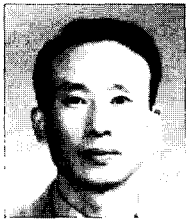


철도절개면 관리현황 및 선진화 방안



김병호 | 한국철도공사 조사부장



황선근 | 한국철도기술연구원 책임연구원

1. 들어가며

최근 10년간 통계에 따르면(통계청, 2001) 자연재해 연평균 피해액은 1조 2,700억원, 연평균 인명피해 129명으로 매년 인명과 재산피해가 크게 발생하고 있다. 우리나라의 지반재해 중 대표적인 산사태 재해는 그 중 연평균 26명의 인명피해와 연평균 6,000억원의 재산피해가 발생하였고, 피해규모가 급격히 증가하는 추세이다.

특히 철도에서는 노반붕괴, 독·선로·도상유실 및 침하, 옹벽전도, 깎기비탈·독비탈붕괴, 선로침수, 궤도매몰과 같은 재해(약 57%)가 가장 빈번하게 발생하고 있어, 다발하는 재해를 중심으로 우선적인 방재방안이 필요하다 할 수 있다. 더욱이 태풍 및 국지성 강우 등에 의한 자연재해는 반복성, 재발 가능성이 높기 때문에 위험개소에 대한 철저한 위험요인 및 경제성 분석을 통해 보수보강 방안과 함께 재해를 예방·검지를 할 수 있는 감시시스템의 설치방안을 수립함이 절실히 요구된다. 하지만, 자연재해 발생을 근본적으로 억제하는 불가항력적이므로 재해발생을 기본 전제로 하고, 재해 발생시 피해를 최소화할 수 있는 대책이 요구된다.

본 고에서는 철도절개면의 재해 저감과 선진 예방유지관리방식의 철도방재 체계의 도입을 위해 철도절개면 실태조사, 정밀조사, 안정성 평가 등을 통하여 위험개소에 대한 최적 대책공법과 감시시스템을 도출함에 의해 철도절개면 관리기술의 선진화방안을 모색하고자 하였다.

2. 철도절개면 관리실태 및 연구현황

2.1 철도절개면 관리현황

시설관리사무소에서 관리하고 있는 재해우려개소에 대한 관리대장은 재해종별, 소요예산, 보강단면도 및 수량산출, 평면도, 사진전경, 특기사항의 항목으로 구성되어 있으며, 재해종별에는 예상되는 재해종류를 기입하고, 절개면 위치와 관련하여 노선, 역구간, 위치, 상하, 좌우, 연장 등을 관리하고 있지만, 단순히 절개면의 위치와 사진전경만이 나와 있을 뿐 절개면의 형태, 절개면의 지형조건, 지질조건, 예상되는 산사태·낙석의 규모 등 체계적으로 철도절개면의 특성을 파악할 수 있는 내용이라고는 할 수 없으며,

위험도에 대한 판단이 단순하게라도 제시되어 있지 않은 실정이다.

한편, 재해우려개소의 관리대책으로는 산사태·낙석 발생의 가능성이 높은 개소부터 우선순위를 정하여 옹벽, 표층처리, 피암터널, 방호옹벽, 낙석방지책 등을 설치하는 조치를 취하고 있다. 단기적인 대책으로는 동절기에 얼어붙은 지반이 해동되는 해빙기 그리고 강우가 발생할 때에 산사태·낙석 발생의 원인이 되는 토사·암반을 사전에 제거하고 있으며 필요에 따라 고정감시원을 현장에 배치하고 있다.

2.2 철도절개면 연구현황

철도의 안전운행을 확보함과 동시에 자연재해의 영향을 최소화하기 위해서는 자연재해의 발생 시간(time), 위치(location), 종류(type)의 예측이 가능해야 한다. 그러나 자연현상은 인간이 고도의 기술을 가지고 있어도 정확히 예측하기 어렵기 때문에 한국철도공사와 한국철도기술연구원에서는 철도시설의 유지보수·보강, 열차운전규제기준 설정, 재해 예·검지시스템 구축의 3가지 방법으로 재해를 대처할 수 있는 기술개발에 힘써 열차의 연속적인 운행과 절대 안전을 이루는데 노력을 집중하고 있다.

2.2.1 철도시설의 보수·보강

국내 철도영업선의 대다수는 시공된 지 수 십년이 경과된 것이 많아, 철도시설 각 부분이 자연외력에 대해 충분한 내구성을 갖지 못하는 것이 현실이다. 이와 같은 재해우려 위험시설에 대해서는 합리적인 투자 및 조사 우선순위를 통해 보수·보강할 개소를 먼저 선정하고 최적의 보수·보강 기술을 적용, 시공되어야 하지만 국내 철도에서는 모든 철도구조물에 대해 각각의 특성을 반영한 표준화된 안정성 평가방법 그리고 철도시설별 조사 및 투자 우선순위 선정법이 정립되어 있지 않아 체계화된 보수보강대책이 이

뤄지지 못하고 있다. 일부 정립된 분야로는 철도 절개면과 낙석 분야를 들 수 있고, 특히 철도절개면의 경우에는 표준화된 안정성 평가방법이 제안되었으며, 이를 바탕으로 재해우려 절개면에 대한 합리적인 투자 및 보수보강개소의 선정을 가능하게 하였다.

2.2.2 강우시 열차운전규제기준

열차운전규제는 타 교통수단과 다르게 대량운송체인 철도의 안전을 보다 확고히 하기 위해 열차안전에 위협을 줄 수 있는 한계우량, 한계풍속, 한계강설량 등을 설정하여 돌발적인 악천후 및 기상상황 변화에 적극적으로 대처하기 위한 기술적, 정책적 기반을 말한다.

강우 등과 같은 자연외력에 대해 열차 또는 철도시설의 재해 가능성(산사태, 낙석 및 붕괴)이 크다고 판단되면, 운행 중인 열차는 감속하거나 운행을 중지한다. 강우에 대해 열차의 감속과 운행 중지를 나타내기 위해서 누적우량, 시간우량, 연속우량, 한계우량, 실효우량 등의 여러 가지 강우지표가 활용되고 있다 (그림 1 참조).

2.2.3 재해 예·검지시스템

열차운행을 저해할 상황이 발생하면 특정 시스템

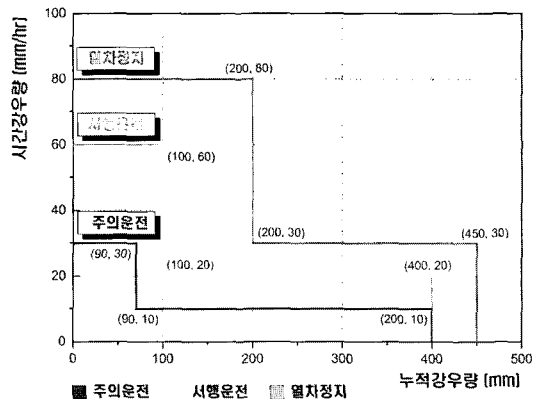


그림 1. 강우시 열차운전규제기준 예

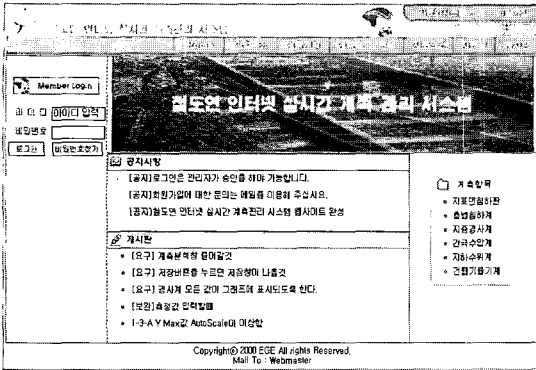


그림 2. 인터넷을 통한 실시간 감시시스템

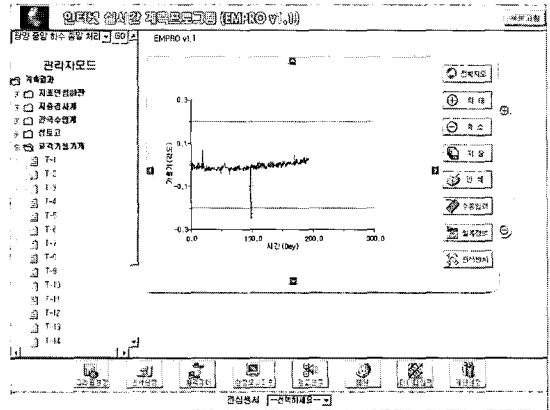


그림 3. 교각 기울기 실시간 계측화면

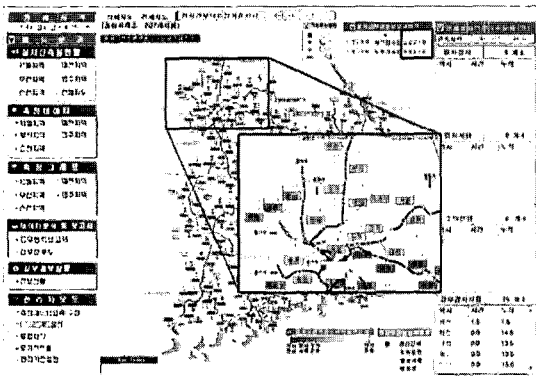


그림 4. 강우량정보의 인터넷 서비스



그림 5. 시설관리사무소용 강우상황판

에 의해 열차의 운행을 중지하거나 재해 방지 또는 최소화를 위해 위험조건을 신속하게 파악하고 검지하여 열차의 안전을 확보할 필요가 있다. 하지만 이와 같은 특정시스템의 설치, 계측, 관찰 및 유지관리에는 많은 인력과 비용이 수반되는 단점이 있다.

① 철도구조물에 대한 예·검지시스템

각종 철도구조물의 이상 유무를 파악하기 위한 예·검지시스템이 모뎀, 인터넷망 등을 이용하여 지속적으로 개발되고 있으며, 재해우려 구조물의 시간경과에 따른 거동을 실시간으로 파악하여 운행 중인 열차의 안전을 확보하고자 노력하고 있다. 그림 2와 그림 3은 실시간 감시시스템의 예를 보인 것이다.

② 강우 자동경보 시스템

한국철도기술연구원에서는 국내 지형 및 기후특성에 알맞은 시스템과 경계우량 설정을 목표로 인터넷과 연계한 강우정보의 자동입력 및 경보시스템에 대한 연구를 진행하였으며, 개발된 강우 자동경보 시스템을 현재 철도공사 전 노선에 구축하여 실시간 강우정보를 제공함에 의해 재해 최소화에 활용하고 있다. 그림 4는 강우량정보의 인터넷 서비스를 보인 것이며, 그림 5는 시설관리사무소용 강우상황판을 보인 것이다.

3. 철도절개면 표준평가기법 개발

철도절개면 조사양식 및 표준화된 평가기법 제안을 위해 국내외 기관사용되고 있는 절개면 점검양식(평가표)을 분석하였다. 분석을 위하여 사용된 기관

의 사면안정도 평가표는 국외 7개 기관의 8가지 평가 기법, 국내 5개 기관의 9가지 평가기법에 대하여 고찰하였다.

철도절개면의 평가기법(정기점검용) 개발을 위해 평가항목을 크게 6가지(① 철도절개면 특성에 관한 항목, ② 보강대책에 관한 항목, ③ 배수시설에 관한 항목, ④ 강우량에 관한 항목, ⑤ 붕괴이력에 관한 항목, ⑥ 기타 항목)로 분류하여 평가표의 득점전체에 차지하는 비율을 비교하여 항목별 배점기준을 결정하였다.

철도절개면의 수량 및 인력 등을 고려 시 시설관리원이 신속하고 용이하게 철도절개면의 개략적인 안정성을 객관적으로 판단할 수 있는 일상점검용 철도절개면 평가기법을 개발하는 한편, 정기점검용 양식도 개발하여 실무자가 철도절개면 조사양식을 이용하여 현장조사한 결과를 '철도절개면 관리 DB 프로그램'에 접속하여 입력할 때, 입력된 내용이 평가기법의 정량화된 항목별 배점기준에 따라 자동 계산되어 안정성 평가결과를 파악할 수 있도록 하였다.

4. 철도절개면 선진화 관리방안

절개면 재해는 공간상 방대한 영역에서 발생되며, 검지를 위한 자료는 한정적으로 관리되어지기 때문에 정보의 공유가 이루어지지 않고 있다. 최근 이를 방지하기 위하여 축적된 자료를 데이터베이스화하는 추세에 있지만 이러한 자료들은 자체 개발시스템에서만으로 한정되어 있는 상황이다. 또한 이렇게 수집된 자료를 바탕으로 시설물의 유지관리 측면이나 재해발생시 피해를 최소화하기 위해서, 그리고 신뢰성 있고 신속한 분석을 위해서는 실시간 자료의 수집이 필수적이다. 특히, 국내 철도의 경우 예기치 못한 재해발생은 심각한 인명피해와 재산손실을 동반하기 때문에 재해우려개소에 대한 적절한 감시시스템의 도입이 적극 검토되어야 한다.

4.1 철도절개면 감시시스템 구축

철도피해를 저감하여 운행안전을 확보하기 위해서

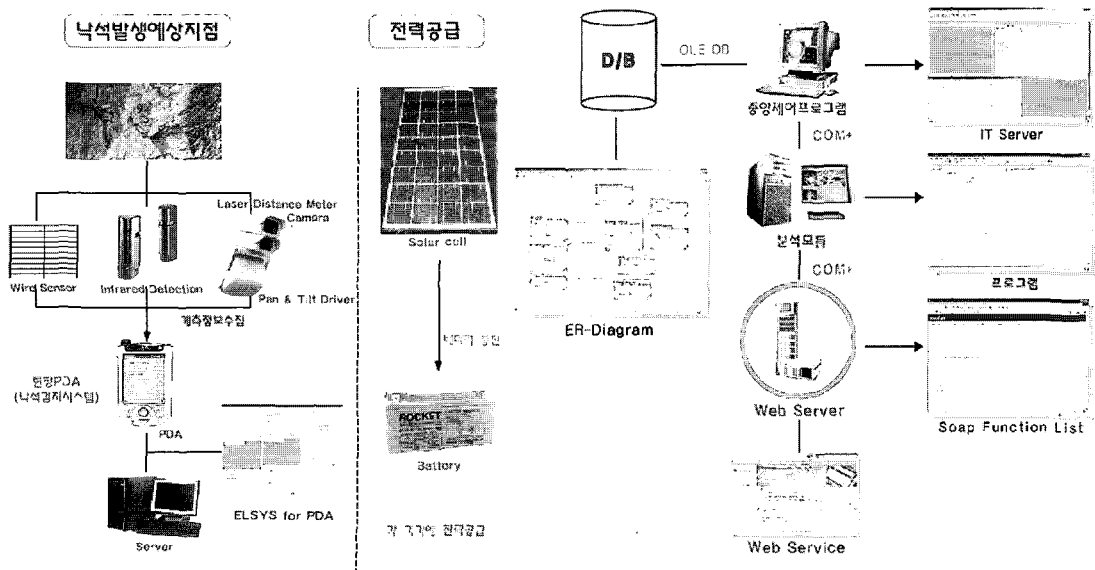


그림 6. 낙석검지시스템 구성 및 Web 기반 프로그램

는 보수보강이 가장 최선책이지만, 예산과 인력운용의 제한성과 철도노선의 특수한 상황인 접근성 등으로 감시시스템의 중요도는 보수보강과 대등한 입지를 점하고 있다고 할 수 있다. 특히 철도절개면의 경우 감시시스템의 적용을 적극 검토해야하는 이유는 다음과 같다. 3D업종으로 분류되는 선로작업에 투입할 인원확보가 어렵고, 재해 발생시 중앙사령실과 운행 중인 열차로의 신속한 실시간 정보 전달이 요망되며, 사고발생시 보다 단계적인 자동 판단 및 제어가 필요로 된다. 또한, 신속한 복구를 위해 현장상황의 정확한 파악이 요망된다.

절개면 재해 발생 우려개소에 대한 자동화 감시시스템에 필요한 요소들 즉, 자동화 된 데이터 로거, 경제적이며 안정적인 데이터 송수신장치, 체계적인 데이터베이스 구축, 조기경보 시스템 장치 등의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 개략적인 내용이 소개되어 현업 적용이 용이하게 될 수 있도록 하였다.

철도절개면에 적용되는 센서는 지표면 변위계, 낙석방호책과 함께 설치되는 와이어센서, 적외선 센서, 레이저 변위측정기와 연동된 CCD이다. 이와 같은 센서는 최소한 2중 이상의 센서가 조합되어 한 현장에 적용됨으로써 상호 보완적인 시스템 구축이 가능하며, 시스템의 신뢰도를 향상시킬 수 있다(그림 6 참조).

4.2 철도절개면 관리 DB 프로그램 개발

철도 절개면 관련 재해를 미연에 방지하기 위한 현장조사, 안정해석, 대책방안 등의 일체의 자료를 효율적으로 관리하기 위하여 'Web GIS 기반 철도절개면 관리 DB프로그램'을 개발하였다. 이 프로그램은 철도절개면에 대한 지도 정보와 데이터베이스 정보를 함께 입력, 검색, 수정 및 삭제하는 기능을 온라인상에서 구현함으로써 절개면을 용이하게 관리할 수 있도록 하였으며, 프로그램 개발 시 한국철도기술연구

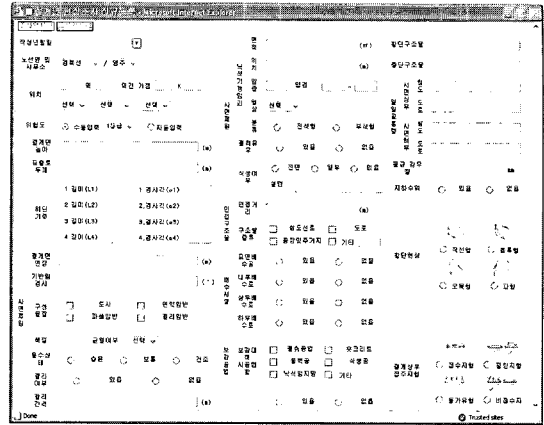


그림 7. 절개면 현장조사양식 입력창

원에서 개발한 지반정보 프로그램 및 철도공사의 통합시설물관리시스템과 연계할 수 있는 방안을 마련하였다.

조사양식에 의해 기록된 항목들을 조사양식 입력창(그림 7 참조)에 입력을 하면 데이터의 입력과 동시에 철도절개면의 위험도가 자동으로 평가되어 나타나게 된다.

5. 대책공법의 경제성 분석

철도투자사업의 경제성 평가는 계획 또는 논의되고 있는 대안들의 비용과 편익을 분석하여 경제적 효율성과 공공투자의 타당성을 검토하는 것이다. 이는 사업의 효율성을 극대화하여 투자자원을 최적 배분할 수 있도록 투자의 적합성을 사전에 분석하는데 그 목적이 있다.

분석기법으로는 분석과정에서 평가자의 주관이 개재될 여지가 가장 적고, 균일한 척도(화폐가치)로 비교가 가능하여 공공투자사업의 평가에 비교적 적합한 방법인 비용?편익 분석방법을 활용하여 경제성 분석을 하였다. 비용?편익 분석방법은 할인된 총편익과 총비용의 비율로 정의되며, 비용편익비가 '1' 보다 크

면 경제성이 있다고 평가되지만 비용과 편익 항목을 어떻게 구분하는가에 따라서 비율이 다르게 나타날 수 있다. i 년도의 편익을 B_i , 비용을 C_i , 할인율을 d , 그리고 평가기간을 n 년이라 하면 편익/비용 비는 다음과 같이 산정한다.

$$B/C = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+d)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+d)^i}}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

철도부문 투자사업과 관련된 비용항목으로는 초기 투자에 해당하는 시설투자비와 매년 발생하는 유지관리비(운영비), 차량구입비 등이 있다. 일반적인 철도 투자사업에서의 공사비는 직접공사비, 간접공사비, 예비비 등으로 구성되지만 위험 절개면 대책공법과 관련된 비용은 공사비, 유지관리비로 구분된다. 철도 관련 투자사업을 시행함으로써 파생될 수 있는 편익의 유형 중에서 대책공법의 시행으로 발생하는 적용 가능한 편익은 위험 절개면의 관리비용 절감, 사고 발생에 따른 피해복구비용 절감, 철도 폐쇄에 따른

수입손실비용 절감의 3가지 항목을 고려하였다.

6. 맺으며

철도절개면의 재해우려개소에 대한 효율적인 관리를 위하여 현재 운용되고 있는 철도절개면 관리 현황을 검토하고, 절개면 관리방안 및 선진화대책방안을 위해 추진해온 철도절개면 평가기법, 관리방안, 대책공법의 경제성 분석 등의 결과에 대하여 소개하였다.

이와 같은 철도절개면의 선진화 관리방안의 도입으로 해빙기와 하절기 국지성 집중 호우시 매년 반복되고 있는 철도수해 최소화에 기여할 수 있다고 판단되며, 특히 재해우려개소에 대한 최적의 대책방안을 제시함에 의해 철도절개면 재해를 사전에 예방할 수 있도록 철도절개면 위험도 평가 및 근본대책을 수립하여 단계별로 해소함에 의해 절개면 재해 감소를 유도할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원(2002), "철도시설의 안정성 강화기술 개발 연구보고서", 건설교통부, pp. 129~37
2. 황선근, 이성혁, 김현기, 김정무(2004), "웹 GIS 기반 철도 지반정보 관리프로그램의 개발", 한국철도학회논문집
3. U.S. Bureau of Reclamation(1969), "Evaluation of Criteria for Landslide Analysis", Presented in the U.S.G.S. Professional Paper No. 367, Office of Columbia Basin Project
4. Wakins, A. T. and Koirala, N. P.(1986), "Bulk appraisal of slope in Hong Kong", Landslide, Proc. 5th Int. Sym. on Landslide, A. A. Balkema, pp. 1181~1186
5. 光中博彦(1997), "最近のJR四國における落石災害", 新線路, pp. 10~11
6. 鐵道總合技術研究所(1999), "落石對策技術マニュアル"