

보조금 정책을 고려한 적정 수송 분담률 추정 모형 - Dual Mode Trailer(DMT) 사례를 중심으로

Estimation of Optimal Modal Split Considering the Subsidy Policy - In the Case of Dual Mode Trailer

박범환[†] · 김충수* · 이강원**

Bum Hwan Park · Chung-Soo Kim · Kang-Won Lee

Abstract There is need to reform the road-based logistic transportation system into the railway-based logistics transportation system in order to decrease the total social cost related with logistics transportation. And new transportation modes such as dual mode trailer (DMT) are under consideration, which are expected to decrease current market share of road. But, most of current studies about estimating economical efficiency are focused on developing the probabilistic choice model and then estimating the market share of each mode. We present an approach to compute the optimal market share of each mode in terms of total social cost. To do so, we suggest an optimization model capturing both user choice to maximize his utility and subsidy policy intended to minimize total social cost, simultaneously. Using this model, we present the optimal modal split of container freight.

Keywords : Modal Split, Probabilistic Choice Model, Subsidy Policy

요 지 국가 물류 수송의 총 사회적 비용을 감소시키기 위해 기존의 물류 수송 체계를 철도 중심의 물류체계로 전환해야 할 필요성이 있다. 이를 위해 DMT와 같은 다양한 새로운 운송 수단의 도입이 고려되고 있으며, 이러한 운송 수단의 도입은 기존의 도로의 수송 분담률을 낮춰줄 것으로 기대된다. 그러나 새로운 운송 수단의 도입에 따른 경제성 평가는 대부분 화물 운송 소비자의 효용함수를 도출하고, 이 효용함수로부터 수단별 운송 분담률이 어느 정도 될 것인지를 추측하는 데에 치중해왔다. 본 연구는 운송 소비자의 효용과 사회적 비용을 동시에 고려하여, 물류수송에 관여되는 사회적 비용을 최소화하는 적정 수송분담률을 구하기 위한 수리 모형을 제시하고자 한다. 이를 이용하여 컨테이너 화물에 대한 운송 수단별 적정 수송 분담률을 계산해 본다.

주 요 어 : 수송 분담률, 확률선택모형, 보조금 정책

1. 서 론

국가물류비의 증대에 따라 기존 도로 중심의 화물 수송 체계를 철도 중심의 화물 수송 체계로 전환하기 위해, 철도 중심의 연계 수송 체계나 DST(Double Stack Train), DMT(Dual Mode Trailer)와 같은 새로운 운송 수단 도입에 관한 연구가 활발하다[1-3].

그러나 철도 중심의 화물수송체계 구축을 통해 철도 수송 분담률을 높여야한다는 공감대에도 불구하고, 다양한 수송 수단간 분담률의 정확한 목표치 혹은 그 목표치를 이루기 위한 정책방향을 도출할 수 있는 이론적 근거에 대한 연구는 매우 드물다.

기존 연구는 화물운송 소비자는 자신의 효용(utility)을 극대화하기 위해 행동한다는 전제하에서 출발한 확률 선택 모형(Probabilistic Choice Model)에 관한 것이 대부분이며, 이들 연구의 핵심적인 방향은 SP조사 등의 방법을 사용하여 효용함수의 모수를 추정하고 향후 수요가 어떻게 수단별로 분담되는지를 예측하는데 치중하고 있다[4,5].

이러한 연구들은 새로운 운송 수단 혹은 기존 운송 수단

[†] 책임저자 : 정희원, 한국철도대학 철도경영정보과 조교수
E-mail : beomi72@hanmail.net

TEL : (031)460-4282 FAX : (031)462-2944

* 정희원, 한국철도대학 철도경영정보과 부교수

** 교신저자 : 정희원, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과 교수

의 개선이 발생할 때, 수송 분담률이 어떻게 변화할 것인가라는 측면은 충분히 예측 가능하게 하지만, 총 사회적 비용의 관점에서 각 수단 간의 적정 분담률의 목표치를 계산하고 그것을 유인해 낼 수 있는 구체적인 정책에 관한 이론적인 분석들은 제시하지 않는다.

DMT는 기존 철도운송에서의 가장 큰 어려움 중에 하나인 문전수송(door to door) 서비스, 전기 기관차로의 전환시 발생할 수 있는 수직 상하역 작업의 어려움, 상하역 작업의 안정성을 개선할 수 있는 새로운 운송 수단으로서 현재 그것의 도입을 위한 경제성을 분석·검토 중이다[2,6].

본 연구는 LOGIT모형에 반영되는 결정적 효용을 변수화하여, 총 사회적 비용을 최소화할 수 있는 수단별 수송분담률을 계산하는 최적화 모형을 제시할 것이다. 또한, 이 모형과 DMT를 고려한 기존의 LOGIT모형을 이용하여 도로, 철도, DMT간의 적정 수송 분담률 및 그러한 분담률을 달성하기 위한 보조금의 적정 수준에 대해서 기술할 것이다.

2. 보조금 정책을 고려한 적정 수송 분담률 추정

2.1 적정수송분담률과 총 사회적 비용

교통 네트워크에서의 적정 수송 분담 구조란 ‘주어진 교통 인프라 시설하에서 직·간접적인 총사회적 비용을 최소화시키는 수송분담구조’로 정의될 수 있다[7]. 따라서, 적정수송분담률이란, 네트워크, 가격 등 국가 정책이 주어졌을 때, 수송 서비스 소비자의 행태에 의해 자연스럽게 파생되는 수치에 불과하며, 오히려 국가 차원에서 최적이라 할 수 있는 총 사회적 비용을 줄일 수 있는 적정 수송분담률을 찾기 위해서는, 네트워크 설계와 교통 서비스 정책과 같은 공적 영역에서의 여러 정책이 수송 서비스 소비자의 선택 행태에 미치는 영향을 반영할 수 있는 모형이 필요하다.

Table 1. Social cost in transportation [7]

부담주체	비용항목	세부항목
이용자 부담 비용	차량운행비	제세공과금 연료비 타이어비 차량유지관리비 등
		통행시간비용
사회부담비용	SOC 비용	SOC 시설 건설 사업비 SOC 시설 유지관리비용
	교통사고비용	인명피해비용 차량손실비용 등
	환경비용	대기오염처리비용 소음,수질오염비용 등

이 때 공적 영역에서의 여러 정책을 결정하는데 있어 고려되는 사회적 비용이란 차량운행비와 통행시간비용으로 구성되는 이용자 부담비용과 사회부담비용이라 할 수 있는 SOC비용, 교통사고비용, 환경비용을 들 수 있다. 본 연구에서는 DMT가 네트워크 인프라가 아닌 새로운 운송 수단의 도입이라는 측면에서 SOC 비용은 제외하고, 주요 사회적 비용이라 할 수 있는 차량운행비용과 시간비용, 환경비용만을 고려할 것이다. 다음 장에서 살펴보겠지만, 교통수단에 대한 보조금 정책을 적용할 경우, 각 수단들에 지원되는 보조금은 공적 영역에서 발생하는 일종의 사회적 비용으로 간주될 수 있다.

2.2 Stackelberg 게임

Stackelberg 게임이란 두 그룹의 게임 참가자 Leader와 Follower로 구성되는데, Leader는 자신의 정책에 따라 follower가 어떤 전략을 취할지 알고 있고, follower는 Leader의 정책에 대해 follower의 목적을 최적화하기 위한 전략을 택한다는 가정에 기초한 게임이다[8]. 이러한 Stackelberg 게임을 교통 네트워크에 적용한 대표적인 연구가 Fisk의 연구이다. Fisk는 전체 교통 네트워크의 여정 시간을 최소화하기 위해 intersection별 통제 정책을 만들기 위해 이 모형을 사용하였다. 이 모형은 주로 아래와 같은 Bi-level programming형태의 문제로 정형화 된다[8].

$$\begin{aligned} \min_{x \in X} F(x, y^*), \text{ where } y^* \text{ solves} \\ \min_{y \in Y} f(x, y) \end{aligned}$$

위 Bi-level programming에서, 첫 번째 목적함수를 상부 문제(Upper problem), 두 번째 목적함수를 하부문제(lower problem)라 부르는데, 일반적으로 교통 네트워크 상에서의 Bi-level programming은 상부문제는 시스템 최적, 하부 문제는 사용자 균형(user equilibrium) 혹은 확률적 사용자 균형(stochastic user equilibrium) 모형에 해당하는 동등 최적화 모형(equivalent optimization problem)으로 구성된다.

위와 같은 Bi-level programming을 응용한 교통 네트워크의 설계는 위험물 수송, 혼잡 통행료 산정, 화물 수송 네트워크 설계 등, 다양한 분야에 적용되고 있다[9,10,11].

국토연구원(2000)[7] 또한 이러한 Stackelberg 게임에 기반하여 국가의 네트워크 투자 계획을 작성하였다. 그들은 Leader 즉 국가는 총 사회적 비용을 최소화 하기 위한 정책을 변수화하였고, Follower는 국가가 제시한 정책에 대해, 사용자 균형(user equilibrium)을 달성하는 방식으로 통행 배정을 하도록 설정되었다. 즉, Leader는 시스템 최적(system optimality), Follower는 사용자 균형(User Equilibrium)

을 추구함으로써, 시스템 최적과 사용자 균형을 동시에 고려한다. 그들은 이러한 모형을 이용하여 10개의 교통 네트워크 확충 사업 프로젝트의 최적 구성 대안을 제시한 바 있다.

그러나 [7]의 경우 네트워크 확충 사업에만 주안점을 두었고, 우리나라 전체 교통 네트워크를 대상으로 통행배정 모형을 풀어야 하기 때문에, 다양한 교통 정책을 변수화하기 힘들고, 몇 개의 선택된 대안을 비교해볼 수 밖에 없는 모형의 한계가 있다.

이헌석 외 2인(2000)[12]은 선형 계획법을 이용하여 비용을 최소화하면서 기존의 도로 및 철도 이용의 총 효용이 유지되는 최적의 철도와 도로의 시장점유율을 추정하는 모형을 제시한 바 있다. 이 모형은, 비록 기존 도로와 철도의 총 효용의 합이 유지된다는 제약식에도 불구하고, 운송 소비자의 개별적 효용에 따른 선택상황을 반영하고 있지 않고 시스템 최적 입장에서의 적정 수송분담률을 제시했다는 단점이 있다.

본 연구에서는 운송 요금에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 보조금 정책을 고려한 적정 수송 분담률 추정을 위해, 아래와 같은 간단한 비선형 계획 모형을 제시하고자 한다.

2.3 보조금 정책을 고려한 적정 수송 분담률 추정 모형

본 절에서는 DMT와 같은 새로운 운송수단이 도입됨으로써, 총사회적비용이 어떻게 감소할 수 있으며, 그러한 총사회적 비용의 감소를 위해서는 보조금 정책을 어떠한 수준으로 책정해야 하는지를 계산할 수 있는 간단한 최적화 모형을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 모형의 단순화를 위해, 전체 네트워크를 대상으로 하지 않고, 하나의 OD만 존재하고, 그 OD에 대한 수단별 경로는 유일하며, 공로상의 혼잡에 따른 통행시간의 증가는 고려하지 않는다. 이러한 가정을 이용하면, 통행 배정을 할 필요가 없으므로, 앞에서 서술한 Bi-level programming상의 하부문제인 통행배정을 위한 동등 최적화 모형이 필요하지 않은 장점이 있다.

본 연구에서 제시하는 상부문제는 수단별 통행량에 따른 총사회적 비용과 수단별 운송 요금에 직접 영향을 주는 보조금의 총액의 합을 최소화하는 문제가 된다. 총사회적 비용은 운행비용과 환경비용, 시간비용으로 구성되는데, 보조금 또한 국가에서 지불하는 비용으로서, 사회적 비용의 하나로 생각할 수 있다. 따라서, 상부 문제의 목적함수는 국가가 감당해야 할 총 비용이라고 볼 수 있다.

이러한 상부문제에서의 보조금 수준에 따라 운송 서비스 수요자의 효용은 변하게 되는데, 이를 반영하기 위해, LOGIT모형에서 구한 결정적 효용함수에 보조금 수준을

나타내는 변수 S_i 를 도입하여, 보조금 수준에 따라 결정적 효용함수(\bar{V}_i)가 변하도록 설계하였다.

파라미터

- SC_i : 운송수단 i 의 사회적 비용
- Q : 총 운송량
- T_i : 운송수단 i 의 기준수송시간
- Co_i : 운송수단 i 의 기준수송요금
- Re_i : 운송수단 i 의 기준수송신뢰도
- $\alpha, \beta, \gamma, dum_i$: LOGIT모형의 파라미터

결정변수

- \bar{V}_i : 보조금 수준에 따른 운송수단 i 의 결정적 효용
- f_i : 운송수단 i 의 운송량
- S_i : 운송수단 i 에 대한 보조금 수준

$$\min \sum_i SC_i \cdot f_i + \sum_i S_i \cdot f_i$$

$$s.t. f_i = \frac{\exp(\bar{V}_i)}{\sum_j \exp(\bar{V}_j)} Q \quad \forall i$$

$$\sum_i f_i = Q$$

$$\bar{V}_i = \alpha \cdot T_i + \beta \cdot (Co_i - S_i) + \gamma \cdot Re_i + dum_i$$

$$f_i, S_i \geq 0$$

위 모형은 전형적인 비선형 계획 문제로서 해를 구하기 위해서는 Penalty function, Barrier Method, Feasible Direction 등과 같은 수리적인 모형[13]이나, Simulated Annealing, Genetic Algorithm과 같은 메타 휴리스틱을 사용해야 한다. 그러나 위 모형의 경우, 운송 수단이 몇 개이냐에 따라 달라지지만, 통상 3-4개의 운송 수단이라고 가정했을 때, 결정변수가 많아 10개 이하로 비교적 작은 규모의 문제로서, 별도의 알고리즘 설계나 최적화 패키지를 사용하지 않더라도, 엑셀 해찾기 기능에 내장되어 있는 Generalized Reduced Gradient 알고리즘을 이용하여 해를 구할 수 있다.

위 모형은 보조금 정책만을 변수화하여 LOGIT모형의 결정적 효용에 반영하였지만, 화폐단위로 환산 가능하고 결정적 효용에 미치는 영향을 수치화할 수 있는 정책이 있다면, 그 정책에 관한 변수를 도입하여 모형을 확장할 수 있다. 예를 들어, 신호 시스템의 개량, 곡선부의 직선화 등 철도 노선의 개량에 투입되는 투자 금액에 따른 운송 시간의 감소 정도를 정확히 계량화할 수 있다면, 이에 따른 사업비를 목적함수에 포함시키고, 운송 시간의 감소분을 변수화시키는 방법을 사용하면 된다.

3. DMT도입에 따른 수단간 적정 수송 분담률

3.1 DMT를 고려한 LOGIT모형

운송 수단간 분담률 추정을 위해 다양한 모형이 사용되지만, 그 중에서도 운송 소비자 개인의 확률적 변동 요소를 고려한 개별 행태 모형인 확률선택모형(Probabilistic Choice Model)이 주종을 이룬다[14]. 특히, 기존 연구들은 운송 소비자의 확률적 효용이 Weibull 분포를 따른다는 가정 하에, 선택확률을 간단히 계산 할 수 있는 LOGIT모형을 이용한 수단간 분담률 추정 모형이 대부분이다[1,4,5].

본 연구에서도 수단간 분담은 LOGIT모형에 의해 계산된다는 것을 가정하고자 한다. 그런데 기존의 철도, 공로, 해상을 대상으로 한 LOGIT모형은 존재하지만, DMT라는 새로운 운송수단이 포함된 LOGIT모형은 [6]이 최초이다. [6]은 철도운송의 경쟁력, DMT 시스템으로의 전환가능성, 장래 수요 등을 판단하여 철강, 화학물, 컨테이너에 대해 SP(Stated Preference) 조사 기법을 통하여, 세 가지 DMT 대상 품목에 대한 LOGIT 모형을 구축한 바 있다. [6]에서 제시한 LOGIT모형은 결정적 효용을 구성하기 위해 3가지 모수, 수송요금, 수송시간, 수송신뢰도를 설정하였고, 컨테이너에 대한 파라미터는 Table 2와 같다.

Table 2. LOGIT parameters in case of container [6]

컨테이너 LOGIT 파라미터	
α (수송시간)	-0.07418
β (수송요금)	-0.13629
γ (수송신뢰도)	0.0145
Dummy-Rail	-0.7555
Dummy-DMT	0
Dummy-Road	0.7503
VOT(원/40ft·시간)	5,443

이러한 파라미터를 이용하여 부산항에서 수도권으로 들어오는 컨테이너 화물에 대해 철도, DMT, 도로의 수송 분담률을 계산해보면 Table 4와 같다. 실제로 이러한 수송 분담률을 계산하기 위해서는 운송 수단별 기준이 되는 운행요금, 운행 시간, 수송 신뢰도를 구해야 한다. 철도를 이용한 컨테이너 화물의 수송은, 부산항을 기준으로 항만에서 인입 철도역 CY장까지의 셔틀수송, 목적지 인근역까지의 철도수송, 목적지 인근역으로부터 최종 목적지까지의 육로 수송으로 이루어진다[16]. 철도와 도로 모두 상하차에 소요되는 비용과 시간이 포함되지만, 철도의 경우 항만으로부터 인입 철도역 CY까지의 셔틀 비용, 목적지 인근의 철도역으로부터 최종 목적지까지 수송하는데 소요되는 도

로 운송 시간 및 비용이 추가 된다. 이 때 목적지 인근 철도역 CY로부터 최종 목적지까지의 운송 거리는 20km, 항만으로부터 인입철도역 CY까지의 운송거리는 5km로 가정하였다. 본 연구에서는 [6]에 제시한 운송 단계별 수송 비용 및 시간을 고려하여 Table 3과 같이 도로 및 철도의 운송 단계별 수송 비용 및 수송 시간을 산정하였다.

DMT를 이용한 컨테이너 수송의 경우 철도의 수송 단계와 동일하지만, 운송시간은 철도보다 상하역시간의 단축으로 상당한 수송 시간 단축을 기대할 수 있다. 실제로 DMT를 이용한 수송 시간의 경우, 어떤 DMT시스템이 도입되느냐에 따라 상당한 차이가 존재하는데, Modalohr, Cargo Speed와 같은 화차 회전식의 경우 상하역 시간이 45분으로 [2], 본 연구에서 설정한 기존의 철도 상하차 시간 120분보다 75분정도 줄어들어 철도 상차와 철도 하차에서 150분 정도의 수송 시간 감소를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 DMT도입 시 기존의 철도 수송 보다 2시간 수송 시간 감소 효과를 가져올 수 있다고 가정하였다. 또한 DMT를 이용한 컨테이너 수송 요금의 경우, DMT 시스템 도입에 따른 시설투자비나 유지보수비의 증가로 인해 기존의 철도 운송요금보다는 클 것으로 예측되는데 본 연구에서는 철도요금의 1.2배로 가정하였다. 또한 DMT운송의 신뢰도는 환적 작업의 감소 효과로 철도보다 높은 신뢰도를 가질 것으로 예측되므로 철도의 신뢰도보다 10% 높은 90%로 가정하였다.

Table 3. Standard transportation time and fare [6]

구분	운송단계	비용	시간
도로	상차	11,847원	30분
	도로	971원/km	1.2분/km
	하차	11,847원	30분
철도	상차	11,847원	30분
	셔틀	20,000원	1.2분/km
	철도상차	11,847원	120분
	철도운송	741 원/km	1분/km
	철도하차	11,847원	120분
	도로운송	971 원/km	1.2분/km
	하차	11,847원	30분

Table 4. Modal split by LOGIT model described in Table 2

	철도	DMT	도로
기준요금(원)	383,788	460,546	412,094
기준수송시간(시간)	12.2	10.2	9
기준수송신뢰도(%)	80%	90%	80%
수송분담률(%)	17.1%	17.2%	65.7%

Table 4에서 보듯이 철도, DMT, 도로의 수송 분담률은 17.1%, 17.2%, 65.7%로 예측되는데, 철도와 DMT의 분담률을 합칠 경우, 이는 2004년 기준 부산항-수도권 간 철송 분담률 33%[15]와 거의 비슷한 수준이다.

3.2 보조금 정책을 고려한 적정 수송 분담률

모형의 구성을 위해서는 총사회적 비용에 포함된 운행비용, 환경비용, 시간비용을 산출해야 되는데, DMT에 대한 사회적 비용에 대한 데이터가 존재하지 않으므로, 운행비용, 환경비용은 철도의 그것과 동일하다고 가정하였다. 이는 DMT의 도입 목적이 전체 사회적 비용을 감소시키면서도 상하역 작업에 소요되는 시간의 축소를 통해 도로의 수송 분담률을 낮추기 위한 하나의 방안이라는 측면을 반영하기 위한 것으로, 실제로는 DMT 중 어떤 수송 수단이 도입되느냐에 따라 운행비용과 환경비용은 달라질 것이다. 본 연구에서는 이러한 여러 가지 DMT 수단에 대한 운행비용과 환경비용에 대한 기존 연구가 없고, DMT라 하더라도 상하역 작업을 제외한 부분은 철도와 동일하다는 측면에서, DMT의 운행비용과 환경비용은 철도의 그것들과 동일하다고 가정하였다. DMT의 시간비용은 [6]에서 제시한 LOGIT모형에 대해 한계대체율법을 적용하여 계산하였다.

Table 5. Operating · environmental · time cost of each mode [6,7]

운송수단	운행비용 (원/톤km)	환경비용 (원/톤km)	시간비용* (원/40ft 컨테이너·시간)
철도	4.16	2.66	5,443
DMT	4.16	2.66	
도로	36.61	13.79	

(* : [6]에서 인용, 나머지는 [7]에서 재인용)

Table 6. Not applying subsidy policy

	철도	DMT	도로	
기준요금(원)	383,788	460,546	412,094	
기준수송시간(시간)	12.2	10.2	9	
기준수송신뢰도(%)	80%	90%	80%	
분담률(%)	17.1%	17.2%	65.7%	
수송량 (단위:40ft 컨테이너·대)	141,216	141,826	543,108	
사회적 비용 (백만원)	운행비용	7,285	7,316	159,065
	환경비용	3,979	3,996	59,916
	시간비용	9,352	7,848	26,605
총사회적비용(백만원)	285,362			

또한 부산항에서 수도권으로 운송되는 컨테이너 화물은 2011년 예측치 16,523천톤을 사용하였고[6], 사용되는 컨테이너는 40ft 컨테이너로 컨테이너 하나당 화물 적재량은

20톤으로 가정하였다. 위 데이터를 이용하여, LOGIT모형에 따른 수단간 분담률과 총 사회적 비용을 계산해보면 2,853억여원이 나온다. 그러나 보조금 정책을 고려할 경우, DMT의 수송 분담률은 더욱 올라갈 것으로 예측된다.

먼저, Table 7은 DMT에만 보조금 정책을 적용한다고 가정한 것으로서(즉, 철도와 도로에 해당하는 보조금 수준을 결정하는 결정변수를 $S_i = 0$ 로 둔 경우), 적정 수송 분담률을 계산해보면 DMT의 수송 분담률이 48.6%까지 상승한다.

여기서 중요한 점은 보조금 정책을 취하지 않았을 때의 총사회적 비용이 2,853억여원임에 비해, 보조금 정책을 취했을 때의 총사회적 비용과 보조금의 합이 2,641억여원으로 줄어든다는 사실이다. 즉, 신 운송수단이라 할 수 있는 DMT에 대해서 수요창출을 위해 실질적인 가격 인하 효과가 있는 보조금을 지원하더라도, 도로 수송 비율의 감소로 인한 사회적 비용의 감소로 인해, 보조금을 포함한 국가가 감당해야 할 총 비용이라는 측면에서 보면 이득이라고 볼 수 있다.

Table 7. Applying subsidy policy only to DMT

	철도	DMT	도로
기준요금(원)	383,788	460,546	412,094
기준수송시간(시간)	12.2	10.2	9
기준수송신뢰도(%)	80%	90%	80%
보조금(원/40ft)	-	111,257	-
분담률(%)	10.6%	48.6%	40.8%
수송량 (단위:40ft 컨테이너·대)	87,692	401,200	337,258
총사회적비용 +총보조금(백만원)	264,142		

Table 8. Applying subsidy policy to all modes

	철도	DMT	도로
기준요금(원)	383,788	460,546	412,094
기준수송시간(시간)	11.7	9.7	9
기준수송신뢰도(%)	80%	90%	80%
보조금(원/40ft)	90,684	101,570	-
분담률(%)	30.5%	35.5%	34.0%
수송량 (단위:40ft 컨테이너·대)	251,688	293,203	281,259
총사회적비용 +총보조금(백만원)	256,139		

Table 8은 철도, DMT, 도로 모두에 보조금 정책을 시행한 결과를 보여주고 있다. 먼저 총 사회적 비용과 보조금액의 총합은 2,561억여원으로 실제 보조금 정책을 취하지 않았을 경우에 대비해 총사회적 비용과 보조금액의 총합이

약 10.2% 감소함을 알 수 있다. 이 때 철도에 대한 보조금이 90,684원까지 올라가고, DMT는 101,570원, 도로는 0원이 되어, 철도, DMT, 도로의 적정 수송분담률은 각각 30.5%, 35.5%, 34.0%가 된다.

본 연구는 위와 같은 접근방법을 다양한 시나리오에 대해 적용해보았다. Table 9와 Table 10은 부산항-수도권, 광양항-수도권 간 DMT의 운송 요금과 운송 시간을 좀 더 다양하게 설정했을 때의 보조금 수준과 분담률, 총사회적 비용을 보여주고 있다. Table 9~10에서 설정요금이란 DMT의 요금이 철도의 1.2배, 1.4배를 나타내고, 단축시간은 DMT의 운송시간이 철도의 운송 시간보다 2시간, 4시간 단축된 시간을 의미한다. 이 때 광양항-수도권 간의 전체 컨테이너 화물량은 2,117천톤[6], 운송거리는 390km로 설정하였고 거리에 따른 운임과 운송 시간은 Table 3을 이용하였다.

여기서 주목해야 할 점은 철도, DMT, 도로 모두에 대해 보조금 정책을 허용했음에도 불구하고, 최적의 보조금 정책에 따르면 도로에 대해서는 보조금을 지급할 필요가 없다는 점이다. 이는 철도, DMT에 대한 국가 차원의 보조금 정책은 필요하지만 도로에 대해서는 그렇지 않다는 것을 총 사회적 비용이라는 관점에서 증명해 주고 있다는 점에서 큰 의의가 있다. 또한 DMT의 요금이나 운송 시간이 유리할수록(설정요금 1.2배, 4시간 단축) 보조금 정책을 통해 전체 총비용(사회적 비용+보조금)을 줄일 수 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라 Table 9와 Table 10은 각 시나리오별로

비슷한 최적 수송 분담률을 나타내고 있는데, 서로 다른 기준점을 갖는 화물이라 하더라도 Table 3과 같은 운송거리에 비례한 기준 운임과 운송 시간을 이용할 경우, 부산항-수도권, 광양항-수도권 이외의 기준점에 대해서도 비슷한 결과가 도출될 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 보조금 정책을 고려한 적정 수송 분담률 추정을 위한 최적화 모형 및 이를 이용한 컨테이너 화물에 대한 적정 수송 분담률을 제시하였다.

일반적으로 새로운 운송 수단 도입에 대한 경제성을 평가할 때에는 반드시 그 수송 수단에 대한 수요가 얼마가 될지를 예측한다. 기존 연구들은 수송 수단의 주요 속성값을 LOGIT모형과 같은 선택 모형에 대입하여 수송 수단간 분담률을 단순히 예측하는데에 치중한 반면, 본 연구는 이러한 예측에 필요한 선택 모형을 기초로, 수송 수단 선택에 영향을 주는 주요 변수를 결정 변수화 하여, 총사회적 비용을 최소화하기 위한 수송 수단의 주요 속성이 어떻게 설정되어야 하는지를 수리적으로 계산할 수 있는 모형을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

또한 이 모형을 기초로 컨테이너 화물에 대한 적정 수송 분담률을 추정해보았으며, 어떤 시나리오에 대해서도 총 사회적 비용을 감소시키기 위해서는 철도와 DMT에 대한 보조금 정책은 유의미하다는 것을 확인할 수 있으며, 특히

Table 9. Optimal modal split with various scenarios between Busan and Capital area

설정요금		1.2배			1.4배		
		철도	DMT	도로	철도	DMT	도로
2	보조금(원)	90,684	101,570	-	110,898	121,784	-
	분담률	31.8%	37.0%	31.2%	44.3%	18.2%	37.6%
	총비용(백만원)	256,139			272,839		
4	보조금(원)	82,353	104,125	-	106,484	128,255	-
	분담률	26.2%	41.0%	32.8%	40.8%	22.5%	36.7%
	총비용(백만원)	249,257			269,193		

Table 10. Optimal modal split with various scenarios between GyangYang and Capital area

설정요금		1.2배			1.4배		
		철도	DMT	도로	철도	DMT	도로
2	보조금(원)	91,727	102,615	-	111,831	122,717	-
	분담률	30.0%	35.7%	34.2%	43.6%	18.6%	37.8%
	총비용(백만원)	32,832			34,960		
4	보조금(원)	83,350	105,122	-	107,310	129,081	-
	분담률	25.8%	41.3%	32.9%	40.1%	23.0%	36.9%
	총비용(백만원)	31,945			34,482		

도로에 대해서는 어떤 보조금 지원도 필요 없다는 점을 이론적으로 확인할 수 있었다.

본 연구에서 제시한 모형은 보조금 정책 뿐 만 아니라, 화폐 단위로 환산가능하고 운송 소비자의 절대적 효용에 영향을 줄 수 있는 다양한 정책의 효과를 미리 시뮬레이션 해볼 수 있는 유용한 도구가 될 수 있다.

감사의 글

본 논문은 한국건설교통기술평가원의 “DMT 시장조사 및 수요예측과 DMT화차의 주행안전성 기술 개발”에 의해 지원되었으며, 관계자분들께 감사드립니다. 또한 논문 초안의 미흡한 부분을 세밀히 검토하여 수정 방향을 제시해주신 심사자 여러분께 깊이 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국철도기술연구원·한국해양수산개발원(2003) “철도물류체계의 경쟁력 제고 방안”.
 2. 이권순(2007) “철도물류활성화를 위한 DMT 수송시스템 개발 기획”, 동아대학교, 교통체계효율화사업 07 기획연구 공청회 자료.
 3. 신승권, 김석원, 서승일(2007) “철도물류 효율화를 위한 DMT수송시스템 현황분석”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집 pp. 1668-1673.
 4. 하원익, 남기찬(1996) “SP자료를 이용한 화물수송수단 선택모형의 개발-컨테이너 내륙운송을 중심으로”, 대한교통학회지, 권 1호, pp.81-99.
 5. 한국철도기술연구원·서영엔지니어링·서울시립대학교(2007) “고속철도 개통 시너지 효과 극대화를 위한 철도시설 개량방안 연구”.
 6. 서울산업대학교(2008) “DMT 시장조사 및 수요예측과 DMT화차의 주행안전성 기술 개발”.
 7. 국토연구원(2000) “국가수송분담구조의 적정성 평가모형에 관한 연구-네트워크 구조를 중심으로”.
 8. C. S. Fisk(1983) “Game Theory and Transportation System Modelling”, Transportation Research 18B, pp.301-313.
 9. E. Erkut and F. Gzara, “Solving the hazmat transport network design problem”, Computers and Operations Research, Vol. 35, Issue 7, pp. 2234-2247.
 10. 김병관, 임용택, 임강원(2004) “민감도 분석을 이용한 도로 혼잡 통행료 산정 모형 개발”, 대한교통학회지 22권 5호 pp.139-149
 11. L. Castelli, G. Longo, R. Pesenti and W. Ukovich(2004), “Two-Player Noncooperative Games over a Freight Transportation Network”, Transportation Science Vol. 38, No. 2, pp.149- 159.
 12. 이현석, 방연근, 김정태(2000), “비용 최소화관점에서의 철도·도로 분담률에 관한 연구”, 한국철도학회 추계학술대회논문집.
 13. M. S. Bazaraa, H. D. Sheralli and C. M. Shetty(1993) Nonlinear Programming-Theory and Algorithms, John Wiley & Sons.
 14. 윤대식(2001), 교통수요분석-이론과 모형, 박영사.
 15. 한국철도기술연구원(2006), “물류 수송력 증강방안 연구-신운송수단 도입을 중심으로”
 16. 한국철도기술연구원, 서영엔지니어링, 서울시립대(2007), “고속철도 개통 시너지 효과 극대화를 위한 철도시설 개량방안 연구”, 2007.
- 접수일(2008년 8월 28일), 수정일(2008년 11월 25일),
게재확정일(2009년 4월 13일)