

철도지하횡단공사 공법의 비용·편익 분석에 관한 연구

A Study on the Cost-Benefit Analysis for the Construction Method of Underground Railway Crossing

석종근* 신민호** 엄기영*** 김무일****
Seok, Chong Chen Shin, Min Ho Eum, Ky Yong Kim mu il

ABSTRACT

Railways are very important to get stability of railway structure as transportation system carrying a lot of passengers and freight. These days the construction of underground railway crossing such as expansion of new roads, construction of subway and gas pipe is increasing because of economic and social development. But these kinds of construction didn't take into account Cost-benefit analysis of railway which has the most important aspects of railway safety, so the results of construction didn't get a good evaluation.

This study adapt Cost-benefit analysis to evaluate the economic validity of underground railway crossing. This study adjust about Cost-benefit analysis of railway part, and analyze the new method and technology of underground railway crossing constructed by Korean National Railroad and Railway Network Authority. Also this study divide between high frequency line and low frequency line using B/C, NPV, and IRR analysis.

After analysis, B/C ratio method is the most suitable method among B/C, NPV, and IRR analysis method.

Therefore this study can express economic benefit quantitatively and decrease the cost by adapting Cost-benefit analysis, and can clearly express the construction feasibility and investment effects of construction of underground railway crossing method.

1. 서론

2004.4월 고속철도 개통에 따른 기존선 운행열차의 속도 향상으로 선로구조물의 안정성 확보가 매우 중요시 되고 있으며, 최근 들어 도시의 급속한 발전으로 지역간을 연결하는 도로의 확충, 지하철 건설, 도시가스관, 상하수도관, 통신 및 전력관로 등 철도지하횡단 공사의 수요가 급증함에 따라 철도지하횡단 공법의 효율적 투자에 사회적 관심이 모아지고 있다.

철도지하횡단 공사의 공법은 열차운용 계획과 선로의 조건, 지형·지질·지하수의 상태, 주변 환경조건, 용지조건, 구조물 단면·치수·구조형식·토피고 등을 종합적으로 고려하여 열차운행 안전성과 직/간접 비용을 분석, 가장 합리적이고 경제적인 공법을 선정하여야 한다.

공공기관에서 대형 투자사업 등을 시행할 때는 사업 검토단계에서 반드시 타당성 여부를 검토한다. 그 중 경제적 타당성은 투입되는 자원이 효율적으로 사용되는 정도를 측정하는 것으로서 이를 위해서 가장 널리 쓰이는 기법이 비용·편익 분석이다. 이는 투자사업에 투입할 비용과, 투자 사업의 완성이로 인하여 나타날 편익을 각각 계량화하여 양자를 비교하는 기법이다.

철도지하횡단 공사는 최근 6년간 87건의 시공실적과 3,915억원의 공사비가 투입되었으나, 사업에 대한 평가가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이며, 이러한 사업의 경제적 타당성 평가의 기법도 부재한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 철도지하횡단 공사의 공법에 대한 타당성을 평가하기 위해 비용·편익 분석

을 이용한 경제성 분석 방안을 제시하여 공법 적용으로 인한 직접공사비와 열차서행에 따른 시간 가치 비용손실, 준공후 일정기간 선로보수작업에 대한 손실 등의 간접손실비용과 사고발생 예방을 위한 보강 공법으로 발생하는 경제적인 편익의 비교를 정량적으로 나타내고, 철도지하횡단 공사의 공법에 대한 투자효과를 명확하게 하고자 한다.

2. 비용·편익분석의 이론적 배경

비용·편익분석이란 국가적인 차원에서 정해진 공공목표를 달성하기 위하여 예상되는 여러 대안들의 각각의 비용과 편익을 측정하고 비교 평가하여 최선의 대안을 도출하는 기술적 방법이라고 규정할 수 있다.

철도 사업의 경제성 분석은 수요 분석, 편익 추정 및 비용분석을 통해 얻어지는 편익 및 비용 수치들을 활용하여 타당성을 분석하는 것이다. 경제성 분석을 위한 총비용을 추정하기 위해서는 건설비, 보상비 등 시설 구축을 위한 초기 투자비용과 유지관리비, 시설개량비 등 시설 운영에 따르는 비용을 추정해야 하며, 편익도 추정된 수요에 입각하여 사회적 편익을 추정해야 한다.

즉, 경제성 분석은 편익-비용비율(B/C ratio), 순현재가치(NPV), 내부수익율(IRR) 등의 계산을 통하여 사업의 경제성을 파악하는 과정이다. 필요한 경우에는 경제성 분석에 사용된 추정치의 오차를 보완하기 위해 수요, 비용단가, 할인율 등 주요 변수의 변화가 경제성에 미치는 영향에 대한 민감도 분석이 수행된다.

비용·편익분석은 투자에서의 편익과 비용을 화폐단위로 표시하여 분석하며, 공공지출 혹은 예산결정에 있어서 하나의 전략적인 수단이 된다. 중요한 것은 연구대상이 화폐단위로 측정되어야 하고, 화폐의 가치는 시간에 따라 변화된다.

지금까지 살펴본 경제성 분석을 위한 기법들은 각각 장·단점을 가지고 있다. 예를 들면 순현재가치(NPV)와 편익/비용비(B/C)는 모두 할인율의 선택에 민감하다는 문제점을 가지며, 내부수익률은 여러개로 도출될 가능성이 있다는 문제점을 가진다. 이를 표로 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 경제성 분석기법의 비교

분석기법	판단기준	장점	단점
편익/비용비 (B/C)	$B/C \geq 1$ 이면 경제적 타당성이 있음	- 이해가 용이함 - 적용이 간단함 - 예산 제약의 경우에도 적용이 가능함	- 분석결과가 사회적 할인율에 민감함 - 순편익이 작은 소규모 사업의 타당성이 높게 나올 수 있음
내부수익률 (IRR)	$IRR \geq r$ 이면 경제적 타당성이 있음	- 사업의 수익률을 측정할 수 있음 - 대안이 독립적일 때 대안별 우선순위 도출 가능	- 사업의 절대적 규모를 고려하지 않음 - 다수의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성이 있음 - 상호 배타적인 사업에 대한 적용이 어려움
순현재가치 (NPV)	$NPV \geq 0$ 이면 경제적 타당성이 있음	- 사업에 대한 순편익의 현재가치 산정이 가능함 - 대안선택에 대한 명확한 기준을 제시할 수 있음 - 다른 분석(전수계획기법등)에 이용 가능	- 분석결과가 사회적 할인율에 민감함 - 규모가 클수록 타당성이 높게 나올 수 있음

3. 철도지하횡단공사 공법과 비용·편익 분석

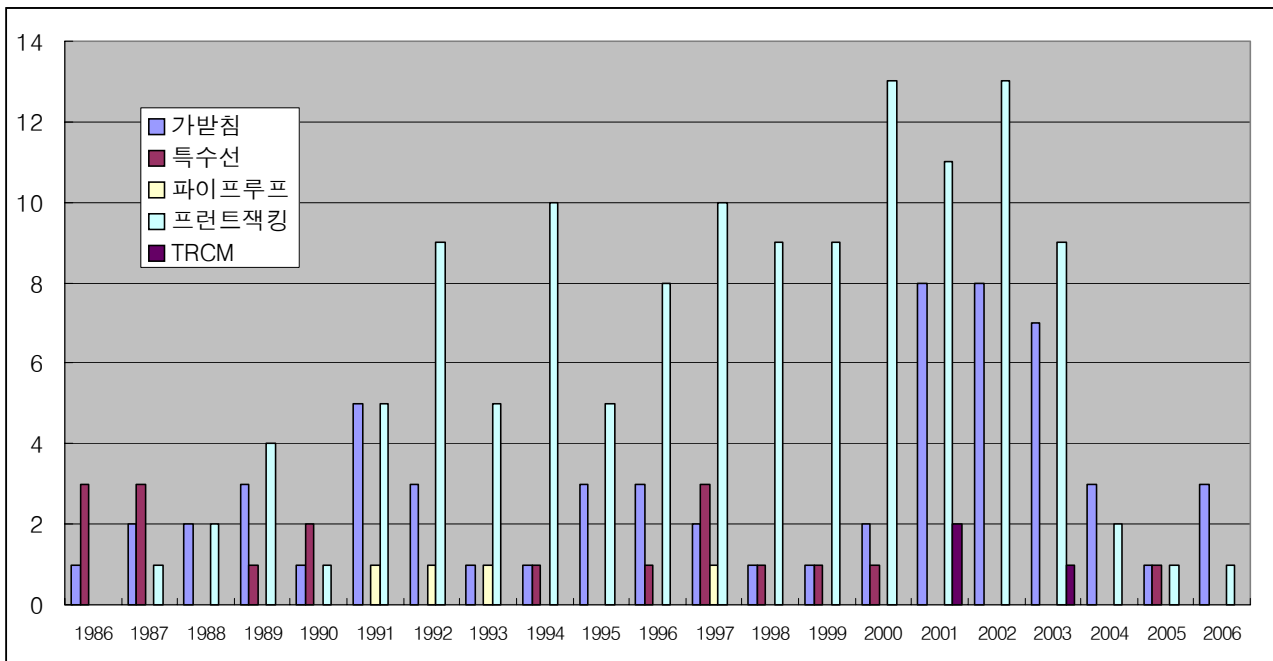
3.1 국내공법 시공현황

3.1.1 개요

국내 철도지하횡단공법을 크게 개착공법과 비개착공법으로 구분할때 80년대 중반까지는 주로 개착공법이 시공되다가 80년대 중반이후에 비개착공법이 도입 적용되었다. 그러나 가받침/특수선공법과 같은 개착공법은 여굴 및 매립에 의한 노반교란으로 본 구조물의 완공후에도 노반의 궤도이완, 침하 및 이상현상이 발생하는 취약성을 안고 있다. 따라서 90년대 이후에는 공사기간중 열차서행으로 열차정시 운행확보가 곤란함은 물론 준공후에도 계속적인 궤도보수/보강작업이 필요한 개착공법은 주로 열차운행이 적은 한산선구나, 작은 규모의 철도지하횡단공사시 적용하고 있으며, 열차운행이 빈번한 구간이나 열차의 안전운행에 영향을 주는 구간에는 비개착공법이 시공되고 있다. 현재 철도지하횡단공사가 활발한 일본을 포함한 철도 선진국에서는 열차의 안전성을 고려하여 대부분 비개착공법을 적용하고 있으며, 한국도 열차의 운행이 고속/고빈도화 됨에 따라 열차의 특/장점인 안전성, 신뢰성, 정확성을 확보하기 위하여 비개착공법을 적용하는 추세가 나타나고 있다. 특히, 철도는 국가기간 교통산업으로서 국민의 복지증진을 기본목표로 하고 있으며 안전성면에서 다른 교통수단에 비해 비교우위를 점하고 있어 가장 안전한 교통수단으로서의 철도의 특성을 나타낼 수 있다.

3.1.2 공법별 분석

1986년부터 2006년까지 시공한 철도지하횡단 공사는 총 214건으로서 1980대 중반까지는 주로 개착공법이 시공되다가 80년대 중반이후에 비개착공법이 도입 적용되었다. 90년대 이후의 개착공법은 공사기간중 열차서행으로 인한 열차정시 운행확보가 곤란하고 계속적인 궤도보수/보강작업, 선로감시가 필요하기 때문에, 주로 열차운행이 적은 한산선구나 작은 규모의 철도지하 횡단공사에 적용하고 있으며 열차운행이 빈번한 구간이나, 열차서행 최소화를 요하는 구간과 열차의 안전운행에 영향을 주는 구간에는 비개착공법이 시공되고 있다. 특히, 열차의 특성상 안전성과 정시성을 확보하고, 국민과의 약속에 대한 국민적 신뢰성을 상실하지 않기 위해서 비개착공법을 주로 적용하고 있는 추세이다.



<그림 1> 연도별 시공건수

3.2 국외공법 시공현황

철도지하횡단공사의 국외사례에 대하여는 지형, 지질조건이 유사한 일본의 시공실적 자료를 근거로 JR동일본에서 제공한 1986년 이후의 철도지하횡단공사 현황분석 자료이다. 총 128건의 시공예가 있지만 시공실적이 극히 적고 특수한 경우에 한하여는 대상에서 제외하였다. 일본의 경우에 공법의 선정이유에 대하여는 여러 가지 선정조건이 있지만 경제성을 위주로 한 것이 가장 많은 부분을 차지하였고 시공성, 공사기간 순으로 선정된 것을 알 수 있었다.

<표 2> 일본의 공법별 시공현황

구 분		공 사 건 수
개착	가받침공법	45
	특수선부설공법	2
비	프론트잭킹공법	10
	ESA공법	1
	파이프루프공법	2
개	파이프빔공법	5
	PCR공법	18
	URT공법	9
착	NNCB공법	2
	BR공법	5
	SC공법	9
	인구추진공법	11
소 계	개 착	47
	비 개 착	72
합 계		119

※ 비개착공법 72건(60.5%) > 개착공법 47건(39.5%)

3.3 공법별 직/간접비용 분석

철도지하횡단공사의 공법별 직/간접비용 분석에 있어서는 직접공사비뿐만 아니라 공법별로 열차의 서행에 따른 비용손실과 준공후 노반 안정화를 위하여 일정기간 선로보수 작업에 대한 손실로 나누어 간접비용손실을 계산하였다.

3.3.1 공사비 산출기준

- 4차선 지하차도(인도포함) 적용 (21.3m×6.7m×16m(폭×높이×연장))

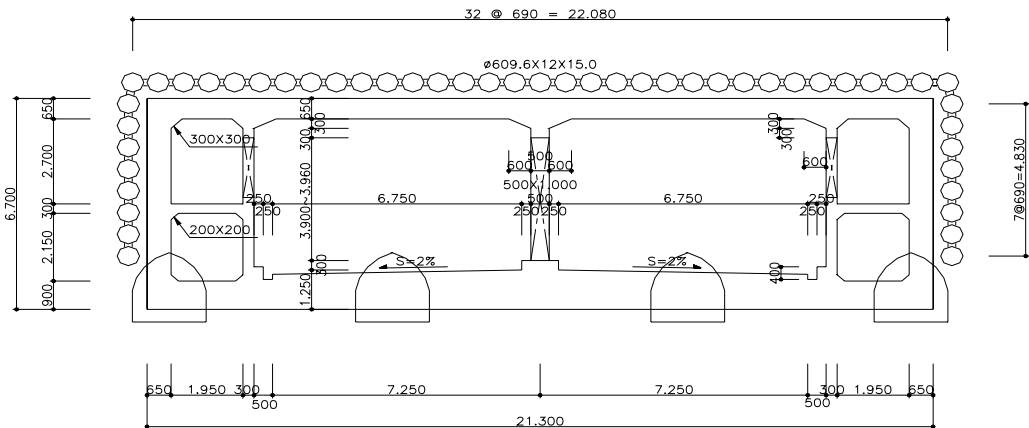


그림 2. 4차선 적용단면

3.3.2 직접공사비

① 직접공사비 (단선)

(단위 : 백만원)

공 법 명	재 료 비	노 무 비	경 비	합 계	공사기간
가받침공법	255,977,438	393,010,802	328,587,690	977,575,930	260일
특수선공법	279,423,578	351,718,112	420,460,576	1,051,602,266	210일
파이프루프공법	660,950,338	664,068,770	829,131,749	2,154,150,857	365일
프론트잭킹공법	766,138,351	974,400,308	1,314,296,177	3,054,834,836	395일
메샤설드공법	283,482,806	881,371,627	759,475,212	1,924,329,645	300일

② 직접공사비 (복선)

(단위 : 백만원)

공 법 명	재 료 비	노 무 비	경 비	합 계	공사기간
가받침공법	401,115,724	574,091,361	485,672,561	1,460,879,646	295일
특수선공법	485,136,898	512,195,520	668,418,512	1,665,750,930	270일
파이프루프공법	751,590,527	783,337,811	996,807,605	2,531,735,943	465일
프론트잭킹공법	874,808,693	1,158,213,547	1,639,711,656	3,672,733,896	465일
메샤설드공법	367,405,209	1,202,581,277	977,998,564	2,547,985,050	390일

3.3.3 간접손실비

(단위 : 백만원)

공 법	열차회수		
	40회이하 (4/16/20)	40회 ~ 200회 (12/58/30)	200회이상 (50/90/60)
가받침공법	374	943	1,972
특수선부설공법	222	564	1,187
파이프루프공법	254	648	1,369
프론트잭킹공법	27	68	148
메샤설드공법	281	718	1,517

3.3.4 직·간접비용

(단위 : 백만원)

공 법	열차회수		
	40회이하 (단선)	40회 ~ 200회 (단/복선)	200회이상 (복선)
가받침공법	1,351	2,403	3,432
특수선부설공법	1,273	2,229	2,852
파이프루프공법	2,408	3,179	3,900
프론트잭킹공법	3,081	3,740	3,820
메샤설드공법	2,205	3,265	4,064

※ 실제현장 적용시는 현장조건, 열차회수, 서행속도, 서행일수등에 따라 변경될수 있음.

3.4 철도지하횡단공사 공법의 비용·편익분석

3.4.1 비용 및 편익의 산출을 위한 가정

비용·편익분석에 있어서 산출한 각 연차의 편익, 비용의 값은 할인율을 이용하여 현재 가치로 환산하여 분석해야 한다. 또한 분석에 필요한 기본적인 값을 다음과 같이 설정하였다.

- ① 현재 가치 산출을 위한 사회적 할인율은 “철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정 연구 (한국개발연구원, 2004.12)”에서 제시하고 있는 7.5%를 사용하도록 한다.
- ② 현재가치화의 기준년도는 평가를 실시하는 연도로 한다.
- ③ 지하차도의 경제성 평가기간은 콘크리트구조물의 사용 연수(50년)로 한다.

3.4.2 편익의 산정

지하차도 개설에 따른 편익 발생요인은 다음과 같다.

- ① 열차사고 감소 편익 (원/년) ② 공사기간 단축 편익 ③ 열차지연 감소 편익
- ④ 유지관리비 감소 편익 ⑤ 사고복구비 감소 편익 ⑥ 통행불편 감소 편익

3.4.3 비용의 산정

각 공법별 직접공사비와 간접손실비용을 합산한 비용으로 산정하였다.

3.5 비용·편익분석 산정식

본 연구에서는 다음의 3가지의 비용·편익분석식을 제안하였다.

- ① 사회비용·편익비(CBR, B/C)는 경제적 타당성의 평가를 위해 현재가치로 환산된 편익과 비용의 비율(Benefit-Cost, B/C)을 이용하는 기법으로 이 비율이 “1”보다 크면 경제성이 있다고 평가할 수 있으며, 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$CBR(B/C) = \frac{(\text{대책공 편익의 현재가치})}{(\text{대책공 비용의 현재가치})} \quad (1)$$

- ② 경제적 순현재가치(ENPV)는 대책공에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년의 현재가치로 식(2)와 같이 할인된 총편익과 총비용의 차로 표시한다. 순현재가치가 양(+)인 경우는 비용보다 편익이 많이 발생하는 것이므로 시공타당성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

$$ENPV = (\text{대책공 편익의 현재가치}) - (\text{대책공 비용의 현재가치}) \quad (2)$$

- ③ 경제적내부수익율(EIRR)은 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 일치시켜 순현재가치(NPV)가 제로(0)가 되게 하는 할인율을 뜻한다. 식(3)에 의해 도출되는 내부수익율(R)이 통상적으로 사용되는 사회적 할인율(r)보다 클수록 그 투자사업은 경제적인 타당성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

$$EIRR = (\text{경제적 순현재가치의 값이 } 0 \text{이 되도록 하는 할인률의 값}) \quad (3)$$

4. 고찰

각 공법별 직/간접비용을 분석한 결과 가받침 및 특수선부설 등 개착공법이 비개착공법보다 경제성은 있으나 장기적인 열차서행운전 및 운행선 차단으로 간접손실비가 증가함에 따라 열차 통행량이 많은 선구에서 적용이 곤란한 것으로 조사되었으며, 비개착공법 중 프런트잭킹 공법이 타공법에 비해 공사비 및 공사기간이 많이 소요되나 공법특성상 열차서행운전기간이 짧아 간접손실비용이 가장 적은 것으로 조사되었다.

상기 직/간접비용을 종합하여 분석한 결과 호남선,전라선 등 열차통행량이 적은(200회/일 이하) 선구에서는 프런트잭킹 공법이 가장 경제성이 없으나, 경부선 등 열차통행량이 많은(200회/일 이상) 선구에서는 타공법보다 경제성이 있는 것으로 조사되었다.

본 연구에서 검토된 간접손실비용은 열차운행회수, 열차서행속도, 열차서행일수, 운행정지에 한하여 산출하였으나, 철도이용고객의 서비스 배려차원에서 불때 정량화하기 어려운 공사구간에서의 열차 서행/정지에 따른 승객불쾌감과 이에 따른 철도이용고객들의 타 교통수단으로의 이동에 따른 영업적 손실도 감안하여야 할 것으로 판단되며, 철도고객서비스 현장에서 선포한 여객열차의 정시성, 계획된 정기여객 열차의 100% 운행에 대한 신뢰성 저하에 따른 철도에 대한 대국민 신뢰성 상실에 따른 손실비용도 장기적인 측면에서 고려해야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 철도지하횡단 공사의 공법선정을 위한 비용·편익을 분석한 결과 B/C, NPV, IRR 분석기법 중 B/C을 이용한 분석이 최적분석기법임을 알 수 있었다.

따라서, 철도지하횡단공법에 대한 비용·편익분석을 적용함으로써 위험비용이 저감되어 경제적인 편익을 얻을 수 있다는 것을 정량적으로 나타낼 수 있었으며, 철도지하횡단공법의 시공 타당성과 투자효과를 명확하게 할 수 있을 것으로 사료된다.

[참고문헌]

1. 광옥현, “도시철도사업의 비용편익분석에 대한 연구”, 서울대학교 환경대학원, pp.2, 8~9, 2000.
2. 김동건, “비용편익분석”, 박영사, pp. 134~139, 1999.
3. 이선혜, “교통투자사업 평가시 사회적 비용·편익분석법의 적용에 관한 연구”, pp.53~54, 1998. 12.
4. 철도청, “국정감사 자료 中”, 철도청 내부자료, 2002,
5. 철도청, “철도투자분석 및 평가편람개발”, 철도청, pp. 4~5, 143, 332~337, 2001.12.
6. 한국개발연구원, “철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정연구”, 2004.12.
7. 철도청 “철도지하횡단공사 공법선정 기준에 관한 연구”, 1999.12

-
- * 한국철도시설공단 횡단시설부장
 - ** 한국철도기술연구원 수석연구원, 공학박사, 정회원
 - *** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
 - **** 서울산업대 토목공학과 교수, 정회원