

## 연약지반 계측 정보관리 및 자동분석·재설계 시스템 개발

### A Development of Automated Monitoring Technique and Feedback Design System for Embankment on Soft Ground

한영철<sup>1)</sup>, Y.C. Han, 윤동덕<sup>1)</sup>, D.D. Yun, 김주용<sup>1)</sup>, J.Y. Kim

<sup>1)</sup> 대우엔지니어링 토목사업본부, Civil Department, DAEWOO Engineering Co.

**SYNOPSIS** : This paper describes development of a new automated real-time system which performs measurement data reduction and management, geotechnical backanalysis, and feedback design for embankment construction on soft ground.

Such a system can be an effective, useful and economical tool for managing a large site development on soft ground. The system consists of data base system to characterize soil properties and identify instrumentation, analysis system for ground behavior and stability coupled with automatic monitoring system, and feedback design system which is a new technique to reflect the analysis of measured ground behavior against original design.

**Key Words** : Instrument, data management, auto-analysis, feedback design, soft ground

## 1. 서 론

지반공학분야의 기술 및 학문적 성장에도 불구하고 지반의 불균질성, 비등방성등과 관련된 지반 자체의 복잡한 공학적인 특성과 토질상수 결정을 위한 현장 및 실내시험의 한계로 인하여 지반거동을 정확히 예측하는데는 무리가 있다. 따라서 이를 극복하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔으며 가장 현실적인 방법 중의 하나가 계측관리로 인식되어지고 있다. 계측관리는 대상지반에 계측기를 설치하고 정기적인 측정으로 실제 지반의 거동을 정량적으로 파악하며 또한 계측결과에 대한 분석을 통하여 설계의 신뢰성 확인, 시공의 안정성 및 경제성을 목적으로 시행되고 있다. 국내에서는 1980년초에 도입되어 계측관리의 필요성이 증대됨에 따라 최근 인천 국제공항 건설공사를 비롯하여 부산의 녹산지역, 신호공단, 양산물금지역 등 대부분의 연약지반 개량공사에는 계측관리를 필수적으로 시행하고 있다. 계측관리에 대한 연구들도 활발히 수행되어 한영철등(1995)에 의한 자동계측 및 분석시스템에 대한 개발 연구, 새로운 침하 분석방법의 도입(정성교등, 1998) 및 상용 프로그램 개발(Dwsoft, EMMS, Barron등)등 다양한 기법이 소개되고 있다.

한편 대규모 단지에 대한 계측관리는 연약지반 분포에 따른 지역의 분할, 지역별 토질특성 등의 지반 정보와 병행하여 계측자료에 대한 정보관리가 필요하며, 특히 실시간 측정자료에 대한 거동분석과 안정 해석을 자동적으로 신속히 처리하고 분석결과로부터 역산하여 산정된 각종 설계변수에 대하여 재설계를 수행하므로써 보다 안정하고 경제적인 시공관리를 구축할 필요가 있다.

따라서 본 고에서는 기개발된 자동계측 및 분석시스템을 더욱 확장하여 지반 및 계측 정보관리, 실시간 자동 분석 기법 및 재설계 프로그램등을 포함하여 'Expert System' 방식으로 개발된 종합적인 계측 관리 시스템을 소개하고자 한다

## 2. 종합 계측관리 시스템의 구성

모든 계측관리의 기본적인 목표는 현장 측정자료로부터 지반의 거동을 분석하여 안정성을 확보하고 장래 추이를 파악하는데 있으며, 이러한 거동분석 및 안정해석 기법은 각각 다양하며 지반의 토질분포 및 특성에 따라 다소 상이한 결과를 보이는 바, 각 지역 특성에 맞는 최적 거동분석 및 안정 해석기법이 필요하다.

일반적으로 압밀침하에 대한 설계는 일반적으로 실내시험으로부터 산정된 토질정수에 의해 결정되므로 시료의 교란등 실내시험의 한계, 불규칙한 지층분포에 따른 시료의 대표성 문제등으로 인하여 당초 설계시 예측된 압밀침하가 실제 현장에서는 다소 상이한 거동을 나타내는 경우가 대부분이다. 따라서 단계별 성토시 측정 초기에 장래 침하량을 정확히 예측할 수 있는 기법이 필요하므로 측정자료에 대한 거동분석과 병행하여 토질상수를 역산하여 재설계를 수행할 수 있는 새로운 기법이 필요한 실정이며, 이러한 기술이 주어진 공사기간을 준수하고 공사비의 절감을 도모할 수 있을 것이다. 또한 연약지반에 성토재하시 사면의 안정 즉 전단파괴가 발생하지 않도록 한계성토고 이내에서 점진적으로 단계별 성토를 시행할수 있도록 안정관리가 요구되며, 이러한 시공과정에 있어 실시간거동분석과 안정해석은 효율적인 공사관리와 공사기간 단축등 경제성에 있어 상당히 유리한 바 자동화 계측을 통한 'Expert System'의 도입은 필수적이라 할 수 있다.

이와같은 배경으로 개발된 종합 계측관리 시스템의 개요는 그림 1과 같으며 지반/계측정보관리, 자동 계측 및 자동분석, 재설계 및 자동분석, 재설계 프로그램으로 구성되고 있다.

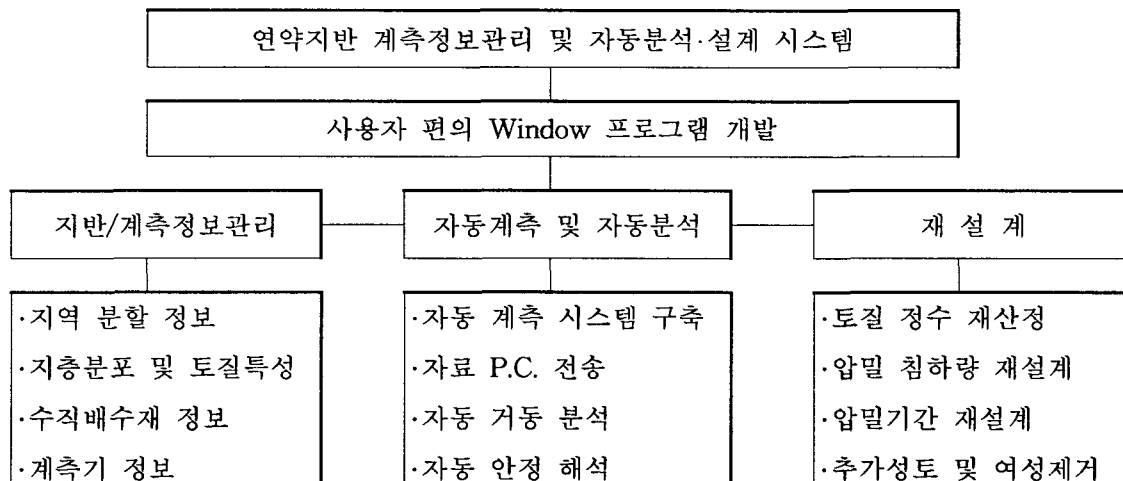


그림 1. 연약지반 계측 정보관리 및 자동분석·설계 시스템 개요

## 3. 지반/계측 정보관리

지반/계측정보관리는 Window환경에서 지형Map를 작성하여 마우스로 관련 지역을 선택함으로써 계측대상지역의 개발현황, 계측기정보, 연약층후등과 같은 정보를 신속하고 쉽게 얻을수 있도록 하였다. 대규모 단지의 계측관리를 수행하는 경우 효율적인 계측관리를 위하여 그림 2와 같이 연약지반의 분포에 따라 지역(용도)별로 Block을 분할하여 구획을 설정하고 Expert System으로 관련된 지역의 계측기,

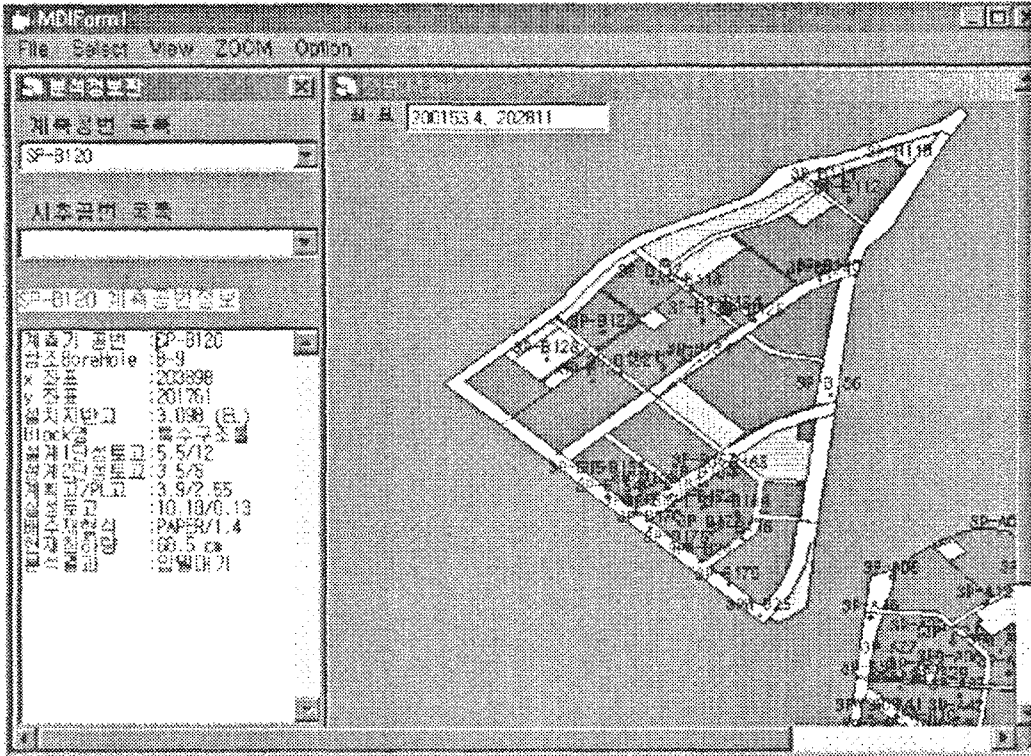


그림 2. 지역별 블록정보 및 계측기, 시추공 정보

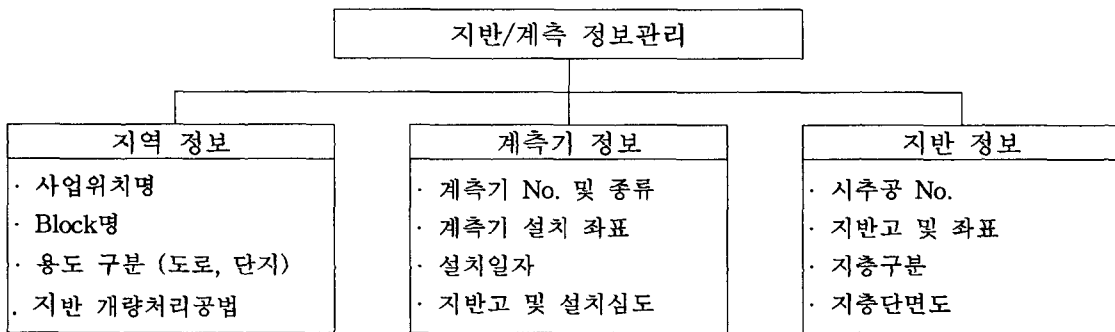


그림 3. 지반 및 계측 관리정보 세부항목

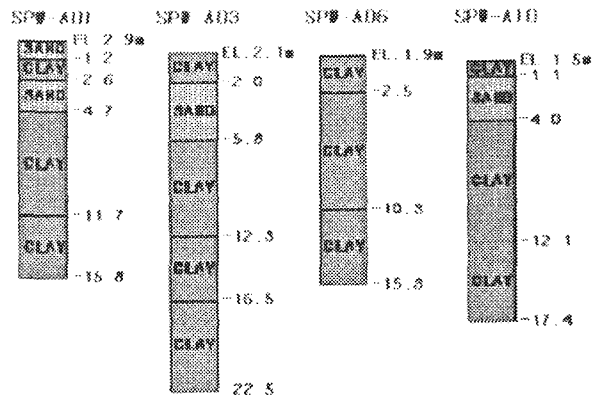


그림 4. 지층단면도

Block명, 추공등의 상세한 정보를 실시간으로 제공받을 수 있도록 하였다. 또한 각 항목별로 그림 3에서 나타낸 각종 정보를 선택하여 제공받을 수 있으며, 특히 각 Block내의 지층분포를 파악할 수 있도록 다수의 시추공들을 선택하면 그림 4와 같이 선택된 지역의 지층단면도를 나타낸다.

#### 4. 자동 계측 시스템

계측자동화는 인력에 의하지 않고 자동적으로 각종 계측기 Sensor로부터 Bus Cables 혹은 Modem으로 Multiflex 및 Data Logger를 통하여 원거리 혹은 원격으로 PC에 전송하는 바 실시간 정밀측정이 가능하며, 시공에 장애를 초래하지 않고 기상과 무관하게 높은 빈도측정이 가능하므로 매우 효율적인 계측관리를 수행할 수 있다. 특히 거동분석 및 안정해석등에 대하여 실시간 자동분석 시스템을 도입하는 경우에는 계측 자동화는 필수적이며, 이미 인천 국제공항 부지조성공사 시험시공에서 최초 도입하여 효율성이 입증되어 현재 양산물금지구 시험시공 부지에서도 수행되고 있다.

한편 계측기는 간극수압계, 경사계, 지중침하계, 토압계 및 수평 Profiler등 대부분이 전기식으로 자동화가 가능하다. 특히 지표침하의 경우 현재 액체침하계 형식의 지중침하계를 사용하고 있으나, 최근 수 mm이내의 오차를 갖는 GPS 시스템 혹은 최근 개발된 매립형 지반 침하계(천일 지오컨설턴트)를 이용하면 더욱 완벽하고 효율적인 계측 자동화 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

#### 5. 자동 분석 시스템

일반적으로 계측관리는 침하관리와 안전관리로 대별되며 이에따라 본 자동분석 시스템은 거동 분석과 안정 해석으로 구분하여 다음과 같이 시스템을 구성하였다.

거동분석 시스템은 자동계측 시스템과 침하 및 간극수압 자료가 서로 유기적으로 연결되어 있으며, 각 지역 특성에 맞는 최적 거동분석 기법의 선정 및 적용성을 파악할 수 있도록 각종 기법들에 대한 비교분석이 가능하도록 하였다. 즉 본 시스템의 분석 방법으로는 Hyperbolic법, Hosino법, Asaoka법,  $\sqrt{S}$ 법 및 수직배수재를 고려한 이론적(고전적)분석 방법등이며 실시간 거동 분석은 물론 최종침하량, 압밀도 산정 및 재하중의 잔류침하량등의 분석결과를 나타낸다(그림 5 참조). 특히 현장조건에 따라 수동분석, 반자동분석(분석결과 확인버튼 제공), 자동분석 등의 다양한 기능이 포함되어있다.

안정관리는 현장에서 주로 Kurihara방법의 수평변위 2cm/일을 기준으로 관리하였으나 본 자동 안정해석 시스템은 Kurihara방법 이외에도 Kawamura법, Tominaga-Hashimoto법 등의 각종 안정관리 기법으로 구성되어 다양한 지반특성 및 현장조건에대하여 실시간 안정해석을 통한 효율적인 공사관리가 가능하도록 하였다.(그림 6 참조)

#### 6. 재설계

일반적으로 압밀침하에 대한 설계는 실내 및 현장시험 결과의 한계로 인하여 당초 예측된 압밀침하가 실제 현장에서는 대부분 상이한 거동을 나타내며, 특히 단계별 성토시에는 침하거동 분석과 병행하여 반드시 원설계에 대한 검증은 물론 필요시 재설계가 필요한바 본 시스템은 계측 거동분석 결과로부터 토질상수를 역산하여 자동적으로 재설계를 수행할 수 있는 새로운 기법을 도입하였다.

즉 본 기법은 각 계측기 설치 위치에서 거동분석 결과로부터 지반물성치(압축지수 및 압밀계수)를 자동적으로 재산정하여 현 성토고에 대한 압밀기간 및 침하량이 주어진 공기 및 목표침하량의 도달 가능 여부를 판단하고 추가성토고를 산정하며 잔류침하량을 고려하여 성토 제거시기등의 제반결과를 자동적으로 그림 7과 같이 화면으로 제공한다.

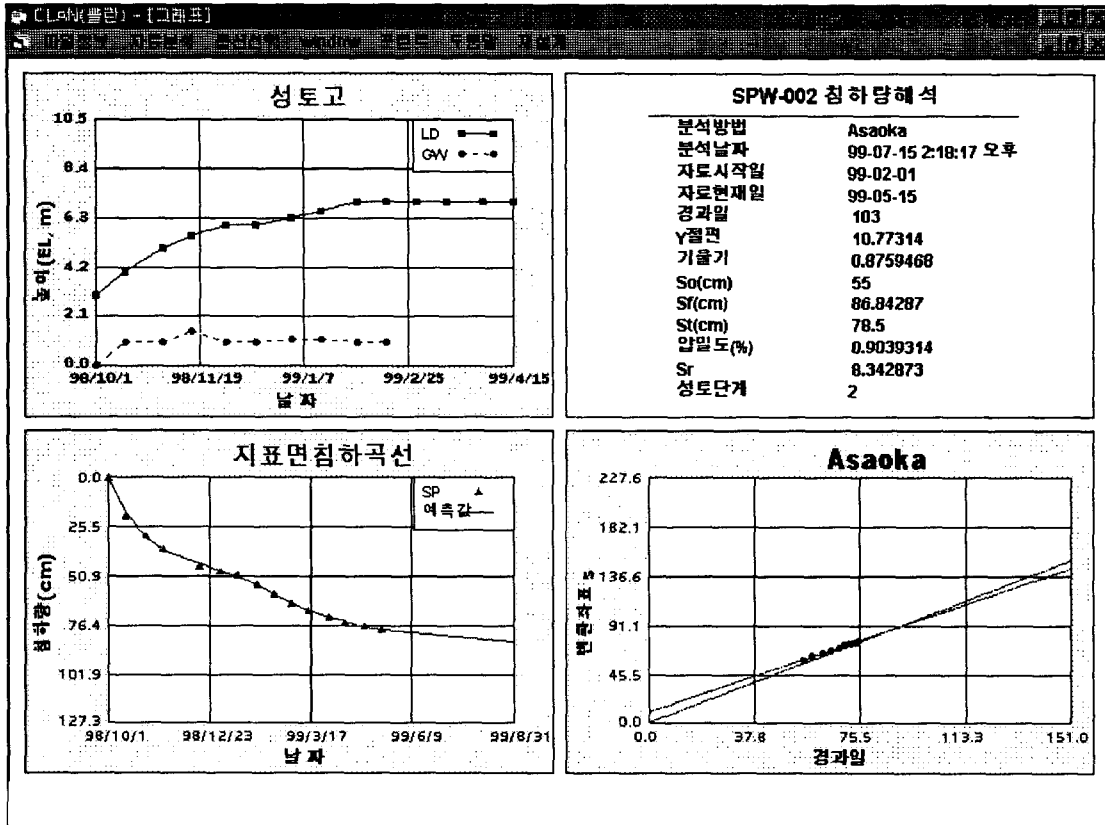


그림 5. Asaoka법을 이용한 거동분석 예

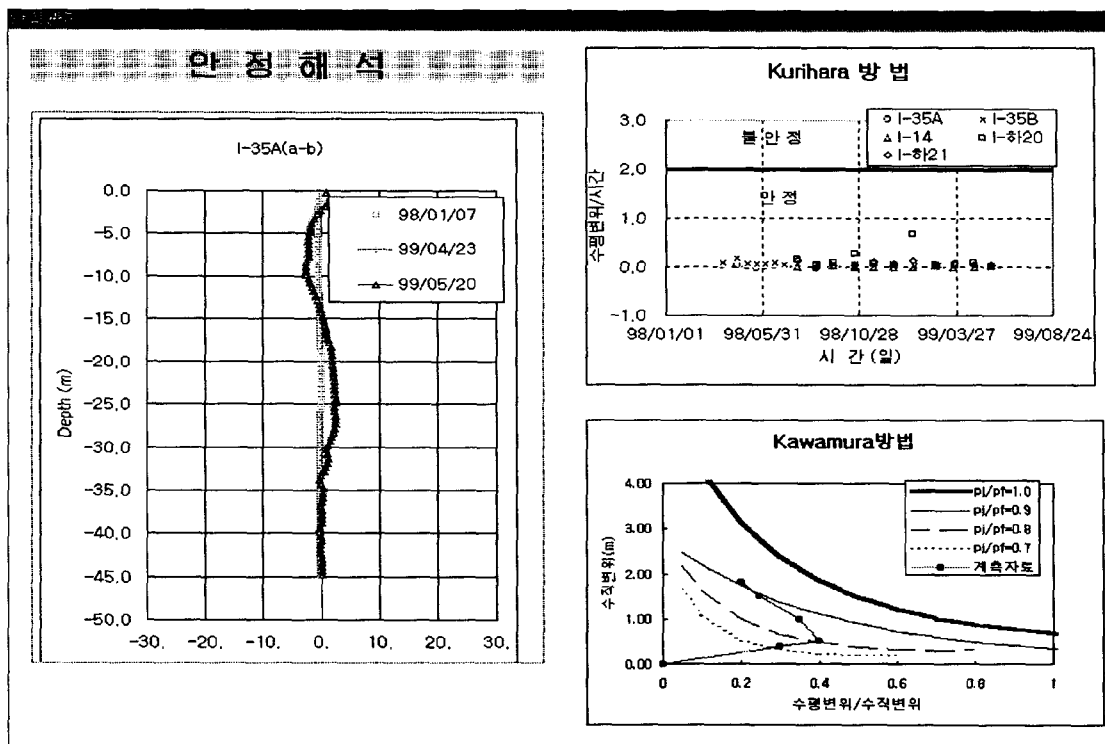


그림 6. Kurihara법 및 Kawamura법을 이용한 안정해석 예

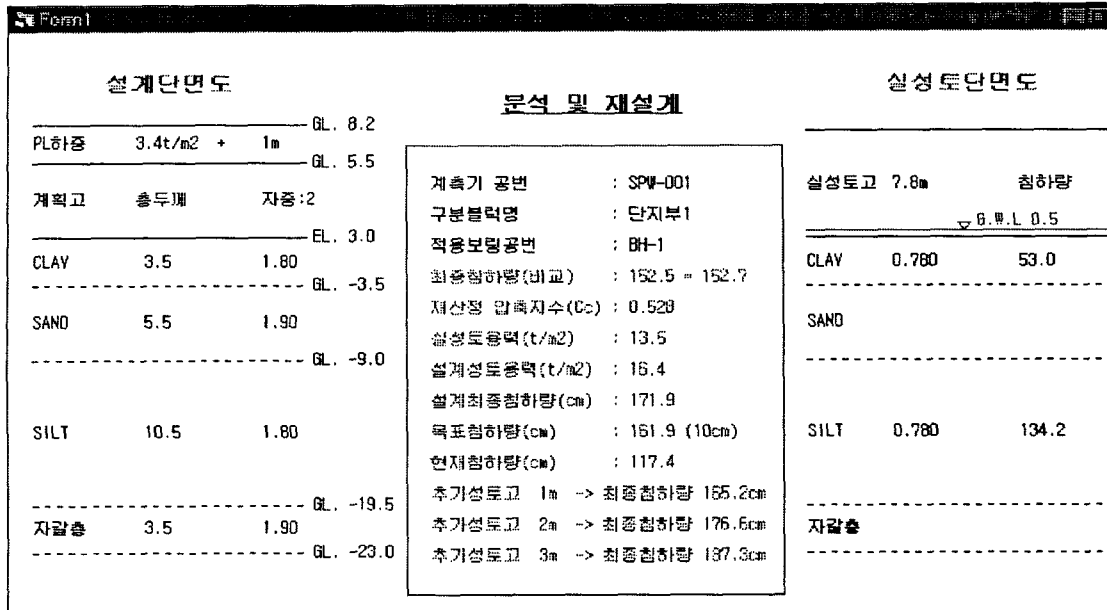


그림 7. 재설계 예제

## 7. 결론

본 고에서는 연약지반 개량공사시 효율적이고 정밀한 계측관리의 운영방안으로 기개발된 자동계측 및 분석 시스템을 더욱 확장하여 지반/계측 정보관리, 자동화 계측, 거동 분석, 안정 해석 및 재설계 프로그램등을 포함하여 실시간 자동화 작업이 가능하도록 Expert System방식으로 개발된 종합 계측관리 시스템을 소개하였다. 본 시스템의 개발로 인하여 대규모 단지에 대한 계측관리를 수행하는데 있어 지역특성을 고려한 지반 및 계측등의 정보관리를 구축할 수 있고 실시간 측정자료에 대한 거동분석과 안정해석을 자동적으로 신속히 처리할 수 있으며, 분석결과로부터 역산된 각종 설계변수에 대하여 자동적으로 재설계를 수행하므로써 보다 안정하고 효율적인 계측관리는 물론 주어진 공사기간을 단축하고 공사비의 절감을 도모할 수 있는바 종합 계측관리 시스템으로서 완벽한 시공관리가 가능하도록 하였다.

현재 본 시스템은 양산/물금지역의 계측관리에서 도입하여 적용 중에 있으며 향후 댐, 터널, 사면 및 굴토공사등에 적용성을 확대해 나갈 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 정성교, 최관희, 최호광, 조기영 (1998) "압밀해석을 위한  $\sqrt{S}$  예측기법", 한국지반공학회지, 14권, 2호, pp41-52.
2. 한영철, 송정락, 윤동덕, 이경수(1995) "연약지반 자동계측 및 분석 시스템", 한국지반공학회, '95년도 추계학술발표회 논문집, ppIII-9~III-14.
3. Arai, K., Ohta, J. & K. Kojima (1984) "Estimation of Soil Parameters Based on Monitored Movement of Subsoil Consolidation", *Soil and Foundations* 24, pp95~108.
4. Gioda, G. & S. Sakurai (1987) "Back Analysis Procedures for The Interpretation of Field Measurements in Geomechanics", *Int. J. Num. Analyt. Methods in Geomechanics* 11, pp555~583.
5. S.Z. Park, D.H. Jung G.H. Jeong & K.J. Lee(1997), "Evaluation of the Stability of Embankment on Soft Ground by Field Monitoring and Development of The EMMS", *Proc. of 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol 1, Hamburg, pp723~726.