

인터모달 자동화물운송시스템 도입을 위한 화물운송수요 및 사업 편익분석 - 부산 국제산업물류도시를 중심으로-*

신승진** · 노홍승*** · 허성호**** · 김동현*****

Freight Transport Demand and Economic Benefit Analysis for Automated Freight Transport System: Focused on GILC in Busan

Seungjin SHIN, Hong-Seung ROH, Sung Ho HUR, Donghyun KIM

Abstract

This study aims to analyze the freight transport demand and benefit for the introduction of an automated freight transport system focusing on the Global Industry and Logistics City (GILC) in Busan. In pursuit of this aim, four alternatives were calculated - using the freight volume estimating methods and included, the number of businesses, the number of employees set up, future estimated cargo volume, and switched volume from other transport modes into the GILC. Economic benefits were analyzed against social benefits and costs accordingly. The result of the freight transport demand forecast found, the cargo volume of "Alternative 2-1" to be the most advantageous, applying the number of employee unit method and proportion of employees in Gangseo-gu, Busan. In addition to the conventional analysis of direct benefit items (reduction of transport time, traffic accidents and environmental costs), this study also considered additional benefit items (congestion costs savings, and road maintenance costs in terms of opportunity cost). It also considered advanced value for money research in guidance on rail appraisal of U.K, Federal Transport Infrastructure Plan 2003 of Germany, and RailDec of the United States.

The study aims to further contribute to estimating minimum cargo transport demands and assess the economic feasibility of the introduction of new intermodal automated freight transport systems in the future.

Key words: Freight volume, Social benefits, Automated Freight Transport System, Global Industry and Logistics City (GILC), Busan

▷ 논문접수: 2017. 07. 11. ▷ 심사완료: 2017. 09. 20. ▷ 게재확정: 2017. 09. 21.

* 『본 논문은 국토교통과학기술진흥원 "인터모달 자동화물운송시스템 기술개발(1단계)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. (17ILRP-B133946-01)』

** 한국교통연구원 물류연구본부 Post-Doc., (제1저자, sjshin434@koti.re.kr), 주저자

*** 한국교통연구원 물류연구본부 연구위원, (제2저자, rohhs@koti.re.kr), 교신저자

**** 한국교통연구원 물류연구본부 부연구위원, (제3저자, shur@koti.re.kr), 공동저자

***** 한국교통연구원 지식경영본부 주임전문원, (제4저자, donghyunkim@koti.re.kr), 공동저자

I. 서론

글로벌 무한경쟁시대에 국가경쟁력은 거대 도시권(Megacity-region)형성으로 인해 크게 증진되었으나, 오늘날 대도시권은 도시의 외연적 확장과 도로 중심의 교통물류체계로 인해 심각한 교통 혼잡이 야기되었다. 미래에도 대도시권의 지속적인 인구 증가와 경제력 집중에 따른 교통 유발수요가 더욱 증가할 것으로 전망된다. 특히, 도로운송은 이미 포화상태에 도달하였으며¹⁾, 교통 혼잡으로 인한 물류비용의 증가, 도로 시설 유지보수 비용 증가 등 사회 경제적 비용 부담도 가중되고 있다. 한국교통연구원(2016)에 따르면, 2015년 기준 국내 물동량 중 도로운송 비중은 톤 기준 91.94%, 톤-km 기준 76.19%로 매우 높은 비중을 차지하고 있어 도로파손, 환경오염 등 높은 사회적 비용 발생이 우려된다. 따라서 기후변화 대응 등 사회적 요구에 대응하고 교통물류분야의 '지속가능한 발전'이라는 패러다임을 구현하기 위해서는 지속가능한 교통물류체계를 개발하고 구축하는 것이 시급하다.

국내외적으로도 친환경 동력장치를 이용한 자동운송기술과 무인자동주행기술의 개발이 활발히 진행 중이며, 화물운송부문에서도 온실가스 및 미세먼지 발생저감 등을 목적으로 한 첨단자동 화물운송시스템 기술에 대한 관심과 투자가 꾸준히 늘어나고 있다. 미국, 독일, 네덜란드, 일본 등에서는 대량, 소량화물의 운송경로를 최적화한 자동운송시스템, 물류거점 간 대량화물 자동운송시스템 기술, 지하화물 운송시스템 기술 등 다양한 형태의 친환경 자동운송시스템이 개발 중이다(Van Binsbergen et al., 2014; 노홍승 외 2010, Rijsenbrij et al., 2006). 대표적인 기술로는 Freight Shuttle System(FSS), Electric Cargo Conveyor(ECCO), CargoRail Tram, CargoCap, TubeXpress(SUBTRANS), SkyTech, Cargo Tunnel, UCM 등이 있다.²⁾ 유럽과 미국 등

1) 최형림 외 (2011)

지에서 현재 개발 중인 다양한 형태의 자동화물운송시스템들은 운송수단 관점에서 지역특성을 고려한 order-made 기술이 주를 이루고 있고, 철도와 같은 전용노선을 활용하거나 건설비 절감을 위하여 모노레일 형식도 활용되고 있으며, 수단간 연계를 위한 인터모달 기술개발이 많은 점이 특징이다. 자동화 관점에서는 향후 무인자동화를 통해 인력과 비용을 절감하고자 하는 기술적 지향점이 뚜렷이 보이고 있다. 공간적 관점에서는 화물운송을 기존 도로교통 흐름과 분리하기 위해 고가화하는 형태가 꾸준히 시도되고 있다. 에너지 관점에서는 환경적 측면을 고려하여 전기모터를 이용하는 경우가 대부분이며, 특히 실용화에 근접한 FSS와 ECCO 시스템은 선형유도모터(Linear Induction Motor : LIM)를 활용하고 있다. 화물형태적 관점에서는 컨테이너를 운송대상으로 삼는 추세가 뚜렷이 나타난다.

해외 선진기술은 전반적으로 개념설계 단계를 거쳐 상용화를 위한 검증단계에 진입하는 시기에 와 있는 것으로 판단되며, 약 3~4년 내로 상용화가 이루어질 것으로 예상된다. 국내에서도 지하 또는 지상의 독립경로에서 무인운송이 가능한 AUTOCON, 한국형 ATS, ACTTube 등 다양한 기술개발이 진행 중이거나 시도된 바 있다.³⁾ 특히, 부산시는 부산 신항 배후지에 조성 예정인 부산 국제산업물류도시의 초기 계획단계부터 단지 내 탄소발생량을 증가시키는 화물차량 운행을 배제할 목적으로 항만도시형 친환경 공공물류 자동화시스템으로 전용 물류레일 도입을 검토한 바 있다(김동호·손고익, 2015; 부산테크노파크, 2014; 신재영·김용섭 2014; 부산발전연구원, 2011; 2010).

본 연구는 항만, 공항, 철도 등 국내의 물류네트

2) <http://www.freightshuttle.com/concept/>, <http://www.megarail.com>, <http://www.cargocap.com>, <http://www.tubexpress.com/index.htm>, <http://www.skytechtransport.us/>, <http://www.cargotunnel.com/>, <http://www.denys.be/nl>

3) <http://www.koti.re.kr/>, <http://www.krri.re.kr/>, <http://www.bimodaltram.com/>

위크상 중요한 입지 여건을 갖추고 있는 강서지역과 친환경 국제산업물류도시와 부산 신항의 국제경쟁력 제고하기 위해 신규 자동화물운송시스템을 도입하는 것이 타당한지를 분석하기 위해 수행되었다. 본 연구는 부산신항 배후 국제산업물류도시의 장래 화물물동량을 예측하고, 신규 시스템 도입에 따른 전환 물동량을 산정한다. 또한 신규 자동화물운송시스템 도입 시 기존의 직접적 편익 이외에 추가적인 편익항목을 검토하고, 사회적 편익과 비용을 산정한다. 본 연구는 제2장에서 화물물동량을 추정하고 편익산정 관련 선행연구를 고찰하며, 부산시 국제산업물류도시의 물류여건을 파악한다. 제3장에서는 국제산업물류도시의 화물물동량과 전환수요를 예측한다. 제4장에서는 국제산업물류도시에 인터모달 자동화물운송시스템을 도입하는 데에 따른 편익을 추정한다. 마지막으로 본 연구의 결과를 정리한 뒤 향후 연구 과제를 제시하기로 한다.

II. 기존문헌 고찰

화물 관련 수요와 경제성 분석에 대한 선행연구들은 크게 국내 화물물동량 추정에 관한 연구와 경제성 분석을 위한 편익 항목 관련 연구로 나누어 볼 수 있다. 국내 화물물동량 추정과 관련된 선행 연구는 국내 화물물동량 산정 연구와 화물수단선택 모형에 대한 연구로 구분하여 살펴보았다. 우선, 국내 화물물동량 산정 연구는 사업체 원단위를 이용한 방법과 종사자수 원단위를 이용한 방법으로 구분된다. 부지면적 및 사업체 원단위를 적용한 방법은 아래의 수식에서 보는 바와 같이 도시계획에 따른 부지면적, 사업체수 정보와 KTDB에서 제공하는 업종별 사업체당 월간 출하량 원단위를 이용하여 화물물동량을 추정하였다. 즉, 국내 샘플 기업의 업종별 면적 원단위를 적용하여 업종별 사업체수를 산정하고, 샘플 기업의 업종별 출하량 원단위를 적용하였다(부산발전연구원, 2010; 2011).

$$P_i = \sum_{imk} f_{imk} abu_{imk} \times 365 \text{ day/year}, \text{ area}_{im} = \sum_k f_{imk} \times fa_{imk}$$

- 여기서, P_i : i지역의 총 화물발생량
- f_{imk} : i지역의 m용지에 대한 k업종의 사업체수
- abu_{imk} : i지역의 m용지에 대한 k업종의 면적생산량 원단위
- $area_{im}$: i지역의 m용지에 대한 k업종의 부지면적
- fa_{imk} : i지역의 m용지에 대한 k업종의 공장 부지면적

국내 화물물동량 추정방법 중 종사자수 원단위를 적용한 연구사례로는 한국교통연구원(2016), 대구광역시(2004) 등이 있다. 종사자수 원단위를 적용한 방법은 통상 한국표준산업분류표에 의거하여 통계청에서 제공하는 업종별, 지역별(시군구 단위 또는 읍면동 단위) 종사자수와 KTDB에서 제공하는 업종별 종사자수 1인당 월간출하량 원단위를 적용한다. 따라서 종사자 1인당 월간 출하량 원단위는 KTDB에서 수행한 전국 화물기종점통행량 조사 결과(2012년)를 적용하였다. 종사자수 원단위를 이용한 화물발생량 추정방법론은 다음 수식과 같다.

$$P_i = \sum_k emp_{ik} \times bu_k \times 12 \text{ month/year}$$

- 여기서, P_i : i지역의 총 화물발생량(톤/년)
- emp_{ik} : i지역의 k업종에 대한 종사자수(명)
- bu_k : i지역의 k업종에 대한 종사자 1인당 출하량 원단위(톤/인·개월)

국내 화물수단 분담모형 관련 연구로는 크게 세 가지 모형을 고려할 수 있다. 첫째, 한국교통연구원(1998) 모형은 21세기 국가철도망 구축 기본계획 수립 시 구축한 모형으로 컨테이너와 비컨테이너 등 품목별 구분을 하지 않고 있고, 시간적으로도 피리가 있어 그대로 적용하기에 곤란하다. 둘째, 김찬성 외(2008) 모형은 컨테이너와 비컨테이너에 대한 화물 수단선택모형으로 도로, 철도, 해운으로 수

송수단이 구분되며, 수송시간과 수송비용 변수로 구성되어 있고, 환적까지도 고려하여 모형을 구축한 바 있다. 마지막으로 신승진(2008) 연구는 컨테이너, 양회, 철강에 대한 품목별 화물수단선택 모형을 구축하였다. 수단은 도로와 철도로 구분되며, 속성 변수는 통행시간, 통행비용, 서비스 수준의 속성변수로 구분하고 있다.

국내 화물 편익항목 연구에는 예비타당성조사의 표준지침, 교통시설 투자평가지침, 철도투자평가편람 전면개정연구 등이 있다. 국내 예타 지침 상의 편익 항목은 대부분 여객에 편중된 편익으로 구성되어 있으며, 화물시간가치를 반영하지 못하고, 화물의 수단전환효과 반영이 미흡한 문제점을 가지고 있다. 반면, 국외연구에서는 편익항목이 다양하고 화물시간가치를 반영하고 있는 연구들이 다수 진행되기도 하였다. 영국의 철도투자평가 지침에서는 경제성, 안전성, 환경성, 접근성 등의 4개 부문으로 구분하여, 7개의 편익항목⁴⁾을 구성하고 있다. 독일의 연방교통시설계획 (Federal Transport Infrastructure Plan: FTIP)에서 도로 및 철도 사업에 대한 평가과정에는 통행비용절감, 교통안전향상, 환경오염완화 등의 요소를 8개 편익항목⁵⁾으로 잡고 있다. 미국 교통부 연방철도청이 마련한 투자평가모형(RailDec)에서는 철도투자사업의 평가를 위해 교통수요, 비용, 편익, 경제성분석, 위험도 분석, 재무성 분석 등을 고려하고 있다. RailDec의 편익항목은 직접이용자편익, 간접이용자편익 및 비이용자편익으로 구분되며, 7개의 항목⁶⁾으로 세분화되어 있다.

4) 영국의 투자평가지침(Guidance on Rail Appraisal): 경제성(철도통행시간절감, 도로통행시간절감, 운영자수익, 신뢰성 향상), 안전성(교통사고감소 편익), 환경성(소음, 온실가스 등 절감편익), 접근성(선택가치 편익)

(<http://www.dft.gov.uk/webtag/documents/expert/unit3.13.php>)

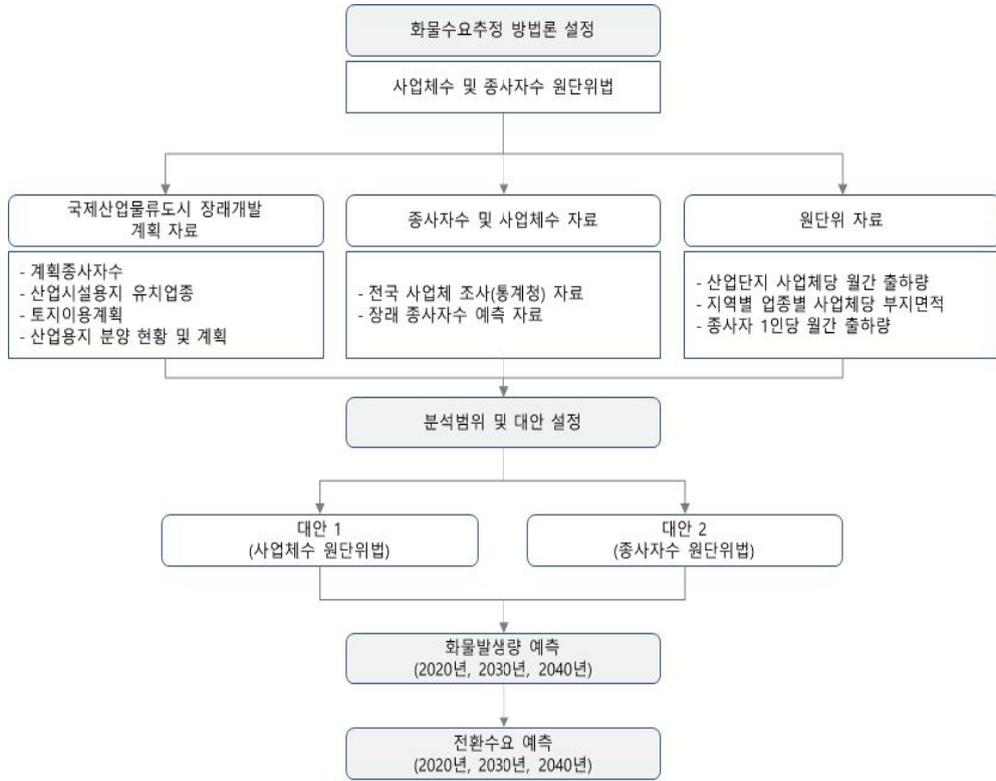
5) 차량고정비용 절감편익, 차량운행비용 절감편익, 수단전환으로 인한 통행비용 변화 편익(혼잡비용 절감편익), 교통시설유지보수비용 절감편익, 교통사고 감소편익, 접근성 향상 편익, 소음비용 감소편익, 배기가스 감소편익(Federal Ministry of Transport, Building and Housing, 2004, Federal Transport Infrastructure Plan 2003)

본 연구는 이 중에서 국내 화물물동량 산정방법인 종사자수와 사업체수 원단위법을 이용하여 시나리오 분석을 수행하였으며, 국내 화물수단선택 중 신승진(2008) 연구에서 수립한 컨테이너 화물수단선택모형을 기본적으로 적용하였다. 또한 국외 연구를 바탕으로 본 연구에서는 국내 지침에서 제시하고 있는 직접편익(통행시간 절감, 차량운행비 절감, 교통사고 감소, 환경비용 감소) 이외에도 해외 평가모형들에서 고려하고 있는 화물시간가치 편익, 혼잡비용 절감 편익, 도로유지관리비용 절감편익을 추가함으로써 국내 모형들의 한계를 보완하였다. 이를 통해 본 연구는 인티모달 자동화물운송시스템 신규 도입에 따른 국제물류산업도시 내 화물수요 예측과 이를 토대로 한 편익분석까지 수행하였다.

III. 화물수요 예측

일반적으로 장래 화물수요 예측은 기준년도의 통행패턴에 대한 신뢰성을 전제로 영향권을 설정한 뒤 장래 화물교통체계에서 운송될 것으로 예상되는 화물물동량을 추정하는 과정이다. 하지만 아직 조성되지 않은 부산신항 배후 국제산업물류도시에 대한 화물발생량에 대한 자료가 없기 때문에 본 연구에서는 이를 재 추정하는 과정을 거쳤다. 또한 신규 화물운송수단이 도입될 경우 전환물동량의 추정은 수단선택 분석을 통하여 수단별 화물물동량에 대한 전환수요 통행패턴 변화를 분석하는 것이 일반적이다. 하지만 본 연구에서는 기존에 없는 전혀 새로운 화물운송수단이 도입되는 경우에 해당하므로 일정한 가정을 통하여 전환수요를 분석하였다. <그림 1>은 본 연구에서 적용한 국제산업물류도시 화물수요예측 과정을 나타낸 것이다.

6) 여객 및 화물운송비용 절감편익, 통행시간 절감편익, 차량운행비용절감편익, 교통사고 감소편익, 배기가스 절감편익, 도로유지보수비용 절감편익(Hickling Lewis Brod Inc. (HLB), Model Documentation for RailDec v. 2.0)



〈그림 1〉 본 연구의 화물수요예측 과정

1. 분석 범위 및 방법론 설정

〈표 1〉 시간적 분석범위 설정

구 분	기 간
기준년도	2012년
자동운송시스템 사업기간(공사기간)	2016년~2019년
초기 분석년도	2020년
중간 분석년도	2030년, 2040년, 2050년
최종 분석년도	2059년

본 연구는 화물물동량 추정과정에 한국교통연구원 국가교통DB에서 설정한 교통존(traffic zone)을 적용하고, 특정지역의 자세한 분석이 필요할 경우 해당되는 존을 세분화하는 방법을 채택하였다.

화물 수요분석의 품목구분체계로는 한국교통연구원의 화물조사 방법론에 기반을 두고 31개 품목을 고려하되 컨테이너를 중심으로 분석하였다. 〈표 1〉에서 보는 바와 같이 화물수요분석의 기준년도는 장래화물수요를 예측하기 위한 화물모형 정산기준이 되는 동시에 경제성 분석 과정상 현재가치화 기준이 되는 년도이다. 이에 본 연구의 화물물동량 예측과 경제성 분석을 위한 기준년도는 2012년으로 설정하였다. 인터모달 자동화물운송시스템 사업기간은 2016년부터 2019년까지로 설정하였으며, 2019년의 차년도부터 화물이 발생하는 것으로 가정하였다. 초기 분석년도는 2020년으로 설정하였으며, 중간 분석은 10년 단위로 시행하였다. 또한 장래 종사자수는 2040년까지 예측되어 있으므로 2040년까



〈그림 2〉 본 연구의 노선 설정

지는 장래 종사자수 연평균 증가율을 적용하였으며, 2040년 이후 화물물동량은 2040년과 동일한 것으로 가정하였다. 특히 본 연구 대상지인 국제물류산업도시 2단계 지역은 아직 장래개발계획(계획 종사자수, 산업시설용지 유치업종 등)이 아직 확정되지 않았기 때문에 국제물류산업도시 1단계의 장래개발계획과 동일한 원단위를 적용하였다.

본 연구는 부산 신항을 중심으로 노선주변 개발 및 상위계획, 현장조사 등을 조사하여 공간적 범위와 대상 노선을 설정하였다. 본 연구에서 고려한 인터모달 자동화물운송시스템 노선은 〈그림 2〉와 같이 김해공항 남측 남해고속도로 지선인근 물류터미널(터미널 #1)과 에코델타시티, 명지지구, 녹산산업단지, 부산신항 다목적부두 동측 물류터미널(터미널 #2)을 연결하는 전체 연장 16.185km로 설정하였다.

본 연구에서는 부산 신항 배후 국제산업물류

도시에 대한 화물발생량을 추정하기 위해 〈표 2〉와 같이 4가지 대안을 설정하였으며, 〈표 3〉에서 제시하는 바와 같이 사업체수 및 종사자수 원단위법을 적용하였다.

〈표 2〉 분석 대안 설정

구분	내 용	필요자료	
대안1 (사업체수 원단위 적용)	1-1	부산/울산/경남의 면적 및 사업체수 비율 적용	국제산업물류도시 개발계획 자료(토지이용계획, 업종별 유치계획 등), 지역별 업종별 사업체수, 업종별 사업체당 면적 원단위, 업종별 사업체당 월간 출하량 원단위 등
	1-2	부산시 면적 및 사업체수 비율 적용	
대안 2 (종사자수 원단위 적용)	2-1	부산시 강서구 종사자수 비율 적용	국제산업물류도시 개발계획 자료(종사자수 계획, 업종별 유치계획 등), 지역별 업종별 종사자수, 업종별 종사자 1인당 월간 출하량 원단위 등
	2-2	부산시 종사자수 비율 적용	

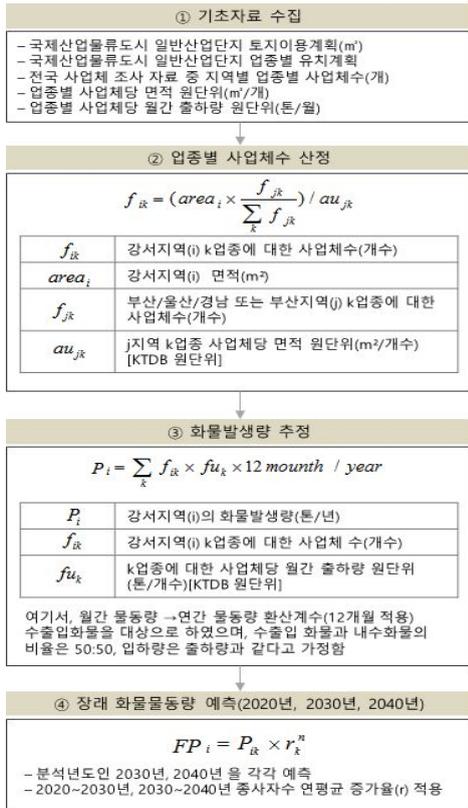
〈표 3〉 업종별 국제물류산업도시 사업체수 및 계획 종사자수 비율

구분	사업체 당 월간 출하량 원단위	종사자 1인당 월간 출하량 원단위
가죽, 가방 및 신발 제조업	44.15	1.09
1차 금속 제조업	1421.21	47.68
금속가공제품 제조업;기계 및 가구 제외	340.31	6.00
전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	396.47	1.45
의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	34.81	0.54
전기장비 제조업	176.61	3.39
기타 기계 및 장비 제조업	202.46	2.97
자동차 및 트레일러 제조업	1677.99	7.75
기타 운송장비 제조업	2471.43	10.15
기타 제품 제조업	621.61	0.44

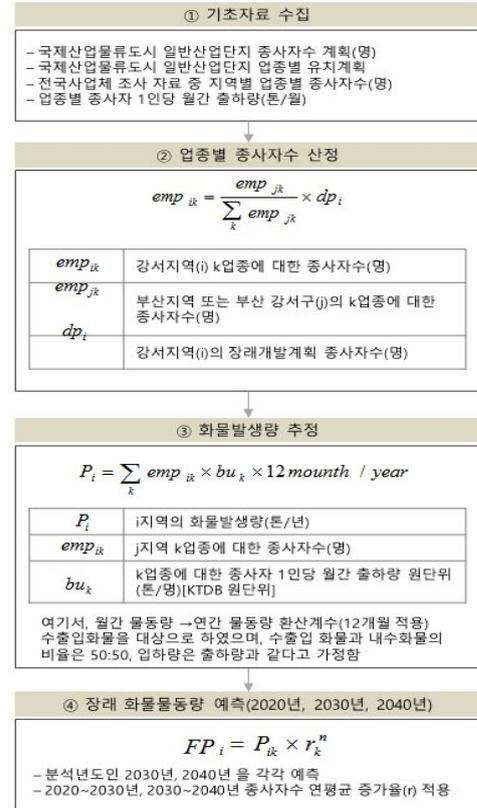
주: 사업체 당 월간 출하량 원단위는 한국교통연구원(2012), 종사자 1인당 월간 출하량 원단위는 한국교통연구원(2013b) 연구를 적용함

자료: 한국교통연구원(2012), 한국교통연구원(2013b)

○ 대안 1: 사업체수 원단위법



○ 대안 2: 종사자수 원단위법



〈그림 3〉 대안별 장래 화물물동량 예측 방법론

〈대안 1〉은 업종별 면적원단위를 적용하여 업종별 사업체수를 산정하고, 사업체수당 월간 출하량 원단위를 적용하여 화물발생량을 예측하였다. 또한 업종별 사업체수에 산정에 필요한 면적 및 사업체수 비율에 따라 2가지 시나리오로 구분하였다. 세부적으로 전국 사업체 조사 자료를 이용하여 업종별 사업체수 비율을 산정한 후, 국제산업물류도시의 장래 개발계획 산업시설용지 면적(2,379,593m²)을 곱하여 업종별 부지면적을 추정하였다. 여기서, 업종별 지역별 부지면적 및 사업체수 원단위를 적용하여 장래 화물물동량을 예측하기 위한 국제산업물류도시의 사업체 수를 산정하였다. 〈대안 1-1〉은 부산/울산/경남 지역의 사업체수 비율을 적용하였으며, 〈대안 1-2〉는 부산시의 면적 및 사업체수 비율을 적용하여 화물물동량을 예측하였다. 〈대안 2〉는 업종별, 지역별 종사자수와 KTDB에서 제공하고 있는 업종별 종사자수 1인당 월간 출하량 원단위를 적용하여 화물발생량을 예측하였다. 이를 위해 전국 사업체 조사 자료 중 업종별 종사자수 비율을 산정한 후, 국제산업물류도시의 계획 종사자수(37,201명)를 적용하여 업종별 종사자수를 산정하였다(부산시, 2014). 〈대안 1〉과 마찬가지로 사업대상지의 업종구분을 위해 2012년 기준 전국 사업체조사 중 부산 전체와 부산 강서구 종사자수 비율을 적용하여 두 가지 시나리오로 분석하였다. 〈그림 3〉은 대안별 장래 화물물동량 예측 방법론을 나타낸 것이다. 본 연구는 부산 신항 국제산업물류도시 일반산업단지의 유출입물동량 중 수출입과 국내 내수화물의 비율은 50:50으로 입하량과 출하량이 같다고 가정하였다.

2. 장래 화물물동량 예측

장래 화물물동량 예측에 필요한 장래 종사자수 예측이 2040년까지 되어 있으므로 본 연구에서는

2040년 이후 화물발생량도 2040년과 동일한 것으로 가정하였다. 사업체수 원단위법을 이용하여 화물물동량 예측 결과, 〈대안 1-1〉은 2020년 3,587천 톤/년, 2030년 4,040천 톤/년, 2040년 4,601천 톤/년으로 나타났으며, 〈대안 1-2〉는 2020년 3,871,493톤/년, 2030년 4,432천 톤/년, 2040년 5,143천 톤/년으로 각각 분석되었다. 종사자수 원단위법을 이용하여 화물물동량을 예측한 결과, 〈대안 2-1〉은 2020년 4,475천 톤/년, 2030년 5,421천 톤/년, 2040년 6,635천 톤/년, 〈대안 2-2〉는 2020년 2,885천 톤/년, 2030년 3,321천 톤/년, 2040년 3,881천 톤/년으로 각각 분석되었다(〈표 4〉 참조). 분석 결과, 대안별로 물동량 차이가 다소 발생하는 것으로 나타났다는데, 이러한 차이는 1차 금속 제조업(품목2), 금속가공제품 제조업(품목3), 기타 운송장비 제조업(품목9), 기타 제품 제조업(품목10)의 업종별 적용비율(평균 부지면적 및 종사자수 비율)의 차이로 사업체수 및 종사자 수의 차이로 인한 것으로 판단된다(〈표 5〉 참조).

3. 전환수요 예측

본 연구는 인터모달 자동화물운송시스템 도입에 따른 전환수요 예측을 위해 다음과 같이 가정하였다. 첫째, 인터모달 자동화물운송시스템 도입에 따른 전환물동량과 대상지인 국제물류산업단지에서 발생하는 화물물동량의 합으로 산정된다. 둘째, 인터모달 자동화물운송시스템 도입에 따른 수송비용 절감은 인터모달 한국철도시설공단(2012) 연구를 반영하여 5%로 설정한다. 그 이유는 인터모달 자동화물운송시스템 기획 연구에서 제시한 2030년 물류운송비용 5%(3조원 수준) 최종 목표를 반영했기 때문이다⁸⁾.

7) '부산·진해경제자유구역청 고시 제2014-56호(2014.9.14)' 기준

8) 국토교통부 국토교통과학기술진흥원(2014)

〈표 4〉 국제산업물류도시 일반산업단지 화물물동량 예측 결과

(단위: 톤/년)

업 종		대안 1-1			대안 1-2		
		2020년	2030년	2040년	2020년	2030년	2040년
가죽, 가방 및 신발 제조업	품목 1	12,961	11,787	10,719	10,119	9,202	8,369
1차 금속 제조업	품목 2	229,648	297,006	384,120	902,140	1,166,745	1,508,962
금속가공제품 제조업 (기계 및 가구 제외)	품목 3	373,973	376,147	378,336	911,911	917,213	922,550
전자부품, 컴퓨터, 및 통신장비 제조업	품목 4	128,509	135,619	143,120	32,880	34,699	36,618
의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	품목 5	11,245	11,292	11,339	6,395	6,421	6,448
전기장비 제조업	품목 6	273,545	269,780	266,070	222,836	219,769	216,747
기타 기계 및 장비 제조업	품목 7	479,079	600,208	751,962	664,682	832,739	1,043,285
자동차 및 트레일러 제조업	품목 8	818,677	823,729	828,813	602,297	606,013	609,753
기타 운송장비 제조업	품목 9	908,127	1,132,710	1,412,845	476,001	593,719	740,553
기타 제품 제조업	품목 10	351,656	381,427	413,713	42,233	45,808	49,685
합 계		3,587,420	4,039,706	4,601,039	3,871,493	4,432,329	5,142,971
업 종		대안 2-1			대안 2-2		
		2020년	2030년	2040년	2020년	2030년	2040년
가죽, 가방 및 신발 제조업	품목 1	14,501	13,187	11,993	35,792	32,549	29,601
1차 금속 제조업	품목 2	2,638,625	3,412,556	4,413,487	1,121,861	1,450,913	1,876,478
금속가공제품 제조업 (기계 및 가구 제외)	품목 3	589,659	593,088	596,538	1,008,602	1,014,467	1,020,369
전자부품, 컴퓨터, 및 통신장비 제조업	품목 4	71,159	75,096	79,249	9,533	10,061	10,617
의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	품목 5	5,837	5,861	5,886	8,440	8,475	8,510
전기장비 제조업	품목 6	120,965	119,300	117,660	144,425	142,437	140,479
기타 기계 및 장비 제조업	품목 7	300,210	376,114	471,210	300,276	376,197	471,313
자동차 및 트레일러 제조업	품목 8	370,792	373,080	375,382	126,508	127,288	128,074
기타 운송장비 제조업	품목 9	359,463	448,360	559,245	113,989	142,179	177,341
기타 제품 제조업	품목 10	3,891	4,220	4,577	15,274	16,567	17,970
합 계		4,475,100	5,420,861	6,635,227	2,884,700	3,321,132	3,880,752

〈표 5〉 업종별 국제물류산업도시 사업체수 및 종사자수 산정 결과

구분	사업체수		종사자수	
	부산/울산/경남 의 업종별 평균 면적 비율 적용	부산 업종별 평균 면적 비율 적용	부산 강서구 업종별 종사자수 비율 적용	부산시 전체 업종별 종사자수 비율 적용
가죽, 가방 및 신발 제조업	24	19	1,130	2,789
1차 금속 제조업	13	53	4,380	1,862
금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외	92	223	8,180	13,992
전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	27	7	4,046	542
의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	27	15	900	1,301
전기장비 제조업	129	105	2,982	3,560
기타 기계 및 장비 제조업	197	274	8,052	8,054
자동차 및 트레일러 제조업	41	30	3,982	1,359
기타 운송장비 제조업	31	16	2,824	895
기타 제품 제조업	47	6	725	2,846

주: 통계청(2012) 사업체 조사 자료를 이용하여 분석함

〈표 6〉 수송비용 5% 절감에 따른 컨테이너 화물수단분담 결과

구 분		사업시행전	수송비용 5% 절감시 전환량(A)	사업시행후	
2020년	도로	수송량(톤)	17,435,031	-1,141,089	16,293,942
		분담률(%)	100.000	-6.545	93.455
	자동화물운송시스템	수송량(톤)	0	1,141,089	1,141,089
		분담률(%)	0.000	6.545	6.545
	합 계		17,435,031	0	17,435,031
2030년	도로	수송량(톤)	18,707,319	-1,224,383	17,482,936
		분담률(%)	100.000	-6.545	93.455
	자동화물운송시스템	수송량(톤)	0	1,224,383	1,224,383
		분담률(%)	0.000	6.545	6.545
	합 계		18,707,319	0	18,707,319
2040년	도로	수송량(톤)	19,179,739	-1,263,720	17,916,019
		분담률(%)	100.000	-6.589	93.411
	자동화물운송시스템	수송량(톤)	0	1,263,720	1,263,720
		분담률(%)	0.000	6.589	6.589
	합 계		19,179,739	0	19,179,739

자료: 한국철도시설공단(2012)

셋째, 국제물류산업단지에서 발생하는 화물물동량은 부산테크노파크(2014)에 반영된 부산광역시의 국제물류산업도시 개발 방향⁹⁾에 따라 전량 인터모달 자동화물운송시스템을 이용한다. 마지막으로, 수송비용 5%절감에 따른 수단전환량은 컨테이너 화물수단선택모형¹⁰⁾을 통하여 산정하였으며, 이 때 적용된 수단별 수송시간, 수송비용, 서비스 수준은 한국철도시설공단(2012) 연구 결과를 반영하였다.

1) 수송비용 5%에 따른 전환수요 예측 결과

신규 인터모달 자동화물운송시스템을 통해 수송비용을 5% 절감 시 도로수송에서 자동화물운송시스템으로 전환되는 물동량은 2020년 1,141천 톤/년, 2030년 1,224천 톤/년, 2040년 1,264천 톤/년으로

9) 부산발전연구원(2010), 부산신항 배후 국제산업물류도시 개발 기본구상 연구에서 제시하고 있는 산업단지 내 화물수송의 경우, 화석연료차량 진입을 억제하고, 친환경 전기화물차와 인터모달 자동화물시스템만 이용한다는 개발 방향을 반영하여 가정함

10) 신승진(2008), sp 자료를 이용한 화물품목별 수송수단선택 모형 개발 연구에서 제시하고 있는 컨테이너, 양회, 철강수단선택 모형 중 컨테이너 화물수단선택 모형을 적용함

분석되었다. 〈표 6〉은 신규 자동화물운송시스템 도입 시 수송비용 5% 절감에 따른 컨테이너 화물의 수단분담 결과를 나타낸 것이다.

2) 시나리오별 전환수요 예측결과 종합

앞서도 언급했듯이 국제산업물류도시 내 일반산업단지에서 발생하는 화물물동량은 전부 자동화물운송시스템으로 수송된다고 가정하였을 때 전환물동량은 2020년 기준 5,616천 톤/년~4,025천 톤/년으로 분석되었다. 본 연구에서 전환 물동량이 가장 큰 경우는 종사자수 원단위를 사용하고, 부산시 강서구 종사자수 비율 적용한 〈대안 2-1〉로 분석되었으며, 전환물동량이 가장 작은 경우는 종사자수 원단위를 사용하고, 부산시 종사자수 비율 적용한 〈대안2-2〉로 나타났다. 이러한 결과는 사업체당 단위 종사자수가 부산시 평균(7.5명/업체)보다 부산 강서구 평균(15.7명/업체)이 크고, 중량화물을 취급하는 업체비율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 〈표 7〉은 각 시나리오별 전환수요 예측 결과를 정리한 것이다.

〈표 7〉 각 시나리오별 전환수요 예측결과

(단위: 톤/년)

구 분	2020년			2030년			2040년			
	수송비용 5% 절감 시 전환량 (A)	국제산업 물류도시 화물발생 량(B)	총 전환량 (A+B)	수송비용 5% 절감 시 전환량 (A)	국제산업 물류도시 화물발생 량(B)	총 전환량 (A+B)	수송비용 5% 절감 시 전환량 (A)	국제산업 물류도시 화물발생 량(B)	총 전환량 (A+B)	
톤/년	대안 1-1	1,141,089	3,587,420	4,728,509	1,224,383	4,039,706	5,264,089	1,263,720	4,601,039	5,864,759
	대안 1-2	1,141,089	3,871,493	5,012,582	1,224,383	4,432,329	5,656,712	1,263,720	5,142,971	6,406,691
	대안 2-1	1,141,089	4,475,100	5,616,189	1,224,383	5,420,861	6,645,244	1,263,720	6,635,227	7,898,947
	대안 2-1	1,141,089	2,884,700	4,025,789	1,224,383	3,321,132	4,545,515	1,263,720	3,880,752	5,144,472
TEU/년	대안 1-1	57,054	179,371	236,425	61,219	201,985	263,204	63,186	230,052	293,238
	대안 1-2	57,054	193,575	250,629	61,219	221,616	282,836	63,186	257,149	320,335
	대안 2-1	57,054	223,755	280,809	61,219	271,043	332,262	63,186	331,761	394,947
	대안 2-1	57,054	144,235	201,289	61,219	166,057	227,276	63,186	194,038	257,224
대/년	대안 1-1	46,086	144,888	190,974	49,451	163,155	212,605	51,039	185,826	236,865
	대안 1-2	46,086	156,362	202,448	49,451	179,012	228,462	51,039	207,714	258,753
	대안 2-1	46,086	180,740	226,826	49,451	218,937	268,387	51,039	267,982	319,021
	대안 2-1	46,086	116,507	162,593	49,451	134,134	183,584	51,039	156,736	207,774

주: TEU당 물동량은 20톤으로 환산하여 적용하였으며, 차량 대수 전환량은 2011년 전국 화물기종점 통행량 O/D 조사 중 대형 화물차 적재효율(61.9%)을 고려하고 40톤당 1대라고 가정하여 산정함

IV. 편익 추정

1. 편익항목의 설정

신규 자동화물운송시스템 도입에 따른 편익으로는 기존 화물운송수단에서 신규 자동화물운송시스템으로 물동량이 전환됨에 따라 발생할 것으로 예상되는 직접적 편익항목(통행시간 절감, 차량운행비 절감, 교통사고 감소, 환경비용 감소)을 기본적으로 고려하였다. 또한, 본 연구에서는 해외 관련 연구¹¹⁾를 참조하여 이러한 직접적 편익 이외에 신규 자동화물운송시스템 도입에 따른 추가적인 편익항목도 다음과 같이 고려하였다. 첫째, 기회비용 관점에서 화물의 시간가치는 운송시간이 지연됨에 따라 화주가

지불해야 하는 시간당 제고관리비용으로 보았다. 본 연구에서는 컨테이너 단위시간가치를 650.88원/시간-톤(2012년 기준)¹²⁾으로 고려하여 화물통행시간 가치 편익(Valuation Of Travel time Saving, VOTS)을 반영하였다. 둘째, 신규 자동화물운송시스템 도입으로 인해 화물차 통행 혼잡이 감소하는 효과를 혼잡비용 절감편익(Congestion Costs Savings)이라고 규정하고 이를 반영하였다. 2011년 기준 화물차 혼잡비용은 2,879.5억 원과 화물수송실적 104,477백만 톤-km을 고려한 톤-km당 혼잡비용은 27.56원/톤-km로 산정되었다(한국교통연구원, 2014; 2013a). 여기에 소비자 물가지수를 적용하여 기준년도인 2012년 기준으로 보정한 혼잡비용 원단위 (28.17원-톤-km)반영한 혼잡비용 절감편익을 산정하였다. 마

11) Mahdavi, M. (2007). TRANSPORTATION BENEFIT-COST ANALYSIS: IT'S ALL ABOUT INPUTS!

12) 신승진(2008) 연구에서 제시하고 있는 컨테이너 단위 시간가치(2007년 기준)에 2012년 기준으로 소비자물가지수(117.7)를 고려하여 보정하였음

〈표 8〉 편익항목별 분석방법론

편익항목	내용	분석방법론	
The Valuation of Vehicle Operating Costs Saving	운행비용 원단위, 평균운행거리 및 대형화물차 전환량 적용 운행비용 원단위는 예타지침(5판)의 대형화물차 50km/h 원단위 적용	$VOCS = VOC_{\text{사업미시행}} - VOC_{\text{사업시행}}$ $\Rightarrow VOC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{lk} \times VT_k \times 365)$	D_{lk} : 링크별(l), 차종별(k) 대-km VT_k : 차종별(k) 해당링크 주행속도의 km당 차량운행비용 k: 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차)
The Valuation of Travel Time Saving	화물자동차 시간가치 원단위, 시행시와 미시행시의 평균통행시간 차이, 대형화물차 전환량 적용	$VOTS = VOT_{\text{사업미시행}} - VOT_{\text{사업시행}}$ $\Rightarrow VOT = \sum_l \sum_{k=1}^4 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl} \times 365)$	T_{kl} : 링크 l의 차종별 인별 통행시간 P_k : 차종별 인별 시간가치 Q_{kl} : 링크 l의 차종별 인별 통행량 k: 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차, 4:철도)
The Valuation of Accident Costs Saving	일반국도의 교통사고 발생비용 적용하고, 1억대-km당 교통사고 사상자수, 교통사고비용 원단위, 화물자동차 평균운행거리, 대형화물차 전환량 적용	$VACS = VAC_{\text{사업미시행}} - VAC_{\text{사업시행}}$ $\Rightarrow VAC_{\text{도로}} = \sum_{t=1}^3 \sum_{s=1}^2 (A_{ts} \times P_s \times VL_t)$	A_{ts} : 사고유형별 1억 대-km당 사상자수 P_s : 사고유형별 사고비용 VL_t : 연간 도로유형별 억 대-km t: 도로유형(1:고속도로, 2:일반국도, 3:지방도) s: 사고유형(1:사망, 2:부상)
The Valuation of Pollution Costs Saving	운행비용 절감편익과 동일하나, 차종별, 속도별 대기오염비용 원단위를 적용	$VOPCS = VOPC_{\text{사업미시행}} - VOPC_{\text{사업시행}}$ $\Rightarrow VOPC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{lk} \times VT_k \times 365)$	D_{lk} : 링크별(l), 차종별(k) 대-km VT_k : 차종별(k) 해당 링크 주행속도의 km당 대기오염비용 k: 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차)
The Valuation of Noise Costs Saving	30km/h의 속도로 운행할 때 소음도 예측식 이용, 등가소음도(dB) 산정하고, 소음비용의 평균 원단위 적용	$VONCS = VONC_{\text{사업미시행}} - VONC_{\text{사업시행}}$ $\Rightarrow VONC = \sum_i \sum_j (P \times L_{ij} \times I_{ij})$	P : 소음비용의 원단위 L_{ij} : 대상 노선 연장길이 I_{ij} : 예측소음도 i: 도로 및 철도 구분(일반도로, 고속도로, 일반철도, 고속철도 등) j: 영향권 내 개별 링크
The Valuation Of Freight Travel Time Saving	화물시간가치 원단위, 미시행시와 시행시의 평균통행시간 차이 및 대형화물차 전환량 적용	$VOFTS_{\text{화물}} = VOFT_{\text{사업미시행}} - VOFT_{\text{사업시행}}$ $\Rightarrow VOFT = \sum_l \sum_{k=1}^4 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl} \times 365)$	T_{kl} : 링크 l의 통행시간 P_k : 수단별 화물시간가치 Q_{kl} : 링크 l의 통행량 k: 차종(1: 소형화물차, 2: 중형화물차, 3: 대형화물차, 4: 철도)
The Valuation Of Congestion Costs Saving	화물차 혼잡비용 및 화물수송실적을 이용하여 혼잡비용 원단위 산정 및 대형화물차 전환량 적용	$VOCCS = VOCC_{\text{사업미시행}} - VOCC_{\text{사업시행}}$ $\Rightarrow VOCC = \sum_l \sum_{k=1}^4 (C \times Q_{kl} \times d_l \times 365)$	C : 혼잡비용 원단위 Q_{kl} : 링크 l의 물동량 d_l : 링크 l의 연장
The Valuation Of Road Management Costs Savings	차종별 통행량과 도로보수현황 자료를 이용하여 도로유지관리비용 원단위 산정 및 대형화물차 전환량 적용	$VORMCS = VORMC_{\text{사업미시행}} - VORMC_{\text{사업시행}}$ $\Rightarrow VORMC = \sum_l \sum_{k=1}^3 Q_{kl} \times PC_k \times 365$	Q_{kl} : 링크 l의 차종별 통행실적 PC_k : 차종별 손상도 비용 원단위 k: 차종(1: 소형화물차, 2: 중형화물차, 3: 대형화물차)

〈표 9〉 대안별 편익 추정결과

(단위: 백만원/년)

구분	운행비용 절감편익	통행시간 절감편익	교통사고 절감편익	대기오염 절감편익	소음절감 편익	화물시간 가치편익	혼잡비용 절감편익	도로유지 관리절감	합계	
대안 1-1	2020	2,067	6,916	181	1,739	2,027	5,714	2,718	1,147	22,510
	2030	2,301	7,699	202	1,936	2,051	6,361	3,026	1,276	24,854
	2040	2,564	8,577	225	2,157	2,074	7,087	3,372	1,422	27,479
대안 1-2	2020	2,191	7,331	192	1,844	2,040	6,057	2,882	1,215	23,753
	2030	2,473	8,273	217	2,081	2,067	6,836	3,252	1,372	26,570
	2040	2,801	9,370	246	2,357	2,094	7,742	3,683	1,554	29,846
대안 2-1	2020	2,455	8,214	215	2,066	2,065	6,787	3,229	1,362	26,393
	2030	2,905	9,719	255	2,445	2,102	8,030	3,820	1,611	30,887
	2040	3,453	11,552	303	2,906	2,139	9,545	4,541	1,915	36,356
대안 2-2	2020	1,760	5,888	154	1,481	1,992	4,865	2,314	976	19,431
	2030	1,987	6,648	174	1,672	2,019	5,493	2,613	1,102	21,709
	2040	2,249	7,524	197	1,892	2,046	6,217	2,958	1,247	24,330

지막으로 본 연구에서는 화물자동차가 신규 운송수단 전환으로 도로 유지관리 비용이 절감되는 편익을 계량화하여 반영하였다. 사실상 도로포장 생애주기비용(Life Cycle Cost: LCC)은 도로포장의 생산, 사용, 폐기, 처분 등의 각 단계에서 발생하는 총비용을 의미하므로 이러한 모든 요소들은 편익항목으로 반영되는 것이 타당하다(Yeo et al., 2004). 본 연구에서는 차종별 통행량과 도로보수현황 자료를 이용하여 도로유지관리비용 원단위¹³⁾를 산정한 후 대형화물자동차 전환량에 대한 도로유지관리비용 절감편익을 산정하였다. 도로유지관리비용 원단위는 국토해양부에서 발표한 2011년 도로포장 비용과 연간 화물자동차 통행량 자료를 이용하였다.¹⁴⁾ 〈표 8〉은 본 연구에서 적용한 편익 항목별 분석 방법론을 정리한 것이다.

2. 편익 추정결과

본 연구의 편익은 자동화물운송시스템의 도입에 따라 기존 도로를 이용하는 화물자동차가 자동화물운송시스템으로 전환되는 물동량을 기반으로 산정하였다. 대안별 시나리오 분석결과는 〈표 9〉과 같으며, 2020년 기준으로 194억 원/년~264억 원/년, 030년 기준으로 217억 원/년~309억 원/년, 2040년 기준으로 243억 원/년~364억 원/년으로 각각 분석되었다. 그 중 전환물동량이 가장 큰 종사자 원단위법을 이용한 〈대안 2-1〉의 편익이 가장 큰 것으로 나타났다.

본 연구는 많은 가정을 통하여 화물수요 및 편익을 추정하여 어느 정도의 불확실성을 내포하고 있다. 이러한 불확실성을 대처하기 위해 본 연구는 편익 변화를 단순화하여 편익에 대한 민감도 분석(±30% 범위)을 수행하였다. 〈표 10〉은 민감도 분석 결과를 나타낸 것이다.

13) 2011년 도로유지관리비용 원단위는 1,010 원/대-km이므로 2011년 기준 도로 포장관련 비용 4,046 억 원, 연간 화물자동차의 통행실적은 4 억 대-km/년을 고려하였으며, 본 연구에서는 소비자 물가지수(102.2)를 적용한 2012년 기준 원단위(1,032원/대-km)를 적용함

14) 국토해양부(2012), 2011 도로보수현황, 국토해양부(2012), 2011년 도로교통량 통계연보

〈표 10〉 대안별 편익에 대한 민감도 분석 결과

(단위: 백만원/년)

변화율 (%)	대안 1-1			대안 1-2			대안 2-1			대안 2-2		
	2020	2030	2040	2020	2030	2040	2020	2030	2040	2020	2030	2040
-30	15,757	17,398	19,235	16,627	18,599	20,892	18,475	21,621	25,449	13,602	15,196	17,031
-20	18,008	19,883	21,983	19,002	21,256	23,877	21,114	24,710	29,085	15,545	17,367	19,464
-10	20,259	22,369	24,731	21,378	23,913	26,861	23,754	27,798	32,720	17,488	19,538	21,897
0	22,510	24,854	27,479	23,753	26,570	29,846	26,393	30,887	36,356	19,431	21,709	24,330
10	24,761	27,339	30,227	26,128	29,227	32,831	29,032	33,976	39,992	21,374	23,880	26,763
20	27,012	29,825	32,975	28,504	31,884	35,815	31,672	37,064	43,627	23,317	26,051	29,196
30	29,263	32,310	35,723	30,879	34,541	38,800	34,311	40,153	47,263	25,260	28,222	31,629

V. 결론

본 연구에서는 신규 자동화물운송시스템 도입에 따른 화물물동량을 예측하고, 그에 따른 사회적 편익을 추정하였다. 화물물동량 추정에는 사업체 원단위법과 종사자수 원단위법을 이용하였다. 종사자수 원단위를 적용하고, 부산시 강서구의 업종별 종사자수 비율을 적용한 <대안 2-1>에서 물동량이 2020년 4,475천 톤/년, 2030년 5,421천 톤/년, 2040년 6,635천 톤/년으로 가장 낙관적으로 예측되었다. 이러한 결과는 사업체당 단위 종사자수가 부산시 평균(7.5명/업체)보다 부산 강서구 평균(15.7명/업체)이 크고, 중량화물을 취급하는 업체비율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한 신규 자동화물시스템을 통해 수송비용을 5% 절감 했을 경우, 도로수송에서 전환되는 물동량은 2020년에 1,141천 톤/년, 2030년에 1,224천 톤/년, 2040년에 1,264천 톤/년에 달할 것으로 분석되었다.

본 연구의 편익은 자동화물운송시스템의 건설로 인해 기존 도로를 이용하는 화물자동차가 자동화물운송시스템으로 전환되는 물동량을 기반으로 산정하였다. 대안별 시나리오 분석결과는 2020년 기준으로 194억 원/년~264억 원/년, 2030년 기준으로 217억 원/년~309억 원/년, 2040년 기준으로 243억 원/년~364억 원/년으로 각각 분석되었다.

본 연구는 전혀 새로운 자동운송시스템 도입에 따라 새로운 시스템으로 전환될 수 있는 물동량을 추정하고 사업의 편익을 추정해 보았다는 점에서 의미가 있으나, 다음과 같은 한계점에 대해 추후 보완이 필요할 것으로 판단된다. 첫째, 신규 자동화물운송시스템 도입 시 화물교통 패턴 변화가 현저하게 발생하는 영향권을 설정해서 분석해야 하나, 본 연구에서는 별도의 영향권 분석과정 없이 국제산업물류도시 구역으로 고려하였다. 둘째, 본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 2014년 교통물류사업의 일환으로 진행되었다. 이로 인해 시간적 범위 중 기준년도는 2012년으로 설정하여 분석하였으나, 5년이 지난 시점에서 화물수요 추정시 활용한 원단위 및 사업체 조사 자료 등 최신 자료로 갱신해야 할 것으로 판단된다. 셋째, 본 연구에서는 인터모달 자동화물시스템이 단선으로 왕복 운행하는 것으로 입하량과 출하량이 50:50으로 같다고 가정하였으나, 이 가정은 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 우리나라의 수입구조를 살펴보았을 때 국내 내수화물의 입출하 비율은 불균형하기 때문에 향후에는 현실에 맞는 입하량과 출하량 비율 적용이 필요할 것으로 판단된다. 넷째, 전환물동량 추정 시 별도의 신규 자동화물운송시스템 대안을 고려하는 것이 타당하지만, 신규 자동화물운송시스템을 철도운송으로 가정된 뒤 도로운송과 철도운송 두 가지 수단만 고

려한 화물수단선택모형을 적용하였다. 향후에는 신규 운송시스템까지 선택대안에 추가한 별도의 수단 선택모형을 마련할 필요성이 있다. 마지막으로, 본 연구에서는 해외 선진사례 분석을 토대로 국내 SOC 사업 타당성평가 과정에서 편익항목으로 고려하지 않는 화물시간가치편익, 혼잡비용 절감편익, 도로유지관리비용 절감편익 등의 고려 필요성을 검토하고, 편익을 추정해 보았으나, 신규 운송시스템 도입에 따른 화물운송 편익산정에 관한 보다 세밀하고 체계적인 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

국토해양부(2012), 2011 도로보수현황
 국토해양부(2012), 2011년 도로교통량 통계연보
 국토해양부(2009), 교통시설 투자평가지침 개정안
 국토교통부 국토교통과학기술진흥원(2014), 수송비 절감과 화물운송체계 혁신을 위한 인터모달 자동화물 운송 시스템 개발 기획, 2014 국토교통연구기획사업
 김동효, 손고익(2015), “서부산 국제산업물류도시 공공물류체계 랜드마크 향만도시형 친환경 공공물류 자동화시스템 구축”, 대한교통학회, 교통기술과 정책, 제12권 제2호, pp.21-28.
 김찬성, 이정윤 정경훈(2008), 화물특성에 따른 국내 운송수단 선택모형 구축, 한국교통연구원 기본연구보고서
 노홍승, 오재학, 정승주, 문진수, 민연주, 장소영(2010), 경부축 대량화물 자동수송체계 구축방안 연구, 한국교통연구원 기본연구보고서
 대구광역시(2004), 대구광역시 도시물류기본계획
 부산·진해경제자유구역청(2014), 부산신항배후국제산업물류도시(1단계) 일반산업단지 계획변경승인 및 지형도면고시
 부산발전연구원(2010), 부산신항 배후 국제산업물류도시 개발 기본구상

부산발전연구원(2011), 부산 국제산업물류도시의 공공물류 서비스 정책도입 방안, 부산발전연구원
 부산시(2014), 2017년 기준 국제산업물류도시(1단계) 계획
 부산테크노파크(2014), 향만도시형 친환경 공공물류자동화 시스템 도입방안 연구
 신승진(2008), SP 자료를 이용한 화물품목별 수송수단선택모형 개발 연구, 서울시립대학교 석사학위논문
 신재영, 김용섭(2014), “국제산업물류단지 물류네트워크 설계” 한국항해항만학회 2014년도 공동학술대회 논문집 pp.221-222.
 최형림, 노홍승, 민연주, 박용성, 이창섭. (2011) [특집기사]IV)국내 적용 가능한 지하 화물운송 시스템. 대한토목학회지, 59(8), 35-43.
 한국개발연구원(2009), “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)”
 한국교통연구원(2013), 화물통행수요추정 개선방안 연구
 한국교통연구원(1998), 21세기 국가철도망 구축 기본계획 수립 연구
 한국교통연구원(2012), 2011년 국가교통조사 및 DB 구축 사업-전국 화물기종점 통행량 O/D 조사
 한국교통연구원(2013a), 전국 화물 O/D 전수화 및 장래예측
 한국교통연구원(2013b), 화물통행수요추정 개선방안 연구
 한국교통연구원(2014), 2011~2012년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석
 한국교통연구원(2016), 2016년 국가교통조사 및 DB 구축 사업- 전국 화물 O/D 보완갱신
 한국철도시설공단(2012). 철도물류 활성화를 위한 컨테이너 자동수송시스템 도입방안 연구.
 한국철도시설공단(2010), 철도투자평가편람 전면개정 연구
 Federal Ministry of Transport, Building and Housing, 2004, Federal Transport Infrastructure Plan 2003
 Hickling Lewis Brod Inc. (HLB), Model Documentation for RailDec v. 2.0
 Mahdavi, M. (2007). Transportation Benefit-Cost Analysis: It's All about Inputs!.
 Rijsenbrij, J. C., Pielage, B. A., & Visser, J. G. S. N. (2006). State-of-the-art on automated

(underground) freight transport systems for the EU-TREND project. Delft University of Technology, Delft.

- Van Binsbergen, A. J., Konings, R., Tavasszy, L. A., & Van Duin, J. H. R. (2014). Innovations in intermodal freight transport: lessons from Europe. In Papers of the 93th annual meeting of the Transportation Research Board, Washington (USA), Jan 12-16, 2014; revised paper. TRB.
- Yeo, R. E., Sharp, K. G., Koh, S. L., & Martin, T. C. (2004). Load damage exponents for thin surfaced granular pavements. In International Conference on Accelerated Pavement Testing, 2nd, 2004, Minneapolis, Minnesota, USA.

<http://www.freightshuttle.com/concept/>

<http://www.megarail.com>

<http://www.cargocap.com>

<http://www.tubexpress.com/index.htm>

<http://www.skytechtransport.us/>

<http://www.cargotunnel.com/>

<http://www.denys.be/nl>,

<http://www.koti.re.kr/>

<http://www.krri.re.kr/>

<http://www.bimodaltram.com/>

인터모달 자동화물운송시스템 도입을 위한 화물운송수요 및 사업 편익분석 -부산 국제산업물류도시를 중심으로-

신승진 · 노홍승 · 허성호 · 김동현

국문요약

본 연구는 물류 네트워크상 중요한 입지 여건을 갖추고 있는 국제산업물류도시와 부산 신항에 신규 자동화물운송시스템 도입에 따른 화물 물동량 및 편익을 분석하기 위해 수행되었다. 이를 위해 본 연구는 대상지역의 장래 화물 물동량 및 전환물동량을 예측하였으며, 그에 따른 사회적 편익을 분석하기 위해 4개의 시나리오 설정하였다. 화물물동량 예측은 사업체 원단위법과 종사자수 원단위법을 적용하였으며, 편익은 기존 도로를 이용하는 화물자동차가 인터모달 자동화물운송시스템으로 전환되는 물동량을 기반으로 산정하였다. 본 연구에서의 편익항목은 직접편익(통행시간 절감, 차량운행비용 절감, 교통사고 절감, 환경비용 절감)이외에 해외 관련 연구를 기반으로 화물통행시간가치 편익, 혼잡비용 절감 편익, 도로유지관리 절감편익을 추가적으로 고려하였다. 분석 결과, 종사자수 원단위를 적용하고, 부산시 강서구의 업종별 종사자수 비율을 적용한 방법론의 화물물동량 및 편익이 가장 큰 것으로 예측되었다.

본 연구는 패러다임 변화에 따른 새로운 자동운송시스템 도입을 기반으로 물동량의 추정과 사업 편익 추정을 하였다는 점에서 학술적 의미가 있을 것으로 기대된다.

주제어: 화물물동량, 사회적 편익, 자동화물운송시스템, 부산 국제산업물류도시, 부산신항

