

터널의 실시간 시공관리를 위한 첨단센서의 기술 적용 방안

An Application of Cutting-edge Technology Sensors to Real-Time Construction Management of a Tunnel

이강현¹⁾, Kang-Hyun Lee, 김대원²⁾, Dae-Won Kim, 문성모³⁾, Sung-Mo Mun
백영인⁴⁾, Young-In Baek, 이인모^{5)*}, In-Mo Lee

¹⁾ 비회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정

²⁾ 비회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 박사수료

³⁾ 비회원, (주)코어벨 차장

⁴⁾ 비회원, (주)센서웨이 전무

⁵⁾ 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수 (inmolee@korea.ac.kr, 교신저자)

Abstract : Construction sites are becoming larger and complex with the growth of national economy. Accordingly, It is essential to indentify real-time information about materials, equipments and manpower during construction at job sites. Even though research utilizing cutting-edge sensors has been conducted in architectural engineering field; this area of research is almost nil in civil engineering field. Therefore a feasibility study to find a way to apply cutting-edge sensors to an in-situ tunnel construction site adopting NATM is tried as the first step. After listing all construction materials needed in each activity, the most representative materials were identified so that IT technology can be applied by attaching and monitoring sensors to the selected materials; shotcrete and lining were selected as representative materials. Moreover, a plan to visualize construction process and progress management system using selected representative materials was proposed.

요 지 : 국가 경제규모의 성장과 더불어 단위 건설현장의 규모도 대형화, 복잡화 되어 가고 있는 추세이다. 이에 따라 건설현장의 다양한 자재, 장비, 인력 등의 자원에 관한 실시간 정보파악은 효율적인 프로젝트 관리의 필요성으로 대두되었다. 최근 건축분야에서는 다양한 첨단센서를 활용한 연구와 적용이 이루어지고 있다. 그러나 토목분야에는 이러한 연구가 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 NATM 공법을 이용한 터널 시공 중 첨단센서를 적용할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 자재를 이용한 진도관리에 있어서 실제 현장에 활용 가능한 방법을 제시하였다. 각 공정을 수행하는데 사용되는 자재목록을 만든 후에 공정의 대표여부, IT기술의 적용성을 검토하여 대표자재로 슛크리트와 라이닝을 선정하였으며, 선정된 대표자재를 이용한 공정시각화 및 진도관리 방안을 제시하였다.

Key words : RFID, Tunnel construction, Construction management, Cutting-edge Technology sensor

1. 서 론

국가 경제규모의 성장과 더불어 단위 건설현장의 규모도 대형화, 복잡화 되어 가고 있는 추세이다. 단위 건설현장의 대규모화에 따라서 프로젝트의 효율적인 관리는 필수적이다. 시공관리가 효율적으로 이루어지지 않는다면 공기 지연, 비용의 증가, 생산성 하락 등의 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 효율적이고 생산성 있는 시공관리를 위하여 GPS, RFID, USN 등을 활용한 첨단 IT 기술을 활용한 기술개발 및 연구가

이루어지고 있다. 첨단 IT 기술을 활용한 인력, 자재, 장비 등의 자원에 실시간 정보를 파악하여 프로젝트 관리의 효율성을 제고함으로써 공기단축, 원가절감 및 품질과 안전의 확보를 달성할 수 있다. 하지만 건축공사에 IT기술을 적용한 다양한 연구와 적용이 이루어지는 것과는 달리 사업비용이 큰 토목분야의 대형건설 현장에서는 거의 전무한 실정이며, 건축분야에서 현재까지 진행된 연구에서 제시되는 방법론은 금전적, 기술적 한계로 인하여 실제 현장에 적용하기 어려우며, 실제 건설현장에 적용 가능한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 터널 건설프로젝트의 전 생애주기의 각 단계 가운데 시공단계에 있어서 NATM 공법에 첨단센서를 활용할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 자재를 이용한 공정 시각화 진도 관리에 있어서 실제 현장에 적용 가능한 방법을 제시해보고자 한다. 이는 건설현장의 효율적인 진도관리와 공기단축에도 기여할 것으로 사료된다.

2. 배경이론

2.1 RFID의 정의 및 분류

RFID(Radio-Frequency IDentification) 기술이란 전파를 이용해 먼 거리에서 정보를 인식하는 기술을 말한다. 여기에는 RFID 태그(이하 태그)와, RFID 판독기(이하 판독기)가 필요하다. 태그는 안테나와 집적회로로 이루어지는데, 집적회로 안에 정보를 기록하고 안테나를 통해 판독기에게 정보를 송신한다. 이 정보는 태그가 부착된 대상을 식별하는 데 이용된다. 쉽게 말해, 바코드와 비슷한 기능을 하는 것이다. RFID가 바코드 시스템과 다른 점은 빛을 이용해 판독하는 대신 전파를 이용한다는 것이다. 따라서 바코드 판독기처럼 짧은 거리에서만 작동하지 않고 먼 거리에서도 태그를 읽을 수 있으며, 심지어 사이에 있는 물체를 통과해서 정보를 수신할 수도 있다. RFID는 사용하는 동력으로 분류할 수 있다. 오직 판독기의 동력만으로 칩의 정보를 읽고 통신하는 RFID를 수동형(Passive) RFID라 한다. 반수동형(Semi-passive) RFID란 태그에 건전지가 내장되어 있어 칩의 정보를 읽는데는 그 동력을 사용하고, 통신에는 판독기의 동력을 사용하는 것을 말한다. 마지막으로 능동형(Active) RFID는 칩의 정보를 읽고 그 정보를 통신하는 데 모두 태그의 동력을 사용한다. 수동형과 능동형 RFID에 대한 비교를 표 1에 제시하였다.

표 1. 수동형과 능동형 RFID에 대한 비교

구 분	능동형(Active) RFID	수동형(Passive) RFID
Tag 전원 공급	Tag 자체에서 공급	Reader 기에서 공급
Tag 배터리 유/무	Yes	No
Tag 전원의 연속성	Continous	Only within field of reader
통신 거리	넓은 범위(100m 이상)	짧은 범위(3m 이하)
Sensor 데이터 전송	센서데이터를 지속적으로 저장 및 전송이 가능	Reader로부터 전원이 공급될때만 센서 데이터 전송이 가능
Data 저장	Large read/write data storage(e.g. 128KB)	Small data storage(e.g 128 bytes)

2.2 RFID의 적용 사례

RFID의 응용분야는 건설분야뿐만 아니라 비건설분야에서도 다양하게 적용되고 있다. 국내에서도 2000년대 초중반부터 건설 및 토목분야에의 RFID에 대한 적용이 이루어지고 있다. 국내의 건설분야에서는 레미콘자재관리(최철호, 2004), 천정마감자재관리(권순욱, 2004) 커튼월자재관리(Chin, 2004), 철골자재관리(조창연, 2006), 초고층건물공사의 자재반출, 레미콘, 철골, 커튼월을 종합적으로 관리하는데 RFID기술을 활용한 사례가 있다.

해외에서는 Bechtel사(CII, 2003)에서 자재반입 및 관리에 RFID를 활용하여 자재의 반입관리 프로세스 소요시간을 30%정도 단축한 사례가 있고, 광산 근로자들의 작업시간을 관리할 수 있도록 RFID 시스템을 도입하여 근로자의 이름, 파견회사, 근무시간, 근무지역등의 정보를 확인하여 근태기록 시스템에 연결하여 관리한 사례가 있다. 또한 호주의 The North-South Bypass tunnel프로젝트는 RFID를 작업자와 장비에 붙여 효율적인 장비와 인력관리가 이루어지도록 하였으며(그림 2), AMCE사는 나이지리아의 석유, 가스, 전기 시설 설비에RFID를 각 시설설비에 부착하여 유지보수를 효율적으로 수행하였다(그림 3).



그림 2. RFID를 적용한 터널의 인력장비관리



그림 3. 설비 관리분야에 적용한 RFID

건설분야 이외에도 비건설 분야에도 RFID의 적용이 활발해지고 있다. 대표적인 분야로는 유통물량, 교통, 의료 분야 등에 적용되고 있으며 RFID의 적용분야 및 사례를 표 2에 정리하였다.

표 2. RFID의 적용분야 및 사례

건설분야		비건설분야	
Material Management	자재 견적조사, 청구서 및 계약서	유통물량	운송중인 물품과 자산의 정보 제공 무인상점 의류 구매
	자재 점검, 선적 및 운송 자재 보관 및 유지관리		문화
	자재의 설치 및 반품 장비의 시동	국방	모의 군사훈련 시스템
	도급업자에 대한 장비보증 장비위치 및 허가기록 추적	식품	농작물의 보관상태 확인
Maintenance	점검과정에서의 도움	교통	승차티켓 구매 시스템
	장비의 부위별 수리기록 및 가동기록 유지		시각 장애인용 버스탑승 도우미
	장비관련 정보제공		의료
Field Operation	인력관리	기타	유물배치도 형상화 및 침입여부 판단
	일정관리		카지노의 게임운영과 도난 방지 시스템
	안전관리		
	작업상태		
Fleet 관리			

2.3 공정시각화

현재 토목구조물 설계시에 주로 쓰는 상용화된 설계 프로그램은 2D CAD를 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 지층의 모사나 터널의 접속부 같은 경우에는 2D 도면상에서 정확히 모사되지 않을 뿐만 아니라 전문가가 아닌 일반인이 도면을 이해하는데는 어려움이 있다. 또한 건축물에 있어서는 기존의 사각형 건물이 아닌 비정형 건물의 등장으로 인하여 2D 도면의 한계가 발생하였다. 이에 건축분야에서는 Autocad, Revit 등의 모델링 프로그램을 이용하여 3차원으로 설계를 하고 있고, 공사비, 일정을 연계한 BIM연구에도 활발히 추진하고 있으나, 토목분야에의 3차원 모델링 조차도 거의 실무에 적용되지 않고 있는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 토목분야 중에서 터널공사의 각각의 공정을 실제와 동일하게 보여줌으로써 2D 도면의 한계를 극복하고, 시공오차를 줄이는데 기여할 것으로 사료된다.

3. 터널 공법의 분류 및 현황

3.1 터널 공법의 분류 및 현황

현재 시공되고 있는 터널 시공법은 NATM(New Austrian Tunneling Method)과 TBM(Tunnel Boring Machine)공법으로 크게 나눌 수 있다. NATM공법은 발파 및 굴착을 통해서 굴진하여 슛크리트 및 록볼트를 주 지보재로 사용하여 보강하는 시공법이고, TBM공법은 기계를 이용하여 굴착하는 동시에 NATM공법과 동일한 지보재를 사용하거나 세그먼트를 주지보재로 사용하여 지반을 보강하는 시공법이다. 최근 들어 선진국에서의 터널굴착방법은 발파 굴착에 의한 재래식 터널공법(Conventional tunnelling method)과 기계식 터널공법(Mechanized tunnelling method)으로 양분되고 있다. 더욱이 소음과 진동 등의 환경피해를 최소화하고 노동력을 절감할 수 있으며, 장대터널에서 급속시공을 하면 경제적인 터널시공이 가능하다는 점에서, 터널 기계화시공의 비중이 더욱 증대되고 있다. 현재 세계 터널 공사에서 TBM공법을 적용하는 비율은 유럽이 80%로 가장 높고, 이어 일본 60%, 미국 50%, 중국 40%, 대만 30%로 파악됐다. 반면 한국은 NATM공법에 밀려 활용률이 극히 저조하여 TBM이 쓰이는 비율은 한 자릿수에 그치고 있다.

우리나라에는 1970년대 후반 국내에 산발적으로 NATM공법이 도입 적용되었으나, 1980년대에 들어서 서울지하철 건설로 인하여 활성화되었다. 현재는 개착이 어려운 터널공사 및 대부분의 터널공사에 NATM공법을 이용하여 시공되고 있으며, 현재까지 국내에 시공된 터널공사의 90% 이상이 NATM공법을 이용하여 시공되었을 정도로 널리 쓰이는 공법이다. 국외에서는 NATM공법대신 현재 TBM공법을 이용하여 많은 터널이 시공되고 있으나, 국제터널협회(ITA)의 통계자료에 의하면 미국, 오스트리아, 독일 등지에서 시공된 터널 중 60% 정도가 NATM 공법으로 시공되었을 정도로, 광범위하게 적용되고 있는 공법이다.

따라서 본 연구는 국내에서뿐만 아니라 국외에서도 광범위하게 적용되었으며, 일반적으로 사용되는 NATM 공법을 분석대상으로 선정하였다.

3.2 NATM 공법의 분류

NATM공법은 발파 및 굴착을 통해서 굴진하여 슛크리트 및 록볼트를 주 지보재로 사용하여 보강하는 시공법으로, 굴착 시 어느 정도의 변위를 허용하면서 지반자체의 안정을 유도하는 공법으로 단단한 지반에서는 발파에 의한 굴착으로 시공성을 확보할 수 있으나, 연약한 지반에서는 터널의 안정성을 보장하기 위해 별도의 보강공법이 필요하다. 또한 용수가 많아 슛크리트의 시공이 곤란한 경우가 많으므로 주변 지반의 상태, 용수상태에 따라서 주공법 외에 보조공법을 병용할 필요가 있다.

보강공법은 크게 두 개로 분류할 수 있다. 용수처리공법과 막장의 안정에 관한 공법이 그것이다. 용수처리공법은 지수공법과 배수공법으로, 막장의 안정에 대한 공법은 천단의 안정과 막장의 안정에 대한 공법으로 세분할 수 있다. 이에 대한 체계가 그림 4에 나타나있다.

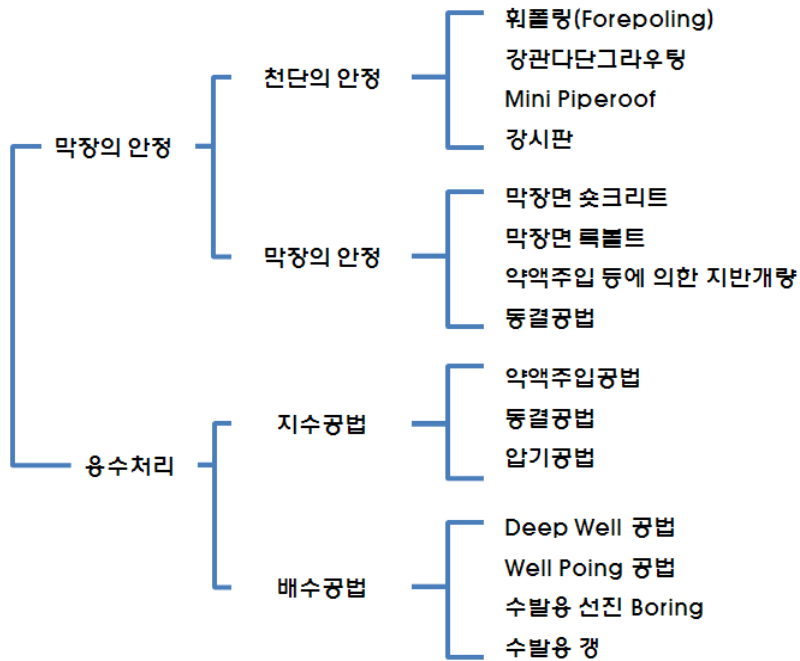


그림 4. 보조공법의 분류

4. 대표자재 분석 및 RFID의 적용성 평가

대표자재를 선정하기 위해서는 터널공사에서 공정의 대표성을 나타내야 하는 것뿐만이 아니라 첨단센서의 기술적용성과 공정시각화 부분을 동시에 평가해야 한다. 따라서 터널공사, 첨단센서의 기술적용성, 공정시각화, 실용성 여부 등의 여러 사항을 고려하여 그림 5와 같은 흐름을 통하여 대표자재를 선정하였다.



그림 5. 대표자재 선정 알고리즘

4.1 터널 공정별 자재 분석

대표자재를 선정하기 위하여 주 공법을 공정순서에 따라 분류하고 공정에 소요되는 자재를 정리하였다. 또한 그림 2에 나타나 있는 보조공법은 지반의 상태와 용수에 따라 선택적으로 사용되고 있지만, 현재 가장 많이 적용하고 있는 휘폴링(Forepoling)과 강관다단그라우팅을 선정하여 공법에 필요한 자재를 조사하였다. 이를 표 3에 정리하였다.

4.2 각 공정별 대표자재 선정

표 3의 공정 중에서 터널 공사를 대표할 수 있는 공정을 선택하고, 각 공정의 특성을 반영하여 시공단계를 대표할 수 있는 자재를 각각의 공정에 대해서 하나씩 선정하였다. 자재 형태가 반입 형태와 시공 형태가 다른 자재(시멘트, 혼화재 등의 혼합물로 구성되는 자재)에 대해서는 공정의 특성을 반영할 수 있고 시공되는 형태의 자재를 선정하여 표 4에 제시하였다.

표 3. 각 공정별 투입 자재(서울특별시 지하철 건설본부, 2001)

공정	투입 자재
발파 및 버력처리 (천공,장약포함)	폭약(정밀폭약, DYNAMITE), 너관(MS, LP, 연결너관 등)
기계굴착 및 버력처리	-
강지보재운반	강재(H형강 또는 격자지보재, 강관, 앵글, 접합부형강, 지보재간연결강재), 볼트, 너트
강지보재설치	강지보재(H형강 또는 격자지보재), 강관, 앵글, 접합부형강, 지보재간연결강재, 볼트, 너트
숏크리트타설 (와이어매쉬설치)	시멘트, 물, 모래, 자갈, 급결재, (와이어매쉬)
록볼트설치	이형철근, 지압관, 레진 또는 시멘트몰탈(시멘트, 모래, 혼화재)
방수공	배수재, 방수시트, 터널부자재(못, 와셔, 카트리지, 란델)
라이닝 거푸집 조립	레일, 침목, Spike, 이음 철판, 볼트, 너트
라이닝설치	콘크리트(시멘트, 모래, 자갈, 물), 철근, 신축이음(스치로폴, Backup재, 우레탄실린드, 접착제)
휘폴링(Forepoling)	이형철근 또는 강관, 시멘트몰탈(시멘트, 모래, 혼화재)
강관다단그라우팅	강관, 주입재(시멘트, 물), 코킹(Caulking)재, 급결시멘트, Packer

표 4. 각 공정별 대표자재

공정	대표 자재
발파 및 버력처리(천공,장약포함)	폭약
강지보재설치	강지보재(H형강 또는 격자지보재)
숏크리트타설	숏크리트
록볼트설치	록볼트
방수공	방수시트
라이닝설치	라이닝
휘폴링(Forepoling)	이형철근 또는 강관
강관다단그라우팅	강관

4.3 RFID의 적용성 평가

표 4에 선정된 대표자재 중에서 자재의 형상과 설치위치를 고려하여 침단센서의 설치 가능여부를 판단하고 데이터 취득방법에 대한 고려를 통하여 센서 설치개념을 정립하였다. 이 때의 설치개념은 침단센서를 부착하고 데이터를 취득하는데 있어서 각 공정을 수행하는데 불편과 지연을 가능한 배제하기 위하여 설치가 간편하고 실용적인지의 여부에 대해서도 고려하였다. 이를 표 5에 제시하였다.

표 5. 대표 자재별 침단센서 (RFID 대체) 설치 개념

대표 자재	침단센서 설치개념
폭약	침단센서를 부착하였더라도 발파에 센서가 손상되므로 미부착
강지보재	강지보재가 사용되는 지보패턴에 대하여 강재 시공후 침단센서 부착
숏크리트	공정이 완료된 후 숏크리트 표면에 침단센서 부착
록볼트	강지보재가 사용되지 않는 경우의 지보패턴에 소요되는 록볼트 중 우측벽의 캡에 침단센서설치
방수시트	침단센서를 기존에 설치하여 터널 내부로 들어가는 순간 Check
라이닝	라이닝 타설 후 시공이음부에 침단센서부착
이형철근 또는 강관	지반에 매설되지 않는 이형철근의 돌출부에 설치
강관	지반에 매설되지 않는 강관의 돌출부에 설치

표 5에 나타낸 대표자재 중에서 현재의 IT기술을 이용하여 수집되는 데이터의 개수와 실용성 여부에 초점을 두고 대표자재에 대한 고려를 수행하였다.

현재 국내에 시공이 완료된 터널, 시공 중 터널, 시공계획 중인 터널의 연장을 조사한 결과 최장 터널은 현재 시공 계획된 인제터널로 연장이 10.96km 이며, 이미 시공이 완료되어 운행 중인 터널은 2001년 말 개통된 중앙고속도로의 죽령터널(4.6km)이다. 국내에 시공이 완료되어 운행 중인 도로터널은 총 1152개소로 평균연장은 약 700m 이다. 각 터널 연장에 따른 터널의 개수를 그림 6에 나타냈다.

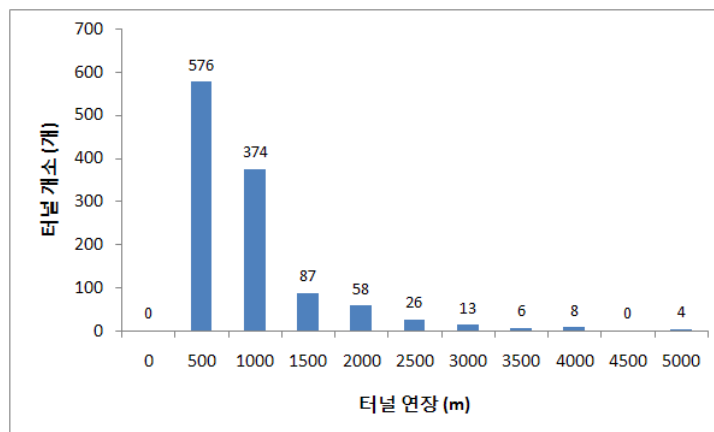


그림 6. 국내 도로터널 연장에 따른 히스토그램

본 연구는 작은 건설현장이 아니라 대형 건설현장에 초점을 맞추어, 현재의 터널구조물이 점차 연장이 길어지는 추세를 고려하여 5km 이상의 터널 현장으로 생각하고 데이터의 취득과 실용화 가능 여부에 대하여 대표자재에 대한 평가를 수행하였다. 센서에서 데이터를 획득하는 하는 방법은 리더기를 접촉 또는 비접촉 방식으로 이루어지는데, 이 때 관리자가 가지고 있는 리더기 하나로 전체공정을 관리하기 위해서는 각각의 센서에 ID를 부여할 수 있는 개수와 동시접속 여부가 중요한 요소이다. RFID Tag가 갖는 ID의 개

수는 14자리까지 할당가능하며, Zigbee의 경우에는 용량에 따라 $2^{15} \sim 2^{63}$ 개까지 가능하다. 그러나 현재 사용되는 Active RFID Tag와 Zigbee의 기성품의 경우 보통 동시 접속개수를 100개 이하로 보기 때문에 데이터 처리 개수에 한계가 있으며 배터리의 수명이 한시적이며 추가비용이 발생한다. 따라서 동시접속이 발생하지 않도록 리더기로 접속시켜 하나씩 데이터를 취득하는 Passive RFID Tag가 기술적, 경제적 요소를 고려할 때 가장 적합할 것으로 판단된다. RF의 경우에는 수신거리와 동시접속을 고려하는 경우 라디오의 선국과 같은 채널을 여러 개로 분리하여 사용하는 것이 실현 가능성이 높으나 기술적으로 어려움이 있어서 실용화 가능성은 없는 것으로 판단된다.

표 6. 10Km 연장의 터널에서의 첨단센서 부착 적용시의 기술적, 경제적 비교표

대표 자재	첨단센서 예상소요 개수	기술적 검토	경제성 검토	비고
강지보재	총 1만개 (5m마다 5개 가정)	가능-RFID(active, passive), USN(ZigBee), 불가능-RF, WirelessLAN	* Passive Tag(수량 3만개) 단가 : 2천원-Metal Tag * Active Tag(수량 3만개) 단가 : 6천원 * USN(ZigBee) 단가 : 6천원(수량 3만개)	Active Tag, USN은 배터리 수명 및 비용 발생
숏크리트	1일 1회시 총 2천개(하루 5m 굴착 가정)	가능-RFID(active, passive), USN(ZigBee), 불가능-RF, WirelessLAN		
록볼트	총 2만개 (5m 마다 10개)	가능-RFID(active, passive), USN(ZigBee), 불가능-RF, WirelessLAN		
방수시트	1일 1회시 총 2천개(하루 5m 진행 가정)	가능-RFID(active, passive), USN(ZigBee), 불가능-RF, WirelessLAN		
라이닝	1,110개 (9m마다 1개)	가능-RFID(active, passive), USN(ZigBee), 불가능-RF, WirelessLAN		
소요합계	35,110 개	가능-RFID(active, passive), USN(ZigBee), 불가능-RF, WirelessLAN	총 수량별 소요 비용 * Passive Tag - 35,110×2,000 ≒ 7천만원 * Active Tag - 35,110×6,000 ≒ 2억 1천만원 * USN - 35,110×6,000 ≒ 2억 1천만원	

4.4 실용화 평가

표 4에 나타난 대표자재 중에서 시공관리와 공정시각화를 동시에 고려하여 비용, 시공순서 등 공정이 진행되는 과정 중 공정시각화가 가능한 자재를 대표자재로 선정하였다. 결과론적으로 공정시각화와 시공 관리에 상기 표 4의 모든 대표자재에 부착하는 것이 좋으나 경제성을 동시에 고려하면 3차 숏크리트 공정과 라이닝 공정에 대해 첨단센서를 부착하는 것이 타당하며 이들에 대한 첨단센서는 RFID Passive Tag를 선정하는 것이 타당하였다. 또한 RFID를 부착하고 리더기로 데이터를 취득하는데 있어서 각 공정을 수행하는데 있어 공정의 지연과 작업자의 불편을 초래하지 않는 실용성 여부를 판단하여 대표자재와 데이터 취득 시점을 결정하였다.

숏크리트 공사의 경우 발파 후 버력 처리후에 바로 시공되는 쉘링(Ceiling) 숏크리트와 1, 2차 숏크리트, 지보패턴에 따라 시공여부가 결정되는 3차 숏크리트 공정으로 이루어진다. 모든 숏크리트에 RFID를 설치하게 되면 다음 숏크리트 시공시에 RFID가 숏크리트 안에 매설되어 신호 수신이 가능한 시간은 불과 몇시

간 이내(다음 슛크리트 시공시까지)이므로 비용적인 면과 작업자의 RFID 부착 시간을 고려하였을 때 비효율적으로 판단된다. 따라서 시공관리를 위한 RFID의 부착은 굴진 정도와 일일 업무량 체크를 위하여 RFID의 설치에 하루에 한번만 하도록 하는 것이 효율적으로 판단된다. 또한 계측팀 또는 측량팀이 막장 전방에 하루에 한 번씩은 투입이 되므로 RFID의 설치와 데이터 취득을 계측팀 또는 측량팀이 전담하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 라이닝 공사의 경우 RFID의 부착위치가 라이닝 표면일 경우에는 미관상 좋지 않고, 가로등 및 표지판 등의 부대설비 설치를 고려하여 시공이음부의 공간에 RFID를 설치하면 될 것으로 판단된다.

최종적으로 선정된 대표자재와 센서종류 및 설치개념을 표 7에 나타내었다.

표 7. 대표자재와 센서 설치개념

공정	대표 자재	설치 위치	RFID Passive Tag 크기
슛크리트타설	슛크리트	슛크리트 표면 (우측으로 통일)	반경 1.5cm 높이 1.0cm
라이닝설치	라이닝	시공이음부	2×1×1 cm

4.5 공정시각화

표 7에 선정된 대표자재에 부착된 RFID로부터 들어오는 신호와 3D 모델링으로 설계된 슛크리트와 라이닝 블록과 연계시키면, 하루 동안 작업한 슛크리트와 라이닝의 시공된 모습이 화면상에 3D 모델형태로 시각화된다. 즉 자재에 부착된 센서로부터 송신되는 신호를 이용하여 공정의 진행사항을 한눈에 파악하고 즉시 적절한 조치를 취해 시공오차를 줄이고 진도관리를 용이하게 수행할 수 있으며, 현장사무소에서 굳이 현장에 직접 나가지 않아도 효율적인 조치가 가능하다(그림 7). 그리고 이 정보를 웹기반 서비스를 제공하여 발주처뿐만 아니라 현장근처의 지역주민들까지도 공사의 진척상황을 알기 쉽게 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

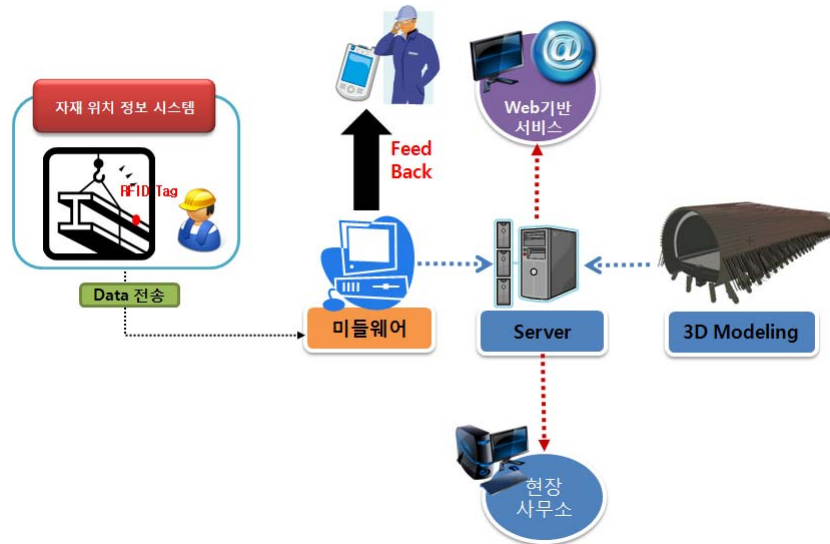


그림 7. 자재를 이용한 진도관리 시스템(안)

5. 결론

본 연구에서는 NATM터널 시공 시에 첨단센서를 활용할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 터널 공사에

투입되는 자재를 공정별로 분석한 후 공정을 대표할 수 있는 자재를 선정하는 알고리즘에 맞추어 터널 공사에 적용할 첨단센서와 대표자재를 선정하였다. 이상의 연구로부터 얻어진 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 터널이 연장이 길어지는 추세와 밀폐된 터널 환경을 특이성을 고려하고 데이터 취득 개수를 고려한 후에 첨단센서의 기술적, 경제적 비교를 통하여 대표자재에 부착할 센서로 수동형(Passive) RFID를 선정하였다.
- 2) 터널 시공 시 NATM공법의 자재를 이용하여 진도관리를 하기 위한 첨단센서를 적용할 수 있는 대표자재로 3차 슛크리트와 라이닝을 선정하였으며, 시공 시 작업자의 불편을 초래하지 않는 범위 내에서 미관을 고려하여 슛크리트의 경우 표면에 수동형 RFID를 부착하고 라이닝의 경우 시공이음부에 설치하는 방법을 제시하였다.
- 3) 수동형 RFID로부터 들어오는 신호와 3D모델링과 연계시켜 실시간 공정을 시각화하여 효율적인 진도관리를 할 수 있는 안을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부에서 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행하는 건설기술 혁신사업 연구과제 “첨단센서 기반의 대형 건설현장 실시간 시공관리기술 개발”(과제번호: 09CCTI-B052843-01)의 지원에 의해서 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최철호(2004), 건설분야에의 RFID 시스템 활용사례 및 발전방향, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 제5회, pp. 145~152
2. 권순욱(2004), RFID기술의 기술동향 및 건설현장에의 적용사례, 한국건축시공학회지 제4권 4호, pp 50~56
3. 조창연(2006), U-Frontier 공사관리시스템, 삼성건설기술, 2006 상반기(통권 제55호), pp. 104~108
4. 서울특별시 지하철 건설본부(2001), 지하철 9호선 토목분야 적산자료II - 터널편
5. Sangyoon-Chin, Suwon Yoon, Yea-Sang Kim, Soonwook Kwan(2004), "A Project Progress Measurement and Management System" *ISARC, Proceedings*, pp 583-588, Jeju, Korea
6. CII(1997), Project Delivery Systems : CM at Risk, Design Build, Design-Build Research Summary 13301, Construction Industry Institute