

Feasibility Study on Introduction of Piggy-back System by Applying Transport Database

Yong-Jae Lee*, Chulung Lee*, Yong-Hoon Kim**, Seong-Ho Han***

*Postgraduate Student, Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University, Seoul, Korea

*Professor, Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University, Seoul, Korea

**Researcher, Logistics system Research Team, Korea Railroad Research Institute, Uiwang, Korea

***Researcher, Smart Electrical & Signaling Team, Korea Railroad Research Institute, Uiwang, Korea

[Abstract]

In this study, The goal is to analyze the feasibility of introducing a Piggyback system that can reduce the time and cost incurred by transshipment work and improve the transportation speed when transporting complex cargo by rail. To this end, the feasibility analysis methodology is reviewed through domestic and international literature review. In order to quantitatively derive the feasibility analysis values, a transportation database was applied to develop a freight transport simulation model and a freight demand prediction model for major freight transport O-D routes with a transportation distance of 200 km or more. As a result of analyzing economic feasibility by setting the analysis period to 15 years on the premise that the Piggyback System will be introduced on major cargo transport O-D routes in 2025, the NPV value was positive and the B/C value was 1.18, indicating that the Piggyback system was economical. The proposed research method can be meaningful data for establishing transportation policies that can improve the competitiveness of railroad transportation.

▶ **Key words:** Piggyback system, Transport Database, Transportation, Transshipment Cargo, Multi-modal, Modal Shift

[요 약]

본 연구는 철로 복합화물 운송 시 환적 작업으로 인해 발생하는 소요 시간과 비용을 줄이고 운송 속도 향상이 가능한 피기백시스템의 도입 타당성을 분석하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 국내외 문헌검토를 통해 타당성 분석방법론을 검토한다. 타당성 분석 값을 정량적으로 도출하기 위해 교통 데이터베이스를 적용하여 운송거리가 200KM이상인 주요 화물 운송 O-D 노선에 화물 운송 시뮬레이션 모델과 운송 수단별 화물 수요 예측 모델을 개발하였다. 2025년 주요 화물 운송 O-D 노선에 피기백시스템이 도입된다는 전제로 분석기간을 15년으로 설정하여 경제적 타당성을 분석한 결과 NPV 값이 양수이고 B/C값이 1.18로 도출되어 피기백시스템이 경제성이 있는 것으로 나타났다. 제안된 연구 방법은 철도운송의 경쟁력을 향상할 수 있는 교통 정책 수립에 유의미한 자료가 될 수 있다.

▶ **주제어:** 피기백시스템, 교통 데이터베이스, 운송 수단, 환적화물, 복합수송, 모달 시프트

-
- First Author: Yong-Jae Lee, Corresponding Author: Seong-Ho Han
 - *Yong-Jae Lee (yj11021@korea.ac.kr), Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University
 - *Chulung Lee (leecu@korea.ac.kr), Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University
 - **Yong-Hoon Kim (yhkim@krri.re.kr), Logistics system Research Team, Korea Railroad Research Institute
 - ***Seong-Ho Han (shhan@krri.re.kr), Smart Electrical & Signaling Team, Korea Railroad Research Institute
 - Received: 2021. 11. 29, Revised: 2021. 12. 30, Accepted: 2022. 01. 03.

I. Introduction

최근 소비 트렌드의 변화는 전자상거래의 급격한 성장을 통해 화물물동량의 증가를 야기하였다. 2020년 대한민국의 택배 물동량은 전년비 20.9% 증가하였다[1]. 국내 화물의 교통수단별 수송실적을 살펴보면 도로 부문이 가장 큰 비중을 차지하는데 화물 트럭을 통한 도로수송이 수단별 국내화물 수송분담률에 90.9%를 차지한다[2].

도로수송 위주의 화물운송체계는 다양한 문제를 야기하는데 먼저 환경파괴의 문제가 있다. 화물 운송으로 인한 온실가스 배출은 전체 온실가스 배출량의 14%를 차지하고 있다[3]. 온실가스배출량이 철도대비 월등히 높은 도로 운송수단 위주의 화물운송은 물동량 증가에 따른 온실가스 배출증가를 가속시킨다[4]. 그 다음으로 교통혼잡의 문제가 있다. 도로수송 위주의 화물운송체계는 도로교통의 혼잡을 야기하고 도로시설 유지보수 비용을 증가시키고 대형 교통사고의 주범으로 지목된다[5].

위와 같은 문제를 완화하기 위해 도로수송대비 친환경적이며 도로수송 비중도 낮출 수 있는 철도교통의 경쟁력 강화를 통해 도로를 통해 운송하던 화물을 철도로 전환하는 전환교통(Modal Shift)의 실현이 필연적이다. 하지만 철도복합운송의 가장 큰 문제점은 철도 수단의 특성상 트럭과 철도와의 연계를 위한 환적단계를 필연적으로 거친다는 단점이 있으며, 환적단계에서 발생하는 시간과 비용의 증가로 인해 철도의 경쟁력이 악화된다는 것이다[6].

환적단계에서 발생하는 문제를 해결하기 위해 철로 복합화물 운송 시 철도 화물역에서 최종목적지까지 환적 없이 화물자동차를 철도로 직접 운반함으로써 환적 작업으로 인해 발생하는 소요 시간과 비용을 줄이고 운송 속도를 향상할 수 있는 피기백(Piggy-back)시스템이라는 신개념 수송시스템의 도입으로 환적시간과 비용을 절감함으로써 철도교통의 모달시프트를 촉진 할 수 있다[2].



Fig. 1. Transshipment method through Piggyback System.

지금까지 전환교통(Modal Shift) 및 피기백시스템과 관련된 연구가 국내외적으로 많이 진행되었는데 국내 선형 문헌의 경우 대부분 학술적 정책연구의 성격이 강하였기 때문에 정책을 수립하는 데 필요한 기본이론과 기본방향을 제시하는데는 의의가 있으나 정량적 분석기반의 객관성이 부족하였다.

본 연구는 피기백시스템의 도입 타당성을 분석하기 위해 국내 선형 문헌들이 가진 학술적 정책연구의 한계를 극복하고자 국외 선형 문헌도 함께 조사함으로써 타당성 분석 방법과 근거를 강화하고자 한다. 타당성 분석값을 정량적으로 도출하기 위해 적합한 교통 데이터 데이터베이스를 적용하여 운송거리가 200KM이상인 주요 화물 운송 O-D 노선에 대한 화물운송 시뮬레이션 모델과 운송 수단별 화물 수요에 대한 예측 모델을 개발한다. 이를 기반으로 피기백시스템 도입의 경제적 타당성을 분석하는 것을 목표로 한다.

II. Literature Review

1. Domestic Literature Review

국내문헌으로는 류형근(2017)은 '도로수송 시스템은 이미 포화상태에 도달하여 교통 혼잡으로 인한 물류비용의 증가, 도로 시설 유지보수 비용 증가 등 사회 경제적 비용 부담이 가중되고 있음에 따라 전환교통의 도입 필요성을 주장하였다[7]. 김정국(2016)은 인터모달 이송 시스템을 연구함에 있어 Door-to-Door 서비스가 가능한 신형 철로 환적 시스템의 핵심기술을 개발을 연구하였다[8]. 신승진(2020)은 인터모달 자동화물운송시스템(AFTS) 운영 관련 기술특허 동향 분석을 통해 전환교통의 필요성과 효과를 제시하였다[9]. 최부림(2011)은 Modal shift 활성화를 위한 정책과 지속가능 교통물류 발전법 제21조(전환교통 지원)에 해당하는 정책사이의 영향관계를 구조방정식 모형으로 분석하였다[10]. 박일하(2014)는 피기백시스템을 적용하기 위한 정거장 개량 모델과 피기백 전용 하화대(적하승강장) 모델, 피기백 전용 철도화차 유형 등을 연구 제시하였으며 피기백 시스템 적용에 따른 철도 터널 등 기존 시설물에 대한 건축한계 저축여부, 피기백 수송 가능 선로 용량 분석 및 피기백 수송 가능 중량(무게) 검토 등 피기백 철도수송의 핵심요인에 대한 적용성 및 타당성에 대하여 분석하였다[11]. 허성호(2017)는 피기백시스템의 자동운송 시스템의 계획 단계에서 시스템의 규모, 용량, 확장가능성 등을 파악할 수 있는 시뮬레이션 모델의 개발을 위해 필요한 구성요소들과 핵심인자들을 정의하였다. 또한 시스템의 표준 운영모델을 정의하고 업무절차를 설명하여 시뮬레이션 모델의 설계 내용을 제시하였다[12].

Table 1. Summary of Domestic Literature Review

Author	Summary of Literature
Ryu HyungGeun (2017)	Claims on the necessity of introducing convertible transportation through consideration of precedent cases.
Kim Jungkook. (2016)	Development of core transportation technologies for Intermodal.
Shin Seung Jin (2020)	The necessity and effect of conversion transportation are presented through analysis of technology patent trends.
Bulim Choi (2011)	Analysis of the influence relationship between Model shift activation policies using a structural equation model.
Park Ilha (2014)	Application and Feasibility Analysis of Key Factors for Piggyback Railway Transportation
Sung Ho Hur (2017)	Define the necessary components and key factors for the development of the automatic transport system simulation model of the Piggyback system.

2. International Model Shift Literature Review

국외문헌은 JavierTarrino-Ortiz (2021)이 저공해구역 LEZ(Low Emission Zones)지정에 있어 전환교통정책이 미치는 영향을 연구하였다[13]. Melody Khadem Sameni (2021)은 코로나바이러스 확산에 따른 테헤란의 모달시프트 변화를 수단선택 예측모형인 로짓모형을 구축하여 비교하였다[14]. Jingran Zhang (2021)은 철도교통을 통해 중국의 주요항구중 하나인 심천항으로 접근함에 있어 미칠 수 있는 환경적 이점을 연구하였다[15]. Franziska Meinherz(2021)는 세 개의 주요 스위스 도시의 교외에서 중심부로 출퇴근을 함에 있어 모달시프트를 통한 운송수단의 전환이 어떤 영향을 미치는지 관하여 분석하였다 [16]. Sanhita Das(2021)은 코로나19에 따른 자가용과 대중교통의 운송비중을 예측하는 로짓모형을 개발하였다 [17]. Ercan Kurtuluş (2020)은 운송 비용, 운송 시간, 지연 비율, 빈도 및 자유 시간에 따른 운송수단 선택 모형을 구축하여 내륙 컨테이너 운송의 높은 도로 의존도를 줄이기 위해 효과적인 모달 전환 정책을 개발하기 위한 프레임워크를 제공하였다[18]. Mattia Borsati(2020)은 이탈리아의 신형 고속철도 개발을 통한 철도속도의 향상이 경쟁력을 강화해 고속도로에서 고속철도로의 모달 전환으로 이어졌는지 분석하였는데 변수를 설정함에 있어 운송수단 선택을 결정하는 변수에 대하여 기술통계를 실시하여 평균과 표준편차를 제시하였다[19]. Jun Mizutani(2020)은 일본의 JR 철도 회사의 구조조정에 따른 선로의 소유권과 통행료의 변동이 일본의 전환교통정책에 어떠한 영향을 미쳤는지 분석하였다[20]. Changmin Jiang(2021)은 신형

고속철도의 속도 향상에 따른 CO2배출 영향에 대한 기존 문헌을 검토하였고 고속철도 향상에 따른 교통량의 변화를 마지막으로 고속철도의 수명주기를 평가하였다. 해당논문의 경우에는 CO2배출 영향을 분석함에 있어 게임이론은 개발하였다[21]. Benoit Conti(2018)은 대중교통요금 인하, 통행료인상, 기름값인상등과 같은 모달시프트를 위한 다양한 정책 시나리오를 구성하여 통계모형기반의 변수를 기반으로 이에 따른 운송수단선택의 변화를 나타낼 수 있는 모형을 구축하여 운송수단별 점유율 변화를 낙관, 평균, 비관으로 나누어서 분석 및 예측하였다[22].

Table 2. Summary of International Literature Review

Author	Summary of Literature
JavierTarrino-Ortiz (2021)	A study on the impact of transition transportation policy on the designation of low emission zones (LEZ) in low pollution areas.
Melody Khadem Sameni (2021)	A logit model, a means selection prediction model, was constructed and compared for the change in Tehran’s modal shift due to the spread of coronavirus.
Jingran Zhang (2021)	A study on the environmental advantages of accessing Shenzhen Port, one of China’s major ports, through railroad transportation.
Franziska Meinherz (2021)	Analysis of how modal shift affects commuting from the suburbs to the center.
Sanhita Das(2021)	Development of a logit model that predicts the proportion of private cars and public transportation according to COVID-19.
Ercan Kurtuluş (2020)	Establishing a transportation selection model to provide a framework for developing effective modal transition policies to reduce high road dependence in inland container transportation.
Mattia Borsati (2020)	After conducting descriptive statistics on the determinants of transportation selection through modal shift, the mean and standard deviation are presented.
Jun Mizutani (2020)	Analysis of the phenomenon that changes in ownership and tolls of tracks due to restructuring have affected Japan’s conversion transportation policy.
Changmin Jiang (2021)	Evaluation of changes in traffic volume due to improved railroad speed. In analyzing the effects of CO2 emissions, game theory is developed.
Benoit Conti (2018)	Analysis and prediction of changes in market share by transportation method divided into optimism, average, and pessimism.

III. Methodology

1. Research Framework

Fig. 2은 피기백시스템의 도입 타당성을 분석을 위한 연구 프레임워크를 보여 준다. 첫째 국내외 문헌검토를 통해

피기백 시스템의 도입 타당성 분석 방법론을 선정하고 타당성 분석에 필요한 비용과 편익 항목을 도출한다. 둘째, 타당성분석 결과값을 정량적으로 도출하기 위해 한국교통연구원, 한국철도기술연구원, 코레일, 네이버, 포워더케이 등에서 제시한 교통 데이터베이스를 적용하여 운송거리가 200KM이상인 주요 O-D노선에 대한 화물운송 시뮬레이션 모델을 개발한다. 셋째, 화물 운송 시뮬레이션을 기반으로 운송 수단별 화물 수요 예측 모델을 개발한다. 예측 모델을 개발함에 있어서는 확률효용이론(random utility)에 기초한 이산선택모형인 로짓(Logit)모형을 이용하여 예측한다. 마지막으로, 피기백시스템도입에 따른 경제적 타당성 분석을 통해 피기백시스템의 도입타당성 여부를 도출한다.

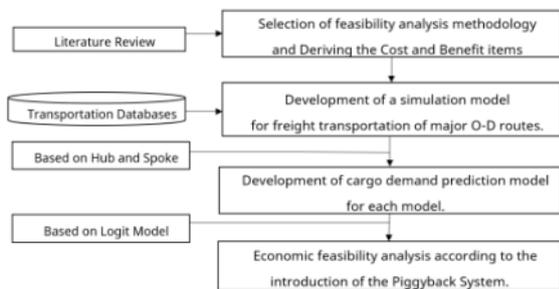


Fig. 2. Overall Framework

2. Detailed methodology

2.1 Selection of feasibility analysis methodology and Deriving the Cost and Benefit items

타당성 분석 방법론을 검토하면서 분석을 위한 경제성 분석 도구를 검토하였다. 경제성을 평가하기 위한 분석 도구로는 할인율(discount rate), 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, internal rate of return), 편익/비용 비율 분석(Benefit-Cost Ratio, BCR), 회수 기간(Payback period), 투자 대 절감 비율(SIR), 감가상각(Depreciation), 민감도 분석(Sensitivity Analysis) 및 전생애비용(LCC, Life Cycle Cost)가 있다 [23]. 경제적 타당성을 분석해야 하는 상황은 크게 ‘투자결정’, ‘승인/거부’, ‘서로관련이 없는 대안에 대한 결정’, ‘등급화’가 있다. 위 4가지 상황에 따른 분석 도구의 적합성 여부를 Table 3에 정리하여 제시하였다.

Table 3. The suitability of the economic analysis tool according to the investment analysis tool.

Investment decision	NPV	LCC	IRR	BCR	SIR
Accepted /Reject		N	C		
Alternatives that are not related to each other	R	C	N	N	N
Classification			C,N	R	R

R : Recommended, N : Nonconformity, C : Appropriate

분석도구의 적합도를 고려하여 ‘피기백시스템의 도입’이라는 의사결정상황은 다양한 대안이 제시되지 않는 단일안이기 때문에 NPV를 이용한 경제성 분석을 고려한다. NPV는 순현재가치법이라고도 불리며 투자사업으로부터 사업의 최종년도까지 얻게 되는 순이익(수익-비용)의 흐름을 현재 가치로 계산하는 분석방법이다. 즉, 어떤 자산의 NPV가 0보다 크면 투자시 사업가치의 순증가가 발생하므로 투자가치가 있는 것으로 평가하고 0보다 작으면 사업가치의 순감소가 발생하므로 투자가치가 없는 것으로 평가한다[24]. NPV를 이용하여 경제성을 분석하기 위해서는 초기투자자본, 분석기간, 할인, 연간 비용/편익이 필요하다[25].

초기투자자본은 사업이 시작함에 있어 투입되는 비용으로써 한국철도기술연구원에서 제공한 피기백시스템도입에 따른 선로계량비를 제공받아 작성하고자 한다. 분석기간은 ‘예비타당성조사 수행 총괄지침’ 제51에 의거하여 철도사업의 특정상 운영개시 후 40년을 합한 기간을 적용해야 하나 보수적으로 기간을 조정하여 2025년 도입을 전제로 15년의 기간을 설정한다. 할인(Discounting)이란 서로 다른 시점에서 발생하는 비용과 효용을 기준이 되는 시점으로 바꾸어 비교하기 위해 사용하는 방법이다. 할인비용을 구하기 위해서는 할인율을 구해야하는데 본 연구에서는 할인율의 경우 소비자물가지수를 이용한다.

비용과 편익의 항목의 경우 문헌조사를 통해 고려하였다. Table 4에 제시된 비용 항목의 경우 관련 문헌에서 명시된 피기백시스템 도입에 따른 화차개량사업에 필요성을 근거로 한다[11],[12]. 그리고 철도기술연구원에서 제공받은 선로계량에 따른 ‘초기투자비용’과 운행횟수 및 트레일러 투입에 따른 ‘운영비용’을 활용한다[26].

Table 4. Initial construction investment cost.

Item		Unit	Unit Price (Thousand won)	Quantity	construction expenses (Billion won)
Station	Togong	m ²	29	11,791	3.42
	A cargo card package	m ²	46	7,391	3.35
	Making a road	m ²	40	2,015	0.81
	Drainage	m ²	236	1,315	3.10
		m ²	392	2,000	7.84
Orbit	Building Tracks	m ²	620	2,252	13.96
	Building tracks	m ²	118,440	23	27.24
Hahwadae	Blend	m ²	30,000	20	6.00
Total					65.72

$$N_{trip} = E_g \div (Q_{20} \times Q_{TEU} \times Q_d)$$

$$W_{consumption} = \text{actual input} \times Q_{20}$$

$$W_{cost} = W_{consumption} \times \text{KRW 250 million.}$$

$$C_{trailer} = W_{consumption} \times \text{KRW 20 million /Trailer}$$

Formula. 1. Formula for the number of trips and the cost of putting in trailers

Formula. 1은 트레일러 투입 횟수와 비용 공식이다. 여기서 N_{trip} 은 열차의 운영횟수이다. E_g 는 TEU 기준 물동량 예측치이다. Q_{20} 은 열차당 20량이다. Q_{TEU} 는 열차 1량당 2TEU이다. Q_d 은 연간운행일수300일이다. $W_{consumption}$ 은 wagon 소요량이다. W_{cost} 는 Wagon 투입비용이다. $C_{trailer}$ 은 트레일러의 투입비용이다 [26]. 운송 투입량(편도, 통행)은 운행횟수 값에서 소수점을 올린 정수 값으로 설정하고 실제 투입량은 예방 또는 유지를 위해 운송 투입량에 2회를 추가한다. 트레일러 투입비용은 투입되는 트레일러 구입 비용으로 연차별 Wagon 소요 대수와 동일하게 투입한다.

Formula. 2은 편익 항목을 4가지로 설정하여 항목별 편익을 아래와 같이 개발한 것이다. 여기서 V_{total} 은 연간 총 편익이며 $\sum_{n=1}^k$ 는 구하고자 하는 O-D 구간의 노선이다. C_t 와 C_p 는 각각 공로 및 피기백운송시 예상 항목별 비용이다.

$$V_{total} = \sum_{n=1}^k Q_T \times (C_t - C_p)$$

Formula. 2. Formula of deriving Benefits.

첫 번째로 ‘운임절감 편익’이 있다. 참조문헌을 근거로 피기백 시스템 적용시 기존 철도화물역에서 이루어지던 환적에 따른 시간이 감소되며, 이에 따른 소요비용이 감소되므로 화물운송 운임 측면에서 비교 우위를 차지한다[7], [9], [18], [19], [20], [22], [11]. 피기백시스템 도입 시는 도로수송이 운임할인시보다도 적게 되어 충분히 경쟁력이 확보될 수 있음을 확인한다. V_{total} 은 연간 총 운임비 절감편익이다. Q_T 은 노선별 공로물동량에서 피기백물동량으로 전환된 물동량 단위이며 C_t 와 C_p 는 각각 공로 및 피기백운송시 예상 운임비용이다. 계산을 위한 데이터 적용은 뒤 챗터에서 논의한다.

두번째로 ‘온실가스 감축 편익’이 있다. 관련문헌을 근거로 화물운송에 있어 도로의 온실가스(CO2, CH4, N2O) 배출량은 철도의 비해 12배가량 높다[7], [13], [15], [16],

[17], [18], [21], [11]. 그리고 국내 화물수송에 있어 트럭의 CO2 배출원단위는 철도보다 20배 이상 높다[13]. 한국 환경정책평가연구원에서 제시한 데이터베이스를 적용하여 철로운송의 환경비용은 동일한 속도인 공로운송의 환경비용의 $\frac{1}{12}$ 로 계산한다[21]. V_{total} 은 총 대기오염비용 절감 및 온실가스 배출 저감 편익이며 C_t 와 C_p 는 각각 공로 및 피기백운송시 예상 환경비용이다.

세번째로 ‘교통안전사고 방지편익’이 있다. 관련문헌을 근거로 철도의 사망자수는 도로 대비 1.9%에 불과하다[7], [9], [10], [11], [12]. 그리고 부상자수 역시 0.3%로 밖에 되지 않는 등 철도의 안전성을 방증하고 있다. 경찰청에서 제시한 데이터베이스를 적용하여 철로운송의 교통사고비용은 공로운송의 교통사고비용의 $\frac{39}{100}$ 로 계산한다[27]. V_{total} 은 총 교통안전사고 방지편익이며 C_t 와 C_p 는 각각 공로 및 피기백운송시 예상 교통사고비용이다.

네번째로 ‘교통혼잡 방지편익’이 있다. 관련 문헌을 근거로 교통혼잡비용은 승용차가 화물차보다 높은것을 감안할 때 도로운송 화물이 철도로 전환될 경우 도로교통의 혼잡완화를 통한 혼잡비용 감소 및 원활한 인적, 물적자원의 수송을 기대 할 수 있다[7], [8], [9], [13], [14], [16], [17], [18], [22], [11]. V_{total} 은 총 교통혼잡 방지편익이며 C_t 와 C_p 는 각각 공로 및 피기백운송시 예상 혼잡비용이다. 한국교통연구원에서 제시한 데이터베이스를 적용하여 교통혼잡비용 감소편익은 전환된 철로운송거리에 KM당 21.87원($C_t - C_p$)을 할인율을 적용하여 곱한뒤 계산한다[27].

Table 5은 피기백시스템 도입과 관련된 선행 연구문헌을 검토한 결과 도출된 비용과 편익 항목이다.

Table 5. Cost and benefit items

Cost	Benefits.
Initial investment cost.	Freight reduction benefits.
Operating expenses.	Greenhouse gas reduction benefits.
	Benefits of preventing traffic accidents.
	The benefit of preventing traffic congestion.

2.2 Development of a simulation model for freight transportation of major O-D routes.

화물 운송 시뮬레이션 구축을 통해 운송 수단별 화물 수요 예측 모델을 개발한다. 예측 모델은 확률효용이론에 기초한 이산선택모형인 로짓모형으로써 운송수단별 예상소

요시간과 비용이 필요하다. 운송수단별 주요 화물 O-D 노선의 예상소요시간과 비용을 구하기 위해 첫 번째로 전국 O-D 노선의 화물물동량 데이터베이스를 활용하여 철로복합운송이 가능한 운송거리가 200KM이상인 주요 O-D 노선을 선정한다. 두 번째로 운송수단별 화물 운송 시물레이션 모델을 개발한다. 마지막으로 주요 O-D 노선별 운송소요시간과 비용을 구하는 공식을 개발하여 적용한다.

Table 6은 철로복합운송이 가능한 주요 O-D 노선을 선정함에 있어 한국교통연구원에서 제공하는 국가교통DB를 활용하여 철로복합운송이 가능한 주요 O-D 노선을 선정한 도표이다.

2017년 기준에 의하면 전국 물동량은 241,515천ton이며 이중 육상물동량은 233,050천ton(96.49%)이며 철로물동량은 8,465천ton(3.51%)이다. 선정된 5개 노선은 전국 공로운송의 17.02% 철로운송의 58.67%를 차지하고 있다.

Table 6. The selected major O-D routes. Unit. [1000ton(%)]

O-D	O-adjacent station	D-adjacent station	Road traffic. (Market Share)	Railroad traffic. (Market Share)
Busan-Gyeonggi	Busan Shinhang	Uiwang ICD	15,168(89.6)	1,753(10.4)
Gyeonggi-Busan	Uiwang ICD	Busan Shinhang	14,585(85.9)	2,392(14.1)
Chungnam-Busan	Cheonan	Busan Shinhang	4,119(88.1)	556(11.9)
Busan-Chungbuk	Busan Shinhang	Okcheon	3,029(99.7)	8(0.3)
Busan-Chungnam	Busan Shinhang	Cheonan	2,764(91.5)	258(8.5)
Total			39,665	4,967

Fig3은 선정된 주요 O-D 노선을 기반으로 개발한 운송수단별 화물 운송 시물레이션 모델을 그림으로 표현하였다.

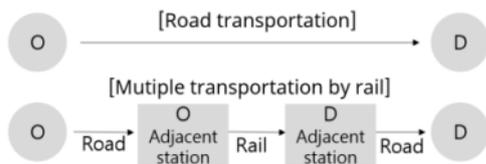


Fig. 3. Simulation Model of freight transport by each modal

한국교통연구원에서 제공하는 국가교통DB은 O-D구역을 광역자치단체를 기준으로 제공하는데 해당 구역내 물동량이 가장 많은 지역 대표산업단지를 O(Origin)로 물류단지를 D(Destination)로 설정한다. 물동량이 가장 많은 지역이 복수일 경우에는 복수로 설정하여 평균값에 대한

시물레이션을 진행한다. Table 7은 선정된 O-D 노선별 대표 산업단지과 물류단지이다.

Table 7. Representative industrial complexes and logistics complexes by O-D route.

Area	logistics complexes	Address
Gyeonggi 1st	Icheon Herb	512-40 in Sasilro, Moga-myeon, Icheon-si, Gyeonggi-do
Gyeonggi 2nd	Gwangju Mega Hubgonjam.	642-70 in Sansuro, Gwangju-si, Gyeonggi-do.
Gyeonggi 3rd	B2B One Sam Hub Center.	1627 Jukyung-daero, Wonsam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do.
Busan	CJ Logistics Center.	9 Seongnam-ro, Dong-gu, Busan.
Chungbuk	Okcheon Hub Terminal.	65 Geonjin 2-gil, Iwon-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do.
Chungnam	CJ Jungbu Branch Cheonan Office.	43-14 Dujeong Industrial Complex 2-gil, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do.

Area	Industrial Complex	Address
Southern Gyeonggi	Hwaseong General	Banwol-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi-do.
Northern Gyeonggi	Paju LCD	LG-ro 245, Wolong-myeon, Paju-si, Gyeonggi-si, Gyeonggi-do
Busan	Noksan District National	1596 Songjeong-dong, Gangseo-gu, Busan.
Chungbuk 1st	Ochang Science	641-1, Gak-ri, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do.
Chungbuk 2nd	Cheongju General	21 Baekbong-ro 72beon-gil, Heungdeok-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do.
Chungnam	Asan Tangjeong Techno	yongdu-ri, Tangjeong-myeon, Asan, Chungcheongnam-do.

피기백 화차 도입에 따른 철로 화물 운송 O-D노선의 소요시간을 예측함에 있어 출발 및 도착지와 인근역간 운송시간(T_1, T_2)은 네이버지도에서 제공한 데이터베이스를 적용한다. 환적시간(T_a, T_b)의 경우 피기백시스템 도입시 대기시간을 포함하여 70%가 감소하고 5년 단위로 기술의 고도화를 통해 10%씩 추가로 감소한다고 가정한다[28]. 화물역간 철로운송시간(T_T)의 경우에는 노선별 철로운송수단의 평균 표정속도를 2025년에는 60km/h로 2030~2040년에는 90km/h로 계산하여 구한다[29]. 도로 화물 운송 O-D 노선의 소요시간을 예측함에 있어서는 최

단거리 기준으로 네이버지도에서 제공한 데이터베이스를 적용한다. Formula. 3은 화물 운송 O-D 경로에 소요되는 시간을 모형화 한 것이다.

$$Time_{total} = T_1 + T_a + T_T + T_b + T_2$$

Formula. 3. Time required for the freight transport O-D route.

피기백 화차 도입에 따른 철로 화물 운송 O-D노선의 비용을 예측함에 있어서는 출발 및 도착지와 인근역간 운송비용(C_1, C_2)은 포워드케이블에서 제공하는 데이터베이스를 활용한다. 환적비용(C_a, C_b)의 경우 피기백시스템 도입시 환적비용이 70%가 감소하고 5년 단위로 기술의 고도화를 통해 10%씩 추가로 감소한다고 가정한다[28]. 화물역간 철로 운임비용(C_T)의 경우에는 한국철도공사에서 제공하는 화물수송 운임데이터를 적용한다. 도로 화물 운송 O-D노선의 운임을 예측함에 있어서는 최단거리 기준으로 포워드케이블에서 제공한 데이터베이스를 적용한다. Formula. 4는 화물 운송 O-D 경로에 소요되는 비용을 모형화 한 것이다.

$$Cost_{total} = C_1 + C_a + C_T + C_b + C_2$$

Formula. 4. Costs required for freight transport O-D route

2.3 Development of cargo demand prediction model for each model.

운송 수단별 화물 수요 예측 모델을 개발함에 있어 효용이론(random utility)에 기초한 이산선택모형인 로짓(Logit)모형을 이용하여 예측한다. 로짓 모형은 교통계획 분야의 교통수단분담 예측모형의 하나로서 통행자의 속성(요소)에 의하여 일정한 교통수단을 선택한다는 논리에 입한다. 로짓모형은 각 수단의 통행시간 및 통행비용, 도로 거리, 노선거리에 영향을 받는다. Formula. 5는 효용함수 공식이며 운송수단별 효용함수 값을 Formula. 6에 대입하여 노선별 경쟁 운송수단간 선택 확률을 도출하여 화물 수요를 예측할 수 있다.

$$U_{ijk} = a_1(T_{Time})_{ijk} + a_2(T_{COST})_{ijk} + (Dummy)_k + (constant)_k$$

Formula. 5. Formula of Utility function

U_A = Utility function of transportation A

U_B = Utility function of transportation B

$$\text{Probability of choosing A : } P_{(A)} = \frac{e^{U_A}}{e^{U_A} + e^{U_B}}$$

$$\text{Probability of choosing B : } P_{(B)} = \frac{e^{U_B}}{e^{U_A} + e^{U_B}}$$

Formula. 6. Formula of Predicting the probability of choosing between means of transportation by route.

U_{ijk} 는 수단 k의 교통존 i와 j 간의 효용함수이다.

$(T_{Time})_{ijk}$ 는 수단 k의 교통존 i와 j 간의 총통행시간이다. $(T_{COST})_{ijk}$ 는 수단 k의 교통존 i와 j 간의 총통행비용이다. $(Dummy)_k$ 는 상수항 이외 설정한 더미변수이다. a_1, a_2 는 파라미터값이다. 수단선택 모형의 추정 파라미터 값을 도입함에 있어서는 교통연구원에서 제시한 수치를 이용한다. 그리고 함수모형의 상수항을 이용하여 국가교통 DB'에서 제시한 노선별 연도별 공로, 철로 운송수단의 예측 분담율과 매우 근사하게끔 조절한다. Table 8은 분석 대상 O-D 노선별 효용함수를 정리하여 도표화한 것이다.

Table 8. Utility function for each O-D route to be analyzed

O-D	formula of Utility function	
Gyeonggi-Busan	Road transport utility function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k$
	Railway (Piggyback) Transport Utility Function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k + 0.607$
Busan-Gyeonggi	Road transport utility function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k$
	Railway (Piggyback) Transport Utility Function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k + 0.903$
Chungnam-Busan	Road transport utility function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k$
	Railway (Piggyback) Transport Utility Function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k + 1.138$
Busan - Chungbuk	Road transport utility function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k$

	Railway (Piggyback) Transport Utility Function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k - 3$
Busan-Chungnam	Road transport utility function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k$
	Railway (Piggyback) Transport Utility Function	$U_{ijk} = -0.3176(T_{Time})_{ijk} - 0.0118(T_{COST})_{ijk} - 3.178(Dummy)_k + 0.693$

분석대상 O-D 노선별 효용함수의 운송수단별 총비용과 총시간을 대입한 뒤 운송 수단별 화물 수요를 예측하여 2025년 피기백시스템도입을 가정하여 2040년까지 증가물 동량을 구한다. Table 9은 피기백시스템이 도입될 경우에 변화하는 분석대상 O-D 노선별 화물수요를 정리하여 도 표화한 것이다.

Table 9. Predicting the demand for cargo by means of transportation after the Piggyback system was introduced

Unit : 1000ton, %

O-D	Year	Railroad traffic before the introduction of the system.	Railroad traffic after the introduction of the system	Increase amount (Market Share)
Gyeonggi-Busan	2025	2,797	11,444	8,644(57.6)
	2030	2,995	15,737	12,742(74.1)
	2035	3,207	18,694	15,487(76.8)
	2040	3,435	18,958	15,524(79.4)
Busan-Gyeonggi	2025	2,050	11,883	9,520(52.1)
	2030	2,196	17,806	15,610(69.1)
	2035	2,351	22,328	19,976(71.7)
Chungnam-Busan	2025	651	2,908	2,281(55.2)
	2030	697	4,147	3,449(73)
	2035	747	5,007	4,261(75.4)
Busan - Chungbuk	2025	12	93	83(2.5)
	2030	12	190	177(4.4)
	2035	13	279	266(4.9)
	2040	14	360	346(5.4)
Busan-Chungnam	2025	303	1,669	1,359(46)
	2030	325	2,571	2,246(65.3)
	2035	348	3,159	2,812(68.1)
	2040	372	3,425	3,052(70.8)

IV. Conclusions

주요 화물 운송 O-D 노선 5곳에 대해 2025년 피기백시스템이 도입된다는 전제로 15년을 분석기간으로 설정한다. 경제적 타당성 분석결과 도출된 총비용과 편익에 대해 현재가치(2025년)으로 가치를 환산한 NP값을 도출하여 B/C가 도출되었고 그에 따른 NPV도 도출한다. Table 10은 경제성 분석결과와 제시된 B/C값과 NPV값이다.

Table 10. Economic analysis results.

Present value of Benefits	Present value of the Cost	B/C	NPV
24,462	20,271	1.18	4,191

분석 결과 NPV 값이 양수이고 B/C값이 1.18로 도출되어 피기백시스템이 경제성이 있는 것으로 나타난다.

철로운송 경쟁력을 향상하기 위해 가장 필요한 것은 경쟁운송수단 대비 운송 시간과 비용 측면에서 경쟁력이 있어야 한다는 것이다. 본 연구에서는 철로복합운송시 발생하는 철로 환적시간과 비용을 단축하는 피기백시스템의 타당성을 검증하기 위하여 운송수단별 운송 시나리오를 설정하고 관련 모형을 정의하고, 적절한 경제성 분석을 위한 기법을 제시하였다. 또한, 관련 교통데이터를 활용하여 정의한 모형에 적용함으로써 교통데이터를 활용한 정량분석기반의 타당성 분석 기법을 제시하였다.

교통 데이터베이스를 적용하여 운송 시뮬레이션 모델과 운송 수단별 화물 수요 예측 모델을 개발해 피기백시스템 도입에 따른 철로운송분담율의 변화와 그에 따른 경제적 타당성을 정량적으로 분석하였다.

로짓모형을 기반으로 한 운송수단선택모형을 이용하여 운송 수단별 분담율의 변화를 분석한 결과 운송 수단을 선택하는 상황에서 피기백 화차의 도입은 기존 철로운송보다 환적 시간과 비용이 평균 70% 절감되면서 발생하는 운송경쟁력의 향상으로 피기백 화차 도입 시기로 설정한 2025년 기준 분석 노선별 철로운송 분담율이 평균 34% 증가하였으며 특히 수도권-부산 간 철로운송 분담율은 54.85% 증가하였다. 분석 결과를 바탕으로 피기백 화차 도입에 필요한 신규화차구매비용, 화물역 환적시설 계량비용, 유지/보수 비용과 철로운송 분담율의 변화에 따른 물류 운임 비용, 환경비용, 교통혼잡비용 감소 편익을 도출하는 공식을 개발하여 경제성 분석을 시행함으로써 B/C, NPV를 도출하였는데 노선의 길이가 200KM 이상인 주요 화물 O-D노선 5곳을 대상으로 분석한 결과 NPV 값이 양

수이고 B/C값이 1.18로 도출되어 피기백시스템이 경제성이 있는 것으로 도출되었다.

교통데이터를 활용한 정량적 분석기반의 타당성 분석 방법론 제시는 정부기관의 교통 정책수립에 있어 도움이 될 뿐만 아니라 피기백시스템을 도입하고자하는 관련 기업이 합리적 경영의사결정을 선택함에 있어 이용 가능한 정보를 분석함으로써 의사결정을 모색하는 처방적 (prescriptive) 방법론을 제시하였다는 것에 있어서도 비즈니스 및 학술적으로 긍정적 영향을 미칠것으로 예상된다. 다만 분석한 결과에 따른 유용성과 효과성 검증이 부족하다는 한계점이 있어 추후연구에서는 적합한 검증기법을 조사 및 개발하고자 한다.

본 연구는 피기백시스템의 정량기반의 타당성분석 방법론을 제시함으로써 경영의사결정의 질을 높일 수 있는 지적 기반을 제공하였다는점과 철도운송의 경쟁력을 향상하기 위한 교통 정책 수립에 유의미한 자료가 되었다는점에 있어 의의가 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant from R&D Program(Development of core technology for digital rail freight station, PK2202C3) of the Korea Railroad Research Institute.

REFERENCES

- [1] Taewoo Choi, Logistics industry, unprecedented boom..." Change in consumption trend. Reason for increasing demand for 3PL." , <https://www.itbiznews.com/news/articleView.html?idxno=56007>
- [2] Ilha Park, "A Study on Application of Piggy-back System to Stimulate Freight Transportation by Railroad", Ph.D. thesis at Seoul National University of Science and Technology's Graduate School of Railroad., p.ii, August, 2014, DOI: 10.7470/jkst.2014.32.3.227
- [3] Gyeri Kim, Logistics industry, unprecedented boom..." Change in consumption trend. Reason for increasing demand for 3PL." <https://www.itbiznews.com/news/articleView.html?idxno=56007>
- [4] Young-Joo Kim, Jaehyun Park, Yong-hui Oh, "Comparative Analysis on the Rail and Road Freight Transportation: Air contaminant and greenhouse gas emission", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 17, No. 9 pp. 94-101, 2016, DOI : 10.5762/KAIS.2016.17.9.94
- [5] Hongseung Noh, Introduction of an intermodal automated transport system to innovate the cargo transport system. , Korea transport institute, pp.6-11, May, 2019
- [6] Jinsoo Moon, Jaemin Lee, "Development of Support Measure for Increasing Rail Freight", Korea transport institute, pp.xiii, 2007
- [7] Hyung-Geun Ryu, Young-Mo An, Jae-Won Lee, Hong-Seung Ro, "Review on the Technology Development of Automated Intermodal Freight Transport System", The 2017 Autumn Conference of the Korean Society of Navigation and Port Affairs., pp.70 - 71, Busan Tourism Organization's Arpina., Republic of Korea
- [8] Kim Jungkook, "Development of Key Technologies for Intermodal Transportation System", Korea Railroad Research Institute, pp.3, 2016
- [9] Shin SeungJin, Roh HongSeung, "Intermodal Automated Freight Transport Systems(AFTS) relevant Patent Trends Analysis from the Operating System Technology perspective", Korea Maritime institute, Vol.35, No.1, pp. 89-110, 2020
- [10] Bulim Choi, The Impact of Transportation Conversion Policy Measures on Promoting Modal Shift," Korea Logistics Review, vol.21, no.5, pp. 183-199 (17 pages), 2011, UCI : G704-001067.2011.21.5.001
- [11] Park Ilha, Park Yonggul, Kim Sigon, Kim Yeonkyu. , "A Study on Railroad Yard Reform for Vitalizing Freight Movement by Railroad: Focused on the Introduction of Piggy Back System", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.32 No.3, pp.227-238, 2014, DOI: 10.7470/jkst.2014.32.3.227
- [12] Sung Ho Hur, Hong-Seung Roh, Seungjin Shin, Sebeom Park, "A simulation modeling for rail-based RO/RO type automated container transport system developmen", The Korean Society For Railway, Vol.2017 No.10, 201-204, Oct 2017. DOI : <http://www.riss.kr/link?id=A103830036>
- [13] Javier Tarrío-Ortiz, Juan Gómez, Julio A. Soria-Lara, José M. Vassallo, "Analyzing the impact of Low Emission Zones on modal shift," Sustainable Cities and Society, 2021. DOI : 10.1016/j.tranpol.2021.07.014
- [14] Melody Khadem Sameni, Amine Barzegar Tilenoie, Niloufar Dini, "Will modal shift occur from subway to other modes of transportation in the post-corona world in developing countries?," Transport Policy, Volume 111, PP.82-89, 2021, DOI : 10.1016/j.tranpol.2021.07.014
- [15] Jingran Zhang, Shaojun Zhang, Yunjie Wang, Shuanghui Bao, Daoyuan Yang, Honglei Xu, Rui Wu, Renjie Wang, Min Yan, Ye Wu, Jiming Hao, "Air quality improvement via modal shift: Assessment of rail-water-port integrated system planning in Shenzhen, China,," Science of The Total Environment, Volume 791, 2021. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2021.148158.
- [16] Franziska Meinherz, Claudia R. Binder, "The dynamics of modal shifts in (sub)urban commuting: An empirical analysis based on

- practice theories" *Journal of Transport Geography*, Volume 86, 2020. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020. 102763
- [17] Sanhita Das, Alice Boruah, Arunabha Banerjee, Rahul Raoniar, Suresh Nama, Akhilesh Kumar Maurya, "Impact of COVID-19: A radical modal shift from public to private transport mode", *Transport Policy*, Volume 109, pp. 1-11, 2021, DOI : 10.1016/j.tranpol.2021.05.005
- [18] Ercan Kurtuluş, İsmail Bilge Çetin, "Analysis of modal shift potential towards intermodal transportation in short-distance inland container transport". *Transport Policy*, Volume 89, pp24-37, 2020. DOI : 10.1016/j.tranpol. 2020.01.017
- [19] Mattia Borsati, Daniel Albalade, "On the modal shift from motorway to high-speed rail: evidence from Italy". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 137, pp.145-164, 2020. DOI : 10.1016/j.tra.2020.04. 006.
- [20] Jun Mizutani, Seiji Fukuda, "Issues on modal shift of freight from road to rail in Japan: Review of rail track ownership, investment and access charges after the National Railway restructuring", *Research in Transportation Business & Management*, Volume 35, 2020. DOI : 10.1016/j. rtbm.2020.10 0484.
- [21] Changmin Jiang, Yulai Wan, Hangjun Yang, Anming Zhang, "Impacts of high-speed rail projects on CO2 emissions due to modal interactions: A review", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 100, 2021. DOI : 10.1016 /j.trd.2021.103081.
- [22] Benoit Conti, "Modal shift and interurban mobility: Environmentally positive, socially regressive", *Journal of Transport Geography*, Volume 69, pp.234-241, 2018 DOI : 10.1016/j.jtrangeo.2018.05.007
- [23] Lee Kwanho, "An Economic Measures of the Renewable Energy considering Environmental Costs", *Journal of the Korean Solar Energy Society* v.24 no.3, pp.93 - 100 , 2004
- [24] Kim Jihyun, "Probabilistic approach to NPV (Net Present Value) analysis using Monte Carlo simulation", *The Korean Operations Research and Management Science Society*, collection of papers, 388-390, Nov, 2006. DOI : <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00793362>
- [25] G.J. Thuesen, W.J. Fabrycky, "Engineering economy," Prentice Hall , 190-225, 2001.
- [26] Seong Ho Han, "Report on the platform and track improvement plan for Piggy Department Store's business operation target station.", KRRI, 2021
- [27] Min Yeonjoo, "Evaluation of Transitional Transportation Support Project and Research on System Improvement", *Korea Transportation Research Association.*, ,2013
- [28] Kim Chanseong, Lee Jeongyoon, Jeong Kyunghoon, "A study on the establishment of a domestic transportation selection model according to cargo characteristics.", *Korea Transportation Research Association.*, pp.89, Feb ,2008 KDC : 326.36 PanSaHang(3)
- [29] Lee Heungmo, "Development of vehicle for DMT(Dual Mode Trailer) transfer system for railway logistics revitalize", *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, Nov, 2014. DOI : TRKO201500000097

Authors



Yong-Jae Lee is currently an Postgraduate Student in School of Industrial Management and Engineering at Korea University. He is interested in policy analysis and evaluation under the theme of transportation, logistics, environment, intellectual property, and North Korea·Unification.



Chulung Lee received the B.S. and M.S. degrees in Industrial Engineering from Seoul National University in 1992 and 1994, respectively, and the Ph.D. degree in Industrial Engineering from Pennsylvania

State University in 2000. He is currently a professor in School of Industrial and Engineering at Korea University. He is interested in transportation/logistics engineering, supply chain management, and revenue management.



Yong-Hoon Kim received the B.S., M.S. degree in industrial Engineering from Seoul National University of science and technology and the Ph.D. in Industrial Engineering from Ajou University in 2016.



Seong-Ho Han received the B.S., M.S. and Ph.D. in electrical engineering from Soongsil University in 1991, 1993 and 1996 respectively. His research interests include EMU train and Freight vehicle design

engineering, High-speed logistics railways, and Automatic digital train and Energy saving control system