

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 “RTLS 기술을 활용한 노무자원 관리 시스템 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2016. 11 . 25

주관연구기관명 : 인하대학교

주관연구책임자 : 송기일

연구원 : 안준상

“ : 이상현

“ : 조원섭

“ : 이향로

“ : 이재훈

보고서 요약서

과제고유번호	15CTAP-C07 88-4-02	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.8.14. ~2016.8.26	단 계 구 분	1/1
연 구 사 업 명	국토교통기술촉진연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	RTLS 기술을 활용한 노무자원 관리 시스템 개발에 관한 연구			
연 구 책 임 자	송기일	총연구기간 참 여 연구원수	내부 : 1명 외부 : 5명	총연구 비	정부: 100,000천원 기업: 천원 계 : 100,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	인하대학교 산학협력단 사회인프라공학과		참여기업명	없음	
요약				보고서 면수	65
본 연구는 건설현장에서 RTLS 기술을 활용하여 노무자원을 관리할 수 있는 시스템을 개발하는 것을 목적으로 한다. 본 연구는 RSSI와 가속계를 사용한 개선된 위치추적 방법을 제시하였고, RTLS 장치 및 소프트웨어와 RTLS에 적용 가능한 안전관리 모듈을 개발하였다. 현장에서 다양한 실험을 통해 노무 관리 및 안전관리에 충분히 사용가능함을 확인하였다. 본 연구를 통해 개발된 개선된 RTLS는 위치추적 정확도가 기존의 RSSI 이용 방법보다 월등히 높은 수준으로 나타났고, 20개 이상의 다중 태그에 대한 실시간 검색 및 관리가 가능한 것으로 나타났다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	전자태그, 수신신호강도지수, 실시간위치추적, 건설관리, 안전관리, 터널 및 지하공간, 도로 및 교면 포장			
	영 어	RFID, RSSI, RTLS, labor Management, Safety Management Tunnel & Underground, Road & Bridge Pavements			

요 약 문

I. 제목

RTLS 기술을 활용한 노무자원 관리 시스템 개발에 관한 연구

II. 연구개발과제 개요

본 연구는 건설현장에서 RTLS 기술을 활용하여 노무자원을 관리할 수 있는 시스템을 개발하는 것을 목적으로 한다. 본 연구를 통해 개발된 RTLS를 이용한 건설현장에서의 실시간 노무관리는 생산성 향상에 기여하고 안전 관리를 실시간으로 할 수 있다. 본 연구는 위치추적 기술 개발, 모니터링 시스템 개발, 관리 소프트웨어 개발, 현장실험 및 성능분석의 범위를 가진다.

III. 연구개발 내용 및 결과

본 연구는 RSSI와 가속계를 사용한 개선된 위치추적 방법을 제시하였고 RTLS 장치 및 소프트웨어를 개발하였다. 그리고 개발한 RTLS에 적용 가능한 안전관리 모듈을 개발하였다. 그리고 이것을 지하공간 및 교량 유지보수 건설현장에 적용한 결과 현장에 적용 가능한 성능을 나타내었다.

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

연구성과는 SCI(E)학술지 1건, 일반학술지 2건, 특허출원 4건, 소프트웨어 등록 3건, 학술회의발표 1건으로 정량적 및 정성적 목표성과를 초과 달성하였다. 또한, 추가적으로 SCI(E)학술지 1건이 2016년 7월 기준으로 심사중에 있다.

V. 연구목표 달성 및 효과

본 연구를 통해 개발된 개선된 RTLS는 위치추적 정확도를 기존의 RSSI 이용 방법보다 높였다. 이것은 20개 이상의 태그에 대한 검색이 가능한 것으로 나타났다. 현장에서 노무 관리 및 안전관리에 충분히 사용가능함을 확인하였다.

VI. 연구성과 활용계획

본 연구는 품의 개선, 노무 생산성 평가, 노무 안전 시스템 개선에 활용할 예정이다.

SUMMARY

I . Research Title

Development of a Labor Resource Management System Using Real Time Location System

II . Research Overview

This research is an object of the present invention to develop a system that can be utilized by the RTLS technology to labor managing resources in the construction field. Using the RTLS developed in this research , the labor management has improved productivity and safety can be managed in real time. This study has developed a range of tracking technology, development monitoring systems, development management software, field trials and performance analysis of the development,

III . Research Contents & Results

This research is to develop an improved and proposed RTLS location tracking method using the RSSI and accelerometers. we developed a safety management module applies to the development of RTLS. And applying it to the underground and bridge construction site maintenance, it exhibited the performance applicable to the field.

IV . Research Achievements & Application

Research results are 3 academic papers, 4 patent, 3 software and 1 presentation. In addition, 1 academic paper is reviewed by the journal from July 2016.

V . Research Objectives & Effects

Improved RTLS developed in this study raised the positioning accuracy than conventional methods using RSSI. It was possible to search for more than 20 tags. It was enough to confirm the available labor management and safety management in the field

VI . Future Plan

This study is expected to take advantage of improvements in product, labor productivity assessment, improve labor safety systems.

ONTENTS

Chapter 1 Overview of the R & D projects	1
Section 1 Research background, objectives and needs	1
1. Background	3
2. Objectives	7
3. Needs	7
Section 2 Research definition, range of features	9
1. Research definition	9
2. Research range	9
3. Research features	10
Section 3 Domestic and international technology development trends ..	10
1. Domestic and international technology development trends	10
2. Domestic and international patents status	12
3. RTLS market and industry trends	15
 Chapter 2 Research and development performed more results	23
Section 1 Research strategy and methodology to perform	23
1. Research strategy	23
2. Research methodology	24
Section 2 Research process and contents	25
1. Status and survey	25
2. Configuration of system	25
3. Development of advanced RTLS	30
4. Development of labor Management System	36
5. Field test	36

Chapter 3 Final results of research and applied results	49
Section 1 Individual research results	49
1. Academic papers and presentations	49
2. Software	50
3. Intellectual property rights	51
Section 2 Major achievement	52
1. Academic achievement	52
2. Technical achievement	52
3. Field applications	53
Section 3 Market prospects of technology development	55
1. Domestic market prospects of technology development	55
2. International market prospects of technology development	55
 Chapter 4 Research objectives and effects	56
Section 1 Research ultimate goal achievement	56
1. Performance objectives and performance indicators	56
2. Research objectives and achieved results	57
Section 2 Technical analysis of the effect of R & D results	58
 Chapter 5 Utilization of results and the need for further research 1	
Section 1 Research Utilization	59
1. Product improvements	59
2. Labor productivity assessment	59
3. Labor safety system	59
Section 2 The need for further research	60

목 차

제1장 연구개발과제 개요	1
1절 연구개발의 배경, 목적 및 필요성	1
1. 연구개발의 배경	3
2. 연구개발의 목적	7
3. 연구개발의 필요성	7
2절 연구개발의 정의, 범위 및 특징	9
1. 연구개발의 정의	9
2. 연구개발의 범위	9
3. 연구개발의 특징	10
3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황	10
1. 국내외 기술개발 동향	10
2. 국내외 관련기술 특허 동향	12
3. RTLS 시장 및 산업동향	15
 제 2장 연구개발 수행 내용 및 결과	23
1절 연구수행 전략 및 방법론	23
1. 연구수행 전략	23
2. 연구수행 방법론	24
2절 연구수행과정 및 수행 내용	25
1. 현황 및 설문조사	25
2. RTLS 시스템의 구성	28
3. 위치추적 기술 개발	30
4. 노무 관리 시스템 개발	36
5. 현장실험	39

제3장 최종 연구성과 및 적용실적	49
1절 개별 연구성과	49
1. 학술논문 및 발표	49
2. 소프트웨어	50
3. 지적재산권	51
2절 주요연구성과	52
1. 학술적성과	52
2. 기술적 성과	52
3. 현장적용 사례	53
3절 개발기술의 국내외 시장전망	55
1. 국내 시장전망	55
2. 국외 시장전망	55
 제4장 연구목표 달성 및 효과	56
1절 연구개발 최종목표 달성도	56
1. 총괄 성과목표 및 성과지표	56
2. 연구목표 및 달성결과	57
2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석	58
 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구의 필요성	59
1절 연구성과의 향후 활용 방안	59
1. 품셈개선	59
2. 노무 생산성 평가	59
3. 노무 안전 시스템	59
2절 추가연구의 필요성	60

제 1장 연구개발과제 개요

1절. 연구개발의 배경, 목적 및 필요성

1. 연구개발의 배경

건설업은 타 산업에 비해 노동 집약적으로 운용되며 건설 프로젝트 순 공사비의 40% 이상을 노무비가 차지한다(하용호, 2002). 또한 일반 제조업과 달리 건설 프로젝트에는 다양한 사업주체가 참여하고, 작업공정의 복잡성 및 일회성 노무 채용 등이 빈번하여 현실적으로 효율적인 노무자원 관리가 어려운 실정이다. 이와 같이 공사 수행의 대부분 인력에 의존하고 있는 건설 산업에서 체계적인 노무자원 관리는 생산성 및 품질 향상, 공기단축, 원가절감 측면에서 건설 프로젝트의 성공적 완수를 위해 매우 중요한 관리요소가 될 수 있다.

최근 건설 프로젝트에 있어 효율적인 노무자원 관리를 위해 IT 기술을 건설현장에 적용하여 개개인의 노무 데이터를 정보화하고 건설정보체계로 관리하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중요성이 대두되고 있다(최철호, 2004). 일반적인 공동주택 건설 프로젝트(마감공사)의 경우 1,000세대를 기준으로 일일 약 400~500명의 많은 노무자들이 투입되고 있으며, 건설 현장에서는 노무자 정보의 수집 자동화를 위해 RFID와 같은 최신 정보기술 도구의 사용이 증가하고 있는 추세이다.

현재 건설산업에서 주로 사용되고 있는 passive RFID 기술은 특정 구역을 통과하는 노무자의 출역 또는 투입 정보를 파악하기 위하여 출입 게이트나 호이스트와 같이 일부분 한정된 장소에만 적용되고 있으며, 노무자의 이동 동선 정보나 작업 공간별 작업현황 정보 파악과 같은 건설 현장 전반에 걸친 노무자원의 작업 모니터링은 불가능한 한계가 있다.

노무자들이 사전에 계획된 일일 작업 투입 계획에 따라 지정된 위치에서 작업을 수행해야 하나 현장 관리자와의 의사소통 문제 및 작업팀의 착오로 인해 해당 위치가 아닌 다른 곳에서 작업을 수행하는 경우가 빈번히 발생함으로써 현장관리자는 투입 노무자에 대한 작업 지시 및 작업 수행 현황 파악 등 노무 작업현황 분석 및 생산성 관리에 어려움을 지니고 있다. 노무자원 관리 관점에서 현 passive RFID 기술은 출역관리의 도구로만 사용되고 있을 뿐 노무자의 동선 파악을 통한 작업 상황 모니터링이나 개별 단

위작업에 투입된 노무자들의 단위작업별 생산적 시간, 보조적 시간, 비생산적 시간 등에 대한 상세 분석 및 이와 연계된 생산성 정보의 분석을 통한 성과관리 및 생산성 향상 방안의 제시가 불가능하다는 한계성을 지니고 있다.

한편, 건설 프로젝트에서는 무재해 건설 현장을 달성하기 위해 전사적으로 안전관리를 강화하고 있으나 이와 같은 노력에도 불구하고 2012년 건설 산업의 재해 발생건수(23,349건)는 전체 산업의 재해 발생건수(92,256건)의 25.3%에 이르는 것으로 조사되었으며, 2012년 건설 산업의 중대재해로 인한 사망자수(496명)는 전체 산업 가운데 제조업에 이어 두 번째로 높은 것으로 조사되었다(안전보건공단, 2013). 건설 안전사고 유형 분석 결과(그림 1-1) 노무자의 추락에 의한 사망 사고 건수가 전체 사고 유형의 약 32.9%를 차지하고 있는 것으로 조사되어 건설 현장 내 안전사고 저감 대책 수립이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 건설현장에서 발생한 안전사고의 경우 피해자와의 합의하에 신고 접수되지 않는 경우가 빈번함을 감안할 때 실제 건설 현장에서 발생하는 안전사고의 발생률은 더욱 높을 것으로 판단되며, 과거에 비해 건설안전에 관한 의식 및 교육 등이 더욱 강화되어 왔음에도 불구하고 안전사고 발생률이 지속적으로 증가하고 있다는 것은 건설 안전관리 분야에 있어 시사하는 바가 매우 크다.

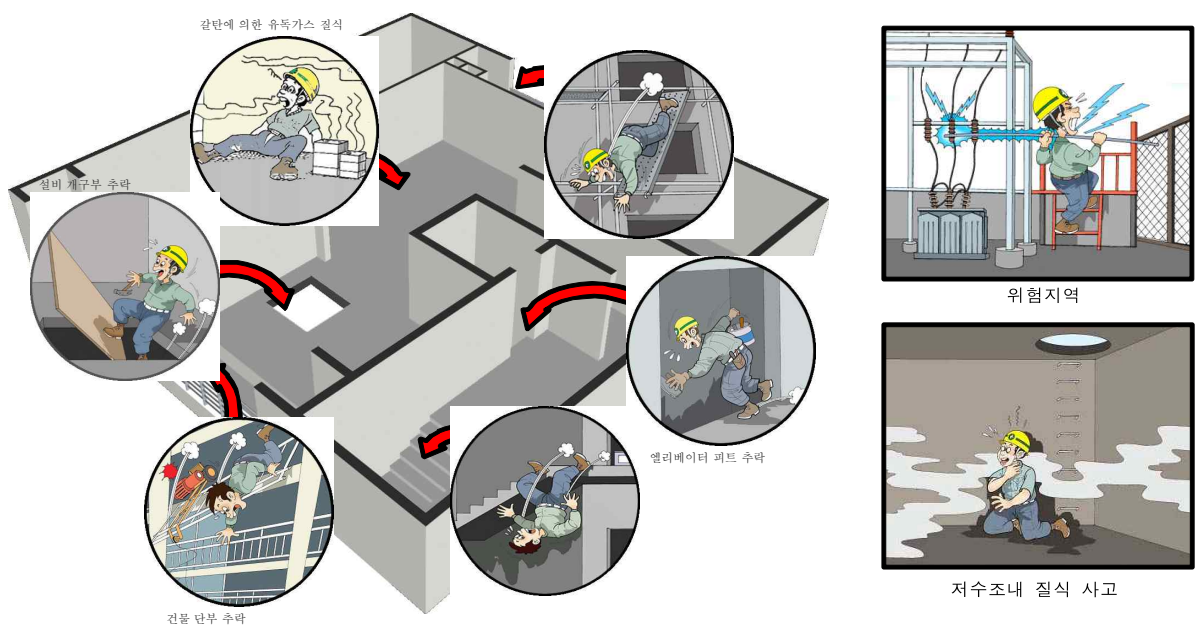


그림 1-1. 건설 프로젝트 안전사고

상기와 같은 건설 프로젝트 노무자원 관리의 문제점을 해결하기 위해 대형 건설업체 및 대학, 연구소를 중심으로 PDA와 Barcode, RFID 등과 같은 정보기술(IT) 도구를 활용하여 노무 출역관리 및 공종별/업체별 노무 투입현황 파악, 업체별 생산성 분석 등을 위한 연구가 수행되어 왔으며, 대형 건설업체에서는 바코드와 RFID를 이용한 노무 출역관리 시스템을 개발하여 실제 현장에 일부 적용하고 있다. 그러나 passive RFID 기술의 경우 RFID tag의 비용은 저렴하나 RFID tag를 판독할 수 있는 RFID 리더(reader)의 가격이 고가이고 노무자의 위치를 실시간으로 인식할 수 없다는 기술적 한계성으로 인해, 현재 노무 출역관리만을 그 적용대상으로 하고 있을 뿐 노무 자원과 관련된 각종 작업 현황 분석 및 생산성 관리, 안전관리 업무에 적용될 수 없다는 단점을 지니고 있다.

최근 국내외적으로 급속도로 발전하고 있는 RTLS(Real Time Location System) 기술은 능동형(active) RFID나 지그비(Zigbee), UWB(Ultra Wide Band), WiFi 등의 무선통신기술을 활용하여 태그(tag)나 ID 카드와 같은 장치가 부착된 이동 객체들의 실시간 위치정보를 수집하여 어플리케이션에 제공하는 실시간 위치추적시스템을 칭한다. RTLS는 병원, 국방, 물류, 항공, 제조 분야에서 활발히 활용 중에 있으며 일반적으로 정확한 위치추적 및 이동경로가 필요한 자산이나 사람의 위치확인, 이동경로 추적 정보, 중요지역의 출입자 관리 등에 활용될 수 있으며, 차량의 위치, 자재의 위치 등을 확인하는 분야에서 사용되고 있다. passive RFID와는 달리 RTLS에서 사용되는 능동형 태그(tag)에는 다양한 센서 기능을 추가할 수 있으며, 온도, 진동, 습도, 빛감지, 탈부착 등의 변화 정보를 실시간 모니터링 및 관리할 수 있다.

RTLS는 그림 1-2와 같이 다양한 위치계산 방식이 있지만 RSSI(Received Signal Strength Intensity) 방식과 TDoA(Time Difference of Arrival) 방식이 가장 널리 사용된다. RSSI는 수신된 무선이동장치 혹은 태그의 신호세기를 측정해 이용하는 것으로 태그와 AP(access point) 사이에서의 신호의 파워 손실 혹은 경로 손실을 신호가 이동한 거리와 연결하여 계산하는 방식이다. 주로 지그비(zigbee) 및 Wi-Fi 시스템이 RSSI 방식을 사용하며 구현방식이 단순하지만 위치 정확도가 비교적 낮은 편이다. 한편, TDoA 방식은 태그와 AP 사이에서 신호가 전달되는데 걸리는 시간차를 측정하여 이를 거리로 변환하여 위치 추정에 이용하는 방식을 말한다. 현재 가장 대표적으로 사용되는 방식이며 UWB, Wi-Fi TDoA, 휴대폰 위치 확인 방식에서 TDoA 방식을 사용한다. 현재 가장 위치 정확도가 높은 방식은 UWB 방식으로써 최대 $\pm 30\text{cm}$ 수준까지 정확한 위치를 얻을 수 있다.

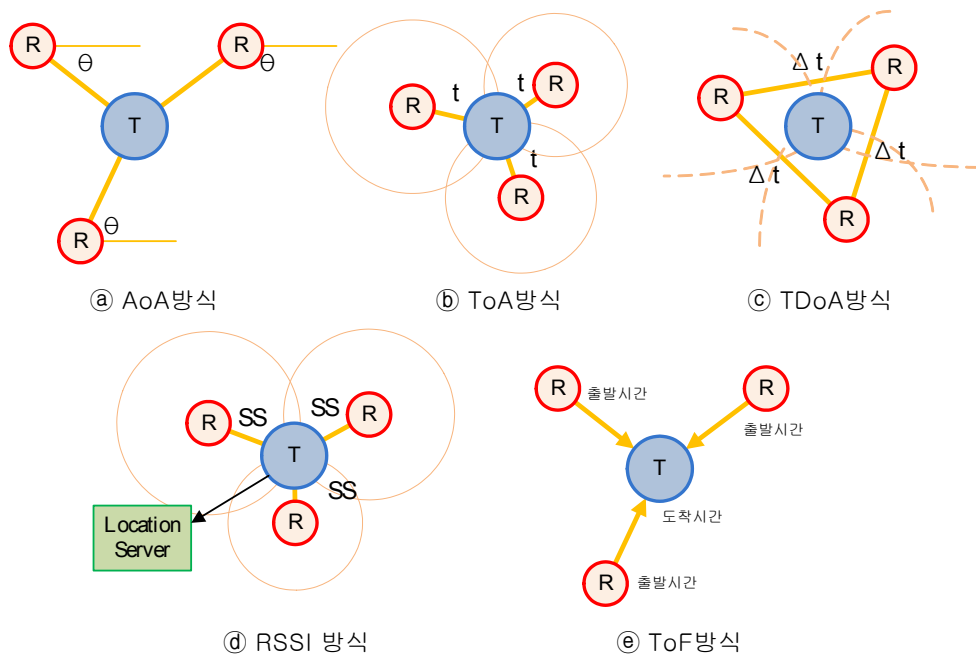


그림 1-2. RTLS 위치계산 방식

RTLS 기술은 active RFID, 지그비, Wi-Fi, UWB 등 다양한 통신기술을 활용하여 구현이 가능하며, RTLS 기술 중 지그비(Zigbee) 기반 위치인식 기술은 건설 프로젝트 현장에서 공간 구역별로 지그비 무선 통신노드(ZI; Zone Identifier)를 설치하고 노무자의 휴대전화에 지그비심(Zigbee SIM, ZSIM) 카드를 부착하거나 지그비 ID 카드를 가슴에 부착하여 노무자의 위치 및 이동을 인식할 수 있는 기술로써 건설현장에 투입된 노무자의 위치를 실시간으로 파악하기 위해 적용 가능한 기술이다(그림 1-3). 지그비 기반 실내 위치인식 기술의 경우, ID카드나 ZI의 가격이 저렴하고 재사용이 용이할 뿐만 아니라 소모 전력이 낮고 크기가 작은 장점이 있으므로 건설 노무자의 위치 인식에 적합한 기술이다.



그림 1-3. Zigbee 기반 RTLS 모듈

향후 이러한 RTLS 기술과 BIM(Building Information Model) 설계 정보에 포함된 건축물의 3차원 공간 정보 및 단위작업 공정정보가 연계될 경우 건설 프로젝트의 작업공간 인식(zone Identification)이 가능해질 뿐만 아니라 실시간으로 수집된 노무자의 위치 및 이동에 관한 정보를 현장관리자가 실시간/입체적으로 파악 및 분석될 수 있다(그림 1-4).

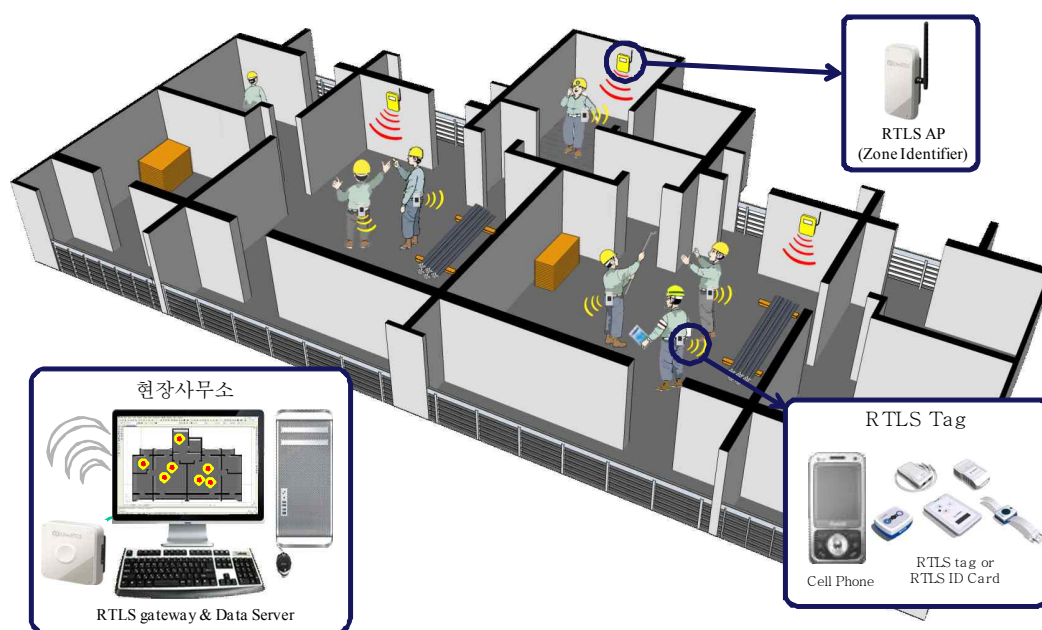


그림 1-4. RTLS 기반 노무자 위치인식 기술의 개념

노무 작업현황 관리 과정에서 현장관리자가 노무자의 위치를 실시간으로 파악하고 모니터링하는 것은 노무 자원의 단위작업 투입 현황의 실시간 분석을 가능하게 할 수 있다. 또한 이는 사전에 계획된 작업이 해당 위치에서 정확히 수행되고 있는지를 판단할 수 있는 근거 자료가 될 수 있고, 작업 진척 상황의 파악이나 금일 계획의 변경으로 인한 새로운 작업지시를 위해 현장관리자가 해당 단위 작업장을 방문할 시 노무자의 부재로 인해 발생하는 현장관리 업무의 효율성 및 생산성 저하의 문제점을 근원적으로 예방할 수 있도록 하는 기반환경을 제공할 수 있다. 이러한 노무자의 실시간 위치파악 기술이 개발될 경우 개별 단위작업에 투입된 노무자들의 실시간 동선 파악을 통해 단위작업별 생산성 정보의 상세 분석이 가능할 것이므로 지능적이고 과학적인 생산성 정보의 분석, 성과관리 및 작업개선을 통한 생산성 향상 방안의 제시 등이 가능할 것으로 사료된다(그림 1-5). 또한 노무자 실시간 위치파악 기술은 노무자가 엘리베이터 피트(E/V pit) 및 자재 인양을 위한 개구부, 노무자 접근 금지구역(고압 변전시설), 유해 작업 지역

(저수조) 등으로 접근 및 작업 시 노무자의 위치를 실시간으로 관리자에게 알리고 노무자가 주의할 수 있도록 함으로써 안전사고의 발생 가능성을 낮출 수 있는 기반환경을 제공할 수 있을 것이다.



그림 1-5. RTLS 기반 노무자원 관리 시스템 데이터 흐름도

RTLS 기반 노무자원 관리 시스템을 개발 및 활용함으로써 현장관리자는 노무자의 실시간 위치 정보를 바탕으로 단위작업 투입현황의 파악 및 변경된 작업계획의 지시 등을 용이하게 수행할 수 있을 뿐만 아니라 노무자의 잘못된 작업 위치 변경을 원거리에서도 조정할 수 있으므로 건설현장 내 노무자원 관리업무의 효율성 및 생산성을 크게 제고하고 투입 노무자원의 동선파악을 통한 생산성 향상방안 등을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 개발 기술은 노무자가 위험지역으로 접근 시 또는 유해지역에서 작업 중인 노무자의 움직임이 없을 경우 현장관리자로 하여금 노무자의 안전 확보를 위한 최적의 조치를 적시에 취하게 함으로써 건설현장 내 안전사고 발생률을 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 연구개발의 목적

본 연구는 국내 건설산업 환경에서 현장 내 노무자의 위치 인식 및 이를 통한 노무 및 안전관리를 하기에 적합한 실시간위치추적 기반 노무자원 관리 시스템을 개발하기 위해 선행 연구된 RTLS 기술을 검토하여 이를 기반으로 응용된 원천기술을 확보하고, 더 나아가 이를 급속하게 변화하고 있는 타산업 환경과 연계시킬 수 있는 방향성을 제시하는 것을 목적으로 한다.

3. 연구개발의 필요성

건설 프로젝트에 있어 노무자원 관리는 생산성 및 품질 향상, 공기단축, 원가절감 측면에서 건설 프로젝트의 성패를 좌우하는 매우 중요한 관리요소로써, 현재까지 국내외 많은 연구진들에 의해 PDA, 바코드, RFID, GPS 등의 정보화 도구를 이용하여 노무자의 노무자의 위치를 실시간으로 인식하기 위한 연구가 수행된 바 있다. 그러나 GPS 장비는 고가의 비용이 소요될 뿐만 아니라 기술적 한계로 인해 실외에서만 사용이 가능하고, PDA와 barcode, passive RFID의 경우 정보 수집의 어려움으로 인해 현장 적용성 및 실용화 가능성이 낮은 한계성을 지니고 있다.

RTLS 기반 위치인식 기술은 GPS를 사용할 수 없는 실내에서 자유롭게 이동하는 구성원의 위치를 파악하기 위해 개발된 기술로써, 이를 건설 프로젝트에 응용하여 건설 노무자의 실시간 위치를 파악하고, 노무 데이터의 가공·분석을 통해 노무 작업현황 분석 및 생산성 관리, 안전관리 등과 같은 노무자원 관리를 통합적으로 수행하기 위한 연구 주제는 국내외적으로 매우 독창적인 연구주제이다.

건설 프로젝트에서 건설 노무자들은 현장관리자의 작업지시에 따라 수동적으로 건설 작업에 참여해 왔으며, 해당 작업일의 작업 위치 및 작업 내용, 수행해야할 작업 계획 물량 등을 인지하지 못한 상태에서 작업에 투입되므로 작업 효율이 저하되고 작업위치 오류가 빈번하게 발생되어 왔다. 또한 건설 현장관리자 입장에서도 해당 노무자의 작업 위치를 정확히 알 수 없으므로 작업 현황 파악 및 지시를 위해 현장에서 단위 작업을 수행중인 작업팀을 찾아다니는 어려움을 지니고 있다.

본 연구에서 제안하는 RTLS 기반 노무자원 관리 시스템이 개발될 경우 현장관리자는 노무자의 위치 정보를 실시간으로 파악할 수 있고, 단위작업을 수행 중인 작업 노무자에게 현장 관리자가 신속하고 정확하게 작업을 지시할 수 있으므로, 노무자의 작업대기

시간 및 작업위치 오류를 최소화할 수 있고 결과적으로 작업 생산성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한 노무자는 건설 현장 출근시 현장 게이트를 통과함과 동시에 자신의 작업 위치 및 작업 내용, 계획된 작업 물량 등과 관련된 정보 및 작업 수행 중 잘못된 작업 위치, 작업 이동 정보 등과 관련된 내용을 휴대전화나 모바일 장치를 통해 SMS(문자메시지) 형태로 전달 받음으로써 작업을 효율적으로 수행할 수 있다. 즉, RTLS 기술의 활용은 현장관리자와 노무자 사이에 작업에 대한 지식 및 이해를 증진시킴으로써 건설 프로젝트를 성공적으로 수행할 수 있는 기반을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

건설 프로젝트에서 단위작업을 기반으로 발생하는 노무자의 작업시간과 이동 정보는 실적 물량 정보와 연계되어 생산성 정보로 가공될 수 있고, 수집된 생산성 정보는 단위 작업별 잔여물량과 연계됨으로써 작업일정에 대한 예측 및 작업조 운영계획 조정 등과 관련된 후속 연구를 파생시킬 수 있다. 또한 건설현장에서 노무자의 작업 및 이동 정보에 따른 생산성 정보가 자동으로 수집되어 실시간으로 공정관리 모듈과 연계될 경우 실시간 공정관리 자동화(On-going As-built Schedule Management)가 가능하다. 실시간 공정관리 자동화란 단위작업별로 투입된 노무자와 팀의 위치를 자동으로 인식함으로써 노무자/팀별 작업행태와 수행 물량에 따른 생산성 정보를 기반으로 하여, 공사개시일로부터 현재 그리고 종료 시점에 이르기까지 공정표상의 Activity별 실제 작업진행 혹은 진척상황을 실시간으로 보여주는 공정관리 기술을 말한다. 즉, 건설 프로젝트에 있어 노무자 위치인식에 따른 층별, 구역별, 작업조별 작업 진행 현황을 실시간으로 모니터링 할 수 있을 경우 그 결과는 생산성, 실적 공정 분석 등 다양한 공사 관리의 원천 정보로써 활용될 수 있을 뿐만 아니라 공기지연 클레임의 적시 해결을 위한 근거자료로 제시될 수 있는 등 무한한 활용성과 응용성을 지닐 수 있다.

본 연구에서 제안하는 RTLS 기술은 향후 발전하여 공간정보를 바탕으로 노무자의 위치를 자동으로 모델링하여 현장관리자의 모니터에 시각적으로 나타냄으로써 현장관리자는 다각적인 노무 작업현황 분석 및 생산성 관리, 안전 관리 업무를 수행할 수 있다. 또한 공간 정보와 공정 계획 정보를 바탕으로 노무자가 예정된 작업 위치에서 이탈하였을 경우 이를 즉시 파악할 수 있는 기술의 개발을 통해 작업 능률 및 생산성을 향상시킬 수 있을 것이다. 또한 3차원 노무 위치정보를 바탕으로 노무자가 위험한 작업 지역 및 유해 지역에서 작업 수행 시 작업 노무자에게 위험을 사전에 알리고, 현장관리자는 위험한 작업과 관련된 작업 정보 및 노무자 위치 행태 분석을 통해 안전사고의 발생 유무 및 적절한 조치를 강구할 수 있을 것이다. 이와 같은 RTLS 기반 위치인식 기술과 공간

정보를 응용한 건설 프로젝트 노무자원 관리를 수행한 연구 방법은 본 연구를 통해 국내외에서 처음으로 시도되는 것으로 최신 기술 및 건설 현장에의 적용 방법에 대한 새로운 시도를 통해 건설 산업의 발전을 도모할 수 있을 것으로 예상된다.

2절. 연구개발의 정의, 범위 및 특징

1. 연구개발의 정의

본 연구는 RTLS 기술을 활용한 노무자원 관리 시스템을 개발하는 것이다.

세부적으로 선행 연구 개발된 RTLS 기술을 비교 검토하여 건설산업 현장에서 노무자원 및 안전관리가 가능한 개선된 위치추적 기술을 개발하는 것이다. 그리고 연구를 통해 개발된 위치추적 기술을 포함한 통합적 관리 시스템의 프로토타입을 개발하는 것이다. 그리고 개발된 시스템에 대하여 다양한 건설환경에서 이를 활용가능한 적절한 용처를 선정하고, 이를 현장에서 적용하여 시스템 퍼포먼스를 파악하고, 노무 데이터의 효과적인 가공 및 분석을 통해 노무자원 관리를 통합적으로 가능한지 여부를 분석 판단하는 것이다.

2. 연구개발의 범위

본 연구개발의 범위는 다음과 같이 크게 4가지의 범위를 가진다.

- 위치추적 기술 개발
 - 건설 작업 환경에서의 RTLS 기반 노무자 위치추적 기술 개발
- 모니터링 시스템의 개발
 - 노무자 위치정보와 공간정보 연동을 통한 시각적 노무자원 모니터링 시스템 개발
- 관리 소프트웨어의 개발
 - 노무자 위치 및 동선 정보에 근거한 노무 자원관리 소프트웨어 개발
- 현장실험 및 성능분석
 - 제안 시스템의 건설 프로젝트 현장 테스트 및 성능분석

3. 연구개발의 특징

본 연구에서 제안하는 RTLS 기술을 활용한 노무 자원관리 시스템은 기술개발성숙도 (TRL : Technology Readiness Levels) 4단계(시스템 유형)의 연구로써, RTLS 위치인식 기반 노무자원 관리 시스템(H/W 및 S/W) 프로토타입 시제품을 제작하고, 실제 건설 시공 현장 또는 현장과 유사한 실험실 환경에 시제품을 소규모로 설치하여 노무 자원관리 성능을 검증하는 것을 목표로 한다. 또한 개발 시스템의 성능평가와 기술적 타당성 분석을 통해 신뢰성을 평가하고 최종 운영 시스템 개발을 위한 현장 실험결과 분석을 수행하는 것을 목표로 한다.

표 1-1. 연구개발 단계

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☒	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

3절. 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 기술개발 동향

1) 국내동향

하용호(2002)는 지문인식기와 바코드 신분증, PDA 등의 IT도구를 활용하여 노무자의 출역 시간과 작업시간을 측정하였고 이를 작업 일보와 연계하여 출역관리 및 노무비 산출을 자동화할 수 있는 시스템을 제시하였다. 지문인식 장치와 바코드가 인쇄된 신분증,

현장 관리자용 PDA 등을 활용하여 노무 출역 정보, 단위작업별 노무자 투입 시간 등을 측정하였다.

오세옥 외 (2004)는 PDA 및 바코드 기술을 활용하여 단위작업에 투입된 노무자들의 작업시간과 작업물량을 측정하여 생산성 정보로 가공하고 이를 공정관리에 활용할 수 있는 시스템 구축을 제안하였다. PDA, 바코드 등의 정보기술 도구를 사용하여 노무자의 작업 데이터 및 생산성 정보를 수집하였으나, 바코드 인식 오류 및 수집 시간의 제약 등 한계성이 있었다.

최윤길 외 (2011)은 QR 코드를 RFID 카드에 접착하여 노무자에게 지급하고 스마트폰을 이용하여 노무자의 출역현황과 투입현황, 안전교육 및 안전 위반사항 등을 관리하는 연구를 수행하였고, 데이터의 수집은 게이트에 설치된 RFID 리더기를 통하여 노무자의 출역현황을 파악함. 노무자의 안전 위반사항 기록 등은 현장 관리자의 발견에 의존하는 방식으로 설계되었다.

한재구 외 (2013)은 현장입구, 안전교육장, 호이스트 및 계단실에 RFID 리더기를 설치하여 현장 노무자의 출역관리 및 안전교육 관리와 작업자의 작업장 출·입 시간 측정을 가능하게 하였으나, 위치추적을 통한 접근은 부재하였고, 데이터의 축적 및 분석에 관한 연구는 부재하였다.

2) 국내동향

Navon et al (2002)은 GPS 기술을 이용하여 골조공사에 투입된 노무자의 작업시간과 작업패턴을 측정하고, 데이터 분석과정을 통하여 실제 노무 투입량과 분석 모델의 노무 투입을 비교 분석하였다.

Abderrahim et al (2005)은 GPS 기술을 이용하여 건설 현장에서 노무자의 위치정보를 파악하고 노무자가 센서가 부착된 장비나 위험지역에 접근했을 때 안전모에 부착된 스피커를 통해 경보를 발생하는 노무자 안전관리 시스템을 제안하였다.

Goodrum et al (2006)은 건설현장에서 사용되는 공구의 위치를 파악하기 위해 active RFID 기술을 적용하여 현장실험을 실시하고, 태그의 인식범위 및 내구성에 있어 저온 및 전자기장의 영향을 분석하였다.

Chae et al. (2010)은 active RFID 기술을 이용하여 유압 굴착기나 크레인과 같은 중장비와 노동자의 충돌을 방지하기 위한 시스템을 개발함. 위치파악용, 노무자용, 장비용의 3종류의 태그를 사용하여 실시간 위치정보를 파악하였다.

Naticchia et al (2013) RFID 기술을 이용하여 대형 건설 현장에서 작업자 및 장비의

위치정보를 파악하고, 이를 안전관리 담당자에게 신속히 제공하여 작업 팀들 간의 무단 간섭을 방지하기 위한 시스템의 타당성을 분석하였다.

2. 국내외 관련기술 특허 동향

본 연구에서는 특허청에서 운영하는 특허정보검색서비스(www.kipris.or.kr)를 바탕으로 국내외 위치 추적 기술 관련 특허 및 실용신안을 조사한 결과, 병원 내 환자 이력 관리 및 위치 파악이나 대형 매장 및 창고 내 재고관리 및 고객 동선 파악, 범죄 예방을 위한 어린이 위치 추적, 가축의 동선 및 위치 추적, 구조 작업을 위한 위치 추적 등 다양한 분야에서 위치추적 관련 기술이 발명되고 있는 것으로 확인되었다.

특히 건설분야에서의 위치 추적 기술 관련 특허 및 실용신안(34건)은 주로 장비 및 자재, 근로자의 위치 추적을 통한 안전 및 위험요소 관리에 집중되어 있었으며, 이 외에 위치 추적을 통한 평면도 제작, 근로자의 이동에 따른 유지관리(절전 등) 시스템 연동 등에 대한 발명이 존재하였다. 그림 1-6은 출원년도별 공개 및 공고건수로써 2009, 2010년에 건설분야의 위치 추적 관련 기술이 활발히 발명되었음을 확인할 수 있다.

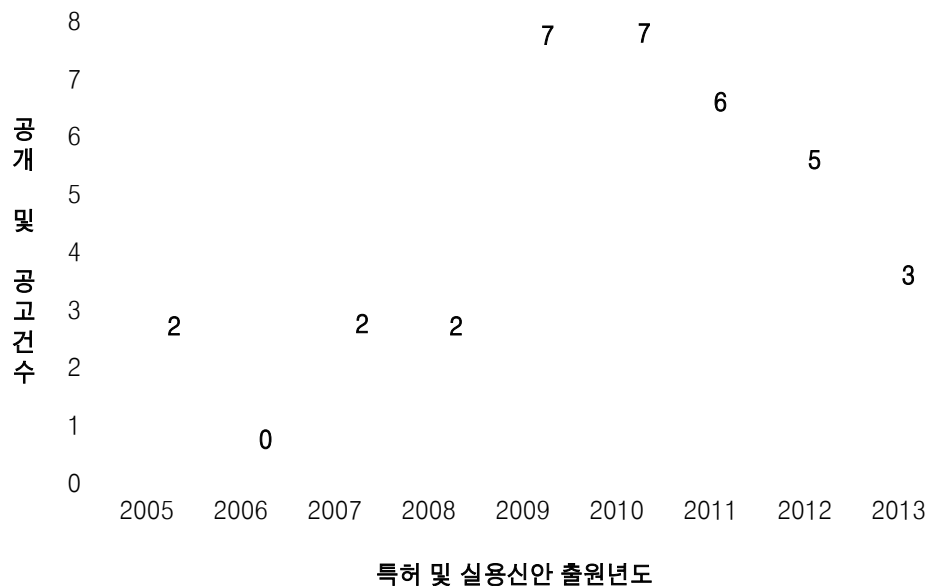
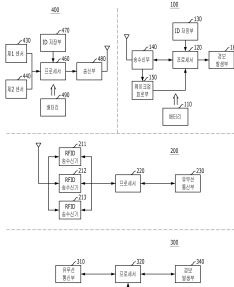
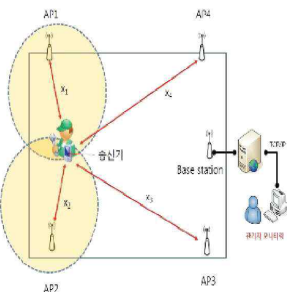
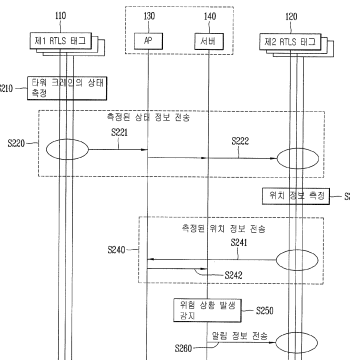
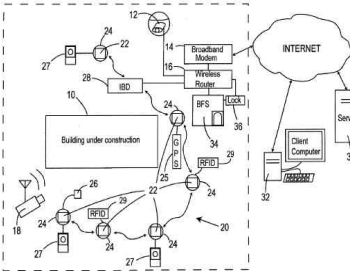


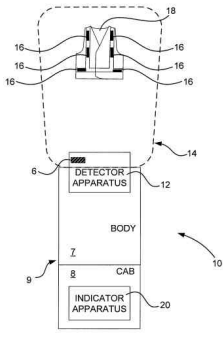
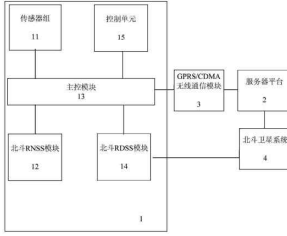
그림 1-6. 특허 및 실용신안 출원년도에 따른 분류

위치 추적 기술과 관련된 국내외 주요 특허 및 실용신안의 내용을 살펴보면 다음 표 1-2과 같다. 국내외 특허 조사 결과 주로 장비 및 자재, 근로자의 위치를 파악하여 안전 장비 위반 혹은 안전상의 위험 발생 시 경보가 울리는 안전관리에 대한 기술이 대부분이었으며, 노무관리에 있어서도 출력 관리에 그치거나 출입 게이트, 크레인 등 일부 한정된 장소에만 적용될 수 있어 현장 적용성이 낮은 것으로 분석되었다.

표 1-2. 위치 추적 기술 관련 국내외 특허 현황

출 원 명	특 징	효 과
 RFID를 이용한 건설현장의 안전관리장치 (2009, (주)영우산업)	안전고리에 센서를 부가하여 추락방지용 안전장비에 걸려있는가를 RFID 태그에서 센싱하고, 이 센서로부터 센싱신호가 발생하면 능동형 RFID를 통하여 원격지의 중앙통제부로 해당 작업자의 ID를 전송함으로써 중앙통제부에서 현장의 작업자에게 적절한 지시를 행하도록 하는 능동형 RFID를 이용한 건설현장의 안전관리장치	작업자의 위치를 실시간으로 파악함으로써 안전사고 발생 시 작업자의 위치를 신속히 파악 작업자의 통제구역 출입을 방지
 마이크로웨이브와 알에프아이디를 이용한 건설현장 장비 위치추적 시스템 (2010, (주)비엔지컨설팅)	위치를 파악하고자 하는 사이트에 설치되어지는 Microwave와 RFID 기술을 이용한 RF Reader와 장비에 장착되는 Active RFID Tag 간의 통신을 통해 위치를 인식하는 시스템	Active RFID Tag 의 경우는 기존의 Tx 신호를 지속적으로 발생하는 방식보다 전력소모가 현저히 낮아짐. RF Reader의 소형화로 인해 설치하고자 하는 장소에 제약 없이 설치가 가능하고 파손에 의한 2차 사고 또한 발생하지 않음.

출 원 명	특 징	효 과
 MEMS 센서를 활용한 건설 현장 작업자 위치 및 안전 정보 추적 시스템 (2011, 인천대학교 산학)	일반 건설 현장에서 작업 장을 크기에 따라 다수 개 셀로 구분하고 각 셀에는 4개의 AP(무선 인터넷 공유기)를 설치하여 작업자에게 송신기를 부착 관리 서버가 상기 송신기로부터 발생하는 신호를 수신하여 작업자의 위치 추적 정보 및 안전 고리 정보를 지속적으로 모니터링하여 작업자의 위험 정보가 인식되면 경보를 울리는 건설 현장 작업자 위치 및 안전 정보 추적 시스템	작업자 안전 관리를 통해 작업장의 효율을 극대화시킬 수 있을 뿐 아니라 안정성을 향상하여 작업장에서 일어날 수 있는 사고를 방지
 RTLS를 이용하는 건설 현장의 안전 관리 시스템 (2012, 엘에스산전(주))	타워 크레인의 기울기(진동)를 주기적으로 측정하여 기기적 결함, 내외 부의 환경적 변화를 감지하여 작업중 또는 대기 중의 상태를 모니터링 위치 추적을 할 수 있는 RTLS 태그(Tag)를 작업자에게 부착함으로써 실시간으로 현장 관련자들의 위치를 파악 할 수 있으며, 크레인의 위험 상황 발생과 같은 경보 상황을 실시간으로 RTLS Tag를 통하여 알람 형식으로 작업자에게 알림.	실시간으로 현장 관련자들의 위치를 파악할 수 있으며 위험 시 자동으로 RTLS Tag를 통하여 위험 발생 사항을 알 수 있음. 타워 크레인 붕괴 징후 감지 시, 작업 반경 내 작업자에게도 RTLS Tag를 통하여 위험 사항을 알릴 수 있음.
 Work site remote monitoring and employee time tracking system and method(2008, US, Property Monitors, Inc.)	현장과 데이터를 주고받기 위한 라우터와 통신하는 브로드밴드 모뎀, 현장으로부터 클라이언트 컴퓨터로 이미지를 전송하기 위한 라우터와 통신하는 현장 IP 카메라를 포함하는 현장 모니터링 및 작업 시간 추적 시스템을 제공 본 시스템은 현장 작업자의 출입관리를 위한 지문인식기를 포함하며 이는 신분확인과 입출입 데이터를 서버 컴퓨터로 전송하기 위해 라우터와 통신함.	유연하고 가격 효과적인 시스템을 개발함으로써 작업 현장에서 효율적인 작업 시간 추적 시스템으로 사용될 수 있으며, 주거시설 공사현장 등에서도 원격으로 시각적인 현장 모니터링이 가능함.

출 원 명	특 징	효 과
 Radio-frequency identification (RFID) safety system(2011, US, Marlex Engineering Inc.)	모니터링 구역 내에 RFID 태그가 부착된 개인 보호 장비를 착용한 사람의 존재를 건설 장비의 운전자에게 경고의 형태로 알릴 수 있는 시스템을 제공 RFID 태그가 부착된 안전모와 안전조끼는 3D 영상 표시가 가능함	건설장비의 작업 반경 내에 근로자가 있을 경우 운전자에게 위험 사항을 알릴 수 있으며 안전사고를 최소화할 수 있음.
 Tower crane safety monitoring equipment based on Beidou system(2013, CN, 重庆北斗安防科技有限公司)	Beidou 시스템(위성 항법 장치)을 기반으로 타워크레인의 안전 감시 시스템 제공 크레인의 동적 정보를 Beidou RDSS 모듈을 통해 플랫폼에 성신하고 사용자가 조회 할 수 있도록 함.	타워 크레인 장비 관련 안전 사고를 효과적으로 저감 가능 기업 내 안전 관리 능력 향상 가능

3. RTLS 시장 및 산업동향

1) 국외 시장분석 및 산업동향

RTLS 위치추적 기술은 학문적으로 위치기반서비스(LBS; Location-Based Service) 분류에 속하며 LBS 기술은 현재 전 세계 유·무선 통신 시장에서 가장 활발하게 논의되고 있는 차세대 기술 분야 중 하나이다. 위치기반서비스는 2000년대 초반부터 큰 관심을 받아왔으며 최근 스마트폰의 보급이 보편화되면서 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. LBS의 세계시장 규모는 2007년 약 5억 달러에서 2013년 약 130억 달러에 이를 것으로 예상되며, 2006~ 2007년 시장규모는 5억 달러 수준에서 큰 변화를 보이지 않았으나 2008년 15억 달러를 넘어 큰 성장세를 보이며, 특히 2010년 이후 성장폭은 더욱 증가할 것으로 예상된다(그림 1-7).

단위: 백만달러

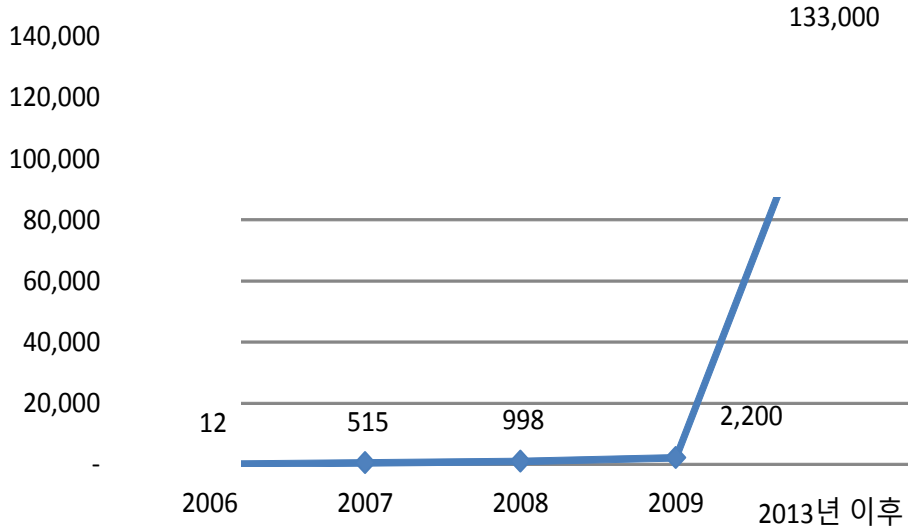


그림 1-7. 세계 LBS 시장의 규모

2008년까지 세계 LBS 시장은 기업서비스와 내비게이션 분야가 대부분의 시장을 점유하고 있었다. 이는 미국과 유럽 등지에서 LBS 시장이 기업용 서비스에 초점을 맞추어 초기 시장을 형성해 온 것에 기인한 것으로써 유럽의 주요 시장조사 기관인 Berg Insight가 2008년 주요 이동통신 업체들을 대상으로 실시한 조사에 따르면, 세계 LBS 시장에서 가장 성공적으로 서비스되고 있는 분야는 자원관리와 같은 기업용 서비스인 것으로 조사된 바 있다. 그러나 기업서비스의 비중은 2008년 이후 점차 감소할 것으로 예상되며 B2C 분야의 서비스들이 다양화되고 늘어날 것으로 예상된다. 특히 2010년 이후 주변 정보 서비스와 친구찾기, 가족 안심 서비스의 시장 점유율이 확대되었으며 따라서 향후 세계 LBS 시장은 B2B의 기업서비스와 내비게이션을 중심으로 성장하되 정보와 트래킹을 주요부분으로 하는 B2C 분야가 크게 확대될 것으로 예상된다(이근규, 2009).

Gartner에 따르면 세계 LBS 시장규모는 2014년 82억 6300만 달러에 이를 것으로 전망하고 있으며, 유형별 서비스 시장규모는 2014년 개인용 내비게이션이 33억 9800만 달러, 위치추적이 22억 3400만 달러, 친구찾기/소셜 네트워킹이 11억 3200만 달러, 기타 9억 9400만달러, 가족위치/안전 서비스가 5억 600만 달러에 이를 것으로 예상된다(표 1-3). 또한 2014년 애플리케이션 유형별 가입자 수는 개인용 내비게이션이 7억 3301만 명, 위치추적이 5억 4807만 명, 친구찾기/소셜 네트워킹이 2억 6694만 명, 기타 1억 7673만 명, 가족위치/안전 서비스가 9086만명 등 총 17억 3384만명에 이를 것으로 예상된다(표 1-4).

표 1-3. 세계 LBS 시장 전망

(단위: 백만 달러)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
개인용 내비게이션	1443.9	1749.9	1743.5	1744.9	1805.3	2428.0	3397.8
위치추적	354.0	397.0	477.2	683.5	1119.3	1424.0	2233.4
친구찾기/소셜 네트워킹	8.7	29.2	93.6	112.1	304.0	632.5	1131.9
가족위치/안전 서비스	67.5	72.8	119.4	161.5	221.7	318.1	506.0
기타 LBS	63.9	85.7	112.5	214.6	369.1	665.1	994.4
합계	1938.0	2334.6	2546.2	2916.5	3819.5	5467.7	8263.5

표 1-4. 애플리케이션 유형별 세계 LBS 가입자 수 전망

(단위: 천 명)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
개인용 내비게이션	19,027	39,569	113,783	250,765	387,704	553,624	733,013
위치추적	15,580	28,000	48,559	92,869	187,189	352,304	548,071
친구찾기/소셜 네트워킹	2,073	8,596	23,217	45,701	88,371	157,837	266,941
가족위치/안전 서비스	1,577	2,630	3,494	4,927	6,209	7,575	9,086
기타 LBS	5,334	10,854	19,350	37,188	73,325	129,308	176,734
합계	43,591	89,649	208,403	431,450	742,798	1,200,648	1,733,845

또한 세계 각국에서는 RFID/USN 확산을 위한 정부 주도의 사업들이 다양하고 지속적으로 추진되어 왔으며, 지금까지는 제약, 의류, 주류 등 양적인 공급 확대를 통한 확산이라는 정책측면을 고려하였으나 미래에는 수요자 측면의 효율성과 편리성에 중점을 두는 방향으로 전환이 요구되고 있다. RFID의 세계시장 규모는 2011년 약 58.4억 달러에서 2017년 약 170억 달러에 달할 것으로 예상되며, USN 세계시장 규모는 2011년 7억 달러에서 2017년 약 24억 달러에 달할 것으로 예상된다. 따라서 RFID/USN 세계시장 규모는 2011년 65.4억 달러에서 2017년 약 194억 달러에 달할 것으로 예상된다(그림 1-8).

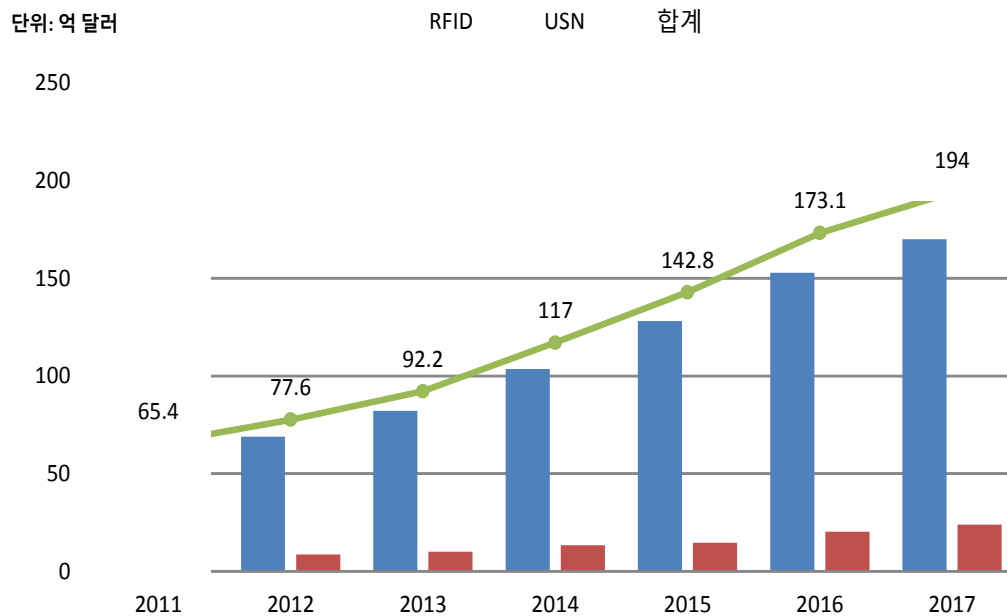


그림 1-8. 세계 RFID/USN 시장규모 및 전망

현재 지역별 RFID 시장은 동아시아시장과 북미시장이 대다수를 차지하고 있으며, 2019년 동아시아 시장이 약 40% 이상을 점유할 것으로 예상된다. 또한 적용분야별 RFID 시장은 2010년 재무/보안/안전 분야가 41%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 2020년에는 소매/소비재 분야가 31.3%로 가장 많은 부분을 차지할 것으로 예상된다.

현재 지역별 USN 시장은 북미시장과 유럽시장이 대다수를 차지하고 있으며, 아시아 시장은 북미와 유럽에 이어 2014년 약 27%의 시장점유가 예상된다. 적용분야별 USN 시장은 AMI(Auto Metering Infrastructure)와 홈 엔터테인먼트 분야가 시장의 과반수 이상을 차지하고 있으며, 의료분야도 점차 성장할 것으로 예상된다.

미국은 네트워킹 및 정보기술연구개발 프로그램인 NITRD(Networking and Information Technology R&D)에 기초한 산·학·관·연 간의 광범위한 R&D를 추진하고 있으며, 국방부, FDA, 국토보안부 등에 RFID 도입 의무화를 지속적으로 확대하고, 미 인민국의 영주권카드에 RFID를 적용하였다. 또한 EU는 각국 정부주도하에 RFID 도입을 추진하고 있으며, 지능형 사회를 앞당기기 위해 2007~2009년 유통·물류·제조분야 등에 1,000만 달러 규모의 다양한 시범사업을 추진하여 RFID 확산을 적극 유도해왔다. 또한 USN 분야에서는 IST(Information Society Technology) 연구 프로젝트의 일환으로 2007~2013년에 걸쳐 약 20억 유로의 예산을 투입한 바 있다.

일본은 e-Japan II 전략을 중심으로 각 관련 부처별 지원정책을 실행하고 있으며, 크게 이용촉진, 네트워크, 제조기술 측면으로 분류하여 추진하고 있다. 도요타, 닛산, 미쓰비시 등 완성차 3사 등은 자동차 수출물류 시스템에 RFID를 적용한 바 있다. 중국은 2009년 11월 RFID 산업을 ‘5대 IT신흥전략산업’으로 선정하고 정부차원의 시범사업, 지원정책제정, 표준화를 추진하고 있으며, 무역, 철도, 우편 등 각 분야에 대한 RFID 보급 사업을 진행하고 있다.

2) 국내 시장분석 및 산업동향

2008년 3G 휴대폰이 보급되기 전 국내 LSB 시장은 약 4560억 원 규모였으나 2009년에는 6,300억 원, 2010년에는 8,500억 원, 2011년에는 1조 2,000억 원, 2012년에는 1조 6,000억 원을 넘어 지속적인 성장률을 보일 것으로 예상되며, 특히 스마트폰 및 인터넷이 보급되어 이용자 수가 보장되고 작은 국토 환경에서 LBS 제공을 위한 데이터베이스 구축이 용이한 우리나라에서는 앞으로도 LBS의 시장 매출과 투자 규모가 꾸준히 높아질 것으로 예상된다(그림 1-9).

단위: 억원

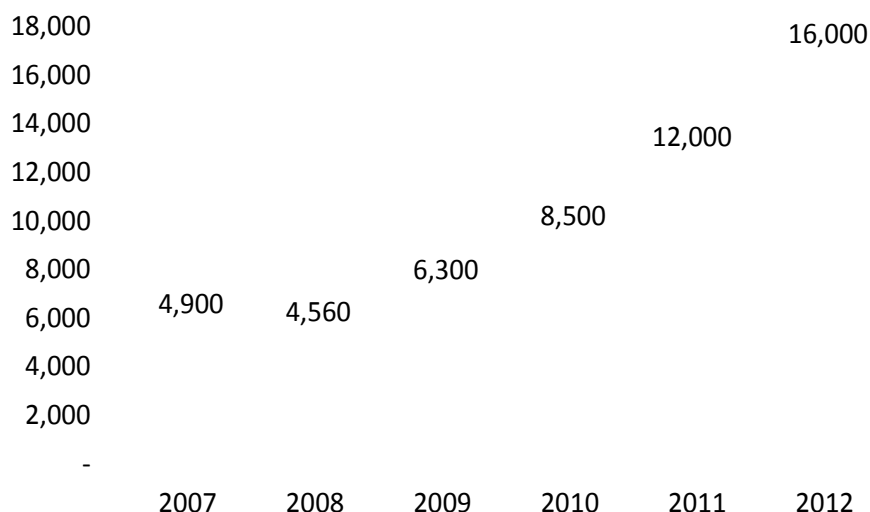


그림 1-9. 국내 LBS 시장의 규모

국내 LBS 시장의 분야별 규모는 2008년 단말기 분야가 전체 시장의 47%를 차지하고 있으며 서비스 분야가 40%, 시스템 분야가 13%의 시장규모를 형성하고 있는 것으로 분석되었으나, 2011년 서비스 시장의 확대와 단말시장의 감소, 시스템 시장의 확대에 의해

시스템 분야는 전체 시장의 40%, 서비스 분야는 전체 시장의 36%, 단말분야는 전체 시장의 24%를 차지하고 향후에는 서비스에 대한 투자가 가장 빠르게 증가하여 서비스 분야의 LBS 시장규모가 크게 확대될 것으로 예상된다(표 1-5).

표 1-5. 국내 LBS 산업의 분야별 시장규모

(단위: 백만원)

구분	2008	2009	2010	2011
시스템 분야	58,684	108,166	209,334	510,634
단말기 분야	210,456	247,546	281,459	306,798
서비스 분야	187,490	273,527	364,510	469,647
기 타	92	2,330	3,350	3,900
합 계	456,722	631,569	858,653	1,290,979

국내 RFID 시장 규모는 2011년 약 2,330억 원에서 2017년에는 약 3조 2천억 원에 달할 것으로 예상되며, USN 국내시장 규모는 2011년 약 1,210억 원에서 2017년에는 약 2,573억 원에 달할 것으로 예상된다. 따라서 국내 RFID/USN 전체 시장은 2011년 약 8,430억 원에서 2017년에는 약 3조 5천억 원에 달할 것으로 예상된다(그림 1-10).

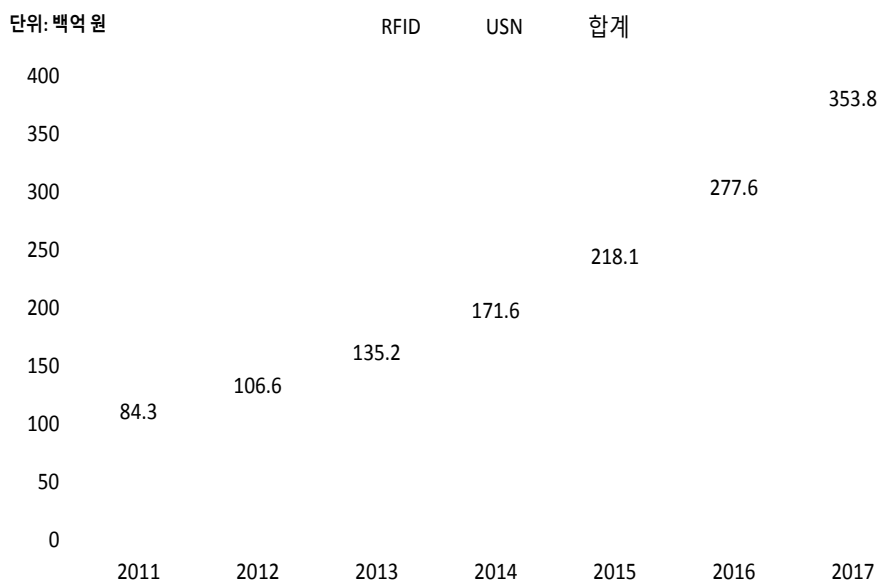


그림 1-10. 국내 RFID/USN 시장규모 및 전망

산업통상자원부는 2008년 국가 사회 전반에 RFID/USN 활용을 조기에 확산하고 신성장동력 산업으로 육성하여 시장 불확실성 및 투자 기피 등을 해소하고 민간투자를 유도하기 위한 정책을 수립한 바 있다. 2009년에는 19가지의 u-IT 신기술 검증확산사업 및 7가지의 IT 혁신 네트워크 구축사업 등이 정부 지원 하에 추진되었으며, 2011년에는 기업 경쟁력 향상을 위해 민간기업의 주도 하에 IT융합의 확대 및 효율성을 높이기 위한 대형 프로젝트들을 추진하였다. 특히 제약, 의류(패션), 철강, 전자, 유통, 물류, 에너지, 환경 분야의 RFID/USN 확산 사업을 지속적으로 추진하고 있다(표 1-6).

표 1-6. RFID/USN 시범사업 추진 성과

구 분	내 용
태양광 분야 통합물류관리시스템	태양전지 생산을 위한 조달물류, 공정물류 및 판매물류의 전 과정에 RFID를 도입하여 효율적 협업 및 물류관리 체계 구축
의료용품(임플란트) 유통관리 시스템	RFID를 치과용 임플란트에 적용해 생산-물류-유통-판매-반품-회수에 이르는 전 과정을 효율적으로 관리하기 위해 공급망 관리 시스템(SCM)을 구축
버스 안전관리시스템 및 NFC 고객관리 시스템	RFID 시스템과 모바일 RFID 서비스를 도입하여 정비 및 사고이력, 운행기록 등을 자동으로 파악하고 정비지침 매뉴얼을 이용한 정비로 정비의 질을 높이며, 차량 부품의 정비시기와 교체주기를 추정할 수 있도록 관리 시스템을 구축
스마트 RFID 존 서비스(영화관)	일반인들이 소지한 RFID 기반 스마트폰을 활용하여 문화공간에서 모바일 결제·마케팅 서비스를 제공
스마트 RFID 존 서비스(병원)	병원은 투약, 배식, 약품관리에 RFID를 도입함으로써 의료사고를 예방하고, 의사와 입원환자의 위치를 실시간으로 확인함으로써 의료 서비스의 질을 높이고 업무 프로세스를 간소화
RFID 기반 박람회 티켓 서비스	박람회 전시, 운영, 관리를 획기적으로 개선하기 위해 IT 인프라와 USN 기술을 활용한 손목밴드형 티켓 위치확인 서비스 개발
RFID 기반 음식물 쓰레기 관리 서비스	RFID 기반의 음식물쓰레기 관리 서비스는 음식점, 주택에서 음식물을 버릴시 RFID 태그가 부착되어 있는 용기에 담아 수거함에 버릴 때 용량을 측정하여 버리는 양만큼 요금을 부과
u-도서관 서비스	RFID 태그를 도서에 부착하여 관리함으로써 실시간 도서관리 및 사용자 반납의 용이성을 향상

또한 RFID/USN 융합기술 분야를 중심으로 기존 산업의 경쟁력 강화를 위해 RFID 활성화를 위한 기반을 마련하였으며, 각 산업현장에서의 업무능률 향상을 위한 RFID 기술 개발을 추진하였다. 2012년까지 전량 수입에 의존하던 900MHz RFID Reader Chip을 양산화하였으며, 13.56MHz 대역에서 활용이 가능한 인쇄방식의 설계, 공정/장비 및 잉크기술을 개발하고, 산업현장 안전관리, 탄소측정 등을 위한 USN 기반의 융합서비스 등 다양한 기술이 개발되었다.

부처별 RFID/USN 사업 주요추진현황을 보면, 보건복지부는 의약품 유통 및 진품확인 등을 위한 RFID 도입사업 등을 추진하였으며, 국방부는 군수물자관리 RFID 시스템 도입사업 및 USN 기술을 활용한 무인감시정찰체계 사업 등을, 법무부는 문서관리를 위한 RFID 도입사업 등을, 농림축산식품부는 수입산 쇠고기 유통경로 추적을 위한 RFID 도입사업 등을, 외교부는 RFID 기반의 전자여권 발급사업 등을, 문화체육관광부는 출판유통 분야의 RFID 도입 지원 사업 등을, 환경부는 병원 감염성 폐기물에 RFID 부착사업 및 음식물쓰레기 관리 시스템 구축사업 등을, 고용노동부는 RFID/USN 관련 전문인력 양성사업 등을, 국토교통부는 RFID/USN 등 u-IT 기술을 적용한 Green City 구축사업 등을 진행한 바 있다.

제 2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1 절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구수행 전략

1장에서 살펴본 것과 같이 RFID를 이용하여 이동하는 객체의 정보를 획득하는 기술의 발전은 정적으로 통과여부를 확인하는 기술분야에서 움직이는 객체를 추적하고 이의 특성을 분석하는 분야로 발전되고 있으며, 그 시장 또한 기하급수적으로 발전하고 있는 상황이다. 또한 이 기술의 건설분야에 대한 개념적 접근은 선행 연구 및 기술 조사를 통해 알 수 있듯이 다양한 관점에서 시도되고 있으나, 아직 상용화 단계 수준까지 도달하지 못하였다.

본 연구는 건설현장에서 실제로 RTLS 기술을 활용하여 노무자의 위치정보를 획득하고 이를 활용하여 관리 가능한 수준의 프로토타입의 시스템을 개발하는 것을 목적으로 하며, 이를 체계적으로 수행하기 위해 위치인식 기술 개발, 모니터링 시스템 개발, 관리 소프트웨어의 개발 그리고 현장실험 및 성능분석에 대한 핵심적 연구를 수행한다. 그리고 이를 성공적으로 수행하기 위해 총 4단계의 단계별 연구개발 과정을 거쳐 수행하는 전략을 수립하였다.

그 첫 번째 단계로 아이디어 도출단계 이다. 이 단계에서는 기존의 기술의 발전 수준을 평가하고 그 장단점을 파악한다. 또한 연구개발에 앞서 명확한 적용분야를 선정하여 이 분야에 최적의 아이디어를 도출하는 단계이다. 두 번째 단계는 기술개발 단계이다. 이 단계는 아이디어 도출 단계에서 발굴한 연구방향 및 아이템에 대하여 개발하는 단계로 본 연구에서는 위치추적 기술, 모니터링 시스템, 관리 소프트웨어를 개발하는 단계이다. 세 번째 단계는 개발 기술의 권리확보로 기술개발 단계에서 개발한 기술에 대한 기술을 선점하는 단계이다. 마지막 단계에서는 개발한 기술의 현장적용을 통해 개발 기술의 성능을 평가하여 보다 실무에 적합하도록 수정 보완하고 향후 개선방향 및 활용방향을 도출하는 단계이다.

2. 연구수행 방법론

연구수행 전략 및 범위에 따른 방법은 다음 표 2-1과 같다.

표 2-1. 연구단계 별 연구 방법

기간	단계별 주요 연구활동	방법
1 단계 (' 14.6.~' 14.8)	아이디어 도출	연구전반에 관한 브레인스토밍
2단계 (' 14.6~' 15.12)	건설 작업 환경에서의 RTLS 기반 노무자 위치인식 기술 개발	RTLS 기술 최신 연구개발 동향분석을 통한 개선안 도출 적정 연구적용 대상 건설분야의 선정 공간 및 노무 형태별 기술 적용 방법론 개발 건설 환경에서 활용가능한 RTLS 개발
	노무자 위치정보와 공간정보 연동을 통한 시각적 노무자원 모니터링 시스템 개발	데이터 프로토콜과 데이터 패킷 정의 공간정보 모델링 및 데이터 구조 분석 공간정보와 위치인식 모듈의 위치정보 맵핑 방법론 개발 고정 노드와 노무 위치정보 연결을 위한 데이터 모델링 노무 위치정보 데이터베이스 ERD 설계 및 데이터 필터링 모델링 노무자 위치 표현기술 개발 및 공간정보 기반 시각적 노무 모니터링 시스템 제작
	노무자 위치 및 동선 정보에 근거한 노무 자원관리 소프트웨어 개발	중요 산업재해 현황 분석 및 주요 재해요인 문헌 분석 건설 안전관리 업무 분석 및 안전 관리 전문가 인터뷰를 통한 적용 방법론 도출 위치인식 기술을 활용한 노무자 안전관리 및 위험 대처 방법론 개발 위치인식 기술 기반 노무 안전관리 모듈 설계 노무자 금일 작업위치 조회 및 작업 이동경로 조회 기능 개발 작업 동선 정보의 DB 기록 기술 개발 작업자 이동 패턴 분석에 따른 노무자 작업 효율성 분석 기술 개발 작업팀별 작업패턴 분석 및 평균 작업 생산성 분석 기술 개발
3단계 (' 15.12~' 16.4)	특허 및 소프트웨어 등록	특허 출원 및 소프트웨어 등록
4단계 (' 16.01~' 16.7)	제안 시스템의 건설 프로젝트 현장 테스트 및 성능분석	건설 프로젝트 대상 공사 선정 및 시스템 적용을 위한 테스트베드 구축, 개발 시스템의 성능 분석 모델 개발 현장 테스트 수행 및 시스템 성능분석, 개선사항 도출 최종 시스템 디버깅

2 절 연구수행과정 및 수행 내용

1. 현황 및 설문조사

1) 건설산업 분야의 RTLS 현황

건설산업은 점차 대형화 및 복합화 되고 있으며, 이에 따라 건설관리 및 안전분야에 효율적인 체계가 필요 시 되고 있다. 다양한 IT 및 센서기술 중 RTLS(Real Time Location System)기술은 관리하고자 하는 물체(혹은 사람) RFID(Radio Frequency Identification) 태그를 부착하여 이에 대한 위치정보를 관리하고 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템이다.

박나연 외 (2009)는 건설현장용 RTLS 구축을 위해 다양한 환경의 현장에서 이에 대한 기초적 평가를 수행하였다. 김대원 외 (2011)는 터널현장에 Wifi 무선통신 기반의 RTLS를 구축하여 노무자의 안전관리시스템을 개발하기 위해 단일 태그에 대한 위치를 추적하여 활용가능성을 평가하였다. 이동진 외 (2013)는 건축 현장에 CSS(Chirp Spread Spectrum)기반 RTLS를 실내 및 실외에서 적용하여 그 활용 가능성을 평가하였다. 하지만 위의 대부분의 연구는 건설현장에서 단일 센서 기반의 RTLS에 대하여 현장 적용성을 평가하는 수준이었으며, 멀티 태그 즉 여러 명의 노무자에 대한 실시간 위치탐색 및 행동패턴에 관한 연구까지는 진행되지 못하였다.

이와 같이 건설현장의 경우 복잡하고 다양한 공간 및 구조물이 산재하여 열린 공간에서만 활용 가능한 GPS 무선통신이 불가능하여 RTLS를 활용하려는 시도가 다양하게 시도되고 있다.

2) 건설산업 분야 종사자 설문조사

본 연구진은 본격적인 RTLS 연구개발에 앞서 건축 및 토목분야를 합쳐 모든 건설분야에 종사하는 현장 실무자들에게 무선통신을 통한 작업자의 위치추적이 필요한 분야 및 그 이유에 대하여 설문조사를 수행한 결과 그림 2-1과 같은 결과를 얻었다.

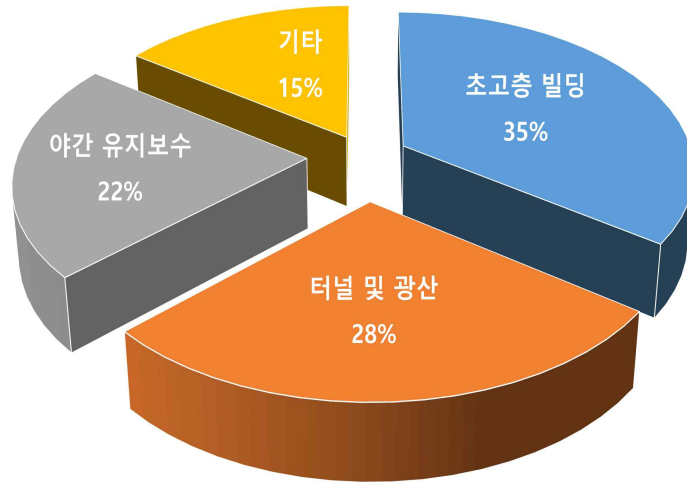


그림 2-1. 국내 RTLS 필요 주요 건설현장

초고층 건물의 경우가 가장 RTLS 기술이 필요하다고 설문조사 되었고, 초고층 건물의 경우 다양하고 복잡한 공정의 시공이 많은 것에 비하여 공간이 협소하고, 관리자 입장에서 관리 및 통제에 제한 사항이 많고, 작업자 입장에서는 낙상을 비롯한 다양한 위험에 노출되어 있기 때문인 것으로 조사되었다. 터널 및 광산과 같은 지하시설물 공사가 그 다음 순위로 나타났다. 터널 및 지하시설물과 같이 열린 공간이 아닌 제한된 공간에서의 장비 및 인력의 안전은 중요시되며, 특히 막장시공 시 폭파과정에서 노무자들의 안전사고에 노출되어 있다. 교량 유지보수와 같은 야간 유지보수 공사가 그 다음 순위로 나타났는데 야외 임에도 불구하고 협소한 공간에서 야간의 제한된 시간 동안의 공정 과정 속에 낙상, 교통사고 등 노무자가 다양한 위험에 노출되어 있고, 중규모 공사의 경우 인력관리 또한 쉽지 않기 때문인 것으로 나타났다. 이 외에도 다양한 건설분야 공정에서 RTLS 기술이 필요성을 언급하였으며 약 64%의 설문응답자가 필요하다고 응답하였으며, 적용가능 시기는 10년이 가장 많았고, 이를 통해 기술적용 시기에 대한 결과는 조금 부정적으로 나타났지만, 기술의 필요성은 공감하고 있음을 확인 할 수 있었다.

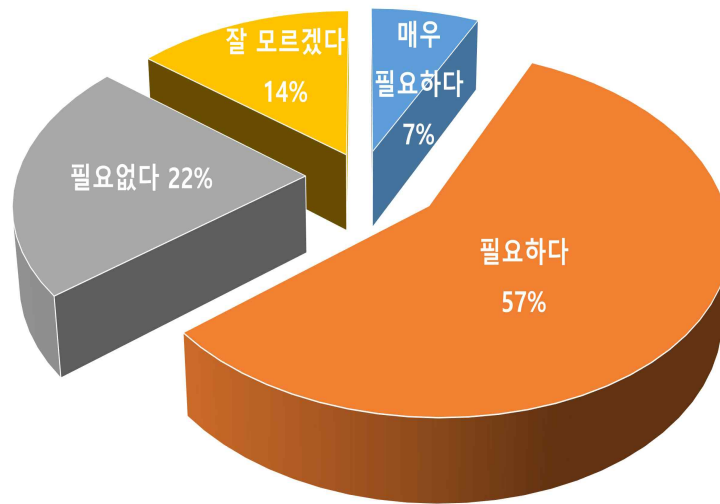


그림 2-2. 국내 건설현장 RTLS 필요성 여부

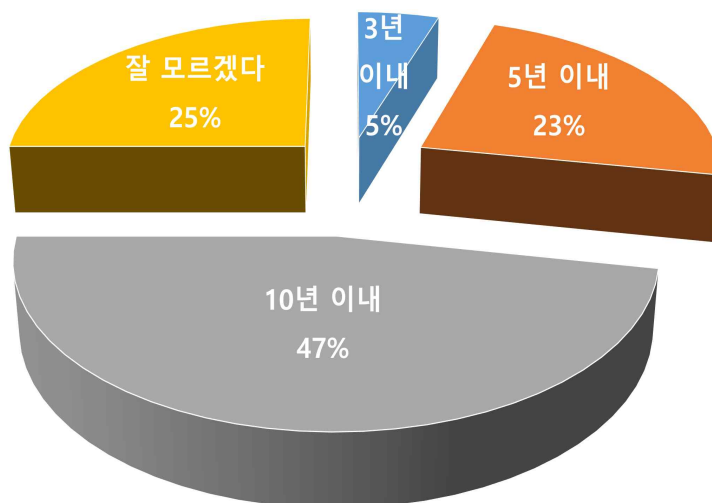


그림 2-3. 국내 건설현장 RTLS 도입 및 활성화 예상 시기

3) 연구개발 대상 결정

본 연구는 설문조사를 통해 얻어진 결과를 기반으로 연구개발 함에 있어 현장실험 적용성 측면에서 초고층 빌딩 현장은 접근이 용이치 않아 연구개발 대상에서 아쉽지만 제외하였고, 우선적으로 터널과 같은 지하공간 현장 및 야간 유지보수 공사 현장에 이를 적용하는 것에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다.

2. RTLS 시스템의 구성

RTLS는 다음 그림 2-4와 같이 태그가(Tag) 일정 주기로 리더기(이하 고정노드)에게 자신의 ID 및 위치 등의 정보를 전송하면 고정노드가 이를 수신하여 서버로 신호를 송신한다. 서버는 수집된 고정노드로 부터 수집된 각 태그에 대한 정보를 기반으로 응용 프로그램으로 위치 등의 정보를 처리하여 D/B에 저장 및 관리하고 응용프로그램을 통해 다양한 기기에 그 결과를 송출한다(권순량 외 2011).

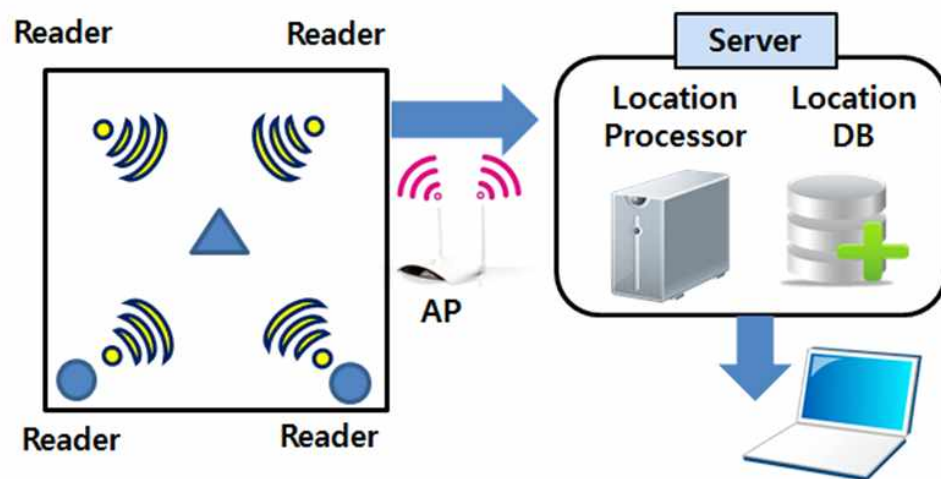


그림 2-4. RTLS 개념도

2.2 무선 네트워크 방법의 선정

무선 네트워크는 대표적으로 Wifi, Bluetooth, Zigbee, UWB등의 방법이 있으며, RTLS를 구성하는데 있어서 각각의 특성을 파악하는 것은 무엇보다 중요하다. 다음 Table 1은 무선 네트워크 기술의 특징을 비교한 것이다(이현수 외 2009).

무선 네트워크의 특성을 살펴보면 Wifi의 경우 최대 전송거리가 가장 긴 반면에 전력의 소비량이 매우 커서 배터리를 통한 시스템의 구축이 쉽지 않다. Bluetooth 방법은 최대전송거리가 가장 적은 반면에 가정 전력의 소모가 적은 수준이었다. Zigbee의 경우 전송속도가 매우 느려 많은 량의 정보를 전달하기에는 한계가 있지만, 최대전송거리 및 전력의 소비 측면이 우수하였고 격자를 구성하여 네트워크 구축 측면에서 우수한 특징을 가지고 있다. UWB는 데이터 전송속도가 가장 빠른 방법이지만 전송거리가 길지 못하며 가장 고가의 장비이다.

표 2-2. 무선네트워크 기술의 비교

Contents	Wifi	Bluetooth	Zigbee	UWB
Frequency Band , Ghz	2.4 / 5	2.4	868/915 (MHz) 2.4	3.1~10.6
Max. transfer rate , Mbps	11~54	1	0. 25	480
Max. transfer distance , m	100	10	10~75	20
Power Consumption , mW	800~1600	50 / 80	1/75	~200
Network Configuration	P2P, Star	P2P, Star, Adhoc	P2P, Star, Mesh	P2P, Mesh
Standardization	IEEE 802.11 WiFi Alliance	IEEE 802.15.1 Bluetooth SIG	IEEE 802.15.4 Zigbee Alliance	IEEE 802.15.3a WiMedia Alliance

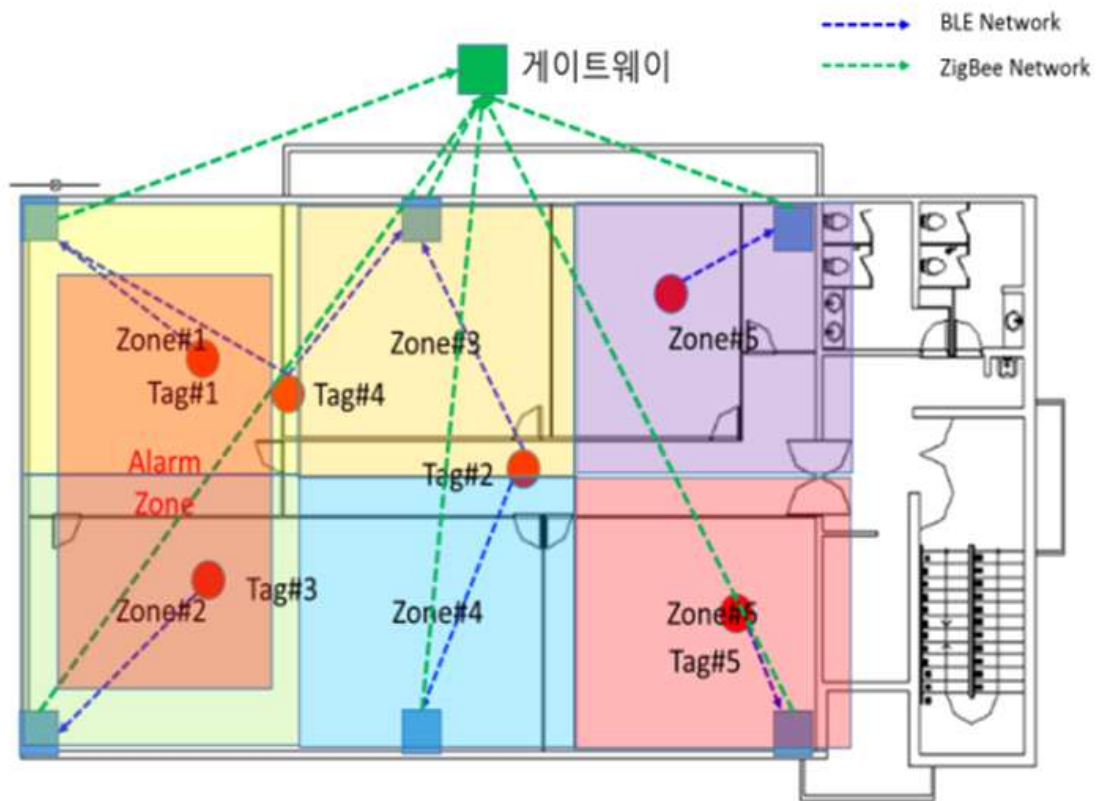


그림 2-5. 네트워크 시스템 개념도

위와 같이 장기간 대규모로 비용적인 측면을 고려하지 않을 경우 무선 통신 방법 중 성능이 출중한 방법을 선택하여 RTLS 통신시스템을 구축할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 태그 및 고정 노드의 전력 사용을 최소화 하고 고정 노드의 이동 및 설치가 자유로운 시스템을 구축하기 위해 태그와 고정 노드의 무선 통신은 Bluetooth로 구성하였다. 또한 Bluetooth방법은 여러 가지 센서 신호를 통합적으로 보내기에 수월하다. 위치정보의 데이터 크기는 음성 및 동영상 파일에 비하여 그리 크지 않은 관계로 고정 노드에서 서버로 정보를 보내는 통신 시스템은 네트워크 확장성이 비교적 좋은 Zigbee로 구성하였다.

3. 위치추적 기술 개발

1) RSSI 위치추적 방법

기존의 RTLS에서 이동하는 물체의 위치추적을 하기 위한 가장 기반이 되는 RSSI(Received Signal Strength Indication)는 무선통신에서 수신된 신호의 강도 지표로 거리측정 알고리즘에서 주된 매개변수이다. 이론적으로 라디오 신호의 강도는 거리의 제곱에 반비례하고, RSSI는 라디오 신호 강도를 임의로 정한 기준에 Log로 비례한 단위이며 다음 식 2-1과 같이 표현가능하다(Oskar, 2014; 윤창표 외 2015).

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right), \text{ dB} \quad (\text{식 2-1})$$

여기서, L은 라디오 신호 강도, λ 는 전파의 파장, d는 거리이다. 식 2-1을 두 지점 간의 거리 d로 나타내려면 다음 식 2-2와 같다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} 10^{\frac{L}{20}} \quad (\text{식 2-2})$$

여기서 c는 전파 속도이며, f는 주파수를 나타낸다.

이렇게 RSSI는 신호강도로부터 거리를 추정할 수 있으며, 이론적으로 그림 2-6와 같이 식 2-3을 활용하여 3개의 고정된 위치에서 알고자하는 특정 위치의 거리를 산정하는 3각 측량법을 이용하여 그 위치를 결정할 수 있다.

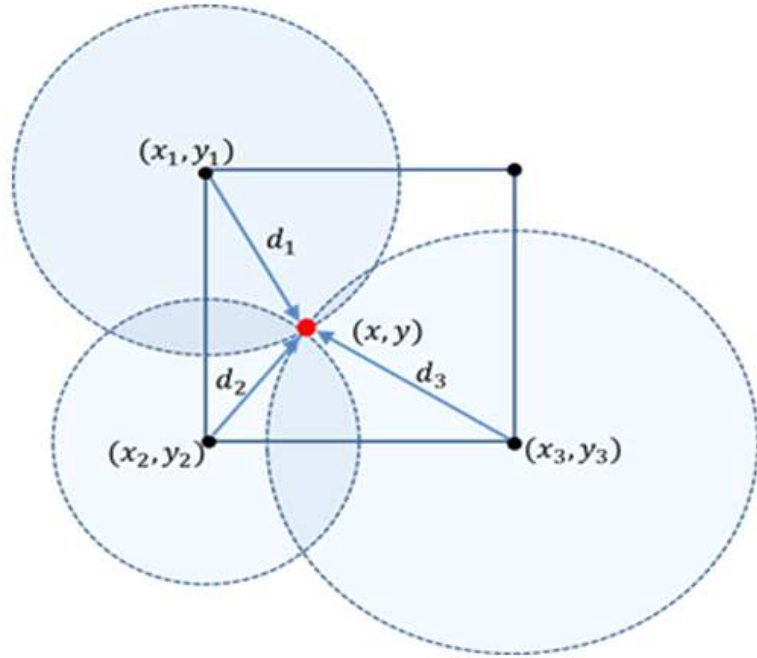


그림 2-6. RTLS에서 삼각측량 방법

$$\begin{aligned}
 (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 &= d_1^2 - er_1 \\
 (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 &= d_2^2 - er_2 \\
 (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 &= d_3^2 - er_3
 \end{aligned}
 \tag{식 2-3}$$

하지만 RSSI는 라디오 안테나의 방향 및 각도, 송수신 기간에 장애물, 전파방해 등에 매우 민감한 영향을 받아 위치측정에 많은 오차를 가지게 되며, 실제 수신 신호는 다음 식 2-4와 같이 오차를 가지게 된다. 실시간으로 움직이는 이동 태그의 위치를 지속적으로 추적할 경우 오차가 누적되어 위치추적이 쉽지 않다(노안젤라 외, 2010; 김정하 외 2012).

$$\begin{aligned}
 (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 &= d_1^2 - er_1 \\
 (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 &= d_2^2 - er_2 \\
 (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 &= d_3^2 - er_3
 \end{aligned}
 \tag{식 2-4}$$

2) 가속도계를 이용한 위치추적

RSSI의 이러한 부정확한 위치추정 한계를 극복하기 위해 추가적으로 BLE(Bluetooth Low Energy) 환경에서 사용 가능한 3축 가속도 센서 활용에 대한 연구를 수행하였다. 3축 가속도계는 3축 중 2축이 중력방향과 수직이며 1축이 중력방향일 경우 $1G(=9.8m/s^2)$ 가 계측된다. 하지만 중력가속도 방향과 일치하지 않는다면 출력이 변화하여 위치를 추정하는데 있어 오류를 발생시키는 한 원인이 된다. 태그의 이동이 없는 경우를 기준으로 합성가속도 중에서 중력에 의한 가속도와 순수 이동가속도를 분리할 수 있으며, 이를 통해 이동거리를 추정의 오차를 보다 저하 시킬 수 있다(염정남, 2009).

지구상의 물체는 지구 중심방향으로 약 $1G(9.8m/s)$ 의 가속도가 작용하여 가속도계의 경우에도 3축 중 2축이 중력방향과 수직이며 1축이 중력방향일 경우 $1G$ 가속도가 계측된다. 가속도계가 만약 중력가속도 방향과 일치하지 않는다면 중력가속도로 인하여 출력이 변화한다. 이는 중력가속도계로 위치를 추정하는데 있어 오류를 발생시키는 한 원인이다. 중력가속도계 혼자만으로는 이에 대한 오류를 제거하기가 쉽지 않으나 GPS 혹은 RTLS기술과 혼합하여 Tag의 이동이 없는 경우를 기준으로 합성가속도 중에서 중력에 의한 가속도와 순수 이동가속도를 분리할 수 있으며 이를 통해 이동거리를 추정의 오차를 보다 저하 시킬 수 있다(염정남, 2009).

3축 가속도의 X, Y, Z방향의 가속도를 a_x , a_y , 그리고 a_z 라고 정의하고, Z축이 중력 방향을 가리킨다고 가정하자. Y축을 기준으로 회전한 각도는 θ_y 할 때, 중력가속도 영향을 제거한 가속도는 다음 식 2-5 및 식 2-6로부터 구할 수 있다.

$$\theta_y = 90 - \cos^{-1}\left(\frac{a_x}{1G}\right) \quad (\text{식 2-5})$$

$$a_{xz} = \sqrt{(a_x - 1G \times \sin\theta_y)^2 + (a_z - 1G \times \sin\theta_y)^2} \quad (\text{식 2-6})$$

가속도 a_{xz} 와 식 2-7과 같이 수평방향과의 각 θ_{xz} 으로부터 중력으로 인한 진행방향의 가속도 a_{Hx} 는 다음 식 2-8과 같다.

$$\theta_{xz} = \theta_y - \cos^{-1}\left(\frac{a_x - G \times \sin\theta_y}{a_{xz}}\right) \quad (\text{식 2-7})$$

$$a_{Hx} = \cos\theta_{xy} \times a_{xz} \quad (\text{식 2-8})$$

위와 동일한 방법으로 X축을 기준으로 하여 θ_x , a_{yz} , θ_{yz} 그리고 a_{Hy} 를 구할 수 있다. 그리고 H_x 방향의 순수 이동가속도 a_{mHx} 와 H_y 방향의 순수 이동가속도 a_{mHy} 는 다음 식 2-9과 2-10과 같다.

$$a_{mhx} = a_x \theta_y - a_{Hx} \quad (\text{식 2-9})$$

$$a_{mhy} = a_x \theta_x - a_{Hy} \quad (\text{식 2-10})$$

이를 시간에 대하여 2중 적분하면 단위시간 동안 Hx 방향의 이동 거리 S_x 및 H_y 방향 이동거리 S_y 를 알 수 있고, 단위 시간동안의 수평방향 총 이동거리 s 는 다음 식 2-11과 같다.

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (\text{식 2-11})$$

그리고 연속적인 이벤트에 대하여 n-1에서의 위치벡터가 S_{n-1} 이고, n번 째 위치벡터가 S_n 이라고 한다면, 단위 시간 동안 $t_n - t_{n-1}$ 동안 이동태그가 이동한 방향의 각도 ϕ_n 은 다음 식 2-12와 같다.

$$\phi_n = \phi_{n-1} + \cos^{-1} \frac{S_n S_{n-1}}{\|S_n\| \|S_{n-1}\|} \quad (\text{식 2-12})$$

위와 같은 중력영향이 배제된 x축 및 y축의 순수 이동 가속도를 각각 시간에 대하여 2중 적분하면 결국 각 방향의 이동 거리와 이동 각을 구할 수 있다. 또한 수직방향의 이동이 있을 경우에도 이에 대한 위치 추적이 가능하다.

3) 위치추적 방법 개발

본 연구에서 사용한 BLE 태그는 평균 20Hz로 신호를 송출하는데 한 개의 고정 노드가 만약 20개 정도의 다중의 태그에서 송출하는 신호를 각각 읽어 들일 경우 약 대략 2초 정도의 시간이 지연되게 된다. 이는 20개의 Tag를 사용하는 환경에서 RSSI 방법으로 3각 측량을 적용하려면 최소 매 2초 마다 스캔을 하여 위치 정보를 업데이트하게 되는 것을 의미하며, 어떠한 Tag가 0.5m/s의 속도로 이동할 경우 위치정보에 오차가 없다고 하더라도 실시간이란 개념으로 볼 때 실제 위치와 1m의 오차가 발생할 수밖에 없다. 장기간의 노무관리라는 관점에서는 이러한 지연은 큰 의미가 없지만 안전 및 긴급상황에서의 2초라는 시간은 매우 큰 의미가 있다.

RSSI만을 이용할 경우 별다른 대안이 없지만 본 연구는 가속도계를 같이 사용하는 연유로 고정 노드 한 개만으로도 RSSI 신호 및 가속도계 정보를 이용하여 위치정보를 업데이트 할 수 있다.

본 연구에서는 4개의 고정 노드를 기반으로 각 고정 노드가 0.5초 간격으로 시간차를 두며 스캔 하여 이동식 노드를 순차적으로 스캔 하는 방법을 적용하였다. 그리고 이 방법을 적용하기에 앞서 RSSI 신호의 오류로 인한 데이터 손실을 최소화하기 위해 최대 이동 가능 거리(Max Allowable Movement Distance 이하 MAMD)를 측위 시스템에 적용하였다. 본 연구에서 정의한 MAMD란 건설현장의 노무자가 단위 시간 동안 최대로 움직일 수 있는 절대적 거리를 의미한다. 또한 MAMD는 단위 시간에 영향을 받기 때문에 고정 노드의 스캔시간이 짧을수록 보다 거리 측정에 대한 오류를 줄일 수 있다.

예를 들어서 터널 및 지하 건설공간과 같이 외부의 평지에서 보다 이동이 보다 수월하지가 않은 공간은 초당 0.5m이상의 속도로 움직이지 않는다고 가정할 수 있고, 본 연구개발 환경에서 0.5초 시간간격의 MAMD 거리는 0.25m로 간주할 수 있다.

다음 그림 2-7은 4개의 노드가 0.5초 간격으로 RSSI, 가속도 센서 그리고 MAMD를 이용하여 위치를 찾는 개념을 도시한 것이다.

초기에 이동식 태그를 위치정보가 정확한 위치에 놓고 충분한 초기 셋팅을 수행한 후 4개의 고정 노드가 0.5초 간격으로 각각 RSSI 신호를 감지하여 거리 d_n 을 추정한다. 그리고 $n-1$ 회에서 붉은점의 위치가 n 에서 푸른색 삼각형의 위치로 이동하였다고 가정할 때, (x_{n-1}, y_{n-1}) 을 원의 중심으로 하고 MAMD를 반지름으로 하는 원과 고정노드 4위치를 기준으로 n 에서 RSSI를 통해 태그의 위치를 얻어 반원을 그린 것을 비교하여 서로 만날 경우 그림 2-7의 사각형의 위치 (x'_n, y'_n) 와 같이 최적의 해를 결정하고, 서로 만나지 않을 경우 가속도 센서만으로 위치를 결정하여 데이터베이스를 업데이트 한다.

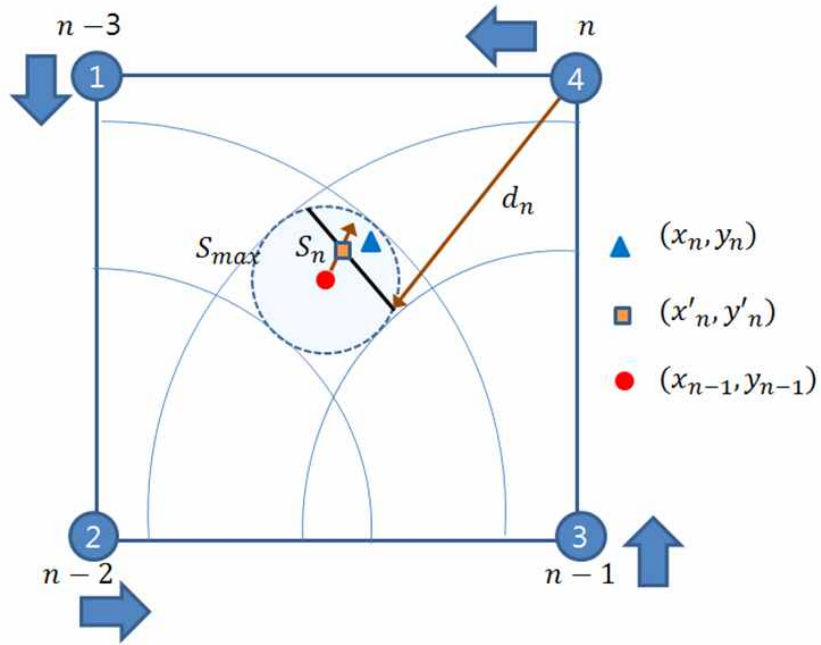


그림 2-7 연구개발 위치추적 방법

4) 위치추정 오차의 보정

본 연구에서는 위치추적에 대한 연속적인 이력자료를 근거로 하여 오차를 최소화 하는 방법 중 그 유효성이 충분히 입증된 칼만 필터를 사용하여 오차를 최소화 하였다. 칼만 필터는 노이즈를 정규 분포인 가우시안 분포로 가정하여 평균 및 분산으로 그 특성을 충분히 표현 가능하며 다음 식 2-13과 같이 표현할 수 있다(김정하 외 2012).

$$\begin{aligned}
 x_k &= Ax_{k-1} + Bu_k + w_{k-1} \\
 z_k &= Hx_k + v_k \\
 p(w) &\sim N(0, Q) \\
 p(v) &\sim N(0, R)
 \end{aligned}
 \tag{식 2-12}$$

여기서, x_k 는 특정 시간 k 에서 상태 벡터 x_{k-1} 는 특정 시간 $k-1$ 에서 상태 벡터, u_k 는 사용자의 입력 값, w_{k-1} 는 시간 $k-1$ 에서 잡음, v_{k-1} 는 시간 $k-1$ 에서 측정 잡음, A 는 해당 시간에서 이전 시간을 기반으로 하는 상태 전이 행렬, B 는 사용자 입력에 의한 상태전이 행렬, H 는 해당 시간에서 측정에 관계되는 행렬, Q 및 R 은 공분산 행렬이

다. RSSI 방법으로 삼각측량의 경우 리더기가 만약 3개라면 최소 9회의 이상의 자료를 축적한 이후 칼만필터를 적용할 수 있다.

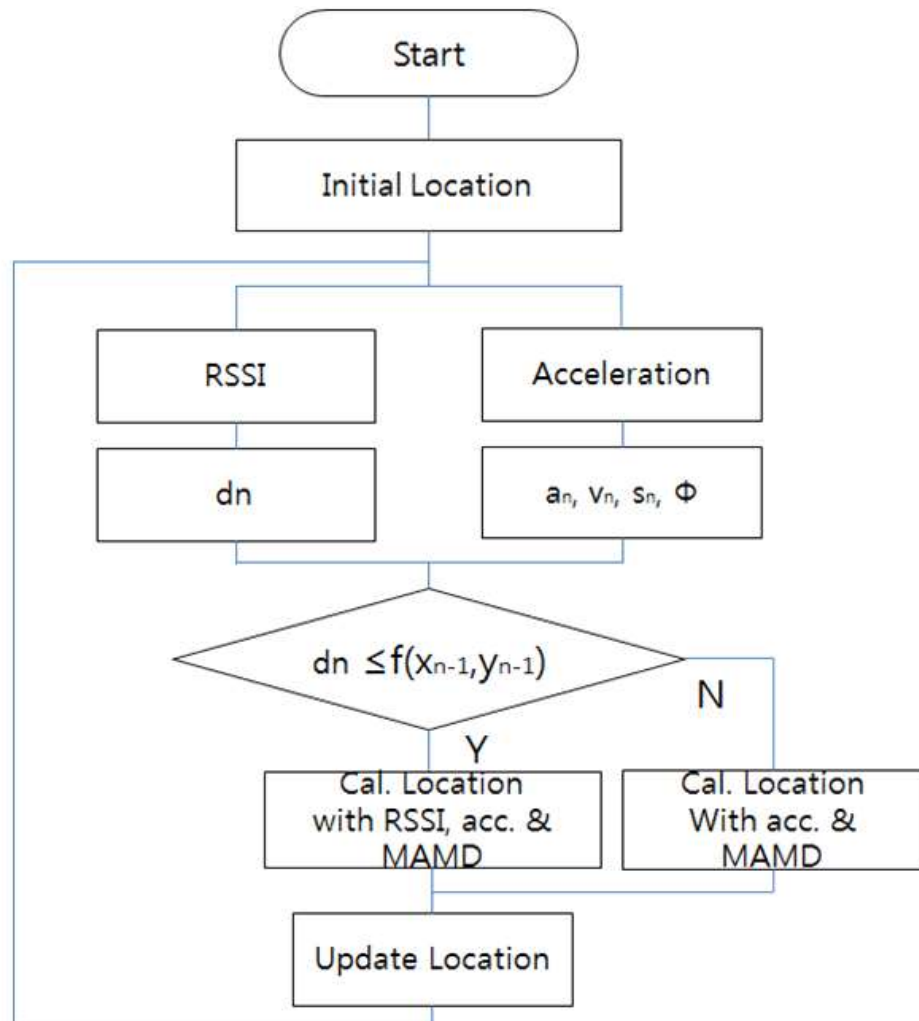


그림 2-8. 연구개발 위치추적 로직

4. 노무 관리 시스템 개발

기존 RTLS는 태그의 위치 정보를 찾는 수준에서 그쳤지만, 본 연구에서는 위치 정보 및 센서로부터 얻은 자료를 기반으로 1m 단위의 격자를 구성하여 위치정보에 대한 구역설정을 수행하고, 시스템 상에서 노무자의 업무 이력, 안전여부를 판별하는 방법을 제

시하였다.

1) 격자를 이용한 구역설정

야간에 수행되는 도로 및 교면 유지보수 현장의 경우 전 차로를 막고 공사를 수행하는 경우보다는 특정 차로를 교통차단하고 해당 차로에서 보수작업을 수행한다. 때문에 노무자들이 작업 공간을 벗어 날 경우 교통사고에 매우 취약할 수 있어 적절한 관리 시스템이 필요하다.

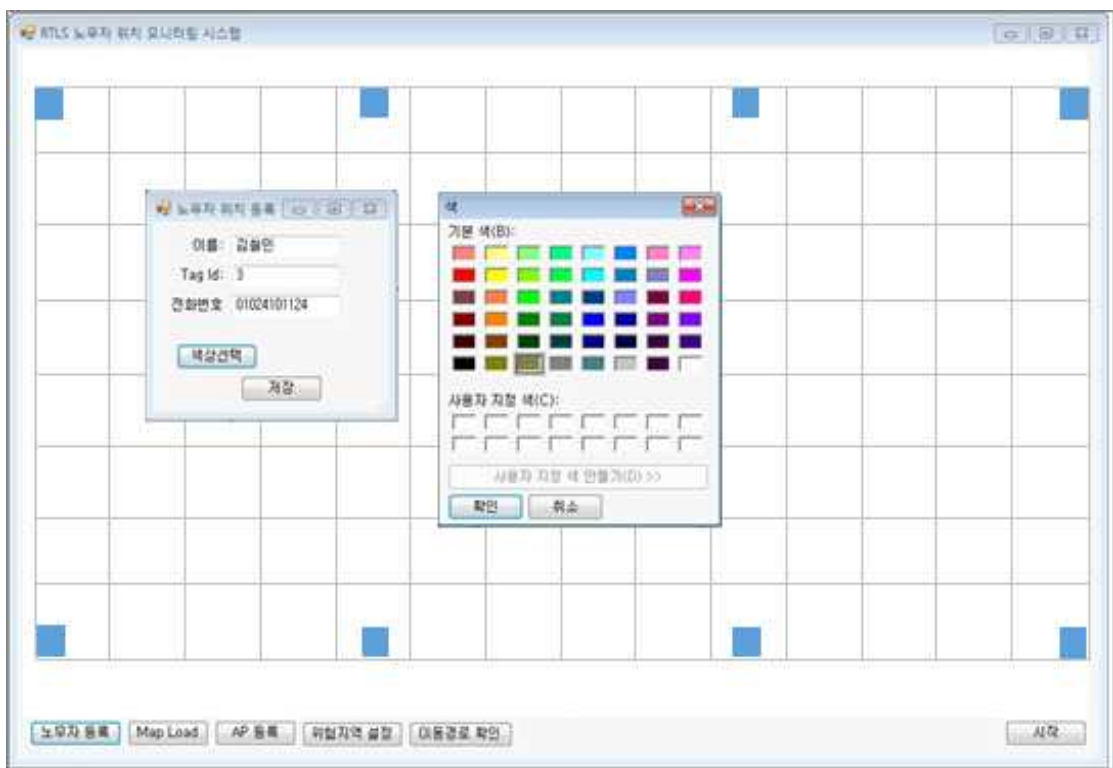


그림 2-9. 연구개발 노무자 관리 프로그램 초기화면

본 연구는 RTLS 시스템으로 위치를 추적하는데 있어 고정노드를 기준으로 그림 2-9와 같이 시스템 상에서 격자를 가로 세로 1m 간격으로 구성하였고, 각 격자의 중심점에 가상 기준점을 부여하였다. 그리고 격자의 일부 구역을 Green Zone(안전구간/업무구간), Yellow Zone(위험인식구간/업무지이탈경계구간), 그리고 Red Zone(위험구간/비업무구간)로 지정하여 위험구간 혹은 비업무 구간에 위치하였을 경우 노무자에게 실시간으로 SNS

로 이를 고지하는 시스템을 개발하였다. 격자의 중심에 가장 기준점을 정의한 것은 위치추정 오류로 인하여 Red Zone에 진입하지 않았음에도 불구하고 잘 못된 위험 고지를 할 수 있는 연유로, 가상 기준점을 중심으로도 MAMD와 동일한 크기의 영역을 부여하여 이동노드의 MAMD와 서로 겹쳐질 경우 위험을 고지하는 것으로 하였다.

2) 가속도계를 통한 노무자상태 확인

앞서 언급한 것과 같이, 단위 시간동안의 순수 수평 가속도 변화의 특성을 파악하면 이동 거리와 이동 각을 통해 위치를 추정할 수 있다. 이와 더불어 가속도 방향 혹은 크기가 바뀌는 특성을 통해 노무자의 행동 특성을 검토할 수 있다. 예를 들어 특정 노무자가 상해를 입어 현장에 누워 있다고 가정하면, 가속도의 절대 값의 크기는 1에 가깝지만 그 방향이 일반적으로 서 있는 경우와 다르며 이러한 행동 패턴이 계속 관찰되는 경우 노무자의 신변에 이상이 생겼음을 판단 할 수 있다.

본 연구에서는 가속도 크기가 1에 가까우나 방향이 z축방향이 아닌 다른 방향일 경우 이와 같은 상태가 2분 정도 지속되면 근처 모든 노무자에게 특정 노무자의 상태를 확인하도록 SNS를 보내도록 시스템을 구성하였다. 노무자의 상태를 2분 동안 확인하는 이유는 심폐소생 술 골든 타임 4분을 고려하여 이의 절반에 해당하는 시간으로 결정하였다.

다음 그림 2-10은 본 연구를 통해 최종적으로 개발되어진 노무자 위치인식 및 안전 관리 시스템의 전체 로직을 나타낸 것이다.

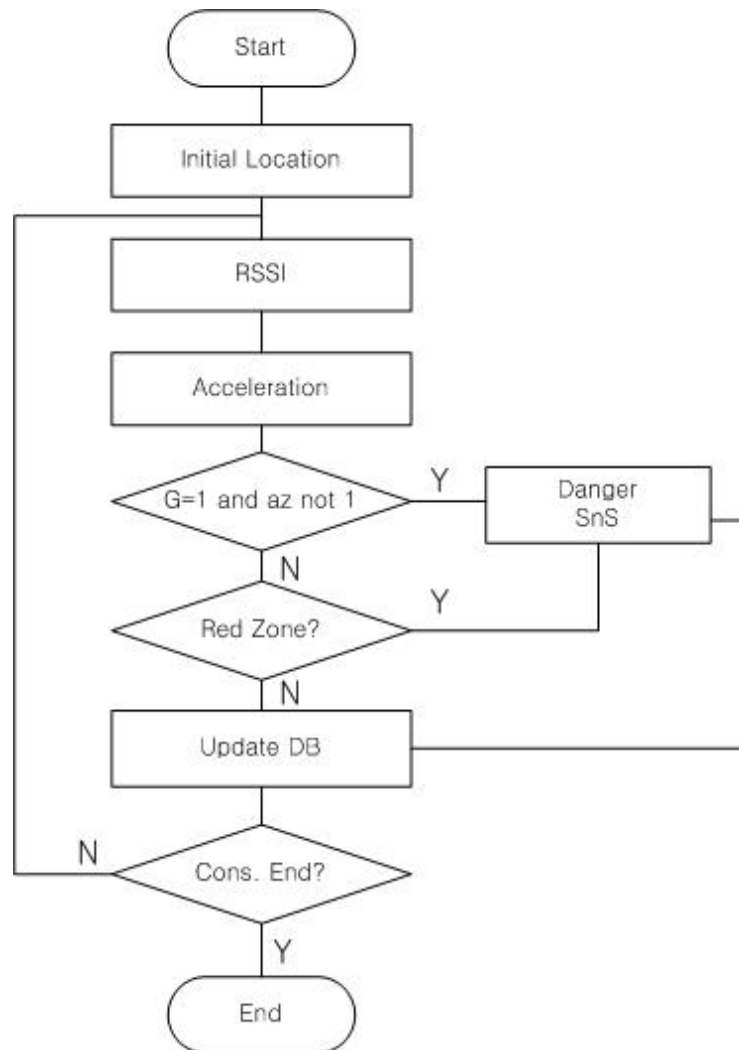


그림 2-10. 연구개발 관리시스템의 로직

5. 현장실험

본 연구는 RSSI와 가속도계가 함께 구성된 BLE 기반 RTLS의 현장 성능을 평가하기 위해 그림 2-11과 같이 제2외곽 순환고속도로 지하건설현장과 영동고속도로 교량 유지 보수현장에서 연구개발한 시스템 및 장비의 현장실험을 수행하였다. 현장에서 움직이지 않는 이동, 태그가 움직일 때 위치추정 오차범위, 다중노드 사용 시 시스템의 성능, 안전관리 성능확인, 획득된 자료를 근거로 한 노무생산성 평가이다.



(a) 지하건설현장



(b) 교량유지보수현장

그림 2-11. 현장실험 전경도

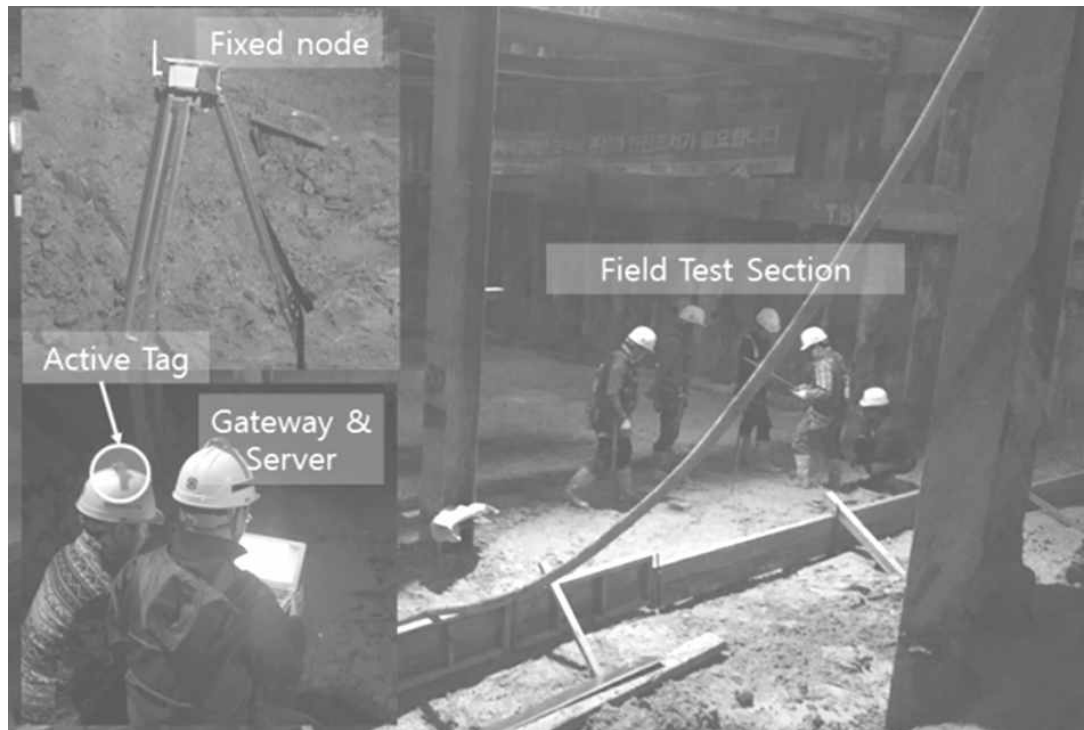


그림 2-12. 현장실험 사례도

현장실험은 닫힌 공간에서의 본 연구에서 제안한 위치추적 방법의 성능을 평가하는 것을 주목적으로 하였다. 첫째로 고정된 태그에 대하여 Bluetooth를 이용한 RSSI 삼각측량의 성능과 칼만필터 및 최대 이동 거리를 적용하였을 때의 오차를 평가하였다. 두 번째는 태그 1개를 정해진 경로로 이동시키며 그 경로를 기반으로 위치추적 데이터가 벗어나는 지에 대한 평가를 수행하였다.

1) 고정된 태그의 위치탐색

현장실험은 우선 터널 및 지하건설 공간과 같이 닫힌 공간에서의 본 연구에서 제안한 위치추적 방법의 성능을 평가하는 것을 주목적으로 하였다. 첫째로 가속도의 영향이 없는 움직임이 없는 태그에 대하여 Bluetooth를 이용한 RSSI 삼각측량의 성능과 본 연구에서 개발한 칼만필터 및 최대 이동 거리를 적용하였을 때의 오차를 평가하였다. 고정된 태그에 대한 제안된 위치탐색 능력을 평가하기 위해 가로세로 5m×5m에 4개의 노드를 설치하였고 2.5m, 2.5m 위치에 태그를 부착한 헬멧을 얹어 놓았다. 다음 그림 2-13은 0.5초 간격으로 위치정보를 계산한 결과를 나타낸 것이다.

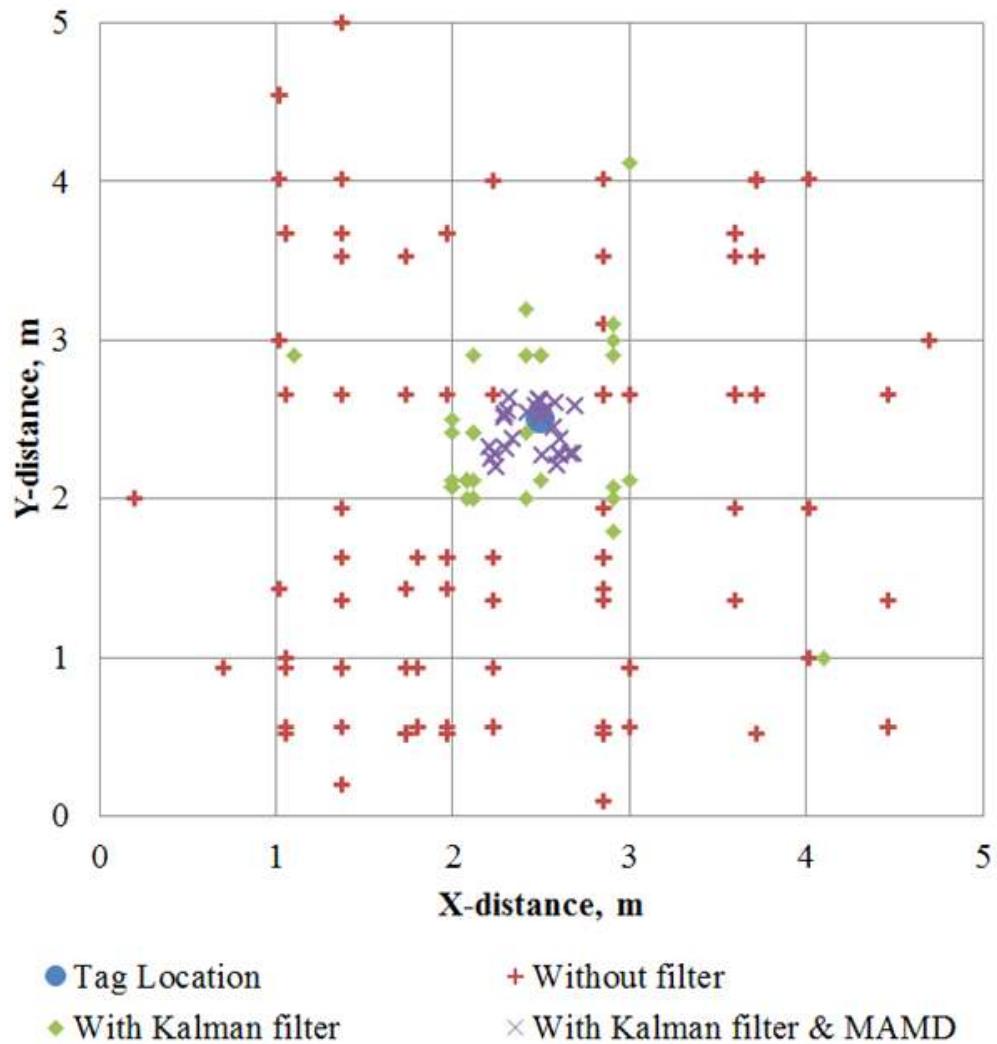


그림 2-13. 움직임이 없는 태그의 위치 추적 결과

RSSI만으로 삼각 측량할 경우 평균오차는 1.6m이고 최대 3.0m 이상까지 오차가 발생하였다. 연구목표치인 오차 10m는 달성하였다. 하지만 BLE 방법의 탐색 최대거리가 10m이고 보통 5m이내를 탐색하는 것을 볼 때, 이동식 태그가 움직이지 않았음에도 기존 연구와 유사하게 기대치 보다 큰 오류를 나타내었는데 이는 실질적으로 현장에서 RSSI만으로 삼각측량을 실시하여 위치탐색 및 이동경로에 대한 추정하는 것은 쉽지 않음을 확인할 수 있었다. 칼만필터를 사용한 경우 최초 약 20회까지는 격자를 벗어나기 까지 하는 큰 오류를 나타내었으나 자료가 축적될수록 오차의 범위를 현격하게 줄여 평균 거리오차가 0.55m 수준까지 나타났다. 마지막으로 칼만필터 및 MAMD를 고려한 경우 평균 오차는 0.21m로 현격하게 줄일 수 있었다. 이는 MAMD가 0.25m로 고정되었기

때문에 부정확한 RSSI는 모두 필터링이 사전에 되고, 칼만필터가 지속적으로 해를 찾아가서 안정화되기 때문이다.

2) 이동하는 태그의 위치탐색

앞서 고정된 태그에 대하여 본 연구에서 제안한 위치탐색 알고리즘을 충분히 적용할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 이동하는 태그에 대한 위치 탐색 능력을 평가하기 위해 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 크기의 평면환경에서 총 8개의 노드를 사용하여 그림 2-15와 같이 정해진 경로를 10회 정도 왕복할 때의 위치탐색 능력을 확인하였다. 고정식 노드의 배치 및 각 고정식 노드의 0.5초 간격의 탐색 순서는 그림 2-14와 같다.

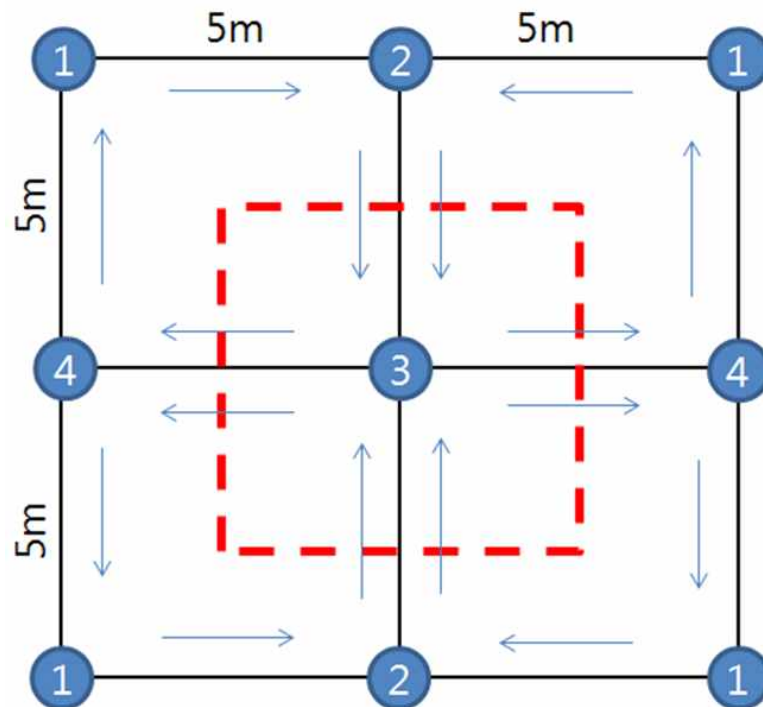


그림 2-14. 다중 고정노드를 사용한 움직이는 태그의 위치 탐색 방법

그림 2-15는 본 연구에서 개발한 위치탐색 알고리즘을 통해 주어진 이동 경로를 움직이는 tag의 위치탐색 결과이다. 이동 태그의 평균 오차는 0.47m를 나타냈는데, 이는 고정된 상태에서 tag의 오차인 0.21m보다 다소 큰 수준으로 나타났다. 이는 이동 태그가

부착된 헬멧을 쓴 노무자의 가속도센서로부터 유입되는 오차의 영향이라 사료된다. 대체로 주어진 이동 경로를 따라서 위치탐색 이력결과가 도시되었으며, 이를 통해 본 연구에서 제안한 위치추적 방법이 대략 0.5m 오차 범위를 인정할 경우 현장에 충분히 적용가능하다 사료된다.

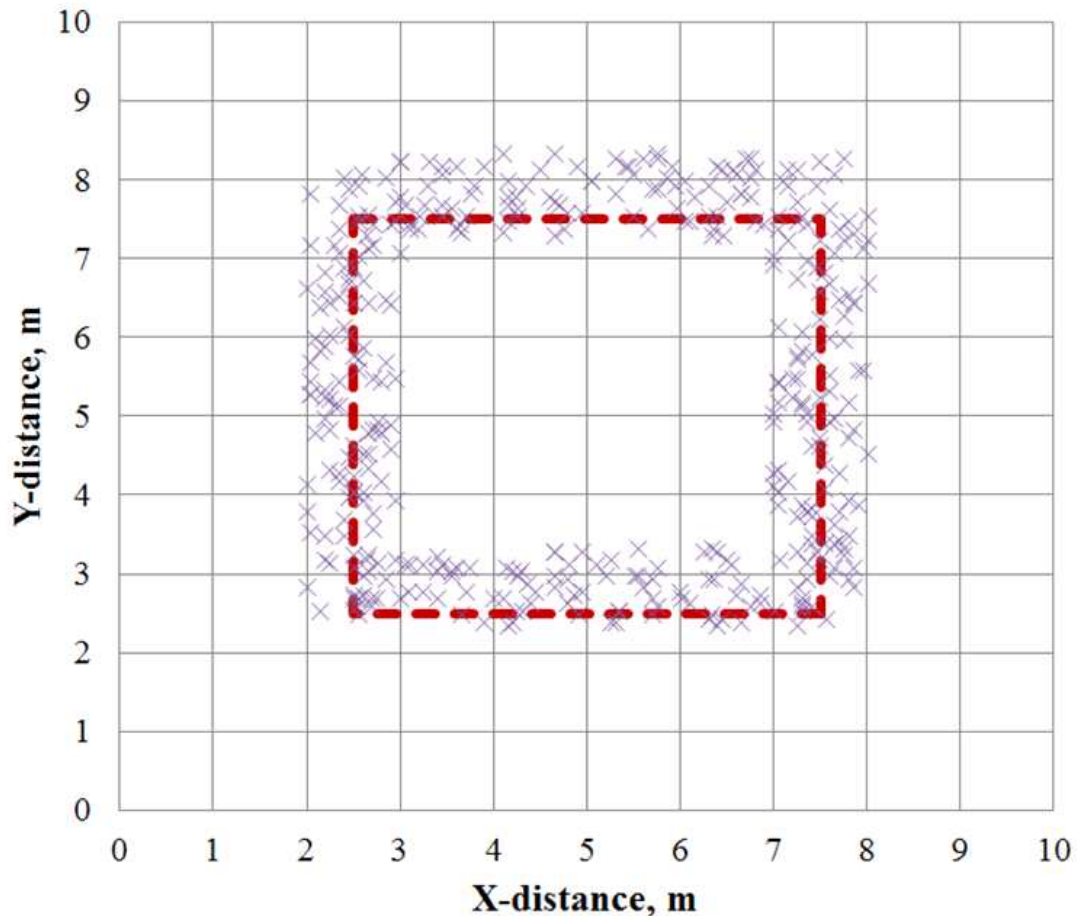


그림 2-15. 이동태그의 위치 추적 결과

3) 이동하는 태그의 위치탐색

본 연구에서 추진한 연구목표 중 하나는 노무자 20명에 대한 동시 위치추적이 가능한 RTLS를 개발하는 것이다. 이동식 노드에 대한 동시 추적을 수행하였다. 5, 10, 15 그리고 20개의 이동식 노드는 그림 2-15의 이동 경로를 순차적으로 한 방향으로 각각 이동 시키면서 위치를 추적하였다. 본 연구의 목적은 제안 알고리즘에 대한 다중 이동식 노드의 성능평가를 주된 목적으로 하는 것으로 기준 선을 어느 정도 벗어났느냐에 따라 오차에 대한 평가를 수행하였다.

다음 그림 2-16은 5, 10, 15 그리고 20개의 태그를 사용할 때 각각 태그의 오차의 평균치를 나타낸 것으로 태그가 증가하여도 오차의 변화 경향은 뚜렷하게 나타나지 않았고, 이를 통해 본 연구의 목표인 움직이는 20개 태그의 동시 추적이 충분히 가능함을 확인하였다.

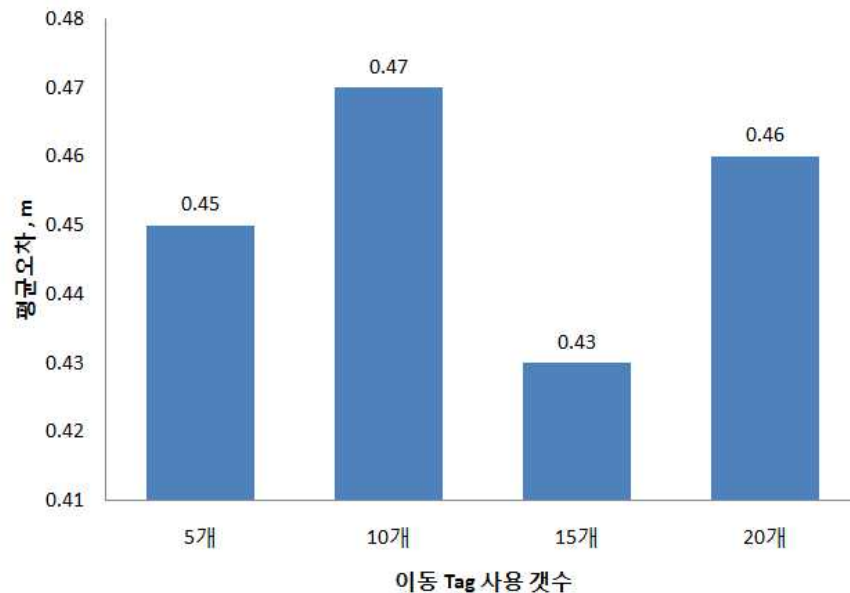


그림 2-16. 이동태그의 사용에 따른 평균오차 변화

4) 노무 및 안전관리 시스템

현장실험은 유지보수 공간에서의 본 연구에서 제안한 위치추적 및 안전관리 시스템의 성능을 평가하는 것을 주목적으로 하였다. 첫째로 정해진 라인 및 구역을 따라서 이동하는 노무자에 대하여 위치 추적 및 Red Zone 진입에 따른 위험고지 여부를 확인하였다. 두 번째는 여러 명의 노무자가 이동 중 특정 노무자가 지면에 약 3분간 누워 있을 경우 이를 판별하여 나머지 노무자에게 특정노무자의 신변확인을 고지하는 여부에 대한 평가를 수행하였다.

이동하는 태그에 대한 위치 탐색 능력을 평가하기 위해 5m×5m크기의 평면환경에서 총 4개의 노드를 사용하여 정해진 경로를 10회 정도 왕복할 때의 위치탐색 능력을 확인하였다. 그림 2-17은 본 연구에서 개발한 위치탐색 알고리즘을 통해 주어진 이동 경로를 움직이는 태그의 위치탐색 결과이다. 이동 태그의 평균 오차는 0.32m를 나타냈는데, 이는 이동 태그가 부착된 헬멧을 쓴 노무자의 가속도센서로부터 유입되는 오차의 영향

이라 사료된다.

Red zone 진입에 대한 오류를 검토하기 위해 그림 2-17과 같은 이동경로를 설정하였으나 Yellow zone을 벗어나 Red zone 진입에 대한 오류는 관찰되지 않았고, 대체로 주어진 이동 경로를 따라서 위치탐색 이력결과가 도출되었다.

이를 통해 본 연구에서 제안한 위치추적 방법이 대략 0.5m 오차 범위를 인정할 경우 현장에 노무자의 작업구역 혹은 위험지역 설정을 통해 이를 벗어날 경우의 위험 및 노무자 위치확인 등에 대한 노무관리가 충분히 가능함을 확인 할 수 있었다.

5명의 노무자의 위치추적을 수행하였고 이중 한명의 노무자를 특정 시간동안 안전모가 중립방향과 수평하게 하여 약 3분간 노출시키는 실험을 총 20회 실시하였다. 그 결과 모두 경우에서 2분 근처일 때 위험을 가속도계 이력을 판별하여 노무자의 신변이상을 다른 노무자에 고지하였으며, 현장에서 본 연구를 통해 제안된 시스템이 충분히 활용 가능함을 확인하였다. 향후 다양한 행동패턴에 대한 연구를 통해 다양한 상황에 대한 판별이 가능하리라 사료된다.

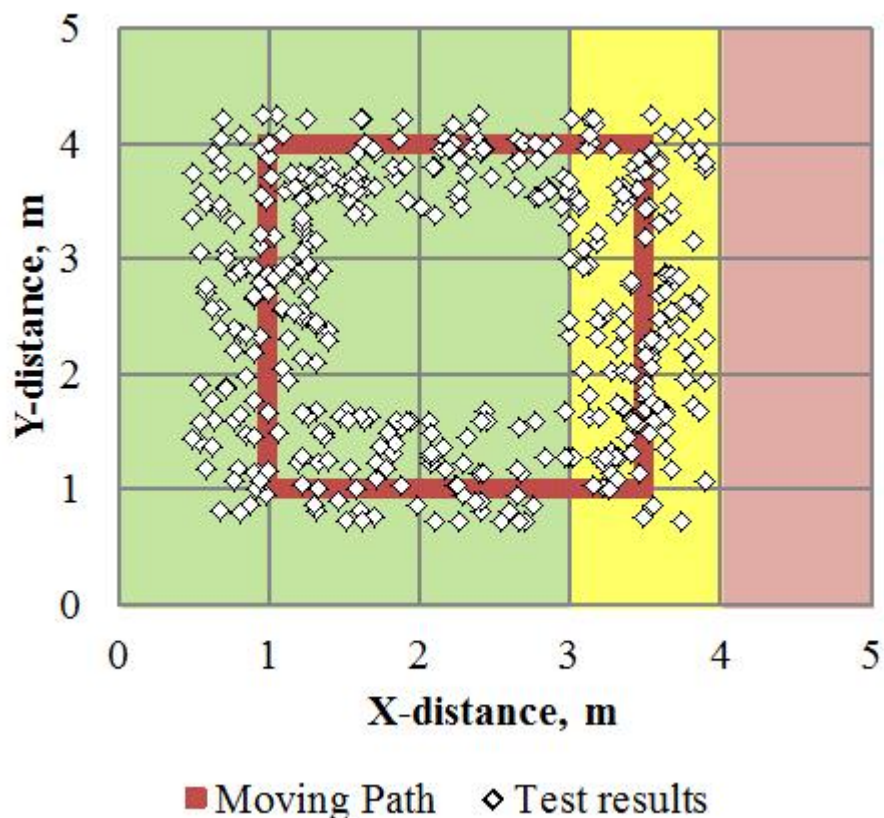


그림 2-17 위험관리 시스템의 현장실험 결과

5) 노무 생산성

노무 생산성 정보는 견적전문가의 경험 및 직관에 의존하거나, 기 출간된 표준품셈 등과 같은 생산성 데이터, 그리고 프로젝트 이력 자료를 의존한다. 이러한 연유로 정확도 및 신뢰도에 있어서, 개인적 편견 및 노무자 역량 등에 의한 변동성을 내제하고 있다. 또한 다양한 공정상황에 융통성 있게 생산성의 범위성을 반영하는 체제를 제시하지 않는다. 생산성을 가늠하기 위한 가장 신뢰할 수 있는 견적은 일반적으로 과거 유사 프로젝트의 이력 자료로부터 획득될 수 있고, 향후 타 유사 프로젝트의 유용한 생산성 예측 정보를 제공한다.

노무 생산성은 입력값(노무시간) 및 출력값(작업 출력량)의 관계로부터 도출 될 수 있으며, 결국 개개 노무자의 노무시간을 명확한 근거에 의해 파악 가능해야 적절한 노무 생산성을 파악할 수 있다. RTLS를 통해 노무 생산성을 평가하는 시스템의 성능을 평가하기 위해서는 노무 이력자료 즉 노무자의 위치 추적 성능을 평가해야한다. 즉 다양한 장비 및 구조물이 존재하는 상황에서 자료의 유실이 최소화되어야 노무 생산성을 측정할 수 있는 도구로 활용할 수 있다.

본 연구는 특정한 면적에 대한 공정이 비교적 간단하고 특수한 상황이 아닌 경우 평균적인 노무 생산성 변동이 적은 교면 포장 유지보수 공정에 대하여 기존 메뉴얼화 된 공정 별 노무자 투입 및 노무시간 자료와 RTLS 시스템을 통해 얻은 자료를 비교 검토 하였고 그 결과 비교 분석하였다.

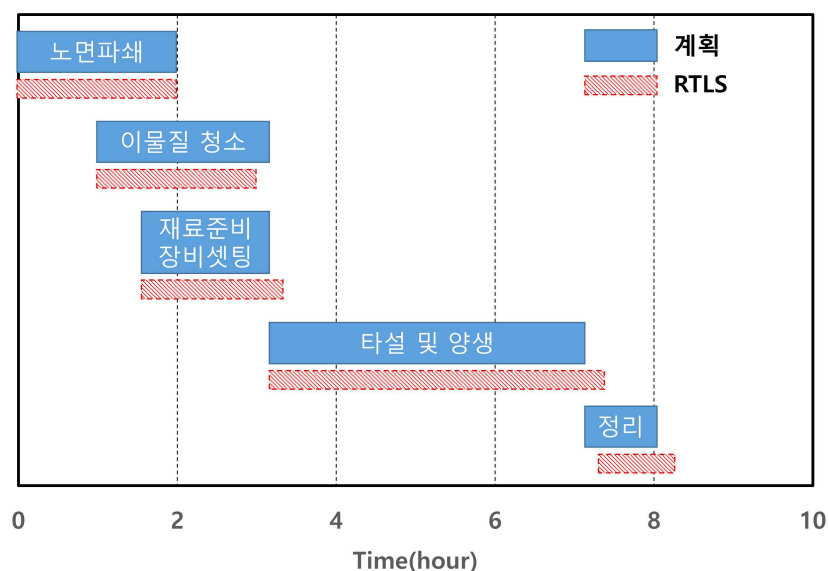


그림 2-18 교량 유지보수 노무 계획 대비 RTLS를 통한 생산성 평가

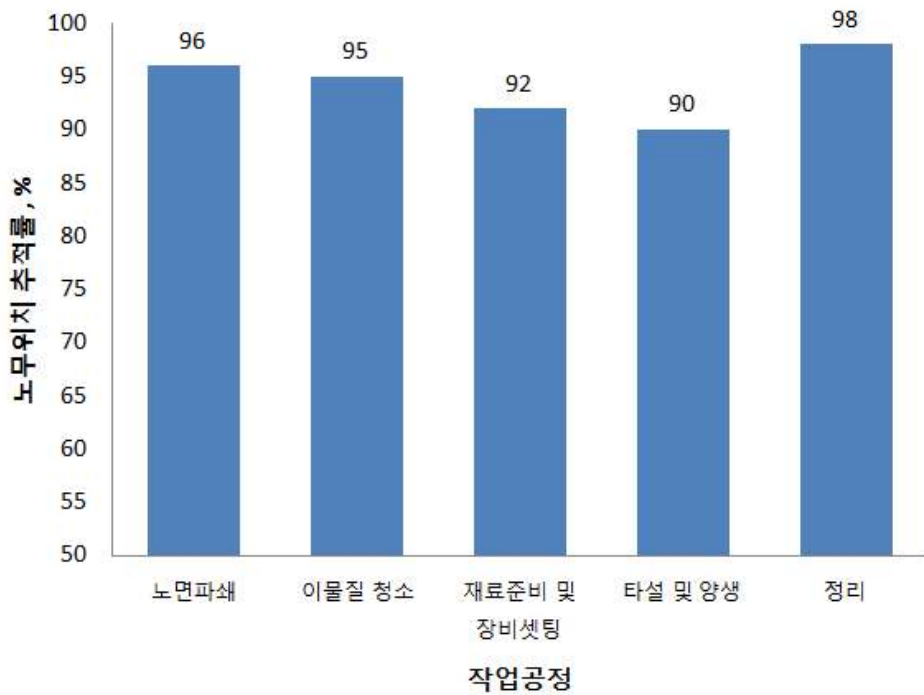


그림 2-19 RTLS를 통한 노무자 위치추적율

그림 2-18과 같이 작업계획과 비교했을 때, 위치추적 자료를 통해 이를 비교 평가해 본 결과 예측 대비 약 88%이상 유사한 것을 나타냈으며, RTLS를 통해 현장에서 노무자의 위치를 추적한 경우 데이터의 유실이 2~10% 수준으로 발생함을 확인하였다. 특히 고정 노드를 설치한 높이보다 그 높이 및 장비가 큰 시공장비가 현장에서 움직일 경우 자료의 유실 및 오류가 발생하였다. 본 연구에서 목표한 자료 위치추적률 80%보다는 상회하였지만 향후 데이터 오류 발생 시 이를 보다 합리적으로 필터링 하는 방법이 필요하다 사료된다.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

1절 개별 연구성과

1. 학술논문 및 발표

본 연구개발을 통해 게재된 논문 및 발표한 학술발표는 다음 표 3.1과 같다.

표 3-1. 학술논문 및 발표 연구성과

구분	성과명	성과내용	비고
SCI(E) 학술지	A Comparative Study of Noise Elimination Algorithms for a 3D Terrain Model through Object Clustering and the Differential Method	3차원 공간정보상에서 대상 부피를 추정하는데 발생하는 오류를 제거하여 정밀도를 높이는 내용으로 본 연구과제 데이터 처리부분에서 활용	KSCE 게재
SCI(E) 학술지	Location tracking of Multiple Laborers using RTL System in construction field	RSSI와 가속도계를 함께 이용하여 노무자의 위치를 평가 추적하는 시스템 개발 및 평가	Sustainability 심사중
일반학술지	지하공간에서 노무자의 위치 인식을 위한 RTL 시스템 개선	블루투스, 지그비를 사용하여 닫힌 지하공간에서 노무자의 위치를 평가하는 시스템을 개발하였고 이에 성능 평가를 수행	한국터널지하공간학회 논문지 게제
일반학술지	도로포장 및 교량 유지보수 현장에서 RTLS를 활용한 다중 노무자의 안전관리 시스템 개발	도로포장 및 교량 유지보수 현장에서 노무자의 안전을 관리할 수 있도록 RTLS를 개발하였으며, 이 시스템을 통해 다중의 노무자들의 실시간 위치 탐색, 이동 이력, 행동 특성들을 확인할 수 있는지에 대한 평가를 수행	한국방재안전학회 논문집 게제
학술회의발표	RTLS 기술을 이용한 도로 및 교면포장 유지보수의 노무 및 안전관리 시스템 개발	RSSI와 가속도계를 함께 이용하여 도로 및 교면포장 유지보수 노무자의 위치 및 안전관리를 하는 시스템 개발 및 적용사례 발표	2016 한국도로학회 학술대회 발표

2. 소프트웨어

본 연구개발을 통해 등록된 소프트웨어 등록성과는 표 3.2와 같다. 본 연구를 통해 개발된 소프트웨어는 모두 최종적으로 개발 구성한 RTLS 시스템 장치에 활용되었고, 위치추적프로그램, 위험인지 프로그램, 그리고 위험고지 프로그램에 대하여 한국저작권위원회에 등록하였다.

표 3-2. 소프트웨어 등록성과

성과명	성과내용	등록번호
RTLS 기술을 활용한 노무자 위치 추적 프로그램	- RTLS 기술을 활용하여 노무자의 위치를 모니터링하는 프로그램으로 고정식 노드와 이동식 노드를 이용하여 신호를 수신하고, 이 신호를 게이트웨이로 전송하여 결과를 화면에 출력하고 데이터를 정리해주는 프로그램임 - 관리자가 노무자를 작업현황을 실시간으로 파악하고 관리할 수 있기 때문에 생산관리 측면에서 우수한 성능을 보임	C-2016-009679
RTLS 기술을 활용한 위험지역 관리 프로그램	- RTLS 기술을 활용하여 위험지역 관리를 통해 실시간으로 노무자의 안전관리를 할 수 있는 프로그램으로 고정식 노드를 통해 위험지역의 단계별 설정을 실시하고 위험지역 접근에 대한 데이터를 정리하는 프로그램임 - 관리자가 실시간으로 노무자의 안전관리를 실시할 수 있기 때문에 건설현장에서의 노무자 효율적인 노무자 안전관리를 실시할 수 있음	C-2016-009677
RTLS 기술을 활용한 위험지역 경보메시지 전송 프로그램	- RTLS 기술을 활용하여 노무자의 위험지역 접근 시 자동으로 SNS 기능을 통한 경고메시지가 전송되는 프로그램임 - 관리자의 통제 없이도 노무자의 위치를 실시간으로 추적하고 위험지역에 대한 통제를 실시할 수 있기 때문에 건설현장에서의 능률적인 안전관리를 실시할 수 있음.	C-2016-009678

3. 지적재산권

본 연구개발을 통해 선점한 지적재산권은 다음 표 3-3과 같다. 지적재산권의 경우 RSSI를 이용하여 RTLS를 구성하는 기술에 대한 개념적 기초적 특허는 국내에 이미 많이 공개되었으며, 건설현장에 적용하는 특허 또한 일부 공개된 상황으로, 새로운 특허를 출원하기 쉽지 않았다. 하지만 본 연구는 실시간 위치 추적하고 관리하는 방법에 대하여 새로이 개선된 방법을 제시하였고, 또한 적용하는 분야를 보다 구체적으로 하여 총 4건의 특허를 출원하였다.

표 3-3. 특허출원성과

성과명	성과내용	출원번호
RTLS 기반의 터널 또는 지하공간에서의 노무자 위치 인식 시스템	- 터널이라는 폐쇄된 특수한 공간에서 노무자의 위치를 추적하는 방법 및 장치 - 터널 및 지하공간 이라는 좁은 공간에서의 RTLS 시스템에 가속도계를 함께 사용하는 시도는 국내뿐만 아니라 국외에서 선도적 수준이며 현장에서 검증을 통해 충분한 적용가능성이 있음을 확인	10-2016-0067083
RTLS 기반의 터널 또는 지하공간에서의 노무자 위험 알림 시스템	- 터널이라는 폐쇄된 특수한 공간에서 노무자의 안전상황 감지 및 고지 방법 및 장치 - 터널 및 지하공간 이라는 좁은 공간에서의 가속도 특성을 통해 노무자의 상태를 판별하려는 시도는 처음이며 국내 및 국외의 타 분야에서도 시작단계의 연구임	10-2016-0067085
RTLS 기반의 야간 교량 공사 및 교면 포장 공사장에서 노무자 위치 인식 시스템	- 야간 및 협소한 도로 및 교면 유지보수 공사 공간에서 노무자의 위치를 추적하는 방법 및 장치 - 교량이라는 상대적으로 협소한 유지보수 공간에서 RTLS 시스템에 가속도계를 함께 사용하는 시도는 국내뿐만 아니라 국외에서 선도적 수준이며 현장에서 검증을 통해 충분한 적용가능성이 있음을 확인	10-2016-0067084
RTLS 기반의 야간 교량 공사 및 교면 포장 공사장에서 노무자 위험 알림 시스템	- 야간 및 협소한 도로 및 교면 유지보수 공사 공간에서 노무자의 안전상황 감지 및 고지 방법 및 장치 - 교량이라는 상대적으로 협소한 유지보수 공간에서 무자의 상태를 판별하려는 시도는 처음이며 국내 및 국외의 타 분야에서도 시작단계임	10-2016-0067086

2절 주요연구성과

1. 학술적성과

본 연구개발을 통하여 SCI(E)학술지 1편(게제), 일반학술지 2편(게제), 학술회의발표 1회의 성과를 나타냈고, 추가적으로 SCI(E)학술지 1편이 2016년 7월 기준으로 심사중이다. 특히 기존의 이동하는 태그에서 송출한 신호를 다량의 고정된 노드에서 전파신호의 강도를 통해 위치를 인식하는 방법이 전파가 가지는 고유한 특성으로 인해 이상적인 조건이 아닌 경우 위치를 추정하는데 매우 어려움을 확인하였다. 본 연구는 제한된 연구개발 과정에서 단지 기존 기술의 한계를 확인한 수준에 멈춘 것이 아니라 이를 극복하기 위한 연구를 수행하여 다음의 학술적 연구 성과를 얻었다.

- RSSI와 가속도센서를 융합하는 새로운 형태의 RTLS를 제시하였고 이에 대한 이론적 접근 및 로직을 제시함
- 노무자에게 설치된 이동태그의 가속도 변화이력으로부터 노무자의 상태를 판별할 수 있는 기초적인 컨셉을 제시함.
- 현장에서 이론 및 로직개선을 통해 제안된 방법의 성능을 평가하여 터널 및 지하공간 그리고 야간의 도로 및 교량 유지보수 건설현장에 적용이 가능함을 확인함.

2. 기술적 성과

본 연구개발을 통하여 기술적으로 소프트웨어 3건과 지적재산권인 특허 4건을 출원하였다. 기존의 BLE를 사용한 RTLS는 최대 인식거리가 10m이내며 5m이내에 들어와야 비교적 납득할 만한 수준의 위치인식 수준을 나타냈으나 그마저도 오류를 많이 포함하고 있는 관계로 특정 공간 안에서 특정 고정 노드 근처에 있는 유무정도를 확인 가능한 수준이었다. 또한 칼만 필터를 사용하여도 움직이지 않은 경우를 제외하고는 이동하는 태그에 대하여 위치추적을 하기 쉽지 않았다. 이러한 기술수준을 극복하기 위해 새로운 RTLS를 개발하였고, 본 연구를 통해 얻은 기술적 성과는 다음과 같다.

- 가속도와 RSSI를 동시에 사용하는 방법은 고정노드의 성능에 맞추어 이를 적절히 분산 시켜 위치인식을 보다 정밀하게 할 수 있으며, 기존 연구목표 10m수준에서 오차범위를 0.5m 이내 비약할 만한수준까지 낮춤.
- 다량의 이동노드가 동시에 존재할 때 개개별로 이를 보다 조밀한 시간 간격으로 추적할 수 있는 시스템을 개발하여, 20개의 이동노드 추적 기준으로 기존의 최소 지연시간 2초에서 0.5초 수준까지 감소시킴.
- 고정노드의 위치추적 시 각각 노드에 검색순서를 부여하여 넓은 공간에서도 다량의 이동태그를 검색 및 추적이 가능한 기술을 제시함.
- 고정노도가 설치된 위치를 기준으로 격자를 구성하고 이를 기반으로 노무자의 노무현황 및 안전관리를 가능한 시스템 개발함.
- 이동태그의 가속도 변화이력으로부터 노무자가 낙상, 기절 등의 상태에 있음을 인지하여 이를 관리자 혹은 주변 노무자에게 고지하는 시스템을 개발하였고, 현장에서 주어진 특정상황을 모사하여, 개발 시스템이 모두 이 상황을 인지함을 확인함.

3. 현장적용 사례

본 연구개발은 실험실 수준에서 연구성과를 도출한 것이 아니라 실제 건설현장에서 개발기술의 시험 적용을 통해 기술의 우수성을 확인 하였다. 현장적용은 지하건설공간 및 교면 포장 유지보수공사 현장에서 수행되었다.

지하공간 현장은 제2 외곽순환공사 현장 중 특정 공구에서 도움을 받아 지하공간에서 고정 및 이동노드의 위치 탐색 오류를 평가할 수 있었다. 실제 지하 건설공사 공정 중 바닥판 슬래브 타설 현장시공에서 탐색 노무자의 수를 변경하며 시스템의 위치 탐색 성능 변화를 평가 하였다.

교면 포장 유지보수 현장은 영동고속도로 재포장 구간 중 일부 공구에서 도움을 받아 야간에 개발 시스템의 위험 고지 오류통보를 검토하였고, 가속도 이력 검토를 통해 이상상태에 있는 노무자를 판별하는지에 대한 시험을 수행하였다.

다음 표 3-4는 현장적용 사례 내용 및 그 성과를 요약한 것이다.

표 3-4. 현장적용 사례 및 연구성과

현장특성	연구내용	목표대비 연구성과
지하공간	- 제2 외곽순환공사 현장 중 특정 공구에서 도움을 받아 지하공간에서 고정 및 이동노드의 위치 탐색 오류를 평가 - 실제 지하 건설공사 공정 중 바닥판 슬래브 타설 현장시공에서 탐색 노무자의 수를 변경하며 시스템의 위치 탐색 성능 변화를 평가	- 움직이는 Tag의 위치 검색오류를 0.5m 수준까지 좁혔다 (연구목표 10m) - 노무자 태그 동시추적 20개까지 성능변화 없음 (연구목표 동시추적 20개)
교량공사	- 영동고속도로 재포장 구간 중 일부 공구에서 도움을 받아 야간에 개발시스템의 위험 고지 오류통보를 검토 - 가속도 이력 검토를 통해 이상상태에 있는 노무자를 판별하는지에 대한 시험 - 유지보수공사 현장에서 각 공정의 계획 대비 조사 시간을 비교검토하였고, 노무작업성 확인을 위한 효율 신뢰도를 평가	- 움직이는 Tag의 위치 위험존의 경우 접근 판별거리 0.5m까지 가능 (연구목표 10m) - 공정계획 및 실제공사의 작업성이 88% 수준으로 정량적인 계량이 가능함 확인 - 실 현장에서 위치 추적을 (노무작업성 확인을 위한 효율 신뢰도) 이 94.2%로 확인됨 (연구목표 80%)

3절 개발기술의 국내외 시장전망

1. 국내 시장전망

본 연구를 통해 개발된 개선된 RTLS는 당장 대형 건설 프로젝트 전체 현장에 적용하기에는 쉽지 않을 것으로 판단된다. 그 이유는 수백 수천의 노무자를 동시에 자동적으로 관리하기에는 시스템 기술적으로 넘어야 할 부분이 많기 때문이다. 하지만 작업이 비교적 단순하고 소규모로 제한적인 공정을 지니는 산업에는 추가적인 테스트를 통해 이를 바로 적용할 수 있다고 판단되며, 소규모 인력관리 시스템 구축 시장을 형성이 가능하리라 예상된다. 본 연구에서 적용한 BLE는 최근 스마트기기에서도 사용하는 기술로 스마트링, 스마트워치의 가속도계를 활용하고 실내 중계기를 활용할 경우 별도의 추가적인 Tag없이도 실내 무선통신 시스템이 적절히 구축된 상황에서 실내 위치 추적기술이 상용화 될 수 있다고 판단되며, 관련 이러한 하드웨어와 함께 위치추적 소프트웨어 시장 또한 더불어 형성가능하다 판단된다. 또한 위치추적기술은 본 연구에서 개발한 건설 분야 이외에도 모든 산업에서 활용 가능하여 그 확대발전은 무궁무지하다 사료된다.

2. 국외 시장전망

국외의 무선 위치추적 기술이 급성장하고 있으며, 국내 시장현황 크게 다르지 않으리라 판단되며 오히려 연구비 규모가 훨씬 큰 선진국의 경우 시험적용에 대한 연구가 활발하여 국내보다 먼저 시장을 현성 주도 할 수도 있다 사료된다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 총괄 성과목표 및 성과지표

본 연구개발에 대한 성과목표 및 이에 대한 성과지표는 다음과 같다. 본 연구의 최종 목표는 건설산업 적용 가능한 RTLS를 개발 이를 현장에 적용하여 합리적인 노무관리를 이룩하는 것을 궁극적인 목표로 한다. 그리고 세부적으로는 건설현장에 적합한 RTLS를 개발하고 위치탐색 모니터링 모듈, 안전관리 및 노무관리 모듈을 제작하여 시스템에 이를 적용하는 것이다. 그리고 그것을 이루기 위한 질적, 양적 성과목표는 다음과 같다.

표 4-1. 성과기준 점검표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준					해당 기준	예산 (백만원)	양적 성과목표	
					질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중 치				
주관	A	RTLS 노무자 원 모니터 링 시스템	A-1	건설용 RTLS 하드웨어 개발	①	노무자 위치인식 정확도	10m 이내	측량	보고 서	5	인하대 산학협력 단	30	특허 : 출원 1 건 등록 : 1 건 논문 : 1 건 시제품 : 1 건 S/W : 1 건
			A-2	건설용 RTLS 노무 모니터링 모듈 제작	①	노무자 태그 동시 추적개수	20EA	신호 측정	보고 서	5	인하대 산학협력 단	20	특허 : 출원 1 건 등록 : 1 건 논문 : 1 건 시제품 : 1 건 S/W : 1 건
	B	노무자 원 관리 소프트 웨어	B-1	노무자 안전관리 모듈 제작	①	노무자 위험지역 접근 판별 정확도	10미터 이내	측량	보고 서	5	인하대 산학협력 단	20	특허 : 출원 1 건 등록 : 1 건 논문 : 1 건 시제품 : 1 건 S/W : 1 건
				노무자 작업현황 관리 모듈 제작	①	노무자 작업효율 분석 신뢰도	80%이상	작업 샘플링	보고 서	5	인하대 산학협력 단	30	특허 : 출원 1 건 등록 : 1 건 논문 : 1 건 시제품 : 1 건 S/W : 1 건
계										20			특허 : 출원 2 건 등록 : 3 건 논문 : 3 건 시제품 : 2 건 S/W : 2 건

2. 연구목표 및 달성결과

1) 정성적 연구목표 및 결과

본 연구개발의 에 대한 정성적 성과의 목표 대비 달성여부는 다음 표 4-2와 같다.

표 4-2 정성적 연구목표 및 성과달성

구분	연구목표	연구성과			
		정성적 성과	목표 및 결과		달성여부
최종목표	○ 건설현장 용 RTLS 노무자 원 모니터링 시스템 및 노 무관리 시스 템 개발	- 노무자 위치인식 정확도	목표	결과	달성
			10m	0.5m	
		- 노무자 태그 동시추적 개수	목표	결과	달성
			20개	0.5m	
		- 노무자 위험지역 접근 판별 정확도	목표	결과	달성
			10m	0.5m	
		- 노무자 작업효율 분석 신뢰도	목표	결과	달성
			80%	94%	

2) 정량적 연구목표 및 결과

본 연구개발의 에 대한 정량적 성과의 목표 대비 달성여부는 다음 표 4-3과 같다.

표 4-3 정량적 연구목표 및 성과달성

구분	연구목표	연구성과			
		정량적 성과	목표 및 결과		달성여부
최종목표	○ 건설현장 용 RTLS 노무자 원 모니터링 시스템 및 노 무관리 시스 템 개발	- 학술적 성과 논문	목표	결과	달성
			3	3	
		- 학술적 성과 학술대회	목표	결과	달성
			1	1	
		- 소프트웨어	목표	결과	달성
			2	3	
		- 특허출원	목표	결과	달성
			2	4	

2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

건설 프로젝트 전반에 걸쳐 노무자의 이동 동선과 작업 경로를 기록, 관리하는 것은 노무 원천 정보의 획득 측면에서 매우 큰 의의가 있다. 본 연구를 통해 개선된 노무자 위치추적 기술과 이를 통해 획득된 노무자의 원천 정보는 다양한 분석과 가공을 통해 노무 생산성 관리, 공정관리 등 기존 건설 사업관리 연구 분야와는 차별화된 새로운 정보기술기반 연구 영역의 창출이 가능할 것으로 기대된다. 또한 개발 시스템의 건설 프로젝트 현장 적용을 통해 국내 RTLS 기술의 신규 수요를 창출할 수 있을 것으로 기대되며, 시장의 규모는 매우 클 것으로 예상된다.

건설현장에서 노무자의 작업 및 이동 정보에 따른 생산성 정보가 자동으로 수집되어 실시간으로 공간 공정관리 모듈과 연계될 경우 On-going As-built Schedule Management가 가능할 것이다. 즉, 건설 프로젝트에 있어 노무자 위치인식에 따른 층별, Zone별, 작업조별 작업 진행 현황을 실시간으로 모니터링 할 수 있을 경우 그 결과는 생산성, 실적 공정 분석 등 다양한 공사 관리의 원천 정보로써 활용될 수 있을 뿐만 아니라 공기 지연 클레임의 적시 해결을 위한 근거자료로 제시될 수 있는 등 무한한 활용성과 응용성을 지닐 수 있다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구의 필요성

1절 연구성과의 향후 활용 방안

1. 품셈개선

본 연구에서는 타 산업분야에서 기존에 개발된 RTLS 기반 위치인식 기술을 건설 노무자의 위치를 인식하는데 적용하여 건설 현장의 요구 및 필요에 따라 노무자원 관리를 실용적으로 수행하는데 활용하고 이를 개선하였다. 건설 노무자의 실시간 위치를 시각적으로 파악하고, 노무 데이터의 가공·분석을 통해 노무 작업현황 분석 및 생산성 관리, 안전관리 등과 같은 노무자원 관리를 통합적으로 수행 가능한 기술적 초석을 마련하였다. 본 연구에서 개발한 RTLS 위치인식 기술은 터널 및 지하공간 건설현장 혹은 도로 및 교면 포장 유지보수 프로젝트에 시범적으로 지속적으로 적용될 경우 기존의 불합리한 품셈의 근거자료로 활용 가능하다.

2. 노무 생산성 평가

RTLS 기술을 활용한 노무자원 관리 시스템을 개발 및 활용함으로써 현장관리자는 노무자의 실시간 위치 정보를 바탕으로 단위작업 투입현황의 파악 및 변경된 작업계획의 지시 등을 용이하게 수행할 수 있을 뿐만 아니라 노무자의 작업 위치를 원거리에서도 조정할 수 있으므로 건설현장 내 노무 자원관리 업무의 효율성 및 생산성을 크게 제고하고 투입 노무자원의 생산성 향상방안 등을 제시할 수 있게 되었다.

3. 노무 안전 시스템

또한 개발 기술은 노무자가 위험지역으로 접근 시 또는 유해지역에서 작업 중인 노무자의 움직임이 없을 경우 현장관리자로 하여금 노무자의 안전 확보를 위한 최적의 조치를 적시에 취하게 함으로써 건설현장 내 안전사고 발생률을 최소화할 수 있을 것이라 예상되며, 이를 활용할 경우 안전사고를 절감시킬 수 있는 효과가 나타나리라 예상된다.

2절 추가연구의 필요성

건설 노무자원 관리를 위해 차폐된 공간에서 수많은 노무자의 위치를 실시간으로 모니터링할 수 있는 기술개발에 관한 연구는 타 산업 분야에 비해 기술적 진보가 다소 더딘 실정이었다.

본 연구에서는 노무자의 작업 위치를 지능적으로 판단할 수 있는 기술을 개발하였고, 향후 공간정보, 공정정보, 물량정보와 연계하여 생산성 정보로 가공함으로써 건설 생산성 향상 및 분석에도 효과적으로 이용 가능할 것으로 예상된다.

또한 본 연구의 결과물은 건설 산업 및 교육에서 중요하게 취급하고 있는 노무 정보 및 건설 정보화, 안전관리, 공정관리, 생산성 등의 효율화를 추구하고 있으므로 향후 교육적인 측면에서도 건설 산업에 대한 새로운 패러다임의 제시가 가능할 것으로 판단되며, 건설 프로젝트에서 단위작업을 기반으로 발생하는 노무자의 작업시간과 이동 정보는 단위작업별 잔여물량과 연계됨으로써 작업일정에 대한 예측 및 작업조 운영계획 조정 등과 관련된 후속 연구를 파생시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- Abderrahim, M., Garcia, E., Diez, R. and Balaguer C. (2005) "A Mechatronics Security System for the Construction Site" , *Automation in Construction*, 14(1) 460-466.
- Chae. S. and Yoshida. T. (2010) "Application of RFID technology to prevention of collision accident with heavy equipment" , *Automation in Construction*, 19(3) 368-374
- Costin, A., Pradhananga, N. and Teizer, J. (2012) "Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project." *Automation in Construction*, 24(1), 1-15.
- Goodrum, P., McLaren, M. and Durfee, A. (2006), "The application of active radio frequency identification technology for tool tracking on construction job sites" , *Automation in Construction*, 15(1) 292-302
- Naticchia, B., Vaccarini, M. and Carbonari, A. (2013) "A monitoring system for real-time interference control on large construction sites" , *Automation in Construction*, 29(1) 148-160
- Navon, R., Goldschmidt, E.(2002), "Monitoring labor inputs: automated-data-collection model and enabling technologies" , *Automation in Construction*, 12, 185-199
- Oksar, I. (2014) "A Bluetooth signal strength based indoor localization method." Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2014 International Conference on IEEE.
- 강문식 (2014) "Zigbee 센서 네트워크를 활용한 다중노드 실시간 진단 및 관리시스템 설계" , 전자공학회 논문지, 152-161
- 강양석, 최형립, 김현수, 홍순구, 조민제, 박재영 (2008). "항만 및 조선소에서의 RTLS 적용 방안" , 한국정보통신학회논문지, 12(2) : 352-359
- 강한백, 김옥영, 안상희, 최병문 (2014) "비콘과 가속도 센서를 활용한 실내 측위 및 이동거리 측정시스템" , 한국정보과학회 학술발표논문집, 1334-1336
- 강현정, 김현진, 정찬형 (2008) "실시간 위치추적 시스템(Real Time Location Systems) 기술기준에 관한 연구" , 한국통신학회 학술대회논문집, 2359-2362
- 김균태 (2009) "뿔칠내화피복 작업 자동화시스템을 위한 RTLS 기술 적용에 관한 연구" , 한국건축시공학회지, 9(5) : 81-88

- 김대원, 문성모, 조훈희, 강경인 (2011) “RTLS 기술을 이용한 터널공사현장의 실시간 안전관리 적용방안”, 한국건설관리학회 논문집, 12(2) : 12-20
- 김남진, 홍주현, 이태수 (2005). “3축 가속도 센서 데이터의 처리와 응용”, 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집, 3(2) : 548-551
- 김남호, 유운섭 (2013) “3축 가속도 센서 데이터에 중력 방향 가중치를 사용한 낙상 인식 알고리즘”, 전자공학회논문지, 50(6) : 254-259
- 김동창, 문승진 (2011) “스마트 폰을 이용한 통합화 위치 추적 시스템 제안”, 한국지능정보시스템학회 학술대회논문집, 355-358
- 김민석, 김진환, 유영환 (2008). “태그간 메쉬 네트워킹을 이용한 RFID/RTLS 통신 음영 지역 해소”, 한국통신학회 학술대회논문집, 293-296.
- 김수희, 정인환 (2006) “Wireless LAN 환경 하에서 Access Point의 RSSI 삼각측량 방식을 이용한 RTLS 설계”, 한국정보과학회 학술발표논문집, 33(2D) : 330-333
- 김송주 (2012) “전송주기 조절이 가능한 적응적 저 전력 RTLS 태그의 구현” 한국정보기술학회논문지, 10(5) : 113-119
- 김아솔, 황준규, 박준구 (2013) “AP 상대위치 정보를 고려한 향상된 WLAN RSSI 기반 실내 측위 알고리즘”, 제어로봇시스템학회19(2) : 146-151
- 김영근 허창우 (2008) “ZigBee 통신 Solution을 이용한 거리 측정” 한국해양정보통신학회논문지, 12(10) : 1830-1834
- 김영훈, 윤영욱, 김남문, 김영익 (2015) “모바일 가속도센서와 중력센서의 특징을 이용한 동작 분류기법 연구”, 한국통신학회 학술대회논문집, 718-719
- 김영석, 김상범, 김예상(2008), “데이터웨어하우스와 데이터마이닝 기술을 활용한 건설 생산성 관리 및 예측 모델개발”, 한국과학재단 연구보고서 (R01-2005-000-10999-0)
- 김잠제, 손상현, 최훈, 백윤주 (2010) “위치 측정 정확도 향상을 위한 RTLS의 이동형 리더 선택”, 정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터, 16(1) : 45-49
- 김정하, 주양익, 이성근, 박상국, 서동환 (2012) “벡터 예측 알고리즘과 칼만 필터를 이용한 다변측량법 개선”, 한국정보통신학회논문지, 16(12) : 2792-2799
- 김진영, 정용섭, 강준희 (2008) “실시간 위치추적을 위한 2.45GHz 능동형 고주파 시스템에 관한 연구”. 한국지형공간정보학회지, 16(3) : 43-49
- 김영백 (2012) “작업자 안전관리를 위한 유비쿼터스-실시간 위치추적시스템 연구” 한국통신학회논문지, 37(1) : 1-7

- 권순량, 문광곤 (2011) “RFID 기술을 적용한 지능형 유통매장 관리시스템 설계 및 구현” 한국통신학회논문지, 36(12) : 1659-1669
- 노안젤라송이, 이웅재 (2010) “ZigBee 실내 위치 인식 알고리즘의 정확도 평가” 한국인터넷정보학회, 11(1) : 27-33
- 류정탁, 김인경 (2012) “Zigbee와 GPS를 이용한 실내 위치 인식 시스템 개발”, 한국산업정보학회논문지, 17(4), 1-7
- 류정탁 (2013) “3축 가속도센서와 기울기 센서를 이용한 낙상감지시스템 개발”, 한국산업정보학회논문지, 18(4), 19-24
- 박나연, 손철수, 김원중 (2009) “무선센서 네트워크에서 효율적 측위 기법”, 한국인터넷정보학회, 10(1) : 159-173
- 박승훈, 이정훈, 김성우, 임재환, 류지열 (2012) “가속도 센서를 이용한 이동거리 측정 시스템”, 한국정보통신학회 논문지, 16(6) : 1300-1305
- 박영진, 이순우, 강지명, 강문경, 김관호 (2011) “임펄스 UWB 기술 기반 실시간 위치인식 시스템(RTLS) 응용 기술”, 한국통신학회지(정보와통신), 28(7): 37-43
- 방송통신위원회 (2011) “융합시대에 적합한 LBS 사업분류 및 규제체계연구”
- 서형규, 성벽경, 김동환 (2014) “가속도 센서와 자이로 센서를 이용한 보행자 이동거리 측정 알고리즘”, 대한기계학회 춘추학술대회, 147-148
- 신동필 (2014). “2.4 GHz 대역 RTLS 센서노드에 대한 신뢰성평가에 관한 연구” 한국통신학회 학술 대회논문집, 597-599.
- 신준호, 박형래, 장은영 (2013) “실시간 위치 추적 시스템을 위한 ESPRIT 기반의 초 분해능 지연시간 추정 알고리즘”, 한국통신학회논문지, 38(4) : 310-317
- 신필순, 권종만, 신현실, 김기일 (2015). “실시간 측위 시스템(RTLS) 및 스포츠 트래킹 기술”, 한국통신학회지(정보와통신), 32(2) : 13-23
- 안전보건공단 (2013) “2012년도 산업재해 현황분석”
- 엄재형, 정태건, 임종화, 서경석, 장용희, 권용진 (2011) “대학 내 Mesh Network 및 RTLS 구축 방안”, 한국통신학회 학술대회논문집, 387-388
- 염정남, 이금분, 박정진, 조범준 (2009) “GPS와 가속도계를 이용한 이동 물체의 위치추정 시스템. 멀티미디어학회논문지”, 12(4) : 600-607
- 오세환, 김진오, 최순필 (2012) “3축 가속도 센서의 중력 옵셋을 이용한 자세 각 산출”, 대한기계학회 춘추학술대회, 199-200
- 오세욱, 김영석, 이준복, 김한수(2004) “PDA 및 바코드 기술을 이용한 건설 노무정보의

- 수집 및 활용”, 한국건설관리 학회 논문집, 5권, 5호, pp. 55~65.
- 오열 (2013) “중국 위치기반서비스(LBS)의 현황 및 발전전략“, pp.17-18.
- 윤창표, 황치곤 (2015) “실내 위치 기반 서비스 제공을 위한 효율적인 실내 위치 측위 시스템”, 한국정보통신학회논문지, 19(6) :1368-1373
- 이기영 (2010) “ZigBee를 이용한 실내 위치인식의 정확성 향상에 관한 연구”, 한국정보기술학회논문지, 8(5) : 85-91.
- 이동진, 김준성, 홍종균, 이상선 (2013) “가속도 센서 기반 측위를 위한 이동거리 측정 정확도 향상에 관한 연구”, 한국통신학회 학술대회논문집, 820-821
- 이은규 (2009) “긴급구조상 위치정보 수동조회 시스템 운영의 개선방안 연구”, pp.20-23.
- 이정우, 안재성, 류지열, 하덕호 (2010). “RTLS 시스템에서 위치오차율 개선을 위한 속도응용형 위치추적방법”, Proceedings of KIIT Summer Conference, 524-525
- 이현수, 이광표, 박문서, 김현수, 이사범 (2009) “위치추적기술을 이용한 BIM기반 건설 현장 안전관리 시스템”, 한국건설관리학회논문집 10(6) : 135-145
- 이종국, 이태훈, 변제훈, 노영지 (2013) “CSS 기반 RTLS 기술의 건설현장 적용가능성에 대한 기초연구”, 대한건축학회 논문집 - 구조계, 29(5) : 61-68
- 임동하, 김남호, 박철호, 유운섭 (2012) “3축 가속도센서 데이터를 은닉마르코프 모델에 적용한 낙상감지 연구”, 정보 및 제어 심포지엄 논문집, 143-144
- 임동하, 박철호, 김남호, 유운섭 (2013) “3축 가속도 센서 데이터에 은닉 마르코프 모델과 임계값을 적용한 낙상 감지 알고리즘”, 대한전자공학회 학술대회, 489-491
- 임창균, 강오성, 이창영, 김강철 (2013) “RSSI 기반 지능형 위치추정 시스템 설계 및 구현”, 한국인터넷정보학회, 14(6) : 9-18
- 장정환, 이두용, 장청운, 조용철, 이창호 (2012) “삼각측량법과 최소자승법을 활용한 실내 위치 결정의 산포 감소 방안에 관한 연구”, 대한안정경영과학회지, 14(1) : 217-224
- 장현성, 최훈, 정연수, 백윤주 (2009) “다중 방향성 안테나를 이용한 분산형 RTLS 시스템”, 한국정보과학회 학술발표논문집, 36(1A) : 233-238
- 장현성, 최훈, 정연수, 백윤주 (2010) “밀집 환경에 적합한 신뢰성 있는 분산형 RTLS 시스템의 설계 및 구현” 한국통신학회논문지, 35(2) : 287-295
- 정동규, 류우석, 박재관, 홍봉희 (2008) “RTLS를 위한 보정 기법의 설계 및 구현”, 한국지형공간정보학회 학술대회, 286-292

- 정동호, 김정효, 지동환, 백윤주 (2006) “능동형 RFID를 이용한 RTLS의 설계 및 구현. 한국통신학회논문지, 31(12A), 1238-1245
- 정필성, 조양현 (2015) “사물인터넷 기반의 낙상 감지 시스템”, 한국정보통신학회논문지, 19(11) : 2546-2553
- 최윤길, 윤수원, 진상윤(2011), “RFID와 QR-코드를 활용한 건설현장 통합노무정보관리 효율화 체계 구축”, 한국건설관리학회 논문집, 12(4) : 106~116.
- 최철호, “건설분야에서의 RFID 시스템 활용사례 및 발전방향”, 제5회 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 145[-149
- 하덕호 (2012) “RTLS 시스템에서 속도 적응형 Hybrid(TDOA-RSSI) 방식에 의한 위치 추정오차 개선”, 한국정보기술학회논문지, 10(6) : 45-51
- 하용호, (2002) “IT기반의 건설 노무관리 시스템 개발에 관한 연구”, 인하대학교 공학석사학위 청구논문.
- 한재구, 권순욱, 조문영(2007), “RFID 기술을 활용한 건설현장의 노무관리시스템 프로토타입 구축”, 2007 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp. 853-859.

9. 뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.