

수도권광역급행철도의 선로공용시 공용선 열차감편에 따른 편익변동 분석에 대한 연구 -GTX-C 노선을 중심으로-

정연성, 조국환*
서울과학기술대학교 철도건설공학과

A Study on the Benefit Variation Analysis due to Ordinary Train Reduction under GTX Track Sharing - Focusing on Line C

Yeon-Seong Jeong, Kook-Hwan Cho*

Department of Railway Construction Engineering, Seoul National University of Science and Technology

요약 확장되는 대도시권의 광역교통 문제 해소와 혼잡비용을 최소화하기 위하여 표정속도를 획기적으로 개선한 노선 별 수도권광역급행철도가 건설되어 지고 있다. 하지만 경제성 부족으로 인하여 통합이 아닌 각 노선을 개별 건설하게 되었다. GTX-C노선은 경제성 확보를 위해 경원선, 과천선, 경부선, 안산선을 공용하여 운행하도록 계획하였다. 본 연구에서는 공용노선 중 수도권광역철도만 단독 운영하는 과천선을 선정하여 GTX-C와 선로공용에 따른 열차운행 실증분석을 수행하였다. GTX-C 12분 운행간격 내에 2회의 전동차를 운행할 수 있지만, 추가 상륙수 회차 운행으로 전동차는 일일첨두 4시간에 4편의 감편이 발생하였다. 또한 전동차 81.7%에 대해 미세조정이 필요하였으며, 추후 배선협의를 따라 추가 감편이 발생할 수 있었다. 전동차 열차감편 대안을 첨두 1시간당 0회부터 5회까지 6개 대안을 적용하였고, 일일 4시간의 첨두시간을 고려하여 감편회수를 설정하였다. 선로공용으로 표정속도는 신설대비 11.16km/h 감소하였다. 신설선의 건설비는 수도권광역급행철도 및 광역철도 등 5개 최근사업을 토대로 km당 단위공사비를 조사하였다. 분석결과 공용에 따른 손실비용인 불편익은 신설비용의 최대 53.13% 수준으로 분석되었다. 열차감편 대안별 불편익 결과를 토대로 추세선을 도출하였으며, 이를 토대로 경제성 있는 열차감편 한계 횡수를 제시하였다. 향후 본 연구를 토대로 선로공용 시 열차운행 실증분석을 수행하고, 감편에 대한 편익변동 분석을 고려하여 적정 감편회수 이하로 열차운행계획 수립이 필요하다.

Abstract The GTX railway was constructed to solve intercity traffic problems and minimize congestion costs in expanding metropolitan cities. On the other hand, the GTX A, B, and C lines were planned individually rather than integrated because of a lack of economic feasibility. Some sections of the GTX-C track will be shared with the Gyeongwon Line, Gwacheon Line, Gyeongbu Line, and Ansan Line. In this study, the Gwacheon Line was selected because of the independent operation of the intercity railway among the shared routes. An analysis of actual proof of train operation was conducted in relation to GTX-C track sharing. Two ordinary trains can be operated within GTX 12-minute headway, but additional Sangnoksu return trains by the Ansan line influence the reduction of four trains in the daily peak four hours. In addition, fine adjustments are required for 81.7% of the ordinary trains, and further reductions could occur depending on future track distribution agreements. Six alternatives were established to reduce the number of ordinary trains ranging from zero to five reduction trains per hour in peak time. The scheduled speed of GTX will be decreased by 11.16 km/h compared to the new track. Five similar projects were surveyed to determine the unit price of construction per km. The analysis results confirmed the negative benefits of track sharing to be a maximum of 53.13% in preparation for the new track cost. A second-order polynomial trend line was derived through regression analysis based on negative benefits for individual alternatives. Based on this analysis, a break-even number of reducing the number of trains is proposed. In the future, based on this study, it will be necessary to analyze actual proof regarding train operation if the track is shared. The train operation plan should be established through the threshold number of train reductions considering the benefit-variation analysis.

Keywords : GTX-C, Intercity Railway, Track Sharing, Gwacheon Line, Analysis of Actual Proof, Headway, Schedule Speed, Train Reduction, Benefit Variation Analysis

*Corresponding Author : Kook-Hwan Cho(Seoul National University of Science and Technology)

email: khcho@seoultech.ac.kr

Received July 5, 2024

Revised August 1, 2024

Accepted August 2, 2024

Published August 31, 2024

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

수도권 지역의 도로 교통난이 지속적으로 진행되고 도시철도망이 확장되더라도 철도 교통분담율이 개선되지 않는 것은 속도 경쟁력이 떨어지고 있기 때문이다. 확장되는 대도시권의 광역교통 문제해소와 혼잡비용을 최소화하고 광역철도의 경쟁력을 높이기 위해 표정속도를 획기적으로 개선한 수도권광역급행철도(Great Train eXpress, 이하 GTX)가 탄생하게 되었고, 대중교통 인프라가 상대적으로 열악한 수도권 외곽지역에서 중심부로의 접근성을 향상시키는 목적으로 추진되었다.

GTX 3개 노선을 묶어서 통합 추진한 예비타당성조사는 경제성 부족으로 사업추진이 어렵게 되어, 3개 노선인 A노선, B노선, C노선을 개별 건설하는 방안으로 추진하게 되었다.

개별 건설하더라도 A노선은 경제성을 확보할 수 있으나, 다른 두 노선은 경제성을 확보할 수 없어 재기회를 통해 경제성을 확보하였다. 일부구간을 신설이 아닌 선로공용을 통해 혼용하고, 시점 및 종점을 연장하여 수도권 수혜지역을 확장하여 경제성을 확보하였다.

선로공용은 기존 운행노선에 속도가 빠른 신규 열차를 혼용하게 됨에 따라 복합 열차운행에 대한 검토가 필요하였다. 또한 빠른 신규열차로 인하여 기존열차는 조정 및 감편이 발생하게 되므로 이로 인한 편익감소를 수반하였다.

이에 본 연구에서는 신설선 건설비 대비 공용의 편익감소를 비교하여 기존선 감편에 대한 적정 열차운행횟수에 대해 분석하였다.

1.2 연구동향

선로공용은 기존선 시설이나 용량의 획기적 개선 없이 단지 신호 및 승강장 개량 등을 통해 선로공용 계획을 수립하였다. 선로공용을 위해 가장먼저 검토할 사항은 선로용량이다. 속도가 다른 이종열차의 선로공용은 단독노선에 비해 선로용량을 감소시킬 수 있으며, 때로는 기존선 운행과 경합이 발생하여 기존 열차운행을 감편해야 하는 상황이 발생할 수도 있다.

노병국 등[1]은 고속철도와 광역급행철도를 별도로 건설할 경우의 비용과 혼용운행을 할 경우를 비교한 결과 혼용운행이 별도건설 대비 약 9천억이 감소하는 것으로 분석하였고, 노선이 중복될 경우 고속철도 선로 여유용량을 이용한 혼용운행에 대해 건설계획이 가능함을 제시

하였다.

신년호[2]는 GTX-A노선중 수서~동탄간 고속철도와 GTX-A 열차가 공용시 최적 열차운영계획을 수립하기 위해 최소운전시격 및 열차 DIA를 통한 실증적 분석을 하였다. 검토결과 GTX-A열차의 수송수요는 34회에 불과하지만 출.퇴근 이용객 통행특성을 고려하여 100회로 선정하였고, 이에 따른 고속철도 109회가 적정한 것으로 분석하였다. 하지만 고속철도 수요증가로 요구 횟수는 145회로 36회가 부족하여 열차운행 시간 연장 및 중련 운전 등으로 보완이 필요함을 제시하였다.

철도사업에서 경제성을 판단하는 주요요소인 비용-편익에 대한 해외사례를 살펴보면, Pedro Casares 등[3]은 스페인의 산탄데르-팔렌시아-바야돌리드-마드리드 및 산탄데르-빌바오의 고속철도(AVE)의 편익-비용을 포함한 경제성을 분석하였는데 편익항목으로 통행시간 절감, 운행비용 절감, 외부비용 절감으로 혼잡, 사고, 환경, 유지관리 등의 항목을 반영하였다. 국내의 경우는 운행비용, 통행시간, 사고비용, 환경비용, 주차비용 항목을 반영하는 것과 대비하여 혼잡 및 유지관리 비용이 추가됨을 알 수 있었다.

Jennifer Warg[4]는 스웨덴의 화물열차도 운행하는 상업열차 장거리 노선과 광역철도 기능인 단거리 노선의 서비스 경합에 대해 분석하였다. 한정된 선로용량으로 인하여 장거리 상업철도 열차운행을 우선하였고 그 영향으로 단거리 광역철도 운행을 감편하였다. 시뮬레이션을 통한 열차운행시간 미세조정 효과는 제시하였지만, 단거리 노선 이용객의 여행시간, 대기시간, 환승, 혼잡도 및 운영비 등 사회적 편익 손실에 관한 실질적인 분석 없이 연구방향만 제안하였다.

1.3 연구내용 및 범위

수도권광역급행철도 노선중 A, B, C노선이 추진되고 있으나, 본 연구에서는 노선 공용구간이 경의선, 경부선, 과천선, 안산선 등으로 다양한 C노선에 대해 심층적으로 분석하고 노선 공용에 따른 편익 영향을 연구하였다.

C노선 분석의 기준이 되는 자료는 재기획 보고서[5]를 기준으로 하였다. 이는 신설대비 노선공용을 검토한 시점이 되는 보고서로 의미를 가지고 있어 연구의 기준 자료로 선택하였다.

GTX 노선별 공용구간에 대한 현황조사를 하였으며, C노선의 신설대비 공용에 따른 표정속도 변화를 분석하였다. 또한 속도가 다른 열차로 인한 경합으로 기존선 전동차의 감편이 발생할 경우 이에 따른 편익감소를 회수

별로 산정하였다. 40년간 누적된 편익감소 비용이 신설선 건설비를 넘어서는 분기점에 대해 회귀분석을 통하여 산출하였다. 분기점 이하의 기존선 감편회수를 공용선 적용 판단 기준으로 제시하였다.

향후 선로공용 적용시 판단기준이 될 수 있도록 공용선 복합 열차운행에 대한 분석방안을 제시하였다.

2. 광역급행철도 선로공용 현황

2.1 해외 광역급행철도 현황

해외 광역급행철도에 대해 영국 Crossrail, 프랑스 RER, 일본 츠쿠바익스프레스를 조사하였다.

여러 특징이 있으나 3개 사례 모두 도심구간과 교외구간을 빠르게 연결하는 노선이다. 영국의 Crossrail은 도심구간을 신설선으로 건설하여 표정속도를 높였지만 교외지역은 노선공용으로 속도가 감소하고 경합이 다수 발생하여 열차지연이 잦은 문제점을 안고 있다.

프랑스 RER의 경우도 도심구간은 역간거리가 2~3km로 광역급행철도의 속도를 제대로 발휘할 수 없는 조건이다.

일본 츠쿠바 익스프레스의 경우는 도심구간 통과 노선의 선형이 급곡선이 많아 속도를 발휘할 수 없어 표정속도 개선에 제약이 있었다.

따라서 광역급행철도의 속도경쟁력을 위해서는 역간 거리를 확보해야 하며, 도심구간의 경우 신설선 건설을 통해 선형을 개선해야 한다.

특히 교외구간의 경우 경제적 제약으로 부득이 기존선을 공용할 경우 기존선 운행과 이용객의 이동패턴을 충분히 검토하여 신설선 대비 기존선이 장기적으로 편익감소에 영향이 없는지 속도경쟁력을 갖추었는지 분석해야 한다.

Table 1. Overseas Metropolitan Express Railways

Division	Crossrail	RER	Tsukuba Express
Distance	118km	616.4km	58.3km
Line	1 route	5 route	1 route
Station	41 ea	257 ea	20 ea
Headway (peak)	2.5~3min	2.5~5min	3~7min
Max.Speed	145km/h	120km/h	130km/h
Scheduled Speed	60km/h	53km/h (E:71)	58.3km/h
Station Spacing (average)	3.2km	2~3km	2~3km

2.2 국내 수도권광역급행철도 C노선 선로공용

GTX-C 노선은 최초 예비타당성조사에서 금정~의정부 구간을 신설로 검토하였으나 경제성부족으로 재기획을 수행하였다. 의정부~도봉산 구간은 경원선과 선로공용하였고, 정부과천청사~금정 구간은 과천선과 선로공용하여 경제성을 확보하였다.

이후 기본계획에서 시점은 의정부에서 양주 덕정으로, 종점은 금정에서 수원으로 연장하였다. 선로공용은 당초 2개 선구였으나 경부선이 추가되었고 회차구간으로 안산선까지 추가되어 최종 4개 선구를 공용하게 되었다.

공용노선 및 연장구간에서 대피선 부재로 GTX 열차가 전동차를 추월할 수 없어 속도경쟁력 효과는 다소 떨어졌고, GTX 미정차역은 열차간격이 길어져 이용객 서비스 비용이 감소하였다.

따라서 선로공용의 경제성 논리보다는 이용객들이 체감하는 열차경합에 따른 운행횟수 감소와 편익 감소에 대한 실질적 분석이 필요하다.

Table 2. Status of Track Sharing on GTX-C

Sharing Section	Existing Section		GTX-C	
	Train	Max.Speed	Train	Max.Speed
GTX-C + Inter-city Line 1 (Gyeongwon)	Distance: 53.1km (Yondan~Dongducheon)		Distance: 17.6km/h (Dobongsan~Deokjeong)	
	Metro (10cars)	90~150km/h	EMU180 (GTX-C, 8cars)	180km/h
GTX-C + Inter-city Line 1 (Gyeongbu)	Distance: 27.4km (Gasandigital~Suwon)		Distance: 14.0km/h (Guemjeong~Suwon)	
	Metro (10cars)	135km/h	EMU180 (GTX-C, 8cars)	180km/h
GTX-C + Inter-city Line 4 (Gwacheon)	Distance: 14.4km (Nantaeryeong~Guemjeong)		Distance: 8.5km/h (Gov.Gwacheon~Guemjeong)	
	Metro (10cars)	80km/h	EMU180 (GTX-C, 8cars)	180km/h
GTX-C + Inter-city Line 4 (Ansan)	Distance: 26.0km (Guemjeong~Oido)		Distance: 11.7km/h (Guemjeong~Sangnoksu)	
	Metro (10cars)	110km/h	EMU180 (GTX-C, 8cars)	180km/h

3. GTX-C 공용선 열차운행 실증분석

3.1 공용선(과천선) 복합 열차운행 계획

본 연구에서는 GTX-C 공용노선 중 GTX 열차 운행이 가장 많고 수도권을 운행하는 4호선 운행구간인 과천선을 대상으로 복합 열차운행 실증분석을 수행하였다[6].

안산과천선 열차시각표(2021.4) 기준의 전동차 열차

운행은 아래 [Table 3]와 같이 크게 3개의 운행패턴으로 침두시 36회(평균시격 6.7분), 비침두시 90회(평균시격 10분) 총 126회를 운행하고 있었다.

Table 3. Subway Line 4 Operation Status

Driving Pattern	Operation Times		Average Headway(min)	
	Peak (4h)	Non-peak (15h)	Peak	Non-peak
Ansan~Danggogae	6	12	40.0	75.0
Oido~Danggogae	28	76	8.6	11.8
Oido~Danggogae (Express)	2	2	120.0	450.0
Sum	36	90	6.7	10.0

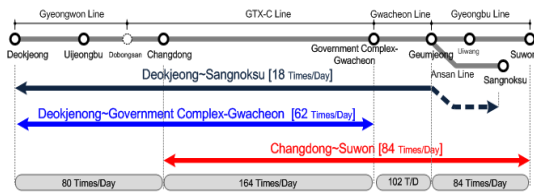


Fig. 1. GTX-C Operational Pattern

GTX-C 노선의 실시계획 열차운행계획은 과천시, 안산선 구간을 선로공용하여 운행하는 침두시 24회(평균시격 10분), 비침두시 78회(평균시격 11.5분), 총 102회를 계획하였다.

Table 4. The Operational Headway of GTX-C

Operation Line	Operation Section	Operation Times/day	Headway (peak, min)
Gyeongwon	Deokjeong~Changdong	80	12
GTX-C	Changdong~Gov.Gwacheon	164	6
	Gov.Gwacheon~Geumjeong	102	10
Ansan	Geumjeong~Sangnoksung	18	60
Gyeongbu	Geumjeong~Suwon	84	12

3.2 공용선(과천시) 열차운행도표 분석

열차간 안전을 고려한 최소운전시격은 3분을 적용하였으며, 광역철도 선로배분지침에 따라 속도를 우선하여 GTX-C의 운행횟수를 먼저 설정하고 기존 전동차운행을 조정 및 감편하였다.

열차운행도표(Train Diagram)를 통하여 분석한 결과 과천시 구간에서 상행선 4회/일(1.6%)의 감편이 발생하였으며, 양방향 205회(81.7%) 기존 열차의 미세한 조정이 필요하였다. 미세조정 범위는 3분 이내에 정시성을 유지할 수 있는 범위 내에서 조정하였다.

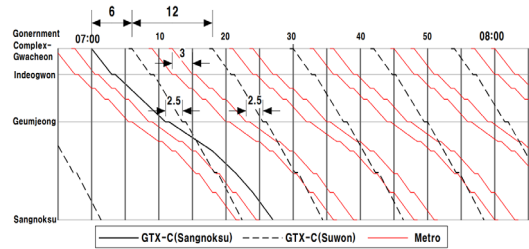


Fig. 2. Peak Time Train Diagram on Gwacheon Section

과천시 구간에서 전동차 감편이 발생하는 원인은 GTX-C 12분 시격 내에서 전동차는 최소운전시격 3분을 유지하며 2회를 운행할 수 있어 감편이 없었으나, 추가 운행하는 GTX-C 상록수 회차운행 18회/일로 인해 발생하였다. 침두시 60분당 1회 운행하므로 일일 침두 4시간에 대해 4회 경합으로 전동차 4회 감편이 발생하였다.

또한 미세조정 205회(81.7%)는 향후 배선협약에 따라 추가 감편이 발생할 여지가 있다. 이에 전동차 감편횟수별 편익감소를 분석하여 감편의 적정 횟수를 제시하고자 한다.

3.3 공용선 열차감편 분석

열차감편 분석기준을 위하여 전용선 신설을 대안A로 하고, 공용할 경우 기존선 운행 감편이 없는 대안을 B0, 시간당 감편횟수 1회를 대안 B1으로 하고 횟수를 5회까지 가정하여 대안 B5까지 설정하였다. 침두 1시간당 1회 감편시 일일 4회의 감편이 발생하게 되며, 광역철도의 침두시 배차간격인 15분 이내까지만 고려하여 시간당 최대 5회까지 감편하였다. 비침두 시간대는 기존 전동차 운행간격이 길어 배제하였다.

‘오이도~당고개’ 전동차만 감편 대상으로 하였고, 영향범위는 4호선 운행구간 전체를 대상으로 하였다. 또한, 기존 전동차 표정속도는 변화가 없는 것으로 가정하였다.

Table 5. Alternatives to Reduce Trains through Track Sharing

Track Type	Gwacheon Line & Ansan Line			GTX-C (Gov.Gwacheon~Geumjeong)			
	Times (peak)	Headway (peak) (min)	Scheduled Speed (km/h)	Times (peak)	Headway (peak) (min)	Scheduled Speed (km/h)	
New(Alt A)	36	6.7	43.3	24	10.0	79.8	
Sharing	Alt B0	36				6.7	68.6
	Alt B1	32				7.5	
	Alt B2	28				8.6	
	Alt B3	24				10.0	
	Alt B4	20				12.0	
Alt B5	16	15.0					

GTX-C 열차의 표정속도는 실시설계 단계에서 인덕원역 정차를 추가한 과천선 선형을 대상으로 신설선과 선로공용에 대한 각각의 열차성능시뮬레이션(Train Performance Simulator, 이하 TPS)을 전속운전(All-out) 기준으로 수행하였다.

공용역사 및 선구 중간접속으로 신설선 건설은 6.07km이지만 열차 운행거리는 8.36km를 적용하였다. 과천선구간 평균속도에 인덕원역 정차시간 30초를 고려하여 신설의 경우 상행기준 표정속도는 79.75km/h, 공용할 경우에는 68.59 km/h를 조건으로 적용 하였다.

과천선 구간에서 신설선과 선로공용의 표정속도 차이는 상행기준 11.16km/h 차이를 보였다.

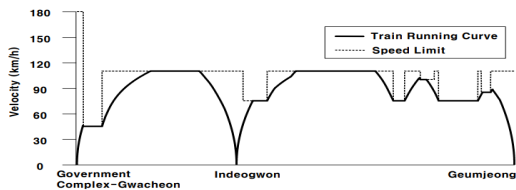


Fig. 3. Running Curve of Track Sharing in Gwacheon Section(Up Train)

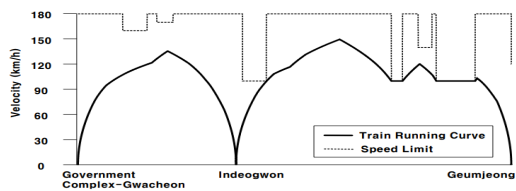


Fig. 4. Running Curve of New Track in Gwacheon Section(Up Train)

Table 6. TPS of Track Sharing and New Track in Gwacheon Section

Division	Downward (All-out)			Upward (All-out)		
	Driving Distance (km)	Driving Time (min)	Average Speed (km/h)	Driving Distance (km)	Driving Time (min)	Average Speed (km/h)
Track Sharing	8.36	6.777	74.015	8.322	6.78	73.646
New Track	8.36	5.805	86.408	8.322	5.761	86.672
Difference	-	-0.972	12.393	-	-1.019	13.026

4. 공용선 열차감편 편익 분석

4.1 편익 분석 범위

편익의 시간적 범위는 교통시설 투자평가지침(2017)에서 제시하고 있는 국내 철도부문 사업의 적용 기준에 따라 분석기간 40년으로 설정하고, 기준연도는 GTX-C 제안사업의 기준연도인 2019년로 하였다. 할인율은 개통후 30년까지는 4.5%, 이후 기간은 3.5%를 적용하였다 [7].

Table 7. Scope of Benefit Analysis

Items	Contents
Analysis Period	*Base Year: 2019 *Period: 40years after operation (2029~2068)
Discount Rate	*30years after operation : 4.5% *30~40years after operation : 3.5%
Influence Area	*GTX-A, B, C Entire metropolitan area (Seoul, Incheon, Gyeong-gi)

4.2 공용선 열차감편 부(-)편익 의미

선로공용으로 인하여 등급이 다른 이종열차간 운행속도 제약과 침두시 선로용량 한계로 인하여 기존선 운영을 감편할 수밖에 없다. 이는 전용선을 신설하는 경우 대비 이용객의 편익이 감소하게 되므로 전체사업에 대해 편익감소인 부(-)편익을 유발하게 된다.

본 연구에서 편익산정은 GTX-C 사업시행자의 실시설계를 기준으로 하였으며, 편익지침은 교통시설 투자평가지침의 기준에 따라 편익을 분석하였다.

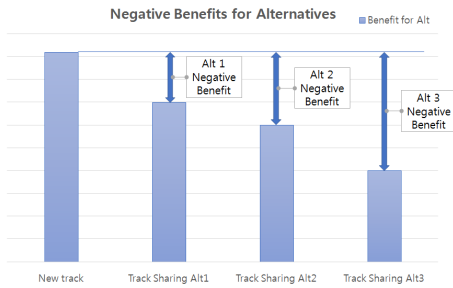


Fig. 5. Concept of Negative Benefits from Track Sharing

선로공용에 따른 부편익의 산정은 전구간 신설선 편익과 선로공용 대안별 운행횟수 감편에 따른 편익을 비교하였다. 이를 도식화 하면 [Fig. 5]와 같다.

한편, 이와 같이 산정된 기존선 운행감편에 따른 부편익과 신설선 건설비용을 비교하여 산출한 분기점(Break Even Point)을 기준으로 부편익이 신설선 건설비용보다 작은 대안은 적용 가능한 대안이나, 초과하는 대안은 타당성이 떨어지는 대안이 된다.

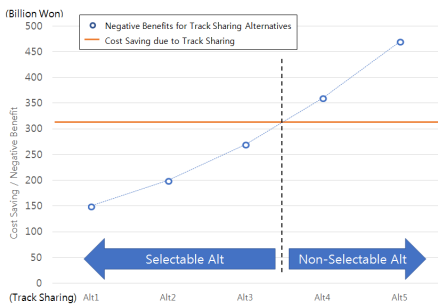


Fig. 6. Break-Even Point between Negative Benefits and Construction Costs

4.3 열차감편에 따른 편익변화 분석

본 연구에서 편익항목은 차량운행비용 절감, 통행시간 비용 절감, 교통사고비용 절감, 환경비용(대기오염 및 소음비용) 절감, 주차비용 절감의 5가지 항목에 대해 편익을 산출하여 반영하였다.

편익은 교통수요 예측단계에서 통행배정 결과로 얻어진 각 도로의 구간별 평균 주행속도 및 교통량을 분석 자료로 이용하여 사업 미시행시(Do-Not) 기존 가로망 체계의 운행시간 및 차량운행비와 사업시행시(Do) 시나리오별 운행시간과 차량운행비의 차이로 산출한다. 사업 미시행시와 사업시행시의 교통량, 통행시간, 운행속도의

변화는 교통 수요예측 프로그램인 “EMME/4”를 이용하여 분석하였으며, 여기서 연간 편익은 일일 편익에 365를 가산하여 산출하였다.

편익은 하루 중 기존선 운행감편이 발생하는 침투 4시간에 대해서만 산정하였으며, 수요 분석 최종연도인 2045년 이후 2068년까지의 편익은 동일한 것으로 가정하였다.

신설(대안 A)은 과천선 구간을 전용선으로 신설하는 경우이며, 40년간 총 47,967억원의 편익 발생하는 것으로 분석하였다. 공용 대안 B5 40년간 편익은 39,866억원으로 분석하였다.

Table 8. Benefit Calculation Results for New Track and Track Sharing in Gwacheon Section

Alternatives		Benefits per Alts (40years, bn.won)	Difference (B _n -A)
New Track (Alt A)		47,967	-
Track Sharing	Alt B0	46,246	- 1,721
	Alt B1	45,844	- 2,122
	Alt B2	44,844	- 3,122
	Alt B3	43,215	- 4,752
	Alt B4	41,701	- 6,266
	Alt B5	39,866	- 8,100

지금까지 산정한 편익은 개통후 40년간 발생하는 편익의 불변가 합계로 앞서 제시한 할인율을 토대로 공용 대안별 편익감소분을 현재가치화 하였다. 결과를 보면 대안별 운행감편 1회당 33.3억원에서 5회 151.8억 까지 부편익 단위비용이 증가하는 패턴을 보이고 있었다.

Table 9. Present Value of Benefit Calculation Results

Alternatives	Negative Benefit (Constant Value)	Negative Benefit (Discount Price)		
		Present Value	Difference [B _n -B _{n-1}]	Reduction (per 1 time)
Alt B0	1,721 bn.won	569		
Alt B1	2,122 bn.won	702	133	33.3
Alt B2	3,122 bn.won	1,033	331	82.8
Alt B3	4,752 bn.won	1,572	539	134.8
Alt B4	6,266 bn.won	2,073	501	125.3
Alt B5	8,100 bn.won	2,680	607	151.8

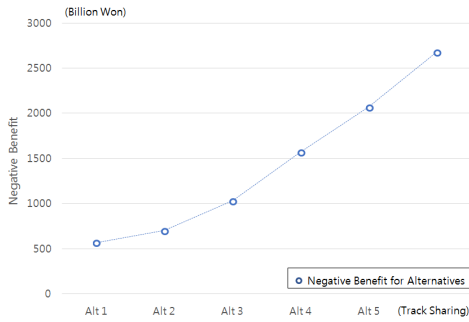


Fig. 7. Tendency of Benefit Reduction by Alternative

과천선 구간 신설공사비는 수도권광역급행철도 A, B 및 C노선, 광역철도인 신안산선, 대장-홍대선 등 5개 사업에 대해 km당 건설비를 조사하고, 가격기준일을 2019년말로 보정하였다.

단위공사비는 500억~900억까지 현장조건에 따라 다소 편차가 있었지만, 실시설계를 완료한 GTX-C의 단위공사비를 본 연구에 적용하였다.

과천선을 신설하게 될 경우 연장은 약 6.07km로 고려하였고, 적용한 km당 단위공사비는 831억원을 적용하였다. 따라서 과천선을 신설로 건설할 경우 적용 공사비는 5,044억원으로 산정하였다.

Table 10. Unit Prices per km about Intercity Railways

Division	Unit	GTX-A	GTX-B	GTX-C	Sinansan	Daejang~Hongdae
Construction Distance	km	42.635	39.900	37.950	43.6	20.029
(Operation Dist.)	km	80.000	82.700	86.460		
Station	ea	5+5(share)	6+8(share)	7+7(share)	16	12
(Sta. Spacing)	km	8.00	5.91	6.18	2.73	1.67
Car	Train	8	8	8	3	4
Depot	ea	1 (ground)	1 (ground)	1 (ground)	1 (ground)	1 (under-ground)
Base Year	-	Late 2015	Late 2020	Late 2019	Late 2013	Late 2019
Const. Cost	bnwon	21.435	32.145	31.539	28.230	17.248
E/S(2019)		1.05	0.99	1.00	1.07	1.00
Sum		22.507	31.824	31.539	30.206	17.248
Unit Price/km	bnwon	528	798	831	693	861

과천선 구간을 신설로 건설할 경우 증가하는 비용은 공사비와 운영비가 있다. 운영비는 운행경로가 동일하여 인건비, 차량비, 유지관리비는 변동이 없으며, 동력비는 운행거리가 같아 동일하게 가정하였다.

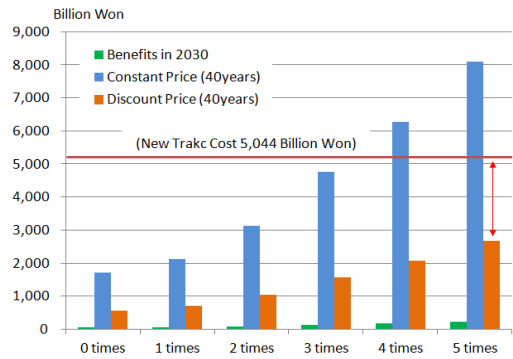


Fig. 8. Cost-Benefit Analysis by Train Operation Reduction

공용 대안별 산정된 부편익과 신설에 따른 공사비를 비교하면, 과천선 구간 신설선 건설비는 약 5,044억이며, 공용에 따른 기존선 열차감편의 부편익은 가장 큰 대안 B5의 경우 현재가치로 2,680억원이다. 선로공용의 손실비용인 부편익이 신설선 건설비 대비 약 53.13% 수준으로 비용측면에서는 경제성이 있었다. 선로공용으로 인한 기존 운행열차 대안별 부편익에 대해 회귀분석을 통해 2차 다항식 선형 추세선을 도출하였다. 추세선의 분기점을 살펴보면 1시간당 7회이하 열차감축은 비용적으로 타당성이 있음을 보여주고 있다.

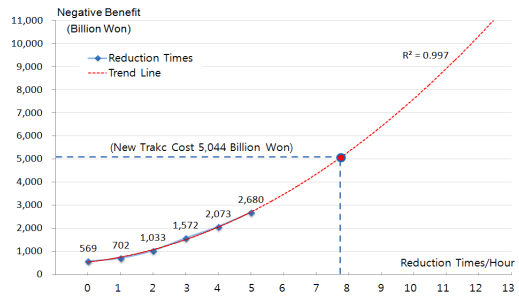


Fig. 9. Break-Even Point between Negative Benefits against New Track Cost

향후 본 연구를 토대로 선로공용을 적용할 경우 공용선 열차운행 실증분석을 수행하고, 감편에 대한 편익변동을 분석하여 타당성 있는 감편회수 이하로 열차운행계획 수립을 제안한다.

5. 결론

본 연구는 수도권광역급행철도 C노선 추진시 경제성

확보를 위해 선로공용을 적용하였으며, 공용선에서 열차 간 속도 경합시 기존 전동차는 우선운위에 밀려 운영을 감편할 수밖에 없었다. 공용노선 중 수도권광역철도만 단독 운행하는 과천선을 선정하여 선로공용에 따른 기존 열차감편과 이에 따른 부편익 분석을 수행하였다.

선로공용으로 표적속도는 신설대비 11.16km/h 감소하였다. 신설 건설비는 최근 수도권광역급행철도 및 광역철도 등 5개 사업을 토대로 km당 단위공사비 사례를 분석하였다.

열차운행 감편은 전동차의 침두 1시간당 0회부터 5회 까지 6개 대안을 설정하였다. 일일 4시간의 침두시간을 고려하여 부편익을 산정하였다. 부편익을 현재가치로 할인하여 신설선 건설비와 비교하여 분기점을 확인하였다. 과천선에서 신설대비 열차감편의 부편익은 최대 53.13% 비용 수준으로 분석되었다.

열차감편에 따른 대안별 부편익 결과를 토대로 추세선을 도출하였으며, 이를 토대로 적정 열차감편 회수를 제시하였다.

향후 본 연구를 토대로 선로공용시 기존 열차감편을 검토하고, 이에 따른 편익변동 분석을 통하여 적정 열차운행계획 수립을 제안한다.

References

- [1] Roh, B. K., Kim, Y. B., Cha, K. S., "Considering Combined Operation Method with the Wide Area Rapid-transit and High Speed-transit for Wide Area Traffic Service Offer at High Speed Track Section", Proceedings of the KSR Conference, 2008, pp1900-1906. <https://koreascience.kr/article/CFKO20080965105801.page>
- [2] Shin, N. H., "A Study on the Optimal Train Operation Plan for the Mixed Operation of the Great Train Express Line and High-Speed Railway", Master's thesis, Seoul National University of Transportation, Korea, 2022. <https://www.riss.kr/link?id=T16039712>
- [3] Pedro Casres, Pablo Coto-Millan, "Passenger Transport Planning. A Benefit-Cost Analysis of the High Speed Railway: The case of Spain", Atlantic Review of Economics, 2nd Volume 2011. <https://www.researchgate.net/publication/265750767>
- [4] Jennifer Warg, "Timetable Analysis based on Social Cost and Simulation", Ph.D dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2022. <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1657332&dsid=-2422>

- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Great Train eXpress railway feasibility study and basic plan-C route (Uijeongbu-Geumjeong) replanning report", Korea, 2015.10.
- [6] Korea Railroad Corportatin, "60th 2022 Railway Statistical Annual Report", Korea, 2023. <http://www.kric.go.kr/isp/handbook/sta/statisticsTechList.jsp>
- [7] PIMAC, "Detailed Guidelines for Conducting a Preliminary Feasibility Study Road and Railway Sector Research", Korea Development Institute, Korea, 2021.5. https://pimac.kdi.re.kr/guide/rguide_list.jsp

정 연 성(Yeon-Seong Jeong)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한양대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2022년 8월 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 (박사수료)
- 2000년 1월 ~ 현재 : 현대건설(주)

<관심분야>

철도건설, 토목시공, 건설관리

조 국 환(Kook-Hwan Cho)

[정회원]



- 1990년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 2002년 5월 : North Carolina State University, Department of Civil Engineering (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 철도건설공학과 교수

<관심분야>

철도건설, 토질및기초