실시간 예·검지 시스템에 의한 철도방재 기술현황

* 정승용
** 박영곤
*** 김수삼

1. 서 언

최근 세계적인 기상이변으로 인한 재해가 갈수록 증가되고 있으며, 지구 온난화 등 이상기온에 따른 국지성 호우의 발생이 증가함에 따라 이러한 기상이변에 대한 철도재해를 미연에 방지할 수 있는 체계화된 방재시스템 구축이 절실히 요구되고 있다. 철도재해 발생시 경고체계와 우회로 부재에 따른 막대한 경제적 손실이 예상되고 있으므로 강우, 지진 등에 의한 재해위험에 대해 실질적인 감시관리시스템과 운전규제기준의 재정립이 필요한 실정이다. 특히 국내에서 자주 발생하는 대표적인 재해원인으로는 태풍을 들 수 있는데 작년 8월 우리나라를 관통한 태풍 루사(RUSA)의 경우 일 최다 강우량 870.5mm, 1시간 최다강우량 100.5mm를 기록하며, 총 48개소의 철도피해지역과 이로 인한 복구비용은 약 1,472억원 정도로 추정되었고, 경부선 등 전국 8개노선 48개소의 열차운행이 일시 중단된 바 있다.

국내의 철도방재관련 조직으로는 철도청 및 지방 철도청의 시설국내에 재해 대책본부를 매년 6월 15일부

■주■■※
1) * 지구환경전문가그룹 대표 ** 한국철도기술연구원 선임연구원 *** 한양대학교 교수

터 10월 15일까지 4개월간 강우기에 임시조직으로 설치되어 일상 점검, 선로 순회 점검 등 재해에 대한 경계 대비체제만으로 운영되고 있으므로 열차운행 중에 발생할 수 있는 재해의 예 · 검지를 통한 안전사고의 예방은 거의 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 최근에 개발된 각종 센서링기술과 통신시스템을 활용하여 재난정보의 상시성과 신속성을 확보하기 위하여 기존의 인력위주 감시에서 첨단장비를 활용한 24시간 감시체계로의 전환이 요구되고 있으며, 종합적인 방재를 위한 철도시설물의 관리자료 데이타베이스의 구축을 현실화, 체계화시키는 것이 요구되고 있다.

본고에서는 국내외 방재기술의 현황을 살펴보고, 그동안 철도청과 한국철도기술연구원에서 개발, 추진하고 있는 철도시설물방재를 위한 실시간 예 · 검지시스템을 소개함으로서 효율적인 철도종합방재를 위한 기술현황 및 향후과제를 제안하고자 한다.

2. 국내외 철도방재 기술현황

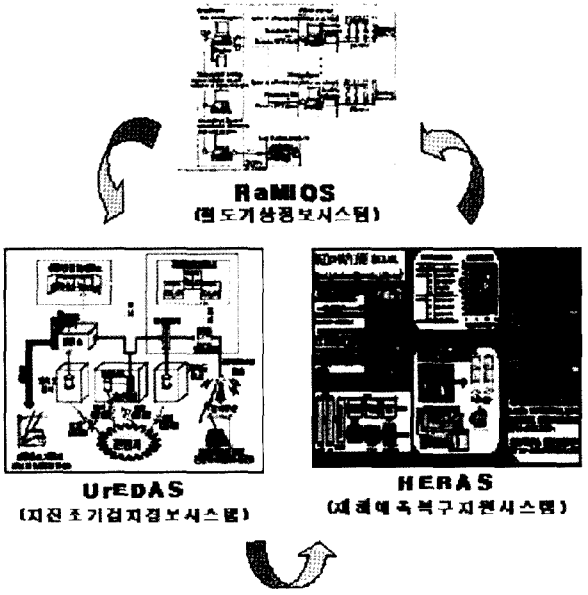
2.1 국외 철도방재 기술현황

국외에서는 철도방재를 위하여 법적인 관련기준과 운전규제기준, 대피요령 및 방재시스템을 구축하여 통합 철도방재시스템을 운영하고 있으며, 이를 국가별로 요약하면 다음과 같다.

(1) 일본

일본의 경우 방재정보 수집시스템, 사면방재, 홍수시 교량방재, 터널방재, 지진경보 시스템 등을 구축하여 통합된 철도방재시스템을 운영하고 있으며, 구성도는 〈그림 1〉과 같다.

먼저 방재정보 수집시스템은 우량계(철도연변에 10km 간격으로 설치)와 지진계(40km 간격으로 설치)의 정보를 수집하여 역과 종합사령실로 기준치에 따라 경보 표시함으로서 경계발령과 운전규제에 사용하고 있다. 운전규제로는 기준치에 따라 자동적으로 규제에 들어가는 운행관리시스템으로서 감시반에 표시하여 규제를 실시하고, 또 기타 CTC 구간은 이전부터 사용되어온 경보색 표시로서 규제를 실시하고 있다.



〈그림 1〉 일본의 철도방재 통합시스템 구성도

강우에 대한 철도사면방재를 위해 개발된 시스템은 철도기상 정보 시스템인 RaMIOS (Railway Structural and Meteorological Information On-line System)로서 기상청의 기상데이터 또는 철도우량계의 데이터를 실시간으로 처리하여 철도연변의 강우량을 추정하고 동시에 강우상황을 화면에 나타내어 재해경비 기준에 부합되는 조치를 하게 하는 열차 운행 관리 시스템이다. 그 중 RaMIOS의 주요 시스템인 강우에 의한 사면붕괴 위험도 평가시스템은 과거의 사면붕괴이력과 토질공학, 통계학을 결합시킴으로써 호우시의 실시간 붕괴 예측과 위험개소추출을 합리적으로 시행할 수 있도록 한 것이다.

또한 홍수에 대한 교량의 방재를 위한 세굴깊이 평가와 세굴방지공 설계법을 개발하여 활용 중에 있으며

교각의 동적진동시험의 개발, 강설 · 강풍에 대비한 구조물 방재, 동결 · 동상 피해 방지를 위한 노반 · 터널 대책이 수립되어 재해에 대비하고 있다.

한편 터널검사 · 진단 전문가시스템 TIMES-1(Tunnel Inspection & Maintenance Expert System Ver. 1)을 개발, 운영하고 있는데 일반적으로 터널의 변상은 여러 요인이 복합되어 발생하는 것이 많고 특히 구조적인 결함이 중복되어 있는 경우도 많으므로 변상 원인을 정확히 추정하는 것은 상당히 어려워 최종적으로는 전문가의 판단을 요하는 경우가 많다. 이러한 변상 원인의 추정을 지원하기 위해 개발된 시스템이다.

지진에 의해 흙구조물에 발생되는 재해를 예방하기 위한 방재시스템으로 지진 조기검지 · 경보 시스템인 UreDAS(Urgent Earthquake Detection and Alarm System)을 개발하여 활용 중에 있다. 이 시스템은 단일 관측점에서 3성분의 지진파 등의 데이터를 관측하여 초기미동(P파)단계에서 지진 발생 위치나 지진 규모를 자동적으로 검지하고 지진검지 후 4초 이내에 경보를 발령하는 인텔리젼트 시스템으로 실시간으로 경보를 발령할 수 있으므로 주요 파동이 도달하기 전에 열차감속 등의 조치를 취하여 안전운행을 도모하는 시스템이다. 또한 지진경보 후의 정확한 운전재개시기의 판단이나 지진피해 개소의 자동예측을 가능하게 하는 합리적 재해예측 · 복구 지원 시스템인 HERAS(Hazard Estimation and Restoration Aid System)를 운영 중이다.

(2) 영국

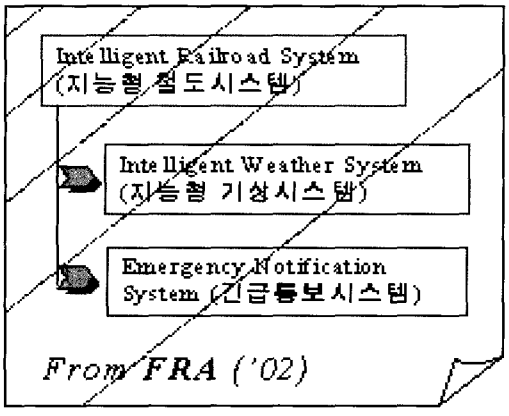
교통통제 운영센터(Traffic Control Operation Center)를 두어 교량 및 터널 상황을 모니터를 통해 파악하여 원활하고 안전한 교통소통을 도모하고 있으며 유지관리 장비들을 비치하여 구조물을 관리하고 있다.

터널 내부에서 모니터로 차량 배기가스를 측정하여 환기가 적정수준으로 이루어지고 있는가를 감시하고, 교량의 상판에 매설한 감지장치에 의해 표면온도와 변형상태를 측정하고 중앙경간과 주탑 위의 풍향 풍속계로서 풍향과 풍속을 측정하여 관리자에 의해 관측된 결함이 즉시 중앙 컴퓨터에 입력되어 항상 손상상태를 파악할 수 있도록 되어 있다. 컴퓨터 시스템은 이와 같은 정보를 통제센터로 전송하고, 이는 런던 기상청에 전화로 연결되어 기상청에서 전송된 눈, 안개, 폭풍 등의 정보가 통제센터내의 모니터에 표시된다.

또한 통제센터 내에서 활용되고 있는 소프트웨어는 UN공인시스템을 토대로 하여 개발된 것으로 화재나 열차충돌 등에 대한 비상조치가 취해지기 전 몇분간의 상황정보를 제공하여 적절한 통행제한 등의 즉각적인 조치를 할 수 있다. 이를 위해 환경조건이나 기후조건을 감시하고 교량과 터널의 복잡한 기술적인 기능을 조절하기 위한 컴퓨터 시스템에 대한 투자가 계속되고 있다.

(3) 미국

미국의 경우 각종 교통시설에 대한 재해관리를 위하여 〈그림 2〉와 같은 지능형 철도시스템을 구축하여 인공위성 등을 이용한 첨단 기상방재기술인 지능형 기상시스템(Intelligent Weather System)과 긴급통보시스템(Emergency Notification System)을 통하여 철도재해에 대처하고 있다.



〈그림 2〉 미국의 지능형 철도시스템 구성도

또한 사면 무인감시시스템이 도로사면, 노천채굴 광산의 사면관리, 산사태 감시에 쓰이고 있다. 무인감시시스템은 붕괴전에 사전징후를 감지할 수 있는 실시간 감시체계를 구축하는 것이 목적이므로 우량계, 진동현식 간극수압계, 지중 경사계, 지표면 신축계, 하중계가 무인감시시스템에 포함되고, 자료수집시스템과 무선전송장치를 이용한 전송시스템으로 구성되어 있으며, 배터리재충전 에너지원으로 태양열을 이용한다. 산사태 감시스템에 설치된 지오폰(geophone)은 미끄러짐 운동에 의해 야기되는 지반 진동을 계측하기 위해 설치된다. 계측자료는 정상조건에서는 10분 간격으로 무선을 통해 USGS 컴퓨터로 전송되지만, 지반 진동이 심한 경우에는 즉각 전송된다. 수집된 자료의 그래프는 인터넷을 통해 관계자들이 이용할 수 있고, 관리기준치 초과시에 경보를 발령할 수 있는 자동계측시스템을 설치할 것을 권장하고 있다. 이외에도 미국 철도당국에서 철도연변 사면의 낙석위험을 경보하기 위해 낙석위험 사면에 낙석감지팬스를 설치한다. 최근에는 사면 무인감시시스템의 감시장치로 GPS, AE(Acousitc Emission), TV, 유도레이더, 레어저광선, 진동계 등이 도입되어 사용되기도 한다. 또한 고가의 지중경사계를 대신하여 TDR(Time Domain Reflectometery)을 사용하기도 한다(Mikkelsen, 1996).

(4) 홍콩

홍콩은 인공사면의 붕괴가 많고 산사태의 주요 요인으로 알려진 지질과 강우 특성이 우리나라와 유사한 점이 많으므로, 홍콩의 사면 무인감시 시스템 개발현황은 우리나라의 사면 무인감시시스템 개발에 많은 참고가 될 것으로 사료된다. 홍콩에서 발생하는 산사태의 가장 큰 원인은 강우이다. 즉, 대부분의 산사태가 5월에서 8월 사이에 발생하는 집중호우와 거의 동시에 또는 직후에 발생한다. 따라서 홍콩의 GEO(Geotechnical Engineering Office)에서는 자동우량계 시스템을 이용한 산사태 경보시스템을 개발하여 운영하고 있다. 이 경보시스템은 1963년부터 1982년까지 20년간 수집된 산사태-강우 자료를 이용하여 1980년대 초에 수행한 산사태발생과 강우의 상관관계에 대한 연구결과를 바탕으로 개발되었다. 산사태 경보시스템의 운영을 위하여 홍콩에는 현재 69개의 자동 우량계가 설치되어 있으며, 5분 간격으로 강우량을 측정하여 전화선을 통해 중앙의 마이크로컴퓨터에 전송된다. 사면의 원격감시를 위한 자동계측시스템은 모뎀을 이용하여 데이터를 회수하고 계측기를 원격제어하며, 모뎀은 또한 조기 경보시스템의 운영에도 이용된다.

2.2 국내 철도방재 기술현황

국내의 방재대책은 대부분 사후 유지관리 방식(Break down Maintenance)에 의해 시설물이 관리되고 있는 실정이나 원자력 발전소의 경우는 원자력 관계 법령에 의거하여 부재선정, 설계, 건설, 운영 등 전 단계에 걸쳐 충실한 방재대책을 강구하고 있으며, 원자력 시설 종사자는 물론 주민과 환경보호를 위해 체계적으로 실시되고 있다. 또한 도로의 경우는 감시용 텔레비전 카메라로 직접 감시하거나 C.O계, V.I계 등 기타 농도 검출 장치나 교통량 측정기(Traffic Computer)로 이상상태를 간접적으로 식별하는 방법에 의해 재해에 대처하고 있다.

한국철도기술연구원에서는 국내외 방재시스템의 현황조사를 바탕으로 하여 방재시스템 구축계획 및 운영방안에 대한 기초적인 검토가 실시되어 있으며 도로공사에서도 안전한 도로교통을 위해 방재시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.

현재 국철은 재해의 예측 및 검지를 통한 적극적인 의미의 예방유지관리 방식의 방재 대책이 부실하며, 사후 유지관리 방식을 취하고 있고 재해발생 후의 복구작업도 인력 의존형, 임시 방편적인 방법에만 의존

하고 있는 실정이다.

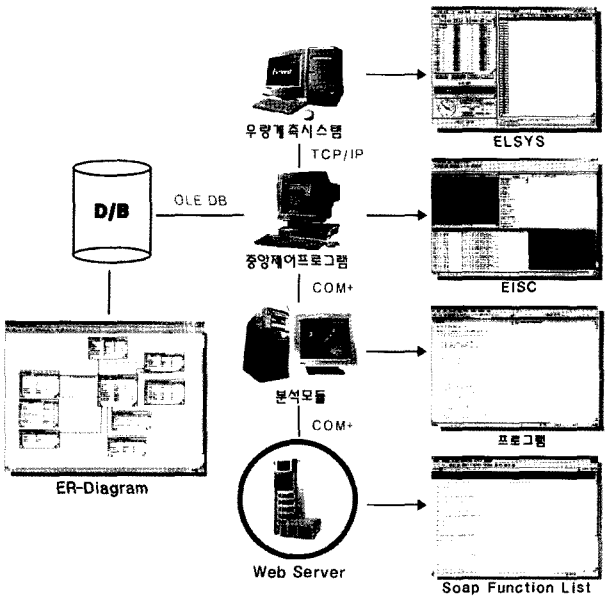
한편 강우에 대한 철도안정관리는 철도보선사무소에 우량계를 설치하여 강우량를 측정함으로서 철도유실을 방지하고 열차의 운행을 제어하고 있지만 종합적으로 시스템화 되지 못하고 지역별로 별도 관리되고 있어 실시간 자동화, 종합분석시스템 등이 요구되고 있다. 강우 및 홍수위와 관련하여 국내의 수자원관리 분야에서는 자동기상감시시스템(기상청), 홍수분석시스템(농업기반공사), 수자원관리종합정보시스템(수자원 공사) 등을 운용하고 있지만 강우시 열차운전규제를 위한 기준이 정립되어 있지 않고, 관련 시스템 구축이 부족한 실정이다.

현재 철도청에서는 철도시설물의 낙석방재를 위하여 9개 노선 71개소를 낙석발생 우려개소로 지정하여 관리하고 있으며, 한국철도기술연구원에서는 "종합안전진단기법 및 방재시스템에 관한 연구(1995)"를 통해 국내외 방재시스템의 현황과 방재시스템 구축계획 및 운영 방안에 대한 검토를 실시하였고, 1999년부터 "철도시설의 안정성 강화기술 개발"을 통하여 선로연변의 사면에 대한 재해방지와 예 · 검지 시스템을 개발하고 있다.

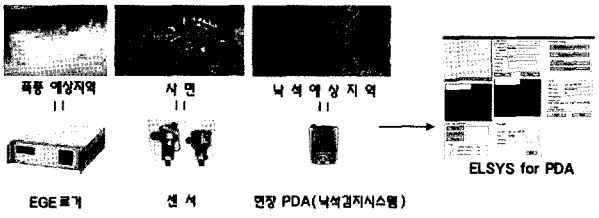
3. 철도방재를 위한 실시간 예 · 검지 시스템 구축

철도방재를 위한 통합시스템 구축을 목적으로 하여 누적강우 및 사면방재 자동경보시스템을 개발하여 시범운영하고 있고, 철도교량 홍수위 및 세굴 감시관리 시스템 개발을 추진하고 있으며, 향후 터널방재 및 지진조기검지 경보시스템을 추가할 계획이다.

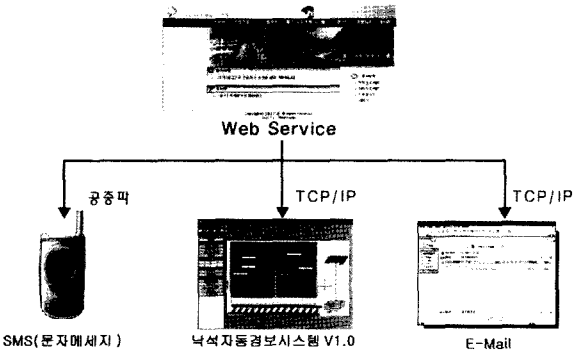
자동경보 시스템은 계측현장의 자동화, 중앙 데이터베이스 및 분석시스템, 웹 어플리케이션 및 웹 서비스, 자동 예 · 경보 및 열차운행제어 등으로 분류하여 〈그림 3〉, 〈그림 4〉, 〈그림 5〉와 같이 시스템구성을 설정하고, 모든 설계방법은 UML(Unified Modeling Language) 방식을 따름으로써 시스템 설계에 보다 체계적이고 확장성이 용이하도록 하였다.



〈그림 3〉 데이터베이스 및 분석서비스 서버 구성도



〈그림 4〉 철도구간의 현장설치 측정시스템 구성도



〈그림 5〉 실시간 분석서비스의 사용자 인터페이스 구성도

3.1 철도방재 누적강우 자동경보시스템

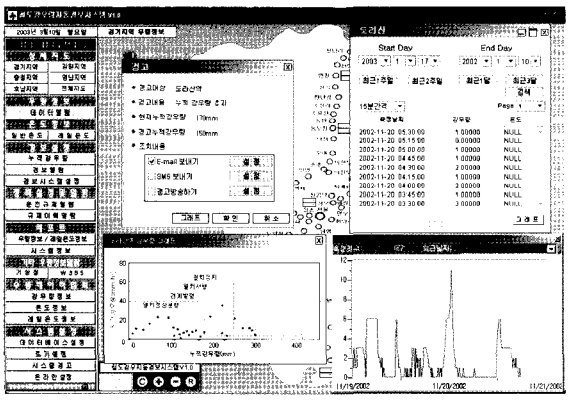
강우자동경보 시스템은 강우시 열차운전규제기준과 연계되어 운영되어야 하며, 우량계, 데이터로거, 데이터전송장치, 데이터 저장 및 처리장치 등으로 구성된다. 또한 구성요건은 기본적으로 강우에 대한 경계우량, 웹기반의 인터넷을 이용한 서비스, 관리 및 운영주체별 컨텐츠 제공, 강우 개시 및 종료에 따른 자동감지 · 기록체계 그리고 정확, 신속, 효율적인 강우량 정보의 제공이 이루어져야 한다. 본 시스템은 경계우량 설정을 통한 열차운전규제 및 경보발생 등의 기능을 기본적으로 제공하고 있고, 전국의 기상상황, 지역별 기상상황, 시설관리 사무소별 기상상황 및 기타 일선 조직용 기상상황이 목적별로 제시되어 기관별 목적에 맞는 기상상황을 파악할 수 있으며, 추후 기상청 자료 및 관련기관의 기상예측 자료와의 호환 등에 의해 기상변화 예측기법도 포함함으로서 효과적인 철도방재가 이루어질 수 있도록 〈그림 6〉과 같이 인터넷 상에서 서비스하고 있다.

또한 하절기 철도의 주요 피해로 기온상승에 따른 레일온도의 증가가 있으며, 레일온도의 급격한 증가는 레일의 장출을 발생시킨다. 이와 같은 레일장출 문제를 미연에 확인하고 대처하기 위한 시스템을 강우자동경보시스템에 포함하여 기온상승에 의한 레일의 장출을 예측함과 동시에 레일장출에 따른 열차안전확보를 위한 노력도 진행되고 있다.

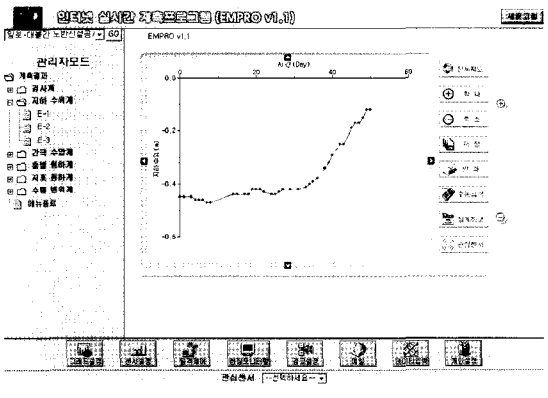
3.2 철도사면방재 자동경보시스템

철도사면방재를 위해 구축된 자동경보 시스템을 인터넷과 접목시킴으로서 측정데이타, 그래프, 분석자료를 관리자, 정보이용자, 자문위원들이 활용하기 쉽도록 구현하였고, 인터넷을 통해 실시간으로 서비스할 수 있다. 성토사면과 낙석사면으로 구분하여 성토사면은 경사계, 지하수위계, 층별침하계, 변위계 등의 데이터를 실시간으로 측정하여 측정결과를 자동분석함으로서 관리기준치를 벗어나는 경우 e-mail, 핸드폰 등으로 자동경보될 수 있으며, 예를 들면 지하수위계 실시간 계측 그래프는 〈그림 7〉과 같이 인터넷 상에서 서비스 된다.

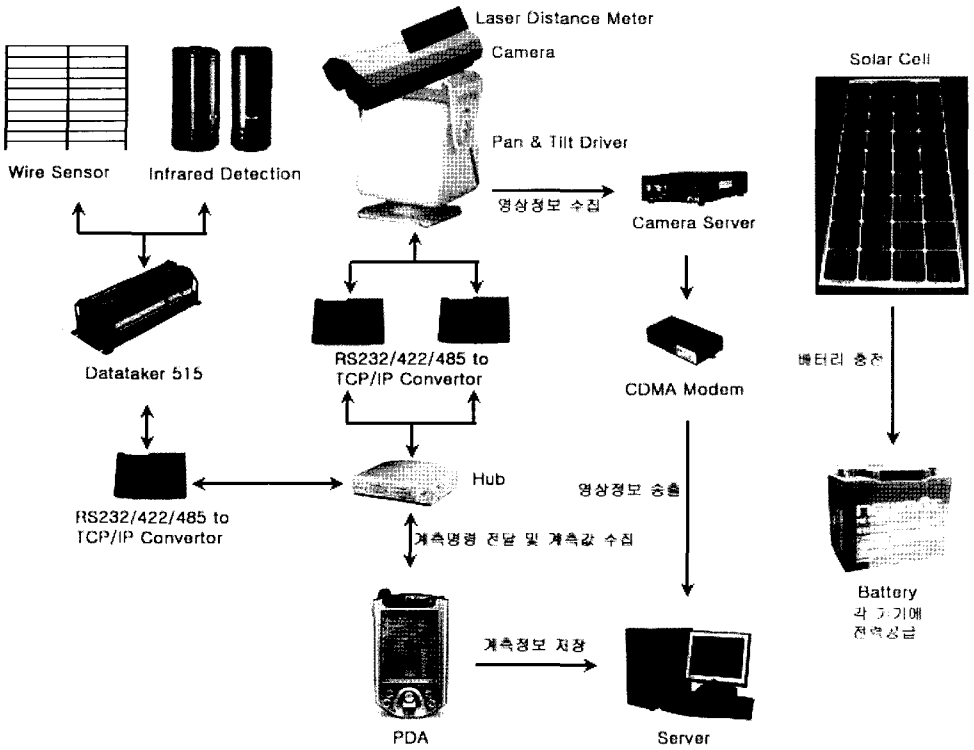
낙석사면의 경우 인터넷을 통한 실시간 낙석검지 및 분석 서비스 구축, 안정적인 유/무선 통신 지원과 전원공급, 실시간 영상송출 시스템 구축을 목적으로 하여 〈그림 8〉에 나타낸 바와 같이 와이어센서와 적외선 감지에 의한 낙석통과 검지 및 낙석현장의 영상촬영 및 화면 전송, 낙석지점의 거리측정, 측정 명령전달 및 계측정보 수집, 측정정보의 전송 등을 현장에서 파악하고, 이를 바탕으로 웹상에서 계측데이터 저장, 그래프



〈그림 6〉 누적강우 자동경보시스템 화면구성



〈그림 7〉 성토사면 지하수위 실시간계측 그래프



〈그림 8〉 낙석사면 낙석검지 시스템 구성도

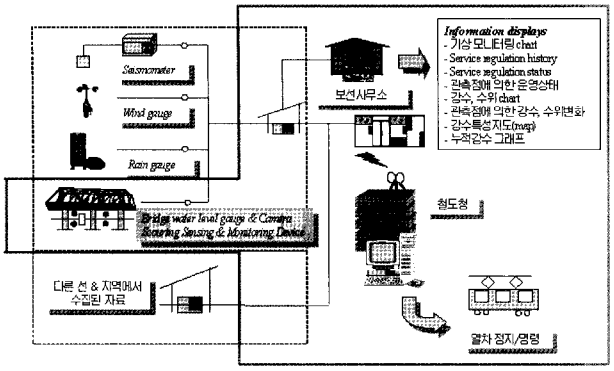
생성, 관리기준에 따른 데이터분석, 인터넷상에서의 실시간 정보열람, 단문전송 서비스, 메일로 경고사항 전송 등을 수행할 수 있다. 특히 PDA를 통한 현장 정보입력과 측정명령의 전달, 각종 센서 관리, 실시간 정보열람을 가능하게 함으로서 사면방재를 보다 효율적으로 관리하도록 하고, 지리적인 여건상 전원의 원활한 공급을 위하여 태양열 전지판을 활용하여 유사시에 안정적인 전원이 공급될 수 있도록 하였다.

〈표 1〉 낙석검지시스템 장비구성 및 용도

장비명	설 명
· 팬&틸트 · 카메라 및 카메라서버 · 광파거리측정기	· 현장 화면 전송 · 거리측정으로 낙석검지
· Wire Sensor · 적외선감지기	· 낙석통과 검지
· 태양전지 · 배터리	· 전원공급
· PDA	· 계측명령 전달 및 계측정보 수집 · 계측정보 서버에 전송

3.3 철도교량 홍수위 및 세굴 감시관리 시스템

철도종합 방재시스템의 구축을 위하여 추진되고 있는 철도교량 홍수위 및 세굴 감시관리 시스템의 목표는 철도교량 홍수위 감시관리 프로토타입 시스템 개발, 철도교량 세굴검지장치 개발 및 정보전송 연동방안 수립, 철도교량 강우재해 감시/운행제어 장치개발 및 시범운영 등으로서 철도교량의 재해사례 및 원인조사, 강우-홍수량 분석을 통한 재해우려 철도교량 추출 및 평가, 교량통과에 대한 열차운전규제 방안수립, 홍수위 및 세굴에 대한 교량 안전확보 방안을 연구하고 있으며, 시스템의 구상도는 〈그림 9〉와 같다.



〈그림 9〉 철도교량 홍수위 감시관리 시스템개발 구상도

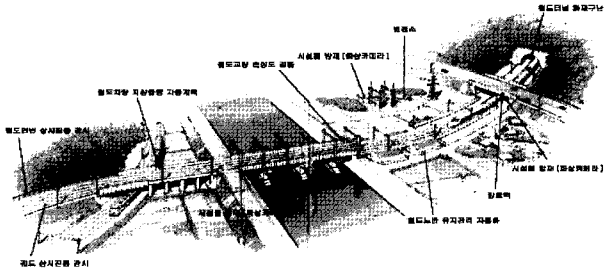
4. 제언 및 향후 과제

최근 철도방재기술은 실용화를 목표로 다양한 분야에서 연구, 개발되고 있으나, 현실적으로 통신체계와 전원공급의 안정성, 위기상황에서의 대응효과에 대하여 다각적이고 구체적인 방법을 제시하고 있지 못한 실정이다.

또한 일본 기술개발 사례에서 알 수 있듯이 철도방재기술은 운전규제기준, 방재시스템 구축, 재해시 대피요령, 차후 재해방지대책 등을 별개로 구분하지 않고 통합하여 철도방재시스템을 운영하여야 하며, 관리주체의 전문성을 향상시켜 지속적으로 유지 및 관리하여야 할 것이다.

그리고 데이터베이스와 분석 시스템에 관해 그 구축 및 관리방법이 명확하지 않고, 계측현장의 종류에 따라 서로 다른 시스템이 설치되어 있어 여러 현장에 대한 범국가적인 D/B 구축이 부족하고, 관련정보의 축적을 효과적으로 활용하지 못하고 있는 실정이다.

재해예방을 위한 예 · 검지 시스템은 국내 또는 국외에서 현재 연구가 진행 중이다. 하지만 통합 철도방재시스템은 아직도 초기 연구단계 또는 시험운영단계이며, 실용화를 위하여 적극적인 투자가 필요할 것으로 보인다. 또한 〈그림 10〉에 나타낸 바와 같은 철도 통합방재시스템의 구축 및 활용을 위하여 지속적인 관심을 갖고, 꾸준한 기술개발이 요구된다.



〈그림 10〉 철도 통합방재시스템 활용 모식도

참고문헌

1. 건설교통부(2002), 건설교통재난 · 재해대책편람
2. 신민호(2002), 대한토목학회 학회지 제50권 제10호
3. 정승용(2002), 철도방재에 IT 시스템의 활용, 한국철도기술 통권36호
4. 한국철도기술연구원(2000, 2001, 2002), 철도시설의 안정성 강화기술 개발 연구보고서
5. 신한기(2000), Web 기반 계측관리 시스템에 관한 연구
6. 한국전산원(2000), Remote Sensing 기법을 활용한 방재데이타의 수집에 관한 연구
7. 행정자치부, 국립방재연구소(2001), 종합재해경보 전달체계 구축방안에 관한 연구,
8. 한국철도기술연구원(1995), 종합안전진단기법 및 방재시스템에 관한 연구