

철도전환보조금 증가에 따른 사회경제적 효과평가*

Socio-Economic Effects of Increase in Subsidies for Road to Rail Freight Shift

박민철** · 한진석*** · 김수현****

Minchoul Park · Jin-seok Hahn · Suhyeon Kim

요약: 저탄소 또는 비탄소 사회로 전환하기 위해 범정부적인 역량을 집중하는 가운데 수송부문에서도 환경적 측면을 고려한 제도를 발굴하거나 기존의 제도를 개선하는 노력이 진행되고 있다. 본 연구는 이러한 여건 변화에 따라 도로화물수송 부문에서 배출되는 대기오염물질 및 온실가스를 저감하기 위하여 시행되고 있는 철도전환보조금 사업의 사회경제적 효과를 평가해보고 그 시사점을 살펴보고자 하였다. 이를 위하여 철도전환보조금 지원규모를 확대하는 시나리오에 대하여 교통수요분석방법을 적용하여 화물자동차 통행량 감소로 인한 사회경제적 비용 절감편익과 오염물질 감소량을 정량적으로 분석하였다. 분석 결과, 철도전환보조금 투입 대비 화물자동차 통행량 감소로 인한 유의미한 사회경제적인 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

핵심주제어: 철도전환보조금, 화물수단전환, 철도화물운송, 사회경제적 편익

Abstract: In addition to their concentration on government-wide efforts to transform into a low-carbon or zero-carbon society, the cargo transportation sector is implementing various methods to enable environmental improvement. Among these methods, the need to expand subsidies for conversion to the eco-friendly railroad has been continuously raised. This study attempted to evaluate the effects of the railway conversion subsidy, such as reduction of emissions and social costs induced by the road freight transport sector. For this purpose, the socioeconomic benefit and the amount of air pollutant reduction were quantitatively estimated by travel demand analysis as it related to the decrease in traffic volume of truck resulting from the expansion of the railway conversion subsidy. The analysis indicated that the increase in the railway conversion subsidy would bring significant socioeconomic effects.

Key Words: Road to Rail Shift Subsidy, Freight Modal Shift, Freight Rail Transportation, Socioeconomic Benefit

* 본 논문은 한국환경연구원의 2019년도 기본과제 「육상화물운송수단의 미세먼지 및 온실가스 저감 방안 연구(RE2019-04)」의 지원으로 수행되었습니다.

** 제1저자, 한국교통대학교 철도경영·물류학전공 부교수

*** 공동저자, 한국환경연구원 연구위원

**** 공동저자 및 교신저자, 한국교통연구원 부연구위원

I. 서론

지구 온난화로 인한 환경 문제는 심각한 사회 문제로 고착화되었다. 탄소중립을 위한 전세계적인 노력이 지속적으로 이루어지는 가운데 최근 우리나라도 「한국판 뉴딜 종합계획(2020.7)」, 「2050 탄소중립 추진전략(2020.12)」 등을 수립하여 탄소중립을 위한 중장기적인 방향을 제시하고 있다. 특히 대기오염물질 및 온실가스 배출에 대한 대응방안을 모색함에 따라 대기오염물질 배출량의 많은 부분을 차지하는 수송부문 관리의 필요성이 증대되고 있다. 수송수단별로 보면 도로수송에서의 배출량이 다른 수송수단에 비하여 월등히 많은데, 온실가스의 경우 도로부문의 배출 비중이 95% 이상을 차지한다. 그 중에서도 화물자동차 통행으로 발생하는 대기오염물질 및 미세먼지 배출량이 큰 부분을 차지하고 있다. 도로이동 오염원의 차종별 미세먼지 배출량 비중을 보면 화물자동차가 68.8%로 차지하는 비중이 가장 큰 실정이다.¹⁾

이러한 맥락에서 국내 수송부문 대기오염물질 및 온실가스 감축효과를 높이기 위한 방안으로서 화물수송 분담율이 가장 높은 도로화물의 수송량을 철도를 포함한 다른 수단으로 전환하거나 전기 및 수소 자동차와 같은 친환경 도로운송수단으로 전환하는 정책의 실행과 함께 그 효과를 객관적으로 분석하는 것이 중요하다. 특히 수송부문 배출 현황을 고려할 때, 배출원별로 온실가스 배출 비중이 다르고 차종별로도 미세먼지 배출수준이 다르므로 환경정책의 실효성을 제고하기 위해서는 화물운송수단에 대한 환경성 제고 방안을 보다 면밀히 검토할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 도로화물수송 부문에서 배출되는 대기오염물질 및 온실가스를 저감하기 위해 시행되고 있는 다양한 정부지원 사업 중 철도전환보조금 사업의 사회경제적 효과를 정량적으로 평가해보고 장래 철도전환보조금 지급에 대한 정책방향을 결정하는데 시사점을 제공하고자 하였다.

이를 위하여 본 연구에서는 철도전환보조금을 증액하는 시나리오를 설

1) 국가 대기오염물질 배출량 서비스, <http://airemiss.nier.go.kr>, [2019.6.20].

정하고 교통수요분석에서 이용하는 네트워크 분석 방법을 적용하여 교통 상황변화를 고려한 정량적 효과를 도출한다. 교통수요분석에 기초자료로 활용되는 국가교통DB에는 전환보조금이 기 반영되어 있으므로, 현재 지급 중인 전환보조금 수준에서 전환보조금을 증액하는 시나리오를 적용하여 전환보조금 증가에 따른 효과분석을 수행하고자 한다. 그리고 수단전환에 따른 통행량을 분석하기 위하여 교통수요분석 패키지를 이용한 교통망 분석을 수행하고 이에 따른 오염물질 배출 감소량 및 사회경제적 편익을 산정하여 제시한다. 철도전환에 따른 사회경제적 편익은 줄어든 화물자동차 통행의 영향에 초점을 맞추어 산정하며, 교통시설 투자사업의 타당성 평가에서 활용되는 통행시간비용, 차량운행비용, 환경비용, 교통사고비용 절감분으로 산정한다.

II. 기존 연구 및 현황 검토

1. 전환교통지원사업

전환교통지원사업은 2009년 근거법령(지속가능교통물류발전법)이 제정되어 2010년부터 시행되었으며, 도로에서 전환하였거나 신규로 추가된 철도 및 연안해운 운송화물에 대하여 보조금을 지급하고 있다.

전환교통지원사업의 보조금 지급 대상은 화주, 운송사업자, 국제물류주선업자 등이며, 지급 방식은 기준금액(도로 운송 비용 - 셔틀수송을 포함한 철도 운송 비용)과 상한액((도로운송 사회적 비용 - 철도운송 사회적 비용)×30%) 사이에서 지원금을 신청하도록 되어있다.(한국철도물류협회, 2018) 즉, 철도전환교통지원사업은 화주 또는 운송업체가 철도로 수송수단을 전환할 경우 발생하는 사회적 편익의 일부를 보조금으로 지급하는 것으로 이해할 수 있다.

〈표 1〉 철도부문 전환교통지원사업 현황

사업연도	사업기간	전환목표 (만 톤)	사업금액 (억 원)	집행금액 (억 원)	전환톤수 (만 톤)	참여 업체
2010	'10.7~'11.12	100	25	19.5	102	14
2011	'11.6~'12.2	125	30	29.4	147	11
2012	'12.6~'13.2	279	40	33.1	212	23
2013	'13.5~'14.2	303	45	44.8	302	28
2014	'14.5~'15.2	302	40	39.9	321	20
2015	'15.5~'15.12	276	36	30.0	236	26
2016	'16.3~'16.12	260	32	24.5	199	24
2017	'17.5~'17.12	261	32	30.0	241	22
2018	'18.5~'18.12	241	32	31.3	237	26

자료: 국토교통부(2016), 『2016년도 철도업무편람』, p.119; 한국철도물류협회(2017, 2018, 2019), "전환교통협약사업자 공모 설명자료"

〈표 1〉에서 보듯이 철도부문의 전환교통지원사업은 2010년부터 꾸준히 시행되고 있다. 〈표 2〉에서는 2017~2018년 간 철도부문에서 전환이 이루어진 품목별 실적을 보여준다. 컨테이너 품목이 차지하는 비율이 가장 높고 이어서 철강, 시멘트, 일반화물 순으로 전환이 이루어진 것을 알 수 있다. 품목을 기준으로 보면 철도전환량 중 일반화물이 차지하는 비율이 크지 않음을 알 수 있다.

철도로 전환이 이루어진 주요 품목별 기종점을 살펴보면 컨테이너는 수도권에서 부산권(부산신항, 부산진역), 전북권에서 전남권(신광양역)으로의 전환이 대부분을 차지하여 경부축과 전라축의 화물차 통행감소효과가 큰 것으로 나타난다. 시멘트는 강원권(삼화역, 삼척역 등)과 충북권(입석리역, 도담역, 삼곡역 등)에서 수도권으로의 화물차 통행감소가 대부분이었으며, 철강은 전남권(광양역, 태금역), 경북권(괴동역), 경남권(태화강역), 수도권 간의 화물차 통행이 감소한 것으로 파악된다.²⁾

2) 한국철도물류협회 내부자료.

〈표 2〉 철도부문 품목별 전환교통사업 실적

구분	2017년		2018년	
	전환물동량 (천톤)	집행금액 (백만원)	전환물동량 (천톤)	집행금액 (백만원)
컨테이너	932	1,538	928	1,546
시멘트	665	387	747	567
철강	581	808	521	784
일반 ¹⁾	236	204	171	185
계	2,418	2,936	2,367	3,083

주: 1) 일반 품목은 유연탄, 제지 등의 화물임
 자료: 한국철도물류협회(2018, 2019), "전환교통 협약사업자 공모 설명자료"

2. 선행연구 검토

국내에서는 철도전환을 활성화하기 위한 다양한 연구가 수행되었다. 박범환·김충수·이강원(2009)은 보조금 정책을 고려한 적정 수송분담률 모형을 추정하였으며, 해당 모형을 컨테이너 화물에 적용한 결과 사회적 비용을 감소시키기 위해서는 철도와 DMT(Dual Mode Trailer)에 대한 보조금 정책이 유의미함을 제시하였다. 조삼현(2009)은 부산 신항권과 북항권의 철도물동량 예측에 따른 철도운송 활성화 방안을 검토하였으며, 우정욱·안준용·김형기(2009)는 컨테이너를 대상으로 철도전환의 주요 결정요인을 파악하여 철도수송서비스의 품질개선 및 모달시프트 촉진 방안을 제시하였다. 또한 구경모·오용식(2009)은 일본의 철도 모달시프트 정책과 사례를 분석하여 국내 철도화물수송 활성화에 필요한 정책 방안을 검토하였다.

우정욱·박석재·김은주(2011)는 화주 및 국제물류업체를 대상으로 한 설문조사를 토대로 친환경수송에 대한 평가를 분석하고 이를 토대로 철도 모달시프트의 가능성을 검토하였으며, 김현·문진수(2011)는 철도전환 촉진을 위하여 국내 모달시프트 보조금의 지원 방향과 현 제도의 발전방향을 제시하였다. 손지현(2011)은 국내 철도전환의 현황과 제약요인을 검토하고 철도전환을 활성화하기 위한 방안을 검토하였으며, 최부림·이강대(2011)는 기존 연구에서 제시된 모달시프트 활성화 정책과 국내 「지속가

능교통물류발전법」의 전환교통지원에 해당하는 정책과의 영향관계를 구조방정식 모형으로 분석하였다. 최창호(2012)는 도로에서 철도전환이 활성화되지 않는 저항요인을 분석하고 해당 요인을 반영한 수단선택모형을 추정하였으며, 모형 추정 결과를 토대로 컨테이너 화물의 철도전환 활성화 방안을 제시하였다. 소애림·신승식(2012)은 도로운송, 철도운송, 해상운송에 대한 사회적 비용을 추정하였으며, 사회적 비용을 최소화하기 위한 모달시프트 방향을 검토하였다.

국외에서는 철도전환에 따른 CO₂ 감축 효과를 분석한 연구가 다수 진행되었다. Li(2011)은 도로화물에서 철도화물로의 전환에 따른 물류비용 및 CO₂ 저감 효과를 분석하였으며, Bickford et al.(2014)은 철도전환 효과에 대해서 CO₂ 뿐 아니라 PM, NO_x 등 주요 대기오염물질의 대기확산효과도 고려하였다. Regmi and Hanaoka(2015)는 SP설문 결과를 토대로 철도화물 분담율을 산정하고, 이에 따른 CO₂ 감축 효과를 검토하였다. 철도전환의 온실가스 저감 효과를 검토한 연구는 최근에도 다수 진행되었으며, (Li and Zhang, 2020a, 2020b; Chen, Wu and Zong, 2020; Jonkeren, Francke and Visser, 2019; Tao, Wu and Zhu, 2017; Jiang, Zhang, Meng and Liu, 2020; Cavallaro, 2018) 특히 교통수요분석모형과 같은 분석틀을 활용한 연구(Jonkeren, Jourquin and Rietveld, 2011; Macharis, van Hoeck, Pekin and van Lier, 2010; Mostert, Caris and Limbourg, 2017; Nelldal and Andersson, 2012; Tsamboulas, Vrenken and Lekka, 2007; Zhang and Pel, 2016)도 이루어졌는데, Tsamboulas, Chiappetta, Karousos and Moraiti(2015)는 이탈리아에서 철도전환 기업에 제공하는 인센티브인 Ferrobonus의 사회경제적 효과를 살펴보기 위하여 화물수요 변화를 고려한 정량적 분석을 수행한 바 있다.

선행연구 검토 결과, 국내에서는 철도전환과 관련한 다양한 연구가 진행되었으나 사회경제적 효과에 대한 정량적인 연구는 찾기 어려웠다. 국외에서는 미세먼지, CO₂ 등 오염물질 저감효과를 분석한 연구결과가 대부분이었으며 철도전환으로 도로 통행량이 감소함에 따른 사회경제적 효

과를 분석한 사례는 드물었다. 철도전환에 따른 사회경제적 효과를 보다 객관적으로 분석하기 위해서는 도로와 철도의 분담을 변화에 따라 교통네트워크 상에서 발생하는 영향을 고려할 필요가 있다. 이러한 시사점을 바탕으로 본 연구에서는 교통시설개발사업의 타당성 평가 및 예비타당성조사 등에서 활용되는 교통수요분석모형을 활용하여 분석 시나리오에 따른 사회경제적 효과를 평가한다. 이를 위하여 국내 철도전환보조금 지원에 따른 철도화물 전환이 교통네트워크에 미치는 영향을 반영할 수 있는 교통수요분석 프로세스를 제시하고 그에 대한 사회경제적 효과를 정량적으로 도출하고자 한다.

Ⅲ. 철도전환 효과분석 방법

1. 분석 방법론

1) 분석의 범위와 대상

철도전환의 효과분석은 전국을 대상으로 이루어지며 2018년을 분석의 기준년도로 설정한다. 단, 분석 자료 중 2018년 기준 자료가 없는 경우 구득 가능한 최신 자료를 이용한다. 그리고 장래 효과분석을 위하여 2025년과 2030년을 장래 분석년도로 설정한다. 분석대상 화물품목은 앞서 <표 2>에서 제시된 것처럼 기존의 전환교통지원사업에서 전환실적이 있는 품목을 대상으로 한다.

2) 분석시나리오 설정

철도전환보조금 지원사업은 2010년부터 시행되고 있어 해당 사업의 시행 효과를 분석하기 위해서는 2010년 전·후를 비교해야 하나 2010년 당시 자료 구득에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 철도전환보조금이

기 시행 중인 것을 기준(미시행 대안)으로 하고 철도전환보조금을 확대하는 시나리오에 대한 결과와 비교함으로써 보조금의 효과를 파악하고자 하였다. 철도전환보조금 변화가 없는 미시행시 대안은 2025년과 2030년 국가교통DB³⁾에서 구축한 장래 여객 및 화물 기종점 간 통행수요를 이용하여 분석하며, 시행시 대안은 각 연도의 기종점 간 통행수요에 철도전환보조금이 1.5배 및 2배로 확대됨에 따라 감소한 화물자동차 통행량을 반영한 기종점 간 통행수요를 적용하여 분석한다.

국가교통DB로 제공되는 미시행시 기종점 간 통행수요는 당시 철도전환보조금이 반영되어 추정된 결과이다. 따라서 철도전환보조금 1.5배 대안은 기존 보조금에 0.5배만큼 보조금을 추가한 것과 동일하다. 예로, 특정 연도의 철도전환보조금이 32억 원이라면 여기에 16억 원의 철도전환보조금을 추가하였을 때의 영향을 살펴본다. 철도전환보조금을 2배로 확대할 경우에도 이와 동일한 방식으로 분석을 수행한다.

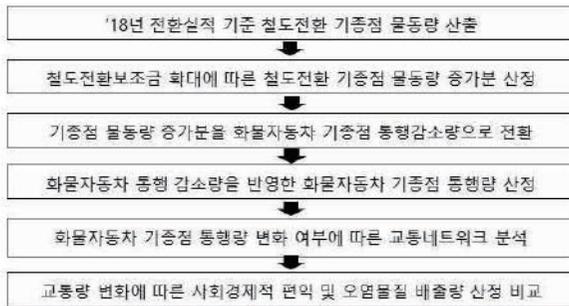
3) 분석 과정 및 방법

도로에서 철도로 물동량이 전환됨에 따라 도로 화물자동차의 감소로 인하여 발생하는 효과를 정량적으로 분석하는 것이 필요하다. 교통시설 투자사업의 효과를 평가할 때 경제성 측면에서의 편익을 주된 효과로 판단하는데, 이 때 해당 사업 미시행시 대비 시행시의 사회적비용 절감분을 편익으로 산정한다. 이러한 비용절감은 화물자동차 통행량이 교통네트워크에 미치는 영향이 줄어들면서 발생하는 것으로서, 통행시간절감, 차량 운행비절감, 교통사고비용절감, 환경비용절감을 들 수 있다. 본 연구에서도 도로에서 철도로의 물동량 전환으로 인하여 화물자동차 통행이 감소함으로써 발생하는 사회적비용 차이를 계상한다. 특히 환경비용절감분을 계산하는 과정에서 오염물질 배출 감소량이 산정되며 이 값을 통하여 철도 전환에 따른 직접적인 환경적 효과도 살펴볼 수 있다.

3) 한국교통연구원은 「국가통합교통체계효율화법」에 근거하여 국가교통조사를 5년 단위로 수행하여 교통수요 분석을 위한 기초자료인 국가교통DB를 매년 구축함.

철도전환에 따른 효과를 분석하기 위해서는 먼저 철도전환으로 인한 교통수요의 변화를 분석할 필요가 있다. 철도전환보조금 확대시 도로에서 철도로의 물동량 전환에 따른 화물자동차 통행변화량을 산정하기 위한 교통수요분석 방법은 <그림 1>과 같다.

<그림 1> 분석 흐름도



먼저 2018년 철도전환보조금을 지원한 실적을 기준으로 철도로 전환한 기종점 물동량을 산출한다. 그리고 산출된 철도전환 기종점 물동량을 기준으로 철도전환보조금 확대에 따른 철도전환 기종점 물동량 증가분을 산정한다. 철도로 전환되는 화물의 특성을 보면, 물동량이 전환되는 주요 기종점이 품목별로 특화되어 있다. 예로, 시멘트는 강원도와 충북 지역에, 철강은 수도권과 경북, 수도권과 전남, 충남권과 수도권 간에, 컨테이너는 수도권과 인천(인천항), 부산(부산항), 전남(광양항) 간에 철도전환이 주로 발생한다. 따라서 모든 기종점에 대하여 일괄적으로 물동량 전환을 반영하기 보다는 품목별로 특정 기종점에 대해서만 물동량이 전환되는 것으로 분석하는 것이 합리적이다. 본 연구에서는 철도전환실적자료를 기준으로 출발 및 도착 철도역을 해당 지역 기종점 존에 매칭하여 시나리오별 기종점 간 물동량 자료를 작성한다.

철도물동량 증가분은 도로물동량에서 전환된 것이므로 증가한 철도 기종점 물동량만큼 도로 기종점 물동량이 감소하고 이를 운송하는 화물자동차 통행량이 감소하는 것으로 분석한다. 전환보조금지원사업을 통하여 전

환되는 화물은 컨테이너, 시멘트, 철강 등 대형 화물자동차로 운송되는 품목이므로 소형 또는 중형 화물자동차에서 전환되는 물량은 미미하다. 따라서 전환된 도로물동량의 감소분만큼 줄어든 대형 화물자동차 통행량 감소분만을 분석에 반영한다. 즉 기존 화물자동차 통행수요에서 대형 화물자동차 통행 감소량을 차감한 화물자동차 통행수요를 적용하여 교통네트워크 분석을 수행한다.

교통네트워크 분석은 도로, 철도 등 교통시설을 링크, 노드 및 해당 속성을 포함한 전자파일로 작성된 교통망에 기종점 간 통행수요를 최적경로 선택모형을 이용하여 배정하는 방법으로서, 교통시설 투자사업에 대한 적정성 평가를 수행할 때 자주 사용되는 링크 통행량 추정방법이다. 이러한 교통네트워크 분석을 통하여 특정 링크 및 노드를 지나는 통행량을 정량적으로 도출하게 된다. 일반적으로 통행량은 일 기준으로 추정한 후 연간 단위로 집계하여 사용한다.

또한 철도화물운송에서 철도역까지의 도로서틀운송이 수반되는 특성을 고려하여, 철도로 전환된 물동량에 대해 출발지 또는 목적지에서 철도역까지 도로서틀운송량 증가량을 반영하여 분석한다. 도로에서 철도로 전환된 물동량에 의한 화물자동차 통행대수 변화량을 계산하기 위하여 화물자동차 대당 평균적재량을 적용한다. 컨테이너의 경우 TEU 단위를 기준으로 적용하며 공컨테이너는 고려하지 않고 트레일러 대당 1.5TEU를 운송하는 것으로 가정한다. 시멘트, 철강 등 비컨테이너는 국가교통DB에서 조사한 평균적재량을 참고하되, 철강과 시멘트의 특성과 일평균 통행을 기준으로 광업의 적재톤수인 11.8톤/대⁴⁾를 적용한다.

4) 기초자료 수집

효과분석을 위한 기초자료인 화물품목별 물동량 자료는 국가교통DB로 구축되는 전국 지역간 화물O-D⁵⁾ 자료(이하 화물O-D)를 이용한다. 국토

4) 한국교통연구원(2017), 『전국화물통행실태조사』, p.203.

5) O-D는 Origin-Destination을 줄여서 쓰는 용어로서 보통 기종점 간 통행수요를 의미함.

교통부는 국가교통조사·DB 시스템 운영 및 유지보수 사업을 매년 수행하고 있으며 이를 통하여 각종 교통통계 및 분석데이터를 제공하고 있다. 본 연구에서는 국가교통DB로 제공되는 2018년 기준의 화물O-D 자료를 사용하며, 해당 자료에서 2025년부터 5년 단위로 추정하여 제공하는 장래 화물O-D 전망자료를 이용한다.

화물O-D는 크게 물동량 O-D와 화물자동차 O-D로 구분된다. 물동량 O-D는 화물 톤을 통행의 기본단위(톤/년)로 하는 화물수요 자료로서 도로, 철도, 항공, 연안해운으로 구분된다. 여기서 도로화물은 한국표준산업분류 기준으로 33개 품목으로 구분하는데 도소매업과 컨테이너 화물을 별도 품목으로 구분한다. 철도화물은 컨테이너와 비컨테이너 화물로 세분되며 항공화물은 품목구분을 하지 않는다. 화물자동차 O-D는 화물차량수를 통행의 기본단위(대/일)로 하며, 소형(2.5톤 미만), 중형(2.5톤 이상~8.5톤 이하), 대형(8.5톤 초과)으로 구분하여 제공한다.

교통네트워크는 화물뿐만 아니라 여객 운송수단도 함께 이용하므로 화물자동차 감소로 인한 효과분석을 위해서는 화물운송수단뿐만 아니라 여객운송수단도 함께 고려하는 것이 필요하다. 따라서 승용차, 버스 등 여객 운송수단 O-D도 화물O-D와 동일한 기준년도의 자료를 이용하여 분석에 함께 적용한다.

2. 효과분석 시 고려사항

도로물동량을 철도물동량으로 전환할 경우 도로의 화물자동차 통행량은 감소하지만 반대로 철도통행량은 증가하게 된다. 즉 화물자동차 통행량 감소에 따른 철도통행량 증가를 분석에 반영할 필요가 있다. 그러나 화물자동차의 경우 단위 통행이 대당 통행이기 때문에 분석이 비교적 용이하지만 철도통행은 단위 편성 당 화차수가 상이하여 화차수의 증가를 분석에 반영하는 것이 용이하지 않다. 또한 열차편성이 증가하는 경우에도 디젤열차인지 전동열차인지에 따라 환경에 미치는 영향이 상이하게 고려되어야 한다. 단, 국내 전동열차비율이 높고 화물수송에 전동차 투입이

늘어나는 추세이므로, 본 연구에서는 도로에서 전환되는 물동량은 모두 전동열차를 이용한다고 가정한다.

전환된 물동량을 추가로 운송하기 위해서는 전동열차 추가 운영이 필요하며, 추가되는 전력 소요로 인한 추가 전력 생산으로 오염물질 배출이 발생한다. 그러나 본 연구에서는 수송부문에 국한하여 오염물질 배출을 분석하는 것을 전제로 하므로, 전력 생산 따르는 온실가스 배출은 고려하지 않는다. 따라서 열차운행 증가에 따른 영향을 고려하지 않고 화물자동차 통행 감소에 따른 영향만을 고려하도록 한다.

IV. 철도전환효과 분석 결과

1. 전환교통량 및 교통망 분석

1) 전환교통량

철도전환효과 분석을 위하여 적용되는 시나리오별 전환물동량 수준을 <표 3>에 제시하였다. 기준 시나리오는 2018년 전환교통사업의 기종점 간 전환실적을 바탕으로 산정되었으며, 보조금 증액 대안의 경우 기준 전환물동량이 보조금 수준에 따라 선형으로 증가한다고 전제하였다. 또한 전환물동량에 비해 원 물동량이 적은 기종점의 경우 원 물동량에 한해서 전환되는 것으로 분석하였다.

<표 3> 시나리오별 전환물동량

(단위: 톤)

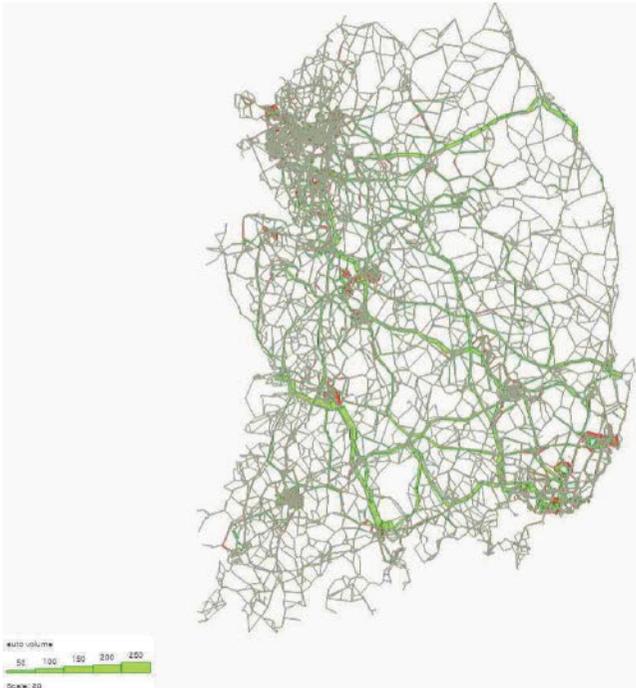
품목	기준 시나리오	보조금 1.5배	보조금 2배
컨테이너	927,792	1,391,688	1,855,584
시멘트	746,825	1,132,377	1,509,836
철강	520,065	780,098	1,040,130
일반	170,753	256,130	341,506
계	2,373,528	3,560,292	4,747,056

주: 기준대안은 2018년 철도부문 전환교통사업 실적치

2) 교통망 분석

시나리오별 전환물동량을 반영하여 기종점 간 화물자동차 O-D를 구축하고 교통수요 분석 프로그램을 이용하여 교통망 분석을 수행하였다. <그림 2>는 분석 시나리오 중 2030년을 기준으로 철도전환보조금을 2배 확대할 때의 도로교통망에서의 통행량 차이를 보여준다. 그림에서 녹색으로 보이는 선이 해당 도로구간의 통행량이 감소한 것을 나타내며 그 굵기는 차이의 크기를 보여준다. 그림에서 보듯이 철도전환에 대한 교통망 분석을 수행한 결과, 주요 품목(컨테이너, 철강, 시멘트)의 기종점이 지나는 경부축, 호남축, 강원축에서 철도전환으로 인해 화물자동차 통행량 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 이렇게 분석된 도로구간별 통행량 차이는 오염물질 배출량 및 사회경제적 비용절감분을 추정하는 데 이용한다.

<그림 2> 2030년 철도전환 전·후 도로교통량 차이



2. 오염물질 배출감소량

1) 산정방법

도로 상에서 차량 한 대가 유발하는 대기오염물질 배출량은 차량의 주행속도와 주행거리에 의존한다. 일반적으로 주행거리에 비례하여 배출량은 늘어나지만, 일정 수준까지는 차량의 주행속도가 높아짐에 따라 배출량이 감소한다. 교통시설 투자평가시에 대기오염물질 배출량은 링크별 배출량의 누적합으로 산정되며, 링크별 배출량은 링크별, 통행속도별, 대기오염물질별 배출계수와 링크통행거리의 곱으로 구해진다. 본 연구에 적용할 배출계수는 <표 4>와 같이 국토교통부(2017, pp.205-206)에서 차종별, 속도별, 대기오염물질별로 제시한 값을 토대로 통행속도에 대한 회귀식을 차종별로 도출하여 적용한다.

〈표 4〉 차종별·속도별·대기오염물질별 배출계수(일부)

(단위: g/km)

차종	속도	CO	NO _x	VOC	PM _{2.5}	CO ₂
소형트럭	10	0.80	0.98	0.11	0.08	454.17
	20	0.53	0.62	0.07	0.06	337.15
	30	0.41	0.48	0.06	0.05	283.48

중형트럭	10	3.82	5.39	0.92	0.20	740.40
	20	2.47	3.93	0.61	0.14	579.59
	30	1.91	3.26	0.48	0.12	502.26

대형트럭	10	7.03	25.21	1.64	0.79	1490.85
	20	4.29	17.98	1.11	0.57	1140.87
	30	3.24	14.77	0.88	0.47	975.58

자료: 한국개발연구원(2017), "도로철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제6판) 전문가 간담회 자료"; 국토교통부(2017), 「교통시설 투자평가지침 제6차 개정」, pp.205-206에서 재인용

2) 산정결과

〈표 5〉는 철도전환보조금 시나리오별 오염물질 배출량을 보여준다. 철도전환보조금을 확대할 경우 기본 시나리오 대비 오염물질 배출량이 감소하는 것을 알 수 있다. 도로통행으로 인하여 발생하는 오염물질 배출량은 CO₂를 제외하면 NO_x가 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 〈표 6〉은 보조금 확대에 따른 오염물질 배출 감소량과 감소비율을 보여준다. 철도전환보조금을 확대할 경우 오염물질 배출량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 오염물질별로 보면 NO_x의 감소비율이 상대적으로 높은 편이며 CO와 CO₂ 배출량 감소비율은 그보다 작은 수준이다. 이는 다른 오염물질에 비해 NO_x가 단위 주행 시 대형 화물자동차의 배출계수가 크고 차급 간 차이도 크기 때문인 것으로 해석된다.

〈표 5〉 오염물질 배출량

(단위: 톤/년)

분석년도	시나리오	CO	NO _x	VOC	PM _{2.5}	CO ₂
2025년	기본 시나리오	97,005	233,797	23,479	8,892	53,802,184
	보조금 1.5배	96,986	233,666	23,470	8,889	53,790,992
	보조금 2배	96,975	233,583	23,464	8,888	53,784,128
2030년	기본 시나리오	104,102	255,599	25,233	9,432	56,577,896
	보조금 1.5배	104,086	255,496	25,226	9,430	56,569,556
	보조금 2배	104,074	255,422	25,220	9,429	56,563,068

〈표 6〉 오염물질 배출 감소량

(단위: 톤/년)

분석년도	시나리오	CO	NO _x	VOC	PM _{2.5}	CO ₂
2025년	보조금 1.5배	19	131	9	2	11,192
		0.02%	0.06%	0.04%	0.03%	0.02%
	보조금 2배	30	214	15	4	18,056
		0.03%	0.09%	0.06%	0.04%	0.03%
2030년	보조금 1.5배	15	103	7	2	8,340
		0.01%	0.04%	0.03%	0.02%	0.01%
	보조금 2배	27	178	13	3	14,828
		0.03%	0.07%	0.05%	0.03%	0.03%

3. 사회경제적 편익

1) 산정방법

일반적으로 사업 미시행 대비 사업 시행 시의 사회적 비용 절감분을 편익이라고 부른다. 교통시설투자평가지침⁶⁾과 도로 철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침⁷⁾에는 교통사업에서의 편익산정 방법을 제시하고 있다. 현재 예비타당성조사 표준지침은 2008년에 발간되어 이후 개정되지 않았으며 교통시설투자평가지침은 2017년에 6차 개정판이 발간되었다. 따라서 본 연구에서는 교통시설투자평가지침 상의 편익항목별 산정방법과 원단위를 적용하여 분석한다. 단, 지침 상의 2015년 기준 비용 원단위에 대해서는 소비자물가지수를 적용하여 2018년 기준 실질가격으로 환산하여 적용한다. 앞서 효과 분석방법에 제시한 것처럼 본 연구에서는 전환보조금 확대에 따른 통행시간절감, 차량운행비용절감, 교통사고절감, 환경비용절감을 사회경제적 효과로 산정한다.

통행시간절감액은 링크별 통행시간 차이를 누적한 값에 통행시간가치를 적용하여 산정하며, 차량운행비용절감액은 링크별 대·km 차이를 누적한 값에 차종별 차량운행비용 원단위를 적용하여 산정한다. 교통사고절감액은 링크별 대·km 차이를 누적한 값에 인적 및 물적 사고유형별 사고비용 원단위를 적용하여 산정하며, 환경비용절감액도 링크별 대·km 차이를 누적한 값에 오염물질별 원단위를 적용하여 산정한다. 오염물질별 원단위는 피해비용 관점의 사회적 비용이며, 교통시설투자평가지침에서 차종별, 속도별 원단위 값이 제공된다. 모든 편익은 승용차, 버스, 화물자동차(소형, 중형, 대형)를 구분하여 산정한다.

6) 국토교통부, 2017, 『교통시설 투자평가지침 제6차 개정』.

7) 한국개발연구원, 2008, 『도로철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』.

2) 산정 결과

〈표 7〉을 보면 철도전환보조금 지원 예산을 현재에 비해 1.5배와 2배로 확대할 경우 2030년 기준으로 각각 174.6억 원과 310.0억 원의 사회적 비용절감이 발생하는 것으로 산정되었다. 이들 중 통행시간절감과 차량운행 비용절감이 차지하는 비중이 큰 것으로 나타났으며 환경비용절감도 약 40억 원으로 총 절감액의 13% 수준을 차지하는 것으로 분석되었다. 보조금이 2배가 되면 보조금이 1.5배일 때에 비하여 통행시간절감액 비율이 소폭 증가하는데 이는 화물자동차 통행량 감소로 인한 도로혼잡 감소 영향이 커진 데 따른 것으로 분석된다.

〈표 7〉 사회경제적 편익산정결과

(단위: 백만원)

기준년도	대안	통행시간 절감	차량운행비용 절감	교통사고 절감	환경비용 절감	총 편익
2030년	보조금 1.5배	7,632	7,000	524	2,304	17,460
		43.7%	40.1%	3.0%	13.2%	100.0%
	보조금 2배	14,512	11,552	936	4,003	31,003
		46.8%	37.3%	3.0%	12.9%	100.0%

주: 오염물질별 단위당 사회적 비용은 한국환경정책·평가연구원(2015) 활용

철도전환보조금은 컨테이너, 철강, 시멘트 등 철도전환이 용이한 특정 품목에 대하여 특정 기종점 간의 물동량에만 영향을 주므로 네트워크에 미치는 영향이 크지 않다. 또한 이러한 물동량은 대부분 대형화물자동차로만 운송되므로 철도전환보조금이 소형이나 중형 화물자동차 통행에는 영향을 미치지 못한다. 따라서 철도전환보조금 지원은 매우 제한적인 부문에서만 효과를 얻을 수 있다. 그러나 위 분석결과에서 보듯이 2030년 기준으로 철도전환보조금을 2배(32억 추가)로 지원할 경우, 총 편익 310억 원 중 환경비용절감이 40억 원에 달하므로 전환교통지원사업으로 지원하는 금액에 비하여 얻을 수 있는 사회경제적 효과는 충분한 것으로 판단된다.

추정된 연구결과의 적정성을 살펴보기 위하여 철도전환에 따른 사회경제적 효과를 분석한 Tsamboulas et al.(2015)의 연구결과와 비교해 보았다. 이 연구에서는 철도전환에 대한 투입비용 대비 편익이 5.26(2020년), 5.02(2025년)로 도출되어 본 연구 결과인 10.91(보조금 1.5배, 2030년), 9.69(보조금 2배, 2030년)에 비해 작았다. 그러나 선행 연구는 교통망에서의 효과를 고려하지 못하였고 화물자동차 통행량 감소에 따른 차량운행비 절감, 교통사고절감을 고려하지 않은 결과임을 고려할 필요가 있다. 선행 연구와 유사하게 통행시간절감과 환경비용절감만을 고려할 경우 본 연구의 투입비용 대비 편익은 6.21(보조금 1.5배, 2030년), 5.78(보조금 2배, 2030년)로 산정되었다.

편익산정 결과를 보면 보조금이 2배인 경우 보다 보조금이 1.5배인 경우 총 편익의 한계 증가량이 더 큰 것을 알 수 있다. 즉 보조금 증가로 인한 편익의 증가는 선형적인 형태를 보이지 않았다. 이는 일부 기종점의 경우 당초 물동량이 매우 작아서 보조금이 증가하더라도 동일한 수준의 물동량 전환이 추가로 일어나지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 즉 보조금이 1.5배 증가할 때는 해당 보조금 지급에 상응하는 수준의 물동량 전환이 일어나지만 보조금이 2배일 때 그렇지 못한 기종점이 발생하였기 때문이다. Tsamboulas et al.(2015)의 연구에서도 시간이 지나면서 보조금 투입 대비 전환통행당 편익증가분이 줄어드는 결과가 도출되었다.

V. 결론

본 연구에서 철도전환보조금이 운송영역에서 미치는 사회경제적인 효과 및 환경적인 효과를 정량적으로 분석해보고자 철도전환보조금 확대 시나리오에 대한 교통 분석을 수행하였다. 그 결과, 철도전환보조금을 확대함에 따라 도로에서 철도로의 운송수단 전환을 통하여 감소한 화물자동차 통행은 교통네트워크에 사회경제적인 비용절감뿐만 아니라 오염물질 감

축효과를 가져다주는 것으로 나타났다. 철도전환보조금 지원을 통한 화물 수단전환은 주로 대형 화물자동차가 담당하는 장거리 대량화물에 대하여 이루어지므로 도시부보다는 지역 간 통행에서 대부분의 사회경제적 효과가 발생하며, 투입되는 보조금 재원에 비하여 발생하는 효과가 더 큰 것으로 추정되었다.

이러한 철도전환의 효과에도 불구하고 도로위주의 화물운송 구조가 고착화되어 철도로의 전환이 용이하지 않은 운송시장 환경은 철도전환의 장애요소로 작용하고 있다. 특히 현행 철도전환 보조금 체계는 신청 기준액과 상한액 중 적은 금액으로 신청하게 되어 있으며, 이 중 상한액은 도로 운송 시의 사회·환경적 비용과 철도운송 시의 사회·환경적 비용 간 차이의 30%로 정해진다. 여기서 사회·환경적 비용을 산정하기 위해 적용되는 원단위는 대기오염, 온실가스, 소음 등을 포함하여 산출되는 값으로서 2009년에 추정된 이후 갱신된 적이 없어 최근 국내 여건을 고려한 원단위의 갱신이 필요하다고 하겠다.

이러한 원단위 갱신 등을 통하여 철도전환에 따른 사회적 편익을 합리적으로 산정한 수준에서의 보조금 지원이 필요하며, 이와 함께 철도전환 지원사업을 위한 지속적인 재원의 확보와 전환물량유치를 위한 노력이 수반되어야 한다. 또한 인프라 측면에서도 철도물류시설은 여객시설 대비 투자우선순위가 낮아 시의성 있는 시설개선이 이루지지 못하였으므로, 철도물류의 경쟁력 확보를 위해서는 철도화물 거점역의 물류기능을 확대하고 이를 위한 유효장 확장, 선형개량 등의 시설개선이 반드시 수반될 필요가 있다.

본 연구에서는 도로화물이 철도화물로 전환됨에 따라 발생하는 오염물질배출량과 사회경제적 효과를 산정하기 위한 교통수요분석 프로세스를 제시하고 정량적인 결과를 도출하였다. 비록 보조금 증가에 대한 가상적인 시나리오를 대상으로 분석을 수행하였으나 화물운송부문에서 전환교통에 따른 정량적인 효과를 도출하기 위한 방법론을 제시하였다는 점에서도 연구의 의의를 찾을 수 있다.

한편 본 연구에서는 물동량이 도로에서 철도로 전환함에 따라 철도운송이 증가하는 데 따른 영향은 고려하지 못하였다. 철도물동량 증가로 디젤 및 전기 전동차의 운행 증가 시 철도부문에서의 오염물질 배출량이 증가할 여지가 있기 때문에 향후 화물수단 전환에 따른 오염물질 가감을 보다 상세하게 고려해야 할 필요가 있다. 또한 본 연구의 기준 자료로 활용한 국가교통DB의 화물수요 자료는 화물이동을 분석하는데 사용할 수 있는 유일한 자료이지만, 전국 시군구 단위의 화물이동 조사결과를 기반으로 추정하였기 때문에 상세한 지역단위의 기종점 간 물류 특성을 정확히 반영하지 못할 수 있다. 이러한 원자료의 한계는 유사한 분석 시에 분석 상의 한계로서 고려될 필요가 있다.

■ 참고문헌 ■

- 구경모·오용식, 2009, “철도화물수송 활성화를 위한 모달시프트(Modal Shift) 정책방안에 관한 연구: 일본의 정책과 사례를 중심으로,” 『물류학회지』, 19(2), pp.161-189.
- 국토교통부, 2016, 『2016년도 철도업무편람』, 세종: 국토교통부.
- _____, 2017, 『교통시설 투자평가지침 제6차 개정』, 세종: 국토교통부.
- 김현·문진수, 2011, “철도물류활성화를 위한 모달시프트 보조금제도 발전방향,” 『한국철도학회 논문집』, 14(2), pp.181-187.
- 박법환·김충수·이강원, 2009, “보조금 정책을 고려한 적정 수송 분담률 추정 모형,” 『한국철도학회 논문집』, 12(2), pp.205-211.
- 소애림·신승식, 2012, “피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정,” 『한국항만경제학회지』, 28(4), pp.1-37.
- 손지현, 2011, “철도 모달시프트 활성화 방안을 위한 연구: 철도 네트워크 중심으로,” 석사학위논문, 고려대학교, 서울.
- 우정옥·안준용·김형기, 2009, “우리나라 철도컨테이너 수송서비스 평가와 과제,” 『한국철도학회 논문집』, 12(5), pp.751-760.
- 우정옥·박석재·김은주, 2011, “화주·국제물류업체의 친환경수송에 대한 인식평가와 시사점,” 『국제상학』, 26(2), pp.93-111, DOI: 10.18104/kaic.26.2.201106.93.
- 조삼현, 2009, “신항과 북항의 철도물동량 예측에 따른 철도운송 활성화 방안에 관한 연구,” 『한국항만경제학회지』, 25(4), pp.131-146.
- 최부림·이강대, 2011, “전환교통 지원 정책이 Modal Shift 활성화에 미치는 영향,” 『물

- 류학회지』, 21(5), pp.183-199.
- 최창호, 2012, “컨테이너 육상운송의 모달 쉬프트 저항요인 평가 연구,” 『대한교통학회지』, 30(3), pp.17-30, DOI: 10.7470/jkst.2012.30.3.017.
- 한국개발연구원, 2008, 『도로철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』, 서울: 한국개발연구원.
- _____, 2017, 『도로철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제6판) 전문가 간담회』, 한국개발연구원.
- 한국교통연구원, 2017, 『전국화물통행실태조사』, 세종: 국토교통부.
- 한국환경정책·평가연구원, 2015, 『대기오염물질 사회적 비용 재평가 연구』, 세종: 환경부.
- Bickford, E., T. Holloway, A. Karambelas, M. Johnston, T. Adams, and M. Janssen et al., 2014, “Emissions and air quality impacts of truck-to-Rail freight modal shift in the Midwestern United States,” *Environmental Science & Technology*, 48(1), pp.446-454, DOI: 10.1021/es4016102.
- Cavallaro, F., 2018, “Policy implications from the economic valuation of freight transport externalities along the Brenner corridor,” *Case Studies on Transport Policy*, 6, pp.133-146, DOI: 10.1016/j.cstp.2017.11.008.
- Chen, S., J. Wu, and Y. Zong, 2020, “The impact of the freight transport modal shift policy on China’s carbon emissions reduction,” *Sustainability*, 12(2), 583, DOI: 10.3390/su12020583.
- Jiang, J., D. Zhang, Q. Meng, and Y. Liu, 2020, “Regional multimodal logistics network design considering demand uncertainty and CO₂ emission reduction target: A system-optimization approach,” *Journal of Cleaner Production*, 248, 119304, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119304.
- Jonkeren, O., J. Francke, and J. Visser, 2019, “A shift-share based tool for assessing the contribution of a modal shift to the decarbonisation of inland freight transport,” *European Transport Research Review*, 11, 8, DOI: 10.1186/s12544-019-0344-x.
- Jonkeren, O., B. Jourquin, and P. Rietveld, 2011, “Modal-split effects of climate change: The effect of low water levels on the competitive position of inland waterway transport in the river Rhine area,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(10), pp.1007-1019, DOI: 10.1016/j.tra.2009.01.004.
- Li, G., 2011, “Approach for evaluating the effectiveness of rail freight transport in reducing logistics costs and carbon dioxide (CO₂) emission,” *Quarterly Report of RTRI*, 52(2), pp.76-80, DOI: 10.2219/rtrqr.52.76.
- Li, L. and X. Zhang, 2020a, “Integrated optimization of railway freight operation

- planning and pricing based on carbon emission reduction policies," *Journal of Cleaner Production*, 263, 121316, DOI:10.1016/j.jclepro.2020.121316.
- _____, 2020b, "Reducing CO₂ emissions through pricing, planning, and subsidizing rail freight," *Transportation Research Part D*, 87, 102483, DOI: 10.1016/j.trd.2020.102483.
- Macharis, C., E. van Hoeck, E. Pekin, and T. van Lier, 2010, "A decision analysis framework for intermodal transport: Comparing fuel price increases and the internalization of external costs," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(7), pp.550-561, DOI: 10.1016/j.tra.2010.04.006.
- Mostert, M., A. Caris, and S. Limbourg, 2017, "Road and intermodal transport performance: The impact of operational costs and air pollution external costs," *Research Transportation Business & Management*, 23, pp.75-85, DOI: 10.1016/j.rtbm.2017.02.004.
- Nelldal, B. L. and E. Andersson, 2012, "Mode shift as a measure to reduce greenhouse gas emissions," *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, 48, pp.3187-3197, DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1285.
- Regmi, M. B. and S. Hanaoka, 2015, "Assessment of modal shift and emissions along a freight transport corridor between Laos and Thailand," *International Journal of Sustainable Transportation*, 9, pp.192-202, DOI: 10.1080/15568318.2012.754972.
- Rodrigues, V. S., S. Pettit, I. Harris, A. Beresford, M. Piecyk, and Z. Yang et al., 2015, "UK supply chain carbon mitigation strategies using alternative ports and multimodal freight transport operations," *Transportation Research Part E*, 78, pp.40-56, DOI: 10.1016/j.tre.2014.12.013.
- Tao, X., Q. Wu, and L. Zhu, 2017, "Mitigation potential of CO₂ emissions from modal shift induced by subsidy in hinterland container transport," *Energy Policy*, 101, pp.265-273, DOI: 10.1016/j.enpol.2016.11.049.
- Tsamboulas, D., A. Chiappetta, I. Karousos, and P. Moraiti, 2015, "The ferrobonus incentive for achieving rail modal shift: A socio-economic evaluation," *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, Washington, DC United States, pp.11-13.
- Tsamboulas, D., H. Vrenken, and A. M. Lekka, 2007, "Assessment of a transport policy potential for intermodal mode shift on a European scale," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(8), pp.715-733, DOI:10.1016/j.tra.2006.12.003.

Zhang, M. and, A. J. Pel, 2016, "Synchromodal hinterland freight transport: Model study for the port of Rotterdam," *Journal of Transport Geography*, 52, pp.1-10, DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.02.007.

국가 대기오염물질 배출량 서비스, <http://airemiss.nier.go.kr>, [2019.6.20]

한국철도물류협회, 2017, "2017 전환교통협약사업자 공모 설명자료," <http://www.klaru.co.kr/sub/traffic/notice.asp>, [2018.7.3]

_____, 2018, "2018 전환교통협약사업자 공모 설명자료," <http://www.klaru.co.kr/sub/traffic/notice.asp>, [2018.7.3]

_____, 2019, "2019 전환교통협약사업자 공모 설명자료," <http://www.klaru.co.kr/sub/traffic/notice.asp>, [2020.7.1]

박민철: 서울대학교 지구환경시스템공학부에서 교통공학 박사학위를 취득하고 현재 한국교통대학교 철도경영·물류학과에서 부교수로 재직 중이다. 주요 연구분야는 교통물류 계획 및 정책 분야이다(minchoul@ut.ac.kr).

한진석: 서울대학교 건설환경공학부에서 교통공학 박사학위를 취득하고 현재 한국환경연구원에 연구위원으로 재직 중이다(jshahn@kei.re.kr).

김수현: 서울대학교 지구환경시스템공학부에서 교통공학 박사학위를 취득하고 현재 한국교통연구원 철도교통연구본부에서 부연구위원으로 재직 중이다(sh.kim@koti.re.kr).

투 고 일: 2021년 04월 27일

심 사 일: 2021년 05월 04일

게재확정일: 2021년 08월 01일