

RTLS기술을 이용한 터널공사현장의 실시간 안전관리 적용방안

An Application of Safety Management for Tunnel Construction Using RTLS Technology

김 대 원*
Kim, Dae-Won

문 성 모**
Moon, Sung-Mo

조 훈 희***
Cho, Hunhee

강 경 인****
Kang, Kyung-In

요 약

최근 국가경제규모의 성장과 더불어 단위 건설현장의 규모도 대형화, 복합화되어 가고 있다. 이에 건설시장은 공기단축, 원가절감, 품질개선을 요구하게 되었고, 보다 효율적인 프로젝트 관리를 위해 첨단기술을 적용한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 특히, 건설현장의 인력, 자재, 장비 등의 다양한 자원에 대한 실시간 위치추적기술인 RTLS기술은 안전관리에 효과적인 것으로 평가받고 있다. 하지만 건축공사 뿐만 아니라 해양, 도시 및 타 산업분야에서 연구와 적용이 이뤄지는 것과는 달리 협소하고 위험요소가 많은 터널공사에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 RTLS기술을 이용한 터널 현장에서의 안전관리를 위한 모델을 제시하고, 이의 현장적용성 검토를 실시하였다. 적용성 검토 결과, 제시된 모델은 발생하는 일부의 오차로 인해 현장에 바로 적용하기 힘들으나 하드웨어기술의 발전과 위치보정에 대한 노력으로 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구를 통해서 토목분야의 효율적인 프로젝트관리는 물론 안전관리의 방향을 제시하는데 이바지할 것으로 사료된다.

키워드 : 실시간 위치추적시스템, RFID, 안전관리, 터널공사

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설 산업은 대형화, 복합화 추세에 따라 프로젝트의 단기간, 고품질 요구가 확산되고 있다. 그에 따라 공기단축, 원가절감, 품질향상 등의 다양한 경영학적 관리 방법이 요구되고 있는 실정이며(최철호, 2004), 이러한 문제를 해결하기 위해 첨단 기술을 더해 해결하는 건설분야의 컨버전스가 이루어지고 있다.

IT 및 센서기술은 효율적인 프로젝트관리를 위해서 다양하게 적용되고 있으며, 이러한 기술은 건설현장의 자재, 장비, 인력 등 자원에 관한 실시간위치추적에도 적용되고 있다(김대원 외, 2010). 실시간위치추적기술 중에서 RTLS(Real Time Location

System)기술은 재해발생의 직접원인인 작업자와 기인물 및 가해자의 위치를 실시간으로 추적 및 관리함으로써 재해를 예방하게 되며, 이는 건설현장 내에서 효과적인 안전관리 방법으로 사용될 수 있다는 장점을 가지고 있다(이재현 외, 2006).

하지만 다양한 연구 및 시험이 이루어지고 있는 건축, 해양, 도시 및 타 산업분야와는 달리 대규모 건설현장이 많은 토목분야에는 거의 기초적인 연구만 진행되고 있을 뿐 구체적인 연구나 현장적용은 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 협소하고 위험요소가 많은 터널공사 중심으로 작업자의 안전관리를 위한 방안으로 RTLS기술을 이용한 모델을 제시하고 이에 대한 현장 적용성 검토를 통해 토목분야의 안전관리방향을 제시하는데 목적이 있다.

* 일반회원, 고려대학교 대학원 건축사회환경공학과 박사수료, mtmkdw@korea.ac.kr

** 일반회원, 지엔씨테크(주) 기술이사, married@daum.net

*** 중신회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 부교수, 공학박사, hhcho@korea.ac.kr

**** 중신회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수, 공학박사, kikang@korea.ac.kr

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 제한된 공간에서 장비와 인력의 안전이 보다 중요시 되는 터널공사를 중심으로 하였으며, 터널공법 중에서 가장 광범위하게 사용되는 NATM공법으로 한정하여 연구를 진행하였다.

본 연구의 절차 및 연구의 방법은 다음과 같다(그림 1).

- (1) 우선 본 연구와 관련된 기존 연구분석을 통해 연구방향을 설정하고, 위치추적기술 중에서 RTLS기술과 터널공사의 NATM공법에 대한 시공순서 및 업무에 대해 이론적 고찰을 실시하였다. 이를 토대로 터널공사 현장근로자를 대상으로 한 안전관리실태 및 위치추적기술 적용에 대한 설문조사를 실시하여 본 연구의 필요성을 제시하였다.
- (2) RTLS기술을 터널공사현장에 적용하기에 앞서 안전관리대상 및 터널공사에 적합한 주요기술 검토를 통해 안전관리에 필요한 핵심요소를 분석한다.
- (3) 핵심요소분석을 통해 터널공사 안전관리 모델을 구축한 후, 구축된 모델의 적용성 검토를 위해 실외예비시험 및 실제공사 중인 터널현장에 테스트를 실시하고 결과를 분석하였다.
- (4) RTLS기술을 이용한 안전관리의 적용가능성을 분석하고, 향후 터널공사현장에서의 안전관리방향을 제시하고자 한다.

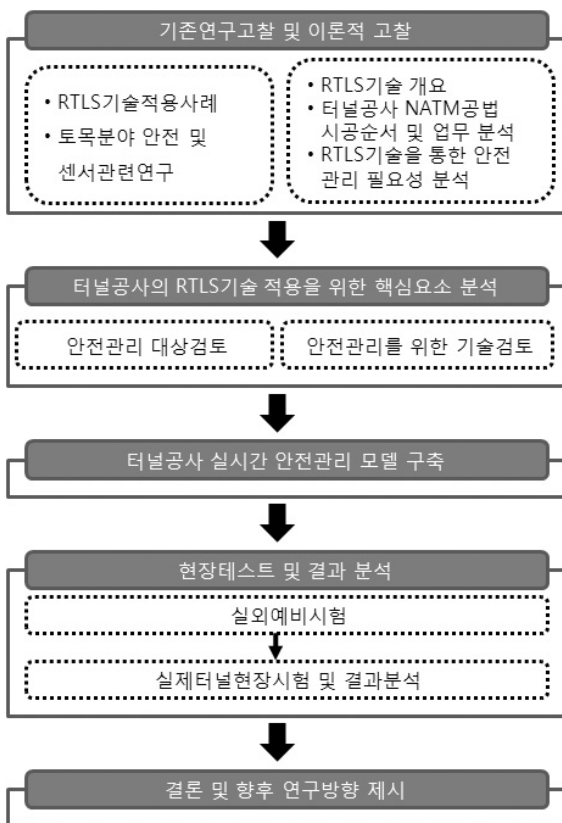


그림 1. 연구의 절차

2. 기존연구의 고찰

건축분야 뿐만아니라 IT 및 센서기술을 활용한 RTLS기술은 최근에 다양한 분야에서 연구되어 왔다. 표 1에서 보는 것처럼 최순용 외(2005)는 스마트 홈 구축을 위한 사용자 위치추적시스템연구를 진행해 왔고, 박두진 외(2006)는 RTLS기술을 활용한 항만운영시스템 구축에 관한 연구, 차명규 외(2006)는 도시정보시스템에 적용한 연구, 이광희 외(2008)는 산업용 로봇의 위치제어에 적용한 연구 등이 있어왔다. 가장 최근에 김근태(2009), 이현수 외(2009), 이광표 외(2010)는 건축현장에 적합한 RTLS 기술적용에 대한 구체적인 연구를 진행해오고 있다. 하지만 토목분야에는 김형우 외(2008)가 지하 터널에서의 감지센서를 이용한 화재, 침수 등의 상태 모니터링에 대한 연구, 조병완 외(2008)는 교량에 유비쿼터스에 대한 개념적인 모델 제시로만 그치고 있다. 또한 안전관리에 대한 연구에서는 김병식 외(2008)가 터널공사의 안전영향요인 분석과 대응방안 제시정도로 첨단기술을 적용한 건축, 해양, 도시, 기타 산업에 비해 다소 연구가 미흡한 실정이다.

표 1. 기존 연구문헌 내용 요약·정리

분류	저자	연구 내용
RTLS기술 적용사례	이광표 외 4(2010)	건축현장에 적합한 실시간 위치추적기술 개발 및 현장적용
	이현수 외 4(2009)	위치인식기술을 이용한 BIM기반 건축현장 안전관리방안 제시
	김근태 (2009)	뽕칠내화피복작업 자동화시스템에 RTLS기술 적용
	박두진 외 1(2006)	항만운영시스템구축에 RTLS기술 적용
	최순용 외 3(2005)	스마트 홈 구축을 위한 사용자 위치추적시스템 구축
	차명규 외 3(2006)	도시정보시스템에 이동체 실시간 위치인식 적용방안
토목분야 안전 및 센서관련 연구	이광희 외 2(2008)	산업용 로봇 위치 제어를 위한 RTLS기술 적용
	김병식 외 2(2008)	터널공사의 안전영향요인을 분석하고 대응방안 모색
	김형우 외 1(2008)	무선센서 네트워크를 이용한 지하 통기구 모니터링 연구
	조병완 외 3(2008)	유비쿼터스 기술을 이용한 교량 방재 모델 제시

따라서 본 연구에서는 토목분야에서 제한된 공간에서 작업자의 안전이 중요시 되는 터널공사를 중심으로 RTLS기술을 적용하여 보다 효과적인 안전관리방안을 제시하고자 한다.

3. 예비적 고찰

3.1 RTLS기술 개요

RTLS(Real Time Location System)기술은 관리하고자 하는 물체(혹은 사람)에 RFID 태그를 부착하여 물체(혹은 사람)의 정보를 확인하고 위치를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템이다. 이러한 RTLS기술은 X,Y좌표 및 데이터 원격 측정법을 이용한 네트워크화 된 실시간 위치추적시스템이다(권순량 외,

2007) 기존의 RFID기술은 리더기를 통해 동시에 수신되는 태그들의 정보의 인식이 가능하지만 각각의 개별적인 위치정보는 알 수 없었다. 하지만 RTLS기술은 무선랜 환경에서 전파의 특성을 이용하여 태그가 부착된 사물의 위치, 접근, 이동을 실시간으로 추적할 수 있는 장점이 있다. 사무실, 공장 같은 실내나 제한된 범위의 실외 즉, 공원, 야적장 등에서 사용할 수 있다(박두진 외, 2006)

다음 그림 2는 RTLS기술의 기본적인 구성도를 나타낸 것이다.

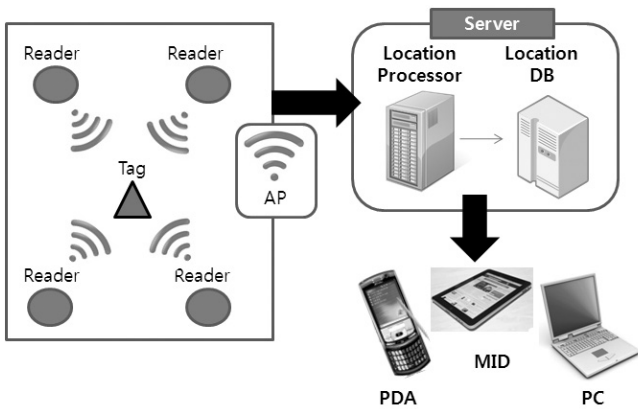


그림 2. RTLS기술 기본구성도

RTLS 태그(Tag)에서 리더기(Reader)에 ID와 메시지를 전송하면 리더기는 서버(Server)로 다시 신호를 보내게 된다. 서버에 수집된 태그의 정보와 위치정보를 계산하여 응용 소프트웨어로 전송하게 되고 미들웨어는 서버로부터 전달 받은 태그의 위치정보를 처리 및 관리하고 응용 소프트웨어의 API(Application Programming Interface)를 제공하게 된다(권순량 외, 2007).

3.2 터널공사 NATM공법의 시공순서 및 업무

국내외에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 터널공사의 시공법은 NATM(New Austrian Tunneling Method)과 TBM (Tunnel Boring Machine)공법으로 크게 나눌 수 있다. 전자는 폭약발파 및 굴착을 통해서 굴진하여 슛크리트 및 록볼트를 주지보재로 사용하여 보강하는 시공법이며, 후자는 기계를 이용하여 굴착하는 동시에 주지보재를 사용하여 지반을 보강하는 공법이다.

본 연구에서는 현재 국내나 고속도로의 터널을 비롯한 지하공간의 개발 대부분을 차지하고 있는 NATM공법에 대해 위치추적 기술을 적용하여 안전관리 방안을 적용할 계획이다.

따라서 우선적으로 NATM공법의 시공순서 및 업무를 분석하고자 한다. 일반적인 NATM공법의 공정순서는 그림 3과 같고, 보다 구체적으로 기술하면 (1)천공 (2)장약 (3)뇌관연결 (4)발파

(5)버럭처리 (6)슛크리트(Sealing)타설 (7)강지보재(강지보 또는 래티스거더)설치 (8)록볼트 설치 (9)1차 슛크리트 타설 (10)2차 슛크리트 타설 (11)3차 슛크리트 타설 (12)라이닝설치 순으로 약간 다르게 구분될 수 있다.

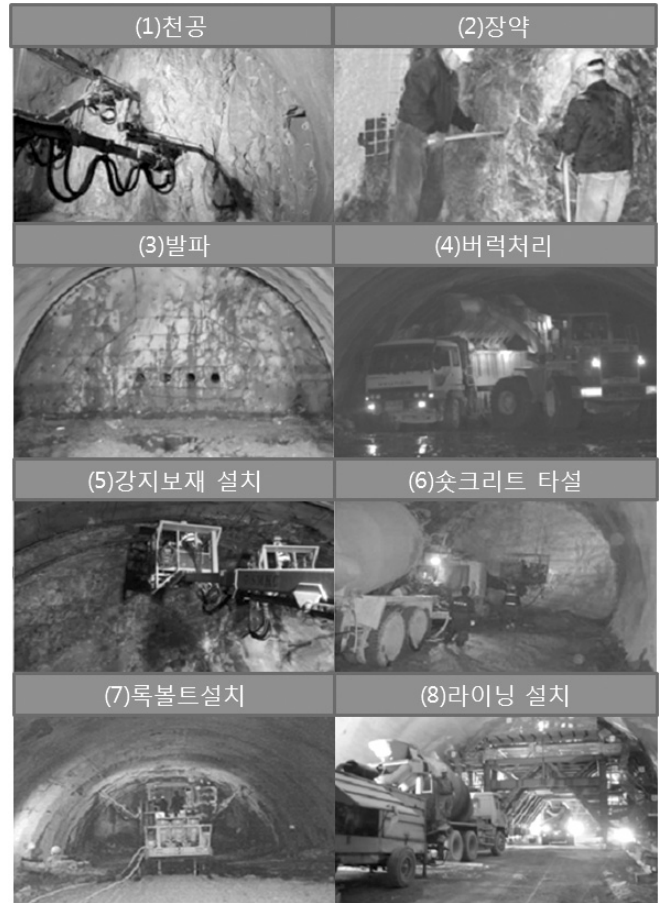


그림 3. 터널 NATM공법 시공순서

3.3 RTLS기술을 통한 안전관리 필요성 분석

국내 터널공사는 터널의 대형화에 따라 매년 20건 이상의 중대형 터널붕괴사고가 발생하고 있으며 이에 대한 복구에 연간 1000억원 이상의 막대한 사회비용을 투입하는 것이 현실이다(한국건설기술연구원, 2009). 터널공사와 같은 대규모 지하공사는 비용·일정 리스크가 크기 때문에 이러한 손실을 줄이기 위해서는 안전관리가 필수적이다. 또한 터널공사의 경우 터널 굴진을 위한 중장비들의 이동이 잦기 때문에 필요한 인력 외에는 터널 내부에 접근이 불가능하다. 그러므로 안전관리를 책임지는 사람은 실정상 존재하지 않는다. 또한 터널공사현장은 바깥으로 통하는 곳이 갭문 한 곳밖에 없기 때문에 화재와 같은 재해 발생 시 빠른 대피가 어렵다.

이에 본 연구는 실제 터널현장 작업 경험이 있는 근무자를 대상

으로 작업자의 위치추적에 의한 안전관리의 필요성을 알아보기 위해 설문조사를 실시하였다. 설문 조사 결과는 그림 4와 같다.

먼저 터널공사현장에 근무하는 근무자에게 설문을 실시한 결과 터널 공사작업에서의 가장 큰 위험요소는 발파작업이고 다음으로 버력처리과정으로 조사되었다. 이는 터널 내 작업자의 안전과 직접적으로 연관되는 작업들이다. 이 조사결과에 추가적으로 터널의 현재 안전관리가 위험하다고 생각하는 이유를 조사한 결과, NATM터널 발파작업 수행 시 기계가 아닌 사람의 수동적 제어를 통해 단순 후방대피를 시행하고 있고, 막장후방으로의 버력 반출시 대부분 작업자의 위치를 육안으로 파악하고 있어 수동적인 안전관리만 이루어지고 있음을 알 수 있다.

두 번째로 작업자들의 중장비의 이동에 의한 위험 노출정도를 조사한 결과 86%정도가 위험하다고 생각하고 있어 현재 터널 내 작업자는 중장비의 이동에 의한 위험에 상당히 노출되어 있음을 확인할 수 있다.

세 번째로 작업자의 안전과 공사비용 및 일정과의 영향관계는 72%가 '영향을 미친다'로 답함으로써 상당한 관계가 있음을 볼 수 있다. 마지막으로 현행 터널안전관리는 작업자의 안전에 적절한가의 여부를 묻는 문항에서도 대체적으로 적절하지 못하다는 의견이 많은 것으로 판단된다.

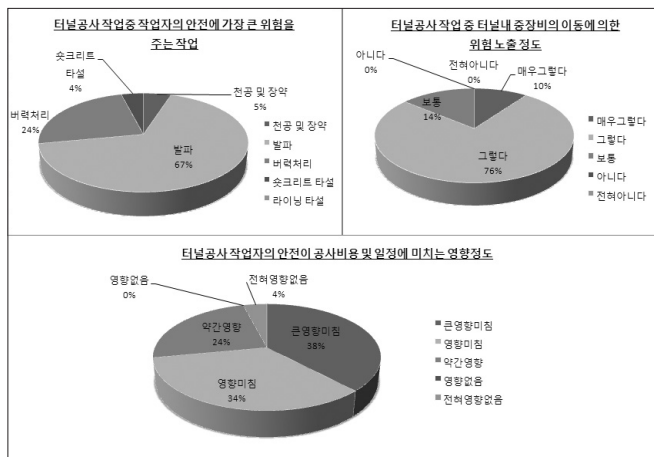


그림 4. 터널공사현장의 안전관리 현황조사

따라서 터널공사현장에서는 작업자의 위치추적을 통한 즉각적인 안전조치를 위한 방법으로 터널공사현장 안전관리의 개선이 필요하다는 것을 설문조사를 통해 확인할 수 있었다.

4. 터널공사의 RTLS기술 적용을 위한 핵심요소 분석

터널공사의 안전관리의 개선을 위한 하나의 방법으로 RTLS 기술을 적용하기 위해서 안전관리를 필요로 하는 대상 검토는

물론 실시간 위치추적을 통한 안전관리를 하기 위해 검토해야할 주요 핵심기술에 대해 분석하고자 한다.

4.1 터널공사의 안전관리 대상 검토

우선 터널공사의 안전관리가 필요한 대상을 주요 공정별로 파악하기 위해 투입되는 자재와 장비 및 작업자를 분석하고자 한다(표 2). 표에서 보는 바와 같이 뇌관 및 폭약을 설치하는 화약 취급공과 중장비(덤프트럭, 브레이커, 백호우, 페이로더 등)를 운전하는 작업자, 강재를 운반 및 설치하는 철공, 슛크리트 타설 기사, 록볼트를 설치하는 작업자, 콘크리트 라이닝을 치기 전 방수재를 설치하는 작업자, 라이닝을 설치하는 콘크리트공 그리고 전체 작업을 관리하는 관리자 등 다양한 인원이 NATM터널 공사에 투입된다.

표 2. NATM공법 주요공정별 자재, 장비, 작업자 (서울특별시 지하철 건설본부, 2001;한국건설교통기술평가원,2010)

주요공정	투입자재	투입장비 및 작업자
발파 및 버력처리 (천공, 장약포함)	폭약(정밀폭약, DYNAMITE) 뇌관(MS, LP, 연결뇌관)	관리자, 화약취급공
기계굴착 및 버력처리	-	브레이커, 점보드릴, 백호우, 페이로더, 덤프트럭, 관리자, 갱부
강재보재운반	강재(허형강, 강판, 앵글, 접합부형강, 지보재간연결강재), 볼트, 너트	덤프트럭, 관리자, 철공, 갱부
강지보재설치	강지보재, 강판, 앵글, 접합부형강, 지보재간연결강재, 볼트, 너트	작업대차, 크레인, 관리자, 철공, 갱부
스딕리트타설 (와이어매쉬설치)	시멘트, 물, 모래, 자갈, 급결재, (와이어매쉬)	스딕리트 타설기, 관리자, 슛크리트 타설 기사
록볼트설치	이형철근, 지압판, 레진 또는 시멘트몰탈	작업대차, 관리자, 갱부
방수공	배수재, 방수시트, 터널부지재 (뭇, 와셔, 카트리지, 란델)	작업대차, 관리자, 갱부
라이닝 거푸집 조립	레이, 침목, Spike, 이음철판, 볼트, 너트	크레인, 관리자, 철판공, 동발공, 갱부
라이닝설치	콘크리트, 철근, 신축이음	관리자, 콘크리트공, 갱부
휨몰링 (Forepoling)	이형철근 또는 강관, 시멘트몰탈	점보드릴, 관리자, 그라우팅공, 갱부
강관단 그라우팅	강관, 주입재, 코킹재, 급결시멘트, Packer	점보드릴, 관리자, 그라우팅공, 갱부

이러한 많은 작업자들과 자재 및 장비들이 좁은 터널 내에 함께 존재하기 때문에 자재 및 장비의 이동뿐만 아니라 작업자의 이동 및 안전여부 판단도 기존 NATM터널 시공방법에서는 불편함이 존재한다. 이런 환경조건에서 작업자의 안전관리는 터널 공사와 같은 대규모 지하공사에서는 그 공기 및 비용에 있어서의 리스크가 매우 크다. 예를 들어, 굴착 후 빠른 슛크리트 타설이 필요한 터널 공사에서 슛크리트 타설 기사의 안전관리 상 문제가 생겼다면 터널공사 전체 공기지연의 원인이 되고, 비용적 측면에서도 리스크가 발생하기 때문이다.

이러한 리스크를 줄이기 위해서 투입장비와 작업자가 협소한

공간에서 서로 교차하는 터널공사현장에서의 RTLS기술은 작업자의 위치를 실시간으로 추적함으로써 안전관리자의 시기적절한 안전경고 및 관리가 가능할 것으로 판단된다.

4.2 터널공사의 안전관리를 위한 핵심기술 검토

RTLS기술의 현장적용모델을 구축하기 전에 실시간 위치추적 기술에 사용되는 주요 기술 중에서 크게 무선측위기술과 무선 네트워크 기술로 구분하여 검토하였다.

4.2.1 무선 측위 기술

RTLS기술을 구현하기 위해서는 위치좌표도출을 위한 측위방법을 결정해야 한다. 측위방법은 건설현장의 경우 장비나 자재 등의 장애물이 많기 때문에 그 정확도가 뛰어나야 한다(이광표 외, 2010)

위치 좌표를 도출하기 위한 무선측위기술로는 Cell-ID기술, Angle of Arrival(AOA)기술, Time of Arrival(TOA)기술, Time Difference of Arrival(TDOA)기술, Received Signal Strength Indication(RSSI)기술, Time of Flight (TOF)기술, Fingerprint기술 등이 있다. 표 3은 위의 기술들에 대한 측위방법을 제시하였다(조영수 외, 2007).

표 3. 무선 측위 기술 분류(조영수 외, 2007)

기술	측위방법
Cell-ID	· 기지국의 Cell ID를 통해 위치추적 · Cell반경의 크기에 따라 정확도가 결정-최대 오차 수km
Angle of Arrival(AOA)	· RF신호전송태그와 수신리더 간 방향각을 이용해 위치를 계산하는 방식
Time of Arrival(TOA)	· 태그가 전송하는 RF신호가 수신리더에 도달하는 시간을 측정하여 태그와 리더간 거리를 구하고 위치를 계산
Time Difference of Arrival(TDOA)	· TOA와 비슷하지만 리더간 수신 시각 차이를 이용하여 위치를 계산
Received Signal Strength Indication(RSSI)	· WLAN을 사용하는 RTLS시스템에서 흔히 사용하는 방법 · Access Point에서 받는 신호의 강도를 이용하여 위치를 계산
Time of Flight(TOF)	· RF신호가 전송되는 매질의 전송속도를 기준으로 태그와 리더사이에 전송된 신호의 경과시간을 이용
Fingerprint	· 확률론적 모델링 · 미리 주위 환경 정보를 데이터베이스로 구성 · 측위시 AP에서 수신되는 전파의 특성을 이용하여 데이터베이스를 검색하여 위치값 추출

앞서 살펴본 무선 위치추적 기술 중에서 가장 많이 사용되는 기술은 TDOA, TOA 그리고 RSSI기술이다. TDOA기술은 정확도 면에서는 어느 정도 오차가 없으나 시각 동기 구축의 어려움으로 구현이 불가능하다. 이에 비해 TOA기술은 정확도 측면에서도 양호하고 위치추적범위에서도 비교적 넓은 범위의 위치추적이 가능하기에 건설현장에서 사용하기에 적합한 기술(이현수 외, 2009)로 TOA방법이 본 모델에 적합한 것으로 사료된다. 마지막으로 RSSI기술은 정확한 위치정보파악이 필요한 모니터링 정보 보다는 작업자 및 장비간의 절대적인 안전거리 확보시 경

보를 발생하는 데에 보다 유리할 것으로 판단된다.

4.2.2 무선 네트워크 기술

무선 네트워크 기술은 짧은 거리에서 강한 신호를 주고받아 정보의 손실을 없애며, 빠른 정보전송으로 실시간 위치추적을 가능하게 하는 것으로서, 종류에는 무선 LAN, Bluetooth, ZigBee, UWB 등이 존재한다(이광표 외, 2010). 표 4는 이러한 무선 네트워크 기술 및 특성을 비교한 것이다.

표 4. 무선 네트워킹 기술 특성 비교(이현수 외, 2009)

무선네트워크기술	무선 LAN	Bluetooth	ZigBee	UWB
주파수 대역	2.4/5GHz	2.4GHz	868/915MHz 2.4GHz	3.1~10.6GHz
최대전송속도	11~54Mbps	1Mbps	250Kbps	480Mbps
최대전송거리	100m	10m	10~75m	20m
소리 전력	800~1600mW	50/80mW	1/75mW	~200mW
망 구성	P2P, Star	P2P, Star, Ad-hoc	P2P, Star, Mesh	P2P, Mesh
관리 표준화 기관/단체	IEEE 802.11 WiFi Alliance	IEEE 802.15.1 Bluetooth SIG	IEEE 802.15.4 Zigbee Alliance	IEEE 802.15.3a WiMedia Alliance

실시간으로 작업자의 위치를 파악하기 위해서는 빠른 위치 정보의 전송이 필수적이다. UWB의 경우가 480Mbps로 가장 빠르나 이의 전송거리는 20m로 무선랜이나 ZigBee에 비해 짧고, 비용이 고가라 적용하기에 힘들 것으로 사료된다. ZigBee의 경우 거리는 최대 75m까지로 적절하나 전송속도가 빠르지 않은 것이 단점이다. 이에 최대전송거리가 100m이며, 전송속도 역시 최대 54Mbps로 UWB다음으로 빠른 무선 LAN 방식을 본 연구에서 채택하여 적용하였다.

5. 터널공사 실시간 안전관리 모델구축

핵심요소분석을 안전관리 대상과 무선측위기술, 무선네트워크기술을 채택하였고, 이를 통해 다음과 같이 터널공사 현장에서의 실시간 안전관리 모델을 구축하고자 한다.

RTLS기술에서 기본적으로 리더기역할을 하는 터널 내부용 앵커(Anchor)를 4곳에 설치하고, 4점 안에 들어있는 RTLS 태그의 위치를 파악하는 무선측위 시스템을 구축하였다. 이 터널 내부용 앵커는 2.4GHz 대역의 주파수를 이용하고, RTLS 태그와의 통신, 다른 앵커와의 통신을 통해 도달되는 시간을 측정하여 위치를 계산하게 된다. 여기서 작업자의 RTLS태그는 수신기가 포함된 능동형 태그를 사용하였으며, 앵커와 통신하여 자신의 ID를 송출하여 위치파악에 사용된다. 그림 5는 이러한 터널공사의 실시간위치추적시스템의 기본적인 무선정밀 측위의 개

념도의 예시를 표현한 것이다.

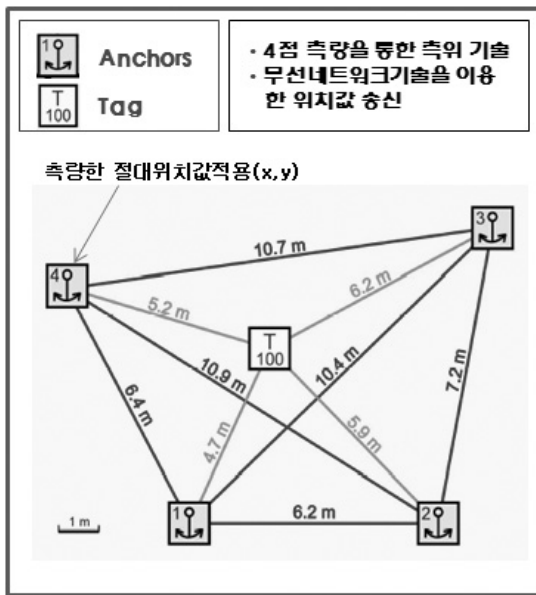
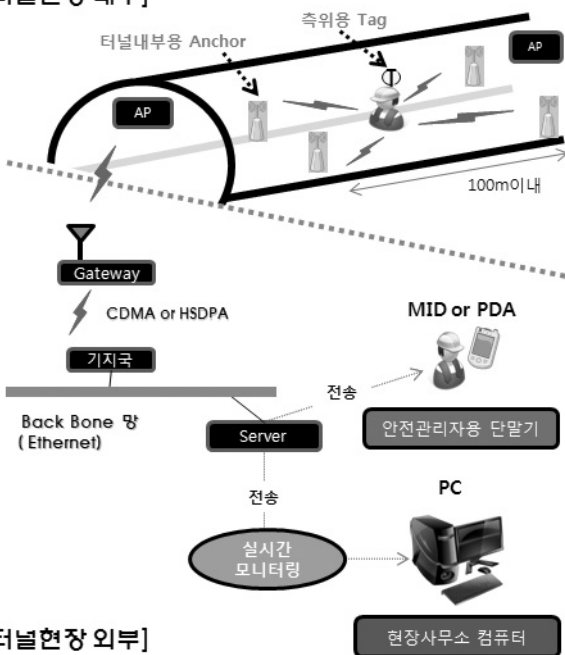


그림 5. 무선정밀 측위개념도(예시)

이러한 측위개념을 터널에 적용한 것은 그림 6과 같다.

[터널현장 내부]



[터널현장 외부]

그림 6. 실시간 위치인식 시스템 모델 개념도(김대원 외,2010)

우선 터널 내부 벽면에 그림과 같이 터널길이 방향 100m 이내에 앵커(Anchor)를 양쪽으로 총 4점을 설치한다. 굴착을 계속 진행해 감에 따라 두 개의 앵커를 계속 설치하게 된다. 앵커는 작업자 및 장비에 탑재된 RTLS 태그에서 나오는 ID정보를 수신하게 되고, 수신한 정보는 무선 AP를 통해 터널외부로 전달하게 되고,

이는 Gateway를 통해 휴대전화기에서 많이 사용되는 CDMA(Code Division Multiple Access)나 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)등의 이동통신방식으로 인터넷 백본(Back Bone)망에 접속하여 서버(Sever)로 데이터를 전송하게 된다. 서버를 통해 안전관리자용 PC나 PDA, MID(Mobile Internet Device)등의 화면상으로 관리할 수 있는 시스템을 구축하게 된다.

6. 현장테스트 및 적용성 검토

구축된 모델의 적용성을 검토하기 위해 실외예비시험과 실제 시공 중인 터널현장에 테스트를 실시하였다.

6.1 실외예비시험

실외에서 예비위치추적 테스트를 수행하기 위하여 앵커 4세트와 위치인식용 Tag 1세트, RF리시버, 노트북을 준비하였으며, 위치 측정을 위한 노트북에는 위치표시용 프로그램을 탑재하였다. 앵커의 경우 적정높이를 유지하기 위해 별도의 거치 장치를 이용하여 설치하였으며, 시험순서는 다음과 같다(그림 7).

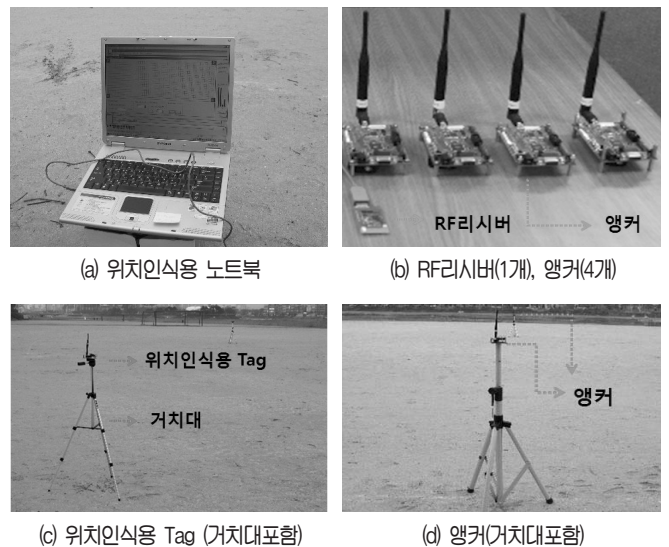


그림 7. 실외 위치인식시험

- ① RF 리시버를 노트북에 시리얼로 연결하여 위치인식 프로그램을 실행한다.
- ② 앵커 4개를 사각형(정사각형 또는 직사각형)으로 배치시키고 그 안쪽에 위치 인식용 Tag을 위치시킨다.
- ③ 위치 인식용 Tag을 이동시켜 위치 좌표 값을 취득한다.
- ④ 앵커 4개를 조절하여 셀 크기를 변동시켜 위치 인식 테스트를 진행한다.

위치 정보 수집 시험은 위치인식용 Tag를 1m씩 이동해가면서 3m~30m까지 시험을 수행한 결과 최대 3.5m에서 최소

10cm의 오차가 발생하는 것으로 파악할 수 있었다. 하지만 평균적으로 오차는 1m 내외로 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

6.2 터널현장테스트 및 결과분석

6.2.1 터널현장테스트 개요

실제 터널현장 테스트는 NATM 공법으로 시공되는 강원도 인제군 춘천-양양간 OO공구의 국내 건설업체인 D사 협조를 얻어 국내에서 최초로 현장테스트를 진행하였다(그림 8). 위치인식 시험 전에 앞서 앵커 설치 간격을 결정하기 위하여 터널 너비 방향 거리는 약 9m, 터널 굴착 방향으로 앵커거리는 30m, 50m, 100m로 설정하였다. RTLS태그의 위치추적테스트는 좌표값을 임의로 이동해가면서 노트북 내의 프로그램 상에서 1분당 30회 측정되는지를 검토하였다.



그림 8. RTLS기술 적용 터널공사현장

또한 현장여건상 앵커의 거리가 50m 일 때를 기준으로 오차값 테스트를 위해 이동시켜 가면서 얻어진 값과 광파기로 측정하여 얻어진 정확한 실제 위치값과의 비교를 실시하였다. 그림 9는 실시간 위치추적 안전관리시스템테스트를 위한 앵커 및 태그의 현장배치도이다.

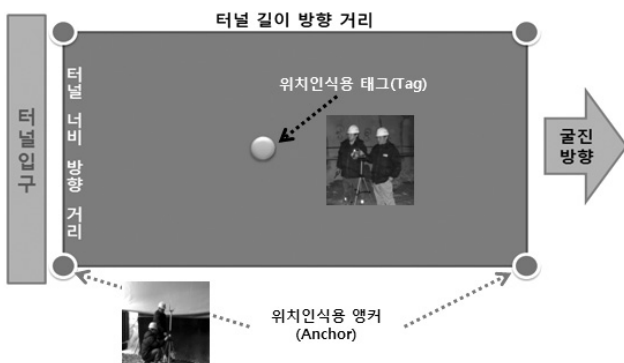


그림 9. RTLS기술의 현장 배치도

그림 10은 위치추적시스템상의 나타내어지는 측정 화면을 보여주는 것으로 녹색으로 표시된 숫자 17이 그 위치를 표시해주는 것이다.

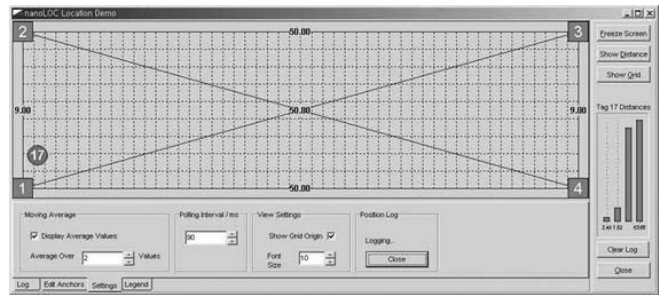


그림 10. 위치추적시스템에 표현된 태그의 표시

현장 인원들의 도움을 받아 임의의 9개 지점에 대해 위치추적을 실시하여 좌표값을 측정하였다.

6.2.2 결과분석

여러 가지 테스트를 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 앵커간의 간격 최대 100m까지의 위치인식여부를 확인해본 결과 화면상에 잘 표시되었으며, 1분당 30회 이상 신호측정에 무리가 없었다.

둘째, 앵커간의 간격이 50m 일 때를 기준으로 위치추적의 정확도를 측정하기 위해 9개의 고정좌표에 대해 프로그램상 표시된 무선측위값과 실제값(광파기 측정값)을 비교한 결과 오차가 최대 3.15m이며, 1.52m정도의 오차가 발생한 것으로 보여진다(표 5, 그림 11).

표 5. 실측값(측량기)과 측정값(위치인식시스템 측정 평균치)비교

지점	광파기 측정		무선측위 측정		오차(m)
	길이 방향	너비 방향	길이 방향	너비 방향	
1	44,5236	7,4537	45,1019	7,1186	0,6684
2	44,5694	1,5033	47,3000	3,0918	3,1590
3	34,965	2,1880	34,8194	2,9067	0,7333
4	34,6295	7,2192	34,9799	5,6462	1,6116
5	24,9000	2,0063	24,8885	3,1655	1,1593
6	24,8438	6,9280	24,7271	5,4078	1,5247
7	9,9011	1,8573	9,5074	2,1092	0,4674
8	10,3267	6,9000	7,6873	5,9217	2,8149
9	2,7366	2,0507	1,3749	1,7963	1,3853

최대 오차의 경우에는 지보패턴에 따라 약 2~3m인 한 막장의 거리를 초과하는 결과가 나타나서 위치 인식에 문제가 있을 것으로 판단되나, 평균 오차인 약 1.5m의 경우에는 실외테스트와 비교해 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단된다.

셋째, 실제위치에 비해 무선측위 측정값은 터널중간쪽으로 쏠리는 현상이 발생하는 것으로 판단되며 차후 정확한 위치추적을 위해서는 위치추적시스템의 하드웨어기술의 발전뿐만 아니라 위치보정에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

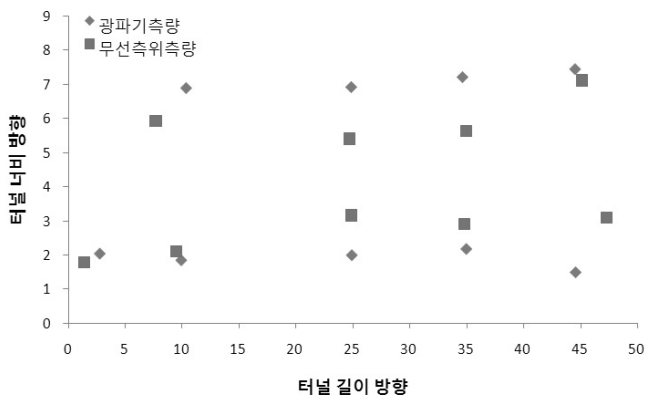


그림 11. 무선측위측량값과 광파기측량(실측값) 비교

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술 혁신사업 연구과제 “첨단센서 기반의 대형 건설현장 실시간 시공관리기술 개발”(09건설혁신-E05) 결과의 일부임.

참고문헌

권순량 외 3인(2007), “유비쿼터스 항만 운영 효율화를 위한 RTLS기술적용”, 정보과학논문지, v.13 n.6, pp.371~377

김대원 외 3인(2010), “첨단센서 기반의 대형 건설현장 안전관리시스템”, 한국방재학회 2010년도 학술발표논문집

김균태, “뿔질내화피복 작업 자동화시스템을 위한 RTLS 기술 적용에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집 v.9 n.5, pp.81~88

김병식 외 2인(2008), “터널공사에서의 안전영향평가의 적용”, 한국방재학회 2008년도 학술발표대회 논문집, pp.545~548

김형우 외 1인(2008), “무선센서 네트워크에 의한 지하 통신구 터널 모니터링 연구”, 한국방재학회 2008년 학술발표대회 논문집, pp.549~552

박두진 외 1인(2006), “RTLS를 활용한 유비쿼터스 항만운영시스템 구축 방안”, 한국콘텐츠학회 논문지 v.6 n.12, pp.128~135

서울특별시 지하철 건설본부(2001), 지하철 9호선 토목분야 적산자료II - 터널편

이광희 외 2인(2008), “RTLS를 적용한 산업용 로봇의 위치 제어 기술”, 한국컴퓨터종합학술대회 논문집 v.35 n.1, pp.424~427

이광표 외 5인(2010), “건설 안전관리를 위한 실시간 위치추적(RTLS)기술 개발”, 한국건설관리학회 논문집, v.11 n.2, pp.106~115

이재현 외 3인(2006), “RFID/USN 기술을 이용한 건설재해 저감방안에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 (구조계) v.26 n.1, pp.605~608

이현수 외 4인(2009), “위치추적기술을 이용한 BIM 기반 건설현장 안전관리 시스템”, 한국건설관리학회 논문집 v.10 n.6, pp.135~146

조영수 외 5인(2007), “실내외 연속측위 기술 동향”, 전자통신분석

조병완 외 3인(2008), “유비쿼터스 기술을 이용한 교량 안전관리 방안 연구”, 한국방재학회 2008년도 학술발표대회 논문집, pp.489~492

7. 결론

본 연구에서는 터널공사 현장에서 작업자의 안전관리를 위한 목적으로 RTLS기술을 적용한 모델을 제시하였고, 이를 현장시험을 통해 적용성 검토를 실시하였다.

(1) 슛크리트 타설기, 화약취급공 등 다양한 안전관리 대상이 검토되었고, 터널공사에서는 태그가 전송하는 도착시간을 측정하여 거리를 측정하는 TOA(Time of Arrival)기술과 최대거리 및 전송속도를 고려하여 무선 LAN방식이 채택되었다.

(2) 터널현장테스트를 거치기 전에 실시된 예비실외시험으로, 인식용 태그의 값의 인식여부를 확인하였고, 실제값과 평균적으로 1m내외(최소10cm~최대3.5m)의 오차가 발생하는 것으로 파악할 수 있다.

(3) 실제 공사 중인 현장의 적용성 검토를 위해 터널길이방향으로 앵커를 일정간격(30m, 50m, 100m)으로 설치한 결과 위치인식에는 무리가 없었으며, 실외시험에서 실시해왔던 터널현장의 측정값과 실제값을 비교하기 위해 광파기로 측정한 결과 9개 고정지점에 대해 오차값은 평균 1.52m(최소 47cm~최대3.15m)로 나타났다.

본 시스템은 현장에서의 임의의 고정좌표에 대한 위치인식 테스트를 실시한 것으로 오차율로 인해 현장의 안전관리를 바로 적용하기에는 다소 어려움이 있다.

이에 작업자 이동시에 대한 위치인식에 대한 연구뿐만 아니라 복합센서(Hybrid Sensor)를 이용한 하드웨어적인 보완과 오차값의 패턴분석(Pattern Analysis)이나 필터링알고리즘(Filtering Algorithm) 개발 등의 소프트웨어적인 위치보정연구를 통해 향후 정확도 개선은 물론 작업자 안전관리를 위한 실제 현장 적용도 가능할 것으로 기대한다.

- 차명규 외 3인(2006), “도시정보시스템 기반 무선인식(RFID) 참조기준점을 이용한 이동체 실시간 위치인식 적용방안 연구”, 한국지형공간정보학회 춘계학술대회 논문집, pp.155~162
- 최순용 외 3인(2005), “스마트 홈을 위한 사용자 위치추적 시스템에 관한 연구”, 한국정보과학회 추계학술발표회 논문집 v.32 n.2, pp.604~606
- 최철호(2004), “건설분야에서의 RFID 시스템 활용사례 및 발전 방향”, 한국건설관리학회 학술발표대회, pp.145~152
- 한국건설기술연구원(2009), 터널 건설 관련 재해 최소화 및 예방기술 개발
- 한국건설교통기술평가원(2010), 첨단센서 기반의 대형 건설현장 실시간 시공관리 기술 개발 연차보고서

논문제출일: 2010.09.03

논문심사일: 2010.09.10

심사완료일: 2011.01.07

Abstract

Recently, construction site scale has been growing larger along with the growth of national economy. As construction market requires time reduction, cost saving, and improving quality, a cutting-edge technology applied research has been gradually studied for more efficient project management. In particular, the Real Time Location System (RTLS) technology, a real-time location tracking system of construction resources, can be effectively used in safety management. This technology has been studied and applied in various industries including architectural, marine, urban, and other industries. However, although tunnel construction in civil engineering has a narrow space and many safety risks, there are not researched about this content. Therefore, this study proposes an advanced safety management model for tunnel construction using the RTLS technology and a measurement method of the feasibility of this model in the construction site.

Keywords : *RTLS(Real Time Location System), RFID, Safety Management, Tunnel Construction*
