

선로연변 사면 현황과 관리방안

Present Status and Management in Consideration of Railroad Slopes

신민호¹⁾, Min-Ho Shin, 박영곤²⁾, Young-Kon Park, 김현기³⁾, Hyun-Ki Kim, 한공창⁴⁾, Kong-Chang Han, 송원경⁵⁾, Won-Kyong Song

- 1) 한국철도기술연구원 시설연구본부 본부장, General Director, Civil Engineering Research Dept., KRRRI
- 2) 한국철도기술연구원 시설연구본부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Engineering Research Dept., KRRRI
- 3) 한국철도기술연구원 시설연구본부 주임연구원, Junior Researcher, Civil Engineering Research Dept., KRRRI
- 4) 한국지질자원연구원 자원연구부 책임연구원, Principal Researcher, Resource Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources
- 5) 한국지질자원연구원 자원연구부 선임연구원, Senior Researcher, Resource Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

SYNOPSIS : Present status of railroad slopes through the field investigation in 26 selected slopes and/or rockfall at risk was grasped. From the evaluation of field data, main characteristics of railroad slopes are that 1) the possibility of failure by rockfall is high, 2) the possibility of failure by slope itself is low and 3) rockfall's risk at the in and out part of tunnel is especially high.

To maintain the railroad slopes systematically and reasonably, it is necessary to make and to use the database of slopes information along the railroad. Furthermore, through the construction of basic slopes' information, maintenance system of railroad slopes was developed in connection with IR-DiPS(Intelligent Railroad - Disaster Prevention System) in the future.

Key words : railroad, slope, rockfall, database system

1. 서론

철도의 건설은 지형조건과 경제성을 충분히 고려하여 수행되기 때문에 필연적으로 산악지대의 능선을 따라 시공하게 되는 일이 불가피하다. 따라서 선로연변에는 절개에 의한 사면과 자연사면이 많이 존재하게 되며, 지형조건에 따라 낙석 및 산사태가 우려되는 개소가 산악지형을 통과하는 노선에서 많이 발생하고 있다.

낙석 재해는 대부분의 자연재해와 마찬가지로 예측할 수 없이 돌발적으로 발생하며, 최악의 경우 선로를 주행하는 열차로 하여금 탈선사고를 일으켜 막대한 인적·물적 피해가 발생할 수도 있다. 또한 직접적으로 열차의 탈선은 없더라도 낙석의 발생은 열차운전에 큰 지장을 주게 된다. 따라서 예기치 못한 낙석 재해를 미연에 방지하기 위해서는 낙석우려 사면의 효율적인 관리와 적절한 대책이 마련되어야 한다. 산사태 재해 또한 매년 6~8월에 집중되는 장마 또는 태풍 등에 의해 선로연변 사면이 붕괴(인공사면 붕괴 또는 산사태)되는 사례가 많이 발생하는데 이와 같은 사면의 붕괴는 집중호우에 의한 지표수가 지하로 유입된다든지, 지하수위 상승 등에 기인하는 것으로, 철도사면의 경우 이와 같은 사면붕괴는 낙석의 붕괴와 마찬가지로 수많은 인명손실 또는 안정적인 물류수송을 크게 저해시킨다. 따라서 이와 같은 재해를 미연에 방지하기 위해서는 붕괴우려가 있는 사면의 지속적인 관리와 붕괴시 신속히 대처할

수 있는 적절한 방재 대책이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 중앙선, 태백선, 영동선, 충북선, 정선선 등 5개 노선의 선로연변 위험사면에 대한 현장조사를 통하여 선로연변 사면의 위험현황을 파악하였고, 낙석 및 산사태에 대한 평가를 실시하였다. 또한 향후 구축예정인 지능형 철도방재시스템(IR-DiPS, Intelligent Railroad - Disaster Prevention System)과 연계한 선로연변 낙석 및 산사태 관리시스템에 대한 개요를 소개하고자 한다.

2. 선로연변 사면현황

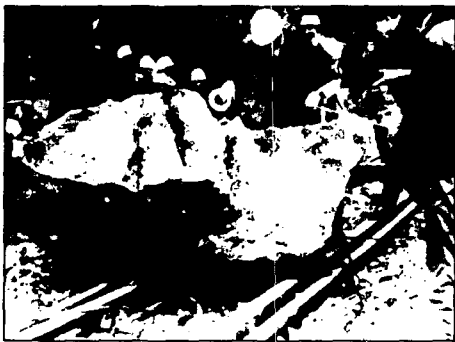
현재 철도청에서는 중앙선·영동선·태백선 등의 9개선 71개소를 낙석의 발생이 우려되는 개소로 지정하여 관리하고 있으며 이들 관리 대상 지역은 대부분 암반에 절리가 발달되어 있고 풍화작용에 의하여 암반상태가 불안하며 암벽의 각도가 급하여 해빙기나 강우가 발생할 때 낙석이나 산사태가 우려되는 곳이다.

다음의 <표 1>은 소규모로 낙석이 발생한 경우가 있는 개소를 노선별로 분류한 것으로, 대개 지형이 험준한 강원지역을 통과하는 노선(영동선, 태백선, 경춘선)이 다수를 차지하고 있음을 알 수 있다.

<표 1> 소규모로 낙석이 발생한 경우가 있는 개소(철도청 내부자료)

계	중앙선	영동선	태백선	경춘선	기타
71개소	2	37	11	12	9

<그림 1>과 <그림 2>는 낙석이 발생한 사례를 나타낸 것으로, <그림 1>은 낙석이 선로 상에 침범한 경우로서 열차의 탈선사고가 발생한 경우이다(일본 사례). <그림 2>의 경우는 낙석이 발생하였지만 방호공의 일부 변상만 발생하였을 뿐 방호공에 의해 낙석이 정지한 것으로 피해는 발생하지 않은 것이다. 낙석이 발생하지 않도록 발생원에서 억제하는 것이 최선의 방법이겠지만 사면의 상황, 경제성 등의 여건이 허락하지 않는 경우라도 적절한 대책의 수립이 전제된다면 낙석의 발생으로 인한 피해를 최소화할 수 있다.



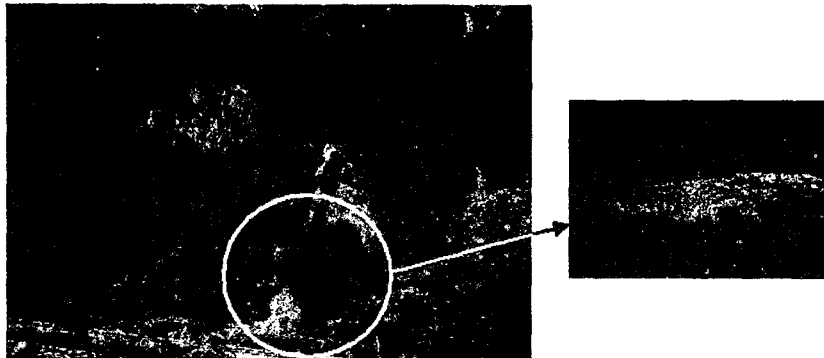
<그림 1> 낙석의 발생예 (1)



<그림 2> 낙석의 발생예 (2)

<그림 3>은 정선선(2.5~3km 구간) 연변에 위치한 사면으로서 사면 전체에 붕괴의 우려가 있는 암반이 산재하는 지점의 일례이다. 본 사진은 원거리에서 사면을 살펴본 것으로 사면의 경사가 급하고 사면의 높이도 매우 높아 낙석이 우려되는 발생원으로서의 접근이 용이하지 않은 지형이다. 따라서, 낙석의 우려가 있는 지점의 정확한 파악이나 규모 등을 판단하기가 곤란하며, 선로면에서 관찰할 수 있는 지점은 사면의 아랫부분에 한정되어 있다. 그림의 가운데 부분은 집중호우시 정확한 발생지점은 알 수 없지

만 암반덩어리가 떨어져 나와 옹벽상단 일부를 파손시키고, 옹벽을 타고 넘어 암반덩어리들이 선로상에 침범한 사례를 보여준다. 즉, 낙석의 발생원이 사면의 중상부라면 기존의 방호시설로는 낙석을 적절하게 방호하기에는 역부족인 상황을 보여준다.



<그림 3> 낙석우려개소 및 옹벽파괴사례 (정선선)

철도청의 각 보선사무소에서 관리하고 있는 낙석우려개소에 대한 관리대장은 <그림 4>와 같이 재해종별, 소요예산, 보강단면도 및 수량산출, 평면도, 사진전경, 특기사항의 항목으로 구성되어 있다. 재해종별에는 예상되는 재해종류를 기입하고, 사면 위치와 관련하여 노선, 역구간, 위치, 상하, 좌우, 연장 등을 관리하고 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 단순히 사면의 위치와 사진전경만이 나와 있을 뿐 사면의 형태, 사면의 지형조건, 지질조건, 예상되는 낙석의 규모 등 체계적으로 사면의 특성을 파악할 수 있는 내용은 없으며, 위험도에 대한 판단이 단순하게라도 제시되어 있지 않은 실정이다.

재해우려개소 관리대장

1. 재해종별 : 낙석우려개소

선명	중앙선
역구간	울릉-금강
위치	381k.240-381k.360
상하	단선
좌우	우
연장	120 m

4. 평면도 (보강개소 기입)

2. 소요예산

공사종류	수량	단가	금액	비고
낙석방지옹벽	50	2,000	100,000	
부유공식	/		14,000	
계			114,000	

3. 보강단면도 및 수량산출

5. 사진전경

6. 특기사항:

<그림 4> 선로연변 사면관리대장(철도청 내부자료)

낙석우려개소의 관리대책으로서는 낙석 발생의 가능성이 높은 개소부터 우선 순위를 정하여 피암터널, 방호옹벽, 낙석방지책 등을 설치하는 조치를 취하고 있다. 단기적인 대책으로는 동절기에 얼어붙은

지반이 해동되는 해빙기 그리고 강우가 발생할 때에 낙석 발생의 원인이 되는 암반을 사전에 제거하고 있으며 고정감시원을 현장에 배치하고 있다.

낙석으로부터 선로를 방호하기 위한 설비는 사면의 지형조건과 예상되는 재해유형에 따라 달라진다. 낙석의 규모가 크고, 암반의 절리가 발달하여 산사태 등의 피해가 예상되며, 선로와 절개면이 인접한 구간에 계획되는 방호공은 피암터널인데 이와 같은 피암터널은 낙석으로부터 방호능력은 뛰어나지만 설치비가 과다하게 소요되는 단점이 있다. 또한 피암터널보다는 방호 효과가 떨어지지만 설치비가 다소 저렴한 방호옹벽이 계획·설치되며, 방호철책은 낙석의 규모가 작고 소량이며 사면붕괴가 발생하지 않을 것으로 판단되는 개소에, 그리고 기타의 설비는 피해의 우려가 적은 개소에 계획한다(<표 2> 참조).

<표 2> 낙석으로부터 선로를 방호하기 위한 설비계획(철도청 내부자료)

단위: 백만원

구분	대상		기존치		1999년 계획		2000년 이후	
	개소	소요액	개소	소요액	개소	소요액	개소	소요액
계	71	20,225	58	16,525	3	1,415	10	2,065
피암터널	50	19,230	45	16,380	2	1,390	3	1,460
방호옹벽	5	549	2	69	-	-	3	480
방호철책	9	226	4	76	1	25	4	125
기타	7	-	7	-	-	-	-	-

그러나, 상기와 같은 선로연변 사면관리방안에 있어 현실적인 문제점은 다음과 같다. 즉, 전국적으로 산재한 절개지의 유형별 분포현황에 대한 파악과 비탈면의 체계적인 유지관리 방안의 수립이 미흡하여 예기치 못한 낙석 및 산사태의 발생으로 열차의 안전운행에 지장을 초래하고 있으며, 재해의 발생에 따른 대책 등에 과다한 비용이 소요되고 있다. 또한 낙석 위험사면의 체계적인 관리를 위한 합리적인 조사표가 전무한 실정으로, 현재 철도청 각 보선사무소에서 관리하고 있는 재해우려개소의 관리대장에는 단순한 내용만을 기술하고 있어 그 보완이 시급한 실정이며, 낙석 및 산사태 위험개소의 대책수립을 위해 필수적으로 필요한 철도사면의 위험도 등급을 판정하는 기준이 없기 때문에 이에 대한 시급한 보완이 요구된다.

다음으로는 낙석 위험개소에 대한 점검의 후진성을 들 수 있다. 현재 점검은 비전문가(선로보수반)의 일상적인 육안 점검에 의존하고 있으며, 실제로 시공한 대책공도 옹벽, 폐 레일을 이용한 펜스, 낙석방지망, 복공(피암터널) 등으로 한정되어 있어 그 효과 및 경제성에 의문이 있는 실정이다. 또한 낙석방지를 위한 대책공법 적용의 체계적 기법의 부재로 객관적이고 전문적인 투자계획이 전혀 없는 실정이다.

3. 선로연변 사면평가

3.1 선로연변 사면조사 및 방법

낙석이나 산사태 위험을 내포하고 있는 사면은 영동선의 14개소를 비롯해서 전국적으로 9개 노선에 71개소가 있는 것으로 파악되고 있다. 이 중에서 위험도가 높아 보강이 시급한 사면을 선정하여 현장조사를 실시하였다. 이들 사면의 상세한 내용은 <표 3>과 같다.

선정된 사면은 5개 노선의 28개소로서 영동선 14개소, 태백선 8개소, 정선선 4개소, 충북선과 중앙선 각 1개소이다. 조사사면의 총 연장은 3,885m이다. 사면을 유형별로 보면 절토사면이 가장 많은 15군데를 차지하며, 터널입출구 사면이 7군데이고 자연사면은 6군데이다. 현장조사는 사면을 관리하는 보선사무소와 위치를 고려하여 5개 권역으로 나누고 각 권역별로 조사팀을 구성하여 순차적으로 실시하였다.

<표 3> 조사대상 사면 내역

번호	선별	구간(m, 연장)
1-14	영동선	녹동-임기(2), 임기-현동(5), 현동-분천(585), 분천-승부(210), 승부-석포(100), 동점-철암(20), 심포리-홍전(40), 마차리-신기(350)
15-22	태백선	에미-조동(375), 자미원-증산(10), 증산-사북(147), 사북-고한(67), 추전-태백(40)
23-26	정선선	증산-별어곡(108), 별어곡-선평(300), 여량-구절리(360)
27	충북선	동량-삼탄(320)
28	중앙선	울동-금장(120)

사면조사는 보강공사 여부에 따라 차별을 두었다. 보강이 완료된 구간에 대해서는 사면 보호대책 향에 시설물 내용만을 조사 기재하고 그 부분에 대한 사진촬영을 하였다. 보강이 이루어지지 않았거나 보강을 했더라도 불완전할 경우에는 조사표(송원경 등, 1999)에 따라 접근 조사를 실시하였다. 사면방향과 각도 그리고 사면길이 등 사면제원은 클리노 콤파스와 줄자를 이용하여 계측하였고 사면의 불연속면 상태는 대표성을 가진 암반을 선정하여 절리 방향과 간격 등을 계측하였다. 또한 슈미트 해머를 이용하여 주절리면에서의 암반강도를 측정하였다.

3.2 선로연변 사면평가

조사 사면의 숫자가 제한적이어서 모든 철도사면을 대표한다고 볼 수는 없으나 이들 조사사면만을 놓고 볼 때 철도사면은 도로사면과는 다른 몇 가지 특징들을 갖고 있음을 알 수 있다. 즉, 1) 낙석에 의한 재해가 발생할 가능성이 크다. 이는, 과거 지각작용에 의해 암반에서 분리되어 블록화된 암석들이 불안정한 상태에 놓여 있고, 균열 사이에서 풍화가 진행 중이어서 약간의 외력만 작용하더라도 낙석이 발생할 우려가 높다. 잠재적 낙석의 위험은 사면내 보다는 상부 미굴착 지역에 존재한다. 2) 사면 자체에서 붕괴가 일어날 가능성이 낮다. 이는, 도로의 경우 여러 차선을 확보하기 위하여 상당한 양의 토사나 암반을 굴착하게 되고 사면의 규모도 크다. 이에 반해 철도는 작은 폭만으로도 운행이 가능하기 때문에 굴착량이 적고 사면 규모도 작다. 따라서 절토가 전체 사면의 힘의 균형 상실에 미치는 영향이 상대적으로 작으므로 사면 자체의 안정성에는 중대한 문제가 발생할 가능성이 비교적 낮다. 3) 터널 입출구부에서 낙석의 위험이 높다. 이는, 현재 시공된 철도터널이 낙석이나 토양의 슬라이딩이 발생할 우려가 있는 곳이 많이 발견되며, 터널의 입·출구부의 사면 처리에 있어서도 불완전하게 이루어졌기 때문이다. 조사된 선로연변 사면의 평가결과를 요약하면 <표 4>와 같다.

4. 선로연변 사면관리방안

4.1 선로연변 사면관리시스템 구축

선로연변 사면관리시스템은 선로연변의 낙석·산사태 우려지역에 대한 종합정보를 데이터베이스화하여 정보화시스템을 구축함으로써, 향후 철도자산의 효율적 관리와 종합방재시스템 구축의 기초자료로 활용하고, 낙석·산사태 위험분석 데이터베이스 구축에 대한 전산화 작업을 하는데 그 목적이 있다.

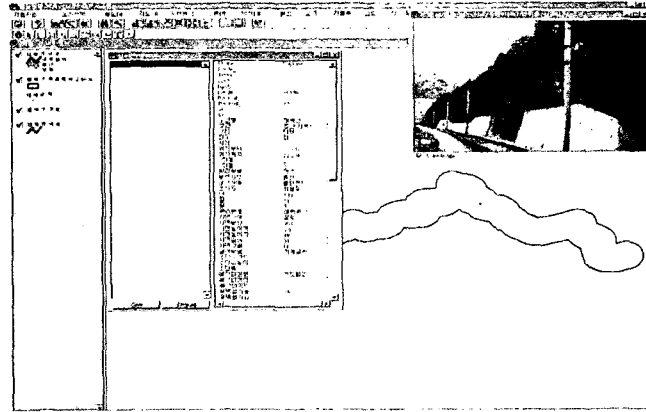
따라서 본 시스템에서는 낙석 위험 지역 현장 조사를 통해 사면 제원, 사면소단, 암반상황, 사면굴착 방법, 낙석방지대책 및 사면보호공, 보수 및 개축 이력, 용수 현황, 배수공 및 배수로 현황, 불연속면 상황 등을 조사하고 데이터베이스로 구축하였다. 그리고 영동선, 태백선, 중앙선, 정선선, 경춘선 등 5개 노선에 대해 수치지형도(1:5,000), 수치지형도(1:50,000), 토양도, 지질도, 임상도, JERS 및 IRS 위성영상 자료, 광산위치도, 광산자료, 시추위치도, 시추주상도, 토지이용도, 고도분포도, 경사도, 경사방향도, 경사곡

<표 4> 사면조사 결과 요약

번호	노선명	구간	상하	좌우	지점	보강상태	사면상태	예상파괴형태	결과	기타
1	영동선	녹동-임기1	상행	우	0	불안전보강	터널입구부			슈미트 수치 10미만
2	영동선	동점-철암1	상행	우	10	불안전보강	절토	전도파괴	불안정	단층존재
3	영동선	마차리-신기1	상행	좌	30	불안전보강	자연	전도파괴	불안정	접근불가
4	영동선	마차리-신기2	상행	좌	0	불완전보강	절토	썩기형 파괴		방책부실
5	영동선	마차리-신기3	상행	좌	0	미보강	절토	썩기형 파괴	불안정	피암터널 필요
6	영동선	분천-승부1	하행	우	0	불완전보강			불안정	
7	영동선	분천-승부2	하행	우	15	불안전보강	자연			(낙석위험지역)
8	영동선	승부-석포1	상행	좌	100	불완전보강	자연			붕괴 진행중
9	영동선	심포리-홍전1	하행	좌	0	불완전보강	절토	전도파괴	매우불안정	folding
10	영동선	임기-현동1	하행	좌	0	불안전보강	터널입구부	토사형파괴	불안정	매우 심한 풍화상태
11	영동선	현동-분천1	상행	좌	150	불완전보강	절토	썩기형 파괴		
12	영동선	현동-분천2	상행	우	5	불안전보강	절토	평면파괴	불안정	
13	영동선	현동-분천3	하행	좌	330	불완전보강	자연			
14	영동선	현동-분천4	하행	좌	12	불안전보강	자연	낙석	불안정	
15	정선선	별어곡-선평1	하행	좌	0	불완전보강	터널입구부	낙석	매우불안정	사면처리 등 요망
16	정선선	여량-구절리1	하행	우	0	불안전보강	절토	전도파괴	매우불안정	철로 교각 위
17	정선선	여량-구절리2	하행	우	100	불안전보강	절토	전도파괴	불안정	
18	정선선	증산-별어곡1	하행	우	0	불완전보강	자연	썩기형파괴		부분 낙석위험 지역
19	중앙선	율동-금장1	상행	좌	28	불안전보강	절토	전도파괴	불안정	
20	충북선	동량-삼탄1	하행	좌	250	불안전보강	절토	낙석	매우불안정	
21	태백선	사북-고한1	하행	좌	0	불완전보강	절토	평면파괴	불안정	
22	태백선	예미-조동1	하행	좌	0	불안전보강	절토	썩기형파괴	불안정	
23	태백선	예미-조동2	상행	좌	30	불완전보강	절토	낙석	불안정	
24	태백선	자미원-증산1	상행	우	7	불안전보강	터널입구부	평면파괴	불안정	입구부와 사면 인접
25	태백선	증산-사북1	하행	좌	0	불완전보강	절토	전도파괴	불안정	토사붕괴이력('99)
26	태백선	증산-사북2	하행	좌	0	불완전보강	절토	썩기형파괴	불안정	낙석 위험 지역
27	태백선	추전-태백1	하행	좌	0	불완전보강	터널입구부	토사형파괴	보통	잔여침목 이용
28	태백선	추전-태백2	상행	우	10	미보강	터널입구부	토사형파괴	불안정	옹벽 추가설치

률도, 음영기복도, 수문자료위치도, 확률강우자료, 사면조사위치도 등을 데이터베이스로 구축하였다. 이러한 자료의 형태는 공간 데이터베이스의 경우 벡터자료는 ArcView Shape로, 래스터자료는 BIL 형태로 구축되었다. 데이터베이스는 낙석 및 산사태분석에 필요한 기초자료로서 향후 낙석, 산사태 위험도 평가 및 예측 시스템 개발에 필요하다.

<그림 5>는 태백선의 증산-사북간 노선 지역의 낙석 위험 현장 가판정 결과를 도면으로 보여주고, 이를 검색한 결과 및 사진을 화면에 도시한 경우이다.



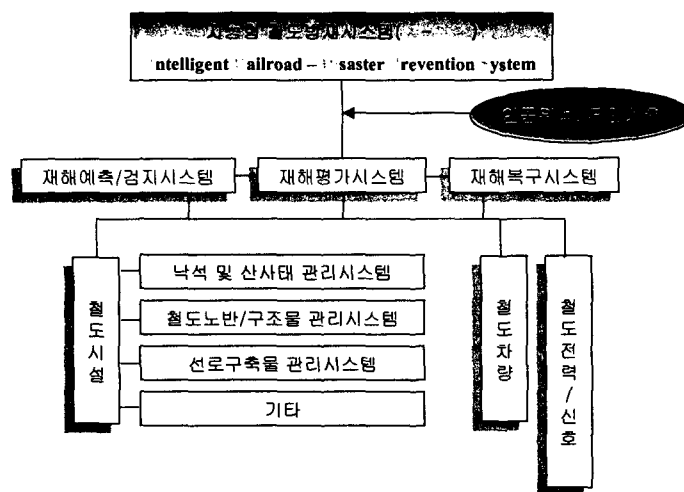
<그림 5> 조사지역 자료와 사진을 포함한 낙석 데이터베이스

4.2 선로연변 사면관리시스템 운용 및 향후 계획

선로연변 사면관리시스템은 철도 연변 재해 우려 개소에 대한 방호 설비 구축을 위한 우선 순위의 선정 등 체계적인 계획 수립 및 효율적 예산배정 기초 연구 및 철도 재해 방지를 통한 열차 운행상의 안전성 확보 등에 필요한 종합 방재시스템 및 재해복구지원시스템 구축의 기본 데이터베이스로 직접 활용할 예정이다. 또한 구축된 데이터베이스를 활용하여 낙석 및 산사태 위험지역을 사전에 인지할 수 있을 뿐만 아니라 지반 및 지질구조적(단층) 적정성 평가를 통하여 위험 지역 배제 등 신규 선로 및 시설물 입지 선정시 낙석 및 산사태 위험지역에 대한 대책 마련의 기본 자료로 활용할 수 있다.

더 나아가 본 시스템은 방호시설(낙석검지책, 산사태 예·검지 시스템) 관리체계 구축, 기존 재해발생 사례 고찰을 통한 재해발생 예측기법 연구의 필수자료로 활용되고 재해 평가와 예측을 위한 프로그램 및 시스템 개발, 그리고 연차적 시스템 성능 확장 등을 통하여 낙석 및 산사태 재해의 예측과 방지 대책 수립 도구로서의 활용이 기대된다.

<그림 6>은 현재의 철도종합방재시스템의 개념을 한차원 높여 인공위성 및 무인계측시스템을 이용한 예·검지를 완전자동화하고, 재해에 대한 복구지원을 시스템 내부에서 지능적으로 판단, 그 대안 또는 처리방안을 제시하는 지능형 방재시스템인 지능형 철도방재시스템(IR-DiPS, Intelligent Railroad - Disaster Prevention System)의 개념도이다.



<그림 6> 지능형 철도방재시스템(IR-DiPS) 개요도

5. 결론

본 연구에서는 철도청에서 낙석이나 산사태 위험을 내포하고 있는 사면으로 현재 집중관리하고 있는 사면인 영동선 14개소를 비롯해서 전국적으로 9개 노선 71개소 중, 위험도가 높아 보강이 시급한 사면을 선정하여 현장조사를 실시하였다. 선로연변 위험사면에 대한 현장조사를 통하여 그 위험현황을 파악하였고, 낙석 및 산사태에 대한 평가를 실시하였다. 평가결과 선로연변의 사면상태는 1) 낙석에 의한 재해가 발생할 가능성이 크고, 2) 사면 자체에서 붕괴가 일어날 가능성이 낮고, 3) 터널 입출구부에서 낙석의 위험이 높은 상태이다.

또한 사면관리를 체계적, 합리적으로 관리하기 위해서는 철도연변 사면정보의 데이터베이스화가 필수적이며, 이와 같은 선로 연변의 낙석·산사태 우려지역에 대한 종합정보를 데이터베이스화하여 정보화 시스템을 구축함으로써 향후 철도자산의 효율적 관리와 종합적인 지능형 철도방재시스템 구축의 기초자료로 활용할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통기술혁신 5개년사업의 일환으로 건교부의 연구지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건교부(2000), “철도시설의 안정성 강화기술 개발”, 건설교통기술혁신5개년사업 제1차년도 연구보고서
2. 송원경, 신희순, 한공창, 선우춘, 이성혁(1999), “철도사면 정보화 연구-I”, 사면안정위원회 학술발표논문집, pp.79-87.
3. 한국전산원(2000), “철도역세권 토지이용 및 선로연변 낙석, 산사태 위험분석 DB 구축”, pp.91
4. 岡田勝也(1995), “自然災害に對する鐵道防災の研究開發の回顧と展望”, RTRI Report Vol. 9, No. 3, pp. 1~6