

# Zigbee 기술을 활용한 터널 계측 자동화 모듈 개발

김정렬\*, 유현석\*, 조문영\*\*

\*한국건설기술연구원 건설관리연구부 연구원,

\*\*한국건설기술연구원 건설관리연구부 책임연구원

## Development of wireless module for automated tunnel measurement system using Zigbee

Kim, Jung Yeol, Yoo, Hyun Suk, Cho, Moon Young

Korea Institute of Construction Technology

E-mail : [jrkim@kict.re.kr](mailto:jrkim@kict.re.kr), [hsyoo@kict.re.kr](mailto:hsyoo@kict.re.kr), [mycho@kict.re.kr](mailto:mycho@kict.re.kr)

### 요 약

국가적으로 전체 터널의 수는 대폭 증가하는 추세이며, 시공 및 유지관리 단계에서 체계적이고 장기적인 계측을 통한 관리가 필수적이다. 그러나 제한적인 계측만을 수행하고 있으며, 계측된 데이터가 체계적으로 관리되지 않아 유지관리 등 시공 이후의 단계에서 기초 정보로 활용하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 상태의 주요한 원인 중 한 가지는 기존의 유선 계측기가 터널현장의 복잡하고, 다양한 장비들이 운용되는 상황에서 설치 및 유지관리에 어려움이 있기 때문이다. 또한 고가의 로거의 필요성은 경제성 면에서도 장애가 된다. 따라서 터널의 효율적인 계측 및 관리를 위해서는 경제성이 확보된 무선의 효율적인 계측기의 개발이 선결되어야 하며, 본 연구에서는 지그비(Zigbee) 기술을 활용하여 기존 터널 계측기의 70% 이상을 차지하는 진동현 계측기를 무선화 할 수 있는 모듈의 프로토타입을 개발하였다. 본 고에서는 이와 관련된 다음의 내용을 기술하고자 한다

- 지그비 기술을 활용한 진동현 계측기 무선화 모듈 프로토타입 개발 내용
- 현장 실험 방법 및 결과

### 1. 서론

현재 건설교통부에서 건설하고 관리하는 일반국도의 경우 97년 이후 10년 간 건설된 터널의 수가 전체 80년 간 건설된 터널의 59.2%(233개)를 차지하고 있으며, 고속 국도의 경우는 전체 37년 간 건설된 터널의 66%(181개)로 대폭 증가하는 추세이다(2005년 말 현재)[1].

본 연구는 한국건설기술연구원 기본과제인 '(07 기본) 터널 재해 예방 계측 기술 개발(과제번호: 2007-0015-1-1)의 결과임

따라서 시공 및 유지관리 단계에서 체계적이고 장기적인 계측을 통한 관리가 필수적이거나, 현재는 필요에 의한 제한적인 계측만을 수행하고 있으며, 계측된 데이터가 체계적으로 관리되지 않아 유지관리 등 시공 이후의 단계에서 기초 정보로 활용하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 상태의 주요한 원인 중 한 가지는 기존의 유선 계측기가 터널현장의 복잡하고, 다양한 장비들이 운용되는 상황에서 설치 및 유지관리에 어려움이 있기 때문이다. 또한 고가의 로거의 필요성은 경제성 면에서도 장애가 된다. 따라서 터널의 효율적인 계측 및 관리를 위해서는 경제성이 확보된 무선의 효율적인 계

측기의 개발이 선결되어야 하며, 본 연구에서는 지그비(Zigbee) 기술을 활용하여 기존 터널 계측기의 70% 이상을 차지하는 진동현 계측기를 무선화 할 수 있는 모듈의 프로토타입을 개발하였다. 본 고에서는 이와 관련된 다음의 내용을 기술하고자 한다.

- 지그비 기술을 활용한 진동현 계측기 무선화 모듈 프로토타입 개발 내용
- 현장 실험 방법 및 결과

## 2. 터널 계측 및 진동현 계측기

터널 계측은 일상의 시공관리 등을 위하여 수행하는 일상계측(A계측)과 상황에 따라 추가적으로 실시하는 대표계측(B계측)으로 구분된다. 일상계측에는 터널의 내공(직경)변위, 천단침하(상부의 내려앉음), 록볼트 인장력, 지표의 침하 등이 있으며, 대표계측에는 지중변위, 숏크리트 응력, 지중 침하 등이 있다. 진동현(振動絃)은 주로 토목 분야에서 많이 사용하는 소자로 터널에서도 이들 계측 분야에 전반에 사용되는 소자이다[2,3].

진동현 소자의 원리는은 다음 그림1과 같이 일종의 강선(鋼線)인 진동현을 양쪽의 고정단에 설치한 후, 코일을 통해 강선을 구동시키면 진동현이 진동하는 주파수를 감지하는 것이다. 이때, 고정단의 길이 방향에 변화가 발생하면 그에 따라 인장력이 가해지거나 해제되면서 고유 주파수가 달라지는 것을 이용하여 변형률, 온도 등을 감지하며, 주로 정적 계측에 사용된다.

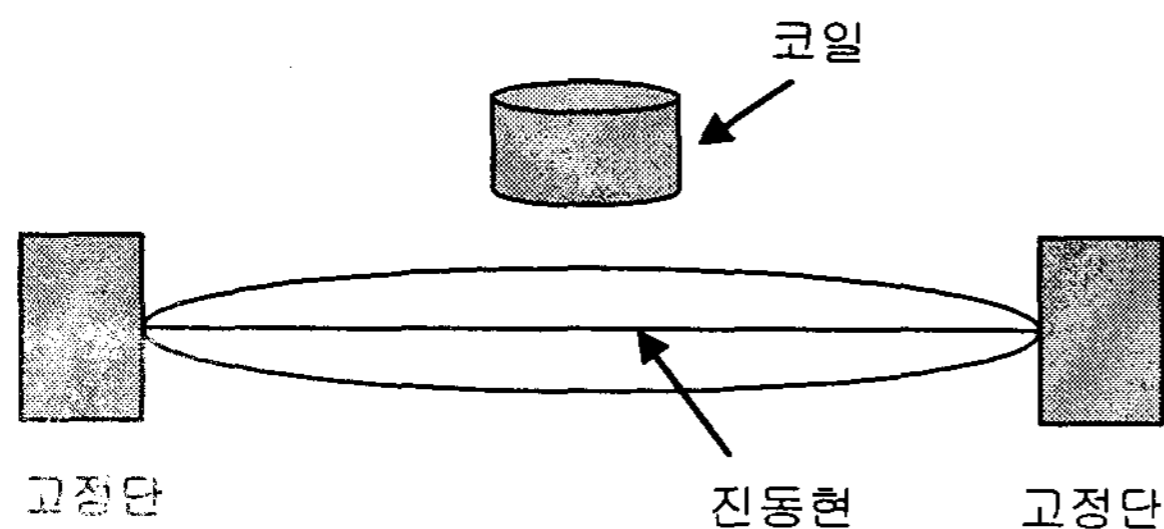


그림 1 진동현 계측기의 원리

## 3. 진동현 계측기 무선화 프로토타입

본 연구에서 제작된 진동현 계측기 무선화 모듈은 다음 그림2와 같이 터널에 설치된 여러 종류의 진

동현 방식 계측기에 연결되어 무선 방식으로 센싱 데이터를 중계 또는 전송하며, 계측기모듈이 설치된 모든 계측기의 데이터는 최종적으로 현장에 설치된 노트북으로 전송된다. 여기서 노트북은 시제품 제작을 위한 운영서버로서 본 연구에서는 Zigbee 게이트웨이와 USB 이용하여 연결되는 형태이나, 원격지에서의 계측을 원할 경우 CDMA 통신모듈이나 LAN 방식 등을 이용할 수 있고, 계측 데이터량이 방대할 경우에는 별도의 운영 데이터베이스 서버를 설치하는 방식으로 응용될 수도 있다.

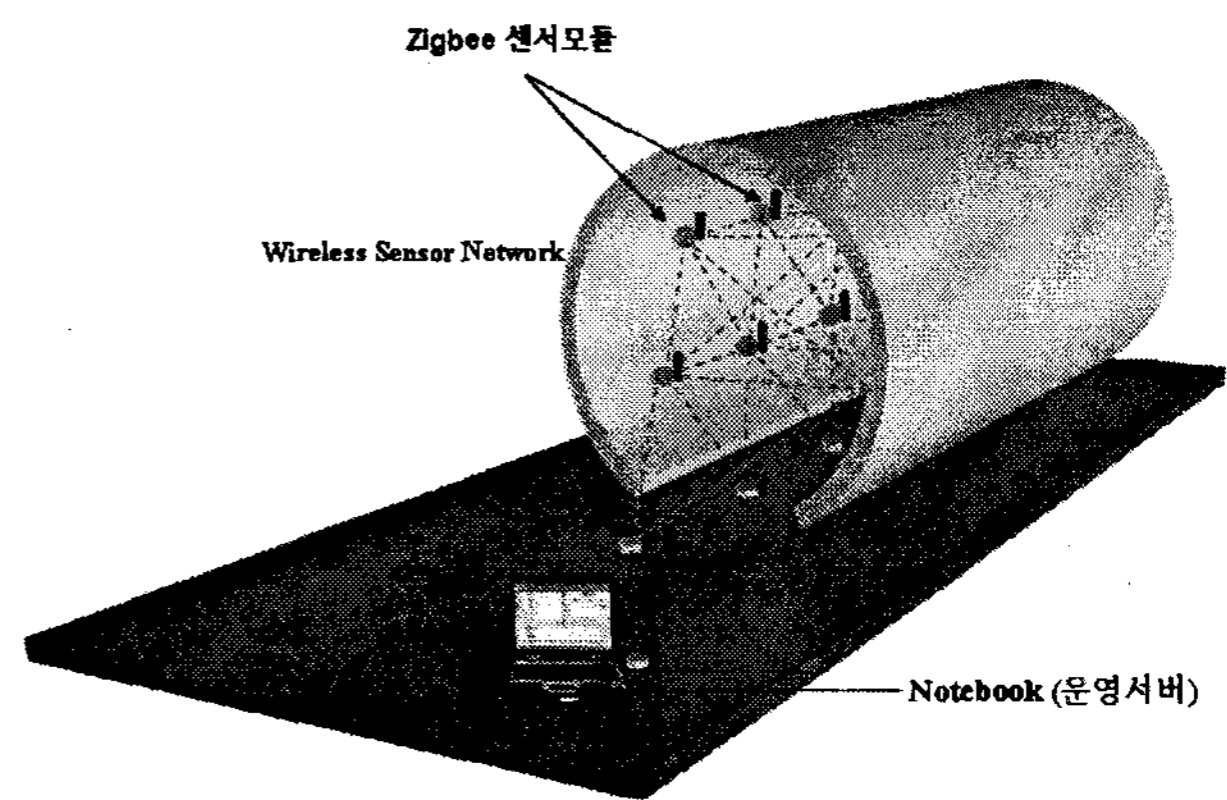


그림 2 터널 무선 계측 개념도

무선 계측기모듈은 아래 그림3과 같이 진동현 A/D회로, Zigbee 통신회로, 배터리, 패키징, 운영 소프트웨어, 노트북 등으로 구성된다. 이 가운데 진동현 A/D 회로는 계측기의 아날로그 신호를 디지털 신호(pulse)로 변환하기 위한 회로로이다. 진동현 A/D 회로에는 계측기와의 연결을 위한 인터페이스(4 pin)가 마련되어 있고 A/D 컨버팅의 기본 역할 뿐만 아니라, 계측기의 전원 공급이나 계측 주기, 계측 빈도의 변경, 아날로그 신호의 컨디셔닝(filtering, amplifying) 등의 역할도 수행한다. 이 진동현 A/D 회로는 기존 다채널 방식의 진동현식 데이터로거를 소형화하여 제작한 것으로 기존 로거와 거의 동일한 역할을 수행한다고 할 수 있다. 진동현 A/D 회로에서 디지털 신호로 변환된 센싱 데이터는 Zigbee 통신회로를 통해 RF(Radio Frequency) 무선 방식으로 Zigbee 게이트웨이로 전송되며, 수신된 데이터는 서버의 역할을 담당하는 노트북에 저장되고 운영 소프트웨어에서 그래프로 표현된다.

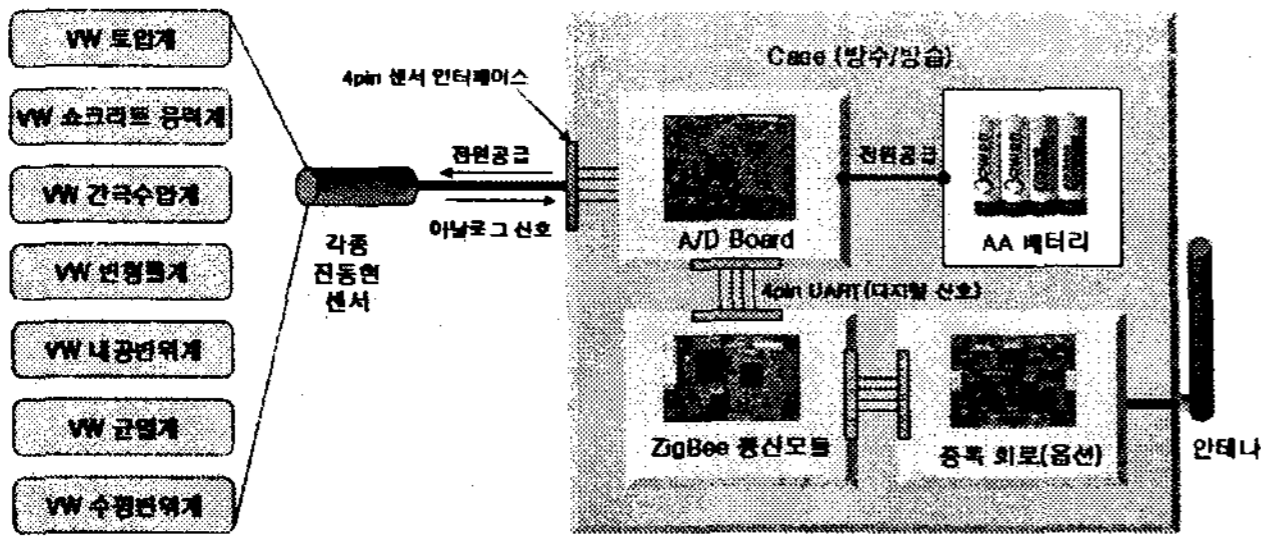


그림 3 진동현 계측기 무선화 모듈의 구성

상세한 개발 사양은 다음과 같다[4].

1) 진동현식 A/D 회로

진동현식 A/D 회로의 요구 성능 및 제작사양을 다음 표1과 같이 정의하였다.

표 1 진동현식 A/D 회로의 요구성능

항목	요구성능
접속 계측기	진동현 계측기
인터페이스(계측기)	4pin
인터페이스(ZigBee)	4pin (UARTs 통신)
주파수 범위	450~6,000Hz
분해능	0.1Hz
정확도	0.01% FSR
동작온도	-40~60℃
메모리	6,000 Read/Record
데이터 속도	1,000 아날로그/초
시간정확도	0.001%
입력전원	3~6V (AA급 배터리 사용)
소모전류	Active : 50mA 이하, Sleep : 5mA 이하

- 진동현식 A/D 회로는 모든 터널용 진동현 계측기에서 동일하게 작동해야하며 4pin 규격의 계측기 인터페이스를 지원해야 한다.
- 펌웨어(F/W) 설정에 따라 계측 주기 및 빈도를 설정할 수 있으며, 설정값에 따라 자동으로 절전모드로 변환될 수 있어야 한다.
- 진동현 A/D 회로는 하나의 PCB 기판으로 제작되어야 하고, 70mm(가로) × 70mm(세로)를 초과하지 않는 크기로 제작하며, 회로의 총 무게는 150g을 넘지 않도록 한다.

3) 패키징

계측기모듈의 패키징에 관한 요구 성능을 다음과 같이 정의하였다.

- 패키징 내부에는 진동현식 A/D 회로와 Zigbee 회로, 배터리 등이 안정적으로 설치될 수 있는 구조이어야 하며, 터널 내부에 볼트나 실리콘 등을 이용하여 탈부착이 손쉬운 구조이어야 한다.
- 패키징의 크기는 120mm(가로) × 120mm(세로)를 넘지 않는 크기로 제작하며, 진동현식 A/D 회로과 Zigbee 회로, 배터리 등을 모두 장착한 상태에서 1kg을 넘지 않는 범위로 제작한다. 패키징은 배터리의 교체가 쉽게 가능한 구조이어야 한다.
- 패키징은 ABS 수지 혹은 동일 강도를 지닌 재료로 제작되어야 하며, 방수, 방습에 문제가 없어야 한다. 특히, 외부 안테나는 패키징 외부에 돌출된 형태로 제작되어야 하며, 패키징과 외부 안테나의 접점 부위에서 방수, 방습에 문제가 없어야 한다.

4) 데이터 서버와 운영 소프트웨어

데이터 서버와 운영 소프트웨어의 요구 성능을 다음과 같이 정의하였다.

- 데이터 서버는 일반 노트북을 이용하며, RS-232 또는 USB 인터페이스로 Zigbee 게이트웨이 모듈과 연결되어야 한다. 데이터 서버에는 운영 소프트웨어가 설치되어 있어야 하며, MS Access나 MySQL 등과 같은 데이터베이스를 포함하고 있어야 한다.
- 운영 소프트웨어는 Microsoft Windows 운영체제 기반의 어플리케이션 프로그램으로 제작하며, Zigbee 게이트웨이로부터 수신된 센싱 데이터를 데이터베이스(MS Access나 MySQL 등)에 자동으로 저장하고 분류하는 기능을 포함한다. 또한 MS Excel과 같은



스프레드시트 소프트웨어와 연동되어 계측 값을 쉽게 확인할 수 있어야 한다.

- 운영 소프트웨어는 Real-time으로 센싱 데이터를 그래프로 표현할 수 있어야 하며, 운영 소프트웨어에서 센싱 주기 및 빈도를 조절할 수 있도록 한다.
- 운영 소프트웨어에는 전체 네트워크의 상태를 확인할 수 있는 기능이 있어야 하며, 부분적인 연결이 끊어질 경우 계측기모듈의 데이터 전송경로가 자동으로 변경될 수 있는 기능이 있어야 한다.
- 운영 소프트웨어에는 계측기의 종류에 따라 미리 정해진 변환 수식을 적용할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 차후에 변환 수식을 쉽게 입력할 수 있는 인터페이스를 제공해야 한다.

다음 그림4, 5는 상기 사양에 의하여 개발된 진동현 계측기 무선화 모듈과 운영 소프트웨어 이다.

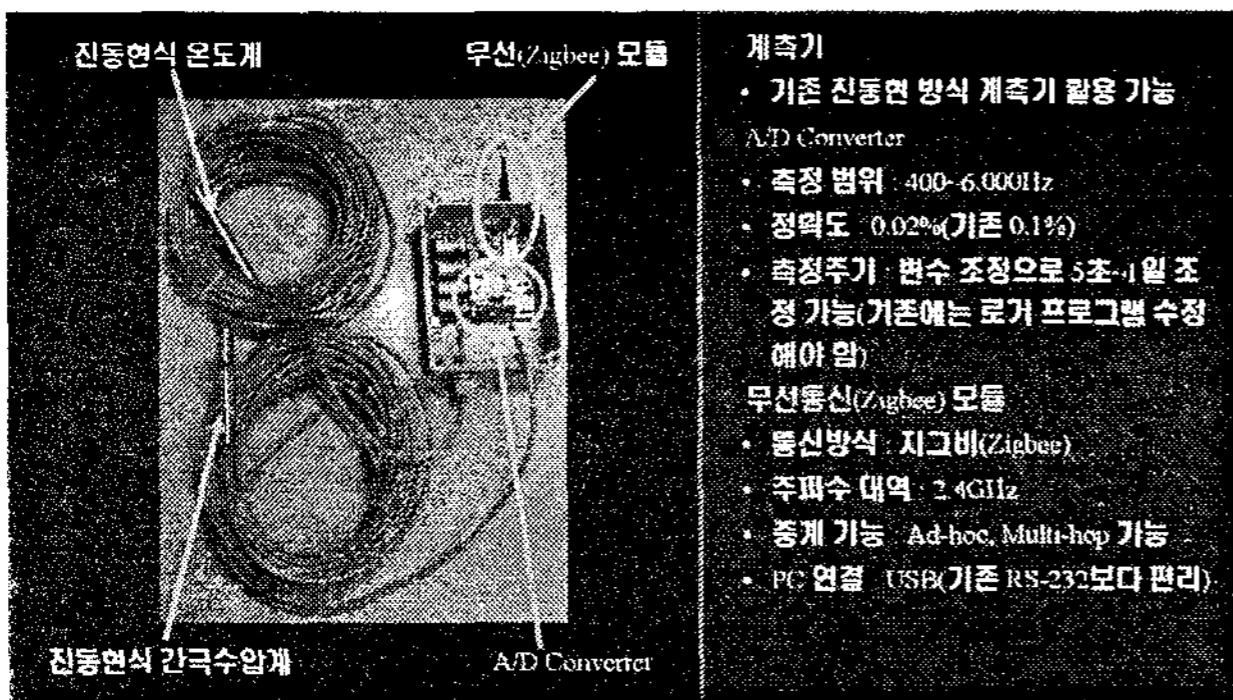


그림 4 진동현 계측기 무선화 모듈

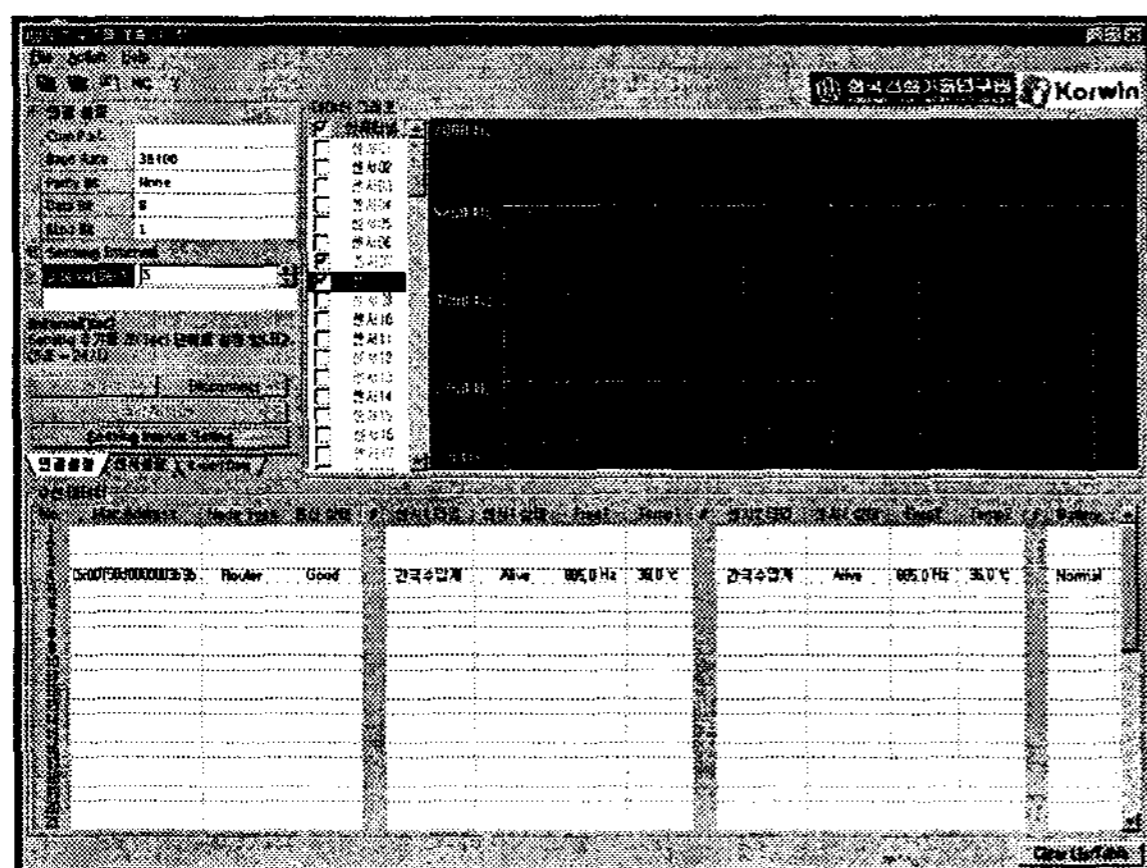


그림 5 운영 소프트웨어

#### 4. 현장실험

개발된 진동현 계측기 무선화 모듈 및 운영 소프트웨어의 현장 실험은 첫 번째(그림6)는 김포시에 위치하고 있는 북변터널에서 수행하였다. 이 터널은 현재 사용 중인 것으로 연속적인 차량의 통행과 이로 인한 소음, 분진 등이 다량 발생하는 장소이다.

실험은 최대 통신 거리 측정과, 메쉬(Mesh) 네트워크의 원활한 작동을 검증하는 방식으로 수행되었다. 당초에는 교통차량으로 인한 전파의 난반사, 방해전파 발생과 터널 벽면 및 도로 노면의 전파 흡수로 인한 통신 장애가 예상되었으나, 최대 통신 거리는 200m 이상 가능하였고, 메쉬 네트워크도 장애 없이 원활하게 작동하였다. 이는 터널 내부가 부도체이기는 하나, 일종의 도파관 역할을 한 것으로 판단된다.



그림 6 터널 현장 실험

두 번째 실험(그림7)은 본 진동현 계측기 무선화 모듈의 범용성을 검증하기 위한 것으로, 신축중인 초고층 빌딩의 기둥수축량을 측정하는 방식으로 수행하였다. 콘크리트로 제작된 초고층 빌딩의 기둥은 60층의 경우 자중 등으로 인하여 누적량 기준으로 최대 20cm 이상 수축이 발생한다. 따라서 이러한 수축이 균등하게 발생하는 상황을 모니터링 하는 것은 매우 중요한 요소이다. 대상 빌딩에는 터널에서 사용한 계측기와는 다른 회사에서 제작한 진동현 방식의 변형률계를 사용하였고, 현장에서 연결과 동시에 3개 층에서(실험을 3개 층만 실시함) 원활한 통신 및 측정이 이루어 졌다.

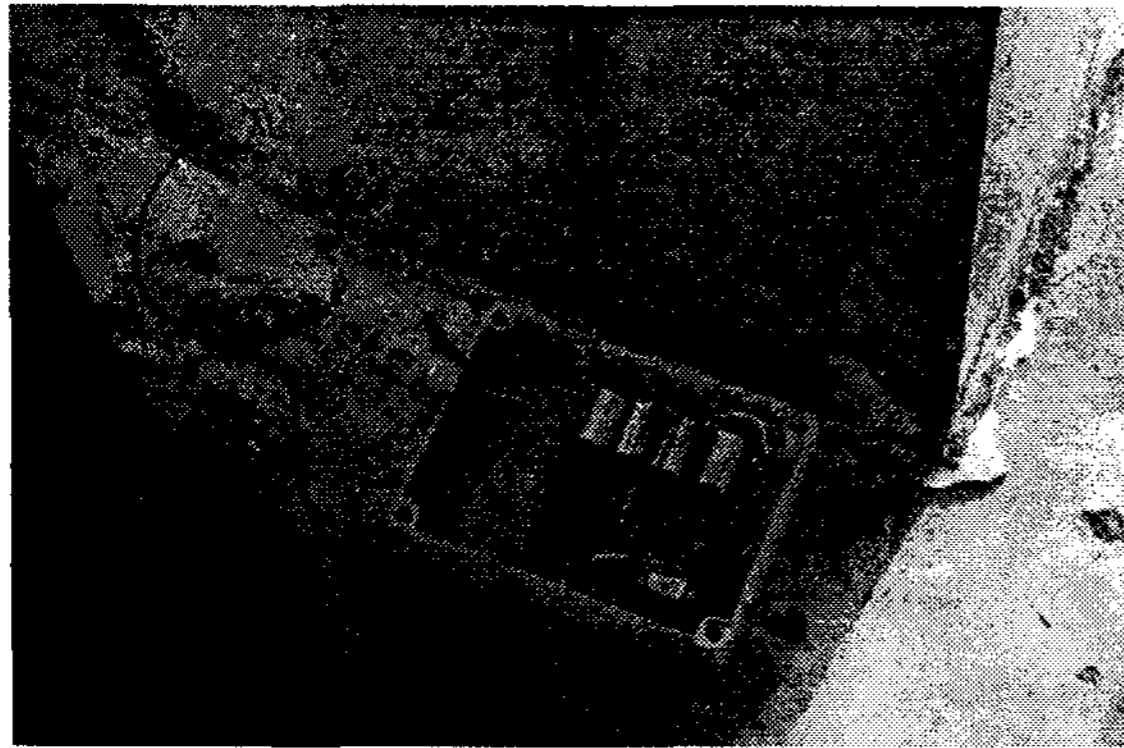


그림 7 고층 건물 기둥수축 계측 적용 실험

## 5. 결론

터널의 소음, 분진, 진동, 습기 등 열악한 시공 및 유지관리 환경은 유선기반 계측기의 활용에 많은 제약 요인이 된다. 본 연구에서 개발된 무선화 모듈은 기존에 일반적으로 사용되는 터널용 진동현 계측기의 무선화를 가능하게 한 점에 의의가 있다. 따라서 기존에 설치되어 있거나, 신규로 설치되는 대부분의 형식의 진동현 계측기의 즉각적인 무선화가 가능하다. 이는 터널 시공 및 유지관리 계측의 활성화를 유도할 것이며, 새로운 변혁을 가져올 것으로 예상된다. 아울러 본 모듈은 프로토타입으로서, 현장 테스트를 통하여 성능을 검증하였으며, 지속적인 보안을 통해 보다 현재의 배터리 성능으로도 장기적인 계측이 가능하도록 할 예정이다.

### [참고문헌]

- [1] 건설교통부, 2005 교량-터널 현황조사서, 건설교통부, 2006
- [2] 오영석, 터널유지관리 매뉴얼, 한국시설안전기술공단, 2002
- [3] 건설교통부, 터널공사표준시방서, 건설교통부, 1999
- [4] 김정렬, 유현석, 권순욱, 조문영, 터널 재해 예방 계측기술 개발, 한국건설기술연구원, 2006