공인 또는 사설)를 확인해야 한다. 이를 위해 Ubuntu의 Terminal에 sudo apt-get install net-tools를 입력하여 net-tools 패키지를 설치한다.



<그림 2.207> IP주소 확인을 위한 net-tools 패키지 설치

⑦ 서버외부접속을 위해 terminal에 ifconfig를 입력하여 서버의 IP주소를 확인한다.

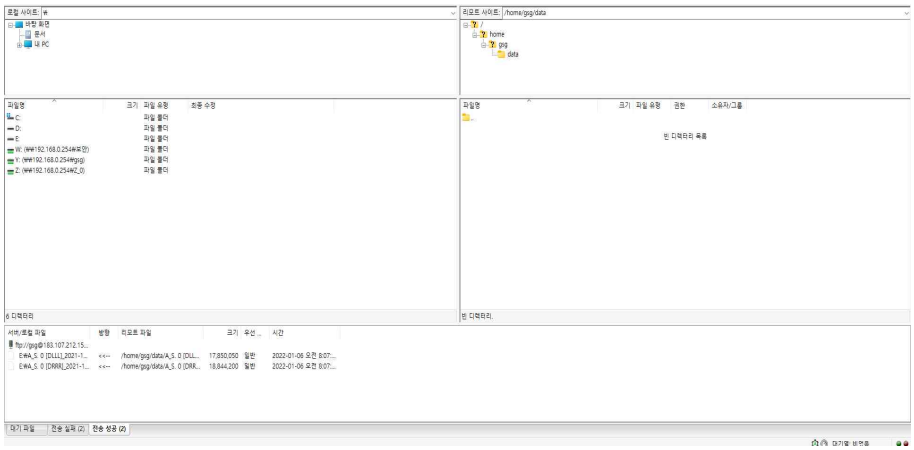
□ 해당 서버의 IP주소는 10.0.2.15로 확인 되었으며, 이를 활용하여 외부접이 가능하다.



<그림 2.208> net-tools 패키지를 통한 IP 주소 확인

⑧ 외부 PC를 활용하여 FTP 접속을 시도하여 설정이 정상적으로 적용 되었는지 확인한다.

□ 호스트는 ftp://10.0.2.15, 포트는 5227, 서버 사용자명 및 비밀번호를 입력하여 접속한다.



<그림 2.209> 외부 PC를 활용한 FTP접속 확인

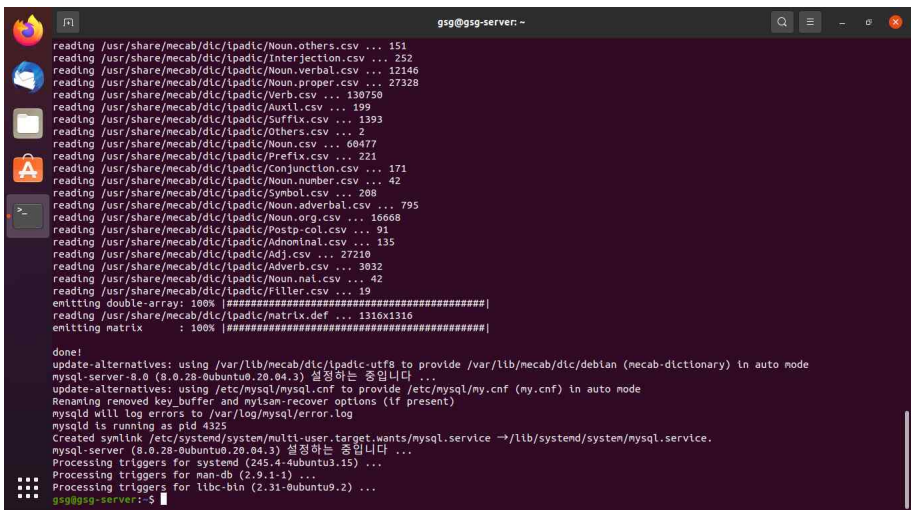
9) ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 구축

□ ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB는 Mysql을 활용하여 구축하였으며, 최상단DB명인 `ABA`를 제작하여 위 DB 내에 ABA-analysis프로그램을 활용하여 철도이상개소를 저장 할 수 있도록 제작하였다.

① Ubuntu에서 터미널창을 연다.

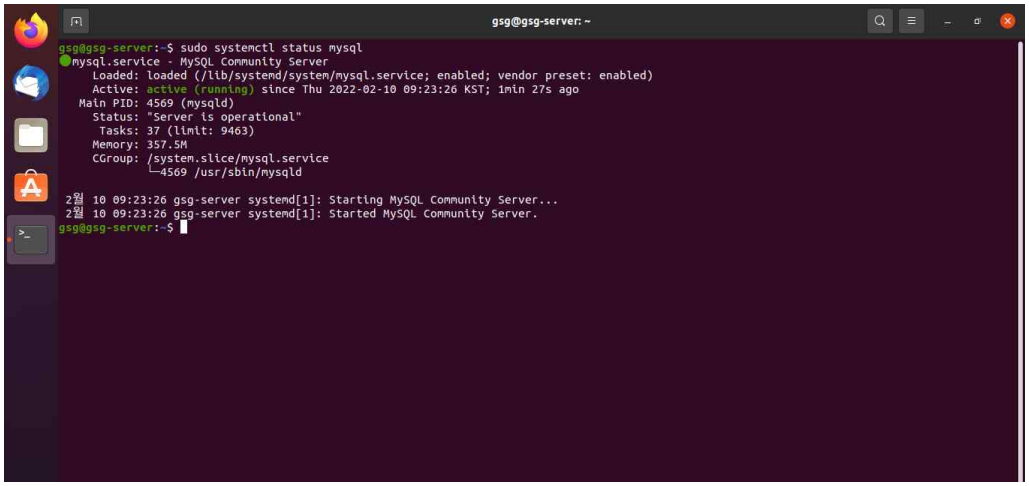
<그림 2.210> 터미널 실행 초기 화면

② 명령어 명령어 sudo apt-get install mysql-server를 입력하여 Mysql서버 설치를 요청하고, 사용자 계정 암호을 물어볼 경우, 사용자 계정 암호를 입력하여 설치한다.



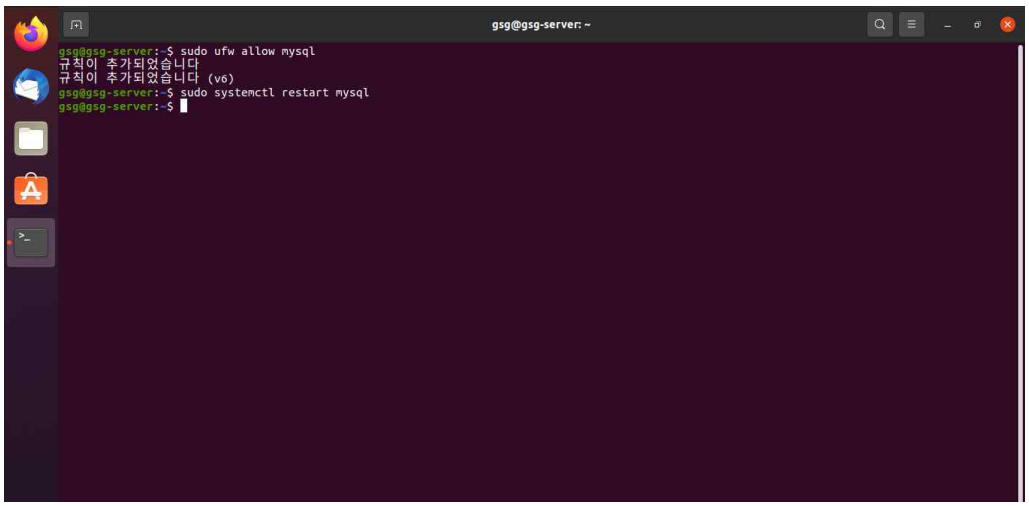
<그림 2.211> mysql-server 패키지 설치 화면

③ 터미널 화면에 sudo systemctl status mysql를 입력하여 설치상태 및 동작 상태를 확인가능하다.



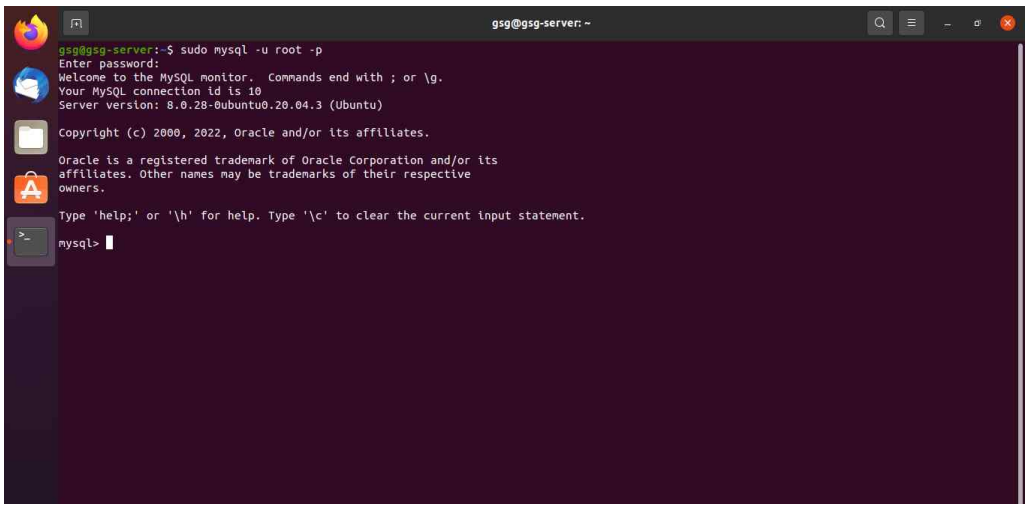
<그림 2.212> Mysql 패키지 설치 및 실행상태 확인

④ Mysql을 서버 외에서 접속이 가능하도록 터미널에 sudo ufw allow mysql을 입력하고 새 입력 줄이 생기면 터미널에 sudo systemctl restart mysql 명령어를 입력하여 Mysql서버를 재시작한다. 서버를 재시작하는 이유는 서버가 활성화된 상태에서 수정된 옵션은 바로 적용되지 않기 때문이다.



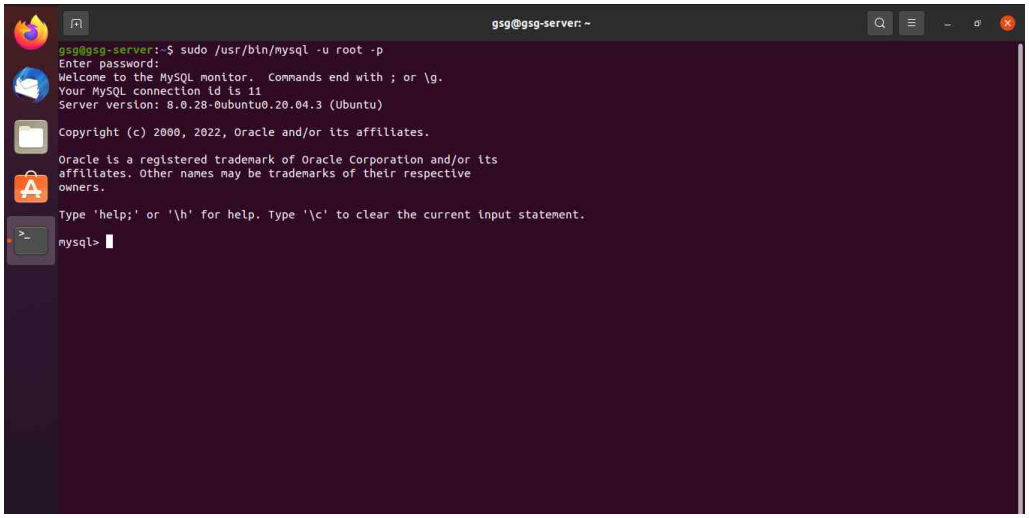
<그림 2.213> 방화벽에 Mysql 패키지 예외등록

⑤ Mysql서버 설치 후 터미널에 sudo mysql -u root -p를 입력할 경우, Mysql에 root 계정으로 접속이 가능하며, root 계정에 대한 암호를 물어보지만, 설치 후 초기단계이기 때문에 엔터를 입력하면 Mysql에 접속이 되며, 터미널이 Mysql용 터미널로 변경이 된다.



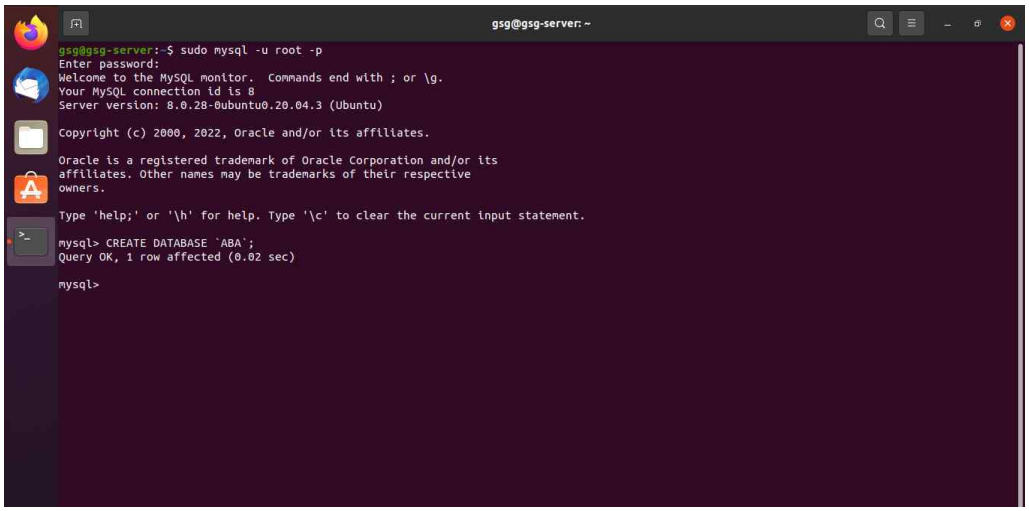
<그림 2.214> Mysql Terminal 접속 화면

⑥ 만약 위 방법으로 Mysql이 접속이 되지 않는 경우, 터미널에 아래 명령어 sudo /usr/bin/mysql -u root -p를 입력하여 접속이 가능하다.



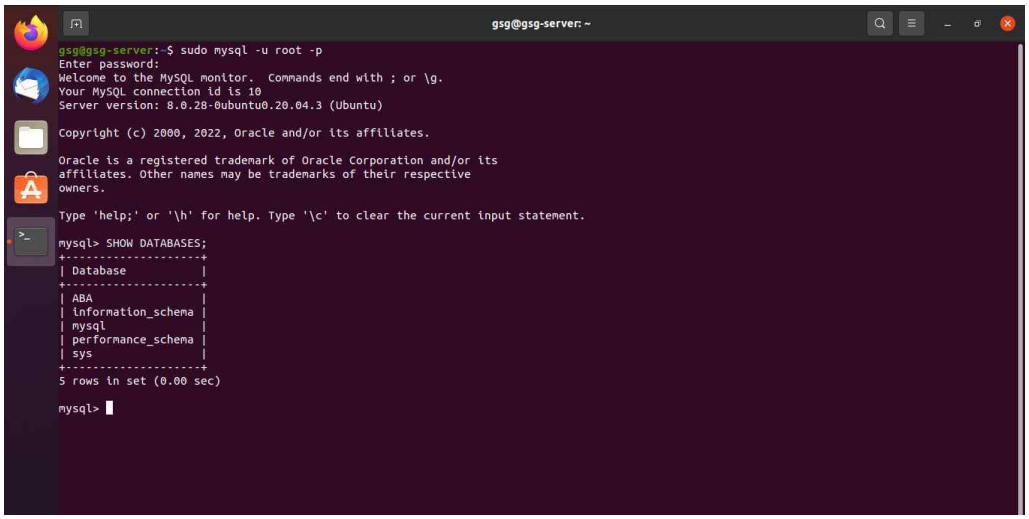
<그림 2.215> Mysql Terminal 접속 불가 시 해결방안

⑦ 루트 권한은 최상위 권한으로 모든 데이터베이스에 접근, 수정, 삭제가 가능함으로 기능을 제한하여 특정 데이터베이스에만 접근 가능하도록 하여야 한다. 이를 위하여 Mysql 터미널에 CREATE DATABASE `ABA`;를 입력하여 본 과제 전용 데이터베이스인 `ABA` 데이터베이스를 만든다.



<그림 2.216> `ABA` 데이터베이스 생성

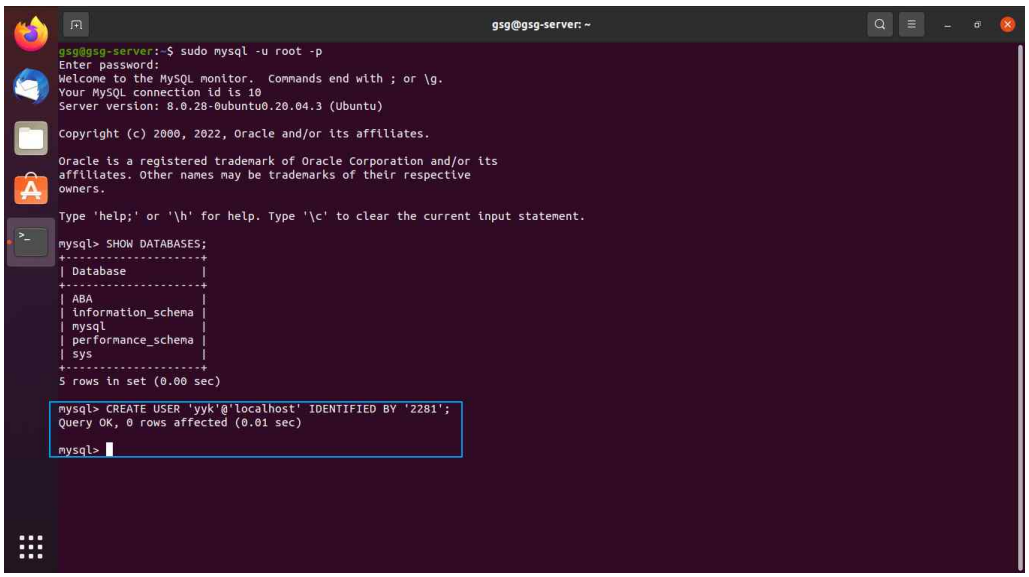
⑧ Mysql 터미널창에 SHOW DATABASES;를 입력하여 `ABA`데이터베이스가 정상적으로 생성되었는지 확인한다.



<그림 2.217> `ABA` 데이터베이스 생성 확인

⑨ Mysql 터미널창에 아래 양식에 있는 명령어를 입력하여 Mysql 데이터베이스계정을 생성한다.

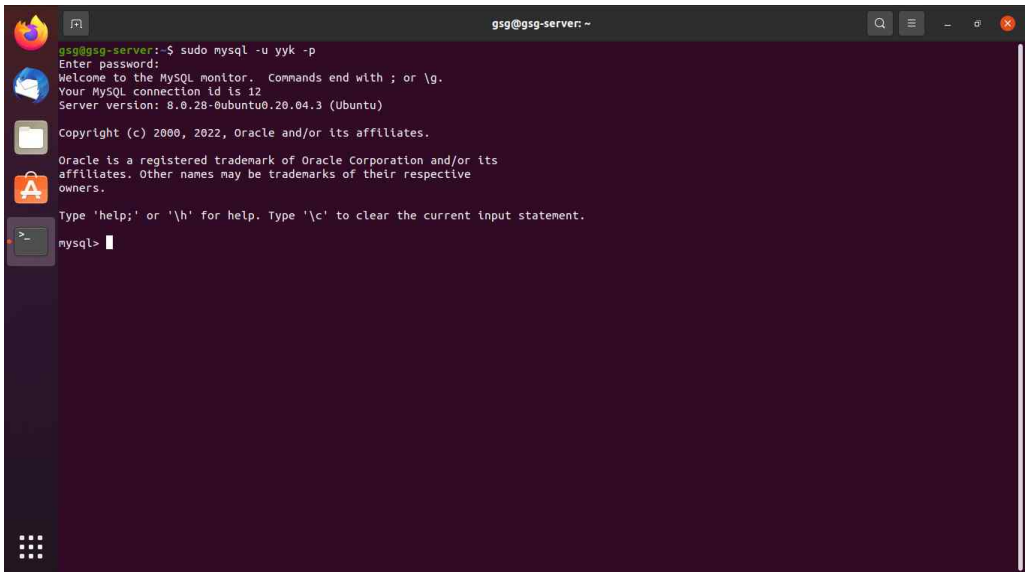
```
CREATE USER '아이디'@'localhost' IDENTIFIED BY '비밀번호';
EX) CREATE USER 'yyk'@'localhost' IDENTIFIED BY '2281';
```



<그림 2.218> 외부 접속용 ID 및 Password 부여

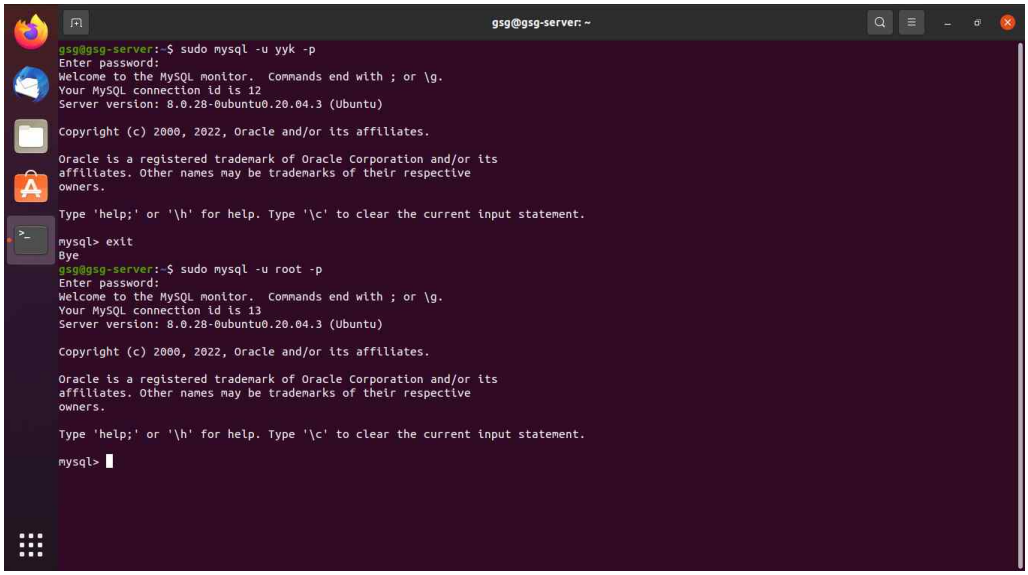
⑩ Mysql 터미널에 EXIT 명령어를 입력하여 Mysql 터미널에서 Ubuntu 터미널로 빠져나온 후, 아래 양식에 맞추어 터미널에 명령어를 실행하여 Mysql 계정이 정상적으로 생성되었는지 확인한다. 이때 Mysql에서 암호를 물어보는데 이는 ⑨에서 계정을 생성할시 입력한 '비밀번호'를 입력하여야 접속이 가능하다.

```
sudo mysql -u ⑨에서 생성한 아이디 -p
EX) sudo mysql -u yyk -p
```



<그림 2.219> 생성된 외부 ID로 접속한 Mysql Terminal

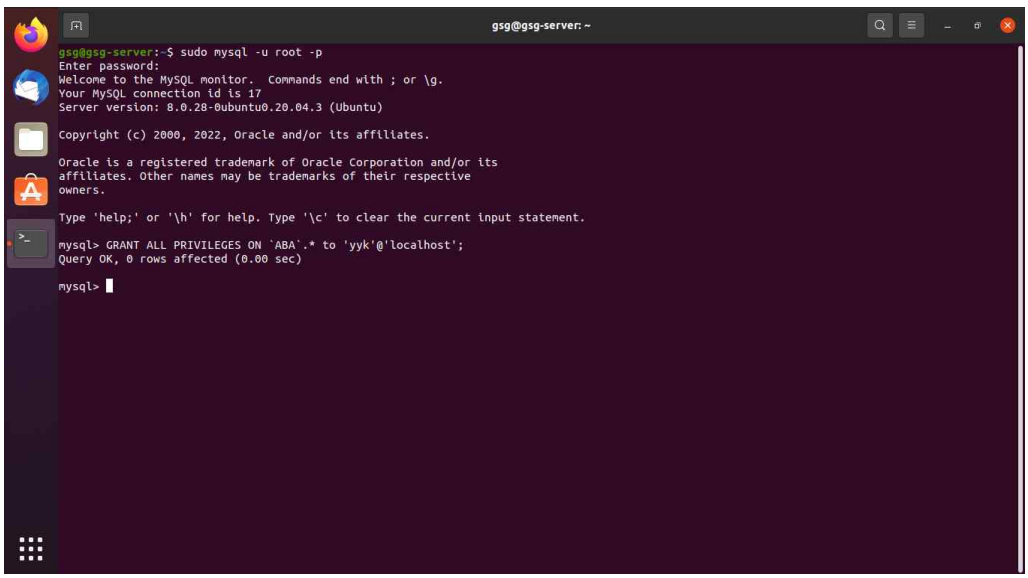
⑪ 계정 생성을 확인한 경우 계정에 권한을 부여하기 위해 EXIT 명령어를 입력하여 다시 Ubuntu 터미널로 돌아가며, sudo mysql -u root -p를 통하여 Mysql에 접속한다.



<그림 2.220> Root 계정으로 접속한 Mysql Terminal

⑫ 사용자에 데이터베이스 권한을 주기 위하여 아래 양식을 Mysql 터미널에 입력한다.

GRANT ALL PRIVILEGES ON `ABA`.* TO '⑨에서 생성한 아이디' @'localhost';
EX) GRANT ALL PRIVILEGES ON `ABA`.* TO 'yyk'@'localhost';



<그림 2.221> `ABA`데이터베이스에 대한 권한을 부여받은 외부 ID

⑬ Mysql 터미널에 FLUSH PRIVILEGES;명령어를 입력하여 변경된 권한을 적용시켜준다.

<그림 2.222> 변경사항 적용 명령어 입력 화면

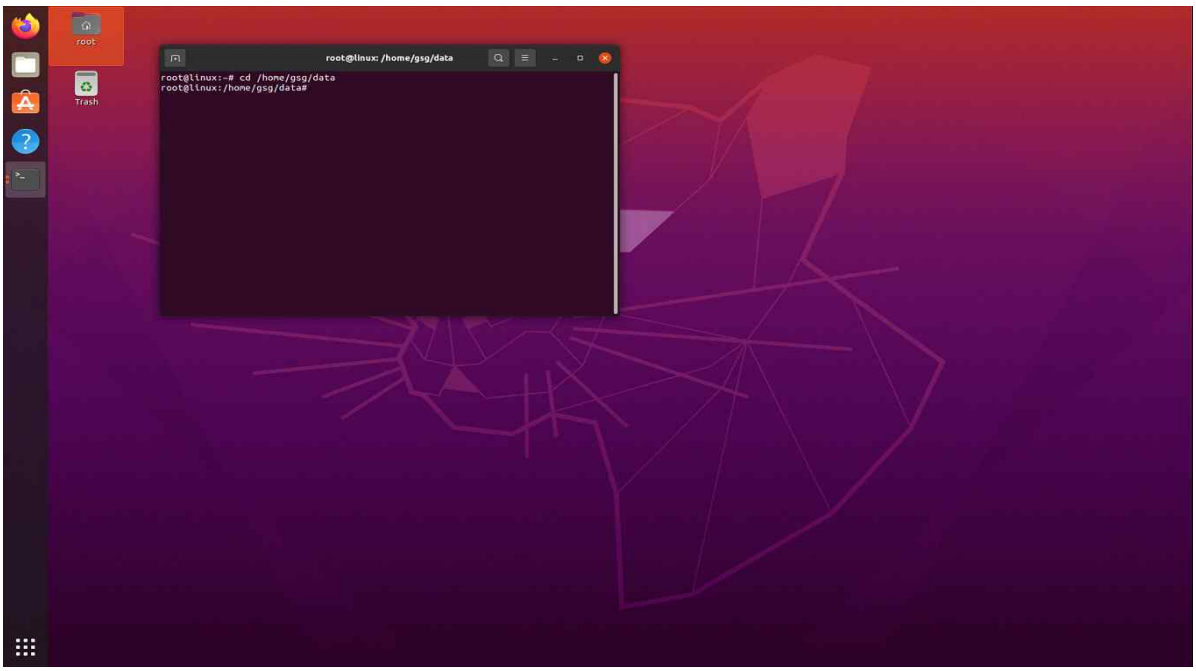
10) ABA-analysis프로그램 실행

① Python 기반으로 제작된 ABA-analysis.py 프로그램을 FTP 접속 시 나타나는 폴더에 설치한다.

□ 현재 FTP서버의 접속 폴더는 /home/gsg/data로 되어있다.

<그림 2.223> 설치된 ABA-analysis 프로그램

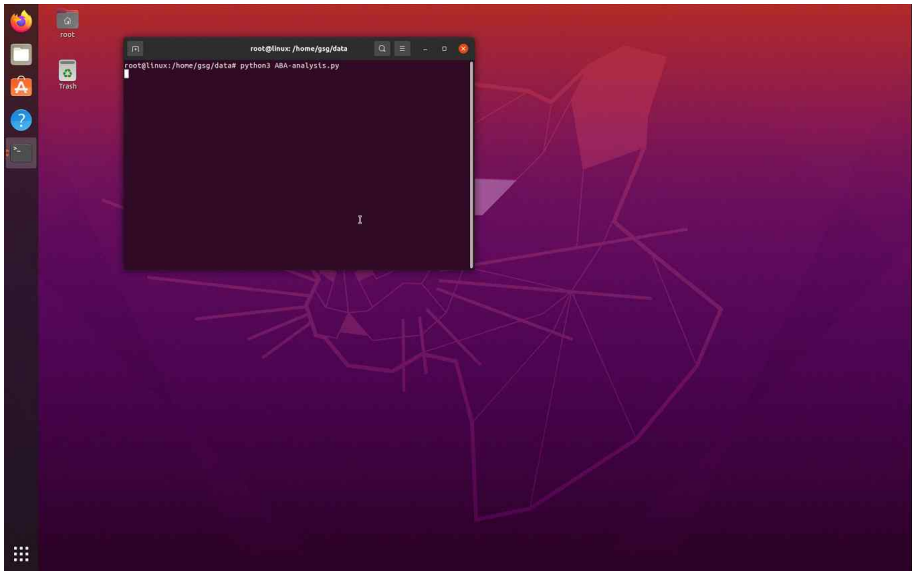
② 서버의 터미널에 cd /home/gsg/data를 입력하여 FTP 폴더로 이동한다.



<그림 2.224> FTP 설치 폴더로 이동된 Terminal 창

③ 프로그램 실행 명령어 python3 ABA-analysis.py를 입력한다.

□ 위 명령어를 입력한 경우 커서가 한줄 아래로 내려가면서 프로그램이 실행되며, 터미널 창을 끄거나 control + c를 입력하는 경우 ABA-analysis 프로그램이 정지함으로, 터미널을 종료하지 않은 상태로 유지하여야 한다.



<그림 2.225> 터미널 상에서 실행된 ABA-analysis.py 프로그램

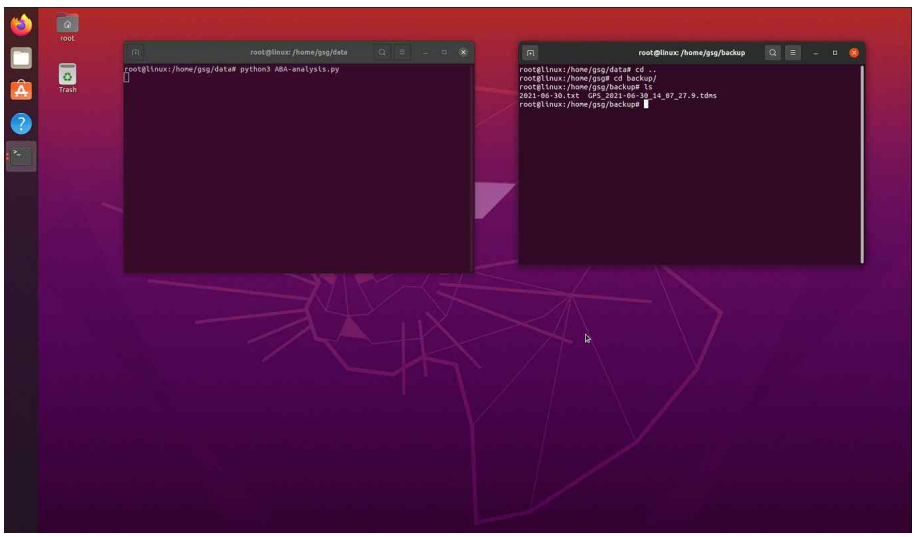
④ 프로그램 동작 테스트를 위해 FTP서버를 통하여 무선진동가속도 데이터와 GPS데이터를 전송한다.

<그림 2.226> FTP를 활용하여 전송된 무선진동가속도데이터와 GPS데이터

⑤ 터미널에서ABA-analysis 프로그램이 전송된 진동가속도데이터(txt파일)과 GPS데이터(tdms)파일을 상위 폴더(/home/gsg/)내의 backup폴더에 원본 데이터가 백업이 되어있는지 확인한다.

□ 새로운 터미널을 열어 아래 명령어들을 순차적으로 입력하면 확인 가능하다.

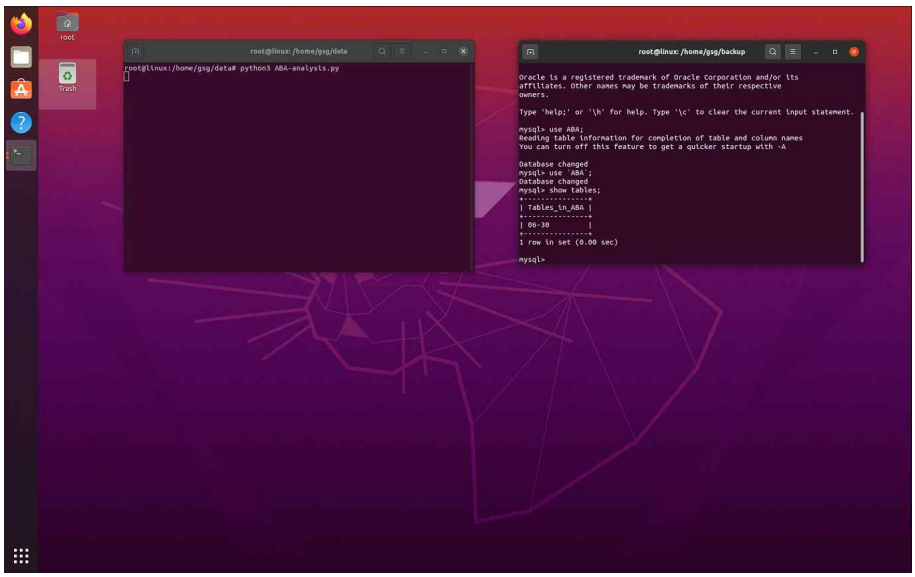
```
cd /home/gsg/backup
ls
```



<그림 2.227> 무선진동가속도데이터 및 GPS 데이터 백업 확인

⑥ 데이터베이스를 조회하여 ABA-analysis 프로그램의 분석결과가 이력정보-DB에 저장되었는지 확인한다.

□ 데이터베이스내 테이블명은 무선가속도계파일(txt파일)의 제목을 기준으로 정의된다.

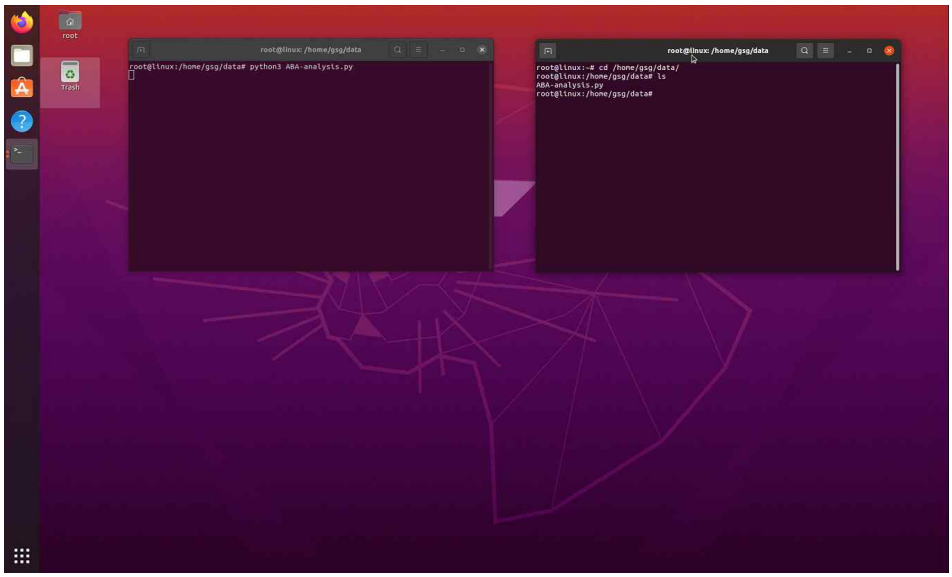


<그림 2.228> 데이터베이스에 저장된 ABA-analysis 프로그램 분석결과

⑦ 터미널에서ABA-analysis 프로그램이 분석 완료된 진동가속도데이터(txt파일)과 GPS데이터(tdms)파일을 삭제하였는지 확인한다.

□ 새로운 터미널을 열어 아래 명령어들을 순차적으로 입력하면 확인 가능하다.

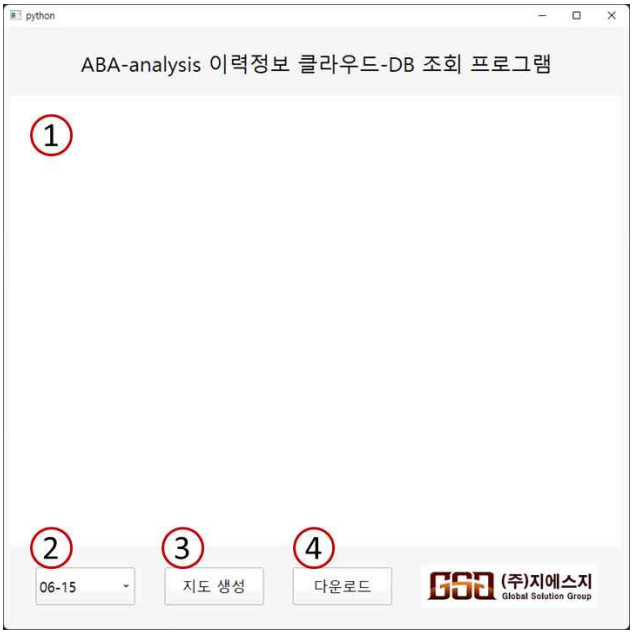
```
cd /home/gsg/data
ls
```



<그림 2.229> 분석 완료 후 FTP 폴더 내 삭제된 진동가속도 및 GPS 데이터

11) ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램

□ Python 기반으로 제작된 ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램은 관계형 데이터베스 관리 시스템(RDBSM)인 Mysql프로그램으로 제작된 이력정보 클라우드-DB의 이상계소 데이터를 조회하여 지도에서 결함 위치를 확인 가능하도록 제작된 프로그램이다. 아래 그림은 이력정보 클라우드-DB의 모습 및 설명을 나타낸다.



<그림 2.230> ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램 초기화면

① 이력정보 클라우드-DB에서 불러온 이상개소 GPS데이터를 기준으로 지도에 표시하여 나타내는 곳이다.

② 이력정보 클라우드-DB에 저장된 테이블의 리스트를 보여주는 Combobox로 특정날자를 선택하여 데이터를 불러올 수 있도록 하는 UI다.

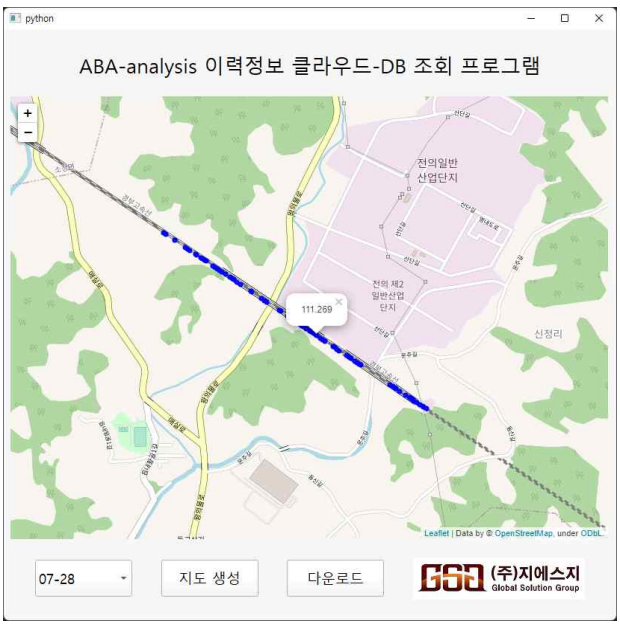
③ ②를 통하여 선택된 날짜의 이상개소 데이터를 불러와 지도에 표출을 요청하는 버튼이다.

④ ②를 통하여 선택된 날짜의 이상개소 데이터를 불러와 CSV파일 형태로 저장을 요청하는 버튼이다.

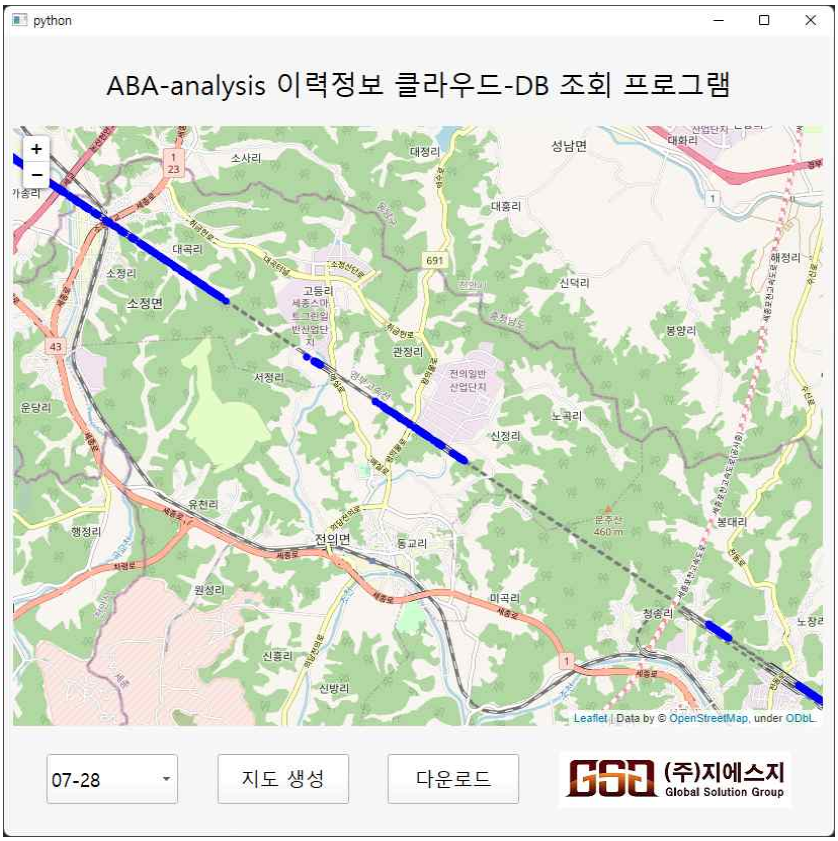
□ 이를 통하여 선로 유지관리 담당자(사용자)는 이력정보 클라우드-DB를 통하여날자 별 이상개소의 위치를 확인 가능하고, 필요한 경우 해당 프로그램을 통하여 이력정보 클라우드-DB에 기록된 결함정보를 CSV 파일로 위도, 경도, KP 정보를 다운로드 할 수 있도록 제작 하였다. 아래는 각 UI에 대한 자세한 내용을 서술한다.

① 지도 표출이 가능한 웹 브라우저

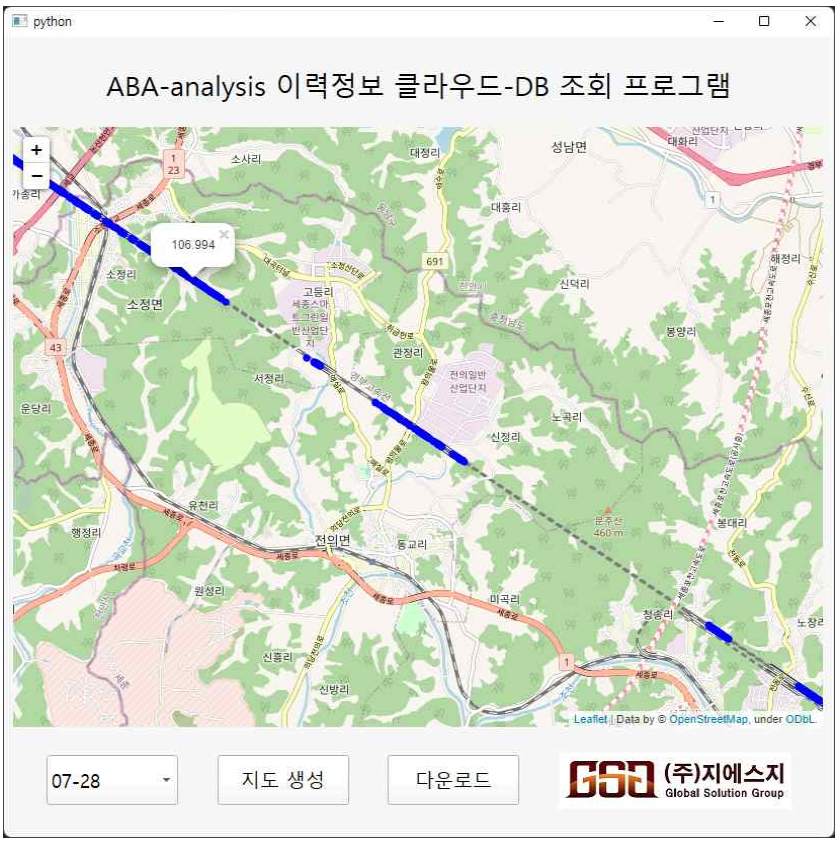
□ 프로그램 내에 구현한 웹 브라우저로 이력정보 클라우드-DB에서 불러온 이상개소 데이터의 위도 및 경도를 확인하여 해당 지점에 표시하고, 표시된 버튼을 누를 경우 반응하여 해당 좌표의 KP 정보를 볼 수 있도록 하였으며, 지도 또한 확대 축소가 가능하도록 만들어졌다.



<그림 2.231> 지도가 구현된 ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램 화면



<그림 2.232> 확대, 축소가 가능한 지도 화면

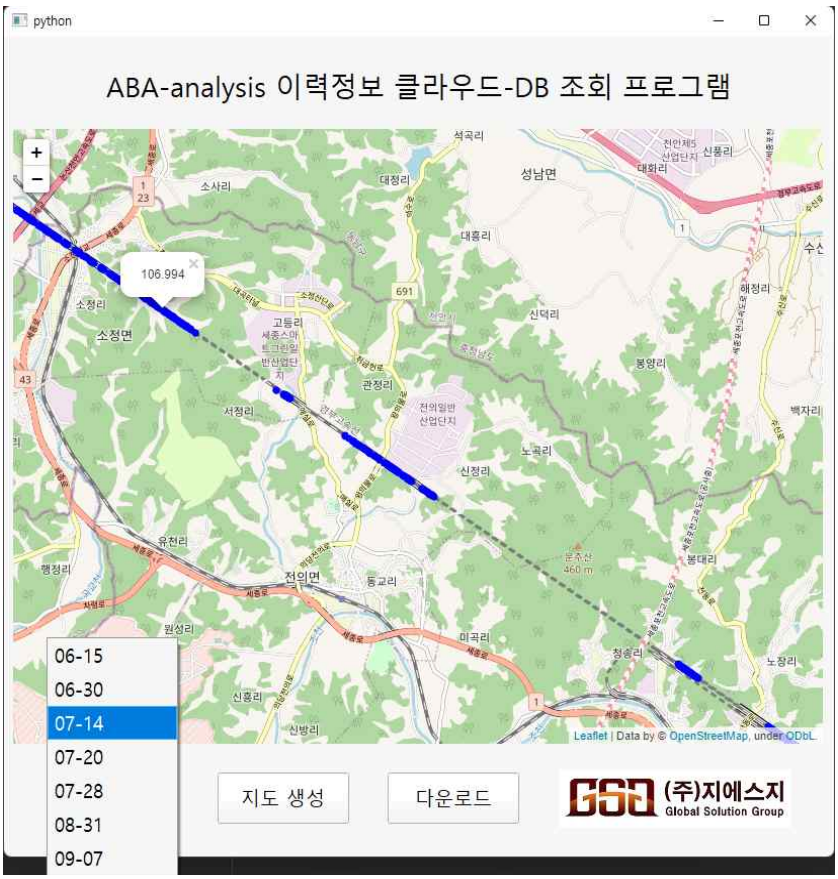


<그림 2.233> 이력정보 선택 시 나타나는 KP정보

② 조회 일자 선택 가능한 Combobox

□ ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB의 테이블 정보를 불러와 자동으로 테이블의 제목(측정일자)을 리스트로 선택 가능한 Combobox 이다.

□ 프로그램을 실행 시 자동으로 ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB에 접속하여 테이블 제목(측정일자)를 불러와 Combobox에 날자 순으로 자동 정렬을 진행함으로 측정일자가 추가되면, 바로 확인이 가능하도록 제작하였다.



<그림 2.234> 클라우드-DB에서 정보를 수신하여 측정일자를 나열해주는 Combobox

□ 아래 사진은 현재 ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB의 테이블 목록이다.

이름	엔진	코멘트	버전	행 형식	유형
06-15	InnoDB		10	Dynamic	Table
06-30	InnoDB		10	Dynamic	Table
07-14	InnoDB		10	Dynamic	Table
07-20	InnoDB		10	Dynamic	Table
07-28	InnoDB		10	Dynamic	Table
08-31	InnoDB		10	Dynamic	Table
09-07	InnoDB		10	Dynamic	Table

<그림 2.235> 클라우드-DB 내의 테이블 목록

③ 지도 생성 버튼

□ ②의 테이블목록 Combobox에서 날짜를 선택 후 지도생성 버튼을 누를 경우, ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB에서 이상개소의 데이터를 수신사여 ①의 위치에 이상개소에 대한 지도가 표시되도록 하는 버튼이다.

④ 이상개소 정보 다운로드 버튼

□ ②의 테이블목록 Combobox에서 날짜를 선택 후 지도생성 버튼을 누를 경우, ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB에서 이상개소의 데이터를 수신하여 ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램이 설치된 위치에 Combobox(날짜)의 텍스트명.CSV의 파일이 생성되도록 하는 버튼이다.

□ 아래 그림은 ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB에서 직접 조회한 이상개소의 위치이며, 우측은 다운로드 버튼을 통하여 내려받은 이상개소의 위치 중 일부이다.

Lattitude	Longitude	KP
37.48670667	126.88032517	29.078
37.48668187	126.880334	29.08
37.48648328	126.88040983	29.103
37.48531215	126.88091067	29.241
37.48421252	126.88138717	29.37
37.48391207	126.88150433	29.405
37.4838875	126.88151467	29.408
37.60116832	126.87044367	29.466
37.60115583	126.87045833	29.468
37.6010162	126.8706215	29.489
37.60100342	126.87063667	29.491
37.60063735	126.87106517	29.547
37.60062388	126.87108083	29.549
37.60044762	126.871286	29.576
37.6004339	126.87130183	29.578
37.60042033	126.87131783	29.58
37.60039293	126.87135	29.584
37.48235412	126.882177	29.588
37.48232963	126.88218767	29.591
37.48223228	126.88223017	29.602
37.48211057	126.882284	29.616
37.60004277	126.87175617	29.637
37.6000286	126.87177283	29.639
37.48160417	126.8825065	29.676
37.48143385	126.88257167	29.696

	A	B	C
1	37.48671	126.8803	29.078
2	37.48668	126.8803	29.08
3	37.48648	126.8804	29.103
4	37.48531	126.8809	29.241
5	37.48421	126.8814	29.37
6	37.48391	126.8815	29.405
7	37.48389	126.8815	29.408
8	37.60117	126.8704	29.466
9	37.60116	126.8705	29.468
10	37.60102	126.8706	29.489
11	37.601	126.8706	29.491
12	37.60064	126.8711	29.547
13	37.60062	126.8711	29.549
14	37.60045	126.8713	29.576
15	37.60043	126.8713	29.578
16	37.60042	126.8713	29.58
17	37.60039	126.8714	29.584
18	37.48235	126.8822	29.588
19	37.48233	126.8822	29.591
20	37.48223	126.8822	29.602
21	37.48211	126.8823	29.616
22	37.60004	126.8718	29.637
23	37.60003	126.8718	29.639

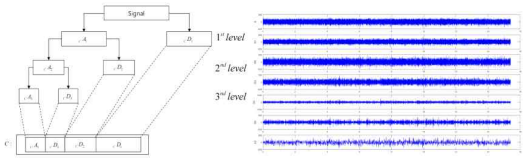
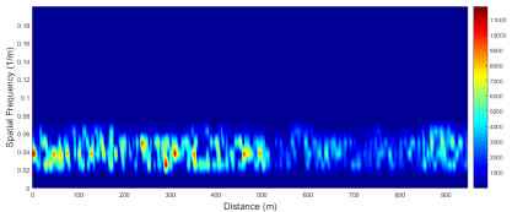
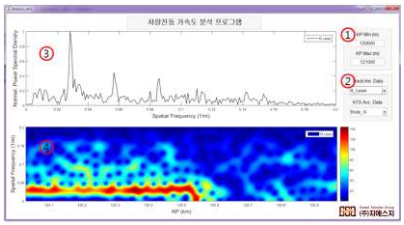
<그림 2.236> 이력정보 클라우드-DB의 데이터(좌)와 프로그램을 통하여 수신한 데이터(우)

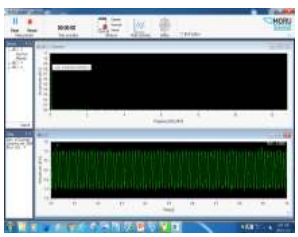
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

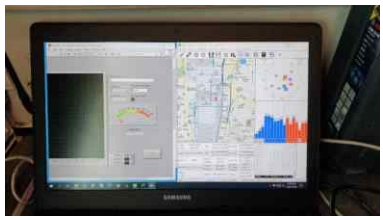
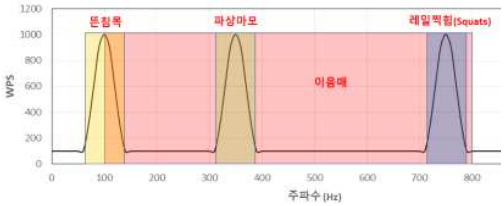
1) 연구수행 결과

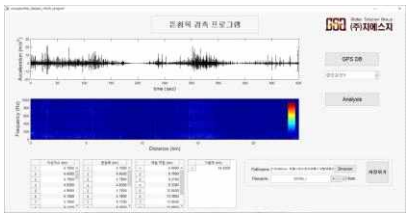
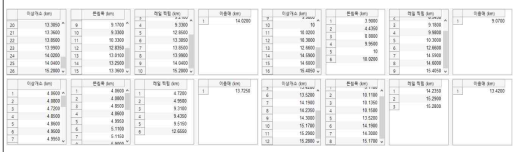
(1) 정성적 연구개발성과

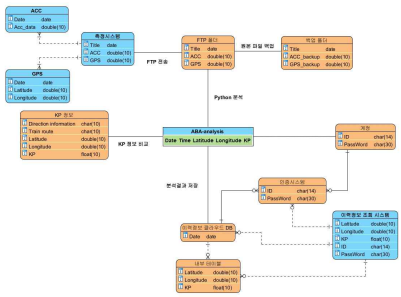
구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2019)	Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 기초 설계개념(안) 제시	현장계측자료 및 궤도결함 유형 자료수집	현장계측자료 수집을 통한 철도 궤도결함 발생 현황 조사	- 중앙선 문수~옹천간 평은교 A1 접속부 궤도결함 발생 구간조사 - 호남고속선 오송~광주송정간 유지관리 계측용역 보고서 수집 - 2017년도 호남고속선 오송-광주송정간 콘크리트궤도 점검용역 보고서 수집 완료 - 레일 중심으로는 레일찍힘(Squats), 스폴링(Spalling), 헤드체크(Head Check), 신축이음매 열화 등으로 유형 도출
			국내 선로검측자료/KTX-36호 궤도점검자료 수집	- KTX 36호 차상가속도계 데이터 수집 - Rogger 1000K 궤도틀림 데이터 수집 완료 - 호남 테스트베드 구간(정읍~익산)은 대상자료 확보 - 현재 지상모니터링 3개소(표준성토/연약지반/접속부)에서 장기측정데이터 확보 완료
		철도 차상가속도계 운영상의 사용자 요구사항 도출	현장유지보수 담당자 및 운영자 대상 선로결함 유지관리 현황 도출	- 현 궤도 유지보수 체계 확인 - 선로점검, 선로보수, 안전진단 등으로 이루어진 보수 체계 현황 조사 완료
			사용자 요구사항 및 설문 조사를 통한 주요 궤도결함 도출	- 현장계측자료를 통해 수집된 레일 결함 유형 협의 - 궤도결함 진단 중 진단 시 중요 결함 도출(신축이음매, 레일 찍힘 등)
			시범구간(Testbed) 선정을 위한 업무절차 수행(정읍 ~익산, 대전~대구 협의 예정)	- 대전~부산 구간 경부고속선 구간을 대상으로 테스트베드 설정 (한국철도공사 자체과제와 연계하여 테스트베스 운영 계획 예정) - 정읍~익산간 호남고속선의 경우, 결함 발생 미비
		ABA-analysis 핵심요구사항 정립	현장계측자료 및 기존 검측기술을 고려한 계측항목 도출	- 레일 중심으로는 레일찍힘(Squats), 스폴링(Spalling), 헤드체크(Head Check), 신축이음매 열화 적용
			사용자 요구사항에서 도출된 주요 궤도결함 모니터링 방안 적용	- 각 개발품별, 기술성, 유지관리성, 내구성, 경제성 순의 우선순위 제시

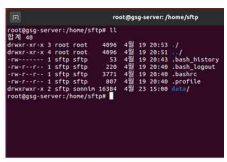
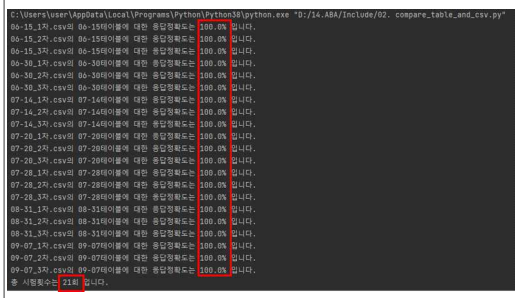
구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
		공간주파수/Wavelet 기법 활용 궤도결함 분석로직 개발	공간주파수/Wavelet 기법 활용 궤도결함 분석로직 개발	- 이산웨이블릿 변환을 통한 궤도 결함 감지 로직 제시 - 기존 궤도고저틀림 분석 - 이산웨이블릿 변환 기법을 통한 결함 발생 가능 여부 확인   <정량적 성과 게재 논문 1편> <정량적 성과 특허출원 1건>
		matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 초기모형 설계(안) 도출	matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 초기모형 설계(안) 도출	- 공간주파수 기반의 PSD 모니터링 그래프 적용 - Wavelet 기법 적용 공간주파수 기반의 PSD 모니터링 그래프 적용  <정량적 성과 소프트웨어 등록 1편>
		추가수행 (측정데이터량/분석방법등 개략분석을 위해 사전연구 수행)	Cloud DB 구축 및 데이터 송·수신 방안 협의	- 대차 무선가속도계 취득데이터 AP를 통하여 PC로 전송, 대차+차상가속도계 데이터, 데이터 취득 위치정보 등을 상용망(LTE, egg)을 활용하여 Cloud DB로 전송 방안 제시 - Cloud DB 예비구축 및 전송 테스트 완료

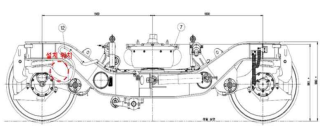
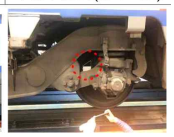
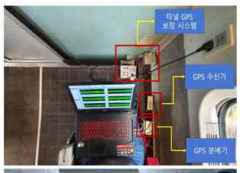
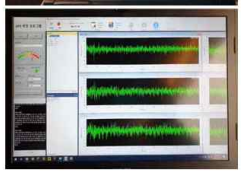
구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
	무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-P TMS) 기초 설계개념(안) 제시	검측차량 적용기술 검토 보고서	철도 궤도결함(레일탐상/ 궤도검측차 등) 측정차량 운영현황 조사	- 선로점검은 궤도검측차, 레일탐상차, 선로점검차, 궤도선형 검측기등을 적용 중 - 궤도결함 검측챠량 주행속도 및 주요 사양 검토 완료
		실내외 설치위치(대차) 도면 검토	KTX-36호 차상가속도계 취득 장비 운영현황 파악 및 기술조사	- KTX-36호 차량의 경우, 실내외 대차, 차축에 가속도계 설치 - 실제 취득데이터를 미활용 중 - 주행안정성 허용기준에 기반하여 해당 데이터 발생 시 모바일로 현장 인력에게 전송 기능만 보유
		무선진동가속도 성능검증	차축/대차 무선진동가속도 포터블 측정장비 초기모형 설계(WA-PMS) 및 시작품 제작	- 공인기관 교정성적서(KOLAS)를 통한 성능확인(교정성적서 외 시험성적서 발행을 통한 성능 검증은 2차년도에 진행) <정량적 성과 시제품 1건>
		무선 차상진동가속도 측정시스템 정확성 검증	무선 차상진동가속도 측정 및 통합 전송모듈 초기모형 설계(WA-TMS) 및 시작품 제작	- 공인기관 시험보고서를 통한 성능확인(KOLAS 시험 평가 항목이 아님)  <정량적 성과 시제품 1건>

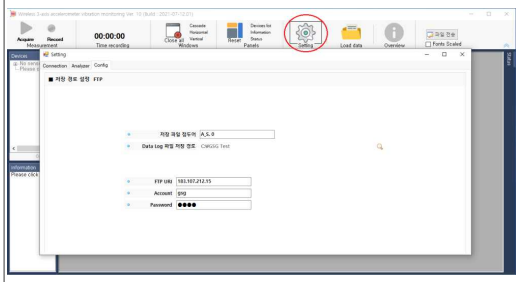
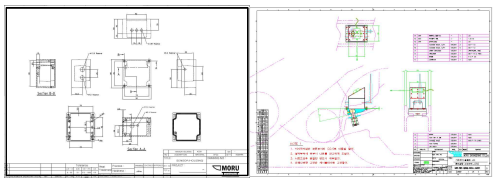
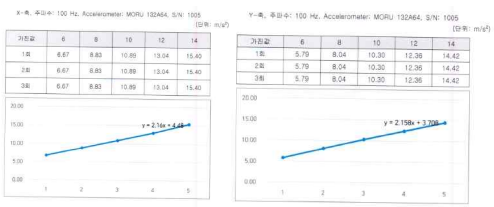
구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2020)	Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 파일럿 모형 제작	대상구간 주파수 대역별 궤도결함 유형분석	시범구간 내 측정데이터 분석 및 이상개소 정확도 확인	- 오류동~부평 구간 상행 및 하행선에 대한 궤도결함 발생 구간 조사 - 궤도검측차 - EM140K를 활용하여 차상 가속도를 측정 궤도결함 데이터 분석 및 이상개소 정확도 확인  - 궤도 결함 발생 조사 데이터와 시스템에서 측정한 궤도결함 개소 비교 결과 94.7%의 정확도를 나타냄 <한국기계연구원 공인시험성적서 발급>
			주파수 대역별 궤도결함 유형 차트 개발	- 경인선 구간(약 15km)을 대표 구간으로 설정하여 육안검사를 실시 - 시범구간 내 측정데이터 분석 육안검사 결과와 측정데이터 분석결과와 비교, 주파수 대역별 궤도결함 유형 차트 개발 
			1차년도 기본모형	- 한국철도공사의 유지보수 현장인력들의

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
			도출결과 요구사항 검토 보고서	의견을 수립하여 AHP 통한 사용자 요구사항 분석을 실시하였음 - 선로 유지관리 우선순위 측면, 철도 선로 현장 유지관리 과정에서 육안점검 비율이 높은 결함, 철도 선로 뜬침목 다수 발생 구조물에 대한 설문을 실시 결과를 도출하였음
		matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 파일럿 모형 제작	matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 정확도	- 오류동~부평 구간 상행 및 하행선에 대한 궤도결함 발생 구간 조사  - Matlab기반 궤도결함 측정위치 분석 프로그램 정확도 확인  - 결함유형 도출 결과 정확도 94.4% 확보
	무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) 파일럿 모형 제작	차축/대차 무선진동가속도 포터블 측정장비 파일럿 모형 제작 (WA-PMS)	무선진동가속도 성능검증	- 차축/대차용 무선진동가속도 모형 제작 <공인기관 시험성적서 발급>

<table>
<tr><th>구분
(연도/단계)</th><th>세부 과제명</th><th>세부 연구 목표</th><th>연구개발 수행 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="5">3차 연도
(2021)</td><td rowspan="5">Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작</td><td rowspan="2">궤도결함 유형별 위험도 평가로직 개발</td><td>1, 2차년도 사용자 요구사항 검토 보고서</td><td>- 철도 선로 유지관리 측면에서 우선순위 제시
- 철도 선로에서 발생하는 뜬침목(Hanging Sleeper)이 다수 발생하는 원인을 이음매, 접속슬래브, 노반침하구간, 레일 마모구간을 변수로 선정하여 분석 실시</td></tr>
<tr><td>위험평가 로직 개발여부</td><td>- 1, 2차년도 요구사항 결과를 바탕으로 한 결함 유형별 위험도 제시 완료
<table><tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="5">도상 결함 발생 측면</th></tr><tr><th>레일마모</th><th>궤도틀림</th><th>뜬침목</th><th>이음매 및 볼트풀림</th><th>용접부 열화</th></tr><tr><td rowspan="5">하부 노반 강성 측면</td><td>레일마모</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>궤도틀림</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>뜬침목</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td>이음매 열화 및 볼트 풀림</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>용접부 열화</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr></table></td></tr>
<tr><td rowspan="2">matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 파일럿 모형 제작</td><td>시범대상구간 이력정보 DB 스키마 설계</td><td>- 데이터 측정 및 전송, 가공, 저장 등 주요 데이터 간 연계성 제시
  </td></tr>
<tr><td>ABA-analysis 이력관리용 클라우드-DB 구축</td><td>- 취득 데이터 및 이력 관리용 Cloud-DB 구축 완료

주관기관이 보유한 이력 DB 서버
 
SFTP(파일전송시스템) 접속화면</td></tr>
<tr><td>시범대상구간 이력정보 클라우드-DB 구축 검증</td><td>- 공인시험기관을 통한 클라우드-DB 검증 실시 및 서버 응답성 90%이상 확보
  </td></tr>
</table>

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
		클라우드-DB기반 ABA-analysis 분석프로그램	matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 검증	- 고속선 대상 운영차량 내 성과품 설치 및 현차시험 수행(총 10회 시험 완료)  무선가속도계 설치 도면 무선가속도계(센서+지그)  무선가속도계 설치 위치   - 공인기관 입회 정확도 검증 완료 (공인기관 시험성적서 발급) ○ 측정 총 이상개소 : 60 개소 (현장확인 개소와 프로그램 검측 개소의 합) ○ 매칭 이상개소 : 54 개소 (현장확인과 프로그램 검측 결과가 일치된 개소) ○ 실 이상개소 : 58 개소 (현장확인 개소) ○ 검측 이상개소 : 56 개소 (프로그램 검측 개소) ○ 프로그램 측정 정확도 ▪ 매칭 이상개소 / 측정 총 이상개소 × 100 = 54 / 60 × 100 = 90.0% ▪ 매칭 이상개소 / 실 이상개소 × 100 = 54 / 58 × 100 = 93.1% ▪ 매칭 이상개소 / 검측 이상개소 × 100 = 54 / 56 × 100 = 96.4% ※ 공동연구기관과 협업을 통해 검증 수행

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
			matlab기반 ABA-analysis 분석프로그램 운영매뉴얼 제작	- 운영매뉴얼 개발 완료 <매뉴얼 참조>
	무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 (WA-PTMS) 신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작	LTE(무선통신 중계기(Egg) 활용)기반 실시간 전송모듈 제작	데이터 전송률 측정방법 개발	- 진동계측모듈 휴대용 장치 제작 완료 - 진동계측용 모니터링 장치 제작 완료 
		무선 차상진동차도 측정 및 통합 전송모듈 파일럿 모형제작 (WA-TMS)	무선 차상진동가속도 측정시스템 정확성 검증	- WA-PMS 무선진동센서 설계 및 제작  - 선형성 관련 공인기관 성적서 발급 
		무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 개발완료 (WA-PTMS)	무선진동가속도 측정장비 현장검증 데이터 전송모듈 현장검증	- 클라우드-DB기반 ABA-analysis 분석프로그램 검증과 동시에 시행
			무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템 운영 매뉴얼 제작	- 클라우드-DB기반 ABA-analysis 분석프로그램 매뉴얼과 통합하여 제작검증과 동시에 시행

(2) 정량적 연구개발성과

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	열차 축가속도의 이산웨이블릿 변환을 통한 궤도틀림 특성 분석	한국 철도학회 논문집	조호진	Vol. 23 No. 2	대한 민국	한국 철도학회	비SCIE	2020. 02.	1738 -6225	100%
2	열차 축가속도 주파수 분석을 통한 레일 스퀴트 특성 연구	한국 철도학회 논문집	조호진	Vol. 24 No. 2	대한 민국	한국 철도학회	비SCIE	2021.02	1738 -6225	100%
3	Study of Rail Squat Characteristics through Analysis of Train Axle Box Acceleration Frequency	Applied sciences	Hojin Cho	Vol. 11 No. 15	스위스	MDPI	SCIE	2021. 07	2076 -3417	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2020 년도 한국철도학회 춘계학술대회	궤도틀림 및 열차 축가속도 데이터를 활용한 궤도 상태평가 연구	조호진	2020. 7. 7. ~ 2020. 7. 8.	온라인 비대면 발표	대한민국
2	2020년도 한국철도학회 추계학술대회	궤도 검측차량의 차축가속도 분석을 통한 궤도 상태평가 기술 연구	조호진	2020. 11. 12. ~ 2020. 11. 13	제주 해비치 호텔 & 리조트	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2019	ICT기술을 활용한 350km/h급 궤도결함 고속진단 및 실시간 분석 시스템 개발 (1차년도 보고서)	2019	-
2	2020	주파수 대역별 궤도결함유형 차트 개발	2020	-
3	2020	기본모형 요구사항 도출보고서 (철도 축상가속도계 운영상의 사용자 요구사항 도출)	2020	-
4	2021	이력관리용 클라우드 DB 스키마 설계	2021	-
5	2021	무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함고속 측정 시스템 및 ABA-analysis 분석프로그램 운영매뉴얼	2021	-
6	2021	데이터 전송률 측정방법 자체시험 성적서	2021	-

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	국내출원/ 신규	무선 가속도계를 이용한 이동형 레일/궤도 결함 실시간 분석 및 모니터링 시스템	대한민국	주식회사 지에스지	2019. 11.07	1020190 141393	주식회사 지에스지	2020. 05.25	10211689	100	O

ㅇ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	이산 웨이블릿을 이용한 열차 진동가속도 주파수 분석 프로그램	2019년 10월 30일	주식회사 지에스지	2019년 11월 20일	C-2019-034271	주식회사 지에스지	100%
2	궤도 이상개소 측정위치 분석 프로그램	2020년 10월 01일	주식회사 지에스지	2020년 10월 01일	C-2020-039605	주식회사 지에스지	100%
3	ABA-analysis(에이비에이-아날리시스) 분석프로그램	2021년 05월 07일	주식회사 지에스지	2021년 11월 25일	C-2021-050604	주식회사 지에스지	100%
4	ABA-analysis 이력관리용 클라우드-DB	2021년 10월 11일	주식회사 지에스지	등록 심사 중		주식회사 지에스지	100%

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

ㅇ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

ㅇ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	무선가속도센서	2019년 10월	모루기술 주식회사	모루기술 주식회사 사무실	무선 진동가속도 측정	5개월	주식회사 시스피아	2020년 10월 22일
2	무선가속도 측정 프로그램	2019년 10월	모루기술 주식회사	모루기술 주식회사 사무실	무선 진동가속도 측정	5개월	주식회사 시스피아	2019년 11월 13일
3	ABA-analysis 분석프로그램	2020년 9월	주식회사 지에스지	주식회사 지에스지 노트북	데이터 측정 및 분석	4개월	한국 기계연구원	2020년 10월 26일
4	무선가속도센서	2020년 10월	모루기술 주식회사	모루기술 주식회사 사무실	무선 진동가속도 측정	5개월	주식회사 시스피아	2020년 11월 11일
5	ABA-analysis 이력관리용 클라우드-DB	2021년 10월	주식회사 지에스지	주식회사 지에스지 사무실	데이터 저장 및 배포	5개월	주식회사 와이즈스톤	2021년 12월 20일
6	무선가속도센서	2021년 11월	모루기술 주식회사	모루기술 주식회사 사무실	무선 진동가속도 측정	5개월	주식회사 시스피아	2021년 11월 15일
7	ABA-analysis 이력정보 클라우드-DB 조회 프로그램	2021년 10월	주식회사 지에스지	주식회사 지에스지 사무실	데이터 확인 및 저장	9개월	한국 기계연구원	2021년 12월 15일
8	무선 진동측정 및 통합 전송모듈	2021년 3월	모루기술 주식회사	모루기술 주식회사 노트북	무선 진동가속도 측정	3개월	한국 기계연구원	2021년 12월 15일
9	이동형 철도 궤도결함 측정 시스템 운영 매뉴얼	2021년 3월	주식회사 지에스지	주식회사 지에스지 사무실	궤도결함 측정	3개월		

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)			합계(명)
			2019년	2020	2021년	
1	국토교통기술촉진연구사업	주식회사 지에스지	1	0	1	2
합계			1	0	1	2

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	4
		생산인력	0
	개발 후	연구인력	5
		생산인력	0

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

□ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설・장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○
–

○
–

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○
–

○
–

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
1. 정성적 성과 1차년도 ○ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 기초 설계개념(안) 제시 ○ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 2차년도 ○ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 파일럿 모형 ○ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 파일럿 모형 3차년도 ○ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA-analysis) 신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작 ○ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작 2. 정량적 성과 ○ 게재 논문 3개 ○ 특허 출원 1개, 등록 1개 ○ 시제품 9건 ○ 소프트웨어 등록 4건	1. 정성적 성과 1차년도 ○ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 기초 설계개념(안) 제시 ○ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 2차년도 ○ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템 (ABA-analysis) 파일럿 모형 ○ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 파일럿 모형 3차년도 ○ Cloud DB 기반 철도 궤도결함 실시간 모니터링 및 분석 시스템(ABA-analysis) 신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작 ○ 무선 가속도계를 이용한 이동형 철도 궤도결함 고속 측정 시스템(WA-PTMS) 신뢰성 검증 및 매뉴얼 제작 2. 정량적 성과 ○ 게재 논문 3개 ○ 특허 출원 1개, 등록 1개 ○ 시제품 9건 ○ 소프트웨어 등록 4건	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○
-

○
-

2) 자체 보완활동

○
-

○
-

3) 연구개발 과정의 성실성

○
-

○
-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

□ 궤도검측차량/트랙마스터를 이용하여 현장에서 궤도틀림 및 결함을 측정함에 따라 발생하는 선로 유지관리 및 상태평가 비용 및 인력 증가를 최소화하고, 측정시간(야간)의 제약 없이 상시 모니터링이 가능하다.

□ 선로 유지관리 시 정정보수(사후보수)체계 적용에 따른 적정 시기 유지관리 의사결정이 불가능한 부분을 현행 운행되는 상용차량(일반/고속차량 구분 없이)을 이용한 상시 모니터링을 통해 적정 시기에 데이터 확인 및 유지보수 시행이 가능하다.

□ KTX 개통 이후 궤도분야의 유지보수인 레일관리, 자갈관리 및 선형관리 비용이 증가하였으며, 향후 고속화가 진행될수록 궤도의 안전관리 및 유지관리의 필요성이 증가될 것으로 판단된다.

- 국외 도입 시 많은 비용이 소모되는 레일결함을 검측하는 시스템의 구축비용 절감

□ 개발되는 기술의 경우, 미래신성장동력 및 국제적으로 수요가 증가하는 ICT기술을 활용한 시설물 유지관리 기술로 자체기술력 확보 및 국내 시장 판매 실적 등을 바탕으로 해외시장 진출 가능하다.

- 검측차량의 장애 및 고장 등으로 인한 과다한 수리비용 지출 방지 및 검측중단 사례 방지
- 2015년 코레일 선로점검차 고장 → 6개월 운행중단 , 수리비 10억 지출
- 장애 조기 진단 및 선제적 조치에 따른 열차 지연 사고 방지(레일절손 지연사고 발생의 경우, 열차 지연에 따른 승차권 환불 금액)

○ 2017년 미래창조과학부의 주요 정책방향 수립 시 2개의 중요한 메가트랜드(과학기술혁신과 창업전쟁, 4차 산업혁명)중에 선정된 ICT기술을 활용하여 기술개발하고, 이를 통한 미래원천기술을 선제적으로 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 레일절손 및 상시 모니터링 기술개발로 적정 시기의 선로유지보수 및 예방 보수를 통한 양호한 레일상태 관리가 가능하며, 철도차량 운행의 주행안전성 및 승차감 확보에 기여할 것으로 보인다.

○ 일반・고속・도시철도 등 철도운영기관 기술 적용을 통한 철도 시설물 관리에 대한 대국민 신뢰도 향상 기대된다.

<그림 5.1> 본 연구개발을 통해 발생할 수 있는 기대효과

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

1) 연구개발성과의 활용분야

가. 현장계측 개소 및 방법

□ 현재, 철도 궤도 유지관리 운영기관인 한국철도공사에는 궤도상태를 계측하는 다양한 검측차량을 구축하여 운영하고 있으며, 상업운행 중인 고속열차에(KTX-36)서 선로진동 상태를 모니터링하고 결함 발생 시 유지보수자에게 통보(모바일)하는 시스템 구축 및 활용하고 있다.

- <u>한국철도공사에서 운행중인 검측챠량과 연계하여 미비된 검측 항목의 확장</u>이 가능함

검사방법	검사내용
궤도검측차	▪ 궤도틀림검사, 레일단면측정, ▪ 전차선 선형 검측, 전차선 비디오 촬영, 통신, 신호시설 검측
선로점검차	▪ 레일두부표면검사, 침목 및 체결구검사 ▪ 도상자갈검사, 궤도모니터링
레일탐상차	▪ 초음파에 의한 레일내부 결함 탐상
가속도 측정장비	▪ KTX차량에 탑재 검측 ▪ 차량 및 대차 가속도 측정, 전차선 모니터링
궤도결함 고속진단 및 실시간 시스템	▪ 레일찍힘(Squrt) 등 레일표면 결함 ▪ 이음매 볼트 풀림(Bolt Tightness) 등 결함 ▪ 뜬침목 모니터링

□ 본 연구를 통해 개발하는「ICT기술을 활용한 350km/h급 궤도결함 고속 진단 및 실시간 분석 시스템」은 상업중인 고속열차 내에 설치(1인 또는 2인이 구비하여 이동하면서 계측 가능)하여, 신설구간 및 신규차량의 차량/궤도 주행안정성 평가 시 주행구간/적용차량의 제약 없이 계측이 가능하다.

- 이동거리(KP)에 따른 진동가속도 데이터의 세부분석을 통해 궤도결함이 발생한 위치를 파악하고, 결함의 유형을 실시간으로 파악할 수 있어, 현장 유지관리 인력에게 실질적인 결함정보를 제공함으로서 즉각적인 궤도 유지관리의 의사결정이 가능할 것으로 판단된다.

- 한국철도시설공단 궤도구조성능절차 기반의 <u>신규 차량/선로 주행안정성 평가 시 활용 가능</u>

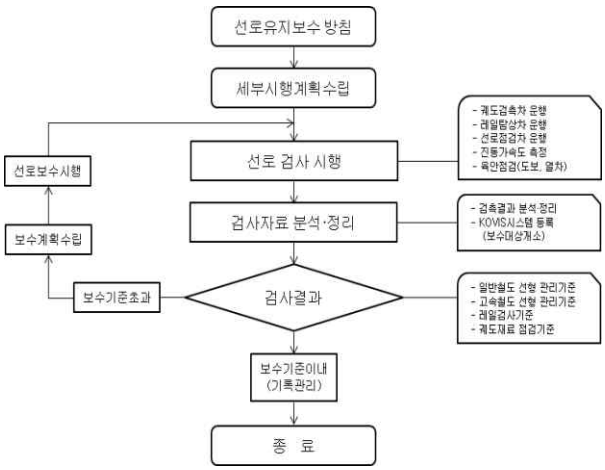
항 목			기 호	단위	합격기준	차단주파수(Hz)
차상 시험(a)	횡압		Y	kN	N.A	≥40
	유도력		$(\Sigma Y)_{2m}$(b)	kN	$10+P_0/3$(c)	≥20
	윤중		Q	kN	N.A	≥20
	탈선비(R≥250m)		$(Y/Q)_{2m}$	-	0.8	≥20
	대차의 횡방향 가속도		$\ddot{y}_t$	m/sec²	$12-M_b/5$(d)	10
	차체의 횡방향 가속도		$\ddot{y}_b$	m/sec²	3(e)	6
	차체의 수직방향 가속도		$\ddot{z}_b$	m/sec²	3(e)	4
지상시험	횡압		Y	kN	40	
	윤중	최대치	Q	kN	200	
		최소치			35	
	탈선비		Y/Q	-	0.8	
	레일 수직변위(f)		y_r	-	분기기 위치별 급격한 변화 없을 것 (설계값±25%)	
	레일 응력(전진폭)		σ_r	MPa	130	

<그림 6.1> 궤도의 주행안전성에 관한 운행선 성능시험 항목 및 기준

- 남북철도 및 유라시아 철도 구축 시 신규 궤도부설구간, 신규차량의 주행안정성 평가 시 필수적으로 본 연구를 통해 제시되는 장비를 적용한 신뢰성 검토가 선행되어야 함.(유지관리 담당기관 현장계측 용역 발주)

<그림 6.2> 남북철도 구축 및 유라시라 철도 구축 예시

□ 현재의 철도궤도 유지관리 의사결정 프로세스는 아래 그림과 같이 선로유지관리지침에 따른 선로검사(궤도검측차/레일탐상차/선로점검차 등 운행, 진동가속도 측정, 육안점검) 후 보수기준을 초과한 구간에 대한 보수를 시행하는 프로세스로 구성되어 있다.



<그림 6.3> 철도 선로유지보수 의사결정 프로세스(선로유지관리지침, 한국철도시설공단)

□ 한국철도공사 궤도 유지관리 이력관리 시스템인은 작업오더 위주로 구성, 전체 시설현황에 대한 이력 파악의 어려움으로 시설물 관리에 한계점을 보이고 있어 DB형태로 이력관리가 필요함.

- 궤도관리시스템(KTMSYS)과의 연계를 통해 궤도틀림 상태의 면밀한 분석 및 작업결과 피드백 등 정밀하고 과학적인 선로관리체계 구축을 위한 시스템 구축이 가능할 것임

<그림 6.4> 궤도관리시스템(KTMSYS)과의 연계 철도 궤도 유지관리 이력정보 통합 관리 가능

2) 연구개발성과의 활용방안

가. 수요처 대상 시범운영 계획 수립

□ 현재, 철도 궤도 유지관리 운영기관인 한국철도공사 대상으로 본 연구 성과품에 대한 적용성 평가 예정

□ <u>6개월간의 시범운용을 통한 신뢰성 확대 및 기술 고도화 예정, 기술 사업화 계획 수립 완료</u>

대한민국의 내일 국민의 코레일

KORAIL 한국철도

한국철도공사 연구원

수신자 수신자참조
(경유)
제목 **뜬침목 검측시스템 시범운용 관련 회의 결과 알림**

1. 기술연구처-2251(`21.12.23.)호 관련입니다.

2. 자체연구과제 『첨단검측장비를 이용한 뜬 침목 구간 검측시스템 개발 연구』 과제의 연구개발품 시범 운용을 위한 기술회의 결과를 붙임과 같이 송부합니다.

붙임 회의록 1부. 끝.

연구원장

수신자 시설기술단장(선로관리처장), 한국철도공사 시설장비사무소장, (주)지에스지

보임연구원 유영준 수석연구원 양재경 기술연구처장 01/03 윤임수

협조자

시행 기술연구처-2387 (2022. 1. 3.) 접수 ( )

우 34618 대전광역시 동구 중앙로 240 (한국철도공사) / http://www.korail.com
전화 042-615-4707 /전송 02-361-8542 / yyj8708050@korail.com / 비공개(5)

국토교통기술촉진연구사업
ICT기술을 활용한 350km/h급 궤도결함 고속 진단 및 실시간 분석 시스템 개발

뜬 침목 검측시스템 시범운용 관련 회의결과

연구원 기술연구처('21.12.31.)

□ **목 적**
- 연구개발품 뜬 침목 검측시스템의 시범운용을 위한 인터페이스 검토, 시범 운용차량 결정, 검측 및 분석 주기 검토 등

□ **회의개요**
- **(일 시)** '21.12.28.(화) 14:00 ~ 15:00
- **(장 소)** 한국철도 2층 회의실(코스모스실)
- **(참 석)** 한국철도 시설기술단 선로관리처, 연구원, ㈜지에스지

□ **주요내용**
- 연구개발품 시범운용을 위한 설치 위치 검토
  - (DAQ) 서버랙 내 설치, (GPS) 검측실 전방 유리창 설치
- 시범운용 후 개발품 확대 적용을 위한 시범운용 차량 변경
  - (기존) 궤도검측차 ⇒ (변경) 선로점검차
  - 시범운용 기간 내 선로점검차 차량특성 분석 진행, 데이터 취득 및 분석
- 뜬 침목 검측주기 검토
  - 전 구간 1회 이상 운용 시 신뢰성 확보 가능
  - 1일 운용 후 취득되는 데이터 용량은 약 1GB 내외, 스토리지량 검토
- 수도권 전동차 구간(50km/h이하) 구간의 뜬 침목 데이터 분석
  - 저속 운행구간 데이터 분석을 통한 개발품 적용 가능성 검토

□ **향후계획**
- 시설장비사무소 협조요청(시범운용 차량변경, 데이터 취득 등)
- 시범운용 대상차량(선로점검차) 선정 및 실사 (1月 中)
- 프로그램 사용 매뉴얼 공유 및 교육실시 (1月 中)

나. 개발국 지원사업(ODA)을 통한 기술 소개 및 수출 방안 수립

□ 한국철도공사와 본 연구 주관기관에서 공동으로 추진 중인 개발 지원사업을 통해, 낙후된 철도 선로에 대한 전방위적 검측 및 유지관리 운영 프로세싱 전수 예정

< 별첨 >

별첨 자료
1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '국토교통기술촉진연구사업 기술 개발' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.