

SP 조사기법을 이용한 화물별 DMT(Dual Mode Trailer) 효용함수 추정

Estimation of the DMT Utility Function Using SP Survey

이강원[†] · 국광호* · 장성용**

Kang-Won Lee · Kwang-Ho Kook · Sung-Young Jang

Abstract The objective of this paper is to estimate the DMT utility function for the transportation mode choice using SP survey. With the freight OD data the estimated utility function can be used as a basic data for forecasting DMT market. 3 alternatives of transportation mode are considered in SP survey; railway, road and DMT. The utility functions are developed according to the freight items, which are container, steel and chemical product. In this study the attribute variable are chosen as time, cost and reliability. The number of level for attribute variables are 3. The high value is determined as +10% above the standard and the low value -20% below the standard.

Keywords : SP Survey, DMT, Utility function

요 지 본 연구의 목적은 SP 조사를 통해 화물별 DMT 효용함수 추정에 목적을 두고 있다. 추정된 효용함수는 화물별 OD 자료를 바탕으로 DMT 수요예측에 기초자료로 이용될 수 있다. 설문조사에서는 컨테이너와 위험물을 다루고 있는 업체와 철강운송 업체 중 연안 해운을 하고 있지 않은 운송업체를 대상으로 철도운송, 도로운송, DMT, 이렇게 세 가지의 선택대안을 사용하였다. 선택상황은 품목별/운송방향별로 가상 상황을 설정하였고 선정한 주요 화물품목은 컨테이너, 철강, 위험물이다. 또한 각각의 화물품목들에 대한 운송거리별 운송수단 선택모형은 통계적으로 다르지 않은 것으로 분석되었기 때문에 거리별(장거리, 중거리, 단거리)로 모형을 구축하지 않고 가장 물동량이 많은 장거리(300km 이상)의 경우에 한해 화물별로 모형구축을 시도하였다. 사용할 속성변수로는 운송시간, 운송비용 그리고 신뢰성을 선정하였다. 수준 수는 일반적으로 가장 많이 사용되는 3수준으로 정하였으며 수준 값은 기준 값을 중심으로 +10%와 -20%로 정하였다.

주 요 어 : SP 조사, DMT, 효용함수

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 들어 국가 경제 및 기업 경영에 있어서 물류의 중요성이 커지면서 보다 효율적인 수송서비스에 대한 요구가 높아지고 있으며, 장래에 물류량이 꾸준히 증가 될 것으로 예상된다. 이러한 상황 속에서 2006년 기준 수단별 국내

화물 수송 분담률을 살펴보면 도로(76.6%), 해상(17.1%) 철도(6.3%), 항공(0.1%)으로 국내의 화물수송이 도로에 편중되어있다. 더 나아가 철도의 경우 분담률이 매년 감소하는 추세이며 도로의 경우 내륙화물수송을 살펴보면 2001년부터 고속도로 이용률이 매년 10% 내외로 증가하고 있다. 하지만, 포화 상태에 다다른 도로운송은 교통사고 및 도로 혼잡을 가중시키고 대기오염과 같은 사회적 비용을 유발시킨다는 단점을 가지고 있다. 또한 고유가 시대에 따른 유류비 증가와 도로혼잡비용도 연 평균 4.6%씩 증가하여 매년 수십조의 국가적 손실을 낳고 있다. 따라서 국가 물류비를 절감하고 안정적인 내륙수송시스템을 구축하기 위해서 도로 위주의 화물 수송을 타 운송 수단으로 전환이

[†] 책임저자, 정회원, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과, 교수
E-mail : kwlee@snut.ac.kr

TEL : (02)970-6476 FAX : (02)974-2849

* 정회원, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과, 교수

** 정회원, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과, 교수

필요하다.

철도 운송은 대량 화물 운송에 있어서 운송비가 낮아 물류비용을 절감할 수 있고 심각한 문제로 대두된 도로 정체를 경감시킬 수 있다. 아울러 대기 오염, 소음, 그리고 도로 파손 등 환경 문제측면에서도 도로 수송에 비해 우위를 지니고 있어 도로 위주의 화물수송의 대체 운송 수단으로 철도운송이 언급되어지고 있다.

하지만 기존 철도 시스템이 갖고 있는 한계성과 여러 제한 조건들로 인해 철도의 수송 분담률은 2006년 기준 도로 수송의 76.6%에 비해 훨씬 낮은 6.3% 수준에 지나지 않는다. 이렇게 철도운송의 활성화를 가로막는 기존 철도 시스템의 문제점을 살펴보면 다음과 같다.

기존 철도운송 이용 시 대두되는 문제점은 도로운송에서의 가장 큰 장점인 door to door 서비스가 어렵다는 점이며 이것은 화주들이 철도운송 이용을 꺼리는 가장 큰 이유이다. 또 다른 문제점으로는 다른 운송시스템에 비해 화물의 안정성이 낮다는 점이다. 크레인 또는 스태커를 이용한 상하역 작업 시 화물 손상이 발생할 수 있으며, 철도운송의 잦은 화물 환적은 이런 위험성을 가중시킨다. 이런 문제점 이외에도 철도운송의 활성화를 가로 막고 있는 많은 장벽들이 있는데 대표적으로 전기 기관차로 전환 문제를 들 수 있다. 전기 기관차로 대체 되면 유류비 절감과 함께 소음도 적고 힘이 좋아 한 번에 많은 량을 운송 할 수 있게 되는 장점이 있지만 기관차 위에 설치되는 공중가선에 의해 크레인을 이용한 기존의 수직 상하역 작업이 불가능하게 된다.

철도로 이송되어지는 품목들의 물동량 중 유일하게 증가 추세를 보이고 있는 컨테이너 화물의 지난해 수출입 철도 운송 실적이 112만 7천 TEU로 2년 연속 100만 TEU를 넘어서 전년 대비 5.4%의 증가율을 보이고 있다. 이에 따라, 철도는 현재 CY(Container Yard) 수용능력을 늘리기 위해 새로운 CY의 부지 확보에 노력하고 있다. 하지만 실제 증가 예상 물동량이 대부분 부산항, 광양항 그리고 수도권(의왕)에 집중되어 있어 추가적인 부지를 확보하는데 어려움이 있고, 현재의 시설이나 수송 시스템만으로는 더 이상 수용 불가능한 상태가 예상되어 기존 수송 시스템의 개선을 통해 수용능력을 늘릴 필요가 있다.

따라서, 철도운송이 갖고 있는 이러한 문제점과 직면한 상황들을 해결하기 위해서 새로운 철도 수송 시스템 체계를 갖추는 것이 필요한데 이를 위해 제안된 것이 DMT(Dual Mode Trailer) 운송 시스템이다[1,5]. DMT 운송 시스템이란 화물트럭용 밴 트레일러가(van trailer) 특수 철도용 화차 위에 바로 올라가, 그대로 철도선로에 적재되어 목적지까지 수송되는 새로운 수송시스템이다. DMT

시스템은 기존 철도운송이 갖고 있는 여러 문제점들을 많이 해결해 준다. DMT는 도로 수송의 기동성과 철도의 대량운송의 장점을 결합하고 있다. 철도 물류 수송의 가장 큰 단점을 보완한 door to door 일관 서비스 구축이 가능하며 철도 물류에 수반되어지는 상하역 작업 시간단축 및 환적 비용을 절감할 수 있다. 또한 상하역 및 환적에 따른 화물손상을 최소화 할 수도 있다. 최근 국내에서 수행된 DMT 관련 설문 조사에 따르면 대부분의 물류 업체들이 현행 물류체계에 대해 많은 문제점과 그에 따른 개선의 필요성을 느끼고 있고 DMT와 같은 새로운 운송 시스템이 향후 운송체계의 문제점을 개선할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

본 연구의 목적은 SP 조사 기법을 이용해 DMT의 효용함수 추정에 목적을 두고 있다. 추정된 효용함수는 운송수단 선택확률 계산에 기초자료로 사용되며 화물 OD자료를 토대로 수요예측에 활용 될 수 있다.

서론에 이어 2장에서는 SP 조사 방법에 대해 살펴본다. 3장에서는 운송 수단 선택 모형 구축을 위한 화물별 효용함수를 추정하였으며 4장에서는 결론과 추후 연구 방향을 제시하였다.

2. SP 조사 기법

SP(Stated Preference) 기법은 통계적인 실험계획법을 통해 가상의 시나리오를 구축하고 그 가상의 시나리오를 개인에게 제공하여 개인의 선호(Preference)를 찾는 일련의 기법으로 정의 할 수 있다[6]. 즉 심리적으로 내재되어 있는 개인의 선호를 조사하는 기법이다. 한편 실제 선호 결과(RP, Revealed Preference)와 구별하여 특정 대상과 그 속성에 관해 개인의 선호, 의식, 의향 등의 의사표시를 가정된 상황 하에서 구하는 기법으로 정의하기도 한다.

SP기법은 개개인의 응답자에게 속성변수로 표현된 가상의 상황인 대안을 제공하고, 응답자는 현재 상황에 근거하여 답을 하게 된다. 대안은 실험계획법에 기초하여 조합하며, 응답자들은 각각의 대안에 대해 그들의 선택을 중요도 순서로 순서를 매기거나 어떤 척도로 등급을 매기거나 또는 단순히 가장 선호하는 대안을 선택하는 방법으로 그들의 선호를 표현하게 된다.

SP 기법을 이용한 조사에 앞서 조사 설계는 필수적이다. SP 기법을 이용한 조사 시 결정되어야 할 요소는 조사대상 및 표본 수, 응답자 선호표현방법, 선택대안 및 선택대안 수, 선택대안을 설명하는 속성변수 및 속성변수 수준 및 수, 가상의 시나리오의 조합방법 및 질문 수 등이다. 다음 Fig. 1은 SP 조사 설계 과정을 나타낸 것이다.

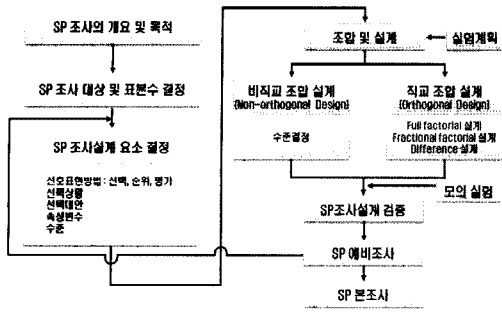


Fig. 1. SP Survey Process

2.1 조사목적

본 SP 조사는 각 운송수단별 효용함수 추정에 목적을 두고 있다. 추정된 운송수단별 효용함수를 바탕으로 운송수단 선택확률을 계산하고 화물 OD자료를 바탕으로 운송수단별 수요 예측을 수행한다.

2.2 설문대상 및 크기

SP 표본의 결정은 누구를 조사해야 하며, 얼마나 많은 사람을 조사해야 하는지 두 가지로 대별할 수 있다. 이때 SP조사의 표본 수는 조사비용 및 조사기간을 고려하여 결정해야한다. 지금까지 SP 조사기법의 적정 및 최소 표본수에 대한 연구가 심도 있게 진행된 바는 없으나 기존 외국 사례에 따르면 각 집단별 50명에서 100명의 표본 수(사람)가 필요한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 크게 화주와 포워더를 포함한 이용자군과 도로운송업자와 철도공사를 포함한 서비스 참여 예정자로 설문대상자들을 구분하여 4:6 비율로 조사를 실시하였다. 또한 컨테이너 운송업체, 철강 운송업체, 위험물 운송업체로 집단을 나누어 각각 88개, 62개, 61개의 표본을 수집하여 총 211개의 표본을 조사하였다.

Table 1. The Number of Groups for Survey

		업체 수	비율
업무	화물수송 관련업무	86	40.6%
	화주	125	59.4%
총합		211	100%

Table 2. The Number of Samples

	컨테이너	철강	화학물	계
표본수	88	62	61	211

2.3 선호표현 방법

선호의식(SP) 조사의 질문에서 선호표현방법은 응답자

가 주어진 선택대안을 어떻게 평가하는지에 따라 선호표현의 형태가 크게 세 가지로 분류될 수 있다. 첫번째 선호표현방법은 선택(choice)이다. 선택은 두 가지 이상의 대안에 대해서 응답자가 가장 큰 선호를 가진 대안을 선택함으로써 선호를 표시하는 방법이다. 두 번째 선호표현방법인 순위(ranking)는 대안들 중에서 선호하는 선택대안 순으로 순위를 표현하는 방법이다. 마지막 세 번째 선호표현방법은 평가(rating)인데 이는 응답자로부터 선호 정도에 대한 정보를 직접 표현하도록 하는 방법이다.

본 연구의 SP 설문조사는 SP 선호표현방법 중 가장 현실적이며 많이 사용되는 표현방법이고 면접자들이 설문하기 용이하다는 장점을 가지고 있기 때문에, 두 가지 이상의 대안에 대해서 응답자가 가장 큰 선호를 가진 대안을 선택하는 선택(choice)방법을 사용한다.

2.4 화물 품목 선정

품목대상 선정 시 철도공사의 화물수송실적 자료와 해운항만물류정보센터의 내부 자료인 해양수산통계연보, KTDB 등의 자료를 이용하여 철강, 양회, 컨테이너, 비료, 석탄, 유류, 화학품, 건설, 사업용품, 총 9개의 품목을 대상으로 선정하였다. 각 품목별로 철도운송의 경쟁력, DMT 시스템으로 전환 가능성, 절대량, 장래수요, 공간적 범위(경부선, 호남선, 전라선)와의 관련성 등을 평가 하였다. 이를 위하여 화물 물류 전문가들로 구성된 본 연구의 자문단을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과를 Table 3에 요약 정리 하였는데 철강, 화학품, 그리고 컨테이너가 DMT 이용 가능성이 높은 화물 품목으로 나타났다.

Table 3. Freight Selection for DMT

구분	철도 운송의 경쟁력	DMT 전환 가능성	절대량	장래수요	공간적 범위	품목 선정 시 포함여부
건설	○	△	△	×	△	×
철강	○	○	△	○	△	○
비료	△	×	△	×	×	×
사업용품	○	×	△	△	△	×
석탄	○	×	△	×	×	×
양회	○	×	○	○	△	×
유류	×	×	○	×	×	×
화학품	○	○	△	△	△	○
컨테이너	○	○	○	○	○	○

(○ : 우수, △ : 보통, × : 저조)

2.5 선택대안

일반적으로 화주가 화물을 수송하기 위해서 선택하는 운송수단에는 철도운송, 도로운송, 연안 해운, 항공 등 여러 가지 운송수단이 존재한다. 그러므로 사실적인 운송수단 선택모형을 구축하기 위해서는 현재 존재하는 모든 운송수단을 고려해야 할 것이다. 하지만 SP기법의 특성상 선택대안의 수가 늘어날수록 질문문항의 복잡도가 증가해 응답자의 이해도도 떨어질 뿐만 아니라 질문의 수도 기하급수적으로 증가하여 응답자의 집중도를 현저히 떨어뜨리기 때문에, 운송수단 선택모형을 구축 시에는 일반적으로 2~3가지의 대안을 사용한다. 그렇기 때문에 보다 효율적인 조사를 위해서는 대안의 수를 줄여야 할 필요가 있다.

본 SP 설문조사에서는 컨테이너와 위험물을 다루고 있는 업체와 철강운송 업체 중 연안 해운을 하고 있지 않은 운송업체를 대상으로 철도운송, 도로운송, DMT, 이렇게 세 가지의 선택대안을 사용하여 설문을 실시하였다.

2.6 선택 상황

일반적으로 화물수송 분담률 예측 시 운송거리 선택상황과 화물품목 선택상황을 가정한다. 이는 운송거리에 따라 혹은 운송하는 품목에 따라 운송수단을 선택하는 기준일 다를 것에 기인한 것이다.

기존 연구[7]에서는 운송거리별/품목별 선택상황을 설정하여 분석하였는데, 그 결과 품목별로 시장을 나누어 분석하는 것은 타당하지만 운송거리별(장거리, 중거리, 단거리)로 시장을 나누어 분석할 필요는 없다는 연구결과가 나왔다.

따라서, 본 연구에서는 운송거리별 선택상황을 제외한 품목별(컨테이너, 철강, 화학물) 선택상황만을 주 선택상황으로 설정하였다. 또한 품목별 이외에도 품목의 운송방향(상행/하행)에 따라 운송수단 선택 기준이 달라질 것으로 생각되어 두 번째 선택상황으로 운송방향 선택상황을 설정하였다.

최종적으로, 선택상황은 Table 4와 같이 품목별/운송방향별로 가상 상황을 설정하였다. 본 연구에서 선택한 주요 품목은 컨테이너, 철강, 위험물이며 이때 운송단위는 컨테이너의 경우 40FT, 철강과 위험물의 경우 25TON으로 설정하였다. 또한 앞에서 언급하였듯이 각각의 화물품목들에 대한 운송거리별 운송수단 선택모형은 통계적으로 다르지 않은 것으로 분석되었기 때문에 거리별(장거리, 중거리, 단거리)로 모형을 구축하지 않고 가장 물동량이 많은 장거리(300km 이상)의 경우에 한해 모형구축을 시도하였다. 이때 장거리운송은 서울→부산항, 부산항→서울, 광양→서울, 포항→서울간의 운송을 의미한다.

또한 운송방향에 따라 운송수단 선택 기준이 다를 것이라고 조사되어 각 품목에 따라 상행(부산→서울)과 하행

(서울→부산)을 구분하였다. 하지만 철강, 위험물의 경우에는 대부분 상행하는 물동량이고 하행하는 물동량이 작은 것으로 조사되어 선택상황에서 하행을 제외하였다.

Table 4. Scenario for This Study

품목	운송단위	운송거리	운송방향
컨테이너	40 FT	장거리 (300km 이상)	상행
철강	25 ton		하행
위험물	25 ton		상행

2.7 속성변수 결정

화물 운송수단 선택 연구에서 SP 기법을 사용하기 위해서는 무엇보다도 먼저 각 운송수단의 특성을 설명해 줄 수 있는 속성변수를 결정해야 한다. 응답자에게 제시되어지는 질문의 복잡성을 낮추기 위해 속성변수의 수와 수준수를 일정 수 이하로 제한할 필요와 아울러 이들 속성변수들은 매우 정확하게 규명되고 정의 되어야 한다. 속성변수 결정을 위하여 국내와 국외 자료를 살펴보고 본 연구에서 사용할 속성변수를 결정하였다.

SP 조사에서는 응답자에게 제시 할 설문문항의 복잡성을 낮추어 내재되어 있는 응답자의 선호도를 효율적으로 도출하기 위해서 일반적으로 속성 변수의 수를 2-4개 사이에서 정한다. 이는 국내외에서 기 수행된 운송 수단 선택 모형 구축 연구들에서도 쉽게 확인 할 수 있다. 본 연구에서는 선택대안을 3개로 정하였다. 이때 속성변수의 수를 4개로 설정하고, 각 속성변수별 수준의 수를 가장 널리 사용되는 3 수준으로 설정하면 응답자에게 주어지는 설문문항의 수는 모두 3¹²개에 이른다. 또한 각 설문 문항에 대해서도 3개의 대안을 4개의 속성 변수 측면에서 비교해야 하기 때문에 응답자들이 대안선택을 하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 속성 변수의 수를 3개로 정하였다.

국내외에서 수행한 운송수단 선택모형 연구[7-17]들 모두 화물 운송수단 선택모형에 기본이 되는 운송요금과 운송시간을 속성변수로 하고 있고, 그 다음으로 정시성을 많이 사용한다.

한편 DMT 시스템 개발 및 운영에 있어서 선도적인 국가는 프랑스다. 실험적이고 혁신적인 인터모달 시스템인 Modalohr는 프랑스 LOHR사에 의해 개발되었으며 2003년 11월에 프랑스 Aiton과 이태리 Turin Orbassano사이 약 175km 구간에 운행을 시작하였다[4]. 프랑스에서 Modalohr를 개발하게 된 주요동기 중 하나는 위험물의 도로운송 시 발생할 수 있는 사고를 최소화하기 위함이다. 실제로 Modalohr를 이용하는 주요 화물 품목 중하나가 위험물을

탑재한 탱크로리이다. 따라서 DMT를 운송수단으로 선택하는 중요요인 중 하나로 안전성을 속성변수에 포함할 필요가 있다.

본 연구에서는 3번째 속성 변수로 신뢰성을 선정하였다. 이는 국내외 연구에서 3번째로 많이 사용되고 중요하다고 판명된 정시성과 DMT 속성을 잘 설명해 줄 수 있는 안전성을 함께 고려한 척도로 화물이 정시에 안전하게 도착하는 비율로 정의 된다. 최종적으로 본 연구에서 사용할 속성변수로는 운송시간, 운송비용 그리고 신뢰성을 선정하였다.

신뢰성은 화물이 목적지까지 정시에 안전하게 도착하는 비율로 정의하며 단위는 %로 나타낸다. 다음 Table 5는 신뢰도 수준 구분기준을 나타낸다.

Table 5. Reliability Level

신뢰도 수준 구분	
100점(%)	: 정시에 안전하게 도착함
90점(%)	: 10번 중 1번은 정시에 도착하지 못하거나 파손 및 분실 등이 일어남
80점(%)	: 10번 중 2번은 정시에 도착하지 못하거나 파손 및 분실 등이 일어남
70점(%)	: 10번 중 3번은 정시에 도착하지 못하거나 파손 및 분실 등이 일어남

2.8 속성변수 수준 결정

수준 수는 일반적으로 가장 많이 사용되는 3수준으로 정하였으며 수준 값은 기준 값을 중심으로 +10%와 -20%로 정하였다. 이는 예비조사 질문 문항 중 운송비용 및 운송시간이 얼마큼 인하되거나 단축될 때 DMT로 전향할 의사가 있는지 묻는 문항에서 20%라는 답변이 가장 많았기 때문이다. 그리고 상한값으로 20%가 아닌 10%로 설정한 이유는

상한값을 20%로 설정하면 운송수단 속성변수 값들의 역전 현상이 발생한다. 이렇게 되면 선택대안 가운데 운송시간도 빠르고 운송비용도 저렴하다는 등, 완벽하게 우의를 가지는 대안이 존재하여 의미 없는 질문들이 많아지기 때문에 이를 최소화하기 위해서 상한값으로 10%를 설정하였다. 최종적으로 설문조사의 속성변수 기준값은 기존 자료 및 방문조사 통해 Table 6과 같이 결정하였다[2,3,18,19].

3. 운송수단 선택 모형

본 연구에서는 운송수단 선택 모형으로 다중 회귀 선형 모형인 로짓(Logit)모형을 사용하였다.

3.1 컨테이너

3.1.1 효용 함수 추정 모형

컨테이너의 효용 함수 추정 결과는 다음 Table 7과 같다.

Table 7. Utility Function for Container

구분	전체		
	매개 변수	표준 오차	t-값
RAI(철도)	-0.75550	0.12585	-6.00308***
TRU(도로)	0.75030	0.13988	5.36373***
TIME(운송시간)	-0.07418	0.02697	-2.75070**
SVC(신뢰성 수준)	0.01450	0.00542	2.67256**
BID(운송비용)	-0.13629	0.00741	-18.39750***
LL(*)	-978.693		
LL(0)	-1274.390		
우도비 (ρ^2)	0.23203		
수정 우도비 ($\bar{\rho}^2$)	0.23037		
관찰수 (n)	1160		

Table 6. Level Value for SP Survey

설문조사I		컨테이너(40FT) (서울↔부산항)			철강(25ton) (포항→서울)			위험물(화학물)(25ton) (광양→서울)		
		1수준	2수준	3수준	1수준	2수준	3수준	1수준	2수준	3수준
철도 운송 + 도로	운송비용(만원)	35	41	47	38	45	52	70	82	94
	운송시간(시간)	13	15	17	11	13	15	13	15	17
	신뢰성(%)	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
도로 (트럭)	운송비용(만원)	47	55	63	51	60	69	85	100	115
	운송시간(시간)	7	9	10	6	7	8	7	9	10
	신뢰성(%)	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
DMT	운송비용(만원)	40	48	55	44	52	60	77	91	100
	운송시간(시간)	10	12	14	8	10	12	10	12	14
	신뢰성(%)	80%	90%	100%	80%	90%	100%	80%	90%	100%

전체적으로 모형의 적합도(ρ^2 또는 $\bar{\rho}^2$)는 0.2 이상으로 상당히 양호한 값을 나타내고 있다. 운송방향(상/하행)별로는 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석되어 운송방향별 수단 선택모형을 제외하였다.

전체모형에서 보면 운송시간 및 운송비용의 계수는 음으로 나타나 운송시간이나 운송비용이 증가하면 효용이 감소됨을 보여 주고 있다. 그러나 신뢰성 수준의 계수는 양으로 나타나 신뢰성 수준이 증가하면 효용이 증가함을 보여 주고 있어 일반적인 속성변수의 특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

3.1.2 가치 분석

컨테이너 수송 수단의 속성 변수 가치는 다음 Table 8과 같다.

Table 8. Attribute Value

구 분	시간 가치	신뢰성 가치
전 체	0.544만원 / 시간	-0.106만원 / 1%

상행, 하행 구분하지 않은 전체 모형에서는 컨테이너 수송 시 운송시간을 1시간 단축시키면 5,440원을 더 지불할 용의가 있는 것으로 나타났으며, 신뢰성 수준 1%를 증가시키면 1,060원을 더 지불할 용의가 있는 것으로 나타난다.

3.1.3 탄력성 분석

컨테이너 수송 수단별 분담률과 각 속성의 기준값을 이용하여 산출한 수송수단 선택에 대한 탄력성 분석결과를 Table 9에 제시하였다.

Table 9. Elasticity Analysis

구 분		철도	도로	DMT	
컨테이너 전체	운송시간	철도	-0.833*	0.204	0.362
		도로	0.299**	-0.442	0.362
		DMT	0.299**	0.204	-0.528
	신뢰성 수준	철도	0.835	-0.398	-0.524
		도로	-0.325	0.815	-0.524
		DMT	-0.325	-0.398	0.738
	운송비용	철도	-4.244	2.247	2.412
		도로	1.430	-5.341	2.412
		DMT	1.430	2.247	-3.949

주) *는 직접 탄력성 / **는 교차 탄력성

컨테이너 수송의 직접탄력성 분석 결과 수송 수단 선택 관련 속성 변수의 수준 변화에 따른 수송 수단 분담률 변화

가 가장 큰 속성 변수는 운송비용으로 나타났다.

컨테이너 전체모형에서 운송시간 1% 증가 시 철도 수송의 수요는 0.833% 감소하며, 도로 수송의 수요는 0.442%, DMT 수송 수요는 0.528% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 신뢰성의 경우 수준 1% 증가 시 철도 수송의 수요는 0.835% 증가하며, 도로 수송의 수요는 0.815%, DMT 수송 수요는 0.738% 증가하는 것으로 나타났다. 마지막으로 운송비용은 1% 증가 시 철도 수송의 수요는 4.244% 감소하는데 비해 도로 수송의 수요는 5.341%, DMT 수송 수요는 3.949% 감소하는 것으로 나타났다.

컨테이너 전체 모형의 교차탄력성 분석 결과도 타 수송 수단 속성의 수준 변화에 따른 수송 수단 선택 분담률 변화가 가장 큰 속성은 역시 운송비용인 것으로 나타났다. 철도 운송의 운송시간이 1% 상승하면 도로운송과 DMT의 수요는 각각 0.299% 상승하며 철도운송의 신뢰도가 1% 상승하면 도로운송과 DMT의 수요는 각각 0.325% 감소한다. 한편 철도운송의 비용이 1% 상승하면 도로운송과 DMT의 수요는 각각 1.43%로 운송시간과 신뢰도의 비해 가장 크게 상승한다.

3.2 철강

3.2.1 효용 함수 추정 모형

철강의 효용 함수 추정 결과는 다음 Table 10과 같다.

Table 10. Utility Function for Steel

구 분	매개 변수	표준 오차	t-값
RAI(철도)	-0.60373	0.16321	-3.69910***
TRU(도로)	0.88994	0.15733	5.65638***
TIME(운송시간)	-0.11830	0.03512	-3.36899***
SVC(신뢰성 수준)	-	-	-
BID(운송비용)	-0.11413	0.00772	-14.78300***
LL(*)		-734.289	
LL(0)		-938.215	
우도비 (ρ^2)		0.21735	
수정 우도비 ($\bar{\rho}^2$)		0.21552	
관찰수 (n)		854	

전체적으로 모형의 적합도(ρ^2 또는 $\bar{\rho}^2$)는 0.21로 양호한 값을 나타내고 있다. 신뢰성 수준은 t-검정에서 유의하지 않다고 나타나 선택모형에서 제외하였다.

운송시간 및 운송비용의 계수는 음으로 나타나, 운송비용이나 비용이 증가하면 효용이 감소됨을 보여 주고 있어 일반적인 속성변수의 특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

각 운송수단의 운송시간, 운송비용의 값들이 동일하다

고 가정할 때, DMT는 철도에 비해서는 선호도가 높고 (-0.60373) 도로에 비해서는 선호도가 낮게(0.88994) 나타난다.

3.2.2 가치 분석

운송시간을 1시간 단축시키면 10,370원을 더 지불 할 용의가 있는 것으로 나타났다. 신뢰성 수준의 변화는 통계적으로 유의하지 않아 선택모형에서 제외되었으므로 가치 추정을 하지 않았다.

Table 11. Attribute Value

시간 가치	신뢰성 가치
1.037만원 / 시간	-

3.2.3 탄력성 분석

철강 수송 수단별 분담률과 각 속성의 기준값을 이용하여 산출한 수송수단 선택에 대한 탄력성 분석결과를 Table 12에 제시하였다.

Table 12. Elasticity Analysis

구 분		철도	도로	DMT
운송시간	철도	-1.230*	0.383	0.358
	도로	0.325**	-0.445	0.358
	DMT	0.325**	0.383	-0.825
운송비용	철도	-4.242	2.958	1.728
	도로	1.065	-3.670	1.728
	DMT	1.065	2.958	-4.207

주) *는 직접 탄력성 / **는 교차 탄력성

철강 수송의 직접탄력성 분석 결과 수송 수단 선택 관련 속성 변수의 수준 변화에 따른 수송 수단 분담률 변화가 가장 큰 속성 변수는 운송비용으로 나타났다.

운송시간 1% 증가 시 철도 수송의 수요는 1.23% 감소하며 도로 수송의 수요는 0.445%, DMT 수송 수요는 0.825% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 운송비용의 경우 1% 증가 시 철도, 도로 및 DMT 수송의 수요는 각각 4.242%, 3.670%, 4.207% 감소하는 것으로 나타났다.

철강 수송의 교차탄력성 분석 결과 타 수송 수단 속성의 수준 변화에 따른 수송 수단 선택 분담률 변화가 가장 큰 속성은 역시 운송비용인 것으로 나타났다. 철도운송의 운송시간이 1% 상승하면 도로운송과 DMT의 수요는 각각 0.325% 상승하며, 철도운송의 비용이 1% 상승하면 도로운송과 DMT의 수요는 각각 1.065%로 운송시간에 비해 높게

상승한다.

3.3 화학물

3.3.1 효용 함수 추정 모형

화학물의 효용 함수 추정 결과는 다음 Table 13과 같다.

Table 13. Utility Function for Chemical

구 분	매개 변수	표준 오차	t-값
RAI(철도)	-0.72476	0.11116	-6.52022***
TRU(도로)	1.11425	0.10519	10.59300***
TIME(운송시간)	-0.09710	0.02265	-4.28781***
SVC(신뢰성 수준)	-	-	-
BID(운송비용)	-0.04501	0.00336	-13.41030***
LL(*)		-1403.015	
LL(0)		-1809.414	
우도비 (ρ^2)		0.22460	
수정 우도비 ($\bar{\rho}^2$)		0.22366	
관찰수 (n)		1647	

전체적으로 모형의 적합도(ρ^2 또는 $\bar{\rho}^2$)는 0.22로 양호한 값을 나타내고 있다. 신뢰성 수준은 t-검정에서 유의하지 않다고 나타나 선택모형에서 제외하였다.

운송시간 및 운송비용의 계수는 음으로 나타나 운송시간이나 운송비용이 증가하면 효용이 감소됨을 보여 주고 있어 일반적인 속성변수의 특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

각 운송수단의 운송시간, 운송비용의 값들이 동일하다고 가정할 때, DMT는 철도에 비해서 선호도가 높고(-0.72476) 도로에 비해서는 선호도가 낮게(1.11425) 나타난다.

3.3.2 가치 분석

운송시간을 1시간 단축시키면 21,570원을 더 지불할 용의가 있는 것으로 나타났다. 신뢰성 수준의 변화는 통계적으로 유의하지 않아 선택모형에서 제외되었으므로 가치 추정은 하지 않았다.

Table 14. Attribute Value

시간 가치	신뢰성 가치
2.157만원 / 시간	-

3.3.3 탄력성 분석

화학물 수송 수단별 분담률과 각 속성의 기준값을 이용하여 산출한 수송수단 선택에 대한 탄력성 분석결과를 Table 15에 제시하였다.

Table 15. Elasticity Analysis

구분		철도	도로	DMT
운송시간	철도	-1.266*	0.512	0.292
	도로	0.190**	-0.330	0.292
	DMT	0.190**	0.512	-0.873
운송비용	철도	-3.221	2.686	0.992
	도로	0.469	-1.814	0.992
	DMT	0.469	2.686	-3.028

주) *는 직접 탄력성 / **는 교차 탄력성

화학물 수송의 직접탄력성 분석 결과 수송 수단 선택 관련 속성 변수의 수준 변화에 따른 수송 수단 분담률 변화가 가장 큰 속성 변수는 운송비용으로 나타났다. 운송시간 1% 증가 시 철도 수송의 수요는 1.266% 감소하며 도로 수송의 수요는 0.330%, DMT 수송 수요는 0.873% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 운송비용의 경우 1% 증가 시 철도 수송의 수요는 3.221% 감소하는데 비해 도로 수송의 수요는 1.814%, DMT 수송 수요는 3.028% 감소하는 것으로 나타났다.

화학물 수송의 전반적인 교차탄력성 분석 결과 타 수송 수단 속성의 수준 변화에 따른 수송 수단 선택 분담률 변화가 가장 큰 속성은 역시 운송비용인 것으로 나타났다.

3.4 최종 모형 선정

지금까지 살펴본 바와 같이 운송방향(상/하행) 별로 구분하여 모형을 구축하는 것은 통계적으로 의미가 없는 것으로 분석되어 운송 방향별 수단 선택모형을 제외하였고 통계적으로 유의한 화물별 수단선택모형을 최종 모형으로 선정하였다. 이때, 각 화물별 수단 선택모형 중 유의하지 않은 속성변수를 제외하여 수단선택모형을 구축하였다. 최종적으로 Table 16은 SP 조사를 통해 구축한 품목별, 운송수단별 효용함수를 나타낸다.

4. 결론

본 연구의 목적은 SP 조사 기법을 이용해 DMT의 효용함수 추정에 목적을 두고 있다.

운송방향(상/하행) 별로 구분하여 모형을 구축하는 것은 통계적으로 의미가 없는 것으로 분석되어 운송 방향별 효용 함수 추정은 하지 않았다. 통계적으로 유의한 화물별 효용 함수 모형을 최종 모형으로 선정하였다. 이때 각 화물별 효용 함수 모형 중 유의하지 않은 속성변수를 제외하여 효용 함수 모형을 구축하였다.

참고문헌

1. 동아대학교(2007), "철도물류 활성화를 위한 DMT(Dual Mode Trailer) 수송시스템 개발 기획".
2. 전국화물자동차운송사업연합회(2005), "컨테이너 육상운송 요금표".
3. 철도청(2006), "철도통계연보".
4. 한국철도공사(2008), "철도물류 활성화를 위한 DMT수송시스템개발 : 유립 DMT 사업운영시스템 조사보고서".
5. 인태명(2008), "DMT 수송시스템 현황과 한국형 DMT 개발," 한국철도기술 제 3, 4호.
6. 김강수(2006), "SP 조사설계 및 분석방법론".
7. 한국철도기술연구원(2007), "고속철도 개통 시너지 효과 극대화를 위한 철도시설 개량방안 연구".
8. Bradley, M.A. and Kroes, E.(1990), "Forecasting Issues in Stated Preference Survey Research," Paper presented at the 3rd International Conference on Survey Methods in Transportation Washington D.C.
9. 박찬익, 이재원, 유승열, 권용장, 유재균(2005), "SP기법을 이용한 철도물류서비스의 고객 선호도 분석," 한국철도학회.
10. 철도청(2003), "철도투자평가편람".
11. 교통개발연구원, 한국철도기술연구원(1998), "21세기 국가철도망 구축 기본계획 수립연구".
12. 하원익, 남기찬(1996), "SP자료를 이용한 화물수송수단 선택모형의 개발 : 컨테이너 내륙운송을 중심으로," 대한교통학회지.
13. 유광의, 김맹선, 이동수(2005), "화물운송주선업자의 항공사 선

Table 16. Utility Function

품목별	최종모형			
컨테이너	V_{DMT}	=	- 0.07418 · Time	+ 0.0145 · Reliability - 0.13629 · Cost
	V_{rail}	=	-0.75550 - 0.07418 · Time	+ 0.0145 · Reliability - 0.13629 · Cost
	V_{road}	=	0.75030 - 0.07418 · Time	+ 0.0145 · Reliability - 0.13629 · Cost
철 강	V_{DMT}	=	- 0.11830 · Time	- 0.11413 · Cost
	V_{rail}	=	-0.60373 - 0.11830 · Time	- 0.11413 · Cost
	V_{road}	=	0.88994 - 0.11830 · Time	- 0.11413 · Cost
화 학 물	V_{DMT}	=	- 0.09710 · Time	- 0.04501 · Cost
	V_{rail}	=	-0.72476 - 0.09710 · Time	- 0.04501 · Cost
	V_{road}	=	1.11425 - 0.09710 · Time	- 0.04501 · Cost

- 택행위 연구,” 한국항공운항학회, 제13권, 제3호.
14. Kevin Cullinane and Neal Toy(2000), “Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: a content analysis,” *Transportation Research Part E* 36, pp. 41-53.
 15. Nalin Shinghal and Tony Fowkes(2002), “Freight mode choice and adaptive stated preferences,” *Transportation Research Part E* 38, pp. 367-378.
 16. De Jong, G., Velly, C., and Houee(2001), “A Joint SP/RP Model od Freight Shipment from the Region Nord-Pas de Calais,” Paper Presented at the European Transport Conference.
 17. Zachary Patterson, Gordon O. Ewing, and Murtaza Haider (2007), “Mode and Carrier Choice in the Quebec City Windsor Corridor: A Random Parameters Approach,” Paper Presented at the 6th Triennial Symposium on Transportation Analysis.
 18. 한국철도공사(2007), “철도화물운임제도 개선안”.
 19. 국토해양부(2008), “항만하역요금표”.
- 접수일(2008년 9월 19일), 수정일(2009년 4월 19일),
게재확정일(2009년 5월 1일)