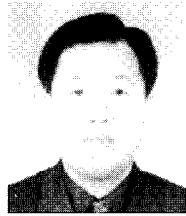


철도강우방재를 위한 자동강우경보시스템 구축



김 명 수 | 한국철도공사 일반선로부장
 이 진 옥 | 한국철도기술연구원 선임연구원
 김 현 기 | 한국철도기술연구원 주임연구원
 이 성 혁 | 한국철도기술연구원 선임연구원
 정 승 용 | 지구환경전문가그룹 대표

들어가며

최근 두 차례의 태풍, 즉 '02년의 태풍 루사, '03년의 태풍 매미는 호우와 강풍을 동반하여 막대한 재해를 유발하였고, 지구온난화 현상 등에 의한 계절라성 국지적 호우로 인해 매년 철도 수송체계의 혼선을 야기하여 상당한 영업손실을 초래하고 있으므로 이와 같은 태풍과 국지성 호우 재해로부터 철도시설의 안전성을 확보하고 재해를 사전예방할 수 있는 적극적인 의미에서의 시스템화된 방재운영체계의 구축이 절실히 요구된다. 최근 우리나라에 영향을 미친 태풍의 수는 1904년부터 2003년까지 총 310개로서 연평균 약 3.1개이며, 철도피해는 대부분 수해로 나타나고 있고 대표적인 수해사례로는 노반유실, 사면붕괴, 교량붕괴 등을 들 수 있다.

이와 같은 강우에 의한 피해를 최소화하기 위한 가장 기본적인 대책으로 강우시 실시간 데이터 확보와 강우 정보의 DB구축이 우선적으로 요구되지만, 현재

기상청 예보 및 자체 우량계 측정 결과를 유선 보고로 처리하는 강우경보 체계로는 철도 재해 예방대책으로 미흡한 것이 현실이다. 따라서 본고에서는 강우 정보 수집, 전달체계의 선진화를 위해 철도공사에서 2004년 한국철도기술연구원에 용역 발주하여 구축한 실시간 강우데이터 수집, 분석 및 표출이 가능한 웹기반 강우자동경보시스템에 대하여 보고한다.

기존 철도공사 강우량 정보 수집 및 운영실태

사진 1은 현재 사용되고 있는 대표적인 전도형 우량계와 기록기를 보여주는 것으로 우량계는 실외에, 기록기는 실내에 설치하여 우량계의 데이터 발신을 기록기에서 표시하는 자기우량계이다. 강우량은 강우시 매 시간 1mm의 정도로 측정하며 기록기에 기록된 데이터를 육안으로 확인하고 유무선 통신에 의해 시설관리사무소 등에 통보하는 유인 수동 방식을 취

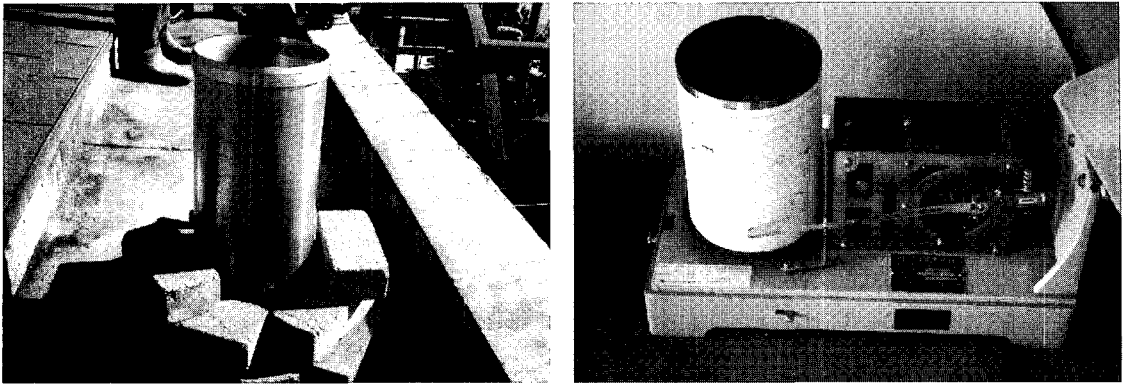


사진 1. 우량계 및 데이터 기록기

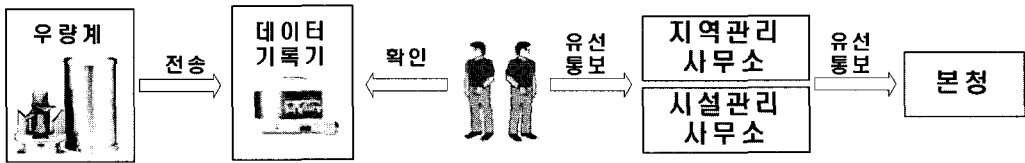


그림 1. 강우정보 전달체계(한국철도공사)

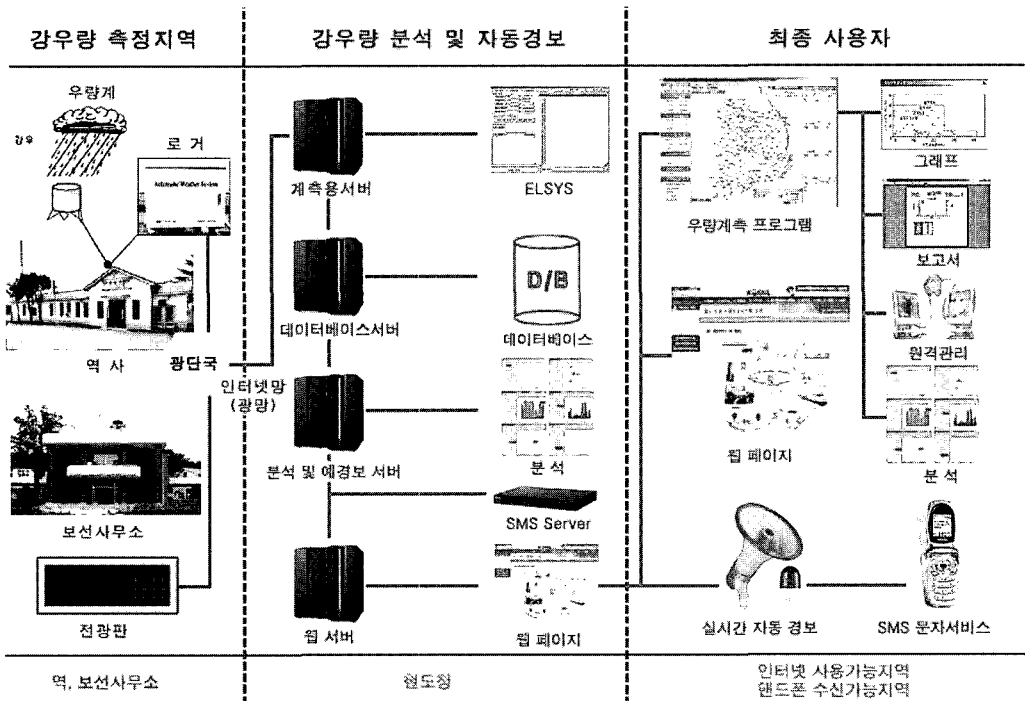


그림 2. 시스템 개념도

하고 있다. 하지만 기록지의 적기 교환과 우량계 유지관리 및 사용상의 불편함 등으로 인해 자동화된 우량 측정이 어려운 실정이다. 기존 전도형 자기우량계는 경부선 17개소, 중앙선 12개소 등 총 77개소에 설치되어 있으나 앞서 언급한 바와 같이 육안에 의한 강우데이터의 확인 및 유무선 통신에 의존하는 유인 수동 방식이기 때문에 강우정보의 D/B 구축이 현실적으로 불가능하며, 특히 강우제해 예방 측면에서의 강우량계의 활용에는 어려움이 있다.

한국철도공사에서는 철도재해업무처리규정에 따라 시설관리사무소장, 전기·전자통신·제어사무소장과 지역사무소장은 기상자료를 수집 분석토록 하고 있고, 전국적으로 77개소에 강우량계를 설치하고 수동으로 측정한 결과를 전화 등 유선에 의해 통보받아 철도주의보 및 철도경보 발령에 활용하는 등 철도재해 최소화를 위해 노력하고 있지만, 운영되고 있는 강우량계로는 약 6,820km의 전구간에 대한 강우정보를 파악하기에는 부족함이 있다. 또한 유선통신을 이용한 인력 의존식 정보전달체계(그림 1. 참조)는 강우정보의 자동 분석이 곤란함과 동시에 타부처에서 운용하고 있는 컴퓨터 통신망을 이용한 기상상황의 실시간 입수도 현재 불가능한 상태이다.

철도강우자동경보시스템 구축

금번 구축된 철도 강우자동경보시스템은 그림 2에 나타낸 시스템 개념도에 나타낸 바와 같이 철도공사 지역본부, 시설관리사무소, 시설관리분소, 역사 등에 설치된 강우량계로부터 측정된 우량 데이터를 데이터 로거를 통하여 중앙 데이터베이스 서버로 전송하여 분석하고, Flash UI, 웹페이지, 실시간경보, 휴대폰 SMS 문자서비스, 전광판 등을 통하여 최종 사용자에게 전달된다. 각 시스템의 세부 구성을 살펴보면 다음과 같다.

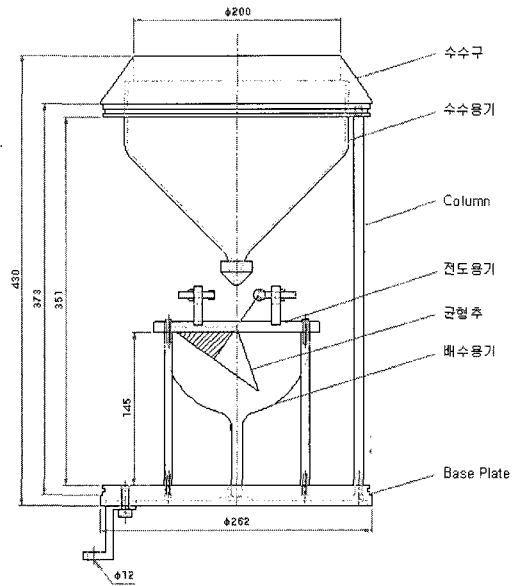


그림 3. 전도형 강우량계

강우량 감지기

전국 철도선로를 따라 207개소에 설치된 전도형 강우량계는 그림 3에 보인 바와 같이 뚜껑, 물받이 및 기본 구조체로 구성되어 있다. 직경이 200mm인 그물로 덮인 깔대기 형태로 되어 있어 강우시 0.5mm의 빗물이 모일 때마다 삼각형 물받이로 흘러 들어간다.

가열기(heater)의 전력은 200W로 기온이 5℃ 이하일 때 동작하여 눈을 물로 변화 시켜 간접적으로 눈의 양도 측정이 가능하다. 물받이에 물이 차면 물받이가 기울어져 밀봉된 리드(Reed) 스위치를 작동시키고 이 신호를 데이터 로거로 보낸다. 기울어져 흘러내린 물은 바닥홈통을 통하여 밖으로 나간다.

데이터 로거

데이터 로거는 매초마다 강우량 센서를 샘플링하고 샘플링된 자료는 통상적인 기상학적 물리량으로

변환되어 일정한 Data Format으로 처리하여 1분, 10분, 정시자료를 산출 전송한다. 데이터 로거는 복사열 및 외부 열로부터 차단되어야 하고 밀폐된 구조를 갖고 있어야 하며 밀폐에 따른 방열 대책이 따라야 한다. 데이터 로거의 구성은 신호변환부, 자료처리부, 자료 교환부 등으로 구성되어 있다.

강우자동경보시스템 소프트웨어

기존의 현장 계측시스템은 측정된 데이터를 파일 또는 문서로 보관하는데, 이는 데이터의 재사용을 불가능하게 하는 중요한 요인이 된다. 즉, 관리되지 않는 분산된 데이터는 분실의 위험이 크고 검색이 어렵기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 효율적인 계측 데이터베이스를 구축하였다.

계측데이터의 데이터베이스를 구축함으로써 실시간 접근이 가능하고 궁극적으로 컴퓨터에 의한 계측 데이터 분석이 가능해짐으로써 사용자는 계측 데이터의 실시간 확인뿐만 아니라 과거 데이터에 대한 검색 자료와 분석된 데이터를 실시간으로 볼 수 있게 된다.

일반적으로 계측값은 물리량의 표현이며 이를 분석식에 의해 가공하여 실질적인 값을 도출하게 된다. 따라서 본 연구에서는 같은 물리량에 대해서 다양한 분석 식들을 적용시켰고 분석결과를 최종 사용자에게

실시간으로 전달함으로써 단순한 계측결과의 서비스 뿐만 아니라 미숙련된 사용자가 수행하기 힘든 계측 분석을 빠르고 정확하게 서비스할 수 있도록 하였다 (표 1. 참조).

중앙제어프로그램은 IT 서버를 중심으로 운영되며 현장의 정보를 수집할 수 있는 환경을 설정하고, 자료의 수집을 제어하여 데이터베이스를 효율적으로 관리하는 중앙통제 기능을 담당한다. 이 때 데이터베이스에 자료화된 정보들은 분석모듈에 의해 실시간으로 분석되고 만약, 설정된 한계값을 초과할 경우 조기경보시스템을 통하여 이메일이나 문자 메시지로 관리자 및 사용자에게 경고를 보낼 뿐만 아니라 웹상에서 제공되는 지도상의 관측개소에 경보를 표출함으로써 담당자들이 신속히 조치를 취할 수 있도록 하였다.

강우량계 설치개소 선정시 고려사항

강우량계 설치개소 선정방법은 앞서 설명한 바와 같이 직선거리 10km를 기준으로 하여 등간격으로 전 노선을 대상으로 하여 개략적으로 선정하였다. 개략 선정된 설치개소에 대해 매년 집중호우 발생개소, 수해다발지역 및 절개면/성토구간 토사붕괴 우려개소 등의 조사를 통하여 강우량계 설치예정개소와 관계를 분석하였다. 이는 현재 계획하고 있는 강우량계 설치개소가 과거발생지역 또는 향후 발생가능 지역에 대한 강우량 D/B를 정확하게 구현할 수 있는가를 확인하기 위하여 시행하였다. 매년 집중호우 발생개소 및 수해다발지역은 최근 5년간(1999년~2003년)의 자연재해 현황을 분석하였으며 절개면/성토구간으로 토사붕괴 우려개소는 철도공사에서 제시한 절개면 위험지역을 분석하였다.

재해우려개소와 수해다발지역을 검토한 결과 위에서 제시한 재해우려개소 90개소중 영업거리로 검토시 강우량계 설치위치와의 거리가 5km이내인 경우

표 1. 분석시스템 개요

프로그램 목록	설 명
IT 서버	계측데이터 수집 현장상태 이상유무 판단
분석 모듈	현장계측 데이터 분석 경고시스템(SMS,E-Mail)
데이터베이스 서버	계측 데이터베이스 구축 안정적 백업시스템
웹 서버	웹페이지와 DB연결 계측데이터 실시간 관람

표 2. 선로별 강우량계 설치개소수(총 207개소)

선로명	개소수	선로명	개소수	선로명	개소수	선로명	개소수
경부선	36	태백선	7	중앙선	26	군산선	2
호남선	20	충북선	9	장항선	11	경인선	2
전라선	14	경북선	8	경원선	7	대구선	2
경전선	22	경춘선	6	동해선	11	기타	5
영동선	15	경의선	4				

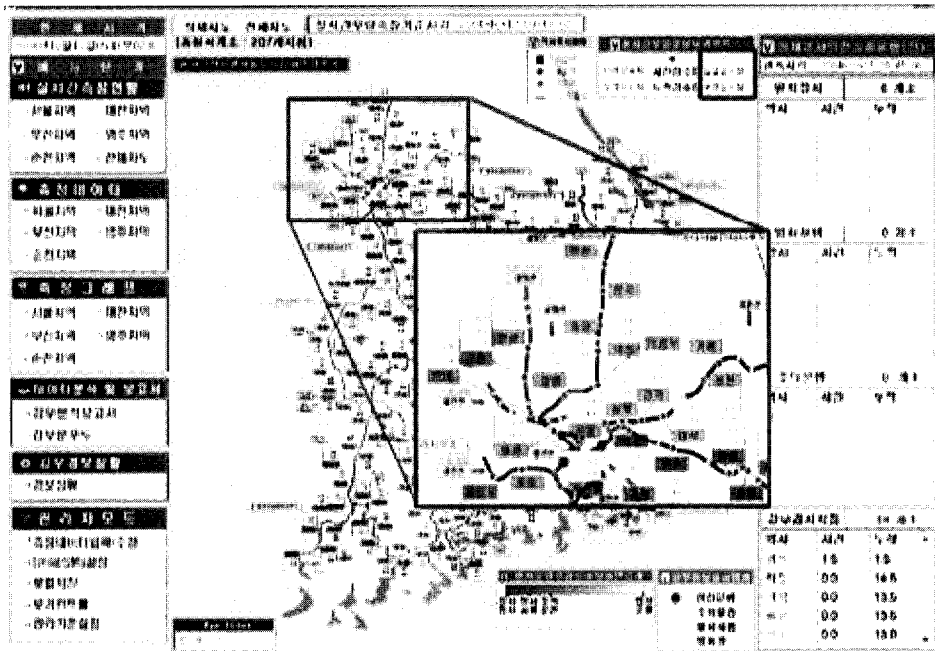


그림 4. 일일강우량/누적강우량

가 76%였으며 직선거리로 검토시 5km이내인 경우가 90% 이상으로, 직선거리 10km 기준을 적용하여 강우량계를 설치하더라도 국지성 집중호우에 대한 강우자동경보시스템의 적용 및 강우량 D/B구축에 문제가 없을 것이라 판단된다. 또한 수해다발지역에 대한 강우량계 설치개소와의 거리를 비교분석한 바에 의하면, 재해우려개소 및 수해다발지역 검토결과와 같은 결과를 나타내었다. 앞서 언급한 설치기준과 설치시 고려사항을 고려하여 설정한 선로별 강우량계 설치개소수는 표 2와 같다. 경부선이 36개소로 가장 많이 설치되어 있으며 다음이 중앙선 26개소, 경전선 22

개소, 호남선 20개소 등이며, 평균설치거리는 경부선이 10.9km, 중앙선이 11.5km, 경전선 10.9km, 호남선 10.4km이다. 이러한 차이는 이미 설명한 바와 같이 LAN사용이 가능한 역사에 설치함에 의한 역간 직선거리차로 인한 것이다.

강우자동경보시스템 개발 및 구축

강우자동경보시스템의 웹서비스는 그림 4와 같이 컴퓨터가 인터넷망에 접속되어 있다면 웹서비스에서

는 강우자동경보시스템을 사용하여 전 선로에 설치되어 있는 207개소에 대한 현재 강우상황을 파악할 수 있다. 파악가능한 강우의 종류는 1분 강우량, 15분 강우량, 1시간 강우량, 누적강우량, 24시간 강우량이 있으며 현재의 강우상황뿐만 아니라 과거 일정시간 또는 기간 동안의 강우 데이터를 검색해 볼 수 있게 되어 있다. 또한 강우량이 일정치 이상이 발생하게 되면 일정치 이상이 발생한 계측지점에 측정 강우량에 적절한 열차운전규제 발령 표시가 나타나게 되어 열차운전규제기준에 따라 열차의 안전운행을 도모할 수 있다.

열차중지, 열차서행, 주의운행이 적용되는 개소를 화면상에서 한눈에 알아볼 수 있도록 되어 있으며, 강우가 검지된 개소의 강우량에 대한 정렬기능을 통해 일정기간 동안의 지역적 강우특성을 파악할 수 있다. 또한 강우량계의 데이터 전송이 불량한 개소를 인터넷상에서 바로 확인이 가능할 뿐만 아니라 지역을 담당하는 담당자에게 SMS문자서비스와 이메일을 통해 상황을 전달함으로써 즉각 확인 및 조치가 가능하도록 되어 있다. 철도강우자동경보시스템을 통하여 누구나 원하는 개소의 강우상황을 인터넷을 통해 확인할 수 있으나, 재해업무 외의 일상업무 중에도 강우상황을 전반적으로 파악할 수 있도록 하기 위해 시설관리사무소내에 강우정보 실황판(그림 5. 참조)을 설치하여 업무 효율화를 도모하였다. 실황판에는 각

관할지역에서 대표되는 6개 강우량계 설치개소의 강우정보가 일정시간 간격으로 나타나게 되어있다. 또한 5개 지역사무소 운전사령실과 철도공사 본청 운전사령실에는 운전규제가 필요한 경우에만 운전규제 종류와 장소가 표시된다(그림 6. 참조).

강우시 열차안전확보를 위한 운전규제기준

한국철도공사에서 과거 수년간 태풍 및 국지성 호우에 의한 재해이력과 강우정보를 비교 분석하여 강우시 열차운전규제기준으로 제안하였다. 국내외 기관에서 활용하고 있는 다양한 강우기준치를 분석함과 동시에 강우시 열차운전규제기준 설정 및 운용함에 있어 간편성, 용이성, 정보 전달성 등을 검토하여 1차적으로 시간 강우량과 누적 강우량을 활용하여 기준을 설정하였다. 그림 7은 시간강우량과 누적강우량을 활용한 기법으로 기준치를 설정하기 위한 진행과정을 제시한 것이다. 재해가 발생한 대상개소는 전국 노선에 걸쳐 약 4년간 170여개소를 추출하였으며, 재해발생개소의 강우정보에 대해서는 철도공사 재해대장 자료를 참조함과 동시에 기상청 관측데이터를 입수하여 보간법을 활용하여 전국 노선에 대한 강우량을 산정하였다. 또한 이번에 구축한 강우자동경보시스템 D/B를 통하여 2004년 한 해 동안의 강우데이터 및 1995년부터



그림 5. 시설관리사무소용 실황판



그림 6. 운전사령실용 실황판

터 1999년까지의 기상청 강우자료를 비교분석하여 보다 신뢰도 높은 시간우량과 누적강우량에 의한 열차운전규제 기준(안)을 작성하기 위해 노력하고 있으며, 조속한 시일 내에 검토·확정하여 2005년부터 활용할 계획이다. 제안된 기준은 향후 철도자체의 강우자동경보시스템에 의해 축적된 강우 데이터와 지역특성 및 재해특성을 통하여 지속적으로 분석하여 보완함으로써 보다 정확하고 효율적인 열차운전규제 기준 제시가 가능할 것으로 판단된다.

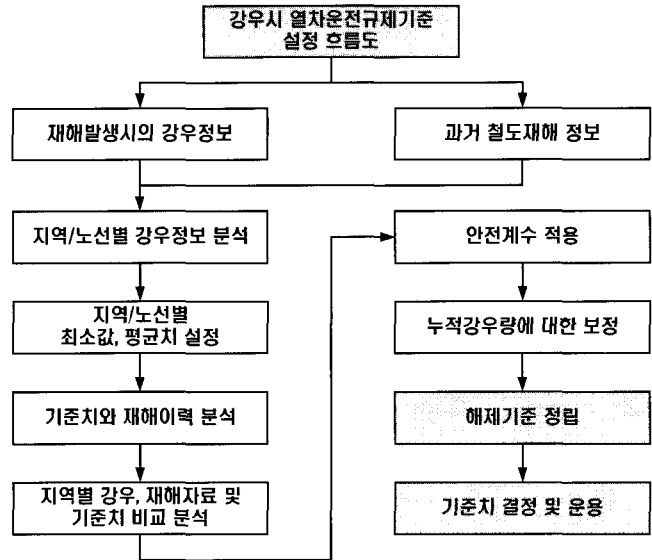


그림 7. 강우정보 및 재해이력을 이용한 강우시 열차운전규제기준 설정 흐름도

맺으며

강우로 인한 철도시설 재해를 사전에 예방하고 재해시 신속한 복구를 통해 철도시설의 안전을 확보하기 위해 기본적으로 할 수 있는 강우데이터 확보 및 DB구축을 위한 강우자동경보시스템을 개발하였다. 강우자동경보시스템의 주요기능은 전 선로에 걸쳐 설치되어 있는 207개의 강우량계를 통하여 측정되는

강우데이터를 실시간으로 확보하고 데이터를 분석함으로써 적절한 열차운전규제를 실시하는 것이다. 본 시스템이 구축됨으로써 인력 의존적인 현행의 재해 운용체계를 개선하여 현업의 업무 효율화를 기할 수 있고, 향후 추진중인 철도 강우방재시스템의 밑거름이 될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 岡村 甫(1988), 土木計測 新體系 土木工學 13卷.
2. 建部恒彦(1977), 鐵道防災施工法(上) 山海堂.
3. 建部恒彦, 鐵道防災施工法, 山海堂, pp. 6-7, pp. 89-107.
4. 鷺見俊一郎, 山陰本線の防災管理, 鐵道土木, 28-9.
5. 龜田弘行 外 3人, 土木構造物の診断, 山海堂, pp. 46-57, pp. 266-274.
6. 吉川惠也 外 1人, 鐵道における防災對策, 土木學會誌, pp. 82-85.
7. 오광석, 허중성, 김성희, 정보기술을 활용한 종합방재관리시스템 구축에 관한 연구, 한국전산원
8. 윤수호 외 6인(1999), 지반조사 자료의 D/B구축과 시스템 운영에 관한 연구, 한국건설기술연구원