

낙석대책공법 비용편익분석기법 개발

Development of Cost-Benefit Analysis Method for Rockfall Mitigation Methods

신민호, 이성혁, 김현기, 김정기, 노순미
Shin, Min-Ho Lee, Seong-Hoon Kim, Hyun-Ki Kim, Jung-Ki Roh, Soon Mi

ABSTRACT

Rockfall mitigation methods have been widely constructed along railway lines but aren't estimated with any economic analysis methods up to now. Therefore, this study applied a benefit-cost analysis to rockfall mitigation method to determine whether it is indeed an economically efficient construction. The Benefits were estimated based on data collected from disaster history, and included three types of benefits that are originated by reduction of train accident, train delay and rockfall removing cost. The costs included both construction cost and the maintenance cost of the selected method. This analysis could clarify the investment effect of rockfall mitigation method that would be built at rockfall prone slope.

Keyword : Cost-Benefit Analysis, Rockfall Mitigation Method,

1. 서론(Introduction)

철도건설은 지형적 조건과 경제성을 고려하여 건설되기 때문에 필연적으로 산악지대의 능선을 따라 시공되어진다. 따라서 선로연변에는 절개에 의한 인공사면과 자연사면이 많이 존재하고 있으며, 이러한 선로 연변의 사면은 자연현상에 노출되어 있어 강우 등에 의한 풍화의 진행, 열차 운행상의 진동, 설계 당시와는 다른 환경 조건 등에 의한 낙석·산사태의 우려가 상존하고 있다. 특히, 이러한 사면은 암반 또는 암석의 파괴 등에 의해 소·중·대규모의 낙석이 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. 이러한 이유로 현재 철도청에서는 철도 이용자 및 철도 시설을 낙석에 의한 재해로부터 지키는 낙석대책을 실시하고 있다.

*정회원 한국철도기술연구원 수석연구원
**정회원 한국철도기술연구원 선임연구원
***정회원 한국철도기술연구원 주임연구원
****정회원 한국철도기술연구원 연구원
*****비회원 서울산업대학교 철도대학원

그러나 현재 시공된 낙석대책공법은 소요비용 대비 효과를 고려한 경제성 분석을 하지 않았기 때문에 철도청의 부족한 예산을 효율적이고 효과적으로 사용하고 있는지를 평가할 수가 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 낙석우려사면의 낙석대책공법에 대한 시공 타당성을 평가하기 위해 비용편익분석을 이용한 경제성 분석 기법을 제시하여 낙석발생으로 인한 인명, 시설, 열차 피해 등의 위험비용과 대책공을 시공함으로써 위험비용이 저감되어 발생하는 경제적인 편익의 비교를 정량적으로 나타내고, 낙석우려사면에 대한 낙석대책공의 투자 효과를 명확하게 하고자 하였다.

2. 비용편익분석

비용편익분석이란 응용경제학자들에게서 가장 널리 사용되는 수단으로 어떠한 정책으로 인해 얻은 자의 얻은 가치와 잃은 자의 잃은 가치를 논리적인 일련의 과정을 통해 측정하고 사전적으로 그 정책을 평가하는 것이다. 즉, 비용편익분석은 편익추정과 비용분석을 통해 얻어지는 편익 및 비용수치들을 활용하여 타당성을 분석하는 것이다.

본 연구에서는 낙석대책공법의 경제성 분석을 위한 편익을 추정하기 위해서 낙석발생이력과 그로 인해 발생하는 피해사례를 열차사고피해, 열차지연피해로 구분하여 조사하였으며, 주기적인 낙석제거에 드는 비용을 조사하여 이를 근거로 하여 편익을 추정하였다. 비용은 초기비용인 공사비와 대책공 관리에 따르는 유지관리비를 근거로 추정하기로 하였다. 그림 1은 낙석우려개소에 대한 낙석대책공법 실시를 통해 위험 비용이 감소하여 (B-C)만큼의 편익이 발생한다는 것을 도식적으로 나타낸 것이다.

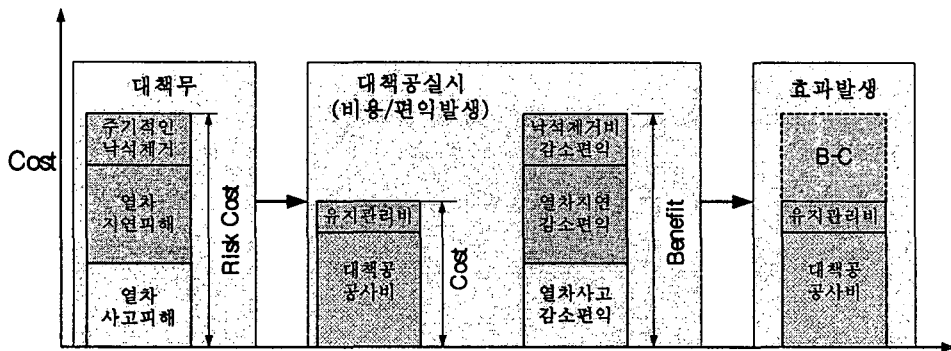


그림 1. 비용편익분석 개념도

3. 낙석대책공의 비용편익분석 기법 개발

철도연변의 낙석대책공법에 대한 경제성 분석을 위한 비용편익분석의 기본적인 개념은 다음과 같다.

- ① 철도청의 부족한 예산을 효율적이고 효과적으로 사용하고, 낙석우려사면에 대한 대책공법의 시공 타당성을 평가하기 위하여 대책공법에 대한 비용편익분석을 실시한다.
- ② 비용편익분석은 대책공법 실시에 의한 편익액과 공사비, 유지관리 등의 비용액을 산정하여 각각의 대책공법 시공에 동반되는 비용의 증분과 편익의 증분을 비교하여 분석 평가한 것이다.
- ③ 편익에는 열차사고감소편익, 낙석제거비감소편익, 열차지연감소편익으로 분류하였다.
- ④ 비용편익분석에 있어서 이용하는 비용 산정은 국내 공사비 단가와 그에 대한 철도청에서

의 유지관리비를 기준으로 하며, 편익의 산정은 현재 철도청에서 산정하는 기준을 근거로 하며, 열차지연에 대한 감소 편익은 한국도로공사(1999)에서 시행한 「도로사업 투자 분석기법 정립 연구」에서 제시한 원단위를 적용하였다.

- ⑤ 비용편익분석은 계량화된 화폐가치로 표현된 비용과 편익을 비교하게 됨으로 모든 비용과 효과는 화폐가치로 표현되어야 한다.
- ⑥ 경제적 타당성의 평가를 위해 현재가치로 환산된 편익과 비용의 비율(Benefit-Cost, B/C)이 1보다 큰 비율을 나타내면 채택된 대책공의 시공 타당성이 높은 것으로 평가하며, 반면, 1보다 작은 비율을 나타내면 타당성이 낮은 것으로 평가한다.

3.1 비용 및 편익 산출 전제

비용편익분석에 있어서 산출한 각 연차의 편익, 비용의 값을 할인율을 이용하여 현재 가치로 환산하여 분석한다. 본 연구에서는 비용 편익 분석에 있어서 필요한 기본적인 값을 다음과 같이 설정하였으며, 그림 2는 낙석대책공법에 대한 비용편익분석의 흐름도를 나타낸 것이다.

- ① 현재 가치 산출을 위한 할인율은 “철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(한국개발연구원, 2000.12)”에서 제시하고 있는 7.5%를 사용한다.
- ② 현재가치화의 기준년도는 평가를 실시하는 연도로 한다.
- ③ 낙석대책공법의 경제성 평가 기간은 대책공의 사용 연수(수명)로 한다.

(1) 편익의 산정

1) 열차사고감소편익(원/년)

열차사고감소편익은 대책공법이 실시되지 않은 경우 일어난 열차사고에 의한 손실에 대한 비용을 말한다. 열차사고로 인한 손실은 운전자 및 승객에 관한 인적 손해액, 차체나 시설물에 관한 물적 손해액으로부터 산정한다. 그림 3은 최근 5년간 낙석으로 인해 발생한 피해액과 응급복구액을 나타낸 것으로 연평균 11.6백만원의 피해가 발생하고 있다.

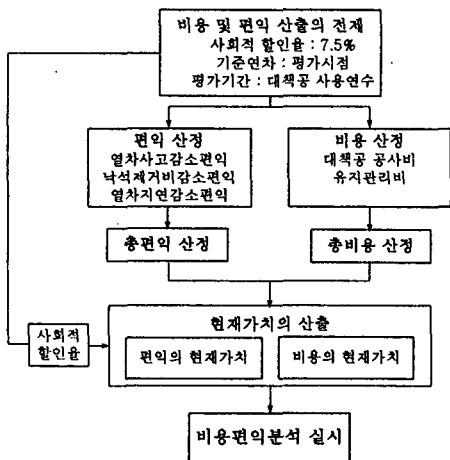


그림 2. 비용편익분석흐름도

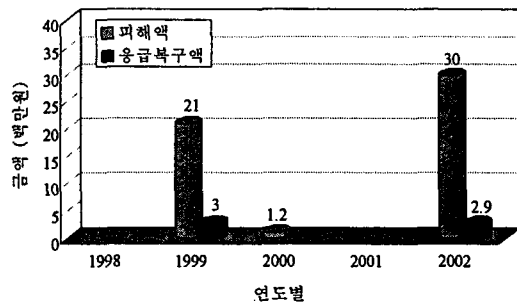


그림 3. 낙석으로 인한 시설물 피해액 및 복구액

2) 낙석제거비감소편익

연간 낙석 발생시 낙석제거 및 고정감시원을 현장에 배치에 요구되는 비용을 말한다. 철

도변에 발생하는 낙석의 발생횟수는 연간 30회 정도로 조사되었다. 표 1은 철도청에 근거하여 계산한 것으로 해빙기 낙석감시자 배치에 따른 비용을 나타낸 것이며, 표 2는 낙석제거 m²당, 수목제거 그루당의 사전낙석제거에 드는 개략비용을 나타낸 것이다.

표 1. 해빙기 낙석감시자 배치 따른 비용

선 별	배치일수	배치인원	단가	금액
중앙선	32	3 × 32 = 96	50,683	4,865,568
경춘선	34	3 × 34 = 102	50,683	5,169,666

표 2. 낙석제거를 위한 개략비용

사전제거일수	동원인원	단가 (8급 16호봉 기준)	실적	m ² 당 단가
11일	188명	112,000원	126m ² (21,056,000원)	≈167,100

3) 열차지연감소편익

낙석으로 인해 발생하는 열차지연에 의해 요구되는 비용을 말하는 것이며, 그림 4는 최근 5년간 발생한 낙석에 의한 열차지연시간을 연도별로 나타낸 것으로 2002년 최대 148시간의 열차지연시간이 발생하였으며, 연평균 30시간의 열차지연이 발생하고 있다.

열차지연 감소 편익의 계산은 철도의 시간가치에 대한 기준이나 그에 대한 연구가 현재 되어 있지 않아 본 연구에서는 한국도로공사에서 시행한 「도로사업 투자분석기법 정립 연구」에서 제시한 버스의 통행시간 가치를 적용하여 산출하였으며, 물가상승률을 고려하여 계산하였다. 그 계산 결과를 표 3에 나타내었으며, 노선별 일일 열차 운행횟수 및 평균탑승인원으로부터 시간당 열차통과 횟수와 탑승인원을 산정하여 열차지연감소편익 계산에 이용하였다.

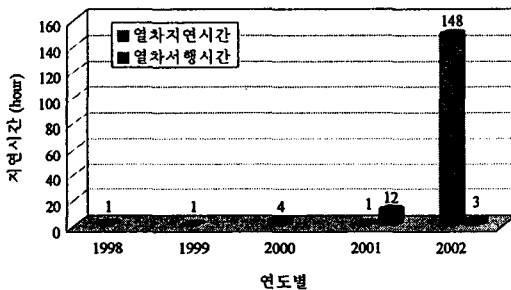


그림 4. 연도별 열차지연시간

표 3. 열차통행 시간가치

년도	물가상승률	시간가치 (1인당)	
2003.7	110.1	1.0299	2821.5
2002	106.9	1.0269	2739.5
2001	104.1	1.0410	2667.8
2000	100	1.0225	2562.7
1999	97.8	1.0000	2506.3

5) 편익의 산정

편익의 산정은 평가 기간에 걸쳐 각 연차마다의 편익 값을 산정한 후 할인율을 사용하여 기준 연차에서의 현재 가치를 산정하며, 편익액의 합계는 산출된 각 편익의 현재가치액을 합제한 액을 편익합계액으로 한다. 산정은 아래 식에 의해 행하는 것으로 한다.

$$\text{편익 } j \text{의 현재 가치 : } BPV_j = \sum_t \left\{ \frac{B_{jt}}{(1+i)^t} \right\}$$

여기서,

BPV_j : 편익 j 의 현재 가치(원)

t : 0, 1, 2, 3, 4, ... n (년)

B_{jt} : 공용개시 후 t 년차의 j 의 편익(원)

i : 할인율(=7.5%)

j : 편익 종별

(2) 비용의 산정

비용편익분석에 있어서 비용으로서는 낙석우려 사면에 대한 대책공법 시공에 요구되는 공사비 및 유지관리에 요구되는 비용으로 선정하였다. 총비용의 현재 가치의 산정은 편익의 현재가치산정 방법과 같다. 비용의 현재가치는 아래 식을 사용하여 구하며, 평가 연차 기간에 대한 비용을 합계한 것이 총비용이 된다.

$$\text{비용 } j \text{의 현재 가치 : } CPV_j = \sum_t \left\{ \frac{C_{jt}}{(1+i)^t} \right\}$$

여기에서,

CPV_j : 비용 j 의 현재 가치(원)

t : 0, 1, 2, 3, 4, ... n (년)

C_{jt} : t 년차의 비용 j 의 값(원)

i : 할인율(=7.5%)

j : 비용 종별

(3) 비용편익분석의 실시

비용편익비(CBR, B/C)는 경제적 타당성의 평가를 위해 현재가치로 환산된 편익과 비용의 비율(Benefit-Cost, B/C)을 이용하는 기법으로 이 비율이 높을수록 낙석대책공법의 시공 타당성이 높은 것으로 평가한다. 본 연구에서는 비용편익분석은 다음의 CBR(B/C)에 따라 실시하는 것으로 한다.

$$CBR(B/C) = \frac{(\text{편익 현재가치})}{(\text{비용 현재가치})}$$

대책공 편익 = 열차사고감소편익 + 낙석제거비감소편익 + 시설물피해감소편익 + 열차지연감소편익

대책공 비용 = 공사비 + 유지관리비

3.2 현장 적용예

본 연구에서 제시한 경제성 분석 기법을 이용하여 중앙선 10m구간에 링네트공법 시공에 대한 경제성 분석을 실시하였다. 표 4는 공법 시공에 따라 발생하는 비용과 편익의 현재가

치를 계산하여 나타낸 것이며, 그림 5는 30년에 대한 비용편익분석결과를 도식적으로 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 2014년부터는 낙석우려개소에 시공한 링네트공법에 의해 편익이 발생했으며, $B/C(=1.54) > 1$ 이므로 선정된 낙석대책공법은 시공 타당하다는 것을 판단할 수 있다.

표 4 비용 및 편익 산정

편익산정	산정근거		비용산정	
	열차사고 감소편익	최근 5년간 피해 및 복구액	180,000원/년	공사비
낙석제거비 감소편익	해빙기 낙석감시자 배치에 따른 비용	2,432,785원/년	유지관리비	0원/년
열차지연 감소편익	최근 5년간 낙석으로 인해 발생된 지연시간 조사	2,257,000원/년		
합계		4,869,785원/년	합계	40,000,000원

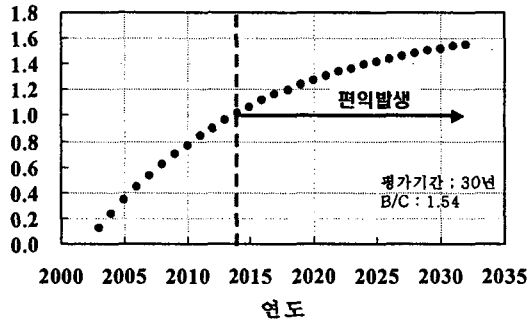


그림 5. 비용편익분석 결과

4. 결론

본 연구에서는 낙석대책공법에 대한 비용편익분석 기법 개발을 통해 철도사면 낙석대책공법 시공에 따른 열차, 인명, 시설 피해 감소에 의한 편익액과 공사비, 유지관리 등의 비용액을 산정하여 각각의 대책공법 시공에 동반되는 비용의 증분과 편익의 증분을 비교한 경제성 평가 방안을 제시할 수 있었다. 따라서, 낙석우려사면의 낙석대책공법 시공에 의한 경제적인 편익을 정량적으로 나타냄으로서 낙석대책공의 시공 타당성과 투자효과를 명확하게 할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

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

Reference

1. 김홍배, 2000, “비용편익분석론”
2. 한국도로공사, 1999, “도로사업 투자분석기법 정립 연구”
3. 철도청, 2001, “철도투자분석 및 평가편람 개발”,
4. 건설교통부, 2000, “철도시설의 안정성 강화기술 개발”, 건설교통기술혁신5개년사업 제1차년도 연차보고서