

## 피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

소애림\* · 신승식\*\*

### Estimation of Social Costs between the Main Transport Modes using Damage Function Approach

Aerim So · Seungsik Shin

**Abstract** : The purpose of this paper is to estimate the social costs induced by various transport modes such as truck, rail and sea vessel. For this purpose, we introduce the damage function of each transport modes, and estimate social costs for 10 items using Meta Analysis. As a results, this study can find that shipping is the most efficient transport mode because it gives the lowest social costs among them. This study also find that the iso-cost transport distance that gives the equal social costs between the transport modes. Our methodology can be thought somewhat inferior to the Contingent Valuation Methods, however the advantage of this methodology is that we can decomposite the total social costs into item by item and can apply it to other researches.

**Key Words** : Social Cost, Damage-Function Approach, Environmental Cost, Modal Shift

---

▷ 논문접수: 2012.11.10   ▷ 심사완료: 2012.12.17   ▷ 게재확정: 2012.12.24

\* 인천발전연구원(IDI) 연구원, alsoworld@naver.com, 010-4408-7408

\*\* 전남대학교 물류교통학전공 부교수, shin2han@chonnam.ac.kr, 061)659-7341

## I. 서론

물류산업에서 육상, 해상 및 철도 운송서비스는 사회·경제 발전에 필수적인 요소지만 이에 따른 환경오염, 교통혼잡, 기후변화, 소음, 자연경관의 훼손, 동물의 이동성 단절 등 운송산업은 사회적으로 다양한 비용을 발생시키고 있다. 경제학에서는 이를 사회적 비용(social costs)으로 부른다. 또한 사회적 비용이 사적비용(private costs)을 초과할 경우 사회적으로 바람직한 양보다 많은 공급이 이루어져 시장 실패(market failure)가 발생한다고 규정하고 있다. 그러나 운송서비스로 인해 발생하는 사회적 비용은 시장 밖에서 발생하는 외부효과를 포함하게 되고, 따라서 가격 결정 메커니즘의 형성이 불가하기 때문에 운송수단에 의한 대기오염, 생태계 파괴, 교통사고, 소음 등의 사회적 비용은 추정 방법이 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 이를 위해 그동안의 많은 연구자들은 운송수단의 사회적 비용을 추정하기 위해 조건부가치추정법(CVM), 여행자비용추정법(TCM), 헤도닉가격추정법(HPM), 컨조인트 모형(Conjoint Method), 다속성효용이론(MAUT) 등 다양한 비시장가치 추정법을 사용하였다. 그러나 이러한 방법들은 경제이론적 측면에서 매우 우수한 방법론임에도 불구하고 사람들의 지불의사(WTP)를 측정하기 위해 설문조사에 의존하며, 설문의 과정에서 응답자의 전략적 행위(strategic behavior)와 설문구성에서 비구분효과(imbedding effects) 등 다양한 오류의 가능성이 있다는 주장이 끊임없이 제기되고 있는 실정이다.

본 연구는 이러한 문제점의 대안으로 실제로 발생된 비용에 근거하여 도로운송과 철도운송, 그리고 해상운송에 대해 사회적 비용을 추정하는 것이 목적이다. 추정 모형은 주로 원단위 산출에 의한 피해함수접근법을 이용하였으며, 운송서비스 부문에서 발생하는 대기오염, 생태계파괴, 교통사고, 소음 등의 여러 가지 항목의 요소별 가치를 추정하기 위해 국내의 선행 연구결과를 준용하였다. 또한 추정된 운송수단별 사회적 비용을 비교하고 그에 따른 적절한 개선 방안을 도출하고 정책적으로 바람직한 운송수단을 제시함으로써 운송서비스를 내부화하기 위한 바람직한 모달시프트(modal shift) 방향을 제시하였다.

본 연구의 내용적 범위는 우리나라의 대표적 운송수단인 도로운송, 철도운송, 해상운송에 국한하였다. 연구의 내용적 범위를 도로, 철도, 해상으로 한정할 이유는 이 운송수단들이 국내 운송의 99%를 차지하는 대표적인 운송수단이기 때문이다. 본 연구의 공간적 범위는 국내의 운송서비스로 한정하였으며, 이에 따라 해상운송의 경우에도 분석 대상을 연안해운으로 한정하였다. 또한 본 연구의 시간적 범위는 다양한 평가항목에 대한 국내의 원단위를 비교분석을 위해 비교적 통계의 확보가 용이한 2010년으로 설정하였다. 그러나 자료의 특성상 집계에 시간이 소요되거나 자료가 기준연도보다 이전인 경우

## 피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

이를 준용하되, 한국개발연구원(KDI)에서 적용하는 비용 및 편익 보정지수를 이용하여 2010년 수준으로 환산하였다.

이를 위해 본 연구에서는 II장에서 운송수단과 관련된 사회적비용의 선행연구를 검토하였으며, III장에서는 피해함수 원단위의 연구방법론 및 분석모형을 제시하고 IV장에서는 실증분석을 수행하였다. 그리고 V장에서는 결론을 통해 본 연구의 의의와 한계점에 대하여 설명하였다.

## II. 관련선행연구

운송수단에 의해 발생하는 사회적 비용(social cost)의 추정 연구는 유럽과 미국을 중심으로 1980년대 중반부터 활발하게 연구되었으나, 우리나라에는 아직 이에 대한 논의가 활발하지 못한 상황이다. 2000년 이후 한국교통연구원과 환경정책평가연구원, 그리고 한국해양수산개발원 등을 중심으로 운송수단의 사회적 비용 추정이 수행되었으나, 대부분 대기오염이나 해양오염 등의 환경비용 추정에 한정되어 온 상황이다.

유럽의 경우 운송수단의 사회적비용 추정은 비시장적 속성의 가치추정기법의 발달과 함께 다양한 방법으로 추진되어왔다. 특히 Emile Quient(1994)는 독일과 스위스를 중심으로 이루어진 운송수단별 사회적비용의 추정에서 다음 표에서와 같이 트럭에 의한 도로수송이 철도와 해상운송에 비해 국가별로 1~5배정도 높은 것으로 나타났다.

**<표 1> 운송에 따른 오염발생비용**

(단위 : 0.01ECU)

연구기관	국 가	연도	오 염 비 용			
			공 로 (pass-km/대)	철 도 (ton-km)	해 운 (ton-km)	항 공 (pass-km)
Grupp	스웨 덴	1986	0.18~0.82	0.05~0.20	0.06~0.25	0.16~0.72
Marbuger	독 일	1985	0.05~0.12	0.01~0.02	0.01~0.02	0.03~0.07
Planco	독 일	1986	0.07~0.17	0.01~0.02	0.01~0.02	0.04~0.10
Henz et al.	독 일	1984	0.04~0.20	0.01~0.03	0.01~0.03	0.02~0.12
Pillet	스위스	1985	0.78~1.25	0	0	0.26~0.54
Infras	스위스	1990	0.55~1.53	0	0	0.76~2.1
EcoPlan	스위스	1989	4.66	-	-	
Planco92	독 일	1985	1.33	0.06	0.16	

자료: Emile Quient, "The Social Costs of Transport : Evaluation and Links with International Policies", Internalising the Social Costs of Transport, ECMT, 1994.

한편, Kageson(1994)은 오염원별로 트럭, 전철, 철도 등 육상교통수단에 대한 오염의 사회적 비용을 추정하였으며, 트럭에 의한 환경오염의 사회적 비용이 전철의 3배, 철도의 2배가량 높은 것으로 주장하였다.

**<표 2> 독일에서 육상교통수단의 사회적 비용**

(단위 : ECU/천톤)

운송수단	대기오염	CO2	소음	교통사고	계
트럭	5.6	2.5	0.6	3.5	12.2
전철	0.8	1.9	0.3	1.4	4.4
철도	6	0.6	0	0.1	6.7

주: 여기서 트럭은 장거리 전용(long distance only).

자료: Kageson, P., Effects of Internalisation on Transport Demand and Modal Split, Internalising the Social Costs of Transport, ECMT.1994.

미국의 Delucchi(2000)는 피해함수추정법을 이용하여 자동차가 야기하는 사회적 비용을 추정하였다. Dulucchi의 연구에서는 자동차에 의한 사회적 비용 가운데 순수 외부비용만을 고려할 경우 36~64%가 환경오염 부분에서 야기된다고 주장하였다.

**<표 3> 미국에서 자동차에 의한 사회적 비용**

(단위 : 10억달러)

오염구분	최저	최고
1. 환경의 외부비용	34	527
2. 화폐적 외부비용(사고와 체증의 화폐적 비용 등)	41	212
3. 비화폐적 외부비용(사고의 고통비용, 체증의 비시장 비용 등)	44	98
4. 정부 인프라 및 서비스(고속도로, 고속도로 순찰 등)	131	247
5. 민간부문 무료 재화와 서비스(무료 주차 등)	76	279
6. 민간부문 재화와 서비스(자동차, 연료 등)	821	970
7. 사적 비시장 비용(개인의 사고위험감수 등)	527	968
합 계	1,675	3,301

자료: Delucchi, M., "Environmental Externalities of Motor-Vehicle Use in the U.S.", Journal of Transport Economics and Policy, 2000.

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

또한 Safirova 등(2007)<sup>1)</sup>은 차량의 총주행거리(VMT)를 중심으로 사회적 한계비용의 각 속성이 변화하는 비율에 따라 사회적 비용의 변화율을 추정하였으며, Parry 등(2007)은 차량의 전체 주행거리에 대해 항목별 외부비용을 추출하여 마일당 발생하는 사회적 비용을 추정하였다. 이들의 추정 결과에 따르면 혼잡비용과 교통사고 발생비용이 가장 높은 것으로 나타났다.

<표 4> 도로수송의 한계 외부비용

(단위 : 센트/마일)

속성	대기오염	교통사고	기후변화	석유의존	소음	혼잡
외부비용	2.02	2.64	0.35	0.53	0.053	3.08

자료: Parry, I., Walls, M., and Harrington, W., "Automobile Externalities and Policies", Journal of Economic Literature, 2007.

미국의 경우 특히 오대호를 중심으로 도로수송과 철도수송, 그리고 해상수송의 사회적 비용을 비교한 연구가 활발히 진행되었다. Taylor(2006)<sup>2)</sup>는 오대호의 해상수송이 트럭이나 철도 등 육상수송에 비해 톤당 4.47달러의 사회적 비용을 덜 발생시킨다는 연구를 발표하였으며, 연간 5,490만달러의 사회적 비용을 절감하는 것으로 주장하였다. 그러나 캐나다 교통부와 미육군 공병단, 미국 교통부 등에서 공동으로 발간한 「Great Lakes; St. Lawrence Seaway Study(2007)」에서는 5대호 지역에 해상수송의 경제적 편익에 대해 옹호하면서도 선박의 발라스트와 선저부착 생물 등으로 생태계가 교란될 가능성이 있어 해상수송의 사회적 비용이 더욱 증가하는 것으로 분석하였다.

한편 국내에서는 앞에서 언급한 바와 같이 운송수단 전반의 사회적 비용 추정보다는 특정 운송수단이 야기하는 환경적 비용의 추정에 연구가 집중되었다. 특히 운송부문의 사회적 비용 추정과 관련하여 한국교통연구원과 한국해양수산개발원, 서울시정개발연구원, 한국환경정책평가연구원 등에서 운송수단의 사회적비용을 추정하였다.

홍갑선(1999)은 우리나라에서 처음으로 교통관련 사회환경비용을 추정하였으며, 이성원·이명미(2000)는 교통부문에서 발생하는 대기오염 및 소음 등 여러 가지 환경피해의 화폐적 환산을 위한 방법론을 분석하였다.

김정훈(2000)은 도로교통에서 발생하는 외부비용을 대기오염, 혼잡비용, 교통사고비

1) Safirova, E., Houde, S., and Harrington, W., "Marginal Social Cost Pricing on a Transportation Network: A Comparison of Second-Best Policies", Resources for the Future, 2007.

2) Taylor, C. John, The Cost-Benefits of Ocean Vessel Shipping in the Great Lakes: Value to Industry vs. Environmental Damage, Seidman Business Review, Vol. 12-1, 2006.

용, 소음으로 분류하여 이를 추정하기 위한 모형을 개발하였으며, 김준순 등(2002)은 육상교통수단인 도로와 철도를 대상으로 대기오염, 온실가스, 소음, 토지이용, 교통사고, 교통혼잡 등 총 6가지 항목으로 구분하여 분석하였고, 그 결과 동일한 수송량을 가정할 때 철도가 도로보다 3배 이상 더 친환경적인 것으로 평가하였다.

손의영 등(2001)은 비용발생법에 의거하여 자동차의 소유와 운행에 따른 사적비용과 사회적비용을 추정하고 추정된 양 간의 비교를 통해 적절한 교통정책을 수립하는 데 활용하였다.

심기섭(2003)은 조건부가치추정법(CVM)을 이용하여 항만개발의 환경비용을 추정하였다. 이 연구에서 그동안의 항만개발이 경제의 발전 측면에서만 고려되었으며, 실제로 항만 건설에 따른 환경적 피해에 대해서도 고려되어야 할 필요성이 있음을 강조하였다.

이영준 등(2004)<sup>3)</sup>은 철도사업의 환경평가에 대처하기 위해 철도와 도로를 에너지 효율성과 사회적 비용 등 환경비용 측면에서 비교하여 환경비용에 대한 평가에서 철도는 도로보다 우수한 것으로 확인하였고, 철도의 친환경성에 관한 분석내용은 환경친화적 교통시스템 구축과 교통수요 관리, 배출가스 저감 등 측면에서 교통정책을 구현하는 데 철도투자를 장려하게 되는 근거가 되고 있다.

한편 운송수단별 환경비용의 추정 및 운송수단 간 비교에는 신승식(2001, 2007, 2011)의 연구가 있다. 신승식(2001)에서는 다속성효용이론(MAUT/CVM)을 이용하여 컨테이너 도로수송과 해상운송의 환경비용을 비교하였으며, 신승식(2007)에서는 CVM을 이용하여 광양항을 중심으로 운송수단별 사회적 비용을 추정하였다. 또한 신승식(2011)에서는 미국 5대호 연안에서 미국인을 대상으로 CVM 조사를 수행하여 5대호 연안 운송의 도로수송, 철도운송, 해상운송의 사회적 비용을 추정하고, 이를 자신의 2007년 한국에 대한 연구결과와 비교하였다.

위의 선행 연구결과를 검토해보면, 미국 및 유럽의 운송수단별 사회적 비용 추정은 주로 피해함수접근법에 의해 추정된 반면, 국내의 연구결과는 조건부가치추정법(CVM)에 의존하는 연구 결과를 보이고 있다. 이는 CVM의 연구방법이 정형화된 시점에서 추정방법이 피해함수 추정법에 비해 훨씬 간편하기 때문으로 판단된다. 특히 국내의 연구결과는 사회적 비용의 추정을 위한 방법론의 선정에 있어서 비시장가치 추정법인 CVM의 적용이 대부분이며, 실제로 발생하는 피해액 산정을 통한 피해함수 접근법이 사용된 경우는 거의 없었다. 따라서 본 연구를 통해 피해함수접근법을 이용하여 운송수단별로 추정된 사회적 비용을 기존의 CVM의 추정결과를 비교하여 결과를 검토함으로써 향후 연구를 위한 방향을 제시하는 것이 큰 의의가 있다고 판단된다.

---

3) 이영준, 「철도건설사업의 주요 환경 영향에 관한 연구」, 한국환경정책평가연구원, 2004.

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

<표 5> 사회적비용 추정 관련 선행연구

구분	연구명	연구방법	연구대상	
국내 선행 연구	1	홍갑선(1999), 교통관련 사회환경 비용의 내재화 방안	국내문헌연구, 피해함수접근법	도로
	2	이성원·이명미(2000), 교통관련 사회적 비용의 계량화(1단계)	Hedonic-Stated Choice	도로
	3	김정훈(2000), 도로교통의 외부비용과 적정 혼잡과세	일반균형모형	도로
	4	김준순·한화진·박현숙(2002), 육상교통 수단의 환경성 비교분석	피해함수접근법	도로,철도
	5	손의영·황기연(2001), 자동차소유, 운행의 사적·사회적 비용 비교연구	비용발생법	도로
	6	심기섭(2003), 조건부가치추정법을 이용한 항만개발의 환경비용추정	조건부가치추정법 (CVM)	항만
	7	신승식(2001), 운송수단별 환경비용 추정과 시사점:도로수송과 연안해운을 중심으로	다속성효용기법 (MAUT/CVM)	도로, 연안해운
	8	신승식(2007), 주요 운송수단의 사회적 물류비용 추정 및 비교 연구	조건부가치추정법 (CVM)	도로, 철도, 연안해운
	9	신승식(2011), 주요 운송수단별 사회적 비용 내부화 비교연구 - 한국 광양항과 미국 오대호연안을 대상으로	조건부가치추정법 (CVM)	도로, 철도, 해상운송
국외 선행 연구	10	Forkenbrock(2001), Comparison of External Costs of Rail and Truck Freight Transportation,	피해함수접근법	도로, 철도
	11	Delucchi, M.(2000), Social Cost of Transportation	피해함수접근법과 헤도닉가격모형	도로
본연구	피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정	피해함수접근법	도로, 철도, 연안해운	

### Ⅲ. 연구방법론 및 분석 모형

#### 1. 피해함수접근법(damage function approach)

본 연구에서는 피해함수접근법(damage function approach)을 사용하여 운송수단별 사회적 비용을 추정하였다. 피해함수접근법은 환경질의 변화에 따라 발생하는 생산관계의 변화를 측정하여 비시장재화의 가치를 간접적으로 측정하는 방법이다. 즉, 특성의 사회적 비용이 발생함으로써 나타나는 생산량의 감소 또는 보상액의 증가 등을 항목별로 조사하여 이의 합을 전체적인 피해액으로 산정하는 방법이다.

피해함수접근법은 특정 사건에 의해 발생하는 비용에 의거하여 비시장 재화의 가치를 측정하는 방법으로 통상 환경재나 환경변화가 동식물 또는 생태계에 미치는 물리적 영향을 통하여 건강이나 생산량의 변화를 측정한 후 이 물리적 영향으로 인한 물리적 변화의 경제적 가치를 시장가격을 이용하여 평가한다. 즉 피해함수접근법은 개발사업의 시행 또는 환경오염으로 인하여 영향을 받는 지역의 생산성 감소를 기회비용으로 간주하여 추정하는 방법이다. 예를 들면 환경오염물질은 생태계에 영향을 미치므로 환경오염 이전에 비하여 농작물, 임산물, 수산물 등의 산출량을 감소시킨다. 또한, 오염물질은 기업의 생산에 소요되는 원자재, 장비, 건축물 등을 부식시키거나 가계의 의류세탁을 증가시키고 문화재를 침식시킨다. 그러므로 오염물질이 배출되면 환경질이 변하고 그 결과 산출량이 변한다.

통상 피해함수의 추정을 위해서는 메타분석(Meta Analysis)이 사용된다. 메타분석은 기존 연구논문들을 분석하고 연구결과의 패턴 또는 추세를 통합하여 해당 사안의 총괄적인 결론을 유도하는 방법이다. 본 연구에서는 도로, 철도, 해상운송에서 발생하는 각각의 속성을 구분하고 이들이 사회적으로 발생하는 연간 비용에 대한 기존 연구결과를 이용하는 메타분석을 수행하였다.

#### 2. 추정 모형 : 운송수단 사회적비용 추정 모형

여기에서는 비시장재화의 가치에 대한 경제적 개념과 이의 추정을 위해 필요로 하는 물리학 및 생물학적 관련성을 실험하는 Freeman(1994)의 모형을 적용한다. Freeman은 환경 및 자원서비스의 경제적 가치는 다음 세 가지 집합의 함수적 관계의 산물로 해석 가능하다고 하였다<sup>4)</sup>.

---

4) Freeman, A. M.(1994), *The Measurement of Environmental and Resource Values, Resources for the Future*, Washington, DC., 27-33.

### 피해 함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

첫 번째 함수적 관계는 운송수단이 미치는 제반 영향을 인간의 행위와 관련시키는 것이다. 그는 상업적 혹은 위락적 관점에서 차량운행 등에 따라 대기에서 오염원의 농도 등과 같은 환경재의 정량적 혹은 정성적 속성을 나타내는 변수를  $q$ 라고 하고, 여기에 대한 인간의 개입은 다음 두 가지로 해석된다고 하였다. 그 하나는 교통체증의 증가 또는 대기로의 오염원 방출 등과 같이 시장경제하에서 규제되지 않은 활동이고, 다른 하나는 물류시장이 제공하는 시장 및 비시장 서비스의 가치를 증진하거나 보호하고 규제되지 않은 시장 활동의 부정적 영향을 개선 혹은 금지하기 위한 정부의 활동이 그것이다. 만일 정부의 개입을 나타내는 변수가  $S$ 라면 환경 수준  $q$ 는  $S$ 에 의해 크게 영향을 받으므로

$$q = q(S) \quad (1)$$

의 관계를 가정할 수 있다. 한편, 정부가 환경 수준  $q$ 에 영향을 미치는 사적 활동을 규제할 경우  $S$ 의 변화가  $q$ 에 영향을 미치기 위해서는 공적 규제에 대한 사적 의사결정의 반응을 나타내는 개인들의 정책 순응의 정도  $R$ 에 대한 정보가 필요하다. 특히 정부의 정책이 개인에게 직접적인 영향을 미치기보다는 다른 효과를 통해 간접적으로 영향을 미칠 경우 개인들의 정책순응 정도에 대한 정보는 더욱 중요하다. 예로 정부가 서울시의 대기오염( $q$ )을 막기 위해 자동차의 오염방출 기준( $S$ )을 강화할 경우, 정부의 오염방출 기준 강화( $S$ )는 개인의 자동차 사용 감소( $R$ )를 통해 대기오염의 개선을 간접적으로 달성하려는 것이므로 서울 시민이 정부의 정책에 대응해서 자동차 사용을 얼마만큼 줄일 것인가를 미리 파악해야 한다. 따라서 이를 종합적으로 고려하면 (1)식은 다음과 같이 수정될 수 있다.

$$q = q[S, R(S)] \quad (2)$$

두 번째 함수적 관계는 인간이 환경 및 자원재를 사용하는 정도와 이것이 운송수단의 서비스 수준  $q$ 에 미치는 관계이다. 인간은 일련의 경제활동을 통해 환경 및 자원재를 소비하므로 이때 인간이 행하는 일련의 경제활동 수준을  $X$ 라고 하자. 상업적인 운송활동은 대기오염과 밀접한 관련이 있으며, 운송량의 증가는 교통사고 사망률 등과 밀접한 관련이 있으므로 이들은 모두  $X$ 에 포함될 수 있다. 일반적으로 인간의 경제활동 수준  $X$ 는 환경재의 질적 수준  $q$ 뿐만 아니라 이를 위해 투입된 노동, 자본, 시간 및 기타 자원에도 의존한다. 따라서  $Y$ 를 환경 및 자원재의 소비를 위해 투입된 기타 투입물이라 할 때 인간의 경제활동 수준  $X$ 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$X = X[q, Y(q)] \quad (3)$$

세 번째의 함수적 관계는 앞에서 우리가 언급한 환경재의 사용에 따른 경제적 가치의 관계이다. V를 환경 및 자원재의 사용에 기초한 경제적 활동 혹은 서비스의 화폐적 가치라고 가정하면 V는 다음과 같다.

$$V = V(X) \quad (4)$$

지금까지 언급한 세 가지의 함수적 관계가 모두 적용된다는 점을 보이기 위해 다음과 같은 예를 고려하자, 예로 환경재의 질적 수준(q)을 증대시키기 위해 정부가 개입(S)할 때 사회 전체적으로 발생하는 편익(B)은 (2)와 (3)식을 (4)식에 대입함으로써 유도될 수 있다.

$$V = f(S, R(S), Y(S, R(S))) \quad (5)$$

환경재의 질적 수준 q를 증대시키기 위해 정부의 개입은 과거의 정책 수준  $S^1$ 에서 현재의 정책수준  $S^2$ 로 변경되었음을 의미하며, 이에 따른 편익의 화폐적 변화( $\Delta V$ )는 다음과 같다.

$$Y = \Delta V = f(S^2, R(S^2), Y[S^2, R(S^2)]) - f(S^1, R(S^1), Y[S^1, R(S^1)]) \quad (6)$$

이와 같은 내용을 고려하여 운송수단의 피해함수에 대한 선형모형을 다음과 같이 정의하였다.

$$Y = \Delta V = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (7)$$

단,  $X_i$  = 노동, 자본을 포함한 제반 속성

## IV. 실증분석 : 피해함수접근법에 의한 운송수단별 사회적 비용의 추정

### 1. 추정 대상 속성 및 추정 자료

#### 1) 추정 대상 속성의 정의

본 연구에서는 운송수단별 사회적 비용의 항목을 1996년 ECMT(유럽교통장관협의회)에서 발행한 「Social Cost of Transportation」을 따랐다. 이 보고서에는 도로수송과 철도수송을 중심으로 운송수단의 사회적 비용 발생 속성을 차량운행비용, 교통시설비용, 교통사고비용, 환경오염비용, 교통혼잡비용 등 5개의 비용으로 구분하였다. 환경오염비용에는 소음, 대기오염 등으로 인한 인체, 재산상의 피해 비용이 포함되며, 교통시설비용에는 도로와 철도, 항만의 건설비용 외에 도로파손 및 유지보수비용 포함되고, 교통혼잡비용에는 화물의 시간가치 비용이 포함된다.

그러나 본 연구에서는 ECMT의 5개 속성에 포함된 세부 속성을 독립적으로 간주하여 10개의 속성으로 확장하여 적용하였다. 즉, 소음, 대기오염, 지구온난화 등 환경오염비용에 포함된 속성은 별도로 구분하여 산출하였으며, 교통시설비용에서 도로파손 및 유지보수비용을 별도로 구분하였으며, 교통혼잡비용에서 운송시간비용을 구분하였다.

<표 6> 교통부문의 사회적 비용

구 분	사회적 비용	
	내부 비용	외부 비용
차량운행비용	유류비, 차량비, 통행료	타인부담비용(무료주차 등)
교통시설비용	도로이용료, 차량세, 유류소비세	회수되지 않는 시설비용(매몰비용)
교통사고비용	보험료, 교통사고 피해비용	타인의 정신적·육체적고통
환경오염비용	환경오염 피해비용	소음, 대기오염 등으로 인한 인체 및 재산상의 피해
교통혼잡비용	시간비용	타인에 대한 교통지체비용

자료: ECMT, 「Toward Fair and Efficient Pricing in Transport」, 1996.

위의 구분에 따라 나타나는 10개의 속성은 다음과 같다.

- 운행비용 : 트럭, 철도, 선박이 운행하면서 발생하는 제반 비용을 말함
- 교통시설비용 : 도로, 철도, 항만을 건설하기 위한 비용
- 교통사고비용 : 도로, 철도, 해상운송의 과정에서 발생하는 대인, 대물 및 기타 사고비용
- 교통혼잡비용 : 도로, 철도, 해상운송의 과정에서 혼잡으로 발생하는 화물의 시간 가치
- 도로파손 및 유지보수비용 : 건설된 도로, 철도, 항만을 유지보수하기 위해 투입된 비용으로 총 운항가운데 화물의 운송을 위해 투입된 비용을 구분하여 적용
- 해양오염 발생비용 : 선박에 의한 사고로 인해 발생하는 해양오염 방제 및 어업 보상 비용
- 소음비용 : 도로와 철도를 중심으로 소음이 인근 주민에게 미치는 비시장적 비용
- 대기오염비용 : 화물의 운송 과정에서 배출되는 제반 대기오염물질에 의한 사회적 비용
- 지구온난화 : 대기오염물질 이외에 CO<sub>2</sub> 등 지구온난화 물질로 인해 발생하는 사회적 비용
- 운송시간비용 : 총 운송시간의 차이에 의한 화물의 시간가치 비용

## 2) 추정항목 및 추정 자료

위에서 구분한 10개의 사회적 비용 항목을 8개로 구분하여 적용 가능한 메타분석 결과 및 자료는 다음 표와 같다. 모든 비용은 2010년의 가격을 기준으로 하였으며, 2010년의 가격 파악이 어려운 항목은 KDI의 물가환산계수를 적용하여 2010년 가격을 산출하였다.

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

<표 7> 운송수단별 사회적 비용 추정 항목 및 추정 자료

항목		추정 자료
1. 운행비용	도로	KDI, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」 : 차량운행비용
	철도	한국철도공사, 2010 철도통계연보 : 차량운행비용
	해상	국제기준 및 선사자료 활용 : 선박운행비용
2. 교통시설비용	도로	KDI, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」 : 고속도로 1Km 건설비용
	철도	KDI, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」 : 철도 1km 건설비용
	항만	해양수산부, 평택·당진항 일반부두(양곡) 민간투자사업 협상결과서 : 1톤당 건설비용
3. 교통사고 비용	도로	KOTI, 「2010년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이분석」, 2009. : 도로사고, 철도사고, 해상사고비용 참조 도로교통안전관리공단, 「2007 도로교통사고비용의 추계와 평가」, 2008. : 도로사고, 철도사고, 해상사고비용 참조
	철도	
	해상	
4. 교통혼잡비용	도로	KOTI, 「2008년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이분석」, 2010 : 단위당 혼잡비용
	철도	해당사항 없음
	해상	해양수산부, 「체선에 따른 손실비용 추이」, 2006. : 단위당 혼잡비용
5. 교통시설 유지보수비용	도로	한국도로공사, 2010년 손익계산서. : 단위당 유지보수비
	철도	한국철도공사, 2010년 손익계산서. : 단위당 유지보수비
	해상	해양수산부, 평택·당진항 일반부두(양곡) 민간투자사업 협상결과서 : 유지보수비
6. 소음비용	도로	KDI, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」. : 단위당 소음비용
	철도	KDI, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」. : 단위당 소음비용
	해상	소음 없음
7. 대기오염 및 지구온난화 비용	도로	환경정책평가연구원, 「육상교통운송수단의 환경성비교분석」, 2002.12. : 대기오염비용 원단위
	철도	
	해상	
8. 운송시간에 대한 화물기회비용	도로	KOTI, 「교통투자사업의 경제성 평가를 위한 화물운송의 시간가치 산정」, 2007. : 화물의 시간가치×교통수단별 운송시간
	철도	
	해상	

## 2. 추정의 기본 방향

본 연구의 사회적 비용 추정 대상은 동일한 화물을 트럭을 이용하여 운송하는 경우와 철도를 이용하여 운송하는 경우, 그리고 선박을 이용하여 연안운송되는 경우이다. 추정 원칙은 1톤의 화물을 거리별 수송에 따라 도로, 철도, 연안운송 수단별 사회적 비용을 추정하는 것이다. 또한, KDI 예비타당성 조사 기본 지침, KOTI 교통사고비용, 환경정책연구원의 대기오염비용, 한국해양수산개발원의 선박체선비용 등 공식적인 기록을 최대한 활용하였다.

추정 방법은 2가지 추정방법을 고려하였다. 첫 번째 안은 기존의 기 투입 운송시설(도로, 철도, 항만 등)을 매몰비용(sunk cost)으로 간주하여 사회적 비용에서 제외하고 순수 화물수송에 따른 비용만 산정하는 안이다. 이 방안은 현재 기 존재하는 운송시설의 사회적 비용이라는 현실적 타당성을 포함하지만, 시설까지를 고려할 경우 사회적 비용의 과소추정 가능성 발생하며 특히 도로수송의 과소추정 발생한다. 두 번째 안은 특정 화물을 수송하기 위해 신규 물류시설을 구축한다는 가정하에 총 사회적 비용 추정하는 방안이다. 원칙적 의미에서의 사회적 비용의 추정은 가능하나 매몰비용을 사회적 비용에 포함함으로써 경제 이론 측면에서의 문제점이 발생할 수 있다. 두 번째 안은 신규 시설의 건설에 대한 방안으로 검토하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 첫 번째 안을 중심으로 사회적 비용을 추정하되, 두 번째 안에 대해서도 건설비용을 반영하여 추정하여 결과를 제시한다. 제시되는 결론은 1TEU의 컨테이너(혹은 1톤의 화물)를 수송하는데 발생하는 3개 운송수단(트럭, 철도, 선박)별 사회적 적정 비용 산정되고, 항목별 비용의 산정 및 비교, 최적의 운송수단 대안 제시한다.

## 3. 운송수단의 기준

본 연구에서 사용하는 운송수단은 도로수송의 경우 대형트럭, 철도수송의 경우 화물열차, 해상운송의 경우 화물선을 기준으로 한다.

### 1) 도로 운송수단의 기준

도로수송수단의 대상은 벌크화물 또는 컨테이너를 수송하는 대형 트럭을 기준으로 하며, 대형트럭은 화물자동차운수사업법에서 규정하고 있는 화물자동차의 종류에 따라 최대 적재량 5톤 이상인 차량을 기준으로 한다.

본 연구에서는 대형트럭의 경우 「2005년 국가교통DB구축사업 화물부문 교통조사 보고서(2006)」의 조사 결과에 따라 대당 적재톤수를 7.77톤으로 적용한다. 동 조사에서는 화물차의 평균 적재톤수가 4.81톤/대이고, 대형트럭을 이용하는 일반화물의 경우

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

적재톤수가 7.77톤/대로 나타났기 때문이다. 국가교통DB 사업의 경우 매 5년마다 대형 트럭을 이용하는 일반화물의 적재톤수를 산정하고 있어, 현재까지 이용 가능한 가장 최근의 자료에 해당한다.

한편 컨테이너 화물의 경우 40FT 풀컨테이너(2TEU)를 기준으로 21톤을 적용한다. 이는 도로교통법상 대형트럭이 총중량 40톤을 초과하여 운행할 수 없다는 점과 차량무게(14.5톤)와 공컨테이너무게(20FT 2.3톤, 40FT 4톤) 적용 시 적정 적재톤수는 20FT 약 17.5톤, 40FT 약 21톤, 45FT 약 20톤의 적재톤수 유지한다는 운송사의 의견을 최대한 반영한 결과이다.

2) 철도 운송수단의 기준

철도운송수단의 대상은 벌크화물 또는 컨테이너를 수송하는 화물열차를 대상으로 하며, 특정 선로 상에 여객수송과 화물수송의 분담비율은 2009년과 2010년의 우리나라 전체 노선의 화차 운행 비율인 26.3%를 적용하였다.

<표 8> 우리나라 철도수송의 여객 및 화물 수송 비율

(단위 : 차량-km)

연도	계		객차		화차	
	운행	%	운행	%	운행	%
2009	1,605	100	1,182	73.6	423	26.4
2010	1,632	100	1,203	73.7	429	26.3
평균	1,619	100	1,192	73.7	426	26.3

자료: 한국철도공사, 「철도통계연보」, 각호.

화차당 수송 톤수는 벌크화물의 경우 무게화차 기준 화차당 50톤, 컨테이너의 경우 화차당 2TEU의 화물 수송으로 도로수송의 경우와 같이 21톤을 적용하였다. 철도를 이용한 컨테이너 수송의 경우 화물자동차와 달리 무게에 제한이 없으나 화주로부터 철도 CY까지 혹은 철도 CY에서 화주까지의 운송에 트럭을 이용하게 되므로 도로수송과 같은 무게기준을 적용하였으며 이는 실적과도 거의 유사한 결과를 나타냈다.

<표 9> 무개화차와 컨테이너의 화차당 화물운송 실적(2010년)

(단위 : 개, 톤)

구분	사용화차수(A)	수송톤수(B)	화차당톤수(B/A)
무개화차	187,857	9,273,648	49.4
컨테이너	459,239	9,947,590	21.7

자료: 한국철도공사, 「2010 철도통계연보」, 2011.

한편, 철도 1회 운송 시 사용화차 수는 평균 10량을 적용하였다. 이는 2010년의 화물 열차 1일 평균 운행회수 299회에 연간 전체 사용화차수 105만대를 적용한 결과이다.

<표 10> 화물열차 운송 실적(2010년)

(단위 : 회, 량)

1일평균열차운행	연간 열차운행	연간 사용화차수	열차당 화차수
299	109,135	1,053,947	9.7

자료: 한국철도공사, 「2010 철도통계연보」, 2011.

### 3) 해상운송수단의 기준

해상운송수단은 벌크선과 컨테이너선을 기준으로 하였다. 벌크선은 건화물선, 일반화물선, 시멘트선, 유조선에 대상으로 하며, 국토해양부의 2010 PORT-MIS 운항기준을 적용하였다. 유조선과 건화물선 모두 운항비용과 관련된 자료의 확보가 어려워 용선료 및 운항원가의 적용은 Clarkson의 15,000DWT급 헨디사이즈선을 기준으로 하였으며 이들에 대한 1일 용선료를 기준으로 운항원가를 산출하였다.

항만의 경우 화물 운송이 대부분을 차지하므로 철도와 같이 해상여객수송과 화물수송의 분담비율은 적용하지 않았다. 또한 컨테이너선의 경우 인천항과 부산항에 취항했던 (주)한진의 200TEU급 컨테이너선을 기준으로 한다.

## 4. 속성별 사회적 비용 추정

여기에서는 앞에서 선정한 수송수단별 각각의 속성에 대해 수송수단별 기준에 입각하여 속성별 사회적 비용을 산출하였다. 각각의 속성별 사회적 비용은 기존의 연구 논문이나 KDI의 예비타당성 조사기준, 국책연구기관의 연구결과를 인용하여 산정하였다.

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

1) 운송수단별 운행비용

운행비용은 해당 운송수단이 일반화물 1톤 혹은 컨테이너 1TEU를 적재하고 1km를 운행하는데 소요되는 제반 비용을 의미한다.

(1) 도로운송의 운행비용

도로수송의 운행비용은 KDI의 예비타당성조사 및 사업계획 적정성 검토 지침인 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」에서 규정된 도로 수송의 차종별·속도별 차량운행비용(2010년 기준)의 비용원단위를 적용하였다.

<표 11> 화물차량의 차종별·속도별 차량운행비용(2010년 기준)

(단위 : 원/km)

차종	속도	유류비	엔진 오일비	타이어 마모비	유지 관리비	감각 상각비	합계
대형트럭	10	283.80	14.08	2.79	32.96	321.01	654.64
	20	223.00	12.58	4.84	41.63	263.68	545.74
	30	160.10	10.79	7.33	49.44	217.82	445.46
	40	117.82	9.59	10.41	52.05	183.44	373.29
	50	113.53	8.84	13.64	54.64	152.47	343.14
	60	127.42	7.94	18.04	60.72	131.84	345.96
	70	145.20	7.04	22.58	60.72	118.09	353.63
	80	168.75	5.84	28.75	69.39	103.17	375.90
	90	201.42	6.29	36.23	80.67	100.89	425.49
	100	240.14	7.04	44.45	89.34	90.57	471.52

자료: 한국개발연구원, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」, 2008.

도로수송의 운행비용은 KDI의 권유에 따라 대형트럭이 시속 80km로 운행하는 것을 가정하여 원단위를 적용하였으며 이 자료에 따르면, 도로를 통한 화물의 운행비용은 2010년 기준으로 1km 운행에 375.90원 소요되는 것으로 나타났다. 대형트럭의 운행비용에 대형트럭의 평균 적재용량인 대당 7.77톤 기준을 적용하여 톤-km로 환산할 경우 도로수송의 운행비용은 1톤의 화물을 1km 수송할 때 48.4원의 비용이 소요되는 것으로 산정된다.

(2) 철도운송의 운행비용

철도수송의 운행비용은 한국철도공사의 철도통계연보(2011)에서 얻은 2010년의 손익 계산서 상 운송비용을 2010년의 철도 화물수송 톤-km로 나누어 환산하였다. 이에 따르면 철도수송의 운행비용은 1톤의 화물을 1km 운송하는데 90.5원의 비용이 발생하는 것으로 추정된다.

<표 12> 2010년의 철도 운행비용 추정

연도	총운송비용 (백만원)	화물부문(A) (백만원)	수송량(B) (백만톤-km)	운행비용(A/B) (원/톤-km)
2009	3,211,709	844,560	9,273	91.1
2010	3,221,950	849,303	9,452	89.9
평균	3,216,830	846,921	9,363	90.5

주: 화물부문은 총운송비용에 2010년 화차의 운항비율인 26.3% 적용.  
 자료: 한국철도공사, 「2010 철도통계연보」, 2011.

(3) 해상운송의 운행비용

연안해운의 운행비용 확보가 어려워 본 연구에서는 국제적인 운임률을 적용한 케이프사이즈선의 운행비용을 통해 우리나라 연안해운의 운항비용을 추정하였다. 국내선박의 경우 선령이 높고 선형도 훨씬 작으며 감가상각이 완료된 경우가 많아 운행비용은 산정된 수치보다 낮을 것으로 판단되지만, 보수적 관점에서 보다 운행비용이 높은 선형을 기준으로 판단하였다.

선사 내부자료에 따르면 150,000톤의 철광석 수송 가정하고, 항해거리가 거리 8,648km(부산항-호주 tasmania항)에 연간 10항차를 가정하였을 때 150,000DWT의 케이프사이즈 선박을 가정한 운행비용은 톤당 1km 당 25원인 것으로 나타났다.

<표 13> 해상운송의 운항비용(2010년)

구분	항비	화물비	연료비	선원비	선비	입거수리비	보험료	일반관리비	감가상각비	합계
연간(억원)	1,432	6	1,938	1,023	400	223	209	118	1,226	6,575
톤-km(원)	8,280	34	11,206	5,917	2,313	1,291	1,209	681	7,087	38,017

자료: 선사 내부자료.

## 2) 교통시설 건설비용

교통시설 건설비용은 해당 운송수단의 기능을 위해 필수적으로 갖추어야 할 시설을 말한다. 도로운송의 경우 국도 또는 지방도의 건설비용을 의미한다. 본 연구에서는 수송의 신뢰성을 고려하여 고속도로의 건설을 기본으로 간주한다. 철도운송의 경우는 철로와 교량, 역사의 건립 등의 건설비용을 의미하고, 해상운송의 경우 선박의 입출항이 가능한 항만의 건설비용을 의미한다.

### (1) 도로운송의 건설비용 분담

본 연구에서는 대부분의 트럭 운송이 고속도로를 이용하기 때문에 고속도로를 선정하였으며, 도로의 건설비용은 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」에 의해 만들어진 「포항~삼척 간 고속도로 건설사업」을 고속도로 건설비 기준으로 하였다.

<표 14> 도로운송 건설비용

(단위 : 백만원)

구분		비용 구분		
		비용	km당	비율
사업비	공사비	5,765,496	31,959.51	81%
	보상비	231,925	1,285.62	3%
	부대비(설계,감리)	455,285	2,523.75	6%
	예비비	645,249	3,576.77	9%
	총사업비	7,098,063	39,346.25	100%

주: 2009년도 자료를 국내총생산 디플레이터 지수를 이용하여 2010년 자료로 보정.  
 자료: KDI공공투자관리센터, 「포항~삼척 간 고속도로 건설사업」, 2009.

2009년과 2010년에 우리나라 고속도로의 화물차의 교통분담비율은 2009년 28.7%, 2010년 29.8%로 평균 29.3%인 것으로 나타났다. 이는 이용차량의 대수 기준이며, 톤수 기준으로 환산할 경우 화물차의 비율은 더욱 높아질 개연성이 있는 것으로 판단된다.

<표 15> 우리나라 고속도로의 차종별 평균 일 교통량

(단위 : 대/일)

구분	2009년		2010년		평균	
	교통량	%	교통량	%	교통량	%
승용차	27,669	67.1	28,928	66.5	28,298	66.8
버 스	1,719	4.2	1,814	4.2	1,766	4.2
화물차	11,858	28.7	12,788	29.8	12,323	27.47
계	41,241	100.0	48,475	100.0	44,858	100.0

자료: 국토해양부·한국교통연구원, 「도로교통량 조사 통계」, 2010.

<표 14>에서 1km당 도로건설비용 393억원에 <표 15>의 화물차 평균비율 27.5%를 적용할 경우 도로 1km 건설에 따른 화물부문의 부담금액은 108억 886만원인 것으로 나타났다.

KDI 예비타당성조사 기준에 따라 도로의 내용연수를 30년으로 할 때 화물 1톤을 1km 운송하는데 부과되는 도로수송 건설비용 부담금은 24원인 것으로 나타났다. 이는 2006년부터 2010년까지 고속도로 이용 화물차의 연간 평균치 1억 817만대와 「2005년 국가교통DB구축사업 화물부문 교통조사 보고서(2006)」에 따른 화물차(소형, 중형, 대형)의 평균 적재능력 4.81톤, 지역간 적재통행거리 111.94km를 적용하여 산출된 고속도로의 연간 수송톤수 582억톤-km를 적용한 결과이다.

(2) 철도운송의 건설비용 부담

철도 운송시설의 건설비용 산정은 KDI의 예비타당성에서 수행된 중앙선 도담~영천간 철도 건설사업비용을 적용하였다.

<표 16> 중앙선 도담~영천 철도 건설사업비용

구분		총공사비 (백만원)	공사비 (억원/km)	
총사업비		3,735,784	251	
공사비	노반(본선)	토공	378,386	
		교량	378,489	
		터널	1,296,015	
		입체교차	1,067	
	소계		2,001,411	135
	노반(정거장)		55,155	4
	기존 정거장 개량		2,047	0
	궤도		147,247	10
	건축		12,027	1
	시스템비	전철화	291,323	20
		신호	93,821	6
		통신	128,058	9
	부가가치세		273,109	18
소계		3,004,197	202	
부대비		238,505	16	
용지보상비		65,784	4	
예비비		330,848	22	
차량구입비		96,450	6	

자료: KDI 공공투자관리센터, 「중앙선 도담~영천 철도 건설사업 예비타당성 보고서」, 2010.

중앙선 도담~영천 철도건설의 총사업비는 3조 7,358억원이었으며, 총연장은 148.65km를 적용할 경우 1km당 251억원의 예산이 소요되는 것으로 나타났다. 여기에 km당 철도 건설비용에 화물수송비율 26.3%를 적용할 경우 전철 복선 철도 1km 건설에 따른 화물수송 분담액은 66억 1,655만원이었다. 2009년과 2010년 철도의 평균 화물수송량은 93억 6,275만톤-km와 연간 화물영업킬로 3,092km, 30년간 톤-km 수송량으로 나누어 산출하면 1톤의 화물을 1km 수송할 때 소요되는 철도의 건설비용 부담액은 73원인 것으로 나타났다.

(3) 해상운송의 건설비용 부담

해상운송은 바다를 이용하므로 도로나 철도와 같이 기점과 종점 간 건설비용이 소요되지 않으며 양 지역의 항만건설비용만이 소요된다.

항만의 건설비용 추정은 「평택·당진항의 일반부두 건설사업」의 건설비용을 준용하여 산출하였다. 공사비가 81.1%로 1,114억원으로 가장 높았으며, 운영설비비, 부대비 등이 건설비용에 포함되어 있다.

<표 17> 평택·당진항 일반부두의 건설비용 산정

구 분	비용(백만원)	비율(%)
1. 조사비	117	0.1
2. 설계비	2,225	1.6
3. 공사비	111,370	81.1
4. 보상비	0	0.0
5. 부대비	7,389	5.4
6. 운영설비비	13,327	9.7
7. 제세공과금	0	0.0
8. 영업준비금	2,912	2.1
총계	137,339	100.0

주: 2006년 금액에 KDI 예비타당성 조사지침의 비용보정지수를 적용하여 2010년으로 환산함.

자료: 해양수산부, 「평택·당진항 양곡부두(2선석) 민간투자사업 협상결과서」, 2006.5.

무역항과 연안항의 경우 전체 업무 가운데 화물수송이 대부분을 차지하므로 본 연구에서는 항만 건설비의 100%를 화물수송에 유발하는 것으로 간주하였다.

해상운송은 항만과 항만 사이의 건설은 없으므로 km당 건설비용 원단위 산출은 의미가 없다. 이의 의미는 1톤을 50km 운송하는 것과 100km 운송하는 것이 같은 비용을 유발하지만, 운송시간의 차이로 인해 멀리 운송될수록 화물의 시간가치 기회비용이 크게 작용된다. 따라서 항만의 건설비용 부담은 30년간 처리 톤당 부담하는 것이 합리적이다.

도로, 철도와 같이 30년의 내용연수를 가정할 경우 평택·당진항 일반부두의 연간 처리 물동량은 최대 395만톤이며, 총공사비 1,373억원을 물동량으로 나누어 산출하였고, 항만은 양 끝지역에 2개의 건설이 필요하므로 위의 단일 항만 건설비용에 2배를 하여 산출하였다. 따라서 1톤의 화물을 수송하는데 소요되는 항만의 건설비용 부담액은 2,317원인 것으로 나타났다.

### 3) 교통사고비용

교통사고란 ‘도로 및 철도, 항공, 해운 등의 부문에서 교통수단에 의한 교통 활동 중에 사람을 사상하거나 물건 등을 손상하여 각종 손실을 유발하는 것<sup>5)</sup>’으로 정의된다. 따라서 교통사고비용도 ‘교통사고로 발생한 모든 경제적 손실을 부담주체와는 상관없이 화폐 가치로 환산한 것’으로 정의될 수 있다. 교통사고는 인명 피해, 물질적 피해, 정신적 피해 및 사회기관비용 등을 동반하며, 이러한 모든 경제적 손실은 이해 당사자가 각기

5) 한국교통연구원, 「2005년 교통사고비용 추정」, 2007.

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

달리 가치화할 수 있으나, 이를 사회적 비용의 개념으로 보아야 한다는 것이 지배적인 시각이다.

총교통사고비용을 사망자 1명당 비용으로 산정하면, 피해자와 가족의 정신적·육체적 비용(PGS)을 포함할 경우 약 5억 2,436만원이고 포함하지 않을 경우 약 4억 1,701만원으로 나타났다. 부상자 1명당 비용은 피해자와 가족의 정신적·육체적 비용(PGS)을 포함할 경우 약 2,144만원이고 이를 포함하지 않을 경우 약 516만원인 것으로 나타났다.

<표 18> 사고 건당 및 사상자당 교통사고 비용(2010년 기준)

(단위: 만원)

구 분		사망	부상
사고 1건당	PGS 포함	4,135	
	PGS 제외	2,580	
사상자 1명당	PGS 포함	52,436	2,144
	PGS 제외	41,701	516

주: 1) PGS(Pain, Grief and Suffering)비용을 포함한 것임.

2) 국내총생산 디플레이터 지수를 이용하여 2010년 자료로 보정.

자료: 도로교통안전관리공단, 「2007 도로교통사고비용의 추계와 평가」, 2008.

(1) 도로운송에 의한 교통사고 비용 분담

국토해양부의 「2010 도로교통량 통계연보」에 따르면 고속국도에서 트럭에 의한 교통량 점유율은 2010년 기준으로 21.0%인 것으로 나타났다.

<표 19> 전국 도로별 차종별 일평균 교통량(2005년)

(단위 : 대/일)

구분	고속국도	일반국도	지방도	계
승용차	28,928	8,005	3,712	40,645
버스	1,814	311	168	2,293
트럭	12,733	3,278	1,546	17,557
계	43,475	11,594	5,426	60,495

자료: 국토해양부, 「도로교통량 통계연보」, 2010.

이에 따라 도로의 총교통사고 비용 14조 7,624억원에 고속도로 트럭 비율 21.0% 적용하여 고속도로의 트럭 운송에 대한 총교통사고 비용은 3조 1,072억원에 해당하였다. 이에 따라 고속도로의 총 수송량 582억톤-km 적용하여 도로운송에 의한 교통사고 비용은 1톤의 화물을 1km 운송하는데 평균적으로 53원 발생하는 것으로 나타났다.

(2) 철도운송에 의한 교통사고 비용 분담

한국교통연구원(2009)에서 추정된 철도사고 비용을 2010년 비용으로 환산한 생산손실비용은 511억원이며 손실생산비용이 393억원인 것으로 나타났다. 여기에 철도운송의 화물분담비율 26.3%을 적용할 경우 철도의 교통사고 비용은 177억 3,123만원이었으며, 철도운송의 연간 수송량 93억 6,275만톤-km 적용철도운송에 의한 교통사고 비용은 1톤의 화물을 1km 운송하는데 평균적으로 1.9원이 발생하는 것으로 나타났다.

<표 20> 2010년 철도사고의 물리적 비용 구성

항목	비용(만원)	비율(%)
손실생산비용	3,929,793	76.9
의료비용	158,225	3.1
물적 피해비용	806,353	15.8
행정비용	215,642	4.2
계	5,110,014	100.0

주: 2007년 자료를 국내총생산 디플레이터 지수를 이용하여 2010년 자료로 보정.  
 자료: 한국교통연구원, 「2007년 교통사고비용 추정」, 2009.

(3) 해상운송에 의한 교통사고 비용 분담

해양사고 통계는 한국교통연구원 통계자료를 기준으로 하였으며 2010년 737건의 해양사고로 인하여 86명이 사망하고 90명이 실종하였으며 71명의 부상자가 발생하였다. 해양사고의 손실비용 추정방법은 실종자를 사망자로 가정하였으며 해양사고 사망·실종자가 대부분 어민 또는 선원이라는 점에서 경제활동참가율은 적용하지 않고 모두 소득이 발생하는 것으로 간주하였다.

2010년 해양사고로 인한 물리적 비용은 약 961억 5,891만원으로 추정되었으며 2010년의 연간 연안화물 수송량 1억 1,902만톤<sup>6)</sup>을 적용할 경우 1톤의 화물을 운송하는데 평균적으로 808원이 발생하는 것으로 산출되었다.

6) 국토해양부, 해운항만물류정보시스템(SP-IDC) 데이터베이스에 의함.

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

<표 21> 2010년 해양사고의 물리적 비용 구성

항목	비용(만원)	비율(%)
손실생산비용	4,569,202	47.5
의료비용	169,543	2.0
물적 피해비용	4,704,913	48.9
행정비용	152,463	1.6
계	9,615,891	100.0

주: 2007년 자료를 국내총생산 디플레이터 지수를 이용하여 2010년 자료로 보정.  
 자료: 한국교통연구원, 「2007년 교통사고비용 추정」, 2009.

4) 교통혼잡비용

교통혼잡비용은 교통지체로 인하여 차량이 기준속도 이하로 운행하게 됨으로써 발생하는 시간가치손실, 차량운행비용의 증가, 배기가스로 인한 대기오염비용 등 추가적으로 발생하는 모든 비용을 말한다. 운송수단에서의 혼잡은 도로의 교통체증과 항만체선이 대표적인 상황이다.

(1) 도로운송의 교통체증 비용

한국교통연구원(2010)의 자료를 2010년으로 환산한 결과에 따르면 2010년에 도로 부문의 지역 간 교통혼잡비용은 일반국도가 전체의 56.1%인 5조 4,410억원, 고속도로가 25.0%인 2조 4,194억원으로 총 지역 간 교통혼잡비용은 9조 6,950억원에 달하는 것으로 나타났다.

도로 부문의 교통체증 비용은 트럭의 교통체증비용 3,542억원에 고속도로의 연간 톤-km 운송량 582억톤-km 적용하여 1톤의 화물이 1km 운송될 때 평균 6,081원의 비용이 발생하는 것으로 판단된다.

<표 22> 지역간 도로의 교통혼잡비용 산출 결과(2005년)

(단위 : 백만원/연)

구분	고속국도	일반국도	지방도	계
승용차	903,921	2,962,560	609,871	4,476,351
버스	1,161,310	1,179,654	953,900	3,294,864
트럭	354,169	1,298,798	270,781	1,923,748
계	2,419,400	5,441,011	1,834,552	9,694,963

주: 2010년도 값은 국내총생산 디플레이터 지수를 이용하여 보정.  
 자료: 한국교통연구원, 「2008년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이분석」, 2010.

(2) 해상운송의 체선 비용

국토해양부 국회제출자료에 따르면 2010년에 선박의 체선에 의한 손실비용은 약 5,862억원으로 나타났으며, 이 금액을 2010년 우리나라 내항 및 외항 입출항 화물톤수 10억 8,521만톤으로 나눌 경우 평균 1톤의 화물에 대해 연간 532원의 체증비용이 발생하는 것으로 나타났다.

5) 교통시설 유지보수비용

교통시설의 유지 보수는 화물의 원활한 운송을 위해 필수적인 요소이며, 해당 시설의 관리청은 해마다 많은 예산을 투입하여 교통시설을 유지보수하고 있다. 특히 운송수단에 의한 도로 파손은 화물차량의 과적 운행, 교통량 증가에 따른 자연적인 도로 소모, 교통사고에 의한 파손, 화물차량 등에서 적재물의 낙하 등 다양하게 발생하고 있다.

도로의 유지보수비용은 한국도로공사의 연간 고속도로 유지보수비용을 고속도로의 화물 톤-km 수송량을 적용하여 산출했다. 한국도로공사의 2010년 손익계산서에서 나타난 연간 고속도로 유지보수비용 1조 2,345억원에 고속도로의 2010년 연간 화물수송량 582억톤-km를 적용한 결과 고속도로의 톤-km 당 유지보수비는 5.82원인 것으로 나타났다.

철도의 유지보수비용은 한국철도공사의 연간 철도 유지보수비용을 철도의 화물 톤-km 수송량을 적용하여 산출하였다. 한국철도공사의 2010년 손익계산서의 연간 철도 유지보수비용 7,075억원에서 철도의 화물분담률 26.33% 적용한 결과 화물부문의 분담액은 1,863억원이었으며, 철도의 연간 화물운송량은 94억톤-km을 적용하여 철도의 톤-km 당 유지보수비는 19.89원인 것으로 나타났다.

항만의 경우 관리청이 부산항만공사, 인천항만공사, 울산항만공사 등 다양하게 분포되어 있어 고속도로나 철도와 같이 전체의 유지보수비를 파악하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 평택·당진항의 일반부두 2선석에 대한 유지보수비에 KDI 비용보정계수를 적용하여 산출하였다. 평택·당진항 일반부두 2선석의 연간 처리물동량은 391만 1,000톤이고 항만의 경우 수송거리와 무관하게 발생하는 비용이기 때문에 톤당 비용으로 산정한다. 따라서 위의 유지보수비 62억 3,700만원에 물동량을 적용할 경우 처리톤당 유지보수비는 1,595원으로 산정되었다.

6) 소음 비용

교통소음의 배출원은 자동차, 열차, 항공기 등이며 ECMT(1996)의 자료에 의하면 전체 교통소음 중 도로교통이 64%를 차지하여 가장 높게 나타났으며, 항공 소음은 26%로 10%인 철도의 소음보다 심각한 실정이라고 한다. KDI의 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」의 소음가치 원단위는 다음 표와 같다.

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

<표 23> 소음가치의 원단위(2006년 기준)

(단위: 원/dB·년·m)

구 분	도시부	지방부	평 균
소음가치의 평균 원단위	3,696	1,596	1,881

주: 2008년 자료를 국내총생산 디플레이터 지수를 이용하여 2010년 자료로 보정.  
 자료: 한국개발연구원, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」, 2008.

본 연구에서는 소음가치의 평균원단위 1,881원/dB·년·m를 이용하여 도로와 철도의 소음가치를 다음 표와 같이 추정하였다

<표 24> 도로와 철도의 연간 소음비용 추정

구분	도로	철도	계
소음원단위(dB·년·m)	1,881	1,881	-
연장(km)	104,236	3,092	107,795
dB.년(억원)	1,920	5,817	1,979
소음총가치(억원)	28,800	87,248	29,685

주: 1) 소음총가치는 한국환경정책평가연구원의 연구에서와 같이 운송수단별 15dB의 소음발생을 가정함.  
 2) 2008년 자료를 국내총생산 디플레이터 지수를 이용하여 2010년 자료로 보정.

본 연구에서는 도로와 철도에 대해서 소음의 사회적 비용을 추정하며 해상운송은 일반인에게 직접적 소음피해를 야기하지 않은 것으로 판단하여 추정하지 않았다. 이에 따라 도로의 소음비용은 화물 1톤을 1km 운송하는데 10.629원 발생하는 것으로 추정되었으며, 철도는 2.453원 발생하는 것으로 추정되었다.

7) 대기오염비용

환경부에 따르면 자동차 등 운송수단에서 배출되는 대기오염물질은 산소가 부족한 상태에서 연료가 불완전연소 할 때 발생하는 일산화탄소(CO)(57.0%)와 연료의 고온 연소 시 공기 중의 산소와 질소가 결합되어 생성되는 질소산화물(NO<sub>x</sub>)(30.0%)이 전체의 87.0%로 대부분을 차지하고 있으며, 나머지는 탄화수소(HC), 미세먼지(PM) 그리고 이산화황(SO<sub>2</sub>) 등이다.

한국개발연구원(KDI)은 한국환경정책평가연구원(2002)의 「육상교통수단의 환경성 비교분석」 연구 결과에 의거하여 예비타당성 표준지침에서 대기오염에 대한 비용원단

위를 다음과 같이 제시하고 있다.

**<표 25> 대기오염물질별 비용 원단위(2010년 기준)**

(단위 : 원/kg)

오염물질	CO	NOx	HC	PM	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
비용	7,786	9,050	9,370	30,589	42,000	10,489

주: 1) CO<sub>2</sub>의 대기오염비용 원단위는 철도청(2003)의 「철도투자평가편람」에서 제시된 수치 적용.

2) SO<sub>2</sub>의 대기오염비용 원단위는 한국환경정책평가연구원 자료를 통해 환산.

3) 국내총생산 디플레이터 지수를 이용하여 2010년 자료로 보정.

자료: 한국환경정책평가연구원, 「육상교통수단의 환경성 비교분석」, 2002. 12.

운송수단의 톤-km당 대기오염물질 배출량은 다양한 논문에서 다양하게 제시되고 있으나, 도로, 철도, 해상운송에 대해 동일한 기준으로 대기오염물질 배출량을 제시한 곳은 많지 않은 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 국제해사기구(IMO)에서 선박의 대기오염물질 저감을 위해 수행한 연구보고서의 운송수단별 대기오염물질 배출 기준을 준용하여 비용을 산정하였다.

**<표 26> 운송수단별 대기오염물질의 배출량**

(단위 : g/톤-km)

구분	CO	HC	NOx	PM	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	VOC
트럭	1.325	0.935	3.750	0.470	0.265	289.000	1.100
철도	0.085	0.040	0.605	0.045	0.125	71.500	0.080
선박	0.109	0.060	0.420	0.030	0.035	37.500	0.075

자료: IMO, "Study of Greenhouse Gas Emissions From Ship", 2000.

위의 배출량에 <표 25>의 대기오염물질별 원단위를 적용하면 도로운송의 대기오염물질 방출 비용은 82.3원/톤-km, 철도운송의 대기오염물질 방출 비용은 12.2원/톤-km, 해상운송의 대기오염물질 방출 비용은 8.1원/톤-km인 것으로 각각 나타났다.

## 8) 시간가치 비용

운송화물은 가치를 지닌 것으로 목적지에 늦게 도착할수록 화물의 이용에 대한 기회비용이 증가한다. 화주들은 운임이 높더라도 보다 빠른 운송수단을 선호하며, 이에 따라 특정 운송수단으로 수요가 집중되기도 한다. 본 연구에서의 화물운송 시간가치는 화물 자체의 시간가치만 반영하고, 운전자의 시간가치와 화물차량의 운행비용에 의한 시

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

간가치는 고려하지 않았다. 본 연구에서는 한국교통연구원에서 추정된 화물운송의 시간가치 가운데 화물의 시간가치만을 산출하여 화물의 시간가치로 반영하였다.

<표 27> 화물운송 시간가치 산정 결과

구분	세분류	평균적재톤 (톤)	적재톤당(원/톤-시간)			
			운전자	화물차	화물	계
업종	일반화물	7.77	1,207.2	92.6	147.4	1,447.2
	개별화물	2.93	2,424.4	128.0	147.4	2,699.8
	용달화물	0.92	6,056.6	161.6	147.4	6,365.6
품목	컨테이너	4.81	2,039.7	143.2	147.4	2,330.3
	시멘트	4.81	2,205.7	200.6	147.4	2,553.7
	유류	4.81	1,507.2	146.1	147.4	1,800.7
	철강	4.81	2,313.8	159.0	147.4	2,620.2
	기타화물	4.81	1,495.2	86.3	147.4	1,728.9

주: 평균적재톤수는 「2005년 국가교통DB구축사업 화물부문 교통조사 보고서(2006)」 값을 적용.

자료: 한상용·정승주·채찬들, 「교통투자사업의 경제성 평가를 위한 화물운송의 시간가치 산정 - 도로교통을 중심으로」, 2007. 결과에 대해 평균적재톤을 고려하여 재산정.

#### 4. 추정 결과

여기에서는 앞에서 추정된 운송수단별 개별 속성의 사회적 비용을 종합하여 총 사회적 비용을 도출한 후 운송수단별로 비교하였다. 비교는 건설비용을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우에 대해 각각 고려하였다.

##### 1) 운송시설 건설비용을 포함한 경우

해상운송의 경우 항만시설을 이용하는데 따른 높은 고정비용으로 단거리 수송에서는 교통과 철도에 비해 높은 사회적 비용을 유발하지만 장거리 수송에서는 효율성이 매우 큰 것으로 판단되었다.

1톤의 화물을 1km 운송할 경우 각각의 운송수단의 사회적 비용 합은 도로 230원, 철도 200원, 해운 5,401원인 것으로 나타났다. 해상운송이 도로나 철도에 비해 높은 사회적 비용을 발생하는 이유는 교통시설건설비용, 교통사고비용, 교통혼잡비용, 유지보수비용 항목에서 화물의 운송거리와 무관하게 고정적으로 발생하므로 단거리 수송에서는 매우 높은 비용 발생한다.

<표 28> 개별운송수단의 사회적 비용 총합(건설비 포함 경우)

(단위 : 원/톤-km)

구분	도로	철도	해운
운행비용	48.4	90.5	29.9
교통시설건설비용	23.9	72.8	2,317.4
교통사고비용	53.3	1.9	989.8
교통혼잡비용	6.1	0.0	532.3
유지보수비용	5.8	19.9	1,523.3
소음비용	10.6	2.5	0.0
대기오염비용	82.3	12.2	8.1
시간가치비용	0.0	0.0	0.0
계	230.4	199.7	5,400.8
해상운송 대비 비율(%)	4.3	3.7	100.0

주: 1) 음영부분은 수송거리와 무관하게 발생하는 사회적 비용을 의미함.

2) 1km의 운송이므로 시간가치는 생략하였음.

그러나 1톤의 화물을 100km운송할 경우 해운 9,707원/톤, 도로 23,325원/톤, 철도 20,375원/톤으로 철도운송과 도로운송의 사회적 비용은 해상운송의 2.1배~2.4배 수준으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 도로수송과 철도수송의 사회적 비용은 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

<표 29> 100km 운송의 경우 운송수단별 사회적 비용 비교(건설비 포함 경우)

(단위 : 원/톤)

구분	도로	철도	해운
운행비용	4,838	9,046	2,988
교통시설건설비용	2,387	7,283	2,317
교통사고비용	5,335	189	990
교통혼잡비용	608	0	532
유지보수비용	582	1,989	1,523
소음비용	1,063	245	0
대기오염비용	8,228	1,220	807
시간가치비용	283	402	549
계	23,325	20,375	9,707
해상운송 대비 비율(%)	240.3	209.9	100.0

주: 음영부분은 수송거리와 무관하게 발생하는 사회적 비용.

<표 30> 해운과 도로, 해운과 철도의 등비용 운송 거리(건설비 포함 경우)

(단위 : 원)

구분	도로와 해운		철도와 해운	
	도로	해운	철도	해운
등비용 운송거리(km)	28.253	28.253	33.453	33.453
운행비용	1,367	844	3,026	1,000
교통시설	674	2,317	2,437	2,317
교통사고	1,507	990	63	990
교통혼잡	172	532	0	532
파손유지	165	1,523	666	1,523
소음	300	0	82	0
대기오염	2,325	228	408	270
시간가치	80	155	134	184
계	6,590	6,590	6,816	6,816
비율(%)	100.0	100.0	100.0	100.0

이를 바탕으로 건설비가 포함될 경우 운송수단간 등비용 운송거리를 산출한 결과 도로와 해운은 28.3km, 철도와 연안해운은 33.5km인 것으로 나타났다. 즉 28.3km 이내의 운송은 도로가 해운보다 사회적 비용을 덜 유발하며, 그 이후에는 도로수송이 해상운송에 비해 사회적 비용을 훨씬 더 유발하는 것으로 나타났다.

## 2) 운송시설 건설비용을 포함하지 않는 경우

화물운송을 위해 도로, 철도, 항만 등의 신규 건설을 하지 않고 기존의 시설을 이용할 경우 기존 시설은 매몰비용(sunk cost)으로 간주하여 건설비용에 포함하지 않을 수 있다. 즉, 기존의 시설은 건설 당시 혹은 예비타당성 조사 등에서 이미 사회적 비용으로 계산된 경우에 해당한다. 이 경우 건설비용 부담이 컸던 철도의 사회적 비용이 크게 개선되어 도로에 비해 사회적 비용 측면에서 효율성을 갖게 되나, 해상운송에 비해서는 여전히 효율성이 낮은 것으로 나타났다.

1톤의 화물을 1km 운송할 경우 각각의 운송수단의 사회적 비용 합은 도로 207원, 철도 127원, 해운 3,083원인 것으로 나타났다.

<표 31> 개별운송수단의 사회적 비용 총합(건설비 불포함 경우)

(단위 : 원/톤-km)

구분	도로	철도	해운
운행비용	48.4	90.5	29.9
교통사고비용	53.3	1.9	989.8
교통혼잡비용	6.1	0.0	532.3
유지보수비용	5.8	19.9	1,523.3
소음비용	10.6	2.5	0.0
대기오염비용	82.3	12.2	8.1
시간가치비용	0.0	0.0	0.0
계	206.5	126.9	3,083.4
해상운송 대비 비율(%)	6.7	4.1	100.0

주: 1) 음영부분은 수송거리와 무관하게 발생하는 사회적 비용을 의미함.  
 2) 1km의 운송이므로 시간가치는 생략하였음.

그러나 1톤의 화물을 100km운송할 경우 해운 7,389원/톤, 도로 20,938원/톤, 철도 13,091원으로 철도운송과 도로운송의 사회적 비용은 해상운송의 1.8배~2.8배 수준으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 도로수송과 철도수송의 사회적 비용도 건설비를 포함할 경우와 달리 사회적 비용의 차이가 크게 발생하는 것으로 나타났다.

<표 32> 100km 운송의 경우 운송수단별 사회적 비용 비교(건설비 불포함 경우)

(단위 : 원/톤)

구분	도로	철도	해운
운행비용	4,838	9,046	2,988
교통사고비용	5,335	189	990
교통혼잡비용	608	0	532
유지보수비용	582	1,989	1,523
소음비용	1,063	245	0
대기오염비용	8,228	1,220	807
시간가치비용	283	402	549
계	20,938	13,091	7,389
해상운송 대비 비율(%)	283.4	177.2	100.0

주: 음영부분은 수송거리와 무관하게 발생하는 사회적 비용.

피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

<표 33> 해운과 도로, 해운과 철도의 등비용 운송 거리(건설비 불포함 경우)

(단위 : 원)

구분	도로와 해운		철도와 해운	
	도로	해운	철도	해운
등비용 운송거리(km)	18.353	18.353	34.815	34.815
운행비용	888	548	3,149	1,040
교통사고	979	990	66	990
교통혼잡	112	532	0	532
파손유지	107	1,523	693	1,523
소음	195	0	85	0
대기오염	1,510	148	425	281
시간가치	52	101	140	191
계	3,843	3,843	4,558	4,558
비율(%)	100.0	100.0	100.0	100.0

이를 바탕으로 건설비가 포함될 경우 운송수단 간 등비용 운송거리를 산출한 결과 도로와 해운은 18.4km, 철도와 연안해운은 34.8km인 것으로 나타났다. 건설비를 포함할 경우보다 도로의 등비용 운송거리는 더욱 짧아졌으며, 철도와의 등비용 운송거리는 더욱 길어진 것으로 나타났다. 이는 높은 건설비용이 소요되는 철도의 특성상 건설비가 제외될 경우 훨씬 높은 효율성을 나타내는 것으로 판단된다.

## V. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 물류분야의 대표적 운송수단인 도로운송, 철도운송, 해상운송 각각에 대해 피해함수접근법을 이용하여 사회적 비용을 추정하고 이를 상호 비교하였다. 운송서비스의 사회적 비용 속성은 운행비용, 교통시설비용, 교통사고비용, 교통혼잡비용, 도로파손 및 유지보수비용, 소음비용, 대기오염비용, 운송시간비용으로 나누었고 각각의 속성별 사회적 비용을 총괄하여 운송수단별 사회적 비용을 추정하였다.

추정결과 많은 연구에서와 마찬가지로 해상운송이 가장 사회적 비용을 덜 유발하는 운송수단으로 판단되었다. 항만시설 등 교통시설 건설비용을 포함할 경우 해상운송은 단거리에서 도로수송이나 철도수송에 비해 높은 사회적 비용을 유발하나 100km 수송에서는 2.1배~2.4배의 효율성이 나타났다. 해상운송과 같은 금액의 사회적 비용을 유발하는 수송거리는 도로수송의 경우 28.3km, 철도수송의 경우 33.5km인 것으로 각각 나타났다. 한편 건설비용을 포함하지 않을 경우에는 해상운송과 함께 철도운송도 효율적인 운송수단인 것으로 나타났다. 100km 수송에서 철도의 사회적 비용 유발액은 도로의 63% 수준이었으며, 해상운송은 도로의 35% 수준이었다. 철도운송의 효율성이 제고된 것은 철도시설 건설비가 타 운송수단에 비해 크게 소요된 결과로 파악된다.

따라서 향후 국가 물류정책 계획 시 도로운송을 최소화하기 위해 도로운송을 철도운송이나 해상운송으로 유인하거나 기존에 ‘항만-도로’ 연계운송, ‘항공-도로’ 연계운송, ‘철도-도로’ 연계운송 되어오던 물류 메커니즘을 ‘항만-철도’ 연계운송, ‘항공-철도’ 연계운송, ‘항공-항만’ 연계운송으로 전환한다면 국가적으로 운송분야의 사회적 부담을 줄이고 이를 통한 국민 생활복지 향상에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 피해함수접근법을 이용하여 운송수단의 사회적 비용을 추정하였으며, 설문예 근거하는 CVM등 비시장 가치조사보다 실제 당사자들이 느끼는 피해액에 근접한다는 장점이 있다. 반면, 경제 이론에 근거하여 추정 상의 한계점이 존재하는데, 이는 분석 대상의 운송수단이 사회적 비용을 다수 유발함에도 불구하고 다른 경제적 주체의 행위가 변하지 않는다고 가정하기 때문이다. 즉 개별 경제주체는 해당 운송수단이 대기오염을 심하게 유발할 경우 공기정화기를 구입하거나 혹은 다른 지역으로 이주할 것이며, 농가의 경우 농사를 포기하거나 공해에 강한 종자를 재배하는 등의 반응이 일어난다는 것이다.

그럼에도 불구하고 피해함수접근법에 의한 사회적 비용의 추정액과 조건부가치측정법(CVM) 또는 컨조인트(conjoint)법이나 여행비용측정법 등의 방법론에 입각한 결과를 상호 비교하고 장단점을 파악하는 것도 중요한 연구 분야로 파악된다. 그런 측면에서 본 연구는 추정결과가 실제 측정치보다 과소추정의 개연성을 내포하고 있지만, 피해의 측면에서 사회적 비용을 추정하고 10개의 구체적 피해 항목으로 이를 제시했다는 점에서 연구의 의의가 있다고 생각된다.

## 참고문헌

- 고려대학교, 「자연자산의 경제적 가치측정 방안 연구」, 환경부, 2001.
- 고려대학교 경제연구소, 「해양자원의 사회적 가치추정에 관한 연구」, 해양수산부, 2001.12.
- 국토해양부, 「도로교통량 통계연보」, 2010.
- 국토해양부 · 한국교통연구원, 「도로교통량 조사 통계」, 2010.
- 김정훈, 「도로교통의 외부비용과 적정 혼잡과세」, 한국조세연구원, 2000.
- 김재홍, 「환경자원의 경제적 가치와 환경오염의 사회적 비용」, 집문당, 2006.
- 김준순 · 한화진 · 박현숙, 「육상교통 수단의 환경성 비교분석」, 한국환경정책평가연구원, 2002.
- 녹색교통, 「서울시 대중교통 서비스 모니터링 활동백서」, 2000.
- 도로교통안전관리공단, 「2007 도로교통사고비용의 추계와 평가」, 2008.
- 손의영 · 황기연, 「자동차 소유, 운행의 사적·사회적 비용 비교연구」, 서울시정연구원, 2001.
- 신승식, 「운송수단별 환경비용 추정과 시사점」, 한국해양수산개발원, 2001.
- \_\_\_\_\_, 「환경재의 가치추정 방법 및 CVM 과 Hedonic의 통신산업 외부성 추정 적용에 관한 3논문」, 1998.
- \_\_\_\_\_, “주요 운송수단의 사회적 물류비용 추정 및 비교연구-도로, 철도, 연안해운을 중심으로”, 『해양정책연구』, 제 22권 제 1호, 2007. 97-132.
- \_\_\_\_\_, “주요 운송수단별 사회적 비용 내부화 비교연구 - 한국 광양항과 미국 오대호연안을 대상으로”, 『한국항만경제학회지』, 제27권 제2호, 2011, 85-110.
- 심기섭, “조건부가치추정법을 이용한 항만개발의 환경비용 추정”, 『월간해양수산』, 제226권, 2003, 5-17.
- 엄영숙, “환경영향평가제도와 환경영향의 가치평가”, 『자원·환경경제연구』, 제 8권 제1호, 1999, 127-160.
- 여준호, “생태계 비시장가치 추정 사례 및 추정방법의 장단점 분석”, 『한국산림휴양학회지』, 제12권 제2호, 2008, 1-9.
- 이성원 · 이명미, 「교통관련 사회적 비용의 계량화(1단계)」, 교통개발연구원, 2000.
- 이영준, 「철도건설사업의 주요 환경 영향에 관한 연구」, 한국환경정책평가연구원, 2004.
- 정성봉, 「교통부문 사회·경제적 가치 평가항목의 개정을 위한 기초 연구」, 한국교통연구원, 2009.
- 조한선 · 이동민, 「2005년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이 분석」, 한국교통연구원, 2007.
- 한국철도공사, 「2010 철도통계연보」, 2011.
- \_\_\_\_\_, 「2009 철도통계연보」, 2010.
- 한국개발연구원, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」, 2008.
- 한상용 · 정승주 · 채찬들, 「교통투자사업의 경제성 평가를 위한 화물운송의 시간가치 산정 -

- 도로교통을 중심으로」, 한국교통연구원, 2007.
- 한국교통연구원, 「2007년 교통사고비용 추정」, 2009.
- \_\_\_\_\_, 「2008년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이분석」, 2010.
- 환경부, 「환경백서」, 2010.
- 홍갑선, 「교통관련 사회환경비용의 내재화방안」, 교통개발연구원, 1999.
- David J. Forkenbrock, “Comparison of External Costs of Rail and Truck Freight Transportation,” *Transportation Research*, 35(A), 321-337., 2001.
- Delucchi, M., “Social Cost of Transportation, University of California, Davis,” 1990.
- \_\_\_\_\_, “Environmental Externalities of Motor-Vehicle Use in the U.S.,” *Journal of Transport Economics and Policy*, 34(2), 135-168., 2000.
- ECMT, “Toward Fair and Efficient Pricing in Transport”, 1996.
- Freeman, A. M., “The Measurement of Environmental and Resource Values, Resources for the Future, Washington, DC.,” 1994.
- IMO, “Study of Greenhouse Gas Emissions From Ship,” *IMO Issue no. 2 - 31* , 2000.
- Kageson, P., “Effects of Internalisation on Transport Demand and Modal Split,” *Internalising the Social Costs of Transport*, ECMT., 1994.
- Mark A. Delucchi, “The Social Cost Calculator(SCC):Documentation of Methods and Data, and Case Study of Sacramento, Institute of Transportation Studies University of California”, 2005.
- Mitchell. R. and R. Carson, “Using Survey to Value Public Goods: The contingent Valuation Method, Resource for the Future, Washington D.C.,” 1989.
- Parry, I., Walls, M., and Harrington, W., “Automobile Externalities and Policies”, *Journal of Economic Literature*, 2007.
- Quient, E., “The Social Costs of Transport: Evaluation and Links with International Policies,” *Internalising the Social Costs of Transport*, ECMT., 1994.
- \_\_\_\_\_, “A Meta-Analysis Of Western European External Cost Estimates,” *Transportation Research D*, Vol. 9 , 465-476., 1994.
- Rosen, S., “Hedonic Price and Implicit Markets : Production Differentiation in Pure Competition,” *Journal of Political Economics*. 82(1), 34-55, 1974.
- Safirova, E., Houde, S., and Harrington, W., “Marginal Social Cost Pricing on a Transportation Network: A Comparison of Second-Best Polices”, *Resources for the Future*, 2007.
- Taylor, C. John, The Cost-Benefits of Ocean Vessel Shipping in the Great Lakes: Value to Industry vs. Environmental Damage, *Seidman Business Review*, Vol. 12-1, 2006.

## 국문요약

# 피해함수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정

소애림 · 신승식

본 연구는 우리나라의 대표적 운송수단인 도로, 철도, 해운에 대해 피해함수접근법을 이용하여 사회적 비용을 추정하였다. 이를 위해 본 연구에서는 각각의 운송수단이 야기하는 사회적 비용 유발 분야를 10개의 항목으로 구분하고 각각의 항목에 대해 운송수단별로 메타데이터를 이용하여 항목별 비용을 산정하였다. 분석 결과 교통시설의 건설비용을 포함할 경우 해상운송이 가장 효율적인 반면 도로운송과 철도운송은 효율성에서 큰 차이를 보이지 않았으나, 건설비용을 고려하지 않을 경우 해상운송에 이어 철도운송도 매우 효율적인 운송수단임이 나타났다. 본 연구에서는 또한 각각의 운송수단이 같은 사회적 비용을 유발하는 등비용 수송거리를 산정하였다. 이를 통해 도로운송, 철도운송, 해상운송의 효율적 수송거리를 제시하였으며 이를 통해 보다 효율적인 모달시프트(modal shift)의 계기가 제공될 수 있기를 기대한다.

**핵심 주제어:** 사회적비용, 피해함수접근법, 환경비용, 모달시프트, 운송수단의 사회적비용