제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "3차원 위치인식 및 무선통신 통합기술 활용한 친환경 지하구조물 현장지원시스템 개발“ 과제 최종보고서로 제출합니다.

2015. 2. .

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원
주관연구책임자 : 장용구
연 구 원 : 최현상
" : 이승원
" : 전홍수
" : 정미나
" : 오창균
공동연구기관명 : (주)텔릿와이어리스솔루션즈
공동연구책임자 : 신주현
연 구 원 : 김현수
" : 도승복
" : 나경환
" : 최현영
" : 이윤미
" : 최종준
공동연구기관명 : 두산건설(주)
공동연구책임자 : 이보형
연 구 원 : 박희곤
" : 윤창연
" : 박영미
공동연구기관명 : 예신정보기슐
공동연구책임자 : 곽은영
연 구 원 : 김한승
" : 김보라
" : 오수란
" : 이현진

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>12첨단도시01</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>3차년도</td><td>단 계 구 분</td><td>3차년도/
3차년도</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="5">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">3차원 위치인식 및 무선통신 통합기술을 활용한 친환경 지하구조물 건설현장지원시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="4">단위과제명</td><td colspan="4">지하구조물 건설현장지원시스템 최적화 구축</td></tr>
<tr><td colspan="4">작업자 및 이동차량 단말기 성능 및 인증프로세스 구축</td></tr>
<tr><td colspan="4">지하구조물 건설현장지원시스템 현장 운영 및 개선</td></tr>
<tr><td colspan="4">현장서버시스템 및 관제시스템 성능 및 인증프로세스 구축</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>장용구</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 62명
내부 : 62명
외부 : 명</td><td>총
연
구
비</td><td>정부 : 644,000천원
기업 : 214,667 천원
계 : 858,667 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원
ICT융합연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">텔릿와이어리스솔루션즈
두산건설
예신정보기술</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>315</td></tr>
<tr><td colspan="6">지하구조물 시공시 건설시공의 열악한 환경에 최적화된 MEMS기반의 VI-GNSS(Voice Integrated - Global Navigation Satellite System) 작업자 지원 시스템 및 유비쿼터스 기술 기반의 통합 관제시스템 개발을 통한 지하구조물 건설 현장지원시스템 구축으로 지하구조물 건설현장의 체계적인 안전관리를 도모하고 안전사고에 대한 예방 및 대응체계를 구축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">지하구조물, 작업자 및 이동차량 단말기 현장서버시스템, 관제시스템</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Underground Structure, Worker and Vehicle Terminal, Field Server System, Control System</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제목

「3차원 위치인식 및 무선통신 통합기술을 활용한 친환경 지하구조물 건설현장지원시스템 개발」

Ⅱ. 연구개발과제 개요

□ 연구개발의 목적

○ 본 연구개발 사업에서는 지하구조물 시공 시 건설시공의 열악한 환경에 적합한 MEMS기반의 VI-GNSS(Voice Integrated - Global Navigation Satellite System) 작업자 지원시스템과 GIS 기술 기반의 통합 관제시스템 개발을 통한 지하구조물 건설 현장지원시스템을 구축을 통하여 지하구조물 건설현장의 체계적인 관리를 도모하고 응급상황에 대한 예방 및 대응체계를 구축하고자 함

□ 연구개발의 필요성

○ 건설현장에서는 체계적인 현장관리 및 안전관리를 위하여 다양한 기술을 활용한 건설현장 관리체계의 구축이 늘어나고 있는 추세임

○ 기존 건설 현장의 작업자는 특별한 시스템 없이 작업지시자의 육성이나 단방향 무전기에 의존하기 때문에 고소음 현장, 무전기가 안되는 상황에서의 작업 지시가 곤란할 뿐만 아니라 사고 발생시 작업자 긴급구조이나 수색에 큰 어려움을 겪고 있음

○ 그리고, 기존 건설사가 보유하고 있는 대부분의 장비들은 건설 시공을 위한 것으로, 작업자의 안전 확보, 원활한 작업 지시, 시공의 효율성 등을 구현하기 위한 현장용 통신지원 시스템 구축이 절실한 상태임

○ 특히, 분진, 소음, 진동 등 열악한 환경을 가진 지하구조물 건설현장에서는 작업자의 위치추적 및 원활한 감독자의 작업지시과 함께 위험사고 발생시 신속한 건설현장의 작업자 구조 등을 위한 기술 개발이 절실히 요구되고 있음

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

□ 연구개발 수행내용

○ 1차년도
- 지상·지하의 Seamless한 위치추적을 위한 요소기술 조사
- 소음, 진동 등 건설현장의 열악한 환경에 적합한 무선통신기술 조사
- 무선통신 기술별 성능 분석
- 지상·지하의 3차원 위치추적을 위한 시험 보드 제작 및 성능 분석

○ 2차년도
- VI-GNSS기반의 작업자 및 이동차량 단말기 개발
- 데이터 및 음성 정보 게이트웨이 중심의 현장서버시스템 개발
- Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 개발
- 지하구조물 건설 시스템 현장 시범 운영 및 개선

○ 3차년도
- VI-GNSS기반 작업자 및 차량용 단말기
- 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템
- GIS 기반의 관제시스템
- 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장지원시스템

□ 연구개발 수행결과

○ 1차년도
- 지상·지하의 Seamless한 위치추적을 위한 요소기술 조사
  · 단말기 및 현장, 관제시스템 개발을 위한 요소기술 분석을 통한 최적 무선통신 방식 선정
- 지상·지하의 3차원 위치추적을 위한 시험 보드 제작 및 성능 분석
  · 위치추적을 위한 시험 보드 제작을 통한 현장 테스트 수행

○ 2차년도
- VI-GNSS기반의 작업자 및 이동차량 단말기 개발
  · 작업자 및 이동차량 단말기 제작
  · 현장테스트를 통한 단말기 H/W 및 S/W 개선
- 데이터 및 음성 정보 게이트웨이 중심의 현장서버시스템 개발
  · 데이터 및 음성정보 게이트웨이 기반의 현장서버시스템 개발
  · 현장테스트를 통한 현장서버시스템 H/W 및 S/W 개선

- Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 개발
  · GIS기반 관제시스템 개발
  · 현장테스트를 통한 관제시스템 H/W 및 S/W 개선
- 지하구조물 건설 시스템 현장 시범 운영 및 개선
  · 개별 시스템의 집약을 통한 지하구조물 건설현장지원시스템 시범 운영
  · 시범운영을 통하여 발생된 문제점에 대한 검토 및 수정

○ 3차년도
- VI-GNSS기반 작업자 및 차량용 단말기
  · 작업자 및 차량용 단말기 성능 및 인증테스트 수행
  · 작업자 및 차량용 단말기 인증프로세스 구축
  · 문제점 검토를 통한 단말기 보완
- 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템
  · 현장서버시스템 성능 및 인증테스트 수행
  · 현장서버시스템 인증프로세스 구축
  · 문제점 검토를 통한 현장서버시스템 보완
- GIS 기반의 관제시스템
  · 관제시스템 성능 및 인증테스트 수행
  · 관제시스템 인증프로세스 구축
  · 문제점 검토를 통한 관제시스템 보완
- 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장지원시스템
  · 통합시스템 성능 및 인증테스트 수행
  · 통합시스템 인증프로세스 구축
  · 통합시스템 운영 및 보완
  · 신기술 신청 (한국산업기술진흥협회)

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

□ 연구성과

○ VI-GNSS기반 작업자 및 차량용 단말기
- 단말기 보드, 작업자 및 차량용 단말기 제작 완료
- 특허출원 3건, 특허등록 2건, 논문게재 6건, 국내외 학술발표 11건

○ 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템
- 현장서버시스템 및 데이터 전송용 Pole 제작 완료
- 특허출원 1건, 국내외 학술발표 2건

○ GIS 기반의 관제시스템
- GIS기반 관제시스템 개발 완료
- 특허출원 1건, 국내외 학술발표 4건

○ 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장지원시스템
- 지하구조물 건설현장지원시스템 구축
- 논문게재 1건, 국내 학술발표 2건

□ **적용실적**

○ 기술실시계약 1건
- 기술실시 계약명 : 건설현장 작업자의 MEMS INS 기반 3D위치 결정 시스템 및 3D위치 결정 방법
- 기술료 : 고정기술료 100백만원 / 경상기술료 매출액의 3% (부가세 포함)
- 계약기간 : 계약체결일로부터 5년 (2014.06.30. ~ 2019.06.29.)
- 계약당사자

연구개발결과물 소유기관 : 한국건설기술연구원

실시기업 : ㈜아센코리아

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

□ **연구목표 달성도**

○ VI-GNSS기반 작업자 및 이동차량 단말기

1. 작업자 단말기 위치 정확도 : 20미터 이내 (실내외 3D)
   - 작업자 단말기의 평균 수평 위치 정확도 : 평균 3.9 미터/100미터
   - 작업자 단말기의 평균 수직 위치 정확도 : 평균 0.31 미터/10미터
2. 차량용 단말기 위치 정확도 : 20미터 이내 (실외에서만)

- 차량용 단말기의 평균 수평 위치 정확도 : 평균 9.8 미터
- 차량용 단말기의 평균 수직 위치 정확도 : 평균 20 미터

3. 실시간 음성통신과 위치추적 기능 및 원격 현장 모니터링 가능
   - 실시간 음성통신 : 400MHz대 전용 음성모뎀 채용으로 동시 8대 단말기 음성통신 100% 달성

○ 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템

1. 동시 접속 단말기와 무선 통신 중계기 역할 : 8개 채널 이상

- 단일 수신기당 8개 동시접속 구현 (2초 간격 출력시) 으로 100% 달성
- 단일 수신기당 16개 동시접속 구현 (4초 간격 출력시) 으로 100% 달성

2. 지하구조물 내에서 adhoc 방식을 이용한 통신 성공률 : 99.9%

- 터널 건설 현장에서 adhoc 방식 1단계 적용시 통신 8개 이상 100% 달성
- 시설물 건설 현장에서 adhoc 방식 1단계 적용시 통신 8개 이상 100% 달성

3. 지하구조물에서의 작업자 위치추적 성공률 : 99.9% 이상

- 터널 건설 현장에서 작업자 단말기 8개 이상의 동시 위치추적 100% 달성
- 시설물 건설 현장에서 작업자 단말기 8개 이상의 동시 위치추적 100% 달성

○ 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템

1. 지하구조물내에서의 원활한 작업자 위치추적 파악 및 데이터통신 가능

- 작업자 위치추적 파악 및 데이터통신 100% 달성

2. 지하구조물에서 작업자의 안전사고 및 위기상황에서 신속한 대응을 위한 상황인지 정보제공

- 상황인지 정보제공 100% 달성

3. 지하구조물 출입차량에 대한 정보제공

- 출입차량에 대한 정보제공 100% 달성

4. 지하구조물 상황에 따른 알람기능 제공

- 상황에 따른 알람기능 제공 100% 달성

5. CCTV 차량 출입에 대한 영상 모니터링 정보 제공

- 영상 모니터링 정보 제공 100% 달성

○ 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장 지원시스템

1. 작업자 및 이동차량 실시간 위치추적 및 관리 : 90% 이상 확보

- 작업자 및 이동차량 위치추적 및 관리를 위한 데이터 전송률 95%이상 확보
- 관제시스템 위치추적 및 관리 정확도 : 98%이상 확보

2. 상황인지를 통한 대응체계 정확도 : 95% 이상 확보

- 상태정보 표출 정확도 : 98%이상 확보

3. 지하구조물 건설현장 적용 및 활용성 : 90% 이상 확보

- 테스트 베드 선정을 통한 지하구조물 건설현장지원시스템 상시 적용 : 100%

Ⅵ. 연구성과 활용계획

- VI-GNSS 기반 작업자 및 이동차량 통합 모듈 상용화
- 작업자용 VI-GNSS 단말기 제작 업체 지정 및 협력
- 개발된 시제품 사업화를 위한 현장 시현 및 데모 실시
- 신기술 지정을 통한 건설현장 적용
- 기타 분야 적용성 확장

SUMMARY

Ⅰ. Title

「Development of support system for underground structure construction field utilizing 3D location awareness an wireless communications integration technology」

Ⅱ. Overview of research

□ Purpose of research

○ In this business of research and development,VI-GNSS(Voice Integrated - Global Navigation Satellite System) worker supporting system based on MEMS and integration control system based on GIS are developed. also it is enabled that manage underground structure construction field and construct response system in an emergency

□ Need of research

○ Construction of construction site management system based on various techniques for site and safety management is increasing.

○ It is hard to direct workers when be bothered by noise pollution and can't use radio. also it is difficult to save and search in case of an accident.

○ Most of the equipment that holds the existing construction are being built for construction. so field communication support system is being required for worker safety, seamless operation instruction and construction efficiency

○ Especially technology to track worker's position and save worker in case of an accident development is required in underground structures construction field with a harsh environment(dust, noise and vibration)

Ⅲ. Performance details and results

□ Performance details of research

○ 1st year

- Investigation into element technology for position tracking about seamless ground/ underground
- Investigation into wireless communications technology suitable for construction environment such as noise and vibration
- Ananysis of wireless communications technology
- Manufacturing and analysis test board for ground/ underground 3D position tracking

○ 2nd year

- Terminal development of worker and moving vehicle based on VI-GNSS
- Field server system development based on data and voice communications gateway
- Field control system development about underground structures based on Ubi-GIS
- Operating and improving system for supporting underground structure construction field

○ 3rd year

- Terminal of worker and moving vehicle based on VI-GNSS
- Field server system based on data and voice communications gateway
- Control system based on GIS
- Support system for supporting underground structure construction field utilizing 3D location awareness an wireless communications technology

□ Results of research

○ 1st year

- Investigation into element technology for position tracking about seamless ground/ underground

· Selection of method about wireless communication for developing terminal and field and control system

- Manufacturing and analysis test board for ground/ underground 3D position tracking
  · Field test for manufacturing test board for position tracking

○ 2nd year
- Terminal development of worker and moving vehicle based on VI-GNSS
  · Production of worker and moving vehicle terminal
  · Terminal H/W and S/W improvement through test
- Field server system development based on data and voice communications gateway
  · Field server system development based on data and voice communications gateway
  · Field server system H/W and S/W improvement through field test
- Field control system development about underground structures based on Ubi-GIS
  · Control system based on GIS
  · Control system H/W and S/W improvement through field test
- Operating and improving system for supporting underground structure construction field
  · test operation of underground structure construction field
  · problem review and modification through test operation

○ 3rd year
- Terminal of worker and moving vehicle based on VI-GNSS
  · Performance and certification test about terminal of worker and moving vehicle
  · Certification process construction of terminal of worker and moving vehicle
  · Improving terminal by reviewing the problem
- Field server system based on data and voice communications gateway
  · Performance and certification test about field server system
  · Certification process construction of field server system
  · Improving field server system by reviewing the problem
- Control system based on GIS
  · Performance and certification test about control system

· Certification process construction of control system
· Improving control system by reviewing the problem

- Support system for supporting underground structure construction field utilizing 3D location awareness an wireless communications technology
· Performance and certification test about integrated system
· Certification process construction of integrated system
· Operating and improving of integrated system
· New technology application (Korea Industrial Technology Promotion Association)

Ⅳ. Final research results and application performance

□ Research results

○ Terminal development of worker and moving vehicle based on VI-GNSS
- Development of terminal board and worker and moving vehicle board
- Three patent application, two patent registration, six published thesis, eleven conference presentation

○ Field server system based on data and voice communications gateway
- Development of field server system and pole for data transmission
- One patent application, Two conference presentation at home and abroad

○ Control system based on GIS
- Development of control system based on GIS
- One patent application, Four conference presentation at home and abroad

○ Support system for supporting underground structure construction field utilizing 3D location awareness an wireless communications technology
- Development of support system for supporting underground structure construction field
- One published thesis, Two conference presentation

□ Application performance

○ One technology license agreement
- Agreement name : MEMS INS-based system and method for determining 3D-position of worker in construction site

- Licensing fees : Fixed payment 100 million won / 3% of running royalty (inclusion of value-added tax)
- Contracted period : 5 years from the contract date (2014.06.30. ~ 2019.06.29.)
- Contracting parties

  Agency in possession : Korea Institute of Construction Technology

  Enforcing firm : Co. Ascenkorea

Ⅴ. Research objective achievement and effects

□ Research objective achievement

○ Terminal of worker and moving vehicle based on VI-GNSS

1. Position accuracy of worker terminal : within 20 meters (indoor and outdoor 3D)
   - The average horizontal positioning accuracy of worker terminal : average 3.9m/100m
   - The average vertical position accuracy of worker terminal : average 0.31m/10m
2. Position accuracy of moving vehicle terminal : within 20 meters (outdoor only)
   - The average horizontal positioning accuracy of vehicle terminal : average 9.8m
   - The average vertical positioning accuracy of vehicle terminal : average 20m
3. Real-time position tracking and remote field monitoring
   - Real-time voice communications : voice communication of 8 terminal is achieved 100% by using voice modem in the band 800MHz

○ Field server system based on data and voice communications gateway

1. Concurrent connection terminal wireless communication repeater role : more than 8 channels
   - Achieved 100% about 8 simultaneous connections per single receiver
   - Achieved 100% about 16 simultaneous connections per single receiver
2. Success rate of communication applying adhoc method in underground structure : 99.9%
   - Achieved 100% about 8 or more communication applying adhoc method

step 1 at tunnel construction site

- Achieved 100% about 8 or more communication applying adhoc method step 1 at facility construction site

3. Success rate of worker position tracing in underground structure : more than 99.9%

- Achieved 100% about worker position tracing at the same time of worker terminal 8 or more at tunnel construction site
- Achieved 100% about worker position tracing at the same time of worker terminal 8 or more at facility construction site

○ Field server system based on data and voice communications gateway

1. Worker position tracking and data communications in underground structure

- Achieved 100% about worker poition tracking and data communications

2. Situation recognition information offering for safety of workers and prompt action in underground structure

- Achieved 100% about situation recognition information offering

3. Information offering about entering and leaving vehicle of underground structure

- Achieved 100% about Information offering about entering and leaving vehicle

4. Alarm function according to underground structure situation

- Achieved 100% about alarm function according to situation

5. Monitoring information offering about CCTV entering and leaving vehicle

- Achieved 100% about monitoring information offering

○ Support system for supporting underground structure construction field utilizing 3D location awareness an wireless communications technology

1. Real-time position tracking and management of worker and moving vehicle : more than 90%

2. Response system accuracy through context awareness : more than 95%

- Accuracy of status information expression : more than 98%

3. Applicability and availability of underground structure construction field:

more than 90%

- Support system for underground structure construction through selection of test bed : 100%

Ⅵ. Application plan of research result

- Commercialization of worker and moving vehicle modules based on VI-GNSS
- Appointment of manufacturer about VI-GNSS terminal for worker
- Demonstrations and demo for commercialization of trial manufactured goods
- Construction site application through new technology application
- Expanding application of other areas

CONTENTS

Chapter 1. Overview of research ····· 32

Verse 1. Purpose of research and needs ····· 32

2절. Definition, range and characteristic of research ····· 33

Chapter 2. Performance details and results ····· 63

Verse 1. Execution strategy of research and methodology ····· 63

Verse 2. Execution process of research and content ····· 66

Verse 3. Execution results of research and verification method· 124

Chapter 3. Final research results and application performance· 263

1. Final research results ····· 263

2. Application performance ····· 275

Chapter 4. Research objective achievement and effects· 277

Verse 1. Research objective achievement ····· 277

Verse 2. Analysis of effect about research results ····· 286

Chapter 5. Application of result and further studies needs ····· 289

Verse 1. Application plan of research result ····· 289

Verse 2. Further studies needs ····· 291

Reference ····· 293

Supplement. Installation management manual of system·· 299

목 차

제1장. 연구개발과제 개요 ····· 32

제1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 32

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 33

제2장. 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 63

제1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 63

제2절 연구수행과정 및 내용 ····· 66

제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 ····· 124

제3장. 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 263

제1절 최종 연구성과 ····· 263

제2절 적용 실적 ····· 275

제4장. 연구목표 달성 및 효과 ····· 277

제1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 277

제2절 연구개발 성과의 효과분석 ····· 286

제5장. 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 289

제1절 연구성과의 향후 활용방안 ····· 289

제2절 추가연구 필요성 ····· 291

참고문헌 ····· 293

부록. 지하구조물 건설현장지원시스템 설치 운용 매뉴얼 ····· 299

표 목 차

표 1.1 국가별 위성항법시스템 현황 ····· 37
표 1.2 단계별 Galileo 프로젝트 구축계획4 ····· 39
표 1.3 가속도센서의 검출방식 및 원리 ····· 43
표 1.4 가속도센서의 종류 및 원리 ····· 43
표 1.5 위치추적 요소기술 주요 특허조사 내용 ····· 45
표 1.6 무선통신 요소기술 주요 특허조사 내용 ····· 51
표 1.7 무선통신 솔루션별 특장점 비교 ····· 54
표 1.8 두산건설이 제공한 단말기 시험 가능한 현장 리스트 ····· 61
표 1.9 국내 건설현장 관련 위치측위 및 관리시스템 사업 현황 ····· 62

표 2.1 세부연구 추진방법 ····· 65
표 2.2 3차원 위치추적 요소 기술 ····· 73
표 2.3 위치추적 요소기술 주요 특허조사 내용 ····· 100
표 2.4 지하구조물 현장지원시스템 성능테스트 항목 ····· 121
표 2.5 지하구조물 현장지원시스템 인증테스트 항목 ····· 122
표 2.6 현장서버시스템 성능 테스트 항목 및 결과 ····· 208
표 2.7 현장서버시스템 인증 테스트 항목 및 결과 ····· 210
표 2.8 대응모듈 테이블 명세서 ····· 218
표 2.9 유스케이스 다이어그램 목록 ····· 222
표 2.10 관제시스템 개발 목록 ····· 224
표 2.11 관제시스템 성능 테스트 항목 및 결과 ····· 239
표 2.12 관제시스템 인증 테스트 항목 및 결과 ····· 239
표 2.13 관제시스템 개선내역 ····· 241
표 2.14 시스템 구축 비용 ····· 246
표 2.15 사고 감소 편익 ····· 247
표 2.16 현장관리 통신장비 절감 편익 ····· 247
표 2.17 현장관리 이동경비 절감 편익 ····· 248
표 2.18 노무비 절감 생산성 향상 편익 ····· 248
표 2.19 비용 및 편익 추정 결과 ····· 249
표 2.20 연차별 현금흐름 ····· 249
표 2.21 경제성 분석 결과 ····· 250
표 2.22 지하구조물 현장지원시스템 성능테스트 항목 ····· 254
표 2.23 지하구조물 현장지원시스템 인증테스트 항목 ····· 255

표 5.1 시스템 적용성 및 운용성 확보를 위한 추가 현장검증 계획 ····· 293

그 림 목 차

그림 1.1 지하구조물 건설현장 IT기술 활용 방안 ····· 32
그림 1.2 연구목표 개념도 ····· 33
그림 1.3 시스템 구성 개념도 ····· 34
그림 1.4 GNSS 전체개념도 ····· 35
그림 1.5 미국의 세대별 GPS Block 위성들 ····· 36
그림 1.6 GLONASS 현대화계획 ····· 37
그림 1.7 FPK-GPS위치보정서비스 개념도 ····· 39
그림 1.8 관성측정장치 ····· 40
그림 1.9 INS Block Diagram ····· 41
그림 1.10 MEMS INS 센서 ····· 41
그림 1.11 MEMS INS 센서 종류 ····· 43
그림 1.12 MEMS INS 센서 종류 ····· 43
그림 1.13 MEMS INS 센서 종류 (출처:인텔레인) ····· 43
그림 1.14 GNSS 특허 조사 자료사례 ····· 45
그림 1.15 INS 특허 조사 자료사례 ····· 46
그림 1.16 메쉬 네트워크 개념도 ····· 48
그림 1.17 USN의 개념도 ····· 49
그림 1.18 ZigBee 휴대폰의 적용분야 ····· 50
그림 1.19 WLS 특허 조사 자료사례 ····· 51
그림 1.20 USN 특허 조사 자료사례 ····· 52
그림 1.21 첨단 기술이 집약된 부품을 채용한 VI-GNSS 모듈 ····· 54
그림 1.22 디지털 센서의 바이어스 및 Drift 오차 제거 기술 ····· 54
그림 1.23 디지털 센서용 오차제거 기술 적용 결과 ····· 55
그림 1.24 GNSS/MEMS INS의 약결합 방식 개념도 ····· 55
그림 1.25 대중화된 MEMS INS 센서 채용 ····· 56
그림 1.26 작업자용과 이동차량용 호환이 가능한 VI-GNSS 모듈 구성도 57
그림 1.27 이동차량용 모듈+ 작업자용 모듈=통합 VI-GNSS 모듈 ····· 57
그림 1.28 실내에서의 PDR 측위 성능 ····· 58
그림 1.29 실내 주차장에서 ADR의 측위 성능 ····· 58
그림 1.30 개인휴대 항법기술과 이동차량 항법기술의 통합 개념 ····· 59

그림 2.1 연구개발사업 추진 체계도 ····· 63
그림 2.2 단말기 개발 과정 ····· 67
그림 2.3 기압센서 성능 실험 ····· 68

그림 2.4 기압센서 온도 특성 실험 ····· 68
그림 2.5 일반무전기와 골전도 헤드셋 시험장치 ····· 69
그림 2.6 바이너리CDMA(BC) 모뎀 및 골전도 헤드셋 일체형 ····· 69
그림 2.7 안전모에 통신 장비 및 안테나 장착 모드 ····· 70
그림 2.8 장착 위치에 따른 통달거리 비교 ····· 71
그림 2.9 3D 위치추적을 위한 기반 요소 기술 ····· 72
그림 2.10 측량기준점과 차량 이동 간 고도 변화량 ····· 74
그림 2.11 환산된 절대 고도 기법을 이용한 3D 이동 궤적 ····· 75
그림 2.12 MEMS INS 센서 내장 27x27 모듈 회로도 ····· 76
그림 2.13 27x27 GNSS 모듈 회로도 ····· 76
그림 2.14 MEMS INS 센서 내장 25x25 모듈 회로도 ····· 77
그림 2.15 25x25 GNSS 모듈 회로도 ····· 77
그림 2.16 RF 칩 내장한 무선통신 모뎀 제어 회로 설계도 ····· 78
그림 2.17 RF 칩 내장한 무선통신 모뎀 통신 회로 설계도 ····· 78
그림 2.18 작업자 단말기용 헤드셋 설계 ····· 79
그림 2.19 단말기용 골전도 내장 케이스 샘플 ····· 79
그림 2.20 시험용 작업자 단말기 보드 회로도 ····· 80
그림 2.21 시험용 작업자 단말기 케이스 설계도 ····· 81
그림 2.22 시험용 작업자 단말기 충전 박스 동작 사진 ····· 82
그림 2.23 VI-GNSS 내장 작업자 단말기 회로 설계도 ····· 82
그림 2.24 VI-GNSS 내장 작업자 단말기 부품 배치 설계도 ····· 83
그림 2.25 이동차량용 단말기 제작 샘플 ····· 83
그림 2.26 이동차량용 단말기 회로 설계도 ····· 84
그림 2.27 통합 보드 회로도 ····· 85
그림 2.28 차량용 단말기 인터페이스 보드 설계 ····· 86
그림 2.29 차량용 단말기 인터페이스 단말기 충전박스 ····· 86
그림 2.30 통합 단말기 케이스 제작 ····· 87
그림 2.31 통합 단말기 내부 구성 ····· 87
그림 2.32 통합 단말기 ····· 87
그림 2.33 1216 size GNSS INS 모듈 ····· 88
그림 2.34 1216 size GNSS INS 모듈 센서 테스트 1 ····· 88
그림 2.35 1216 size GNSS INS 모듈 성능 테스트 2 ····· 89
그림 2.36 1216 size GNSS INS 모듈 구성 ····· 89
그림 2.37 NATM 굴착공법 프로세스 ····· 103
그림 2.38 NATM굴착의 정의 및 기본개념 ····· 104
그림 2.39 측정위치 ····· 104
그림 2.40 센서정보 수집 폴더 ····· 105

그림 2.41 모듈 구동 서비스 ····· 106
그림 2.42 센서정보 전송 모니터링 프로그램 ····· 106
그림 2.43 시스템 구동 시 시스템 부하량 확인 ····· 107
그림 2.44 GIS기반 관제시스템 연차별 연구 과정 및 내용 ····· 108
그림 2.45 온톨로지 맵 (Picture from linkeddata.org) ····· 109
그림 2.46 Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 ····· 110
그림 2.47 관제시스템 구성도 ····· 111
그림 2.48 메시지 전송 테스트 ····· 113
그림 2.49 긴급 메시지 발송 DB 저장내역 ····· 114
그림 2.50 시스템 구동 시 CPU 부하량 확인 ····· 115
그림 2.51 상시 운영되고 있는 관제시스템 ····· 115
그림 2.52 연차별 연구 과정 및 내용 ····· 116
그림 2.53 통합테스트 전체 구성도 ····· 117
그림 2.54 통신모듈과 결합된 작업자 및 차량용 단말기 ····· 118
그림 2.55 경제성 분석 흐름 ····· 119
그림 2.56 통합시스템 운영 및 보완 절차 ····· 123
그림 2.57 신기술 신청 절차 ····· 123
그림 2.58 터널 공사 현장 입구 ····· 124
그림 2.59 터널 내부의 고도변화에 따른 기압센서 변화 ····· 125
그림 2.60 터널 내부 진입 결과 (검은점이 터널입구) ····· 125
그림 2.61 터널 내부 걸음으로 진입 결과 ····· 126
그림 2.62 시설물 공사 현장 ····· 127
그림 2.63 시설물 공사현장과 주변에서의 위치 검출 결과 ····· 127
그림 2.64 시설물 내에서의 3D 위치 검출 결과 ····· 128
그림 2.65 15층과 16층 층간 구분 가능한 결과 ····· 129
그림 2.66 T-BEC을 이용한 바이어스 추정 결과 ····· 129
그림 2.67 제안된 걸음 검출 결과 ····· 130
그림 2.68 고도차분법을 이용한 고도 검출 결과 ····· 130
그림 2.70 제안된 작업자 3D 위치 결정기법 결과 ····· 131
그림 2.71 단말기 VI-GNSS 모듈 ····· 133
그림 2.72 골전도 음성통신 헤드셋 ····· 134
그림 2.73 작업자 단말기 측위 결과 ····· 134
그림 2.74 작업자 단말기에서 측정한 고도 데이타 ····· 135
그림 2.75 작업자 단말기의 걸음검출 결과 ····· 135
그림 2.76 가상 게이트웨이 설정을 위한 정밀 측량 장비 ····· 136
그림 2.77 단말기 VI-GNSS 모듈 ····· 137
그림 2.78 이동차량 VI-GNSS 모듈 ····· 137

그림 2.79 현장 정보 활용 시뮬레이션 장비 ····· 138
그림 2.80 골전도 음성통신 헤드셋 ····· 138
그림 2.81 현장 내 가상 게이트웨이 측량 결과 ····· 139
그림 2.82 가상게이트웨이 기준 좌표 측정값 ····· 139
그림 2.83 작업자 단말기의 위치 검출 및 걸음 검출 결과 ····· 140
그림 2.84 차량용 단말기를 이용한 위치 검출 결과 ····· 140
그림 2.85 차량 단말기와 가상게이트웨이의 맵핑 결과 ····· 141
그림 2.86 기준 장비를 이용한 현장 기록 장치 ····· 141
그림 2.87 골전도와 단말기 연결한 시험 세트 ····· 142
그림 2.88 가상 게이트웨이 설정을 위한 정밀 측량 장비 ····· 143
그림 2.89 단말기 VI-GNSS 모듈 ····· 143
그림 2.90 이동차량 VI-GNSS 모듈 ····· 144
그림 2.91 현장 정보 활용 시뮬레이션 장비 ····· 144
그림 2.92 골전도 음성통신 헤드셋 ····· 145
그림 2.93 장착위치1에서의 작업자 위치 검출 결과 ····· 146
그림 2.94 장착위치2에서의 작업자 위치 검출 결과 ····· 146
그림 2.95 이동차량 주행 2회 실시 결과 ····· 146
그림 2.96 차량 주행 궤적과 가상 게이트웨이 매핑 결과 ····· 147
그림 2.97 터널 입구에서의 GPS 이동 궤적 ····· 147
그림 2.98 기준 데이터 획득 후 후처리 장치 ····· 148
그림 2.99 가상 게이트웨이 설정을 위한 정밀 측량 장비 ····· 149
그림 2.100 단말기 VI-GNSS 모듈 ····· 149
그림 2.101 이동차량 VI-GNSS 모듈 ····· 150
그림 2.102 현장 정보 활용 시뮬레이션 장비 ····· 150
그림 2.103 골전도 음성통신 헤드셋 ····· 151
그림 2.104 가상 게이트웨이 맵핑 ····· 151
그림 2.105 가상 게이트웨이 비교 ····· 152
그림 2.106 GPS 위성수 안정적, 측위상태 안정적, DOP 상태 ····· 152
그림 2.107 작업자 단말기 장착위치 및 위치 검출 결과 ····· 153
그림 2.108 작업자 단말기-현장 서버간 데이터 송수신 프로토콜 예제 · 153
그림 2.109 차량용 단말기의 위치 검출 결과 ····· 154
그림 2.110 차량용 단말기 위치검출 결과와 가상 게이트웨이 매칭 결과 154
그림 2.111 GPS만을 이용한 가상게이트웨이 매핑 결과 ····· 154
그림 2.112 시험 현장 기준데이터 확보 ····· 155
그림 2.113 5차 테스트 장비 구성 ····· 156
그림 2.114 단말기 VI-GNSS 모듈 ····· 156
그림 2.115 골전도 음성통신 헤드셋 ····· 156

그림 2.116 통신모듈 결합 작업자 단말기 ····· 157
그림 2.117 통합 모듈 통달 거리 시험 ····· 157
그림 2.118 데이터 출력 상황 화면 ····· 158
그림 2.119 터널 현장에서 통합모듈 통달거리 측정 ····· 158
그림 2.120 통신모듈과 결합된 차량용 단말기 ····· 159
그림 2.121 작업자용 단말기 ····· 160
그림 2.122 데이터 수신기 ····· 160
그림 2.123 작업자 단말기 측위 결과1 ····· 161
그림 2.124 작업자 단말기 측위결과2 ····· 161
그림 2.125 차량용 단말기 측위 결과1 ····· 162
그림 2.126 차량용 단말기 측위 결과2 ····· 162
그림 2.127 정지시 가속도 데이터 ····· 163
그림 2.128 정지,걸음 비교 데이터 ····· 164
그림 2.129 계단 오름 데이터 ····· 164
그림 2.130 계단 내림 데이터 ····· 165
그림 2.131 계단 오름/내림 비교 데이터 ····· 165
그림 2.132 통신모듈과 결합된 차량용 단말기 ····· 166
그림 2.133 작업자용 단말기 ····· 167
그림 2.134 데이터 수신기 ····· 167
그림 2.135 작업자 단말기 측위 결과 ····· 167
그림 2.136 차량용 단말기 측위 결과1 ····· 168
그림 2.137 차량용 단말기 측위 결과2 ····· 169
그림 2.138 차량용 단말기 측위 결과3 ····· 169
그림 2.139 관제사무소와 터널사이의 위치 데이터 ····· 170
그림 2.140 통신모듈과 결합된 차량용 단말기 ····· 171
그림 2.141 작업자용 단말기1 ····· 172
그림 2.142 작업자용 단말기2 ····· 172
그림 2.143 데이터 수신기 ····· 172
그림 2.144 Air gate ····· 173
그림 2.145 작업자 단말기 측위 결과 ····· 173
그림 2.146 관제 시스템 화면 ····· 174
그림 2.147 차량용 단말기 측위 결과(아반떼1) ····· 174
그림 2.148 차량용 단말기 측위 결과(아반떼2) ····· 175
그림 2.149 차량용 단말기 비교 결과 ····· 175
그림 2.150 데이터 통신거리 ····· 176
그림 2.151 통신모듈과 결합된 차량용 단말기 ····· 177
그림 2.152 현장서버 ····· 177

그림 2.153 차량용 단말기 전체 궤적 ····· 178
그림 2.154 차량용 단말기 진입/진출 ····· 178
그림 2.155 건설기술연구원 ····· 179
그림 2.156 송수신기 및 작업자 단말기 충전박스 ····· 180
그림 2.157 수신 확인 테스트 ····· 180
그림 2.158 ID 1 번/ 11 번 좌표 ····· 181
그림 2.159 ID 2 번/ 12 번 좌표 ····· 181
그림 2.160 ID 3 번/ 13 번 좌표 ····· 182
그림 2.161 ID 4 번/ 14 번 좌표 ····· 182
그림 2.162 통신모듈과 결합된 작업자용 단말기 ····· 183
그림 2.163 현장서버 ····· 184
그림 2.164 작업자용 좌표 ····· 184
그림 2.165 신규작업자용 단말기 ····· 186
그림 2.166 리피터 ····· 187
그림 2.167 수신기 ····· 187
그림 2.168 터널입구 ····· 188
그림 2.169 차량지붕에 수신기 설치 ····· 188
그림 2.170 단말기 설치 ····· 189
그림 2.171 차량에 CNS 설치 및 PNS 장착 ····· 189
그림 2.172 PNS 실험 ····· 190
그림 2.173 리피터 구동 시험 ····· 190
그림 2.174 터널 구간 DB ····· 190
그림 2.175 차량용 신규단말기 ····· 191
그림 2.176 작업용 신규단말기 ····· 191
그림 2.177 Tunnel Shape ····· 192
그림 2.178 인증 항목 차트 ····· 193
그림 2.179 통달거리 시험화면 ····· 194
그림 2.180 항온실험 ····· 195
그림 2.181 방수실험 ····· 196
그림 2.182 충격 실험 ····· 196
그림 2.183 VI_GNSS 운영시스템 메인화면 ····· 197
그림 2.184 VI-GNSS 실시간 데이터 출력화면 ····· 197
그림 2.185 멀티채널 ····· 198
그림 2.186 실시간 데이터 확인 ····· 198
그림 2.187 상태표시확인 ····· 198
그림 2.188 단말기 오차확인 분석 ····· 199
그림 2.189 현장서버시스템 유스케이스 다이어그램 ····· 202

그림 2.190 5월 29일 실험시 전송된 GNS 내역 ····· 203
그림 2.191 7월 2일 실험시 전송된 GNS 내역 ····· 204
그림 2.192 7월 28일 실험시 전송된 GNS 내역 ····· 205
그림 2.193 현장서버시스템 인증 프로세스 ····· 209
그림 2.194 상황인지 시스템의 공통구조 ····· 211
그림 2.195 상황인지 모듈 논리모델 ERD ····· 213
그림 2.196 상황인지 모듈 물리모델 ERD ····· 213
그림 2.197 대응모듈 논리모델 ERD ····· 216
그림 2.198 대응모듈 물리모델 ERD ····· 216
그림 2.199 대응모듈 시컨스 다이어그램 ····· 217
그림 2.200 관제시스템 하드웨어 아키텍쳐 ····· 220
그림 2.201 관제시스템 소프웨어 아키텍쳐 ····· 221
그림 2.202 작업자 입력 유스케이스 ····· 222
그림 2.203 관제시스템 화면 유스케이스 ····· 222
그림 2.204 센서정보 시스템 인터페이스 ····· 223
그림 2.205 건설 통합 관제시스템 로그인 ····· 224
그림 2.206 메인건설사용 건설 통합 관제시스템 ····· 225
그림 2.207 하도급업체용 건설 통합 관제시스템 ····· 226
그림 2.208 안전관리 화면 ····· 227
그림 2.209 데이터 로그정보 화면 ····· 227
그림 2.210 공지사항 관리 화면 ····· 228
그림 2.211 현장개요 화면 ····· 228
그림 2.212 수신된 센서정보 저장 화면 ····· 230
그림 2.213 관제시스템 표출 내용 ····· 231
그림 2.214 AlarmNotifier 하위폴더내에 생성된 gns파일 확인 ····· 232
그림 2.215 사용하지 않은 단말기 번호로 생성된 pns센서정보 gns 파일 232
그림 2.216 DB내에 저장된 수신 단말기 목록 ····· 232
그림 2.217 수신된 센서정보 중 일부 파일 세부내용 ····· 233
그림 2.218 관제시스템에 차량 표출 ····· 234
그림 2.219 관제시스템 지도 화면 ····· 234
그림 2.220 CPU 부하량 ····· 236
그림 2.221 메모리 부하량 ····· 236
그림 2.222 디스크 부하량 ····· 237
그림 2.223 네트워크 부하량 ····· 237
그림 2.224 현장서버와 작업자 단말기 무선통신 시험 ····· 241
그림 2.225 현장서버와 이동차량용 단말기 무선통신 시험 ····· 241
그림 2.226 현장서버시스템 데이터 로그 프로그램 수행 현황 ····· 242

그림 2.227 터널 내부 기지국 설치 및 송수신 시험 ····· 242
그림 2.228 터널 내부 기준국 위치 도시 화면 ····· 242
그림 2.229 현장서버시스템 센서 데이터 전송 테스트 화면 ····· 243
그림 2.230 현장서버시스템 테스트 수행 화면 ····· 243
그림 2.231 관제시스템 테스트 화면 ····· 244
그림 2.232 기간별 B/C 변화 ····· 249
그림 2.233 기간별 NPV 변화 ····· 249
그림 2.234 통합테스트 인증 프로세스 ····· 255
그림 2.235 신기술 신청 설명서 ····· 255
그림 2.236 한국산업기술진흥협회 신기술 신청 화면 ····· 256

그림 3.1 RF 통신 모듈 ····· 263
그림 3.2 위치인식 단말기 모듈 ····· 263
그림 3.3 모듈이 내장된 작업자 및 차량용 단말기 ····· 264
그림 3.4 중계 시스템 및 관제 시스템용 수신기 및 방사기 ····· 268
그림 3.5 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템 ····· 269
그림 3.6 VI-GNSS 실시간 데이터 통신 화면 ····· 269
그림 3.7 최종 연구결과 산출물 (관제시스템) ····· 271
그림 3.8 H/W구성 (관제시스템) ····· 272
그림 3.9 S/W구성 (관제시스템) ····· 272
그림 3.10 기술실시계약서 ····· 276

그림 4.1 작업자 단말기 수평 위치 정확도 시험 결과 ····· 277
그림 4.2 작업자 단말기 수직 위치 정확도 시험 결과 ····· 278
그림 4.3 실외 환경에서의 차량용 단말기 위치정확도 판정 결과 ····· 278
그림 4.4 동시 운용 단말기 시험 상황 ····· 279
그림 4.5 동시 운용 8대 이상 위치추적 확인 데이터 ····· 279
그림 4.6 최대 16개 단말기 동시 접속 실현 구성도 ····· 280
그림 4.7 adhoc 방식 1단계 적용시 실현된 8개 동시 접속 구성도 ····· 281
그림 4.8 관제시스템에서 작업자 및 차량 위치표출 ····· 282
그림 4.9 작업 주요 알림 ····· 283
그림 4.10 작업자 상태 및 차량상태 ····· 283
그림 4.11 CCTV 모니터링 ····· 284
그림 4.12 위치추적 데이터 전송율 ····· 285
그림 4.13 위치추적 데이터 정확도 ····· 285
그림 4.14 지하구조물 건설현장지원시스템 구성도 ····· 286

그림 5.1 초소형 VI-GNSS 최종 양산 모듈 ····· 289
그림 5.2 협업업체가 제작한 시험 단말기 및 테스트 결과 ····· 290
그림 5.3 차세대 현장지원시스템의 추가 연구 방향 ····· 292

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 연구개발 사업에서는 지하구조물 시공 시 건설시공의 열악한 환경에 적합한 MEMS기반의 VI-GNSS(Voice Integrated - Global Navigation Satellite System) 작업자 지원시스템과 GIS 기술 기반의 통합 관제시스템 개발을 통한 지하구조물 건설 현장지원시스템을 구축을 통하여 지하구조물 건설현장의 체계적인 관리를 도모하고 응급상황에 대한 예방 및 대응체계를 구축하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

건설현장에서는 체계적인 현장관리 및 안전관리를 위하여 다양한 기술을 활용한 건설현장 관리체계의 구축이 늘어나고 있는 추세이다. 특히, 지하구조물 건설현장의 경우 육안으로 건설현장을 확인할 수 없어 상황인지 및 즉각적인 대응이 어려워 체계적인 관리가 더욱 절실하게 필요하다. 분진, 소음, 진동 등 열악한 환경을 가진 지하구조물 건설현장에서는 작업자의 위치추적 및 원활한 감독자의 작업 전달과 함께 위험사고 발생 시 신속한 건설현장의 작업자 구축 등을 위한 기술 개발이 절실히 요구되고 있다.



그림 1.1 지하구조물 건설현장 IT기술 활용 방안

국내에서 이미 연구개발로 확보된 위치인식, 유·무선 통신, 유비쿼터스 관련 요소기술들은 건설현장에서 활용 가능한 단계이다. 1m 이하의 실시간 GNSS 정밀위치측위기술, 무선통신기반의 위치추적기술 등 정밀위치추적을 위한 개별 기술들이 활용 가능한 단계에 있으며 USN, 센서기술, MEMS 등 국내 유비쿼터스 기술도 활용 가능한 단계여서 건설현장에 도입이 가능하다. 이와 같이 위치측위, 센서, 무선통신 등의 개별 요소기술들은 활용 가능한 단계에 있으나, 요소기술을 통합하여 활용하는 융·복합 적용기술은 아직 연구단계에 있다. 따라서 현재 개발된 요소기술들을 기반으로 건설현장에서 직접적으로 적용 가능한 유비쿼터스 기술 기반의 일체화·초소형·초경량화 된 VI-GNSS 통합기술 기반의 지하구조물 건설현장지원시스템의 개발을 통하여 체계적인 안전관리 통합시스템의 구축이 필요한 실정이다.

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

본 연구에서 개발하고자 하는 3차원 위치인식 및 무선통신 통합기술을 활용한 지하구조조물 건설현장지원시스템은 MEM INS 기반의 위치측위 기술과 골전도 음성통신 융·복합 기술을 기반으로 지하공간 건설현장 내부의 작업자 및 이동차량의 3차원 위치정보를 파악할 수 있고, 감독관-작업자, 작업자-작업자 간의 원활한 의사소통을 가능하게 하는 기술로서 관리가 어려운 지하공간 건설현장의 체계적으로 관리하고 응급상황 시 이를 즉각적으로 인지하고 대응할 수 있는 현장지원시스템을 의미한다.

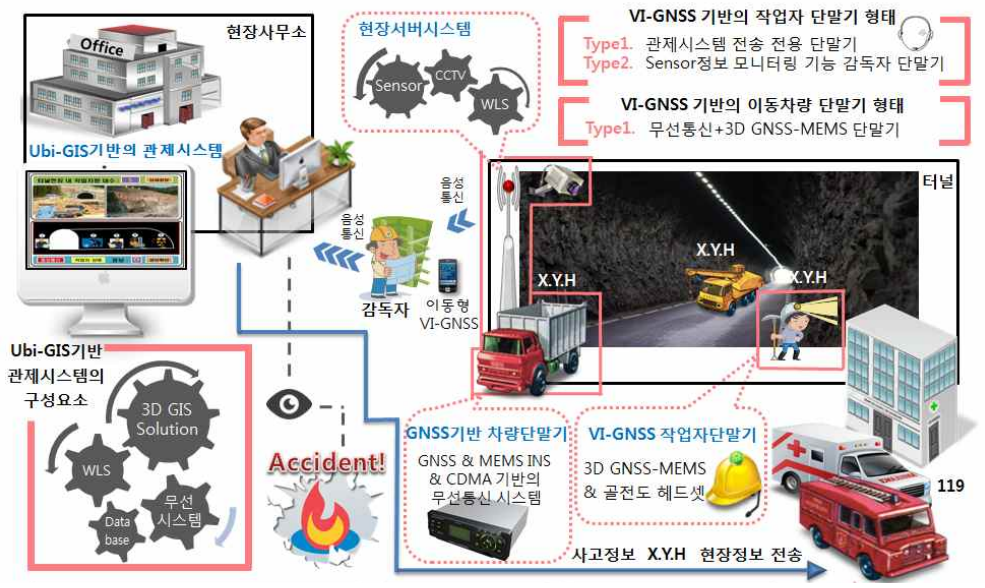


그림 1.2 연구목표 개념도

2. 연구개발의 범위

본 연구개발사업은 작업자 및 이동차량의 위치측위를 위한 작업자 및 이동차량 단말기, 작업자 및 이동차량으로부터 수신되는 패킷데이터를 적재하고 이를 다시 관제시스템으로 송신하는 현장서버시스템, 수신된 위치정보 및 CCTV영상정보를 GIS기반으로 표출하는 관제시스템으로 구성되어 있다. 따라서, 연구개발의 범위는 이들 개별 시스템의 개발과 개발된 시스템을 통합하여 건설현장에 직접적으로 적용할 수 있도록 통합한 지하구조물 현장지원시스템의 구축을 포함한다.



그림 1.3 시스템 구성 개념도

3. 연구개발의 특징

본 연구개발의 특징은 기존에 존재하지 않는 새로운 기술을 개발·창출하는 것이 아니라, 지속적으로 연구개발 진행된 개별 기술을 융·복합하여 최적화하여 현재까지 체계적으로 관리되지 못하고 있는 지하구조물 건설현장의 통합적으로 관리가 가능하게 하는 통합 패키지 시스템을 구축하는 연구개발 사업이다.

또한, 본 연구개발은 상용화를 목표로 추진된 연구개발 사업으로 지하구조물 건설현장에서의 현장관리의 필요성에 대한 반영으로 추진되고 있다. 따라서, 개발된 연구성과는 연구단계에서 종료되는 것이 아니라 향후 다양한 지하구조물 건설현장에서 즉시 활용될 수 있다. 이와 같은 사례로 연구개발사업 기간 중 이미 1회의 기술실시계약을 체결하였으며, 보다 폭넓은 활용성 확보를 위하여 한국산업기술진흥협회에 신기술 신청을 진행한 상황이다.

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 관련분야의 국내외 기술개발 현황

가. 위치추적 요소기술 개발 현황

최근 들어 국내 위치추적 요소기술들은 건설현장에 활용 가능할 정도로 기술력이 매우 향상되었으며, 이와 관련된 다양한 연구개발과 특허출원이 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 국내·외 지상·지하공간의 연속적 위치추적을 위한 요소기술 및 특허 동향에 대한 조사 및 분석을 통하여 위치추적과 관련한 요소기술별 현 성능 수준을 분석하고 이를 기반으로 건설현장에서 적용하여 활용할 수 있는 최적의 위치추적 요소기술을 도출하고자 하였다.

(1) 위성항법시스템 (GNSS:Global Navigation Satellite System)의 종류

우주에서 수많은 종류의 인공위성들이 그 활용목적에 따라 사용되고 있다. 그 중 지구상의 위치를 결정하기 위해 활용되고 있는 인공위성들을 GNSS 위성군이라 부르고 있다. GNSS는 주요 선진국에서 앞다투어 자국의 차세대 GNSS 시스템을 구축하려고 노력중이다. 차세대 GNSS는 단순 항법체계를 넘어 전 지구 영역에서 활용 가능한 국가기반체계로 활용범위를 넓혀가고 있다. 하지만 GNSS 시스템은 다수의 위성이 필요하기 때문에 막대한 비용이 소모되기 때문에 일부 제한된 선진국에서만 추진되고 있다. 현재 GNSS를 소유하고 있는 대표국가는 미국, 러시아, EU, 중국으로 각각 GPS, GLONASS, COMPASS를 보유하고 있다. 다음 그림1은 GNSS에 대한 전체 개념도를 보여주며, 표1은 국가별 위성항법시스템의 현황을 보여준다.

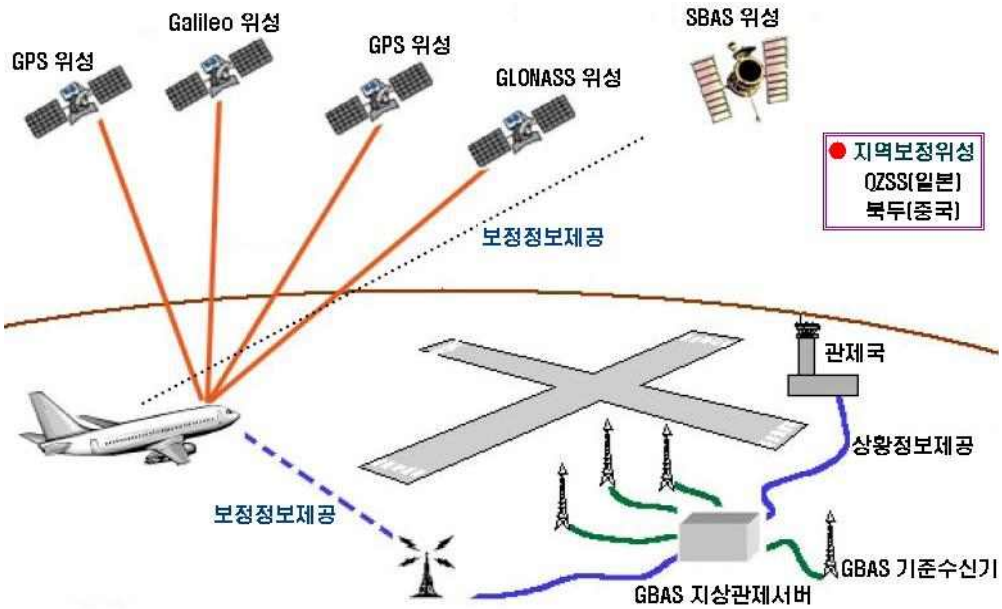


그림 1.4 GNSS 전체개념도

표 1.1 국가별 위성항법시스템 현황

구분	GPS	GLONASS	Galileo	COMPASS
국가명	미국	러시아	유럽	중국
목적	전 지구 위성항법시스템			
궤도면수	6	3	3	중궤도:3/저궤도:1
위성수	24기 (예비포함 31기)	24기 (예비포함 30기)	2기 (30기 배치예정)	11기 (35기 배치예정)
주파수	3개	2개	5개	4개
위치정확도	13m(수평)/22m(수평)	5~7m	4m(수평)/8m(수직)	10m
방식	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA

(가) GPS

GPS는 미국방성에서 NNSS(Navy Navigation Satellite System)의 개량형으로 개발된 위성항법시스템으로 1973년부터 운영 중이며, 24개(예비포함 31개)의 GPS 인공위성이 고도 20,180km 상에서 4개가 한 조가 되어 6궤도면으로 돌면서 지구상 GPS 수신기를 가지고 있는 사람에게 언제·어디에서든 수평방향으로 13m, 수직방향으로 22m 이내의 정확도로 GPS 수신기의 위치정보를 제공해주고 있다.

GNSS 시장을 거의 독점하였던 미국은 러시아, 중국, EU 등의 GNSS 시장에 본격적인 진입함과 동시에 경쟁력 확보를 위한 GPS 현대화계획을 발표하였다. 현대화계획은 GPS II와 GPS III 두 단계로 나누어 진행되며, GPS II는 다시 GPS II-R과 GPS II-F로 구분된다. GPS II-R은 2003년부터 2006년까지 약 30억 달러를 지원하여 제2의 민간신호(L2C)와 일부 군용 M코드신호를 제공할 수 있는 Block II-R 위성을 발사하는 것이고, GPS II-F 계획은 2005년부터 2010년까지 민간사용자를 위한 새로운 주파수인 L5신호를 제공해주는 Block II-F 위성을 발사하는 것이다. GPS III는 유럽연합의 Galileo 추진과 이라크전을 계기로 개발논의가 급속도로 이루어진 현대화계획으로, 2010년부터 추진되었다. GPS III 현대화계획에서는 군사적인 필요에 따라 특정 지역의 서비스를 차단하거나 왜곡하는 기능을 포함시킬 것으로 알려져 각국을 긴장시키고 있다. 아래의 그림은 미국의 1세대 GPS 위성과 현대화계획에 의해 개발계획 중인 2, 3세대 위성들을 소개한 것이다.

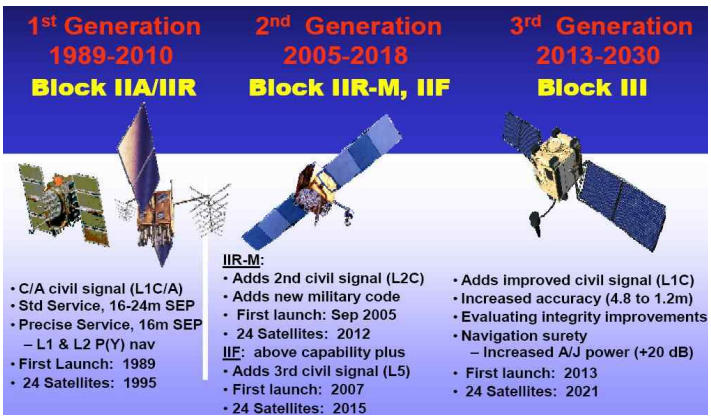


그림 1.5 미국의 세대별 GPS Block 위성들

(나) GLONASS

GLONASS 위성은 1982년 구소련시절에 발사되어 운영 중인 위성항법시스템으로 현재는 러시아 국방성에서 관리하고 있다. GLONASS 위성은 총 24대(예비포함30대)의 위성으로 구성되어있다. GLONASS는 GPS와 달리 주파수 분할 다중방식을 채택하고 있어서 위성마다 반송파의 주파수가 다르다. 그리고 GPS에서 군사용으로만 허용되는 P코드를 GLONASS에서는 민간이 사용할 수 있도록 허용하고 있어 위성활용이 가능해지면 그 활용도는 매우 높을 것이다. GLONASS의 제2의 도약을 위해 1999년 2월 러시아 대통령은 성명을 통해 GLONASS 국제협력 의사를 밝혔으며, 유럽연합과 장래 GNSS에서 GLONASS의 공동운영 의사를 천명하였다. 이를 통해 위성수명 및 궤도특성이 현저히 증가된 시스템 개발을 위한hn GLONASS-M(2003년~2015년), GLONASS-K(2008년~2025년), GLONASS-KM(2015년 이후) 개발을 위한 현대화계획과 DGLONASS망 구축계획을 수립하여 개발하고 있다. 다음은 GLONASS 위성의 현대화계획을 소개한 것이다.

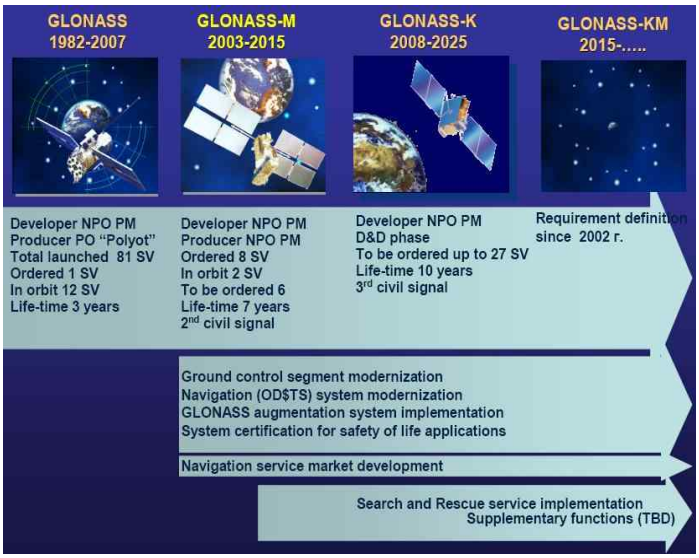


그림 1.6 GLONASS 현대화계획

출처 : 2005 뮌헨 GNSS Conference 발표자료

(다) Galileo

Galileo 프로젝트는 유럽연합에서 추진 중인 항법 시스템 개발 계획으로, 고도 23,616km의 궤도에 쏘아올린 30개의 중궤도 인공위성을 3개의 궤도로 10개씩 배치하여 네트워크를 구성해 지상에 있는 목표물의 위치를 정확히 추적해내는 것을 목표로 하고 있다. 미국의 GPS와 러시아의 GLONASS는 모두 군사적 목적으로 출발하여, 미국의 GPS는 민간용도로 쓰이고 있다. 따라서 Galileo 프로젝트는 유럽연합이 미국에 위성 정보를 의존하고 있는 상황에서 벗어나 '정보 독립'을 확보하기 위해 추진하고 있는 핵심 기술이다. Galileo 현재 2대의 위성이 운용중이며 총 30대의

위성배치를 목표로 하고 있다. 아래의 표는 단계별 Galileo 프로젝트 구축계획을 나타낸 것이다.
Galileo 프로젝트는 전체 2단계로 진행된다. 1단계는 GPS 및 GLONASS와 연계된 지역위성을 운용하는 단계이고, 2단계는 GPS 및 GLONASS와 동등한 독자적인 위성인 Galileo 위성을 운용하는 단계이다.

표 1.2 단계별 Galileo 프로젝트 구축계획4

단 계	내 용
초기(1999.10 ~ 2000.12)	○ Galileo System 설계(장비, 발전 Model 등)
개발(2001.01 ~ 2001.12)	○ 위성 설계 검증
비준(2002.01 ~ 2004.12)	○ 3개의 MEO 위성제작 발사, 지상국 일부 개발 ○ 장비와 위성의 H/W 증명
발전(2005.01 ~ 2007.12)	○ 궤도 결정, 수정위성 제작발사, 지상국 완성 ○ 위성배치 완성 및 시스템 시험 운영
공급(~ 2008)	○ 유럽 및 각 국가에 공급 개시

(라) COMPASS

중국은 자국내 서비스를 위해 개발한 위성항법시스템인 북두(Beidou)를 확대 개편하여 3개 항법위성으로 구성된 COMPASS라는 전 지구 위성항법시스템을 2015년까지 구축할 계획이다. 중국에서는 초기 독자 개발이 아닌 Galileo 시스템 개발에 참여하였으나, 시스템 개발이 지연된다는 이유로 독자 개발 노선을 구축하였다. 현재 중궤도 3개, 정지궤도 1개의 궤도면수를 확보하고 있으며, 11대의 위성이 발사되었다.

(2) GNSS 국내·외 활용기술

(가) FPK-GPS위치보정서비스

국토지리정보원에서는 언제 어디서나 사용가능한 고정확도의 위치정보서비스를 제공하기 위해서 FKP-GPS 위치정보서비스를 2012년 11월부터 시행하였다. FKP-GPS 위치정보서비스는 사용자의 위치를 중앙제어국에 전송할 필요가 없이 사용자가 GPS 보정데이터를 다운받으면 되는 단방향 접속방식으로 서비스 되며, 차량용은 10~30m, 항법·항행용은 1m, FKP-GPS 위치 보정서비스는 3cm의 정확도를 갖고 있다. 기존에국토에 60km 간격으로 배치된 57개소의 위성기준점(GPS상시관측소)을 구축하고 GPS데이터를 수집하고 분석하여 정밀하게 보정된 위치정보를 가장 기준점 방식으로 서비스 방식은 사용자가 중앙제어국 시스템에 접속된 상태를 유지하면서 사용자 위치를 전송해야 하므로 사용자 수에 제한이 있어 동일 시간에 많은 사용자가 집중될 경우 애로사항이 발생하는 불편이 있었으며, 가상기준점 방식은 중앙제어국과 사용자가 통신이 연결되어 위치 데이터의 송·수신이 가능한 상태를

유지하면서 사용해야 하므로 사용자 수에 제한이 있어 측량분야에서는 한정적으로 사용되었다. 하지만 이번에 서비스되는 FKP-GPS 위치보정 서비스는 사용자의 위치를 중앙제어국에 전송할 필요가 없이 중앙제어국이 보내는 신호만 수신하여 사용할 수 있어 사용자 수의 제한도 없어지고 대기 시간도 기존 10분의 1수준으로 줄어들게 되었다.

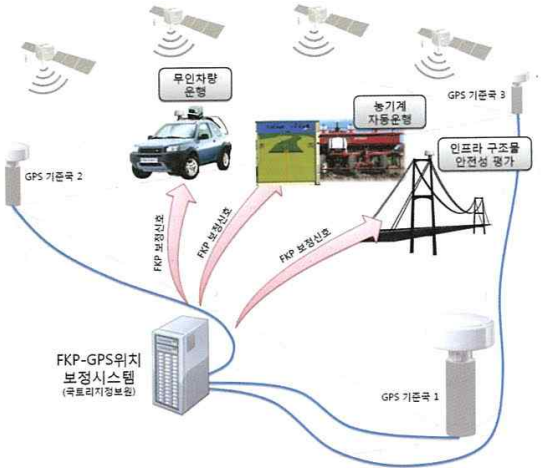


그림 1.7 FPK-GPS위치보정서비스 개념도
출처 : 측량 2012 11·12월호/대한측량협회

(나) VRS-RTK-GPS

RTK측위의 문제점을 배제하고 고정밀의 RTK측위를 가능하게 하기 위해서 개발된 것이 VRS-RTK-GPS이다. VRS란(Virtual Reference Station)의 약어로서 가상기준점으로 번역되어있다. 일반화된 명칭이지만 실제로는 Trimble-Terrasat사의 상표이다. VRS측위에서는 50㎞정도의 간격으로 배치된 3개 이상의 기준점에서 관측하는 GPS데이터를 실시간으로 취득하고, VRS계산처리 시스템(이하 센터라 한다)에 전송한다. 센터에서는 기준점이 형성된 망의 내부에 있는 오차요인을 실시간으로 해석한다. 관측점으로부터 보내져오는 관측점 부근의 위치(단독측위정측도 정도의 좌표)를 기초로 그 위치에서 수신되려는 GPS관측 데이터를 시뮬레이션 한 후 가상적인 기준점 데이터를 생성해서 관측점에 송신한다. 실제의 기준점으로부터 10㎞이상 떨어져 있어도 가상기준점과 관측점의 거리는 최대 약 30m이므로 RTK측위의 허용범위 내에서 관측되어, 정도가 높은 위치를 취득할 수 있다. VRS를 생성하기 위해서 기준점이 설치된 범위라면 언제 어디서나 고정도인 VRS측위가 가능하다.

(1) 관성센서

관성센서란 운동의 관성력을 검출하여 측정 대상인 움직이는 물체의 가속도, 속도, 방향, 거리 등 다양한 항법 관련 정보를 제공하는 센서로, 인가되는 가속되에 의해 관성체에 작용하는 관성력을 검출하는 것이 기본원리로 가속도계와 각속도계로 분류된다. 관성센서 기술의 응용분야는 비행기 및 차량의 항법에서부터 바이오

및 의료분야, 통신 및 광학분야, 자동차의 에어백, 핸드폰, 일반가전 분야에 이르기까지 매우 광범위한 영역에서 활용되고 있다.

(가) 관성측정장치(IMU:Inertial Measurement Unit)

이동관성을 측정할 수 있는 가속도계와 회전관성을 측정할 수 있는 자이로계와 방위각을 측정할 수 있는 자계로 이루어진 하나의 통합 Unit을 말한다. 3차원 공간 내에서의 자유로운 움직임을 측정하기 위하여 각 센서(가속도,자이로,지자계)를 3축으로 구성해서 하나의 통합된 Unit을 구성한다. 여기서 자이로와 가속도를 가지고 자세를 측정하는 것이 바로 ARS(Attitude Reference System)이고 자이로와 가속도와 지자기까지 이용해서 자세를 측정하는 것이 AHRS(Attitude Heading Reference System)이며 자세제어를 할 때에 가속도센서는 이동거리를 측정하는 것이 아니라 중력가속도를 이용하여 각도를 계산해줌으로서 자이로와 가속도를 접목해서 사용하게 되며, 앞에서 설명한 모든 유닛을 하나로 묶어서 IMU라고 한다.

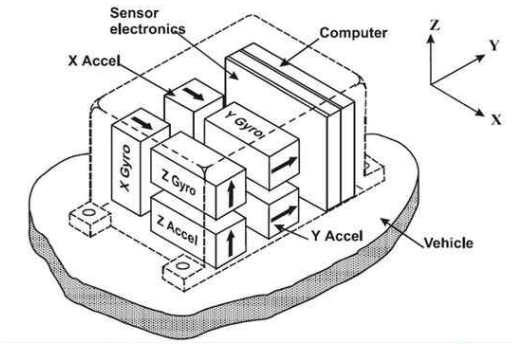


그림 1.8 관성측정장치

출처 : 서울대학교 GNSS 연구실

(나) 관성항법장치(INS:Inertial Navigation System)

INS(Inertial Navigation System)은 1950년대 초반에 미국 MIT에서 개발되었으며, 1960년대부터 실용화되기 시작한 항법 시스템이다. 초기 위치 정보로부터 가속도를 측정하여 적분을 함으로써 항체의 속도와 위치를 추정한다. INS를 이루는 센서는 가속도계(Accelerometer)와 자이로스코프(Gyroscope)로 구성된다. 가속도계는 선방향 가속도를 측정하여 내보내주고 자이로스코프는 각속도를 측정하여 내보내주는 역할을 한다.

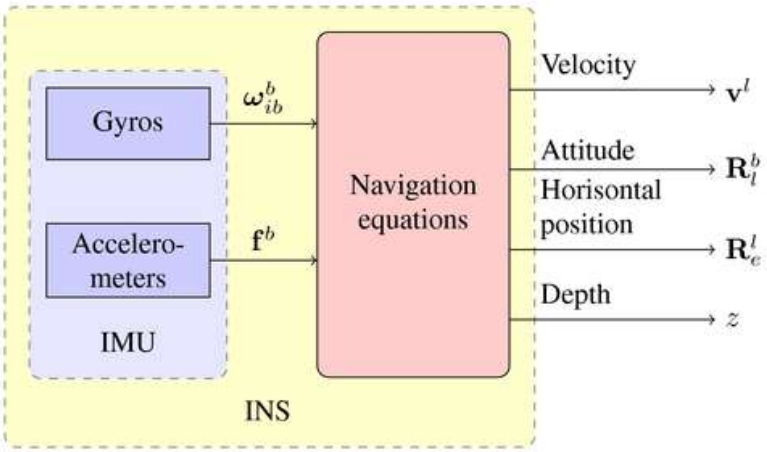


그림 1.9 INS Block Diagram
출처 : 서울대학교 GNSS 연구실

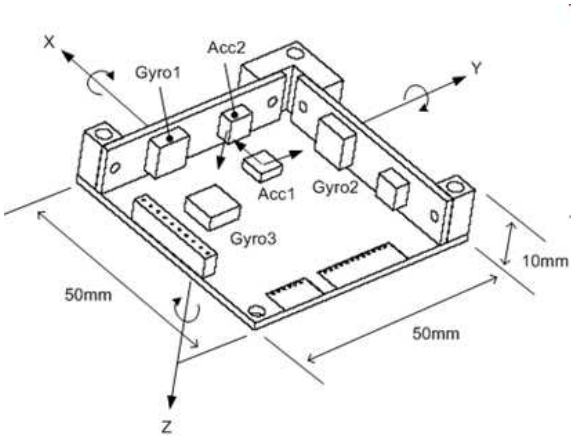


그림 1.10 MEMS INS 센서
출처 : 서울대학교 GNSS 연구실

① 가속도센서

가속도센서는 가속도, 진동, 충격 등의 동적 힘을 감지하여 관성력, 전기변형, 자이로 등의 응용원리를 이용한 것이다. 가속도 센서는 물체의 운동상태를 순시적으로 감지할 수 있으므로 자동차, 기차, 선박, 비행기 등의 운송수단 및 공장 자동화와 로봇 제어등에 필수적이며 그 활용분야는 광범위하다.

표 1.3 가속도센서의 검출방식 및 원리

방식	원리
동전형	도체가 자계 속을 이동하면 그 속도에 비례하여 기전력이 발생한다. 이 기전력을 검출하여 가속도를 구함
압전형	압전소자에 힘이 가해졌을 때 발생하는 전하를 검출하여 가속도를 구함
서모형	- 저항선 변형게이지 다이어그램(스프링)등에 저항선 변형 게이지를 붙여 가해진 힘과 저항의 변화에서 가속도를 구함
변형게이지형	- 반도체 변형게이지 SI, Ce단결정의 피에조 저항 효과를 이용하여 가해진 힘과 저항의 변화에서 가속도를 구함

표 1.4 가속도센서의 종류 및 원리

종류	방식	원리
관성식	진자형	진자형은 마찰이 적은 피벗 베어링으로 진자를 지지함 가속도 α가 가해지면 진자는 반대방향으로 변위하는데 이 변위를 측정하여 가속도를 구함
	진동형	질량m을 양측에서 현으로 지지하고 현의 진동수 f1, f2의 차이를 검출함. 가속도 α가 한방향으로 가해지면 현의장력에 차이가 생겨 그 주파수 차이로 가속도를 구함
자이로식	진동형	자이로를 구성하는 질량의 운동이 음의진동에 이루어짐
	유체형	운동체로서 가스를 사용한 것으로 가스분자가 코리올리의 힘을 받아 가스류가 y방향으로 흐르고 불평등한 저항값에 의하여 생성되는 불평등 전압 차이로 가속도를 구함

② 자이로스코프(Gyroscope)

자이로스코프는 물체의 각속도를 검출하는 계측기로 흔히 자이로라고 불려지기도 한다. 배 혹은 항공기나 로켓의 자율 항법으로 사용되었으며 최근에는 자동차 내비게이션 시스템이나 자동운전 시스템, 로봇, 디지털카메라, 무인 정찰기 등에서도 이용되고 있다. 자이로스코프는 방향의 측정 또는 유지에 사용되며, 각운동량 보존법칙에 근거한다. 자이로스코프는 축이 어느 방향으로든지 놓일 수 있는 회전하는 바퀴이며 자이로스코프가 빠르게 회전할 때에는, 외부에서 토크가 주어졌을 때 그 방향이 회전에 의한 각운동량(angular momentum)에 의해 회전하지 않을 때보다 훨씬 적게 변화하게 된다. 자이로스코프는 수평 유지 장치에 놓이게 되므로 외부의 토크는 최소화되며, 장착된 받침이 움직이더라도 그 방향은 거의 고정되게 된다.

③ 국·내외 대표적 관성센서 현황

INS센서는 센서의 감지능력의 향상을 통하여 안전성과 고정밀의 데이터 확보를

위하여 지속적으로 개발 및 개선되고 있다. 특히 MEMS 기반의 관성센서는 기존제품 대비 데이터 검출 정확성 및 안전성이 확보되고, 전원 문제를 해결하기 위하여 저전력 기반으로 개발되고 있다. 아래 그림은 국·내외 INS 센서 제조사의 대표적인 관성센서 현황을 보여준다.

제조사명	소개 제품명	주요 특징
아날로그 디바이스	ADIS16488 아이센서 10DoF MEMS IMU 	✓ 바이어스 안정도 탁월(기존 제품대비) ✓ ARW 등 주요 측정기준에 대해 기존 IMU보다 우수 최소 동일 성능 ✓ 기존 제품대비 1/4 전력 소비 ✓ 자이로 동적범위: 450도 /s ✓ 1/10 비용으로 진동교정 ✓선형도 및 대역폭 파라메터에 탁월 성능 제공
	ADXRS649	✓선형 가속도 감도: 0.005도/sec/g(기존 0.1) ✓시동시간: 3ms ✓소모전력:3.5mA(기존 타 MEMS 60mA) ✓+/- 20,000도/sec 각속도 감지능력 ✓ 외부 저항기 추가시 +/-50,000도/sec 각속도 감지능력 향상 가능 ✓기존 양산중인 아이템과의 호환이 가능하여, 성능 업그레이드 능력 탁월

그림 1.11 MEMS INS 센서 종류
출처 : 아날로그 디바이스사

제조사명	소개 제품명	주요 특징
ST 마이크로 일렉트로닉스 	AIS328DQ	✓ 자동차등급 3축 low-g 가속도계 ✓ 3개축을 따라 가속도 검출 ✓ 모션 및 기울기정보를 고분해능 디지털 신호로 변환하여 표준 SPI 또는 I2C I/F로 MCU에 전송 ✓ (+/-)2g/4g/8gdml 풀스케일 범위의 정확한 출력제공 ✓ 시간과 온도에 대한 뛰어난 안정성 제공 ✓ 충격과 전자기 간섭에 뛰어난 내성 ✓AEC(Automotive Electronics Council)로부터 AEC-Q100(자동차 IC 중요 스트레스 테스트) 인증획득 ✓ -40~105도의 온도범위에서 동작 가능 ✓ 임베디드 루틴으로 디바이스 동작여부 검사 가능 ✓ 저전력, 소형 풋프린트, 고정밀도 제공

그림 1.12 MEMS INS 센서 종류
출처 : ST 마이크로 일렉트로닉스사

제조사명	소개 제품명	주요 특징
인텔레인 	"MySen" series	✓ 자동차, 무인항공기,무인잠수정 적용 MEMS 기반 관성측정장치 ✓ 이동물체의 위치와 자세, 속도정보 제공 모션센서모듈 ✓ 피라미트 배치 특허기술 적용 ✓ 사전 온도 보정 이루어진 제품 ✓ MySen G는 B에 GPS 모듈 추가하여 관성센서가 가진 누적오차 문제 해결 ✓ 특허기술에 의한 센서 보정기술수행으로 정확한 센서데이터 획득 및 안정성 보장

그림 1.13 MEMS INS 센서 종류 (출처:인텔레인)

가. 국내·외 위치추적 요소기술 특허 동향 조사 및 분석

VI-GNSS 핵심요소기술인 3차원 위치인식기술인 GNSS와 MEMS기술의 국내외 특허동향을 조사 분석한 결과 GNSS의 경우 과거 정밀측지용 GPS기술의 활용에서 네비게이션, LBS 분야 등에서의 GNSS기술의 급속한 발전으로 대중 GPS기술로 변모하고 있고, 이에 대한 많은 특허들이 출원 및 등록되고 있었다. 또한, MEMS기술은 자동차분야에 국한되다 최근 들어 노약자, 사회적 약자 등의 위치안내, 항법 등을 위한 사람용 MEMS기술이 연구개발이 늘어나고 있는 추세였다.

표 1.5 위치추적 요소기술 주요 특허조사 내용

항목	주요 특허 조사자료	특허내용
GNSS	- 지엔에스에스 망 조정을 이용한 지반 및 시설물 계측 시스템 - 지엔에스에스를 이용한 시설물 시공 관리 시스템 - 실내 무선 측위용 환경 분석 시스템 및 그 방법 - 개인형 긴급 위치정보 송신 장치 및 이를 이용한 조난자의 위치 추적 시스템 등	GNSS와 관련한 주요특허는 항법시스템의 개선 및 위치측위·추적 시스템에 개선에 관한 특허가 출원 및 등록됨
MEMS	- MEMS기술을 이용한 가속도센서 및 그 제조방법 - MEMS 센서 시스템 및 그 방법 - 관성센서를 이용한 사람의 이동거리 측정장치 및 방법 - 수평으로 배향된 구동 전극을 구비한 MEMS 자이로스코프로 등	MEMS와 관련한 주요특허는 주로 가속도 및 자이로스코프의 개선에 관한 내용과 MEMS 센서 활용방법에 관한 특허가 출원 및 등록 됨
결론	VI-GNSS 핵심요소기술인 3차원 위치인식기술인 GNSS와 MEMS기술의 국내외 특허동향을 조사 분석한 결과 GNSS의 경우 과거 정밀측지용 GPS기술의 활용에서 네비게이션, LBS 분야 등에서의 GNSS기술의 급속한 발전으로 대중 GPS기술로 변모하고 있고, 이에 대한 많은 특허들이 출원 및 등록되고 있었다. 또한, MEMS기술은 자동차분야에 국한되다 최근 들어 노약자, 사회적 약자 등의 위치안내, 항법 등을 위한 사람용 MEMS기술이 연구개발이 늘어나고 있는 추세였다.	

(1) GNSS 특허동향

GNSS기술의 특허 내용을 좀 더 자세히 살펴보면 항법, 위치, 통신과 관련된 특허가 주를 이루었으며, 본 과제와 직접적으로 관련된 특허에 대하여 보다 자세한 분석을 실시하였으나, 주로 시설물의 관리에 초점이 맞추어져 있었다.

조사된 특허내용은 동기된 의사위성을 이용한 항법시스템, 코드 분할 다중 접속 시스템 GPS/GLONASS 수신기를 이용한 기지국 동기 방법, 물체 위치 추척 방법 및 장치, 네트워크 위치확인 시스템 형성 방법 및 장치, 의사위성을 이용한 자동 식별 시스템 및 자동 식별 방법, 위성 항법 시스템 수신기, 위성 기반 위치측정, 위성 위치 확인 시스템의 이동국에 보조 데이터를 제공하는 방법, 지원형 위성 기반 위치인식 지원, 양방향 의사위성을 이용한 동기식 의사위성 정밀항법시스템, 광역 의사위성 항법 시스템, 위치 결정 네트워크에서 로빙 위치 수신기의 위치를 결정하는

방법 및 시스템, 다매체 통신에서의 위치기반 서비스, 네비게이션 시스템에서 이동체 진행 방향을 파악하는 방법 등이 있었으며, 본 과제와 관련된 특허는 지엔에스에스 망 조정을 이용한 지반 및 시설물 계측 시스템, 지엔에스에스를 이용한 시설물 시공 관리 시스템, 실내 무선 측위용 환경 분석 시스템 및 그 방법, 개인형 긴급 위치정보 송신 장치 및 이를 이용한 조난자의 위치 추적 시스템으로 조사되었다.

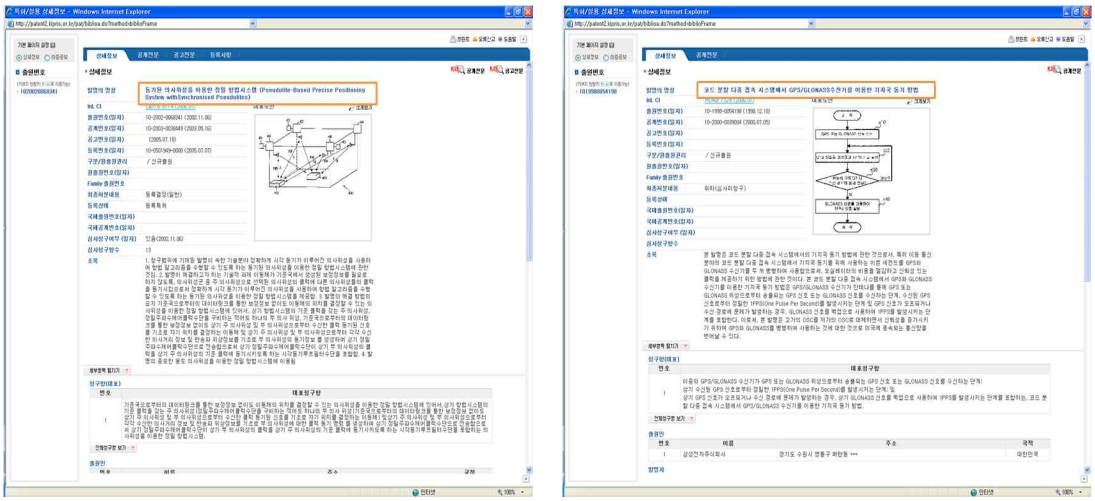


그림 1.14 GNSS 특허 조사 자료사례

출처 : 한국특허정보원 특허정보검색서비스(http://www.kipris.or.kr)

(2) 관성센서기술 특허동향

관성센서관련 특허는 주로 위치확인, 항법과 관련된 기술이 대부분이였으며 센서 및 GNSS와 연관된 기술의 특허도 조사되었다. 관련 특허로는 위치확인시스템 및 방법, 절대위치의 검지방법 및 검지장치, 이동식 매핑시스템 및 그 영상처리방법, 위성항법장치를 이용한 컴퓨터 수치지도상에의 동영상의 지원방법과 디스플레이방법 및 그 동영상의 지원시스템, GPS/INS 장비를 이용한 측량 정보 및 GIS 지리정보, 실시간 영상정보를 결합한 공간정보 서비스방법, 추측 항법과 지피에스를 이용한 복합 항법 장치 및 그 방법, 천연가스를 매체로 한 무선통신 시스템 및 방법, 지피에스 및 관성 항법 장치를 이용한 실시간 재난 방재시스템 및 그 운영방법, 전세계 위치시스템/관성센서를 이용한 사용자 단말기 측위 장치 및 방법, 재난재해시 위험지역 주민대피를 위한 경보송출방법을 포함한 재난방재통합관리시스템, 발진제거 중계기의 디지털신호 자연필터링 방법, 다중 필터 융합을 이용한 복합 항법 장치 및 이를 이용한 방법 정보 제공 방법, 관성센서를 이용한 추측항법 장치 및 그 방법, 결합/분리 가능한 이동체용 다목적 항법장치, 3차원 위치 측정 장치, 3차원 위치 측정 장치 및 그 방법, 지하 매설관의 3차원 지리정보 획득 장치, 관성센서를 이용한 굴진경로 측정장치, 관성센서를 구비한 이동 단말 및 이를 이용한 목적지 도착 알림 방법이 조사되었다.

관성센서의 특허내용을 살펴보면 관성센서를 이용한 지원시스템이 주를 이루고 있으며, 그 밖에 재난관련 특허, 항법, 위치관련 특허가 출원된 것으로 요약할 수 있다.

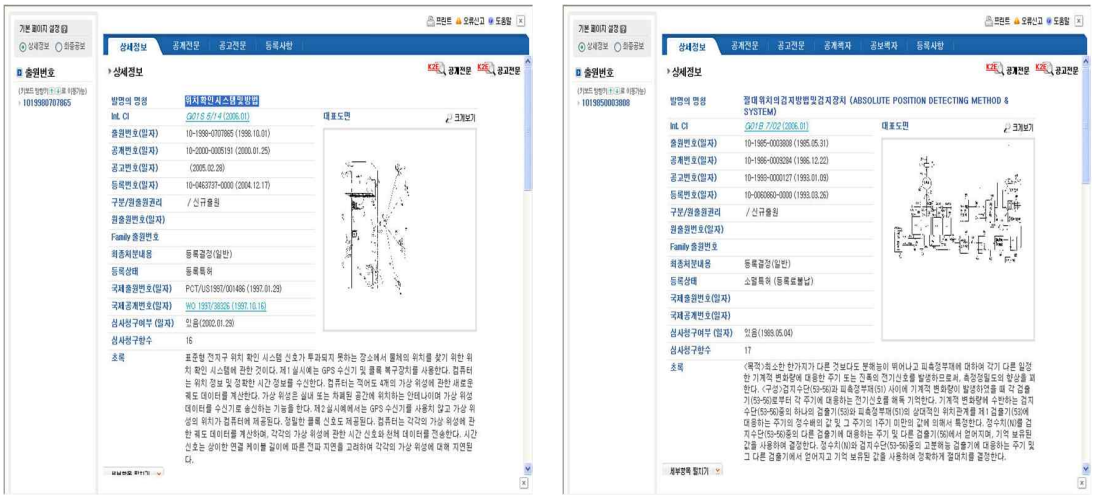


그림 1.15 INS 특허 조사 자료사례

출처 : 한국특허정보원 특허정보검색서비스(http://www.kipris.or.kr)

(3) 위치추적 요소기술별 현 성능 수준 분석

본 연구에서는 작업자의 위치 추적용 모듈 제작을 위해 VI-GNSS에 채용할 GNSS, MEMS INS센서, 그리고 기타 센서들에 대한 채용 검토를 하였다.

(가) GNSS 부문

① 최신 위성항법 분야의 화두는 기존 미국의 GPS만 운용하던 위성항법시스템이 러시아의 GLONASS의 FOC로 인해 두 개로 증가했고, 여기에 유럽의 GALILEO, 중국의 COMPASS, 일본의 QZSS도 수년 내에 서비스를 제공할 계획이다. 따라서 기존의 GPS 단독 운용의 경우에 존재하던 도심지에서의 관측위성수 부족 또는 미약신호 발생 등의 문제가 해소될 가능성이 높아졌다.

② 과제가 종료된 후의 위성항법시스템 운용 환경을 고려할 때 멀티 GNSS를 기본으로 해야한다고 판단되었으며, 현재 운용되는 GLONASS까지 채용한 GNSS 칩 제조사 및 제품을 채용하기로 한다.

③ 현재 상용화된 관련 칩 제조사 및 모델은 SiRF사의 4th 모델, uBlox사의 6th 모델, SkyTraQ사의 최신 v668 모델, Broadcom사의 BCM47511, STMicro사의 c8088 모델을 고려하였다.

④ 복합 GNSS 기능을 채용하고자 하는 본 연구에서는 Broadcom사 제품과 STMicro사의 제품을 고려하였으며, 이 중에서 Broadcom사의 제품은 별도의 고성능 MPU를 필요로 하는 호스트 방식으로써 저전력, 초소형을 위한 제품

에는 맞지 않기 때문에 STMicro사의 c8088을 선정하였다.

(나) MEMS INS 부문

① 항법용으로 사용되는 센서는 지금까지 아날로그가 많이 채용되어 왔으나 저전력, 소형화를 구현하기에는 부수적인 부품과 회로가 소요되기 때문에 부적합하다. 현 MEMS INS 센서의 대세는 디지탈이며, 반도체 기술이 지속적으로 발전하고 있기 때문에 향후 과제가 진행되면서 성능이 더 우수해진 새로운 제품이 출시될 것으로 기대하고 있다. 특히 Bosche 제품과 ST Micro 제품이 시장에서 각광 받고 있으며 디지탈 센서를 채용하기 위해 가장 많이 보급된 STMicro사, Bosche, AICHI, Invensense사 제품을 고려하였다.

② 디지탈 3축 자이로센서는 Invensense사 제품과 STMicro사 제품을 선정하였으며, 두 제품의 사양은 동급이기 때문에 두 제품을 같이 취급하고 있고 향후 양산성과 제품보급을 고려하여 한 모델을 채용할 예정이다. 디지탈 3축 가속도센서는 일본의 AICHI 제품과 독일의 Bosche 제품을 고려하였으나 복합성과 정통성을 고려했을때 Bosche 제품이 저렴하고 안정성이 좋은 것으로 판정되었다.

③ 최근 게임기에만 적용되던 디지탈 센서들이 스마트폰에 적용되기 시작하면서 하드웨어적으로 우수한 단말기가 속출하고 있다. 이 단말기들은 향후 진행될 제품제작 및 알고리즘 검증에 기준이 되거나 데이타 비교용으로 매우 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

(4) 무선통신 요소기술 개발 현황

본 연구에서는 지하구조물(지하철, 터널 등)건설 시와 같이 열악한 환경에서 원활한 무선통신을 위하여 무선통신 요소기술에 대한 사전조사가 필요하다. 이에 현재 국·내외에서 활용하고 있는 무선통신 요소기술 및 특허 대한 조사와 분석을 기반으로 요소기술별 현 성능 수준 분석을 수행하고자 한다.

(가) 무선메쉬네트워크(WMN:Wireless Mesh Network)

장소와 시간을 뛰어넘어 언제 어디서든지 다자간 접속을 가능케 하는 무선메시네트워크가 건설과 IT간 융복합 시대의 차세대 핵심기술로 떠오르고 있다. WMN은 U-City 민간서비스는 물론 초고층 빌딩, 대운하 사업까지 적용될 전망이다. 기존 무선랜만으로 한계가 있었던 초고층 빌딩 내 데이터 교신이나 유무선망 설치가 녹록지 않은 지역에서 발생하기 쉬운 문제점들을 손쉽게 해결할 수 있기 때문이다. WMN이 적용된 대표적인 국내 사례로는 해운대·청계천의 U-서비스, 버즈 두바이 등이 있으며 특히 아랍에미리트 버즈 두바이 프로젝트 공사현장에서 지휘본부와 500m 높이의 타워크레인 공사현장 간 데이터 교신을 가능케 해 주목을 받았다. 해

외에선 최근 1~2년 새 인도 뭄바이, 마케도니아, 케냐 등 동남아와 아프리카, 중국 등 유선 인프라가 열악한 국가를 중심으로 급속히 확산되고 있다. 샌프란시스코, 필라델피아 등 미국의 많은 도시도 WMN을 이용한 U-City를 구축하고 있다.



그림 1.16 메쉬 네트워크 개념도

WMN은 U-City 민간서비스는 물론 초고층 빌딩, 대운하 사업까지 적용될 전망이다. 기존 무선랜만으로 한계가 있었던 초고층 빌딩 내 데이터 교신이나 유무선망 설치가 녹록지 않은 지역에서 발생하기 쉬운 문제점들을 손쉽게 해결할 수 있기 때문이다. WMN이 적용된 대표적인 국내 사례로는 해운대·청계천의 U-서비스, 버즈 두바이 등이 있으며 특히 아랍에미리트 버즈 두바이 프로젝트 공사현장에서 지휘본부와 500m 높이의 타워크레인 공사현장 간 데이터 교신을 가능케 해 주목을 받았다. 해외에선 최근 1~2년 새 인도 뭄바이, 마케도니아, 케냐 등 동남아와 아프리카, 중국 등 유선 인프라가 열악한 국가를 중심으로 급속히 확산되고 있다. 샌프란시스코, 필라델피아 등 미국의 많은 도시도 WMN을 이용한 U-City를 구축하고 있다.

WMN은 우선 이동성은 물론 전송속도와 확장성, 신뢰성 측면에서 블루투스 등 유사기술과 기존 이동통신기술에 비해 월등하다는 평가다.

특히 기존 이동통신 기술은 제한된 대역폭과 고가의 구축비용으로 저렴한 고품질의 이동 데이터 서비스가 어렵고 이동 중에 접속이 끊기거나 넓은 광역망을 가지기 위해 모든 유선망을 끌어들여야 하는 어려움이 있었다.

하지만 WMN은 고가의 송신탑이나 기지국마다 유선망을 끌어들일 필요가 없어 전체적 망 구성 비용이 저렴할 뿐 아니라 고속이동 중에도 이음새 없이 각종 데이터를 제공할 수 있다. 또 적은 출력을 이용해 무선망을 확장할 수 있다는 장점을 가졌다.

자가망 구성(Self-forming) 기능, 자가 치료(Self-healing) 기능, 자체 균형(Self-balancing) 기능 등을 통해 낮은 오버헤드로 고성능 라우팅 구현이 가능하며,

링크 상태를 실시간으로 판단할 수 있는 장점도 있다. 특히나 기존 무선랜 방식은 break-before-make 방식을 채용하고 있으나 WMN은 make-before-break 개념으로 끊김없는 이동성을 보장할 수 있다는 것이 최대 장점이다.

(나) 유비쿼터스 센서네트워크(USN : Ubiquitous Sensor Network)

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 필요한 모든 것(곳)에 RFID 태그를 부착하고 이를 통하여 사물의 인식정보는 물론 주변 환경정보까지 탐지하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리할 수 있도록 하는 첨단 지능형 사회의 기반 인프라이며 모든 사물에 부착된 RFID 또는 센서를 초소형 무선장치에 접목하여 이들 간의 네트워킹과 통신으로 실시간 정보를 획득, 처리, 활용하는 네트워크 시스템이다. 다음 그림은 USN의 개념도를 보여준다.

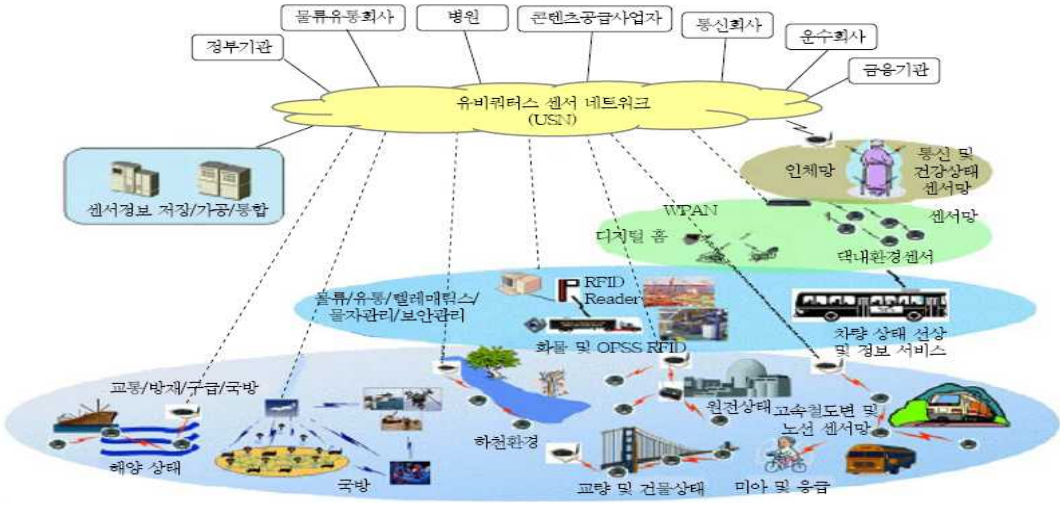


그림 1.17 USN의 개념도

(2005 RFID/USN 기술개발 마스터플랜)

(다) Zigbee

ZigBee는 마치 벌(Bee)이 지그재그(Zig Zag)로 왔다 갔다 하면서 가장 경제적으로 통신하는 개념을 도입하여 만들어졌다고 하며, 이는 저가·저전력의 유비쿼터스 센서네트워킹을 위한 기술 중의 하나이다. ZigBee는 10~20m 내외의 근거리 통신 시장과 최근 주목받고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅의 위한 기술로 무선통신 분야에서 IEEE 802.11x나 다른 802.15.x와는 달리 단순기능이 요구되는 매우 작은 사이즈, 저전력, 저가격 시장을 목표로 하고 있다. Automation분야에서의 활용을 위해 매우 긴 Battery 수명과 매우 간단한 network 구조를 갖는 저속의 solution을 찾기 위해 IEEE802.15.4 표준이 제정되었다. 지금까지 ZigBee 기술은 단순 센싱 기능을 위한 저용량의 데이터를 전송하는 응용 위주로 개발되어 왔으나, 최근 그 활용 범위가 전자지불, 정보배달, 헬스케어, 위치기반 서비스, 음성통신, P2P 데이터공유 등과 같이 기존 인프라와 연동되는 다양한 서비스 필요성이 대두되었다. 다음 그림은

ZigBee 휴대폰의 적용분야에 대하여 보여준다.

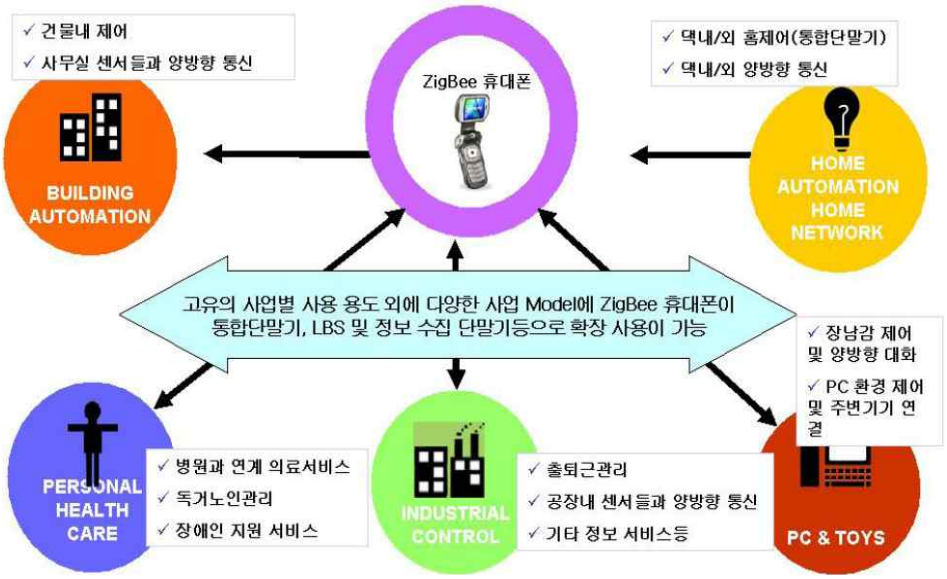


그림 1.18 ZigBee 휴대폰의 적용분야
(2007 ZigBee 표준화 및 기술동향)

바. 국내·외 무선통신 요소기술 특허 동향 조사 및 분석

국내·외 무선통신 요소기술은 크게 원거리와 근거리 통신으로 나누어 활용성을 분석할 수 있다. 기존 원거리통신방식은 대부분 CDMA방식을 채택하여 활용하고 있으며, 건설현장에서는 무선주파수대를 활용한 무선통신이 활용되기도 하고 있다. 또한, 센서모듈 사이의 거리가 가까운 경우에는 데이터의 릴레이 방식 또는 무선메쉬네트워크 구성을 통한 데이터 전송이 이루어지고 있으며, 특히 데이터 전송시 hopping기능을 통해 무선통신 경로가 끊겼을 때 자동으로 근접 통신모듈로 접속하여 연속적인 데이터 전송이 가능하도록 하여 데이터를 모으는 게이트웨이에서 패킷 데이터의 전체자료를 원거리로 전송하는 무선통신이 활발히 이용되고 있다.

따라서, 본 연구에서도 원거리통신과 근거리통신으로 나누어 특허동향을 조사 및 분석하였으며, 앞서 말한 것과 같이 원거리통신과 근거리통신이 조화롭게 활용될 수 있는 무선통신 환경구현을 위한 많은 특허들이 존재하고 있었음을 확인할 수 있었다.

표 1.6 무선통신 요소기술 주요 특허조사 내용

항목	특허명	주요내용
USN	- USN을 이용한 교통정보 수집 및 처리 시스템 및 그 방법 - USN 기반 하천 및 하천시설물 관리방법 - USN을 이용한 분산형 재난 관리 시스템	USN와 관련한 주요특허는 USN 기술을 기반으로 한 시스템 개발에 관한 내용으로 시설물 및 실시

	- USN 기반의 도로 위험정보 실시간 제공 시스템 - 교통 정보 제공 시스템 및 그 방법	간 정보획득에 대한 특허가 출원 및 등록 됨
WLS	- 무선 장치의 위치식별을 위한 상용 무선 위치 확인 시스템의 보강 방법 - 무선 통신 기지국들을 위한 지피에스 동기화 - 무선 로케이션 시스템에서 로케이션 기반의 서비스 어플리케이션을 위한 개선된 트리거	WLS와 관련한 주요특허는 주로 무선통신을 기반으로 한 위치인식과 관련된 특허가 출원 및 등록됨
결론	VI-GNSS 핵심요소기술인 무선통신 USN과 WLS기술의 국내외 특허동향을 조사 분석한 결과 USN의 경우에는 기존 기술의 지속적인 개선과 함께 활용 분야를 점차적으로 확대하여 가는 추세이며 이로 인하여 일반인의 생활 저변에 활용되는 시스템에 대한 특허가 출원 및 등록되고 있었다. 또한, WLS기술 GNSS, INS 등과의 통합활용을 통한 연속적 위치측위 기술 및 서비스에 대한 특허가 출원 및 등록되고 있다.	

(가) 무선측위시스템(WLS : Wireless Location System) 특허 동향

무선측위 기술은 GNSS을 이용하지 않고 이동통신망과 같은 무선통신망을 활용하여 위치를 파악하는 기술로 실내외 연속적인 위치를 파악하기 위해 사용되는 기술이다. 이와 관련된 특허의 주 내용도 무선통신기술을 활용하여 위치인식과 관련된 내용이 주를 이룬다.

무선측위 관련 기 출원된 특허로는 비-가시선 완화를 위한 다중경로 채널 통계를 이용하는 가중 최소 자승 위치 측정 방법, 무선 통신 기지국들을 위한 지피에스 동기화, 무선 로케이션 시스템에서 로케이션 기반의 서비스 어플리케이션을 위한 개선된 트리거, 향상된 위치 정확도를 위한 이동 내지 비행 센서들과 실시간 공중 조감 영상을 이용하는, 무선 장치의 위치식별을 위한 상용 무선 위치 확인 시스템의 보강 방법이 조사되었다.

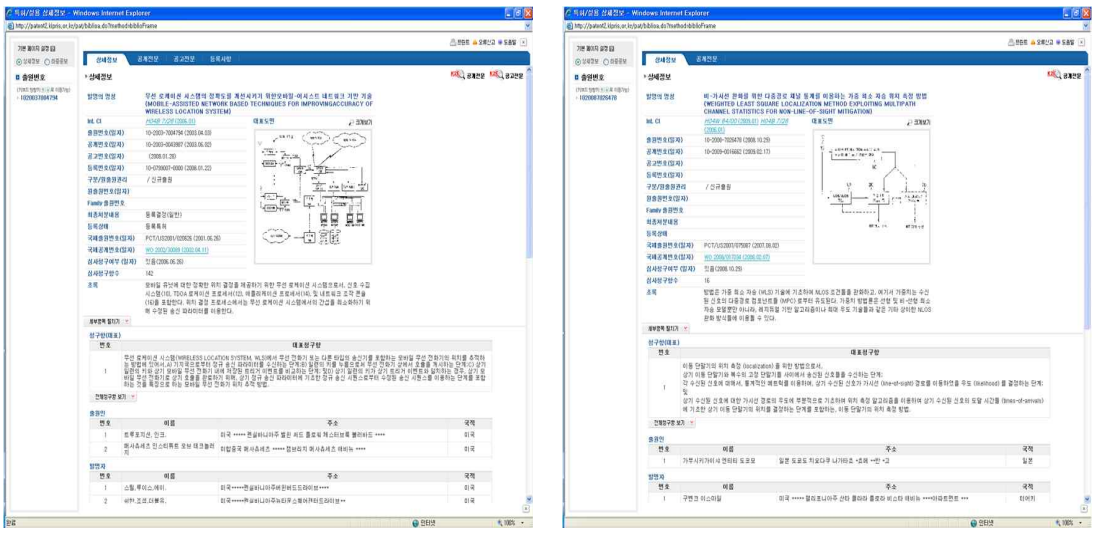


그림 1.19 WLS 특허 조사 자료사례

(나) 유비쿼터스 센서네트워크(USN : Ubiquitous Sensor Network) 특허 동향

유비쿼터스의 주요 핵심 기술인 USN관련 특허 내용이 주를 이루고 있으며, 분야로는 교통, 주차관리, 시설물관리, 제어시스템으로 크게 구분할 수 있다.

관련 특허로는 전자태그와 유비쿼터스 센서네트워크를 이용한 물류 관리시스템, 위치인식 기반의 미아찾기 시스템 및 그 방법, USN을 이용한 쇼케이스 관리시스템, 유비쿼터스 교육시스템을 위한 USN 무선단말기 위치인식방법, 알에프아이디(RFID)/유비쿼터스 센서 네트워크(USN)를 이용한 지중선 통합관리 서비스 시스템, USN 환경에서의 지리적 코드를 이용한 위치기반서비스제공 시스템 및 그 방법, 무선인증과 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 주차관리시스템 및 방법, 근거리 무선 통신을 이용한 위치 추적 시스템, 음향 센서를 이용한 치안 유지 USN 시스템 및 이를 이용한 치안 유지 방법, RFID/USN 시스템, USN을 이용한 교통정보 수집 및 처리 시스템 및 그 방법, RFID/USN을 이용한 경로 제공 장치 및 방법, USN 기반 하천 및 하천시설물 관리방법, USN을 이용한 분산형 재난 관리 시스템, 교통정보 제공 시스템 및 그 방법, 상수도시설물 관리 시스템 및 방법, 정찰 로봇 및 정찰 로봇 운행 제어 시스템, 컨테이너 부착용 단말기, 수자원 관리를 위한 모바일 단말기, 전자태그 위치 측위 이동통신 단말기 및 위치정보 제공시스템 및 서비스 방법, 데이터 송수신이 가능한 근거리 위치측정 시스템 및 이에 이용되는 무선이동장치, 단거리 통신과 장거리 통신을 병용한 위치 및 경로 인식장치 및 방법, USN 기반의 도로 위험정보 실시간 제공 시스템 및 그 방법, 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈과 RFID 모듈을 이용한 실시간 무선 인식 주차관리 시스템, 차량용 교통정보 안내 장치 및 방법이 조사되었다.

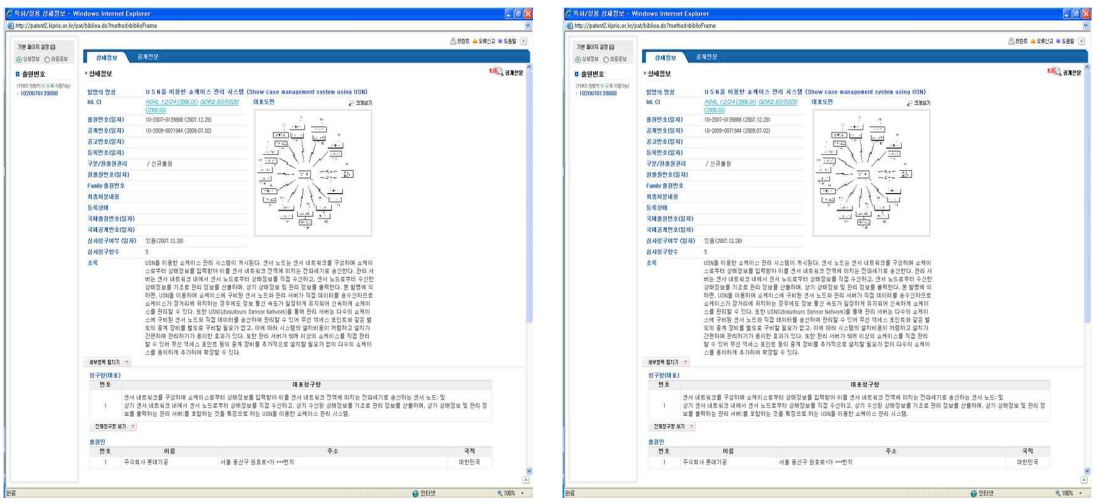


그림 1.20 USN 특허 조사 자료사례

본 과제에서 검토하고 있는 무선통신 솔루션은 음성통화, 센서 데이타 송신, 영상데이타 송신까지 고려해야 한다. 이에 반해 현재 현장에서 채용하고 있는 무선통신

은 무전기나 일반 휴대폰에 한정되어 있고 특화된 무선통신 솔루션을 보유하고 있지 않다. 본 과제에서는 이런 상황을 해소하기 위해 앞으로도 다양한 무선통신 솔루션을 시험하고 비교, 평가할 예정이다.
이를 수행하기 위해 아래와 같이 현존하는 무선통신의 다양한 솔루션을 고려하여 본 연구과제 결과물로써의 적합성을 판단하였다.

표 1.7 무선통신 솔루션별 특장점 비교

종류	솔루션 형태	특장점	성능 검토
음성 통신	무전기헤드셋	단방향, 지역망만 가능 주파수 1GHz 미만	미흡
	CDMA 단말기	양방향 전국망 주파수 1~2GHz	보통
	WIFI 무선모뎀	양방향 VoIP 가능 주파수 2.4GHz, 5GHz	양호
	바이너리 CDMA 모뎀	양방향 지역망 구축가능 주파수 1~2GHz	양호
	장거리 무선모뎀	양방향 지역망 주파수 1GHz 미만	양호
데이타 통신	CDMA 단문서비스	월정액 과금 있음.	보통
	TRS 무전기	가장 단순한 데이타 전송	미흡
	WIFI 무선 모뎀	패킷 단위 송수신	양호
	ZIGBEE 무선 통신	USN 방식 채용 가능	우수
	Bluetooth 무선 통신	로컬 1:1 방식	보통
	바이너리 CDMA 모뎀	데이타 전송에 제약 없음	우수
	장거리 무선모뎀	한정된 대역폭 내에서 구현	우수
영상 데이타	CDMA 데이타망	3G에선 프레임수 제약 4G에서 제약없으나 비쌈	미흡
	WIFI 무선 모뎀	영상 전송으로 대중화 됨	보통
	바이너리 CDMA 모뎀	특정 지역내의 보안 강함	우수
	장거리 무선모뎀	한정된 대역폭 내에서 구현	양호

2. 연구개발결과의 우수성

가. 첨단 기술이 내장된 VI-GNSS 단말용 모듈의 혁신성

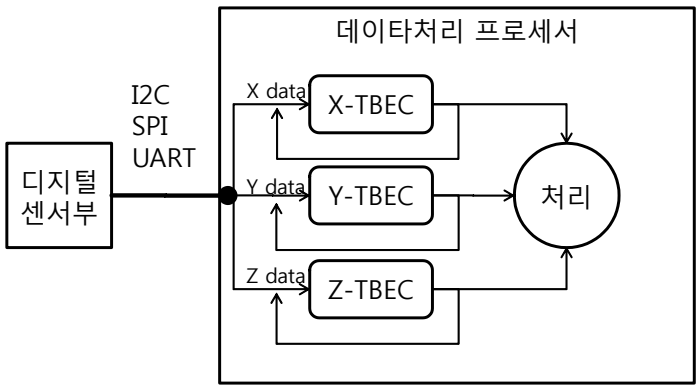
(1) 첨단 기술이 집약된 센서 및 사용 부품

본 과제는 기존의 다른 과제들처럼 R&D 성격이 아닌 상용화를 추구해 온 과제이기에 1차년도부터 상용화를 고려하여 제작되는 시제를 위한 모든 부품을 상용화가 가능한 수준의 양산 부품으로 선정하였다. 또한 기존의 센서를 사용하는 유사 제품은 아날로그 센서 기반의 제품을 집적해서 제작해 왔으나 본 과제는 획기적으로 디지털 센서를 채용함으로써 대중화를 앞당기기 위한 노력을 해왔다.



그림 1.21 첨단 기술이 집약된 부품을 채용한 VI-GNSS 모듈

더욱이 디지털 센서의 채용으로 발생하는 자이로나 가속도센서에서 발생할 수 있는 바이어스 및 Drift 오차 성분을 실시간으로 제거하는 기술이 요구되어 본 과제를 통해서 비교적 우수한 성능의 바이어스 및 Drift 제거 기술을 개발 적용하였다.



TBEC : Temperature-based Bias Estimation & Correction

그림 1.22 디지털 센서의 바이어스 및 Drift 오차 제거 기술

이 기술을 적용하기 전에는 단 수초 만에도 작업자의 진행 방향을 추정하지 못하거나 위치검출 실패율이 100%에 가까웠으나, 본 기술을 적용한 후에는 수 십분 간의 작업자 걸음이나 차량 이동이 있어도 요구되는 정확도 범위 이내에서 위치 결정 성공률이 100%에 이르는 결과를 얻을 수 있었다.

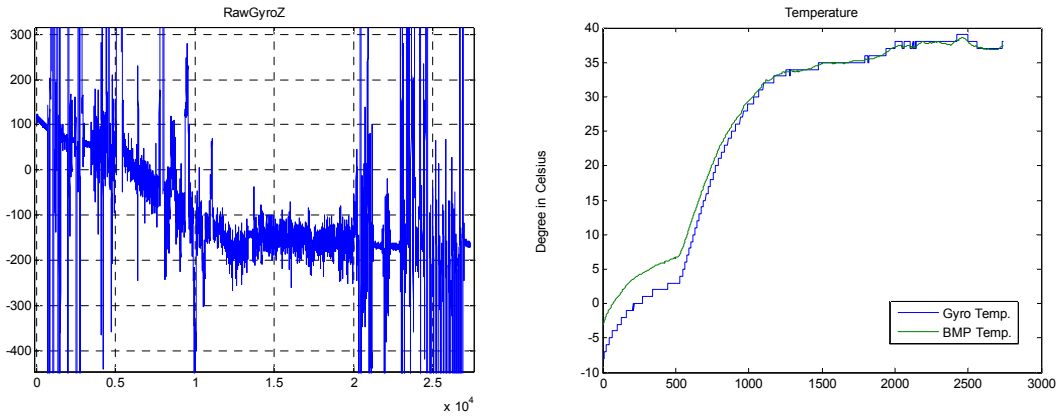


그림 1.23 디지털 센서용 오차제거 기술 적용 결과

(2) GNSS와 MEMS INS의 결합

또한 본 과제에서는 실외에서 절대적인 위치결정 솔루션인 GNSS를 채용하였으나 공사현장은 실외만 있는 것이 아니라 실내 공간도 존재하기 때문에 당연히 MEMS INS를 이용한 실내 항법을 구현해야 했다. 즉, GNSS와 MEMS INS의 결합을 통한 실내외 위치 결정 기술이 확보되어야 하는 요구로 인해서, 다양한 결합기법 중 가장 저렴하고 현실적인 약결합 방식을 채용하였다.

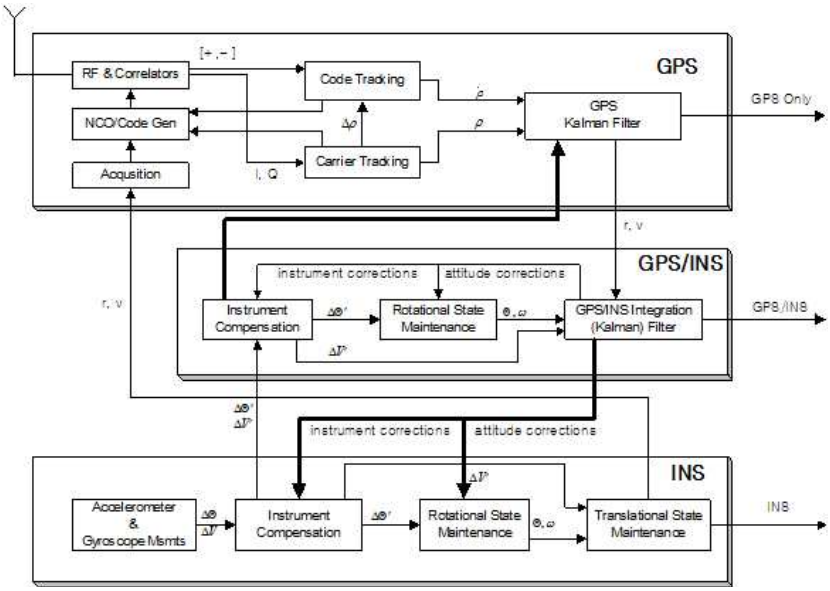


그림 1.24 GNSS/MEMS INS의 약결합 방식 개념도

이 약결합 방식 (Loosely-coupled Integration)은 최적 결합이 아니기 때문에 충분히 오차를 포함하고 있고, 측정단이 아닌 솔루션단의 간편 결합이므로 오차 제거 성능이 우수하지 않을 수 있다. 하지만 본 과제를 통해 채용된 약결합 방식은 위치,

속도, 방향 등으로 분산 형태의 분산 필터를 채용하여 준 최적의 결합을 구현하는 성과를 냄으로써 약결합으로는 기존에 존재하지 않았던 수준의 결합 성능을 낼 수 있었던 것이 매우 우수한 점이라 판단된다.

(3) 대중화된 MEMS INS 센서 채용

기존에 관성센서를 이용하는 다른 과제들은 연구과제를 위해 고가의 고정밀 관성센서유닛이나 시스템을 도입해 왔고, 이를 이용한 데이터 획득 및 시뮬레이션 결과를 제시해 왔다. 하지만 본 과제는 고가의 고정밀 센서가 아닌 저가의 준수한 MEMS 타입의 관성센서 '칩'을 채용하였다. 더군다나 이런 저가의 MEMS INS 센서가 스마트폰의 열풍을 타고 대중화되기 시작한 것이 불과 몇 년 되지 않았으며, 본 과제는 이런 대중화된 제원을 가진 저가 센서를 채용하고도 원하는 수준의 정확도를 확보할 수 있음을 보인 것이 우수한 점이다.

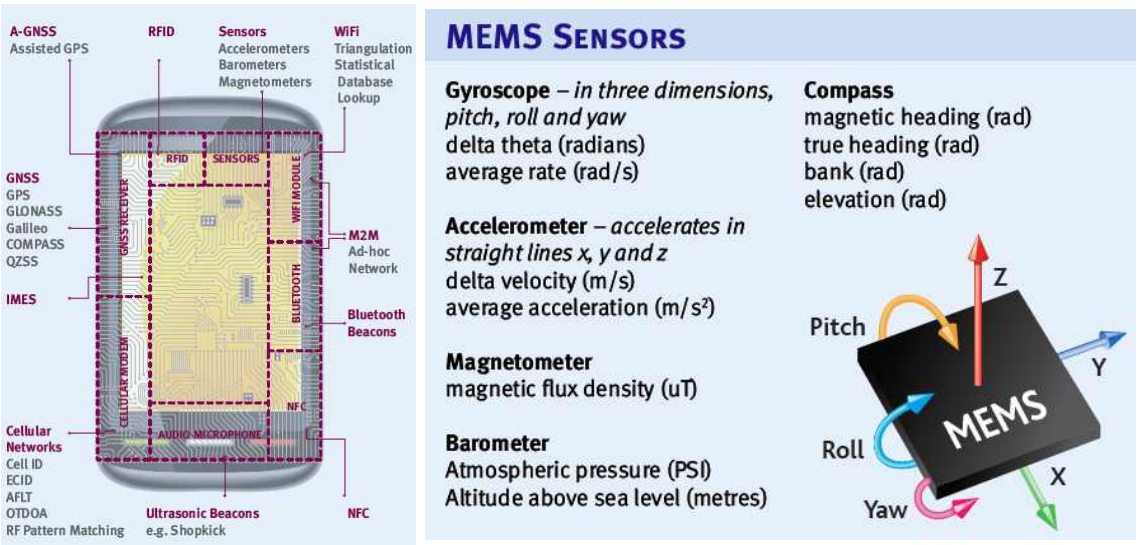


그림 1.25 대중화된 MEMS INS 센서 채용

가. 이동차량용 VI-GNSS 모듈의 호환성

본 과제가 당초 계획한 VI-GNSS 단말기는 작업자용과 이동차량용으로 구분되어 있었으나 센서 부분이 획기적으로 발전하였고 본 과제를 통해 개발된 작업자용 항법기술과 이동차량용 항법기술의 통합이 가능한 수준이 되면서 통합에 대한 밑그림이 그려지기 시작했다. 더군다나 각 단말기는 동일한 구조를 갖는 하드웨어로 구성되어 있도록 설계되면서 통합 가능성이 매우 커졌다.

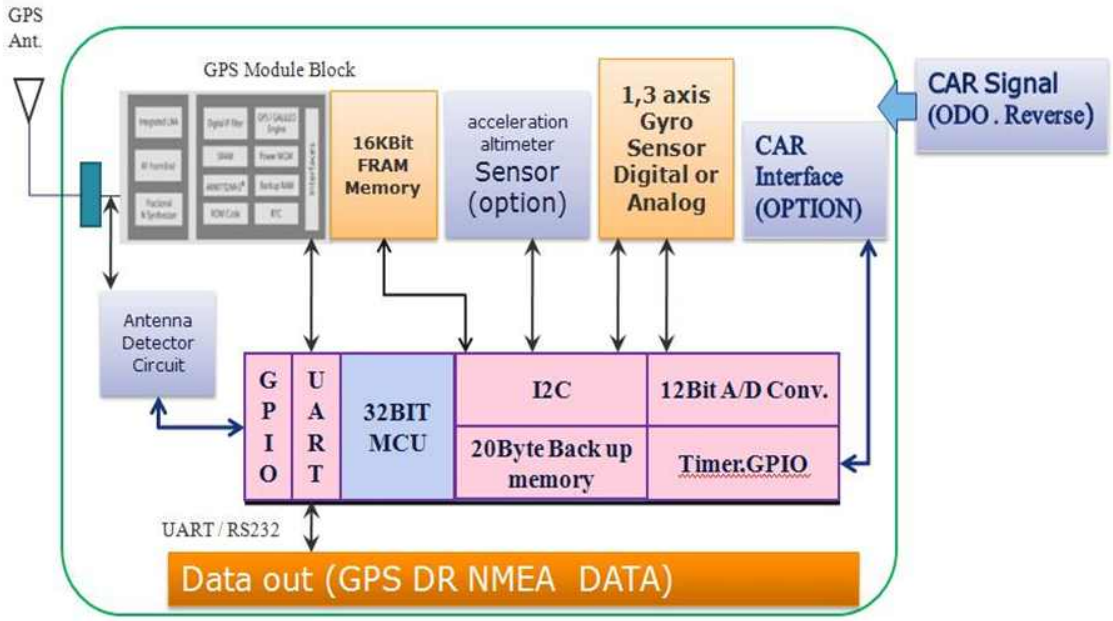


그림 1.26 작업자용과 이동차량용 호환이 가능한 VI-GNSS 모듈 구성도

작업자용 모듈과 이동차량용 모듈이 구분되는 차이점은 장착 대상과 장착 자세에 있다. 즉, 작업자 모듈은 센서축의 어느 축으로든 장착이 가능해야 하는 특징이 있으나 이동차량 모듈은 특정 자세를 유지하도록 해야 한다. 그런데 이런 차이점이 디지털 센서로 전환되면서 기본적으로 X, Y, Z의 3축 센서를 갖추게 된 후에는 작업자용과 이동 차량용의 구분이 불필요하게 된 것이다.



그림 1.27 이동차량용 모듈(왼쪽) + 작업자용 모듈(가운데) = 통합 VI-GNSS 모듈(오른쪽)

또한 이동 차량용 모듈은 차량으로부터 신호를 수신할 포트를 필요로 하고 이를 위한 인터페이스가 반드시 있어야 하는데 이 부분을 해결하기 위해 기본적으로 외부 포트를 내장하도록 설계하였으며, 적용 단말기의 특성에 맞게 S/W에서 선택적으로 'Active'가 되도록 설정 가능하도록 구현함으로써 VI-GNSS 모듈이 어떤 단말기에도 적용 가능한 호환성을 갖출 수 있게 된 점이 매우 우수하다 할 수 있다.

나. 개발된 개인휴대 항법기술과 이동차량 항법기술의 우수성

본 과제에서 개발한 두 개의 항법기술은 개인휴대 항법기술(PDR)과 이동차량 항법기술(ADR)이다. 앞서 설명된 것처럼 두 항법기술은 같은 하드웨어 플랫폼과 같은 센서를 이용한다는 점에서 그 우수성이 이미 있지만, 이를 이용한 PDR과 ADR 각각의 성능에 관한 우수성이 입증되었다. PDR(Pedestrian Dead Reckoning)은 같은 센서이지만 작업자의 걸음과 진행 방향을 검출하는 기술을 이용한 추측항법을 이용하는 것으로써 아래 그림과 같이 실내에 있는 작업자의 위치를 요구 정확도 이내에서 결정할 수 있도록 하는 우수한 기술이다.

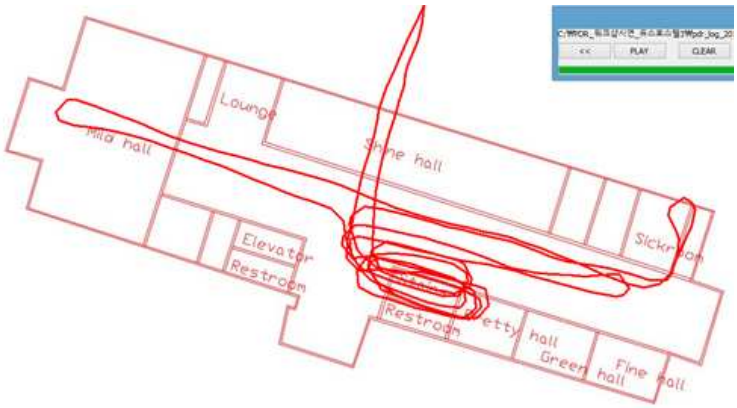


그림 1.28 실내에서의 PDR 측위 성능

또한 ADR(Automitive Dead Reckoning)은 같은 센서를 이용하지만 차량으로부터 입력되는 차속정보를 추가 활용하여 실내 주차장 등에서 우수한 성능을 보이고 있다.

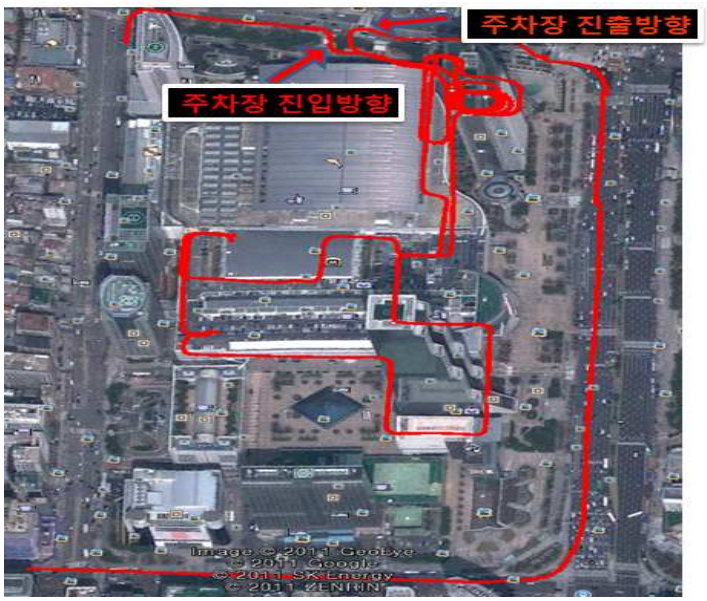


그림 1.29 실내 주차장에서 ADR의 측위 성능

이렇게 구현된 두 기술은 결국 같은 Form factor, 같은 센서, 같은 하드웨어를 갖는 통합 모듈에서 통합 S/W로 구현이 가능함을 입증하였다. 이는 또한 우수기술로써 특허 출원 중에 있다.

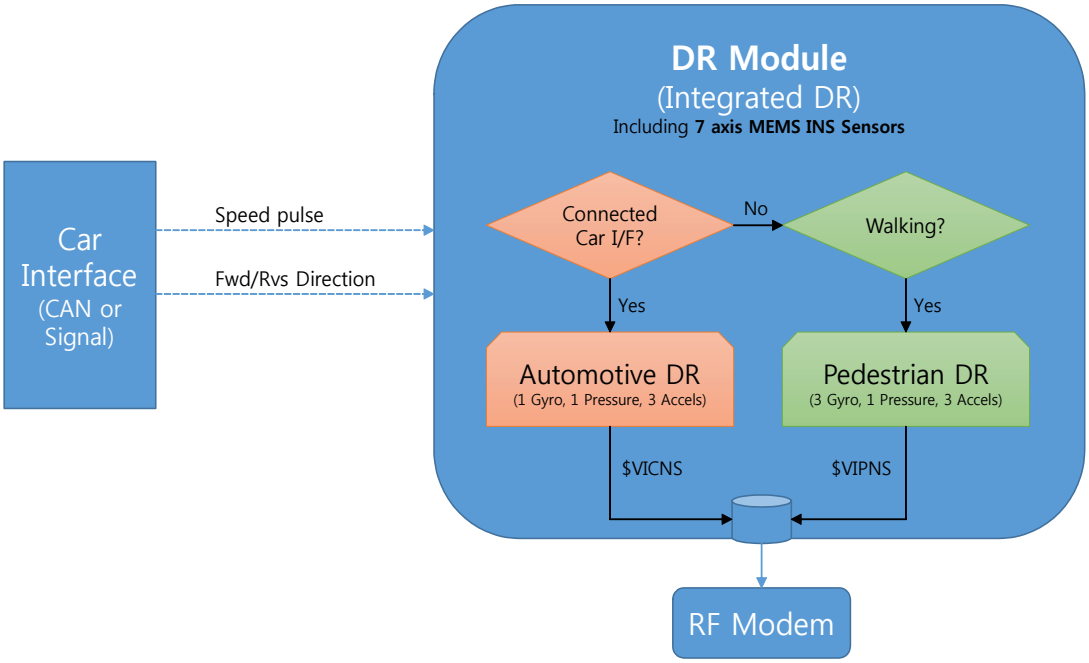


그림 1.30 개인휴대 항법기술(PDR)과 이동차량 항법기술(ADR)의 통합 개념

3. 연구개발결과의 차별성

가. 상용화를 목적으로 한 과제 수행

본 과제가 추구한 상용화 구현을 위해서 본 사업을 구체적으로 추진하기 위한 협업 체계를 구축하였다. 본 과제의 참여 기관인 ㈜텔릿와이어리스솔루션즈는 세계시장으로 대상으로 하는 모듈 전문업체이므로 VI-GNSS 모듈을 상용화 하기 위한 센서 구성과 Form factor를 구성하였고, 영업망을 이용하여 PDR과 ADR 별로 업체 발굴을 시도하였다.

그 결과로 PDR은 2014년 8월부터 국내 업체 중 ㈜아센코리아를 통해 소방용 개인 단말기에 채용될 목적으로 도입이 첫 시도되었고, 현재 2차 사업을 준비하고 있다. 이동차량용 VI-GNSS 모듈인 ADR 기술은 ㈜대성엘텍, ㈜S&T MOTIV, ㈜팅크웨어, ㈜엠엔소프트 등에 시현을 하였고, 이 중에서 ㈜대성엘텍은 2013년부터 당사의 디지털 ADR 모듈을 도입하여 GM Korea의 고급 차량에 적용할 목적으로 2014년부터 약 500대의 양산 샘플을 구매하였다. 이와 별도로 기 제작된 VI-GNSS 모듈보다 더 작고 성능이 좋은 칩과 센서를 채용한 SL869 3DR을 자체 기획하여 2015년 8월 양산 목적으로 개발 중에 있다.

나. VI-GNSS 단말기용 모듈의 양산성 조기 확보

본 과제가 추구한 상용화 실현을 앞당기기 위해서 ㈜텔릿와이어리스솔루션즈는 모듈 전문업체로써 작업자 단말기 또는 이동차량용 단말기와 같은 솔루션 부분을 제외하고 대량 생산을 위한 모듈 최적화를 시도해 왔으며, 2013년부터 제작된 모든 VI-GNSS 샘플은 양산 PCB와 양산 라인, 양산 검수 절차를 통해 제작되어 왔다. 이러한 노력은 곧바로 영업조직을 통해 이를 필요로 하는 고객사에 샘플로 즉시 제공될 수 있는 기회로 이어졌고, 다수의 업체들이 센서가 내장된 통합 DR 모듈에 매우 높은 관심을 보이고 있다.

다. 제작 단말기의 현장 적용시험 실시로 인한 현장 적용성 확보

본 과제가 특별히 다른 과제들과 차별화된 점은 본 과제 참여기관인 ㈜텔릿와이어리스솔루션즈가 위와 같은 양산 샘플과 제품을 제작하면, 또다른 과제 참여 기관인 두산건설은 이를 즉시 시험 평가 할 수 있는 건설 현장을 제공하였으며, 과제 수행 3년간 거의 매월 현장 시험을 거쳐 양산용 VI-GNSS 단말기를 완성하기 위해 부단한 노력을 해왔다는 것이다. 이 결과는 첫 양산품이 갖기 어려운 현장 적용 시험이나 현장에서의 운용성 등에 관한 기본적인 검증을 할 수 있는 최고의 배경이 되었다는 점이 매우 고무적이다.

표 1.8 두산건설이 제공한 단말기 시험 가능한 현장 리스트

종 류	현 장 명 (발 주 처)		공사 기간	공 정 율	현장 사무소 위치
터 널 (도로)	울산포항7공구	한국도로공사	'09.06~13.09	40.1 %	경북 경주시 양북면 입천리 354
	평청정선도로	원주청	'08.03~15.05	20.8%	강원도 정선군 정선읍 광하리 795
	설악청평도로	서울청	'11.05~'16.05	2.8%	경기도 가평군 설악면 신천리 359-4
	강남순환5공구	민자사업	'07.11~'14.05	49.5%	서울시 관악구 신림동 1570-5
터널 (철도)	호남고속철도1-3공구	철도시설공단	'09.11~'13.05	53.6%	충남 공주시 반포면 송곡리 148-5
	수서평택고철2공구		'12.01~'14.12	0.3%	경기도 성남시 분당구 정자동 156-1
	중앙선1공구		'11.07~'16.07	1.1%	강원도 원주시 흥업면 대안리 405-2
지하철	대구도시철도2-1공구	대구광역시	'07.07~'12.08	97.5%	경북 경산시 중방동 221
	대구도시철도1-1공구		'10.06~'16.04	17.5%	서울시 강남구 삼성2동 35-8
	분당선4공구	철도시설공단	'09.03~'12.10	94.1%	서울시 강남구 삼성2동 35-8
	분당선5공구		'04.10~'12.10	98.8%	서울시 강남구 삼성2동 35-8
	우이신설경전철	민자사업	'09.09~'14.09	33.3%	서울시 강북구 수유동 486-155
	인철지하철 208공구	인천광역시	'09.06~'14.11	34.5%	인천시 서구 가좌동 150-5
건축 지하층	일산위브더제니스		~'13.04		경기도 고양시 일산서구 탄현동 173-6
	해운대 AID 재건축		~'14.11		부산시 해운대구 중동 1528

본 과제에서는 1차년도에 위 리스트중에서 터널, 시설물 별로 시험이 가능한 현장을 모두 시험하였으며, 2차년도부터는 위 현장들 중에서 본 과제 시험에 가장 적합한 현장을 한 군데 선정하였으며, 그 결과로 울산포항7공구의 양북 터널 현장이 지정되었다. 이 현장은 특별히 전국에서 최초로 전 사업장 및 현장 내부에 와이파이 망이 설치되어 IT사업장으로써 매우 혁신적이고 스마트한 공사현장으로 인식되었다.

라. 국내 유사연구와의 차별성

현재 국내외 MEMS INS를 활용한 실내(지하)의 3차원 위치인식 기술의 상용화는 극히 부족한 상황이며, 정확도 확보 및 성능 개선을 위한 다양한 연구가 진행중에 있다. 따라서 현재 국내에서 실내 위치측위와 관련된 유사 연구와의 비교를 통하여 본 연구과제에서 도출한 연구성과의 차별성을 검토하고자 한다.

표 1.9 국내 건설현장 관련 위치측위 및 관리시스템 사업 현황

부처명	사업명	과제명	비고
국토교통부	국토교통기술 촉진연구사업	건설 현장 모니터링을 위한 건설인력용 영상 기반 위치 추적 시스템 응용기술 개발	
국토교통부	건설기술 혁신사업	위치 정보를 활용한 건설안전리스크 관리기술 개발	
중소기업청	산학연공동 기술개발	유비쿼터스 기반 건설현장관리시스템	
국토교통부	지능형국토정보 기술혁신사업	설계정보기반 실내외 공간정보 구축 및 활용 기술개발	

1) 건설 현장 모니터링을 위한 건설인력용 영상 기반 위치 추적 시스템 응용기술 개발
- 건설현장에서 건설인력의 3차원 위치좌표를 실시간으로 제공하기 위한 영상 기반 Tracking 시스템 구현
- 영상 기반 Tracking 시스템 요소 중 Object Detection과 2D Tracking의 연계 및 Entity Matching 알고리즘 개발

2) 위치 정보를 활용한 건설안전리스크 관리기술 개발
- 작업공간의 위험특성 분석을 통한 공간별 재해위험도 산정 방법론 개발
- GPS, 위치감지 센서 등 하드웨어 기술 기반의 작업자 위치추적기술 확보
- 통합 안전관리 프레임워크 개발

3) 유비쿼티스 기반 건설현장관리시스템
- 건설현장의 유비쿼터스 환경 구성을 위하여 USN 기반 시제품을 제작하여 실측데이터 측정
- 건설현장의 3차원 시각화·디지털화 및 공사 진행상황 모니터링 기술 구현

4) 설계정보기반 실내외 공간정보 구축 및 활용 기술개발
- 지상의 경우 아파트 건설현장 주변의 도로상에서 GPS 사각지대에 대한 MEMS센서 활용

- 실내측위의 경우 복합건물과 같은 안정된 건물 내에서 WiFi기반의 실내위치 측위기술을 구현

건설현장에서 작업자의 위치 추적을 위하여 다양한 기술들이 이용되고 있으나 연구대상의 범위가 대부분 실외/지상 건설현장을 중심으로 하고 있어 실내/지하/터널과 같은 위치추적기술 적용이 어려운 작업환경에서의 적용을 고려하지 못하고 있으며, 가속센서를 사용하여 작업자 위치추적을 수행한 연구의 경우 누적오차 발생 및 이에 따른 보정작업 등으로 인해 정확도 미흡 및 실용성 저하 등의 문제가 있음. 또한 장시간 작업이 많은 건설현장에서의 활용을 위해서는 위치추적 센서의 주기적인 베터리 교체가 필요하여 건설현장 도입에 어려움이 있다. 따라서 GNSS, 관성·가속도센서, USN, WLS, 골전도 통신기술을 활용하여 매우 열악한 지하구조물 건설 시공현장에서 지상·지하의 Seamless한 작업자의 실시간 위치측위 및 고음질의 골전도 기반의 음성통신기술을 통합한 초경량·초소형 MEMS기반의 지하구조물 현장지원시스템을 개발하고자 하는 본 연구과제는 기존 연구와 확연한 차별성이 있다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구수행 전략

본 연구는 이미 개별 분야에서 개발된 기본적인 측위 기술, 통신 기술, 골전도 음성통신 기술들을 지하구조물 건설현장에 적합하게 융·복합하여 건설현장의 작업자, 건설현장의 이동차량 및 건설현장사무소를 지원하기 위하여 통합 패키지 시스템 개발 및 상용화 제품 개발을 목적으로 하는 건설-IT 융복합 사업이다. 국내 최초의 지하구조물 건설현장 내 작업자(이동차량) 및 현장사무소의 현장지원시스템의 성공적인 개발을 위하여, 기 개발한 기술의 핵심적 기술성과는 최대한 수용하여 개선 및 산업화하고 국내외 특허 등록을 통해 핵심기술의 방어와 공동 활용 전략을 마련하였다. 또한, 본 연구과제 수행을 위하여 기존 건설 분야의 문제점과 개선 방향에 대한 연구 경험을 갖고 있는 한국건설기술연구원의 연구원들과 현장 시현 지원이 가능한 대형 건설사가 참여하고, 측위 기술 및 위치 추적 기술을 갖고 있는 항법 전문업체, 웹 GIS 시스템 개발 경험을 다수 보유하고 있는 업체가 참여하여 연구를 진행하였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 기술 개발에서 종료되는 것이 아니라, 이를 신기술 지정을 통한 산업화 단계까지 범위를 확장하여 연구사업을 진행하고 한다. 1차년도에는 현장지원시스템 개발을 위한 기반 마련을 위하여 지하구조물 현장 내 작업자 위치인식 및 무선통신 통합기술의 활용성 테스트를 수행하며, 이를 기반으로 2차년도에는 지하구조물 현장지원시스템의 구축을 위한 작업자 및 이동차량 단말기, 현장서버시스템, GIS기반 관제시스템을 개발하고 테스트를 수행하였다. 또한 3차년도에는 해당 시스템의 실제 현장 적용성 검증 및 산업화 단계 추진을 위하여 성능 및 인증테스트, 인증프로세스 구축, 건설현장 최적화 작업 및 신기술 신청을 진행하였다.



그림 2.1 연구개발사업 추진 체계도

2. 연구수행 방법

연구수행은 최신기술의 활용 및 개선을 위한 이론적 검토를 기반으로 해당 기술의 적용성 검증을 위한 테스트를 1차년도에 수행하였으며, 2차년도에는 1차년도에 검토된 기술을 토대로 개별 시스템의 개발 및 구축을 수행하였다. 또한 3차년도에는 개발된 시스템의 최적화 및 적용성 검토를 통하여 실제 건설현장에서 즉각적으로 활용할 수 있는 수준의 지하구조물 건설현장지원시스템을 개발하였다. 연차별 연구수행 방법은 아래와 같다.

표 2.1 세부연구 추진방법

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법
1차년도	▪ 지상・지하의 Seamless한 위치추적을 위한 요소기술 조사	- 요소기술 사전 조사 분석 - 관련 기술 및 특허 동향 분석 - 요소기술의 현 성능 수준 분석
	▪ 소음, 진동 등 건설현장의 열악한 환경에 적합한 무선통신기술 조사	- 요소기술 사전 조사 분석 - 기존 통신망과 신규 개발 통신시스템 조사 및 성능 분석 - 관련 기술 및 특허 동향 분석
	▪ 무선통신 기술별 성능 분석	- 무선통신을 위한 요소기술 선택 - 무선통신 성능 실험 장소 및 방법 설계 - 무선통신 성능 실험 및 분석 ·작업환경 분석 : 소음, 진동, 공기질 ·공정별 작업환경 분석 ·무선통신 기술별 성능 실험 및 분석
	▪ 지상・지하의 3차원 위치추적을 위한 시험 보드 제작 및 성능 분석	- 위치추적을 위한 요소기술 선택 - 3차원 위치추적 모듈 실험 장소 및 방법 설계 - 지상・지하의 Seamless한 위치추적을 위한 시험 보드 제작 - 설계된 시험 위치추적 보드 성능 분석 ·작업환경 분석 : 소음, 진동, 공기질 ·공정별 작업환경 분석 ·위치추적 보드 성능 실험 및 분석
2차년도	▪ VI-GNSS기반의 작업자 및 이동차량 단말기 개발	- 통신모듈이 결합된 작업자 장착 고려한 지상·지하의 3차원 위치추적 시험시스템 설계 및 제작 - VI-GNSS 기반 작업자 단말기 설계 및 제작 - 이동차량 단말기 설계 및 제작 - 현장 시험을 통한 성능 분석 및 개선
	▪ 데이터 및 음성 정보 게이트웨이 중심의 현장서버시스템 개발	- 무선통신기반 센서정보 공유를 위한 현장 서버 구축 방안 수립 및 현장 운영 시스템 설계

		- 무선통신기반 데이터 및 음성 정보의 실시간 공유를 위한 게이트웨이 중심의 현장 서버 시스템 개발
	▪ Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 개발	- 건설작업현장 위험발생시 상황인지 및 대응 기술 연구 - 실시간 현장정보 기반의 대응모듈 개발 연구 - 건설작업현장 위험발생시 상황인지 모듈 개발 - 실시간 현장정보 기반의 대응모듈 개발 - 작업자의 3차원 위치추적·상태정보 모니터링 및 통신 모듈 개발 - 이동차량의 현장 입·출입 관리 실시간 현장 모니터링 모듈 개발 - Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제 시스템 개발
	▪ 지하구조물 건설 시스템 현장 시범 운영 및 개선	- 터널 지하구조물 건설 시공현장 대상 시스템 시범 운영 - DATA 분석을 통한 시스템 개선 및 경제성 분석
3차년도	▪ VI-GNSS기반 작업자 및 차량용 단말기	- 작업자 및 이동차량 단말기 성능 및 인증프로세스 구축 - 작업자 및 이동차량 단말기 운영 및 보완
	▪ 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템	- 현장서버시스템 시스템 성능 및 인증 프로세스 구축 - 현장서버시스템 운영 및 보완
	▪ GIS 기반의 관제시스템	- 관제시스템 성능 및 인증프로세스 구축 - 관제시스템 운영 및 보완
	▪ 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설 현장지원시스템	- 통합시스템 성능 및 인증 프로세스 구축 - 시스템 운영 및 보완을 통한 지하구조물 건설현장지원시스템 구축

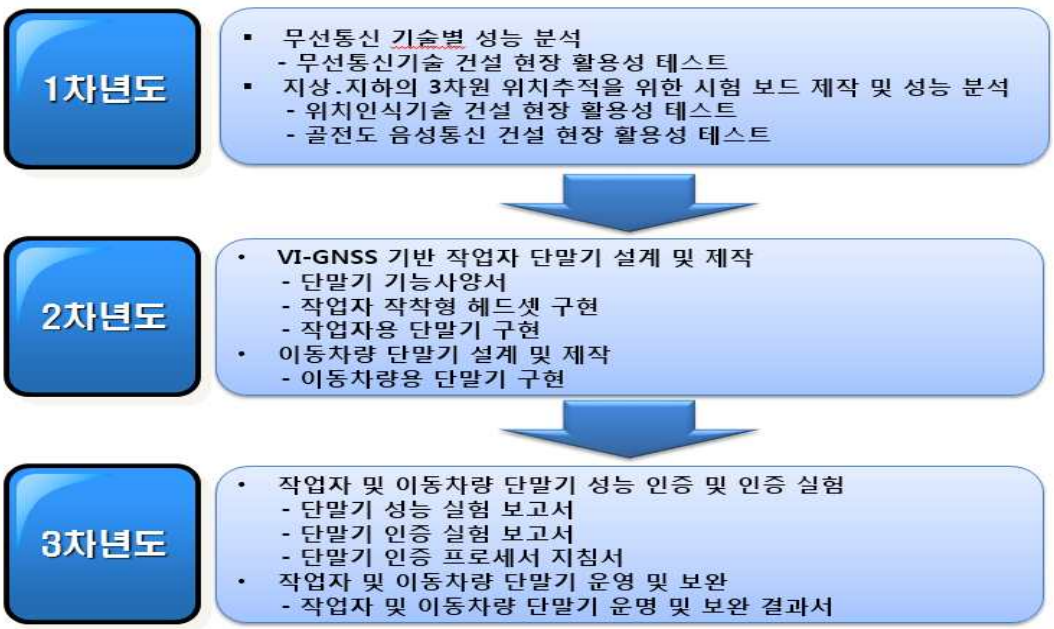
제2절 연구수행과정 및 내용

1. VI-GNSS기반 작업자 및 이동차량 단말기

본 과제는 상용화를 목적으로 하는 과제로써 이론적으로는 보행항법을 실현하는 과정과 이를 통신모듈과 결합하는 과정, 그리고 통합된 VI-GNSS 단말기를 기반으로 한 실험을 수행하는 과정을 포함하고 있다.

보행항법을 실현하기 위한 이론적인 배경은 보행항법의 근간이 되는 6축 관성센서를 기반으로 하는 관성항법 이론과 절대위치 보정을 위한 위성항법과의 결합 기법, 그리고 기존의 아날로그 센서 기반을 최신 디지털 MEMS 센서 기반으로 변화해 간 최신 기술 적용에 필요한 요소 기술 개발 과정을 포함한다. 위와 같은 방법을 수행하기 위해 본 과제에서는 시뮬레이션 툴인 MATLAB과 가상 머신 제작 툴인 LABVIEW를 활용하여, 다양한 이론적인 연구와 그에 수반된 결과를 도출하였다.

위 이론적 수행과정의 결과를 토대로 현장에서의 실험적 결과를 도출하기 위한 데이터 로그, 데이터 분석, 데이터 해석 등의 방법이 적용되었다.



가. 수행과정 및 내용

(1) 1차년도 연구수행과정 및 내용

VI-GNSS 단말기는 시제품, 테스트용 샘플, 그리고 양산 샘플로 구분하며, 1차년도에는 크기와 제원에 관계없이 시제품 및 시험용 보드를 제작하여 현장별 시험이 가능하도록 하였으며, 단말기는 작업자용으로만 제작하였다. 제작된 시험보드는 사용가능한 센서를 내장하고 있기 때문에 기초적인 S/W를 활용하여 자이로, 가속도

센서, 그리고 고도센서의 장소별, 이동체별 분석을 수행하였다. 무선 통신 부분은 기본적인 현장 적합성 시험을 위해 기 제작된 제품을 도입하여 현장별로 시험을 수행하였으며, 이를 통해 본 과제에 적용 가능한 주파수대 분석, 제품 장착 위치 및 자세 분석 등을 수행하였다.

(가) 시제품 ,테스트용, 양산(MP) 단말기 제작

실제 테스트 및 검증을 위한 하드웨어 제작을 하였으며 초기 실험용에서 양산(MP) 용 까지 설계 및 제작을 하였다.

아래 설명 하는 그림의 내용은 현재 까지 진행 한 시제품 및 양산용 제품에 대한 전반적인 내용을 보여 주고 있으며 특히 작업자용 단말기가 안전모에 장착 하는 방법을 작업자의 등으로 변경한 이유는 작업자의 시선이 이동 경로와 같지 않으면 방향에 오차가 발생하는 문제를 시험 중에 발견하여 장착 위치를 변경 하였다.

예) 단말기를 안전에 장착 하면 작업자가 직선으로 이동하는 중에 좌우로 시선을 변경하면 실제 방향이 바뀌어서 실제 이동경로에서 벗어나는 문제가 있었다.

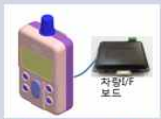
	과제 초기	현재	비고
작업자용 단말기			분리형에서 통합 단말기로 개발
작업자 단말기용 헤드셋			시제품에서 정식 제품으로 개발
이동차량용 단말기			PCB 타입에서 통합형으로 개발
작업자 단말기 장착 위치			안전모 에서 작업자 등 으로 변경

그림 2.2 단말기 개발 과정

(나) 단말기에 내장된 MEMS Sensor 특성 분석 및 검증

시험 보드 제작에 앞서서 내장될 MEMS 센서의 성능 및 검증이 필요하다. MEMS INS 디지털 센서 및 기압 센서의 특성을 분석하여 활용 가능성을 확인하였다. 시중에 판매중인 저가형 최신 센서를 조사하여 성능이 뛰어난 기압센서 및 INS 센서를 선택하였다. 실험을 통해 각 센서의 성능을 분석하고 특성을 분석하였다

아래의 그림은 다양한 기압센서를 고정된 자세에서 실험하여 각 센서의 성능을 비교 분석한 그림이다.

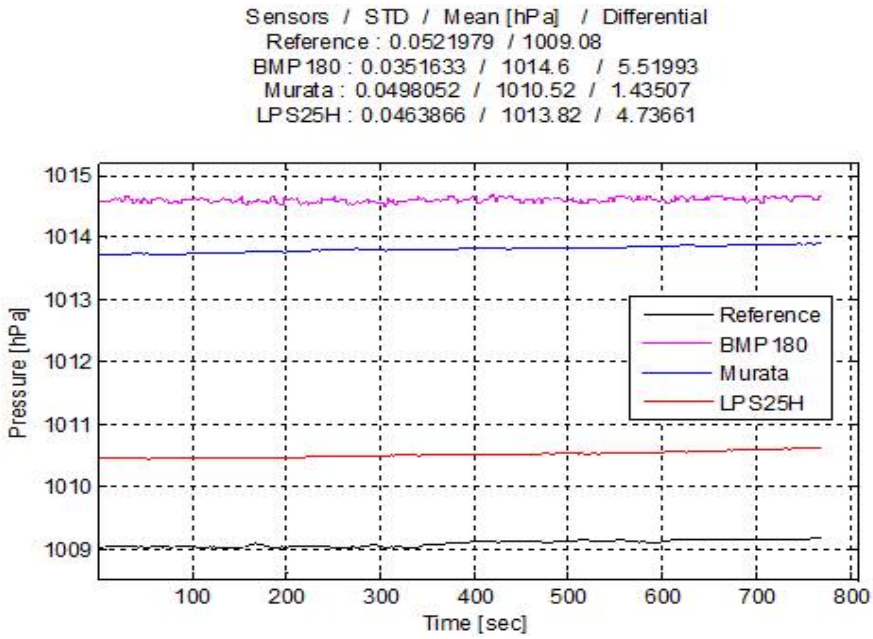


그림 2.3 기압센서 성능 실험

4종류의 센서의 성능 실험에서 가장 좋은 성능을 보인 BMP180 기압센서를 보드 제작에 사용되었고 약 0.035 [hPa] 의 오차 범위를 보인다. 이는 약 30[cm] 이내의 고도 오차라고 할 수 있다.

단말기에 장착될 MEMS Sensor의 특성 중 가장 중요하게 작용하는 온도의 영향을 분석하기 위하여, Temperature Chamber를 사용하여 온도가 MEMS Sensor에 끼치는 영향을 분석하였다. 온도 변화 범위는 -40 ~ 80[C] 이며 선택된 센서를 2회 반복 실험한 결과이다. 아래 그림에서 보면 알 수 있듯이 특정 온도 약 -25[C] 근처에서 MEMS Sensor의 측정치가 급격한 오차를 보이는 것을 알 수 있다. 그 외 범위의 온도에서는 다소 오차를 보이지만 일정한 값이 측정되는 것을 알 수 있다.

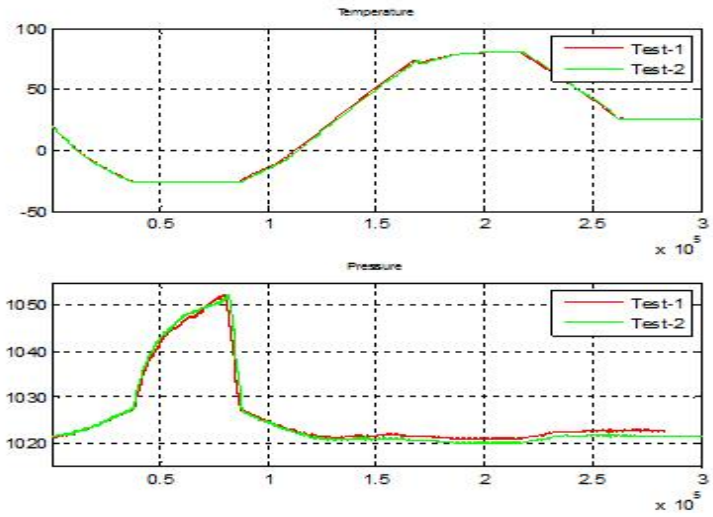


그림 2.4 기압센서 온도 특성 실험

(다) 무선통신 기술별 성능 분석

본 연구를 통하여 개발하고자 하는 “지하구조물 건설현장지원시스템”은 크게 3차원 위치추적, 고소음에 대한 고음질 음성통신, 열악한 지하구조물 건설현장 여건에 적한 무선통신의 3가지 기술 요소로 나눌 수 있다.

① 무선통신기술 건설 현장 활용

㉮ 무선통신 시험 장비

본 과제에서는 무선통신 성능을 시험하기 위해 기본적으로 가장 통달거리가 긴 일반 무전기와 골전도 헤드셋을 이용하였으며, 이 장비와의 비교 시험을 위해 검토 대상 솔루션인 바이너리 CDMA 모뎀과 골전도 헤드셋 일체형 솔루션을 이용하였다.



그림 2.5 일반무전기와 골전도 헤드셋 시험장치



그림 2.6 바이너리CDMA(BC) 모뎀 및 골전도 헤드셋 일체형

이 장비를 이용하여 일정거리(본 연구에서는 10미터) 이동마다 무전기와 BC 모뎀 통신 단말기의 상태를 점검하였고, BC 모뎀의 경우는 호스트의 위치에 따른 통달 거리도 시험하는 것이 좋다. 즉, 여러 단말기를 일렬로 동시에 늘어서게 한 상태에서 맨 끝 단말기 간의 통신 상태를 확인하는 방법을 사용한다.ㅇ

㈏ 무선통신 성능 시험 장소에 대한 분석

일반적으로 건설 현장에서 가장 3차원 위치추적과 통신을 필요로 하는 곳은 도로 건설의 경우 터널 구간이 가장 중요하고, 시설물 건설의 경우는 실내외 공간을 모두 포함하는 아파트 및 지하철 역사 등이 포함된다.

본 연구에서는 건설사의 협조하에 두가지 형태의 건설 현장에 대한 특징과 조사를 수행하였다.

< 터널 및 시설물 건설 현장의 특징 >

터널 현장 통신시험	시설물 현장 통신 시험
• 특징 : 수평의 한쪽 방향으로 긴 구조 • 장점 : 단 방향으로 통신이 잘되는지 여부 판단하므로 단순 • 단점 : 사람이나 단순 장애물로 인해 원거리 통신이 두절될 가능성 큼 • 고려사항 • 임의의 방향에서 작업을 하는 작업자를 고려할 때 안테나의 전파 송출 방향이 방해를 받지 않도록 시험해야 함 • 실제 안테나 설계시 장착위치를 심각히 고민해야 함	• 특징 : 불특정 방향으로 분포하며 수직 방향으로 원활해야 함 • 장점 : 좁은 지역에 밀집되어 있으므로 동시 통화가 원활함 • 단점 : 좁은 지역에 많은 작업자가 있을 경우 혼선의 위험이 있음 • 고려사항 • 지하에서 지상까지 건물을 전체적으로 커버할 수 있는 전파세기와 안테나 설계가 고려되어야 함 • 장착위치보다 시설물에 의한 장애 요인이 크므로 중계기 고려되어야 함

㈐ 신규 개발 무선통신 시스템 현장 적합성 시뮬레이션

본 연구과제에서는 무선통신의 적합성 시뮬레이션의 항목으로 무선통신 안테나와 안전모에의 장착 위치에 따른 통달 거리에 관한 시뮬레이션을 수행하였다.



그림 2.7 안전모에 통신 장비 및 안테나 장착 모드

RSSI를 수신할 수 있는 2.4GHz RF 통신 세트를 이용하여 안전모에 안테나를 장착하는 위치에 따라 수신된 RSSI에 해당하는 통달거리가 어떻게 달라지는지에 대해 매 10회씩 실시하였다.

수집된 데이타는 거리로 환산된 10개의 데이타 평균을 이용하여 판단하였다.
이 결과에 따르면 장착위치가 1인 안전모 전방에서는 통상적으로 전방위주로 신호가 전달되고 뒤쪽으로는 신호가 차단되거나 끊기는 경우가 자주 발생하였으며 대략 평균 80미터 수준에 도달했다.

장착위치가 2인 안전모 상부에서는 앞뒤 구분없이 대체적으로 신호 전달이 잘되고 편차도 적음을 알 수 있다. 대략 평균 125미터 평균 통달거리에 편차가 5미터 이하로 매우 작고 안정적임을 알 수 있다.

장착위치가 3인 안전모 후방의 경우는 전방과 유사한 결과를 보이지만 작업자의 작업 행태상 고개를 숙이는 경우가 있어 신호가 도달되는 특성이 전방보다 좋아지는 경우도 있음을 알 수 있었다. 따라서 약 90미터의 평균 통달거리를 보이고 있다.

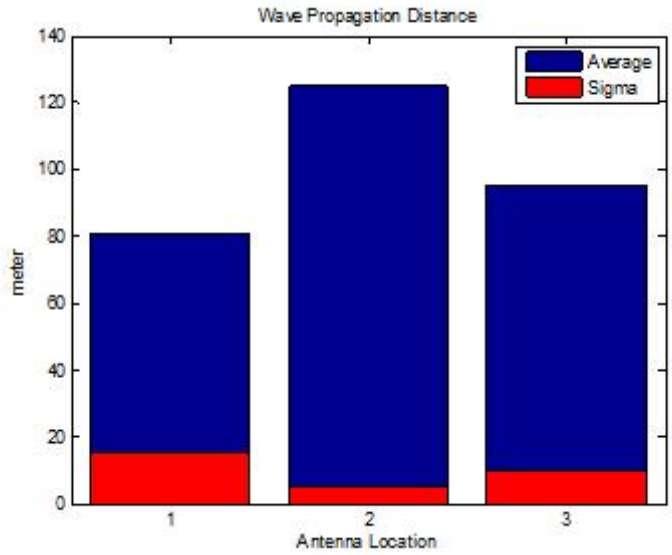


그림 2.8 장착 위치에 따른 통달거리 비교

(4) 지상·지하의 3차원 위치추적을 위한 시험 보드 제작 및 성능 분석

① 위치인식기술 건설 현장 활용성

지하구조물 건설 현장에서의 위치추적은 기본적으로 3차원 위치추적이 가능해야 하며 이를 가능하게 하려면 기존 GPS 기술 뿐만 아니라 MEMS INS를 활용한 관성항법 응용 기술, 그리고 무선통신망을 이용한 측위 기술 등이 요구된다.

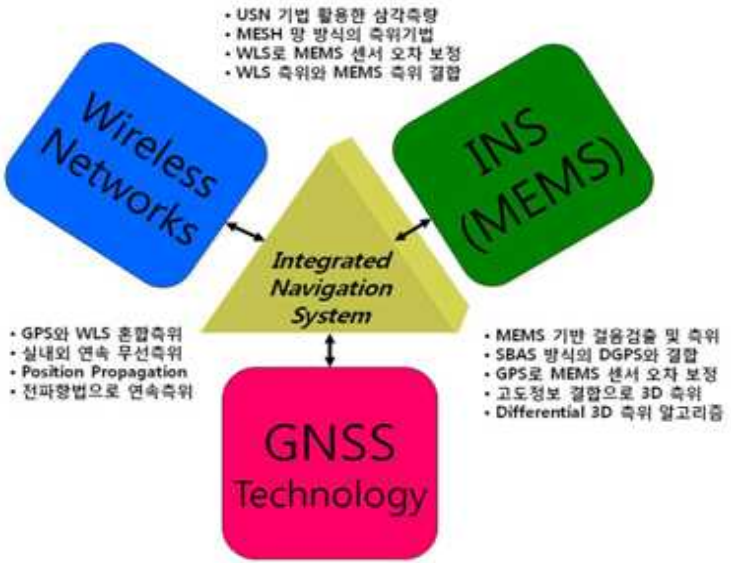


그림 2.9 3D 위치추적을 위한 기반 요소 기술

위와 같은 복합 항법이 구현되기 위해서는 아래와 같은 요소 기술들을 필요로 한다. 이 요소기술들은 구현의 난이도도 다르며, 일부 기술은 이미 칩 레벨로 구현이 완료된 기술들도 포함된다. 본 연구에서는 MEMS INS 기반의 구현 요소기술을 집중적으로 연구하였으며 이 요소기술을 구현하는데 절대적으로 필요한 극복기술과 특허기술을 제안하였다. 이런 요소기술들이 잘 융합된다면 본 연구에서 추구하는 3차원 위치추적에 매우 유용한 결과를 도출할 수 있다.

표 2.2 3차원 위치추적 요소 기술

NO.	요소 기술	난이도	구현 상태
1	Differential 3D 측위 알고리즘	중	기 완료
2	SBAS 방식의 DGPS와 결합	하	기 완료
3	GPS로 MEMS INS 센서 오차 보정	중	1차년도
4	MEMS INS 기반 걸음검출 및 측위	중	1차년도
5	고도 정보 결합으로 3D 측위 기법	중	1차년도
6	전파항법으로 연속 측위 기법	중	2차년도
7	GPS와 WLS 혼합측위 기법	중	2차년도
8	실내외 연속 무선측위 기법	중	2차년도
9	Position Propagation 기법	중	2차년도
10	WLS 측위와 MEMS INS 측위 결합	상	2차년도
11	WLS로 MEMS 센서 오차 보정	상	2차년도
12	MESH 망 방식의 측위 기법	중	2차년도
13	USN 기법 활용한 삼각 측량	중	2차년도

이 기술들을 실제 3차원 위치 인식에 적용하기 위해서는 극복해야 할 몇가지 문제점이 있으며 본 연구에서는 이 문제를 해소하기 위한 극복기술을 제안하였다.

건설현장 작업자의 위치를 결정하는데 가장 중요한 역할을 수행하는 것은 MEMS INS 디지탈 센서이고, 이를 활용하기 위한 센서 보정 기술과, 작업자의 움직임을 검지하기 위한 걸음 검출 기술, 그리고 작업자의 심도에 해당하는 고도를 정확하게 결정하는 기술이 매우 중요하다.

본 연구에서는 건설 현장 작업자의 장착 편의성을 고려해서 매우 작고 저렴한 3D 측위 모듈을 제작하였으며, 여기에는 디지탈 3축 가속도센서, 디지탈 3축 자이로센서, 기압센서, GPS가 내장되어 있다. 또한 제작된 모듈과 거의 동일한 성능의 센서를 내장한 일반 상용 스마트폰을 이용하여 내장된 센서로부터 데이타를 추출하고 필요시 항법알고리즘을 내장 하도록 하여 그 결과를 외부의 PC에서 모니터링 할수 있는 형태의 시험 장비를 구축하였다.

일반적으로 기압센서 데이타는 GPS만큼이나 절대수치의 고도 검출에서 신뢰도가 떨어진다. 이는 매일, 매시간마다 기압이 변화하기 때문에 해수면의 고정된 기압값에 대한 상대적인 고도를 산출하는 방식에 문제가 있기 때문이다. 일반적으로 기압센서 값에 대한 5 point 평활화 기압데이타를 아래와 같이 정의한다.

$$CP = \frac{P_n + P_{n-1} + P_{n-2} + P_{n-3} + P_{n-4}}{5} - P_n$$

여기서 각 변수에 대한 정의는 아래와 같다.

P_n : 데이터 순열 n 번째 기압 데이터 (millibar)

CP : Current Pressure (millibar)

RP : Reference Pressure (해발 기압을 사용)

MSLP : mean-sea-level pressure

RSP : Reference Station Pressure

H : Altitude in meter

그리고 이를 이용한 고도 환산 수식은 아래와 같다.

$$H = 44330 \times \left[1 - \left(\frac{CP}{RP}\right)^{\frac{1}{5.255}}\right]$$

본 연구에서는 임의로 변화하는 기압정보가 고도가 '0'인 해수면 기압을 고려한 고도 환산의 원리를 이용하여 고정밀 고도정보를 갖고 있는 기준국 또는 기준점에서 기준기압 정보를 확보하여 이를 차분 방식(Differential Method)으로 현재 고도를 환산하는 기법을 제안하였다. 즉, 위 수식에서 기존에는 RP값으로 MSLP를 적

용하였으며, 이는 기준고도가 '0'인 해발을 이용하는 것이기 때문에 위 수식으로 정리된다. 제안한 절대 고도 환산법은 RP 대신 정밀한 고도값을 갖고 있는 기준국에서 획득한 기압값인 RSP를 이용하여 '고도기준값'을 만들어 내고, 이를 다양한 네트워크를 활용하여 이동국에 전달하면 이동국에서 아래의 수식으로 절대 고도를 획득하는 방식이다. 고도기준값은 기준국의 정밀한 고도값과 기준국에서의 기압값을 포함한다. 즉, 위 수식에 고도기준값을 적용하여 새로운 수식을 정의하였다.

$$H^a = 44330 \times \left[1 - \left(\frac{CP}{RSP}\right)^{\frac{1}{5.255}}\right] + H^{RS}$$

여기서 추가 변수는 아래와 같다.

H^{RS} : Altitude in meter of Reference Station

H^a : Absolute Altitude in meter

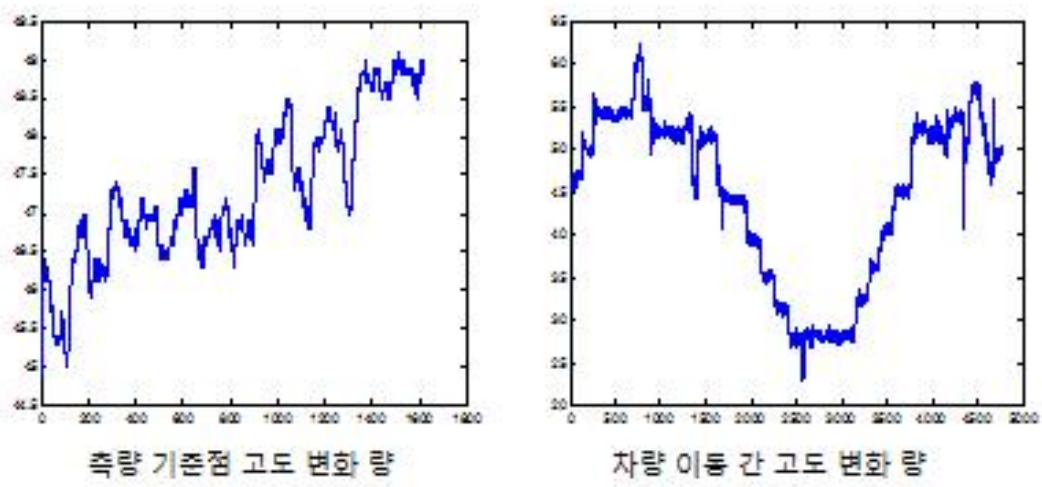


그림 2.10 측량기준점과 차량 이동 간 고도 변화량

측량 기준점의 고도 데이터는 4.5m~4.9m 로 정지의 오차 범위는 약 0.4m로 측정되었으며 기압센서의 안정성을 확인하였다. 이를 방지하기 위해서 본 논문에서는 Moving Average 기법으로 측정 잡음을 필터링 하였으며 필터링 한 데이터를 이용하여 현재 기압 데이터와 이전 기압 데이터의 차를 산출하였다. 이동중인 위치의 고도 데이터를(CH)와 2D 위치 데이터에 결합 하여 아래와 같이 3D 위치 데이터를 확보 하였다.

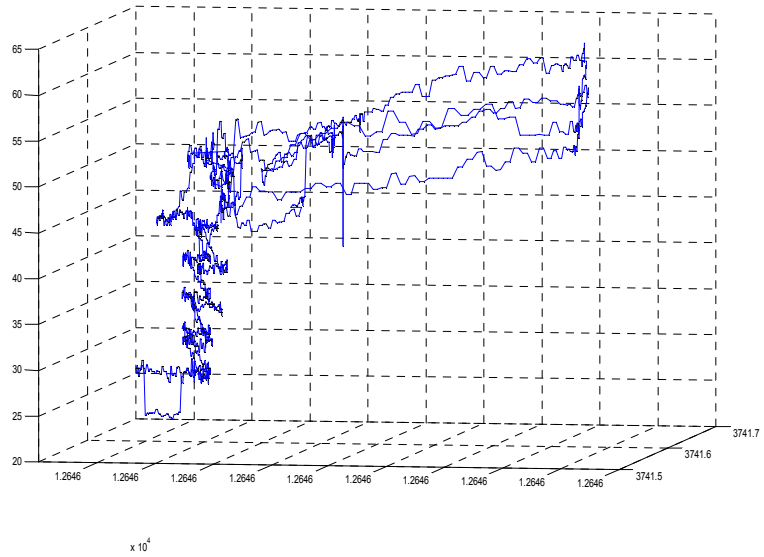


그림 2.11환산된 절대 고도 기법을 이용한 3D 이동 궤적

(2) 2차년도 연구수행과정 및 내용

1차년도에서 분석한 현장에 적합한 통신 주파수대와 MEMS INS 센서, 그리고 관련 시험 결과를 토대로 작업자 몸에 장착할 수 있는 크기와 무게를 가진 VI-GNSS 모듈과 통신 모듈을 설계하였다. 다양한 크기의 샘플을 제작하여 적합한 크기를 선정할 수 있도록 하였으며, 단말기는 공통 VI-GNSS 모듈을 사용하여 작업자용과 이동차량용으로 구분하여 제작되었다. 작업자용 단말기는 PDR이라는 개인휴대 항법기술 S/W를 내장하며, 이동차량용 단말기는 ADR이라는 차량항법기술 S/W를 내장하고 있다. 두 단말기는 다시 새로 제작된 RF모뎀을 통하여 무선통신 프로토콜을 준수하며 현장 서버로 데이터를 전송하도록 하였으며, 각 단말기는 각각 고유의 ID와 작업자용(PNS), 차량용(CNS)으로 구별되도록 하였다.

(가) VI-GNSS 기반 작업자 단말기 설계 및 제작

지하구조물 시공시 건설시공의 열악한 환경에 최적화된 MEMS기반의 VI-GNSS(Voice Integrated - Global Navigation Satellite System) 작업자 지원시스템 및 유비쿼터스 기술 기반의 통합 관제시스템 개발을 통한 지하구조물 건설 현장지원시스템 구축한다.

① 단말기 기능사양서 건수(2건)

㉮ 통신모듈과 결합된 작업자 장착 고려한 지상·지하의 3차원 위치추적 시험 시스템설계

□ MEMS INS 센서 내장 GNSS 모듈 하드웨어 설계

- 1차 제작 :27x27 크기의 GNSS 모듈

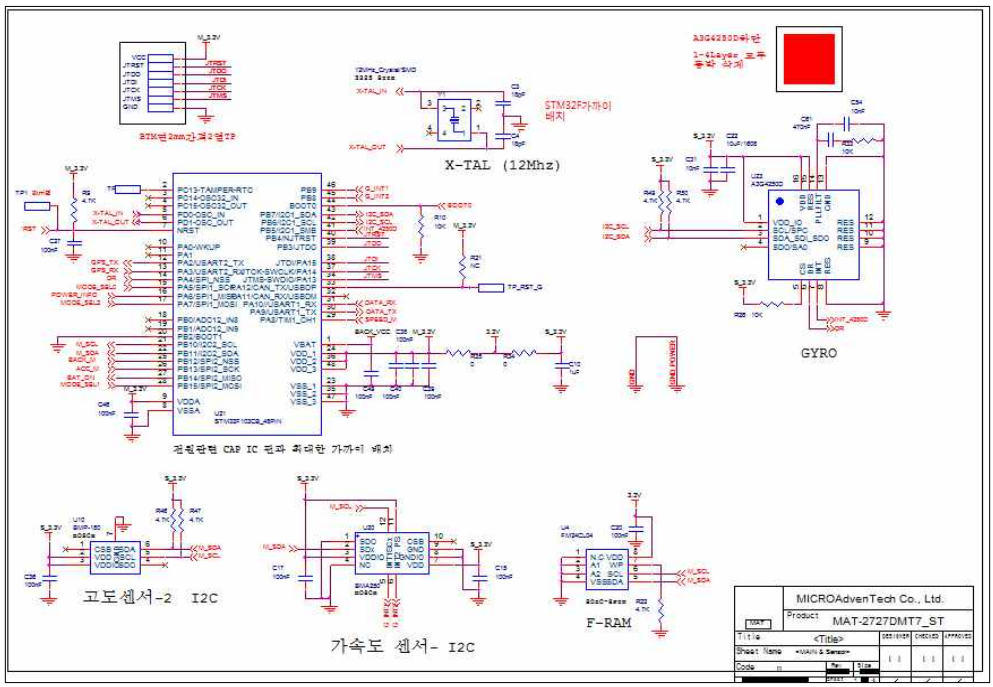


그림 2.12 MEMS INS 센서 내장 27x27 모듈 회로도

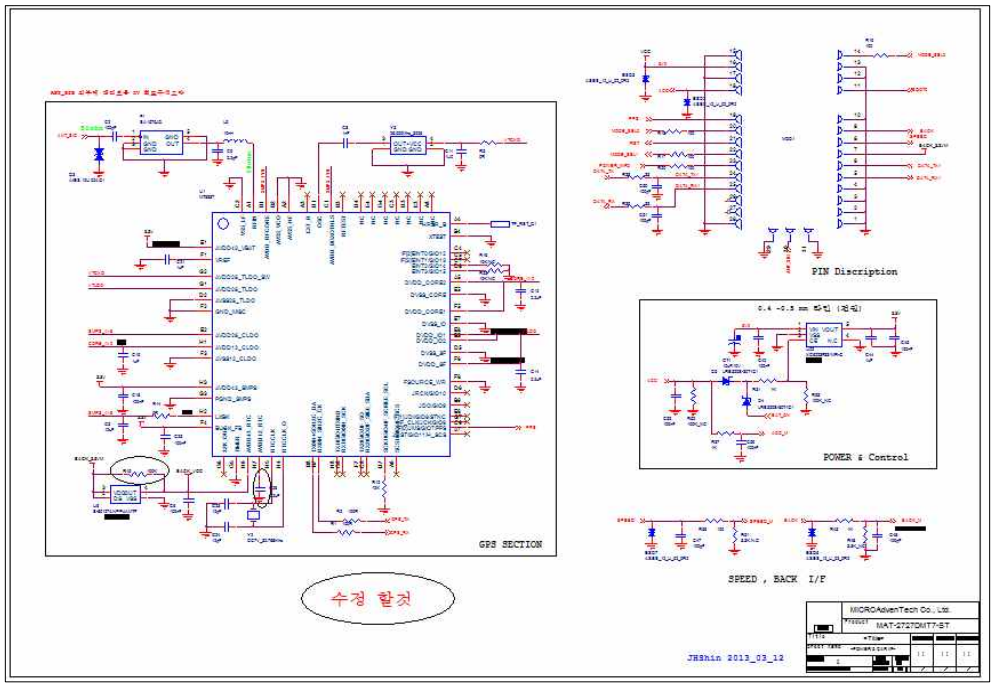


그림 2.13 27x27 GNSS 모듈 회로도

- 2차 제작 :25x25 크기의 GNSS 모듈

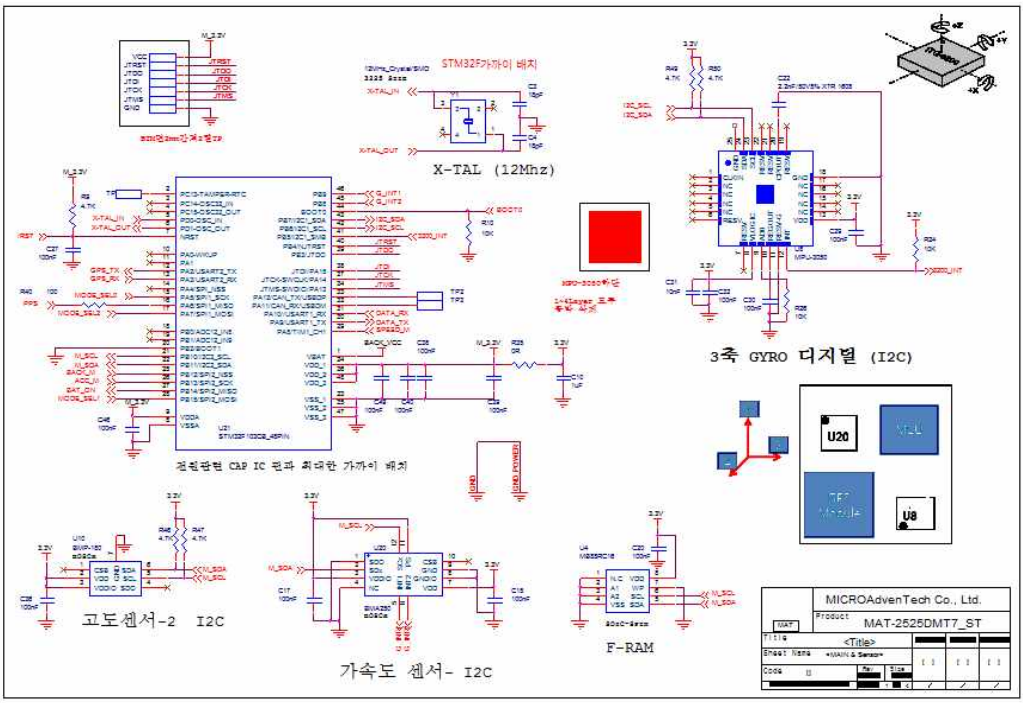


그림 2.14 MEMS INS 센서 내장 25x25 모듈 회로도

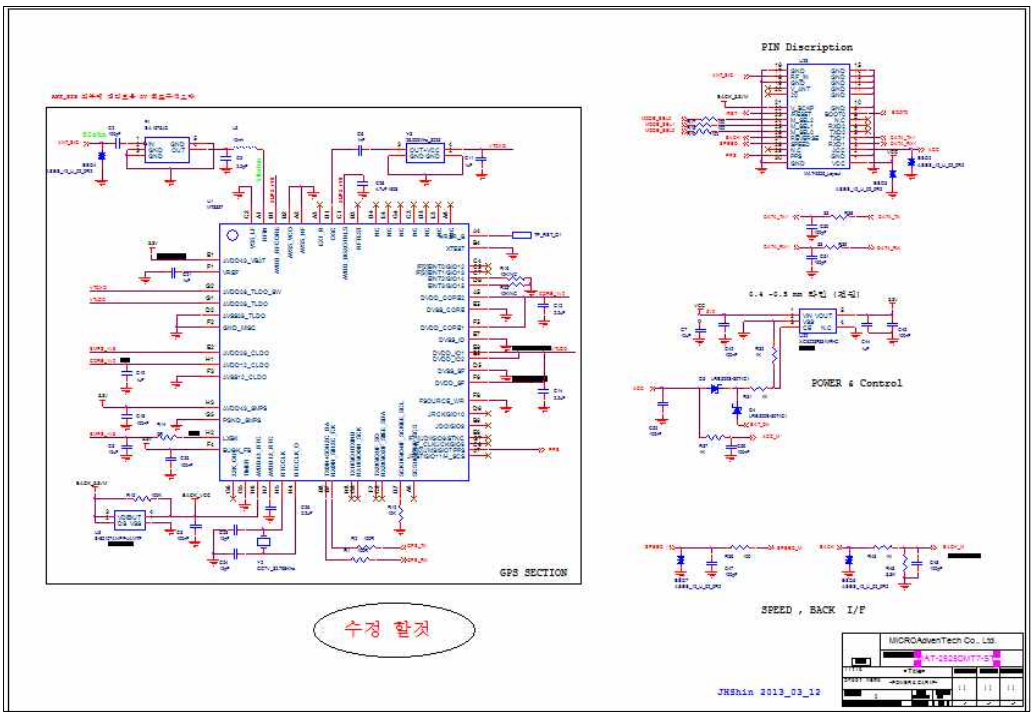


그림 2.15 25x25 GNSS 모듈 회로도

□ RF 칩 내장한 무선통신 모뎀 하드웨어 설계

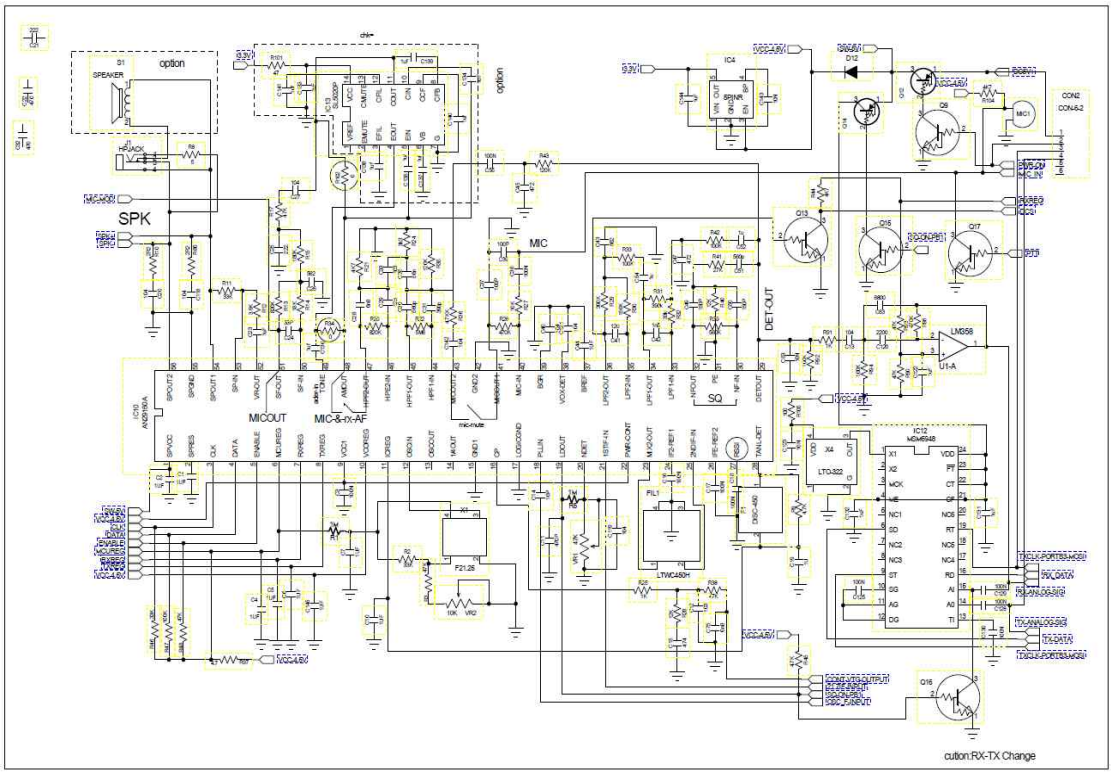


그림 2.16 RF 칩 내장한 무선통신 모뎀 제어 회로 설계도

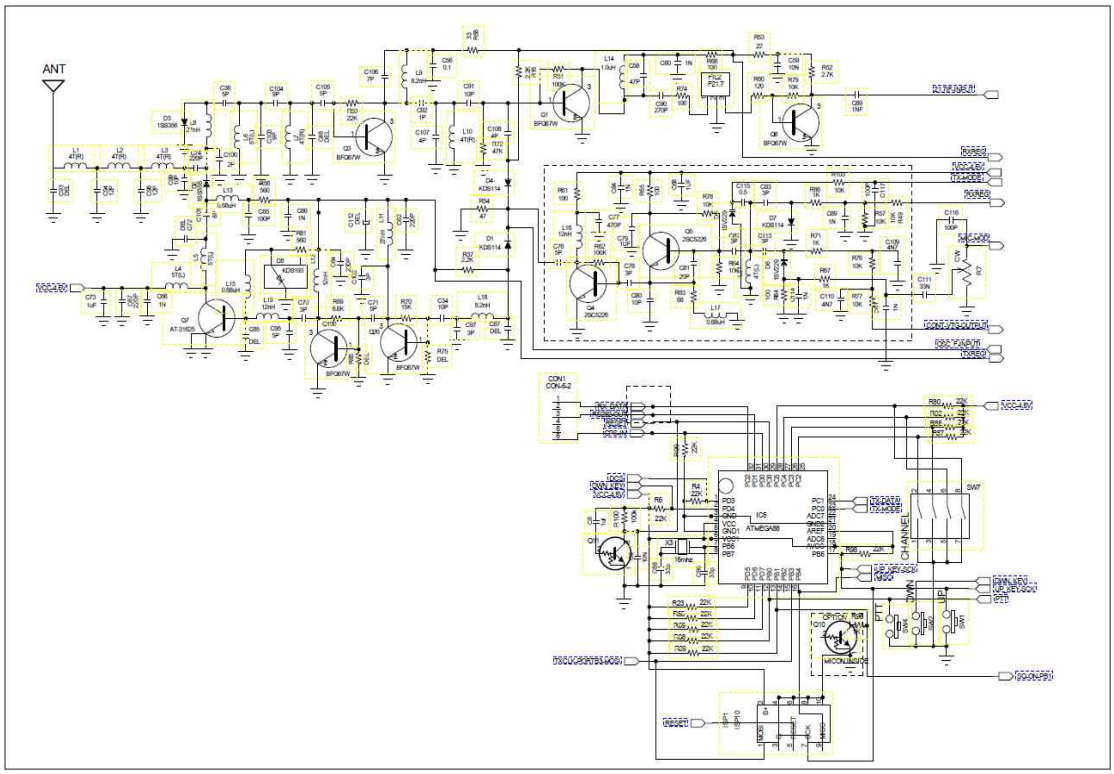


그림 2.17 RF 칩 내장한 무선통신 모뎀 통신 회로 설계도

② 작업자 장착형 헤드셋 구현

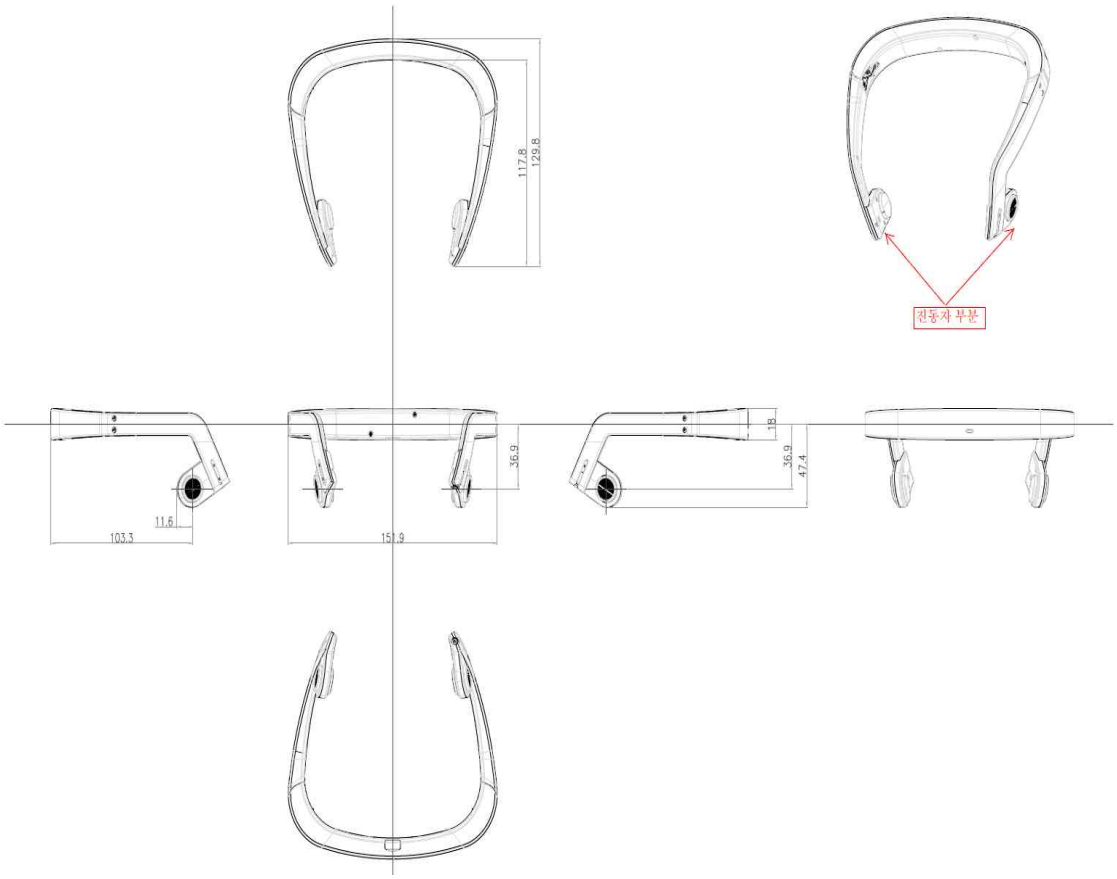


그림 2.18 작업자 단말기용 헤드셋 설계



그림 2.19 단말기용 골전도 내장 케이스 샘플

③ 작업자용 단말기 구현

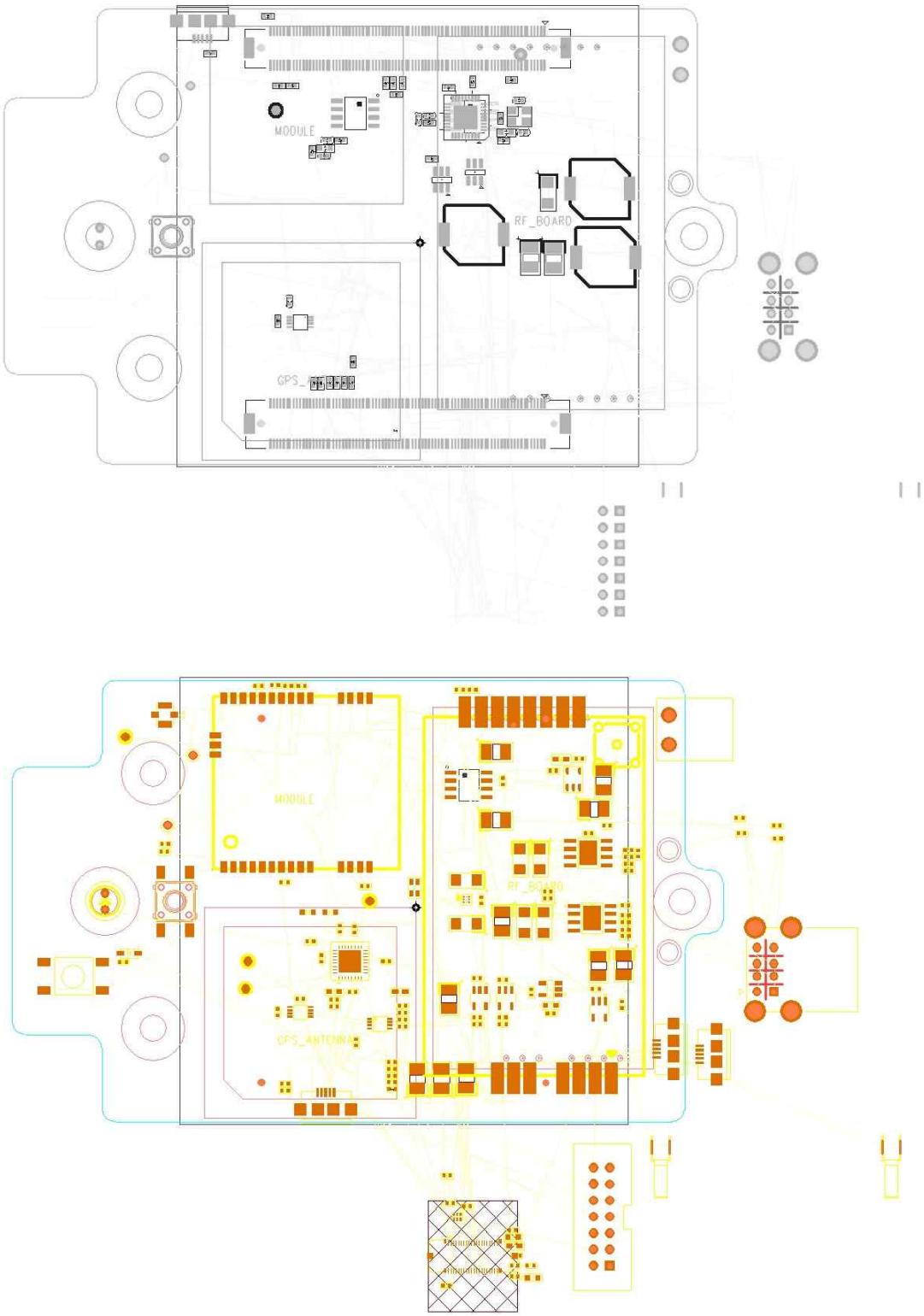


그림 2.20 시험용 작업자 단말기 보드 회로도

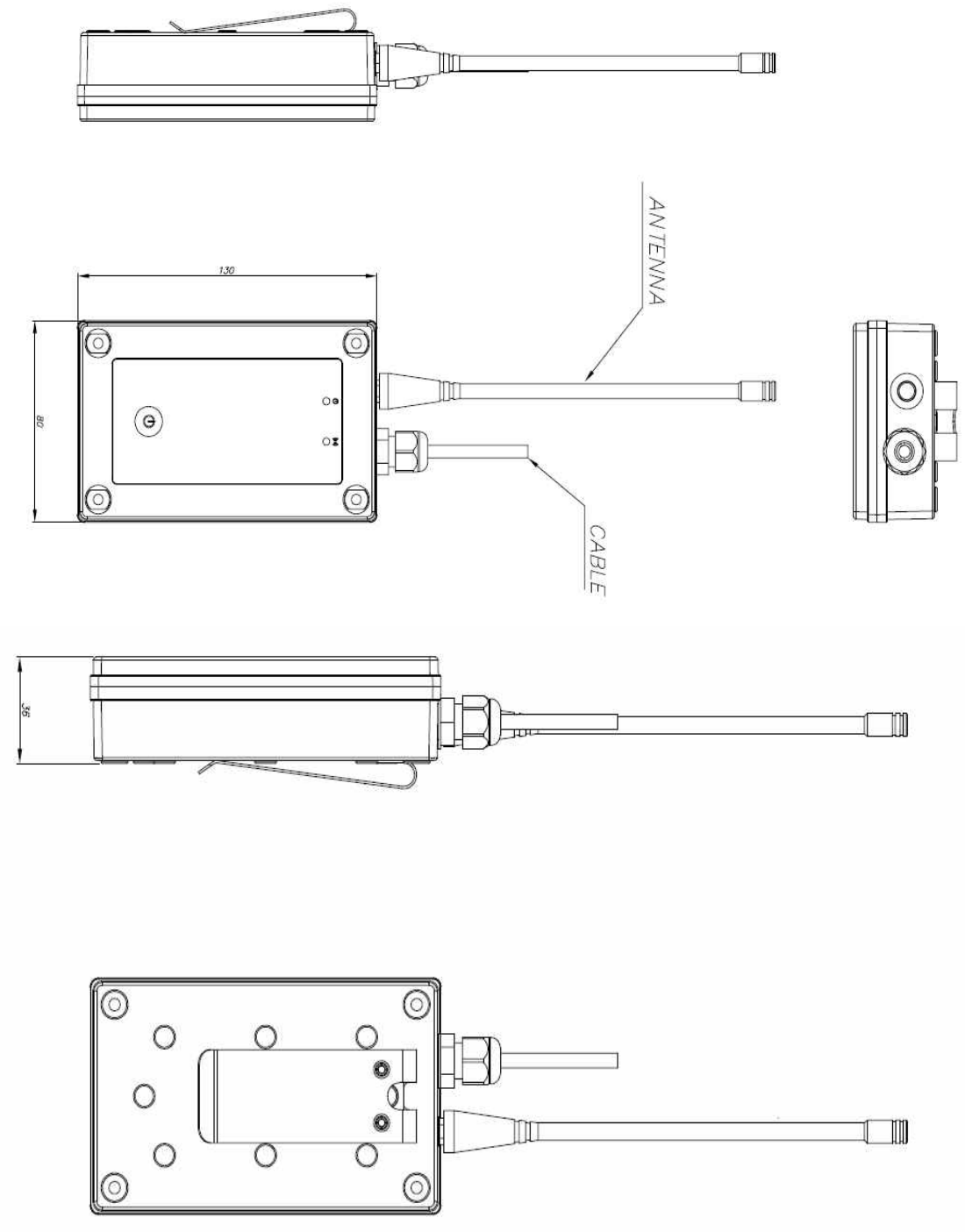


그림 2.21 시험용 작업자 단말기 케이스 설계도



그림 2.22 시험용 작업자 단말기 충전 박스 동작 사진

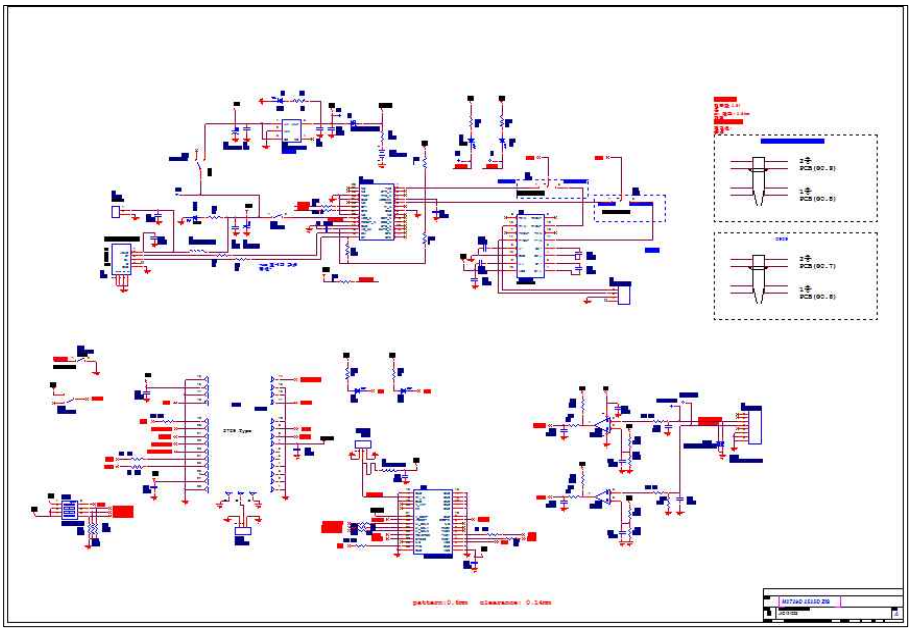


그림 2.23 VI-GNSS 내장 작업자 단말기 회로 설계도

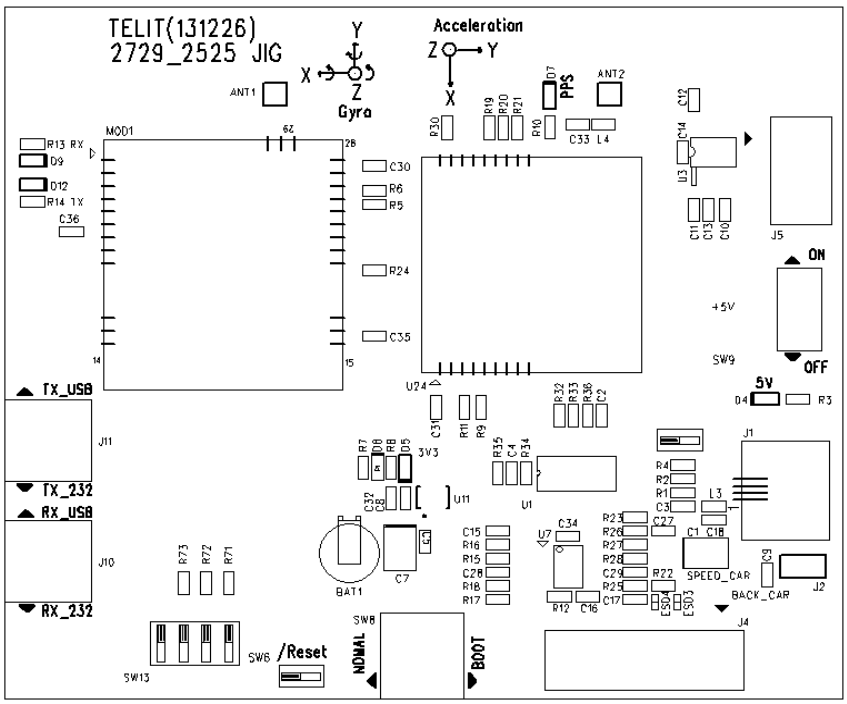


그림 2.24 VI-GNSS 내장 작업자 단말기 부품 배치 설계도

(가) 이동차량 단말기 설계 및 제작

① 이동차량용 단말기 구현

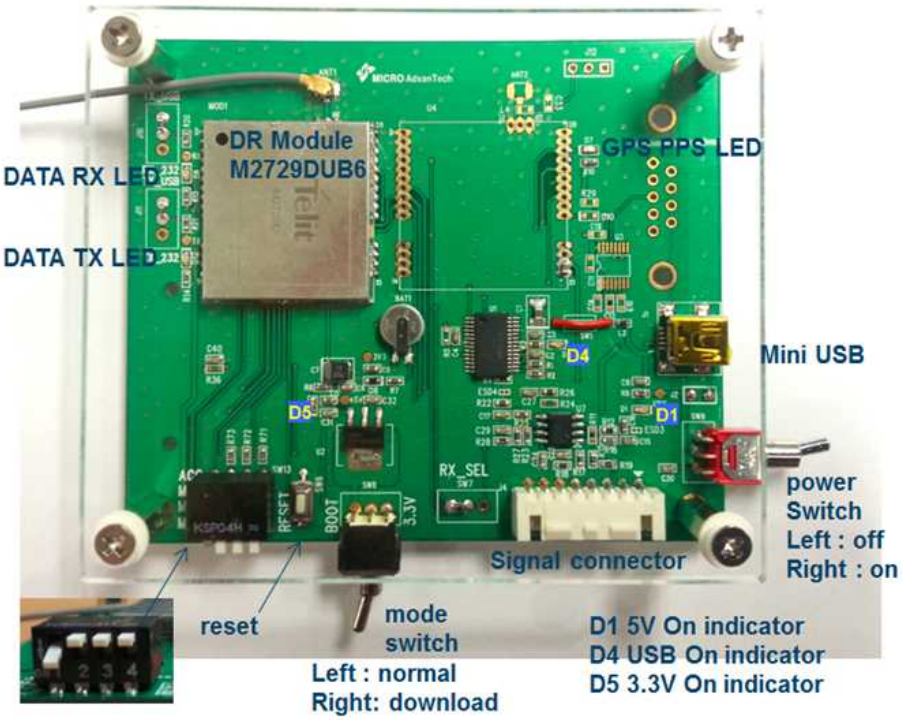


그림 2.25 이동차량용 단말기 제작 샘플

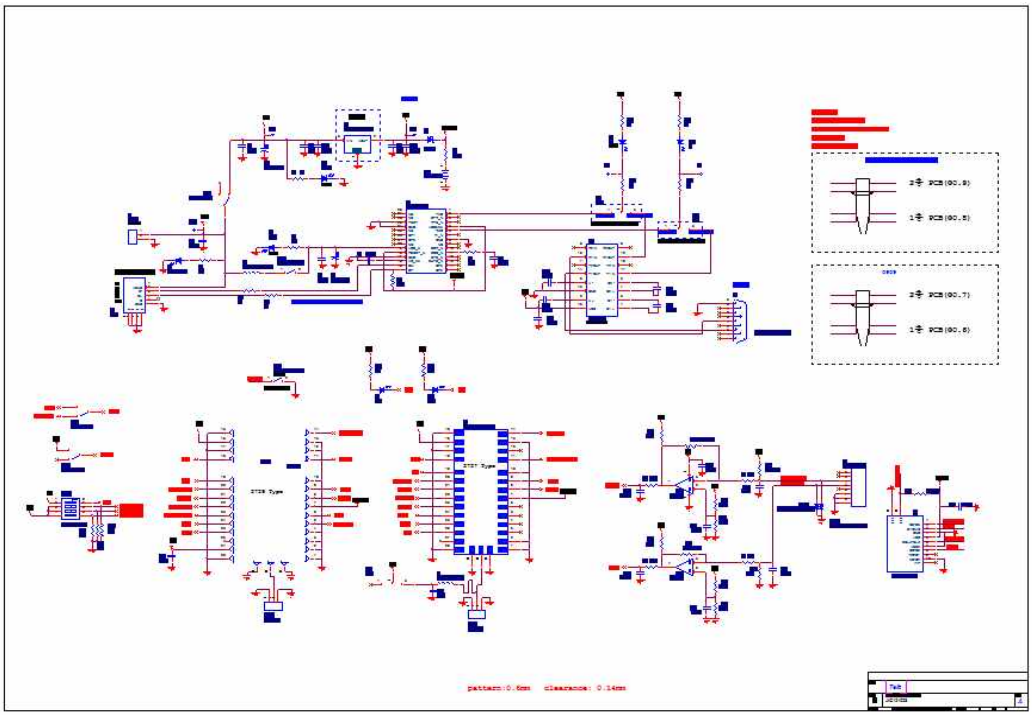


그림 2.26 이동차량용 단말기 회로 설계도

(1) 3차년도 연구수행과정 및 내용

이전 차년도에서 구축된 단말기별 제원과 시험 특성 및 현장 적용성 결과를 토대로 단말기 인증 프로세스를 구축하기 위한 양산 가능한 단말기를 구현하는데 집중하였다. 양산 단말기는 수작업이 완전히 배제된 부품의 자동 실장과 깔끔한 배선이 되도록 해야 하므로 회로의 검토와 부품배치에 집중을 해야 한다. 또한 최종 양산용 단말기는 작업자용과 이동차량용에 모두 적용이 가능하도록 통합형으로 제작되어 각 단말기별로 케이스와 인터페이스를 별도로 제작해야 했던 불편함을 해소했다는 특징이 있다. 이런 특징을 가지는 단말기를 이용하여 인증 프로세스를 설계하였고, 이를 토대로 현장시험과 신뢰성 시험을 수행하도록 하였다.

(가) VI-GNSS 기반 작업자 단말기 설계 및 제작

① 단말기 기능 사양서

㉮ 통신 모듈과 결합된 작업자 장착 고려한 지상,지하의 3차원 위치 추적 시험 시스템 설계

□ 통합 단말기 설계 및 제작 - 통신 및 MEMS INS 포함

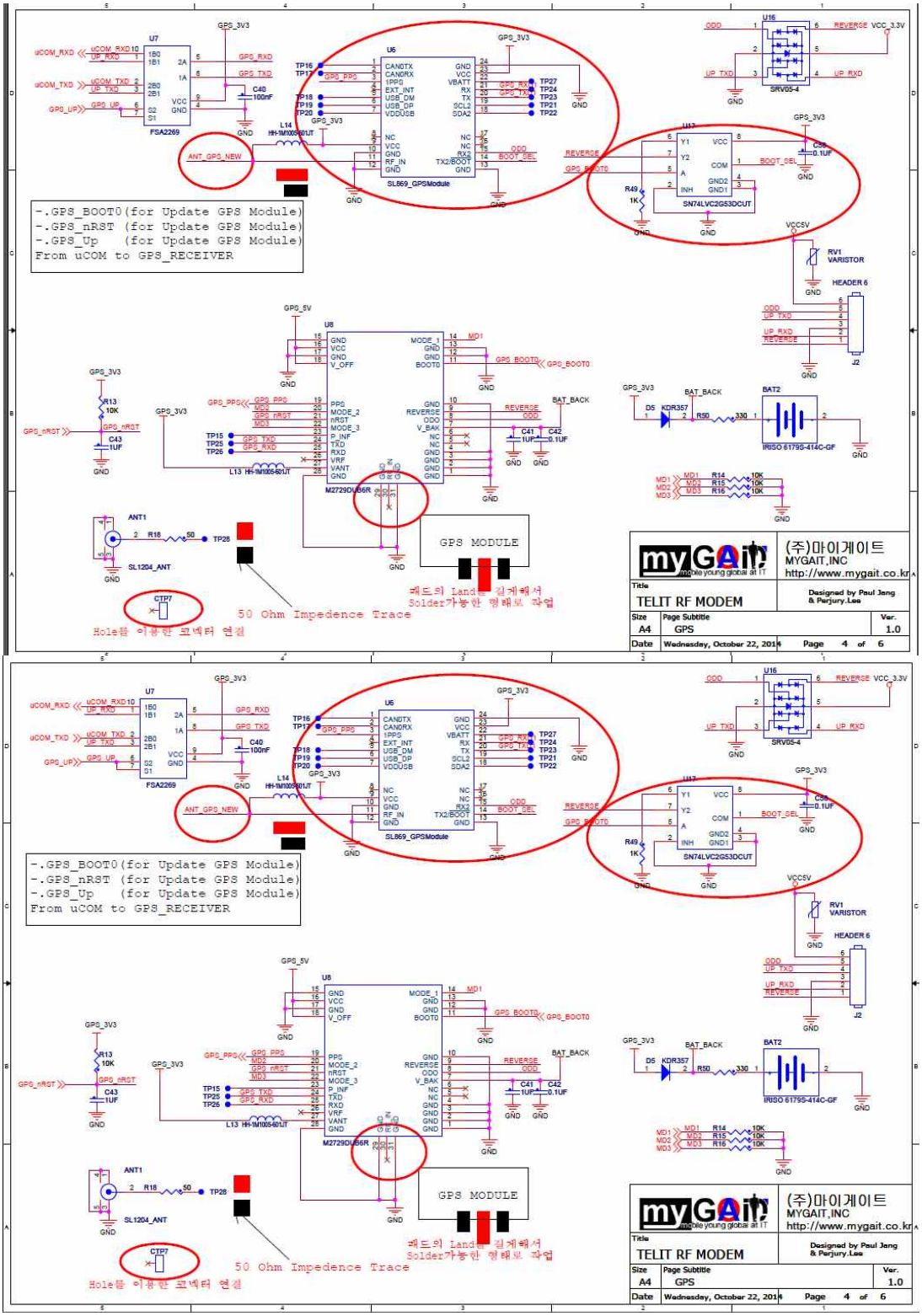


그림 2.27 통합 보드 회로도

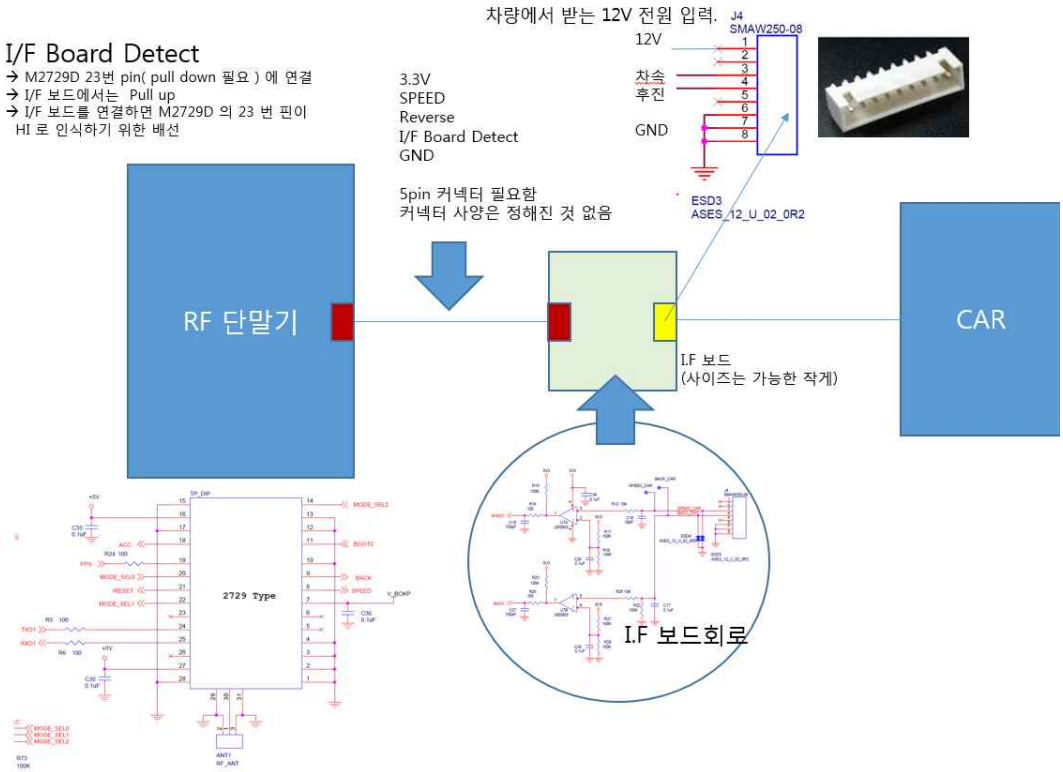


그림 2.28 차량용 단말기 인터페이스 보드 설계



그림 2.29 차량용 단말기 인터페이스 단말기 충전박스



그림 2.30 통합 단말기 케이스 제작



그림 2.31 통합 단말기 내부 구성



그림 2.32 통합 단말기

□ 초소형화 GNSS INS 모듈 제작

본 과제의 수행 내용을 기반으로 향후 상용화 계획이 있는 초소형 GNSS INS 모듈을 제작 하였다.

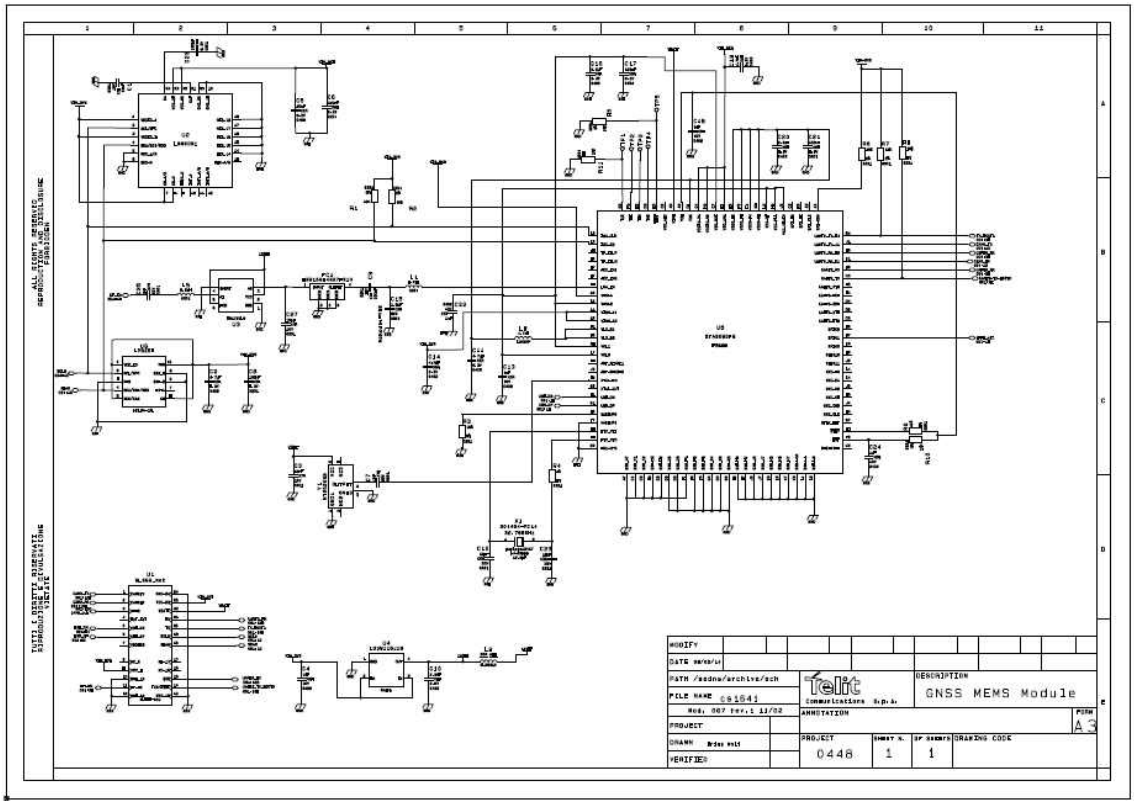


그림 2.33 1216 size GNSS INS 모듈

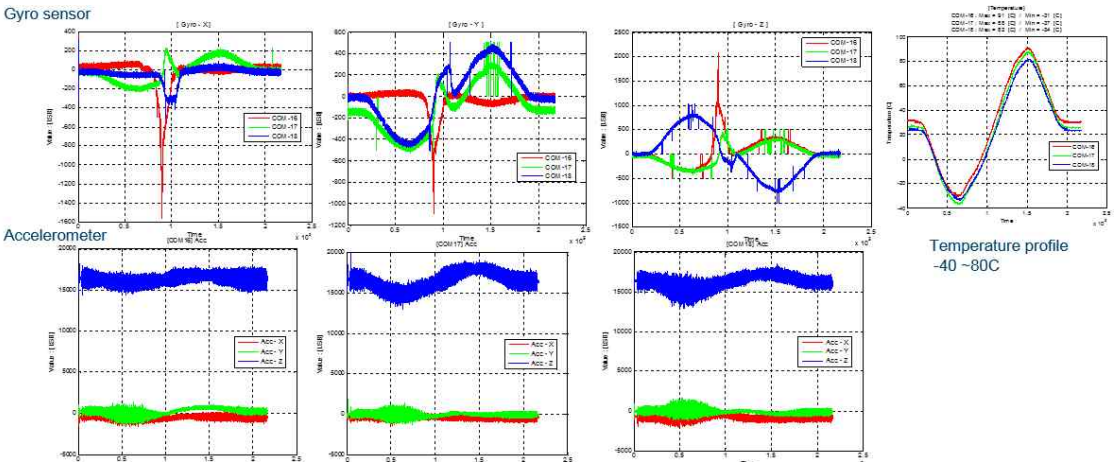


그림 2.34 1216 size GNSS INS 모듈 센서 테스트 1



그림 2.35 1216 size GNSS INS 모듈 성능 테스트 2

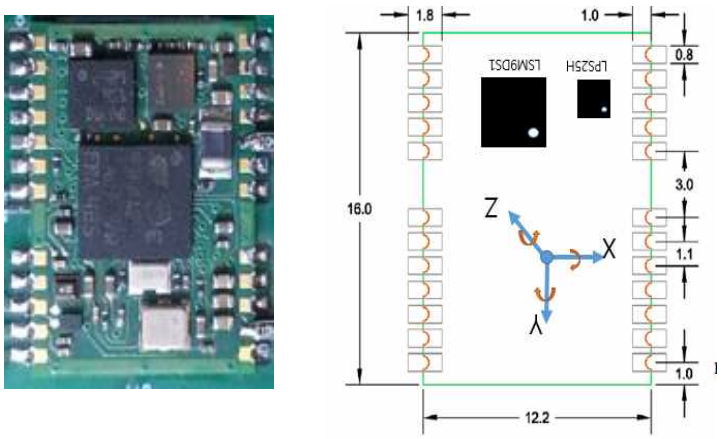


그림 2.36 1216 size GNSS INS 모듈 구성

□ 통합 단말기 사양 (specification)

1) 음성 모뎀

- 주파수 범위 : 400 ~ 480 MHz (UHF)
- Tx and Rx frequency, Tx/RxCTCSS,CDCSS can be set alone.
- Band width 12.5/25KHz
- Output power up to 1 w
- Transmission distance up to 3.5 to 5 km in Open area
- sensitivity: - 124 DBM
- 38 CTCSS
- 166 CDCSS
- 8 level squelch
- 8 adjustable volume
- working voltage 3.3 to 5.5 V
- 1 ppm KDS TCXO crystal

2) 데이터 모뎀

[RF Transceiver]

- 주파수 범위: 402 ~ 470 MHz
- Transmit Data Rate : 153.6 kbps
- RF Power : -20 ~ 10 dBm
- Receive Sensitivity : -118 dBm

[Electromechanical:

- Current Draw : 19.9 mA(RX Mode)
  16.2 mA (TX Mode, 0 dBm)
  1.8 uA (Sleep)
- Operation Condition (Temperature) : -40 ~ 85 ℃
- Operation Condition (Voltage) : 2.3 ~ 3.6 V

3) 데이터 전송

- 각 단말기의 고유 번호 부여
  example) 32개가 1Group을 형성하고 16개씩 1조를 이룬다.
  1조: A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,A10,A11,A12,A13,A14,A15,A16
  2조: B1,B2,B3,B4, B5,B6,B7,B8, B9,B10,B11,B12,B13,B14,B15,B16
- IDLE 모드로 대기하고 있다가 지정된 Tick을 받아 RF로 전송한다.
- 각 단말기는 지정된 시간(Time Delay)에 데이터를 송신한다.
- 수신단에서 전달되어지는 Sync 신호에 따라 송신 시간을 연산한다.
- Terminal Mode: IDLE, TX, RX Mode로 구성.
- Transmit Time(Tx mode 유지시간): 200ms
- GPS Data format: 115200 bps/ 1Hz
- 데이터 포맷

$VIPNS,A3,271114,064351,373116.133,1265545.667,1018.38,0,0,2*02CRLF(64Bytes)

4) 데이터 수신

- 2채널에 의해 전달되어지는 데이터를 수신하여 Serial 포트로 전달한다.
- 기본적인 Sync신호를 만들어서 각 단말기로 전송한다.
- Voice Data를 전송하기 위해서는 PTT동작(위치 데이터 이동과 별도로)을 함으로써 Voice Data를 전송하고 수신한다..
- 구성 : Data modem 2 modules + Voice modem 1module
- Sync신호 주기: 30 sec
- Sync신호 주기: 1 sec (Sync신호를 사용자가 manual로 전송 가능)
- UART Baudrate : 57600bps USB interface Mode

- PTT 동작시 Data modem에서 전송되는 데이터 수신가능
  - 수신데이터:
  CH1: $VIPNS,A1,271114,064351,373116.133,1265545.667,1018.38,0,0,2*02
  CH2: $VIPNS,B1,271114,064351,373116.133,1265545.667,1018.38,0,0,2*02

(나) 작업자 및 이동차량 단말기 성능 및 인증실험

① 작업자 및 이동차량 단말기 성능 실험(5건)

㉮ 1차 현장테스트

- 시험날짜 : 2014년 05월 29일(목) ~ 05월 30일(금)
- 수행시험명 : 작업자 단말기용 3D 위치 검출 시험
- 시험방법 :

· 현장 입구에 현장서버단 설치 및 동작 확인
· 시험 세트 장착된 차량으로 사갱부터 막장까지 시속 20킬로미터 이내 주행
· 작업자 위치 모듈 장착한 2인이 걸어서 막장까지 왕복
· 모든 시험 요원은 골전도 통신 모듈을 착용
· RF 모듈 거리 검출 시험 실시
· 인증 프로세스 초안을 이용한 절차 확인

㉯ 2차 현장테스트

- 시험날짜 : 2014년 07월 02일(수) ~ 07월 03일(목)
- 수행시험명 : 작업자 단말기용 3D 위치 검출 시험
- 시험방법 :

· 현장 입구에 현장서버단 설치 및 동작 확인
· 시험 세트 장착된 차량으로 사갱부터 막장까지 시속 20킬로미터 이내 주행
· 작업자 위치 모듈 장착한 2인이 걸어서 막장까지 왕복
· 모든 시험 요원은 골전도 통신 모듈을 착용
· RF 모듈 거리 검출 시험 실시
· 인증 프로세스 초안을 이용한 절차 확인

㉰ 3차 현장테스트

- 시험날짜 : 2014년 07월 28일(월) ~ 07월 29일(화)
- 수행시험명 : 작업자 단말기용 3D 위치 검출 시험
- 시험방법 :

· 작업자 및 차량용 단말기 설치 및 운용 준비
· RoIP 게이트웨이, 서버 설치 및 운용 준비
· 작업자 단말기 착용 인원 4명 걸어서 현장 진입 시험
· 모든 시험 요원은 골전도 통신 모듈을 착용
· 관제-현장 간 음성통신 시험 실시
· 인증 프로세스 수정안을 이용한 절차 확인

㉲ 4차 현장테스트

- 시험날짜 : 2014년 09월 01일(월) ~ 09월 02일(화)
- 수행시험명 : KICT 단말기 통합 시험 및 인증 프로세스 검증
- 시험방법 :

· 작업자 및 차량용 단말기 설치 및 운용 준비
· RoIP 게이트웨이, 서버 설치 및 운용 준비
· 작업자 단말기 착용 인원 4명 걸어서 현장 진입 시험
· 모든 시험 요원은 골전도 통신 모듈을 착용
· 관제-현장 간 음성통신 시험 실시
· 인증 프로세스 수정안을 이용한 절차 확인

㉳ 5차 현장테스트 - 시험날짜 : 2014년 10월 13일(월) ~ 10월 14일(화)

- 수행시험명 : 작업자 단말기용 3D 위치 검출 시험
- 시험방법 :

· 작업자 및 차량용 단말기 설치 및 운용 준비
· RoIP 게이트웨이, 서버 설치 및 운용 준비
· 작업자 단말기 착용 인원 4명 걸어서 현장 진입 시험
· 모든 시험 요원은 골전도 통신 모듈을 착용
· 관제-현장 간 음성통신 시험 실시
· 인증 프로세스 수정안을 이용한 절차 확인

② 작업자 및 이동차량 단말기 인증 실험(2건)

㉮ 1,2차 인증테스트

- 시험날짜 : 2014년 12월 22일(월) ~ 12월 23일(화)
- 수행시험명 : 단말기 인증 시험
- 시험방법 :

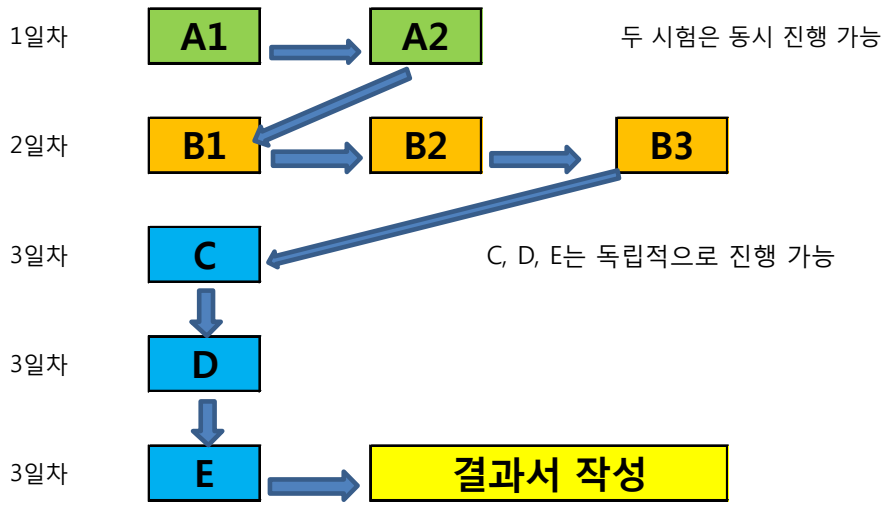
· 작업자 및 차량용 단말기 설치 및 운용 준비
· RoIP 게이트웨이, 서버 설치 및 운용 준비
· 작업자 단말기 착용 인원 4명 걸어서 현장 진입 시험
· 모든 시험 요원은 골전도 통신 모듈을 착용
· 관제-현장 간 음성통신 시험 실시
· 인증 프로세스 수정안을 이용한 절차 확인

③ 작업자 및 이동차량 단말기 인증 프로세스 지침서

㉮ 전체 프로세서 블록도 및 정의

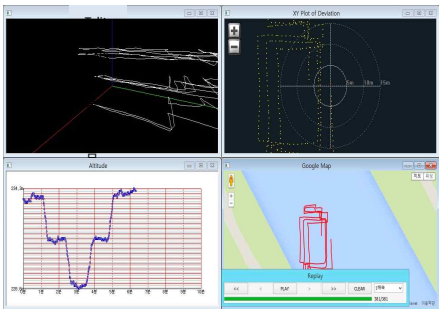
항목번호	주요 성능지표	단위	최종 목표	시료 수	시험 규격	시험장소	소요 시간	시험그룹
1	위치정확도(수평)	meter	10	10	공인성적서	실내/야외	5h	A1
	위치정확도(수직)	meter	2	10	공인성적서	실내/야외	5h	A1
2	동시운용단말기 수	개수	32	**32**	공인성적서	내부	1h	B1
3	통달거리(LOS)	meter	200	10	공인성적서	야외	5h	A2
4	최대운용시간	hour	8	10	공인성적서	내부	9h	B3
5	상태진단시간	sec	5	10	공인성적서	내부	1h	B2
6	긴급송신시간	sec	2	10	공인성적서	내부	1h	B2
7	단말기 항온	℃		10	공인성적서	장비	2h	C
8	단말기 방수			10	공인성적서	장비	4h	D
9	단말기 충격	N		10	공인성적서	장비	2h	E
						합계	35h	

시험 순서

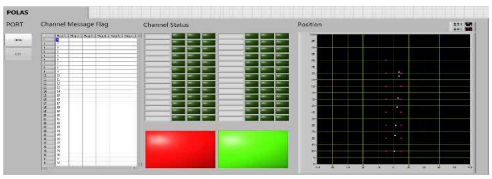


㈏ 세부 성능지표

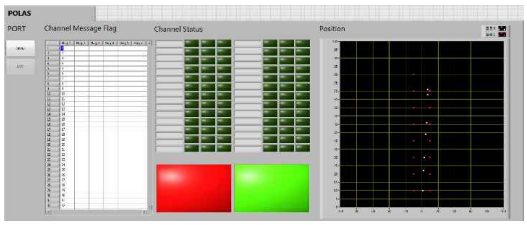
□ 위치 정확도

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Position Accuracy in Horizontal and Vertical
4	Test Goal	Horizontally <= 10m, Vertically <= 1m
5	Test Equipments	  시험 단말기 10대 데이터 수집 및 표시 프로그램
6	Test Procedure	- 시험 단말기를 허리뒤쪽에 안테나가 하늘 방향으로 흔들리지 않도록 고정 - 터널이나 건물의 직선 이동 구간과 상하 이동 구간을 반복 보행 - 수평 측정 : 건물내에서 좌, 우 보행을 포함한 약 100미터 거리 왕복 - 수직 측정 : 계단을 이용한 층간 이동, 엘리베이터를 이용한 이동 - 최초 출발점에 되돌아왔을때 수평위치 편차를 수치화 함 - 최초 출발점에 되돌아왔을때 수직위치 편차를 수치화 함 - 2인 또는 3인 이상 동시에 단말기 이동시험하여 10개 단말기 데이터 확보 - 최소 2회 실시

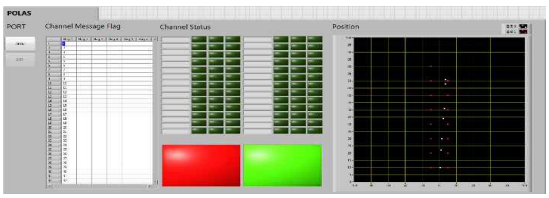
□ 동시 운영 단말기 대수

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Terminal Parallel test
4	Test Goal	32 terminals operate at ther same time
5	Test Equipments	  시험 단말기 32대 단말기 표시 프로그램
6	Test Procedure	- 2대의 관제 수신기를 노트북에 연결하여 총 16x2=32대의 단말기 준비 - 각 단말기의 고유ID별 데이터를 표시하도록 하여 주기적으로 데이터 관찰 - 각 단말기를 임의 동작 시켜 상태가 변하는지 확인 - 최소 2회 실시

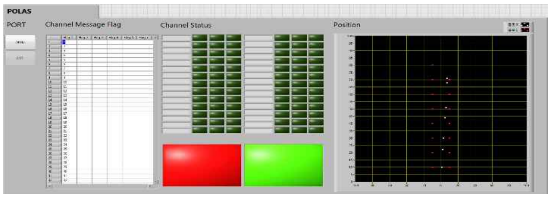
□ 통달거리

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Detection Distance
4	Test Goal	Minimum 200 meter
5	Test Equipments	  시험 단말기 10대 단말기 표시 프로그램
6	Test Procedure	- 시험 단말기와 관제 수신부 간 200미터 유지한 채 데이터 수신 여부 - 200미터 이상 거리 확보되는 지역 또는 건물 20층과 1층간 통신 여부 - 단말기를 허리뒤쪽에 부착, 단말기 안테나가 하늘을 향하고 기울지 않게 함 - 작업자가 관제 수신부를 바라보는 상태에서 데이터 수신 여부 측정 - 작업자가 관제 수신부를 등진 상태에서 데이터 수신 여부 측정 - 2인 또는 3인 이상 동시에 단말기 이동시험하여 10개 단말기 데이터 확보 - 최소 2회 실시

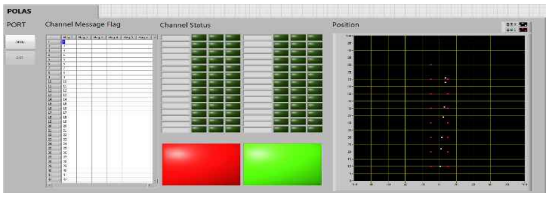
㉮최대운용 시간

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Operation Time
4	Test Goal	Minimum 8 hours operation continuously
5	Test Equipments	  시험 단말기 10대 단말기 표시 프로그램
6	Test Procedure	- 시험 단말기 10대를 완전히 충전시키고 관제 수신부와 통신 여부 체크 - 수신되는 데이터를 단말기 고유ID별로 저장하도록 세팅 - 총 10대의 시험 단말기를 구동시작하여 8시간 데이터 수집 여부 체크 - 총 2회 실시

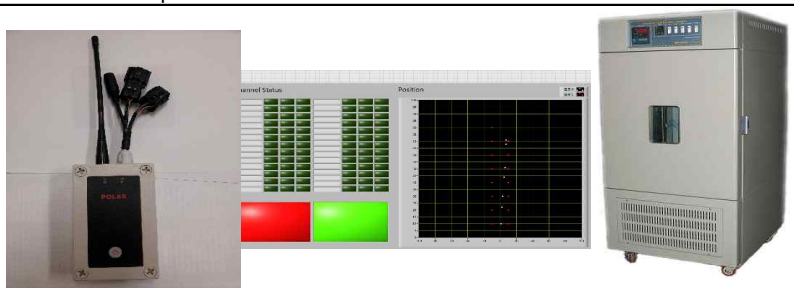
□ 상태진단 시간

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Status Detection Time
4	Test Goal	Terminal detects the status within 5 seconds
5	Test Equipments	  시험 단말기 10대 단말기 표시 프로그램
6	Test Procedure	- 작업자의 위험상황인 경우를 가정하여 상태값이 변경되는 순간 검지 - 위험상황(30초 미동없음)후 5초 내 관제부에서 검지하는데 걸리는 시간 - 총 10대의 시험 단말기 데이터를 저장하여 시간 측정 - 총 2회 실시

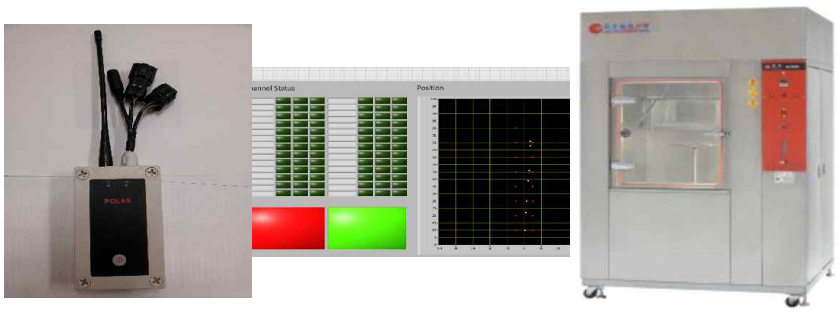
□ 긴급송신 시간

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Emergency Transmission
4	Test Goal	Emergency status information have to be sent within 2 seconds
5	Test Equipments	  시험 단말기 10대 단말기 표시 프로그램
6	Test Procedure	- 작업자의 위험상황인 경우를 가정하여 상태값이 변경되는 순간 검지 - 위험상황 직후 2초 내 다른 단말기보다 우선으로 긴급전송 시간 - 총 10대의 시험 단말기 데이터를 저장하여 송신 및 수신 시간 점검 - 총 2회 실시

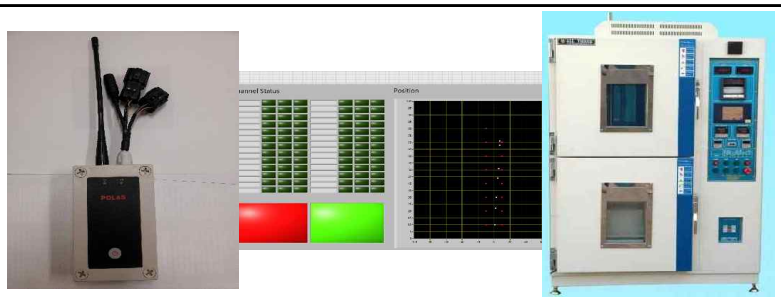
□ 단말기 항온

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Temperature Test
4	Test Goal	-20℃ ~ 65℃ Operation
5	Test Equipments	 시험 단말기 10대 단말기 표시 프로그램 온도 챔버
6	Test Procedure	- 무선통신이 가능한 온도 챔버에 시험 단말기 10대를 설치 - 시험온도 -20℃, 0℃, 20℃, 40℃, 65℃ 단계로 온도 세팅 및 데이터 저장 - 관제 프로그램이 각 온도별, 고유ID별 송신 데이터를 수신 및 저장 및 분석 - 소방 항온 기준에 맞춰 전문기관에 시험 의뢰

□ 단말기 방수

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Water Proof Test
4	Test Goal	Follow KFIS Water Proof Reference
5	Test Equipments	 시험 단말기 10대 단말기 표시 프로그램 방수 및 살수 시험기
6	Test Procedure	- 시험 단말기 10대를 방수 및 살수 시험기에 세팅 - 소방 방수 기준에 맞는 수준의 방수 시험 실시 - 각 단말기를 분해하여 내부 오염 여부 점검 - 소방 방수 기준에 맞춰 전문기관에 시험 의뢰

□ 단말기 충격

1	Test Date	2014년 8월
2	Test System	시스템 성능 / 작업자 및 이동차량 단말기
3	Test Name	Shock Test
4	Test Goal	Follow KFIS Shock Test Reference
5	Test Equipments	 시험 단말기 10대 단말기 표시 프로그램 충격시험기
6	Test Procedure	- 시험 단말기를 충격시험기에 세팅 - 소방 충격시험 규격에 맞는 충격시험 실시 - 시험을 실시한 총 10대의 시험 단말기 내부 상태 점검 및 동작 확인 - 소방 충격시험 기준에 맞춰 전문기관에 시험 의뢰

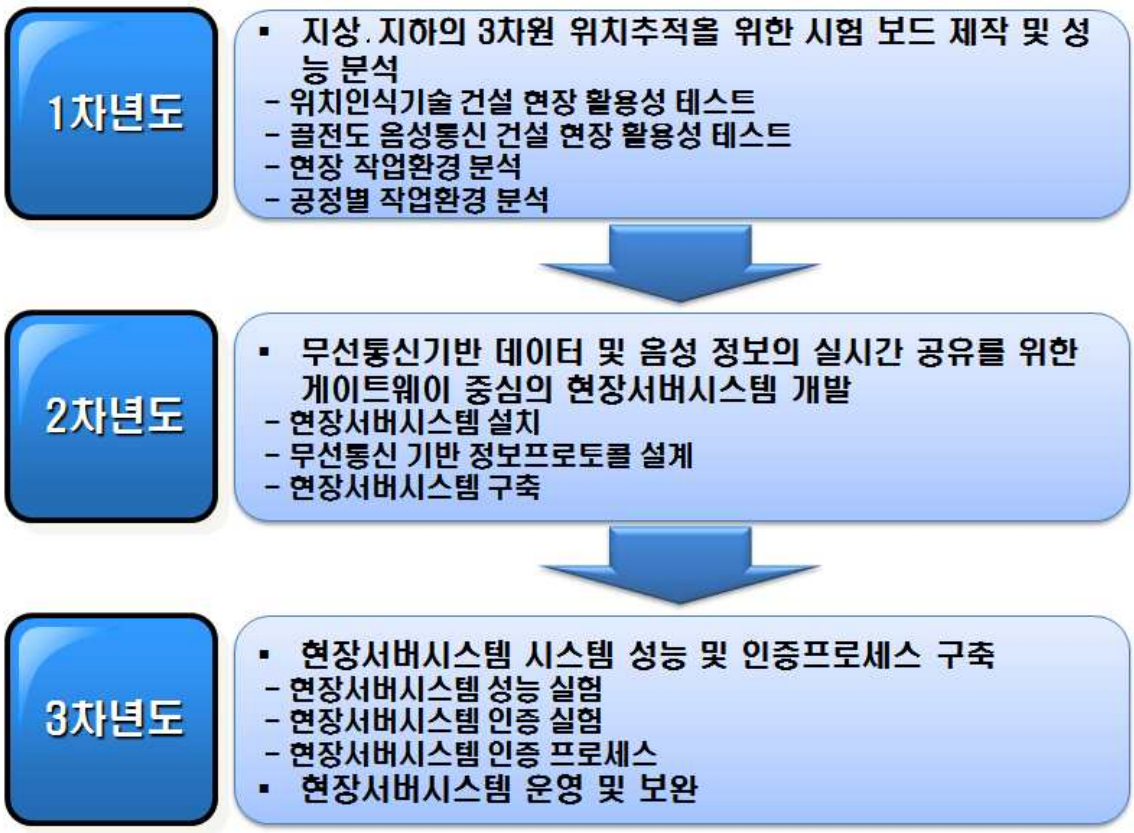
□ Tunning Factor List

No	Step	Name	Unit	Default	Test Range	Explanation
1	Initialize	Gyro Bias Mitigation	second	5	3 ~ 10	값이 클수록 초기화 시간이 오래 걸림 값이 작으면 바이어스 제거 불안정함
2	Detection	Walk DetectionRange	G	0.85	0.75 ~ 0.95	가속도데이타의 걸음 검출 레벨 값이 작으면 잦은 검출, 높으면 검출률 낮아짐
3	Heading	Gyro Trash Range	degree/s	0.05	0.01 ~ 1	자이로의 오차 누적 계수로써 값이 작으면 세밀하나 오차 누적되고 크면 회전 정밀도 떨어짐

2. 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템

지하 공간의 건설현장에서 현장 서버는 작업자 및 이동차량 단말기로부터 위치와 상태 정보를 수집하여 관제 시스템에서 전송하는 시스템으로써 기본적으로 공유된 무선프로토콜을 채용하여 단말기로부터 수집된 데이터를 검증한다. 또한 가상의 게이트웨이 개념을 도입하여 현장 입구를 통과하는 단말기별 데이터를 다시 유선망을 통해 관제서버에서 실시간으로 각 작업자 및 이동차량 단말기의 위치를 실시간으로 파악할 수 있도록 하였다.

현장서버에서의 기능 구현을 위해 가상게이트웨이 지점 측량, DB 구축, 그리고 현장서버에서 현장시스템의 일부 기능을 대체할 수 있는 현장서버용 데이터 수집 및 가공 프로그램을 LABVIEW로 제작하여 활용하였다.



가. 수행과정 및 내용

(1) 1차년도 연구수행과정 및 내용

(가) 지상·지하의 3차원 위치추적을 위한 시험 보드 제작 및 성능 분석

① 위치인식기술 건설 현장 활용성 연구

VI-GNSS 핵심요소기술인 3차원 위치인식기술인 GNSS와 MEMS기술의 국내외 특허동향을 조사 분석한 결과 GNSS의 경우 과거 정밀측지용 GPS기술의 활용에서 네비게이션, LBS 분야 등에서의 GNSS기술의 급속한 발전으로 대중 GPS기술로 변모하고 있고, 이에 대한 많은 특허들이 출원 및 등록되고 있었다. 또한, MEMS기술은 자동차분야에 국한되다 최근 들어 노약자, 사회적 약자 등의 위치안내, 항법 등을 위한 사람용 MEMS기술이 연구개발이 늘어나고 있는 추세이다.

표 2.3 위치추적 요소기술 주요 특허조사 내용

항목	주요 특허 조사자료	특허내용
GNSS	- 지엔에스에스 망 조정을 이용한 지반 및 시설물 계측 시스템 - 지엔에스에스를 이용한 시설물 시공 관리 시스템	GNSS와 관련한 주요특허는 항법시스템의 개선 및 위치 측위·추적 시스템에 개선에 관한 특

	- 실내 무선 측위용 환경 분석 시스템 및 그 방법 - 개인형 긴급 위치정보 송신 장치 및 이를 이용한 조난자의 위치 추적 시스템 등	허가 출원 및 등록됨
MEMS	- MEMS기술을 이용한 가속도센서 및 그 제조방법 - MEMS 센서 시스템 및 그 방법 - 관성센서를 이용한 사람의 이동거리 측정장치 및 방법 - 수평으로 배향된 구동 전극을 구비한 MEMS 자이로스코프로 등	MEMS와 관련한 주요특허는 주로 가속도 및 자이로스코프의 개선에 관한 내용과 MEMS 센서 활용방법에 관한 특허가 출원 및 등록 됨
결론	VI-GNSS 핵심요소기술인 3차원 위치인식기술인 GNSS와 MEMS기술의 국내외 특허동향을 조사 분석한 결과 GNSS의 경우 과거 정밀측지용 GPS기술의 활용에서 네비게이션, LBS 분야 등에서의 GNSS기술의 급속한 발전으로 대중 GPS기술로 변모하고 있고, 이에 대한 많은 특허들이 출원 및 등록되고 있었다. 또한, MEMS기술은 자동차분야에 국한되다 최근 들어 노약자, 사회적 약자 등의 위치안내, 항법 등을 위한 사람용 MEMS기술이 연구개발이 늘어나고 있는 추세였다.	

② 골전도 음성통신 건설 현장 활용성

생활무전기(FRS), 핸드폰 등 기존의 음성통신장비의 경우 지하구조물 건설현장에서의 발파, 차량소음, 건설기계 작동 소음 등의 영역에서 음성통신율이 매우 저하되어 실 활용성이 없는 실정이다. 또한, 습도, 무게 등의 이유로 휴대성이 떨어져 작업자가 활용하는데 많은 비효율성을 가지고 있다. 이와 같은 이유로 터널, 지하철 등 지하구조물 건설현장에서는 감독관이 지하구조물 현장에 직접 들어가 작업자에게 지시하는 등 시간, 인력 효율성 등에서 매우 비효율적인 현장관리가 이루어지고 있다.

골전도 음성통신장비는 초기 군사용 목적으로 제작되어 특수부대, 수색대 등의 매우 조용하고, 착용감을 향상시킨 실전용 장비로 활용되었음. 골전도 음성통신 장비의 민간분야 적용으로 인해 노트북컴퓨터(애플), 헤드폰 등의 내부 장치로 활용되고 있다. 초소형, 초경량 및 머리, 귀, 턱 등 인체 내 골전도가 가능한 모든 곳에 착용이 간편하고, 주변 소음에 매우 강한 특성을 가진 장비로 소음이 큰 지하구조물 건설현장에서의 활용성이 높다.

따라서, 본 연구에서는 골전도 음성통신 장비의 실제 지하구조물 건설현장 내 적용성을 검토하고, 개별 요소기술들과의 융·복합 가능성을 분석하여 VI-GNSS 기술기반의 지하구조물 건설현장지원시스템에 적용하고자 한다.

③ 현장 작업환경 분석 : 소음, 진동

㉮ 소음 및 진동

□ 소음 개요

소음(Noise)이라는 말은 일반적으로 원하지 않는 소리(unwanted sound), 바람직하지않은 소리(undesirable sound),불쾌한 소리(disagreeable sound) 등으로 설명될 수 있다.일반적으로 생활환경을 손상시킬 우려가 있어서 생존하는데 바람직하지 못한 음을 총칭한다고 할 수 있다.

□ 소음 측정

- 측정점

피해가 예상되는 자의 부지경계선 중 소음도가 높을 것으로 예상되는 지점의 지면 위 1.2 ~ 1.5m 높이

- 소음측정 조건

소음계의 마이크로폰은 측정위치에 받침장치를 설치하여 측정하며 손으로 소음계를 잡고 측정할 경우 소음계는 측정자의 몸에서 50㎝이상 격리시키고 소음계의 마이크로폰은 주소음원 방향으로 위치시킨다. 풍속이 2m/sec 이상일 때에는 반드시 마이크로폰에 방풍망을 부착하여 측정한다.(풍속 5m/sec 이상시 측정금지)

- 암소음 보정

측정값이 평상시 소음보다 10dB 이상 크면 보정하지 않음. 측정값이 평상시 소음과 3~9dB 차이면 아래 표의 보정치로 보정하며 측정값이 평상시 소음과 2dB 이하 차이면 재측정한다.

□ 진동 개요

진동이란 어떤 점의 위치가 시간이 경과함에 따라 임의의 기준 점을 중심으로 반복적으로 상하로 변하는 현상을 의미하며 소음. 진동 규제법에는 “기계, 기구, 시설 기타물질의 사용으로 인하여 발생하는 강한 흔들림”으로 규정되어 있다. 일반적으로 진동의 영향은 구조물의 피로 파괴 유발, 체결구의 풀림, 인접 구조물과의 간섭, 소음 발생, 불쾌감 및 불안감 조성등 바람직하지 못한 것이 대부분이다. 따라서 진동 연구의 많은 부분이 진동을 억제하는 것, 즉 방진에 초점이 맞추어져 있다. 그러나 근래에는 브레카, 햄머드릴, 진동시험기, Vibration Conveyor 등 진동을 이용한 기계의 개발과 진동 측정에 의한 기계의 고장 진단으로까지 응용영역이 확대되고 있다.

□ 진동 요소

질량과 탄성을 가진 모든 물체는 외부에서 힘이 작용할 경우 진동할 수 있다. 가장 간단한 형태의 진동 System은 그림 3-1.과 같이 Mass, Spring 그리고 Damper로 구성된 1 자유도계 진동 시스템이며 여기에 외력이 작용하면 이 System은 상하로 진동을 하게 된다. Mass, Spring 그리고 Damper는 진동의 3요소로서 질량은 관

성요소로서 진동시 운동에너지의 변화가 일어나는 요소이며 스프링은 탄성요소로서 위치에너지 변화가 일어나는 요소이며 댐퍼는 감쇠 요소로서 에너지를 흡수하는 요소이다.

□ 진동의 주파수 분석

소음과 진동의 현상 파악 및 해석에서 주파수 분석은 아주 유용한 수단이 된다. 최근에는 신호 분석 기법과 장비의 발달로 복잡한 소음 진동 현상의 비교적 정확한 해석이 가능해 졌고, 이에 따라 종래의 진동. 소음 방지와 관련된 분야를 넘어서 기계의 고장 진단과 예측을 통한 예방정비, 진동, 음향을 이용한 각종 기계의 개발 등으로 그 응용 범위가 넓어지고 있는데 이런 모든 분야에서 주파수 분석은 필수적인 도구가 된다. 시간에 따라 계속 변화하는 물리 현상의 파악을 위해서는 그 물리량의 시간별 변화 특성이 파악되어야 하고 최근 전자 기술의 발달로 그 변화 양상의 기록 및 저장이 가능해 졌다. 특히 소음, 진동 현상은 1초에 수회에서 수만회 그 크기가 반복적으로 변하는 현상이 파악되어야 한다. 일반적으로 모든 물리량은 측정은 적절한 형태의 감지기(Sensor)로 측정된다. 감지기에서 감지된 물리량을 일단 전기량으로 바꾸고 나면 저장, 기록, 가공 등의 작업이 아주 용이하므로 최근에는 거의 대부분의 Sensor가 물리량의 크기에 비례하는 전기량을 발생시키는 형태를 취하고 있다. 소음의 측정에 사용되는 마이크로폰과 진동 Pick-up도 예외가 아니다. Sensor에서 물리량의 변동이 전하 또는 전압의 변화 형태로 연속적으로 감지되어 나오는 것을 신호(Signal)라고 한다. 일반적으로 Sensor에서 직접 나오는 신호의 시간에 따른 변화 양상은 아주 불규칙하고 복잡하여 그대로는 필요한 정보를 파악하기가 아주 어렵다. 따라서 신호를 적절히 가공하여 필요한 정보를 도출하는데 이렇게 신호를 각각의 목적에 필요한 형태로 가공하는 과정을 신호 분석(Signal Analysis)이라고 한다. 소음. 진동을 포함한 대다수의 신호 분석은 주파수 분석이 대종을 이룬다. 따라서 거의 모든 소음. 진동관련 업무를 수행하기 위해서는 주파수 분석에 관한 이해가 필수적이다.

④ 공정별 작업환경 분석

㉮ 토목 현장

□ 측정개요

측정현장은 고속철도공사를 위한 터널 굴착공사가 진행되고 있는 현장으로, NATM굴착공법이 적용되고 있다. NATM이라는 단어는 New Austrian Tunneling Method의 약자로서 오스트리아의 Rabcewicz가 처음으로 실행한 암반 터널 시공법이다. NATM의 기본원리는 터널 굴착에 따른 주변지반에 집중되는 최대응력이 지반강도의 허용치 이내에 들 수 있고, 또한 경제적인 단면형태를 통하여 지반 본래의 강도를 최대로 유지할 수 있도록 Shotcrete와 Rock Bolt등 지반과의 부착성이 좋은 적절한 지보공을 적기에 설치하여 주변지반을 안정시키고, 계측을 통하여 시

공 중 그 안전성을 확인하는 것이라고 말할 수 있다. 즉, 지반자체가 터널을 형성하는 주된 지보역할을 수행하도록 적절한 지보부재를 적정한 시기에 설치하도록 하는 노력을 필요로 하는 공법이다.

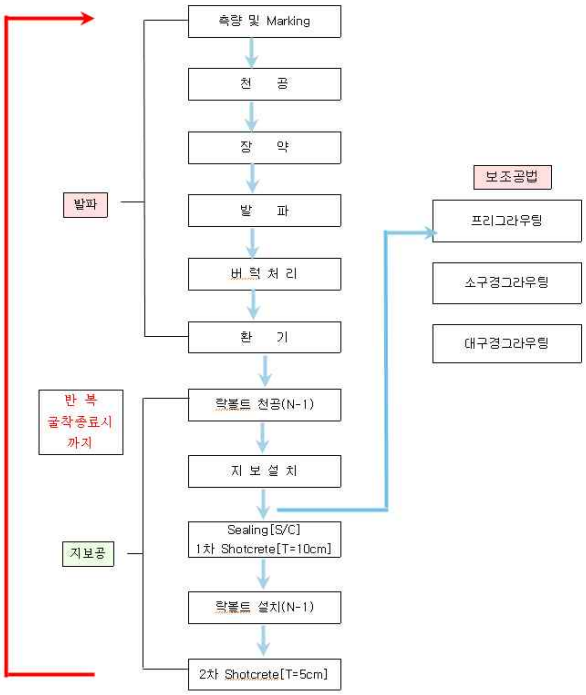


그림 2.37 NATM 굴착공법 프로세스

그림과 같이 지반의 변위가 어느 정도 발생한 후라면 변형을 제어하기 위한 압력은 굴착 직후보다 줄어들므로, 지보재가 타설되어 지보해야 하는 압력도 굴착 직하보다 줄어드는 개념이다. 국내에는 1980년대 서울 지하철 건설에서 외국기술진의 자문으로 처음 도입되어 국내 터널 굴착 시 가장 많이 활용되는 공법으로 발전되었다.

시공 순서는 그림 2-21과 같이 막장관찰 및 지반분석, 천공 및 장약, 발파, 환기 및 버럭 처리, 1차 숏크리트 + 록볼트 설치, 2차 숏크리트 타설의 순서로 진행된다.

Shotcrete 는 터널 굴착 즉시 터널 천정의 굴착 표면을 안정 시킬 목적으로 사용되며 습식과 건식의 방법이 있는데 습식이 건식에 비해 작업이 편리하고 분진이 적으며 경제성이 높아 습식이 주로 사용된다. Rock Bolt 는 굴착한 원 지반과 주변 지반을 Rock Bolt로 연결하여 조여줌으로써 지반을 안정시키는 역할을 하며, 종류는 정착 방법에 따라 선단정착형과 전면 접착형으로 나누어지며 일반적으로 전면접착형을 쓰고 있다. 시공방법은 주로 Resin형으로 이 방법은 암반에 뚫은 구멍에 Resin을 주입하고 Rock Bolt를 삽입한다. 삽입과정에서 Resin 이 화학 반응을 일으켜 경화된다. 터널시공에서는 지보재 설치전까지 막장이 자립하는 것은 안전시공의 전제가 된다.

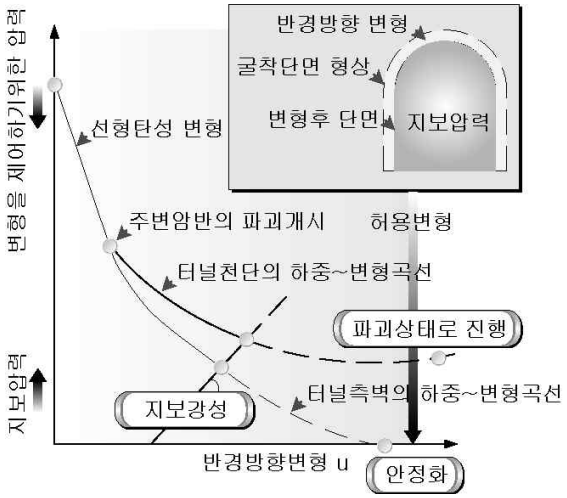


그림 2.38 NATM굴착의 정의 및 기본개념

지반조건이 불량하여 굴착방법개선, 지보재만으로는 터널막장의 안정을 기할수 없거나 용수가 많아 Shotcrete 등의 지보재시공이 곤란한 경우에는 막장자립성 확보를 위해 현장여건에 필요한 강관다단 그라우팅, 포오폴링, FRP 보강 등의 보조공법을 병행해야 한다.

당 현장에 투입된 건설장비는 점보드릴, 숏크리트머신, 페이로더, 집진기, 굴삭기 등이 있다. 현장 측정시에는 상기 장비 중 점보드릴을 이용한 굴착작업과 굴삭기를 이용한 버럭처리작업이 진행되고 있었다.

□ 현장측정

- 측정기간 : 2012년 9월 25일~9월 26일
- 측정위치 : 철도 현장 터널 내부

터널은 2개의 부분으로 나누어 굴착이 진행되어 있었고 중간부분의 출입구 전경과 터널 내 작업현황은 아래 그림와 같다.

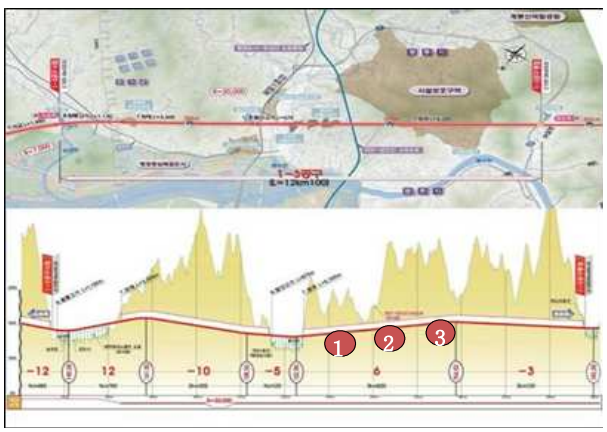


그림 2.39 측정위치

상기 그림에서 보면 ①지점이 막장으로 점보드릴을 이용한 굴착작업이 진행되었고, ②지점은 막장에서 1,600m 떨어져 라이닝작업이 진행되었고 발파소음의 측정점이다. ③지점은 터널 입구로 막장에서 2,490m 떨어진 지점이다.
그림 2-26과 같이 터널 내부에서 작업중인 소음원을 대상으로 공정별로 각각 발파, 천공작업, 버럭처리 작업, 라이닝 작업에 대한 작업소음 환경 측정을 수행하였다.

(1) 2차년도 연구수행과정 및 내용

(가) 무선통신기반 데이터 및 음성 정보의 실시간 공유를 위한 게이트웨이 중심의 현장서버시스템 개발

게이트웨이 중심의 현장서버시스템은 크게 3개의 파트로 구분이 된다. 첫째는 센서정보를 수집하여 적재하는 폴더이고, 둘째는 센서정보 전송 모듈을 운영하고 센서정보 파일을 감지하는 위한 서비스이며, 셋째는 센서정보 전송모듈 이다. Alarm Notifier의 지정된 폴더로 센서정보가 생성되어 이관이 되면, 센서정보는 순차적으로 적재가 되고 파일당 1개의 센서정보가 기록되어 있다. 이때 AlarmNotifier 서비스는 폴더를 지속적으로 감시하여 폴더로 이관된 파일의 센서정보를 0.1초의 인터벌로 관제시스템으로 센서정보를 전송한다. 또한 파일당 1개의 센서정보를 순차적으로 읽어들여 분석을 하고 이를 파싱하여 일련의 정의되어 있는 정보를 인터페이스 프로토콜의 정의에 따라 데이터를 전송한다. 3가지 파트에 의해 센서정보 전송모듈은 정상적인 구동을 하게 된다.

① 센서정보 수집 폴더

- 폴더경로: C://AlarmNotifier/

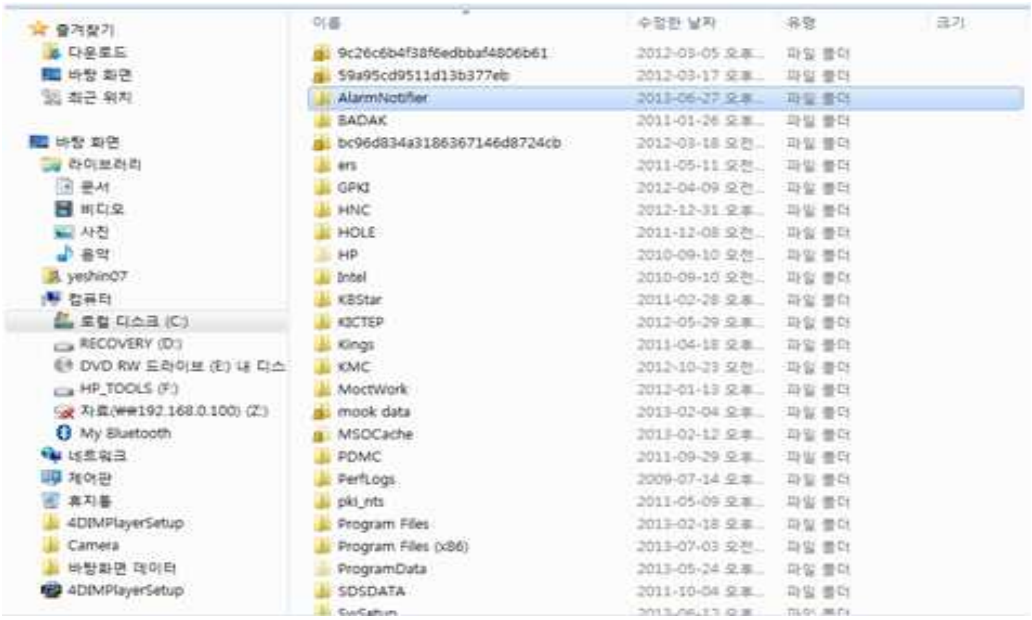


그림 2.40 센서정보 수집 폴더

② 모듈 구동 서비스

- Alarm Notifier 서비스

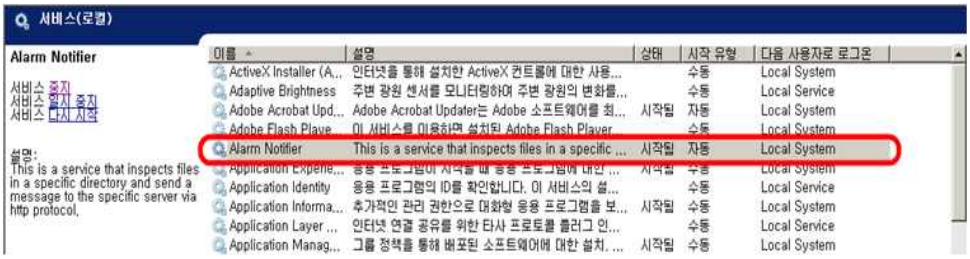


그림 2.41 모듈 구동 서비스

③ 센서정보 전송 모듈 및 모니터링

- 센서정보 전송 모듈 프로그램 및 모니터링

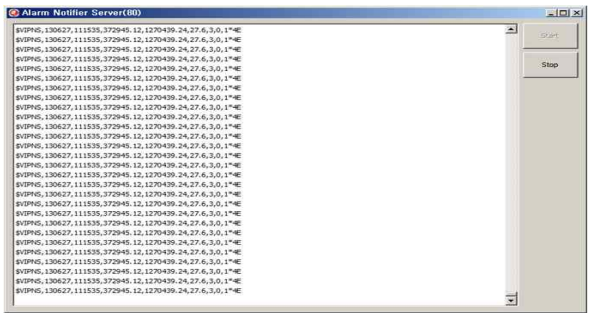


그림 2.42 센서정보 전송 모니터링 프로그램

(다) 3차년도 연구수행과정 및 내용

(가) 현장서버시스템 시스템 성능 및 인증프로세스 구축

현장서버시스템의 성능 및 인증 테스트를 통하여 시스템의 완성도를 파악할 수 있으며, 테스트의 신뢰도를 향상시키기 위하여 성능 및 인증 프로세스를 도입하여 계획된 절차와 항목에 맞추어 테스트를 수행하였다.

① 현장서버시스템 성능 목표

- 동시 접속 단말기와 무선 통신 중계기 역할 : 8개 채널 이상
- 지하구조물 내에서 adhoc 방식을 이용한 통신 성공률 : 99.9%
- 지하구조물에서의 작업자 위치추적 성공률 : 99.9% 이상
- CCTV 영상 획득을 통한 전송률 : 95% 이상
- WiFi가 불가한 공사현장에서 관제시스템간의 원활한 통신: 3Km

② 현장서버시스템 성능 및 인증 실험 절차

현장서버시스템 성능 및 인증 실험의 경우 관제시스템 실험이 동시에 수행되어 현장서버에서 센서정보 데이터를 수신하여 관제시스템에 전송하는 일련의 과정에 따라 실험을 수행하였다.

① 실험 사전준비

- 현장서버시스템 및 관제시스템 현장실험을 위하여 DB내의 기존 Table의 일부 내용을 삭제하여 원활한 실험이 가능하도록 설정

② 현장서버시스템 설정

- (주)텔릿와이어리스솔루션즈에서 제공하는 수신기를 현장서버에 설치하고, 정상적으로 작동하는지 확인

③ 센서정보 수신 및 DB 저장 테스트

- 수신된 센서정보가 gns파일로 저장되어 데이터의 무결성 여부에 따라 suss폴더와 fail폴더에 각각 나누어 저장되는지 확인

③ 현장서버시스템 성능 및 인증 실험 일시 및 내용

① 성능 실험

㉮ 실험 일시

- 2014년 5월 29일, 7월 02일, 7월 28일, 9월 1일, 10월14일 (5회)

㉯ 실험 내용

- 센서 정상 데이터 필터링율 측정 (95% 이상)
- 센서 데이터 전송율(현장->관제시스템) 측정 (95% 이상)
- 센서 데이터 생성 누락율 측정 (5% 이내)
- 센서 데이터 전송서비스율 측정 (98% 이상)

② 인증 실험

㉮ 실험 일시

- 2014년 10월 14일, 12월 22일 (2회)

㉯ 실험 내용

- 시스템 구동 시 CPU 부하량
- 시스템 구동 시 Memory 부하량
- 시스템 구동 시 디스크 부하량
- 시스템 구동 시 네트워크 부하량

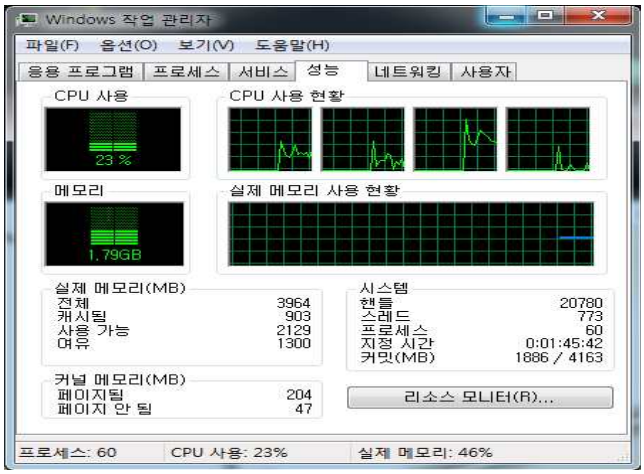


그림 2.43 시스템 구동 시 시스템 부하량 확인

(나) 시스템 운영 및 보완

관제시스템은 테스트베드에 상시 설치하여 운영하였으며 현장실험 시 시스템 점검을 수행하였다. 관제시스템 달리 현장실험을 실시하지 않을 시에는 시스템 문제점을 파악할 수 없어 현장실험 시 집중적으로 시스템 점검을 수행하였다.

3. GIS기반 관제시스템

실시간으로 언제 어디서나 작업자 및 차량의 관제가 가능한 Ubi-GIS 관제시스템을 구축하기 위한 가장 적합한 기술인 상황인지 및 대응기술 연구를 수행하여 OWL-DL 모델링 프로토타입을 기반으로 하는 작업자 및 차량의 이동 패턴을 고려한 지능형 프로비저닝 서비스 시스템을 구성하기로 하였다. 이후 정해진 절차에 따라 상황인지 개발 모델 및 실시간 현장정보기반의 대응모듈을 설계 하여 모듈간의 시스템 안정성 및 호환에 관한 테스트 수행 후 이를 관제시스템에 탑재하여 관제시스템을 구축하였다. 시스템 구축이 완료된 이후에는 테스트베드인 울산-포항고속국도 7공구 양남터널에서 성능 테스트 및 인증 테스트를 실시하여 시스템에 대한 개선사항이 발생하였을 시에 즉각적으로 수정하여 적용하였다.

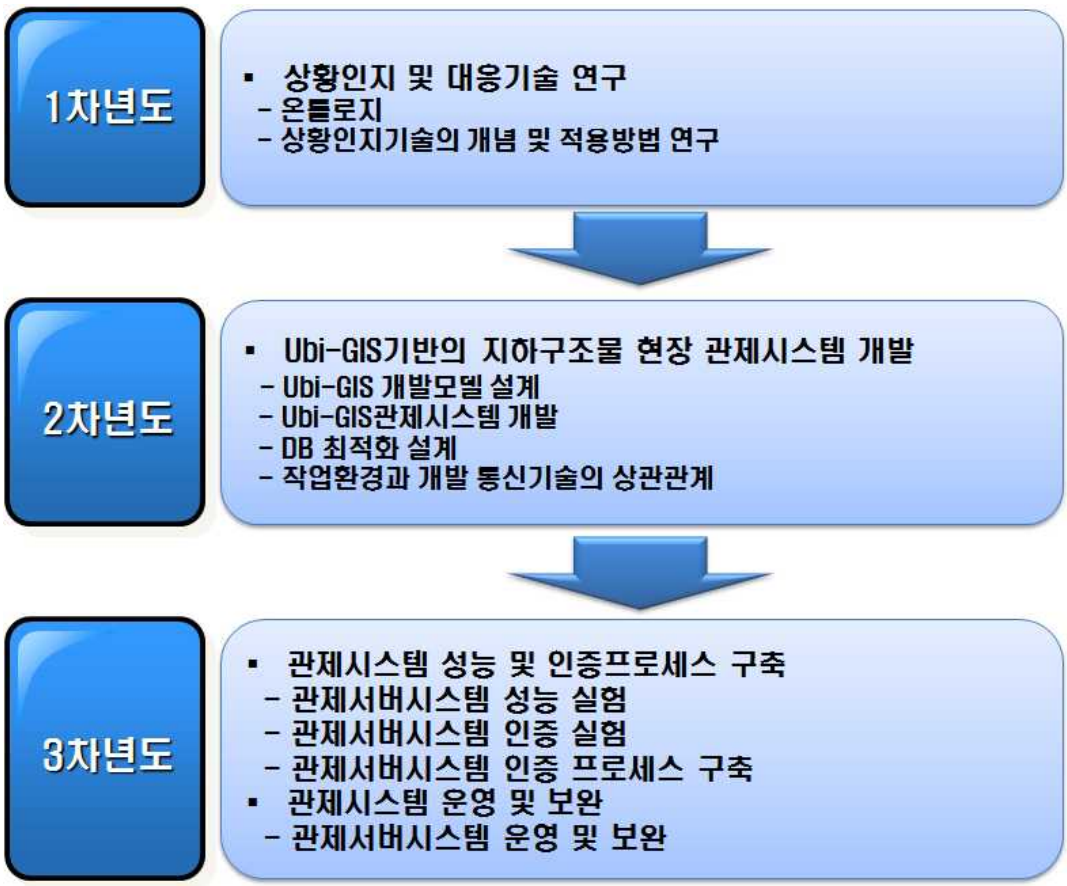


그림 2.44 GIS기반 관제시스템 연차별 연구 과정 및 내용

가. 수행과정 및 내용

(1) 1차년도 연구수행과정 및 내용

(가) 상황인지 및 대응기술 연구

1차년도에는 상황인지 및 대응기술을 연구하고 최종적으로 OWL-DL 모델링 프로토타입을 참고하여 작업자 및 차량의 이동 패턴을 고려한 지능형 프로비저닝 서비스 시스템을 구성하고 단말기를 통해 수집된 상황정보를 이용한 모델링을 설계하였다.

① 온톨로지 이론적 연구

컴퓨터를 통해 인간의 사고와 인지체계, 지식을 표현, 공유, 활용하고 기존의 방대한 데이터에서 새로운 데이터를 추론하기 위해서는 기계가 읽고 처리할 수 있는 명시적(explicit) 지식 표현 체계가 필요하다. 모든 지식 표현 기법들은 각각의 특징과 상이한 표현력(expressivity)수준을 갖고 있다. 보다 복잡한 지식 표현과 강력한 추론을 위해서는 이를 수용할 수 있는 표현 방법이 제공되어야 한다. 온톨로지는 논리적 지식 표현 체계로서 논리, 규칙, 프레임, 그리고 네트워크 등의 개념을 모두 통합했다고 볼 수 있다. 다음은 온톨로지의 특징을 열거한 것이다.

- 지식의 공유를 말할 수 있다. 온톨로지의 사용은 유비쿼터스 환경에서 이질적인 에이전트와 서비스가 상호작용하는 동안, 도메인에 대한 일반적인 개념의 집합을 쉽게 가지도록 한다.
- 논리적 추론이 가능하다. 온톨로지는 사람이 가지고 있는 지식을 서술논리(description logic)에 기반하여 표현했기 때문에 이를 이용한 다양한 논리적 추론 메커니즘을 만들 수 있다.
- 지식 및 정보의 재사용이 용이하다. 이는 온톨로지의 구성을 더욱 쉽게 만든다.

온톨로지 표현 언어는 매우 다양하다.

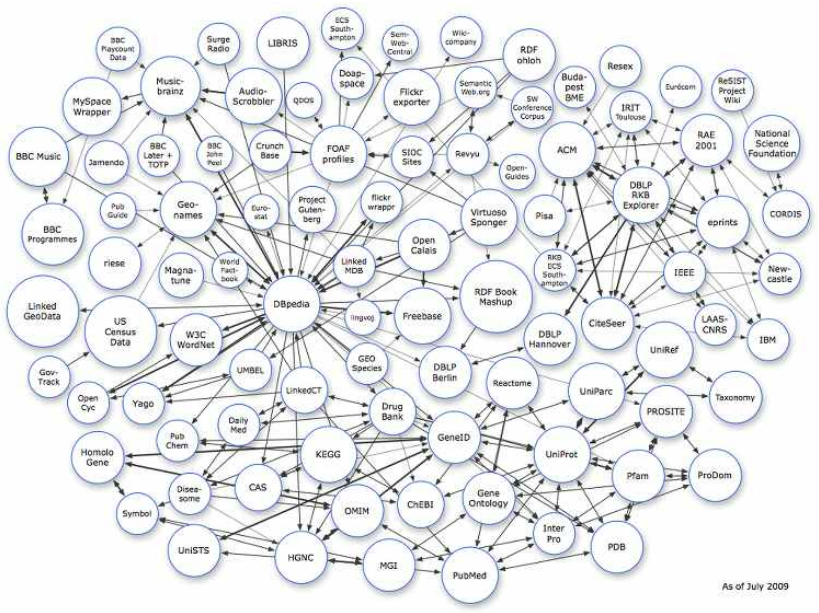


그림 2.45 온톨로지 맵 (Picture from linkeddata.org)

KIF(Knowledge Interchange Format), OWL을 포함해 대부분 1차 논리에 기반하고 있으며, 추론시 결정 가능성을 보장하는 서술 논리 기반의 언어들이 대세를 이루고 있다. OWL는 W3C에 의해 가장 최근에 제안된 언어로써 가장 많이 활용되고 있다.

② 상황인지기술 연구

상황이란 '어떠한 일이 존재하고나 발생하는 상황관계 조건'으로 정의 되며, 흔히 기술적 관점에서는 어떤 객체 상태의 특성을 나타내는 필요한 정보로 기술한다. 객체 상태를 특징화하여 정의한 것이 상황인 것이며 이것은 인간, 장소 또는 사람과 서비스간의 상호작용을 의미한다는 것으로 확장된 의미의 해석이 가능하다. 즉 상황인지 서비스는 언제 어디서나 사람이나 사람의 위치를 파악하여 부가적인 서비스를 제공하는 것이다. 조금 더 구체적인 상황인지기술의 정의는 사용자, 디바이스 및 환경으로 이루어진 현실공간에서 일어나는 동적, 내적, 정적 상황을 포함하는 각종 상황정보들을 추상화하여 가상공간 안으로 주입시킨 후 이 정보들을 활용하여 사용자의 상황에 맞는 맞춤형 정보나 지능화된 서비스를 제공하는 것으로 볼 수 있다.

(2) 2차년도 연구수행과정 및 내용

2차년도에는 유비쿼터스 GIS 기반의 지하구조물 관제시스템 설계 및 개발을 수행하였다. 온톨로지 기반 상황인지 기술을 연구하여 지하구조물에 최적화된 상황인지모듈 및 대응모듈을 우선적으로 개발한 후 시스템 설계 및 개발 시 탑재하여 시스템의 안정성 및 확장성을 향상시키고 모듈간 충돌을 방지하기 위한 안정화를 실시하였다.

(가) Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 개발

Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템은 현장서버시스템으로부터 수집된 정보를 데이터베이스화하여 건설작업 현장상황을 인지하고 즉각적인 대응을 가능하게 하는 시스템이다. 이 시스템을 개발하기 위해서 온톨로지에 기인한 상황인지 관련 대응기술을 연구한 후, 상황인지 모듈을 개발하였다. 개발된 상황인지 모듈을 활용하여 최종적으로 Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장관제시스템을 구축하였다.



그림 2.46 Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템



그림 2.47 관제시스템 구성도

① Ubi-GIS 개발모델 설계

㉮ 상황인지 모듈 설계

건설작업현장에서 터널붕괴 및 지반침하 등 급작스러운 위험발생시 신속한 대응 및 인명구조를 위해 건설현장 관제시스템에서는 작업자 및 차량에 대한 상태정보 등을 수집하고 현장서버시스템을 통해 데이터를 전송하여 관제시스템에서 관리자가 인지할 수 있는 상황인지 기술을 구현할 수 있도록 상황인지 모듈을 설계하였다.

㉯ 실시간 현장정보 기반의 대응모듈 설계

대응모듈은 건설작업현장에서 터널붕괴 및 지반침하 등 급작스러운 위험발생시 신속한 상황인지를 시스템이 분석하고 이에 신속하고 정확하게 대응할 수 있어야 한다. 대응모듈은 상황인지 모듈에서 센서정보를 분석하고 이를 건설현장 관제시스템에 표출을 한다. 대응모듈을 통하여 작업자의 모션이 정상, 주의, 위험에 따라 관제시스템에서 세 가지 색으로 표출을 하고 GIS상의 해당 아이콘이 변경되며 부저를 울려 신속 하게 관리자에게 상황을 알린다. 또한 SMS문자를 통하여 위급상황을 알아야 하는 관리자에게 알림 메시지를 신속하게 전송할 수 있도록 한다. 대응모듈에 대한 설계는 다음과 같다. 그리고 메모기능을 이용하여 현장에 있는 현장서버시스템간의 원활한 의사소통 기능을 지원한다.

② Ubi-GIS 관제시스템 개발

㉮ 개발목적 및 필요성

지하구조물인 장대터널 공사현장에 있어 작업자 및 차량에 대한 센서기반의 위치인식 및 상태정보를 중앙관제센터에서 통합관제가 가능한 건설현장 관제시스템을 구축하는 것이 목적이다. 이를 통해 위험사고 발생시 작업자 및 차량에 대한 위치

와 상태를 신속히 파악하고 대응이 가능하며, 건설현장의 관리 포인트와 관리비용을 절감할 수 있다.

㉯ 개발목표 및 내용
- 지하구조물내에서 현장작업자에 대한 위치센서 기반의 위치추적
- 지하구조물내에서 작업차량에 대한 위치센서 기반의 위치추적
- 현장서버시스템과 관제시스템간의 데이터 전송 모듈 개발
- 센서 기반 정보의 관제시스템 표출 서비스
- 현장 작업자 및 차량 위치추적을 위한 지도기반 위치추적 서비스 개발
- 인치인식 기반의 작업자 상태정보 알람 모듈 개발
- CCTV 모니터링 서비스 개발
- 협력업체 전용 SUB-관제시스템 개발
- 관리시스템 개발

(3) 3차년도 연구수행과정 및 내용

(가) 관제시스템 성능 및 인증 프로세스 구축

관제시스템의 성능 및 인증 테스트를 통하여 시스템의 완성도를 파악할 수 있으며, 테스트의 신뢰도를 향상시키기 위하여 성능 및 인증 프로세스를 도입하여 계획된 절차와 항목에 맞추어 테스트를 수행하였다.

① 관제시스템 성능 목표
▪ 지하구조물 내부에서 원활한 작업자 위치추적 파악 및 데이터통신 가능
▪ 지하구조물에서 작업자의 안전사고 및 위기상황에서 신속한 대응을 위한 상황인지 정보제공
▪ 지하구조물 출입차량에 대한 정보제공
▪ 지하구조물 상황에 따른 알람기능 제공
▪ CCTV 차량 출입에 대한 영상 모니터링 정보 제공

② 관제시스템 성능 및 인증 실험 절차

관제시스템 성능 및 인증 실험의 경우 현장서버시스템 실험이 선행적으로 수행되어 현장서버에서 센서정보 데이터를 수신하여 관제시스템에 전송하는 일련의 과정이 1차적으로 수행된 후에 관제시스템 성능실험을 실시하였다.

㉮ 실험 사전준비
- 현장서버시스템 및 관제시스템 현장실험을 위하여 DB내의 기존 Table의 일부 내용을 삭제하여 원활한 실험이 가능하도록 설정

㉯ 현장서버시스템 설정

- (주)텔릿와이어리스솔루션즈에서 개발한 정보 수신기를 현장서버에 설치하고, 정상적으로 작동하는지 확인

㉰ 센서정보 수신 및 DB 저장 테스트

- 수신된 센서정보가 gns파일로 저장되어 데이터의 무결성 여부에 따라 suss폴더와 fail폴더에 각각 나누어 저장되는지 확인

㉱ 작업자 및 차량 위치 표출 확인

- 실제 차량과 실험자가 단말기를 사용하여 작업자 및 차량위치가 표출될수 있도록 사전준비 실시
- 작업자 및 차량 위치가 센서정보와 일치하게 표출되는지 확인
- 작업자 및 차량 상태의 변화에 따라 실시간으로 상태를 표시하는지, 이상 감지시 알람이 울려 상황전파가 가능한지 테스트 실시
- 작업자 및 차량 아이콘 클릭 시 위치에 맞는 TM좌표가 표출되는지 확인

㉲ 관제시스템 성능 및 인증 테스트

- 현장서버시스템에서 관제시스템으로 메시지가 전송되는지 테스트 실시
- 관제시스템에서 작업자 및 차량의 위치가 정확히 표출되는지 확인
- 관제 Sub 시스템 중 단면도에서 작업자 및 차량의 위치가 정확히 표출되는지 확인
- 관제시스템 성능 프로세스에 준하여 테스트 실시

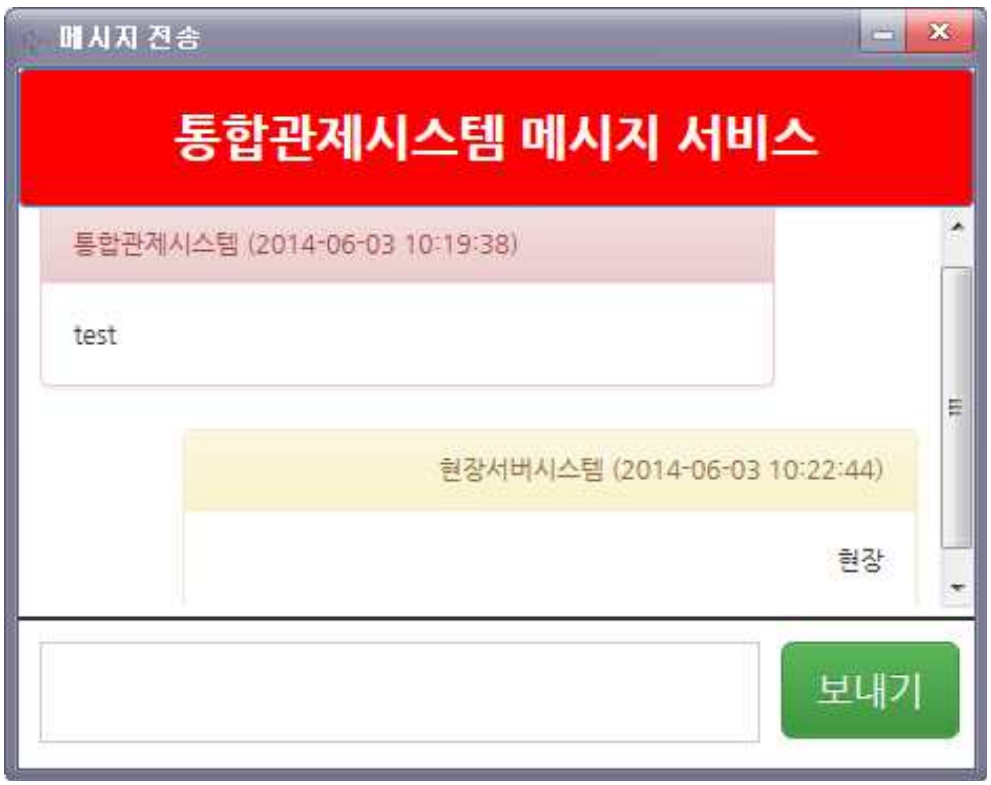


그림 2.48 메시지 전송 테스트

③ 관제시스템 성능 및 인증 실험 일시 및 내용

㉮ 성능 실험

□ 실험 일시

- 2014년 5월 29일, 7월 02일, 7월 28일, 9월 1일, 10월14일 (5회)

□ 실험 내용

- 센서데이터 좌표기반 GIS상 작업자(PNS)/차량(CNS) 위치 정확도 테스트 수행
- 센서데이터 좌표기반 CAD상 작업자(PNS)/차량(CNS) 위치 정확도 테스트 수행
- CCTV 영상 전송 테스트 수행
- GIS상 상황인지 및 상황전파 기능 테스트 수행
- 센서 데이터 저장 확인 및 센서 데이터 DB저장 정확도 테스트 수행
- 관제-현장서버간 문자 전송 테스트 수행
- 로그 저장 정확도 파악
- 사용자 로그인 권한의 보안성 확인 테스트 수행
- TM좌표변환 정확도 테스트 수행

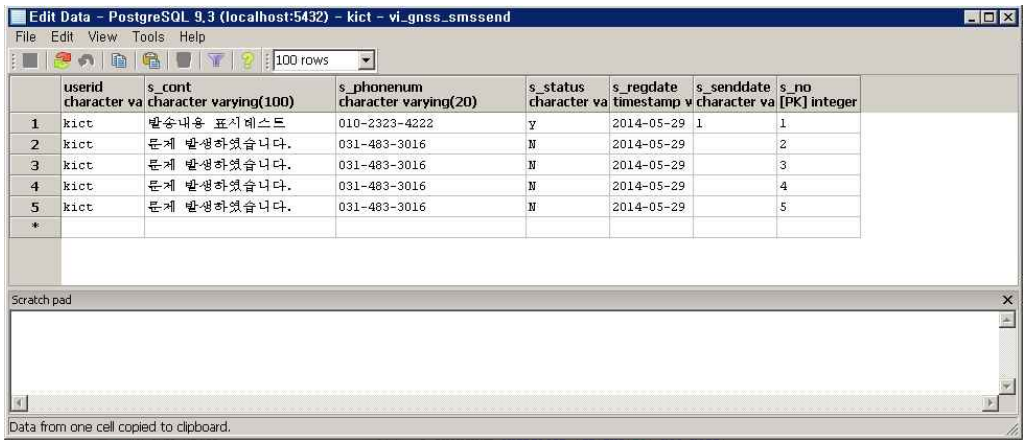


그림 2.49 긴급 메시지 발송 DB 저장내역

㉯ 인증 실험

□ 실험 일시

- 2014년 10월 14일, 12월 22일 (2회)

□ 실험 내용

- 시스템 구동 시 CPU 부하량
- 시스템 구동 시 Memory 부하량
- 시스템 구동 시 디스크 부하량
- 시스템 구동 시 네트워크 부하량
- 웹호환성 준수 확인
- 웹표준 준수 확인



그림 2.50 시스템 구동 시 CPU 부하량 확인

(나) 시스템 운영 및 보완

관제시스템은 울산-포항고속국도 7공구 두산건설(주) 현장사무실에 상시 설치하여 운영하였으며 현장실험 시 시스템 점검을 수행하였다. 현장실험을 실시하지 않을 시에는 비정기적으로 시스템에 접속하여 문제점이 발생하고 있는지 파악하였다. 현장실험 이후에는 시스템의 개선점을 파악하여 이후 실시되는 현장실험 이전까지 수정하는 것을 원칙으로 하여 시스템을 운영 및 보완하였다.

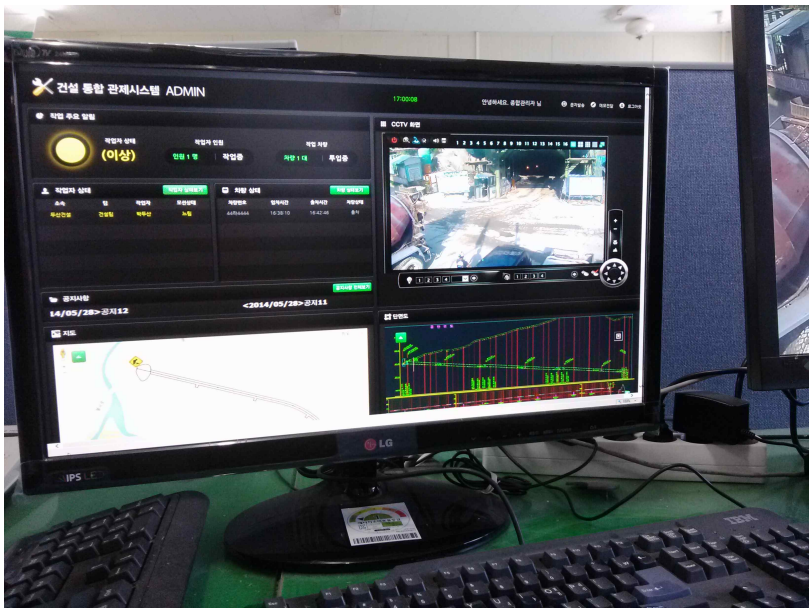


그림 2.51 상시 운영되고 있는 관제시스템

4. 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장지원시스템

3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장지원시스템은 앞서 제시된 3가지의 핵심연구성과가 집약된 통합시스템으로 작업자 및 이동차량 단말기 및 CCTV로부터 생성되는 정보가 현장서버시스템을 거쳐 관제시스템에 표출되기까지 전체 과정을 포함하는 시스템이다. 개별 시스템이 개발된 2차년도부터 통합시스템을 시범 운영하였으며 통합테스트에서 획득된 결과정보를 기반으로 시스템 개선을 수행하였다. 또한 지하구조물 현장지원시스템의 실제 활용성을 검증하기 위한 경제성 분석을 수행하였다. 3차년도에서는 2차년도에 구축된 시스템의 성능 및 인증테스트와 인증 프로세스를 구축하였으며, 시스템의 최적화 작업을 수행하였다. 또한 개발된 시스템의 상용화를 위하여 한국산업기술진흥협회에 신기술 지정을 위한 신청을 진행하였다.

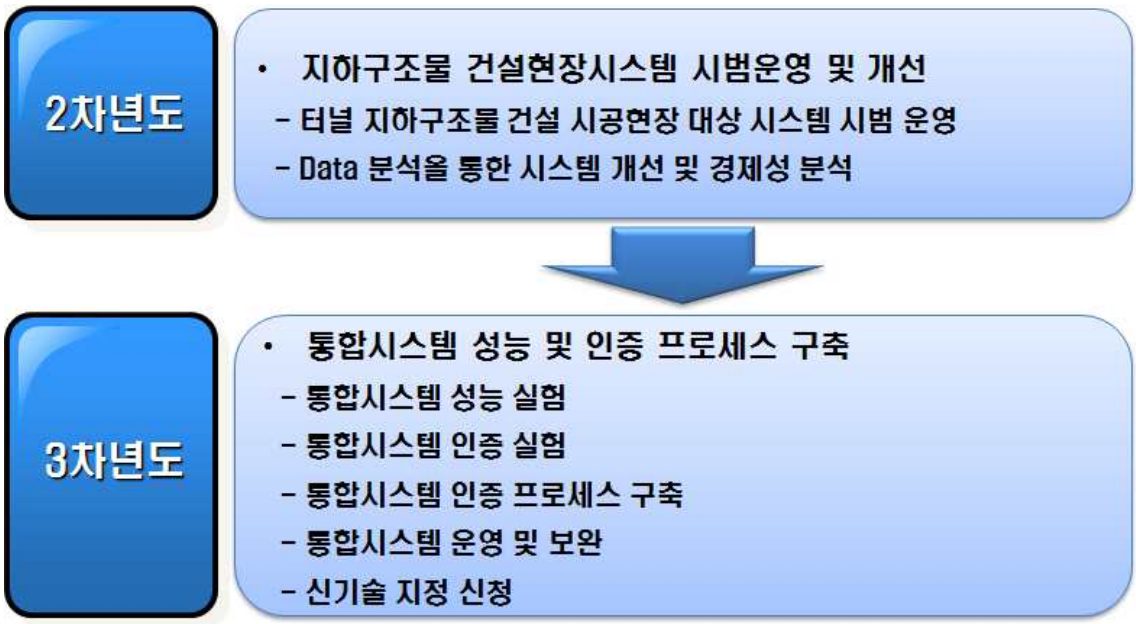


그림 2.52 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장지원시스템 연차별 연구 과정 및 내용

가. 수행과정 및 내용

(1) 2차년도 연구수행과정 및 내용

(가) 터널 지하구조물 건설 시공현장 대상 시스템 시범 운영

2차년도에 개발된 작업자 및 이동차량 단말기, 현장서버시스템 및 관제시스템에 대한 시범 운영을 통하여 개별 시스템이 집약된 통합시스템의 적용성을 검토하였고, 개별 시스템의 테스트에서 발생하지 않았던 문제점들을 통합테스트 결과 Data를 검토 및 분석하여 시스템을 보완하였다.

① 통합시스템 시범 운영 수행

○ 시험일시 : 2013년 11월 28일 / 12월 19일

○ 시험장소 : 울산~포항 고속국도 7공구 양남터널 현장

○ 시험 인원 : 총 12명

○ 시험내용 : 작업자 및 이동차량 단말기, 데이터 전송용 Wireless Pole, 현장서버시스템 및 관제시스템으로 구성되는 지하구조물 건설현장지원시스템의 정보 전송 및 표출 상태 점검

○ 시험 목적

- 작업자 및 이동차량 단말기-현장서버시스템 연동 테스트
- 현장서버시스템-관제시스템 연동 테스트
- 관제시스템 모니터링 테스트



그림 2.53 통합테스트 전체 구성도

○ 작업자 및 이동차량 단말기 테스트

- 통신모듈이 추가된 작업자 단말기 2대
- 477MHz MESH Network 장비
- 렌트한 시험 차량, 데이터 로거용 노트북

○ 현장서버시스템 및 관제시스템 테스트

- 데이터 전송용 Pole
- 테스트용 노트북 2대(현장서버시스템, 관제시스템)
- CCTV 영상 모듈 프로그램
- 관제시스템 Main, SUB 시스템 및 관리자 시스템
- CCTV영상정보 저장 서버(NVR)

○ 통신모듈과 결합된 작업자 및 차량용 단말기




그림 2.54 통신모듈과 결합된 작업자 및 차량용 단말기

○ 시험 절차
- 현장사무소에서 현장 서버와 단말기의 무선통신 프로토콜, 파일 생성 확인
- 메쉬네트워크가 적용된 무선단말기를 터널 현장에 적용하여 통달 거리 측정
- 현장서버와 연동하여, 데이터 입출력 여부 확인
- 현장서버시스템에서 센서 데이터 전송 테스트 실시
- 관제시스템에서 센서 데이터 DB 저장 확인
- 관제 서버 위치 및 작업자 상태표시 확인
- CCTV 영상 테스트

○ 시험결과 분석 및 보완
- 작업자 및 이동차량 단말기 - 현장서버시스템 간의 데이터 전송 테스트 결과 분석 및 보완
- 현장서버시스템 - 관제시스템 간의 데이터 전송 테스트 결과 분석 및 보완

② 경제성 분석

최근 지하공간건설에 대한 관심이 집중되고 있고 고속철도 및 도로선형 특성상 터널 건설의 장대화가 급증하면서, 시공단계에서 기존 통신시스템의 사용성에 대한 문제점이 대두되고 있으며, 이를 해결하기 위한 새로운 통신 시스템이 필요하다. 건설공사에 있어서 안전관리는 매우 중요하며, 건설재해 발생 시 신속한 현장복구 및 구조작업을 위해 현장 내부 작업자 위치 모니터링 및 음성통신 시스템 구축이 필요하다. 따라서, 새로운 시스템의 도입 여부를 결정하기 위하여 기존 현장관리 시스템과 비교하여, 본 시스템의 경제적 효율성을 분석하여 투자의 타당성을 검토하였다. 본 연구에서 개발하는 지하구조물 현장시스템을 통하여 획득할 수 있는 비용편익을 분석하였으며, 편익분석은 시스템 구축 비용대비 발생할 수 있는 사고 감소 편익, 현장관리 통신장비 절감 편익, 현장관리 이동 편익, 노무비 절감 생산성 향상 편익 등 기반으로 한 본 시스템의 종합 경제성 분석을 수행하였다. 연구에서 제시하는

경제성 분석의 흐름도는 아래 그림과 같다.

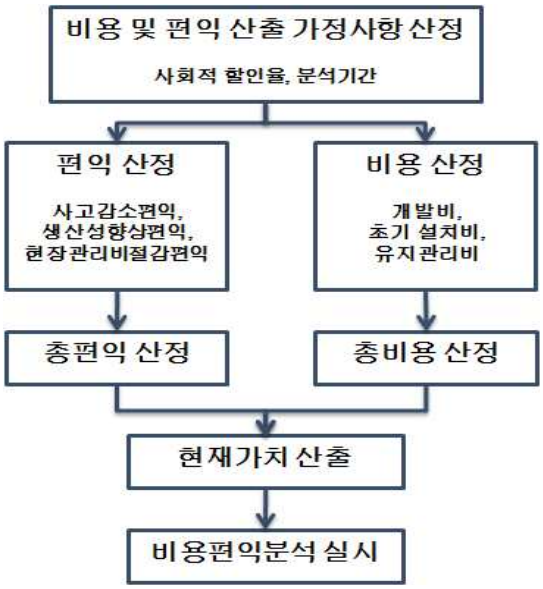


그림 2.55 경제성 분석 흐름

(1) 3차년도 연구수행과정 및 내용

(가) 통합시스템 성능 및 인증 프로세스 구축

3차년도에는 2차년도에 개발 완료되어 시범 운영한 지하구조물 현장지원시스템의 최적화 및 안정성 검토를 통하여 상용화를 위한 연구과정들이 수행되었다. 통합시스템의 안정성 확보를 위하여 성능 및 인증 실험을 수행하였으며, 성능 및 인증 실험을 통하여 도출된 일부 문제점들을 검토하여 시스템을 보완하였다. 또한 실제 시스템의 상용화 및 산업화를 위하여 한국산업기술진흥협회에 신기술 신청을 진행하였다.

① 통합테스트 성능 실험

○ 시험일시 : 2014년 5월 29일, 7월 2일, 7월 28일, 9월 1일, 10월14일 (5회)

○ 시험장소 : 울산~포항 고속국도 7공구 양남터널 현장

○ 시험 인원 : 총 12명

○ 시험내용 : 작업자 및 이동차량 단말기 생성 위치정보 패킷데이터 정보의 관제시스템 전송율 점검, 작업자 및 이동차량 위치정보 위치정보 표출 정확도 점검, CCTV 영상 전송율, 작업자 상태정보 이상 시 관제시스템 표출 정확도 점검 등

○ 실험 목적

- 작업자 및 이동차량 단말기에서 생성된 데이터가 무선통신 환경에서의 전송 성능 확인
- 작업자 및 이동차량 단말기에서 생성된 위치정보의 표출 성능 확인

- 위치정보를 기반으로 한 작업자 상태정보 표출 성능 확인

표 2.4 지하구조물 현장지원시스템 성능테스트 항목

순번	구분	성능테스트 항목	성능목표
1	데이터 전송율	위치정보 패킷데이터 전송율 (작업자및이동차량단말기-현장서버시스템)	95% 이상
2		현장서버시스템 변환파일 전송율 (현장서버시스템-관제시스템)	98% 이상
3		CCTV 영상정보 전송율	98% 이상
4	정확도	관제시스템 위치정보 데이터 정확도 (단말기생성위치정보대비)	98% 이내
5		GIS 기반 위치정보 표출 정확도 (지도)	20m 이내
6		GIS 기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도 - 수평)	20m 이내
7		GIS 기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도 - 수직)	3m 이내
8		상태정보 표출 정확도	98% 이상

② 통합테스트 인증 실험

○ 시험일시 : 2014년 10월 14일 / 12월 22일 (2회)

○ 시험장소 : 울산~포항 고속국도 7공구 양남터널 현장

○ 시험 인원 : 총 12명

○ 시험내용

- 작업자 및 이동차량 단말기, 현장서버시스템, 관제시스템으로 구성된 통합시스템의 적용성 검증을 위한 시험 절차별 인증 실험 수행
- 패키지화 된 통합시스템의 정보 전송 절차별 시스템 구현 관련 인증 실험 수행

○ 실험 목적

- 단말기 및 이동차량 단말기에서 생산된 위치정보와 CCTV 영상정보가 정보전송 절차에 따라 손실없이 관제시스템까지 전송되는지에 대한 인증 실험
- 단말기 및 이동차량 단말기에서 생산된 위치정보와 CCTV 영상정보가 관제시스템 상에서 정확하게 표출되는지에 대한 인증 실험

표 2.5 지하구조물 현장지원시스템 인증테스트 항목

순번	절차단계	인증테스트 항목	지표
1	작업자 및 이동차량 단말기	단말기 동시 운영 수 (인증 실험 기본 조건)	최소 32개
2	단말기-현장서버시스템	단말기 패킷데이터 전송율	98% 이상
3	현장서버시스템-관제시스템	위치정보 변환데이터 전송율	98% 이상
4	CCTV Pole - 관제시스템	영상정보 실시간 전송 지연 시간	5초 미만
5	관제시스템	위치정보 지도 표출 정확도 (수평)	20m 미만
6	관제시스템	위치정보 종단면도 표출 정확도 (수직)	3m 미만

③ 통합시스템 인증프로세스 구축

통합시스템의 인증프로세스는 정보 생산에서부터 표출에 이르기까지의 단계별 인증을 위한 것으로 세부 내용을 다음과 같다.

㉮ 통합시스템 기본 구성 확인

□ H/W 기본 구성 확인

- 지하구조물 건설현장지원시스템은 작업자 및 이동차량 단말기, CCTV 영상정보 전송용 Pole, 현장서버시스템, 관제시스템 구성
- 단말기는 최소 32대가 동시 운용
- 단말기 - 현장서버시스템 간은 무선통신 환경으로 구성
- 현장서버시스템 - 관제시스템 간은 유선통신 환경으로 구성

□ S/W 기본 구성 확인

- 작업자 및 이동차량 단말기 위치정보 검출 알고리즘 적용 모듈
- 현장서버시스템 적재 패킷데이터 수신 확인 및 정보전송 S/W
- 위치정보, 상태정보, CCTV 영상정보 표출을 위한 S/W

㉯ 단말기 및 차량용 단말기 - 현장서버시스템

□ 단말기 생성 위치정보 전송 및 수신율 확인

- 최소 32개의 단말기 생성 패킷데이터의 전송율 확인
- 패킷데이터가 현장서버시스템에 적재되는 데이터 수신율 확인

□ 무선통신 네트워크 성능 확인

- 무선통신 이격거리에 따른 단말기 및 영상정보의 데이터 전송 시 네트워크 성능 확인

㉰ 현장서버시스템 - 관제시스템

□ 관제시스템 위치정보 및 상태정보 표출 정확도 확인

- 단말기 생성 위치정보가 관제시스템 상에서 위치정확도를 만족하는지에 대한 여부 확인
- 위치정보를 기반으로 상황인지를 통한 작업자 상태정보의 표출 정확도 확인

□ CCTV 영상데이터 표출 지연율 확인

④ 통합시스템 운용 및 보완

3차년도에 수행된 성능 및 인증 실험 시 테스트 절차별 도출된 문제점에 대한 보완을 통하여 통합시스템의 지속 운용이 가능하도록 시스템 개선 수행하였다.

㉮ 통합시스템 절차별 문제점 도출 및 보완

- 작업자 및 이동차량 단말기 - 현장서버시스템 간 시스템 운용
- 작업자 및 이동차량 단말기 - 현장서버시스템 간 문제점 도출

- 작업자 및 이동차량 단말기 - 현장서버시스템 간 문제점 보완
- 현장서버시스템 - 관제시스템 간 시스템 운용
- 현장서버시스템 - 관제시스템 간 문제점 도출
- 현장서버시스템 - 관제시스템 간 문제점 보완



그림 2.56 통합시스템 운영 및 보완 절차

⑤ 신기술 신청

본 연구개발 사업을 통하여 개발된 지하구조물 건설현장지원시스템의 상용화를 위하여 한국산업기술진흥협회의 신기술 신청을 추진하였다. 신기술의 인증은 이론으로 정립된 기술을 시작품으로 제작하여 시험 또는 운영함으로써 정량적 평가지표를 확보한 개발완료기술로 신청일을 기준으로 향후 2년 이내에 상용화가 가능한 기술을 인증하고 있는 제도로써 총 3회의 심사를 통하여 신기술을 인정 받게 된다. 다음 그림은 한국산업기술진흥협회에서 제시하는 신기술 신청 프로세스의 그림을 보여준다.



3.

그림 2.57 신기술 신청 절차

제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법

1. VI-GNSS기반 작업자 및 이동차량 단말기

가. 연구수행결과

(1) 1차년도 연구수행결과

시험 제작된 보드를 이용하여 두산건설에서 제공한 다양한 형태의 현장에서 시험을 수행하였으며, 이때 고도 데이터는 별도의 고도데이타 수집 보드를 활용하였고, PDR 시험을 위한 보드는 편의상 자체 제작하여 현장에서 활용하였다. 무선통신 시험은 개수가 제한된 도입된 장치를 활용하여 현장별 시험을 수행하였고, 통달거리 시험도 병행하여 현장 적용성 테스트를 위한 기초 시험을 수행하였다.

(가) 무선통신 기술별 성능 분석

① 무선통신기술 건설 현장 활용성 테스트

본 연구과제에서는 총 6회의 현장 시험을 실시하였고, 이 현장 데이터를 공사 현장의 형태에 따라서 터널과 시설물로 구분하여 시험 결과를 정리하였다.

㉮ 터널 현장에서의 통신 시험

본 연구에서 대상으로 한 터널 공사 현장 시험 구간은 서울의 강남순환고속도로 터널 공사 구간과 대전의 호남고속철도 터널 공사 구간에서 실시하였다.



그림 2.58 터널 공사 현장 입구

터널 공사 현장의 특징은 현장이 길고 고도가 완만하게 변화하는 특성 때문에 수직 특성보다는 수평 성능이 매우 좋아야 한다. 아래 그림은 터널 현장 내에서의 기압 변화를 도시한 것으로 터널 구간 전체에 걸쳐서 기압이 서서히 변화하는데 이는 곧 터널 내부의 현장 고도가 깊이에 따라서 서서히 변화하고 있다는 것을 보여주고 있다.

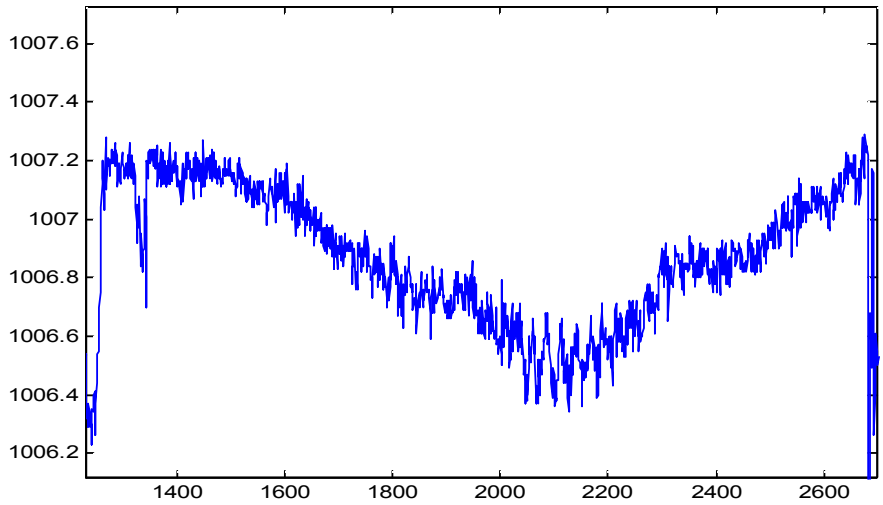


그림 2.59 터널 내부의 고도변화에 따른 기압센서 변화

고도 변화를 산출한 뒤에 터널 외부로부터 GPS를 이용한 절대 좌표를 획득하고, MEMS INS 센서를 이용한 위치검출을 아래와 같이 수행하였다. 이 결과는 터널 내부의 반환 지점을 통과 한 뒤에 터널 입구로 되돌아오는 경로인데 터널 내부 반환점에서 잠시 정지시에 발생한 자이로의 바이어스 추정 오류 때문에 되돌아 나오는 구간에서 방향각의 누적 오차가 발생한 결과를 보여주고 있다.

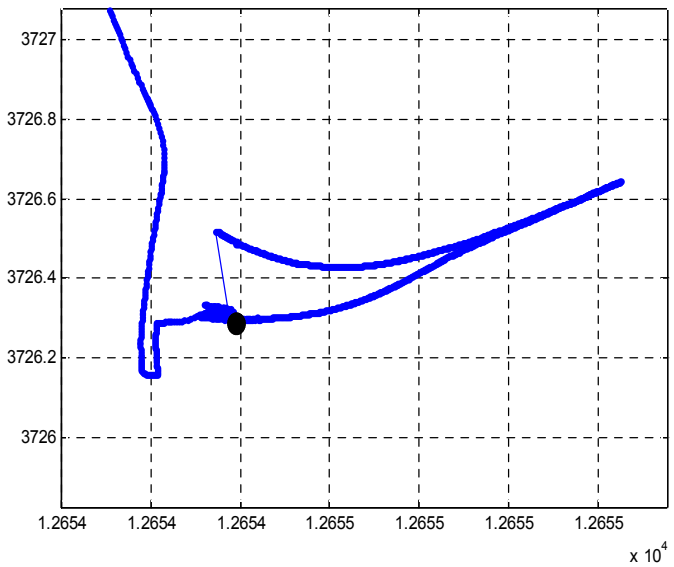


그림 2.60 터널 내부 진입 결과 (검은점이 터널입구)

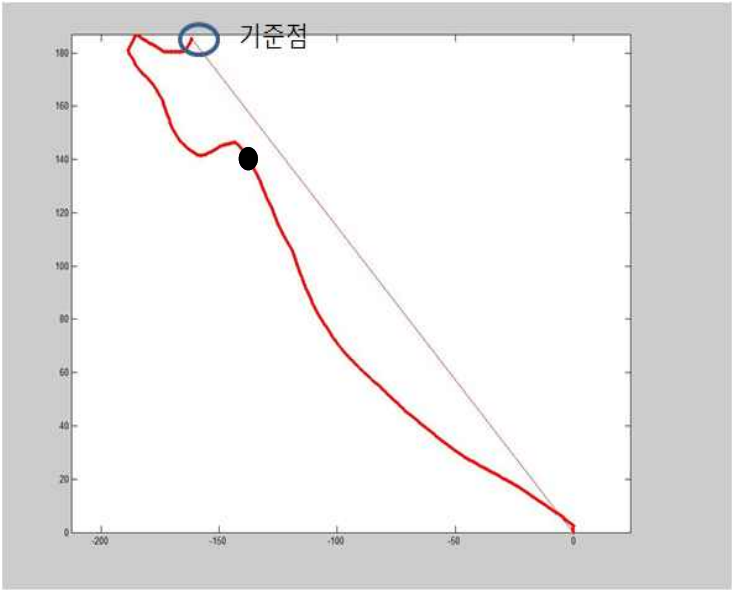


그림 2.61 터널 내부 걸음으로 진입 결과

자이로 보정에 있어서 누적 오차가 발생하지 않도록 하는 알고리즘 보완으로 두 번째 터널 공사 현장에서는 비교적 실제 궤적과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

□ 강남순환 고속도로 터널 공사 현장

이 현장에서는 BC 모뎀과 골전도를 이용하여 터널 내부의 통신 시험을 실시하였으며, 통달거리 통상 100미터 수준에 도달 여부를 확인하였다.

□ 호남고속철도의 터널 공사 현장 (2회)

본 연구과제에서 확보한 8세트의 BC모뎀 및 골전도 일체형 세트를 이용하여 다자간 통신과 통달 거리를 시험하였으며, 시험과정에서 모뎀간 하울링이 발생하는 문제와 통달거리 미흡 문제가 발생하였으나 이를 개선하여 통달거리 250미터 수준에 다다르는 결과를 확인하였다. 2차 시험에서는 기구를 개선하고 안테나를 교체하여 시험하였으며, 통신이 매우 원활함을 확인하였으나, 충분한 통달거리를 확보하지 못하는 문제점은 여전히 파악되어 개선이 시급함을 알 수 있었다.

□ 울산-포항간 복선전철의 터널 공사 현장

안테나 장작위치에 따른 통달 거리 시험을 일반 무전기 기반으로 시험하였으며 안전모 상부에서 최고 400미터 이상 통달 거리가 확보됨을 확인하였다.

② 시설물 현장에서의 통신 시험

본 연구에서는 시설물 공사 현장 대상으로 일산의 위브더제니스 공사 현장과 부산 해운대의 AID 재건축 현장을 선정하여 다양한 시험을 실시하였다.

시설물 공사 현장의 특징은 입구점과 지하공간이 다양하고, 층간 구분이 명확하기 때문에 3D 시험 결과 표출이 매우 용이하다는 점이다.



그림 2.62 시설물 공사 현장

두 시설물 공사 현장의 특징은 건물이 비교적 높고 주차를 위한 지하주차장 시설이 매우 잘 되어 있어 층간 반복 시험에는 최적의 장소임을 확인하였다.

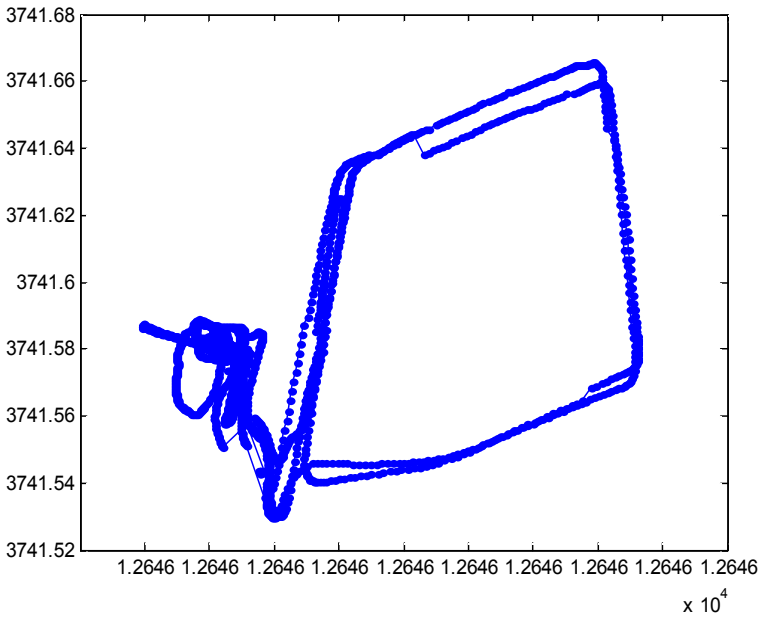


그림 2.63 시설물 공사현장과 주변에서의 위치 검출 결과

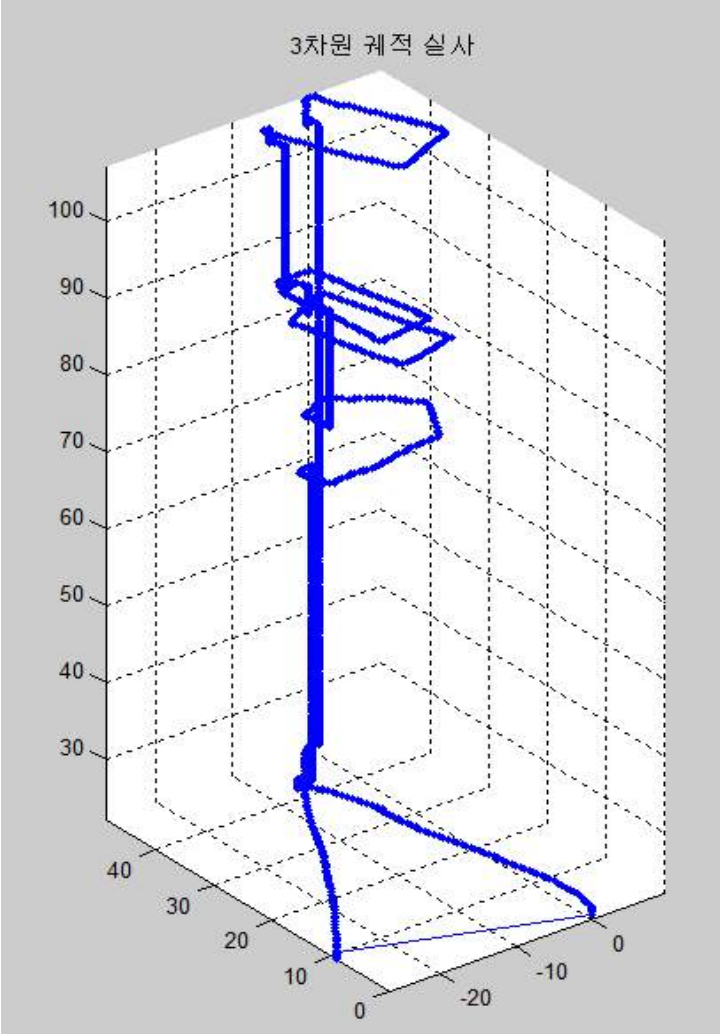


그림 2.64 시설물 내에서의 3D 위치 검출 결과

시설물 현장에서의 시험은 그 특성상 좁은 지역에서 반복 시험이 주를 이루기 때문에 그림처럼 주변 지역에 대한 시험을 통해 한정된 지역에서 시험이 이루어짐을 알 수 있으며 왼쪽의 집중된 좌표가 건물의 내부에 해당된다. 이를 구체적으로 표현하기 위해 3D 위치 검출 결과를 같이 도시하였다. 지상에서 건물 내부로 진입한 뒤에 건물의 1층에서 엘리베이터를 타고 최초 11층에 도달하여 내부 한 바퀴 시험, 다시 엘리베이터를 이용하여 15층에 도달하여 같은 방향으로 내부 이동 시험, 그리고 16층에 도착하여 층간 구분이 가능한지를 확인하기 위해 같은 방향으로 내부 이동 시험, 마지막으로 엘리베이터로 다시 건물 옥상인 20층에 도달하여 같은 방향으로 이동 시험 후에 마지막으로 다시 1층에 엘리베이터로 내려와 원점으로 돌아오는 궤적을 구현하였다. 고도의 경우는 비교적 정확히 구현되었으나 같은 이동 경로로 보여줘야 하는 각 층의 이동 궤적은 역시나 자이로의 누적 오차로 인해 약간의 오차를 나타내고 있음을 알 수 있다.

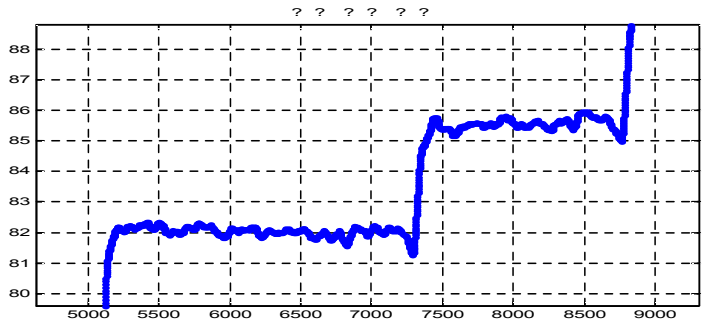


그림 2.65 15층과 16층 층간 구분 가능한 결과

□ 일산 위브더제니스 아파트 공사 현장

: BC 모뎀과 골전도를 이용하여 건물 내부 통신 시험을 실시하였으며, 통상 3층 간 통신을 확인하였으나 지하층에서는 이보다 더 결과가 좋지 않다.

□ 부산 AID 재개발 아파트 공사 현장

: 이 현장에서는 총 2회의 시험을 실시하였으며, 1차 시험은 건물 지하에서 BC 모뎀 8세트를 가동하여 층간 통신 여부를 시험하였다. 같은 층의 시험 그룹간 통신은 원활하나 층간 통신을 확인하는 과정에서 안테나 신호가 매우 미약함을 확인하였다.

(나) 지상·지하의 3차원 위치추적을 위한 시험 보드 제작 및 성능 분석

① 위치인식기술 건설 현장 활용성 테스트

건설 현장 작업자의 3D 위치 검출을 위해 본 연구에서 제안한 실시간 바이어스 추정 기법은 온도 변화에 따라서 이동에 관계없이 매우 잘 추정된 결과를 확인하였다. 이 결과로 방향각 오차가 주행거리 대비 약 1% 이내의 결과를 얻을 수 있음을 시험적으로 확인하였다.

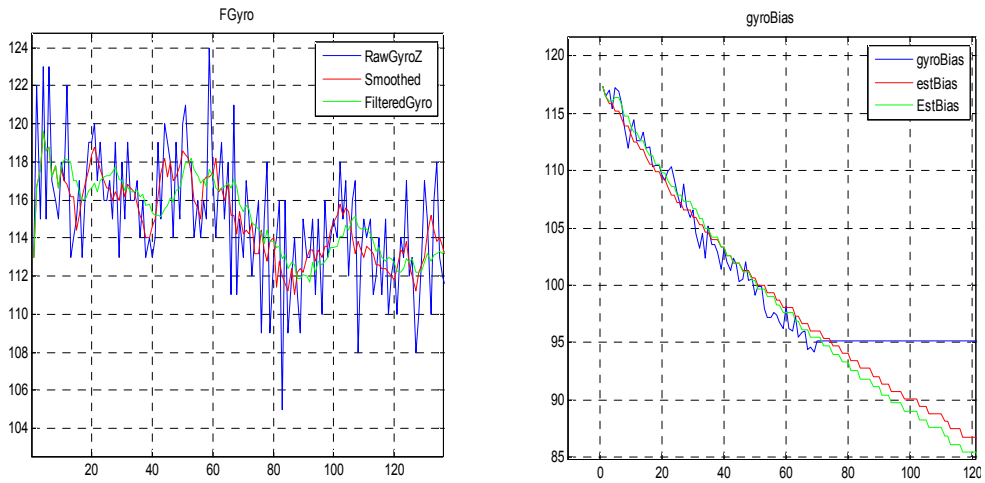


그림 2.66 T-BEC을 이용한 바이어스 추정 결과

본 연구에서 가장 많은 연구를 진행한 걸음 검출 기법은 실제 걸음을 얼마나 정확히 검출하고, 가짜 걸음과 진짜 걸음을 구분할 수 있는 것이 관건이었으며, 다양한 시험 결과는 실제 적용이 가능한 수준의 매우 우수한 결과임을 확인하였다.

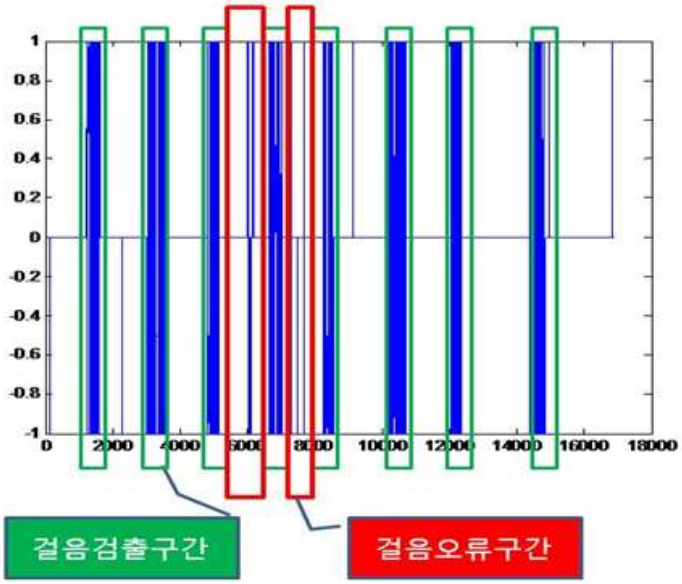


그림 2.67 제안된 걸음 검출 결과

기압센서를 이용한 고도 검출시 제안한 차분법과 보정기법을 이용함으로써 층간 구분이 가능한 수준인 50cm 이내의 오차만을 나타내었다.

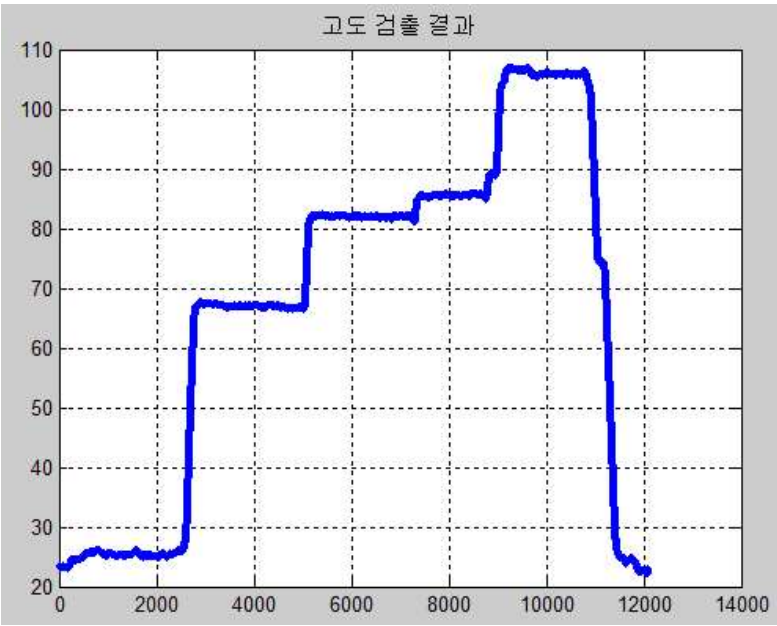


그림 2.68 고도차분법을 이용한 고도 검출 결과

본 연구에서 제안한 다양한 오차 제거 기법, 보정기법, 걸음 검출 기법 등을 이용한 실시간 3D 위치 검출 결과는 건설 현장 작업자의 이동 경로 상에 있는 다양한 실내외 환경에 적합한 것임을 다양한 결과를 통해 보여주었다.
하지만 아래 그림처럼 약간의 방향 오차가 후에 매우 큰 오차가 된다는 사실을 상기하지 않으면 안되는 결과를 동시에 보여주고 있다.

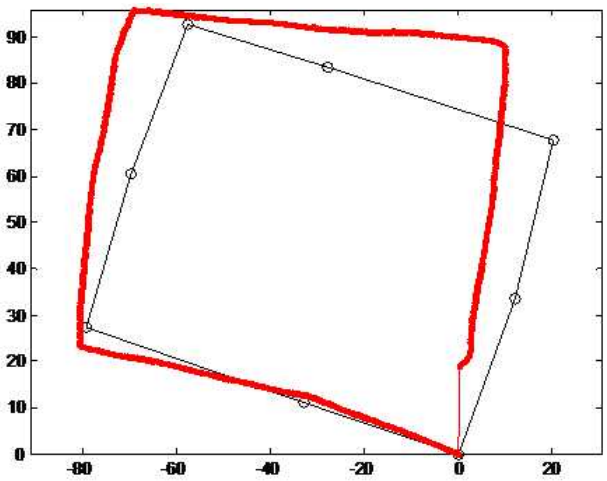


그림 2.70 제안된 작업자 3D 위치 결정기법 결과

㉮ 3D 위치 추적 모듈 시험에 대한 결론

본 연구를 통해 제안된 건설 현장 작업자의 3D 위치검출 기법에 있어서 다양한 센서를 이용한 만큼 다양한 오차보정, 보상, 검출 기법들을 이용해야 함을 알 수 있으며, 이 결과로 아래와 같이 결론을 내릴 수 있다.

□ 회전각 검출을 위한 보상 기법 보완

앞의 결과에서 알 수 있듯이 본 연구에서 가장 난해한 부분은 실내에서 작업자의 정확한 이동 방향을 검출하는 것으로 이는 센서 모듈의 장착 위치와도 관계가 깊다. 즉, 작업자의 몸통 이외의 부분에 장착할 경우, 실제 이동 방향과 전혀 다른 이동 방향을 검출하게 되는 심각한 오류가 있을 수 있기 때문에 본 연구 결과를 개선하기 위해서는 장착 위치도 매우 중요함을 알 수 있다.

□ 걸음 검출에 있어서 다양한 모션 고려

건설 현장에서의 작업자 움직임은 일반적인 걸음보다 그렇지 않은 경우가 더 많다는 결론을 내렸다. 특히 시설물의 경우, 계단을 비롯해서 좁은 통로, 옆으로 걷는 경우 등 다양한 모션을 취해야 하는 경우가 많은데 이런 모션에서는 기본적인 걸음 검출 기법으로는 검출해 내기가 매우 어렵다는 결론이다.

□ 3D 위치 검출 결과의 표현

본 연구에서는 지도 정보를 전혀 이용하지 않고 순수하게 GPS가 제공하는 경위도 좌표를 절대 좌표로 하여 그 결과를 이용하였으나 실제로 안전을 위하여 건설현장 작업자를 모니터링하기 위해서는 다른 층에 있는 같은 좌표 작업자를 구분할 수 있는 GIS 툴이 절실히 있어야 함을 알게 되었다. 이는 기존 평면에서만 표현하는 경위도 개념의 좌표가 아니라 층간 구분이 가능한 3D 개념의 GIS 매핑 결합이 되어야 본 연구가 의미가 있다는 것을 의미한다.

□ 실시간 모니터링을 위한 통신 매체 필요성

본 연구가 위와 같은 개념의 작업자 안전 모니터링을 위해 사용되려면 기본적으로 전 공사 현장을 커버할 수 있는 무선 데이터 통신 매체가 필요하다. 본 연구에서는 노트북 PC를 휴대한 근거리 통신을 이용하였으나 이는 데이터 수집을 위한 연구 방식이므로 현장 사무소 등에서 전 작업자의 3D 위치 모니터링을 위해서는 강력한 무선 통신 솔루션이 절실하게 필요함을 알게 되었다.

(1) 2차년도 연구수행결과

2차년도에 신규 제작된 작업자 및 이동차량용 단말기는 기본적인 통신모뎀을 내장하고 있으므로 1차년도에서 지정된 특정 건설현장에 적합한 시험 방법과 시험 내용을 제시하여 반복적인 시험을 수행하였다. 위치검출 시험을 위해서는 위치검출 시뮬레이션 장비와 기준이 될 수 있는 고정밀 IMU보드, 그리고 고도센서 보드를 활용하였다. 무선통신 시험을 위해서는 통달거리가 가장 좋은 내장된 400MHz대의 무전기 주파수대를 이용하여 채널링을 통한 단말기 배정 방식을 채용하여 다수의 단말기 동시 시험을 수행하였다. 특히 지정된 현장의 고소음이 발생하는 덕트 시설로 인해 골전도 방식의 무선통신 기능이 입구에서 마비되는 현상도 발생하기도 했으나 이 구간이 극히 짧기 때문에 전체 시험 결과에 크게 영향을 미치지는 않았다. 본 과정을 통해 작업자 단말기를 기존에는 안전모에 장착하는 방안을 제시했었으나 많은 오류가 발생하여 몸통으로 장착 위치를 변경하는 계기가 되었다.

(가) VI-GNSS 기반 작업자 단말기 설계 및 제작

① 단말기 기능사양서

㉮ 1차 테스트 : 2013년 4월 4일

연구 수행 내용	해결 과제
● 작업자 단말기 설계고려 사항 획득 ● 기존 제작된 단말기 이용한 데이터 획득 ● 건설환경용 무선통신 단말기 특성 시험 ● 획득 데이터 분석 및 개선점 도출	● 정확한 고도 검출 확인 ● 작업자의 이동 방향에 발생한 오차 제거 ● 걸음 검출 오류 제거 ● 고소음 환경에서 통신 불능

▶시험 개요

· 시험 장소 : 울산-포항간 고속도로7공구 두산건설 현장

· 시험 인원 : 총 10명

· 시험 목적 :

(a) 작업자 단말기를 이용한 위치결정 데이타 획득

(b) 소음, 진동 등 건설현장의 열악한 환경에 적합한 무선통신 장비 시험

· 시험 장비

(a) MEMS INS 데이타 획득용 모듈

(b) 골전도 통신이 가능한 바이너리 CDMA방식 무선모뎀 헤드셋

(c) 휴대용 데이터 로거

▶시험 내용

· 작업자 단말기용 VI-GNSS 모듈 시험

(a) GPS와 MEMS INS 센서가 내장된 VI-GNSS 모듈을 작업자용으로 변형하여 위치를 검출

(b) 장착 방향과 센서의 방향을 고려하여 지정된 주행 방향으로 수평을 유지하며 이동

(c) 같은 경로를 반복 시험하여 성능 분석 실시



그림 2.71 단말기 VI-GNSS 모듈

· 골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 통신시험

(a) 바이너리 CDMA 모뎀이 내장된 골전도 헤드셋(1차년도 구매)을 현장에서 시험시 이용

(b) 음성통신을 위한 기존 무전기 세트를 이용하여 두 개 주파수에 대한 터널 내 시험 실시



그림 2.72 골전도 음성통신 헤드셋

▶시험 절차

· 작업자,차량용 3D 측위모듈을 작업자 시험자와 시험차에 각각 세팅
· 터널 현장 입구에서 작업자용은 막장까지 걸어갔다 오고 같은 경로로 차량도 이동함
· 출발지로 다시 돌아와 데이터 수집 확인 및 경로 확인

▶시험 결과

· 작업자 단말기 측위 결과

(a) 전원 인가 직후, 단말기 각도 불안정에 의한 진행각 오차가 발생하여, 한쪽방향으로 치우침
(b) 편향된 바이어스가 나타나는 이유는 명백하므로 이에 대한 보정 파트를 면밀히 다시 검토함
(c) 특히 회전이 발생하는 구간에서의 자세 불안정 여부를 판단해야 함

그림 2.73 작업자 단말기 측위 결과

(d) 기압센서로부터 추출한 기압정보에 대한 필터링을 수행하고 이를 고도로 환산

(e) 터널 입구에서부터 측정한 고도의 변화량이 실제 터널 현장의 특성과 일치함을 보임

(f) 터널 공사현장이 사갱의 입구이기 때문에 터널 중간부근까지는 급한 경사로 이므로 그림과 같이 깊이로 약 84미터의 고도 변화를 관찰하였음

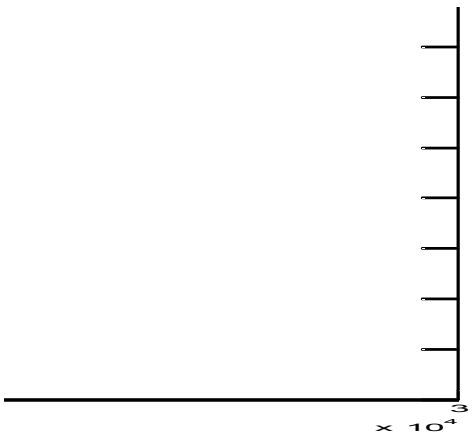


그림 2.74 작업자 단말기에서 측정한 고도 데이타

(g) 작업자 모듈의 가속도센서 데이터로부터 작업자의 걸음 검출 여부를 진단하였음

(h) 가속도 데이터에 Bias를 추정하여, 처음 구간에서는 정지 시 0에 해당하는 값을 얻었지만, 다음 정지 시에 Bias 가 다시 발생하여 오류가 생김

(i) 현재로서는 온도변화에 따른 센서 값들의 오차가 있을 수 있고, 정지 시 작업자의 위치가 가파른 언덕이나 불안정한 자세에서 오는 오차 일수가 있음

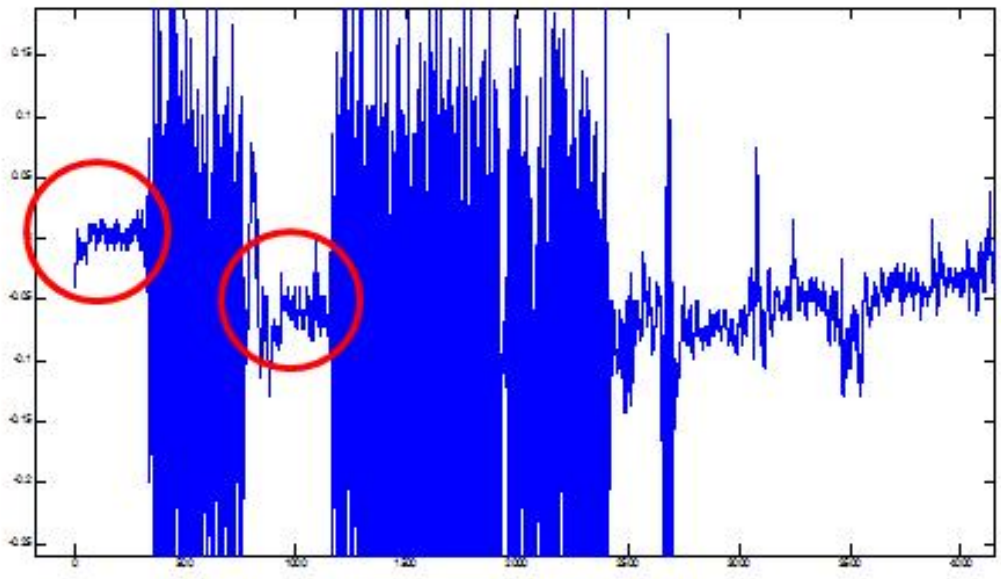


그림 2.75 작업자 단말기의 걸음검출 결과

· 골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 시험 결과

(a) 골전도 헤드셋 파손 및 배터리 미 충전으로 인해 실험시 오류 발생

(b) 충전을 해야 재사용이 가능한 휴대장치의 특성상 이에 대한 관리가 중요함을 알게됨

(c) 향후 상용화시 이를 보완할 수 있는 관리 지침이 필요함

㉯ 2차 테스트 : 2013년 6월 27일

연구 수행 내용	해결 과제
● 이동차량 단말기 설계고려 사항 획득	● 가상 게이트웨이 정확도 개선
● 가상 게이트웨이 지점 측량 및 분석	● 차량 단말기 진출입 검출 개선
● 통달거리 개선한 무선 단말기 특성 시험	● 작업자 이동 방향 오차 추가 개선
● 시험 데이터 분석 및 개선점 도출	● 단말기 장착 안정성 개선

□ 시험 개요

▶ 시험 장소 : 울산-포항간 고속도로7공구 두산건설 현장

▶ 시험 인원 : 총 10명

▶ 시험 목적 :

· 차량과 휴대단말기를 이용한 위치결정 데이타 획득

· 가상 게이트웨이 지점 측량

· 소음, 진동 등 건설현장의 열악한 환경에 적합한 무선통신 장비 시험

· 시험 현장 기준 데이터 획득

▶시험 장비

· 차량용 GNSS 및 MEMS INS 데이타 획득용 모듈

· 골전도 통신이 가능한 바이너리 CDMA방식 무선모뎀 헤드셋

· 가상게이트웨이장비(OEM6)

· 기준데이터 획득 장비(LabSat2, VIdeo Vbox)

□ 시험 내용

· 가상 게이트웨이 설정을 위한 현장 입구 지점 지정 및 정밀 측량



그림 2.76 가상 게이트웨이 설정을 위한 정밀 측량 장비

· 작업자 단말기용 VI-GNSS 모듈을 이용한 이동 시험



그림 2.77단말기 VI-GNSS 모듈

· 이동차량 단말기용 VI-GNSS 모듈을 이용한 이동 시험



그림 2.78 이동차량 VI-GNSS 모듈

· 현장 상황 분석을 위한 기준데이터 획득

(a) 차량에 탑재하여 GNSS, IMU, CAMERA를 연동한 기준 데이터 획득

(b) 현장의 실외 위치정보, 차량의 자세 정보, 현장의 주변 영상 정보를 시각동기화 하여 종합 데이터를 획득하고 후처리

(c) 일부 데이터의 경우 현장 데이터를 연구소 내에서 시뮬레이션에 활용할 수 있음



그림 2.79 현장 정보 활용 시뮬레이션 장비

· 골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 통신시험

(a) 1차 시험에 사용된 장비를 그대로 사용하여 현장에서 활용

(b) 경사로인 사갱의 입구와 중간 회전 지점, 그리고 막장에서의 통달 거리 시험 실시



그림 2.80 골전도 음성통신 헤드셋

▶시험 절차

· 현장 입구 양쪽 지점을 지정 가상게이트웨이 설치

(a) 터널 입구 양쪽에서 각각 15분씩 데이터 로깅

· 작업자,차량용 3D 측위모듈 세팅

(a) 현장 입구에서 막장까지 걸어갔다 옴

(c) 출발지로 다시 돌아와 데이터 확인, 반복 시험

· 기준데이터 획득장비 세팅 후 데이터 로깅, 차량에 설치

· 무선통신 장비 세팅 후 도달거리 측정

▶시험 결과

・가상 게이트웨이 측량 결과

(a) 터널 입구 양쪽에 삼각대를 이용한 측량 장비를 번갈아 설치하여 두 지점을 측량

(b) 두 지점을 잇는 선을 가상 게이트웨이로 지정



그림 2.81 현장 내 가상 게이트웨이 측량 결과

(c) 구입한 고정밀 GPS를 이용하여, 각 지점에서 대략 10~15분정도 데이터를 저장함

(d) 고정밀 GPS의 정확도 성능 확인

- GPS 단독 측위 시 오차 범위 약 3.87m
- DGPS를 활용한 오차 범위 약 1m 이내

(e) 각 지점의 평균값을 계산하여, 각각 한 개의 대표 좌표를 생성하고 두 지점 측량에 의한 가상 게이트 거리는 약 21m로 확보 됨

(f) 가상 게이트웨이 사이로 차량이나 작업자의 진출입 여부를 확인할 수 있음

그림 2.82 가상게이트웨이 기준 좌표 측정값

・작업자 단말기 측위 결과

(a) 가속도 센서 데이터의 수직 움직임 성분은 걸음을 표현하는데 효과적이므로 이를 분석하여 아래 그림과 같은 결과를 얻을 수 있음.

(b) 위치 검출의 경우 각도 검출 및 걸음 검출의 결과를 활용하여 추측항법을 수행하고 이를 통해 이동 궤적을 검출 할 수 있음

(c) 터널진입 시 내리막길보다 오르막길에서의 오차가 발생하고 장착위치에 따른 오차도 발생함

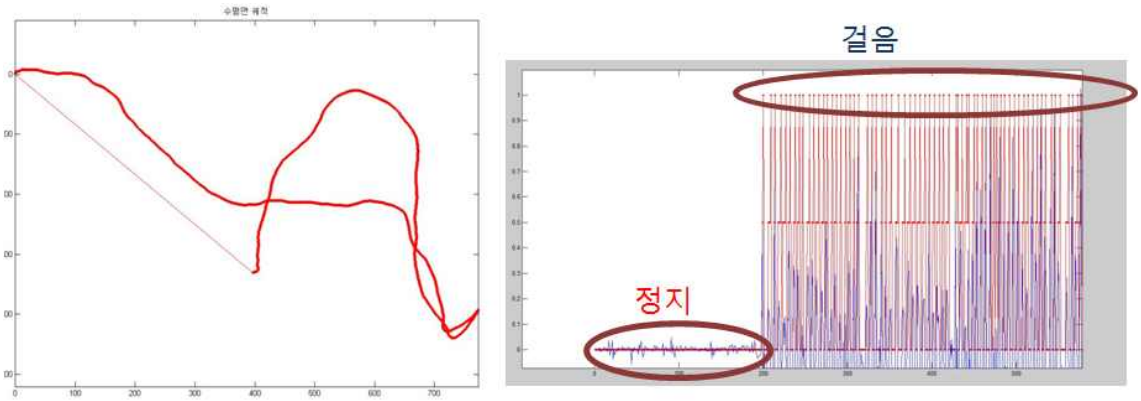


그림 2.83 작업자 단말기의 위치 검출 및 걸음 검출 결과

・차량용 단말기 측위 결과

(a) 작업자 단말기와 다르게 차속 펄스에서 정확한 거리 계산이 가능하고, 장착위치와 진동이 발생하지 않아서 터널 내에서 안정적인 위치 좌표를 확보할 수 있음



그림 2.84 차량용 단말기를 이용한 위치 검출 결과

(b) 하지만 터널 진입 위치와 터널 진출 시의 위치가 거의 같음에도 진출 시 좌표가 벌어지는 오차가 발생하며 이 오차의 크기가 게이트웨이의 두 지점 내에 있어야 가상 게이트웨이 통과 여부를 확인할 수 있음

(c) 2회의 가상 게이트웨이 통과 시험 시 진출입이 성공한 경우(왼쪽)와 진입은 성공하고 진출은 실패한 경우(오른쪽)를 보여주고 있음

(d) 단말기의 방향각 센서에서 발생한 Bias 누적 오차로 인해 약 4~5m 오차가 발생하여 가상 게이트웨이를 벗어날 수 있지만, 가상 게이트웨이의 거리 확장과 단말기 알고리즘 보완을 이용하여 인식률을 높일 수 있을 것으로 예상됨



그림 2.85 차량 단말기와 가상게이트웨이의 맵핑 결과

· 시험 현장 기준데이터 확보

(a) 주행중인 상황에 대한 영상 기록, 위성항법에서 획득한 위치정보, 관성센서 정보를 동시에 획득

(b) 수신된 다양한 데이타를 시각 동기화시켜 터널 환경을 재현하는 것이 가능함



그림 2.86 기준 장비를 이용한 현장 기록 장치

· 골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 시험 결과



그림 2.87 골전도와 단말기 연결한 시험 세트

(a) 2.5 GHz 통신 모뎀의 경우, 최대 150미터를 넘지 못하였고, 이는 현장이 아닌 개활지에서도 같은 현상이 나타났음.

(b) 2.4GHz 골전도의 경우 통신거리가 대략 100~120M 사이 회전구간일 경우 통신이 단절되고 있다.

(c) 433Mhz 경우 통신거리는 대략 500M 정도지만, 통신거리 향상을 위한 대책이 필요함

㉰ 3차 테스트 : 2013년 8월 1일

연구 수행 내용	해결 과제
● 작업자 및 차량 단말기 동시 시험 ● 가상 게이트웨이 지점 재측량 및 분석 ● 차량 단말기 현장 진출입 알고리즘 개발 ● 시험 데이터 분석 및 개선점 도출	● 작업자 단말기 장착 위치의 방향 오차 개선 ● 가상 게이트웨이 인지 방법 개선 ● 무선통신 모듈 제작

□ 시험 개요

▶시험 장소 : 울산-포항간 고속도로7공구 두산건설 현장

▶시험 인원 : 총 7명

▶시험 목적 :

· 차량과 휴대단말기를 이용한 위치결정 데이타 획득

· 가상 게이트웨이 지점 측량

· 소음, 진동 등 건설현장의 열악한 환경에 적합한 무선통신 장비 시험

· 시험 현장 기준 데이터 획득

▶ 시험 장비 :

· 차량용 GNSS 및 MEMS INS 데이타 획득용 모듈
· 골전도 통신이 가능한 바이너리 CDMA방식 무선모뎀 헤드셋
· 가상게이트웨이장비(OEM6)
· 기준데이터 획득 장비(LabSat2, VIdeo Vbox)
· 차량, 노트북

□ 시험 내용

▶가상 게이트웨이 설정을 위한 현장 입구 지점 지정 및 정밀 측량



그림 2.88 가상 게이트웨이 설정을 위한 정밀 측량 장비

· 작업자 단말기용 VI-GNSS 모듈을 이용한 이동 시험



그림 2.89 단말기 VI-GNSS 모듈

· 이동차량 단말기용 VI-GNSS 모듈을 이용한 이동 시험



그림 2.90 이동차량 VI-GNSS 모듈

· 현장 상황 분석을 위한 기준데이터 획득

(a) 차량에 탑재하여 GNSS, IMU, CAMERA를 연동한 기준 데이터 획득

(b) 현장의 실외 위치정보, 차량의 자세 정보, 현장의 주변 영상 정보를 시각동기화 하여 종합 데이터를 획득하고 후처리

(c) 일부 데이터의 경우 현장 데이터를 연구소 내에서 시뮬레이션에 활용할 수 있음



그림 2.91 현장 정보 활용 시뮬레이션 장비

・골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 통신시험

(a) 1차 시험에 사용된 장비를 그대로 사용하여 현장에서 활용

(b) 경사로인 사갱의 입구와 중간 회전 지점, 그리고 막장까지에서의 통달 거리 시험 실시



그림 2.92 골전도 음성통신 헤드셋

□ 시험 절차

・ 지난 시험에서 가상 게이트웨이로 선정한 현장 입구 양쪽 지점에 장비 설치 및 측량

・ 터널 입구 양쪽에서 각각 15분씩 데이터 로깅

・ 작업자,차량용 3D 측위모듈 세팅

(a) 현장 입구에서 터널 내부의 회전구간을 통과하여 막장까지 걸어갔다 옴

(b) 출발지로 다시 돌아와 데이터 확인

(c) 이 과정을 반복 시험

・기준데이터를 시험 차량에 획득 장비 세팅 후 데이터 로깅

・무선통신 장비 세팅 후 도달거리 측정

□ 시험 결과

・가상게이트웨이 결과

(a) 데이터 획득 주기 : 1sec

(b) 데이터 수 :약700개

(c) 측위 방식 :Satellite based DGPS

(d) 단독 측위시 오차 범위 :2m

(e) 6월27일자 실험데이터와 유사함

・작업자 단말기 이동 측위 결과

(a) 이동 패턴은 일치하지만 180도 회전시 각도와 제자리 회전에서 오차가 발생함

(b) 단말기 장착은 이전 실험 보다 안정적이지만, 시선과 주행방향이 불일치 시 방향이 틀어 질수 있음

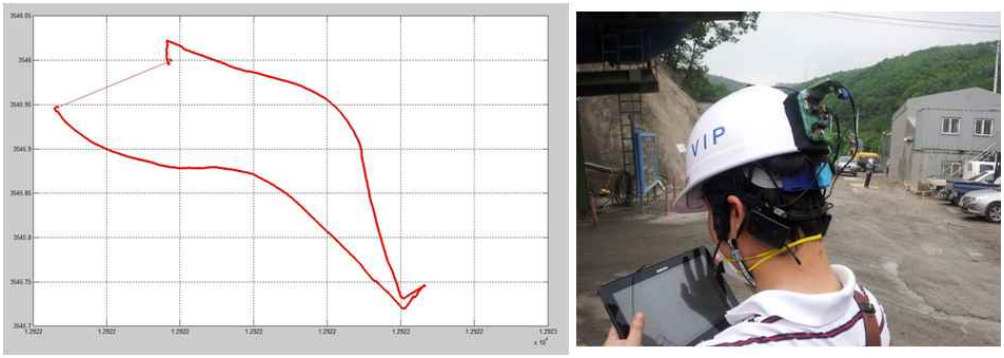


그림 2.93 장착위치1에서의 작업자 위치 검출 결과

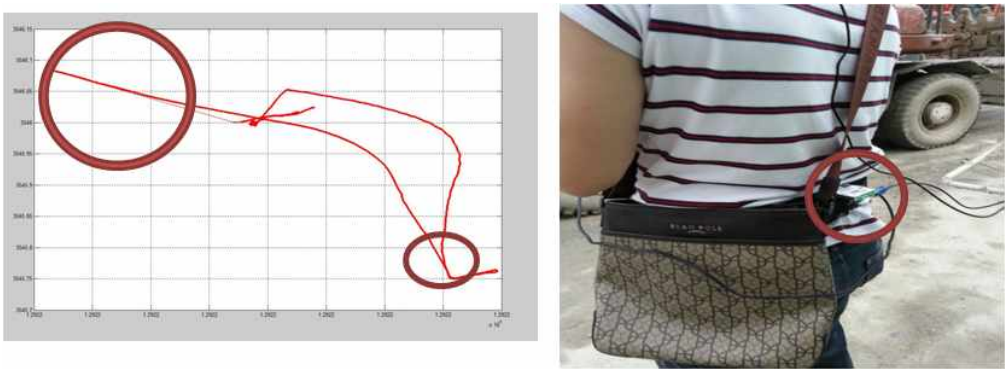


그림 2.94 장착위치2에서의 작업자 위치 검출 결과

(c) 허리 착용시 시선과 주행발향이 불일치하여도 방향은 틀어지지 않는다.
(d) 허리착용보다 거리 검출이 많이되어 오차율이 크며, 허리착용에 따른 걸음검출 알고리즘 보완 필요
(e) 상대적으로 오르막 시 걸음 검출이 많이 되고, 오차율이 큼, 패턴 유사함

・차량용 단말기 측위 결과

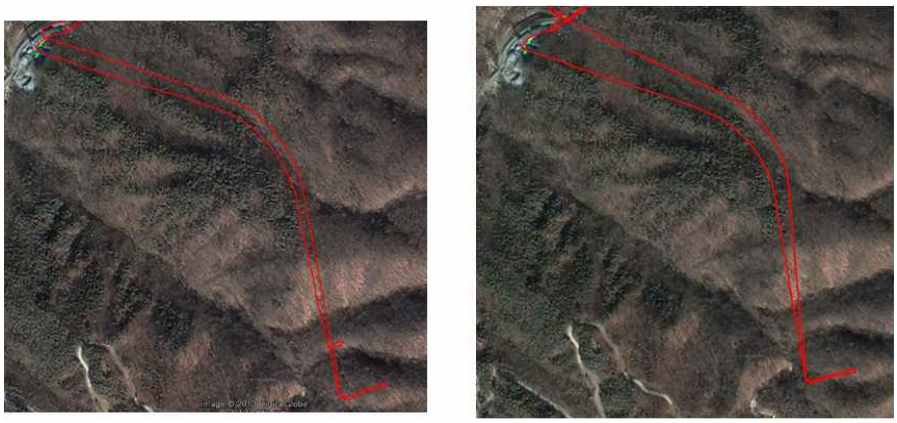


그림 2.95 이동차량 주행 2회 실시 결과

· 차량 단말기는 비교적 안정적으로 위치 데이터 확보 가능



그림 2.96 차량 주행 궤적과 가상 게이트웨이 매핑 결과

· 차량 진입은 정확하지만, 진출시 Bias 누적오차로 인한 위치 오차가 발생
· 가상게이트웨이 진출 판단이 어려움

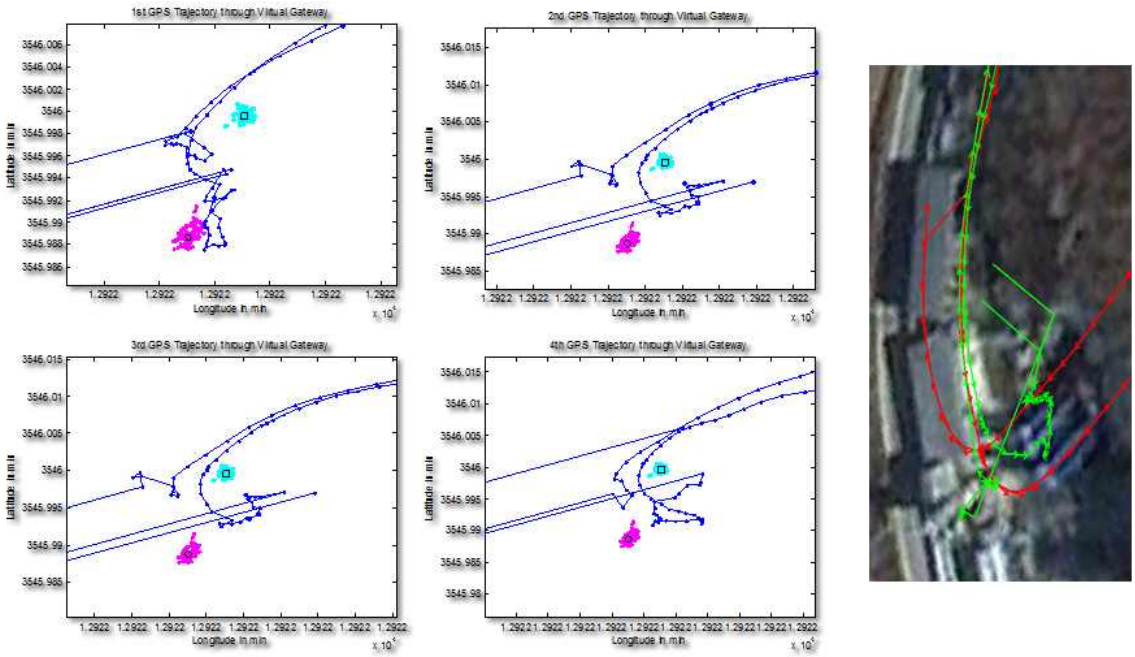


그림 2.97 터널 입구에서의 GPS 이동 궤적

· 차량의 터널 현장 내부진입 판단은 GPS 만을 이용하여 가능하나 진출은 판단하기 어려움

▶시험 현장 기준데이터 확보





그림 2.98 기준 데이터 획득 후 후처리 장치

- 영상, 위치, 센서 정보 동시에 획득
- TurnTable 과 GPS 시뮬레이터기를 이용한 터널 환경 재현 시험

▶골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 시험 결과
- 2.4GHz : 100~120M
- 433Mhz : 500M
- 이전 실험과 동일한 통신거리

㉱ 4차 테스트 : 2013년 9월 5일

연구 수행 내용	해결 과제
● 가상 게이트웨이 기반 현장 단말기 검출 ● 400MHz대 무선통신 단말기 도입 및 시험 ● 시험 데이터 분석 및 개선점 도출	● 위치-통신 통합 보드 제작 ● 무선통신 프로토콜 검증 ● 무의시험을 통한 통합시험 필요 ● 이동차량 시험 방식 개선

□ 시험 개요

▶시험 장소 : 울산-포항간 고속도로7공구 두산건설 현장

▶시험 인원 : 총 10명

▶시험 목적 :
- 차량과 휴대단말기를 이용한 위치결정 데이터 획득
- 가상 게이트웨이 지점 측량
- 소음, 진동 등 건설현장의 열악한 환경에 적합한 무선통신 장비 시험
- 시험 현장 기준 데이터 획득

▶ 시험 장비 :

· 차량용 GNSS 및 MEMS INS 데이타 획득용 모듈
· 골전도 통신이 가능한 바이너리 CDMA방식 무선모뎀 헤드셋
· 가상게이트웨이장비(OEM6)
· 기준데이터 획득 장비(LabSat2, VIdeo Vbox)
· 차량, 노트북

□ 시험 내용

▶가상 게이트웨이 설정을 위한 현장 입구 지점 지정 및 정밀 측량



그림 2.99 가상 게이트웨이 설정을 위한 정밀 측량 장비

· 작업자 단말기용 VI-GNSS 모듈을 이용한 이동 시험



그림 2.100 단말기 VI-GNSS 모듈

· 이동차량 단말기용 VI-GNSS 모듈을 이용한 이동 시험



그림 2.101 이동차량 VI-GNSS 모듈

· 현장 상황 분석을 위한 기준데이터 획득

(a) 차량에 탑재하여 GNSS, IMU, CAMERA를 연동한 기준 데이터 획득

(b) 현장의 실외 위치정보, 차량의 자세 정보, 현장의 주변 영상 정보를 시각동기화 하여 종합 데이터를 획득하고 후처리

(c) 일부 데이터의 경우 현장 데이터를 연구소 내에서 시뮬레이션에 활용할 수 있음



그림 2.102 현장 정보 활용 시뮬레이션 장비

・골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 통신시험

(a) 1차 시험에 사용된 장비를 그대로 사용하여 현장에서 활용

(b) 경사로인 사갱의 입구와 중간 회전 지점, 그리고 막장까지에서의 통달 거리 시험 실시



그림 2.103 골전도 음성통신 헤드셋

□ 시험 절차

▶현장 입구 양쪽 지점을 지정 가상게이트웨이 설치

・터널 입구 양쪽에서 각각 15분씩 데이터 로깅

▶작업자,차량용 3D 측위모듈 세팅

・현장 입구에서 막장까지 걸어갔다 옴

・출발지로 다시 돌아와 데이터 확인

・반복 시험

▶기준데이터 획득장비 세팅 후 데이터 로깅,차량에 설치

▶무선통신 장비 세팅 후 도달거리 측정

□ 시험 결과

▶ 가상게이트웨이 결과

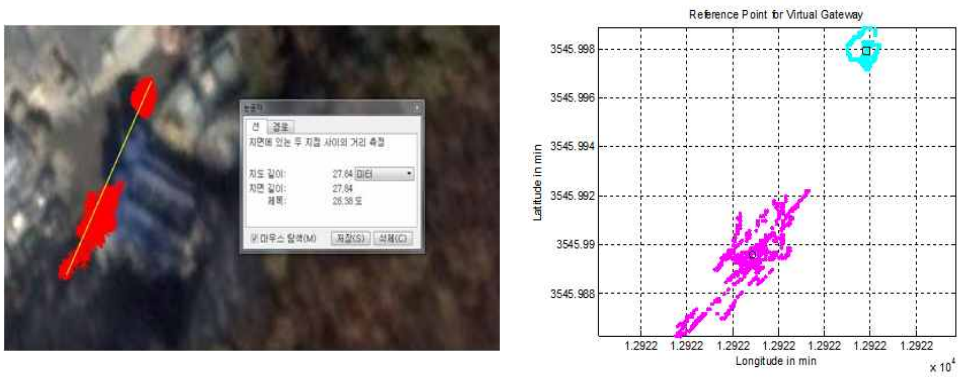


그림 2.104 가상 게이트웨이 맵핑

· 데이터 획득 주기 :1초
· 측량 데이터 수 :1000개(약16분)
· 활용계획 : 현장 출입 판단 및 방향각 추출 활용



그림 2.105 가상 게이트웨이 비교

· 왼쪽 기준점 오차가 심하게 발생함
· 대략 14M 오차 발생
· 기준점 설치시 터널입구 양쪽점의 대략적 위치를 잡기 때문에 매 실험 시 2~3M 오차 발생

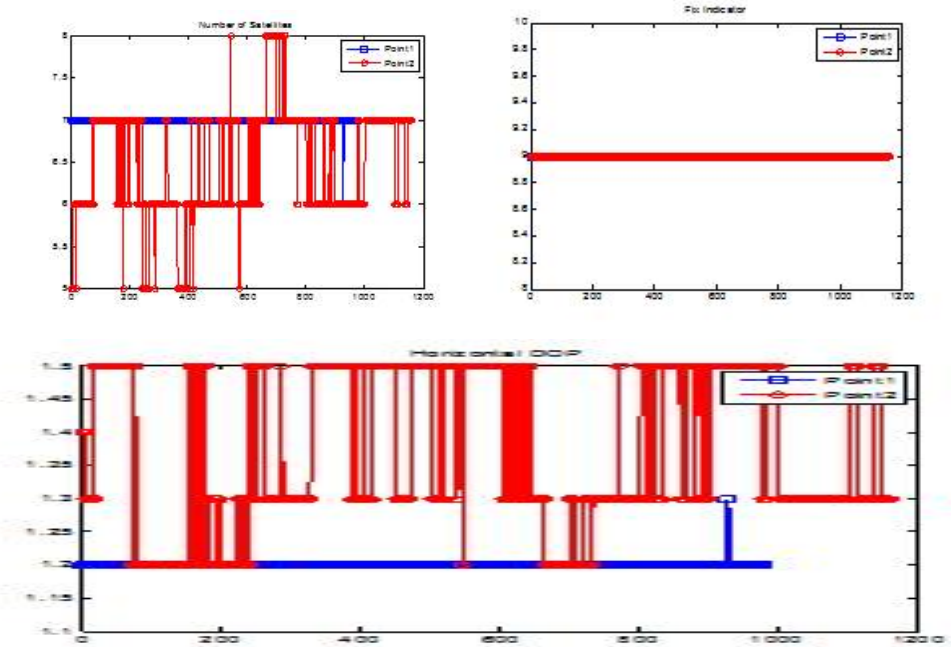


그림 2.106 GPS 위성수 안정적(위 왼쪽), 측위상태 안정적(위 오른쪽), DOP 상태(아래)

· 차후 실험 시 기준점 설치 위치를 항상 동일하게 설치해야 함

▶작업자 단말기 측위 결과

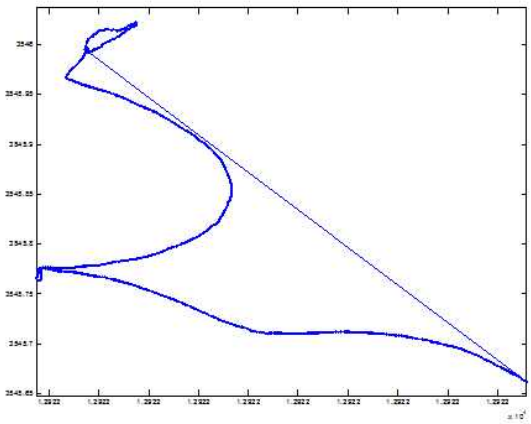




그림 2.107 작업자 단말기 장착위치 및 위치 검출 결과

· 회전구간이 크지 않은 구간이지만 Bias 추정 오류로 인한 오차값 누적

작업자용	Header	ID	시간		좌표			상태 정보			패킷 종료
데이터 종류	식별정보	단말기고유번호	날짜	시간	위도	경도	고도	측위 상태	단말기 상태	작업자 상태	체크섬
데이터 Type	char	int	double	double	double	double	float	int	int	int	char
데이터 단위	작업자을 표시	-	DDMMYY	HHMMSS	DDMMSS.SSS (도/분/초)	DDMMSS.SSS (도/분/초)	meter	-	-	-	CS
데이터 설명	작업자 단말기용 데이터 헤더	고유번호	일/월/년	시간/분/초	0.01초까지 표현하면 0.3미터 해상도임	0.01초까지 표현하면 0.3미터 해상도임	0.1미터 해상도	0 : 측위 불량 1 : GNSS측위 2 : SBAS측위 3 : PDR측위 4 : GPDR측위 5 : 고도보정측위	0 : 정상 동작 1 : 전원 불량 2 : 통신 불량 3 : 기타	0 : 정상 상태 1 : 현장 내부 2 : 사고 발생	Exclusive OR
데이터 표현	$VIPNS	01	220813	111535	372945.123	1270439.243	27.6	3	0	1	4E

그림 2.108 작업자 단말기-현장 서버간 데이터 송수신 프로토콜 예제

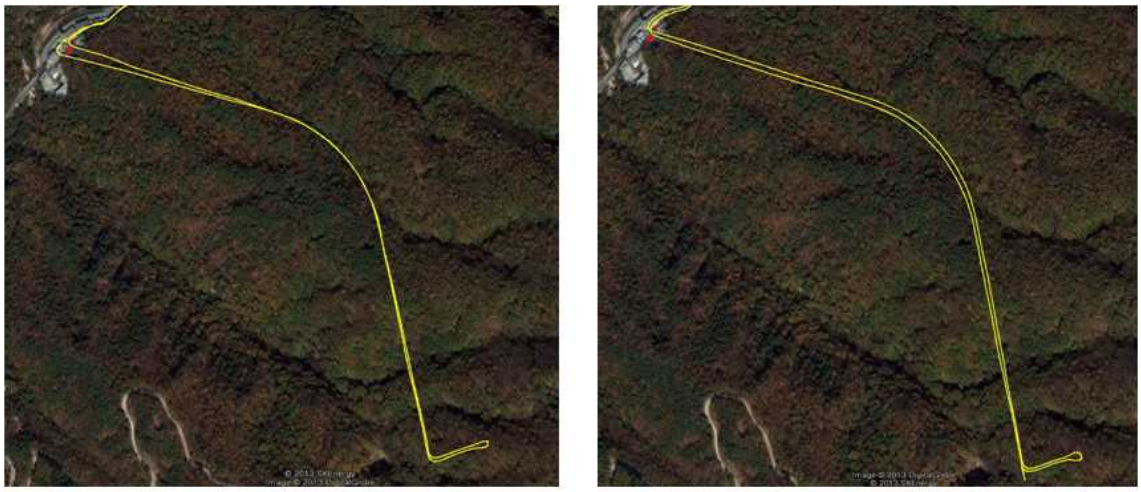
▶데이터 프로토콜 수정

· 단말기 고유 번호 추가

· 좌표 단위 수정:DDMMSS.SS->DDMMSS.SSS

· 파일저장: 파일1개에 데이터 5개 저장
(단말기에서 저장된 시간과 현장서버에서 받은 시간 구분)

▶차량용 단말기 측위 결과



1차 이동차량 주행궤적　　2차 이동차량 주행궤적

그림 2.109 차량용 단말기의 위치 검출 결과

· 차량 단말기는 비교적 안정적으로 위치 데이터 확보 가능

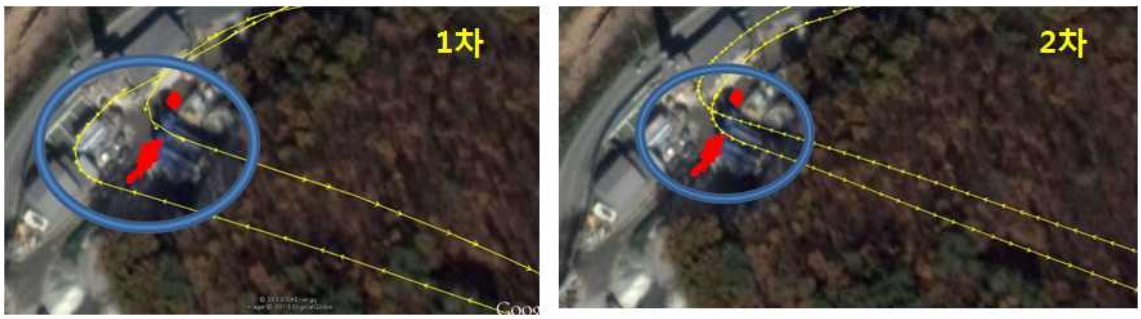


그림 2.110 차량용 단말기 위치검출 결과와 가상 게이트웨이 매칭 결과

· 1차 진출 시 가상게이트웨이 5M 오차 발생
· 2차 진출 시 가상 게이트웨이사이 정확히 통과

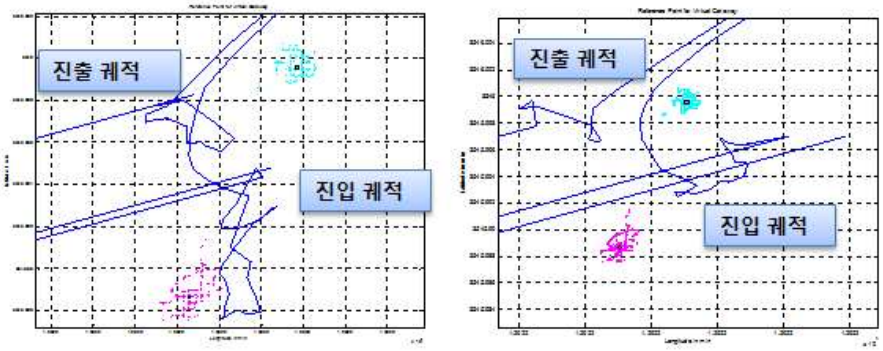


그림 2.111 GPS만을 이용한 가상게이트웨이 매핑 결과

▶시험 현장 기준데이터 확보

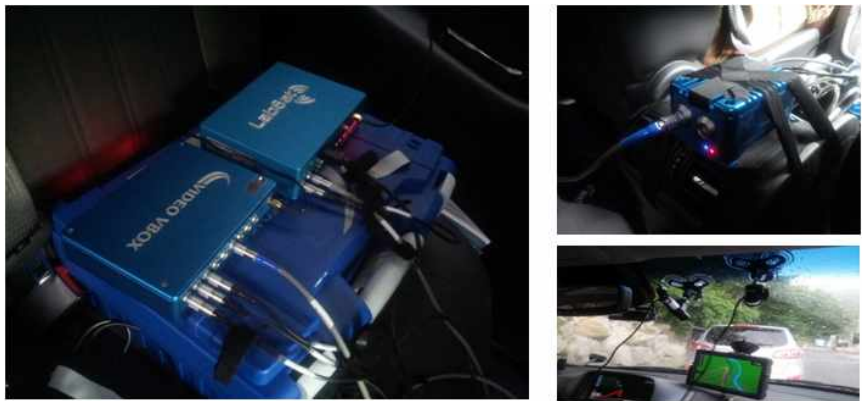


그림 2.112 시험 현장 기준데이터 확보

▶골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 시험 결과

- 2.4GHz : 100~120M
- 433Mhz : 500M
- 통합 시험을 위한 통신 단말기 준비
- 음성 및 데이터 통합 시험을 위한 자체 테스트 실시
- 음성 및 데이터 통신을 위한 무선 통신 테스트 세트 준비

㈑ 5차 테스트: 2013년 10월 24일

연구 수행 내용	해결 과제
● 모의시험을 통한 통합현장 시험 시현 ● 위치-통신 통합 보드 제작 및 시현 ● 무선통신 프로토콜 적용 및 분석 ● 시험 데이터 분석 및 개선점 도출	● VI-GNSS 모듈 결합 개선 ● VI-PNS 프로토콜 소통 개선 ● 현장 서버 S/W 파일링 개선 ● 무선통신 프로토콜 수정 보완

□ 시험 개요

▶시험 장소 : 울산-포항간 고속도로7공구 두산건설 현장

▶시험 인원 : 총 12명

▶시험 목적 :

- VI_GNSS 포맷을 출력하는 작업자 모듈을 무선망(400Mhz대)을 이용하여 데이터 음성 통신거리 확인
- 단말기-현장서버-관제서버 연동시험
- 447Hhz MESH Network 를 이용한 데이터 통신확인 (BLAKSTONE)

▶시험 장비 :

- 통신모듈이 추가된 작업자 단말기 2대
- 447MHz MESH Network 장비

· 렌트한 시험 차량, 데이터 로거용 노트북



그림 2.113 5차 테스트 장비 구성

□ 시험 내용

▶작업자 단말기향 VI-GNSS 모듈시험



그림 2.114 단말기 VI-GNSS 모듈

▶골전도를 이용한 433MHz/2.4GHz 통신시험



그림 2.115 골전도 음성통신 헤드셋

▶통신모듈과 결합된 작업자 단말기

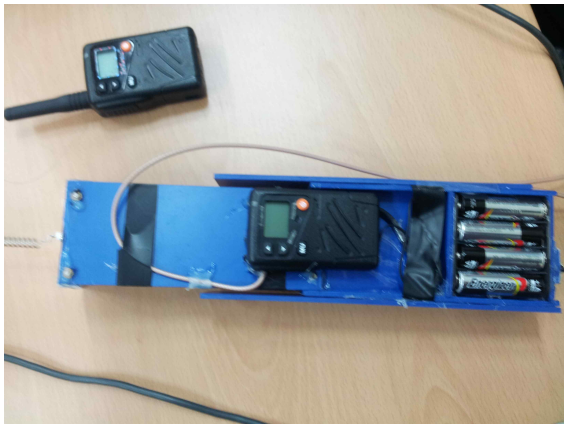


그림 2.116 통신모듈 결합 작업자 단말기

□ 시험 절차

▶데이터, 음성 통신 최초 실험으로 인해 우선 현장사무소에서 테스트 실시

▶데이터,음성 통달 거리 측정

▶터널 현장에 적용하여 통달 거리 측정

▶현장서버와 연동하여, 데이터 입출력 여부 확인

▶현장지원시스템에 위치 작업자 상태 표시 여부 확인

□ 시험 결과

▶통합 모듈 거리 및 데이터 획득 결과



그림 2.117 통합 모듈 통달 거리 시험

- 통합모듈 첫 필드 테스트이기 때문에 오픈 필드 테스트 후 터널에 적용
- 차량이동으로 거리측정 결과 280~300M 데이터, 음성 통신 가능
- 보니아 - RF 튜닝 시 2~3km 적용 가능

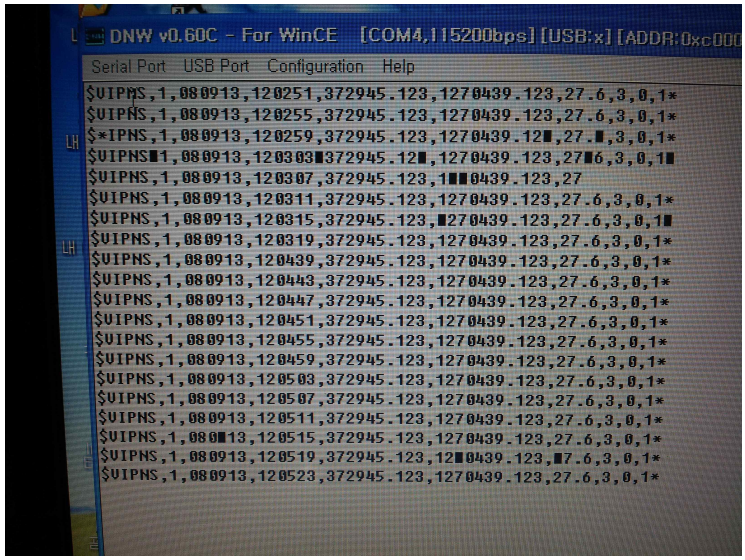


그림 2.118 데이터 출력 상황 화면

- 그림과 같이 데이터 값에 에러가 발생 할 수도 있음.
- 데이터를 받는 서버 쪽에서 데이터 에러 발생과 관련하여 프로그램으로 처리 필요
- 통신 모듈 펌웨어 쪽에서도 수정 보완 되어야함
- 음성과 데이터 통신이 동시에 되지 않음.
- 음성과 데이터 통신변환과정에서도 데이터 에러가 발생함.
- 대략 4~5초 정도의 딜레이가 발생함



그림 2.119 터널 현장에서 통합모듈 통달거리 측정

- 터널 현장 사무소에서 설치 후 차량으로 이동하여 통달거리측정
- 데이터 통신: 400M

(3) 3차년도 연구수행결과

2차년도에서 제시된 작업자 단말기의 장착위치를 확정하면서 이를 토대로 각 단말기의 성능 및 인증을 위한 프로세스가 마련되었고, 각 현장 시험에서는 이 프로세스를 기반으로 하여 시험을 수행하였다. 또한 제시된 인증 프로세스는 현장 시험과 외부 공인기관 시험으로 구분하였으며, 현장 시험은 지정된 건설 현장에서 총 5회의 시험을 수행하였고, 2회의 인증 시험을 진행되었다. 외부 공인기관을 통한 시험은 시험 절차서와 블록도를 활용하여 제시된 사양에 맞는 결과를 획득하였다.

(가) 작업자 및 이동차량 단말기 성능 및 인증실험

① 작업자 및 이동차량 단말기 성능 실험

㉮ 1차 테스트 : 2014년 5월 29일

연구 수행 내용	해결 과제
● 무선망(400Mhz대)을 이용한 데이터, 음성 통신 거리 확인 ● 단말기-현장서버-관제서버 연동시험 ● 획득 데이터 분석 및 개선점 도출	● 무선 통신을 이용한 데이터 에러 발생 제거 ● 단말기 장착에 따른 에러 발생 제거 ● 곡선구간에서 통신상태 저하 발생 제거

▶ 시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장

▶ 시험 인원 : 총 12명

▶ 시험 목적 : 차량,작업자 단말기를 이용한 데이터 획득
획득된 데이터를 서버에 전송 (단말기-현장서버 연동시험)

▶ 시험 내용

· 차량용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험

· 차량내부에 고정하여 설치 한 후 차량에서 나오는 차속 펄스를 연결

· 동일 경로를 반복 테스트



그림 2.120통신모듈과 결합된 차량용 단말기

▶ 작업자용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험

· 작업자 허리에 단단히 고정, 안테나는 안전모에 장착한다.

· 동일 경로를 반복해서 테스트를 진행하였음.

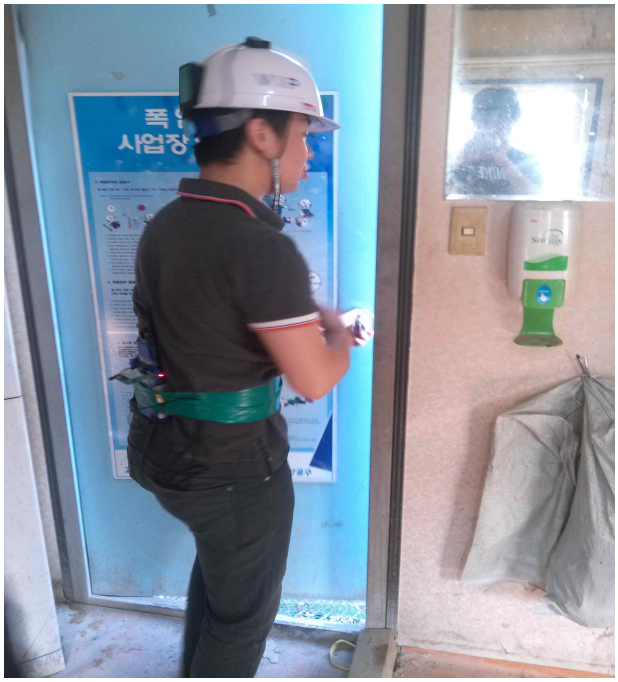


그림 2.121 작업자용 단말기

▶데이터 수신기

· 현장서버에 데이터 수신기 설치

· 데이터 저장, 데이터 손실 파악 및 DataBase 에 전송여부 확인



그림 2.122 데이터 수신기

▶시험 절차

· 차량용 단말기 실험 , 작업자용 단말기 실험
· 현장사무소에서 서버와 단말기의 무선통신 프로토콜, 파일 생성 확인
· 현장서버와 연동하여, 데이터 입출력 여부 확인
· 관제 서버 위치 및 작업자 상태표시 확인

▶시험 결과

그림 2.123 작업자 단말기 측위 결과1

· 터널 진입직전까지 좌표데이터는 오차가 거의 없음.
· 관제서버의 구글지도와 카메라에서 본 화면은 일치함.

그림 2.124 작업자 단말기 측위결과2

· 터널 진입 시 헤딩 오차 발생으로 인해 75도 기울어진 상태로 진입을 시작하였음
· 발생원인은 터널 입구점에서 GPS 헤딩이 위와 같이 멀티패스로 인해, GPS Heading 변화가 심함. 그로인해 잘못된 Heading 값을 기준으로 시작했기 때문에 진입 각도 에러 발생

그림 2.125 차량용 단말기 측위 결과1

· 패턴은 터널과 일치

그림 2.126 차량용 단말기 측위 결과2

· PNS 좌표와 비교 하여 스케일이 큼
· 단말기 출력데이터 확인 및 구글지도 API 사용 시 좌표변환 에러 발생
· 차량 변경 시 차속 계수 값이 다를수 있기에 속도 변환 과정에서의 에러 발생으로 추정
· 개선사항 -차후 단말기에서 나오는 데이터 와 현장서버에서 받는 데이터 관제에서 받는 데이터를 비교분석 할 수 있는 시나리오 제작

㈏ 2차 테스트 : 2014년 6월 30일

연구 수행 내용	해결 과제
● 작업자 단말기 알고리즘 개선 ● 3축 가속도 데이터 분석 ● 장소 모드에 따른 데이터 변화 분석 ● GPS 참조 조건 알고리즘 개선	● 센서 특성의 차이점으로 인한 오류 발생 ● 개개인 마다의 패턴 차이로 인한 오류

▶ 시험 장소 : 텔릿 연구실
▶ 시험 인원 : 총 2명
▶ 시험 목적 : 가속도 데이터를 이용한 걸음검출 알고리즘 개선
▶ 시험 내용 : 장소 (상태) 에 맞는 데이터를 분석하여,
특정 환경에 맞춘 추가 알고리즘 설계에 반영
▶ 시험 결과 :

· 정지 상태 가속도 X,Y,Z Data

(a) 기준축 :X
(b) offset 적용된 값 (20개)
(c) Max :14.5238 Min : 7.5238
(d) DL 값 : 20 적용
(e) Y,Z 축 데이터 차이 발생
(f) 수직 방향 시 기준축 외 다른 축은 값이 비슷하게 나와야하지만, 차이가 발생

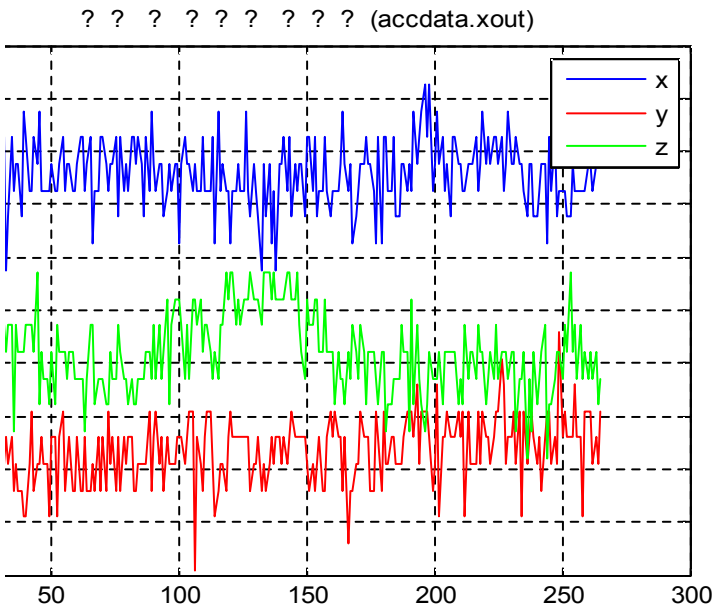


그림 2.127 정지시 가속도 데이터

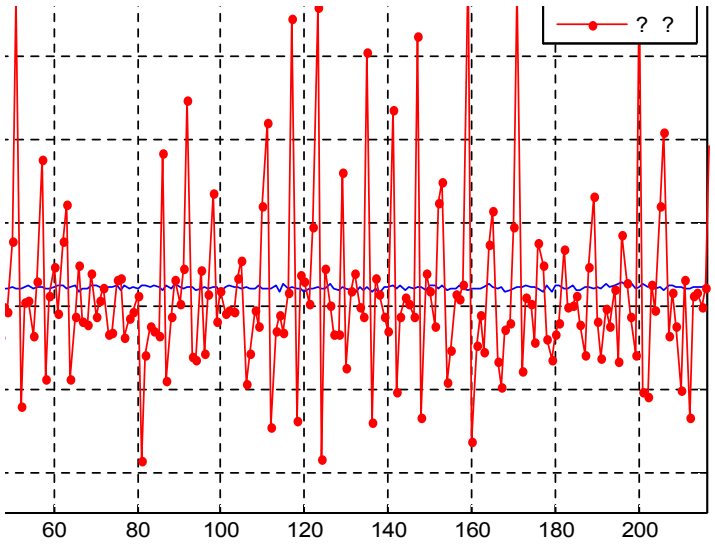


그림 2.128 정지,걸음 비교 데이터

기준축 : X

Max :242.52 Min : -92.47

정지 시 0 이하로 떨어지지 않음

▶ 계단 오름 상태

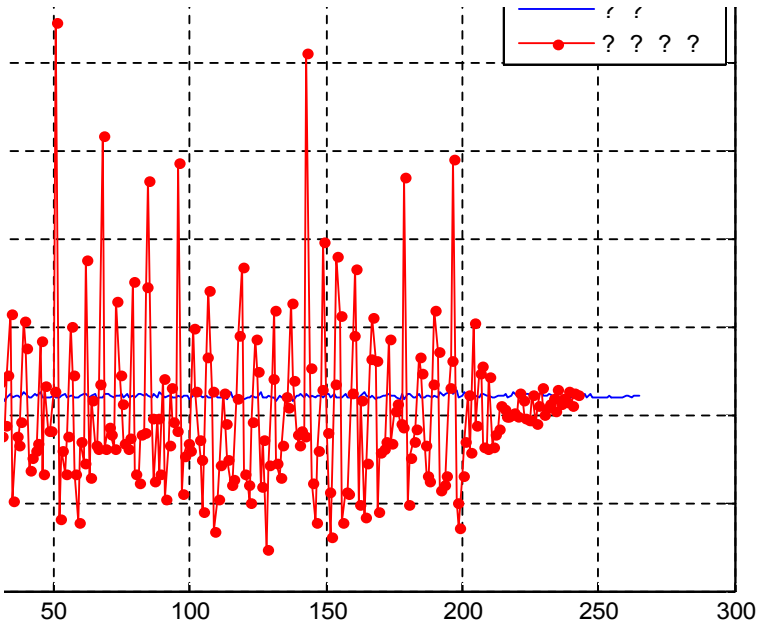


그림 2.129 계단 오름 데이터

▶ 계단 내림 상태

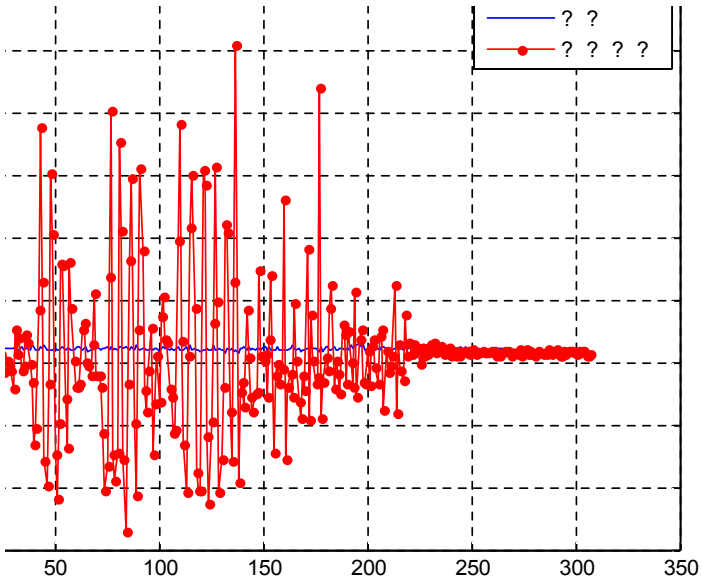


그림 2.130 계단 내림 데이터

▶ 비교 데이터

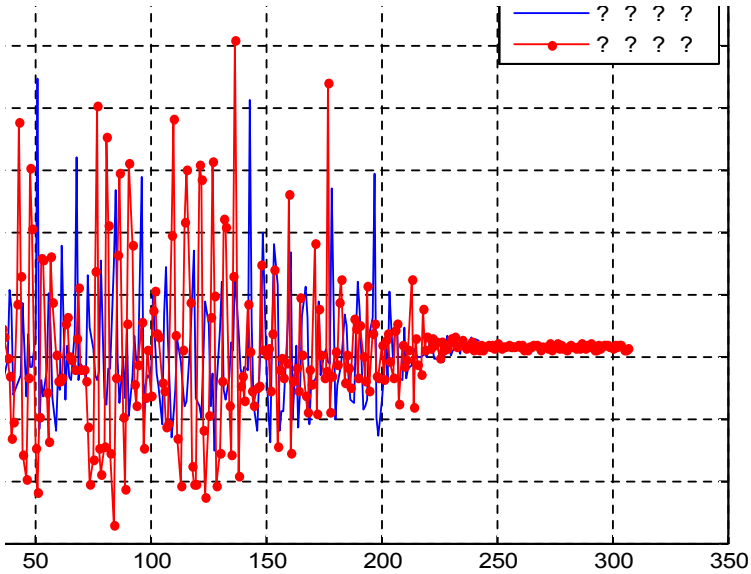


그림 2.131 계단 오름/내림 비교 데이터

· 내림 상태에서의 Peak 값이 더 높게 나타남.
· 상태에 따른 case 문 추가하여, 특정 구간에서의 위치 정확도를 향상
· 보폭 알고리즘 변경 후 터널 시험에 적용 예정.

㈐ 3차 테스트 : 2014년 7월 02일

연구 수행 내용	해결 과제
● 단말기-현장서버-관제서버 연동 시험 ● 가상게이트 진입/진출 확인 ● 상태 정보 확인	● 상태정보를 이용한 작업자 응급 상황 감지 기능 보완

▶시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장
▶시험 인원 : 총 15명
▶시험 목적 : 차량,작업자 단말기를 이용한 데이터 획득
획득된 데이터를 서버에 전송 (단말기-현장서버 연동시험)
진입/진출 여부 확인
▶시험 내용
· 차량용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험

(a) 차량내부에 고정하여 설치 한 후 차량에서 나오는 차속 펄스를 연결하고 동일 경로를 반복 테스트



그림 2.132 통신모듈과 결합된 차량용 단말기

· 작업자용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험
(a) 작업자 허리에 단단히 고정, 안테나는 안전모에 장착
(b) 동일 경로를 반복 테스트

· 데이터 수신기

(a) 현장서버에 데이터 수신기 설치

(b) 데이터 저장, 데이터 손실 파악 및 DataBase 에 전송여부 확인



그림 2.133 작업자용 단말기



그림 2.134 데이터 수신기

· 시험 절차

(a) 차량용 단말기 실험 , 작업자용 단말기 실험

(b) 현장사무소에서 서버와 단말기의 무선통신 프로토콜, 파일 생성 확인

(c) 가상게이트 진입/ 진출 확인

· 시험 결과

그림 2.135 작업자 단말기 측위 결과

(a) 총 2회 실험

(b) 매 터널 진입 시점에서 헤딩 에러가 발생

(c) 원인 : pns 단말기 장착시 흔들림 발생

터널 입구점에서 GPS 헤딩 오차에 따른 에러

(d) 해결 방안 : 터널 입구점에서 헨 status 분석

보정 필터 적용 계획

GPS module 의 Pedestrian mode 기능 활용

그림 2.136 차량용 단말기 측위 결과1

1차 진입 /진출 궤적이 정확히 표현

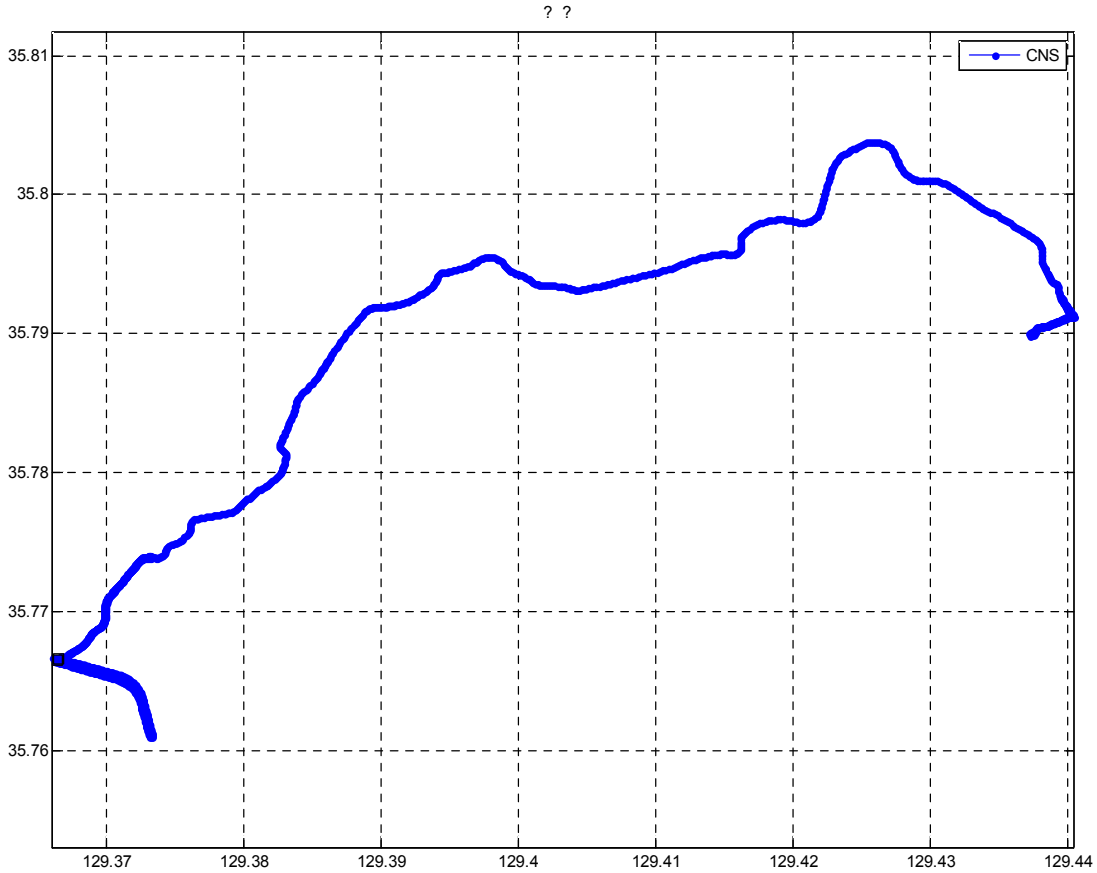
2차 진출시 후진 신호 미적용으로 인한 Heading Bias 오차 발생

해결 방안 : 후진 신호를 반영한 알고리즘 설계

그림 2.137차량용 단말기 측위 결과2

그림 2.138 차량용 단말기 측위 결과3

실험3의 경우 PNS 단말기와 직접 PC와 연결 데이터를 1초에 한번 획득



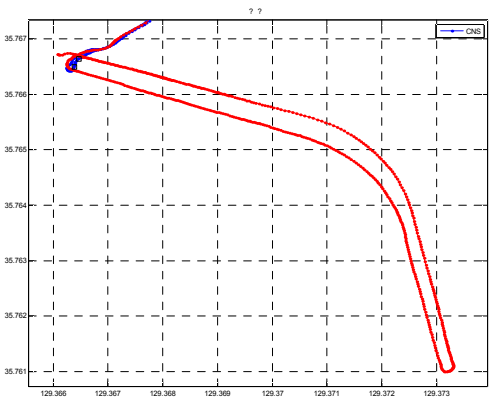


그림 2.139관제사무소와 터널사이의 위치 데이터

㉮ 4차 테스트 : 2014년 7월28일

연구 수행 내용	해결 과제
● 단말기-현장서버-관제서버 연동 시험 ● 작업자 및 차량 단말기 동시 시험 ● 무선 데이터 통신 장비 시험(Air gate)	● 작업자 단말기 위치 봉향오차 개선 ● 차량 변경에 따른 오차 개선

▶ 시험 장소 : 울산-포항 간 고속국도 7공구 건설공사 현장
▶ 시험 인원 : 총 10명
▶ 시험 목적 : 획득된 데이터를 서버에 전송 (단말기-현장서버 연동시험)
진입/진출 여부 확인
다중 접속 시도
▶ 시험 내용
· 차량용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험
· 차량내부에 고정하여 설치 한 후 차량에서 나오는 차속 펄스를 연결
· 동일 경로를 반복 테스트



그림 2.140 통신모듈과 결합된 차량용 단말기

· 작업자용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험
(a) 작업자 허리에 단단히 고정, 안테나는 안전모에 장착
(b) 동일 경로를 반복 테스트





그림 2.141 작업자용 단말기1



그림 2.142 작업자용 단말기2

▶ 데이터 수신기

· 현장서버에 데이터 수신기 설치

· 데이터 저장, 데이터 손실 파악 및 DataBase 에 전송여부 확인



그림 2.143 데이터 수신기

▶ 무선데이터통신 단말기

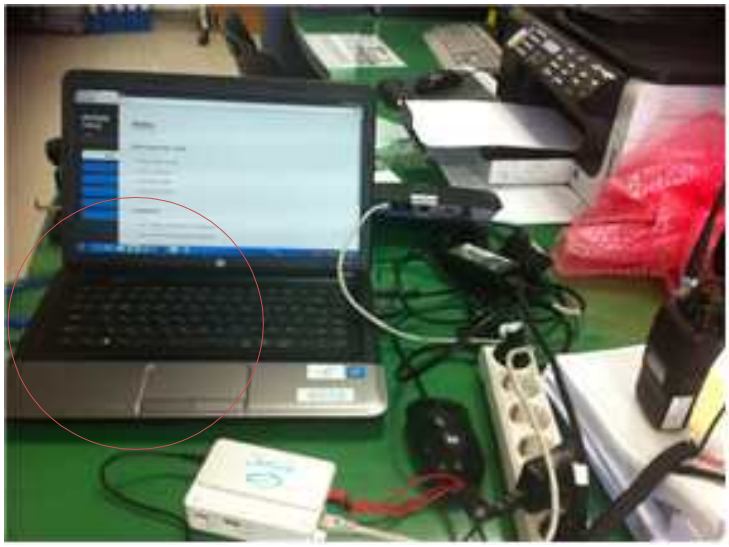


그림 2.144 Air gate

▶ 시험 절차

· 멀티차량용 단말기(2대) , 멀티작업자용 단말기 (5대)
· 현장사무소에서 서버와 단말기의 무선통신 프로토콜, 파일 생성 확인
· 현장서버와 연동하여, 데이터 입출력 여부 확인
· 관제 서버 위치 및 작업자 상태표시 확인
· 멀티 단말기에서 들어오는 데이터 확인 (데이터 손실율 , ID 별 데이터 개수
· 단말기 음성 통신 거리 확인

▶ 시험 결과

그림 2.145 작업자 단말기 측위 결과

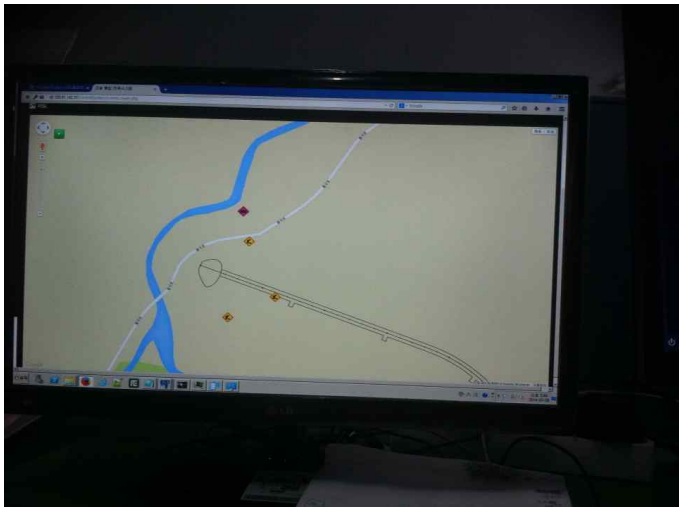


그림 2.146 관제 시스템 화면

· 총 2회 실험
· 5대의 PNS 단말기를 이용하여, 다중 접속을 시도하였으나
· 데이터 전송은 2개의 단말에서만 수신함.
· 터널 진입 시점 헤딩 에러는 발생하지 않지만 터널 진출 시 오차 발생
· GPS module의 Pedestrian mode 기능을 적용

(a) 원인 : PNS 단말기의 장착 시 흔들림 발생과 터널 입구점에서 GPS 헤딩 오차에 따른 에러 발생
단말기의 내부의 시분할 방식 미적용으로 인하여, 데이터가 중복되는 시간으로 들어올시 데이터의 로스가 생길 수 있음
(b) 해결방안 : 이전 실험에 비해 오차발생이 줄었지만, 헤딩 보상관련 필터를 추가로 구현할 필요가 있음.

그림 2.147 차량용 단말기 측위 결과(아반떼1)

그림 2.148 차량용 단말기 측위 결과(아반떼2)

· 아반떼1로 3회 테스트 결과 실험1의 그림과 같이 터널의 궤적은 유사하지만, 기준점과의 오차가 발생하였음.
· 아반떼2로 1회 테스트 결과 실험2의 그림과 같이 진입 시 궤적은 정확하였으나, 진출 시 누적 오차가 발생하였음.
(a) 원인 : 비교 데이터 결과 두 차종은 같지만 차량의 scale factor 값이 다르기 때문에 거리차이가 발생하였음.
(b) 해결 방안 : 후진 신호를 반영한 알고리즘 개선, scale factor 차이점 검토

그림 2.149 차량용 단말기 비교 결과

· 신규 제작 단말기 음성, 데이터 통달 거리 측정



그림 2.150 데이터 통신거리

(a) 데이터 통신 거리 : 약 650m
(b) 음성 통신 거리 : 약 1km

㈐ 5차 테스트 : 2014년 9월1일

연구 수행 내용	해결 과제
● 단말기-현장서버-관제서버 연동시험 ● 차량 단말기 시험	● 차량 단말기 데이터 전송 거리 확장

▶시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장
▶시험 인원 : 총 8명
▶시험 목적 : 획득된 데이터를 서버에 전송 (단말기-현장서버 연동시험)
▶시험 내용
· 차량용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험
· 차량내부에 고정하여 설치 한 후 차량에서 나오는 차속 펄스를 연결
· 동일 경로를 반복 테스트

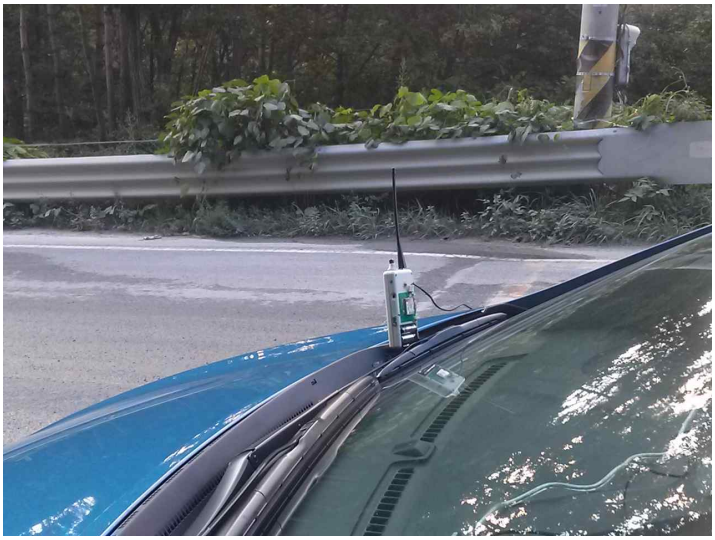


그림 2.151 통신모듈과 결합된 차량용 단말기

▶ 데이터 수신기

· 현장서버에 데이터 수신기 설치

· 데이터 저장, 데이터 손실 파악 및 DataBase 에 전송여부 확인

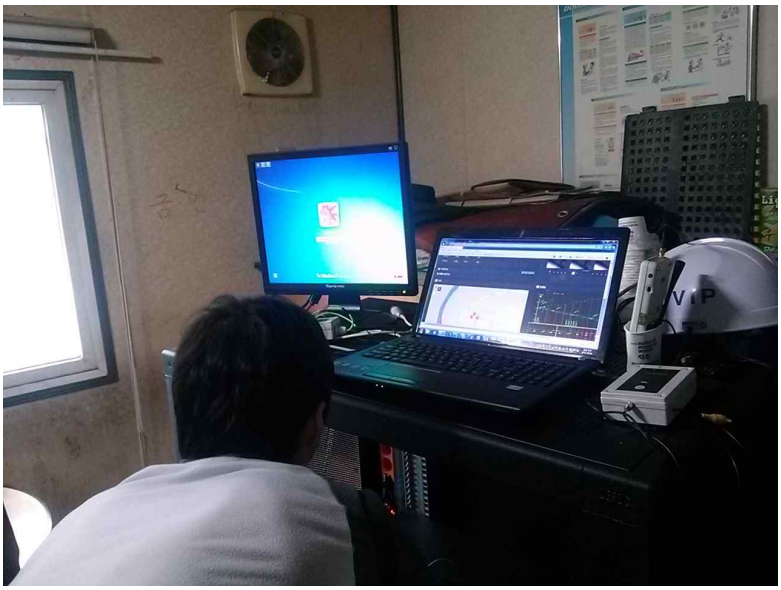


그림 2.152 현장서버

▶ 시험 절차

· 차량용 단말기 (1대)

· 현장 사무소에 설치된 서버와 단말기의 무선 통신 프로토콜 , 파일생성 확인

· 관제 시스템에서 데이터 표출 상태 확인

▶시험 결과

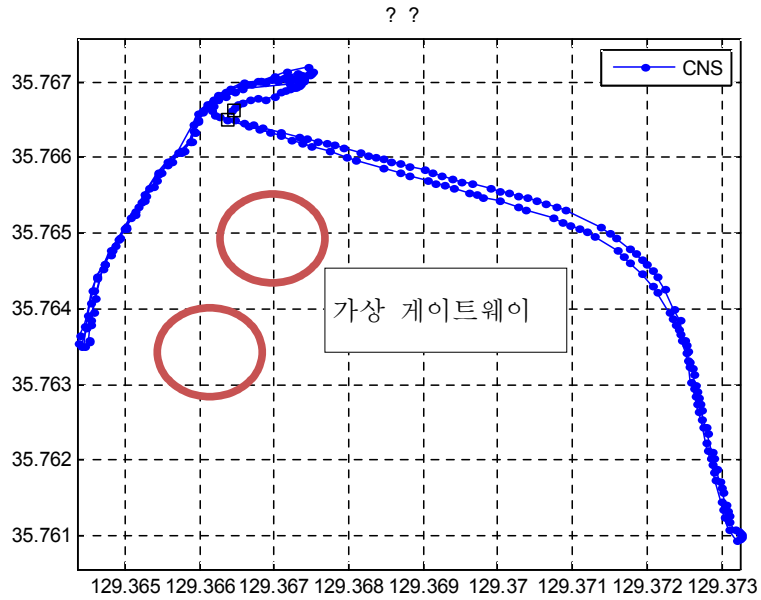


그림 2.153 차량용 단말기 전체 궤적

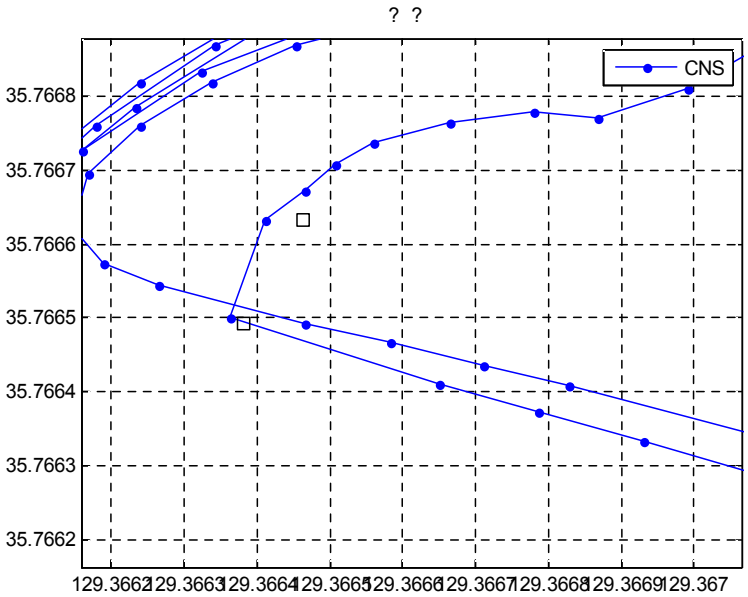


그림 2.154 차량용 단말기 진입/진출

- 차량용 단말기의 궤적 결과 양호
- 진입, 진출 모두 가상게이트웨이 범위 안으로 통과
- 누적 오차 발생 하지 않음.
- 데이터 통신 거리 : 약 1.2Km

㉥ 6차 테스트 : 2014년 10월2일

연구 수행 내용	해결 과제
● 단말기-현장서버-관제서버 연동 시험 ● 작업자 단말기 16대 운용	● 단말기 배터리 충/방전 문제 발생 ● 단말기 16개 동기화 문제 발생

▶시험 장소 :건설기술 연구원

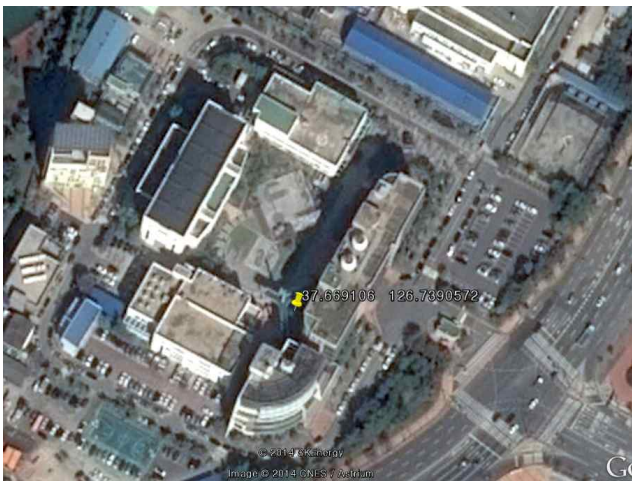


그림 2.155 건설기술연구원

▶시험 인원 : 총 9명

▶시험 목적 : VI_GNSS 포맷을 출력하는 작업자 단말기 16대 성능 테스트
관제 서버 16개 단말기 표시 확인

▶시험 내용

· 시험장비

(a) VI-GNSS 단말기 송신용 16대,수신용 2대

(b) Ch-1송신기 8대 수신기 1대 Long 안테나 사용

(c) Ch-2송신기 8대 수신기 1대 Short 안테나 사용

(d) 충전 박스




그림 2.156 송수신기 및 작업자 단말기 충전박스

▶ 시험 순서

· 오전 시험 : 송수신기 단말기를 근거리 (약 5 미터 반경)에서 성능 테스트 및 장비 상태 체크

· 오후 시험 : 16대 송신기의 이동 성능 테스트



그림 2.157 수신 확인 테스트

▶시험 절차

· 1차 시험 : 총 16대 단말기의 데이터 수신 확인 (ID 확인)

· 2차 시험 : 건설기술연구원 건물 끼고 돌면서 이동

(2명1조[송신기 4대] 3명 2조[송신기 6대] 나머지 6대는 수신기 주변에 위치)

· 3차 시험 : 건기연 주변 직선코드 이동 후 원점 복귀 후

건물 내부 3층까지 이동 후 원점 복귀

건물 내부 3층까지 이동 후 원점 복귀

· 관제 서버 위치 및 작업자 상태표시 확인

▶시험 결과

그림 2.158 ID 1 번/ 11 번 좌표

그림 2.159 ID 2 번/ 12 번 좌표

그림 2.160 ID 3 번/ 13 번 좌표

그림 2.161 ID 4 번/ 14 번 좌표

- 총 16개 동시 수신 가능
- RF 수신 상태는 건물이 가려지면서 수신이 저하되거나 수신이 되지 않음.
- 데이터 포맷 마지막에 공백이 들어감 체크섬1Byte로 짤림 코드수정
- DB 정보가 없기 때문에 정확도 분석 어려움
- RF를 이용한 데이터 저장 과 직접 연결된 데이터 저장의 비교 분석이 필요함
- AlarmNotifier 프로그램 미작동 원인 분석
- AlarmNotifier 폴더에 쌓이는 데이터가 실시간으로 DB로 넘어가지 않음
  전송 속도 문제로 파악
- 작업자 상태표시 출력은 정상적이지만 관제시스템 화면에 표현이 되지않음
  확인

㉮ 7차 테스트 : 2014년 10월14일

연구 수행 내용	해결 과제
● 단말기-현장서버-관제서버 연동 시험 ● VI~GNSS 포맷을 출력하는 모듈을 무선망을 이용하여 데이터 통신거리 확인	● AlarmNotifier 오작동으로 인한 데이터 손실 발생

▶ 시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장
▶ 시험 인원 : 총 8명
▶ 시험 목적 : 단말기-현장서버-관제서버 연동시험
▶시험 내용
· 작업자용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험
· 작업자 허리에 단단히 고정, 안테나는 안전모에 장착
· 동일 경로를 반복 테스트



그림 2.162 통신모듈과 결합된
작업자용 단말기

▶ 데이터 수신기
· 현장서버에 데이터 수신기 설치
· 데이터 저장, 데이터 손실 파악 및 DataBase 에 전송여부 확인

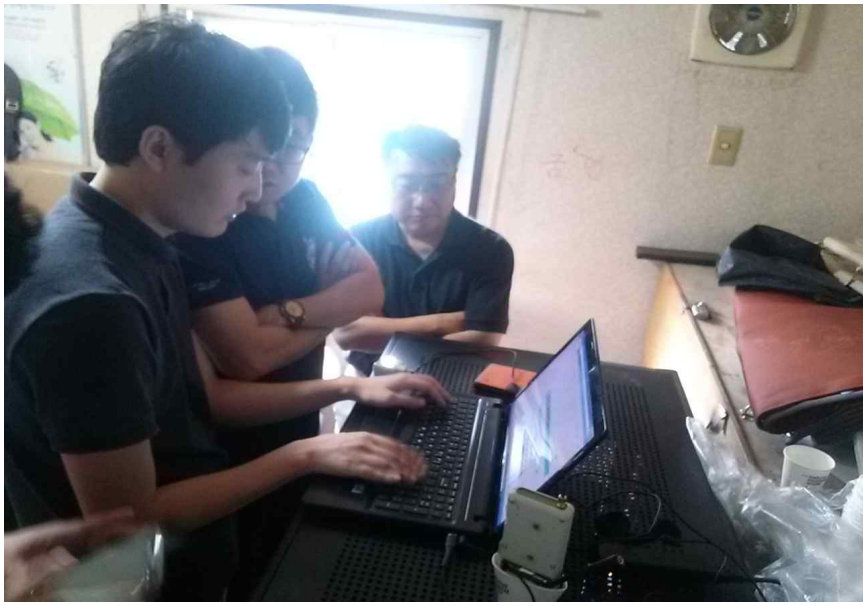


그림 2.163 현장서버

▶시험 절차

・단말기 (1대)

・현장 사무소에 설치된 서버와 단말기의 무선 통신 프로토콜 , 파일생성 확인

・관제 시스템에서 데이터 표출 상태 확인

・터널 주변지역에서 시작 하여, 터널 약 150M 부근 진입 (2회반복)

(a)포켓형태의 작업자 단말기 사용 (우천으로 인해 터널 150 M 진입만 허용함)

▶시험 결과

・터널 각도110° -> 약 65° 틀어짐 발생

・진입, 진출 모두 가상게이트웨이 범위 벗어남

・누적오차는 발생되지 않았지만 터널 진입 각도 틀어짐으로 인한 위치 에러 발생

・데이터 통신 거리 : 양호

・작업자 Flag 확인 : 양호

・작업자 Flag 데이터 양호.

・관제시스템에서는 데이터에서 나오는 Flag 값이 반영되지 못함.

・작업자 단말기의 포켓주머니 장착 후 흔들림 발생 완화

(지속적으로 단말기의 장착 위치과 고정을 고려해야할 필요는 있음)

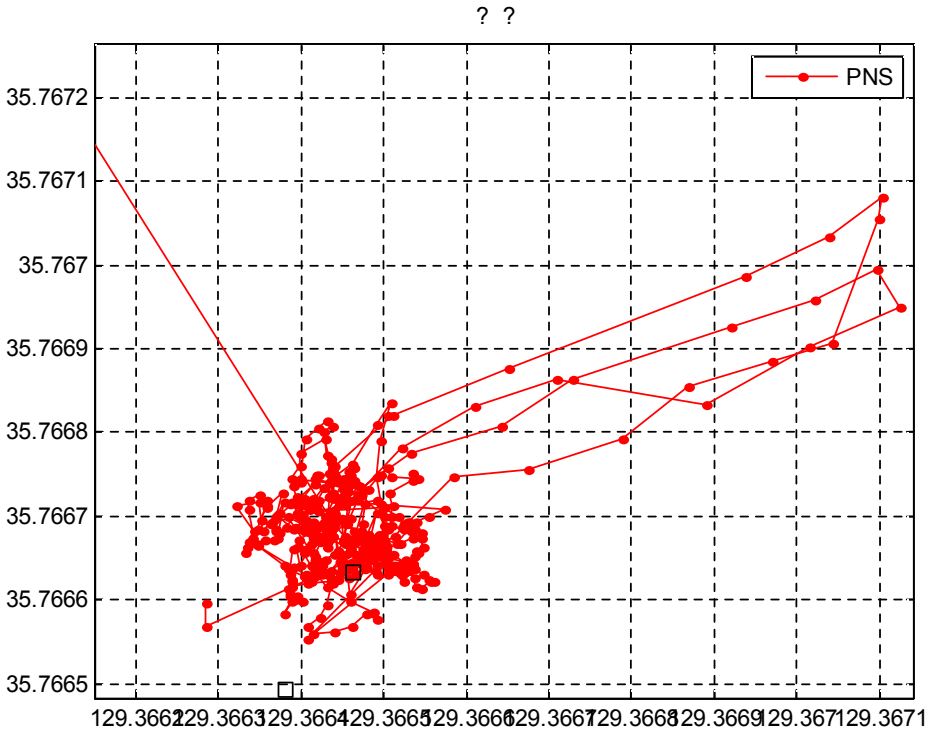


그림 2.164 작업자용 좌표

㉮ 8차 테스트 : 2014년 12월22일

연구 수행 내용	해결 과제
● 신규단말기-현장서버-관제서버 연동 시험 ● 신규단말기 검증 ● 리피터 단말기 검증	● 데이터 출력주기에 따른 DB 전송 에러발생

▶시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장
▶시험 인원 : 총 7명
▶시험 목적
(a) 신규 제작 단말기 검증
(b) 리피터 단말기 검증
(c) CNS, PNS 실험

▶시험 내용

· 차량용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험

· 작업자용 단말기 VI-GNSS 모듈 시험
(a) 작업자 허리에 단단히 고정, 안테나 일체형.
(b) 동일 경로를 반복 테스트



그림 2.165 신규작업자용 단말기

· 신규 데이터,음성 수신기
(a) 현장서버에 데이터 수신기 설치
(b) 데이터 저장, 데이터 손실 파악 및 DataBase 에 전송여부 확인



그림 2.166 리피터

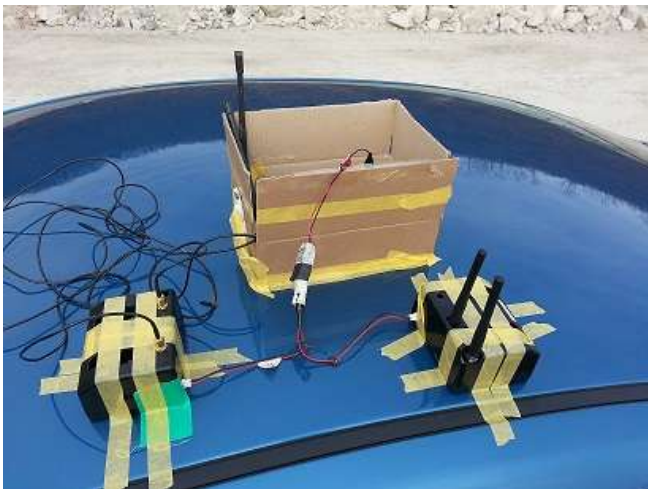


그림 2.167 수신기

· 신규 제작된 단말기의 성능 검증

(a) 단말기의 수신 감도 성능

(b) 단말기 데이터 통신 및 음성 통신 가능 거리 확인

(c) 수신기의 패킷 데이터 오류율

(d) CNS & PNS 실험

· 리피터 구동 실험 및 검증

(a) 통신 불가능 지역을 커버하기 위한 리피터의 성능 검증

(b)실제 서버가 설치된 관제부의 장소가 음영지역에 존재함

(c) 리피터를 터널 정면의 정면을 바라볼 수 있는 지점에 설치하여 실험

▶시험 절차

· 직접 모드 실험 (리피터 미사용)

(a) 터널을 정면으로 바라볼 수 있는 지점에 차량 설치



그림 2.168 터널입구



그림 2.169 차량지붕에 수신기 설치



그림 2.170 단말기 설치

(b) 차량 주변 반경 10 ~ 20[m] 지점에 각 채널 B 8대를 이격시켜 설치

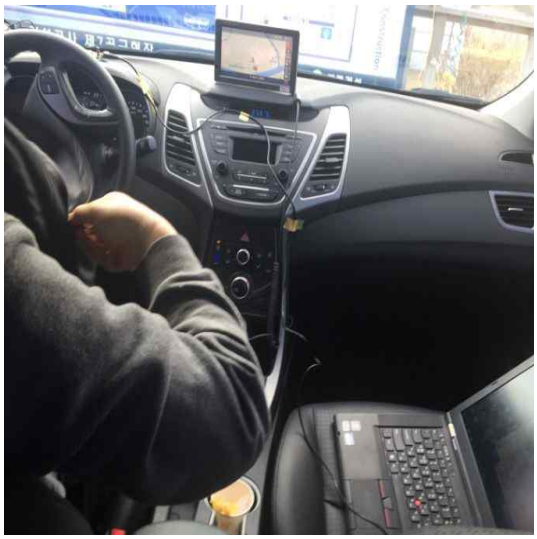




그림 2.171 차량에 CNS 설치 및 PNS 장착



그림 2.172 PNS 실험

(c) 관제부에서 데이터 통신 및 음성 통신 확인하며, 수시로 음성통신을 하며 터널 내부로 진입



그림 2.173 리피터 구동 시험

(d) 관제부 수신기 설치 및 안테나 배치

▶시험 결과

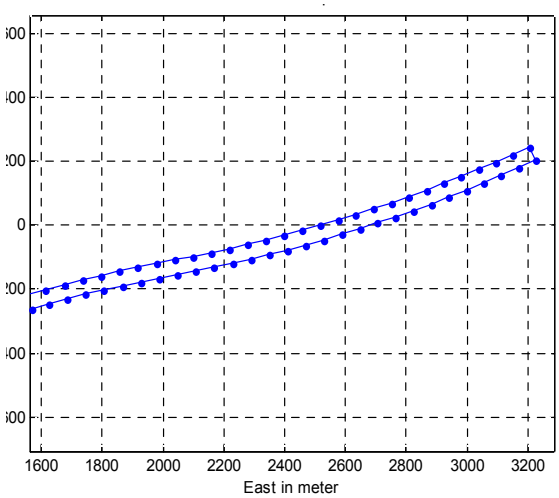


그림 2.174 터널 구간 DB

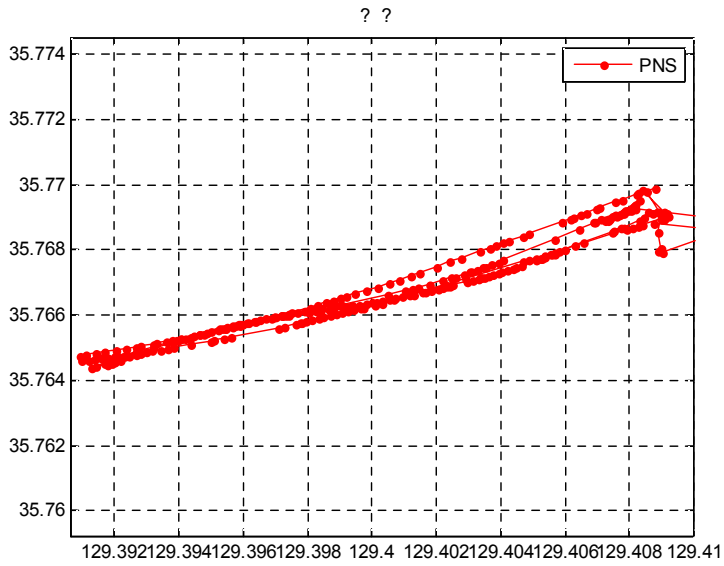


그림 2.175 . 차량용 신규단말기

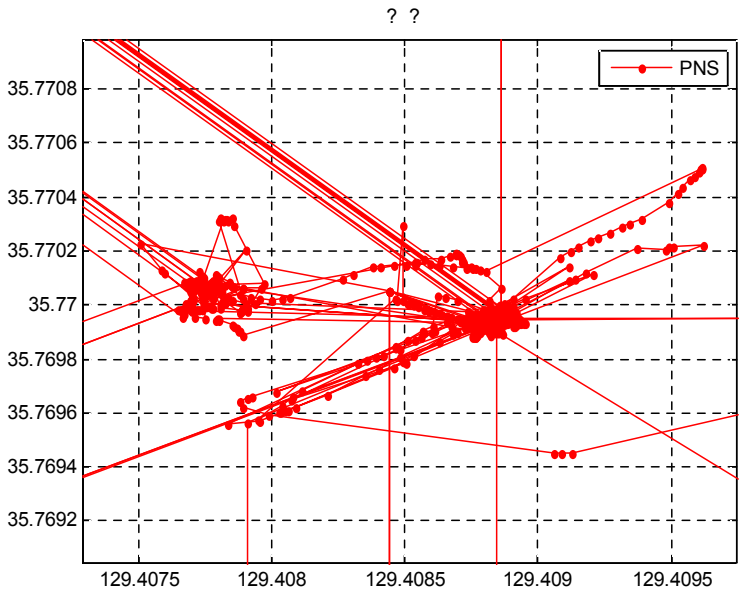


그림 2.176 작업용 신규단말기

- 차량용 단말기의 궤적 결과 양호
- 진입, 진출 가상게이트웨이 미설치로 인해 확인 불가
- 누적 오차 발생 하지 않음.
- 작업자용 단말기 궤적 ID.1~ID.8
- 3개 단말기 헤딩 에러 발생
- 5개 단말기 정상 터널진입

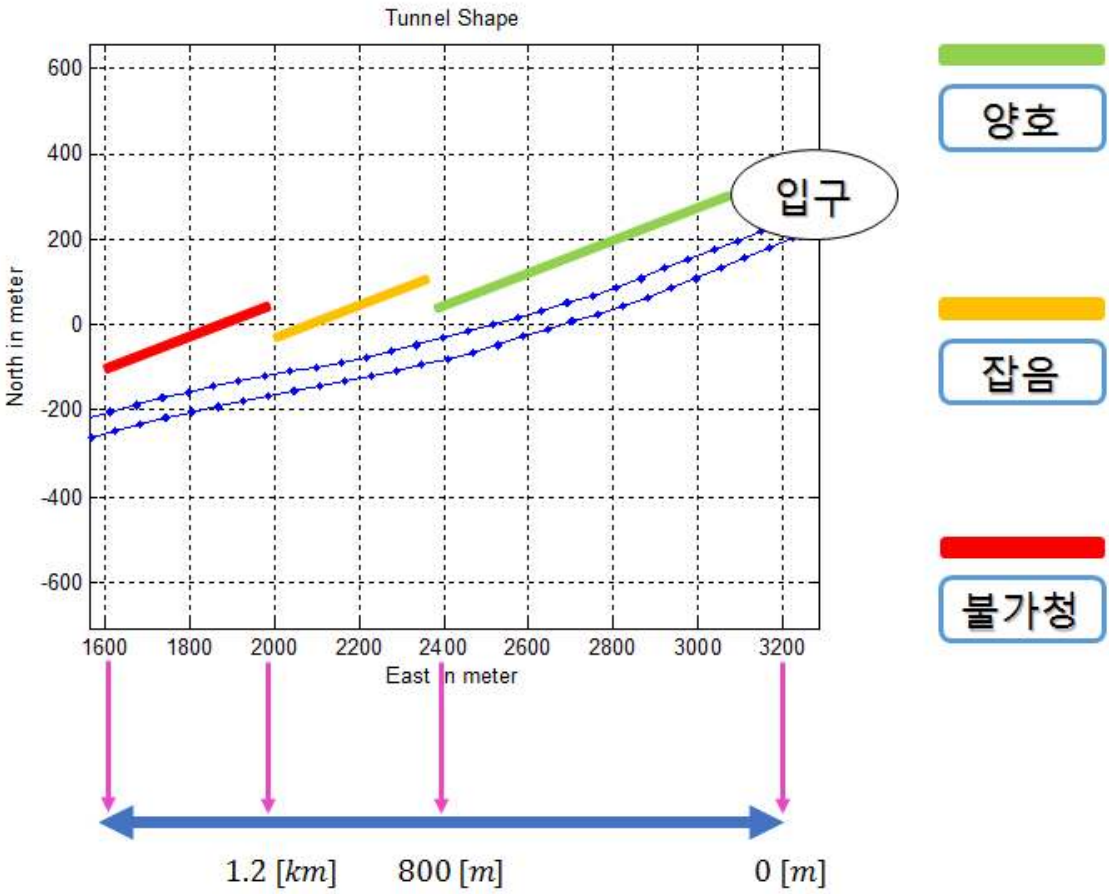


그림 2.177 Tunnel Shape

・직선 구간 1.2km 의 데이터 음성 전송이 가능.
・곡선구간, 1.2km 이후의 데이터 전송은 리피터를 이용하여 가능.
・리피터 사용 시 1.7배의 통신거리를 확보 가능.

▶향후 개선 사항
・반대쪽 터널입구에 가상게이트웨이 설치
・신규단말기 장착위치 재검토
・안테나 일체형 단말기로 인한 데이터 및 음성 통달거리 확보

② 작업자 및 이동차량 단말기 인증 실험

건설현장의 특수성을 고려하여 단말기 인증시험이 필요하다. 인증 시험은 공인 인증기관업체를 이용하여 건설현장에 적합한 항목을 중심으로 단말기의 인증 시험을 실시하였다.

항목번호	주요 성능지표	단위	최종 목표	시료 수	시험 규격	시험장소	소요 시간	시험그룹
1	위치정확도(수평)	meter	10	10	공인성적서	실내/야외	5h	A1
	위치정확도(수직)	meter	2	10	공인성적서	실내/야외	5h	A1
2	동시운용단말기 수	개수	32	32	공인성적서	내부	1h	B1
3	통달거리(LOS)	meter	200	10	공인성적서	야외	5h	A2
4	최대운용시간	hour	8	10	공인성적서	내부	9h	B3
5	상태진단시간	sec	5	10	공인성적서	내부	1h	B2
6	긴급송신시간	sec	2	10	공인성적서	내부	1h	B2
7	단말기 항온	℃		10	공인성적서	장비	2h	C
8	단말기 방수			10	공인성적서	장비	4h	D
9	단말기 충격	N		10	공인성적서	장비	2h	E
						합계	35h	

그림 2.178 인증 항목 차트

그림과 같이 위치 정확도, 통달거리,최대운용시간,상태진단시간,긴급송신시간,단말기항온,방수,충격 등의 항목으로 제작된 단말기를 검증하였다.

㉮ 위치정확도

□ 시험 조건

시험 단말기는 허리뒤쪽에 착용, 안테나 방향은 상향으로, 단말기가 흔들리지 않도록 고정하고, 터널이나 건물 내 직선 이동 구간과 상하 이동 구간을 반복 보행하였다.

- 수평 측정: 건물내에서 좌, 우 보행을 포함한 약 98 m (가로 17 m, 세로 7m의 방)를 이동
- 수직 측정: 계단을 이용한 층간 이동 (높이 약 7.4m), 또는 엘리베이터를 이용한 이동

최초 출발점에 되돌아왔을때 수평 및 수직위치 편차를 수치화 하고, 가능한 동시에 다수의 단말기 이동시험하여 10개 단말기 데이터 확보하였다. 오차 범위 는 수평 10M 수직 1M 이하로 정의하였다.

□ 결과

단말기 번호	수평 이동 후 오차	수직 이동 후 오차	결과
#10	2.89	0.2	오차범위이하
#14	1.25	0.4	오차범위이하
#19	5.17	0.0	오차범위이하
#20	2.69	0.8	오차범위이하
#21	3.71	0.2	오차범위이하
#29	4.24	0.1	오차범위이하
#36	4.48	0.4	오차범위이하
#37	5.63	0.3	오차범위이하
#43	3.67	0.3	오차범위이하
#44	5.46	0.4	오차범위이하

㉯ 통달거리



그림 2.179 통달거리 시험화면

□ 시험 조건

- 시험 단말기와 관제 수신부 간 200미터 거리를 유지한 상태에서의 데이터 수신 여부
- 200미터 이상 거리 확보되는 지역, 또는 건물 20층과 1층 사이 통신 여부
- 단말기를 허리뒤쪽에 부착, 단말기 안테나가 하늘을 향하고 기울지 않게 함
- 작업자가 관제 수신부를 바라보는 상태에서 데이터 수신 여부 측정
- 작업자가 관제 수신부를 등진 상태에서 데이터 수신 여부 측정

□ 결과

시험 단말기 번호	#10#11#14#19#21#25#29#36#44
상태	이상없음

㉰ 운용 시간

□ 시험 조건

- 시험 단말기 10대를 완전히 충전시키고 관제 수신부와 통신 여부 체크
- 수신되는 데이터를 단말기 고유ID별로 저장하도록 세팅
- 총 10대의 시험 단말기를 구동시작하여 8시간 데이터 수집 여부 체크

□ 결과

단말기 번호	동작 시작시간	동작 종료시간	결과
#13	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:27:30	6시간 31분
#14	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:12:50	6시간 16분
#17	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:19:30	6시간 23분
#19	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 23:08:30	3시간 12분
#20	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:20:10	6시간 23분
#21	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:07:50	6시간 11분
#25	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:29:50	6시간 33분
#30	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:22:40	6시간 26분
#34	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:13:20	6시간 17분
#41	2014/09/03 19:56:20	2014/09/04 02:17:00	6시간 20분

㉱ 항온/ 방수 충격 시험



그림 2.180 항온실험



그림 2.181 방수실험



그림 2.182 충격 실험

□ 시험 조건

항온: 시험온도 -20 ℃ 1 H 와 65 ℃ / 90 % 1 H 로 항온조 셋팅
방수: 시험 단말기 10 대를 방수 및 살수 시험기에 세팅
높이: 1M

□ 결과

상태	결과
항온	이상없음
방수	이상없음
충격	이상없음

(가) 작업자 및 이동차량 단말기 운영 및 보완

① 작업자 및 이동차량 단말기 운영 및 보완 결과서



그림 2.183 VI_GNSS 운영시스템 메인화면

㉮ VI-GNSS 운영 프로그램

□ 단말기 운영을 쉽게 파악하기 위한 별도 프로그램을 제작

□ 확장성을 고려한 다채널 방식의 프로그램 설계진행

□ 상태표시 위급상황 발생 시 LED 점등 표시

㉯ 채널 구성 (1 채널 32 개의 단말기 구동 및 표현 가능)

□ 터널 DB와 32개 단말기 위치 표현가능

㉰ VI-GNSS 운영시스템 세부기능

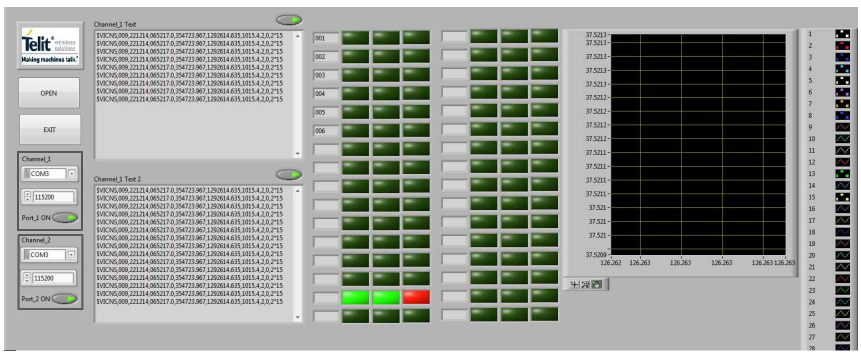


그림 2.184 VI-GNSS 실시간 데이터 출력화면

□ 멀티 포트 지원

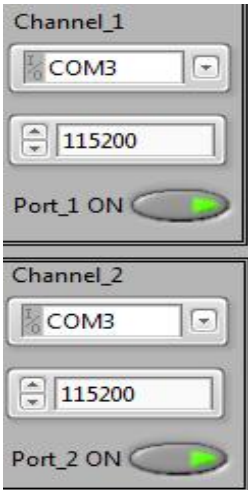


그림 2.185
멀티채널

- 2개의 수신기를 이용한, 32개의 단말기 모니터링 가능

□ 실시간 데이터 확인

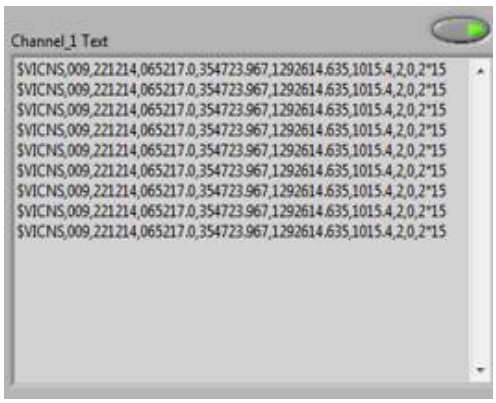


그림 2.186 실시간 데이터 확인

- 텍스트창을 이용한 실시간으로 데이터 확인

□ 상태표시확인

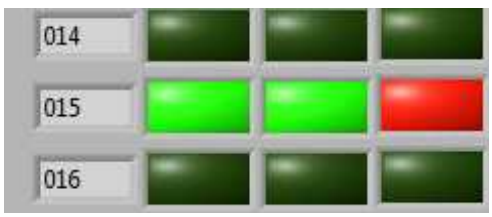


그림 2.187 상태표시확인

- VI-GNSS 프로토콜에 정의된 상태정보에 맞는 LED 색 표시

※ VI-GNSS단말기 데이터 포맷 확인

□ 32개 좌표데이터 표현가능

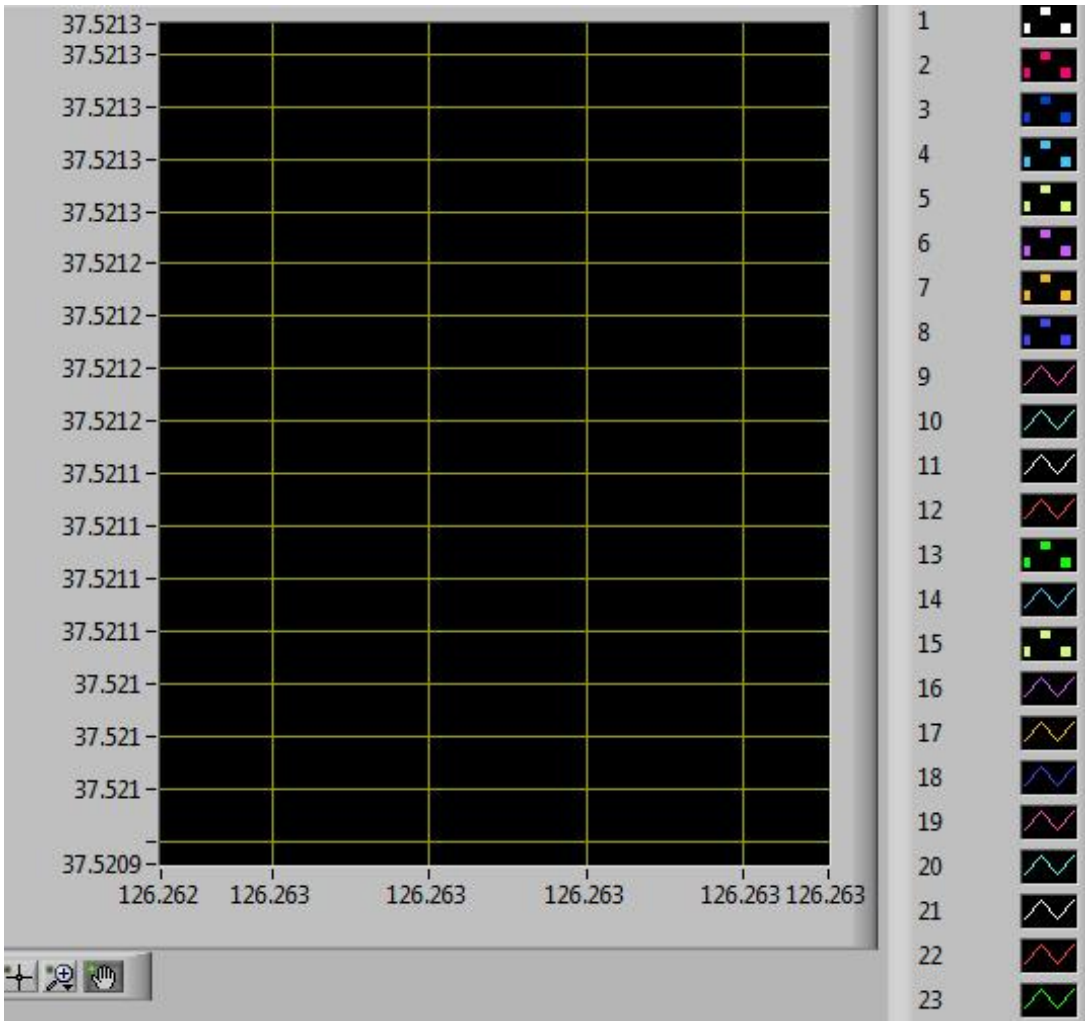


그림 2.188 단말기 오차확인 분석

- 단말기 좌표 와 터널 DB를 입력하여, 터널과 단말기의 오차확인 분석
- 좌표 정보는 누적되지 않음
- 실시간으로 표현

㉮ 보완사항

□ 데이터 주기

- 기존 ID별 데이터 생성주기 : 5~7초

▪ 문제점 : 차량의 경우 5초 동안 이동거리가 많기 때문에 응급상황발생 및 단말기의 전원이 꺼졌을 경우 큰 오차가 발생 가능

▪ 개선사항 : 신규단말기 제작을 통하여 무선데이터 통신 주기도 5초 이내 데이터 생성주기 변경이 필요함

□ 소프트웨어

▪ 문제점 : 작업자 상태 표시(LED)만으로 작업자 상태를 파악하기 어려움
데이터 깨짐 발생 시 확인이 어려움
(실시간으로 들어오는지 육안으로 계속 확인해야함)
궤적 표시부분에서 ID 별 색깔이 구별하기 어려움.

▪ 개선 사항 : LED 표시화면에 상태정보를 색깔과 텍스트로 동시로 화면에 표현
궤적 표시부분은 색깔과 ID번호를 부여
에러 상태 표시 LED 추가하여 에러 발생 시 점등할 수 있도록 기능 구현

2. 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템

가. 연구수행결과

(1) 1차년도 연구수행결과

(가) 지상·지하의 3차원 위치추적을 위한 시험 보드 제작 및 성능 분석

① 위치인식기술 건설 현장 활용성 테스트 및 골전도 음성통신 건설 현장 활용성 테스트

- Binary CDMA방식 무선통신 모듈의 현장 활용성 시험 6회 실시
- GNSS 및 MEMS 기반 위치인식기술 현장 활용성 시험 6회 실시
- 골전도 음성통신 헤드셋의 현장 활용성 시험 6회 실시

·1차 실험 장소 : 강남순환고속도로 터널현장
·1차 실험 일시 : 5월 25일
·2차 실험 장소 : 일산 위브더제니스 지하주차장 건설현장
·2차 실험 일시 : 6월 15일
·3차 실험 장소 : 해운대 AID아파트 재건축 건설현장
·3차 실험 일시 : 7월 6일
·4차 실험 장소 : 호남고속철도 영곡터널 건설현장(1차)
·4차 실험 일시 : 8월 14일
·5차 실험 장소 : 호남고속철도 영곡터널 건설현장(2차)
·5차 실험 일시 : 9월 25일
·6차 실험 장소 : 울산-포항 복전철화구간 송정터널
·6차 실험 일시 : 2013년 1월 3일

② 현장 작업환경 분석 / 공정별 작업환경 분석

○ 지하구조물 건설 시공 현장별 작업환경 분석

- 건설 시공현장 작업환경 분석 2회 실시

·1차 실험 장소 : 해운대 AID아파트 재건축 건설현장

·1차 실험 일시 : 7월 6일

·2차 실험 장소 : 호남고속철도 영곡터널 건설현장(2차)

·2차 실험 일시 : 9월 25일

(1) 2차년도 연구수행결과

(가) 무선통신기반 데이터 및 음성 정보의 실시간 공유를 위한 게이트웨이 중심의 현장서버시스템 개발

① 현장서버 구축 방안

터널의 작업자 및 차량에 대한 센서정보를 건설시공사 관제센터까지 전송하기 위해서는 작업자 및 차량 위치와 상태정보를 전송하기 위한 전용 단말기를 제작하고 터널입구의 현장사무소에 현장서버를 구축하여 센서정보를 수집한다. 이때 현장서버의 네트워크 수신부는 작업자 및 차량 단말기와 동일한 타입의 단말기를 설치하여 센서정보를 수신한다. 수집된 센서정보는 현장서버에서 데이터를 생성시키고 관제시스템 전송을 위한 전용 서비스를 통해 센서정보를 읽어 들여 관제시스템으로 전송함으로써 DB에 저장한다. 현장서버의 역할은 지하 터널내의 작업자와 차량의 센서정보를 관제시스템에 전송하기 위한 수집 및 전송을 담당하는 중계역할을 담당한다.

② 현장서버시스템 설계

현장운영시스템은 터널내의 작업자 및 차량에 대한 센서정보를 수집하여 텔릿와이즈의 데이터 생성프로그램에 의해 데이터를 생성시키고 지정폴더로 센서 수집데이터를 이관하면 한 개의 파일당 5개의 센서정보를 EOF로 읽어 들여 통합관제시스템으로 데이터를 전송한다. 이때 전송을 위한 파일 감지 간격은 0.1초로 센서정보를 읽어 들여 센서 데이터를 전송한다. 또한 전송되는 정보는 Windows 기반의 서비스로 등록하여 신속하게 통합관제시스템으로 센서정보들을 전송한다. 기아급수적으로 적재가 되는 센서파일의 수량 및 용량을 감안하여 관제시스템으로 센서정보를 전송하면 파일을 삭제하여 시스템 운영 및 디스크 용량의 활용성과 운영성을 고려하였으며, 센서정보를 읽어들이고 관제시스템으로 전송하는 일련의 절차에서 프로세스의 충돌이 발생할 가능성이 있어 현장서버시스템에서 파일을 감지하고 관제시스템으로 프로세스를 호출하는 방식으로 프로그램을 설계하였다.

■ 현장운영시스템 작동 절차

현장운영시스템이 실행되면 동시에 서비스로 전송서비스가 실행된다.

전송서비스는 동작 시 특정폴더(AlarmNotifier)를 감시한다.

센서정보를 생성하여 AlarmNotifier폴더로 이관이 되면 서비스는 생성된 센서정보 파일을 감시한다.
센서정보 파일을 읽어 들여 내용을 분석한다.
센서정보 파일의 내용을 분석하고 데이터를 파싱하여 데이터를 추출한다.
분석된 센서정보를 건설현장 통합관제시스템으로 전송한다.

■ 유스케이스 다이어그램

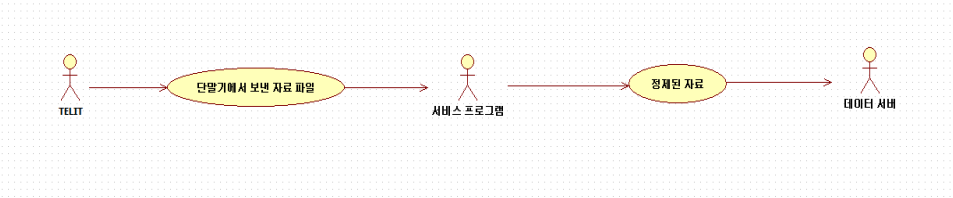


그림 2.189 현장서버시스템 유스케이스 다이어그램

(3) 3차년도 연구수행결과

(가) 현장서버시스템 시스템 성능 및 인증프로세스 구축

① 현장서버시스템 성능 실험

㉮ 시험 개요

○ 시험 날짜

- 2014년 5월 29일, 7월 02일, 7월 28일, 9월 1일, 10월2일 (5회)

○ 시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장

○ 시험 목적

- 현장서버시스템 성능 테스트
- 관제시스템 성능 테스트
- 관제 관리자시스템 성능 테스트

○ 시험 장비

- 고정형 관제시스템(서버) 1대
- 고정형 현장서버시스템(서버) 1대
- 이동용 현장서버시스템(Notebook Computer(Intel i3 이상)) 1대(예비)

㉯ 실험 내용

○ 현장서버시스템

- 현장서버 환경설정 및 프로그램 설치
- 현장서버시스템 및 관제시스템 현장실험 환경 설정
- 센서정보 전송확인 테스트 및 시리얼통신 프로그램 테스트
- 현장서버시스템과 관제시스템 간의 메시지 전송 테스트

○ 관제시스템

- 관제시스템에서 데이터 전송 및 DB저장 정상유무 확인

- 관제시스템에서 CCTV 영상 표출 확인
- 관제시스템에서 작업자/차량 위치 표출 확인
- 단면도에서 작업자 및 차량 위치 표출 확인
- 관제 Main 시스템 / SUB시스템 기능 테스트
- 관제 관리시스템 성능 테스트

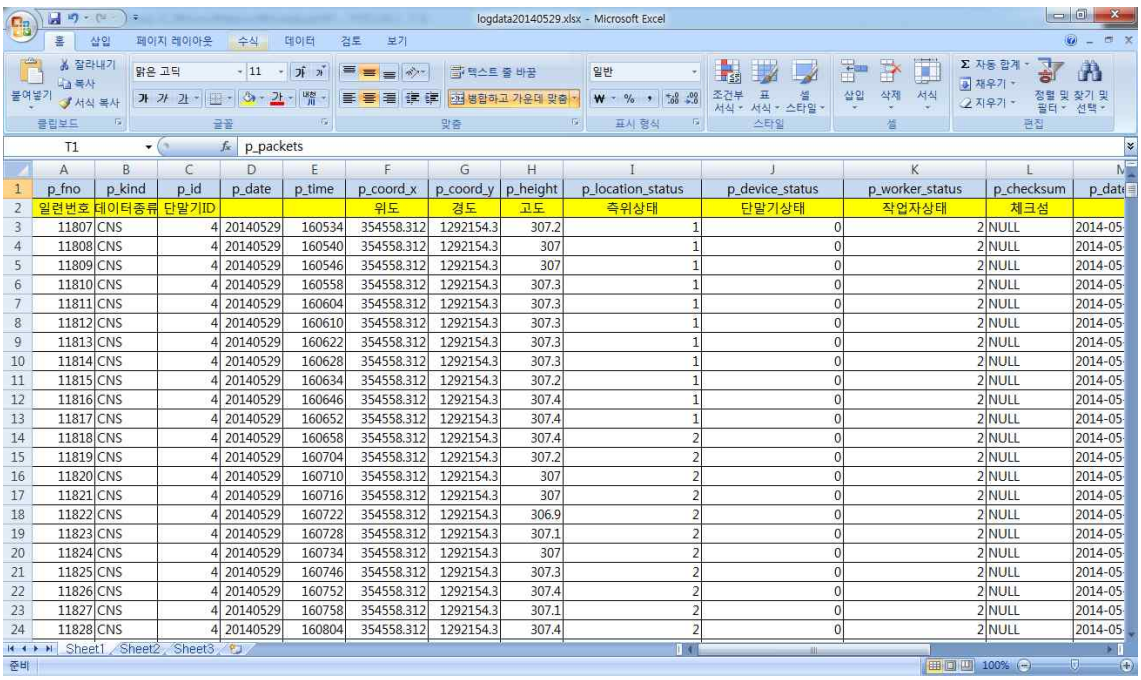
㉰ 성능 실험 결과

□ 1차 실험 : 2014년 5월 29일

○ 시험결과 (CNS/PNS)

- 실험시간 : 16시 07분 ~ 17시 27분
- 센서 정상 데이터 필터링율 : 97.3%
- 센서 데이터 전송율(현장->관제시스템) : 100%
- 센서 데이터 생성 누락율 : 2.7%
- 센서 데이터 전송서비스율 : 100%

분류	총건수	정상수신	수신실패
CNS/PNS	693	674	19
	100%	97.3%	2.7%



logdata20140529.xlsx - Microsoft Excel

T1 p_packets

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N
1	p_fno	p_kind	p_id	p_date	p_time	p_coord_x	p_coord_y	p_height	p_location_status	p_device_status	p_worker_status	p_checksum	p_dat
2	일련번호	데이터종류	단말기ID			위도	경도	고도	측위상태	단말기상태	작업자상태	체크섬	
3	11807	CNS	4	20140529	160534	354558.312	1292154.3	307.2	1	0	2	NULL	2014-05
4	11808	CNS	4	20140529	160540	354558.312	1292154.3	307	1	0	2	NULL	2014-05
5	11809	CNS	4	20140529	160546	354558.312	1292154.3	307	1	0	2	NULL	2014-05
6	11810	CNS	4	20140529	160558	354558.312	1292154.3	307.3	1	0	2	NULL	2014-05
7	11811	CNS	4	20140529	160604	354558.312	1292154.3	307.3	1	0	2	NULL	2014-05
8	11812	CNS	4	20140529	160610	354558.312	1292154.3	307.3	1	0	2	NULL	2014-05
9	11813	CNS	4	20140529	160622	354558.312	1292154.3	307.3	1	0	2	NULL	2014-05
10	11814	CNS	4	20140529	160628	354558.312	1292154.3	307.3	1	0	2	NULL	2014-05
11	11815	CNS	4	20140529	160634	354558.312	1292154.3	307.2	1	0	2	NULL	2014-05
12	11816	CNS	4	20140529	160646	354558.312	1292154.3	307.4	1	0	2	NULL	2014-05
13	11817	CNS	4	20140529	160652	354558.312	1292154.3	307.4	1	0	2	NULL	2014-05
14	11818	CNS	4	20140529	160658	354558.312	1292154.3	307.4	2	0	2	NULL	2014-05
15	11819	CNS	4	20140529	160704	354558.312	1292154.3	307.2	2	0	2	NULL	2014-05
16	11820	CNS	4	20140529	160710	354558.312	1292154.3	307	2	0	2	NULL	2014-05
17	11821	CNS	4	20140529	160716	354558.312	1292154.3	307	2	0	2	NULL	2014-05
18	11822	CNS	4	20140529	160722	354558.312	1292154.3	306.9	2	0	2	NULL	2014-05
19	11823	CNS	4	20140529	160728	354558.312	1292154.3	307.1	2	0	2	NULL	2014-05
20	11824	CNS	4	20140529	160734	354558.312	1292154.3	307	2	0	2	NULL	2014-05
21	11825	CNS	4	20140529	160746	354558.312	1292154.3	307.3	2	0	2	NULL	2014-05
22	11826	CNS	4	20140529	160752	354558.312	1292154.3	307.4	2	0	2	NULL	2014-05
23	11827	CNS	4	20140529	160758	354558.312	1292154.3	307.1	2	0	2	NULL	2014-05
24	11828	CNS	4	20140529	160804	354558.312	1292154.3	307.4	2	0	2	NULL	2014-05

Sheet1 Sheet2 Sheet3

그림 2.190 5월 29일 실험시 전송된 GNS 내역

□ 2차 실험 : 2014년 7월 02일

○ 시험결과 (CNS)

- 실험시간 : 17시 37분 ~ 18시 52분

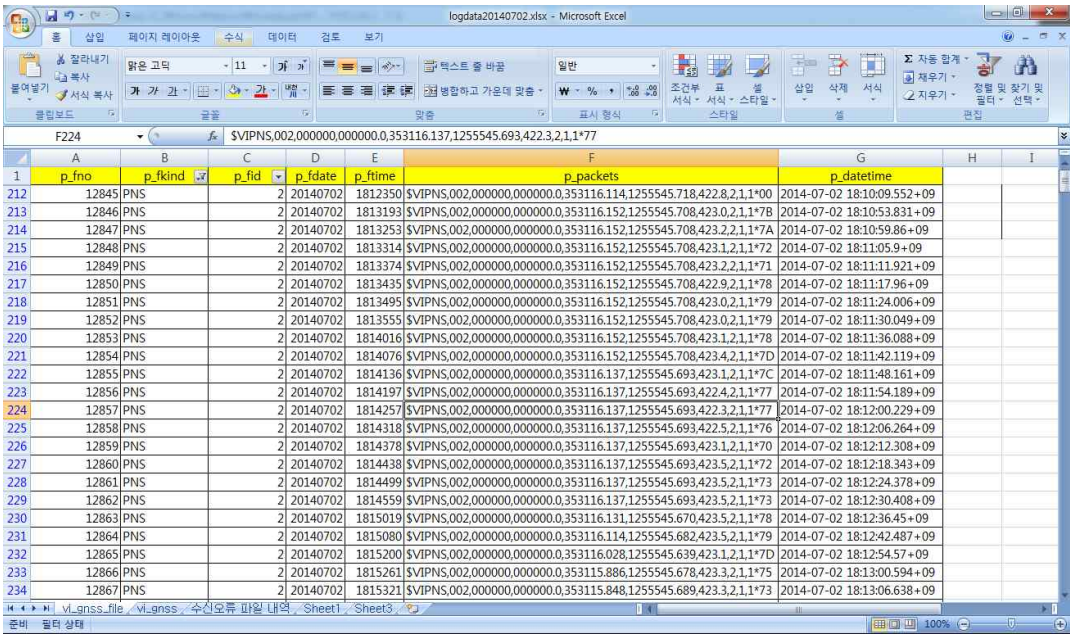
- 실험개시 후 위치표출 불능 상태가 지속되었으나 위치정보 로직 변경을 통하여 해결
- 센서 정상 데이터 필터링율 : 97.3%
- 센서 데이터 전송율(현장->관제시스템) : 100%
- 센서 데이터 생성 누락율 : 2.7%
- 센서 데이터 전송서비스율 : 100%

분류	총건수	정상수신	수신실패
CNS	215	210	5
	100%	97.7%	2.3%

○ 시험결과 (PNS)

- 실험시간 : 17시 37분 ~ 18시 52분
- 실험 초기에 표출에 문제가 있었으나 GPS장비교체 후 실험진행 → 전문상의 경도 위치가 정상표출됨
- 센서 정상 데이터 필터링율 : 94.5%
- 센서 데이터 전송율(현장->관제시스템) : 100%
- 센서 데이터 생성 누락율 : 5.5%
- 센서 데이터 전송서비스율 : 100%

분류	총건수	정상수신	수신실패
PNS	236	223	13
	100%	94.5%	5.5%



	A	B	C	D	E	F	G
1	p_fno	p_fkind	p_fid	p_fdate	p_ftime	p_packets	p_datetime
212	12845	PNS	2	20140702	1812350	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.114,1255545.718,422.8,2,1,1*00	2014-07-02 18:10:09.552+09
213	12846	PNS	2	20140702	1813193	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,423.0,2,1,1*7B	2014-07-02 18:10:53.831+09
214	12847	PNS	2	20140702	1813253	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,423.2,2,1,1*7A	2014-07-02 18:10:59.86+09
215	12848	PNS	2	20140702	1813314	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,423.1,2,1,1*72	2014-07-02 18:11:05.9+09
216	12849	PNS	2	20140702	1813374	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,423.2,2,1,1*71	2014-07-02 18:11:11.921+09
217	12850	PNS	2	20140702	1813435	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,422.9,2,1,1*78	2014-07-02 18:11:17.96+09
218	12851	PNS	2	20140702	1813495	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,423.0,2,1,1*79	2014-07-02 18:11:24.006+09
219	12852	PNS	2	20140702	1813555	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,423.0,2,1,1*79	2014-07-02 18:11:30.049+09
220	12853	PNS	2	20140702	1814016	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,423.1,2,1,1*78	2014-07-02 18:11:36.088+09
221	12854	PNS	2	20140702	1814076	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.152,1255545.708,423.4,2,1,1*7D	2014-07-02 18:11:42.119+09
222	12855	PNS	2	20140702	1814136	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.137,1255545.693,423.1,2,1,1*7C	2014-07-02 18:11:48.161+09
223	12856	PNS	2	20140702	1814197	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.137,1255545.693,422.4,2,1,1*77	2014-07-02 18:11:54.189+09
224	12857	PNS	2	20140702	1814257	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.137,1255545.693,422.3,2,1,1*77	2014-07-02 18:12:00.229+09
225	12858	PNS	2	20140702	1814318	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.137,1255545.693,422.5,2,1,1*76	2014-07-02 18:12:06.264+09
226	12859	PNS	2	20140702	1814378	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.137,1255545.693,423.1,2,1,1*70	2014-07-02 18:12:12.308+09
227	12860	PNS	2	20140702	1814438	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.137,1255545.693,423.5,2,1,1*72	2014-07-02 18:12:18.343+09
228	12861	PNS	2	20140702	1814499	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.137,1255545.693,423.5,2,1,1*73	2014-07-02 18:12:24.378+09
229	12862	PNS	2	20140702	1814559	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.137,1255545.693,423.5,2,1,1*73	2014-07-02 18:12:30.408+09
230	12863	PNS	2	20140702	1815019	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.131,1255545.670,423.5,2,1,1*78	2014-07-02 18:12:36.45+09
231	12864	PNS	2	20140702	1815080	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.114,1255545.682,423.5,2,1,1*79	2014-07-02 18:12:42.487+09
232	12865	PNS	2	20140702	1815200	$VIPNS,002,000000,000000.0,353116.028,1255545.639,423.1,2,1,1*7D	2014-07-02 18:12:54.57+09
233	12866	PNS	2	20140702	1815261	$VIPNS,002,000000,000000.0,353115.886,1255545.678,423.3,2,1,1*75	2014-07-02 18:13:00.594+09
234	12867	PNS	2	20140702	1815321	$VIPNS,002,000000,000000.0,353115.848,1255545.689,423.3,2,1,1*73	2014-07-02 18:13:06.638+09

그림 2.191 7월 2일 실험시 전송된 GNS 내역

□ 3차 실험 : 2014년 7월 28일

○ 시험결과 (센서정보 전송)

- 실험개시 후 위치표출이 안됨 (17시 35분 ~ 17시 50분)
- 관제시스템 서버 IP를 기존 IP로 재 변경
- 조치 후에는 정상적으로 표출됨(지도, 종단면도)

○ 시험결과 (CNS)

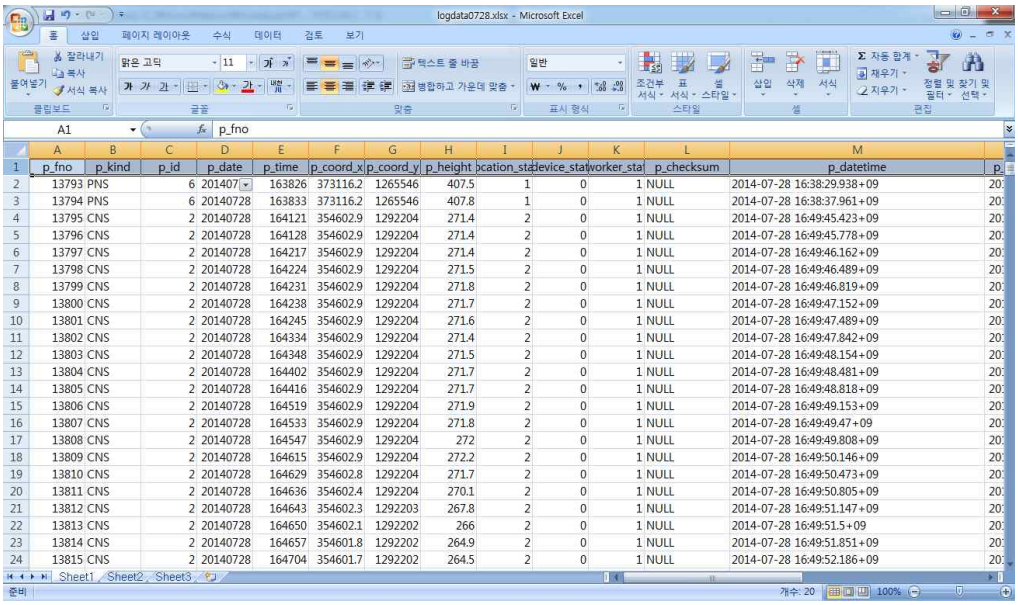
분류	총건수	정상수신	수신실패
CNS	232	214	18
	100%	92.2%	7.8%

- 센서 정상 데이터 필터링율 : 92.2%
- 센서 데이터 전송율(현장->관제시스템) : 100%
- 센서 데이터 생성 누락율 : 7.8%
- 센서 데이터 전송서비스율 : 100%

○ 시험결과 (PNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
PNS	452	386	66
	100%	85.4%	14.6%

- 센서 정상 데이터 필터링율 : 85.4%
- 센서 데이터 전송율(현장->관제시스템) : 100%
- 센서 데이터 생성 누락율 : 14.6%
- 센서 데이터 전송서비스율 : 100%



p_fno	p_kind	p_id	p_date	p_time	p_coord_x	p_coord_y	p_height	location_sta	device_stat	worker_sta	p_checksum	p_datetime
13793	PNS	6	201407	163826	373116.2	1265546	407.5	1	0	1	NULL	2014-07-28 16:38:29.938+09
13794	PNS	6	20140728	163833	373116.2	1265546	407.8	1	0	1	NULL	2014-07-28 16:38:37.961+09
13795	CNS	2	20140728	164121	354602.9	1292204	271.4	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:45.423+09
13796	CNS	2	20140728	164128	354602.9	1292204	271.4	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:45.778+09
13797	CNS	2	20140728	164217	354602.9	1292204	271.4	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:46.162+09
13798	CNS	2	20140728	164224	354602.9	1292204	271.5	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:46.489+09
13799	CNS	2	20140728	164231	354602.9	1292204	271.8	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:46.819+09
13800	CNS	2	20140728	164238	354602.9	1292204	271.7	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:47.152+09
13801	CNS	2	20140728	164245	354602.9	1292204	271.6	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:47.489+09
13802	CNS	2	20140728	164334	354602.9	1292204	271.4	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:47.842+09
13803	CNS	2	20140728	164348	354602.9	1292204	271.5	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:48.154+09
13804	CNS	2	20140728	164402	354602.9	1292204	271.7	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:48.481+09
13805	CNS	2	20140728	164416	354602.9	1292204	271.7	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:48.818+09
13806	CNS	2	20140728	164519	354602.9	1292204	271.9	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:49.153+09
13807	CNS	2	20140728	164533	354602.9	1292204	271.8	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:49.47+09
13808	CNS	2	20140728	164547	354602.9	1292204	272	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:49.808+09
13809	CNS	2	20140728	164615	354602.9	1292204	272.2	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:50.146+09
13810	CNS	2	20140728	164629	354602.8	1292204	271.7	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:50.473+09
13811	CNS	2	20140728	164636	354602.4	1292204	270.1	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:50.805+09
13812	CNS	2	20140728	164643	354602.3	1292203	267.8	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:51.147+09
13813	CNS	2	20140728	164650	354602.1	1292202	266	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:51.5+09
13814	CNS	2	20140728	164657	354601.8	1292202	264.9	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:51.851+09
13815	CNS	2	20140728	164704	354601.7	1292202	264.5	2	0	1	NULL	2014-07-28 16:49:52.186+09

그림 2.192 7월 28일 실험시 전송된 GNS 내역

□ 4차 실험 : 2014년 9월1일

○ 시험결과 (센서정보 전송)

- 이전 실험과 달리 전송된 센서정보는 AlarmNotifier의 succ폴더에 모두 저장됨(수신율 100%)

- 센서 정상 데이터 필터링율 : 100%
- 센서 데이터 전송율(현장->관제시스템) : 100%
- 센서 데이터 생성 누락율 : 0%
- 센서 데이터 전송서비스율 : 100%

○ 시험결과 (CNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
CNS	1083	1083	0
	100%	100%	0%

○ 시험결과 (PNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
PNS	1380	1380	0
	100%	100%	0%

- PNS의 경우 미사용중인 단말기의 센서정보가 gns파일로 저장되어 관제시스템의 지도에 표출되는 문제 발생
- 전문 변경 후 수신실패는 없음

□ 5차 테스트 : 2014년 10월2일

○ 시험결과 (PNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
PNS	1300	39	290
	97.08%	2.92%	

- 전문 수신시 체크섬 1자리 및 공백이 존재함

→ 다음 실험에는 기존전문과 동일한 전문을 발신하기로 합의함

- AlarmNotifier가 순간적으로 작동하지 않아 재시작
- pns파일이 적체되는 상황이 발생하고 문제가 있는 pns 파일을 삭제하여도 반응없음

→ 로그 확인 결과 오후 2시 2분경 AlarmNotifier 오류(socket error # 10054) 및 HTTP/1.0 500 Internal Sever Error가 발생하여 프로그램 정지됨

- 센서 정상 데이터 필터링율 : 97.08%
- 센서 데이터 전송율(현장->관제시스템) : 100%
- 센서 데이터 생성 누락율 : 2.92%
- 센서 데이터 전송서비스율 : 100%

표 2.6 현장서버시스템 성능 테스트 항목 및 결과

구분	성능테스트 항목	성능목표	결과				
			1차	2차	3차	4차	5차
현장 서버 시스템	센서 정상 데이터 필터링율	95% 이상	97	87	92	100	97
	센서 데이터 전송율(현장->관제시스템)	98% 이상	100	100	100	100	100
	센서 데이터 생성 누락율	5% 이내	3	13	8	0	3
	센서 데이터 전송서비스율	98% 이상	100	100	100	100	100

② 현장서버시스템 인증 실험

㉮ 시험 개요

○ 시험 날짜

- 2014년 10월14일, 12월22일 (2회)

○ 시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장

○ 시험 목적

- 현장서버시스템 인증 테스트
- 관제시스템 인증 테스트
- 관제 관리자시스템 인증 테스트

○ 시험 장비

- 고정형 관제시스템(서버) 1대
- 고정형 현장서버시스템(서버) 1대
- 이동용 현장서버시스템(Notebook Computer(Intel i3 이상)) 1대(예비)

㉯ 실험 내용

○ 현장서버시스템

- 현장서버 환경설정 및 프로그램 설치
- 현장서버시스템 및 관제시스템 현장실험 환경 설정
- 센서정보 전송확인 테스트 및 시리얼통신 프로그램 테스트
- 현장서버시스템과 관제시스템 간의 메시지 전송 테스트

○ 관제시스템

- 관제시스템에서 데이터 전송 및 DB저장 정상유무 확인
- 관제시스템에서 CCTV 영상 표출 확인
- 관제시스템에서 작업자/차량 위치 표출 확인
- 단면도에서 작업자 및 차량 위치 표출 확인
- 관제 Main 시스템 / SUB시스템 기능 테스트

- 관제 관리시스템 인증 테스트

㉰ 인증 실험 결과

□ 1차 테스트 : 2014년 10월14일 / 2차 테스트 : 2014년 12월22일

○ CPU 부하량

- CPU 부하량은 센서정보가 DB에 저장되고 있을 시에 측정
- 최대 사용빈도 측정
- 성능목표인 80% 보다 낮은 55%의 수치가 측정됨
- 성능목표에 도달하였다고 추론 가능

○ Memory 부하량

- Memory 부하량은 센서정보가 DB에 저장되고 있을 시에 측정
- 사용된 실제 메모리 측정
- 성능목표인 70% 보다 약간 낮은 42%의 수치가 측정됨
- 성능 목표에 도달

○ 디스크 부하량

- 디스크 부하량은 센서정보가 DB에 저장되고 있을 시에 측정
- 성능목표인 Read 300,000(Byte/S)이내 / Write 300,000(Byte/S)이내의 범위 안에 도달하여야 성능목표 도달
- 성능목표인 Read 300,000(Byte/S)이내 / Write 300,000(Byte/S)이내의 범위 안의 값이 측정되어야 성능목표 도달
- 시스템을 사용할수록 계속 누적되는 수치이기 때문에 다음 실험시에는 프로세스를 최대한 적게 사용한 후 측정하거나 측정값에서 초기값을 빼서 계산하여야 함
- Read 223,332 / Write 211,281 으로 측정되어 비교적 안정적인 상태 유지

○ 네트워크 부하량

- 네트워크 부하량은 센서정보가 DB에 저장되고 있을 시에 측정
- 성능목표인 input 300,000(Byte/S)이내 / output 300,000(Byte/S)이내의 범위 안의 값이 측정되어야 성능목표 도달
- Read 12,018 / Write 22,442으로 측정됨

표 2.7 현장서버시스템 인증 테스트 항목 및 결과

구분	인증테스트 항목	성능목표	1차	2차
현장 서버 시스템	CPU 부하량	최대 80% 이내	55	51
	Memory 부하량	최대 70% 이내	42	22
	디스크 부하량	Read 300,000(Byte/S) 이내	223,332	211,281
		Write 300,000(Byte/S) 이내	132,627	241,773
	네트워크 부하량	Input 100,000(Byte/S) 이내	91,644	42,423
		Output 100,000(Byte/S) 이내	12,018	22,442

③ 현장서버시스템 인증 프로세스 구축

인증 프로세스는 관제 시스템 인증을 위한 시험 절차 및 운용 내용을 정의한 것으 세부 시험내용은 다음과 같다.



그림 2.193 현장서버시스템 인증 프로세스

㉮ 센서 정보 전송확인 실험

□ 센서별 ID배정상태 확인

- 테스트 시 사용할 단말기의 ID 파악
- 관제시스템에 등록된 ID 인지 파악

□ 디버깅을 통한 데이터 수신주기 확인

- 디버깅을 통하여 데이터 수신주기를 확인하고 딜레이 발생 확인

□ GNS파일 생성여부 확인

- AlramNotifier 폴더내에 GNS파일이 생성되는지 생성여부 확인

□ AlramNotifier 작동여부 확인

- AlramNotifier를 작업관리자 및 디버깅 프로그램 등을 활용하여 실시간으로 작동하는지 확인

□ 센서정보 Input 파일/Output 파일 수량비교

- 센서정보 Input파일과 DB에 저장된 내역이 일치하는지 비교

3. GIS기반 관제시스템

가. 연구수행결과

(1) 1차년도 연구수행결과

상황인지 모델링을 적용하여 시스템을 구축하기에 앞서 상황인지 및 대응모듈 기술연구를 통하여 가장 최적화된 모델링을 연구하였다. 상황인지 기반 모델에는 Attribute-Value Model, Web-based Model, ER and UML Model, Ontology Model 등 여러 가지가 존재 하지만 현재 주로 쓰이며 가장 효과적인 모델링 방식은 온톨로지 기반 모델링 방식이다. 그러한 이유로 온톨로지 기반의 OWL-DL 모델링 프로토타입을 활용하여 본 연구과제에서 구성하고자 하는 관제시스템을 구축하고자 하였다. 또한 시스템을 구성하는 상황인지 센서정보들을 정형화 하여 온톨로지를 정의하였고, 이를 통해 위치 및 상태정보를 효과적이고 정확하게 인지 할 수 있도록 하였다.

(가) 상황인지 및 대응모듈 기술연구

① 상황인지 및 대응모듈 기술연구 적용 및 시스템 구성

본 연구과제 에서는 OWL-DL 모델링 프로토타입을 참고하여 작업자 및 차량의 이동 패턴을 고려한 지능형 프로비저닝 서비스 시스템을 구성하고 단말기를 통해 수집된 상황정보를 이용한 모델링을 설계하여 기존과는 다른 단순히 사용자의 위치정보에 의존한 관제시스템을 구성하여 제공하는 것이 아닌 근로자 및 차량의 프로파일과 추론규칙을 적용하여 상황정보 사이의 의미 추론이 가능하여 상황의 변화에 따른 관제상황이 실시간으로 표출될 수 있도록 구성되어 있다.

특히 특정 상황을 인식하여 그에 적합한 상태정보를 표출할 수 있다. 예를 들면 작업자가 일정한 움직임을 보이며 작업을 수행하고 있을 때를 '정상' 상태라 정의하고(1단계), 작업자가 5초 이상 움직임이 없을 때의 상황을 '이상' 상태라 정의 하며(2단계), 작업자가 15초 이상 움직임이 없을 때의 상황을 '경고'상태로 정의(3단계)한다. 관제시스템에서 2단계 이상의 상황이 발생했을 때 알람이 발생하여 관제자가 확인할 수 있다.

이렇게 건설현장 터널내의 상황인지 센서정보들을 정형화 하여 온톨로지를 정의하며, 이를 통해 관제시스템에서 작업자와 차량의 위치 및 상태정보를 효과적이고 정확하게 인지 할 수 있도록 한다. 이런 정의된 센서정보들은 구조화 된 프로토콜에 의해 전송되어 관제시스템에서 관제가자 최종적으로 상황판단을 할 수 있는 기반

정보로 활용된다.

② 상황인지시스템 구축 연구

상황인지 시스템은 상황 정보를 구성하는 상황 모델링과 구성된 정보를 기준으로 적합한 서비스를 찾아내는 상황 추론으로 구분 지을 수 있다.

㉮ 상황 모델링(Context Modeling)

사용자 주변에 산재한 각각의 상황 정보(Context) 를 취합 및 추론한 것을 사용자가 처한 상황(Situation)이라 하며 이와 같이 사용자가 처한 상황을 효율적으로 분석 및 추론할 수 있도록 각각의 상황 정보를 구성하는 방법을 상황 모델링이라 한다. '상황(Context)'이란 단어의 정의는 사용자를 둘러싼 각각의 자원 정보로써 위치, 시간 등의 물리 정보, 빛, 온도, 습도 등의 환경정보, 사용자의 기분, 건강 상태 등의 개인적 정보 등을 통틀어 나타낸다.

본 연구과제 에서 사용되는 상황정보에는 작업자 위치정보, 차량 위치정보 작업자 모션상태 등이 있다. 이러한 상황정보를 활용하여 온톨로지 모델링 방법을 사용하여 상황 모델링을 수행한다. 상황 모델링 방법에 관한 여러 연구가 진행 되었으며 그 내용은 다음과 같다.

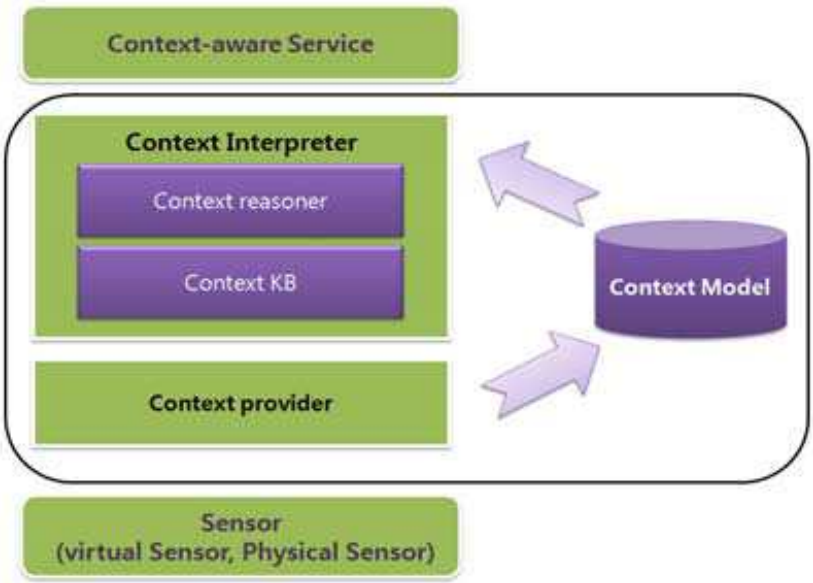


그림 2.194 상황인지 시스템의 공통구조

□ Attribute-Value Model

상황 정보를 속성과 해당 속성에 대한 값으로 상황 모델을 구성하여 사용자 중심의 상황 인지 시스템을 개발하는 모델이다.

이와 같은 상황 모델을 사용한 대표적인 시스템으로는 Context-Toolkit이 존재하며 상황 모델에 저장되는 상황 정보는 Widget이라 불리는 모듈에 의해 주변 정보가 습득되고 습득된 정보는 Interpreter 모듈을 통해 해석되어 진다.

□ Web-based Model

상황 정보를 Web 기반 로 표현하여 상황 정보에 대한 접근성을 높인 상황 모델이다. Web Presence로 표현되는 형식을 통해 스마트 공간상의 정보를 사용자 에게 제공하며 Web Presence를 통하여 상황정보의 종류 및 관계에 대한 정보를 습득할 수 있다. Web-based Model의 대표적인 시스템으로는 HP Smart Space의 프로젝트의 일환으로 개발된 Cool-Town이 존재한다.

□ ER and UML Model

상황 정보를 구성하는 개체 및 그 관계에 따라 표현한 상황 모델로 데이터베이스에서 사용되는 ER 및 UML 모델을 상황 모델 구축 시에 활용한 방법이다. 계층관계를 표현할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

□ Ontology Model

상황 정보의 개체 표현, 개체 간의 관계표현, 개체 간의 계층적 표현이 가능한 상황 모델 방법이다. 온톨로지로 구축한 상황 모델은 이 기종 시스템 간의 상호 운용성, 구축한 모델의 재사용성, 지식의 재사용성의 장점을 가진다. 온톨로지 상황 모델 방법의 효율적인 구축을 위하여 상위 온톨로지와 하위 온톨로지의 구분과 같은 방법을 제시하여 여러 도메인에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 최근에는 위와 같은 이유로 온톨로지로 구축한 상황 모델이 대부분 사용되고 있다.

㉯ 온톨로지 상황인지 모델을 이용한 상황인지 시스템

온톨로지 상황 모델이 사용되지 않은 상황인지 시스템의 경우, 추론 방법이 취약하며 제공하는 서비스로는 스마트 공간내의 활용할 수 있는 기기 의 정보를 보여주거나, 사용자가 작성한 스케쥴링에 따른 부가 서비스가 주를 이루고 있다. 그러나 온톨로지 상황 모델의 등장으로 온톨로지 구조가 제공하는 계층적 추론 및 규칙 기반 추론, 사용자의 반응을 저장한 로그 정보 학습에 따른 추론 등의 다양한 추론 방법론이 연구되고 있다. 이러한 상황 모델을 활용한 추론 방법은 아래와 같다.

□ 규칙 기반 추론

상황 인지 시스템에서 가장 많이 사용되는 상황 추론 방법이다. 온톨로지 상황 모델 뿐 아니라 다양한 상황 모델에 모두 적용할 수 있으며, 설정된 규칙에 의하여 추론한다. 단점으로는 Rule의 생성시 비용이 많이 들며 잘못된 생성된 Rule의 경우 시스템 스스로 수정할 수 없다는 단점이 있다.

□ Naive Bayes

상황 인지 시스템에서 사용자에게 제공한 서비스의 로그를 분석하여 상황을 추론하는 방법이다. 사용자는 제공된 서비스에 대하여 만족하거나 불만족할 수 있으며 상황 인지 시스템은 이를 로그로 기록하여 분석 추론을 수행할 수 있게 지원한다.

(2) 2차년도 연구수행결과

(가) Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 개발

① 상황인지 모듈 설계

건설작업현장에서 터널붕괴 및 지반침하 등 급작스러운 위험발생시 신속한 대응 및 인명구조를 위해 건설현장 관제시스템에서는 작업자 및 차량에 대한 상태정보

등을 수집하고 현장서버시스템을 통해 데이터를 전송하여 관제시스템에서 관리자가 인지할 수 있는 상황인지 기술을 구현한다. 상황인지의 센서정보는 작업자 및 차량의 위치정보와 상태정보가 이에 해당되며 상황인지 모듈에 대한 설계는 다음과 같다.

㉮ 논리모델 ERD

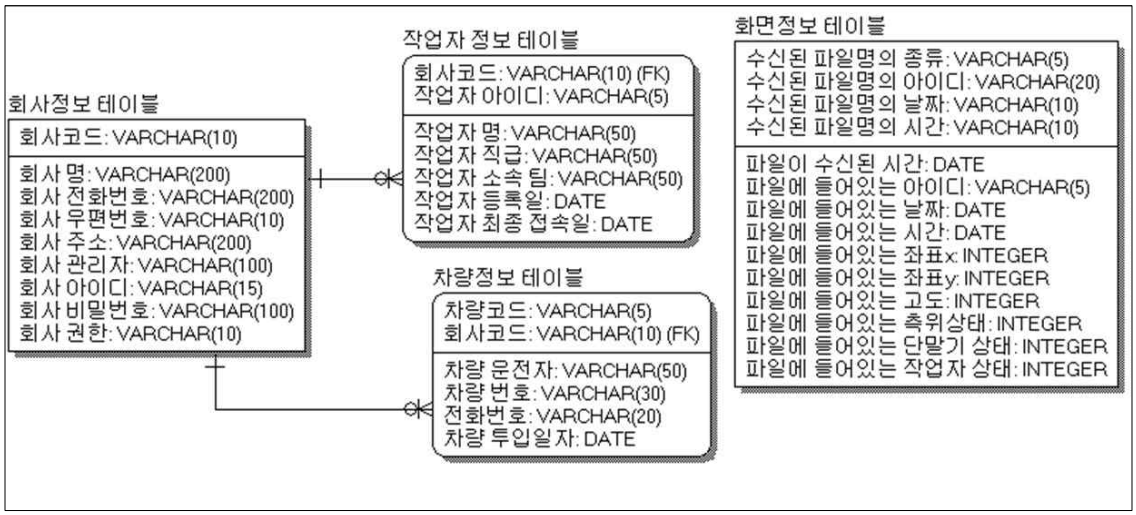


그림 2.195 상황인지 모듈 논리모델 ERD

㉯ 물리모델 ERD

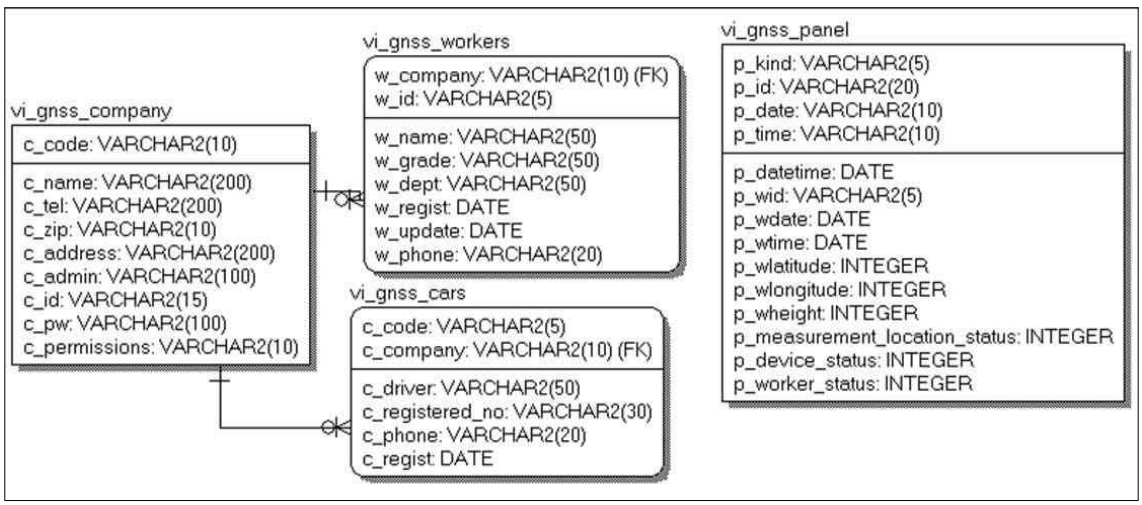


그림 2.196 상황인지 모듈 물리모델 ERD

㉰ 테이블 명세서

표 50 상황인지 모듈 테이블 명세서

테이블 명	테이블 설명	순번	칼럼명	칼럼설명	타입	길이	PK	FK	NULL	비고
vi_gnss	차량정	1	c_code	차량코드	VARCHAR	5	OK		NOT	

					2				NULL	
_cars	보 테이블	2	c_company	차량소속	VARCHAR2	10		OK	NOT NULL	
		3	c_regist	투입일자	date				NULL	
		4	c_phone	차량 전화번호	VARCHAR2	20			NULL	
		5	c_driver	차량운전자	VARCHAR2	50			NULL	
		6	c_registered_no	차량 번호	VARCHAR2	30			NULL	
vi_gnss_company	회사정보 테이블	1	c_code	회사 코드	VARCHAR2	10	OK		NOT NULL	
		2	c_name	회사 명	VARCHAR2	200			NULL	
		3	c_tel	회사 전화번호	VARCHAR2	200			NULL	
		4	c_zip	회사 우편번호	VARCHAR2	10			NULL	
		5	c_address	회사 주소	VARCHAR2	200			NULL	
		6	c_permissions	권한	VARCHAR2	10			NULL	
		7	c_id	회사 아이디	VARCHAR2	20			NULL	
		8	c_pw	회사 패스워드	VARCHAR2	20			NULL	
		9	c_admin	회사 관리자	VARCHAR2	100			NULL	
vi_gnss_panel	화면 정보 테이블	1	p_datetime	파일이 수신된 시간	date				NOT NULL	
		2	p_kind	수신된 파일명의 종류	VARCHAR2	5	OK		NOT NULL	
		3	p_id	수신된 파일명의 id	VARCHAR2	20	OK		NOT NULL	
		4	p_date	수신된 파일명의 날짜	VARCHAR2	10	OK		NOT NULL	
		5	p_time	수신된 파일명의 시간	VARCHAR2	10	OK		NOT NULL	
		6	p_wid	파일에 들어있는 id	VARCHAR2	5			NULL	
		7	p_wdate	파일에 들어있는 날짜	VARCHAR2	10			NULL	

		8	p_wtime	파일에 들어있는 시간	VARCHAR2	15			NULL	
		9	p_wlatitude	파일에 들어있는 좌표x	number				NULL	DEFAULT 0
		10	p_wlongitude	파일에 들어있는 좌표y	number				NULL	DEFAULT 0
		11	p_wheight	파일에 들어있는 고도	number				NULL	DEFAULT 0
		12	p_measurement	파일에 들어있는 측위상태	number				NULL	DEFAULT 0
		13	p_device_status	파일에 들어있는 단말기상태	number				NULL	DEFAULT 0
		14	p_worker	파일에 들어있는 작업자상태	number				NULL	DEFAULT 0
vi_gnss_workers	작업자 정보 테이블	1	w_id	작업자 id	VARCHAR2	5	OK		NOT NULL	
		2	w_name	작업자 명	VARCHAR2	50			NULL	
		3	w_grade	작업자 직급	VARCHAR2	50			NULL	
		4	w_dept	작업자 소속 팀	VARCHAR2	50			NULL	
		5	w_regist	작업자 등록일	date				NOT NULL	
		6	w_update	작업자 최종 접속일	date				NOT NULL	
		7	w_phone	작업자 전화번호	VARCHAR2	20			NULL	
		8	w_company	작업자 회사 코드	VARCHAR2	10	OK	OK	NOT NULL	

② 실시간 현장정보 기반의 대응모듈 설계

대응모듈은 건설작업현장에서 터널붕괴 및 지반침하 등 급작스러운 위험발생시 신속한 상황인지를 시스템이 분석하고 이에 신속하고 정확하게 대응할 수 있어야 한

다. 대응모듈은 상황인지 모듈에서 센서정보를 분석하고 이를 건설현장 관제시스템에 표출을 한다. 대응모듈을 통하여 작업자의 모션이 정상, 주의, 위험에 따라 관제시스템에서 세 가지 색으로 표출을 하고 GIS상의 해당 아이콘이 변경되며 부저를 울려 신속 하게 관리자에게 상황을 알린다. 또한 SMS문자를 통하여 위급상황을 알아야 하는 관리자에게 알림 메시지를 신속하게 전송할 수 있도록 한다. 대응모듈에 대한 설계는 다음과 같다. 그리고 메모기능을 이용하여 현장에 있는 현장서버시스템간의 원활한 의사소통 기능을 지원한다.

㉮ 논리모델 ERD



그림 2.197 대응모듈 논리모델 ERD

㉯ 물리모델 ERD

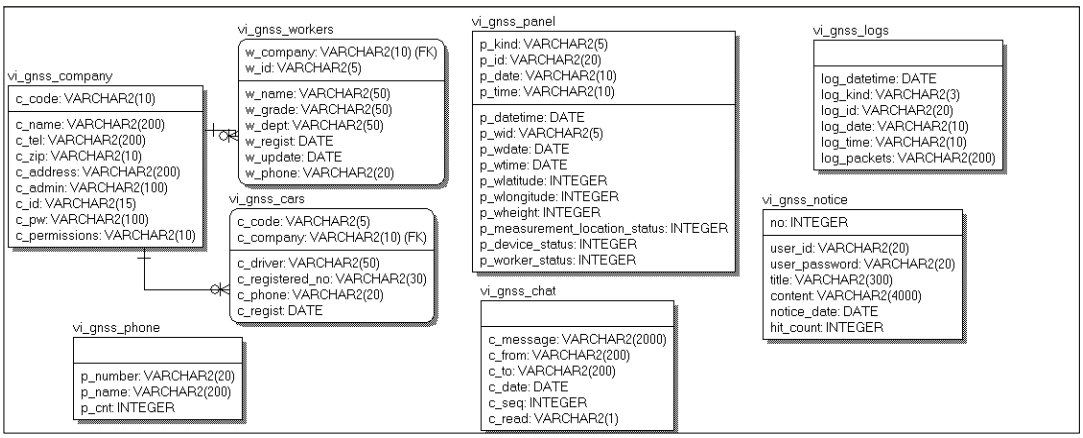


그림 2.198 대응모듈 물리모델 ERD

㉰ 시컨스 다이어그램

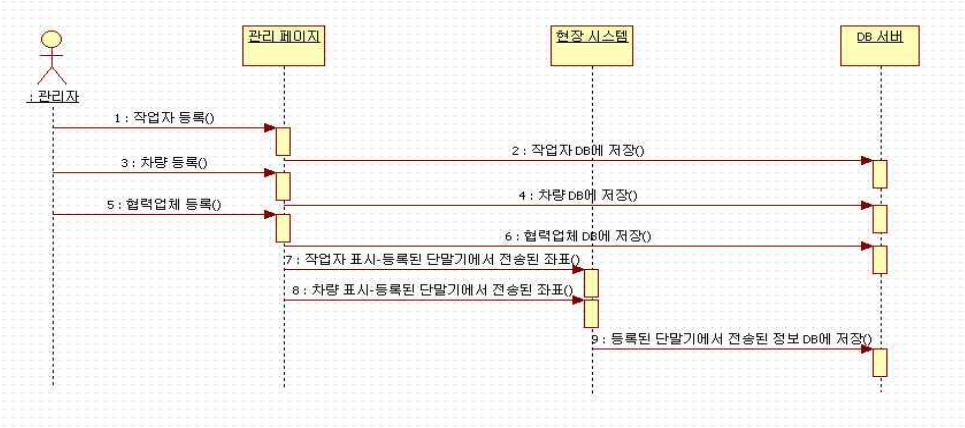


그림 2.199 대응모듈 시컨스 다이어그램

㉱ 테이블 명세서

표 2.8 대응모듈 테이블 명세서

테이블명	테이블 설명	순번	칼럼명	칼럼설명	타입	길이	PK	FK	NULL	비고
vi_gnss_cars	차량 정보 테이블	1	c_code	차량코드	VARCHAR2	5	OK		NOT NULL	
		2	c_company	차량 소속	VARCHAR2	10		OK	NOT NULL	
		3	c_regist	투입일자	date				NULL	
		4	c_phone	차량 전화번호	VARCHAR2	20			NULL	
		5	c_driver	차량운전자	VARCHAR2	50			NULL	
		6	c_registered_no	차량 번호	VARCHAR2	30			NULL	
vi_gnss_company	회사 정보 테이블	1	c_code	회사 코드	VARCHAR2	10	OK		NOT NULL	
		2	c_name	회사 명	VARCHAR2	200			NULL	
		3	c_tel	회사 전화번호	VARCHAR2	200			NULL	
		4	c_zip	회사 우편번호	VARCHAR2	10			NULL	
		5	c_address	회사 주소	VARCHAR2	200			NULL	
		6	c_permissions	권한	VARCHAR2	10			NULL	
		7	c_id	회사 아이디	VARCH	20			NULL	

					AR2					
		8	c_pw	회사 패스워드	VARCHAR2	20			NULL	
		9	c_admin	회사 관리자	VARCHAR2	100			NULL	
vi_gnss_logs	수신된 정보 로그 테이블	1	log_datetime	파일이 수신된 시간	date				NOT NULL	
		2	log_kind	수신된 파일명의 종류	VARCHAR2	3			NOT NULL	
		3	log_id	수신된 파일명의 id	VARCHAR2	20			NOT NULL	
		4	log_date	수신된 파일명의 날짜	VARCHAR2	10			NOT NULL	
		5	log_time	수신된 파일명의 시간	VARCHAR2	10			NOT NULL	
		6	log_packets	수신된 파일의 정보	VARCHAR2	200			NULL	
vi_gnss_panel	화면 정보 테이블	1	p_datetime	파일이 수신된 시간	date				NOT NULL	
		2	p_kind	수신된 파일명의 종류	VARCHAR2	5	OK		NOT NULL	
		3	p_id	수신된 파일명의 id	VARCHAR2	20	OK		NOT NULL	
		4	p_date	수신된 파일명의 날짜	VARCHAR2	10	OK		NOT NULL	
		5	p_time	수신된 파일명의 시간	VARCHAR2	10	OK		NOT NULL	
		6	p_wid	파일에 들어있는 id	VARCHAR2	5			NULL	
		7	p_wdate	파일에 들어있는 날짜	VARCHAR2	10			NULL	
		8	p_wtime	파일에 들어있는 시간	VARCHAR2	15			NULL	
		9	p_wlatitude	파일에 들어있는 좌표x	number				NULL	DEFAULT 0
		10	p_wlongitude	파일에 들어있는 좌표y	number				NULL	DEFAULT 0
		11	p_wheight	파일에 들어있는	number				NULL	DEFA

				고도						ULT 0
		12	p_measurement	파일에 들어있는 측위상태	number				NULL	DEFAULT 0
		13	p_device_status	파일에 들어있는 단말기상태	number				NULL	DEFAULT 0
		14	p_worker	파일에 들어있는 작업자상태	number				NULL	DEFAULT 0
vi_gnss_chat	메모 전송 테이블	1	c_seq	일련번호	number				NOT NULL	
		2	c_date	전송일자	date				NOT NULL	
		3	c_form	발신자	VARCHAR2	200			NULL	
		4	c_to	수신자	VARCHAR2	200			NULL	
		5	c_message	메시지	VARCHAR2	2000			NULL	
		6	c_read	확인 여부	VARCHAR2	1			NOT NULL	
vi_gnss_phone	전화 번호 테이블	1	p_number	전화번호	VARCHAR2	20			NULL	
		2	p_name	명칭	VARCHAR2	100			NULL	
		3	p_cnt	전송횟수	number				NULL	
vi_gnss_notice	공지 사항 테이블	1	no	번호	number				NOT NULL	
		2	title	제목	VARCHAR2	300			NULL	
		3	content	내용	VARCHAR2	20			NULL	
		4	user_id	작성자	VARCHAR2	20			NULL	
		5	user_password	비밀번호	VARCHAR2	4000			NULL	
		6	hit_count	조회수	number				NULL	
		7	notice_date	작성일자	date				NULL	
vi_gnss_workers	작업자 정보	1	w_id	작업자 id	VARCHAR2	5	OK		NOT NULL	
		2	w_name	작업자 명	VARCH	50			NULL	

					AR2					
	테이블	3	w_grade	작업자 직급	VARCHAR2	50			NULL	
		4	w_dept	작업자 소속 팀	VARCHAR2	50			NULL	
		5	w_regist	작업자 등록일	date				NOT NULL	
		6	w_update	작업자 최종 접속일	date				NOT NULL	
		7	w_phone	작업자 전화번호	VARCHAR2	20			NULL	
		8	w_company	작업자 회사 코드	VARCHAR2	10	OK	OK	NOT NULL	

③ Ubi-GIS 관제시스템 설계

㉮ 개발목적 및 필요성

지하구조물인 장대터널 공사현장에 있어 작업자 및 차량에 대한 센서기반의 위치인식 및 상태정보를 중앙관제센터에서 통합관제가 가능한 건설현장 관제시스템을 구축하는 것이 목적이다. 이를 통해 위험사고 발생시 작업자 및 차량에 대한 위치와 상태를 신속히 파악하고 대응이 가능하며, 건설현장의 관리 포인트와 관리비용을 절감할 수 있다.

㉯ 시스템 설계

□ 하드웨어 아키텍처



그림 2.200 관제시스템 하드웨어 아키텍쳐

□ 소프트웨어 아키텍처

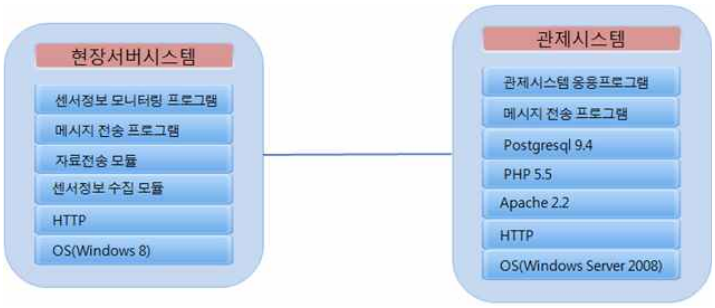


그림 2.201 관제시스템 소프웨어 아키텍쳐

□ 유스케이스 다이어그램

표 2.9 유스케이스 다이어그램 목록

유스케이스 ID	유스케이스명	유스케이스 설명
GNSS_UC_010	관리 페이지 등록	관리페이지에서 관리자가 입력
GNSS_UC_011	작업자 정보 입력	관리페이지에서 관리자 및 협력업체 관리자에 의해 작업자 정보 입력
GNSS_UC_012	차량 정보 입력	관리페이지에서 관리자 및 협력업체 관리자에 의해 차량 정보 입력
GNSS_UC_013	협력업체 정보 입력	관리페이지에서 관리자에 의해 차량 정보 입력
GNSS_UC_014	메시지 등록	관리페이지에서 관리자에 의해 문자발송에 사용될 메시지를 미리 등록
GNSS_UC_015	전화번호 등록	관리페이지에서 관리자에 의해 문자 발송에 사용될 전화번호를 미리 등록
GNSS_UC_016	공지사항 등록	관리페이지에서 관리자에 의해 관제시스템 및 관리페이지에서 확인 할 수 있는 공지사항을 등록
GNSS_UC_020	관제시스템 관리자 및 협력업체 화면	관리자 및 협력업체 관리자가 관제시스템에서 화면 확인

■ 작업자 입력

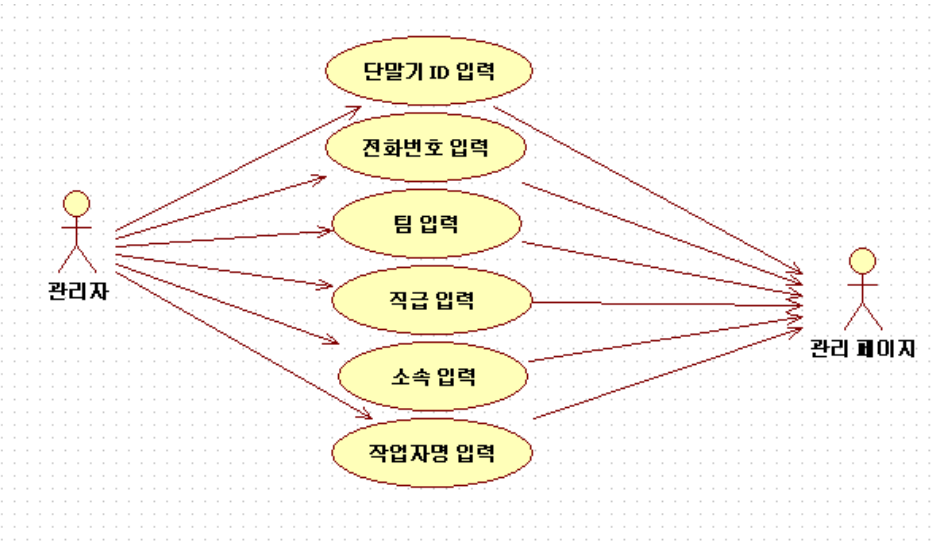


그림 2.202 작업자 입력 유스케이스

■ 관제시스템 화면

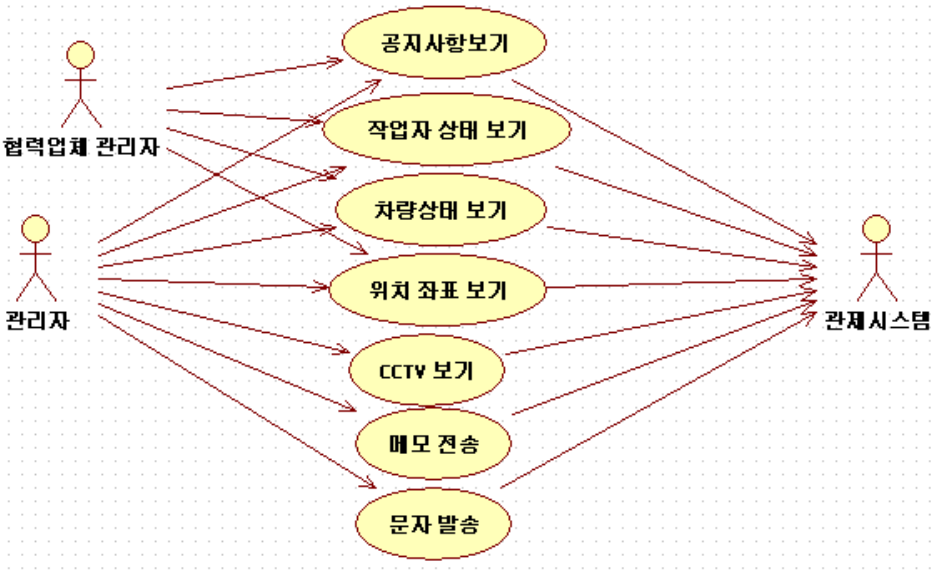


그림 2.203 관제시스템 화면 유스케이스

■ 센서정보 시스템 인터페이스 정의

작업자와 차량의 단말기에서 전송하는 센서정보와 관제시스템 간의 시스템 인터페이스를 정의한다.

작업자정	Header	ID	시간		좌표			상태 정보			체크 섬
데이터 종류	식별정보	단말기고유번호	날짜	시간	위도	경도	고도	작위 상태	단말기 상태	작업자 상태	체크섬
데이터 Type	char	int	double	double	double	double	float	int	int	int	char
데이터 단위	작업자정 표시	-	DDMMYY	HHMMSS.S	DDMMSS.SSS (도/분/초)	DDMMSS.SSS (도/분/초)	meter	-	-	-	CS
데이터 설명	작업자 단말기정 데이터 헤더	고유번호	월/일/년	시간/분/초 실제 만들어지는 시간	0.001초까지 표현하면 0.03미터 해상도임	0.001초까지 표현하면 0.03미터 해상도임	0.1미터 해상도	0 : 작위 등장 1 : GNSS작위 2 : SBAS작위 3 : PDR작위 4 : GPDR작위 5 : 고도보정작위	0 : 정상 종작 1 : 전원 종량 2 : 중신 종량 3 : 기타	0 : 정상 상태 1 : 현장 내부 2 : 사고 발생	Exclusive OR
데이터 표현	$VIPNS	001	220813	111335.5	372945.123	1270439.243	27.6	3	0	1	4E
샘플 데이터	$VIPNS,001,220813,111335.5,3729 45.123,1270439.243,27.6,3,0,1*4E (모든 필드는 콤마로 구분, 길이는 가변임)										
이동자량정	Header	ID	시간		좌표			상태 정보			체크 섬
데이터 종류	식별정보	단말기고유번호	날짜	시간	위도	경도	고도	작위 상태	단말기 상태	차량 상태	체크섬
데이터 Type	char	int	double	double	double	double	float	int	int	int	char
데이터 단위	차량정 표시	-	DDMMYY	HHMMSS.S	DDMMSS.SSS (도/분/초)	DDMMSS.SSS (도/분/초)	meter	-	-	-	CS
데이터 설명	차량정 단말기정 데이터 헤더	고유번호	월/일/년	시간/분/초 실제 만들어지는 시간	0.001초까지 표현하면 0.03미터 해상도임	0.001초까지 표현하면 0.03미터 해상도임	0.1미터 해상도	0 : 작위 등장 1 : GNSS작위 2 : SBAS작위 3 : PDR작위(중신) 4 : GPDR작위(중신) 5 : 고도보정작위	0 : 정상 종작 1 : 전원 종량 2 : 중신 종량 3 : 기타	0 : 현장 밀착 문 1 : 현장 내부 2 : 현장 문차	Exclusive OR
데이터 표현	$VICNS	002	220813	111335.5	372945.123	1270439.243	152.9	2	0	0	A1
샘플 데이터	$VICNS,002,220813,111535.5, 372945.123,1270439.243,152.9,2,0,0*A1 (모든 필드는 콤마로 구분, 길이는 가변임)										

그림 2.204 센서정보 시스템 인터페이스

④ Ubi-GIS 관제시스템 개발

표 2.10 관제시스템 개발 목록

구성		기능	설명
관제 시스템	메인건설사	작업주요알림	작업자 및 차량 상태 등 전반적 사항 표시, 경고음 송출
		작업자상태	작업 주요 알림의 작업자 세부내용 표시
		차량상태	작업 주요 알림의 차량 세부내용 표시
		CCTV	현장 내의 CCTV 표출
		지도	작업자 및 차량의 위치를 지도에 표출
		단면도	단면도 내에서의 작업자 및 차량 위치 표출
		공지사항	관리자가 입력한 공지사항 표출
	협력업체 (협력업체의 작업자 및 차량만 관제가능)	작업주요알림	작업자 및 차량 상태 등 전반적 사항 표시
		작업자상태	작업 주요 알림의 작업자 세부내용 표시
		차량상태	작업 주요 알림의 차량 세부내용 표시
		지도	작업자 및 차량의 위치를 지도에 표출

		단면도	단면도 내에서의 작업자 및 차량 위치 표출
		공지사항	관리자가 입력한 공지사항 표출
관리 시스템	메인건설사	안전관리	건설업체/근로자/차량/SMS/막장영역 관리, 관리자 등록
		데이터로그정보	데이터 로그정보 열람 및 검색
		공지사항관리	공지사항 등록 및 수정/삭제
		현장개요	작업자 및 차량 위치 좌표 열람 가능, 엑셀저장
	협력업체 (협력업체의 작업자 및 차량만 관제가능)	안전관리	근로자/차량 관리
		데이터로그정보	데이터 로그정보 열람 및 검색
		현장개요	작업자 및 차량 위치 좌표 열람 가능, 엑셀저장

㉮ 로그인 화면

관제시스템에 접속하여 ID 및 패스워드를 입력하면 로그인 ID의 권한에 따라 메인건설사 관제시스템과 협력업체 관리시스템으로 각각 접속되어 관제시스템 사용이 가능하다.



그림 2.205 건설 통합 관제시스템 로그인

㉯ 메인건설사 관제시스템

메인건설사 관제시스템은 작업주요 알림, 작업자 모니터링, 차량모니터링, CCTV 상태 표시, 지도 및 단면도로 구성되어 있다.

□ CCTV상태 표시화면

□ 작업자 모니터링 화면

- 작업자 상태 단추를 클릭하게 되면 작업자, 모션상태, 위치좌표 등의 정보가 표시된다.

□ 차량 모니터링 화면

- 차량 출입상태 단추를 클릭하게 되면 차량번호, 입차시간, 출차시간, 차량주 등의 정보가 표시된다.

□ 위치표시 지도화면

- 수신된 작업자 및 차량의 센서정보를 지도상에 표시한다.

□ 단면도

- 수신된 작업자 및 차량의 센서정보를 단면도(CAD도면)상에 표시한다.

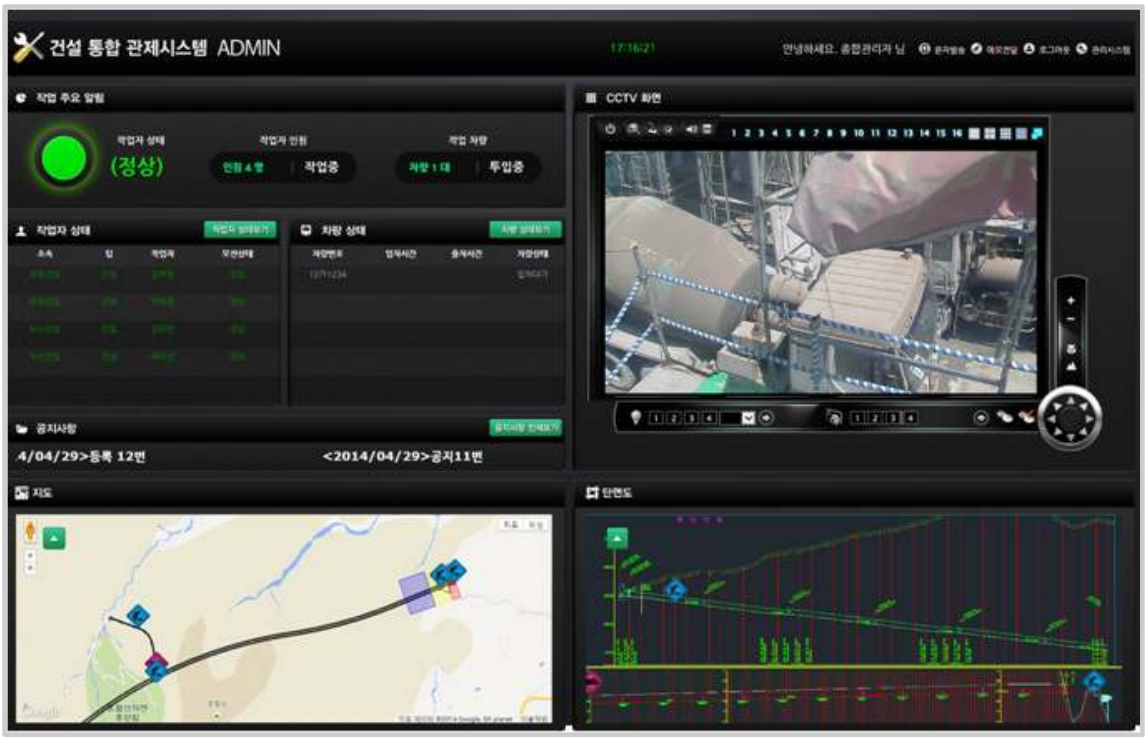


그림 2.206 메인건설사용 건설 통합 관제시스템

㉰ 하도급 업체용 관제시스템

□ 작업자 모니터링 화면

- 작업자 상태 단추를 클릭하게 되면 작업자, 모션상태, 위치좌표 등의 정보가 표시된다. 건설시공 메인업체 관제시스템과 다른점은 타 회사의 작업자 및 차량에 대한 정보와 터널입구 CCTV 영상은 제공하지 않는다. 이는 보안을 고려하여 설계하였다.

□ 차량 모니터링 화면

- 차량 출입상태 단추를 클릭하게 되면 차량번호, 입차시간, 출차시간, 차량주 등의 정보가 표시된다.

□ 위치표시 지도화면

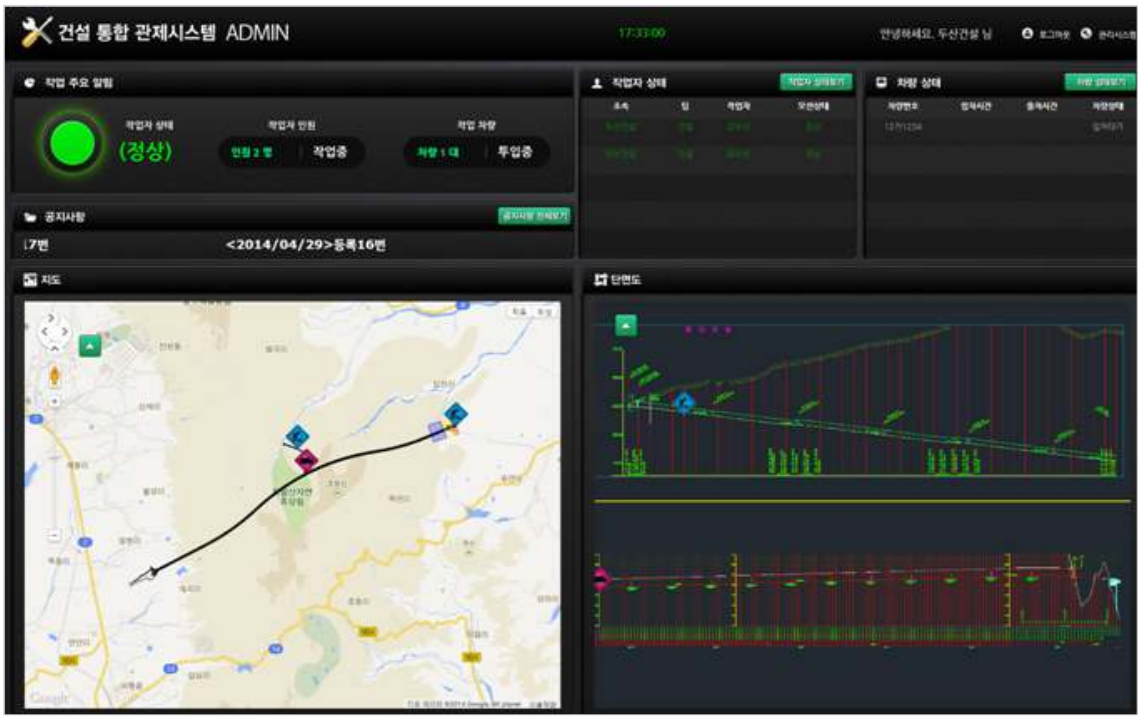


그림 2.207 하도급업체용 건설 통합 관제시스템

㉮ 관제 관리시스템 구성

□ 안전관리

- 건설업체, 근로자, 차량, SMS, 메시지, 메모전송내역, 막장영역관리, 관리자 등록 등의 기능으로 구성되어 있다.



그림 2.208 안전관리 화면

□ 데이터 로그정보

- 데이터 로그정보를 검색하고 작업자/차량에 따른 단말기ID, 생성일자기준으로 조회가 가능하다.

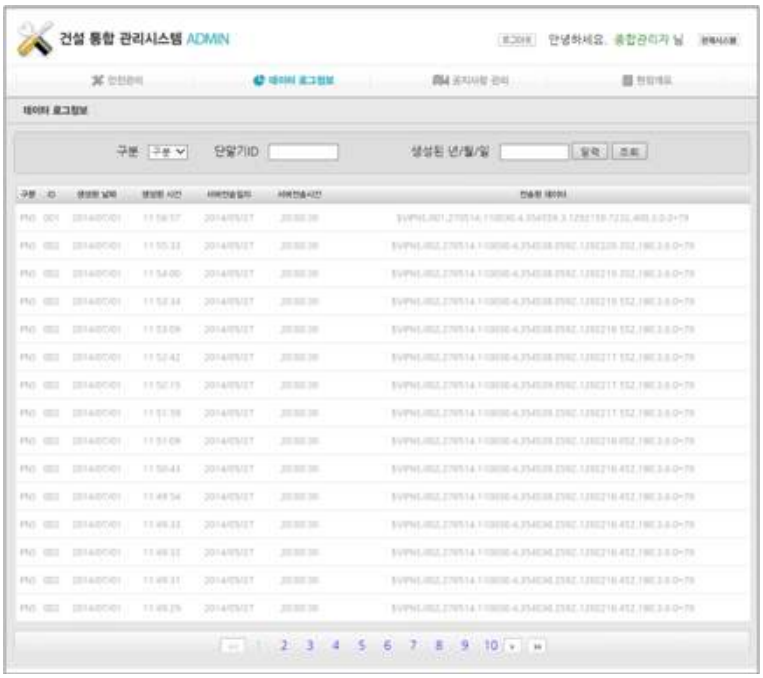


그림 2.209 데이터 로그정보 화면

□ 공지사항 관리

- 공지사항 등록 및 삭제가 가능하다.

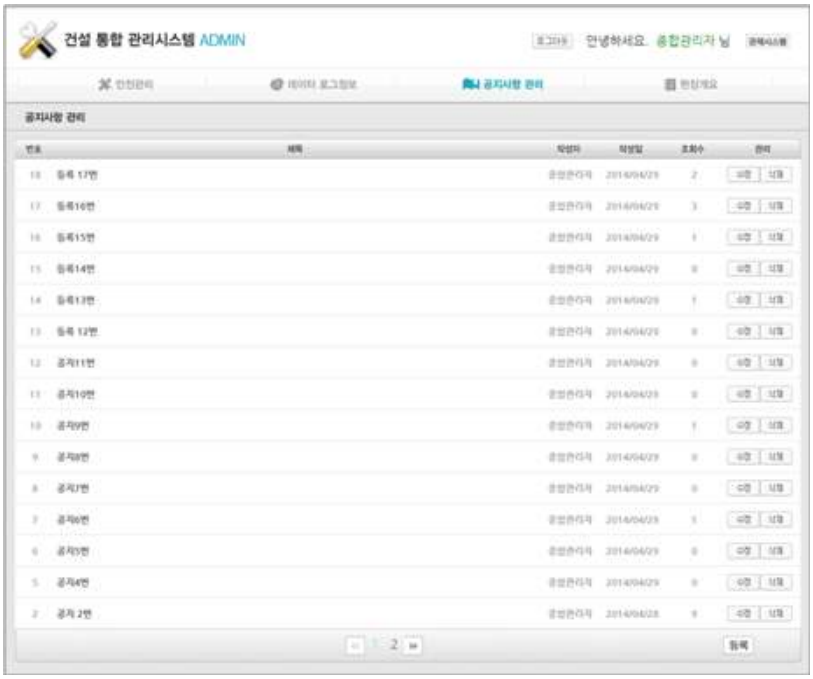


그림 2.210 공지사항 관리 화면

□ 현장개요

- 작업자 및 차량위치를 검색가능하며 엑셀파일로 저장가능하다.

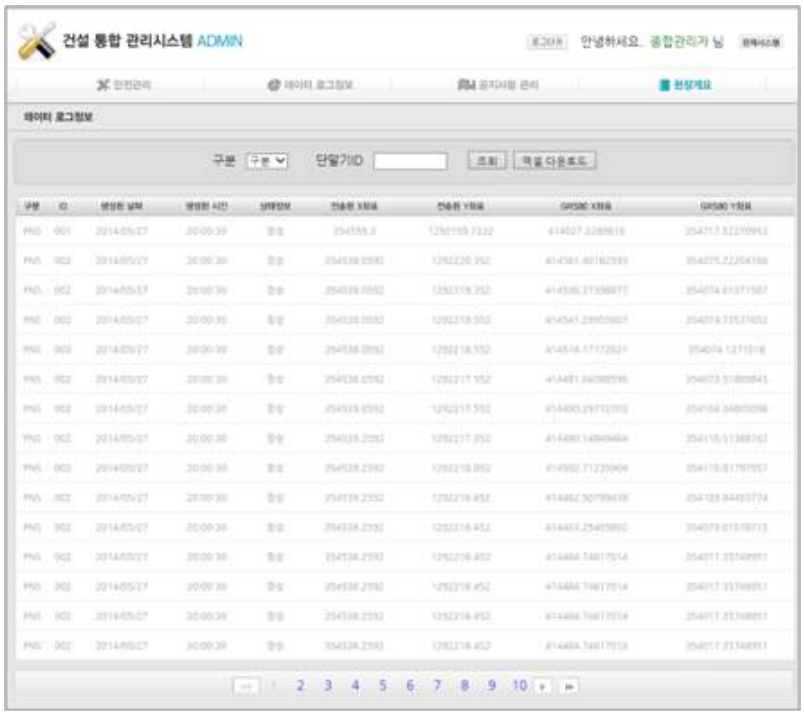


그림 2.211 현장개요 화면

(3) 3차년도 연구수행결과

(가) 관제시스템 성능 및 인증 프로세스 구축

① 관제시스템 성능 실험

㉮ 시험 개요

○ 시험 날짜

- 2014년 5월 29일, 7월 02일, 7월 28일, 9월 1일, 10월2일 (5회)

○ 시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장

○ 시험 목적

- 현장서버시스템 성능 테스트
- 관제시스템 성능 테스트
- 관제 관리자시스템 성능 테스트

○ 시험 장비

- 고정형 관제시스템(서버) 1대
- 고정형 현장서버시스템(서버) 1대
- 이동용 현장서버시스템(Notebook Computer(Intel i3 이상)) 1대(예비)

㉯ 실험 내용

○ 현장서버시스템

- 현장서버 환경설정 및 프로그램 설치
- 현장서버시스템 및 관제시스템 현장실험 환경 설정
- 센서정보 전송확인 테스트 및 시리얼통신 프로그램 테스트
- 현장서버시스템과 관제시스템 간의 메시지 전송 테스트

○ 관제시스템

- 관제시스템에서 데이터 전송 및 DB저장 정상유무 확인
- 관제시스템에서 CCTV 영상 표출 확인
- 관제시스템에서 작업자/차량 위치 표출 확인
- 단면도에서 작업자 및 차량 위치 표출 확인
- 관제 Main 시스템 / SUB시스템 기능 테스트
- 관제 관리시스템 성능 테스트

㉰ 성능 실험 결과

□ 1차 실험 : 2014년 5월 29일

○ 시험결과 (CNS/PNS)

- 실험시간 : 16시 07분 ~ 17시 27분
- 센서정보는 5~6초 간격으로 수신되었고, 정상적인 gns파일은 succ폴더에 저장된 후 관제시스템에 그 위치가 표출되었고, 노이즈가 발생한 센서정보는 fail폴더에 저장됨을 확인하였으며, 수신실패한 gns 파일을 분석한 결과 특이

한 패턴 없이 산발적으로 발생함을 알 수 있었음

분류	총건수	정상수신	수신실패
CNS/PNS	693	674	19
	100%	97.3%	2.7%

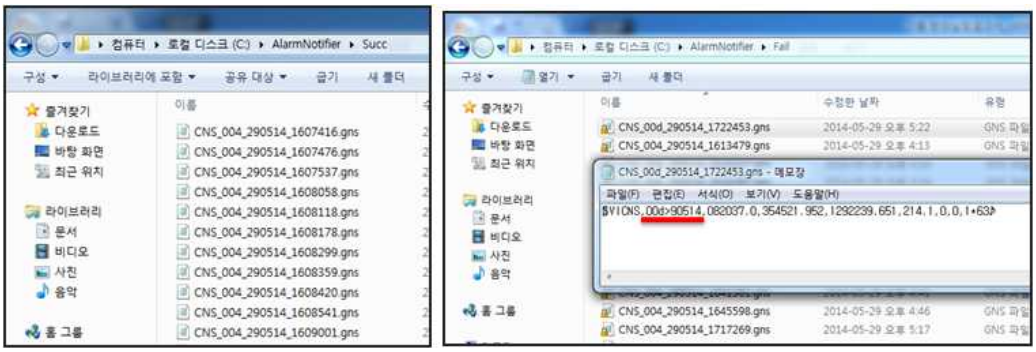


그림 2.212 수신된 센서정보 저장 화면

○ 시험결과 (관제시스템 표출)

- 작업자의 진행방향과 다른방향으로 지도상에서 표출됨
- 데이터 전송 및 DB저장은 문제없이 작동하였음
- CCTV 영상의 경우 이상없이 표출되었으나 CCTV 세부메뉴(줌 기능등)의 테스트는 미 수행
- 작업자/차량 위치 표출 확인의 경우 발신된 좌표와 일치하게 표시되었음
- 단말기의 좌표 발신이 부정확하여 위치 표출에 문제가 있음

□ 2차 실험 : 2014년 7월 02일

○ 시험결과 (CNS)

- 실험시간 : 17시 37분 ~ 18시 52분
- 실험개시 후 위치표출이 안됨 (17시 37분 ~ 17시 45분)
- CNS 전문상의 상태정보 누락으로 인한 위치정보 로직 변경
  → 관제시스템에 정상적으로 표출
- 조치 후에는 정상적으로 표출됨(지도, 종단면도)

분류	총건수	정상수신	수신실패
CNS	215	210	5
	100%	97.7%	2.3%

○ 시험결과 (PNS)

- 실험시간 : 17시 37분 ~ 18시 52분
- 실험 초기시 좌표가 서해에 표출되는 현상 발생 (18시 06분)
- 전문확인결과 경도 위치는 서해
- GPS장비교체 후 실험진행 → 전문상의 경도 위치가 정상표출됨

분류	총건수	정상수신	수신실패
PNS	236	223	13
	100%	94.5%	5.5%

○ 시험결과 (관제시스템 표출)

- 작업자의 진행방향과 다른방향으로 지도상에서 표출됨
- 작업자의 터널 진입 후 원활한 표출이 이루어지지 않아 추후 분석을 통한 원인 파악 필요

□ 3차 실험 : 2014년 7월 28일

○ 시험결과 (센서정보 전송)

- 실험개시 후 위치표출이 안됨 (17시 35분 ~ 17시 50분)
- 관제시스템 서버 IP를 기존 IP로 재 변경
- 조치 후에는 정상적으로 표출됨(지도, 종단면도)

○ 시험결과 (CNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
CNS	232	214	18
	100%	92.2%	7.8%

- 사갱의 2/3지점까지는 비교적 정확히 표출

○ 시험결과 (PNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
PNS	452	386	66
	100%	85.4%	14.6%

- 사갱의 1/3지점까지는 비교적 정확히 표출

○ 시험결과 (관제시스템 표출)

- 데이터 전송 및 DB저장은 문제없이 작동하였음
- 차량 위치 표출 확인의 경우 발신된 좌표와 비교적 일치하게 표시되었음

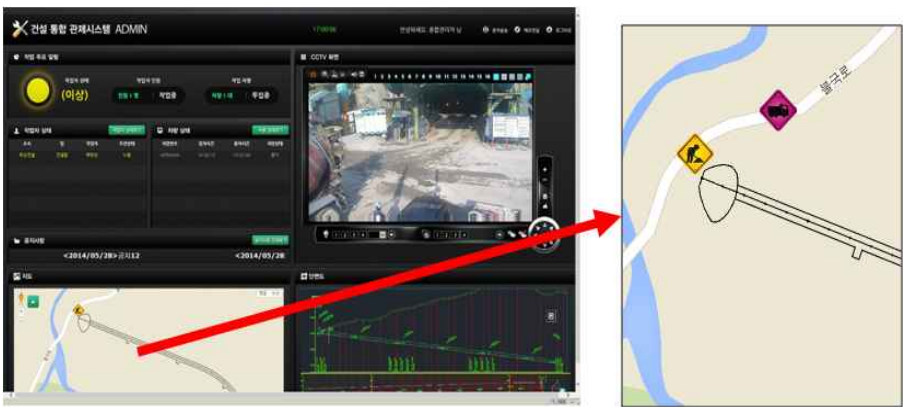


그림 2.213 관제시스템 표출 내용

□ 4차 실험 : 2014년 9월1일

○ 시험결과 (센서정보 전송)

- 이전 실험과 달리 전송된 센서정보는 AlarmNotifier의 succ폴더에 모두 저장됨(수신율 100%)
- DB 및 AlarmNotifier 확인결과 총 216개 단말기 센서정보가 DB에 저장된 것으로 확인

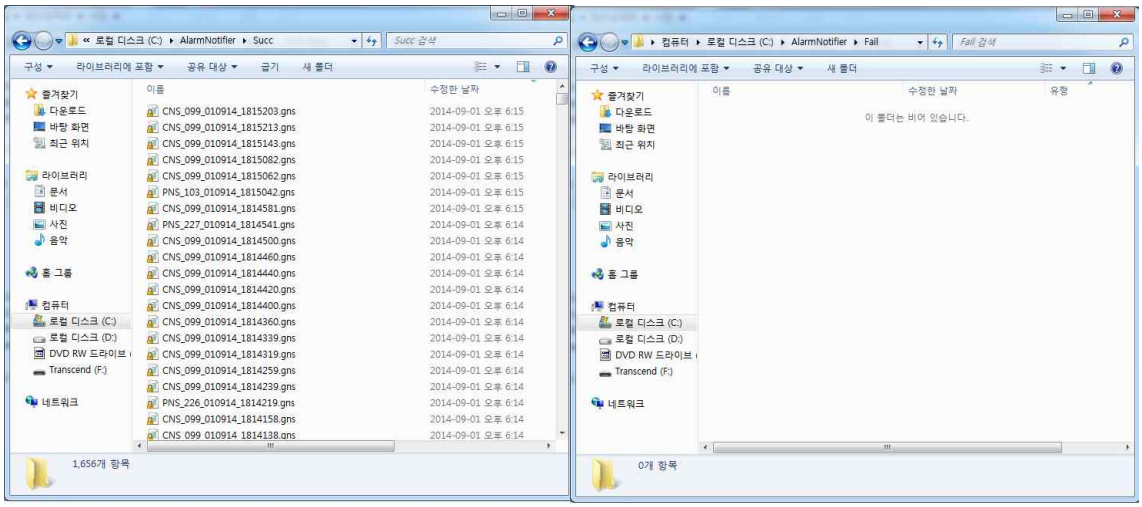


그림 2.214 AlarmNotifier 하위폴더내에 생성된 gns파일 확인

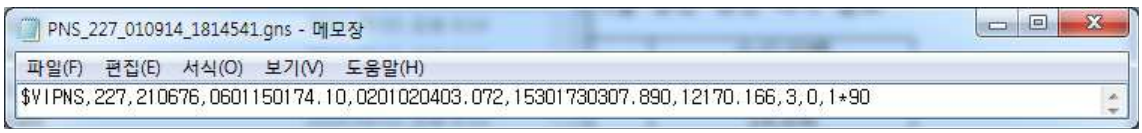


그림 2.215 사용하지 않은 단말기 번호로 생성된 pns센서정보 gns 파일

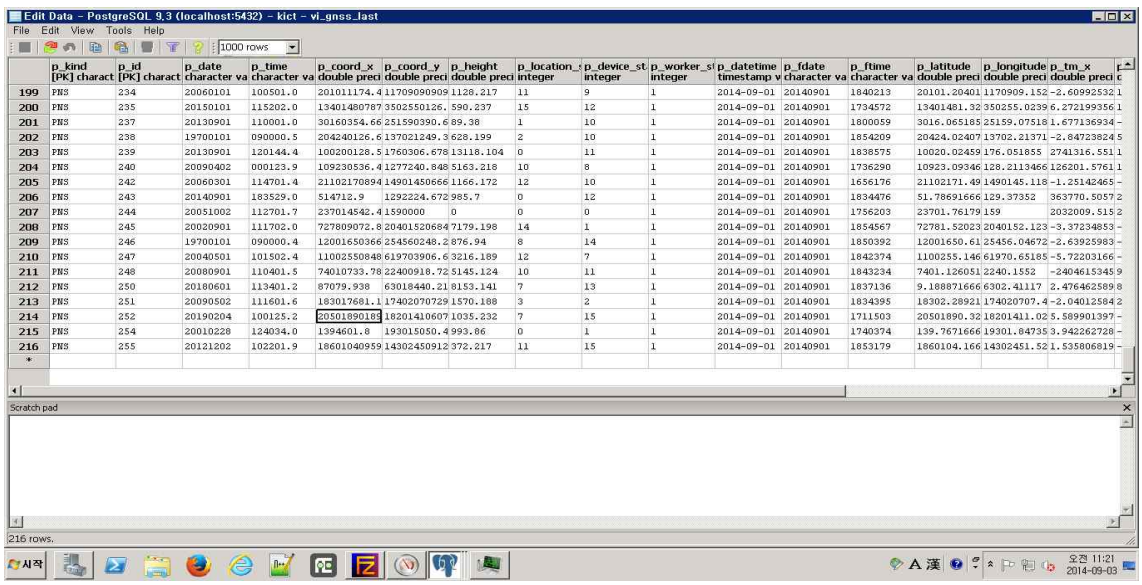


그림 2.216 DB내에 저장된 수신 단말기 목록

○ 시험결과 (CNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
CNS	1083	1083	0
	100%	100%	0%

- CNS의 경우 비교적 정확하게 센서정보가 수신되고 표출되었으나 순간적으로 사용하지 않고 있는 PNS단말기의 PNS파일이 생성되었고, 이후에 지도상에서 사라짐
- 사갱 2/3지점 까지는 비교적 정확히 표출
- 전문 변경 후 수신실패는 없음

○ 시험결과 (PNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
PNS	1380	1380	0
	100%	100%	0%

- PNS의 경우 미사용중인 단말기의 센서정보가 gns파일로 저장되어 관제시스템의 지도에 표출되는 문제 발생
- DB확인 결과 총 215개의 단말기의 센서정보가 각각 저장됨
- 근로자 등록은 pns001번~015번 단말기까지 등록하였고 추가적으로 pns020번 단말기를 등록하였기 때문에 관제시스템 지도에는 총 12명의 작업자만 표출됨
- 전문 변경 후 수신실패는 없음

○ 시험결과 (관제시스템 표출)

- 차량의 경우 1대의 단말기만 사용하여 1대의 차량만 관제시스템에 표시되었고 순간적으로 위치정보가 잘못 수신되었으나 비교적 정상적으로 표출됨
- 작업자의 경우 총 12명의 작업자가 표출되었으나 잘못된 센서정보로 인하여 전혀 상관없는 위치에 표출되는 문제 발생
- 좌표 확인결과 수신된 좌표 자체의 문제로 파악됨

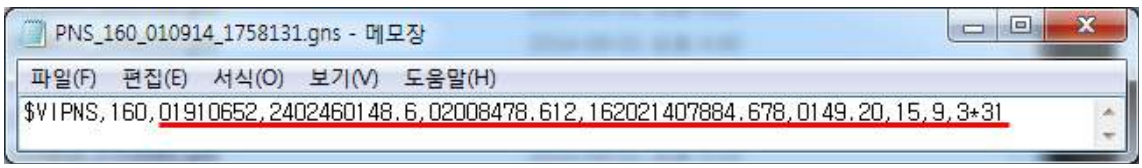


그림 2.217 수신된 센서정보 중 일부 파일 세부내용



그림 2.218 관제시스템에 차량 표출

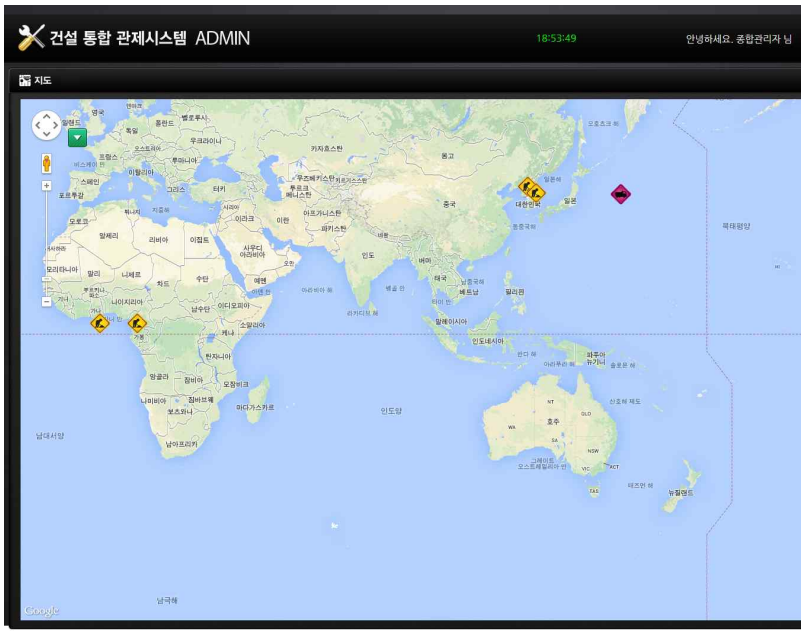


그림 2.219 관제시스템 지도 화면

○ 문제점 및 해결방안

- 송신된 센서 정보가 잘못되었으나 센서 정보는 모두 다 수신하였고, 수신된 센서정보를 그대로 지도에 표출하였기 때문에 GIS상의 좌표 표출 문제점은 없음
- 텔릿와이어리스솔루션즈의 ASCII 변환 프로그램 디버깅 필요 판단

□ 5차 테스트 : 2014년 10월2일

○ 시험결과 (PNS)

분류	총건수	정상수신	수신실패
PNS	1300	39	290
	97.08%	2.92%	

- 전문 수신시 체크섬 1자리 및 공백이 존재함

→ 다음 실험에는 기존전문과 동일한 전문을 발신하기로 합의함
- AlarmNotifier가 순간적으로 작동하지 않아 재시작
- pns파일이 적체되는 상황이 발생하고 문제가 있는 pns 파일을 삭제하여도 반응없음

→ 로그 확인 결과 오후 2시 2분경 AlarmNotifier 오류(socket error # 10054) 및 HTTP/1.0 500 Internal Sever Error가 발생하여 프로그램 정지됨

○ 시험결과 (관제시스템 표출)
- 프로그램 정지에 따라 표출이 일부 지연
- AlarmNotifier 재 가동후 정상적으로 작동

② 관제시스템 인증 실험

㉮ 시험 개요

○ 시험 날짜
- 2014년 10월14일, 12월22일 (2회)

○ 시험 장소 : 울산-포항 간 고속도로7공구공사 현장

○ 시험 목적
- 현장서버시스템 인증 테스트
- 관제시스템 인증 테스트
- 관제 관리자시스템 인증 테스트

○ 시험 장비
- 고정형 관제시스템(서버) 1대
- 고정형 현장서버시스템(서버) 1대
- 이동용 현장서버시스템(Notebook Computer(Intel i3 이상)) 1대(예비)

㉯ 실험 내용

○ 현장서버시스템
- 현장서버 환경설정 및 프로그램 설치
- 현장서버시스템 및 관제시스템 현장실험 환경 설정
- 센서정보 전송확인 테스트 및 시리얼통신 프로그램 테스트
- 현장서버시스템과 관제시스템 간의 메시지 전송 테스트

○ 관제시스템
- 관제시스템에서 데이터 전송 및 DB저장 정상유무 확인
- 관제시스템에서 CCTV 영상 표출 확인
- 관제시스템에서 작업자/차량 위치 표출 확인
- 단면도에서 작업자 및 차량 위치 표출 확인
- 관제 Main 시스템 / SUB시스템 기능 테스트

- 관제 관리시스템 인증 테스트

㉮ 인증 실험 결과

□ 1차 테스트 : 2014년 10월14일 / 2차 테스트 : 2014년 12월22일

○ CPU 부하량

- CPU 부하량은 센서정보가 DB에 저장되고 있을 시에 측정
- 최대 사용빈도 측정
- 성능목표인 80% 보다 약간 높은 81%의 수치가 측정됨
- 하지만 다른 응용프로그램들이 함께 실행되고 있기 때문에 시스템 리소스에 영향을 준 것이 센서정보가 DB에 저장되고 있는 상황이라고 확정지을 수 없으며 그 점을 감안한다면 성능목표에 도달하였다고 추론 가능

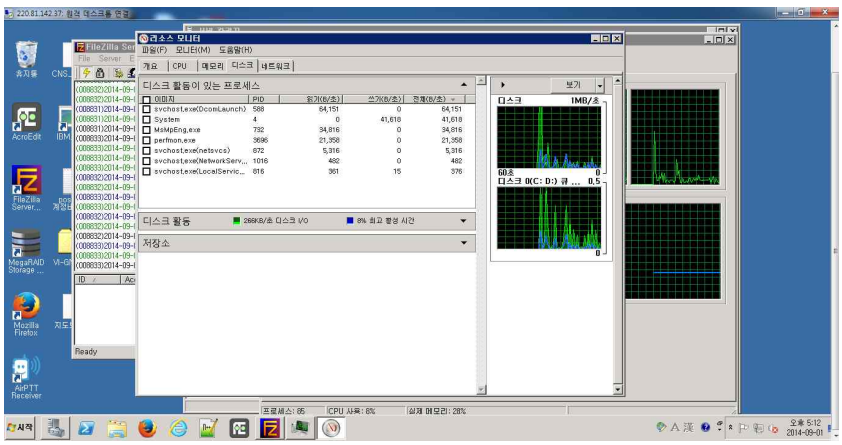


그림 2.220 CPU 부하량

○ Memory 부하량

- Memory 부하량은 센서정보가 DB에 저장되고 있을 시에 측정
- 사용된 실제 메모리 측정
- 성능목표인 70% 보다 약간 낮은 66%의 수치가 측정됨
- 성능 목표에 도달

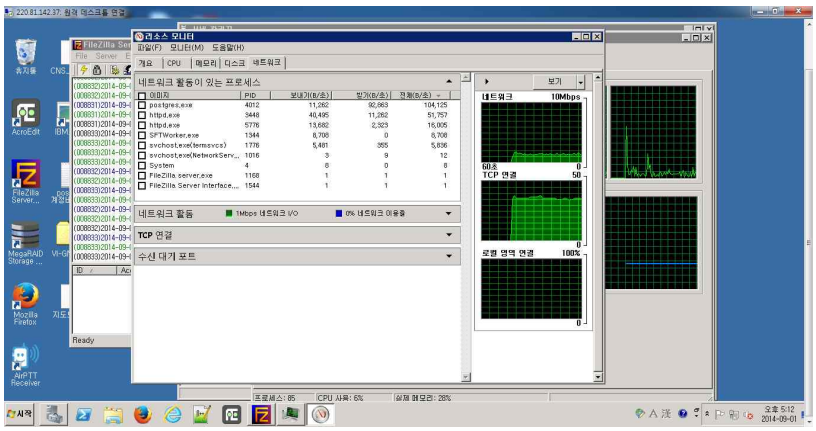


그림 2.221 메모리 부하량

○ 디스크 부하량

- 디스크 부하량은 센서정보가 DB에 저장되고 있을 시에 측정
- 성능목표인 Read 300,000(Byte/S)이내 / Write 300,000(Byte/S)이내의 범위 안에 도달하여야 성능목표 도달
- 성능목표인 Read 300,000(Byte/S)이내 / Write 300,000(Byte/S)이내의 범위 안의 값이 측정되어야 성능목표 도달
- 시스템을 사용할수록 계속 누적되는 수치이기 때문에 다음 실험시에는 프로세스를 최대한 적게 사용한 후 측정하거나 측정값에서 초기값을 빼서 계산하여야 함
- Read 253,232 / Write 132,677 으로 측정되어 비교적 안정적인 상태 유지

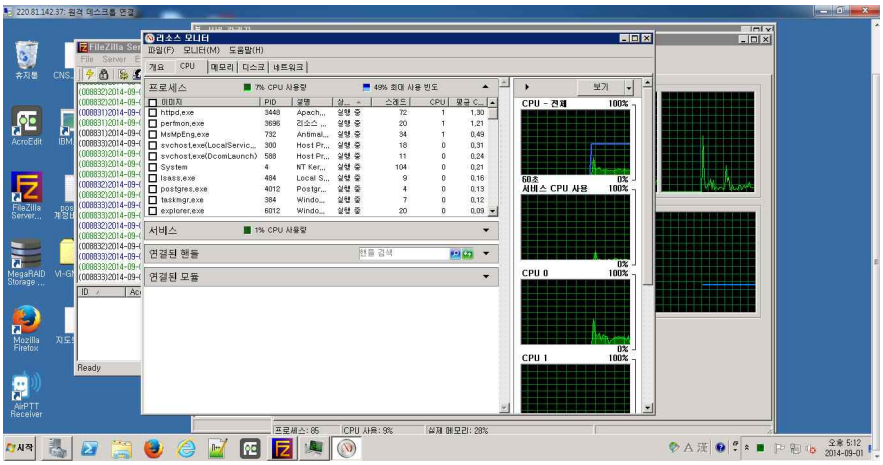


그림 2.222 디스크 부하량

○ 네트워크 부하량

- 네트워크 부하량은 센서정보가 DB에 저장되고 있을 시에 측정
- 성능목표인 input 300,000(Byte/S)이내 / output 300,000(Byte/S)이내의 범위 안의 값이 측정되어야 성능목표 도달
- Read 99,642 / Write 72,018 으로 측정됨

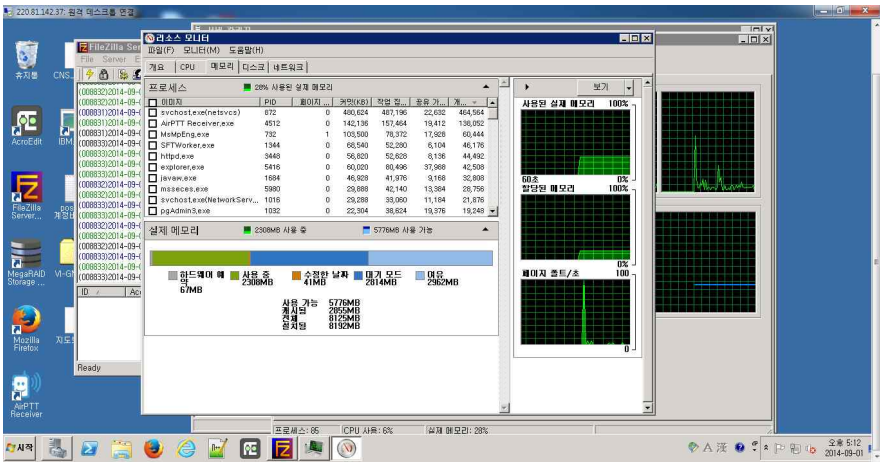


그림 2.223 네트워크 부하량

○ 웹호환성 준수 / 웹표준 준수

- 웹호환성 준수는 IE외의 다른 웹브라우저에서도 기능 문제없이 이용 가능한 웹서비스를 뜻함
- 관제 시스템의 경우 불필요한 플러그인을 사용하지 않기 때문에 거의 모든 웹브라우저에서 이용 가능함
- 인증 테스트시에는 크롬에서 구동하여 호환성 준수 확인

③ 관제시스템 성능 및 인증 프로세스

관제시스템 성능 및 인증 테스트 결과를 파악이 용이하도록 성능테스트 Sheet 및 인증테스트 Sheet를 활용하여 각각의 테스트 항목에 관한 성능목표 및 결과를 파악할 수 있도록 하였다.

표 2.11 관제시스템 성능 테스트 항목 및 결과

구분	성능테스트 항목	성능목표	결과				
			1차	2차	3차	4차	5차
통합 관제 시스템	센서데이터 좌표기반 GIS상 작업자(PNS) 위치 정확도	95% 이상	100	100	100	100	100
	센서데이터 좌표기반 GIS상 차량(CNS) 위치 정확도	95% 이상	97	100	100	97	-
	센서데이터 좌표기반 CAD상 작업자(PNS) 위치 정확도	95% 이상	98	100	100	100	100
	센서데이터 좌표기반 CAD상 차량(CNS) 위치 정확도	95% 이상	100	100	100	100	-
	CCTV 영상 전송율	95% 이상	96	97	100	100	100
	GIS상 상황인지 및 상황전파 기능 오작동율	5% 이내	0	0	0	0	0
	센서 데이터 저장율(현장->관제시스템)	95% 이내	97.3	96	87.7	99	97.08
	센서 데이터 DB저장 정확도	95% 이내	100	100	99	100	100
	관제-현장서버간 문자채팅 소켓통신 오류율	5% 이내	2	0	0	0	0
관리 시스템 (Main,Sub)	로그 저장 정확도	98% 이내	100	100	100	100	100
	사용자 로그인 권한의 보안성	100%	100	100	100	100	100
	TM좌표변환 정확도	98% 이내	100	100	100	100	100

표 2.12 관제시스템 인증 테스트 항목 및 결과

구분	인증테스트 항목	성능목표	4차	5차
관제시스템	CPU 부하량	최대 80% 이내	81	80
	Memory 부하량	최대 70% 이내	66	65
	디스크 부하량	Read 300,000(Byte/S) 이내	253,232	223,287
		Write 300,000(Byte/S) 이내	132,677	211,773
	네트워크 부하량	Input 100,000(Byte/S) 이내	99,642	89,427
		Output 100,000(Byte/S) 이내	72,018	62,442
	웹호환성 준수	크로스 브라우저 2개이상	구글 크롬 IE 10 (2개)	구글 크롬 IE 10 (2개)
	웹표준 준수	최신 익스플로러 IE v.10 이상 적용	O	O

(나) 시스템 운영 및 보완

① 시스템 개선내역

2014년 5월 29일부터 12월 22일까지 총 7회의 시스템 성능 및 인증 실험을 통하여 관제시스템의 시스템적인 오류 및 개선소요가 발생하여 해당 테스트가 끝나고 다음 테스트가 진행되기 전까지 관제시스템 및 관리시스템의 소스코드를 수정하였다. 주요 개선사항은 다음과 같다.

㉮ 관제시스템 차량 및 작업자 팝업 기능 추가

DB에 저장된 센서정보가 지도 및 종단면도에 마커로 표출되는데 이를 클릭하면 팝업창에 해당 좌표 및 상태정보를 표출할 수 있는 기능을 추가 하였다. 작업자가 근접한 공간내에 여러 명 위치할 경우 표출되는 마커만으로는 구분이 불가하기 때문에 정확한 위치를 쉽게 인지 할 수 있도록 추가적인 기능을 구성하였다.

㉯ DB 테이블 변경 및 수정

2차년도에 구축된 DB 테이블의 경우 기능을 추가하는 과정에서 일부 왜곡이 발생하여 관제시스템 구동시 속도 저하 문제가 발생하여 DB 테이블을 단순화 시키고 유사한 테이블은 통합하여 효율적인 DB 구축을 수행 하였다.

㉰ UI 디자인 개선

기능명의 변경 및 메뉴명의 변경, 관제 관리 시스템의 기능 추가 등으로 UI 디자인 개선을 통하여 시스템의 통일성을 이루었다.

㉱ 공지사항 등록/삭제 수정

공지사항 등록 및 삭제의 경우 테이블 변경 및 수정 부분과 맞물려 삭제 시 순간적인 페이지 리로딩이 반복되는 오류가 발생하여 DB 테이블 및 쿼리문을 변경하여 공지사항을 등록하고 수정하고 삭제하는 데 문제가 없도록 하였다.

㉮ 중복된 기능 삭제

관제시스템과 관리시스템간의 중복된 기능이 존재하여(CCTV 및 단면도 등) 시스템의 효율성을 위하여 삭제하였다.

㉯ 차량 및 작업자 등록/삭제 수정

차량 및 작업자 등록/삭제 시 단말기 번호순으로 정렬되지 않고 수정 및 저장 순으로 정렬되어 이를 단말기 번호순으로 정렬되도록 수정하였다.

㉰ 검색조건 단순화

기존 시스템에서 검색을 수행할 경우 정확한 단어 및 숫자를 입력하지 않으면 검색에 제한이 있어 매우 불편하였다. 이를 개선하고자 자연어 검색을 도입하여 일부 단어만 입력하더라도 검색이 가능하도록 하였다.

표 2.13 관제시스템 개선내역

구분	세부 항목	개선내역
관제시스템	메인화면	1. 로그인 시 일부 건설사명이 표출되지 않는 문제 개선 2. 수직 스크롤 자동생성 방지
	공지사항	1. 목록 클릭시 해당 페이지로 이동하도록 개선
	차량상태/ 작업자상태	1. 작업자 상태와 차량상태의 정보가 팝업창의 정보와 일치하도록 수정
	지도/단면도	1. 지도 확대시 상단 이미지 수정 2. 단면도 이미지 교체
	로그인/로그아웃	1. 로그인시 공백입력 시 오류 메시지 표시 2. 로그아웃시 경고 메시지 표출
관리시스템	안전관리	1. 건설업체 관리 항목이 최상단에 위치하도록 수정 2. 근로자 연락처 입력시 오류 발생 해결 3, 근로자 등록 UI 변경
	차량관리	1. 버튼 캡션 이미지 변경 및 상이한 용어 통일
	건설업체 관리	1. 건설업체 전화번호 입력시 오류 발생 해결
	메모 전송 내역	1. 구분값 입력 방식 수정

4. 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장 지원시스템

가. 연구수행 결과

(1) 2차년도 연구수행 결과

2차년도에는 터널 지하구조물 건설 시공현장을 대상으로 시범 운영을 수행하였으며, 경제성 분석을 통한 개발 시스템의 상용화 가능성을 검토하였다.

(가) 지하구조물 건설현장지원시스템 시범 운영 및 개선

① 터널 지하구조물 건설 시공현장 대상 시스템 시범 운영

■ 시험일시 : 2013년 11월 28일 / 12월 19일

■ 시험장소 : 울산~포항 고속국도 7공구 양남터널 현장

■ 시험결과

▶ 작업자 및 이동차량 단말기 - 현장서버시스템 데이터 전송 테스트

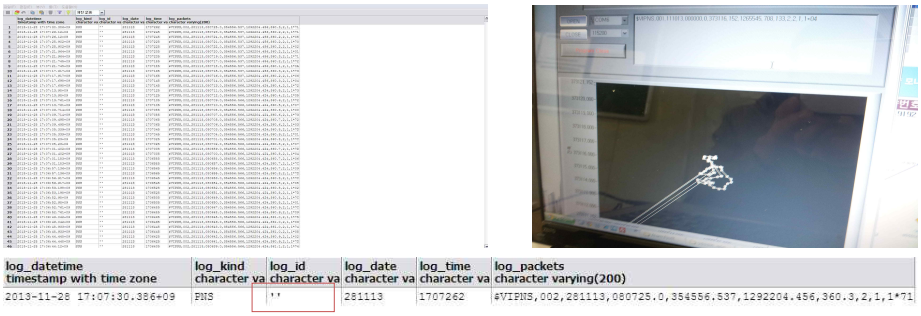
- 현장서버시스템 저장 데이터 일부 누락
  => 누락 방지를 위하여 주기 변경 : 5Hz -> 3Hz
- 음성통신을 할 경우 무선통신 데이터 깨짐 현상 발생
- 이전 테스트 때 400m 정도의 데이터 통신이 이루어진 반면 통합테스트는 960m 정도의 통달거리 확인
- 안테나 사이즈를 최소화 할 수 있는 튜닝이 필요



그림 2.224 현장서버와 작업자 단말기 무선통신 시험



그림 2.225 현장서버와 이동차량용 단말기 무선통신 시험



log_datetime timestamp with time zone	log_kind character va	log_id character va	log_date character va	log_time character va	log_packets character varying(200)
2013-11-28 17:07:30.386+09	PNS	''	281113	1707262	$VIPNS,002,281113,080725.0,354556.537,1292204.456,360.3,2,1,1*71

그림 2.226 현장서버시스템 데이터 로그 프로그램 수행 현황

무선통신 환경으로 구축되는 단말기와 현장서버 사이에 메쉬 네트워크를 기반으로 하는 무선통신 단말기를 적용하여 터널내에서의 무선통신 성능을 점검하였다. 1차 시험에서는 기준국을 터널 꺾어지는 부분에 두고, 양방향에서의 신호 검출 성능을 시험하였으며, 2차 시험에서는 기준국을 터널 입구에 두고 터널 진입 후 도달 성능을 시험하였다.



그림 2.227 터널 내부 기지국 설치 및 송수신 시험

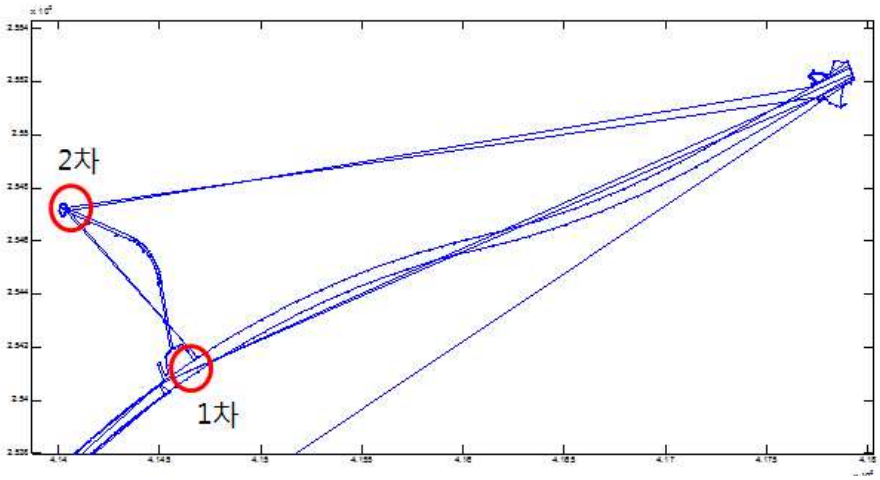


그림 2.228 터널 내부 기준국 위치 도시 화면

○ 1차 메쉬네트워크 실험 : 1차 기준국 위치에서 막장 까지 이동 (1.2Km)
- 1.1Km 정도의 거리까지 데이터 통신 원활함
- 반대편 방향차도에서 이동 시 대략 300~500M정도 데이터통신 가능함
- 터널 입구 까지 대략 1km 정도 데이터 통신이 가능

○ 2차 메쉬네트워크 실험 : 2차 기준국 위치 (터널입구)에서 시작 하여, 대략 커브구간 직전 100M 정도에서 데이터 통신이 두절
- 통달 거리 대략 (1.1km) 정도
- 수신기 설치 각도 : 현재는 90도로 설치하였지만 터널 방향에 맞게 설치각도를 조절하면 통달거리가 증가될 수 있다.

▶ 작업자 및 이동차량 단말기 - 현장서버시스템 데이터 전송 테스트

○ 현장서버시스템에서 센서 데이터를 로딩과 분석 실시

○ 현장서버시스템의 센서 데이터가 관제시스템으로 파일 전송에 대한 육안검사한 결과 정상적으로 파일이 전송되어 파일 삭제

○ 현장서버시스템 데이터 로그 분석 프로그램에서 관제시스템으로 센서 데이터 전송 확인하였으며 전송 테스트에 사용된 센서 데이터가 정상적으로 로그에 기록되어 데이터 전송 완료

○ 관제시스템 DBMS에서 현장서버시스템으로 부터 전송된 센서 데이터 저장 및 데이터 유효성 확인을 위해 센서데이터와 현장서버시스템의 로그 분석 프로그램의 로그 및 관제시스템의 DB 센서정보를 비교하여 정상적으로 DB에 저장



그림 2.229 현장서버시스템 센서 데이터 전송 테스트 화면



그림 2.230 현장서버시스템 테스트 수행 화면

○ 1차 현장서버시스템 실험 : 센서 데이터 수신 및 관제시스템 전송
- 네트워크에 의한 센서 데이터 노이즈 발생으로 샘플 데이터 생성 (센서 데이터 일부 누락 됨)
- 샘플 데이터를 이용한 센서 데이터 전송 테스트하였으면 정상 작동

○ 2차 현장서버시스템 실험 : 센서 데이터 수신 및 관제시스템 전송
- 터널 작업자 센서 데이터를 수신하여 관제시스템으로 전송
- 작업자 센서 데이터를 정상적으로 수신하였으며 관제시스템으로 정상적인 전송 (DB에서 확인)

▶ 관제시스템 모니터링 테스트
○ 현장서버시스템 CCTV에서 영상정보를 전송받아 관제시스템에서 CCTV 영상 정상적으로 표출
○ 센서 데이터에 의해 관제시스템 GIS상에서 작업자 위치 정상적으로 표출
○ 센서 데이터에 의해 관제시스템 GIS상에서 차량 위치 정상적으로 표출
○ 관제시스템 메인 건설사용 관제시스템에 작업자 상세정보, 차량 상세정보, 작업자 및 차량에 대한 관제내용에 대해 정상적으로 표출
○ 관제시스템 협력건설사용 건설사용 관제시스템에 작업자 상세정보, 차량 상세정보, 작업자 및 차량에 대한 관제내용에 대해 정상적으로 표출
○ 관제 관리자시스템의 작업자정보 등록/수정/삭제 및 차량정보 등록/수정/삭제에 대해 정상적으로 기능 작동

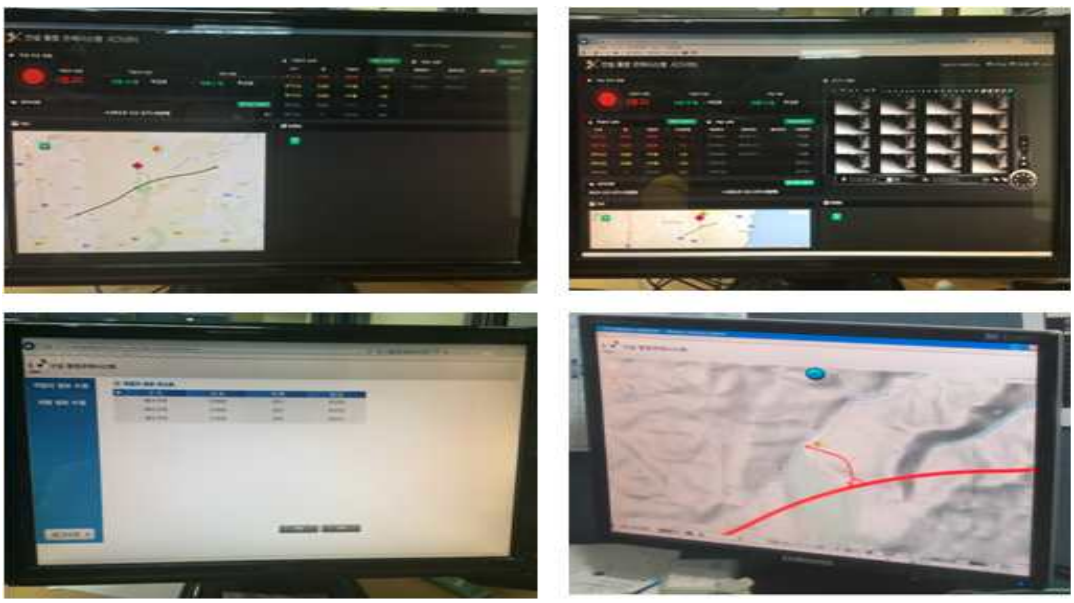


그림 2.231 관제시스템 테스트 화면

○ 1차 관제시스템 실험 : 센서 데이터에 의한 관제시스템 서비스 테스트
- 작업자 및 차량에 대한 위치정보와 상태정보의 상세정보가 업데이트 되지 않음
(관제시스템 웹 리플래쉬 모듈 오류발생)
- 리플래쉬 모듈을 제외하고 관제시스템 및 관리자시스템 나머지 서비스는 정상 작동
○ 2차 관제시스템 실험 : 센서 데이터에 의한 관제시스템 서비스 테스트
- 작업자 및 차량에 대한 위치정보와 상태정보의 상세정보 업데이트 정상작동
- 메인 건설사 및 협력업체용 관제시스템과 관리자시스템 서비스 정상 작동

(나) 경제성 분석

① 경제성 분석의 전제

경제성 분석 대상인 본 시스템을 구축하지 않을 경우에도, 기존 현장관리를 위한 비용이 소요되기 때문에 이 비용을 고려한 분석방법을 적용하였으며, 무선통신장비 종류는 최근 사용성이 증가하고 있는 TRS로 설정하였다. 경제성 분석을 위한 총비용에는 시스템 구축을 위한 현장 관리 시스템과 관제 시스템을 하나의 Set로 고려하며, 평균 1개 50명 기준의 현장 50명에 적용하는 조합을 1개 관제 시스템과 50개 현장 관리 시스템으로 설정하고, 유지관리비는 장비비의 10%로 적용하였다. 경제성 분석을 위한 사회적 할인율은 한국개발연구원의 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제4판)』에 근거하여 5.5%를 적용하였으며, 본 시스템의 경제성 분석기간을 사용연수인 8년으로 설정하였다. 본 시스템 도입을 통해 발생할 것으로 판단되는 편익은 전체 발생 연간편익을 연간 공사현장수로 나누어 1개 현장에 대하여 추정하였다.

② 분석 결과

㉮ 비용

비용은 관제 시스템과 현장 지원 시스템 초기 구축 및 연간 유지관리비용으로 추정하였고, 그 결과는 아래 표와 같다.

표 2.14 시스템 구축 비용

지표명	시스템 구축 비용		척도	금액(천원)
경제적 가치	비용	100,000(초기), 5,000(연간)		
	산출근거	- 구축비용(초기비용) = (관제 시스템 x 구축 수) + (현장 관리 시스템 x 구축 수) 구축비용(연간비용) = (현장 관리 시스템 x 구축 수) x 유지관리요율 ○ 관제 시스템 비용 = 50,000,000원 ○ 관제 시스템 구축 수 = 1개 ○ 현장 지원 시스템 비용 = 1,000,000원 ○ 현장 지원 시스템 구축 수 = 50개 ※ 분실・고장 등에 의한 유지관리요율은 10%로 가정 (현장 지원시스템에 한함)		

㉯ 사고 감소 편익

시스템 도입을 통해 지하철 및 터널공사현장의 소음·분진으로 발생하는 건설장비와 작업자사이의 충돌 및 접촉 대해를 방지할 수 있을 것으로 판단되며, 연간 건설재해 중 차지하는 비율을 산정하여 사고 감소 편익으로 추정하였다.

표 2.15 사고 감소 편익

지표명	사고 감소 편익	척도	금액(천원)
경제적 가치	편익	7,152(연간)	
	산출근거	- 절감비용 = (연간 건설재해 총 손실 x 지하철 및 터널 재해비율 x 충돌·접촉 재해비율) / 연간 지하철 및 터널 건설 현장수 ○ 연간 건설재해 총 손실 = 4,7240억원 ○ 지하철 및 터널 재해비율 = 각 3.05%, 1.09% ○ 지하철 및 터널 재해 중 충돌·접촉 발생비율 = 각 14.3%, 4.5% ○ 연간 지하철 및 터널건설 현장수 = 501곳 ※ 한국산업안전보건공단 “2004-07년 산업재해현황분석”, 국토해양부 “2007년 발주기관별 세부공종별 기성실적” 참조		

㉰ 현장관리 통신장비 절감 편익

본 시스템 도입을 통해 절감할 수 있는 기존 현장관리 통신장비의 초기투자비용 및 분식·고장에 대한 유지보수비용을 추정하여 편익으로 분석하였다. 본 현장관리 통신장비 절감 편익은 최근 사용성이 증가하고 있고, 터널과 같이 통신환경이 열악한 상황에서 유리한 TRS 무전기를 대상으로 하였고, 일반 무전기에 대한 편익 분석은 다음 절에서 실시하였다.

표 2.16 현장관리 통신장비 절감 편익

지표명	현장관리 통신장비 절감 편익	척도	금액(천원)
경제적 가치	편익	57,500(초기), 7,050(연간)	
	산출근거	- 절감비용(초기비용) = 장비비(1대) x 사용대수 절감비용(연간비용) = 장비비(1대) x 사용대수 x 유지관리요율 + 통신비용 ○ 장비비(TRS 무전기, 1대) = 500,000원 ○ 장비비(TRS 중계기, 1대) = 25,000,000원 ○ 사용대수 = 무전기 15대, 중계기 2대 ○ 통신비용 = 35,000원(1대/월) x 12개월 ※ 분실·고장 등에 의한 유지관리요율은 10%로 가정(TRS 무전기에 한함)		

㉮ 현장관리 이동경비 절감 편익

현장관리를 위해 현장사무실의 관리자가 직접 공사현장을 방문하면서 발생하는 이동경비와 후속작업 지시 및 작업자 위치 파악을 위한 작업반장 공사현장 내·외부 이동경비를 최소화 할 수 있을 것으로 예상되어 편익으로 추정하였다.

표 2.17 현장관리 이동경비 절감 편익

지표명	현장관리 이동경비 절감 편익		척도	금액(천원)
경제적 가치	편익	1,120(연간)		
	산출근거	- 절감비용 = 1회 이동거리 x 1일 이동절감회수 x 연간 실작업일수 x 연료비(ℓ당) / 차량연비(km/ℓ) ○ 1회 이동거리 = 현장사무실-공사현장 왕복 10km 공사현장 내·외부 왕복 1km ○ 1일 이동절감회수 = 현장사무실-공사현장 2회 공사현장 내·외부 12회 ○ 연간 실작업일수 = 300일 ○ 연료비 및 차량연비 = 1,400원/ℓ, 12km/ℓ ※ 1일 3회 작업 사이클(구성: 착암-버력처리-숏크리트-록볼트)로 총 12회 이동발생 가정		

㉯ 노무비 절감 생산성 향상 편익

본 시스템은 공사현장 모든 작업자를 대상으로 구축되므로, 모든 작업자간 음성통신이 가능하다는 점에서 기존 터널공사현장 작업자 중 건설기계의 유도 및 수신호 역할을 하는 건설기계운전조수의 역할을 최소화 할 수 있을 것으로 추정되어 편익으로 산정하였다.

표 2.18 노무비 절감 생산성 향상 편익

지표명	노무비 절감 생산성 향상 편익		척도	금액(천원)
경제적 가치	편익	16,585(연간)		
	산출근거	- 절감비용 = 1일 노무비 x 절감인원 x 연간 실작업일수 ○ 1일 노무비 = 55,282원(건설기계운전조수) ○ 절감인원 = 1인 ○ 연간 실작업일수 = 300일 ※ 시스템 도입을 통한 작업자간 음성통신으로 건설기계운전조수 역할(장비유도) 최소화 가능		

㉮ 연차별 현금흐름

비용 및 편익 추정 결과와 이를 통한 연간 현금흐름은 아래 표와 같다.

표 2.19 비용 및 편익 추정 결과

단위(천원)

구분	항목	기존 무선장치	VI-GNSS
비용	초기 투자비	57,500	100,000
	초기비용 계	57,500	100,000
	연간 사용료	6,300	0
	유지관리비	750	5,000
	연간비용 계	7,050	5,000
편익	사고감소비	기준	7,152
	이동경비	기준	1,120
	생산성향상	기준	16,585
	연간편익 계	기준	24,857

표 2.20 연차별 현금흐름

연차	비용		편익		계	
	현금흐름	현재가치	현금흐름	현재가치	현금흐름	현재가치
0	100,000	100,000	57,500	57,500	-42,500	-42,500
1	5,000	4,739	31,906	30,243	26,906	25,504
2	5,000	4,492	31,906	28,666	26,906	24,174
3	5,000	4,258	31,906	27,172	26,906	22,914
4	5,000	4,036	31,906	25,755	26,906	21,719
5	5,000	3,826	31,906	24,413	26,906	20,587
6	5,000	3,626	31,906	23,140	26,906	19,514
7	5,000	3,437	31,906	21,934	26,906	18,496
8	5000	3,258	31,906	20,790	26,906	17,532
계	140,000	131,673	312,750	259,413	172,750	127,940

㉮ 경제성 분석 결과

경제성 분석 결과는 아래 표와 같으며, 8년을 기준으로 비용/편익비(B/C)는 1.97, 순현재가치(NPV)는 1.28억원, 내부수익율(IRR)은 61.97%로 나타나, 경제적 타당성을 확보하는 것으로 분석되었다. 이 결과는 시스템 도입을 위해 소요되는 비용보다 도입을 통해 얻을 수 있는 사고감소편익과 기존 시스템에 소요되는 비용의 합이 더 크다는 것을 의미한다.

표 2.21 경제성 분석 결과

연차	B/C	NPV(천원)	IRR(%)
0	0.58	-42,500	·
1	0.84	-16,996	·
2	1.07	7,178	17.29
3	1.27	30,091	40.47
4	1.44	51,811	21.19
5	1.60	72,398	56.58
6	1.74	91,911	59.46
7	1.86	110,408	61.06
8	1.97	127,940	61.97



그림 2.232 기간별 B/C 변화

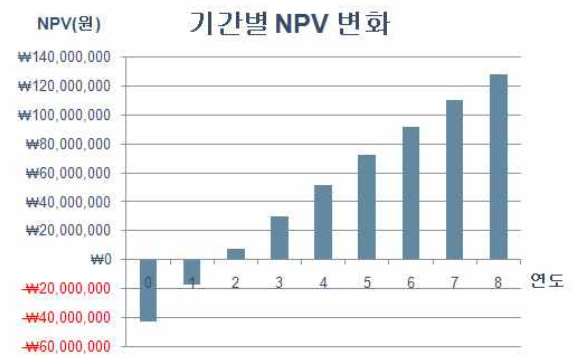


그림 2.233 기간별 NPV 변화

본 시스템 도입을 통해 편익을 얻을 수 있는 기간을 산정하기 위하여 비용과 편익을 비교·분석한 손익분기점(Break Even Point) 결과를 도출하였다. 손익분기점은 초기 고정비용과 변동비에 대하여 향후 발생할 것으로 예상되는 편익이 일치하여 이익과 손실이 없는 점을 말한다. 본 시스템의 도입은 기존 현장관리 시스템보다 초기비용이 크고 변동비가 발생하므로, 시스템 도입을 통해 발생하는 편익이 초기비용과 변동비용 합을 초과하는 시점인 손익분기점을 도출하였다.

$$\text{손익분기점}(n) : \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t}$$

n : 손익분기점

분석 결과 발생비용과 편익이 동일해지는 손익분기점은 1.69년으로 분석되었으며, 이는 약 1년8개월 사용기간을 기점으로 시스템 사용으로 인해 초기투자비용을 상쇄하고 편익이 발생하기 시작하는 것으로 분석되었다.

(2) 3차년도 연구수행결과

3차년도에는 통합시스템의 성능 및 인증 실험을 통한 수정·보완으로 시스템 안정성 확보를 함과 동시에 인증프로세스 제시를 통하여 시스템의 정보 전송 단계에 따른 검증을 수행하였다.

(가) 통합시스템 성능 실험

① 성능 실험 개요

㉮ 실험 일자 : 2014년 5월 29일, 7월 2일, 7월 28일, 9월 1일, 10월2일 (5회)

㉯ 실험 장소 : 울산~포항 간 고속국도 7공구 공사 현장

㉰ 실험 결과

□ 1차 실험 : 2014년 5월 29일

○ 위치정보 패킷데이터 전송율 (단말기 - 현장서버시스템 사이)

- 현장서버시스템까지의 패킷데이터 전송율은 성능목표 만족함

○ 현장서버시스템 변환 파일 전송율 (현장서버시스템-관제시스템 사이)

- 관제시스템에 적재되는 변환 파일의 전송율은 성능목표 만족함

○ CCTV 영상정보 전송율

- 관제시스템에 표출되는 영상정보의 전송율은 만족함
- 영상정보 전송율에는 문제가 없었지만, 시스템 지속 운영 시 IP 충돌로 인한 CCTV 영상정보 전송 제한

○ 관제시스템 위치정보 데이터 정확도(단말기 생성 위치정보 대비)

- 관제시스템 상에서 표출되는 위치정보의 정확도는 성능목표 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (지도 상 표현)

- 관제시스템의 지도 상에 표출되는 위치정보 정확도는 성능목표 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도)
- 종단면도 상의 위치정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함
- 평균적인 위치 정확도는 성능목표를 만족하지만 일부 종단면도를 벗어난 위치정보 표출이 생성됨
- 이는, 절대기압측량으로 생성되는 고도데이터가 단위계 환산 시 발생한 오류로 판단되며, 해당 오류를 개선하기 위한 알고리즘 검토 및 수정

○ 상태정보 표출 정확도
- 작업자의 상태정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

□ 2차 실험 : 2014년 7월 2일

○ 위치정보 패킷데이터 전송율 (단말기 - 현장서버시스템 사이)
- 사갱 입구부의 구조물의 간섭 영향으로 인하여 무선통신 환경의 제약이 발생하여 성능목표를 만족하지 못함(94.5%)

○ 현장서버시스템 변환 파일 전송율 (현장서버시스템-관제시스템 사이)
- 현장서버시스템 변환 파일 전송율은 성능목표를 만족함

○ CCTV 영상정보 전송율
- 관제시스템에 표출되는 영상정보의 전송율은 성능목표를 만족함

○ 관제시스템 위치정보 데이터 정확도(단말기 생성 위치정보 대비)
- 관제시스템 상에서 표출되는 위치정보의 정확도는 성능목표 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (지도 상 표현)
- 관제시스템의 지도 상에 표출되는 위치정보 정확도가 진행방향의 반대방향으로 진행되어 성능목표를 만족하지 못함
- 이는, 단말기의 초기 설정의 미흡으로 판단

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도)
- 단말기의 초기 설정의 미흡으로 지도 상의 표출과 같이 성능목표를 만족하지 못함

○ 상태정보 표출 정확도
- 작업자의 상태정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

□ 3차 실험 : 2014년 7월 28일

○ 위치정보 패킷데이터 전송율 (단말기 - 현장서버시스템 사이)
- 현장서버시스템까지의 패킷데이터 전송율은 성능목표 만족함

○ 현장서버시스템 변환 파일 전송율 (현장서버시스템-관제시스템 사이)
- 관제시스템의 IP변경으로 인하여 현장서버시스템으로부터의 데이터 전송 불능상태 발생 (15분간)
- 관제시스템 IP 재설정을 통한 문제점 해결 및 성능목표 만족

○ CCTV 영상정보 전송율

- 관제시스템의 경우와 같이 IP 변경으로 인한 영상정보 표출 불능
- CCTV IP 재설정을 통한 문제점 해결 및 성능목표 만족

○ 관제시스템 위치정보 데이터 정확도(단말기 생성 위치정보 대비)
- 관제시스템 상에서 표출되는 위치정보의 정확도는 성능목표 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (지도 상 표현)
- 지도상에 위치정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도)
- 종단면도 상에 위치정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

○ 상태정보 표출 정확도
- 작업자의 상태정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

□ 4차 실험 : 2014년 9월 1일

○ 위치정보 패킷데이터 전송율 (단말기 - 현장서버시스템 사이)
- 현장서버시스템까지의 패킷데이터 전송율은 성능목표 만족함

○ 현장서버시스템 변환 파일 전송율 (현장서버시스템-관제시스템 사이)
- 현장서버시스템 변환 파일 전송율은 성능목표를 만족함

○ CCTV 영상정보 전송율
- 관제시스템에 표출되는 영상정보의 전송율은 성능목표를 만족함

○ 관제시스템 위치정보 데이터 정확도(단말기 생성 위치정보 대비)
- 관제시스템 상에서 표출되는 위치정보의 정확도는 성능목표 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (지도 상 표현)
- 지도상에 위치정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도)
- 종단면도 상에 위치정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

○ 상태정보 표출 정확도
- 작업자의 상태정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

□ 5차 실험 : 2014년 10월 2일

○ 위치정보 패킷데이터 전송율 (단말기 - 현장서버시스템 사이)
- 현장서버시스템까지의 패킷데이터 전송율은 성능목표 만족함

○ 현장서버시스템 변환 파일 전송율 (현장서버시스템-관제시스템 사이)
- 현장서버시스템 변환 파일 전송율은 성능목표를 만족함

○ CCTV 영상정보 전송율
- 관제시스템에 표출되는 영상정보의 전송율은 성능목표를 만족함

○ 관제시스템 위치정보 데이터 정확도(단말기 생성 위치정보 대비)
- 관제시스템 상에서 표출되는 위치정보의 정확도는 성능목표 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (지도 상 표현)

- 지도상에 위치정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

○ GIS기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도)

- 종단면도 상에 위치정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

○ 상태정보 표출 정확도

- 작업자의 상태정보 표출 정확도는 성능목표를 만족함

표 2.22 지하구조물 현장지원시스템 성능테스트 항목

구분	성능테스트 항목	성능목표	1차	2차	3차	4차	5차
데이터 전송율	위치정보 패킷데이터 전송율 (작업자및이동차량단말기-현장서버시스템)	95% 이상	98	94.5	99	100	97
	현장서버시스템 변환파일 전송율 (현장서버시스템-관제시스템)	98% 이상	99	99	99	100	100
	CCTV 영상정보 전송율	98% 이상	100	100	100	100	100
정확도	관제시스템 위치정보 데이터 정확도 (단말기생성위치정보대비)	98% 이내	98	98	98	100	100
	GIS 기반 위치정보 표출 정확도 (지도)	20m 이내	만족	불능	만족	만족	만족
	GIS 기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도 - 수평)	20m 이내	만족	불능	만족	만족	만족
	GIS 기반 위치정보 표출 정확도 (종단면도 - 수직)	3m 이내	만족	불능	만족	만족	만족
	상태정보 표출 정확도	98% 이상	98	98	99	100	100

(나) 통합시스템 인증 실험

① 인증 실험 개요

㉮ 실험 일자 : 2014년 10월 14일, 12월 22일 (2회)

㉯ 실험 장소 : 울산~포항 간 고속국도 7공구 공사 현장

㉰ 실험 결과

□ 1차 실험 : 2014년 10월 14일

통합시스템의 정보 전송 단계별 인증 실험을 위하여 인증 실험 항목별 검증을 수행하였으며, 1차 실험에서는 인증지표에 대한 항목을 모두 수렴하였다.

표 2.23 지하구조물 현장지원시스템 인증테스트 항목

절차단계	인증테스트 항목	지표	인증 여부
작업자 및 이동차량 단말기	단말기 동시 운영 수 (인증 실험 기본 조건)	최소 32개	O
단말기-현장서버시스템	단말기 패킷데이터 전송율	98% 이상	O
현장서버시스템-관제시스템	위치정보 변환데이터 전송율	98% 이상	O
CCTV Pole - 관제시스템	영상정보 실시간 전송 지연 시간	5초 미만	O
관제시스템	위치정보 지도 표출 정확도 (수평)	20m 미만	O
	위치정보 종단면도 표출 정확도 (수직)	3m 미만	O

□ 2차 실험 : 2014년 12월 22일

2차 인증 실험 시에도 절차단계에 따른 항목별 검증을 수행하였으며, 인증지표에 대한 항목을 모두 수렴하였다.

표 2.24 지하구조물 현장지원시스템 인증테스트 항목

절차단계	인증테스트 항목	지표	인증 여부
작업자 및 이동차량 단말기	단말기 동시 운영 수 (인증 실험 기본 조건)	최소 32개	O
단말기-현장서버시스템	단말기 패킷데이터 전송율	98% 이상	O
현장서버시스템-관제시스템	위치정보 변환데이터 전송율	98% 이상	O
CCTV Pole - 관제시스템	영상정보 실시간 전송 지연 시간	5초 미만	O
관제시스템	위치정보 지도 표출 정확도 (수평)	20m 미만	O
	위치정보 종단면도 표출 정확도 (수직)	3m 미만	O

(다) 인증프로세스 구축

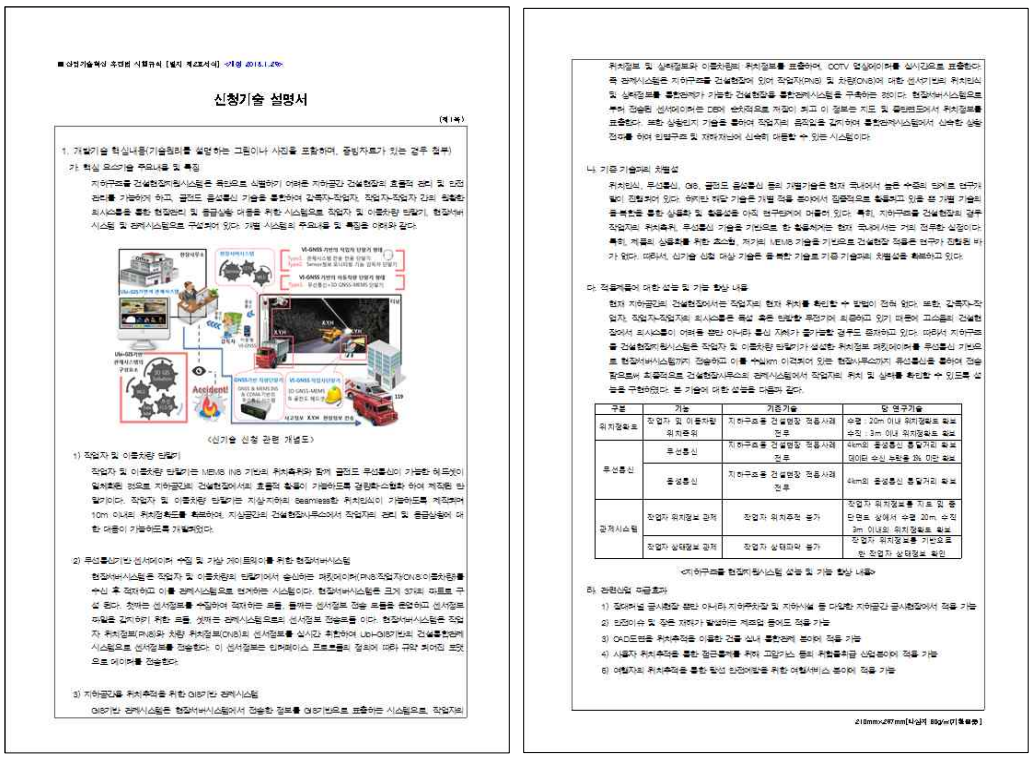
인증 프로세스는 통합시스템의 절차별 인증을 위한 운용에 대한 검토사항에 대한 내용을 정의한 것으로 세부 시험내용은 다음 그림과 같다.



그림 2.234 통합테스트 인증 프로세스

(라) 신기술 신청

본 연구과제에서 개발된 작업자 및 이동차량 단말기, 현장서버시스템, 관제시스템의 집약하여 구축한 지하구조물 건설현장지원시스템의 상용화를 위하여 한국산업기술진흥협회의 신기술 인증을 위한 신청을 진행하였다. 신기술의 인증은 3단계에 걸쳐 이루어지며, 검증 단계를 거친 후 신기술로 지정되게 된다. 신기술 신청 내역에 대한 그림은 아래와 같다.



신청기술 설명서

그림 2.235 신기술 신청 설명서



그림 2.236 한국산업기술진흥협회 신기술 신청 화면

나. 결과의 검증 방법

연구수행결과에 대한 검증 방법은 연차별로 제시한 성과점검기준표 상에 제시하였다. 성과목표에 대한 성과지표를 설정하고 그에 대한 성과검증 기준을 만족하는지에 대한 검증을 통하여 연차별 결과에 대한 검증을 수행하였다.

(1) 1차년도 연구결과 검증 방법

과제명	성과목표		성과지표		성과검증 기준		
					목표수준		측정방법
					목표치	달성치	
지하구조물 현장 내 작업자 위치인식 및 무선통신 통합기술 연구	1-1	무선통신 기술별 성능 분석	①	무선통신기술 건설 현장 활용성 테스트 건수	6건	6건	현장 테스트 시험계획서 및 분석결과서 건수
	1-2	지상·지하의 3차원 위치추적을 위한 시험 보드 제작 및 성능 분석	①	위치인식기술 건설 현장 활용성 테스트 건수	6건	6건	현장 테스트 시험계획서 및 분석결과서 건수
			②	골전도 음성통신 건설 현장 활용성 테스트 건수	6건	6건	현장 테스트 시험계획서 및 분석결과서 건수
			③	현장 작업환경 분석	2건	2건	소음, 진동, 공기질 분석
			④	공정별 작업환경 분석	1건	1건	공정에 따른 환경변화 분석

○ 무선통신 및 위치추적 요소기술 건설현장 활용성 테스트 수행
- Binary CDMA방식 무선통신 모듈의 현장 활용성 시험 6회 실시
- GNSS 및 MEMS 기반 위치인식기술 현장 활용성 시험 6회 실시
- 골전도 음성통신 헤드셋의 현장 활용성 시험 6회 실시
·장소1 :강남순환고속도로 터널현장
·날짜1 : 5월 25일
·장소2 : 일산 위브더제니스 지하주차장 건설현장
·날짜2 : 6월 15일
·장소3 : 해운대 AID아파트 재건축 건설현장
·날짜3 : 7월 6일
·장소4 : 호남고속철도 영곡터널 건설현장(1차)
·날짜4 : 8월 14일
·장소5 : 호남고속철도 영곡터널 건설현장(2차)
·날짜5 : 9월 25일
·장소6 : 울산-포항 복전철화구간 송정터널
·날짜6 : 2013년 1월 3일

○ 지하구조물 현장 실험을 위한 위치추적 요소기술 선택
- GNSS : STMICRO 8088(GPS+GLONASS 1Chip Solution)
·저전력, 초소형, 2m급 정확도
- 3D MEMS(Gyro+Accelerameter+고도계)
·Gyro(STMICRO) : Range(±300°),Resolution($\frac{1}{2^{16}}$)
·Accelerameter(Bosche) : Rangge(±4G),Resolution(1mG)
·기압센서(Bosche) : Resolution(0.01m)
○ 위치인식 요소기술 성능 실험 장소 및 방법 설계
- 성능실험 장소 : 울산-포항간 복선전철화 건설 송정터널
- 실험방법 설계 : 정밀측량기술(DGPS, EDM)과의 3차원 정확도 비교평가(실외 : DGPS / 실내 : EDM)
- 3차원 위치추적 시험보드 성능실험 및 분석
·1차 성능실험 및 분석 : 2013년 1월 3일
·2차 성능실험 및 분석 : 2013년 1월 14일
○ 건설현장 시공 공정별 프로세스 조사
- 관제 시스템 적용 항목 도출을 위한 현장 공정 프로세스 조사 1회 실시
·장소 : 호남고속철도 영곡터널
건설현장(2차)
·날짜 : 9월 25일

○ 시스템 성능 실험을 위한 테스트베드 최적 현장 선정

- 최적 현장1 : 호남고속철도 1-3공구
- 최적 현장2 : 일산위브더제니스

(2) 2차년도 연구결과 검증 방법

과제명	성과목표		성과지표		성과검증 기준		
					목표수준		측정방법
					목표치	달성치	
VI-GNSS기반의 작업자 및 이동차량 단말시스템 개발	1-1	VI-GNSS 기반 작업자 단말기 설계 및 제작	①	단말기 기능사양서 건수	2건	2건	VI-GNSS 기능사양서 제작 건수
			②	작업자 장착형 헤드셋 구현	2건	2건	작업자용 헤드셋 실물 시연 및 동작 확인
			③	작업자용 단말기 구현	2건	2건	작업자 단말기 실물 시연 및 동작 확인
	1-2	이동차량 단말기 설계 및 제작	①	이동차량용 단말기 구현	2건	2건	차량용 단말기 실물 시연 및 동작 확인
데이터 및 음성 정보 게이트웨이 중심의 현장서버시스템 개발	2-1	무선통신기반 데이터 및 음성 정보의 실시간 공유를 위한 게이트웨이 중심의 현장서버시스템 개발	①	현장서버 기능사양서	1건	1건	게이트웨이 방식의 현장서버 기능 및 운영을 위한 기능사양서 작성 건수
			②	현장서버시스템 설치	1건	1건	(건설 현장의 게이트웨이 구현을 위한 CCTV 설치 대수) x (현장 수)
			③	무선통신 기반 정보프로토콜 설계	1건	1건	무선통신 기반 센서정보 전달을 위한 프로토콜 설계 및 사양서 작성 건수
			④	현장서버시스템 구축	1건	1건	게이트웨이 개념의 현장서버 시스템 제작 및 설치 건수
Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 개발	3-1	Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 개발	①	Ubi-GIS 개발모델 설계	1건	1건	개발모델 설계서
			②	Ubi-GIS관제시스템 개발	1건	1건	Ubi-GIS 관제시스템
			③	표준 인터페이스 API 개발	1건	1건	인터페이스 API
			④	DB 최적화 설계	1건	1건	DB 설계서
			⑤	작업환경과 개발 통신기술의 상관관계 분석	1건	1건	상관관계 분석 데이터
지하구조물 건설 시스템 현장 시범 운영 및 개선	4-1	터널, 지하공간 등 지하구조물 건설 시공현장 대상 시스템 시범 운영	①	시스템 적용성 테스트 건설현장 모델	2건	2건	시스템 현장 적용 테스트 지하구조물 건설현장 모델 수
			②	터널현장 시범 운영	1건	1건	현장적용 및 운영 건수와 개선사례

○ 통신모듈과 결합된 작업자 장착 고려한 지상·지하의 3차원 위치추적 시험 시스템 설계 및 제작

- MEMS INS 센서 내장 GNSS 모듈 하드웨어 설계

·1차 제작 : 27mm×27mm

·2차 제작 : 25mm×25mm

- RF칩 내장한 무선통신 모뎀 하드웨어 설계

○ VI-GNSS 기반 작업자 단말기 설계 및 제작

- VI-GNSS 내장 작업자 단말기 회로 설계
- 작업자 단말기용 헤드셋 설계 및 제작

○ 이동차량 단말기 설계 및 제작

- 이동차량 단말기 회로 설계 및 제작

○ 현장 시험을 통한 성능 분석 및 개선

1) 작업자 및 이동차량 단말기 테스트(5회)

·날짜1 : 2013.4.4
·장소1 : 울산~포항 고속국도 7공구
·날짜2 : 2013.6.27
·장소2 : 울산~포항 고속국도 7공구
·날짜3 : 2013.8.1
·장소3 : 울산~포항 고속국도 7공구
·날짜4 : 2013.9.5
·장소4 : 울산~포항 고속국도 7공구
·날짜5 : 2013.10.24
·장소5 : 울산~포항 고속국도 7공구

2) 현장 작업환경 분석(2회)

- 작업환경 분석(소음/진동)

·토목 터널 현장 발파소음, 천공 작업 소음, 버럭처리 작업소음, 숏크리트작업 소음
·날짜1 : 2013.4.4
·장소1 : 울산~포항 고속국도 7공구

- 작업환경분석(공기질)

·미세먼지, 일산화탄소, 이산화탄소, 이산화질소
·날짜1 : 2013.8.1
·장소1 : 울산~포항 고속국도 7공구

3) 터널 현장 작업공정에 따른 환경변화 분석(1회)

- 작업공정에 따른 환경분석(공기질)

·토목 터널 현장 작업 전후의 환경변화(천공, 발파, 버럭처리, 숏크리트작업)
·날짜1 : 2013.10.24
·장소1 : 울산~포항 고속국도 7공구

(3) 3차년도 연구결과 검증 방법

핵심연구성과 (level1)	단위 성과 (level2)		3차년도 성과점검기준				
				질적성과지표	목 표	달성	측정방법
VI-GNSS기반 작업자 및 차량용 단말기	A-1	작업자 및 이동차량 단말기 성능 및 인증 실험	①	단말기 성능 실험 보고서	5건	5건	성능 실험 결과보고서 건수
			②	단말기 인증 실험 보고서	2건	2건	인증 실험 결과보고서 건수
			③	단말기 인증 프로세스 지침서	1건	1건	단말기 인증 프로세스 지침서 건수
	A-2	작업자 및 이동차량 단말기 운영 및 보완	①	작업자 및 이동차량 단말기 운영 및 보완 결과서	1건	1건	단말기 운영 및 보완 건수
데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템	B-1	현장서버시스템 성능 및 인증 실험	①	현장서버시스템 성능 실험 보고서	5건	5건	성능 실험 결과보고서 건수
			②	현장서버시스템 인증 실험 보고서	2건	2건	인증 실험 결과보고서 건수
			③	현장서버시스템 인증 프로세스 지침서	1건	1건	현장서버시스템 인증 프로세스 지침서 건수
	B-2	현장서버시스템 운영 및 보완	①	현장서버시스템 운영 및 보완 결과서	1건	1건	현장서버시스템 운영 및 보완 건수
GIS기반의 관제시스템	C-1	관제시스템 성능 및 인증 실험	①	관제시스템 성능 실험 보고서	5건	5건	성능 실험 결과보고서 건수
			②	관제시스템 인증 실험 보고서	2건	2건	인증 실험 결과보고서 건수
			③	관제시스템 인증 프로세스 지침서	1건	1건	관제시스템 인증 프로세스 지침서 건수
	C-2	관제시스템 운영 및 보완	①	관제시스템 운영 및 보완 결과서	1건	1건	관제시스템 운영 및 보완 건수
3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장지원시스템	D-1	'지하구조물 건설현장지원시스템 성능 및 인증 실험	①	지하구조물 건설현장지원시스템 성능 실험 보고서	5건	5건	성능 실험 결과보고서 건수
			②	지하구조물 건설현장지원시스템 안중 실험 보고서	2건	2건	인증 실험 결과보고서 건수
			③	지하구조물 건설현장지원시스템 안중 프로세스 지침서	1건	1건	지하구조물 건설현장지원시스템 인증 프로세스 지침서 건수
	D-2	지하구조물 건설현장지원시스템 운영 및 보완	①	지하구조물 건설현장지원시스템 운영 및 보완 결과서	1건	1건	지하구조물 건설현장지원시스템 운영 및 보완 건수
			②	지하구조물 건설현장지원시스템 최적화 보고서	1건	1건	지하구조물 건설현장지원시스템 최적화 분석 자료
	D-3	지하구조물 건설현장지원시스템 구축	①	지하구조물 건설현장지원시스템 구축	1건	1건	지하구조물 건설현장지원시스템 구축 건수
	D-4	지하구조물 건설현장지원시스템 신기술 신청	①	지하구조물 건설현장지원시스템 신기술 신청	1건	1건	신기술 신청 건수

○ 현장에서의 단말기 성능 시험

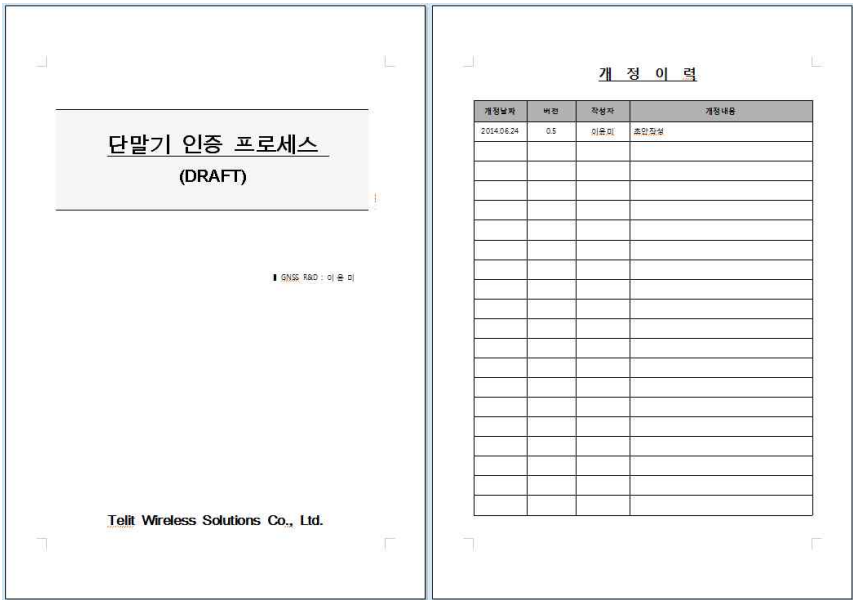
1) 작업자 및 이동차량 단말기 테스트(5회)

·날짜1 : 2014.05.29
·장소1 : 울산~포항 고속국도 7공구
·참석인원1: 총 12명
·날짜2 : 2014.07.02.
·장소2 : 울산~포항 고속국도 7공구
·참석인원2 : 총 15명
·날짜3 : 2014.07.28
·장소3 : 울산~포항 고속국도 7공구
·참석인원3 : 총 10명
·날짜4 : 2014.10.14
·장소4 : 울산~포항 고속국도 7공구
·참석인원4 : 총 8명
·날짜5 : 2014.12..22
·장소5 : 울산~포항 고속국도 7공구
·참석인원5 : 총 7명

○ 외주를 통한 단말기 인증 시험 실시를 통한 검증

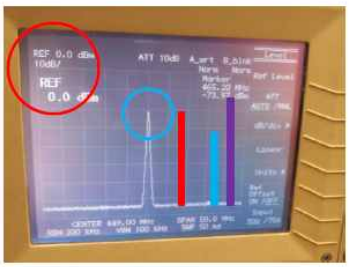
- 날짜 : 2014년 9월 1일 ~ 9월 3일
- 장소 : ㈜씨티케이 (경기도 용인시 처인구 예직로 113번지)
- 참여 : 김현수, 최현영 외 4인

○ 단말기 인증 프로세스 지침서 작성 확인

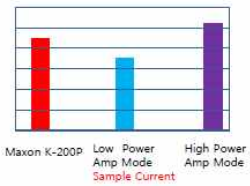


○ 작업자 및 이동차량 단말기 운영 및 보완 결과

Power Mode 별 감도비교 Image



Maxon K-200P



Power Mode 별 감도비교

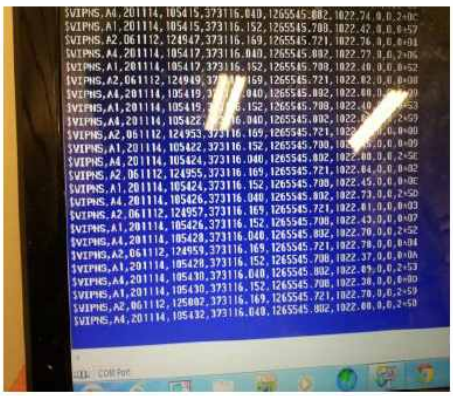


Low
Power Amp



High
Power Amp

1. 데이터 전송 모습





제3장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 최종 연구 성과

1. VI-GNSS기반 작업자 및 이동차량 단말기

가. 연구 성과 정의 및 목적

(1) 정의

(가) 단말기 보드 : MEMS 센서를 포함하는 VI-GNSS 기반의 위치인식 및 통신이 가능한 모듈

(나) 작업자 단말기 : 단말기 보드를 내장하여 작업자가 안전모와 함께 착용할 단말기

(다) 차량용 단말기 : 단말기 보드를 내장하여 공사 출입 차량에 탑재될 단말기

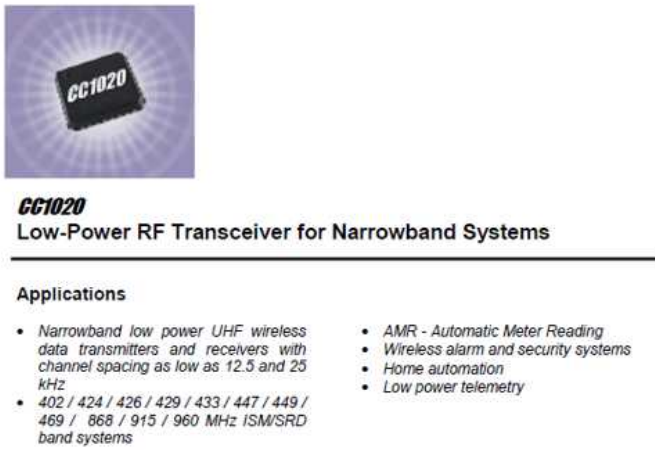


그림 3.1 RF 통신 모듈

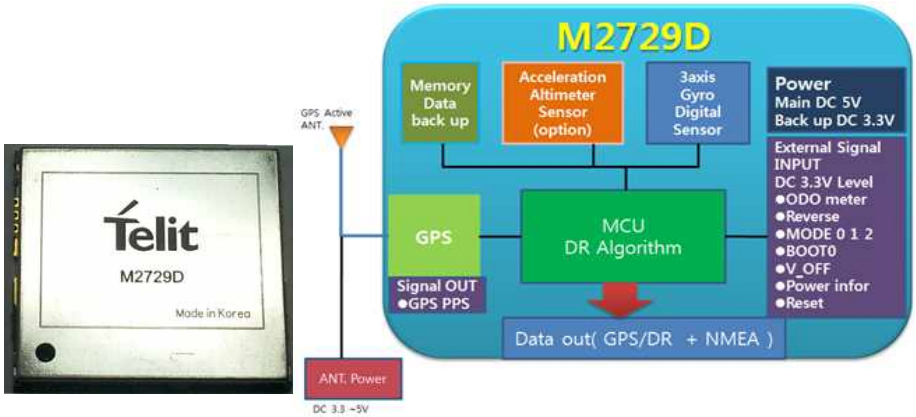


그림 3.2 위치인식 단말기 모듈

(2) 목적

(가) 현장 내 작업자 및 이동차량의 안전 제고와 사고 예방을 위한 VI-GNSS 작업자 지원시스템에 필수적인 작업자용 지원시스템과 이동차량용 단말시스템의 개발



그림 3.3 모듈이 내장된 작업자 및 차량용 단말기

나. 연구 성과 설정사유 및 성능목표

(1) 설정사유

(가) VI-GNSS 기능이 구현될 가장 기본적인 측위와 음성통신 및 정보 제공을 수행할 단말기 보드 필요

(나) 공사 현장 내 작업자 및 이동차량의 측위 정보를 생성 및 제공이 가능한 단말기 필요

(2) 성능목표

(가) 기존기술 수준

① 작업자의 위치를 현장 내에 있는지 여부만 파악 가능

② 무전기를 사용하여 PTT로 작업자간 음성통신 수행

③ 현장 관리를 위해 현장에 직접 방문해야 함

(나) 개발기술 수준

① 작업자 단말기 위치 정확도 : 20미터 이내(실내외 3D)

② 차량용 단말기 위치 정확도 : 20미터 이내(실외에서만 작동)

② 실시간 음성통신과 위치추적 기능을 하고 원격으로 현장 모니터링 가능함

(다) 개발기술 수준 설정근거

① 현장 내 최소 위치추적 오차 요구사항에 근거하여 작성함

② 현장을 직접 방문하지 않아도 관리가 가능한 방안 제시 요구사항에 근거함

다. 주요 연구 성과

(1) 기술적 성과

(가) 특허관련 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원 연도	특허명	출원인	출원국	출원 번호	등록 연도	특허명	등록인	등록국	등록 번호
2013	건설현장 작업자의 절대고도 검출 시스템 및 절대고도 검출 방법	한국건설기술연구원	대한민국	10-2013-0009670	2014	건설현장 작업자의 절대고도 검출 시스템 및 절대고도 검출 방법	한국건설기술연구원	대한민국	10-1385093-0000
2013	건설현장 작업자의 MEMS INS 기반 3D 위치 결정 방법	한국건설기술연구원	대한민국	10-2013-0009673	2014	건설현장 작업자의 MEMS INS 기반 3D 위치 결정 방법	한국건설기술연구원	대한민국	10-1385093-0000
2014	가상 게이트웨이 기반의 건설현장 출입 이동체 위치추적 기법 개발	한국건설기술연구원	대한민국	10-2014-0009312					

(2) 학술적 성과

(가) 논문게재 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2012	3차원 지적정보시스템 개발을 위한 통합 공간정보식별자개발	송명수	송상철	장용구 이성호	한국지형공간정보학회지	20(4)	국내	비SCI
2013	MEMS INS 기반 건설현장작업자의 3D 위치결정기법에 관한 연구	장용구	김현수	전흥수 도승복	한국지반환경공학회지	14(3)	국내	비SCI
2013	MEMS 센서를 이용한 지상 및 지하에서의 실시간 3차원 위치추적 기술에 관한 기초적 연구	설문형	장용구	전흥수 강인준	한국지반환경공학회	14(4)	국내	비SCI
2013	지하공간 건설시공현장에서의 작업자 안전관리를 위한 위치추적기술 정확도 분석 및 활용 연구	설문형	장용구	손명창 강인준	한국지반환경공학회 논문집	14(8))	국내	비SCI
2014	터널 내 작업소음 평가	윤창연			설비공학논문집	26(3)	국내	비SCI
2015. 01. (예정)	기준국을 이용한 실내·외 절대고도 산출 및 3D 항법에 관한 연구	김현수	최종준	도승복 최현영	한국통신학회논문지	vol.40C No.1	국내	비SCI

(나) 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2012 6.20	위성항법시스템을 이용한 온도 변화에 따른 MEMS 관성센서의 실시간 바이어스 추정에 관한 연구	도승복 최현영 김현수 신주현 장용구 전흥수	한국통신학회 하계종합학술발표회	국내
2012 11.9	건설현장에서 작업자의 절대고도 확보를 위한 차분기법에 관한 연구	도승복 김현수 나경환 최현영 신주현 장용구 전흥수	한국위성항법시스템학회 추계학술대회	국내
2012 11.9	스마트폰에서의 위치검출 실현에 관한 연구	최현영 김현수 도승복 나경환 신주현 장용구 전흥수	한국위성항법시스템학회 추계학술대회	국내
2012 11.30	터널 내 작업소음 분석 조사	윤창연 이보형 정의영 김정길	대한설비공학회 동계학술발표회	국내
2013 4.25	MEMS INS를 활용한 지하공간 실시간 3차원 위치추적 기술 연구	장용구	한국측량학회 춘계학술대회	국내
2013 6.26	터널 내 작업환경 분석	윤창연	대한설비공학회 하계학술발표대회	국내
2013 11.22	터널현장 작업환경 실태 조사	윤창연	대한설비공학회 동계학술발표회	국내
2013 11.30	가상게이트웨이 기반의 건설현장 출입 이동체 위치추적기법에 관한 연구	김현수	한국통신학회 2013년도 추계종합학술발표회	국내
2014 5.30	IT 기술을 이용한 건설현장 내 위치관제 기법	김현수	한국정보통신학회 춘계종합학술대회	국내
2014 10.22	3D CNS Implementation Technique for Car Navigation	도승복	한국위성항법시스템학회	국내
2014 10.22	3-Dimension Positioning Algorithm using Absolute Altitude Determination	최종준	한국위성항법시스템학회	국내

2. 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템

가. 연구성과 정의 및 목적

(2) 정의

(가) 지하공간의 건설현장에서 작업자 및 이동차량 단말기로부터 위치와 상태 정보를 수집하여 관제시스템에 전송하거나 관제시스템으로부터 수신된 통제 및 공사 정보를 각 단말기에 전송해 주는 시스템

(나) 작업자간 또는 작업자와 관리자간 음성통신 및 데이터 전송을 위한 중계 역할을 수행하는 시스템

(다) CCTV를 통한 현장 터널 주변 현장 모니터링을 위한 영상을 제공해 주는 시스템



그림 3.4 중계 시스템 및 관제 시스템용 수신기 및 방사기

(2) 목적

(가) 본 시스템은 현장의 작업자(및 이동차량)와 관제시스템 간의 원활한 데이터, 음성 및 CCTV 영상정보를 연계할 수 있도록 한 시스템

① 작업자 및 이동차량의 3차원 위치정보, 상태정보 등의 패킷데이터와 골전도 음성통신 기반의 음성데이터를 수신하여 관제시스템으로 전송

② 터널 진출입 주변의 현장상황을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록

CCTV 기반의 영상정보를 획득하고 현장사무실에서 볼 수 있도록 관제 시스템으로 정보 전송

③ 관제시스템에서 현장 내 위험 파악 및 음성통신데이터를 작업자에게 원활히 전송할 수 있도록 함

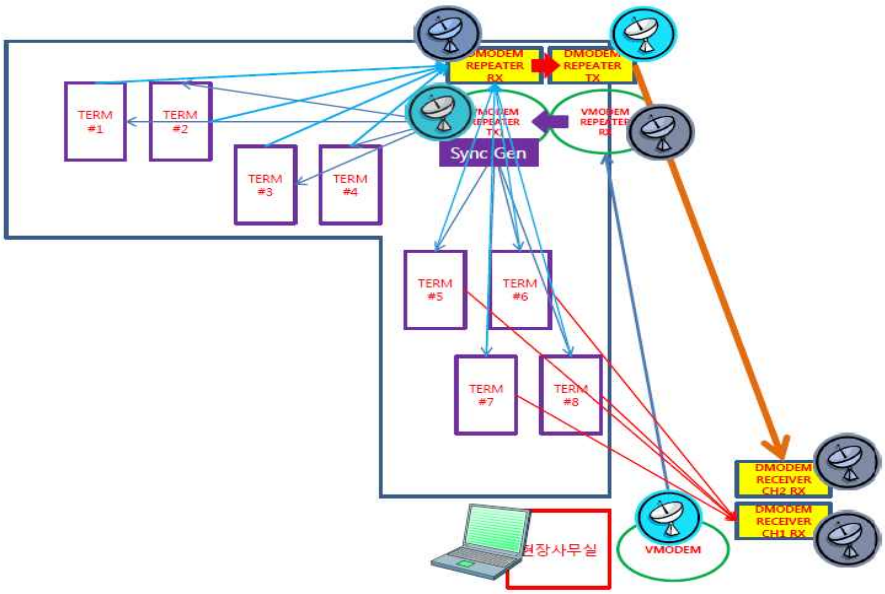


그림 3.5 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템

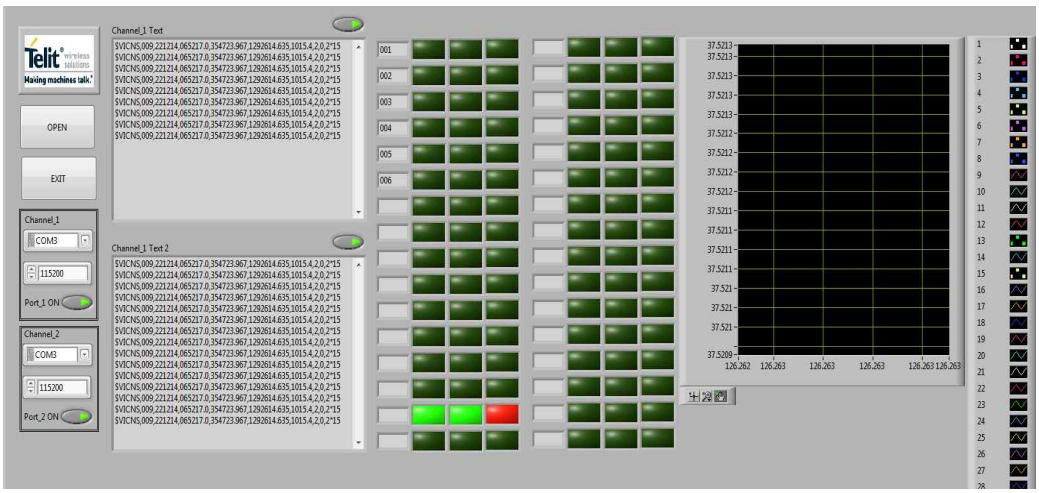


그림 3.6 VI-GNSS 실시간 데이터 통신 화면

나. 연구성과 설정사유 및 성능목표

(1) 설정사유

(가) 지하공간의 작업자 위치추적 및 상태정보를 위한 데이터 중계시스템 필요

(나) 골전도 음성통신 기반의 음성데이터 중계시스템 필요

(다) 터널현장 주변 실시간 모니터링을 위한 CCTV 중계시스템 필요

(2) 성능목표

(가) 기존기술 수준

① 각 단말기와 현장사무소간 무선 통신 중계기 역할 수준

(나) 개발기술 수준

① 동시 접속 단말기와 무선 통신 중계기 역할 : 8개 채널 이상

② 지하구조물 내에서 adhoc 방식을 이용한 통신 성공률 : 99.9%

③ CCTV 영상 획득을 통한 전송률 : 95% 이상

④ WiFi가 불가한 공사현장에서 관제시스템간의 원활한 통신 : 3km

(2) 기술적 성과

(가) 특허관련 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원 연도	특허명	출원인	출원국	출원 번호	등록 연도	특허명	등록인	등록국	등록 번호
2014	VI-GNSS 및 CCTV DB 게이트웨이 이용 현장서버 시스템	한국건설기술연구원	대한민국	10-2014-0009314					

(2) 학술적 성과

(가) 학술대회발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013 5.31	VI-GNSS 및 CCTV DB 게이트웨이 이용 현장서버시스템 구축 방안	장용구	한국지형공간정보학회 춘계학술대회	국내
2013 12.2	Development of Underground Structure Field Server System (USFSS) for Transmitting VI-GNSS Mobile and CCTV Video Data	장용구 전흥수	2013 ICTE	국외

3. GIS기반 관제시스템

가 연구성과 정의 및 목적

(1) 정의

(가) 작업자 위치정보 제공을 위한 터널형태 그림 제공

(나) 작업자 위치에 대한 심볼 및 좌표 제공

(다) 작업자 투입 정보 제공

(라) 터널내 차량진입 정보 제공

(마) 작업자 상황인지에 대한 정보 제공 및 경보 알람 제공

(바) 건설현장 터널입구 CCTV 차량 진입 모니터링

(2) 목적

(가) 열악한 환경의 지하구조물에서의 무선통신을 이용한 통합관제시스템 개발

(나) 지하구조물에서의 효과적인 작업자에 대한 통합 관제

(다) 지하구조물 출입차량에 대한 통합 관제

(라) 안전사고 및 위기상황에 대한 신속한 대처가능

(마) 지하구조물 건설현장의 맞춤형 통합관제 및 관리에 따른 관리비용 및 인건비 절감

나. 최종 연구성과 산출물

최종 연구성과 산출물은 CCTV관제가 가능한 메인건설사용 관제시스템, 일부 기능에 제약이 있는 협력업체용 관제시스템, 관제시스템 관리를 위한 관제시스템 등으로 구성되어 있다.



그림 3.7 최종 연구결과 산출물 (관제시스템)



그림 3.8 H/W구성 (관제시스템)



그림 3.9 S/W구성 (관제시스템)

다. 주요연구성과

(1) 기술적 성과

(가) 특허관련 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원 연도	특허명	출원인	출원국	출원 번호	등록 연도	특허명	등록인	등록국	등록 번호
2014	UBI-GIS	한국건	대한	10-2014					

	기술 기반의 지하구조물 건설현장 관제시스템	설기술 연구원	민국	-0009313					

(2) 학술적 성과

(가) 학술발표대회 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2012 5.11	지하구조물 건설현장지원을 위한 작업자용 MEMS시스템과 U-관제 시스템 개발 방안 연구	장용구 전흥수	한국지형공간정보학회 추계학술발표대회	국내
2013 4.25	Ubi-GIS기반의 지하구조물 현장 관제시스템 설계	오창균 장용구 전흥수	한국측량학회 춘계학술발표대회	국내
2013 10.25	Ubi-GIS 기술 기반의 지하구조물 건설현장 관제시스템 개발 연구	장용구 전흥수 오창균	대한토목학회 정기학술대회	국내
2013 12.2	Development of Underground Structure Fields Control System based on Ubi-GIS Technique	전흥수 장용구	2013 ICTE	국외

4. 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장 지원시스템

가. 연구 성과 정의 및 목적

(1) 정의

VI-GNSS 기반 작업자 및 이동차량 단말시스템, 게이트웨이 기반 현장서버시스템, Ubi-GIS 기반의 관제시스템으로 구성된 VI-GNSS 기술 기반의 지하구조물 건설현장지원시스템 구축

(2) 목적

VI-GNSS 기반 작업자 및 이동차량 단말시스템, 게이트웨이 기반 현장서버시스템, Ubi-GIS 기반의 관제시스템으로 구성되어, 지하공간, 터널 등 지하구조물 건설현장 내 작업자 및 이동차량의 실시간 위치추적 및 고음질 원거리 음성통신을 통해 지하구조물 건설현장의 현장관리의 효율성 극대화 및 현장사고 신속 대응이 가능한 친환경 기반의 지하구조물 건설현장지원시스템 개발에 목적이 있다.

나. 연구 성과 설정사유 및 성능목표

(1) 설정사유

(가) 작업자 및 이동차량 단말기, 현장서버시스템, 관제시스템 간 원활한 데이터 및 음성통신 활용성 점검 필요

(나) 관제시스템에서의 현장 위험상황 파악 및 현장관제의 원활성 확보 필요

(다) 현장사고 발생 시 신속한 알림 미 사고현장이 위치정보 제공의 원활성 확보

(라) CCTV 영상정보 파악 및 실시간 현장 모니터링 활용성 파악 필요

(마) 지하구조물 건설현장을 비롯한 모든 지하공간에서의 활용성 검토 필요

(2) 성능목표

(가) 기존기술 수준

① Open Space 기반의 지상구조물 건설현장 관리시스템 운영

② Barcode, RFID 등 (비)접촉식 센서 기반의 작업자 및 이동차량 관리

③ CCTV 기반의 단순 현장 모니터링을 통하 현장관리 수행

(나) 개발기술 수준

① 작업자 및 이동차량 실시간 위치추적 및 관리 : 90% 이상 확보

② 상황인지를 통한 대응체계 정확도 : 95% 이상 확보

③ 지하구조물 건설현장 적용 및 활용성 : 90% 이상 확보

다. 주요연구성과

(1) 기술적 성과

(가) 특허관련 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원 연도	특허명	출원인	출원국	출원 번호	등록 연도	특허명	등록인	등록국	등록 번호
2015	특허 출원 진행중	한국건설기술연구원	대한민국						

(2) 학술적 성과

(가) 논문게재 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2015 예정	VI-GNSS 지하구조물 현장정보 네트워크 아키텍쳐 설계	전흥수	장용구	오창균 김민관	한국지리정보학회지	-	국내	비SCI

(나) 학술대회발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2012 4.27	유비쿼터스기술 기반의 지하구조물 건설현장지원시스템 개발 방안	장용구 전흥수	한국측량학회 춘계학술발표대회	국내
2014 4.24	장대터널 건설현장지원시스템 구축 방안	장용구 전흥수 오창균	한국측량학회 춘계학술발표대회	국내

제2절 적용실적

1. 기술 실시 및 적용사례

현재 본 연구개발사업에서 도출한 연구성과물 중 일부는 연구 수행 기간 중에 기술실시계약을 체결하여 해당 기술을 소방 위치측위 관련 과제에서 적극적으로 활용 및 성과를 내고 있다. 특히 기술실시계약을 체결한 해당 기업은 2014년 한국과학기술지주 투자 대상 공모 시 해당 기술을 활용한 사업계획서 작성으로 자회사 설립을 위한 투자비용을 획득하였다. 연구개발사업이 종료되기 이전에 이미 기술실시계약을 1건 체결하였으며, 위치측위와 관련한 건설, 방재 분야의 활용에 대한 수요가 발생하고 있는 시점에서 적용사례는 더욱 빈번하여 질 것으로 예상된다.

○ 기술실시 계약명 : 건설현장 작업자의 MEMS INS 기반 3D위치 결정 시스템 및 3D위치 결정 방법

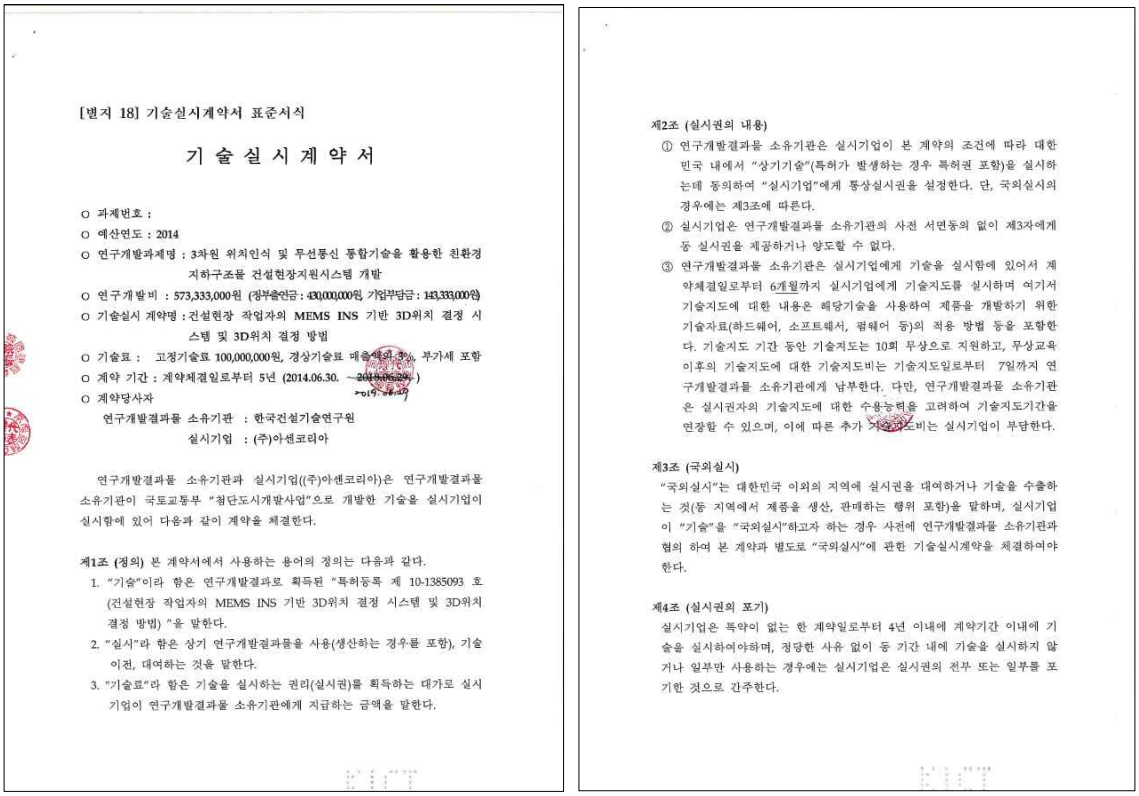
○ 기술료 : 고정기술료 100백만원 / 경상기술료 매출액의 3% (부가세 포함)

○ 계약기간 : 계약체결일로부터 5년 (2014.06.30. ~ 2019.06.29.)

○ 계약당사자

연구개발결과물 소유기관 : 한국건설기술연구원

실시기업 : ㈜아센코리아



[별지 18] 기술실시계약서 표준서식

기 술 실 시 계 약 서

○ 과제번호 :
○ 예산연도 : 2014
○ 연구개발과제명 : 3차원 위치인식 및 무선통신 통합기술을 활용한 친환경 지하구조물 건설현장지원시스템 개발
○ 연구개발비 : 573,333,000원 (정부출연금 : 430,000,000원, 기업부담금 : 143,333,000원)
○ 기술실시 계약명 : 건설현장 작업자의 MEMS INS 기반 3D위치 결정 시스템 및 3D위치 결정 방법
○ 기술료 : 고정기술료 100,000,000원, 경상기술료 매출액의 3% 부가세 포함
○ 계약 기간 : 계약체결일로부터 5년 (2014.06.30. ~ 2019.06.29.)
○ 계약당사자
연구개발결과물 소유기관 : 한국건설기술연구원
실시기업 : (주)아센코리아

연구개발결과물 소유기관과 실시기업((주)아센코리아)은 연구개발결과물 소유기관이 국토교통부 "첨단도시개발사업"으로 개발한 기술을 실시기업이 실시함에 있어 다음과 같이 계약을 체결한다.

제1조 (정의) 본 계약서에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
1. "기술"이라 함은 연구개발결과로 획득된 "특허등록 제 10-1385093 호 (건설현장 작업자의 MEMS INS 기반 3D위치 결정 시스템 및 3D위치 결정 방법) "을 말한다.
2. "실시"라 함은 상기 연구개발결과물을 사용(생산하는 경우를 포함), 기술이전, 대여하는 것을 말한다.
3. "기술료"라 함은 기술을 실시하는 권리(실시권)를 획득하는 대가로 실시기업이 연구개발결과물 소유기관에게 지급하는 금액을 말한다.

제2조 (실시권의 내용)
① 연구개발결과물 소유기관은 실시기업이 본 계약의 조건에 따라 대한민국 내에서 "상기기술"(특허가 발생하는 경우 특허권 포함)을 실시하는데 동의하여 "실시기업"에게 통상실시권을 설정한다. 단, 국외실시의 경우에는 제3조에 따른다.
② 실시기업은 연구개발결과물 소유기관의 사전 서면동의 없이 제3자에게 동 실시권을 제공하거나 양도할 수 없다.
③ 연구개발결과물 소유기관은 실시기업에게 기술을 실시함에 있어서 계약체결일로부터 6개월까지 실시기업에게 기술지도를 실시하며 여기서 기술지도에 대한 내용은 해당기술을 사용하여 제품을 개발하기 위한 기술자료(하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어 등)의 적용 방법 등을 포함한다. 기술지도 기간 동안 기술지도는 10회 무상으로 지원하고, 무상교육 이후의 기술지도에 대한 기술지도비는 기술지도일로부터 7일까지 연구개발결과물 소유기관에게 납부한다. 다만, 연구개발결과물 소유기관은 실시권자의 기술지도에 대한 수용능력을 고려하여 기술지도기간을 연장할 수 있으며, 이에 따른 추가 기술지도비는 실시기업이 부담한다.

제3조 (국외실시)
"국외실시"는 대한민국 이외의 지역에 실시권을 대여하거나 기술을 수출하는 것(동 지역에서 제품을 생산, 판매하는 행위 포함)을 말하며, 실시기업이 "기술"을 "국외실시"하고자 하는 경우 사전에 연구개발결과물 소유기관과 협의 하여 본 계약과 별도로 "국외실시"에 관한 기술실시계약을 체결하여야 한다.

제4조 (실시권의 포기)
실시기업은 특약이 없는 한 계약일로부터 4년 이내에 계약기간 이내에 기술을 실시하여야하며, 정당한 사유 없이 동 기간 내에 기술을 실시하지 않거나 일부만 사용하는 경우에는 실시기업은 실시권의 전부 또는 일부를 포기한 것으로 간주한다.

그림 3.10 기술실시계약서

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. VI-GNSS기반 작업자 및 이동차량 단말기

가. 제안된 성능 목표

- 작업자 단말기 위치 정확도 : 20미터 이내 (실내외 3D)
- 차량용 단말기 위치 정확도 : 20미터 이내 (실외에서만)
- 실시간 음성통신과 위치추적 기능 및 원격 현장 모니터링 가능

나. 목표 달성도

▶ 작업자 단말기 위치 정확도 달성도

- 작업자 단말기의 평균 수평 위치 정확도 : 평균 3.9 미터/100미터

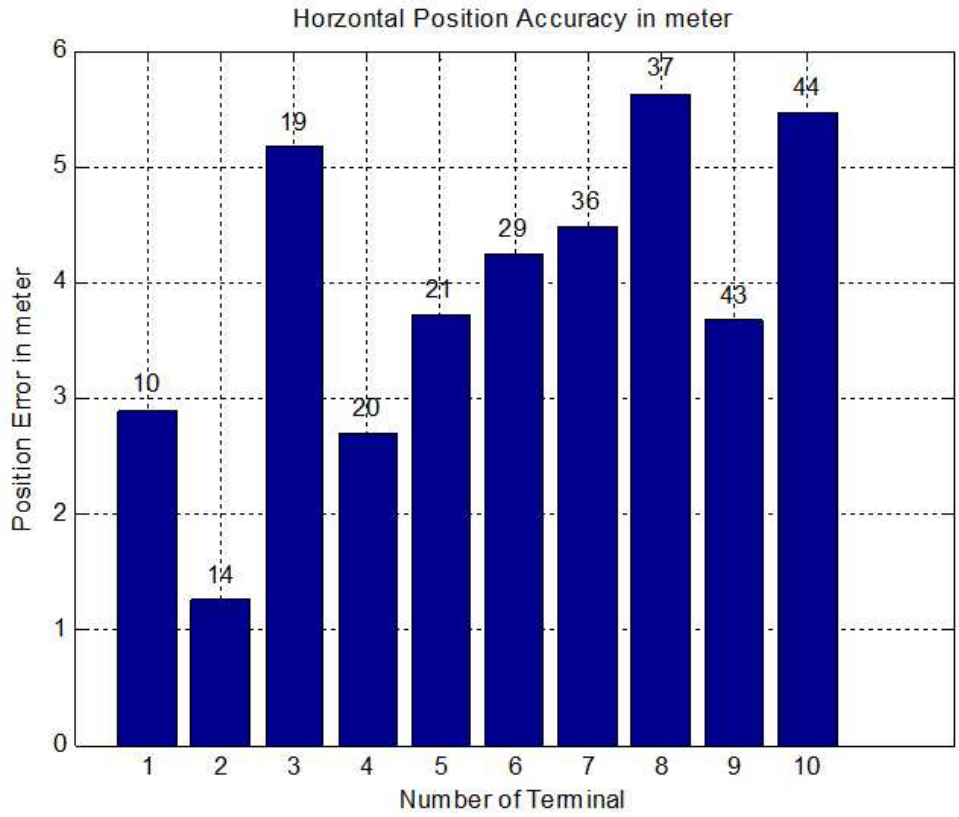


그림 4.1 작업자 단말기 수평 위치 정확도 시험 결과

- 작업자 단말기의 평균 수직 위치 정확도 : 평균 0.31 미터/10미터

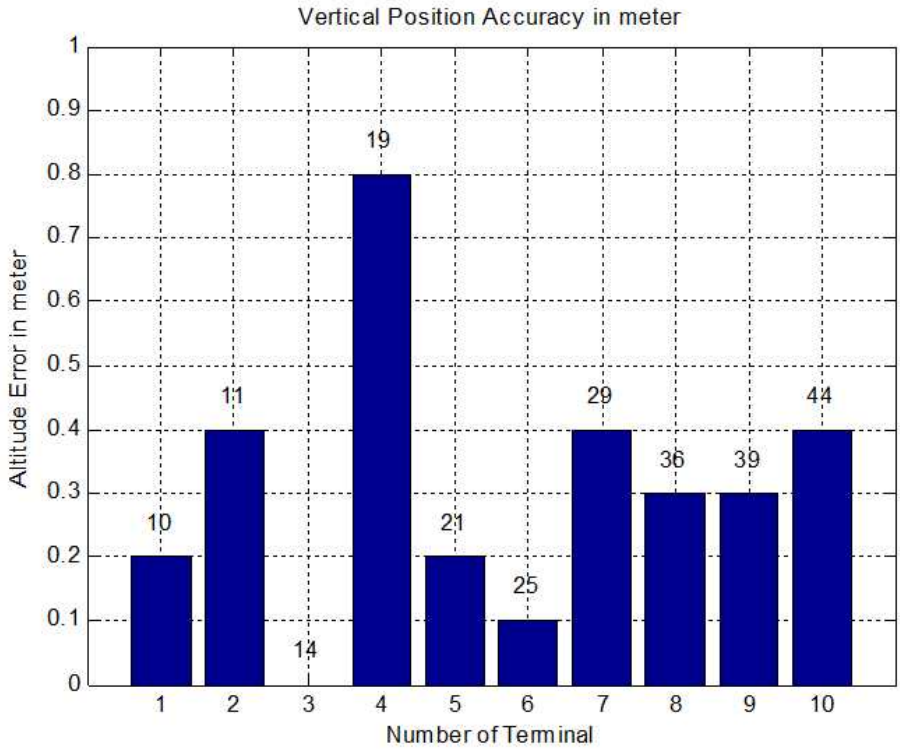


그림 4.2 작업자 단말기 수직 위치 정확도 시험 결과

▶ 차량용 단말기 위치 정확도 달성도

- 차량용 단말기의 평균 수평 위치 정확도 : 평균 9.8 미터
- 차량용 단말기의 평균 수직 위치 정확도 : 평균 20 미터

C010 AIC and EASY Disabled	C010 EASY Enabled	C010 AIC Enabled
GPS+GLO (SBAS Enabled)	GPS+GLO (SBAS Enabled)	GPS+GLO (SBAS Enabled)
AXN3.6 20140808 with Telit changes (-EASY & -AIC)	AXN3.6 20140808 with Telit changes (+EASY & -AIC)	AXN3.6 20140808 with Telit changes (-EASY & +AIC)
CEP (approx): 1.3m Max Horiz Err: 6.9m Max Vert Err: 12.6m Max 3D Err: 14.4m Lat Bias: -0.073m Long Bias: +0.97m Altitude Bias: +2.47m MSL: +2.5m Avg C/NO: 40.9	CEP (approx): 10.2m Max Horiz Err: 32m Max Vert Err: 154.2m Max 3D Err: 155.8m Lat Bias: -5.63 Long Bias: -3.03m Altitude Bias: +37.2m MSL: +37.2m Avg C/NO: 40.6	CEP (approx): 2.2m Max Horiz Err: 9.7m Max Vert Err: 6.1m Max 3D Err: 10.8m Lat Bias: -0.37m Long Bias: +1.00m Altitude Bias: +0.9m MSL: +0.9m Avg C/NO: 40.7

그림 4.3 실외 환경에서의 차량용 단말기 위치정확도 판정 결과

▶ 실시간 음성통신 및 위치추적 기능 달성도

- 실시간 음성통신 : 400MHz대 전용 음성모뎀 채용으로 동시 8대 단말기 음성통신 100% 달성



그림 4.4 동시 운용 단말기 시험 상황

- 실시간 위치 추적 : 400MHz대 데이터 통신 모뎀 채용으로 동시 8개 단말기 위치추적 100% 달성

Terminal ID									
$VIPNS	11	30914	21244	373116.152	1265545.708	411.4	0	0	0	73
$VIPNS	13	30914	21345	373116.152	1265545.708	413.5	0	0	0	7D
$VIPNS	14	30914	22011	373116.152	1265545.708	402.5	0	0	0	7D
$VIPNS	15	30914	22204	373116.152	1265545.708	411.9	0	0	0	70
$VIPNS	17	30914	22446	373116.152	1265545.708	412.8	0	0	0	9
$VIPNS	18	30914	22448	373116.152	1265545.708	410.4	0	0	0	77
$VIPNS	19	30914	22402	373116.161	1265545.686	411	0	0	2	72
$VIPNS	20	30914	22453	373116.152	1265545.708	415.2	0	0	0	71
$VIPNS	21	61112	121735	373116.152	1265545.708	408.9	0	0	0	74
$VIPNS	24	30914	22337	373116.152	1265545.708	415.1	0	0	0	7B
$VIPNS	28	30914	22007	373116.152	1265575.708	1?-5	1깔	??		
$VIPNS	29	61112	120503	373116.152	1265545.708	410.5	0	0	0	7F
$VIPNS	30	30914	21419	373116	86:3`>.?Q	4?.3	0	0	2	7B
$VIPNS	36	61112	120311	373116.152	1265545.708	409.3	0	0	0	7F
$VIPNS	37	61112	121911	373116.152	1265545.708	410.2	0	0	0	76
$VIPNS	38	61112	121855	373116.152	1265545.708	413.6	0	0	0	76

그림 4.5 동시 운용 8대 이상 위치추적 확인 데이터

▶ 원격 현장 모니터링 가능 달성도

- 현장 모니터링 : 8개 이상의 작업자 및 차량용 단말기로부터 전송되는 $VIPNS, $VICNS 포맷을 현장 서버 단에서 누락없이 수신하도록 100% 달성

2. 데이터 및 음성통신 게이트웨이 기반의 현장서버시스템

가. 제안된 성능 목표

- 동시 접속 단말기와 무선 통신 중계기 역할 : 8개 채널 이상
- 지하구조물 내에서 adhoc 방식을 이용한 통신 성공률 : 99.9%
- 지하구조물에서의 작업자 위치추적 성공률 : 99.9% 이상

나. 목표 달성도

▶ 동시 접속 단말기와 무선 통신 중계기 구현

- 단일 수신기당 8개 동시접속 구현 (2초 간격 출력시) 으로 100% 달성
- 단일 수신기당 16개 동시접속 구현 (4초 간격 출력시) 으로 100% 달성

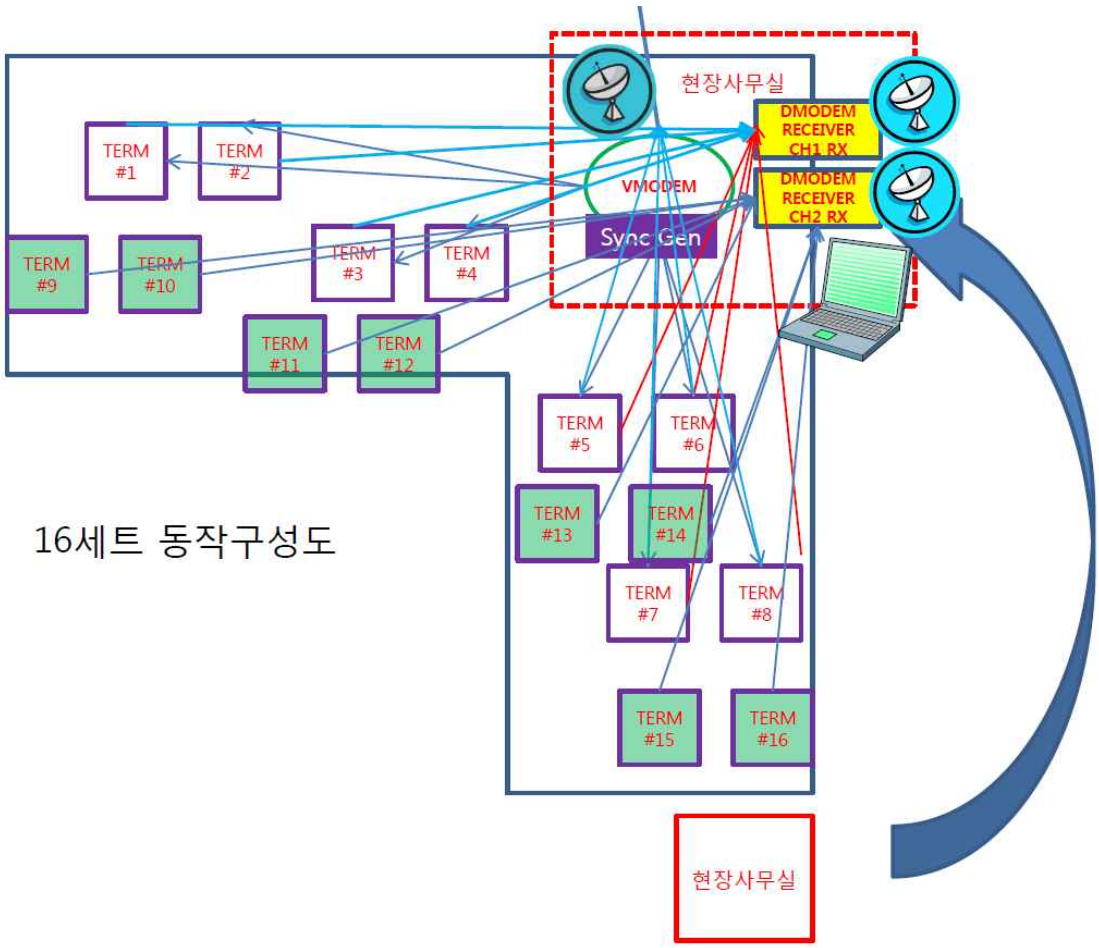


그림 4.6 최대 16개 단말기 동시 접속 실현 구성도

▶ 지하구조물 내에서 adhoc 방식을 이용한 통신 성공률

- 터널 건설 현장에서 adhoc 방식 1단계 적용시 통신 8개 이상 100% 달성

- 시설물 건설 현장에서 adhoc 방식 1단계 적용시 통신 8개 이상 100% 달성

▶ 지하구조물에서의 작업자 위치추적 성공률

- 터널 건설 현장에서 작업자 단말기 8개 이상의 동시 위치추적 100% 달성
- 시설물 건설 현장에서 작업자 단말기 8개 이상의 동시 위치추적 100% 달성

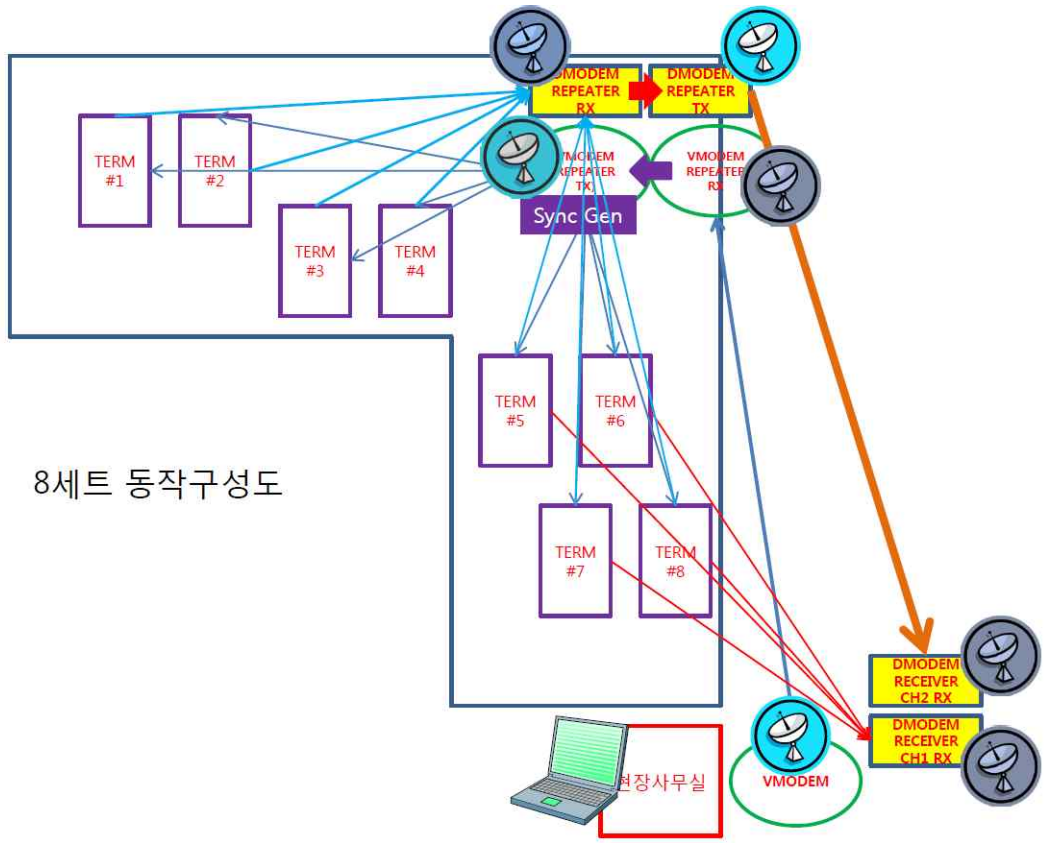


그림 4.7 adhoc 방식 1단계 적용시 실현된 8개 동시 접속 구성도

3. GIS기반 관제시스템

가. 연구성과 설정사유 및 성능목표

(1) 설정사유

(가) 터널 공사현장 지하공간내 작업자 추적을 위한 관제시스템 모니터링 필요

(나) 지하공간 작업자 위치 추적을 위한 좌표 및 심볼 표출 필요

(다) 작업자 추적을 위한 기준정보 필요

(라) 차량 추적을 위한 기준정보 필요

(마) 작업자 상황인지에 대한 관제시스템 알람기능 필요

(바) CCTV를 통한 터널입구 차량 관제 필요

(2) 성능목표

(가) 기존기술 수준

① 관제센터의 원활한 지하구조물내의 관제 어려움

② 지하구조물내에서의 통신 및 건설현장 환경의 제약

③ 지하구조물에서 작업자의 실시간 위치파악 안됨

④ 소음, 진동 등의 열악한 환경으로 지하공간에서의 원활한 음성통신 어려움

(나) 개발기술 수준

① 지하구조물내에서의 원활한 작업자 위치추적 파악 및 데이터통신 가능

② 지하구조물에서 작업자의 안전사고 및 위기상황에서 신속한 대응을 위한 상황인지 정보제공

③ 지하구조물 출입차량에 대한 정보제공

④ 지하구조물 상황에 따른 알람기능 제공

⑤ CCTV 차량 출입에 대한 영상 모니터링 정보 제공

나. 연구개발 최종목표 달성도

(1) 지하구조물내에서의 원활한 작업자 위치추적 파악 및 데이터통신 가능

연구개발 최종목표 달성도	100%
세부내용	- 지하구조물내에서 MEMS를 이용한 adhoc 통신을 통하여 원활한 정보전달이 가능 - 단말기에서 발신된 정보만 정확하다면 관제시스템의 지도에 표시되는 작업자 위치와 차량위치는 비교적 정확함

관제시스템으로 수신된 센서정보가 지도 및 단면도에 표출되어 관제자가 작업자 및 차량의 위치추적이 가능하도록 시스템을 개발하였다.

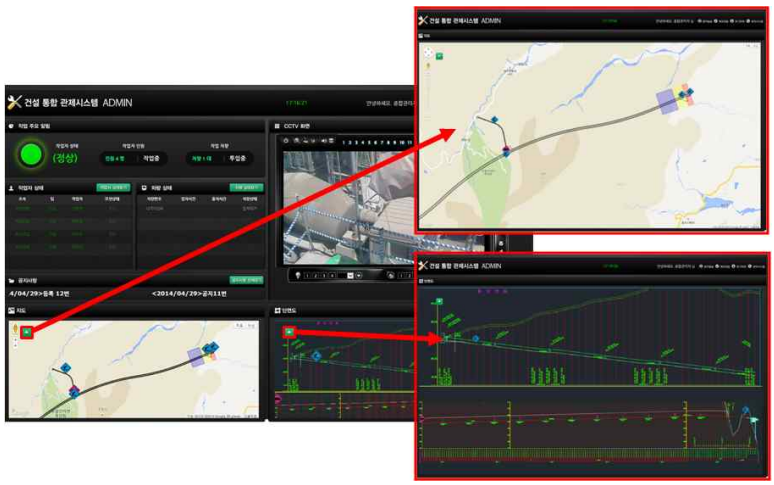


그림 4.8 관제시스템에서 작업자 및 차량 위치표출

(2) 지하구조물에서 작업자의 안전사고 및 위기상황에서 신속한대응을 위한 상황인지 정보제공

연구개발 최종목표 달성도	100%
세부내용	- 지하구조물에서의 작업자 위치추적을 위한 자이로 관성 센서와의 원활한 통신 가능

관제시스템의 작업주요알림을 통해 안전사고 및 위기상황에서 상태정보를 활용한 상황인지 정보를 제공하여 위험상황 시 신속한 대응이 가능하도록 시스템을 구축하였다.



그림 4.9 작업 주요 알림

(3) 지하구조물 출입차량에 대한 정보제공

연구개발 최종목표 달성도	100%
세부내용	- 지하구조물 건설현장 출입차량에 대한 실시간 정보 제공

관제시스템의 작업자상태 및 차량 상태를 통해 건설현장 출입차량 및 작업자의 상태정보를 실시간으로 파악할 수 있으며 팝업창을 통해 단말기 상태 등 상세내용까지 관제가 가능하다.

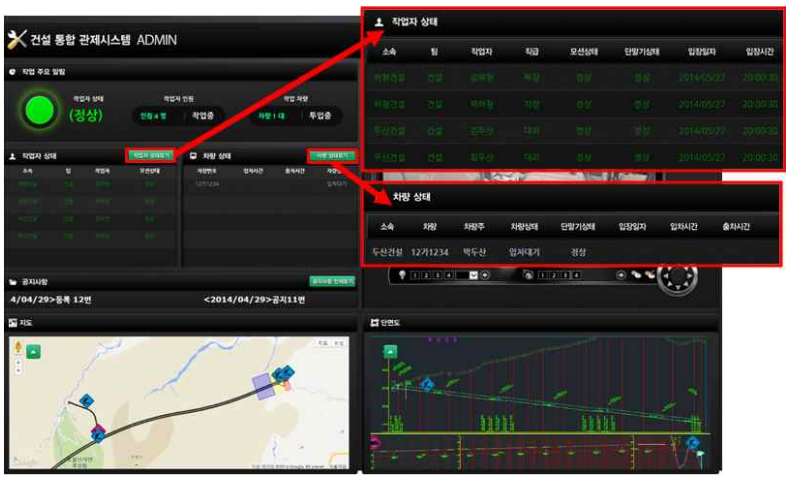


그림 4.10 작업자 상태 및 차량상태

(4) 지하구조물 상황에 따른 알람기능 제공

연구개발 최종목표 달성도	100%
세부내용	- 지하구조물 작업자 상황 및 비허가 차량 입출에 대한 실시간 관제시스템 알람기능 제공

온톨로지 기반의 상황인지 서비스를 활용하여 작업자 상황 등을 고려한 알람기능이 제공된다.

(5) CCTV 차량 출입에 대한 영상 모니터링 정보 제공

연구개발 최종목표 달성도	100%
세부내용	- 지하구조물 터널 출입에 대한 차량 인허가 관제를 위한 CCTV 영상 모니터링 기능 제공



그림 4.11 CCTV 모니터링

4. 3차원 위치인식 및 무선통신 기술을 활용한 지하구조물 건설현장 지원시스템

가. 제안된 성능 목표

- 작업자 및 이동차량 실시간 위치추적 및 관리 : 90% 이상 확보
- 상황인지를 통한 대응체계 정확도 : 95% 이상 확보
- 지하구조물 건설현장 적용 및 활용성 : 90% 이상 확보

나. 목표 달성도

▶ 작업자 및 이동차량 실시간 위치추적 및 관리

- 작업자 및 이동차량 위치추적 및 관리를 위한 데이터 전송률 95%이상 확보

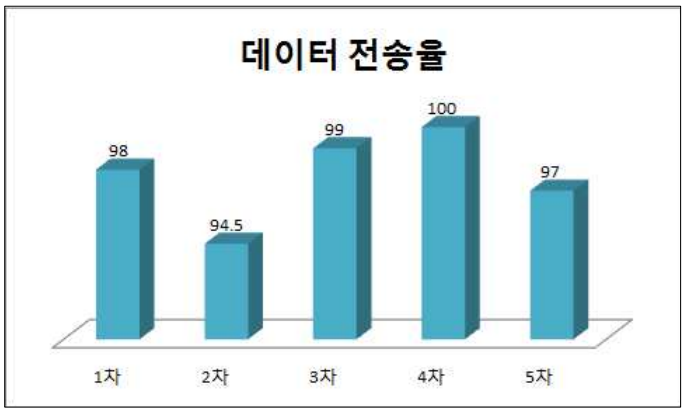


그림 4.12 위치추적 데이터 전송율

- 관제시스템 위치추적 및 관리 정확도 : 98%이상 확보

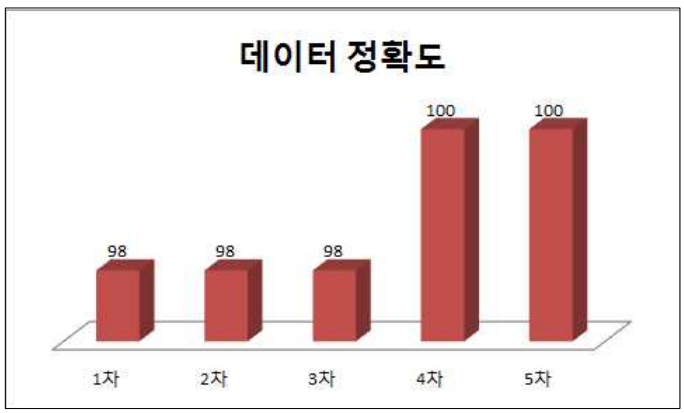


그림 4.13 위치추적 데이터 정확도

▶ 상황인지를 통한 대응체계 정확도

- 상태정보 표출 정확도 : 98%이상 확보

▶ 지하구조물 건설현장 적용 및 활용성

- 테스트 베드 선정을 통한 지하구조물 건설현장지원시스템 상시 적용 : 100%

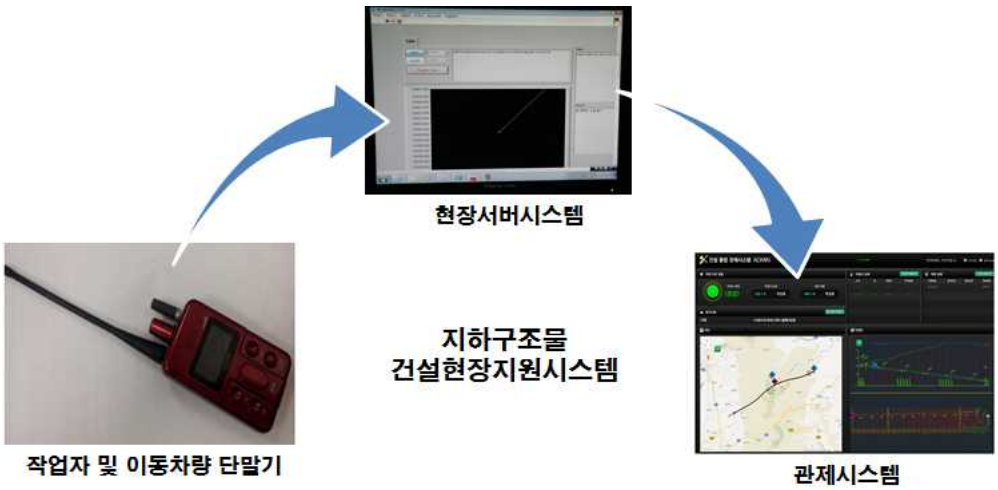


그림 4.14 지하구조물 건설현장지원시스템 구성도

제2절 연구개발 성과의 효과분석

1. 기술적 효과분석

본 과제가 지향한 건설현장 지원시스템용 단말기 제작을 위해서 그동안 수행한 과제의 연구 내용은 저가 부품과 소형 부품 채용, 이를 근거로 한 항법기술 확보 및 상용 구현에 집중되었다.

그 결과로, 본 과제를 시작하기 전에는 존재하지 않았던 저가의 디지털 MEMS INS를 채용한 VI-GNSS 모듈이 탄생하게 되었고, 과제를 수행하는 3년동안 거의 모든 관련 분야에서 채용하는 센서가 아날로그에서 디지털 방식으로 바뀌었다.

이런 기술적인 동향의 변화는 본 과제가 기술적 변화의 과정을 제대로 예측하고 대응해 왔음을 의미하며, 본 과제의 최종 결과물이 가격적으로, 크기적으로 가장 매력적인 PDR 모듈과 ADR 모듈의 형태로 시장에 진입할 수 있는 토대가 되었다.

이런 효과는 이윤을 추구해야 하는 참여기업의 입장에서 기술적으로나 시장 원리적으로 매우 강력한 경쟁력을 갖게 하는 효과를 가져왔다고 판단된다.

2. 경제적 효과분석

정보통신 기술이 부족한 수많은 건설 현장에서는 상상하지 못하는 작업상의 부상, 낙마, 자재 도난, 시공 불량, 소통 부재로 인한 폭발물 등에 의한 안전사고가 빈번하게 발생하고 있으며, 이런 지속적인 사고는 인적손실 뿐만 아니라 경제적인 손실도 일으키기 때문에 이런 비용은 결국 건설비로 포함되어 시공비의 상승을 가져오게 된다. 이와 문제가 한 건설 현장에 국한되는 것이 아니라 대부분의 건설 현장의 문제이기 때문에 정보통신 기술로 미연에 방지할 수 있거나 예방할 수 있다면 경제적으로 엄청난 손실 비용을 절감할 수 있다. 따라서 본 연구과에서 개발하는 지하구조물 건설현장지원시스템을 통하여 체계적인 안전관리와 더불어 경제적 효과를 함께 기대할 수 있다. 또한 본 연구개발사업으로 도출된 연구성과가 연구사업 종료 이전에 기술실시계약이 체결되는 등 해당 기술에 대한 수요가 증대되고 있는 시점이기 때문에 건설, 방재 등 다양한 분야에 해당 기술을 적용 혹은 제품으로 판매함으로 인한 경제적 효과도 기대된다. 그리고 SOC 사업이 증가하고 있는 개도국에 해당 기술을 수출할 수 있는 기회도 마련될 것으로 판단된다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 향후 활용방안

1. VI-GNSS 기반 작업자 및 이동차량 통합 모듈 상용화

본 과제가 추구한 상용화의 최종 결과물 중에서 가장 대표적인 제품은 초소형 VI-GNSS 모듈로써 초저전력 GNSS칩과 초집적 MEMS INS 센서 칩을 내장한 12X16 크기의 양산 모듈이다.

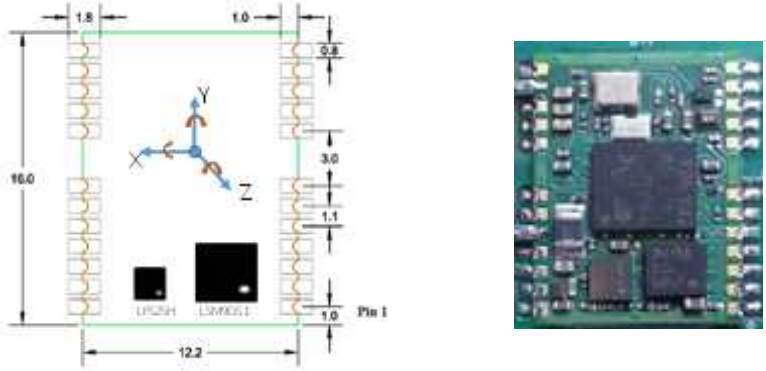


그림 5.1 초소형 VI-GNSS 최종 양산 모듈

이 모듈은 또한 기존 모듈과 달리 GNSS 칩이 ARM9급의 강력한 CPU와 기존의 2배에 달하는 프로그램 메모리를 보유하고 있어 본 과제에서 개발한 PDR과 ADR의 통합 S/W를 내장하고도 남을 솔루션이다.

또한 본 과제에서 구현하지 못한 다양한 복합 항법 기능을 추가로 구현할 수 있으므로 이를 활용한 상용 모듈을 실현코자 한다.

2. 작업자용 VI-GNSS 단말기 제작 업체 지정 및 협력

당초 연구개발 사업 초기 공동연구기관인 ㈜마이크로어드벤텍이라는 이름으로 본 과제에 참여할 때는 모듈 및 단말기까지 사업이 가능한 상황이었으나 2013년 8월 이후 ㈜텔릿와이어리스솔루션즈로 인수합병 되면서 단말기 사업은 배제되었다. 참여기관으로써 사업 모델의 변화로 인해 단말기를 전문으로 개발, 제조하는 별도의 업체가 필요한 상황이므로 최근 주관기관인 한국건설기술연구원의 노력으로 ㈜아센코리아라는 단말기 업체가 단말기 부분에 대한 개발 의지를 표명하고 기술실시계약을 통한 협업 가능성을 열어 두었다. 이를 위해 협업 업체는 본 과제의 결과물인 VI-GNSS 모듈을 도입하여 테스트 지그와 자체 시험 프로그램을 제작하였다.

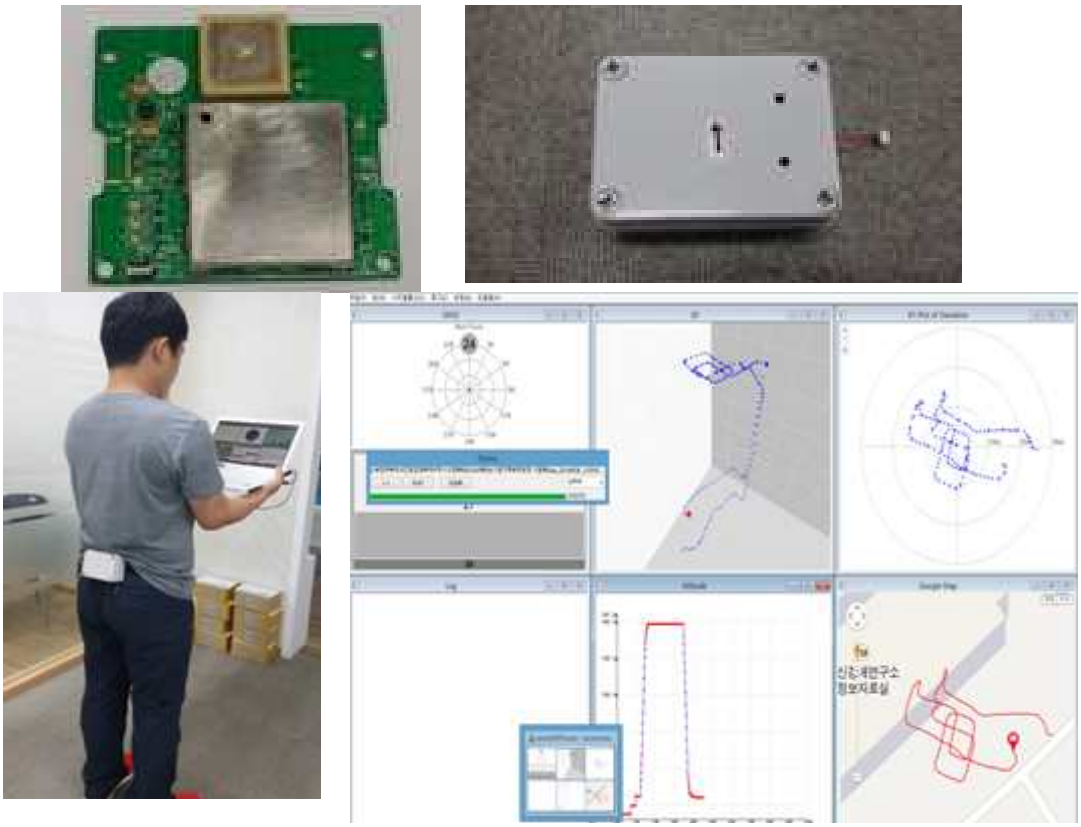


그림 5.2 협업업체가 제작한 시험 단말기 및 테스트 결과

3. 개발된 시제품 사업화를 위한 현장 시현 및 데모 실시

본 과제에 참여하는 또 다른 참여기관인 두산건설은 본 과제의 결과물을 신기술을 확보하고 나아가 함께 참여한 참여기관들과 함께 본격적인 건설현장 지원시스템 보급에 나설 계획이다.

이를 위해 기존의 양남터널 현장과 유사한 또다른 건설 현장을 물색하여 본 과제의 건설현장지원시스템 일체를 시현하고 시험 적용코자 한다. 아울러 현재까지 제작된 단말기와는 별도로 해당 건설현장에 적합한 최신 사양을 협의하여 사업비 확보를 통한 VI-GNSS단말기를 보급할 계획이다.

4. 신기술 지정을 통한 건설현장 적용

본 과제에서 도출된 연구성과물을 기반으로 현재 한국산업기술진흥협회의 신기술 인증을 신청하여 놓은 상태이다. 현재 신기술 이전에서 개발 기술의 수요가 발생하고 있으나, 신기술 인증을 받게 되면 현재 연구개발사업에 참여한 두산건설 이외의 타 건설사에서 해당 시스템의 적용을 적극적으로 채용할 것으로 기대된다. 이를 위하여 터널 건설현장 이외에 타 지하구조물 건설현장의 적용성을 구체적으로 검토하

기 위하여 임 다양한 형태의 실험 및 시뮬레이션을 통하여 실제 신기술 인증 후 건설현장에 적극적으로 판매 및 배포할 수 있는 체계 마련이 필요하다.

5. 기타 분야 적용성 확장

본 과제에서 연구과제는 지하구조물 건설현장지원을 위한 시스템으로 개발되었지만 기술실시계약의 경우에서도 볼 수 있듯이 방재, 환경 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다. 특히 소방분야에서는 구조물 내부의 화재 발생 시 소방관의 위치추적을 통한 효율적 소방관 활용 및 안전관리를 위한 연구에 본 연구에서 도출된 걸음검출 방식 기반의 MEMS INS 활용 3차원 위치측위 기술 활용이 진행 중에 있다. 현재 실내공간의 위치측위는 대부분은 무선통신 환경(WIFE, BEACON 등)이 이미 구현되어 있는 곳에서 주로 활용되지만, 무선통신 환경이 구현되지 못한 환경에서의 위치추적에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서는 중요성이 크게 부각되지 않았지만, 실내공간의 차량 네비게이션 분야에서도 현재 기술이 충분히 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 차량의 경우 작업자와 같이 헤딩이 크게 변화하지 않는 장점이 있기 때문에 차량의 차속 펄스를 이용한 위치측위를 통하여 지하터널, 지하주차장 등에서 지상과 끊김없는 고품질의 차량 네이게이션 솔루션을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 적극적인 기술 적용 분야 확장을 위해서는 향후 보다 구체적인 사회 문화적인 분야별 비즈니스 모델에 대한 검토가 필요하며, 나아가 적용 분야별 경제성 분석을 통하여 해당 기술이 필요한 분야에서 적극적으로 활용할 수 있는 근거를 마련하는 것이 중요하다.

제2절 추가연구 필요성

본 과제를 시작할 때는 MEMS INS 센서나 GNSS의 선택에 한계가 있었으나 3년이 지난 현재는 이보다 더욱 집적화 된 칩과 센서가 보급되고 있다. 이와 더불어 다양한 무선통신 및 무선측위 솔루션이 다양해져서 실내 측위용으로 활용할 GNSS/MEMS INS/WLS 복합 항법 솔루션의 실현이 눈앞에 다가온 듯하다.

본 과제가 한계를 갖고 시작한 상용화 과제라 하면 추가 연구 분야는 본 과제의 Form factor를 유지하면서 모든 측위 시스템이 융합된 실내외 3D 복합 항법 모듈을 실현하고, 이를 주변의 인터넷 단말기와 결합한 웨어러블 컴퓨팅 기능과 네트워킹 가능하도록 하는 연구가 요구된다. 최근 가장 핫한 분야인 사물인터넷 (Internet of Thing: IoT)과 연계하여 단말기단의 플랫폼 역할을 할 수 있는 사물인터넷과 연계된 통합 현장 지원 시스템 개발 관련 연구가 필요하다.



그림 5.3 차세대 현장지원시스템의 추가 연구 방향

특히 본 과제에서 도출한 지하구조물 건설현장지원시스템의 시장성 확보를 위한 시스템 가격의 최적화를 위한 추가적인 연구 및 개발도 필요할 것으로 생각된다. 현재 대부분의 건설현장에서는 전체 건설공사 비용의 약 1~2% 가량의 규모에 대하여 건설현장의 체계적 관리 및 안전사고 예방을 위한 투자를 하고 있는 실정이다. 본 연구성과로 도출된 현장지원시스템의 경우 전체 시스템의 비용이 약 1억원 가량으로 건설현장 책임자의 의견을 고려하여 보았을 때 충분히 활용이 가능한 비용으로 책정되었다. 하지만, 점차 최근 세계적으로 MEMS INS 및 GNSS 모듈이 스마트 폰, 태블릿 PC 및 생활 전반에 걸쳐 적용됨으로 인하여 공급 단가와 시스템 구현을 위한 H/W의 가격도 저렴해 지고 있는 실정이다. 이와 같은 흐름에서 약 1억원 가량으로 책정된 현장지원시스템의 가격이 보다 저비용으로 개발될 수 있다면 중·대규모 건설현장 외에 소규모 건설현장에서도 쉽게 접근 가능할 것으로 판단된다. 따라서, 향후 단말기 뿐 만 아니라 정보 연계 환경 구현을 위한 현장서버시스템 및 관제시스템의 가격 경쟁력 향상을 위한 추가 개발 관련 연구가 필요할 것으로 생각되며, 보다 고품질의 저렴한 비용으로 개발되는 센서의 도입을 통한 성능 향상을 고민해 볼 필요성이 있다.

또한, R&D연구에서 개발한 시스템의 현장중심의 적용성 및 운용성 확보를 위하여 두산건설과 협의를 통하여 추가 검증을 수행할 계획이다.

표 5.1 시스템 적용성 및 운용성 확보를 위한 추가 현장검증 계획

날짜	계획
'15.8	- 시스템 안정성·적용성·운용성 추가 검증 테스트 수행
'15.12	- 건설 신기술 신청을 위한 시스템 적용성 및 운용성 테스트 수행

참고문헌

- Do, S. B., KIM, H. S. and JANG, Y. G. (2012), A study on the real-time estimation of MEMS INS bias errors according to the change of temperature using GNSS, 2012 Korea Information and Communication Society, Summer Conference, pp. 311-312
- Gilbert Strang, Kai Borre, “Linear Algebra, Geodesy, and GPS”, Wellesley-Cambridge Press, 1997, pp. 280-285, Aug. 1985. pp.487-488
- Seongpil Kim, Chang-sun Yoo, “Development of Altitude Determination System by Using GPS/INS/Baroaltimeter,” Journal of the Korean society for aeronautical&space sciences, Volume 33, No. 6, pp. 51~56, 2005
- Paul D. Groves, “Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrates Navigation Systems”. Artech House, pp. 335-342, 2008
- Scote Gleason, Demoz Gebre-Egziabher, “GNSS Application and Methods”, Artech House, pp. 177-189, 2009
- J. Y. Han, “On-Time Internal Pedestrian Localization Algorithm Based on Ad-Hoc Networks”, J. KICS, vol. 39C, no. 11, pp. 1000-1008, Nov, 2014
- N. H. Kim, “A Study on The Advanced Altitude Accuracy of GPS with Barometric Altitude Sensor”, J. IEIE, vol. 49, no. 10, pp. 18-22, Dec, 2012
- E. D. Kaplan, C. J. Hegarty, “Understanding GPS Principles and Applications, 2nd Edition,” Artech House, pp.384-390, 2006.
- S. B. Do, “A study of Differential method for Absolute Altitude calculation in Construction field”, in Proc, KGS 2012, pp. 96. Jeju Island, Korea, Nov, 2012
- H. S. Kim, “A study of the position tracking of vehicles in construction field based on the virtual gateway”, in Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2013 (KICS ICC 2013), pp. 413-414, Jeju Island, Korea, Nov, 2013.
- Y. G. Jang, “ Research of MEMS INS Based 3D Positioning Technologies for Workers in Construction Field”, J. KGES, vol. 14, no. 3, pp 51-60, Mar, 2013
- H. Yoo, “Altitude Estimation Improvement in DGPS using Barometric Altitude Sensors”, J. KSAS, vol. 34, no. 1, pp. 51-56, 2005
- J. S. Shim, “Approximate 3D Localization Mechanism in Wireless Sensor Networks”, J. KICS, vol. 39, no. 9, pp. 614-619, Sep, 2014
- Parkinson, B. W., Spiler, J. Jr., Axelrad, P., The Global Positioning System: Theory and Applications, Volume 1, AIAA, Washington, DC, 1996
- Jee, G. I., Lee, Y. J. and Kim, H. S., (2004), Development of and integrated navigation system using GPS/INS/CDMA network, National Research

Laboratory Project, pp. 266-275 (in Korean)
- Gabaglio, V., “GPS/INS Integration for Pedestrian Navigation”, Institute of Geomatics of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne, 2003
- JW Kim, HJ Jang, DH Hwang, CS Park, “A Step, Stride and Heading Determination for the Pedestrian Navigation System”, Journal of Global Positioning Systems, 2004
- Godha, S., Lachapelle, G. and Cannon, M. E., (2006), Integrated GPS/INS system for pedestrian navigation in a signal degraded environment, Proceeding of the 19th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation(ION GNSS 2006), pp. 2151-2164
- J. Borkowski, J. Niemel¨a, and J. Lempi¨ainen, “Performance of Cell ID+RTT hybrid positioning method for UMTS radio networks,” in Proceedings of the 5th European Wireless Conference, pp. 487 - 492, Barcelona, Spain, February 2004.
- ERICSSON, “Positioning with LTE,” Sept., 2011.
- J. A. Del Peral-Rosado, and et. all, “Achievable Localization Accuracy of the Positioning Reference Signal of 3GPP LTE,” 2012 Intl. Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), June, 2012.
- J. Zyren, “Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer,” Freescale white paper, July, 2007.
- E. Trevisani, and A. Vitaletti, “Cell-ID Location Technique, Limits and Benefits: an Experimental Study,” 6th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 2004.
- Jay Esfandyari1, Massimo Mascotto, Gang Xu, “MEMS 압력 센서가 구현하는 보행자 내비게이션”, Special Feature, ST Microelectronics
- GPS/INS/CDMA망 통합 복합항법필터 설계에 관한 연구, 건국대학교 일반대학원 전자정보통신공학 박사학위논문, 건국대학교, 2004
- 이정훈, “초음파 거리계, GPS, 기압고도계를 이용한 고도 결정 알고리듬 설계”, 인하대학교, 2008년 2월
- Rafael C. Gonzalez 외 1명, “MATLAB을 이용한 디지털영상처리”, McGraw-Hill Korea, 2012, pp. 481-498.
- 강석진 외(2003), “Ubiquitous환경에서의 GIS 표준화에 관한 연구”, 명지전문대학 산업기술연구소
- 강혜영 외(2004), “유비쿼터스 GIS 를 위한 기반기술 개발”, 한국정보처리학회
- 권성호 외(2007), “RFID 기술 및 표준화 동향”, 한국전자통신연구원
- 권재홍 외(2007), “MEMS 기술을 적용한 자동차 응용센서 기술 및 동향”, 정보통신연구진흥원

- 권창희 (2012), “U-City에 있어서 온톨로지 기반 U-서비스 설계”, 디지털정책연구 제10권
- 김기일(2007), 네트워크 기술”, 한국과학기술정보연구원
- 김내수 외(2007), “USN 센서노드 기술개발 동향”, 한국전자통신연구원
- 김명진 외(2008), “u-GIS 기반 건설정보화 혁신 기술개발 프로젝트를 위한 분산 실시간 시스템”, 한국정보과학회
- 김명진(2009), “u-GIS 통합 관제 시스템을 위한 분산 실시간 원격제어 모델 설계 및 구현”, 건국대학교
- 김봉수 외(2007), 네트워킹 기술 동향”, 한국전자통신연구원
- 김은숙 외(2007), “6LoWPAN 기반의 IP-USN기술 표준화 동향”, 한국전자통신연구원
- 김은형(2006), “u-City를 위한 지자체 GIS 연계통합 연구”, 한국공간정보학회
- 김은형(2009), “유비쿼터스 지리정보 표준화 동향”, 한국지형공간정보학회
- 김재철 외(2009), “u-GIS 국토정보 제공 시스템”, 한국공간정보학회
- 김재훈 외(2008), “위성항법수신기 기술개발 동향”, 한국전자통신연구원
- 김정훈(2008), “유비쿼터스 시대의 GIS산업 발전전략”, 한국측량학회
- 김택천 외(2007), “유비쿼터스 환경을 위한 Web-GIS 기반의 객체위치정보 모니터링 시스템”, 한국해양정보통신학회
- 김홍기 외(2009), “모바일 u-GIS를 위한 동기화 시스템 설계 및 구현”, 한국해양정보통신학회
- 남기욱 외(2007), “위성항법시스템 및 보강시스템의 구축 현황”, 항공우주연구원
- 남상관 외(2009), “오픈소스 GIS 소프트웨어를 활용한 u-GIS 기반 도시 지상시설물 관리 시스템 개발”, 한국지형공간정보학회
- 남상관 외(2009), “U-GIS 기반 도시시설물 관리 분야의 그리드(GRID) 아키텍처 적용 연구”, 한국지리정보학회
- 민경욱 외(2009), “u-GIS 공간 데이터베이스 관리시스템 개발”, 한국공간정보학회
- 박상준 외(2007), “무선 센서 네트워크 노드 미들웨어 기술”, 한국전자통신연구원
- 박승창(2004), “GIS와 유비쿼터스 : u-Korea를 향한 국내 NGIS 기반 u-Biz 모델의 예측”, 대한측량협회
- 박종현 외(2007), “USN 미들웨어 기술개발 동향”, 한국전자통신연구원
- 박현식(2007), “휴대전자 기기의 가속도 센서 기술”, 정보통신연구진흥원
- 박효덕(2005), “차량용 MEMS 센서 개발 연구회”, 산업자원부
- 백동현 외(2007), “유비쿼터스 환경에서 위치기반서비스의 활용성 연구”, 한국산업경영시스템학회
- 서창우 외 (2010), “해외사례를 통한 Ubiquitous서비스와 GIS 서비스 간의 연관성 분석에 관한 연구”, 한국도시설계학회
- 안경환 외(2008), “모바일 u-GIS 데이터 처리 시스템 설계”, 한국정보처리학회

- 오경륜 외(2004), “차세대 위성항행시스템(CNS/ATM) 기술개발 동향”, 항공우주연구원
- 오인열 외(2009), “무선 단말기 지원 Energy Harvesting”, 정보통신연구진흥원
- 우덕균 외(2008), “USN 소프트웨어 개발 도구 동향”, 한국전자통신연구원
- 유병곤(2008), “MEMS 기술을 이용한 에너지 하베스팅 기술”, 한국전자통신연구원
- 이봉주 외(2003), “Ubiquitous computing을 위한 GIS 표준화 동향 연구”, 한국지적학회
- 이석호 외(2009), “Utilizing Spatial-data to Provide for U-Service Based on U-GIS”, 한국공간정보학회
- 이재길 외(2012), “온톨로지기반 상황인지 추론시스템 설계 및 구현 – 여행정보 안내 스마트폰 앱을 사례로”, 한국지형공간정보학회지
- 이충호 외(2007), “u-GIS 공간정보 기술 동향”, 한국전자통신연구원
- 장인성 외(2009), “u-GIS 융합데이터 처리 시스템”, 한국해양정보통신학회
- 정원일 외(2009), “u-GIS 컴퓨팅을 위한 GeoSensor 데이터 스트림 처리 시스템”, 한국공간정보학회
- 정종권(2006), “GIS와 UBIQUITOUS”, 한국항해항만학회
- 정훈 외(2014), “온톨로지를 이용한 지능형 프로비저닝 서비스”, Journal of Digital Convergence
- 진태석(2007), “유럽 MEMS 기술개발 동향”, 정보통신연구진흥원
- 최두호 외(2008), “안전한 USN을 위한 정보보호기술 동향”, 한국전자통신연구원
- 최완식 외(2007), “소프트웨어 기반 GPS 수신기 개발 동향”, 정보통신연구진흥원
- 최완식(2007), “실내외 연속측위 기술 동향″, 한국전자통신연구원
- 편무욱(2008) “유비쿼터스 GIS의 건설분야 활용”, 대한건축학회
- 표철식 외(2007), “태크 기술 동향”, 한국전자통신연구원
- 한국전보보호진흥원(2006), “위치정보의 활용현황 조사분석”
- 한국전산원(2007), “광대역통합망(BcN) 구축 추진 전략 연구”
- 한국전자통신연구원(2006), “개방형 LBS 핵심기술 개발에 관한 연구”
- 한국전자통신연구원(2006), “차세대 LBS 기반 기술 발전 전망”
- 한국전자통신연구원(2007), “국내외 내비게이션 시장 현황 및 전망”
- 한국UWB포럼(2007), “센서용 UWB 주파수 이용 연구 결과”
- 한규서 외(2007), “지능형 로봇 공간을 위한 실내 측위기술”, 한국전자통신연구원
- 항공우주산업기술동향(2007), “위성항법시스템 및 보강시스템의 구축현황”
- 환경부(2004), 환경·교통 재해 등에 관한 영향 평가법
- 환경부(2006), 공사장 소음·진동 관리지침서
- 황용호 외(2007), “유비쿼터스 기반 GIS 서비스 분석체계 개발에 관한 연구”, 한국IT서비스학회
- 황의호 외(2009), “u-GIS 기반의 수자원관제 프로토타입 시스템 개발”, 대한토목

학회
- Abderrahim, M. (2003), A mechatronics security system for the construction site, International Association for Automation and Robotics in construction, Eindhoven, Holland, pp. 155～160
- IT Standard weekly(2009), “실내외 연속측위 정보 제공을 위한 OMASUPL 표준화 동향”
- Saqib, M. (2010), Traffic control system using wireless sensor network, Advanced Communication Technology (ICACT) 2010 The 12th International Conference , Phoenix Park, Korea, Vol. 1, pp.352～357
- NIPA RFID/USN센터(2009), “MEMS Market Brief Vol.4″
- Shi-Chune Yao et al.(2006), ″MEMS-based Micro-scale DMFC Development″, Science Direct Energy
- US-EPA(Nov. 2009), Developement and document for final guideline and standards for the construction & development category
- http://www.dbguide.net/(2009), “IBM 클라우드 컴퓨터 전략-‘블루 클라우드’ 컴퓨터 패러다임 주도”
- http://www.dbguide.net/(2009), “Windows Mobile 위치 인식 응용 프로그램에 GPS와 웹 지도 사용”
- http://www.nova-elec.com/
- http://www.dowumi.com/
- http://www.gps.re.kr/

부록 : 지하구조물 건설현장지원시스템 설치 운용 매뉴얼

□ VI-GNSS 단말기

1. 개발 시스템 설치 및 운용 매뉴얼

가. 개발 시스템 설치 방법

(1) 작업자용 VI-GNSS 단말기 설치 방법

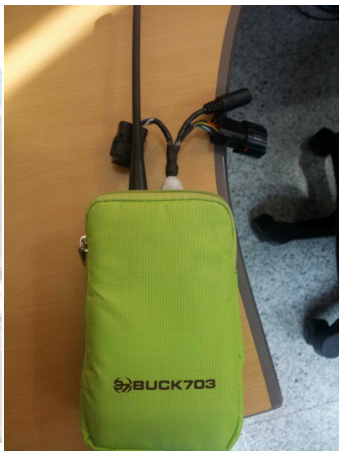
- 작업자용 단말기는 VI-GNSS 단말기와 골전도 헤드셋, 충전박스, 그리고 중계기로 구성된다.



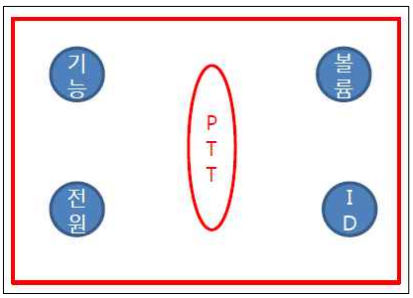
<작업자용 단말기>



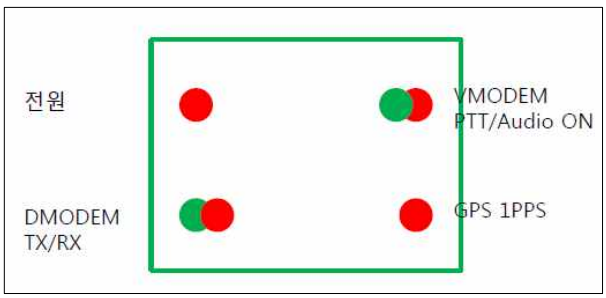
<골전도 헤드셋>



<커버 씌운 단말기>



<기능 버튼>



<전면 LED 점등 기능>

- 단말기는 사람의 몸의 중심인 허리 또는 등에 설치하고 골전도 헤드셋은 그림과 같이 착용한다.



<작업자용 단말기 착용 모습>

- 작업자용 단말기 내부 VI-GNSS 모듈의 방향 검출축이 안테나가 하늘을 바라본 방향축이므로 제작된 단말기는 안테나가 하늘을 향하게 수직으로 세워서 설치해야한다.

- 단말기 초기화 과정 필수 : VI-GNSS 단말기는 내장된 전원을 켠 후에 MEMS 센서의 특성상 반드시 초기화 과정을 위해 10초 이상의 시간을 필요로 한다. 이 시간동안은 단말기가 흔들리거나 전원이 꺼지면 안된다.



- 단말기 조작 : 단말기에는 전원 버튼과 상태표시용 LED가 배치되어 있으며, 전원만 켜면 자동으로 단말기 초기화 및 동기화 과정을 거치도록 설계되어 있다.



나. 이동차량용 VI-GNSS 단말기 설치 방법

- 이동차량용 단말기는 VI-GNSS 단말기, 충전박스, 차량용 인터페이스 박스로 구성되며, 단말기는 차량용의 경우 GPS신호를 받을 수 있는 환경인 대쉬보드 앞쪽에 설치하는 것이 바람직하다.



<차량용 단말기>



<중계기>



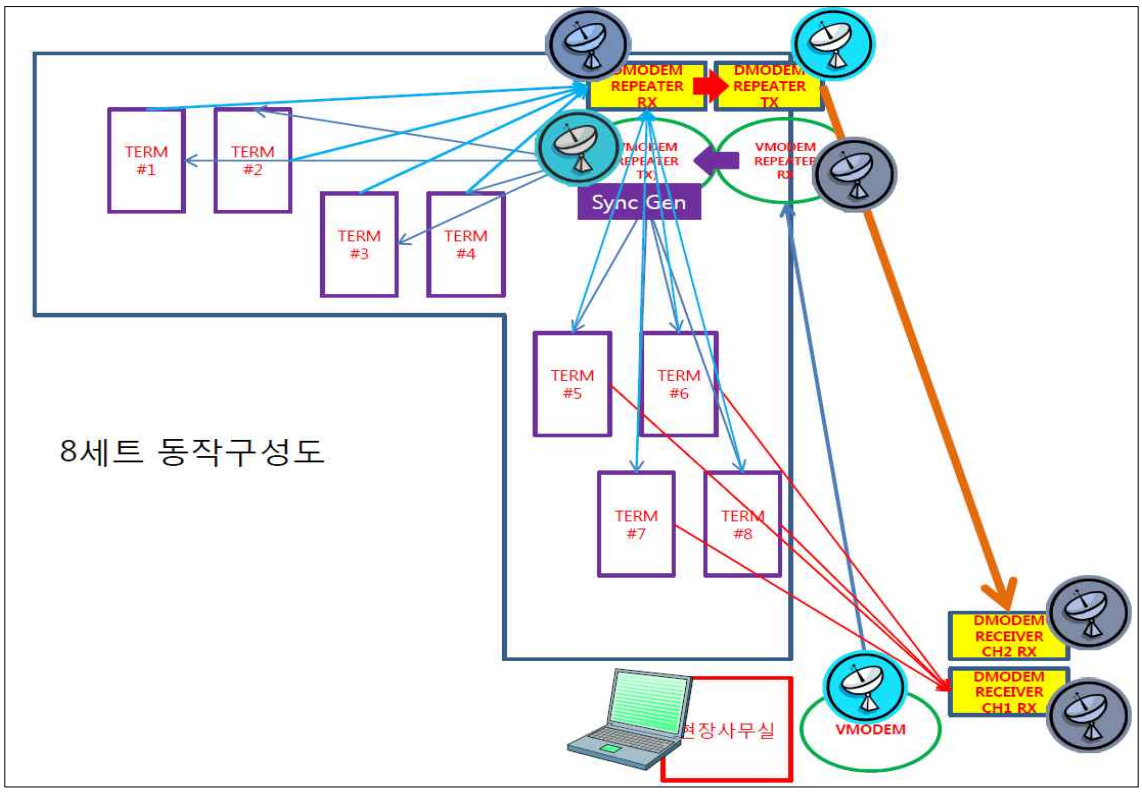
<차량 연결박스>



- 만약 외부 안테나를 연결하고자 하면 단말기는 전원버튼을 위로 향하게 평평하게 유지하도록 차량 임의의 장소에 단단히 설치한다.
- 이동차량용 단말기가 차량에 잘 장착되었으면 차량용 인터페이스 케이블을 단말기와 연결한다.

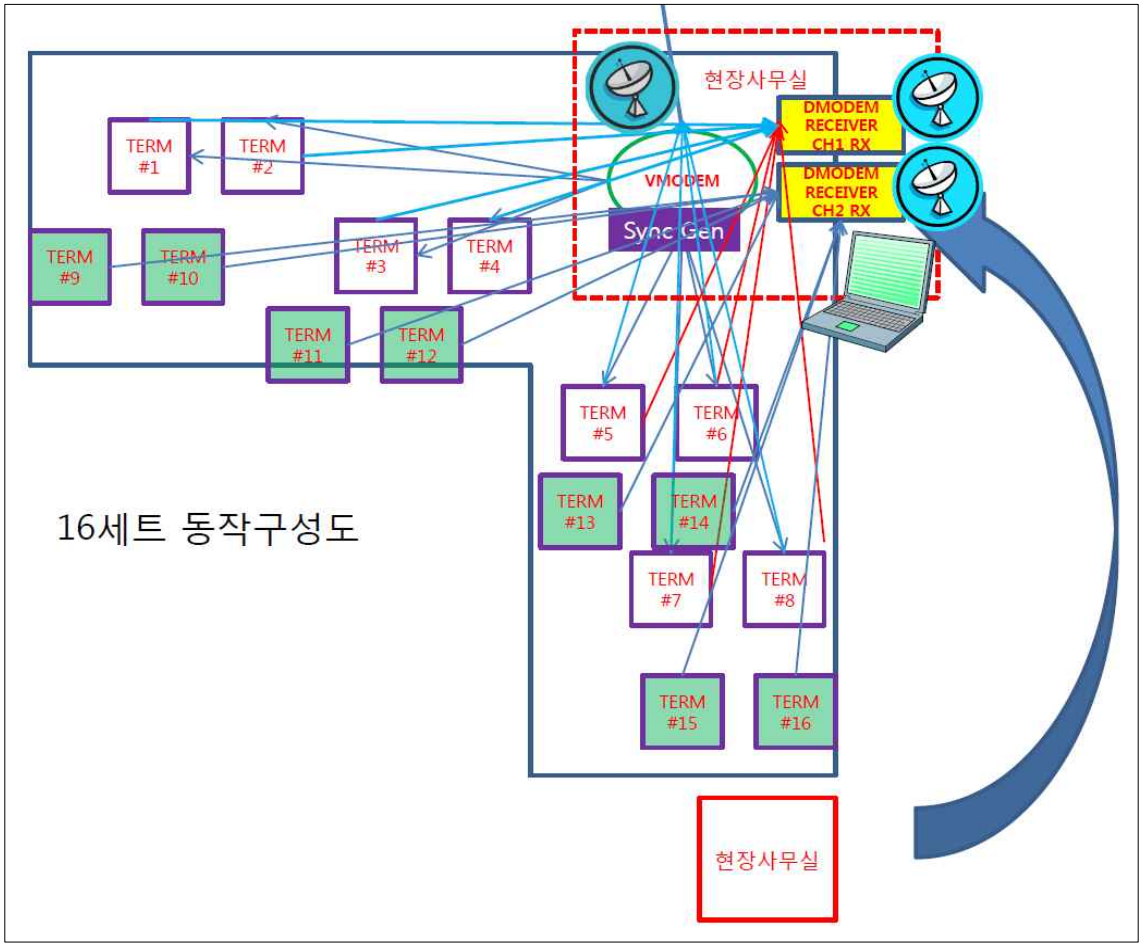
2. 개발 시스템 운용 방법

- 작업자용 단말기와 이동차량용 단말기는 종류에 관계없이 서로 다른 ID를 갖지만 동일한 데이터 포맷으로 구성되어 있으므로 서버단에서는 같은 단말기로만 인식한다.
- 동시 운용 단말기 수량이 적으면 중계기가 필요없지만 관제시스템과 너무 멀리 떨어져 있는 경우에는 중계기를 이용해야 한다.
- 동시 운용 단말기 대수가 8개 이하인 소그룹 운용시에는 아래 그림과 같은 구성으로 시스템을 설치 및 운용할 수 있다.
- 이런 방식으로 운용할 경우, 모든 단말기는 현장서버단과 중계기에 모두 접속이 가능하고, 다만 한 단말기의 데이터가 동시에 두 사이트에서 검출되는 경우는 먼저 도착 데이터를 우선으로 하고, 나중에 검출된 같은 ID의 데이터는 삭제한다.



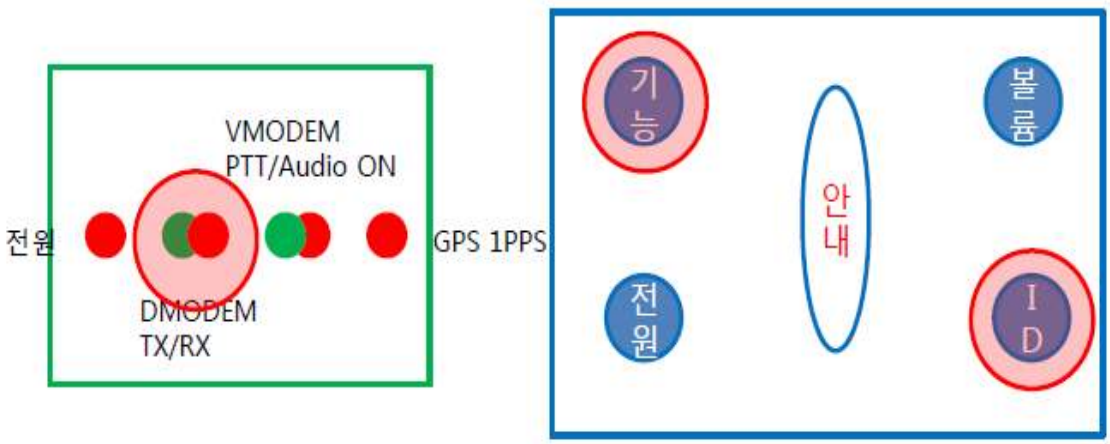
<8채널 동시 운용 구성도>

- 동시 운용 단말기수가 8대 이상인 경우는 16대 기준으로 운용하도록 한다. 즉, 16대 이상의 단말기를 동시에 운용하고자 하면 또다른 16대의 단말기가 준비되어야 한다. 그 이유는 연결 브릿지 역할을 하는 중계기가 추가로 필요한데 한 중계기가 최대 16대까지만 지원하기 때문이다.



<16채널 동시 운용 구성도>

- 단말기 ID 세팅 : ID키를 1.5초 이상 누르면 아래 왼쪽 그림처럼 LED가 점등되고, 이때부터 ID버튼 누른만큼 ID가 증가한다. LED는 설정된 ID만큼 깜빡인다. ID설정 완료 후 기능키를 누르면 세팅 완료된다.



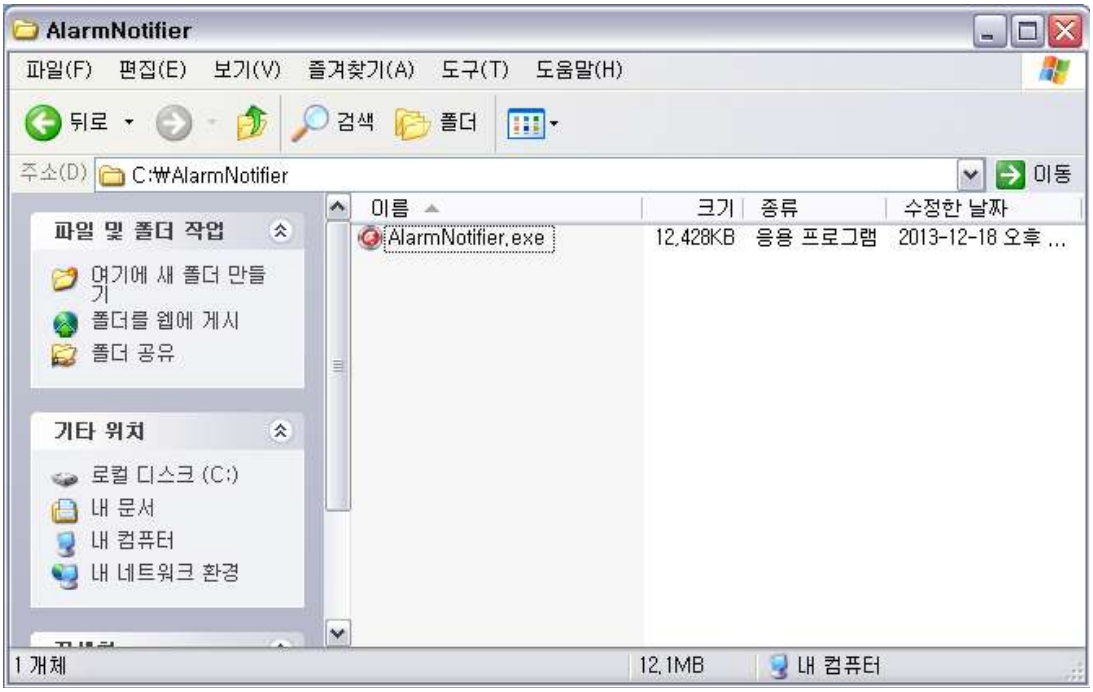
<단말기 ID 세팅>

□ 현장서버시스템

1. 개발 시스템 설치 및 운용 방법

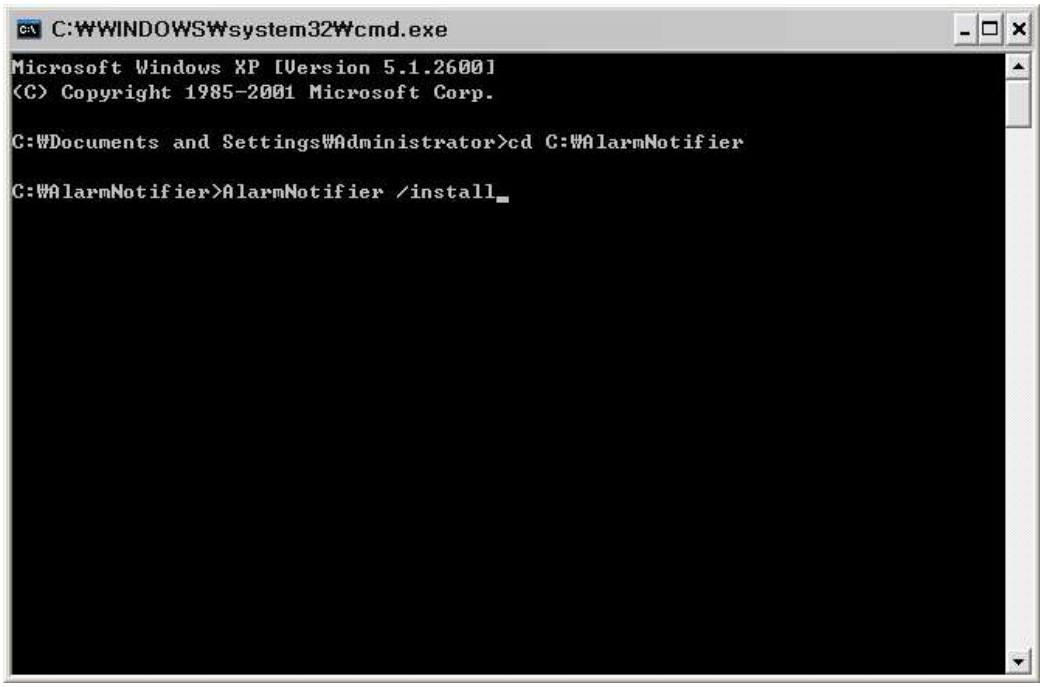
가. AlarmNotifier 폴더

- 단말기에서 전송된 데이터가 포함된 파일이 적재되는 곳
- 적재된 파일의 데이터를 비교하여 정상적인 데이터만 서버로 전송됨



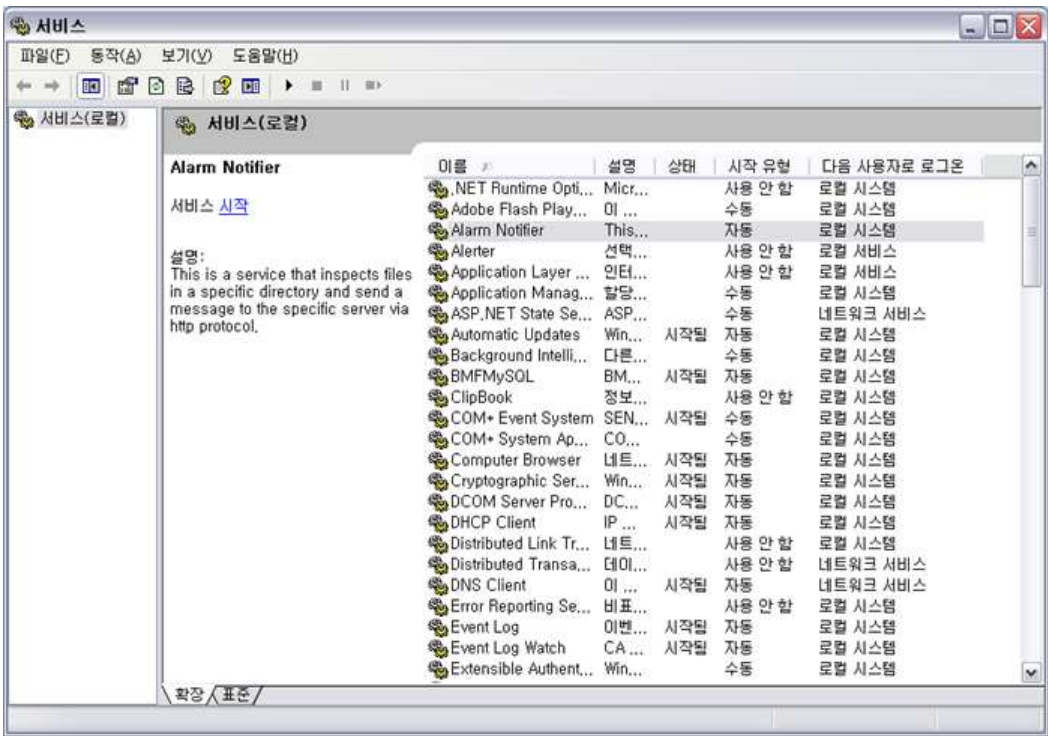
나. AlarmNotifier 설치

- 현장지원시스템에서 서버로 전송을 하기 위해서 설치하는 서비스 프로그램
- C: \AlarmNotifier 폴더에 서비스 프로그램 설치파일을 두고 도스창(실행 -> cmd) 에서 설치파일이 있는 위치로 이동하여 (AlarmNotifier /install) 명령어를 입력하면 설치가 됨



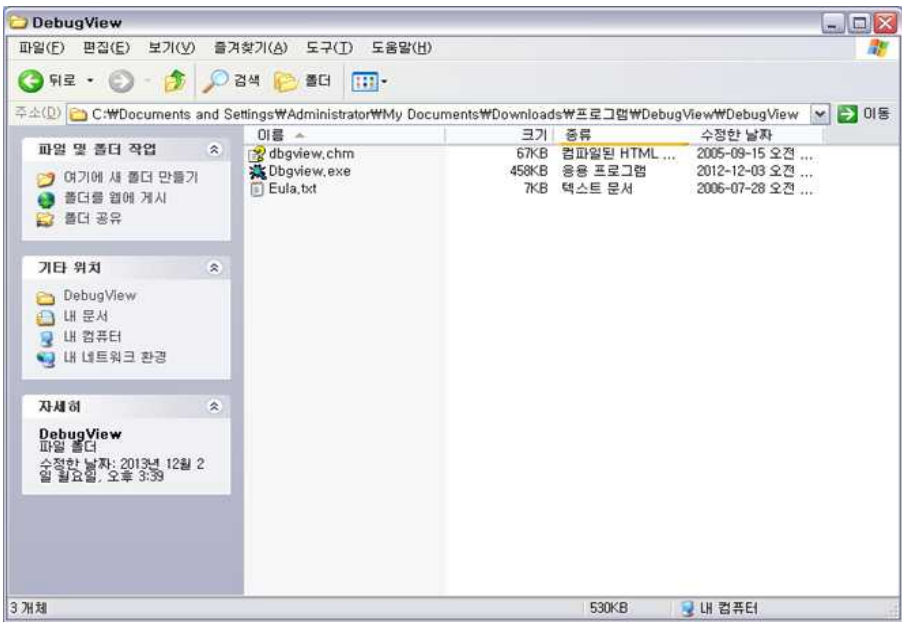
다. AlarmNotifier 실행

- 서비스 프로그램이 정상적으로 설치가 되면 (제어 판 -> 관리도구 -> 서비스) 에서 정상적으로 설치가 되어 있는 모습을 확인 할 수 있음
- 설치된 서비스 프로그램을 시작하면 적재된 파일이 정상적으로 서버로 전송 됨



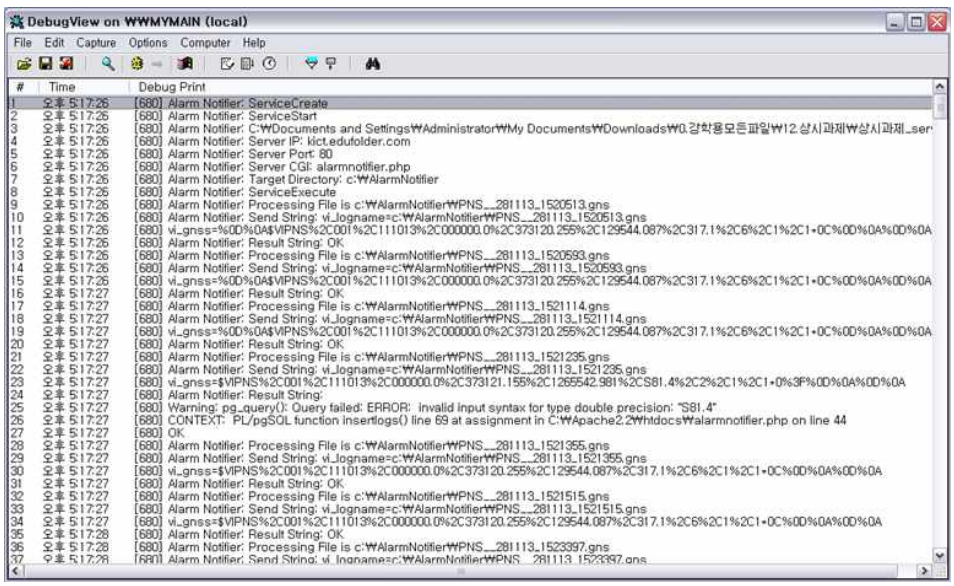
라. Dbgview 실행

- 현장지원시스템에서 서버로 전송되는 것을 확인 할 수 있는 Dbgview 프로그램
- Dbgview프로그램을 통해 서버로 전송되는 것을 확인 할 수 있음



마. Dbgview 활성화

- Dbgview 프로그램을 실행하면 아래 그림과 같이 적재된 파일이 서버로 전송되는 것을 볼 수 있음



□ Ubi-GIS 관제시스템

1. 개발 시스템 설치 및 운용 방법

가. 서버환경 구축 방법

(1) 서버 구축 파일

- edb_apachephp.exe 파일을 실행하여 apache, php 설치

(2) apache 설정 변경

- C:\Program Files (x86)\PostgreSQL\EnterpriseDB-ApachePHP\ apache \conf\extra\httpd-host.conf에서 설정 변경

(3) php 설정 변경

- C:\Program Files (x86)\PostgreSQL\EnterpriseDB-ApachePHP\php\php.ini 에서 설정 변경

(4) postgresql 9.3 설치

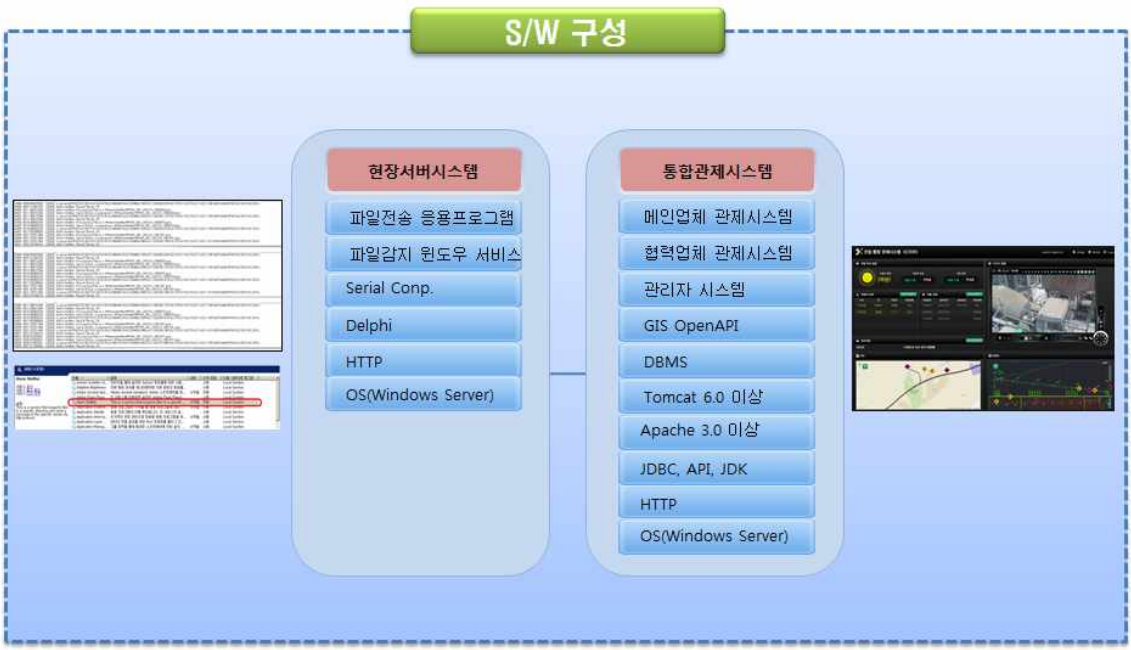
- postgresql 디비를 설치한다.(postgresql-9.3.2-1-windows-x64.exe)

나. 전체시스템 구성도

- 지하 터널 건설현장에서 작업자 및 차량에 대한 GIS기반의 위치추적 서비스
- 지하 터널 건설현장에서 작업자 및 차량에 대한 CAD도면 단면도 기반의 위치추적서비스
- 현장서버시스템의 가상 게이트웨이 및 작업자, 차량의 센서정보 수집
- 상황인지 기술 기반의 건설현장 통합 관제시스템 및 물리적 보안을 위한 CCTV 서비스



다. 소프트웨어 구성도



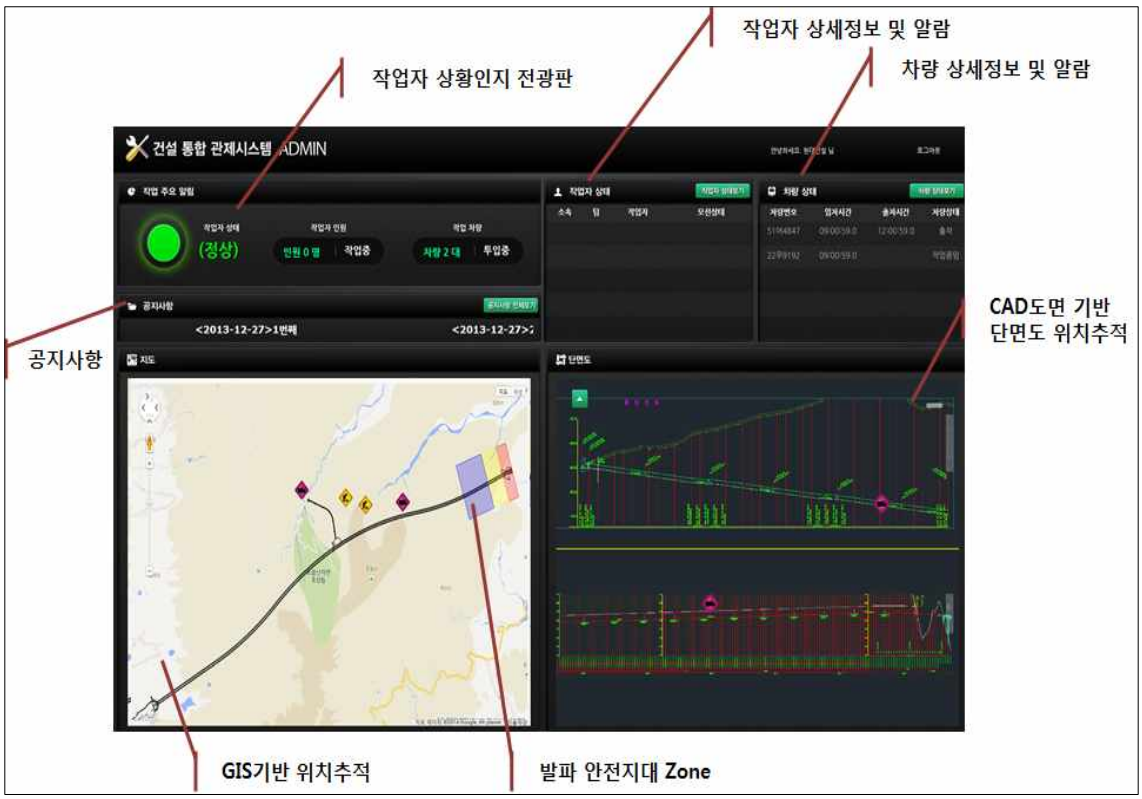
라. 기능 구성도

구분	기능명	기능정의
Ubi-GIS 관제시스템	로그인	로그인 기능 (계정별 권한(건설 메인 시공사와 협력사 구분))
	GIS기반의작업자 위치추적	GIS 엔진 상에 CAD도면 Shape 올리기
		작업자 위치센서 정보를 이용한 GIS CAD상에 위치 표출
		GIS상의 위치한 작업자의 상세정보 제공 (소속, 성명, 상태정보 등)
		고도에 따른 심볼 표시
		작업자 X, Y, H 및 작업자 상태 풍선 설명 기능
		단면도 표출(건기연에서 단면도 제공)
		막장 위치 표기기능 및 거리별 zone 구분 표출 기능
	작업자 정보제공	작업자 투입정보 제공(성명, 모션상태, 위치좌표)
		상태정보 경보음 발생
		긴급상황 119 문자발송 기능
	차량 정보제공	차량 위치센서를 이용한 차량정보 제공 (차량번호, 입차시간, 출차시간, 운전자)
	상황인지	작업자의 모션 상태에 따른 GIS기반의 인지정보 제공
	작업자 상태정보 제공	작업자 상태센서에 의한 정보제공 기능
	차량 상태정보 제공	차량 상태센서에 의한 정보제공 기능
	작업자 상태 알람기능	작업자 상태에 따른 신호등 경보알람 기능

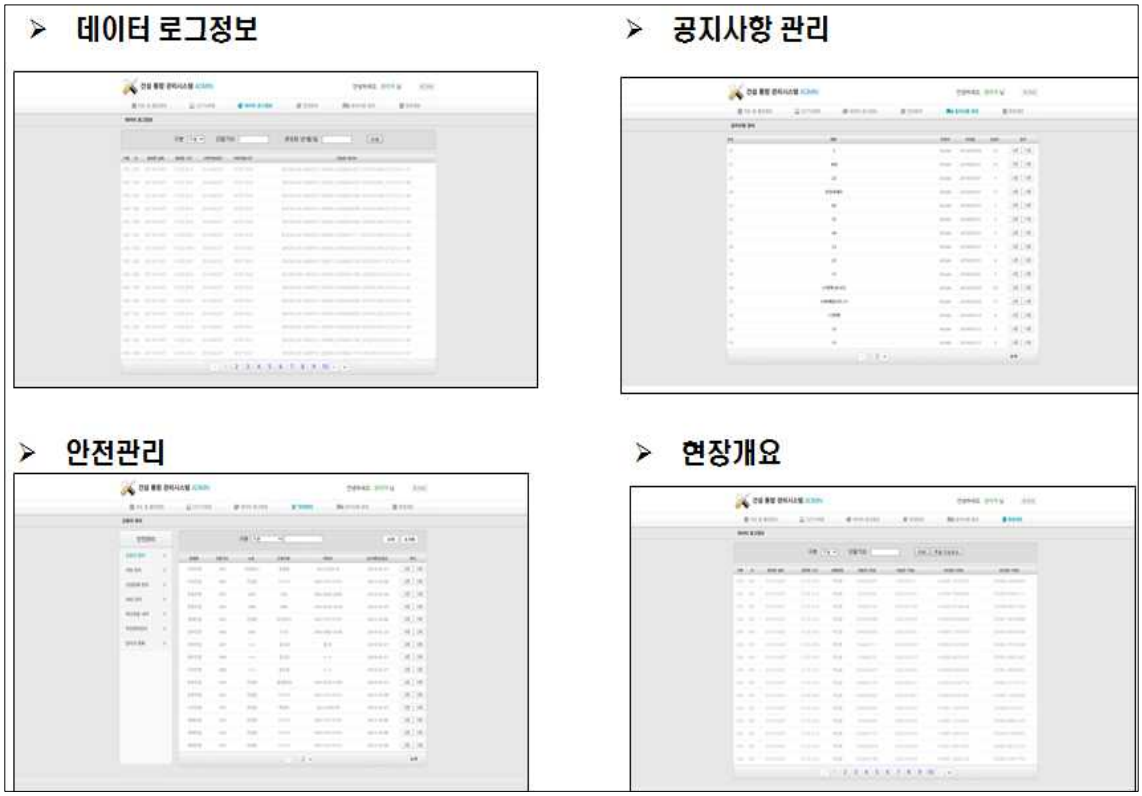
	CCTV 모니터링 기능	건설현장 터널입구 CCTV 차량 진입 모니터링 기능(다채널 영상화면)
	SUB관제시스템	협력사 로그인 및 권한통제
		협력사용 작업자 상태정보 제공 기능
		협력사용 차량 상태정보 제공 기능
		협력사용 작업자 위치추적 제공 기능
		SUB 시스템 관리자 기능 추가
	공지게시판	공지게시판 기능 추가
	긴급공지	긴급공지 메모 기능 추가
	관리자 페이지	로그인 기능
		작업자 정보 수정
		차량 정보 수정
	음성통신	작업자와 관제센터간의 음성통신 기능
	위치 시간 저장	작업자 및 차량용 위치센서 시간 DB 저장
현장서버 시스템	센서정보 전송기능	현장지원시스템 작업자 위치정보 전송 모듈 개발(관제시스템으로 전송)
		현장지원시스템 작업자 차량정보 전송 모듈 개발(관제시스템으로 전송)
	EOF 개발	센서정보는 한 파일당 5개 정보씩 저장됨(테스트용으로만 활용)
	센서 식별정보 추가	센서 식별정보 추가
	년월일 포맷 변경	센서 정보 생성시간 현식 변경(년월일 -> 일월년)

마. 건설통합관제시스템 메인 건설사 관제 시스템(사용자)





바. 건설통합관제시스템 메인 건설사 관제 시스템(관리자)



주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 3차원 위치인식 및 무선통신 통합기술 활용한 친환경 지하구조물 현장지원시스템 개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.