

## 복합수단운송을 고려한 화물통행수요분석 방안

홍다희 · 박민철\* · 이정엽 · 한진석 · 강재원

한국교통연구원 국가교통DB센터

### Freight Demand Analysis for Multimodal Shipments

HONG, Dahee · PARK, Minchoul\* · LEE, Jungyub · HAHN, Jin-seok · KANG, Jaewon

Department of National Transport Survey and Analysis, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

#### Abstract

Modern freight transport pursues not only the reduction of logistic costs but also aims at green logistics and efficient shipments. In order to accomplish these goals, various policies regarding the multimodal shipment and stopover to logistic facilities have widely been made. Such situation requires changes in existing methods for analyzing freight demand. However, the reality is that a reliable freight demand forecast is limited, since in the transport research field there is no robust freight demand model that can accommodate transshipments at logistic facilities. This study suggested a novel method to analyze freight demand, which can consider transshipments in multi-modal networks. Also, the applicability of this method was discussed through an example test.

최근 화물운송은 물류비용절감뿐만 아니라 화물운송효율화, 녹색물류를 추구하고 있으며, 이를 지원하기 위한 방안으로 물류시설 경유 및 다수단간 복합운송을 지향하는 교통물류정책들이 활발히 논의되고 있다. 이러한 추세에 따라 관련 화물통행수요 분석 방안의 변화가 필요한 시점에 이르렀다. 그러나 국내에서는 화물통행수요모형 개발에 대한 논의가 미흡한 상황이며, 특히 중간경유지에서의 수단간 환적 등의 물류활동을 고려하고 있지 않아 물동량 추정 및 신뢰성 및 현실성에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 화물의 순물동량과 총물동량을 고려하여 복합수단교통망에서의 물류시설 경유여부 및 수단간 환적 등의 물류활동을 분석할 수 있는 화물통행수요분석 방안을 제시하였다. 또한 사례품목에 개발된 방법론을 적용함으로써 물류시설 신설 또는 변경에 따른 수단간 전환 효과를 분석에 본 방안의 적용가능성을 살펴보았다.

#### Key Words

Freight Demand Analysis, Logistics Chain Model, Freight Mode Choice Model, Multimodal Shipment, Multimodal Network  
화물통행수요분석, 물류시설경유모형, 화물수단분담모형, 복합화물운송, 복합수단교통망

\* : Corresponding Author  
minchoul@koti.re.kr, Phone: +82-31-910-3158, Fax: +82-31-910-3233

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 화물운송의 방향은 물류비용 절감뿐만 아니라 화물운송 효율화, 녹색물류 등의 기조에 따라 물류시설 경유 및 다수단간 복합운송을 지향하고 있다. 이러한 추세에 따라 국외에서는 한발 앞서 Trans-Tools, 스웨덴 모형, STEMM 등 복합수단 교통망에서의 물류시설 경유여부 및 환적비용을 고려한 복합운송모형을 개발 및 적용하고 있다. 그러나 국내 화물통행수요모형은 수단간 환적 및 물류시설 경유 등과 같은 물류활동을 고려하지 못하기 때문에 산정한 물동량 자료는 현실성과 신뢰성에 한계를 가지고 있다. 이러한 이유로 물류시설계획의 평가에 화물통행수요특성을 제대로 반영하지 못하고 있으며 물류시설관련 SOC사업의 투자평가에도 화물분야에 대한 고려가 미흡한 실정이다.

이러한 문제는 총물동량<sup>1)</sup>(Origin/Destination, O/D)과 순물동량<sup>2)</sup>(Production/Consumption, P/C)의 개념을 기존 화물통행수요모형에서 명확히 구분하지 못하고, 물류시설의 경유여부 및 수단간 환적 등의 물류활동을 고려하지 못하는 점에서 기인된다. 즉, 기존 화물통행수요모형으로는 교통 및 물류시설의 신설 및 개선효과를 분석할 수 없기 때문에 정확한 화물통행수요를 분석하기 위하여 그에 맞는 화물통행수요모형의 개발이 시급하다. 또한 화물통행의 특성상 다양한 물류활동뿐만 아니라 다 품목 통행분석이 가능한 화물통행수요모형도 필요하다.

따라서 본 연구에서는 화물 P/C와 O/D간의 관계를 고려하여 복합수단교통망에서 물류시설 경유여부 및 수단간 환적 등의 물류활동을 분석할 수 있는 화물통행수요분석 방안을 제시하고자 한다. 또한 제시된 방안을 이용하여 사례품목(화학공업품)에 대한 물류시설 신설 전/후의 화물통행수요분석을 수행함으로써 물류시설 신설 또는 변경에 따른 수단간 전환 효과분석에 대한 적용가능성을 검토하였다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 제시하는 화물통행수요분석 방안은 전국 지역간 물동량에 초점을 두었다. 화물운송수단은 도로와

철도로, 중간경유지는 정부지원 물류시설로 한정하였다. 연구의 흐름을 살펴보면 먼저 분석대상인 화물의 품목을 설정하고, 설정된 화물품목을 대상으로 화물발생모형, 화물분포모형, 물류체인모형(수단분담 및 물류시설경유모형), 화물차전환모형으로 구성된 화물통행수요분석 방안을 제시하였다. 세부모형개발에는 국내에서 수행된 다양한 화물조사 자료를 이용하였다. 또한 화물통행수요에 대한 네트워크 분석을 수행할 수 있도록 물류시설을 포함한 전국 물류네트워크를 구축하였다. 마지막으로 개발된 방법론을 실제 분석에 적용할 수 있는지 검토하기 위하여 사례품목에 대하여 물류시설 신설에 따른 수단간 전환효과를 분석하였다.

## II. 관련연구 고찰

### 1. 국내화물모형

국내에서는 매년 국가교통DB구축사업으로 전국 화물 기중점통행량(O/D)을 구축하고 있다. 전국 화물 O/D는 지역간 물동량에 초점을 맞추고 있으며 4단계 화물통행수요모형을 기반으로 한다. 모형을 구축하기 위한 데이터는 5년 단위 국가교통조사자료를 이용하며 현재까지 3차례에 걸친 조사가 수행된 바 있다. 이렇게 구축된 화물 O/D는 국가기간교통망계획, 국가물류기본계획 등 주요 교통 및 물류계획 수립 및 정책방안을 제시하기 위한 필수자료로 사용되고 있다. 그러나 기존의 화물 O/D는 물류시설 경유 및 수단간 환적 등 복합수단운송, 화물 경유특성 등을 고려하지 못하였다. 이러한 문제는 순물동량 형태의 P/C와 총물동량 형태의 O/D에 대한 고려가 부족하기 때문에 발생한 것으로 볼 수 있으며 모형개발 및 자료수집 단계에서 충분히 반영되어야 할 부분이다.

P/C와 O/D의 개념을 다룬 연구는 많지 않으며 대부분 최근에 수행되었다. 이들 연구는 화물통행수요모형 전반에 대한 방법론보다는 화물수단분담모형 위주로 진행되었다. 고영승 외(2010)는 석유화학, 자동차 및 자동차 부품을 대상으로 생산지에서 소비지까지 경유지를 고려하여 직접 수송형 소형화물차, 직접 수송형 중형화물차, 직접 수송형 대형화물차, 그리고 중간지점 경유형 소형화물차로 운송수단의 크기를 고려한 수단분담 모형을 구축하였다. 박민철 외(2010)는 고영승의 운송수단

1) O/D : 중간에 경유지가 있을 경우 중간경유지까지의 통행과 중간경유지 이후의 통행을 별도의 통행으로 보는 물동량 개념  
2) P/C : 최종생산지에서 최종소비지까지를 한 통행으로 보는 물동량 개념

파라미터를 기반으로 별도로 구축한 물류네트워크에 적용하여 수단별 물동량을 표출하였으며, 물류시설 신설에 따른 수단간 물동량의 전환효과를 분석하였다. 김현승 외(2010)의 연구에서는 컨테이너를 대상으로 육송과 철송의 수단분담모형을 제시하였다. 이 논문에서는 물류시설 경유 없이 직접수송형태인 육송, 그리고 철도와 도로로 구성되는 철송에 대한 수단분담모형을 추정하였다. 홍다희 외(2010)는 김현승 외(2010)의 수단분담모형과 타 연구들에서 제시한 수단분담모형을 검토하여 최적 모형을 산출하고, 별도의 물류네트워크에 적용하였다.

## 2. 국외화물모형

국외의 경우도 집계적 화물통행수요모형은 다양하게 연구되었지만 복합수단 및 중간경유를 고려한 화물모형에 대한 연구는 최근에 들어 활발히 진행되었다. 그러나 Trans-tools, Cube cargo, STAN 등 일부 화물통행수요분석 모형을 제외하고는 실제 인터모달 화물운송분석에 활용되지 못하고 있다. Trans-tools(2006)는 기존에 개발된 선행모형들(SCENES, STEMM, SMILE 등)을 보완하면서, 개별국가 및 EU차원의 다양한 복합운송활성화 정책을 수용할 수 있는 복합운송 분석틀 강화에 초점을 두었으며, 화물의 복합운송 구현이 가능한 종합적 유럽교통망모형이다. Location Scores란 개념을 적용 순위가 높은 지역에 물류시설을 선정하도록 하였으며, 각 체인 타입에 따라 네스티드 로짓모형을 적용하여 물동량을 배정하는 구조로 구축되어 있다. Cube Cargo는 미국의 화물모형으로 지역간 및 도시내 화물통행수요 분석에 적합한 프로그램으로서 각 존별 거리를 추출하고 단거리통행에 대하여 물류체인모형을 적용하였다. (Citilabs, 2008)

이외에 물적 유통경로와 관련한 연구가 유럽과 미국을 중심으로 국가 또는 지역 화물모형에서 진행되어 왔다 (Boerkamps and Binsbergen, 1999; Wisetjindawat and Sano, 2003; De Jong et al., 2004; Fisher et al., 2005; De Jong and Ben-Akiva, 2007). 대표적인 사례로 De Jong et al.(2004)은 생산지에서 소비자 사이의 수송사슬을 고려하여 물동량의 물류시설 경유모형에 대한 이론적 개념을 제시하였고, De Jong and Ben-Akiva(2007)는 상품의 배송크기, 운송비용, 재고비용 등을 고려한 EOQ모형을 구축하여 집배송센터에

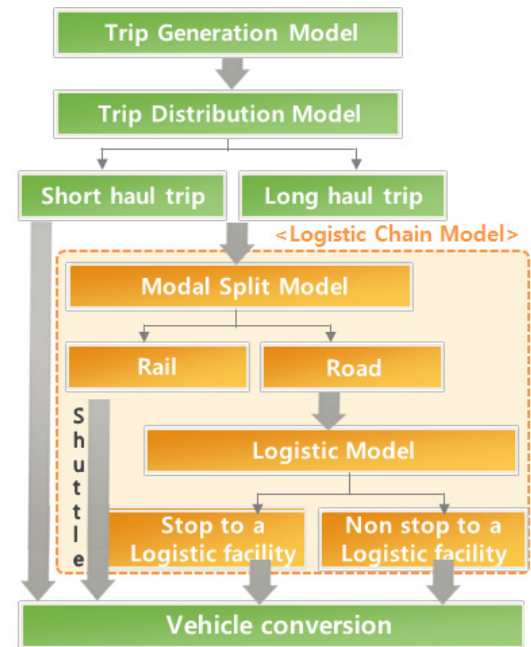
따른 수송사슬을 구축하였으며 모형의 적용방안에 대하여 논의하였다.

## III. 화물통행수요분석체계

### 1. 개요

본 연구에서는 지역간 화물을 대상으로 도로와 철도에 대해 품목별 물류시설 경유 및 수단간 환적을 고려하는 화물통행수요모형을 <Figure 1>과 같이 제시한다. 화물통행수요모형은 크게 통행발생모형, 통행분포모형, 물류체인모형(복합수단분담모형과 물류시설경유모형), 화물차전환모형으로 구성된다. 통행발생모형은 화물품목별, 존별 화물 발생량 및 도착량을 산정하며, 통행분포모형은 산정한 화물 발생량 및 도착량을 존간에 분포시키는 모형이다. 수단간 환적 및 물류시설 경유여부를 고려하여 화물의 복합운송을 구현할 수 있는 물류체인모형은 크게 복합수단분담모형과 물류시설경유모형으로 구분된다.

복합수단분담모형은 분포된 화물통행량(P/C)을 각 존간 거리에 따라 단거리/장거리통행으로 구분하여 장거리 통행만을 대상으로 철송과 육송의 수단선택비율을 결정한다. 이 때 철송은 서틀운송과 철도운송을 포함한 복



<Figure 1> Structure of Freight Demand Model

합운송을 의미하며 육송은 화물자동차 단일운송을 의미한다. 물류시설경유모형은 복합수단분담모형에서 산출된 육송의 통행량 중 물류시설을 경유하는 통행량을 결정한다. 이렇게 하여 최종적으로 산출된 철도 및 도로 물동량 O/D 중 도로물동량 O/D는 화물차전환모형을 통하여 화물자동차 O/D로 전환된다.

전체 모형구조를 살펴보면 물류체인모형을 적용하기 전에 단거리/장거리 통행을 먼저 구분한다. 본 연구에서는 단거리 통행은 화물자동차로만 운송하고, 장거리 통행에 대해서만 철도를 포함한 다수단 운송이 가능하다고 가정하였다. 따라서 단거리 통행량에 대해서는 화물수단분담을 고려할 필요가 없다. 물론 품목의 특성에 따라 운송거리가 상이한 부분은 고려해야 한다. 둘째, 복합수단분담모형에서 철송은 발생지부터 물류시설(ICD, CY, 일반 철도역 등)까지, 물류시설부터 도착지까지 서틀화물차운송을 이용하는 복합운송체계를 가지므로 수단분담단계에서 철송은 물류시설 경유가 반영된 물동량 O/D가 산출된다.

그러나, 육송의 경우에는 별도로 물류시설 경유 및 비경유 통행을 고려해야 한다. 결국 복합수단분담모형을 통하여 육송서틀이 포함된 철도 O/D와 육송 P/C가 산출되며 산출된 육송 P/C에 물류시설경유모형을 적용하여 육송 O/D를 산출한다. 즉, 복합수단분담모형과 물류시설경유모형을 통하여 수단간 환적 및 물류시설 경유여부를 반영하였다.

## 2. 화물품목체계

화물은 품목에 따라 운송특성이 상이하기 때문에 화물통행을 분석할 때 품목별 특성을 고려하여 모형을 구축하는 것이 일반적이다. 그러나 기존의 화물품목체계는 운송특성을 차별화할 수 있도록 정해지지 않았기 때문에 화물통행수요분석에 적용하는데 한계가 있다. 또한 화물품목의 분류기준에 따라 품목수가 무수히 많아질 수 있기 때문에 적용상에 한계가 있다. 따라서 분석의 목적에 맞게 품목구분체계를 정립하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 이정엽(2011)의 연구에서 제시한 것처럼 화물통행수요분석을 위하여 국내의 대표적 화물품목분류체계인 산업연관표, 한국표준산업분류를 이용한 KTDB에서의 품목체계, 물류통계에서 제시한 HS, MTI, SITC 분류기준의 세부품목을 검토한 후, 11개의 화물품목으로 그룹화하였다. 단, 컨테이너의 경우, 화물품목은 아니지만 화물정책분석에 중요하게 이용되기 때

<Table 1> Commodity classification

1	2	3	4
Agriculture, Forestry and Fishery	Food and Beverages	Manufacture of Textiles and Leathers	Non-metallic Mineral Products
5	6	7	8
Metal Products	Wood and Paper Products	Other Products	Chemicals and Chemical Products
9	10	11	12
Machinery	Electrical, Electronic and Precision Instruments	Mineral Products	Containers

문에 본 연구에서는 별도의 품목으로 고려하였다. 본 연구에서 제시한 화물품목체계는 <Table 1>과 같으며, 국외의 대표적인 화물통행수요모형인 Cube Cargo(10개)와 Trans-tools(11개)의 품목구분체계와도 유사한 것으로 검토되었다.

## 3. 화물통행발생 및 분포모형

### 1) 화물통행발생모형

화물품목별 발생량은 종사자수, 사업체부지면적 등의 사회경제지표 자료를 기반으로 원단위법과 회귀분석법을 적용하여 산출하며, 도착량은 산업간, 지역간 재화의 흐름을 반영할 수 있는 지역간 산업연관표(Inter-Regional Input Output table, IRIO)를 이용하여 산출한다. 원단위법은 한국교통연구원에서 수행한 전국 화물기중점통행량 조사(2005)와 전국 화물기중점통행량 보완조사(2006)의 데이터와 통계자료를 사용하여 발생요인(매출액, 종사자수, GRDP 등)별 물동량 발생률을 추정하였다. 회귀분석법은 전국 화물기중점통행량 조사(2005)와 산업단지보완조사(2008)의 데이터를 이용하여 광산물을 제외한 10개 화물품목에 대하여 매출액, 고용자수, 부지면적을 설명변수로 하여 모형을 추정하였다. 단, 광산품과 컨테이너의 경우 철도공사에서 배포하는 철도 화물수송실적자료와 한국해양수산개발원에서 제공하는 항만별 컨테이너 실적자료를 활용하여 발생량과 도착량을 직접 산정하므로 화물통행발생모형에서 제외하였다.

화물도착량은 지역간 산업연관표의 투입구조를 이용하여 특정 지역, 특정 품목생산을 위하여 다른 지역, 다른 품목의 투입규모를 산출하고 해당비율을 발생량에 적

용하였다(박민철, 2011). 이 때 전체 발생량과 도착량은 동일하다고 가정하였다. 한국은행(2008)에서 배포한 지역간 산업연관표는 16개 시도로만 구분되어 있다. 전국 시군구(약 250개촌) 도착량을 산정하기 위하여 시군구별 종사자수 등의 사회경제지표를 활용하여 16개 권역의 화물 도착량을 세분하였다. 화물발생모형이 완료되면 품목별 존별 발생량(P), 도착량(C)이 산출된다.

2) 화물통행분포모형

통행분포모형은 크게 성장인자모형과 중력모형으로 구분되며, 본 연구에서는 성장인자모형에서 가장 대표적인 프라타법과 중력모형을 적용하였다. 프라타법은 균일성장, 평균성장 등 단순성장인자모형보다 결과가 우수하여 통행분포모형으로 많이 이용하고 있으며 또한 중력모형은 통행거리, 통행시간 등 통행저항을 고려한 통행분포를 수행할 수 있어 화물통행분포모형으로 이용되고 있다. 이러한 이유로 본 연구에서 통행분포모형으로 프라타법과 중력모형을 이용하여 존간, 품목별 통행분포량을 추정하였다. 특히 중력모형의 경우 2005년 전국 화물기종점통행량 조사에서 얻은 표본물동량 데이터를 활용하여 각 품목별 저항계수를 구하였다. 화물 발생량, 도착량 및 품목별 저항계수를 이중계약 중력모형에 적용하여 시군구간 물동량 O/D를 추정하였다. 즉, 화물통행분포모형을 통하여 존간 품목별 P/C가 산출된다.

4. 물류체인모형

물류체인모형은 수단간 환적 및 물류시설 경유여부를 고려하여 품목별 P/C를 수단별 O/D로 전환하는 모형으로서 복합수단분담모형과 물류시설경유모형으로 구성된다.

1) 복합수단분담모형

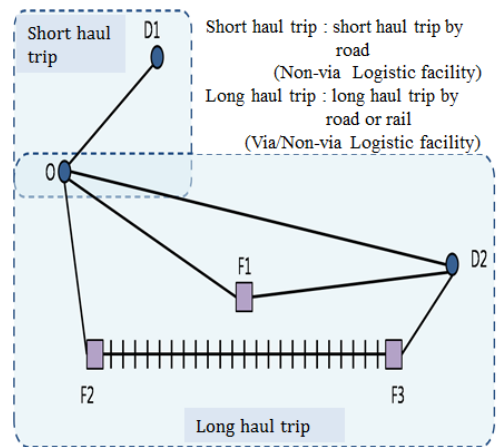
복합수단분담모형은 통행분포 단계에서 추정된 존간 화물통행량을 통행수단별로 분할하는 모형이다. 전술한 바와 같이 분포된 존간 통행량을 기종점간 거리를 이용하여 단거리와 장거리 통행으로 분류한 후, 단거리통행은 화물차량을 이용하는 것으로 가정하였으며, 장거리통행에 대해서만 수단분담모형을 적용하였다. 본 연구에서는 화물데이터의 한계로 화물통행수요모형을 직접 추정하지 않고, 한국교통연구원(2008)에서 제시한 컨테이너 및 비컨테이너의 모형결과를 활용하였다.

(1) 단거리 및 장거리 통행구분

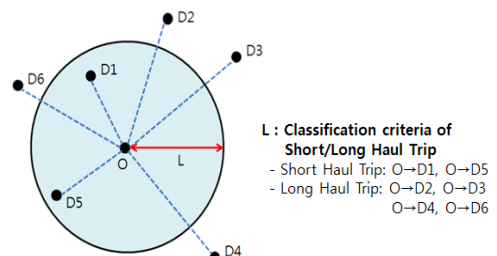
단거리통행은 <Figure 2>와 같이 화물차에 의해 운송되며 물류시설을 거치지 않고, 기점에서 종점까지 직접 수송되는 형태인데 반하여, 장거리통행은 다수단(화물자동차와 철도)에 의해 운송되며, 기점에서 종점까지 물류시설을 경유하거나 직접 운송되는 형태이다. 따라서 단거리통행은 화물차로만 운송되는 것으로 가정하였으며 장거리통행에 대하여 복합수단분담모형에 적용하였다.

단거리/장거리통행을 분류하기 위한 분류기준으로서 “특정거리”를 제시하였다. <Figure 3>과 같이 특정거리(L)를 경계로 하여 경계이내의 기종점을 가진 통행량(ex. O→D1)은 단거리통행으로 분류하였으며, 경계의 기종점 통행량(ex. O→D6)은 장거리통행으로 정의하였다.

단거리/장거리통행의 분류기준인 특정거리는 “물류시설을 이용한 통행의 기종점간 최소거리”로 정의하고, 최소거리 기종점이 있는 통행은 단거리통행으로 분류하였다. 또한, 품목별로 물류시설을 이용한 기종점 통행량의 최소거리가 상이한 것을 반영하기 위하여 본 연구에서는 한국교통연구원에서 수행한 물류거점별 화물원단위조사



<Figure 2> Concept of Short and Long Haul Trip



<Figure 3> Classification Criteria of Short/Long Haul Trip

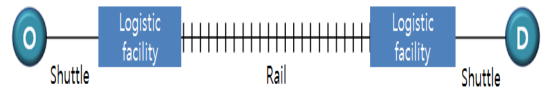
<Table 2> Minimum shipment distance by commodity

Commodity	minimum distance	Commodity	minimum distance
Agriculture, Forestry and Fishery	23.97km	Other Products	48.49km
Food and Beverages	15.06km	Chemicals and Chemical Products	18.43km
Manufacture of Textiles and Leathers	18.09km	Machinery	25.77km
Non-metallic Mineral Products	145.24km	Electrical, Electronic and Precision Instruments	13.87km
Metal Products	25.66km	Mineral Products	29.67km
Wood and Paper Products	-	Containers	36.31km

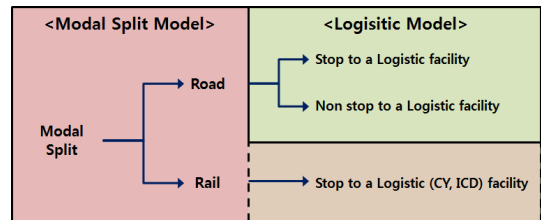
(2009)자료를 활용하여 품목별 최소거리를 <Table 2>와 같이 설정하였다. 최소거리가 가장 긴 제품은 비금속 광물제품으로 나타났으며, 가장 짧은 품목은 전기전자 및 정밀기기품목인 것을 분석되었다. 한편 자료의 한계로 인하여 목재 및 종이제품의 최소거리는 산정하지 못하였다.

(2) 수단별 경로설정

복합수단분담모형은 앞서 분류한 장거리통행을 대상으로 철송과 육송간 수단분담율을 결정한다. 본 연구에서는 품목별 화물운송특성 및 경로속성을 반영할 수 있고 모형 적용이 비교적 용이한 로짓모형을 복합수단분담모형으로 적용하였다. 수단분담율을 산정하기 위해서는 로짓모형의 내부속성변수인 기중점간 수송비용과 수송시간이 필요하며 이를 산출하기 위해서는 먼저 각 수단별 경로설정이 필요하다. 본 연구에서는 수송비용과 시간을 포함한 총통행비용이 최소가 되는 경로를 탐색하도록 하였다. 철송의 경우 <Figure 4>와 같이 철도역간은 철도로 운송되지만 기점 및 종점으로부터 물류시설(CY, ICD 등)까지는 셔틀(화물차) 및 화물차량으로 수송되는 복합수송형태이다. 철송의 경로는 철도수송을 위한 물류시설이 포함되어야 하며, 기점 및 종점에서 이용 가능한 물류시설을 탐색할 수 있어야 한다. 즉, 육송과 다르게 철송의 경우 수단분담시 이용물류시설을 탐색하게 되므로 수단분담과 동시에 경로를 탐색하게 된다. 따라서 복합수단분담모형이 완료되면 품목별 수단별 P/C가 산출되는데 철송의 경우 O/D, 육송의 경우 P/C가 산출된다.



<Figure 4> Process of Rail Shipments



<Figure 5> Structure of Modal Split Model/Logistic Model

2) 물류시설경유모형

물류시설경유모형은 수단분담모형에서 추정된 육송과 철송통행량 중 육송통행량에 대한 물류시설의 경유를 구현한다. 철송은 복합수단분담모형에서 이미 물류시설 경유를 고려하였으므로 물류시설경유모형에서는 육송의 장거리 통행을 대상으로 물류시설 경유여부를 결정하게 된다. 물류시설경유모형에서 육송의 물류시설을 경유 및 비경유하는 통행량을 구분하기 위하여 본 연구에서는 품목별 물류시설 경유비율을 이용하였다.

(1) 물류시설 경유비율

각 품목별 물류시설의 이용/비이용 통행량을 구분하기 위하여 한국교통연구원에서 수행한 화물유통경로조사(2007, 2008)의 데이터를 이용하였다. 품목별 육송의 물류시설 경유비율은 <Table 3>과 같으며, 평균 50% 정도가 물류시설을 경유하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 고려한 품목 중 농림수산물과 잡제품, 광산물의 경우 자료의 한계로 인하여 물류시설 경유비율을 산정하지 못하였다.

(2) 물류시설 선택

앞서 산정된 물류시설 경유비율에 따른 물류시설 경유 및 비경유 통행량을 반영한 육송 O/D를 구하기 위하여 물류시설 경유 및 비경유 경로를 탐색하였다. 물류시설을 경유하지 않는 통행량에 대해서는 기중점간 통행비용이 가장 작은 경로를 선정하며, 물류시설을 경유하는 경우에는 기점에서 물류시설까지의 거리와 종점에서 물류시설까지의 비용의 합이 최소인 경로를 탐색하였다.



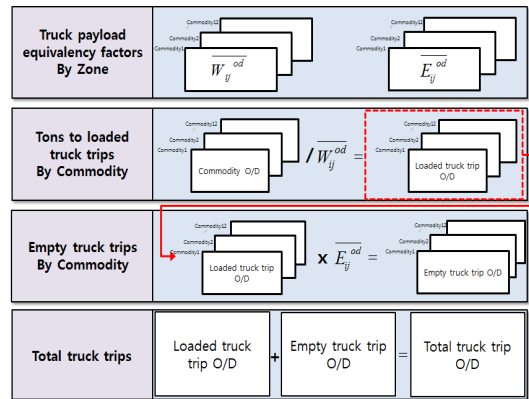
<Table 3> The ratio via logistic facilities by commodity

Category	Commodity	Ratio(%)
1	Agriculture, Forestry and Fishery	-
2	Food and Beverages	53.7
3	Manufacture of Textiles and Leathers	100.00
4	Non-metallic Mineral Products	10.9
5	Metal Products	60.00
6	Wood and Paper Products	49.17
7	Other Products	-
8	Chemicals and Chemical Products	52.97
9	Machinery	49.81
10	Electrical, Electronic and Precision Instruments	7.4
11	Mineral Products	-
12	Containers	-
	total	47.99

이 경우 기점에서 물류시설까지 수송비용, 물류시설 이용비용, 물류시설에서 중점까지 수송비용을 결합한 총 수송비용이 최소화되는 경로를 설정하였다. 물류시설의 이용비용은 물류시설별로 동일하다고 가정하여 기점과 중점에서 최단거리인 물류시설을 이용하는 것으로 설정하였다. 물류시설 경유모형을 통하여 산출된 품목별 육송 O/D는 복합수단분담모형에서 산출된 철송 O/D 중 기중점에서 물류시설까지의 서틀 도로 O/D와 결합하여 최종 도로 O/D로 산출된다.

### 5. 화물차전환모형

일반적으로 물동량 기반의 화물통행수요모형을 적용할 때 화물차 통행수요를 구축하기 위하여 물동량을 화물차로 변환하는 과정을 수행한다.(FHWA, 2007; Ram M. Pendyala et al., 2000) 화물차전환모형은 물류체인모형(복합수단분담 및 물류시설경유모형)에서 산출된 품목별 도로물동량 O/D를 화물자동차 O/D로 전환하는 모형으로서 화물차 전환계수인 화물차 톤급별(소형, 중형, 대형) 평균 적재량 및 평균 공차통행비율을 물동량 O/D에 적용하여 화물자동차 톤급별 O/D를 산출한다. 평균 적재량 및 공차통행비율은 2005년 전국 화물기중점통행량 조사 중 화물자동차통행실태조사에서 얻어진 자료를 활용하며 <Figure 6>과 같이 화물자동차 톤급별 O/D를 산출한다. 화물차전환모형을 통하여 도로물동량 O/D로부터 화물자동차 톤급별 O/D가 산출된다.



<Figure 6> Conversion Process of Tons to Truck Trips

## IV. 사례분석 : 화학공업제품

본 연구에서는 앞서 제시한 화물통행수요모형을 이용하여 물류시설 신설에 따른 효과분석에 대한 활용가능성을 살펴보기 위하여 화학공업제품을 사례로 분석하였다.

### 1. 화학공업제품의 인터모달 분석

#### 1) 화물발생 및 분포모형

##### (1) 화물발생 및 도착

화학공업제품의 지역별 발생량은 2010년 통계청에서 제공한 화학공업제품 관련 종사자수와 종사자별 발생원 단위를 이용하여 산정하였다. 전국 화물기중점통행량 조사(2005)와 전국 기중점통행량 보완조사(2006) 자료를 적용한 결과 화학공업제품은 종사자 1인당 18.1톤이 발생되는 것으로 추정되었다. 종사자 1인당 원단위를 적용하여 추정한 발생량에 지역간 산업연관표를 이용한 투입구조를 적용하여 도착량을 산정하였다.

##### (2) 화물분포

화물분포모형에서는 물류시설 경유 및 수단간 환적을 고려하지 않고 최초생산지와 최종소비지간의 분포를 도출한다. 화물통행분포모형으로 이중 제약 중력모형을 이용하여 화학공업제품의 249개 시군구간 물동량 P/C를 산정하였다. 중력모형을 위한 파라미터( $\beta$ )는 전국 화물기중점통행량 조사(2005)의 결과를 활용하여 추정하였으며, 중력모형에서 비용변수로 입력되는 기중점간의 거리는 본 연구에서 구축한 물류네트워크를 활용하였다.

2) 물류체인모형

(1) 단거리/장거리통행 구분

화물품목별 단거리통행과 장거리통행을 구분하기 위해 물류거점별 화물원단위조사(2009) 결과를 활용하였다. 화학공업제품의 경우 18.43km를 기준으로 단거리통행과 장거리 통행을 구분하였다. 구축한 물류네트워크를 이용하여 249개 존간 육송거리를 산출한 결과 단거리통행에 속하는 기종점쌍이 899개, 장거리통행에 속하는 기종점쌍이 61,102개로 나타났다. 단거리통행은 화물차로 기점에서 종점까지 물류시설을 경유하지 않고 직접 수송하는 통행이므로 이를 제외한 장거리통행을 대상으로 복합수단분담모형과 물류시설경유모형을 적용하였다.

(2) 복합수단분담모형

분포단계까지에서 산정한 화학공업제품의 물동량 P/C 중 장거리통행을 대상으로 도로와 철도의 수단분담을 수행하였으며, 수단분담을 위한 기종점간 운송비용과 운송시간은 물류네트워크에서 산출하였다. 육송의 경우 기점에서 종점까지 물류시설을 거치지 않고 비용이 최소가 되는 경로를 설정하여 이에 따른 운송비용과 운송시간을 산출하였다. 그러나 철송의 경우 생산지에서 CY 및 철도역, 또는 CY 및 철도역에서 소비지로 서틀 또는 도로수송을 이루어지므로 육송과 다른 복합수송에 따른 운송비용과 운송시간을 산출하였다. 수단분담을 위한 비용과 시간에 따른 파라미터는 한국교통연구원(2008)의 비컨테이너 분석모형결과를 활용하였다. 그리고 2010년 철도공사에서 배포한 2009년 철도수송실적을 검토하여 화학공업제품을 처리하는 역을 대상으로 249개의 시군구간 경로를 설정하였다. 검토결과 화학공업제품을 싣고 출발하는 철도역은 7개였으며, 해당품목을 싣고 도착하는 철도역은 총 68개로 나타났다. 수단분담 결과는 <Table 4>, <Table 5>와 같으며, 전체 시군구간 육송수단의 선택확률은 91.37%였으며 철송은 8.63%였다. 물동량은 육송의 경우 110,290천톤, 철송의 경우 7,189천톤이 산출되었다.

(3) 물류시설경유모형

화물유통경로조사(2007~2009)의 자료를 검토하여 품목별 물류시설 경유비율을 분석한 결과 화학공업제품은 52.97%가 물류시설을 경유하는 것으로 나타났다. 이 결과를 적용하여 물동량을 구분한 결과 육송의 물류

<Table 4> The results of mode choice

Mode	Before construction of CY	After construction of CY	Variation
Road	91.37%	84.80%	6.57%↑
Rail	8.63%	15.20%	

<Table 5> P/C of chemical industry products

Mode	Before construction of CY	After construction of CY	Variation
Road	110,289,617 ton	106,598,047 ton	3,691,570ton (Railroad ↑, Highway ↓)
Rail	7,189,478 ton	10,881,049 ton	

시설 경유시 물동량은 53,000천톤, 비경유시 물동량은 57,269천톤으로 산출되었다. 물류시설 경유비율이 더 높음에도 불구하고 경유 물동량이 더 낮게 산정된 이유는 비경유시 물동량에 기종점간 물류시설을 경유하지 않는 단거리통행이 포함되어 있기 때문이다. 물류체인모형의 물류시설경유모형까지 수행하면 화학공업제품의 물류시설의 경유 및 수단간 환적을 고려한 물동량 O/D가 산출되며 최종적으로 산출된 물동량 O/D는 도로 177,668,868톤, 철도 7,189,478톤으로 나타났다.

2. 물류시설 신설에 따른 물동량 변화분석

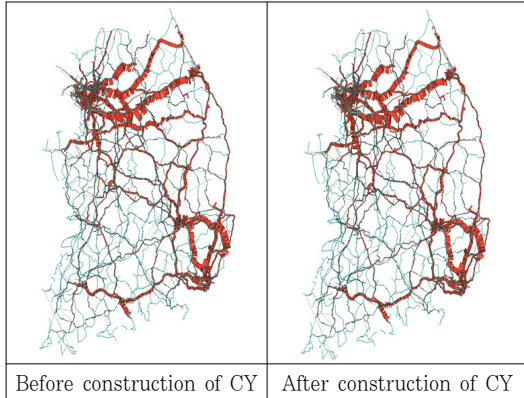
여기서는 이후 정책적 활용도를 고려하여 화학공업제품의 발생량이 존재하지만 해당 품목의 상차가 가능한 철도역이 존재하지 않는 충청지역의 철도역(천안역) 신설에 따른 도로와 철도의 수단간 물동량 전이효과를 검토하였다. 물류시설 신설이 화물통행발생 및 분포에 영향을 주지 않는다고 전제하고 앞서 추정된 화물통행분포량을 이용하여 복합수단분담모형부터 분석하였다. 수단분담 결과 전체 시군구간 육송수단의 선택확률은 84.80%였으며, 철송수단의 경우 15.20%였다. 그리고 물동량은 육송 106,598천톤, 철송 10,881천톤으로 산출되었다.

물류시설의 경유비율은 52.97%로 변함이 없으나, 철송의 전체 물동량이 증가함에 따라 육송의 전체 물동량은 110,290천톤에서 106,598천톤으로 감소하였기 때문에 물류시설경유모형 적용에 따른 물동량 역시 감소하였다. 물류시설 경유 물동량은 56,465천톤, 비경유 물동량은 50,133천톤으로 산출되었다. 물류시설경유모형까지 적용하여 수단별 물동량 O/D를 산정한 결과, <Table 6>과 같이 철도역 신설에 따른 철도 물동량 O/D가 증가

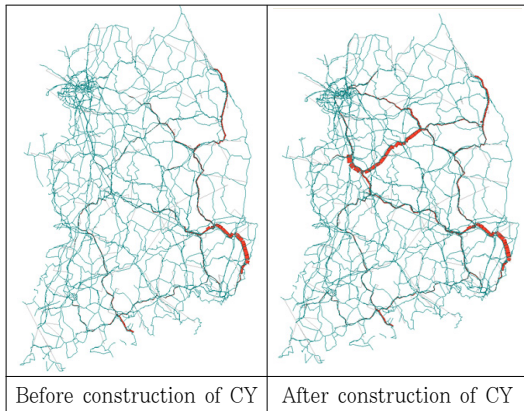


<Table 6> O/D of chemical industry products

Mode	Before construction of CY	After construction of CY	Variation
Road	177,668,868 ton	179,405,014 ton	1,736,146ton ↑
Rail	7,189,478 ton	10,881,049 ton	3,691,571ton ↑



<Figure 8> Loading Results of Road Network



<Figure 9> Loading Results of Rail Network

하였으며, 도로의 물동량 O/D 또한 증가하였다. 이는 철도의 수송량이 증가하면서 철도역으로의 셔틀 및 도로 수송량이 증가하였고, 증가된 물동량이 도로 O/D에 반영되었기 때문이다. 철도 CY 건설 전후에 대하여 물동량 변화양상은 <Figure 8, 9>에서 살펴볼 수 있다.

## V. 결론

본 연구에서는 수단간 전환 및 물류시설 경유여부를 고려하여 화물통행수요를 분석할 수 있는 화물통행수요

분석 방안을 제시하였다. 또한, 화물통행수요모형을 활용하여 물류시설 신설에 따른 사례품목에 대한 물류시설 신설에 따른 효과분석을 수행하였다. 본 연구에서 제시한 모형은 복합수단 교통망에서의 화물물동량 흐름을 거시적으로 분석할 수 있다. 특히, 화물수송수단간 전환 및 물류시설 경유를 고려한 물류체인모형(수단분담 및 물류시설경유모형)의 개발로 기존 화물통행수요모형에서 고려하지 못한 화물의 인티모달 분석이 가능하다. 따라서 최근에 이슈가 된 물류시설 인프라 구축 및 물류정책 변화에 따른 효과분석이 가능하며 관련 화물분야 정책분석에 효과적으로 활용될 것으로 기대된다.

그러나 본 연구에서 제시한 화물통행수요모형을 정립하기 위해서는 관련 화물 데이터의 확보가 중요하다. 연구에서 사용한 2005년 전국 화물 O/D 조사 자료만으로는 대상품목별로 모형을 구축하는데 한계가 있으며, 제시한 화물수요추정 방안의 정량적 검증을 수행하기 어렵다. 다행히 현재 국가교통DB사업으로 진행 중인 2011년 전국 화물 O/D 조사가 완료되면 해당 조사의 결과를 이용하여 모형의 성능을 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서는 복합수단분담모형과 물류시설경유모형에서의 경로탐색에서 수송비용이 최소화되는 수단별 단일경로만을 탐색하도록 설정하였다. 그러나 물류특성에 따른 다양한 경로와 이를 반영할 수 있는 추가연구가 필요하며, 이를 위하여 물류시설이용에 대한 비용원단위 등 화물네트워크 속성자료 구축을 위한 연구 또한 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 교통체계효율화사업(09교통체계-지능06)의 지원에 의해 수행되었습니다.

알림: 본 논문은 대한교통학회에서 주최한 제66회 학술발표회에서 발표한 “복합운송체계를 고려한 화물통행수요분석”의 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

## REFERENCES

1. Citilabs(2008), Cube Cargo Reference Guide.
2. FHWA(2007), Quick Response Freight

- Manual II.
3. Gerard De Jong, Moshe Ben-Akiva, Sten Bexelius, Adan Rahman and Maarten Van De Voort(2005), "The Specification of Logistics in the Norwegian and Swedish National Freight Model Systems", Presented at European Transport Conference, Strasbourg, France.
  4. Gerard De Jong and Moshe Ben-Akiva (2007), "A Micro Simulation Model of Shipment Size and Transport Chain Choice", Transportation Research Part B 41, pp.950-965.
  5. Hong D. H., Lee J. Y., Kim C. S., Kim H. S. and Park D. J.(2010), "Analysis for freight intermodal model of the container", The 63th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, pp.205-210.
  6. Ko Y. S., Park D. J., Kim C. S., Kim H. S. and Park M. C.(2010), "Supply Chain-based Freight Distribution Channel Choice Model using Distribution Channel Analysis", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.28, No.6, Korean Society of Transportation, pp.133-146.
  7. Kim H. S.(2010), "A Study on multimodal channel choice modeling: focused on export-import container freights", Master's Thesis of The University of Seoul.
  8. Kim C. S., Lee J. Y. and Jung K. H.(2008), "A study on Intercity Freight Mode Choice modelling", The Korea Transport Institute.
  9. Lee J. Y., Park M. C., Sung H. M. and Kang J. W.(2011), "A Study on Commodity Classifications for the Development of Freight Demand Model", The 64th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, pp.149- 154.
  10. Park M. C., Lee J. Y., Kim C. S. and Park D. J.(2010), "Freight Demand Analysis Considering Logistic Chain - A Case of Petrochemical Products", The 63th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, pp.169- 174.
  11. Park M. C. and Kang J. W.(2011), "Estimating Interregional Freight Attraction using MRIO", The 64th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, pp.393-398.
  12. Ram M. Pendyala, Venky N. Shankar and Robert G. McCullough(2000) "Freight Travel Demand Modeling: Synthesis of Approaches and Development of a Framework", TRR 1725, pp.9-15.
  13. Statistics Korea(2009), The 9th Korean Standard Industrial Classification.
  14. The Korea Transportation Institute(2010), National Transportation Demand Survey and Database Establishment in 2009: Freight O/D Complementary Survey on the National Area.
  15. The Bank of Korea(2009), Regional Inter Industry Analysis.
  16. TNO Inro(2006), Report on model specification and calibration results, Trans-Tools, Report WP3.
  17. Wisinee Wisetjindawat, Kazushi Sano(2003), "A Behavioral Modeling in Micro-Simulation for Urban Freight Transportation", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, October, pp.2193-2208.
- ☞ 주 작성 자 : 홍다희
  - ☞ 교 신 저 자 : 박민철
  - ☞ 논문투고일 : 2011. 10. 28
  - ☞ 논문심사일 : 2012. 1. 3 (1차)  
2012. 6. 14 (2차)
  - ☞ 심사판정일 : 2012. 6. 14
  - ☞ 반론접수기한 : 2012. 12. 31
  - ☞ 3인 익명 심사필
  - ☞ 1인 abstract 교정필