

# 선로연변 낙석우려개소 점검 및 평가항목에 대한 기초연구

## Fundamental Study on the Items of Check and Evaluation at the Rockfall-worried Railroad Sites

박영곤\*      김현기\*\*      김경태\*\*      신민호\*\*\*  
Park, Young-Kon   Kim, Hyun-Ki   Kim, Kyoung-Tae   Shin, Min-Ho

---

### ABSTRACT

Rockfall has long been a serious problem, especially derailment of train running on the track in mountainous regions. The purpose of this study is to suggest the reasonable items of check and evaluation to railroad rock slopes for safe maintenance and management of rockfall-worried railroad sites. Therefore, main and sub items were extracted from the survey of foreign and other authorities' cases and evaluation table (temporary) composed of items classified by important degree was suggested. To evaluate the availability and reasonability of items, statistical analysis based on field investigation, namely SMR(Slope Mass Rating) and explanation values was carried.

Key words : *rockfall, railroad, rock slope, investigation table*

---

### 1. 서 론

우리나라의 산지에 시공된 철도는 국지성 호우 또는 계절변화 등에 의해 산사태 위험에 크게 노출되어 있으며, 이러한 산지를 구성하고 있는 암반 또는 암석의 파괴는 누구도 예측할 수 없는 상황에 돌발적으로 발생할 수 있다. 이와 같이 선로연변 암반사면에서 돌발적으로 발생된 낙석은 주행하는 열차의 탈선을 일으켜 막대한 인적·물적 피해를 가져올 수 있으며, 직접적으로 열차의 탈선은 없더라도 낙석의 발생은 열차의 운전규제 및 장기간의 운행 중지를 가져올 수 있다.

낙석발생을 사전에 예측하고, 방지하기 위해 일본, 캐나다, 미국, 홍콩 등 국가별 또는 철도, 도로 등의 수송관련 기관별로 현재 낙석점검 및 평가에 대한 많은 연구를 추진하고 있으며, 특히 홍콩에서는 최근 고속촬영카메라를 이용하여 낙석평가에 중요한 매개변수 즉, 낙석의 모양, 낙석의 반발계수 등을 재조명함으로써 기존의 낙석평가 및 해석의 정도를 보다 높이려 하고 있다. 우리나라의 경우에도 산사태의 발생요인과 예지에 관한 연구가 활발히 이루어져 왔고, 최근에는 도로공사에서 절토사면 안정성 평가를 위한 점검항목을 제안하고 있다.

그러나 철도에 있어서는 전국적으로 산재한 절개지의 유형별 분포현황에 대한 파악과 체계적인 유지관리 방안의 수립이 아직도 미흡하다. 현재 철도청 각 보선사무소에서 관리하고 있는 재해우려개소의 관리대장에는 단순한 내용만을 기술하고 있어 그 보완이 시급한 실정이며, 낙석 위험사면의 체계적인 관리를 위해서는 정형화된 조사표가 시급히 마련되어야 한다.

---

\* 한국철도기술연구원, 선임연구원

\*\* 한국철도기술연구원, 주임연구원

\*\*\* 한국철도기술연구원, 시설연구본부장

따라서, 본 연구에서는 선로연변 낙석우려개소에 대한 체계적인 관리를 위해 국내·외 철도 및 도로 운영기관의 관리 현황을 살펴보고, 이를 근거로 하여 낙석사면의 위험도를 평가할 수 있는 평가기준(안)을 제시하고 그 적정성을 평가하고자 한다.

## 2. 철도사면의 낙석 점검 및 평가항목

### 2.1 각 기관별 항목 비교

선로연변 낙석우려개소에 대한 점검 및 평가항목을 합리적으로 선정하기 위해 도로 및 철도 관련기관(일본)에서 사용하고 있는 항목을 도표 1과 같이 상호 비교해 보았다. 항목비교를 위해 선정한 관련기관은 미 Oregon 주에서 개발된 RHRS(Rockfall Hazard Rating System), 국도유지건설사무소, 한국건설기술연구원, 한국도로공사, 철도총합기술연구소(이하 RTRI), 일본철도시설협회로 총 6개 기관이다.

도표 1. 각 기관별 낙석 점검 또는 평가항목 비교

RHRS	국도유지건설사무소	한국건설기술연구원	한국도로공사	철도총연(RTRI)	일본철도시설협회
1. 사면높이	1. 사면높이	1. 사면높이	1. 사면높이	1. 불안정지형 유무	1. 기암 분포상황
2. ditch 효과	2. 사면경사	2. 사면경사각	2. 사면경사	2. 사면높이	2. 기암 불안정도
3. 평균차량위험	3. 붕괴이력	3. 사면상부 경사 또는 도로유무	3. 절리방향	3. 사면경사	3. 사면형상
4. 결정시거%	4. 보호시설 유무	4. 옹벽 유무	4. 절리경사	4. 균열상황	4. 전석상황
5. 노견포함 도로폭	5. 교통량	5. 임분경급	5. 풍화정도	5. 지질구조	5. 전석분포
6. 지질특성	6. 도로와의 거리	6. 횡단면형	6. 암석종류	6. 풍화상황	6. 전석 불안정도
7. 블록크기	7. 절개면의 구성	7. 사면상태	7. 균열상태	7. 부석상황	7. 재해이력
8. 낙석크기/사면양	8. 결빙/누수	8. 사면과 옹벽의 결합상태	8. 단층유무	8. 표층상황	8. 방호설비
9. 기후 및 사면상의 물 존재	9. 집수지형 여부	9. 사면방향과 일치하는 절리	9. 암석강도	9. 피복상황	9. 사면과 노선과의 위치관계
10. 낙석이력	10. 횡단형상	10. 지질	10. 특수지질	10. 용수상황	
	11. 뜬돌 규모/위치	11. 불투수성 사면의 지표수배수로	11. 용수유무	11. 변상	
	12. 노후정도	12. 사면상부에 물이 고일수 있는 조건	12. 토질조건	12. 대책공	
	13. 불연속면 형태	13. 사면 배수로	13. 절리상태		
		14. 사면내 배수로	14. 집수지형		
		15. 용수상태	15. 사면형상		
		16. 사면저부로부터 구조물, 도로, 운동장과의 거리	16. 상부경사		
		17. 사면상하부 상태	17. 붕괴이력	* 낙석의 종류를 전락형낙석, 박락형낙석, 암반붕괴로 나눔	* 낙석 점검 및 평가를 발생영역, 낙하영역, 도달영역으로 나눔
		18. 예상피해구조물	18. 사면보호공		
		19. 위험피해요소			

도표 1에서 공통적으로 언급된 항목은, ① 사면 높이, 경사와 같은 사면상황, ② 불연속면 등의 지질특성, ③ 물의 존재여부인 용수상황, ④ 사면내의 보호공 설치 유무이다. 그 다음으로 많이 언급된 항목은 ① 재해(낙석, 붕괴)이력, ② 사면내 또는 사면하부에서 선로까지 떨어진 거리, ③ 사면내에 존재하는 부석의 크기 또는 양, ④ 원지반의 풍화(노후)도, ⑤ 집수지형, ⑥ 횡단면형 또는 표층상황 순이다. 상기의 주요항목을 정리하면 도표 2와 같다.

또한 항목비교를 한 결과 각 기관별 특이점은 도로관련 기관에서는 사면 그 자체를 구분하지 않고 설정된 점검 및 평가항목을 그대로 적용하는 반면에 RTRI에서는 낙석을 박락형 낙석, 전락형 낙석, 암반붕괴 등으로 구분하여 그 점검 및 평가항목을 설정하였고, 일본철도시설협회에서는 낙석발생원 즉, 발생영역, 낙하영역, 도달영역으로 구분하여 각각에 대한 사면특성을 점검하고 평가하고 있다.

도표 2. 각 기관별 점검 및 평가항목 중요도 구분

공통항목	기타항목	
	아주 높음	아주 낮음
사면상황(높이, 경사), 지질특성, 용수상황, 보호공 유무	← 중요도 → 재해이력, 사면에서 선로까지 거리, 부석(뜯돌)의 크기/양, 풍화(노후)도, 집수지형, 횡단면형, 표층상황	기타

2.2. 낙석점검 및 평가항목 구성(안)

낙석의 점검 및 평가항목의 구성은 크게 지형조건, 지질조건, 사면조건, 기상조건, 대책공 상황의 5가지로 대별하고, 각각의 평가항목에 대해서 세부평가항목을 설정하였다. 세부평가항목을 구성함에 있어 낙석재해의 위험이 큰 순서대로 배열하였고, 발생영역(발생영역, 낙하영역, 도달영역)과 낙석의 종류(박락형, 전락형)를 전체적으로 최대한 고려할 수 있도록 하였으며 낙석조사표(안)에는 포함하지 않았지만 해당사면의 특성을 잘 나타낼 수 있는 항목과 최근의 조사와 비교해서 특히 위험도가 증가하였다고 판단되는 경우 등에 대해 조사자의 의견이 반영될 수 있도록 구성하였다. 새로이 제시된 낙석사면 조사표(안)은 그림 1과 같다.

3. 낙석평가기준(안)의 적용방안

그림 1에 제시한 “낙석사면 조사표(안)”을 근거로 하여 현재 철도청에서 낙석우려개소로 관리하고 있는 개소 중에서 일정수의 표본을 추출하였다. 본 사례조사는 '00년 7월 중에 실시하였으며, 추출된 표본은 도표 3과 같다.

도표 3. 표본추출된 사례조사 대상사면의 개요

번호	노선명	위치	구간	시점에서의 거리 (km)	보선분소
1	태백선	하행 좌측	사북-고한1	76.740~76.807	중산
2	태백선	하행 좌측	중산-사북1	72.189~72.284	중산
3	정선선	하행 우측	중산~별어곡1	2.750~2.858	중산
4	태백선	하행 좌측	중산~사북2	72.330~72.382	중산
5	태백선	상행 우측	자미원~중산1	65.193~65.203	중산
6	정선선	하행 우측	여량~구절리2	43.300~43.570	중산
7	정선선	하행 좌측	별어곡~선평1	9.000~9.300	중산
8	태백선	하행 좌측	예미~조동1	54.319~54.354	예미
9	태백선	상행 좌측	예미~조동2	56.140~56.480	예미

추출된 표본은 태백선 6개소, 정선선 3개소이며 대상사면의 구간이 큰 경우에는 단면을 여러 개로 나누어서 조사를 실시하였다. 평가에 사용된 목적변수는 SMR(Slope Mass Rating)에 의한 값을 적용하였는데, 본 사례조사의 목적은 평가기준 적용방안의 적정성을 평가하는 것이므로 SMR 값을 적용하는 데에는 무리가 없는 것으로 판단된다. 최종적인 평가항목별 평점을 산출하기 위해서는 기초현장조사 자료와 여러 명의 전문가의 의견을 반영하여 종속변수 값을 설정해야 할 것으로 판단된다.

철도연변 낙석위험개소 조사표(안)

평가항목		세부평가항목	평가항목	세부평가항목
지형조건	불안정지형	① 통과지형의 규모 1) 대규모 통과지 有 2) 통과지 多 3) 통과지 少 4) 통과지 無	지질조건	③ 사면상의 위치 (산로로부터의 높이) 1) 40m 이상 2) 10~40m 3) 10m 미만
		② 사면과 선로의 위치관계 1) $L < 0.2H$ 2) $0.2H \leq L < 0.4H$ 3) $L \geq 0.4H$		④ 부석의 크기 1) 100cm 이상 2) 50~100cm 3) 50cm 미만
지형조건	높이·경사	① 사면의 높이 1) 50m 이상 2) 30~50m 3) 10~30m 4) 10m 미만	사면조건	⑤ 부석의 출몰도 1) 1 이상 2) $\frac{1}{2} \sim 1$ 3) $\frac{1}{2}$ 미만
		② 사면의 경사각 1) 60° 이상 2) 30~60° 3) 30° 미만		① 식생 상태 1) 나지 또는 초지 2) 임목 직경 10cm 미만 3) 임목 직경 10~30cm 4) 임목 직경 30cm 이상
지형조건	균열·구조상황	① 오버행 1) 균열폭 大 2) 균열폭 小 3) 없음	사면조건	② 수목간 거리 1) 해당사항 없음 2) 4m 이상 3) 2~4m 4) 2m 미만
		② 균열의 유무 1) 명확한 개구 균열 2) 불명확한 균열 3) 없음		① 표층의 종단면 구조 1) 불룩형 2) 직선형 3) 오목형
지형조건	균열·구조상황	③ 균열의 간격 1) 평균 50cm 미만 2) 평균 50cm 이상 3) 해당사항 없음	사면조건	② 알질 (헬머타력에 의해 판별) 1) 연질 2) 중경질 3) 경질
		④ 균열의 신선도 1) 균열 주변이 예리 2) 균열 주변이 마모 3) 해당사항 없음		① 용수 상태 1) 균열을 따라 용수 2) 층 경계에서 용수 3) 강우시에만 용수 4) 용수 없음
지형조건	균열·구조상황	⑤ 연약층 상황 1) 연약층 열계 2) 연약층 없음	사면조건	② 표층부 건조 상태 1) 건조 2) 습윤상태
		⑥ 균열, 지층의 구조 1) 유한 2) 수직 3) 수반 4) 불명		① 낙석제책 이면 1) 有 2) 無
지형조건	균열·구조상황	⑦ 균열에 대한 수목의 침입 1) 직경 30cm 이상 2) 직경 10~30cm 3) 직경 10cm 미만 4) 침입 없음	사면조건	② 대채공 유무 1) 無 2) 有 (중별: )
		① 풍화 상태 1) 대 (헬머 타격시 탁음) 2) 중 (헬머 타격시 정탁음) 3) 소 (헬머 타격시 침음)		③ 대채공 변형 1) 대채공 없음 2) 有 3) 無
지형조건	균열·구조상황	② 침식 상태 1) 균열을 따라 침식 2) 사면각부의 침식 3) 침식 없음	사면조건	④ 대채공 효과 1) 대채공 없음 2) 부분적인 대채공, 효과는 의문 3) 충분한 효과 있음
		① 부석의 분포 1) 전면 (사면전체에 분포) 2) 산재 3) 없음		① 연간 강우량 1) 1,500 mm/y 이상 2) 1,000~1,500 mm/y 3) 1,000 mm/y 미만
지형조건	부석상황	② 부석의 빈도 (100 m <sup>2</sup> 당 개수) 1) 10개 이상 2) 5~10개 3) 5개 미만	사면조건	② 연중 동결기 온도분포 1) 일평균 0°C 이하 90일 이상 2) 일평균 0°C 이하 90일 미만
				평가점

그림 1. 낙석사면 조사표(안)

도표 3의 대상사면의 현장조사를 바탕으로 평가된 SMR 값은 도표 4와 같다. 여기서 산정된 값은 각 구역별 사면에서 조사된 주요 불연속면군에 대한 기본 RMR값과 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> 및 F<sub>4</sub> 4가지 요소에 대해 보정하여 구한 SMR의 값을 나타내는 것이다. 조사 지역 중에서 높은 자연사면의 낙석 위험성만이 존재하는 사면에서는 불연속면의 특성조사가 곤란하여 이 분석에서는 제외시켰다. 또한 암반의 암석강도는 슈미트해머(Schmidt Hammer)의 측정에 의해 환산된 값을 사용하거나, MIT(Manual Index Test)에 의한 평가를 사용하였고, 사면에서의 RQD값에 대한 정보는 얻을 수 없

있기 때문에 강도와 불연속면의 간격을 고려한 추정치를 사용하였다. 사면의 굴착방법에 대한 자료도 입수가 곤란하여 현장에서 사면의 관찰에 의해 사면의 굴착방법을 판단하였다. 여러 군의 불연속면이 존재할 경우는 각각의 불연속면군에 대한 SMR값의 가중치에 의한 평균값을 구해야 하지만 여기에서는 단순 평균값으로 SMR 값을 구하였다.

도표 4. 대상사면에서의 SMR 값

노선	구 간	불연속면	기본RMR	보정값(F <sub>1</sub> · F <sub>2</sub> · F <sub>3</sub> +F <sub>4</sub> )	SMR값	최종평균값
태백선	사북-고한1	set1	66	-2.4	63.6	66
		set2	69	-0.9	68.1	
		set3	69	-3.6	65.4	
	예미-조동1	set1	67	-6.3	60.7	53
		set2	51	-20	31	
		set3	70	-42	65.8	
	예미-조동2	set1	61	-15.5	45.5	51
		set2	67	-15.5	51.5	
		set3	67	-10.4	56.6	
	자미원-중산1	set1	42	-25	17	34
		set2	46	0	46	
		set3	41	-3.6	37.4	
중산-사북1	set1	69	-0.9	68.1	66	
	set2	70	0	70		
	set3	67	-7.7	59.3		
중산-사북2	set1	45	-7.7	37.3	39	
	set2	47	0	47		
	set3	42	-7.7	34.3		
정선선	여량-구절리1	set1	51	-17	34	36
		set2	51	-17	34	
		set3	51	-11.8	39.2	
	여량-구절리2	set1	40	-9	31	32
		set2	40	-7.5	32.5	
		set3	67	-35	32	
	중산-별어곡	set1	74	-7.5	66.5	55
		set2	74	-7.5	66.5	
		set3	68	-1.4	66.6	

분석을 위해서 통계분석 프로그램인 SAS의 GLM 모형을 사용하여 다중회귀분석을 실시하였으며, 모형식은 식(1)과 같다.

$$Y = A \cdot X + \epsilon \quad (1)$$

여기서,  $Y$  = 종속변수( $1 \times n$  행렬),  $A$  = 각 평가항목에 대한 계수( $1 \times m$  행렬),  $X$  = 평가항목( $m \times n$  행렬),  $\epsilon$  = 오차항( $1 \times n$  행렬),  $n$  = 표본수,  $m$  = 독립변수의 수

식(1)에서 각각의 변수는 모두 행렬로 표시되며,  $Y$ 와  $X$ 값이 주어진 상황에서  $A$ 를 예측하게 된다. 분석 결과 각 항목별 계수는 도표 5와 같으며, 제시된 계수값은 중심화 과정을 거쳐서 산출된 계수이다. 계수값이 클수록 사면의 위험도에 더 큰 영향을 주는 항목이라고 할 수 있으며, 부석의 분포, 부석의 빈도, 부석의 크기, 대책공의 변형, 균열의 신선도 등의 평가항목의 영향이 큰 것으로 분석되었다. 도출된 모형식에 의해서 산정된 사면의 위험도(여기서는 SMR 값)와 실제값을 비교해 한 그림을 그림 2에 제시하였다. 전반적으로 예측값과 실제값 사이의 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

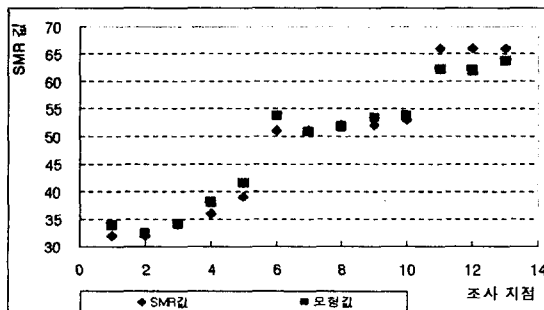


그림 2. 조사지점의 모형치와 SMR 값의 비교

도표 5. 중심화에 의한 항목별 계수값

항목	계수	항목	계수	항목	계수	항목	계수	항목	계수
X01	1.98	X20	3.88	X39	2.74	X58	-0.05	X77	0.06
X02	2.58	X21	-2.54	X40	-1.63	X59	2.20	X78	-11.07
X03	-1.82	X22	3.49	X41	-0.56	X60	-2.17	X79	-6.44
X04	0.80	X23	-1.03	X42	-0.17	X61	-0.03	X80	-3.35
X05	4.07	X24	11.97	X43	16.39	X62	6.81	X81	-1.71
X06	3.37	X25	10.97	X44	15.31	X63	6.05	X82	-0.76
X07	1.32	X26	5.53	X45	7.81	X64	3.36	X83	1.59
X08	-3.79	X27	-4.68	X46	-17.11	X65	2.72	X84	0.65
X09	0.03	X28	-0.65	X47	-13.98	X66	-1.12	X85	5.88
X10	2.01	X29	-8.24	X48	-6.92	X67	-3.23	X86	2.44
X11	-0.04	X30	-6.89	X49	-6.63	X68	-0.62	X87	10.03
X12	6.56	X31	-0.81	X50	-4.83	X69	-12.89	X88	12.78
X13	5.68	X32	-3.69	X51	-2.39	X70	-2.01	X89	4.29
X14	2.57	X33	-4.17	X52	15.86	X71	-1.24	X90	8.33
X15	4.52	X34	-4.05	X53	15.38	X72	3.92	X91	14.30
X16	8.60	X35	-0.78	X54	7.39	X73	1.53	X92	3.84
X17	0.89	X36	-0.70	X55	7.79	X74	2.39	상수	-11.99
X18	9.56	X37	7.39	X56	2.35	X75	0.14		
X19	8.20	X38	5.73	X57	1.34	X76	1.91		

주: X01~X04: 붕괴지형의 규모, X05~X07: 사면과 선로의 위치관계, X08~X11: 사면의 높이, X12~X14: 사면의 경사각, X15~X17: 오버행, X18~X20: 균열의 유무, X21~X23: 균열의 간격, X24~X26: 균열의 신선도, X27~X28: 연약층 상황, X29~X32: 균열, 지층의 구조, X33~X36: 균열에 대한 수목의 침입, X37~X39: 풍화 상태, X40~X42: 침식 상태, X43~X45: 부석의 분포, X46~X48: 부석의 빈도, X49~X51: 부석의 사면상의 위치, X52~X54: 부석의 크기, X55~X57: 부석의 돌출도, X58~X61: 식생 상태, X62~X65: 수목간 거리, X66~X68: 표층의 종단면 구조, X69~X71: 암질, X72~X75: 용수 상태, X76~X77: 표층부 건조 상태, X78~X80: 연간 강우량, X81~X82: 연중 동결기 온도분포, X83~X84: 낙석해해 이력, X85~X86: 대책공 유무, X87~X89: 대책공 변형, X90~X92: 대책공 효과

사례조사 결과 본문에서 제시한 평가방법은 적절한 것으로 판단되며, 향후 이의 보완을 위해 표본수를 늘려서 분석에 임할 예정이다. 또한 최종 계수의 선정은 통계 해석과 전문가의 의견을 수렴하여 결정할 예정이다.

#### 4. 결 론

낙석 발생에 영향을 주는 요인 및 외국 사례를 참조하여 평가항목을 설정하고 국내 실정에 맞게 재구성하였다. 각 평가항목의 세부평가항목은 위험도가 높은 순서로 정리하였고, 이는 낙석위험 사면의 등급 설정과 대책공 계획의 기초가 될 것으로 판단된다. 또한 낙석사면의 기초현장조사, 전문가에 의한 위험도 평가, 통계적 해석 등으로 구성된 낙석사면의 위험도 평가 조사표(안)를 제시하였으며, 사례조사를 통해 그 적정성을 검토하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통기술혁신 5개년 사업의 일환으로 건교부의 연구지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부 (2000년), “철도시설의 안정성 강화기술 개발”, 건설교통기술혁신5개년사업 제1차년도 연차보고서
2. 유병욱, 황영철, 정형식, 이승호 (1999), “절토사면의 안정성 평가를 위한 점검항목 제안”, 사면안정위원회 학술발표회 논문집, pp.88-97
3. R.H.C.Wong, K.W.Ho and K.T.Chau (2000), “Shape and Mechanical Properties of Slope Material Effects on the Coefficient of Restitution of Rockfall Study”, Pacific Rocks, Balkema, Rotterdam, pp.507-514