

위치추적 센서를 이용한 터널의 실시간 시공관리

이강현¹, 김대원², 문성모³, 조훈희⁴, 강경인⁵, 이인모^{6*}

A real-time construction management of a tunnel using position tracking sensor

Kang-Hyun Lee, Dae-Won Kim, Sung-Mo Mun, Hun-Hee Cho, Kyung-In Kang, In-Mo Lee

ABSTRACT Construction sites are becoming larger and complex with the growth of national economy. Accordingly, it is important to identify real-time information about materials, equipments, and manpower during construction at sites. Even though research utilizing position tracking sensors has been conducted in architectural engineering fields, this area of research is almost nil in civil engineering fields. Therefore, a feasibility study to find a way to apply position tracking sensors to an in-situ tunnel construction site adopting conventional tunnelling method is performed in this study. A methodology is proposed that the progress management of the tunnelling work can be monitored by checking construction materials needed at job site and the safety management system can be assessed by checking distance between in-situ workers and construction equipments. The most representative materials were identified so that IT technology can be applied by attaching and monitoring sensors to the selected materials. Also, time of arrival (TOA) for a position determination technology along with a wireless network technology was chosen and build wireless network system. The adopted methodology was applied to an in-situ tunnelling site, and verified the usefulness of the proposed system.

Keywords: Position tracking, tunnel, construction management, RFID

요약 국가 경제규모의 성장과 더불어 단위 건설현장도 대형화, 복합화 되어 가고 있는 추세이다. 이에 따라 건설현장에서는 효율적인 프로젝트 관리를 위하여 자재, 장비, 인력 등의 자원에 관한 실시간 정보과의 요구가 증가하고 있다. 최근 건축분야에서는 다양한 위치추적 센서를 활용한 시공관리에 대한 연구가 이루어지고 있다. 하지만 토목분야에서는 이러한 연구가 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 터널 시공 방법 중 NATM 공법을 대상으로 위치추적이 가능한 센서를 활용하여 자재를 이용한 진도관리와 장비와 인력간의 안전관리에 있어서 실제 현장에 활용 가능한 방법을 제시하였다. 각 공정의 자재를 이용한 진도관리 방안과 사람과 장비의 거리를 통한 안전관리 방안을 제시하였다. 센서를 부착할 진도관리용 자재를 선정하고, 위치좌표를 계산하기 위한 TOA방식의 무선측위기술과 무선랜을 이용하여 터널 현장에 무선 네트워크 시스템을 구축하였다. 이를 바탕으로 터널 현장에 적용 가능한 모델을 제시하였으며, 현장 예비 시험과 현장시험을 통하여 시스템을 검증하였다.

주요어: 위치추적, 터널, 시공관리, RFID

접수일(2011.2.8), 수정일(2011.3.2), 게재확정일(2011.3.24)

¹비회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정

²비회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 박사수료

³비회원, (주)GNC테크, 이사

⁴비회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수

⁵비회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수

⁶정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수

*교신저자: 이인모 (E-mail: inmolee@korea.ac.kr)

1. 서론

우리나라의 급속한 발전과 더불어 건설 공사 현장도 점점 대형화, 복잡화 되어가면서 원가절감, 공기단축, 안전확보, 품질향상 등의 요구가 증가하고 있다. 따라서 건설 현장의 자재, 장비, 인력 등의 자원에 관한 실시간 정보 파악은 효율적인 공사 관리의 필요성으로 대두되고 있다. 또한 위험 요소가 많은 건설현장의 안전사고 예방을 위한 안전관리 시스템 구축이 필요한 실정이다.

따라서 최근 IT 기술을 건설현장에 접목한 연구들이 다수 진행되고 있다. 그 중에서도 직간접적으로 위치추적을 할 수 있는 센서를 활용한 자재, 장비, 인력 등의 실시간 정보 파악을 위한 연구가 다수 진행되고 있다. 국내에서도 2000년대 초중반부터 건설 분야에 위치추적이 가능한 센서를 적용할 수 있는 방안에 대한 연구가 수행되었다. RFID를 적용한 건설 물류관리 방안(Kim et al., 2004; 구도형 등, 2006)과 건설 자재관리(윤정환 등, 2003; 구도형 등, 2008; 오건수와 송정화, 2010)에 대한 연구가 이루어졌다. 또한 건설현장에서 실시간 위치 추적을 통한 안전관리 방안에 대한 연구도 다수 이루어졌다(김군태, 2009; 이현수 등, 2009). 이러한 연구를 기반으로 건설현장의 자재, 장비, 인력 관리 시스템 구축 및 현장 적용성 평가에 관한 연구로 한재구 등(2007)은 실제 건설현장에 프로토타입으로 노무관리 시스템을 구축하였다. 또한 장비와 장비, 인력과 장비의 안전관리 측면에서 장비의 작업반경을 고려한 알람시스템을 구축한 사례가 있다(이현수 등, 2009; Chae and Yoshida, 2010).

하지만 건축공사에 위치추적 센서를 적용한 다양한 연구와 적용이 이루어지는 것과는 달리 사업 비용이 큰 토목분야의 대형건설현장에 위치추적 센서를 적용한 연구는 전무한 실정이다. 또한 현재까지 건축분야에서 진행된 연구에서 제시된 방법론은 금전적, 기술적 한계로 인하여 실제 토목 현장에 적용하기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 위치추적 센서의 기술적 특성과 위치추적 기술에 대한 고찰을 통하여 터널 현장을 대상으로 위치추적 센서와 무선통신 기술을 이용하여 시공 중 진도관리와 안전관리를 할 수 있는 시스템을 제시하였다. 또한 현장 예비 시험과 현장 시험을 통하여 시스템을 검증하였다. 본 연구에서 제안된 시스템을 통하여 터널 공사 현장의 효율적인 진도관리와 안전관리에 기여하여 공기단축과 위험요소가 많은 터널 현장의 안전 향상을 이룰 수 있을 것으로 예상된다.

2. NATM 공법 분석

현재 주로 쓰이고 있는 터널 시공법은 크게 NATM 공법과 TBM 공법으로 나눌 수 있는데 지반

조건과 공사여건에 따라서 선택적으로 쓰이고 있다. 그 중에서도 NATM 공법은 서울 지하철 1호선을 시작으로 국내에서 광범위하게 쓰이고 있으며, 국제터널협회(ITA)의 통계자료에 따르면 미국, 오스트리아, 독일의 터널 중 60%이상이 NATM 공법으로 시공되었을 정도로 국외에서도 널리 쓰이고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내외에서 주로 쓰이는 NATM 공법으로 시공되는 터널 현장에서 위치추적 센서를 이용한 진도관리와 안전관리 방안을 제시하고자 한다.

NATM 공법에 위치추적 센서의 적용성을 검토하기에 앞서 NATM 공법의 시공순서 및 공정별 투입 자재, 장비, 인력에 대한 분석을 수행하였다. NATM 공법은 일반적으로 천공 → 장약 → 발파 → 버럭처리 → 강지보재(강지보 또는 래티스거더)설치 → 슛크리트 타설 → 록볼트 설치 → 라이닝 타설 순으로 시공이 이루어진다(그림 1). 다만 지반조건에 따라서 지보패턴이 달라지고 막장 및 용수 안정 공법이 추가될 수 있기 때문에 그림 1에 나타난 공정 중 빠지거나, 추가되는 공정이 발생할 수 있다.

터널 내부는 협소한 공간임에도 불구하고 표 1에 나타난 것처럼 각 공정별로 다수의 자재, 장비, 인력이 동시에 투입되며, 투입되는 장비에 따라서 중기운전수 및 조수가 투입된다. 표 1에 나타난 천공을 위한 점보드릴(jumbo drill), 버럭처리를 위한 덤프트럭과 페이로더(payload loader) 등의 중장비의 경우 터널 내부의 크기에 비하여 상대적으로 크기가 크기 때문에 터널 내 위치추적을 위한 전파를 방해할 가능성이 있다. 하지만 이러한 중장비는 터널 막장면에서 작업을 수행하는데 대부분의 시간을 소요하기 때문에 터널 입구부터 막장면 근처까지의 위치추적에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

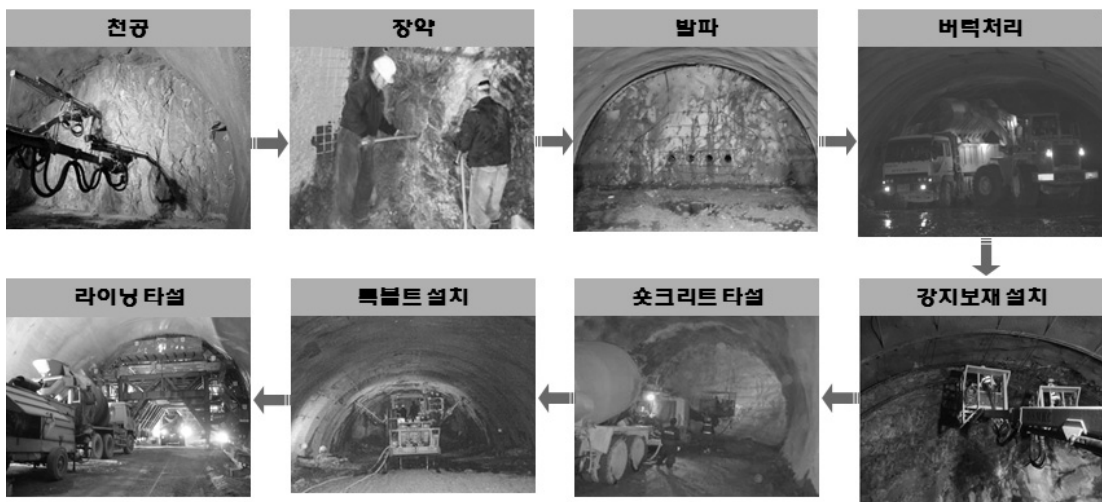


그림 1. NATM 공법의 일반적인 시공순서

표 1. NATM 공법 주요 공정별 자재, 장비, 인력(서울특별시 지하철 건설본부, 2001)

주요공정	투입 자재	투입장비	투입 인력
발파 및 버력처리 (천공, 장약포함)	폭약(정밀폭약, DYNAMITE), 뇌관(MS, LP, 연결뇌관 등)	점보드릴, 페이로더, 덤프트럭,	화약취급공, 보통인부
강지보재운반 및 설치	강재(H형강, 강판, 앵글, 접합부형강, 지보재간연결강재), 볼트, 너트	페이로더, 크레인	철골공, 비계공, 동발공, 보통인부
숏크리트타설 (와이어매쉬설치)	시멘트, 물, 모래, 자갈, 급결재(와이어매쉬)	숏크리트 타설기 믹서트럭	기계공, 특별인부, 보통인부
록볼트설치	이형철근, 지압판, 레진 또는 시멘트몰탈 (시멘트, 모래, 혼화재)	점보드릴 작업대차	갱부, 특별인부, 보통인부
방수공	배수재, 방수시트, 터널부자재(못, 와셔, 카트리지, 란델)	작업대차	보통인부
라이닝 타설	콘크리트(시멘트, 모래, 자갈, 물), 철근, 신축이음	믹서트럭	콘크리트공, 보통인부

3. 위치추적을 위한 핵심요소 분석

3.1 자재, 장비, 인력 선정 및 센서 적용성 평가

NATM 공법에 투입되는 자재를 이용한 진도관리를 수행하기 위해서 위치추적을 위한 센서의 적용성, 공정 시각화, 실용성 여부를 고려하여 진도관리를 자재를 선정하였다(그림 2).

발파 및 버력처리 공정에서는 폭약이 사용되는데, 타 공정에서는 사용되지 않으며 발파의 특성을 대표하므로 폭약을 대표자재로 선정하였다. 또한 시멘트, 혼화재 등의 혼합물로 구성되는 숏크리트는 자재의 반입형태와 시공형태가 다른데, 본 연구는 시공 중 진도관리를 위한 연구이므로 시공되는 형태인 숏크리트를 대표자재로 선정하였다. 이와 같이 각 공정별로 대표자재를 선정하여 표 2에 정리하였다.

현재 직간접적으로 위치 추적을 할 수 있는 센서들이 표 3에 나타나있다. 이 센서들을 터널의 투입자원에 적용하였을 때 각각의 센서에 부여할 수 있는 ID개수와 최대 동시접속 개수에 대한 제약이 존재하므로, 이에 대한 검토를 수행하였다. 수동형 RFID 태그, 능동형 RFID 태그에 할당 가능한 ID의 개수는 14자리까지 가능하기 때문에, 터널공사에 투입되는 자재, 장비, 인력에 각각의 ID를 할당하는데 문제가 없다. 그러나 실시간으로 통신이 가능한 능동형 RFID 태그 기성품은 동시 접속으로 처리할 수 있는 개수가 100개 이하이므로 데이터를 처리하는데 어려움이 있다. 또한 배터

리의 수명이 한시적이며 이에 따른 추가비용이 발생한다. 수동형 RFID 태그의 경우 데이터가 필요할 때 리더기를 직접 접촉하여 데이터를 취득하므로 동시접속이 발생하지 않고, 타 센서들에 비하여 가격이 저렴하다. 따라서 기술적경제적 요소를 고려하여 본 연구에서는 자재의 위치추적을 위한 센서로 수동형 RFID를 사용하였다.

표 2에 선정된 대표자재중에서 진도관리의 효율성 여부와 공정시각화를 고려하여 진도관리용 자재를 선정하였다. 모든 대표자재에 수동형 RFID를 부착하면 슷크리트 타설, 락볼트 설치 등 각각의 공정의 완료여부를 파악할 수 있지만, 경제성이 떨어지며 터널 시공 중 공정의 진도확인을 몇분~몇 시간 단위로 하는 것은 크게 의미가 없다. 따라서 막장 단위로 이루어지는 터널 공정의 특성

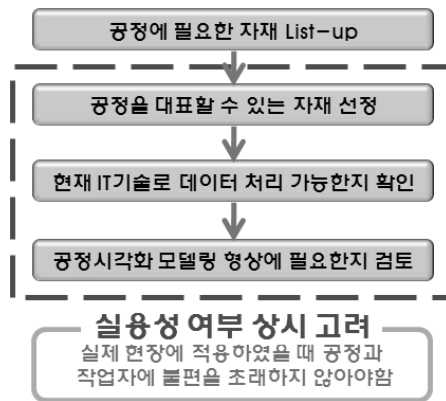


그림 2. 진도관리용 자재 선정 흐름

표 2. 각 공정별 대표 자재(이강현, 2010)

공정	대표 자재
발파 및 버럭처리	폭약
강지보재 운반 및 설치	강지보재(H형강 또는 격자지보재)
슷크리트타설	슷크리트
락볼트설치	락볼트
방수공	방수시트
라이닝타설	라이닝

표 3. 첨단센서의 종류 및 특징

센서의 종류	특징
수동형 RFID 태그	자체 전력 없으며 야기된 전력을 통한 ID 송출, 송신거리(단방향 통신) 2 m 이내
능동형 RFID 태그	자체 전력을 통한 ID 송출, 송신거리 100 이내 (단방향통신)
RF 태그	자체 전력을 통한 ID 송출, 송수신 양방향 통신이 가능

을 고려하였을 때, 어느 막장까지 시공이 되었는지 진도관리를 하는 것이 경제성 측면에서 유리하다. 따라서 수동형 RFID 태그의 부착이 용이한 슛크리트, 굴착 후 수일이 경과한 후에 시공되는 라이닝을 진도관리를 위해 자재로 결정하였다. 슛크리트 공정의 경우 실링(Sealing) 슛크리트, 1차 슛크리트, 지보패턴에 따라 시공되는 2차 슛크리트가 있다. 이 중에서 마지막으로 시공되는 슛크리트의 표면에 수동형 RFID 태그를 설치하고 리더기로 데이터를 취득함으로써, 1 막장의 시공완료 여부를 파악할 수 있다. 라이닝 공정의 경우도 라이닝 표면에 RFID 태그를 설치하고 리더기로 데이터를 취득함으로써, 어느 지점까지 공사가 완료되었는지 파악함으로써 진도관리가 가능하다.

안전사고를 예방하기 위한 안전관리 시스템을 구축하기 위해서는 표 1에 언급된 모든 장비 및 작업자의 위치 추적이 필요하며, 진도관리와 달리 실시간으로 계측이 필요하다. 따라서 실시간으로 인력 및 장비의 위치인식이 가능하도록 RF 태그와 리더기를 조합한 위치인식용 태그를 인력 및 장비에 부착하도록 결정하였다. 일반적으로 터널 막장에 동시에 투입되는 인력은 7~9명, 투입되는 장비는 2~3대 이내이므로, 동시접속에도 무리가 없을 것으로 판단된다.

3.2 무선 측위 기술 선정

위치 추적을 하기 위해서 표 4에 나타난 것처럼 위치 좌표를 계산하는 다양한 측위방법이 사용되는데, 현재 대표적으로 사용되고 있는 기술은 TOA, TDOA, RSSI 이다. RSSI기술은 큰 오차의 발생으로 정확한 위치좌표를 찾아내기 어려우며, TDOA기술은 정확도는 양호하지만 시각 동기 구축의 어려움으로 구현이 불가능하다. 이에 비하여 TOA기술은 정확도가 양호하며 넓은 범위의 위치

표 4. 무선 측위 기술 분류(조영수 등, 2007)

기술	측위방법
Cell-ID	· 기지국의 Cell ID를 통해 위치추적 · Cell반경의 크기에 따라 정확도가 결정-최대 오차 수 km
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	· 미리 주위 환경 정보를 데이터베이스로 구성 · 측위 시 AP에서 수신되는 전파의 특성을 이용하여 데이터베이스를 검색하여 위치값을 추출

추적이 가능하다(이현수 등, 2009).

터널 내부에 시공되는 투입되는 자재, 장비 등의 장애물이 있는 경우 위치 좌표를 얻는데 측정의 정확도가 떨어질 수 있기 때문에 정확도가 뛰어난 무선측위기술이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 정확도와 측정범위를 고려하여 터널 현장에 적용하기에 TOA기술이 적합할 것으로 판단되어, 위치 좌표 계산에 사용하였다.

3.3 무선 네트워크 기술 선정

터널 내에서 취득된 위치정보를 현장 서버에 전달하기 위해서는 무선 네트워크 시스템이 구축되어야 한다. 무선 네트워크 기술은 짧은 거리에서 강한 신호를 주고 받아 정보의 손실 없이 빠른 정보를 전송하여 실시간 위치 추적을 가능하게 해주며(이광표 등 2010), 무선 LAN, Bluetooth, Zigbee, UWB 등의 기술이 있다(표 5).

자재에 부착되는 수동형 RFID 태그는 정보가 필요할 때마다 리더기로 데이터를 취득하므로 빠른 정보의 전송이 필요하지 않지만, 실시간으로 인력 및 장비의 위치 추적을 하기 위해서는 빠른 위치 정보의 전송이 필수적이다. UWB는 최대 전송 속도가 480 Mbps로 빠른 정보의 전송에 적합하다. 그러나 최대 전송거리가 20 m로 너무 짧아 터널의 연장이 수백 m ~ 수 km임을 고려할 때 20 m 간격으로 무선 네트워크 시스템을 구축하는 것은 어려움이 따른다. Zigbee는 최대 전송거리가 75 m로 적절하다고 판단되나 최대 전송속도가 250 Kbps로 빠르지 않다. 이에 비하여 무선 LAN 방식은 최대 전송거리가 100 m로 가장 길고, 최대 전송속도도 54 Mbps로 적절하다고 판단된다. 따라서 무선 LAN 방식을 본 연구에서 제안하고자 하는 모델의 무선 네트워크 기술로 선정하였다.

표 5. 무선 네트워킹 기술 특성 비교(이현수 등, 2009)

무선네트워크기술	무선 LAN	Bluetooth	ZigBee	UWB
주파수 대역	2.4/5 GHz	2.4 GHz	868/915 MHz 2.4 GHz	3.1~10.6 GHz
최대 전송속도	11~54 Mbps	1 Mbps	250 Kbps	480 Mbps
최대 전송거리	100 m	10 m	10~75 m	20 m
소리 전력	800~1600 mW	50/80 mW	1/75 mW	~200 mW
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

4. 실시간 통합관리 시스템

앞서 터널 현장에 IT기술을 적용하기 위하여 진도관리용 자재, 안전관리 대상을 선정하였다. 그리고 자재, 장비, 인력에 적용할 센서를 선택하고 터널 내에 사용할 무선측위기술, 무선 네트워크 기술을 선정하였다. 이를 통해 터널의 폐쇄적인 구조적 공간 특성을 고려한 NATM 터널 공사현장에 자재를 이용한 진도관리와 인력 및 장비의 안전관리를 할 수 있는 모델을 제시하였다.

수동형 RFID 태그와 위치인식용 태그의 위치좌표를 계산하기 위한 앵커(anchor)를 터널 내부

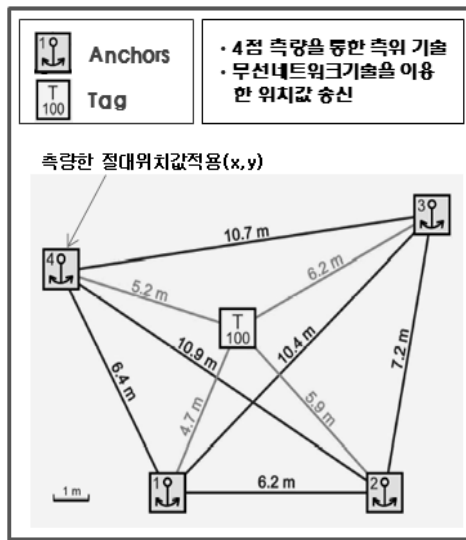
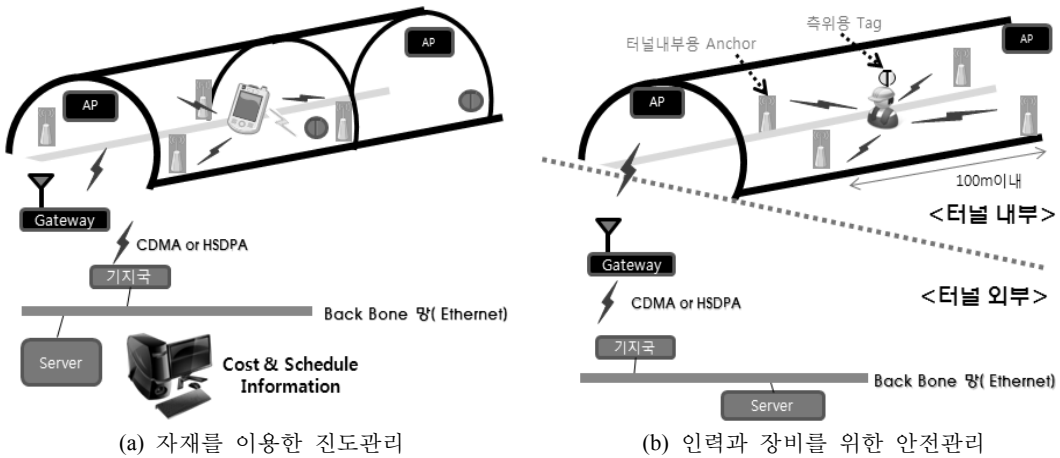


그림 3. 무선 정밀 측위 시스템 개념도



(a) 자재를 이용한 진도관리

(b) 인력과 장비를 위한 안전관리

그림 4. 터널 현장 실시간 위치파악 개념도

4개의 지점에 설치하고, 4점안에 위치한 자재, 장비, 인력에 부착된 태그의 위치를 파악하는 무선 정밀 측위 시스템을 구축하였다(그림 3). 4개의 앵커를 터널 굴착방향을 따라서 100 m 간격으로 연속적으로 설치함으로써, 터널 내부에 위치한 모든 태그의 위치좌표가 계산 가능하다. 이 때 위치 좌표는 태그 안에 내장된 정보와 함께 태그로부터 무선 AP(Access Point)로 전달되고, 갱구부 근처의 게이트웨이를 통하여 휴대전화 통신방식의 일종인 CDMA(Code Division Multiple Access)통신으로 기지국에 전달된다. 그리고 최종적으로 기지국으로부터 현장 서버에 정보가 전달된다(그림 4).

그림 4와 같이 터널현장에 구축한 무선 네트워크 시스템을 통하여 태그의 정보 및 위치좌표가 원활하게 서버로 전송된다면, 그림 5와 같은 실시간 통합관리 시스템을 구축할 수 있다. 자재에 부착된 수동형 RFID 태그로부터 들어오는 신호와 3D 모델링 데이터의 슛크리트와 라이닝 요소와 연계시킴으로써, 실시간 통합관리 시스템의 화면상에 시공된 슛크리트와 라이닝의 모습이 3D 모델 형태로 시각화되어 나타나며 공정의 진척을 파악할 수 있다. 즉 자재에 부착된 센서로부터 송신되는 신호를 이용하여 공정의 진행사항을 한눈에 파악하고 즉시 적절한 조치를 취해 효율적인 진도관리를 수행할 수 있으며, 시공에 소요된 물량의 파악이 가능하다. 또한 장비, 인력의 위치추적을 통하여 장비의 작업 반경 안에 작업자가 위치하는 경우 알람신호 또는 진동신호를 줌으로써 작업자의 안전을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 이 정보를 웹기반 서비스로 제공하여 본사, 발주처에서도 활용 가능할 것이다.

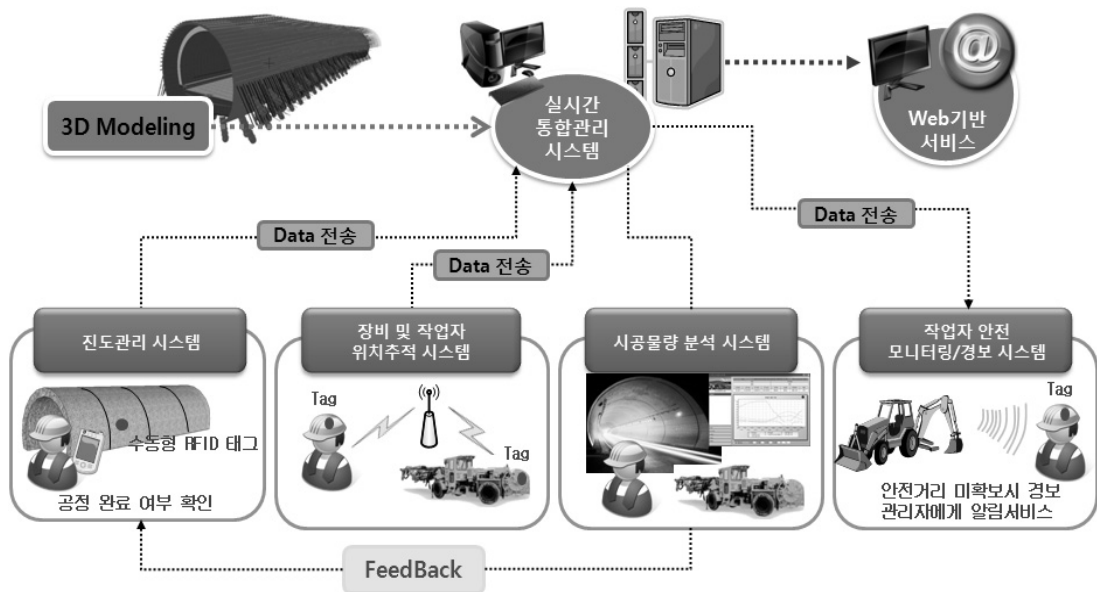


그림 5. 실시간 통합관리 시스템(안)

5. 현장 적용성 시험

본 연구에서는 실시간 통합관리 시스템을 구축하기 위해 필요한 자재, 장비, 인력의 실시간 위치 추적 시스템을 검증하기 위하여 실외 및 터널 현장에서 태그 인식거리 시험, 위치 정보 수집 시험, 무선랜 시험을 수행하였다.

5.1 현장 예비 시험

현장 시험을 수행하기에 앞서 실외에서 태그 인식거리 시험, 위치 정보 수집 시험을 수행하였다. 수동형 RFID 태그 인식거리 시험을 수행하기 위하여 수동형 RFID 태그로 메탈 태그와 비메탈 태그, 작업자의 편의를 고려하여 휴대가 간편한 Handheld 타입의 리더기를 준비하였다. 실제 현장에서 쏫크리트와 라이닝 표면에 수동형 RFID 태그를 부착할 것을 고려하여, 메탈 태그와 비메탈 태그를 콘크리트 면에 부착시킨 후에 리더기로 데이터를 취득할 수 있는 최대 거리를 측정하였다.

메탈 태그는 최대 인식거리 150 cm로 나타났으며, 비메탈 태그는 최대 인식거리가 45 cm로 약 1 m의 차이가 발생하였다. 일반적으로 철근이나 금속같은 반사체의 경우 비메탈 태그의 인식에 방해요소로 작용하는데, 실험결과 역시 콘크리트 내부에 위치한 철근 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 따라서 터널 공사현장에서는 철근 및 장비들로 인하여 간섭효과가 발생하지 않는 특성을 가지고 있고, 인식거리가 상대적으로 긴 메탈 태그를 사용하는 것이 현장 인력이 태그의 정보를 편리하게 취득할 수 있을 것으로 판단된다.

위치 정보 수집 시험을 수행하기 위하여 앵커 4개, 위치인식용 태그 1개, 위치인식 측정을 위한 노트북을 준비하였다. 앵커를 터널 내부에 설치하였을 경우 장비 및 인력이 이동하면서 손상될 가능성이 있기 때문에 별도의 거치대를 이용하여 앵커를 설치하였으며, 노트북에는 위치좌표표를 시각적으로 보여주는 프로그램을 탑재하였다. 위치 정보 수집 시험을 수행한 순서는 다음과 같다.



(a) 위치 인식 시스템 구성

(a) 위치인식 노트북

(b) 설치된 앵커 모습

그림 6. 위치 인식 시스템 구성 및 시험 전경

표 6. 위치정보 수집 시험 결과

실제 거리 (m)	위치인식 거리 (m)		오차 (m)		오차율 (%)		실제 거리 (m)	위치인식 거리 (m)		오차 (m)		오차율 (%)	
	Tag 1	Tag 2	Tag 1	Tag 2	Tag 1	Tag 2		Tag 1	Tag 2	Tag 1	Tag 2	Tag 1	Tag 1
3.0	3.2	4.7	-0.2	-1.7	6.3	36.2	17.0	17.4	16.8	-0.4	0.2	2.3	1.2
4.0	4.4	4.4	-0.4	-0.4	9.1	9.1	18.0	18.8	17.9	-0.8	0.1	4.3	0.6
5.0	5.9	5.8	-0.9	-0.8	15.3	13.8	19.0	20.2	22.0	-1.2	-3.0	5.9	13.6
6.0	6.2	6.7	-0.2	-0.7	3.2	10.5	20.0	20.2	22.3	-0.2	-2.3	1.0	10.3
7.0	7.4	8.5	-0.4	-1.5	5.4	17.7	21.0	21.2	21.6	-0.2	-0.6	0.9	2.8
8.0	8.6	9.2	-0.6	-1.2	7.0	13.0	22.0	23.0	22.0	-1.0	0.0	4.4	0.0
9.0	9.5	12.0	-0.5	-3.0	5.3	25.0	23.0	24.5	23.7	-1.5	-0.7	6.1	3.0
10.0	10.2	11.5	-0.2	-1.5	2.0	13.0	24.0	25.2	25.0	-1.2	-1.0	4.8	4.0
11.0	11.3	11.4	-0.3	-0.4	2.7	3.5	25.0	25.7	27.7	-0.7	-2.7	2.7	9.8
12.0	14.0	12.3	-2.0	-0.3	14.3	2.4	26.0	26.7	29.0	-0.7	-3.0	2.6	10.3
13.0	14.6	13.3	-1.6	-0.3	11.0	2.3	27.0	29.0	27.3	-2.0	-0.3	6.9	1.1
14.0	14.7	14.2	-0.7	-0.2	4.8	1.4	28.0	28.4	28.2	-0.4	-0.2	1.4	0.7
15.0	15.6	17.5	-0.6	-2.5	3.9	14.3	29.0	32.0	29.8	-3.0	-0.8	9.4	2.7
16.0	16.7	16.8	-0.7	-0.8	4.2	4.8	30.0	33.5	31.2	-3.5	-1.2	10.5	3.9
평균										0.9	1.1	5.6	8.2

- ① RF 리시버를 노트북에 시리얼로 연결하여 위치인식 프로그램을 실행한다.
- ② 앵커 4개를 사각형(정사각형 또는 직사각형, 1셀)으로 배치시키고 사각형의 안쪽에 위치 인식용 태그를 위치시킨다.
- ③ 위치 인식용 태그를 이동시켜가면서 위치 좌표를 취득한다.

위치인식용 태그의 거리를 1 m씩 이동해가면서 3 m~30 m까지 시험을 수행한 결과, 실제거리 30 m 지점에서 최대 3.5 m, 실제거리 18 m 지점에서 최소 0.1 m의 오차가 발생하였다. 오차의 절대값을 평균하여 구한 결과 평균적으로 약 1.0 m(약 6%)의 오차가 나타났으며, 2개의 태그 모두 실제거리에 따른 오차의 경향성은 나타나지 않았다(표 6). 따라서 위치인식 오차는 실제거리에 따른 영향은 존재하지 않으며, 위치인식 시스템의 정밀도에 영향을 받는 것으로 판단된다.

5.2 현장시험

실시간 위치추적시스템을 검증하기 위하여 NATM 공법으로 시공되는 강원도 인제군 춘천-양양 간 ○○공구와 충청북도 충주시 충주-제천간 ○○공구에서 현장시험을 수행하였다. 기존의 현장 예

비 시험에서 수행한 시험과 마찬가지로 터널 내부에서 수동형 RFID 태그 인식 시험, 위치 정보 수집 시험을 수행하였으며, 추가적으로 터널에서 내외부에서 무선 네트워크 환경을 시험하였다. 두 현장 모두 동일한 방법으로 시험을 수행하였으며, 모든 시험에서 유사한 결과가 나타났다.

수동형 RFID 태그 인식 시험에 사용된 장비는 현장 예비 시험과 동일한 메탈 태그와 비메탈 태그를 준비하고, 각각의 태그에 임의의 정보를 입력하였다. 수동형 RFID 태그를 최종 슛크리트 타설면의 임의의 장소에 부착하고 리더기를 이용하여 데이터를 취득하면서 최대 인식 거리를 구했다. 그림 7은 위치인식 시험 과정을 보여준다. 시험결과 메탈 태그는 리더기와의 거리가 90 cm일 때까지 100% 인식되고, 비메탈 태그는 35 cm일 때까지 100% 인식되었다. 현장 예비 실험에서 얻은 결과와 마찬가지로 메탈 태그가 비메탈 태그에 비하여 인식거리가 길게 나타났으나, 두 개의 태그 모두 현장 예비 시험에서 얻은 결과보다 인식거리가 감소하였다. 이러한 결과는 현장의 특성상 통신이 원활하지 않고 철로 된 자재가 많이 분포하는 등의 통신 장애 요소로 인하여 이런 결과가 나타난 것으로 판단된다. 따라서 실제 리더기를 사용하는 현장 인력이 데이터를 취득하는 편의성을



그림 7. 수동형 RFID 태그 인식 시험

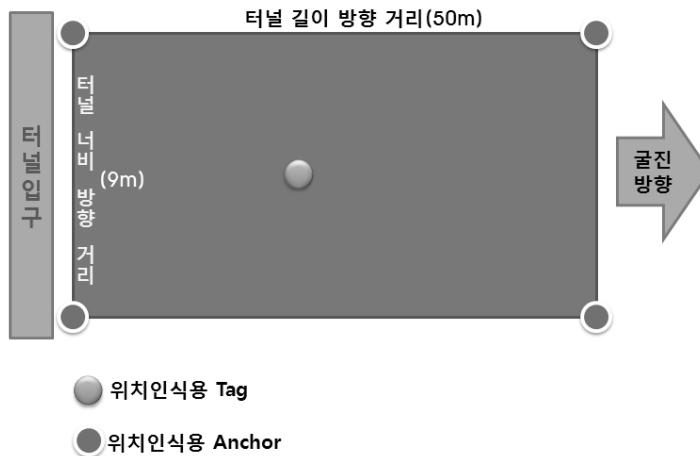


그림 8. 위치인식용 앵커 배치도

고려하였을 때, 인식거리가 긴 메탈 태그를 사용하는 것이 적절하다고 판단된다.

현장 여건을 고려하여 앵커간의 거리를 50 m 설정하고 앵커와 태그를 그림 8과 같이 배치한 후에, 위치추적의 정확도를 평가하기 위하여 위치인식용 태그를 이동해가며 광파기로 측정하여 얻어진 실제 위치좌표와 위치인식시스템을 통하여 얻어진 위치좌표와 비교하였다.

시험 결과 최대 오차는 지점 2에서 약 3.15 m로 나타났으며, 평균적으로 약 1.5 m 정도의 오차가 나타났다(표 7, 그림 9). 평균 오차 1.5 m는 한 막장 정도의 거리로 진도관리를 수행하는데 있어서 큰 오차가 아니라고 판단된다. 그러나 최대 오차 3.15 m는 하루에 시공되는 두 막장 정도의 거리로 공정의 진척도를 정확히 평가하지 못할 수 있으며, 장비와 인력간의 안전관리 시스템에 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 차후 IT기술이 발전함에 따라서 하드웨어적인 보완과 위

표 7. 실측값(광파기)과 측정값(위치인식시스템 측정 평균치) 비교 결과

지점	광파기 측정		무선측위 측정		오차(m)		
	길이방향	너비방향	길이방향	너비방향	길이방향	너비방향	총 거리
1	44.5236	7.4537	45.1019	7.1186	-0.5783	0.3351	0.6684
2	44.5694	1.5033	47.3000	3.0918	-2.7306	-1.5885	3.1590
3	34.9650	2.1880	34.8194	2.9067	0.1456	-0.7187	0.7333
4	34.6295	7.2192	34.9799	5.6462	-0.3504	1.5730	1.6116
5	24.9000	2.0063	24.8885	3.1655	0.0115	-1.1592	1.1593
6	24.8438	6.9280	24.7271	5.4078	0.1167	1.5202	1.5247
7	9.9011	1.8573	9.5074	2.1092	0.3937	-0.2519	0.4674
8	10.3267	6.9000	7.6873	5.9217	2.6394	0.9783	2.8149
9	2.7366	2.0507	1.3749	1.7963	1.3617	0.2544	1.3853
	평균				0.9253	0.9310	1.5027

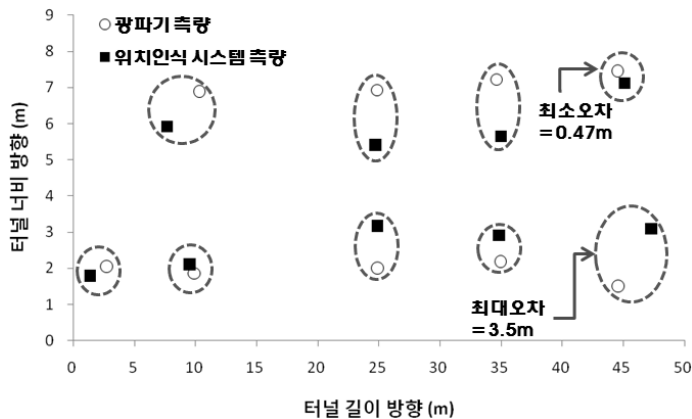


그림 9. 실측값(측량기)과 측정값(위치인식시스템 측정 평균치)의 위치

치 보정에 대한 소프트웨어적인 측면의 보완을 통하여 위치인식 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

터널 내부에서 통신 환경을 시험하기 위하여 IEEE 802.11 b/g 타입의 무선랜을 이용해 터널 내부에서 터널 입구에 위치한 게이트웨이와 최대 무선 통신 거리를 측정하였다. 현장 실험의 편의를 위해 게이트웨이는 노트북으로 대체하여 시험을 진행하였다. 무선랜 시험 결과 20 m, 50 m, 100 m까지 원활한 통신이 이루어 졌으나, 120 m부터는 통신이 잘 이루어지지 않았다. 터널 막장 안에서의 무선 네트워크 환경은 터널 내부 면적에 의한 영향이 존재할 것으로 판단된다. 그러나 국내 도로터널의 경우 평균적으로 너비 9 m (2차선) 내외이므로, 다른 터널 현장도 시험을 수행한 현장과 유사하다는 개념으로 접근 시 터널 내부에서 통신 장애가 발생하지 않는 무선 통신거리는 100 m이내가 될 것이다. 그러나 이는 IEEE 802.11 b/g 타입의 무선랜에 국한된 통신 거리이며 제조회사별, 가격에 따라 차이가 발생할 있으므로, 현장의 경제적, 기술적 요구조건에 따라 통신방식 및 기기를 결정해야 한다.

일반적으로 NATM 터널 현장이 위치한 곳은 도심지와 멀리 떨어져 있어 터널 내부에 무선네트워크 시스템을 구축하더라도, 터널입구에서 현장사무소까지 별도의 무선 네트워크 시스템을 구축해야 한다. 그러나 터널 현장과 현장사무소까지의 거리가 수 km에 위치하기 때문에, 수 km 구간에 무선 네트워크 시스템을 구축하는 것은 경제성이 떨어진다. 따라서 휴대폰에 주로 사용되는 CDMA 통신방식을 이용하여 터널 입구의 게이트웨이에서 현장 사무소에 해당하는 터널 외부의 서버로 태그(수동형 RFID 태그, 위치인식용 태그)에 저장되어 있는 정보의 전송이 원활한지 시험하였다. 기지국과 통신하여 받은 IP로 원격 서버를 구축하고 터널 내부에서 리더기를 통하여 얻어진 태그의 정보가 원격 서버로 잘 전송되는지의 여부를 시험한 결과, 태그에 저장된 정보가 원활하게 원격 서버로 전송되는 것을 확인할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 터널 시공 방법 중 NATM 공법을 대상으로 첨단센서를 적용할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 자재를 이용한 진도관리와 장비와 인력간의 안전관리에 있어서 실제 현장에 활용 가능한 방법을 제시하고, 현장 예비 시험과 현장 시험을 통하여 검증하였다. 이상의 연구로부터 얻어진 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 밀폐된 터널 환경의 특이성과 첨단센서의 기술적, 경제적 특성을 고려하여 진도관리용 자재에 부착할 센서로 수동형 RFID 태그를 선정하였다. 또한 RF 태그와 리더기를 결합하여 인력 및 장비에 부착할 위치인식용 태그를 제작하였다.

2. 터널 시공 시 첨단센서를 적용할 진도관리용 자재로 마지막 슛크리트 공정의 슛크리트와 라이닝 타설 공정의 라이닝을 선정하였다.
3. 터널 현장에 적합한 무선측위기술로 TOA방법을 채택하고, 무선 네트워크 기술로는 무선랜 방식을 채택하였다. 그리고 이를 이용한 인력, 장비의 실시간 위치파악 시스템을 제시하였다.
4. 수동형 RFID 태그로부터 들어오는 신호와 3D모델링과 연계시켜 실시간 공정을 시각화하여 효율적인 진도관리와 위치인식용 태그로부터 들어오는 인력 및 장비의 위치추적을 통하여 안전관리를 할 수 있는 방법을 제시하였다.
5. 현장 예비 시험과 현장시험을 통하여 RFID 태그의 인식거리 실험을 수행한 결과 비메탈 태그에 비하여 인식거리가 긴 메탈 태그를 현장에 적용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한 위치인식 시험 결과 평균적으로 약 1.5 m 정도의 오차가 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 구축한 시스템이 터널 현장에 적절하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
6. 터널내부·터널내부의 통신을 시험하기 위한 수행한 무선랜 시험결과 100 m까지 통신이 원활히 이루어지는 것으로 나타났다. 또한 CDMA를 이용하여 터널내부·터널외부의 통신을 시험한 결과 원활한 통신이 이루어지는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술 혁신사업의 “첨단센서 기반의 대형 건설현장 실시간 시공관리 기술 개발” 연구비지원(09기술혁신E05)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 구도형, 윤수원, 진상윤(2006), “RFID를 이용한 건설 물류관리 프로세스 타입 분석”, 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, 수원, pp. 161~166.
2. 구도형, 윤수원, 진상윤, 김예상, 권순욱(2008), “RFID 기술적용 가능성 평가를 위한 각 공종별 주요자재 특성분석”, 한국건설관리학회 논문집, 제9권, 제2호, pp. 159~169.
3. 김균태(2009), “건축공사현장의 안전관리 모니터링을 위한 USN 기술 적용에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집, 제9권, 제4호, pp. 103~109.
4. 서울특별시 지하철 건설본부(2001), “지하철 9호선 토목분야 적산자료II - 터널공법”, 서울특별시 지하철 건설본부, pp. 2-1~9-4.
5. 오건수, 송정화(2010), “RFID를 활용한 건설공사 자재관리 방안 연구”, 한국산학기술학회 논문지, 제

-
- 11권, 제1호, pp. 242~249.
6. 윤정환, 김예상, 진상윤, 김창덕, 최윤기, 전재열, 임형철(2003), “SCM기반 Automated Life-Cycle Management System 구축방안(초고층 빌딩 커튼월을 중심으로)”, 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, 수원, pp. 430~433.
 7. 이광표, 이현수, 박문서, 김현수, 백윤주(2010), “건설 안전관리를 위한 실시간 위치추적(RTLS)기술 개발”, 한국건설관리학회 논문집, 제11권, 제2호, pp. 106~115.
 8. 이강현, 김대원, 문성모, 백영인, 이인모(2010), “터널의 실시간 시공관리를 위한 첨단센서의 기술 적용 방안”, 한국지반공학회 정기학술발표대회 논문집, 성남, pp. 1438~1447.
 9. 이현수, 이광표, 박문서, 김현수, 이사범(2009), “위치추적기술을 이용한 BIM기반 건설현장 안전관리 시스템”, 한국건설관리학회 논문집, 제10권, 제6호, pp. 135~146.
 10. 조영수, 조성윤, 김병두, 이성호, 김재철, 최안식(2007), “실내외 연속측위 기술 동향”, 전자통신동향분석, 제22권, 제3호, pp. 20~28.
 11. 한재구, 권순욱, 조문영(2007), “RFID기술을 활용한 건설현장의 노무관리시스템 프로토타입구축”, 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, 부산, pp. 853~858.
 12. Chae, S., Yosida, T. (2010), “Application of RFID technology to prevention of collision accident with heavy equipment”, Automation in Construction, Vol. 19, No. 3, pp. 368~374.
 13. Kim, C., Huh, Y., Kwon, S. (2004), “Material management using radio-frequency identification (RFID) in the construction industry”, 한국건설관리학회 논문집, 제5권, 제1호, pp. 107~113.