

인터넷 기반 계측관리시스템에 관한 연구 A Study on the Internet Based Monitoring System

한병원¹⁾, Byung-Won Han, 허인욱²⁾, In-wook Hea, 조충봉³⁾, Choong-Boong Cho

¹⁾(주)바이텍코리아 기술연구소 책임연구원, Responsible Researcher, Institute of Technology, Baytech Korea Inc.

²⁾(주)바이텍코리아 기술연구소 연구원, Researcher, Institute of Technology, Baytech Korea Inc.

³⁾(주)바이텍코리아 부사장, Vice President, Baytech Korea Inc

SYNOPSIS : In this study, a new internet-based methodology to manage the data acquired during the construction and maintenance of structure is study

A new internet-based monitoring system to obtain and to manage the measured information regardless of physical location of each user was developed. This method provided an enhanced integration methodology for construction management by implementing common internet or intranet platform

Key words : Internet, Monitoring, Server, Client, Replication, ASP

1. 서 론

건설공사에서 계측을 수행하는 목적은 시공단계에서는 위험요소 관리 및 예측을 통한 공사의 안정성을 확보하여 공공의 안전을 보장하고, 공사기간의 조절을 통해 사업시행업체의 경제성을 확보하는데 근본적인 목적이 있으며 추가적으로는 계측정보의 feedback을 통한 최적설계로, 경제적이고 합리적인 시공을 유도하는데 있다. 또한 시공완료 후에도 유지보수 및 안전관리의 기준을 제시하여 구조물의 지속적인 안정성을 확보할 수 있다. 일반적으로 지반이나 구조물에 대한 해석시 현장시험 또는 실내시험에서 얻은 지반정보는 많은 불확실성을 내포하고 있기 때문에 정확한 설계값을 얻기가 어렵다. 그런데 계측은 지반이나 구조물의 실제거동을 알 수 있어 지반해석 및 구조물 해석을 하는데 정확한 입력값을 측정할 수 있을 뿐 아니라 지반이나 구조물의 거동현상을 미리 예측 할 수 있으므로 건설현장에서는 필수적으로 요구되고 있는 실정이다.

건설공사의 특성상 공간적으로 방대한 영역에서 벌어지며, 시간상 장기간 요구되고 있으며, 아무리 작은 공사현장일지라도 복수의 공정과 다양한 사업자가 복잡하게 얽혀있다. 이와 같은 건설공사현장에서 계측을 통해 얻어진 공사 전체에 대한 방대한 자료를 수작업내지는 부분적으로 컴퓨터를 이용한 데이터처리 및 저장, 관리가 지금까지 진행하고 있는 계측관리방법이다. 그러나 이와 같은 계측관리방법(off-line, local)은 다양한 사업자간의 계측정보교환이 물리적인 공간 및 시간적 제약으로 원활하지 않을 뿐 아니라 통합적인 관리를 하는데 한계가 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 정보기술(Information Technology, IT)한 분야인 ASP(Application Service Provider)를 이용하여 수집된 자료를 통합데이터베이스 형태로 관리하고 실시간으로 계측관리를 진행할 수 있는 시스템을 구축해야 하는 필요성이 절실히 요구되고 있다.

지금까지는 계측시스템은 네트워크환경과 무관한 형태로 계측데이터가 관리되고 있어 계측정보의 공유화 작업이 손쉽게 진행하기 어렵다. 그래서 또 다시 다른 방법으로 계측데이터를 측정하거나 데이터를 변형시켜 사용해야하는 번거로움이 발생하여 시간, 인력, 예산 등이 이중으로 투자되어야 하는 비효율성을 안고 있다. 그래서 보다 진보된 계측관리방법은 현장에서 측정된 계측데이터를 인터넷 환경 하에서 현장에서 분석하고, 데이터베이스화 할 수 있다면 보다 더 효율적인 관리가 가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 인터넷 기반에서 계측자료를 효율적으로 수집, 모니터링 및 저장할 수 있는 시스템을 마련하여 계측자료의 체계적 데이터베이스를 구축하고, 계측자료의 경향분석 및 각 계측자료간의 상관관계를 통해 지반 및 구조물의 거동특성을 파악할 수 있는 인터넷 기반 통합계측관리시스템을 구현하는데 본 연구개발의 목적이 있다.

2 개발환경 및 구성

2.1 시스템 개발환경 및 구성

본 시스템의 개발언어는 Visual C++6.0을 사용하였다. Visual C++는 C++ 객체 지향 프로그래밍 언어를 이용하여 프로그램을 작성할 경우 이것을 컴파일 하여 실행파일로 만들어 주는 컴파일러이다. Window 환경 하에서 프로그래밍 작업을 할 때 가장 적합한 툴은 여러 가지가 있다. 예를 들면 Visual C++, 볼랜드 C++ Builder나 다른 컴파일러 회사에서 제공하는 다양한 C++ 컴파일러들이 있으며 그 중에서 Visual C++를 선택한 이유는 첫 번째로 Window에서 내세우고 있는 기능들과 완벽하게 호환된다는 것이고, 두 번째로는 모든 OS에서 프로그램을 개발할 수 있는 객체지향언어이기 때문이다.

그림 1과 같이 시스템의 구성은 현장계측시스템에서 계측된 Data가 현장 모니터링 시스템에 저장되고 현장모니터링 D/B에 저장된 Data는 인터넷 통신을 통해(TCP/IP) 통합계측관리서버에 실시간 복제화(Replication)가 진행된다. 그리고 통합계측관리서버에 복제된 Data는 인증된 사용자 프로그램에 의해 인터넷 환경 하에서 계측Data를 모니터링 할 수 있다. 각 시스템 구성 단위별 운영시스템 및 데이터베이스 구성은 아래 표 1 과 같다.

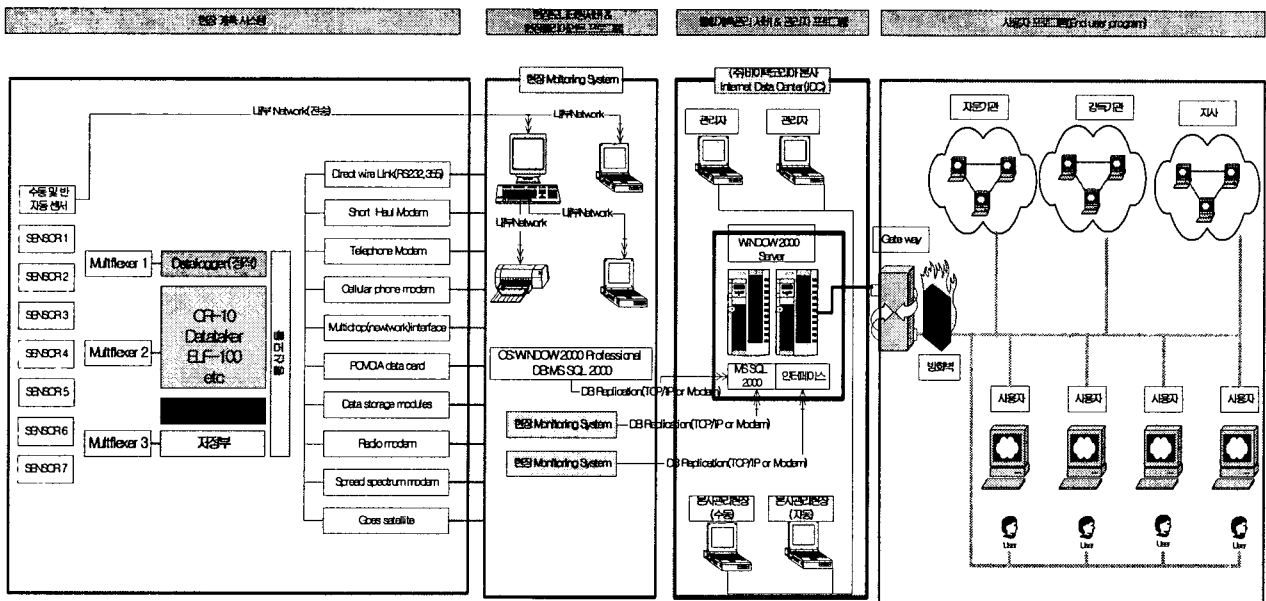


그림 1 인터넷 기반 계측관리 시스템 구성도

시스템 구분	사용환경
통합계측관리서버 & 서버 Agent	운영시스템: Window 2000 Server Data base : MS-SQL
현장 모니터링 서버 & 현장 클라이언트 프로그램	운영시스템: Window 2000 professional Data base : MS-SQL
사용자 및 관리자 프로그램	운영시스템 : Window 계열 Data base : 없음

표 1 각 시스템별 운영시스템 및 데이터베이스 구성

2.2 데이터베이스 시스템

계측데이터의 데이터베이스화는 다음 그림 2와 같은 스키마로 구성되어 있으며 전체적인 구조는 그림 3과 같은 Tree형태로 되어 있다. 모든 계측현장은 프로젝트 테이블에 의해 표시되며 프로젝트는 다수 개의 공구(Site table)로 이루어져 있다. 통상적인 계측단면은 주계측단면, 표준계측단면등과 같이 전체 구간 중 중요성이 높은 지점을 위주로 이루어지며 또한 계측모니터링을 할 경우 종합적인 분석이 단면 별로 진행이 되기 때문에 이를 표시하기 위해 Section Table을 구성하였다. 그 다음으로는 센서type으로 구성되어 있다. 센서type은 계측관리자가 센서 종류 및 현장여건에 따라 선택, 지정할 수 있도록 데이터베이스화되어 있다. 센서단계에서는 상위 센서type에서 정의된 정보에 의해 센서종류 및 특성이 결정되고 결정된 센서는 계측이력, 설치정보, 초기치, 및 관리기준치에 대한 정보를 가지며 또한 자동계측일 경우에는 계측명령정보가 추가되어 진다.

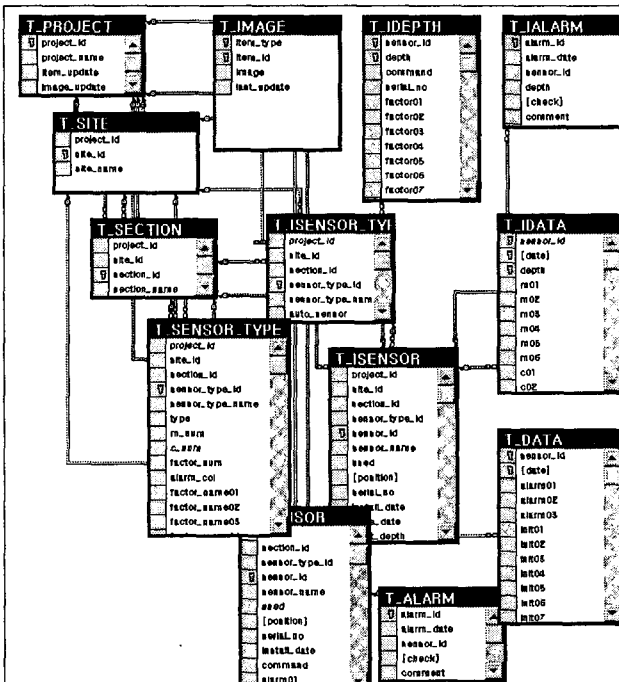


그림 2 Database 스키마

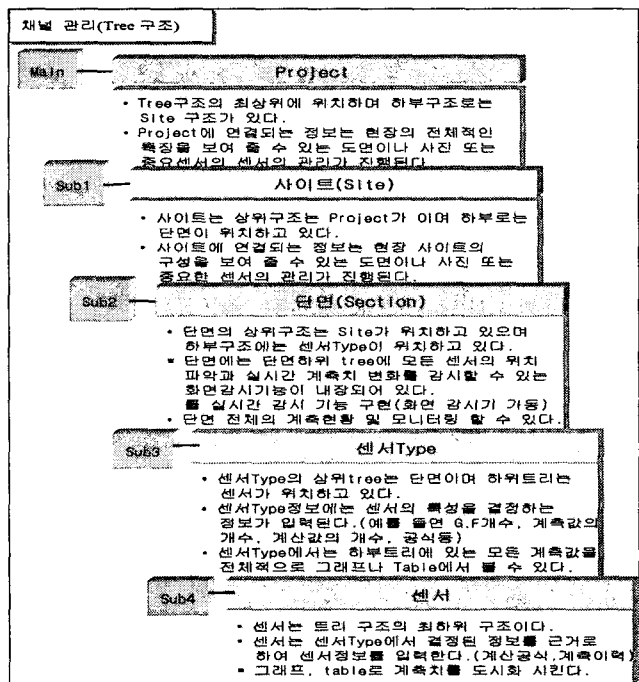


그림 3 Tree구조

2.3 시스템 구성별 기능 및 역할

2.3.1 현장계측시스템

현장계측시스템은 다음과 같이 구성될 수 있다.

- 1)계측센서 : 토목구조물이나 지반에 대표성을 나타내는 위치 또는 취약한 부분에 설치하여 변형이나 하중, 응력등을 측정한다.
- 2)Datalogger : 계측센서와 제어기능(측정시간, 측정빈도등)과 현장 모니터링 서버로 Data를 전송한다.
- 3)Datalogger의 구성은 Microcontroller, Realtime clock, A/D Converter, Battery, Communications, Multiflexer로 이루어져 있다.

2.3.2 현장클라이언트 프로그램(현장모니터링 서버)

현장계측시스템은 현장여건, 계측측점수, 빈도 및 인접건물에 대한 영향등을 고려하여 수동, 반자동, 자동으로 구분된다.

현장계측시스템에서는 계측 데이터를 수집 및 가공(계산)하여 현장 SQL데이터 베이스에 저장하고 통합 계측관리서버로 데이터 송신을 담당한다. 그리고 현장클라이언트 프로그램(현장모니터링 서버)에 대한 특징을 살펴보면 아래와 같다.

- 1)연결된 로거에 각종 내부 명령을 전송하여 시스템 셋팅 및 계측을 수행한다.
- 2)일정시간간격으로 자동으로 계측하며, 수집된 데이터를 저장 및 가공하여 SQL데이터베이스에 기록한다.
- 3)CR-10X, ELF-100, Datataker등 다양한 계측로거를 간단하게 선택할 수 있게끔 구성할 수 있어 다양한 현장에 적용할 수 있다.
- 4)수동방식으로 계측치를 입력할 수 있으며 수동입력시에도 자동으로 물리량을 계산하여 SQL데이터베이스에 기록한다.
- 5)계측 및 가공된 데이터를 종류별 및 날짜별로 구분하여 테이블과 그래프 형식으로 GUI화면에 표시된다.
- 6)화면에 출력된 데이터와 그래프를 즉시 프린트가 가능하도록 하여 보고서 작성에 편의를 제공한다.
- 7)선택된 센서 및 날짜구간 데이터를 엑셀파일로 변환이 가능하도록 하여 사용자 취향에 맞는 데이터와 그래프획득을 가능하며 기존Excel data나 MDB파일을 불러와서 통합관리가 가능하게 한다.
- 8)그래프 형식 및 모양을 다양하게 지원하며 그래프 화면만으로도 계측치의 거동과 현 상황을 쉽게 판단할 수 있으며 사용자의 개인적 취향이나 요구에 맞춰 출력할 수 있다.
- 9)단면이나 Site화면에서 화면 감시기능이 구현되어 센서정보 및 가장 최근의 계측값을 일목요연하게 보여줌으로써 종합적인 계측관리를 가능하게 한다.
- 10)계측시 계측관리기준치를 초과하는 센서에 대해 경고(1단계 : 화면 감시기능창에서 화면 깜빡임, 2단계 : 경보음 발생, 3단계 : 휴대폰 문자 메시지 발송)를 발생하여 즉시 안전대책을 수립할 수 있도록 지원한다.
- 11)윈도우 탐색기 형식의 트리컨트롤 기능과 간단한 마우스 클릭만으로 즉시 특정센서를 찾아갈 수 있도록 구성함으로써 사용자 편의성을 확보하였다.
- 12)복잡하지 않은 GUI화면 구성으로 프로그램에 익숙하지 않은 사용자라도 쉽게 데이터의 확인 및 계측치 검토가 가능하다.
- 13)센서의 추가 및 편집이 용이하여 설치상황에 따라 유연하게 대처할 수 있다.
- 14)MS-SQL서버간에 자동으로 변경된 데이터를 복제하는 기능인 데이터 베이스 동기화 기능을 이용하여 변경된 데이터를 즉시 통합계측관리서버에 복제하여 실시간 계측관리가 가능하도록 한다.
- 15)현장모니터링 컴퓨터에 구축된 현장 D/B가 내부 네트워크에 연결되어 있을 때 ODBC(Open DataBase Connectivity)를 통해 현장에 상주하고 있는 감리단이나 시공사의 계측담당자들이 현장모니터링 컴퓨터에서 보여주고 있는 모든 계측관리정보를 함께 공유할 수 있는 체계를 갖출 수 있다.

2.3.3 통합계측관리서버

각 현장모니터링 서버에 저장된 계측 데이터를 D/B 복제화를 통해 통합계측관리 서버에 종합적으로 저장, 관리하고 인터넷을 통한 사용자 요청사항을 처리하여 정보를 공유한다. 또한 계측관리 웹사이트에서는 프로젝트별로 계측보고서 및 컨설팅, 현장정보 및 설계정보 등을 계측 data와 함께 Web Service를 시행하여 공사전반에 관한 정보를 인터넷을 통해 사용자에게 공급하므로써 프로젝트 관련자들간의 신속하고 명확한 의사소통 및 정보공유를 위한 커뮤니티를 제공하게 해주는 역할을 하게 된다.

통합계측관리서버 대한 특징을 살펴보면 아래와 같다.

- 1)MS-SQL 데이터베이스를 이용하여 데이터를 저장 관리하며, 현장 데이터베이스와의 복제화를 통해 가장 최근의 계측 데이터를 업데이트한다.
- 2)인터넷을 통한 사용자의 접속요청 및 데이터 전송 요청을 받아들이고 적절한 형식으로 변환 또는 가공하여 사용자에게 전송한다.
- 3)기본적인 보안시스템 및 별도의 보안 프로그램을 작성하여, 비가입자의 데이터 액세스를 제한하고 불법침입자의 접속을 차단한다,
- 4)데이터베이스 서버와 사용자 인터페이스 프로그램 서버를 분리하여 데이터의 손실과 시스템의 부하를 최소화시킨다.

D/B 복제화는 MS-SQL서버간에 자동으로 변경된 데이터를 복제하는 기능을 이용하여 변경된 데이터를 즉시 통합계측관리서버에 복제하여 실시간 계측관리가 가능하다. 현장 모니터링 서버의 D/B와 통합계측관리서버의 D/B는 복제화를 통해 이중의 데이터베이스를 형성시킨다. D/B 복제화에 대한 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 1)현장모니터링 데이터서버와 통합계측관리서버 2곳에서 동일한 D/B가 형성되어 있어 데이터의 안정성을 확보할 수 있다.
- 2)현장모니터링 시스템에 독자적인 데이터베이스가 형성되어 있어 공사현장자체의 네트워크를 통해 데이터 액세스가 가능하다.
- 3)데이터베이스의 분산화를 통한 시스템의 안정성을 확보할 수 있으므로 외부 해킹에 의한 통합계측서버의 데이터손실이 발생하더라도 현장 모니터링 서버의 D/B를 통해 즉시 실시간 복구가 가능하여 보다 안전한 계측관리가 이루어 질 수 있다.
- 4)또한 데이터의 분산화로 데이터 백업기능을 동시에 추구 할 수 있다.

2.3.4 관리자프로그램

통합계측관리서버시스템과 연결된 내부네트워크 및 인터넷에 접속하여 각 현장상황을 실시간으로 모니터링 하여 문제점 발생시 신속한 대응이 가능하다. 관리자프로그램에 대한 특징을 살펴보면 아래와 같다.

- 1)내부네트워크를 통해 통합계측관리서버로 접속하여 각 현장별 데이터를 실시간으로 확인한다.
- 2)GUI 화면구성은 현장클라이언트와 동일하게 구성하여 관리자의 추가적인 학습이 필요치 않다.
- 3)서버시스템의 하드웨어 및 소프트웨어적인 문제점을 확인하여 보완할 수 있도록 지원한다.
- 4)서버에 접속하는 사용자를 관리하고 외부침입으로부터 데이터를 보호한다
- 5)관리자 프로그램을 이용하여 현장모니터링 서버에 접근하여(ODBC) 계측정보의 변경 및 Datalogger의 제어가 가능하게 하여 현장계측시스템의 무인화를 추구할 수 있다.

2.3.5 사용자프로그램

인터넷을 통해 통합계측관리서버에 접속하여 인증된 사용자에게 한해 실시간으로 데이터를 열람하고 분석할 수 있다. 사용자프로그램 대한 특징을 살펴보면 아래와 같다.

- 1)인터넷이 연결되면 어떤 장소에서든 통합계측관리서버시스템에 접속하여 실시간으로 데이터를 확인할 수 있다.

- 2) GUI 화면구성은 현장클라이언트와 동일하게 구성하여 누구든 쉽게 프로그램의 구동 및 사용이 용이하도록 한다.
- 3) 화면감시 기능을 이용해 실시간 데이터 변동사항을 한눈에 알아볼 수 있도록 구성하여 일일이 각 센서들을 확인하는 불편을 감소시킨다.
- 4) 센서정보 및 데이터의 추가, 편집 및 삭제 기능을 제외시켜 계측데이터의 유실 및 조작을 방지한다.
- 5) 다양한 형태의 그래프 형식과 특성을 지원하므로 사용자 개인의 취향에 맞는 GUI화면이 구성이 가능하다.
- 6) 계측데이터는 종류별, 시간별로 분류하여 출력할 수 있어서 일목요연한 보고서 작성이 용이하다.
- 7) 화면에 출력된 그래프 및 데이터 테이블은 바로 프린트가 가능하여 전국 어디서나 즉시 보고서 작성이 가능하다.
- 8) 그 외 다른 모든 화면구성과 기능 면에서 현장 클라이언트 프로그램과 기능과 유사하여 여러 시스템이라도 한 명의 관리자가 용이하게 관리할 수 있다.

3. 계측관리 방법의 패러다임 변화

3.1 기존 계측관리 방법의 문제점

기존 자동 계측관리 방법은 Datalogger에 의해 계측된 Data가 현장모니터링 컴퓨터에 저장되어 계측관리운영프로그램에 의해 Data를 모니터링 할 수 있고, 수동계측일 경우에는 계측요원이 현장에 투입되어 계측을 수행한 후 본사 컴퓨터에 Data를 저장한 후 다음 계측주기때(통상적으로 1주일 빈도)시공사나, 감리단에게 계측결과를 제출하고 있다. 그런데 일반적으로 계측관리가 수행되는 건설공사 현장은 공간적으로 방대할 뿐 아니라 지역적으로 도심지와 격리된 지역에 위치하는 경우가 허다하다. 또한 여러 가지 공정이 복잡하게 얽혀 있고 다양한 사업자가(시공사, 하도급사, 감리단, 발주처, 계측사등) 함께 일을 진행하고 있는 경우가 대부분이다. 이와 같이 건설공사현장의 특수성으로 인하여 지반 및 구조물의 위험한 징후를 알리는 계측정보가 발생하였을 때 다양한 사업자간의 의견교환과 본사와 연계된 사업자들간 즉 자문가(전문가)그룹간의 의사 결정이 원활하게 진행할 수 없다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 기존 국내인터넷망과 연계된 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다. 특히 국내 인터넷 보급률 및 초고속 인터넷 회선 보급률은 현재 세계최고수준에 유지하고 있기 때문에 더욱 더 활용하기 용이할 것으로 판단된다.(그림4 참조)

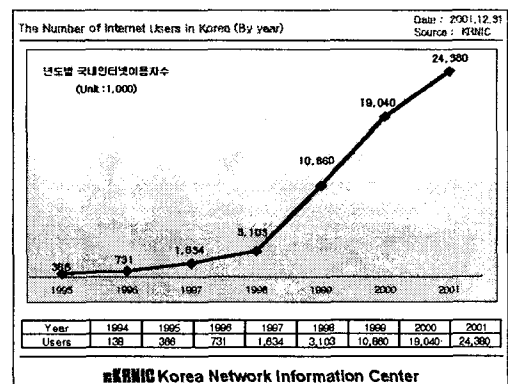


그림 4 국내 인터넷 사용자 증가추이

3.2 계측관리에 ASP도입

ASP(Application Service Provider)는 그룹웨어, ERP, CRM, SCM 등 기업 Application을 각 기업의 전산환경이 아닌 IT 및 인터넷 환경과 같은 네트워크를 통하여 고객에게 일정한 사용요금(월정액)을 받고 사용자의 요구에 따라 필요한 애플리케이션을 중앙의 데이터센터에 설치하여 이용할 수 있도록 하는 Software 임대 서비스를 말한다. 토목계측관리분야에 ASP사업을 도입하게 되면 기존 Off-Line상에서 진행되던 계측관리 프로그램에 비해 비용절감, 구축기간의 단축, 편의성과 보완성 그리고 업무확장성(타 건설공정과의 연계)을 확보할 수 있는 장점이 있다.

인터넷 기반 계측관리 시스템과 기존 계측관리 시스템과의 특징을 비교한 것은 표 2와 같다.

구분	인터넷 기반계측관리 시스템(ASP사업도입)	기존 계측관리 시스템
제품 사양	운영체제 : Window 계열 Database : MS-SQL 개발언어 : Visual C++, ASP등 사용환경 : 인터넷 및 네트워크환경 소프트웨어 구성 : Server/Client	운영체제: Window 계열 Database : 없음, 파일형식저장, MDB 개발언어 : Delpai, Visual Basic C++등 사용환경 : Local 방식(단독)
주요기능	실시간 원격 감시, 경보, 분석 가능 인터넷을 통한 Datalogger의 원격제어 인증된 사람만 액세스가능(보완성) 실시간 D/B복제화를 통한 Backup(분산화)	계측data의 그래프보기 Datalogger 제어 경보기능 수동backup기능
장점	프로그램Upgrade 용이 시스템프로그램의 유지관리비 저렴 별도의 서버관리자 필요 없음	초기 개발비용이 적음
단점	초기 개발비용이 많음 인터넷이 가능해야함	한정된 사용자만이 data접근이 가능 프로그램 Upgrade가 용이하지 않음

표 2 인터넷 기반 계측관리 시스템과 기존 계측관리 시스템의 비교

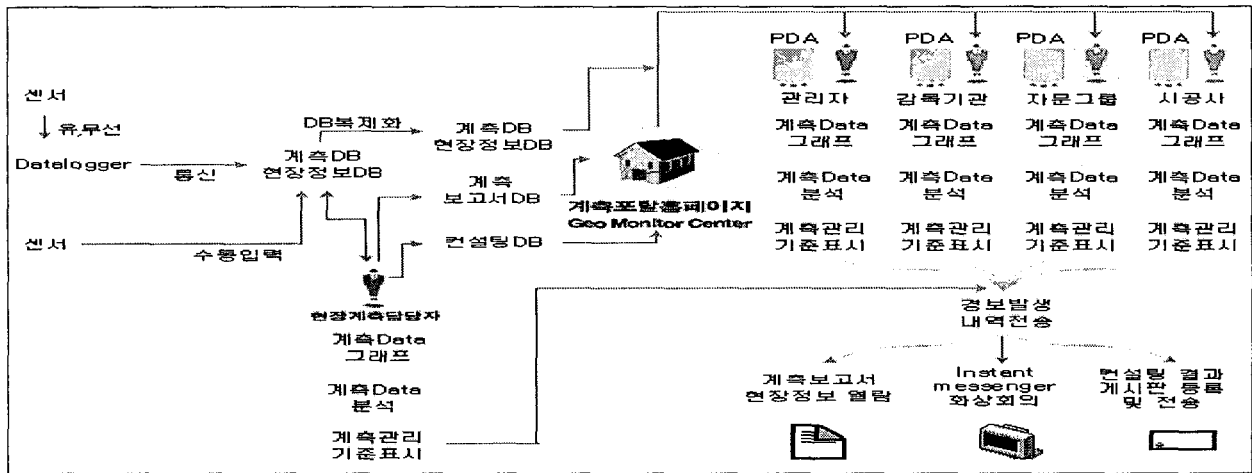


그림 5 인터넷 기반 계측관리 흐름도

3.3 인터넷 기반 계측관리 시스템을 이용한 계측관리 방법

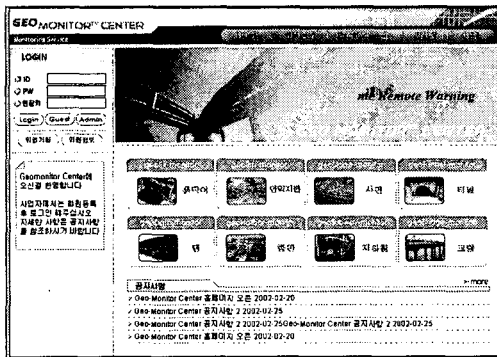


그림 6 계측관리 Web Site 초기화면

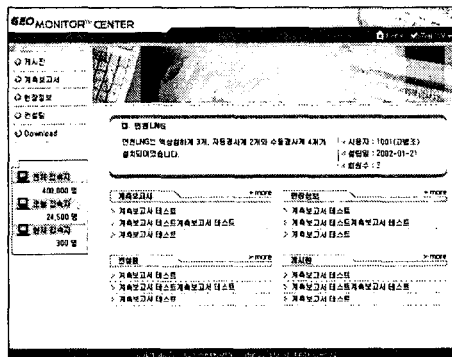


그림 7 사용자 Web page

인터넷 기반 계측관리 시스템을 이용한 계측관리 방법은 사용자 전용 Software를 사용하여 계측치에 대한 정보를 실시간으로 감시, 분석할 수 있으며 이와 연계하여 계측관리 Web Site 활용하여 공사현장에 대한 정보와 설계정보, 계측관리 보고서 열람, 컨

설팅 게시판 운영을 진행 할 수 있다. 그리고 계측관리기준치를 초과하거나 현장에 문제가 발생하였을 경우 각 사업자 및 전문가에게 계측정보가 전송되어 이에 대한 문제점을 Instant messenger나 화상회의

을 통해서 빠른 의사결정을 신속하게 처리할 수 있다. 결정된 내용은 공사 담당자나 감리단으로 즉시 전송되어 공사진행에 바로 반영되어 공기의 지연이나 급박한 현장상황에 신속히 대처할 수 있어 안전하고 경제적인 계측관리가 가능하다. 또한 향후에는 PDA를 이용한 공사정보, 설계정보, 계측관리 정보, 구조물 이력정보, 도면정보를 통합하여 관리하면 공사현장의 전체적인 정보를 효율적으로 관리할 수 있을 것이다.

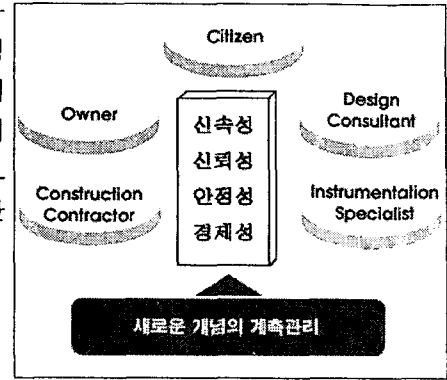


그림 8 기대 효과

4 기대효과

인터넷 기반 계측관리 시스템을 활용할 경우 기대되는 효과는 실시간으로 신속하고 신뢰

성 있는 표준화된 계측Data의 접근이 가능하기 때문에 발주처, 시공사, 감리단 및 계측사간의 원활한 의사결정체계를 구축할 수 있다. 이는 현재 계측 관리 관행이 수직적인 관계의 업무형태가 인터넷이라는 통신을 매개체로 동시적으로 Data접근이 이루어져 계측관리흐름의 개선을 이룰 수 있다. 또한 통합 Database가 구축됨으로써 타 건설 공정과의 연계가 자유로워진다. 향후에는 표준화된 계측관리시스템의 도입으로 건설CALS와 접목시켜 건설기술의 정보화 구축을 손쉽게 발전시킬 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 부가적으로 일반시민에게도 공공구조물의 안정성이 실시간으로 인터넷에 전송됨으로써 시민들이 공공구조물에 대한 불신을 이해시키는데 도움이 될 것으로 판단된다.

5 결론 및 제언

인터넷 기반 계측관리 시스템을 개발을 수행한 다음 얻은 결론은 다음과 같다

- 1) 인터넷 기반의 계측관리 시스템의 도입으로 인해 시공사, 감리단, 계측사, 자문가(전문가)그룹간의 원활한 의사 결정을 이루어져 공기절감이나 위험한 정후에 대해 즉각적인 보장 및 보수를 실시하여 보다 안전하고 경제적인 시공이 가능해진다.
- 2) 토목계측관리에 인터넷 사업분야인 ASP를 도입함으로써 프로그램비용의 절감, 구축기간의 단축, 편의성과 보완성, 업무확장성(타 공정과의 연계)을 확보할 수 있다.
- 3) 인터넷 기반의 표준화된 계측관리 시스템의 개발은 건설교통부 산하 사단법인 한국건설CALS협회에서 진행하고 있는 주요시설물에 대한 각종 점검결과를 데이터베이스를 통해 실시간으로 관리하는 시스템인 시설물 유지보수 시스템과 연계된 개발이 진행될 경우 통합적인 관리를 통한 시설물 수명과 안정에 향상을 가져 올 수 있을 것이며 궁극적으로는 건설사업의 효율화, 공기단축, 비용절감, 공정성 확보를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

<참고문헌>

1. 신한기(2000), "Web 기반 계측관리시스템에 관한 연구" 연세대학교 산업대학원 석사학위 논문
2. 이상엽, "Visual C++ Programming Bible ver.6.x" (주)영진출판사. pp52-53
3. 정경환(1996), "연약지반의 성토와 굴착공사에 있어서 현장계측에 의한 안정성 분석" 부산대학교 대학원 박사학위 논문
4. 윤수호 외 6명(1999), "지반조사 자료의 D/B구축과 시스템 운영에 관한 연구, 한국건설기술연구원, pp114-162
4. John dunnicliff(1993), "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance" pp39-40
5. Symposia on Field Measurements in Geomechanics(2001), "Geotechnical Instrumentation for Field Measurements" University of Florida Continuing Education