

## 수단O/D기반 및 P/C기반 화물수요추정방식의 실증적 비교: 우리나라 컨테이너 화물을 중심으로

김현승<sup>1</sup> · 박동주<sup>1\*</sup> · 김찬성<sup>2</sup> · 최창호<sup>3</sup> · 조한선<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 서울시립대학교 교통공학과, <sup>2</sup> 한국교통연구원 국가교통DB센터,  
<sup>3</sup> 전남대학교 경상학부 물류교통학과, <sup>4</sup> 한국교통연구원 도로정책기술연구실

### An Empirical Study on Comparative Analysis of Freight Demand Estimation Methods - Unimodal O/D Based Method and P/C Based Method : Focus on Korean Import/Export Container Freight

KIM, Hyunseung<sup>1</sup> · PARK, Dongjoo<sup>1\*</sup> · KIM, Chansung<sup>2</sup> · CHOI, Chang Ho<sup>3</sup> · CHO, Hanseon<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Transportation, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

<sup>2</sup> Center for Korea Transport Database, Department of National Transport Survey and Analysis, The Korea  
Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

<sup>3</sup> Department of Business and Commerce, Chonnam National University, South Jeolla 550-749, Korea

<sup>4</sup> Dept. of Transport Safety and Highway, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

#### Abstract

This study deals with the comparative analysis between two freight demand estimation methods: Unimodal O/D based method and P/C based method. The data of access/egress truck trips has been omitted from the Korean freight unimodal O/D of KTDB. This is because KTDB's unimodal O/D has not marked the series of unlinked trips down as the whole freight intermodal transport and surveyed only the main-haul trips of them. For these reasons, freight intermodal transport mechanism has not been analysed perfectly with Korean unimodal O/D data. This study tries to estimate P/C table of Korean Import/Export container freight and develop the MCC(Multimodal Channel Choice) model. Then, comparing unimodal O/D based method and P/C based method in terms of the switch commodities between production point(the initial point of freight transport) and consumption point(the terminal point of freight transport), unimodal commodities, and commodities on links is conducted. The results show that the P/C based method is able to simulate the freight intermodal transport.

이 연구는 우리나라에서 현재까지 사용되어 온 (수단O/D기반)화물수요추정법의 문제점 인식을 바탕으로 P/C기반 화물수요추정법과 비교 분석을 수행하였다. 우리나라 화물수단O/D는 화물의 최초기점과 최종종점 간 운송을 수단별 통행으로 나누어 인식하면서 접근트럭통행(Access/Egress Truck Trip)에 대한 정보가 누락되어있다. 이러한 이유로 수단O/D기반 화물수요추정법은 화물의 복합수단운송을 반영하지 못하는 단점이 있다. 이에, 본 연구는 우리나라 컨테이너 화물을 중심으로 P/C표와 복합수단선택모형을 추정하여 P/C기반 화물수요추정법을 제시하고, 기존 사용되어 오던 수단O/D기반 화물수요추정법과 기종점쌍 간 전환량, 수단통행물동량, 링크물동량을 비교하였다. 비교 결과 P/C기반 화물수요추정법은 복합운송을 제대로 모사하지 못하는 기존 수단O/D기반 화물수요추정법의 문제점을 해결할 수 있는 것으로 평가되었다.

#### Key Words

Access/Egress Truck Trip, MCC(Multimodal Channel Choice) Model, P/C Based Method, Supply Chain, Unimodal O/D Based Method

접근트럭통행, 복합수단선택모형, P/C기반 화물수요추정법, 공급사슬기반, 수단O/D기반 화물수요추정법

\* : Corresponding Author  
djpark@uos.ac.kr, Phone: +82-2-2210-5708, Fax: +82-2-2210-2653

Received 25 July 2012, Accepted 5 February 2013

## 1. 서론

우리나라는 화물교통부문의 수요 추정 시 4단계 교통 수요추정모형을 활용하고 있다. 일반적으로 화물교통부문에서는 교통수요추정의 범위를 도로·철도부문 간 수단전환에 초점을 맞추고 있다. 따라서 국가교통DB센터(이하 'KTDB')가 구축·배포한 수단O/D를 활용하여 수단선택과정을 거친 후 통행배정을 수행하고 있다.

본 연구에서는 상기한 수단O/D와 수단선택모형을 활용한 화물교통수요추정방법을 편의상 '수단O/D기반 화물수요추정법'이라고 명명하고자 한다. 우리나라의 수단O/D기반 화물수요추정법은 KTDB가 구축·배포하고 있는 자료의 한계로 인하여 화물의 복합수단선택행태를 제대로 구현해내지 못하는 단점이 있다. KTDB에서 배포하는 수단O/D는 크게 두 가지의 문제점이 있는데, 첫째는 목적통행(linked trip)을 수단통행(unlinked trip)으로 인식하고 있다는 점이다. 대부분의 화물 수송은 최초기점(생산지, production)과 최종종점(소비지, consumption) 간 두 가지 이상의 교통수단을 활용한 복합운송(intermodal transportation)으로 이루어진다. 수송경로를 구성하는 사회기반시설(도로, 철도, ICD 등의 물류시설) 개량 시 복합운송 과정 중 특정 단일수단수송 비중이 변할 수 있다. 이러한 이유로 화물수송에 대한 분석은 목적통행의 개념으로 접근해야한다. 그러나 KTDB의 수단O/D는 목적통행을 수단통행으로 인식함으로써 화물운송의 최초기점과 최종종점을 알 수 없게 한다.

둘째는 목적통행(linked trip)을 수단통행(unlinked trip)으로 인식함에 있어 특정 수단통행이 집계되지 못하고 있다는 점이다. 화물의 복합운송에서 최초기점과 최종종점 간 1단위의 목적통행은 2가지(단위) 이상의 수단통행으로 구성될 수 있는데, 목적통행에 대한 구성성분인 모든 수단통행 정보가 갖추어졌을 때 이상적이라 할 수 있다. KTDB 수단O/D의 첫 번째 문제점이 수단통행 중심 접근으로 인하여 목적통행에 대한 세부 데이터(어떠한 수단통행으로 구성되어있는지에 대한 정보)를 파악할 수 없다는데 있다면, 두 번째 문제점은 Main-haul trip만을 집계함으로써 접근통행(Access/Egress trip)

이 누락된다는 점이다. 특히 철도를 활용한 수송(이하 '철송')은 최초기점 및 최종종점과 철도 시설(철도역, ICD, 철도CY 등) 간 접근트럭통행(Access/Egress truck trip)과 철도통행(Main-haul rail trip)으로 구성되는데, 접근트럭통행(Access/Egress truck trip)이 누락되고 있다.

위와 같은 수단O/D기반 화물수요추정법의 한계를 극복하기 위하여 선진외국에서는 최초기점과 최종종점 간 물동량자료인 P/C(Production/Consumption)표를 활용하여 수요추정을 수행하고 있다. 본 연구에서는 이를 편의상 'P/C기반 화물수요추정법'이라 명명하였다. Table 1은 가상의 Multimodal Network에서 특정 시설(Link 1-5, Rail Sta. Node A-D)개량이 이루어졌을 경우 영향을 받을 수 있는(수요변화가 생길 수 있는) 시설과 이들의 시설개량효과를 추정하기 위하여 '수단O/D기반 화물수요추정법'과 'P/C기반 화물수요추정법'을 적용할 경우를 비교한 것이다.

Table 1에서 Node A에서 Node D사이의 수송경로는 철송경로(Link 1→Rail Station→Link 4)와 육송경로(Link 3) 두 가지가 존재한다. 철도시설(Link 4)에서 수송환경이 좋아지는 시설개량이 이루어졌을 경우, 철송(Link 1과 Link 4를 경유하는 수송)수요는 증가할 것이고, 육송(Link 3을 경유하는 수송)수요는 감소할 것이다. 그러나 이러한 수송수요변화를 예측하기 위하여 '수단O/D기반 화물수요추정법'을 적용한다면, KTDB의 수단O/D는 Node A와 Node D사이의 복합운송(intermodal transportation)을 수단별 단일운송(unimodal transportation)으로만 인식<sup>1)</sup>하기 때문에 Link 4에서의 수송수요변화는 반영할 수 있으나<sup>2)</sup> Link 1에서의 수송수요변화는 반영할 수 없게 된다. 같은 이유로 Node A와 Node D사이의 철송경로와 육송경로를 경쟁관계에 있는 대등한 수송경로로 인식할 수 없기 때문에 Link 3의 수송수요변화도 반영할 수 없게 된다. 이는 Node B와 Node D사이의 철송(Link 2와 Link 4를 경유하는 수송)과 육송(Link 5를 경유하는 수송) 간 경쟁관계 모사에서도 같은 한계점을 보인다.

1) 'Node A와 Node D 간의 철송물동량'으로 간주하는 것이 아니라, 'Node A와 Rail Station 간 트럭물동량'과 'Rail Station과 Node D 간 철도물동량'으로 분리해서 인식함(본 연구에서 KTDB의 한계점으로 지적하고 있는 첫 번째 문제점).

2) 실제로 수단O/D기반 화물수요추정법을 적용할 경우에 Link 4에서의 수송통행특성(수송시간, 수송비용 등)의 변화는 반영되지만, Rail Station-Node D에서의 수송수요는 철도(Rail)통행만 가능한 captive transportation으로 인식하여 수송수요의 변화는 반영되지 못한다. 또한 Link 3을 시설개량 했을 때 Node A-Node D 간, 마찬가지로 Link 5를 시설개량 했을 때 Node B-Node D 간 트럭(Truck)통행만 가능한 captive transportation으로 인식하기 때문에 수송통행특성의 변화는 반영되지 못한다.

**Table 1. Comparison between O/D-based method and P/C-based method**

Facility Type	Improvement of Facilities (Scenario)	Whether travel demand on each facility is changed or not						Whether travel demand change on each facility can be estimated or not by O/D-based method						Whether travel demand change on each facility can be estimated or not by P/C-based method					
		1	2	3	4	5	Rail Sta.	1	2	3	4	5	Rail Sta.	1	2	3	4	5	Rail Sta.
Link	1	○	×	○	○	×	○	×	-	×	×	-	×	○	-	○	○	-	○
Link	2	×	○	×	○	○	○	-	×	-	×	×	×	-	○	-	○	○	○
Link	3	○	×	○	○	×	○	×	-	△2)	×	-	×	○	-	○	○	-	○
Link	4	○	○	○	○	○	○	×	×	×	△2)	×	×	○	○	○	○	○	○
Link	5	×	○	×	○	○	○	-	×	-	×	△2)	×	-	○	-	○	○	○
Node	Rail Sta.	○	○	○	○	○	○	×	×	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○

Truck Transport  
 Rail Transport

철도역으로의 접근경로인 Link 1(또는 Link 2)에서 수송환경이 좋아지는 시설개량이 이루어졌을 경우에는 이후 철도(Link 4)를 이용하게 되는 트럭수송(Access/Egress Transportation)물동량에 대한 정보가 누락되어 시설개량효과를 측정할 수가 없게 된다. 뿐만 아니라, 수단 간 환적을 통해 연속된 두 개의 Link(Link 1과 Link 4, 또는 Link 2과 Link 4)를 하나의 경로로 이용하는 복합운송(intermodal transportation)행태를 수단별 단일운송(unimodal transportation)으로 인식하는 문제점이 함께 작용하여 Node A(또는 Node B)와 Node D 사이의 철송과 육송 간 경쟁관계를 제대로 표현해내지 못한다.

반면 'P/C기반 화물수요추정법'에서는 '수단O/D기반 화물수요추정법'에서 발생하는 문제점이 해결될 수 있다. P/C기반 화물수요추정법에서는 화물의 최초기점과 최종종점 간 물동량(Table 1의 예시에서는 Node A-Node D, Node B-Node D 간)을 분석의 기본단위로 하기 때문에 수단 간 환적이 발생하더라도 환적 전·후의 수송을 하나의 수송경로로 인식할 수 있다. 따라서 복합운송이 고려된 현실적인 수송경로 간 경쟁관계가 구현될 수 있다.

또한 '수단O/D기반 화물수요추정법'은 수단분담모형추정과정에서의 정산단위(개별 화주기업 통행행태)와 실제 모형적용과정에서의 단위(Zone-based data)가 맞지 않는 문제점이 있다. 모형의 계수추정 및 정산과정에는 개별 화주기업대상 샘플조사결과를 활용하여 Disaggregate Logit Model을 개발하였으나 실제 화물수요추정과정에서의 모형적용은 Zone-based Aggregate된 자료를 활용하여왔다.

반면 해외의 화물수요모형은 1990년대 후반부터 기존 전통적 4단계 모형의 한계를 극복하기 위해 새로운 접근법을 시도하고 있다. 첫째, 경제활동과 화물 이동 간의 연계를 반영하는 연구로 통행발생과 통행분포를 하나의 단계로 통합하고자 한다(Bröcker, 1998). 둘째, 화물 이동에 관련된 물류활동의 의사결정문제(유통경로선택, 물류시설선택 등)를 반영하고자 한다(Tavasszy, 2006; Park, 2009; Park et al., 2010, Kim et al., 2010). 셋째, 복합운송(intermodal transport)을 모형화 하기 위해 수단선택과 노선선택을 통합하고 있다(Swahn, 2001; Park, 2010; Pattanamekar et al., 2011). 이러한 새로운 접근은 경제활동과 화물 이동 간의 연계를 반영하기 위해 통행 기종점표(O/D) 기준이 아닌 생산-소비표(P/C, production-consumption) 기준으로 화물 흐름을 집계하고, 물류활동의 의사결정문제, 수단선택 및 노선선택 문제를 반영하고자 하는 것이다.

본 연구는 우리나라의 수출입 컨테이너 화물을 대상으로 수단선택과 노선선택을 통합하는 시도인 복합수단선택모형을 개발하였다. P/C 기반의 복합수단선택모형 개발을 위해 우리나라 수출입 컨테이너 물동량자료(수단 O/D)를 활용하여 P/C를 추정하고, P/C쌍간 수송시간과 수송비용을 산출하여 Zone-based Aggregate Logit 모형을 추정하였다. 또한 추정된 P/C표와 복합수단선택 모형을 적용할 경우 수단O/D기반 화물수요추정법과 어떻게 다른 결과를 도출해내는지 실증적으로 검토함으로써 앞으로 우리나라 화물교통부문 수송수요추정이 나아가야 될 방향을 제시하고자 한다.

## II. 기존문헌고찰

### 1. 화물수요모형 동향

화물교통수요예측에는 여객교통부문의 수요예측과 마찬가지로 4단계모형이 일반적으로 사용되고 있다. FHWA (1996)은 Quick Response Freight Manual에서 화물교통수요 예측의 기본 틀로 4단계 모형을 제시하였으며, TRB(2005)가 소개한 미국의 각 주별 화물교통수요 예측에서도 4단계 모형이 보편적으로 사용되고 있다. 영국과 독일 등 유럽의 국가 역시 4단계 모형을 사용하거나 단계를 단축시키는 등 변형한 모형을 사용하고 있다.

Table 2는 유럽연합과 주요국가에서 적용되는 화물수요모형의 사례이다. 유럽연합과 주요국가에서 적용되는 화물수요모형은 전통적인 4단계 모형의 각 단계 간 통합을 시도하고 있다. 화물의 복합운송행태를 현실적으로 모사하기 위해 통행발생과 통행분포의 단계를 통합하거나, 수단분담과 통행배정 단계를 통합하여 4단계 모형을 화물교통에 적합하도록 변형하고 있다. 이는 화물의 수송행태에는 최초기점과 최종종점 간 다양한 수송전략이 존재하고, 각 수송전략은 기존의 4단계로 구분된 의사결정과정의 독립적·병렬적 연속(independent-parallel processing)이 아니라 수단과 경로 등의 의사결정항목이 동시에 고려되어야 하는 행위(simultaneous optimum processing)임을 모형화하기 위한 접근이다.

오늘날의 화물수요 연구는 단순히 기종점간 화물의 이동을 분석하는 것에서 벗어나 SCM(supply chain management)의 관점으로 확대되고 있다. 그리고 이와

같은 흐름에 따라 화물수요모형을 개발하는 추세도 변하고 있다. 첫 번째 형태는, 경제활동과 화물발생을 연계하기 위해 통행발생과 통행분포를 하나의 모형으로 결합하는 추세이다. 이러한 시도는 분석의 대상을 통행단위가 아닌 산업간의 연관관계에 기초한 공급사슬로 보는 것으로 O/D(Origin-Destination)표가 아닌 P/C(Production-Consumption)표를 추정하고자 하는 시각이다. 화물의 최초기점과 최종종점의 개념이 P/C(production/consumption)쌍의 개념인데, 이는 O/D(origin/destination)와는 다른 개념이다. P/C는 최초기점과 최종종점간의 물동량의 흐름을 나타내는 것으로 복합수단수송으로 인한 수단간 환적 전·후 수단O/D를 연계된 수송으로 고려할 수 있다. Trans-Tools, STEMM, SMILE 등의 모형은 경제활동모형인 Conceptable General Equilibrium Model, Input/Output Model, Trade Model 등을 활용하고 있다(Bröcker, 1998).

두 번째 형태는, 복합운송을 모형화하기 위해 수단선택과 통행배정을 하나의 모형으로 통합하고 있다. 유럽 국가의 모형인 STEMM, SAMGOD, SMILE 등은 복합교통망에서의 수단선택과 경로선택 행위를 통합하는 모형을 활용하고 있다(Swahn, 2001; Park, 2010).

세 번째 형태는, 물류시설 경우 여부, freight consolidation 등의 구체적 기업물류활동을 반영하고 있다. 복합교통망에서의 수단 및 경로선택행위를 모델링하기 위해서는 환적시설에서 발생하는 물동량을 환적시설을 포함하는 존의 유출량이나 유입량으로 처리하기 보다는 환적시설이라는 노드를 거쳐가는 물동량으로 처리해야 한다. 따라서 이 경우에도 통행기반보다는 공급사슬기반 수요추정모형

Table 2. Comparison of freight demand models by countries

	Model				
	EU Trans-Tools	EU STEMM	Sweden SAMGOD	Netherlands SMILE and TEM-II	U.S.A. FAF
Trip Generation	Computable General Equilibrium Model and trade forecasting Model	Three trade models	Computable General Equilibrium Model	Economic I/O model and regionalization model	Conventional survey-based Approach
Trip Distribution			Entropy model		Gravity Model
Modal Split	Logistics Model (Nested logit model+SUE)	Multimodal Choice and Assignment	Multimodal Choice and Assignment	Multimodal Choice and Assignment	Fixed mode share
Traffic Assignment					Stochastic user Equilibrium
Conversion Model	Value/Wgt. and Payload	Value/Wgt. and Payload	Value/Wgt	Value/Wgt	Payload
Logistics Integration	Yes	No	Yes	Yes (SMILE)	No
Modeling S/W	Delphi 6	STAN	STAN	Self-Developed	TransCAD

\*UOS, 2008.

이 적용되어야 한다. Trans-Tools, SAMGOD, SMILE 등이 시도하고 있는 물류활동과의 통합(Logistics Integration)은 기업의 각종 물류활동 혹은 공급사슬관리 활동, 즉 물류시설 경영여부, freight consolidation, 창고 및 Distribution Center의 위치결정 등의 구체적 기업물류활동을 화물수요추정에 반영하고자하는 노력이다(Tavasszy, 2006; Park, 2009; Park et al., 2010).

위와 같은 화물교통 수요모형과 관련된 3가지 연구형태는 불과 10여 년 전에 등장하였으며, 학술적인 측면에서도 다양한 연구과제를 안고 있다. 특히 일반적인 4단계 모형보다 상세한 분석이 필요하므로 데이터의 수집과 적용에 대한 중요성이 부각되고 있다. 이를 위해서는 기존에 물동량의 이동만을 반영한 존 단위의 O-D자료보다 운송수단별 기종점과 물동량이 모두 반영된 P-C자료에 기반을 둔 수단O/D가 필요하며 수단분담모형도 이를 반영하여 추정되어야 한다.

**2. 화물 수단선택모형 개발 사례**

화물 수단선택모형개발 연구는 모형에서 고려하는 수단구분에 따라 단일수단(singular mode)모형과 복합수단(plural mode)모형으로 나눌 수 있다. 단일수단(singular mode)모형들은 주로 공로부문의 트럭을 세분화하여 자가용트럭과 영업용트럭, 또는 여러 규모의

트럭 간 선택행태를 모형화 하였다(Lee et al., 1998; Choi, 1999, 2002, 2004). 이들은 수단별 수송경로변화보다는 화물의 품목별 통행특성에 더 주목하였다.

복합수단(plural mode)모형은 다시 복합운송(intermodal transportation) 또는 환적(transshipment)이 고려되었는지 여부에 따라 구분할 수 있다. 대부분의 화물수단 선택모형은 복합운송 및 환적을 반영하지 못하고 있다(Ha et al., 1996; Nam, 1997; KOTI, 1998; Picard, 1998; Norojono et al., 2003; Ham et al., 2005; Shin, 2008). Park(1995)와 Jiang et al.(1999)의 모형은 트럭과 철도를 혼용한 복합운송을 반영하고 있으나, 수단 간 환적이 모형에 반영되지는 못한다. 즉, 환적 전·후 수단통행이 구분되지 않으며, 단순히 트럭과 철도를 혼용한 복합운송이라는 수송전략을 별도의 독립적인 대안(alternative)으로써 인식하고, 트럭운송 및 철도운송과 동등하게 구분하고 있다.

Kim et al.(2008)는 공로부문의 트럭과 철도, 연안해운을 선택대안으로 하며, 트럭과 철도를 활용한 복합운송(intermodal transportation)이 고려된 수단선택모형을 개발하였다. 이 모형은 환적 전·후의 수단통행을 구분하고 있다. 또한 본 연구에서 지적하고 있는 수단 O/D기반 화물수요추정법의 문제점 인식을 바탕으로 P/C기반 수요추정법으로의 접근법 전환이 필요하다고 강조하고 있다. 그러나 Kim et al.(2008)에서 개발한

**Table 3. Comparison of developments in freight mode choice model in domestic and foreign**

Model	Mode	Choice alternatives	Separation btw. Access/Egress and Main-haul trip	Unit of analysis	Whether transshipment can be model
Park(1995)	Truck, Rail	Trucking, Rail, Trucking+Rail	×	O/D	×
Ha et al.(1996)	Truck, Rail	Trucking, Rail	×	O/D	×
Nam(1997)	Truck, Rail	Trucking, Rail	×	O/D	×
KOTI(1998)	Truck, Rail	Trucking, Rail	×	O/D	×
Picard(1998)	Truck, Rail, Marine	Private Trucking, Rental Trucking, Rail, Marine	×	O/D	×
Lee et al.(1998)	Truck	Private Trucking, Trucking for business use	×	O/D	×
Choi et al.(1999)	Truck	Private Trucking, Trucking for business use	×	O/D	×
Jiang et al. (1999)	Private vehicle, Public Transit(Truck, Rail, Intermodal)	Private vehicle, Trucking, Rail, Trucking+Rail	×	O/D	×
Choi(2002)	Truck	Private Trucking, Trucking for business use	×	O/D	×
Norojono et al. (2003)	Truck, Rail	Small Trucking, Large Trucking, Rail	×	O/D	×
Choi(2004)	Truck	4 types of Trucking	×	O/D	×
Ham et al. (2005)	Truck, Rail	Trucking, Rail	×	O/D	×
Shin(2008)	Truck, Rail	Trucking, Rail	×	O/D	×
Kim et al.(2008)	Truck, Rail, Marine	Trucking, Rail, Marine	○	P/C	○

화물수단선택모형은 모형추정과정에서의 정산단위(개별 화주기업 통행행태)와 실제 모형적용과정에서의 단위(Zone-based data)가 맞지 않는 문제점이 있다.

### 3. 시사점

그동안 우리나라의 화물교통부문은 여객교통부문에 비하여 크게 주목받지 못하였다. 여객교통은 대다수의 일반 시민을 대상으로 하는 서비스 개념으로 여겨져왔기 때문에 여객교통과 관련된 사회간접자본 및 인프라의 투자 시 자원의 효율적인 사용과 이를 평가하기 위하여 보다 정밀하고 현실 모사력이 뛰어난 방법론을 개발하기 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 이에 반하여, 화물교통부문은 화물을 취급하는 개별기업 업무의 한 부분으로 인식되어 국가적 차원에서 지원과 관심을 받지 못하였다. 최근 인천공항 건설과 부산신항만 건설 등의 과정에서 국가적 차원의 물류선진국 도약을 위하여 화물교통부문이 재주목받고 있다. 이러한 상황에서 물류 인프라 구축 효과 및 투자평가 등 화물교통부문의 연구는 국가경제발전을 위해서도 절실히 요구되는 바이다.

우리나라에서 그동안 사용되어 왔던 화물교통수요추정법은 화물운송의 특성을 제대로 반영하지 못함으로 인하여 예측의 객관성과 정확성이 좋지 못하였다. 그동안 화물수요추정과 관련된 연구는 주로 수단선택모형을 중심으로 이루어졌다. 이들 수단선택모형 중심의 화물교통 연구는 다양한 화물 품목별 특성을 도출하기 위한 연구, 즉 특정 화물품목의 시간가치, 수송전략 선정 시 비용탄력성 및 시간탄력성 등에 집중되었다. 화물의 품목은 매우 다양하기 때문에 이들 품목특성에 대한 연구 또한 화물 품목별 수송전략을 수립하기 위한 기초연구로서 의미가 있다고 할 수 있겠다.

그러나 국가차원에서 화물교통부문의 인프라 구축과 이에 따른 투자평가 등 국가물류측면에서 자원의 효율적인 사용을 위해 보다 광범위하고 거시적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 유럽연합과 주요국가에서는 국가적 차원의 화물교통수요모형을 개발하고 있다. 이들 모형은 교통부문의 전통적인 4단계 모형을 변형하여 화물만의 특성을 반영한 모형이다. 이들 화물교통수요추정과정의 핵심은 화물의 '최초기점과 최종종점 간 수송전략'에 초점을 맞추고 있는 것이다. 기존 4단계 모형의 통행발생과 통행분포 단계를 결합하거나, 수단선택과 통행배정 단계를 통합하는 등 화물의 복합운송(intermodal

transportation)을 보다 정확하게 모사하기 위한 노력이다. 이러한 노력들은 화물교통수요분석의 기준단위를 생산-소비(P/C, Production/Consumption)로 인식하는데서 시작하고 있다.

접근통행(Access/Egress trip)이 누락된 수단O/D와 수단선택모형 등을 이용한 기존의 4단계 모형에 기반한 화물교통수요추정방법을 사용하고 있는 우리나라로서는 물류선진국이라고 일컬어 지는 유럽국가들이 보이고 있는 방법론 및 접근법의 변화에 관심을 가질 필요가 있을 것으로 판단된다.

## III. 복합수단선택모형 개발

### 1. 모형개발절차

본 연구는 우리나라 수출입 컨테이너화물을 대상으로 복합수단선택모형을 추정하고자 한다. 복합수단선택모형 추정을 위해서는 수출입 컨테이너의 최초기점과 최종종점 간 물동량자료인 P/C표가 필요하다. 하지만 현재 우리나라에는 단일수단(트럭, 철도)의 O/D표만 있을 뿐 P/C표는 없다. 따라서 본 연구에서는 복합수단선택모형 추정에 앞서 수출입 컨테이너화물의 P/C표를 추정하였다. 이를 위해 실제 수단간 환적이 일어나는 내륙기종점(ICD, CY, 물류창고 등의 물류시설)과 최초기점/최종종점 간 Access/Egress 통행분포를 추정하고, 이를 단일수단(unimodal trip)O/D표의 내륙기종점 통행단(trip end)에 접목시켜 P/C표를 추정하였다. 또한 P/C 쌍 간의 수송시간과 수송비용을 산출하여 식(1)과 같은 Logit 모형을 적용하여 복합수단선택모형을 추정하였다.

$$V_{in} = \beta_1(dummy) + \beta_2(Time) + \beta_3(Cost) \quad (1)$$

- s.t.  $V_{in}$  : Utility of alternative  $i$
- $dummy$  : Mode specific constant
- $\beta_1 \sim \beta_3$  : Coefficient
- $Time$  : Transport Time
- $Cost$  : Transport Cost

### 2. 컨테이너 P/C구축

우리나라 수출입 컨테이너의 철도수송(이하 '철송(Rail Transport)')은 최초기점(또는 최종종점)에서 내륙물류시설(철도CY 및 ICD)까지의 Access/Egress 트

럭수송과 내륙물류시설에서 환적 후 Main-haul 철도수송이 합쳐지는 복합수단수송형태를 띄고 있다. 트럭수송(이하 '육송(Truck Transport)')은 최초기점과 최종중점 간 수송이 트럭으로만 이루어진다.<sup>3)</sup> 컨테이너의 수송형태는 주수송수단(Main-haul trip mode)이 무엇인지에 따라 철송과 육송으로 구분할 수 있다.

P/C표는 화물의 최초기점(Production)과 최종중점(Consumption) 간 수송물동량을 나타내는 표이다. 우리나라 수출입 컨테이너화물의 P/C표는 주수송수단(Main-haul trip mode)에 따라 육송P/C와 철송P/C로 나눌 수 있다. 철송P/C는 여객교통부문의 목적통행(linked trip)과 같은 개념으로, 이는 수단별통행(unlinked trip)으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 철송P/C 중 Access/Egress 트럭수송을 트럭O/D로, Main-haul 철도수송을 철도O/D로 구분하여 명명하고자 한다.

현재 우리나라 수출입 컨테이너화물 수송물동량 관련 자료는 도로기중점자료와 철도기중점자료 두 가지가 있다. 이 둘은 모두 단일수단(unimodal)O/D로써, 도로기중점자료는 '트럭O/D', 철도기중점자료는 '철도O/D'로 불리운다<sup>4)</sup>. 이 도로 및 철도기중점자료는 본 연구에서 언급한 KTDB의 화물수단O/D가 갖는 문제점을 갖고 있다. 철도기중점자료는 (철송 과정 중)트럭을 이용한 Access/Egress수송을 제외한 철도를 이용한 Main-haul 통행만을 포함하고 있고, 도로기중점자료는 철송 과정 중 접근트럭통행이 포함되어 있지 않다.

본 연구에서는 철도기중점자료에서 누락된 Access/Egress수송의 통행분포를 추정하여 철도P/C표를 구축하였다. 그러나 현재 누락된 Access/Egress트럭통행분포에 대한 정보가 부족하기 때문에 다음과 같은 가정을 하였다. 첫째, 철도CY 및 ICD에서 Access/Egress트럭통행으로 물동량이 이동하는 공간적 범위는 철도CY 및 ICD로부터 반경 20km 이내에 분포한다고 가정하였다. 단, 우리나라 중부내륙에 위치한 주요 ICD인 의왕 ICD와 내륙기중점간 분포는 기존연구결과(KOTI, 2008)를 활용하였다.

둘째, 철도CY 및 ICD와 내륙기중점 간 Access/Egress트럭통행 분포는 식(2) 형태의 중력모형을 사용

하였다.

$$T_{ij} = O_i \frac{D_j \exp(d_{ij}\beta^*)}{\sum_j D_j \exp(d_{ij}\beta^*)} \tag{2}$$

중력모형의 적용함에 있어  $\sum_j D_j \exp(d_{ij}\beta^*)^{-1}$ 는 내륙기중점의 육송수송량 총합과 내륙기중점과 철도CY간의 거리를 적용하였다. 즉, 내륙기중점에서 생산(Production)(또는 소비, consumption)되는 육송컨테이너 물동량이 많을수록 철송컨테이너 물동량도 많고, 철도CY로부터의 거리가 멀어질수록 물동량분포가 적을 것이라고 가정하였다.

셋째, 중력모형 적용 시 중력모형의 저항파라미터  $\beta^*$ 는 KTDB(Korea Transport Database) 전국지역간 컨테이너 품목의 파라미터 -0.02(KOTI, 2006)를 적용하였다.

이와 같은 가정을 바탕으로 P/C표를 추정하는 과정을 Figure 1의 그림을 예로 설명하면 다음과 같다. 항만에서 1번존, 4번존, 5번존으로 각각 트럭을 이용하여 운송(육송)되는 컨테이너는 100TEU, 200TEU, 300TEU 이고, 항만에서 철도를 통해 ICD로 운송되는 컨테이너는 240TEU이다. ICD를 통과 후 1번존, 4번존, 5번존으로 트럭운송(Egress)되지만 우리나라의 컨테이너 물

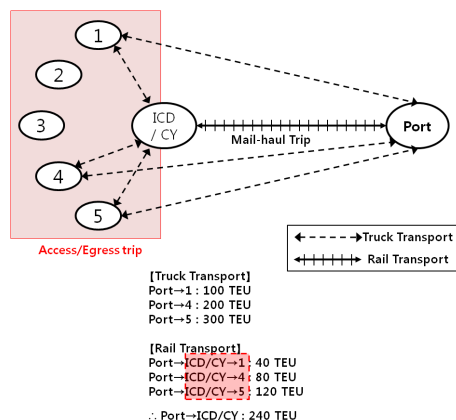


Figure 1. Example of P/C table estimation

3) 실제로 기중점 간 수송이 트럭으로만 이루어진다고 하더라도, 물류시설의 경유를 통해 2단위 이상의 트럭수단통행(linked trip)으로 구분될 수도 있다. 그러나 본 연구에서는 수단 간 환적이 발생하지 않고 트럭을 활용, 한 가지 수단만을 이용하는 트럭수송형태를 모두 '육송'으로 간주하였다.  
 4) 여기에서 말하고 있는 '트럭O/D'는 '화물 도로기중점자료가 불리지고 있는 명칭을 언급한 것으로써, 본 연구에서 정의하는 '트럭O/D'와는 다른 개념임. 우리나라 화물 도로기중점자료는 화물수단O/D의 문제점인 (철송 과정 중 일부인)Access/Egress Truck수송이 누락되어 있음에도 불구하고, 지금까지 '트럭O/D'로 불리어왔음.

**Table 4. Estimation result for Korean export-import container freight P/C table (2008)**

Commodities	P/C		
	Truck Transport	Rail Transport	Sum
Total Annual Commodity (TEU/yr)	7,360,848	809,141	8,169,989
Total Daily Commodity (TEU/day)	20,167	2,217	22,384

동량자료처럼 이에 대한 자료는 누락된 상황이다.

본 연구에서는 항만과 ICD간의 철도운송 컨테이너의 ICD 통과 후 트럭운송(Egress)분포를 추정하였다. ICD에서 반경 20km이내에 분포하는 1, 4, 5번존을 선별하고, 선별된 1, 4, 5번 존의 육송량 총합과 ICD와 1, 4, 5번 존 간의 거리, 통행저항과라메터를 이용하여 중력모형을 적용 후 ICD에서 1, 4, 5번존간의 통행분포를 추정하였다. 추정된 ICD와 각 존간의 통행분포를 철도수단O/D표의 통행단(trip end) ICD에 연결시키고, 항만과 ICD간의 기중점을 항만과 1, 4, 5번 각 존간의 기중점으로 치환하였다. 수출입 컨테이너 P/C표는 시·군·구 단위 249개 존 체계를 기반으로 추정되었다. 구축한 육송 컨테이너 P/C 총량은 7,360,848 TEU/년이며, 철송 컨테이너 P/C 총량은 809,141 TEU/년이다.

### 3. P/C쌍간 수송시간 및 비용 산출

컨테이너 철송체계는 i) 항만에서부터 인입철도역 CY장까지의 셔틀수송, ii) 인입철도역 CY장부터 일반철도역까지의 철도수송, 그리고 iii) 일반철도역으로부터 화물의 최종목적지까지의 도로수송으로 구분된다(KRNA, 2007). 이와 같은 형태는 가장 단순한 철송형태로써 우리나라 컨테이너 철송량의 대부분을 차지한다.

본 연구에서는 일반적인 컨테이너 수송(육송, 철송) 형태의 각 구성요소별 원단위에 대한 기존 연구결과를 활용하여 P/C쌍 간 수송시간과 수송비용을 산출하였다.

#### 1) P/C쌍 간 수송시간

P/C쌍 간 수송시간은 기존연구 결과에서 제시하고 있는 거리에 따른 수송시간원단위를 적용하였다. KMI (2002)의 1km당 트럭수송시간원단위와 P/C쌍 간 수송

거리를 기반으로 육송시간을 산출하였다. 철도수송시간은 철도역간 거리와 화물열차의 평균속도를 활용하여 추정하였다. 또한 상하차시간을 고려하여(KRNA, 2007) 환적시간을 고려하였다<sup>5)</sup>.

#### 2) P/C쌍 간 수송비용

본 연구에서는 KTA(2008)에서 발행한 컨테이너 육상운임 요율표에 근거하여 1km당 평균육송수송비용을 산출하였고, 이를 P/C쌍 간 수송거리에 곱하여 육송비용을 산출하였다. 철도수송비용은 철도역간 거리와 화물열차의 km당 비용원단위를 곱하여 추정하였다. 또한 상하차비용을 반영하였다.

### 4. 로짓모형 추정

#### 1) 로짓모형 정산대상 P/C쌍 선정

본 연구는 존 단위로 집계된 컨테이너 P/C자료를 활용하여 복합수단선택행위를 모사하는 집계로짓모형(Zone-based aggregate Logit model)을 개발하였다. 모형의 선택대안은 육송과 철송의 2가지로 구성하였다. 철송의 경우 ICD 및 CY의 경유에 따른 대안이 있을 수 있으나, ICD 및 CY 경유시의 구체적인 시간 및 비용에 대한 데이터 수집이 어려워 본 연구에서는 이러한 모형 구조를 고려하지 아니하였다.

시·군·구 단위 62,001개(249×249)의 P/C쌍(8,169,989 TEU/yr)을 대상으로 효율적인 계수추정과 모형정산을 위하여 정산대상 P/C쌍을 선별하였다. 정산대상 P/C쌍은 i) 적정 규모 이상의 물동량이 존재하여 일시적으로 발생한 수송행위가 아니어야 하고, ii) 두 가지 복합수단경로가 모두 이용되어 수송경로 간 경쟁관계 추정이 용이해야 하며, iii) 관측된 경로선택행위가 합리적인 의사결정을 바탕으로 이루어진 자료만을 선정하였다.

실제 화물운송은 화주, 수송업자, 수송수선자, 운전자, 수화인 등 다양한 주체들의 의사가 반영되는 복잡한 의사결정의 연속으로 볼 수 있다. 이러한 복잡성으로 인하여 때로는 일시적인 수송이 발생할 수도 있다. 본 연구에서는 이러한 수송행태는 합리적인 의사결정이 이루어지기 어렵다고 가정하고<sup>6)</sup> 이를 모형추정의 정산대상

5) 화물이 환적지에 도착하는 그 즉시 환적작업이 이루어지는 것은 아니다. 수화주에 도착해야하는 시각에 따라 환적지에 일정시간동안 적재되어 있을 수도 있다. 그렇기 때문에 이러한 적재시간까지 고려하게 된다면, 화물의 환적시간은 편차가 매우 클 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 적재되어 있는 시간을 제외하고 실제로 환적업무가 이루어지는 상하차 및 환적작업과정만을 고려하였다.



에서 제외하였다. 또한 일시적인 수송이 아닌 일반적인 형태의 화물수송으로 구분하는 기준을 P/C쌍간 물동량 100TEU/yr으로 가정하였다. 이러한 가정하에 물동량 100TEU/yr를 복합수단경로선택행위의 한 단위(Unit Decision Maker)로 간주하고 P/C쌍 간 한 단위 이상의 물동량(100TEU/yr 이상의 물동량)이 존재하는 1,360개의 P/C쌍(8,157,123 TEU/yr, 전체 물동량의 99.8%)만을 선별하였다.

P/C자료로부터 수송경로 간 경쟁관계를 추정하기 위해서는 수송통행특성<sup>7)</sup>에 따른 수송경로선택행위의 상관관계를 파악할 수 있어야 한다. 따라서 특정 수송경로만 선택(captive transportation)되지 않고, 두 가지 복합수단경로가 모두 이용된 P/C쌍을 모형추정의 정상대상으로 선별하였다. 본 연구에서는 이와 같은 과정을 통해 340개의 P/C쌍(5,222,049 TEU/yr, 전체 물동량의 63.9%)만을 선별하였다.

또한 수송통행특성 속성변수(수송시간, 수송비용)를 기준으로 비합리적인 수송대안(dominated alternative)이 선택된 P/C쌍은 제외하였다. 즉, 시간과 비용측면에서 명백히 더 효율적인 선택대안을 이용하지 아니한 샘플은 제외하였다. 이러한 과정으로 최종적으로 모형개발에 활용된 자료는 202개 P/C쌍(2,295,960 TEU/yr, 전체 물동량의 28.1%, 22,960개의 Decision Maker 또는 Number of observations)이다. 비합리적 수송대안 선택 P/C쌍을 제외하는 과정에서 다소 많은 수의 샘플이 배제되었는데, 이는 '시간'과 '비용'의 다른 변수가 화물의 복합수단선택행위에 영향을 미치는 것으로 추측할 수 있다. 이에 대해서는 향후 추가연구가 필요할 것으로 판단되나, 본 연구에서는 화물의 복합수단선택에 영향을 미치는 변수 보다는 O/D와 P/C의 차이점에 기반을 둔 복합수단선택모형 개발에 중점을 두고자 한다.

2) 로짓모형 추정 결과

컨테이너 복합수단선택모형의 계수들은 Limdep을 사용하여 추정되었다. 모형 추정결과 모형의 적합도( $\rho^2$  또는  $\bar{\rho}^2$ )는 0.26365로 양호하였다. 수송시간 계수의 통계적 유의수준은 0.2354로 다소 높은 것으로 나타났

Table 5. Estimation results for multimodal channel choice (MCC) logit model

-	Dummy	Time(hr)	Cost (₩10,000)
	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
Truck Transport	0	Time	Time
Rail Transport	1	Cost	Cost
Coefficient estimate	-2.41908675	-0.14427825	-0.08174477
Asymptotic standard error	0.65858708	0.12159781	0.01110184
t-statistic	-3.673	-1.187	-7.363
P-value	0.0002	0.2354	0.0000
$\rho^2$	0.26580		
$\bar{\rho}^2$	0.26365		
No. of observations	22,960		
$\mathcal{L}(0)$	-712.5553		
$\mathcal{L}(c)$	-604.9281		
$\mathcal{L}(\hat{\beta})$	-523.1555		

나, 수송비용 계수는 0.0000로 매우 낮은 것으로 분석되었다. 적중률(Hit Ratio)과 시간가치(Value of Time)을 통해 추정된 모형을 검증한 결과 적중률은 86.74%로 비교적 양호하였으며, 시간가치는 17,649원/시간으로 선행연구(Choi, 2005; Kim et al., 2008)<sup>8)</sup>에 미루어 볼 때 적절한 수준이라 판단된다.

IV. 복합수단선택모형의 적용

서론에서 밝혔듯이 우리나라 화물수요추정법은 수단 O/D와 수단선택모형을 활용하고 있다(본 연구에서는 이를 '수단O/D기반 화물수요추정법, Unimodal O/D based method'으로 명명). 본 연구에서는 수단O/D기반 화물수요추정법의 문제점을 개선하기 위한 방안으로 P/C표를 추정하였고 이를 기반으로 하는 복합수단선택모형(본 연구에서는 이를 '수단O/D기반 화물수요추정법'과 구분하기 위해 'P/C기반 화물수요추정법, P/C based method'라고 명명)을 제시하였다. 본 장에서는 'P/C기반 화물수요추정법'과 '수단O/D기반 화물수요추정법'을 우리나라 네트워크에 적용하고 그 결과를 비교하였다. 두 가지 화물수요추정법의 비교를 위해 가상의 상항

6) 화주나 수화인의 요청으로 인해 또는 화주와 수화인 간 거래관계 유지를 위해 일반적인 수송행태와는 전혀 다른 수송형태(예: 해당화물의 시간가치 이상의 기회비용을 지불하고 급송하는 경우)가 나타날 가능성도 존재한다. 이러한 경우는 전체 물동량 중 매우 소량일 것으로 추정되나, 이에 대한 정확한 자료는 전무한 실정이다.  
 7) 본 연구에서는 수송시간과 수송비용을 수출입 컨테이너 화물의 수송경로 선택에 영향을 미치는 요소로 가정하였다.  
 8) Choi(2005)는 서울과 부산 간을 운행하는 40FT 도로운송 컨테이너의 시간가치는 13,035-17,846원/시간에 분포하며, 평균 15,526원/시간으로 나타내고 있다. Kim et al.(2008)에서는 40FT기준 컨테이너당 14,379원/시간 수준으로 추정하고 있다.

(Project A)을 설정하고 철도수송비용 감소 전후의 효과를 분석하였다.

### 1. 실험계획

Project A에 사용된 네트워크는 우리나라의 주요 고속도로와 화물전용철도를 포함한 복합네트워크를 활용하였다. 컨테이너 화물은 주로 이용되는 차량의 규모로 인하여 고속도로를 주요 운송경로로 이용할 것으로 가정하였다. 복합네트워크 상에서 우리나라의 대표적인 수출입 물류시설인 부산항과 의왕ICD 간 철도의 시설개량이 이루어져, 이 구간의 철도를 이용할 경우 철도 수송비용이 시설개량 이전 대비 30% 감소된다는 상황을 설정하였다.

P/C기반 화물수요추정법 적용 시 본 연구에서 추정된 컨테이너 P/C를 복합수단선택모형에 적용하여, Project A 사업 시행 후의 육송P/C와 철송P/C를 재산출하였다. 육송P/C는 전량 트럭을 이용<sup>9)</sup>하기 때문에 이용 수단에 따라 모두 트럭O/D로 산출되었다. 철송P/C는 네트워크 상에 통행배정 단계를 거쳐 이용 수단에 따라 트럭O/D와 철도O/D로 구분되어 산출되었다.

수단O/D기반 화물수요추정법 적용 시에는 P/C추정에 사용된 KTDB의 수단O/D를 KTDB의 화물수단선택모형에 적용하였고, Project A 사업 시행 후의 수단별 O/D를 재산출하였다. 재산출된 수단O/D로 통행배정하였다.

### 2. 모형 적용 이후 기종점쌍 간 전환량 비교

두 화물수요추정법의 가장 큰 차이점은 분석의 기본단위가 최초기점(Production)-최종점(Consumption) 쌍(P/C쌍)인지 수단통행의 기종점(O/D쌍)인지에서 드러난다. P/C는 수단O/D에서 누락된 철송 과정 중의 트럭접근통행(Access/Egress truck trip)이 반영되고 있다.

Project A의 시행 결과 P/C기반 화물수요추정법은 수송비용이 감소된 구간(철도)과 연결된 Access/Egress Trip 구간에서도 육송에서 철송으로의 전환이 발생하여 Project A의 시설개량구간을 이용하는 모든 P/C쌍에서 수송경로 전환이 발생하였다. 즉, 최초기점과 최종점 간 복합운송 중 Access/Egress Trip으로 의왕(ICD)에 접근하여 Project A 시행구간을 이용할 수 있는 모든 P/C쌍(부산-의왕, 부산-수원, 부산-안양, 부산-광명,

부산-안산, 부산-오산, 부산-시흥, 부산-군포, 부산-용인A, 부산-용인B, 부산-용인C, 부산-파주, 부산-이천, 부산-김포, 부산-화성, 부산-아산)에서 사업시행효과가 발생하였다. 반면, 수단O/D기반 화물수요추정법의 경우 Access/Egress Trip을 고려하지 못하는 결과가 나타났다.

Table 6은 부산항을 이용하여 내륙으로 수송되는 수입 컨테이너 화물을 대상으로 두 화물수요추정방법 적용 전·후의 수단O/D를 비교한 것이다. P/C기반 화물수요추정법의 경우 육송에서 철송으로의 수송경로 전환량은 101,743 TEU/yr이다. 이 중 부산항을 통해 의왕ICD를 경유하여 내륙으로 운송되는 철송경로로의 전환량은 95,525 TEU/yr(전체 전환량의 93.9%)이다. 이는 의왕ICD에서 내륙으로의 접근통행 트럭O/D의 변화량과 일치하는데, P/C기반 화물수요추정법이 접근통행에서의 사업시행효과를 반영할 수 있음을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

반면, 수단O/D기반 화물수요추정법의 경우 트럭수송에서 철도수송으로의 수단 전환량은 7,515 TEU/yr로 나타났다. P/C기반 화물수요추정법 적용 시 사업시행효과가 주로 발생하였던 의왕ICD를 경유한 후 내륙으로 운송되는 구간(접근통행 구간)을 중점적으로 살펴보면, 사업시행효과가 전혀 발생하지 않고 있음을 알 수 있다. 최초기점과 최종점 간 복합수단을 활용한 전체 수송경로를 이용 수단별로 구분하여 인식하기 때문에 부산-의왕ICD 기종점간에서만 수단전환이 발생한 결과이다. P/C기반 화물수요추정법에서 Project A의 사업시행효과 중 90% 이상이 접근통행구간에서 발생하는 것을 볼 때, 수단O/D기반 화물수요추정법이 사업시행효과를 매우 과소추정하는 것을 알 수 있다.

### 3. 기종점 간 수단통행물동량 비교

본 절에서는 P/C물동량 총량과 P/C기반 화물수요추정법으로 인해 산출되는 수단O/D의 총량, 그리고 수단O/D기반 화물수요추정법에서 사용된 수단O/D총량을 기준으로 두 방법을 비교하였다. P/C기반 화물수요추정법의 경우 철송P/C는 트럭O/D와 철도O/D로 재산출되는데, 철송P/C물동량 중 일부는 수단간 환적을 거쳐 내륙으로 트럭을 이용해 수송된다. 따라서 트럭O/D물동량은 철송P/C물동량에 비하여 많게 된다. 이처럼 철송

9) 본 연구에서는 육송P/C를 트럭만을 이용해서 운송되는 물동량이라고 가정하였다.

**Table 6. Comparison of unimodal O/D commodities change: inland-bound commodities from Busan via Uiwang ICD**  
(unit : TEU/yr)

From-To			Unimodal O/D based method						P/C based method						
			Truck O/D			Rail O/D			Truck O/D			Rail O/D			
			D.N.	D.S.	D	D.N.	D.S.	D	D.N.	D.S.	D	D.N.	D.S.	D	
Main-haul	Busan	Uiwang	15,335	7,820	-7,515	413,706	421,221	7,515	15,335	9,117	-6,218	413,706	515,449	101,743	
	Busan	Suwon	44,845	44,845	0	0	0	0	44,845	28,904	-15,941	0	0	0	
	Busan	Anyang	8,061	8,061	0	0	0	0	8,061	5,067	-2,994	0	0	0	
	Busan	Kwangmyoeng	2,499	2,499	0	0	0	0	2,499	1,607	-892	0	0	0	
	Busan	Ansan	56,008	56,008	0	0	0	0	56,008	34,968	-21,040	0	0	0	
	Busan	Ohsan	8,068	8,068	0	0	0	0	8,068	4,667	-3,401	0	0	0	
	Busan	Siheung	7,919	7,919	0	0	0	0	7,919	4,483	-3,436	0	0	0	
	Busan	Gunpo	3,565	3,565	0	0	0	0	3,565	2,132	-1,433	0	0	0	
	Busan	Choein in Yongin	15,473	15,473	0	0	0	0	15,473	10,984	-4,489	0	0	0	
	Busan	Kiheung in Yongin	19,872	19,872	0	0	0	0	19,872	13,531	-6,341	0	0	0	
	Busan	Suzi in Yongin	239	239	0	0	0	0	239	164	-75	0	0	0	
	Busan	Pajoo	24,002	24,002	0	0	0	0	24,002	18,806	-5,196	0	0	0	
	Busan	Ihcheon	30,014	30,014	0	0	0	0	30,014	22,688	-7,326	0	0	0	
	Busan	Gimpo	17,992	17,992	0	0	0	0	17,992	13,120	-4,872	0	0	0	
	Busan	Hwasung	31,279	31,279	0	0	0	0	31,279	19,566	-11,713	0	0	0	
	Busan	Ahsan	58,670	58,670	0	0	0	0	58,670	52,294	-6,376	0	0	0	
	Trip	Main-haul	Busan-Uiwang only	15,335	7,820	-7,515	413,706	421,221	7,515	15,335	9,117	-6,218	413,706	515,449	101,743
		Trip	except Busan-Uiwang	328,506	328,506	0	0	0	0	328,506	232,981	-95,525	0	0	0
Sum		Sum	343,841	336,326	-7,515	413,706	421,221	7,515	343,841	242,098	-101,743	413,706	515,449	101,743	
Access/Egress	Uiwang	Suwon	0	0	0	0	0	0	54,559	70,500	15,941	0	0	0	
	Uiwang	Anyang	0	0	0	0	0	0	14,327	17,322	2,994	0	0	0	
	Uiwang	Kwangmyoeng	0	0	0	0	0	0	3,543	4,435	892	0	0	0	
	Uiwang	Ansan	0	0	0	0	0	0	84,324	105,364	21,040	0	0	0	
	Uiwang	Ohsan	0	0	0	0	0	0	30,673	34,074	3,401	0	0	0	
	Uiwang	Siheung	0	0	0	0	0	0	27,612	31,047	3,436	0	0	0	
	Uiwang	Gunpo	0	0	0	0	0	0	7,531	8,965	1,433	0	0	0	
	Uiwang	Choein in Yongin	0	0	0	0	0	0	10,964	15,453	4,489	0	0	0	
	Uiwang	Kiheung in Yongin	0	0	0	0	0	0	18,008	24,349	6,341	0	0	0	
	Uiwang	Suzi in Yongin	0	0	0	0	0	0	208	283	75	0	0	0	
	Uiwang	Pajoo	0	0	0	0	0	0	9,141	14,338	5,196	0	0	0	
	Uiwang	Ihcheon	0	0	0	0	0	0	15,152	22,479	7,326	0	0	0	
	Uiwang	Gimpo	0	0	0	0	0	0	11,146	16,018	4,872	0	0	0	
	Uiwang	Hwasung	0	0	0	0	0	0	55,342	67,055	11,713	0	0	0	
	Uiwang	Ahsan	0	0	0	0	0	0	36,173	42,549	6,376	0	0	0	
	Access/Egress Sum			0	0	0	0	0	0	378,703	474,231	95,525	0	0	0

\* D.N.: Do Nothing, D.S.: Do Something, D: Difference between D.N. and D.S.

은 반드시 환적을 수반하므로 P/C물동량과 O/D물동량을 비교했을 때 O/D물동량이 많을 수밖에 없는데, P/C를 활용한 방법은 O/D를 활용한 방법 보다 현실 반영 정도가 우수하다고 볼 수 있다.

Table 7에서 철송P/C물동량 대비 트럭 및 철도 O/D물동량(Truck and Rail Unimodal O/D against Rail Transport P/C Commodities, {(F+G)/C})을 보면 1.9배에 이르는 것을 볼 수 있다. 또한 육송P/C물동량 대비 트럭O/D물동량(Truck Unimodal O/D against Truck Transport P/C Commodities, E/B)이 2.1배, 전체P/C물동량 대비 전체O/D물동량(Whole O/D Commodities against Total P/C

Commodities, D/A)도 1.5배였다. 이는 곧, 수단O/D 기반 화물수요추정법은 접근통행(Access/Egress trip)을 반영하지 못하여 복합운송을 제대로 구현해내지 못함으로 인해 특정 화물이 수단간 환적을 할 경우 환적 전·후 (2단위 이상의)수단통행 중 하나의 수단통행만을 인지하고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유로 사업시행효과도 과소추정 될 수밖에 없다.

#### 4. 링크물동량 비교

Project A 시행 시 수송비용이 감소되어 수단간 경쟁력이 향상되는 철도구간을 이용하는 모든 P/C쌍간에는

**Table 7. Comparison between P/C and O/D total amount of import-container commodities: inland-bound commodities from Busan via uiwang ICD** (unit : TEU/yr)

Comparative measure	Unimodal O/D based Method	P/C based Method
Total P/C Commodities (A)	757,547	757,547
Truck Transport P/C Commodities (B)	-	343,841
Rail Transport P/C Commodities (C)	-	413,706
Total Unimodal O/D Commodities (D)	757,547	1,136,251
Truck Unimodal O/D Commodities (E)	343,841	722,545
Truck Unimodal O/D Amount of All Rail Transport P/C Commodities (F=E-B)	-	378,704
Rail Unimodal O/D Commodities (G)	413,706	413,706
Truck Unimodal O/D against Truck Transport P/C Commodities (E/B)	-	2.1 times
Truck and Rail Unimodal O/D against Rail Transport P/C Commodities ((F+G)/C)	-	1.9 times
Rail Unimodal O/D against Rail Transport P/C Commodities (G/C)	-	1.0 times
Whole O/D Commodities against Total P/C Commodities (D/A)	-	1.5 times

수송비용이 감소된 철도수단으로 전환하는 것이 합리적인 의사결정일 것이다. 수단O/D기반 화물수요추정법은 본 연구에서 언급한 두 가지 문제점으로 인하여 합리적

인 의사결정에 의한 결과를 제대로 반영하지 못한다. 이는 링크 물동량 변화를 통해서도 확인할 수 있었다. P/C 기반 화물수요추정법의 경우 철도 수송비용이 감소된 구간(부산-의왕)을 이용하는 P/C쌍 간의 링크에 변화가 발생하였다(Table 8, Table 9 참조). 일반적인 교통사업 투자평가에서 통행량과 통행거리를 함께 고려하여 경제성분석을 수행하므로 본 연구에서도 TEU·km/일 단위로 링크물동량 변화를 검토하였다. 앞 절에서 기중점 통행량 비교를 통해 P/C기반 화물수요추정법이 수단 O/D기반 화물수요추정법에서 누락하고 있는 사업시행 효과를 고려할 수 있음을 보였다면, 링크물동량 비교를 통해서도 그러한 문제점으로 인한 사업시행효과 과소추정의 규모를 짐작할 수 있다.

### V. 결론 및 향후 연구과제

우리나라는 화물수요 추정 시 수단O/D와 수단분담모형을 활용한 전통적 4단계 모형을 사용해왔다. 그러나 이 방법은 화물의 복합운송을 반영하지 못하는 한계를

**Table 8. Comparison of container commodities on road link by sections**

(unit : TEU·km/day)

Road Section	Unimodal O/D method			P/C based method			Road Section	Unimodal O/D method			P/C based method		
	D.N.	D.S.	D	D.N.	D.S.	D		D.N.	D.S.	D	D.N.	D.S.	D
Busan-Uiwang	16.357	8.342	-8.015	16.357	9.725	-6.632	Uiwang ICD-Suwon	0	0	0	2.154	2.783	629
Busan-Suwon	46.687	46.687	0	46.687	30.091	-16.596	Uiwang ICD-Anyang	0	0	0	204	246	43
Busan-Anyang	8.704	8.704	0	8.704	5.471	-3.233	Uiwang ICD-Kwangmyoeng	0	0	0	177	221	44
Busan-Kwnagmyoeng	2.841	2.841	0	2.841	1.827	-1.014	Uiwang ICD-Ansan	0	0	0	4.288	5.358	1.070
Busan-Ansan	61.959	61.959	0	61.959	38.683	-23.276	Uiwang ICD-Ohsan	0	0	0	2.187	2.429	242
Busan-Ohsan	8.076	8.076	0	8.076	4.671	-3.405	Uiwang ICD-Siheung	0	0	0	1.990	2.238	248
Busan-Siheung	8.924	8.924	0	8.924	5.052	-3.872	Uiwang ICD-Gunpo	0	0	0	84	100	16
Busan-Gunpo	3.851	3.851	0	3.851	2.303	-1.548	Uiwang ICD-Choein in Yongin	0	0	0	780	1.099	319
Busan-Choein in Yongin	14.991	14.991	0	14.991	10.642	-4.349	Uiwang ICD-Kiheung in Yongin	0	0	0	943	1.275	332
Busan-Kiheung in Yongin	20.516	20.516	0	20.516	13.969	-6.546	Uiwang ICD-Suzi in Yongin	0	0	0	10	14	4
Busan-Suzi in Yongin	253	253	0	253	174	-80	Uiwang ICD-Pajoo	0	0	0	1.985	3.113	1.128
Busan-Pajoo	29.147	29.147	0	29.147	22.837	-6.310	Uiwang ICD-Ihcheon	0	0	0	1.756	2.606	849
Busan-Ihcheon	28.368	28.368	0	28.368	21.443	-6.924	Uiwang ICD-Gimpo	0	0	0	1.907	2.741	834
Busan-Gimpo	22.127	22.127	0	22.127	16.135	-5.992	Uiwang ICD-Hwasung	0	0	0	2.676	3.243	566
Busan-Hwasung	32.677	32.677	0	32.677	20.440	-12.237	Uiwang ICD-Ahsan	0	0	0	6.367	7.490	1.122
Busan-Ahsan	54.713	54.713	0	54.713	48.767	-5.946							

\* D.N.: Do Nothing, D.S.: Do Something, D: Difference between D.N. and D.S.

**Table 9. Comparison of container commodities on rail link by section**

(unit : TEU\*km/day)

Rail Link		Unimodal O/D based method			P/C based method		
Kyeong-bu Line	From-To	D.N.	D.S.	D	D.N.	D.S.	D
		Busan Uiwang ICD	430,379	438,196	7,817	430,379	536,223

\* D.N.: Do Nothing, D.S.: Do Something, D: Difference between D.N. and D.S.

갖고 있다. 수단O/D에는 단일수단통행의 Main-haul Trip만을 집계할 뿐, Access/Egress Trip이 누락되어 있어, 시설개량에 따른 Access/Egress Trip에서의 효과를 반영하지 못하기 때문이다. 또한 수단분담모형은 계수추정 및 정산의 단위와 적용의 단위가 상이한 문제점이 있었다. 즉, 계수추정 및 모형정산은 개별화주기업의 Disaggregated된 수송자료를 바탕으로 이루어진 반면, 실제모형의 적용은 zone-based data를 바탕으로 이루어졌다.

본 연구는 이러한 수단O/D 및 수단분담모형의 한계점을 바탕으로 화물의 복합운송을 반영할 수 있는 복합수단선택모형을 개발하였다. 복합수단선택모형 개발을 위해 우리나라 수출입 컨테이너 화물의 zone-based 전수데이터를 바탕으로 중력모형을 적용하여 Access/Egress Trip distribution을 추정하고, 이를 수단O/D에 접목시켜 P/C를 추정하였다. 그리고 P/C쌍 간 수송시간과 수송비용을 산출하여 복합수단수송경로선택 행위를 모사하는 Aggregated Logit Model 모형을 추정하였다.

또한 복합수단선택모형과 P/C를 Network에 적용하여 수단O/D기반 화물수요추정법과 비교하였다. 시설개량시의 수단간 전환량, 기종점물동량, 링크물동량을 바탕으로 두 방법을 비교함으로써 P/C기반 화물수요추정법이 Access/Egress Trip을 반영하여 실제 화물의 복합운송형태를 잘 모사함을 보였다.

최근 우리나라 정부는 탄소배출량 저감을 위해 철도 중심의 운송정책을 진행하고 있다. 철도운송은 수단특성상 복합운송으로 이루어진다. 따라서 철도 중심의 운송정책의 효과평가를 위해서는 복합운송을 반영할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 수단O/D기반 화물수요추정법으로는 복합운송을 반영하기 어려우며 P/C기반 화물수요추정법은 복합운송을 제대로 반영할 수 있음을 보였다. P/C분석법은 Access/Egress Trip과 Main-haul Trip에서의 변화를 모두 반영할 수 있음으로 인하여 톤·km 단위의 수단분담율을 제대로 산출할 수 있다. 화물운송은 물동량의 크기뿐만 아니라 운송거리에 따른 물류비의 변화가 중요하기 때문에 물동량의 크기와 운송거리가 동시에 고려된 톤·km단위의 수단분담율은 화물운송정책 평가에 좋은 평가지표가 될 수 있다.

지금까지의 연구결과를 통하여 P/C기반 화물수요추정법이 수단O/D기반 화물수요추정법보다 복합운송을 모사하는 능력이 우수함을 보였다. 그러나 P/C기반 화물수

요추정법을 제대로 적용하기 위해서는 정확한 P/C구축이 우선되어야 한다. 본 연구에서는 취득 자료의 한계로 인하여 환적지점에서의 Access/Egress Trip Distribution에 대한 3가지의 가정(Access/Egress Trip Spatial coverage, 중력모형의 균형인자, 통행저항파라미터)을 통하여 P/C를 구축하였다. 아직까지 우리나라에는 수출입컨테이너 환적지에서의 환적에 대한 정보가 전무한 실정이기 때문에 추정한 P/C표의 검증 역시 어려운 문제이다. 정확한 P/C 구축을 위해서 향후 최초기점과 최종종점간 화물운송에 대한 정확한 조사를 바탕으로 복잡한 송관련 물동량 자료 구축이 우선되어야 할 것으로 보인다. 또한 P/C쌍간 복합수단선택모형개발에 필요한 수단별 수송시간 및 수송비용, 수단간 환적시간 및 환적비용에 대한 원단위에 대한 보다 정확한 조사가 필요할 것으로 보인다. 나아가 국가산업·경제 진단 및 전망을 위한 화물의 생산에서부터 소비에 이르기까지의 과정을 모형화 할 수 있는 연구의 기반 조성을 위해서도 체계적인 조사와 DB구축이 절실하게 요구된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea grant funded by the Ministry of Education, Science and Technology(MEST) (NRF-2010-0012554).

## REFERENCES

- Bröcker J. (1998), Operational Spatial Computable General Equilibrium Model, *Ann. Reg. Sci.*, Vol.32, No.3, pp.367-387.
- Choi C. H. (2002), Value of Travel-Time Savings in Metropolitan Road Freight Transportation with Freight Classification Code, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.20, No.7, Korean Society of Transportation, pp.167-175.
- Choi C. H. (2004), A Study on Estimating the Value of Travel Time of Freight Transportation for Toll Roads Investment Evaluation, *The Korea Spat. Plan. View*, Vol.43, Korea Research Institute for Human Settlements, pp.109-125.
- Choi C. H. (2005), An Estimation of the Value of

- Travel Time of Freight Transportation (화물수송의 통행시간가치 범위 산정), Korea Research Institute for Human Settlement.
- Choi C. H., Lim K. W. (1999), Development of A Behavioral Mode Choice Model for Road Goods Movement, J. Korean Plan. Assoc., Vol.34, No.5, Korean Planners Association, pp.103-115.
- Chun S. H. (2010), Development of a smart card data-based stochastic transit assignment model on integrated public transportation networks, Doctoral Thesis, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National Univ.
- De Jong G., Ben-Akiva M. (2007), A Micro-Simulation Model of Shipment Size and Transport Chain Choice, Transp. Res. Part B, Vol.41, No.9, pp.950-965.
- Federal Highway Administration (1996), Quick Response Freight Manual, Final Report, September.
- Ha W. I., Nam K. C. (1996), Mode Choice Models for Freight Transportation Using SP Data, J. Korean Soc. Transp., Vol.14, No.1, Korean Society of Transportation, pp.81-99.
- Ham H. J., Kim Tschangho John, Boyce David (2005), Implementation and Estimation of a Combined Model of Interregional, Multimodal Commodity Shipments and Transportation Network Flows, Transp. Res. Part B, Vol.35, pp.65-79.
- Jiang F., Johnson P., Calzada C. (1999), Freight Demand Characteristics and Mode Choice: An Analysis of the Results of Modeling with Disaggregate Revealed Preference Data, J. Transp. and Stat..
- Kim C. S., Lee J. Y., Chung K. H. (2008), A Study on Intercity Freight Mode Choice modeling, the Korea Transport Institute.
- Kim E., Park D. J., Kim C., Lee J. (2010), A New Paradigm for Freight Demand Modeling: The Physical Distribution Channel Choice Approach, Int. J. Urban Sci., Vol.14, No.3, pp.240-253.
- Korea Maritime Institute(KMI) (2002), A Study on Transporting Time of Container Freight between Inland Origin/Destination and the Kwangyang port and Busan port (내륙기종점에서 광양항과 부산항의 컨테이너 수송시간).
- Korea Maritime Institute(KMI) (2008), Maritime Import/Export Freight OD Actualizing (해상 수출입화물의 기종점 자료 현행화).
- Korea Rail Network Authority(KRNA) (2007), Korea Rail Network Improvement for Synergy Effect Optimization of Korea Train Express(KTX) (고속철도 개통 시너지 효과 극대화를 위한 철도시설개발 방안).
- Korea Railroad(KR) (2005), A Study on Improving Freight Tariff Improvement and Developing Customer Satisfaction Index(CSI) (화물운임 제도개선 및 고객만족도(CSI) 지수개발 연구).
- Korea Transport Institute(KOTI) (1998), 21C National Rail Network Mater Plan (21세기 국가철도망 구축 기본계획 수립: 최종보고서).
- Korea Transport Institute(KOTI) (2003), A Study on the Korean Logistic System Innovation and International Logistic Competitiveness Improvement (물류체계 혁신 및 물류경쟁력 강화 방안 연구).
- Korea Transport Institute(KOTI) (2006), the Weighting and Expansion of Sample OD Freight Data on the National Area (전국지역간 화물기종점통행량(OD) 자료의 전수화).
- Korea Transport Institute(KOTI) (2008), National Transportation Demand Survey and Database Establishment in 2007: Maritime Import/Export Freight OD Actualizing (2007년 국가교통DB구축 사업 중 해상수출입화물 OD 현행화).
- Korea Trucking Association(KTA) (2008), Table of Container Freight Trucking fare tariff (컨테이너 육상운임요금표)
- Lee H. A., Kang K. W. (1998), A Study of Road Freight Mode Choice Model, The 34th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, pp.496-505.
- Markus Friedrich, Thomas Haupt, Klaus Nökel (2003), Freight Modelling: Data Issues, Survey Methods, Demand and Network Models, 10th International Conference on Travel Behaviour Research Lucerne, 10-15. August.
- MDS-Transmodal Ltd (2003), The GB Freight Model

- Documentation Project Document 1: Methodology, September.
- Nam K. C. (1997), A Study on the Estimation and Aggregation of Disaggregate Models of Mode Choice for Freight Transport, *Transp. Res. Part E*, Vol.33, No.3, pp.223-231.
- Norojono O., Young W. (2003), A Stated Preference Freight Mode Choice Model, *Transp. Plan. and Technol.*, Vol.26, No.2, pp.195-212.
- Park D. J. (2009), A Study on the Methodology of Estimating Freight Demand using Analysing Distribution Channel (유통경로분석을 통한 화물수요추정방법의 개선에 관한 연구), Department of Transportation Engineering, The Univ. of Seoul.
- Park D. J. (2010), Container Freight Intermodal Policy Simulation (컨테이너 화물의 인터모달 정책시뮬레이션), Department of Transportation Engineering, The Univ. of Seoul.
- Park D. J., Shin S. J., Choi C. H., Shon E. Y., Kim H. S. (2009), Development of Freight Mode Choice Model using SP Data, The 57th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, pp.201-209.
- Park M. Y., Kim C. S., Kim E. M., Park D. J., Pattanamekar P. (2010), Physical Distribution Channel Choice according to Commodity Types, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.28, No.1, Korean Society of Transportation, pp.77-86.
- Park J. K. (1995), Railroad Marketing Support System Based on the Freight Choice Model, MIT Ph.D doctoral thesis.
- Pattanamekar P., Park D. J., Lee K., Kim C. S. (2011), Estimating commodity OD matrix using sample commodity OD matrix from CFS and mode-specific OD matrices, submitted to Transportation.
- Picard G. (1998), Exploration of a Box Cox Logit Model of Intercity Freight Mode Choice, *Transp. Res. Part E*, Vol.34, No.1, pp.1-12.
- Shin S. J. (2008), Development of Freight Mode Choice Model using SP Data, thesis of M.D., Univ. of Seoul.
- Swahn H. (2001), The Swedish National Mode System for Goods Transport: A Brief Introductory Overview, Swedish Institute for Transport and Communications Analysis Stockholm.
- Tavasszy L. (2006), Freight Demand Modeling Tools for Public-Sector Decision Making, Conference Proceedings, ed. Hancock, K.L. *Transp. Res. Board*, Washington D.C., 25-27 September 2006, pp.47-55.
- Transportation Research Board (2005), Statewide Travel Demand Modelling, *Transp. Res. Circular*, Number E-C075, August.
- Transportation Research Board (2010), Freight-Demand Modeling to Support Public-Sector Decision Making, NCFRP REPORT 8, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- U.S. Department of Transportation (2002), Derivation of the FAF Database and Forecast, Freight Analysis Framework, Office of Freight Management and Operations, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., April 2002.
- Univ. of Seoul(UOS) (2008), Preliminary Study on Supply Chain-based Freight Demand Modeling.
- Winston C. (1981), A Disaggregate Model of the Demand for Intercity Freight Transportation, *Econometrica*, Vol.49, pp.981-1006.

✉ 주 작성자 : 김현승  
 ✉ 교신저자 : 박동주  
 ✉ 논문투고일 : 2012. 7. 25  
 ✉ 논문심사일 : 2012. 9. 6 (1차)  
                   2013. 1. 11 (2차)  
                   2013. 2. 5 (3차)  
 ✉ 심사판정일 : 2013. 2. 5  
 ✉ 반론접수기한 : 2013. 8. 31  
 ✉ 3인 익명 심사필  
 ✉ 1인 abstract 교정필