

## 인터넷기반 계측관리 시스템의 현장적용사례

### A site application of the internet based monitoring system

이동현<sup>1)</sup>, Dong-Hyun Lee, 김병희<sup>2)</sup>, Byung-Hee Kim, 한병원<sup>3)</sup>, Byung-Won Han, 김성욱<sup>4)</sup>, Sung-Wook Kim.

<sup>1)</sup>(주) 바이텍코리아 기술연구소 연구원, Researcher, Institute of Technology, Baytech Korea Inc.

<sup>2)</sup>(주) 바이텍코리아 계측기술부 대리, Assistant Manager, Baytech Korea Inc.

<sup>3)</sup>(주) 바이텍코리아 기술연구소 책임연구원, Responsible Researcher, Institute of Technology, Baytech Korea Inc.

<sup>4)</sup>(주) 바이텍코리아 전무이사, Executive Director, Baytech Korea Inc.

**SYNOPSIS** : It is an essential process to predict behaviors of ground and structure to seek economical efficiency and stability on the given environment. Predictions are conducted through analysis process of ground and structure. For these analyses, exact and quick acquisition of measuring data is required. But we face many difficulties in data acquisition stages due to the conditions of construction site. Therefore development of a powerful and effective monitoring system that can manage the integration of database and the implementation of measuring process in real time is strongly desired. This article shows an actual example of application of internet based monitoring system compared with the conventional monitoring system.

**Key word** : real time database, internet, monitoring system

## 1. 서론

지반공학분야와 관련된 제반문제의 경우 조사, 설계 및 시공단계에서 많은 불확실한 요소가 내포되기 때문에 안전성 확보는 그 어느 분야보다 중요하다. 안전성 확보를 위해서는 현장 및 시공여건을 감안한 체계적인 정보화시공 system이 구축되어야한다. 정보화시공의 체계적인 적용과 시행지침은 Peck이 1969년 9회 Rankine Lecture에서 "Advantages and Limitations of the Observational Method in Applied Soil Mechanics"로 발표하였는데 정보화시공을 시공진행 중 최대의 경제성을 허용하고 안전성을 확인하여 설계를 합리적으로 보완해주는 방법으로 소개하였다. 국내에서도 부산 및 서울지하철, 대형 원자력 발전소, Dam등 주요 구조물 거동파악과 안정성 평가를 위해서 1980년 중반부터 체계적인 계측이 수행된 바 있으며 최근에는 대부분의 도심지 공사나 중요 구조물 공사, 특히 지반상태가 불량한 항만이나 연약지반에서 계측을 이용한 정보화시공이 활발하게 진행되고 있다. 그러나 현재까지 계측을 이용한 정보화 시공이 만족스럽게 발전하지 못한 이유에 대해서 Powdeham (1996)은 영국토목학회가 발간한 "The Observation Method in Geometrical Engineering"에서 계약의 복잡성과 위험에 대한 공정한 책임

소재 문제, 정보화시공 사례 자료부족, 지반조건에 대한 불신임 등으로부터 야기되는 기술적인 자신감의 결핍 등이 원인이라고 평가하였다. 이러한 문제점 극복과 관련 계측 system의 hardware측면에서 전자 산업과 접목되면서 자동화 계측 및 유무선 통신 연결처리기술의 발달로 시공 중 위험경고 및 이에 대한 즉각 조치 체계구축이 가능하게 되었다. 그러나 이런 Hardware적인 발전에도 불구하고 건설현장의 특수성으로 인하여 지반 및 구조물의 위험한 징후를 알리는 계측정보가 발생하였을 때 다양한 사업자간의 의견교환과 자문가(전문가)그룹간의 의사 결정이 원활하게 진행되지 못하는 것이 현실이다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 기존 국내 인터넷망과 연계된 계측관리 시스템의 개발이 절실히 요구되며 특히 국내 인터넷 보급률 및 초고속 인터넷 회선 보급률이 현재 세계최고수준을 유지하고 있는 사실을 감안할 때 그 활용성은 큰 것으로 판단된다. 본 논문에서는 ○○호안축조공사 현장을 대상으로 당사가 개발한 인터넷 기반 계측관리 시스템을 적용하여 계측관리를 진행한 사례를 기술하고자 한다.

## 2. 계측 시스템 구성

본 현장의 전체적인 계측관리 시스템 구성은 아래 그림 1과 같다.

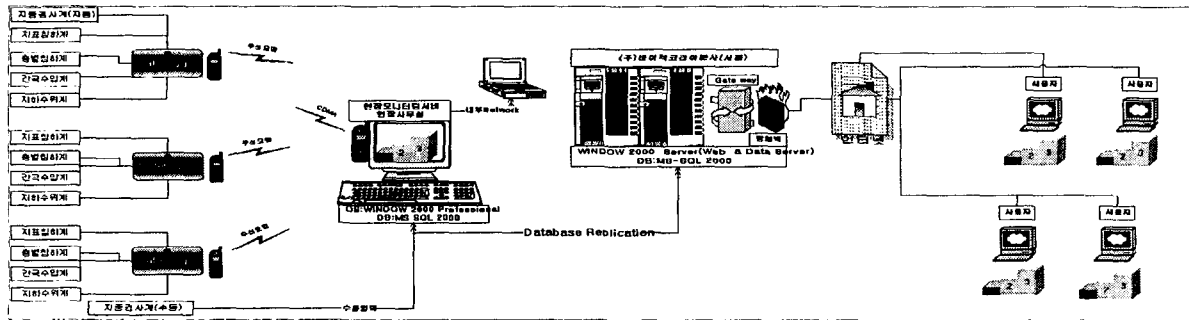


그림 1. ○○호안 축조공사 계측관리 시스템 구성도

단면에 설치된 계측센서는 연약지반 거동에 따른 케이블 단선보호 대책을 강구한 뒤 Data logger에 연결하였다. Data logger에 연결된 센서는 무선통신모뎀을 통해 현장모니터링 서버로 전송되어 database에 저장된다. 현장모니터링서버에 저장된 계측data가 database간 복제를 통해 본사계측서버로 전송하게 된다. 본사계측서버에 전송된 data는 사용자 인증절차를 거친 후 explorer와 Geomonitor(연약지반)전용프로그램을 이용하여 인터넷을 통해서 실시간 모니터링 및 분석을 진행한다. Geomonitor(연약지반)프로그램의 구성은 침하분석, 안정관리, Raw데이터관리로 구성되어 있다. 침하분석에서 침하, 간극수압, 성토 데이터를 이용하여 Hyperbolic, Hoshino, Asaoka의 세 가지 방법으로 분석을 수행한다. 안정관리는 Kurihara, Matsuo, Tominaga, Sh/Sv방법, 침하속도, 성토속도, Hukuda방법을 이용한 분석을 수행한다. 그리고 Raw데이터관리는 현장모니터링서버에 저장된 모든 센서에 대해서 원시Data 및 계산결과를 동시에 볼 수 있을 뿐 아니라 스프레드시트로 export기능을 포함하고 있다. 모든 계측센서는 최종계측치는 화면감시창을 통해서 실시간 감시할 수 있는 시스템으로 구성되어 있다. 추가적으로 지중경사계에 대해서는 다양한 그래프(Cumulative, Incremental, Absolute, Time & displacement, Check Sum) 로 표현할 수 있어 다양한 분석이 가능하다.

## 3. 현장개요

본 현장은 부산과 진해일대에서 진행되고 있는 ○○ 건설공사의 일부인 호안축조공사로서 지층의 상태는 실트질 점토층, 모래층, 모래 자갈층 및 기반암으로 구성되어 연약지반이 넓게 분포되어 있으며 연약층의 두께는 9.0~49.0m로 형성되어있다. 연약지반 처리공법은 연약점토층 내에 투수성이 좋은 배수재인

카드보드를 연직방향으로 타입 시켜 수평배수거리를 단축시켜 압밀을 촉진하는 공법을 채택하였다. PBD타설 심도는 DL(-)40.0M, 타설간격은 1.5M로 시공하였다. 당 현장에 계획 및 설치된 계측항목은 경사계, 층별침하계, 지표침하계, 간극수압계, 지하수위계, 지표침하판으로 구성되어 있으며 단면상의 계측기 설치 위치는 아래 그림 2와 같다. 또한 각 계측기기들의 측정 및 계측방식을 정리하면 표 1과 같다. 그리고 본 현장에 설치된 계측기기중 항만공사 및 연약지반과 같이 압밀침하가 많이 발생하는 곳에서 사용하는 층별침하계는 기존 측정방식에서의 문제점을 보완된 계측기기를 선정되었다.(표 2)

계측항목	측정방식	계측구분	비고
지표침하판	수준측량	수동	
층별침하계	접동저항식 (더블포테선미터)	자동	
지중경사계	Force balance acceleration	수동	
지중경사계	Electrolitic level	자동	
지표침하계	접동저항식 (더블포테선미터)	자동	
지하수위계	차동트랜스형	자동	대기압 보정
간극수압계	차동트랜스형	자동	

표 1. 계측항목 및 측정방식

기존 층별침하계	개선된 층별 침하계
문 제 점	개 선 안
침하가 진행됨에 따라 측정Rod를 연결하여야 함으로 시공상 장애가 발생한다. Rod에 충격 발생시 계측데이터의 신뢰성이 저하된다.	Rod 및 침하소자의 움직임을 측정하기 때문에 단계성 토 시 추가 Rod가 불필요하다. 지표침하측정도 동시에 할 수 있다.

표 2. 층별침하계의 문제점과 개선안

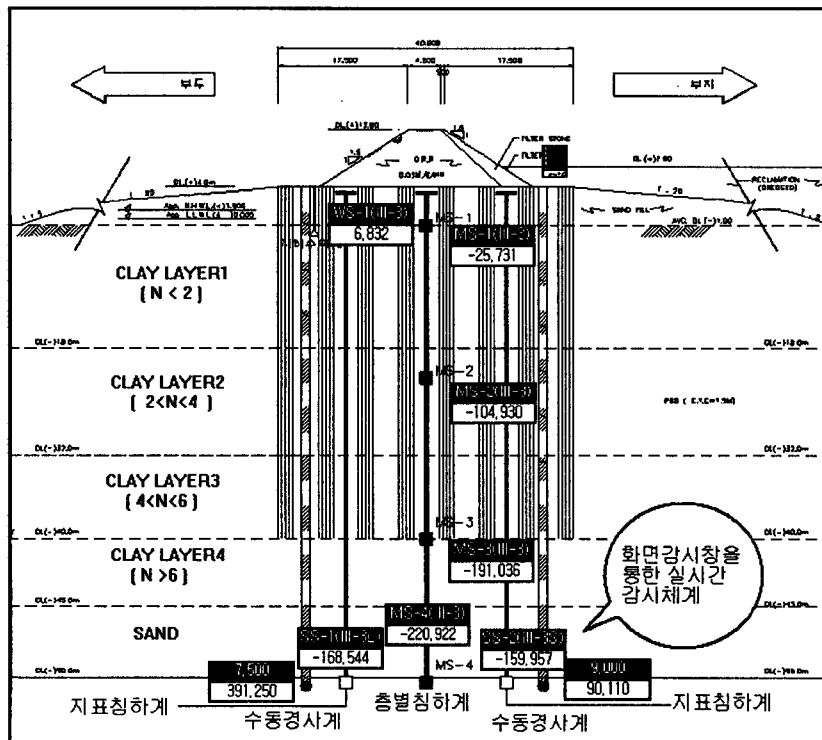


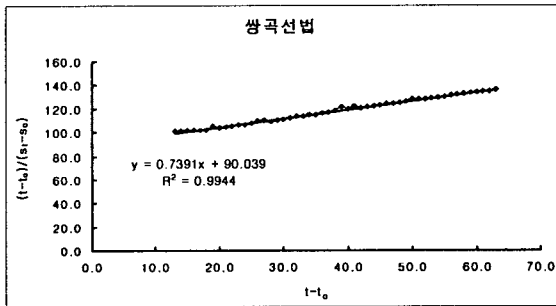
그림 2. 계측기 설치 단면도

## 4. 계측 결과 분석

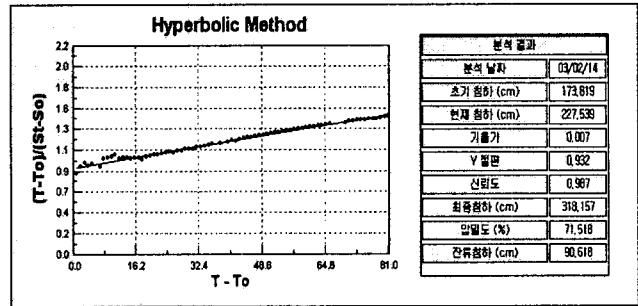
Geomonitor 내의 분석기능은 침하분석, 안정도 분석, 간극수압을 이용한 분석 등으로 나눌 수 있다. 본 장에서는 Geomonitor 내의 분석기능과 일반적인 분석방법과의 결과비교를 통하여 정확성, 편의성, 효율성을 검증하였다.

### 4.1 침하량 분석

침하량의 예측을 위해 보편적으로 사용되는 방법은 쌍곡선법, Hoshino법, Asaoka법이다. 이 중 쌍곡선법은 침하량에 2차 압밀침하가 포함되어 있으므로 예측치와 실측치는 잘 대응한다고 보고 되어 있다. 그러나 예측 침하량은 실측치보다 작은 값부터 차츰 실측치와 가까워지는 경향을 보인다. 이것은 2차 압밀침하량이 예상 이상으로 큰 값을 나타내고 있기 때문으로 사료되나 아직은 그 원인이 불명확한 상태이다. 그리고 회귀직선을 결정함에 있어서는 후반부의 직선 부분을 검토함이 바람직하다. Hoshino법은 본 현장의 상황에 부적합하다고 판단하여 제외시켰다. Asaoka법은 Mikasa의 1차원적 미분방정식을 이용하여 현장 침하 자료로부터 임의의 시점에서의 침하량을 구할 수 있는 도식적 방법으로써 대개 압밀도 60% 정도에서도 비교적 장래침하량을 잘 예측할 수 있는 것으로 알려져 있다. 쌍곡선법과 Asaoka법의 분석 결과는 다음그림 3,4,5,6과 같다.

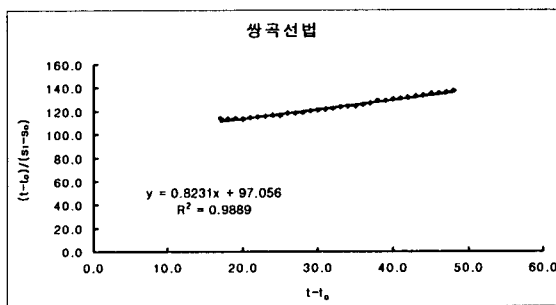


(a) 스프레드시트

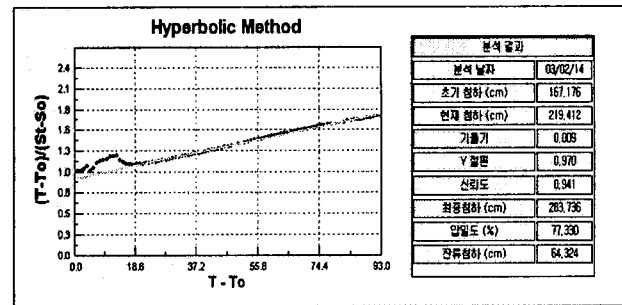


(b) Geomonitor

그림 3. A지역의 침하량 예측(쌍곡선법)



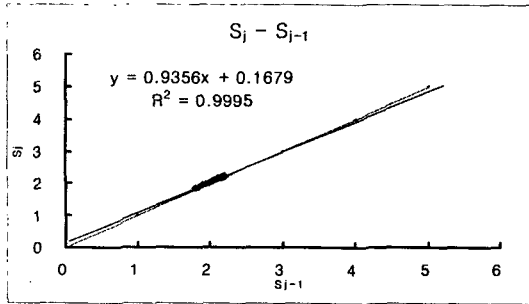
(a) 스프레드시트



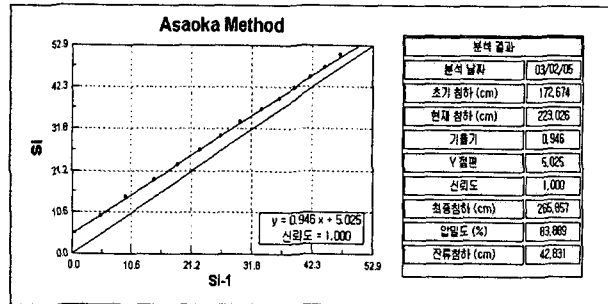
(b) Geomonitor

그림 4. B지역의 침하량 예측(쌍곡선법)

두 가지 방법에 의한 분석결과 기존 지표침하계와 층별침하계의 문제점을 개선한 침하계 사용 및 자동화 계측시스템 시행으로 양질의 계측data의 획득할 수 있어 분석 시 신뢰도가 높은 결과를 얻을 수 있었다.

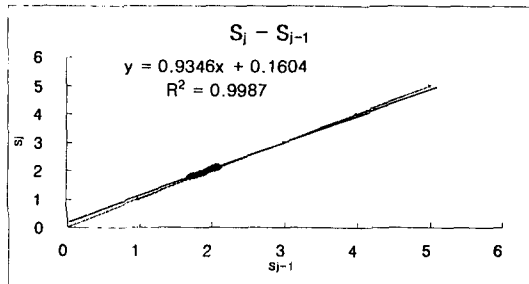


(a) 스프레드시트

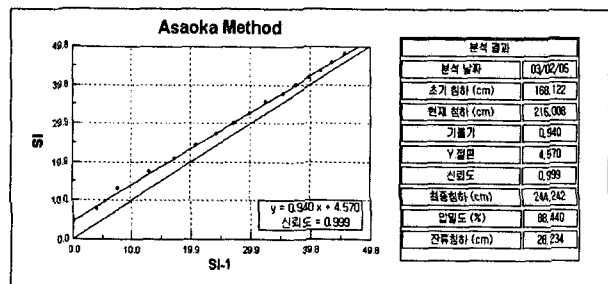


(b) Geomonitor

그림 5. A 지역의 침하량 예측(Asaoka법)



(a) 스프레드시트



(b) Geomonitor

그림 6. B 지역의 침하량예측(Asaoka법)

대상지역 A지점과 B지점에 대한 스프레드시트와 Geomonitor에 의한 최종침하량 예측결과 표 3에서 보는 바와 같이 예측결과가 유사하게 나타났다. 쌍곡선법과 Asaoka법에서 통상적인 결과와 비슷하게 나타났다으며 Asaoka법의 예측결과가 두 방법에서 모두 상대적으로 저평가 되었다. 상관계수 분석결과 역시 표 4에서 보는 바와 같이 두 방법 모두 0.95를 상회하는 값을 보여 줌으로서 분석의 신뢰성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

	분석수법	스프레드 시트	Geomonitor
A 지역	쌍곡선법	3.150	3.181
	Asaoka법	2.607	2.658
B 지역	쌍곡선법	2.941	2.837
	Asaoka법	2.453	2.442

표 3. 최종침하량 예측값(m)

	분석수법	스프레드 시트	Geomonitor
A 지역	쌍곡선법	0.994	0.987
	Asaoka법	0.999	1.000
B 지역	쌍곡선법	0.989	0.999
	Asaoka법	0.999	0.941

표 4. 분석 상관계수

그림 7은 Geomonitor의 회귀직선 선정과정을 보여 준다. 통상 일반적으로 스프레드시트를 이용하여 분석할 경우 회귀직선의 기울기와 절편을 지정하는 과정에서 제약이 많이 따라 분석의 불편함이 내재되었던 게 사실이다. 하지만 Geomonitor의 경우 회귀직선의 선정 즉 fitting이 매우 용이하여 기술자의 다양한 회귀분석을 실시간으로 진행할 수 있어 보다 정확한 침하 예측이 가능하다. 또한 회귀직선 선정 후 자동적으로 예상침하량그래프와 실제 침하량그래프가 함께 도시됨으로서 회귀직선의 선정에 신뢰성을 높여 줄 수 있다.

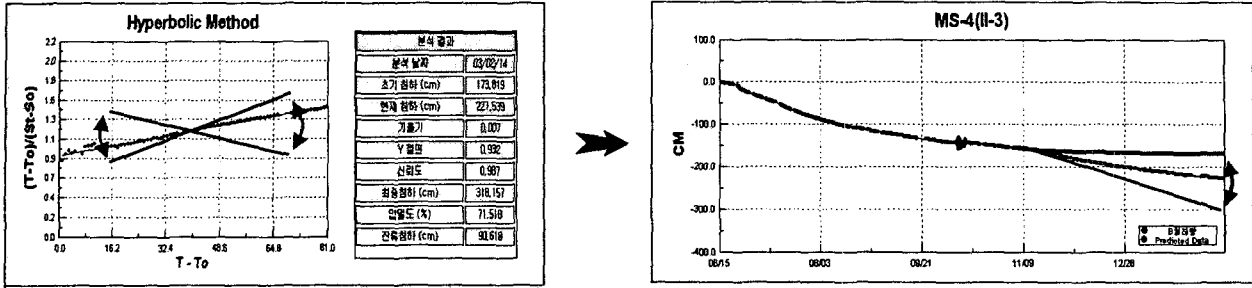
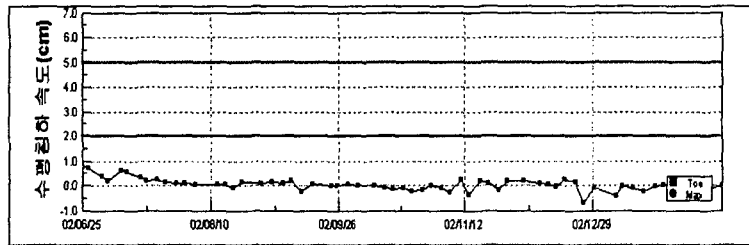


그림 7. Geomonitor 의 분석기능

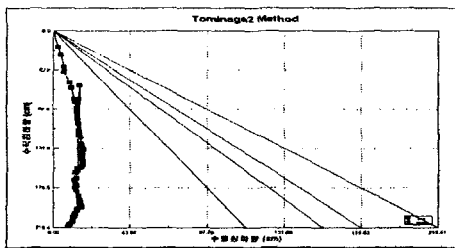
#### 4.2 안정 관리 분석

연약지반에 있어서 안정관리 역시 침하관리에 못지않게 매우 중요하다. 연약 지반 상 성토시 안전율은 성토속도와 연관이 있다. 성토속도가 빠르게 되면 안전율은 내려가게 되며 성토하중의 증가는 지반의 강도를 증대시키는 효과가 있다.

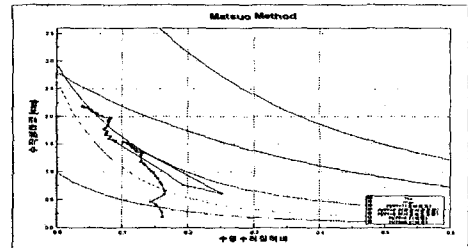
안정관리를 통하여 지반의 파괴를 방지하는 범위에서 성토속도 및 성토하중을 관리함으로써 경제적 이득과 안정 확보를 도모할 수 있다. 현재 실무에서 여러 가지 방법이 사용되고 있으며 Geomonitor에서는 Tominaga-Hashimoto법, Kurihara-Ichimoto법, Matsuo-Kawamura법 등 여러 가지 방법을 통합적으로 이용할 수 있다. 또한 인터넷을 통해 공간적 제약 없이 실시간 분석이 가능하여 성토체의 안정성 분석의 신속성을 확보할 수 있어 현장의 위험징후에 대해 즉각적인 대응을 할 수 있다. 안정관리에서는 경사계 데이터의 활용이 필수적이므로 경사계와 연계되어 분석이 요구되는데 경사계 데이터와도 상호연계가 되어있으므로 분석과정상의 절차가 줄어들어 신속하고 편리하게 분석이 이루어진다. 그림 8, 9는 B지점의 안정관리분석 결과이다. 분석 결과를 보면 3가지 분석방법 모두 대체적으로 안정적인 거동을 보이고 있어 안정성에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.



(a) Kurihara-Ichimoto분석

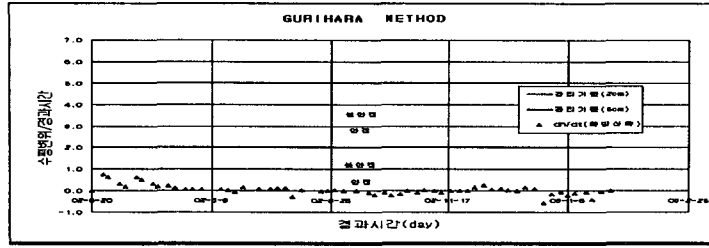


(b) Tominaga-Hashimoto분석

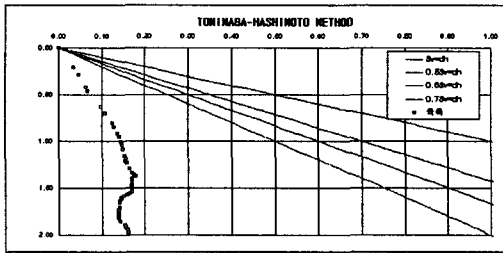


(c) Matsuo-kawamura분석

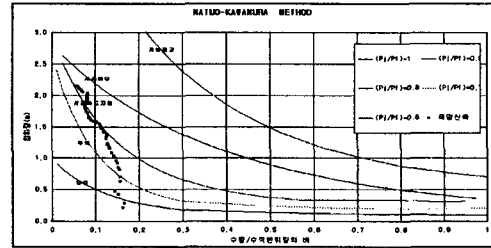
그림 8. B지역에 대한 안정관리 분석(Geomonitor)



(a) Kurihara-Ichimoto분석



(b) Tominaga-Hashimoto분석



(c) Matsuo-kawamura분석

그림 9. B지역에 대한 안정관리 분석(스프레드시트)

### 4.3 측방 변형 분석

연약지반에서는 지반의 침하뿐만 아니라 측방유동에 대해서도 충분히 고려되어야 한다. 본 현장의 지중경사계에 대한 측방변형 계측결과는 그림 10.11.12와 같다.

연약지반 개량 후 가호안 사면 끝단에 설치된 지중경사계의 최대 변형발생지점은 Sand mound 하단 즉 연약지반상부에서 발생하고 있는 것으로 나타나고 있다. 전반적인 측방변형형태를 경사계 지점변위 및 누적변위그래프에서 살펴보면 Sand mound 구간(지표에서 7m구간)에서 측방변형 구속효과가 뚜렷하게 나타나고 있는 것으로 관측되었다. 이와 같은 측방변형 형태가 관측되는 것은 Sand mound와 연약지층과의 지반 강성차이에 기인한 결과로 판단된다.

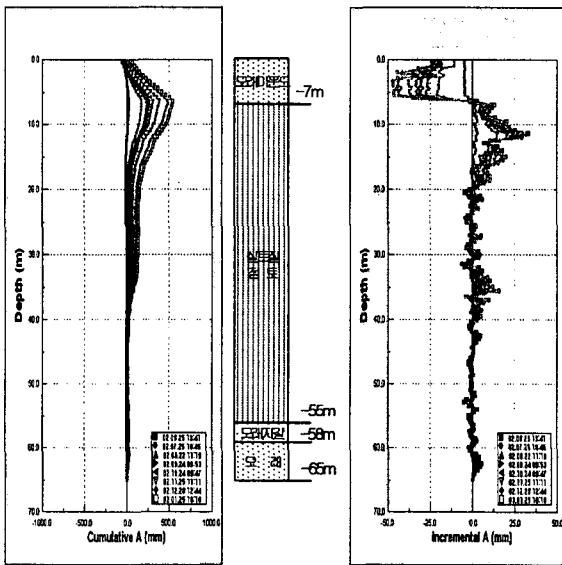


그림 10. A 지역의 Cumulative와 Incremental

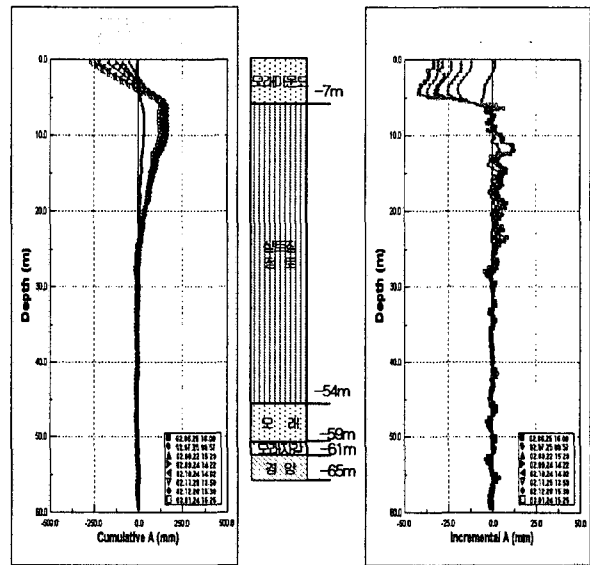


그림 11. B-1 지역의 Cumulative와 Incremental

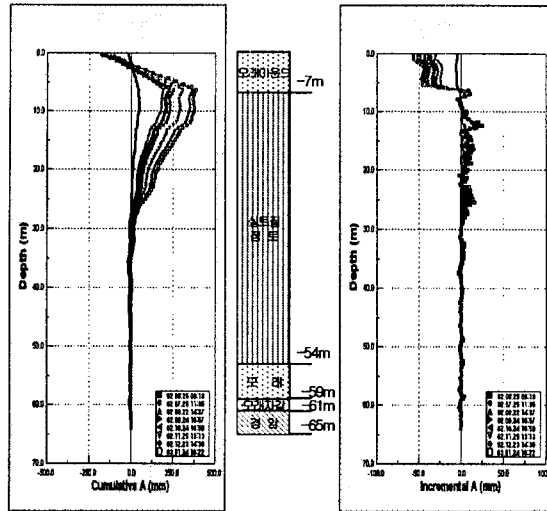


그림 12. B-2 지역의 Cumulative와 Incremental

## 5. 결론 및 제언

○○호안 축조 공사시 호안 하부 연약지반 침하 및 안정관리를 위해 인터넷 기반 계측관리방법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 인터넷 기반 계측관리 방법을 도입함으로써 침하예측, 안정관리 분석을 시간이나 공간적인 제약없이 시공사나, 감리단, 계측사, 전문가가 동시에 진행할 수 있어 공사현장의 위험정후에 대해 즉각적인 대처가 용이함.
- (2) 인터넷을 통한 침하관리 방법 중 Hyperbolic법과 Hoshino법 및 Asaoka법에서 회귀직선의 선정방법이 기술자의 주관적인 판단에 의해 임의적으로 선택할 수 있어서 다양한 침하예측이 가능하여 보다 정확한 압밀도 추정이 신속하게 이루어질 수 있었음.
- (3) 인터넷을 통해 지중경사계의 측방변형형태를 다양한 그래프(누적변위, 지점변위, checksum, 절대변위 그래프)로 관찰할 수 있어 측방변형에 대한 체계적인 관찰이 가능하였음.
- (4) 마지막으로 인터넷을 이용한 연약지반 계측관리 시스템을 적용한 결과 현장에서 자동 및 수동으로 계측된data를 시공간에 관계없이 언제 어디서나 분석 및 모니터링을 할 수 있어서 공사전반에 대한 안전의식 및 시공관리의 효율성을 제고 할 수 있었음.

### <참고문헌>

1. 삼성물산주식회사(2002), “부산 신항 가호안 시공전 지반조사보고서”
2. 한국지반공학회(1995), “지반공학 시리즈6 연약지반”, 구미서관
3. 한병원,허인욱,조충봉(2002), “인터넷기반 계측관리시스템에 관한 연구”, 한국지반공학회 '2002 봄 학술 발표회 논문집, pp.635~642.
4. 홍성영(1995), 지반의 측방유동, 건설도서, pp41~59.
5. 한국지반공학회(2000),“지반공학 시리즈 12 정보화시공”, 구미서관, pp 3~40.