

## 지중무선 시스템을 이용한 침매터널 구간 계측관리 사례연구

### Case Study of Immersed Tunnel Instrumentation Management Using Wireless System

한상욱<sup>1)</sup>, Sang-Wook Han, 김병희<sup>2)</sup>, Byung-Hee Kim, 한병원<sup>3)</sup>, Byung-Won Han,  
이계춘<sup>4)</sup>, Gye-Chun Lee

<sup>1)</sup> (주)바이텍코리아 대리, Deputy Manager, Technological Department of Instrumentation, Baytech Inc.

<sup>2)</sup> (주)바이텍코리아 차장, Deputy General Manager, Technological Department of Instrumentation, Baytech Inc.

<sup>3)</sup> (주)바이텍코리아 이사, Director, Technological Department of Instrumentation, Baytech Inc.

<sup>4)</sup> (주)바이텍코리아 사장, President & COO, Technological Department of Instrumentation, Baytech Inc.

**SYNOPSIS** : Measuring method being applied for off-shore works is performed by using data logger or manual measuring instrument with wiring the cable connected from the sensor up to the position where measuring is allowed.(upper part of embankment or marine structure) Measuring management by using existing measuring method may be acceptable on the condition that the ground deformation volume(vertical, horizontal) is generally minimal and the site condition is good. But loss of measuring instrument, sensor cable failure or cutting is taken place frequently due to significant change of ground behavior caused by an external force change(embankment, excavation) under very soft ground condition(N value below 0-4). In case of the marine works, in particular, loss rate of measuring instrument is highly represented due to the factors of working barge anchoring, constructional interference and natural disaster. In order to solve these problems, measuring management was performed with employing underground wireless system at the immersed tunnel site. Measuring data was obtained freely under the marine environment by using underground wireless communication and cable cutting potential by ground behavior could be reduced. Measuring cost savings and its installation convenience were maximized by way of off-shore tower installation or cabling and by minimizing constructional interference of off-shore working barge. This case of measuring management was accomplished successfully.

**Keywords** : underground wireless system, off-shore works, measuring management

## 1. 서론

해상공사에 적용하고 있는 계측방법은 센서로부터 연결된 케이블을 측정 가능한(성토체 상부나 해상 구조물) 위치까지 배선하여 데이터로거나 수동측정기를 이용하여 계측한다. 일반적으로 지반 변형량(수직,수평)이 적고 현장여건이 좋으면 기존 방식의 계측관리에 문제가 없지만, 초연약지반(N치 0~4이하)에서는 외력변화(성토, 굴착 등)에 의한 지반거동이 크게 발생되므로 계측기의 망실, 센서 케이블 파단이나 단선이 자주 나타난다. 특히 해상공사에서는 작업선의 앵커, 시공간섭, 자연재해 등의 요인에 의해 계측기 망실률이 높게 나타난다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 침매터널 현장에서는 지중무선 시스템을 도입하여 계측관리를 수행하였다. 지중무선 통신을 이용하여 해상에서도 자유롭게 계측 데이터를 취득하였으며, 지반거동에 의한 케이블 단선의 가능성을 줄일 수 있었다. 해상타워 설치나 케이블

배선 등에 의한 계측비용 절감 및 설치의 편의성을 극대화하였으며, 해상 작업선에 의한 시공 간섭을 최소화하여 성공적으로 계측관리를 수행한 사례이다.

## 2. 침매터널 구간 지반조건 및 계측관리 현황

### 2.1 지반조건

본 연구대상 현장은 총 3.7Km에 이르는 침매터널구간으로 원지반 해저면의 수심은 최대 50m 이며, 지형상으로는 가덕도 측이 심도가 낮고 대죽도 측이 심도가 깊다. 해저면으로부터 토질 특성과 기원에 따라 충적층, 풍화잔류층 및 암반층으로 분류할 수 있다.

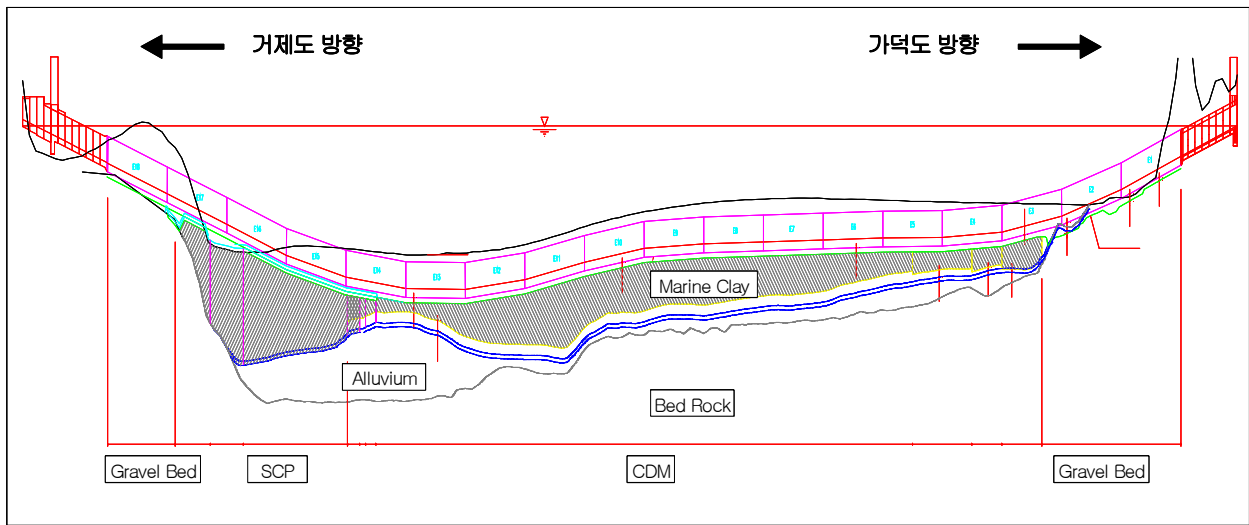


그림 1. 침매터널구간 전체 단면도

지중무선 계측시스템이 중점적으로 배치되어 있는 구간은 SCP 및 Preloading 공법을 채택하였으며 연약점토층이 30m정도 분포하고 있다. 이 구간은 심도에 관계없이 대부분 액성한계 80~110%의 범위에 있는 고압축성의 정규 압밀된 해성점토이다. 표 1, 2는 침매터널 구간 지반의 물리적, 역학적 특성이다.

표 1. 침매터널구간 물리적 특성

구분	자연함수비 Wn(%)	액성한계 WL(%)	소성한계 Wp(%)	소성지수 PI(%)	#200체 통과량	포화단위중량 $r_{sat}$ (tf/m <sup>3</sup> )
평균치	85.5	92.2	31.7	60.5	90.2	1.49

표 2. 침매터널구간 설계 물성치

구분	수중단위중량 $r_{sub}$ (tf/m <sup>3</sup> )	비배수 전단강도 Cu(tf/m <sup>2</sup> )	압축지수 Cc	압밀계수 Ch	초기간극비 eo	전단저항각 $\phi$ (°)
Marine Clay	0.47	$0.028 * 4.7 * OCR^{0.76} * Z$	1.28	43.2cm <sup>2</sup> /day	2.46	0

## 2.2 계측관리 현황

침매터널 서측구간은 해저의 원지반보다 높은 곳에 침매합체가 설치되므로 합체의 자중, 보호공 하중에 의해서 2~4m 압밀침하가 예상되어 SCP공법 및 Preloading공법을 적용하였다. Preloading 성토에 따른 효율적인 지반의 침하 및 안정관리를 위해 지중무선 계측시스템과 결합된 지중경사계, 층별침하계, 수압식침하계, 간극수압계를 설치하였다. 그림 2는 SCP 구간 계측기 설치 단면도이다.

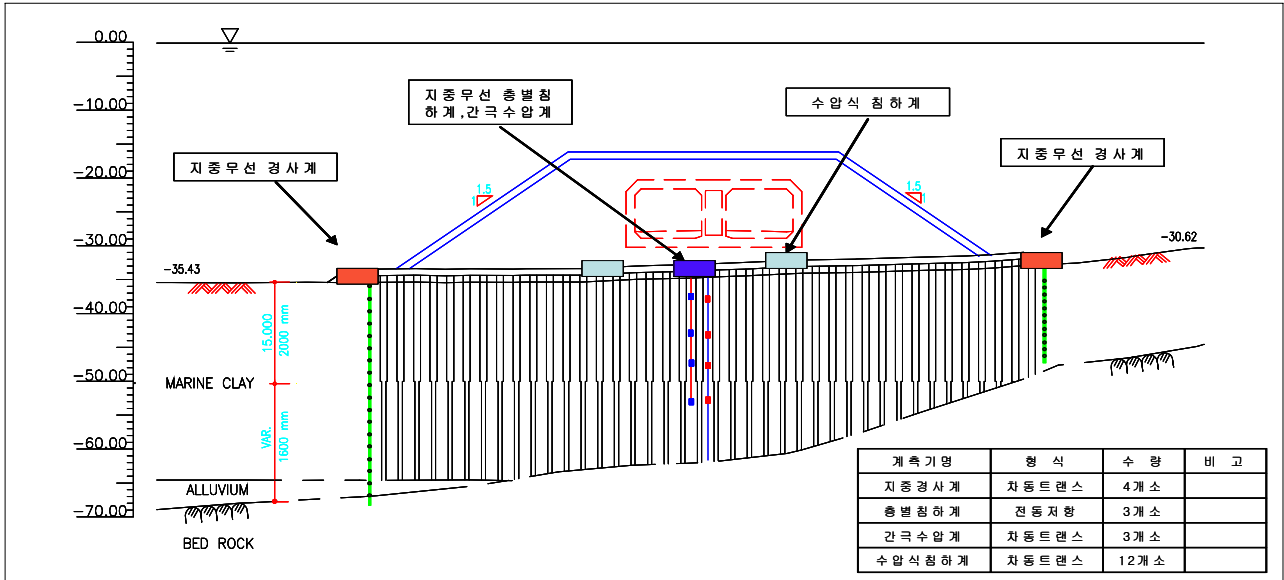


그림 2. 계측기 설치 단면도

## 3. 지중무선 계측 시스템

### 3.1 지중무선 계측 시스템의 원리 및 구성

지중무선 시스템은 초저주파의 자기통신방법을 사용하며 지중, 수중, 공기중의 어떠한 매체에서도 송·수신이 가능하다. 시스템 구성은 지중부 및 지상부로 구분할 수 있다. 지중에 설치하는 데이터 전송기는 지상부 데이터로그 명령신호를 수신하고 로그에 기록되어 있는 정보를 송신한다. 지상부는 송·수신 제어기 및 컴퓨터로 구성되며, 필요에 따라 데이터 송신기로 송신명령을 보내 측정된 데이터를 회수한다.

표 3. 지중무선 시스템 구성 및 주요사양

시스템 구성	주요 사양
	- 반송주파수 : 1.2kHz
	- 변조방식 : FSK 혹은 PSK 변조방식
	- 통신거리 : 지중, 공기중에서는 약 100m, 수중에서는 약 50m
	- 접속가능센서 : 간극수압계, 토압계, 층별침하계, 지중경사계, 온도계등
	- 측정빈도 : 사용자 임의 설정
	- 운용기간 : 약 10년(변경가능)

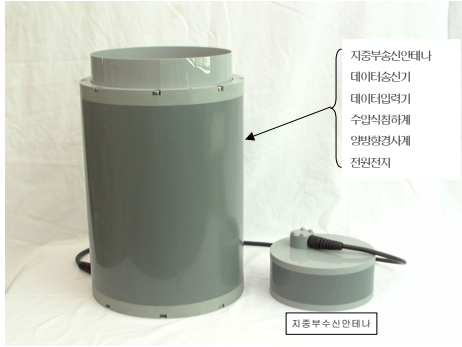


그림 3. 지중부



그림 4. 지상부

### 3.2 유·무선 계측시스템의 비교

표 4는 해양·항만 공사시 기존 유선 계측시스템과 지중무선 계측시스템을 비교한 내용이다.

표 4. 유·무선 계측시스템 비교

구분	유선 계측시스템	지중무선 계측시스템
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 센서에 연결된 케이블을 측정가능한 위치(해상타워, 육상)까지 배선하여 측정.</li> <li>- 수압식 침하계의 경우 기준점 확보를 위한 해상타워 설치가 필요함.</li> <li>- 즉시침하, 부등침하, 용기등의 요인에 의한 케이블 파단, 단선이 빈번히 발생됨.</li> <li>- 시공중 간섭 및 자연재해에 노출됨.</li> <li>- 케이블 배선으로 인한 설치가 힘들고 유지관리비용이 높아짐.</li> <li>- 국내는 물론 외국의 경우도 30~40%의 계측기 망실률을 보임.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 무선통신을 사용하여 지중이나 해상에서도 자유롭게 계측데이터를 송수신함.</li> <li>- 수압식 침하계는 기준점 확보를 위한 해상타워가 필요치 않음(조위, 대기압 보정)</li> <li>- 지반거동(즉시침하, 부등침하, 용기등)에 의한 케이블 파단, 단선의 가능성이 희박함</li> <li>- 계측업무로 인한 영향으로 시공의 장애가 발생하지 않음.</li> <li>- 설치가 용의하고 유지관리비가 저렴함.</li> <li>- 일본오사카 간사이공항은 물론 15개 현장에 적용하여 성공적으로 계측관리중임.</li> </ul>
계측시스템 모식도		

### 3.3 현장 계측관리

현재 침매터널 현장 연약지반 개량구간은 Preloading 성토가 완료되어 압밀방치중이다. 지중무선 시스템은 1일 4회의 측정빈도로 계측데이터를 수집하고 저장한다. 저장된 계측데이터는 측정용 선박을 이용하여 회수하며, 이는 인터넷기반 계측프로그램에 의해 서버에 입력되고 실시간으로 웹상(GeoMonitor Center)에서 모니터링 되고 있다. 인터넷기반 계측관리 방법을 도입함으로써 시공사, 감리단, 계측사 및 전문가간의 원활한 의사결정체계를 구축하였으며 안정되고 효율적인 공사를 수행하고 있다. 그림 5는 계측관리 수행도이며, 그림 6~9는 인터넷기반 계측관리 프로그램(GeoMonitor)상의 침하관리 및 안정관리를 나타낸다.

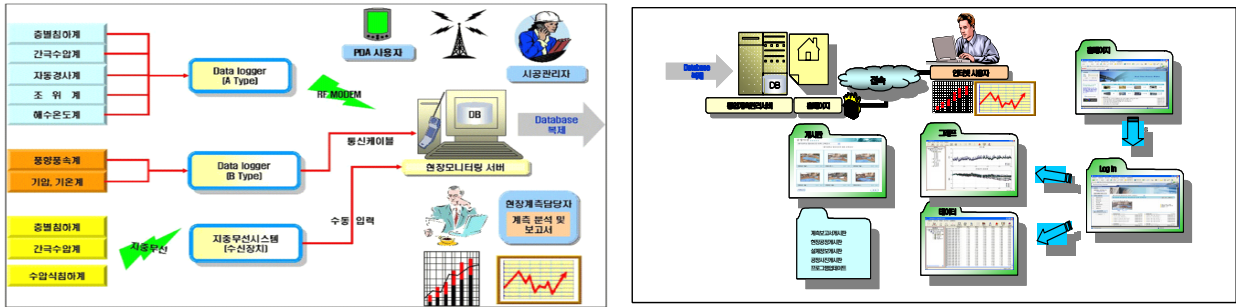


그림 5. 계측관리 수행도

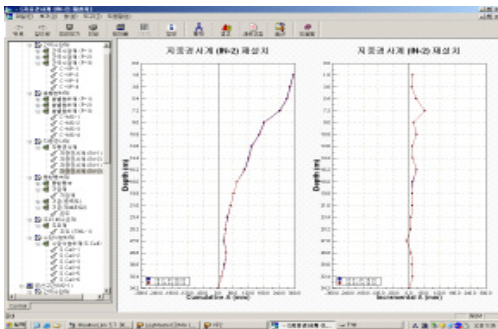


그림 6. 지중경사계 그래프

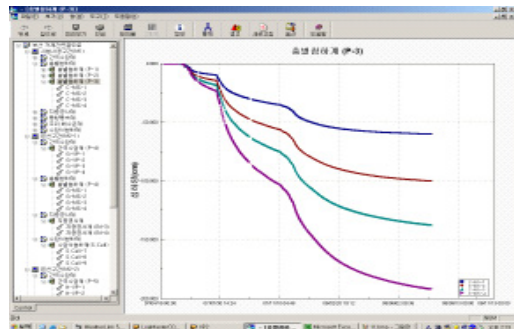


그림 7. 중별침하계 그래프

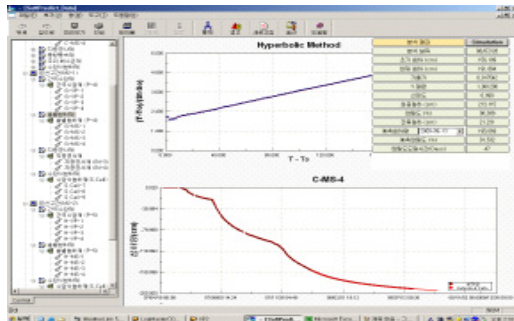


그림 8. 압밀도 분석

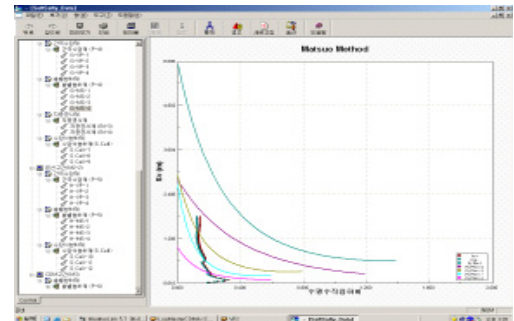


그림 9. 안정관리(Matsuo Method)

## 4. 결 론

본 연구에서는 침매터널구간 연약지반개량 공사에서 지중무선 시스템을 도입하여 계측관리를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 지중무선 계측시스템 도입으로 계측기 설치의 편의성을 극대화하였으며, 시공 간섭을 최소화 하였다.
- 나. 해상타워 설치나 케이블 배선이 불필요하게 되었으며, 계측관리 및 유지관리 비용이 절감되었다.
- 다. 유선 계측시스템 적용시 계측기 망실률이 30~40% 정도였으나, 지중무선시스템 도입으로 망실률이 현저하게 줄었다. 당 현장에서도 현재까지 망실된 계측기가 없는 상태이다.

## 감사의 글

본 연구는 부산~거제간 연결도로 침매터널구간 SCP 계측공사 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. GK Fixed Link Co. Ltd(2006) Busan-Geoje Fixed Link 실시설계보고서(10단계)
2. 이은수(1993.11) 현장계측계획, 탐구문화사 pp.49-78
3. 한병원, 허인욱, 조충봉(2002) 인터넷기반 계측관리 시스템에 관한 연구, 한국지반공학회, 학술발표회
4. 한병원, 홍원표, 한중근(2005) PBD개량 해성점성토 지반의 장래침하량 예측에 관한 사례연구, 대한토목학회, 봄학술 발표회 논문집
5. 사카다전기 주식회사([www.sakadadenki.co.jp](http://www.sakadadenki.co.jp))