

국내 교통소음 피해의 외부비용(소음피해비용) 산정 Assessment of the External Cost (Damage Cost) of Traffic Noise

강 광 규* · 김 종 원** · 김 경 민*** · 박 영 민†

Kwang Kyu Kang*, Jong Won Kim**, Kyoung Min Kim*** and Young Min Park†

(Received November 17, 2021 ; Revised January 17, 2022 ; Accepted January 17, 2022)

Key Words : External Damage Cost(외부피해비용), Traffic Noise(교통소음), Willingness-to-pay(지불의사금액), Value Transfer(가치 이전), Average and Marginal Costs(평균 및 한계비용)

ABSTRACT

The European Commission estimates have shown that the costs of various forms of externalities occurring in the transport sector, such as accidents, air pollution, climate change, noise, and congestion, have risen three times in 2008, 2014, and 2019. Among them, the report published in 2019 is the latest report that systematically summarizes the results of numerous independent, individual, and partial studies conducted in Europe. The report provides additional information to existing research, estimation methodologies, basic data, estimation results, limitations, problems, etc., for the cost estimation of each external effect. This paper introduces the core contents of the EC (2019) by limiting the noise generated by various external effects on traffic inquiries, particularly the external cost basic unit, average cost, and marginal cost of traffic noise for all EC member countries. Simple values present the results of converting the Korean cost using the traditional method. Subsequently, the method through which the external cost of traffic noise converted in this way is utilized is presented in detail.

1. 서 론

수인한도를 초과하는 소음에 주기적·장기적으로 노출될 경우 수면장애, 허혈성 심장질환, 고혈압 등 건강상의 피해가 초래되는 것으로 알려져 있다. 또한, 도시화가 진전되거나 교통량이 증가할수록 이와 같은 소음 피해는 증가하게 된다. 교통소음으로 인해 발생하는 사회적 피해비용, 즉, 교통소음의 외부비용은 교통소음 대책 수립에 있어 필수불가결한 주요 자료가 된다.

교통소음의 외부비용은 교통소음으로 인한 피해액 산정 및 이를 바탕으로 한 적정 보상액 산정, 적정 규제수준 설정, 환경세(소음세) 도입 시 적정 세율 산정, 교통소음 관련 사업에 대한 경제성 평가, 교통소음 관련 정책대안에 대한 비교우위성 평가 등에 있어 주요한 기초자료가 된다. 또한 소음 관련 다양한 정책수단을 동시에 추진하게 될 경우, 그것이 합리적인 정책결합인지 아니면 과도한 정책인지를 판별하는 주요한 지표가 될 수 있다.

유럽의 경우, 1990년대 후반부터 교통소음의 외부

† Corresponding Author ; Member, Korea Environment Institute, Senior Research Fellow

E-mail : ympark@kei.re.kr

* Member, Institute of Environment & Energy, Research Fellow

** Yonsei University Graduate School of Legal Affairs, Adjunct Professor

*** Member, Korea Environment Institute, Researcher

‡ Recommended by Editor Yong Hwa Park

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

비용 추정에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 여기서, 교통소음의 외부비용은 성가심 비용과 건강 위해 비용으로 구분되며, 성가심 비용은 주로 지불의사금액(willingness to pay, 이하 “WTP”라 한다)을 통해 추정된다.

WTP를 구하는 대표적인 방법으로는 진술된 선호(stated preference, 이하 “SP”라 한다) 또는 현시된 선호(revealed preference, 이하 “RP”라 한다) 등이 있다. 또한, 건강위해 비용은 통계적 생명가치(value of a statistical life, 이하 “VSL”이라 한다) 또는 1년의 생명가치(value of a life year, 이하 “VOLY”라 한다) 등 인간건강의 경제적 가치추정 기법을 통해 추정된다. 여기서, VSL은 지역사회 내에서 순간적인 조기사망의 위험을 낮추기 위해서 주민들이 지불할 용의가 있는 금액을 의미하며, VOLY는 기대수명을 1년 더 추가하기 위해 사람들이 지불할 용의가 있는 금액을 의미한다. VSL이나 VOLY 모두 WTP를 통해 산출된다.

따라서 교통소음의 외부비용은 결국 WTP를 통해 산출된 성가심 비용과 건강위해 비용을 합산하여 구해지는 바, 유럽에서는 각각에 대하여 SP와 RP 중 어느 것을 선택하는지, 소음 노출로 인한 질병 중 어느 것을 포함하는지, 대상지역을 개별 국가 아니면 여러 국가로 확대하는지, 도로나 철도 등 교통기관을 어디까지 포함하는지에 따라 무수하게 많은 다양한 연구들이 진행되어 왔으며, 결과에 대한 논쟁도 활발하게 진행되어 왔다.

이에 따라 유럽위원회(European Commission, 이하 “EC”라 한다)는 이러한 과정에서 축적된 독립적·개별적·부분적 연구 결과를 종합하고, EU 회원국 전체에 대하여 교통부문 모든 기관에 대한 소음의 외부비용을 추정하여, 2008년에 최초로 공식 보고서⁽¹⁾를 발간하였으며, 2014년에 한 차례 갱신⁽²⁾을 한 후, 최근 2019년⁽³⁾까지 총 세 차례 발간하였다.

여기서, 2019년에 발간한 보고서⁽³⁾는 선행 연구에 비해 대상 회원국 수가 28개국으로 확대되었을 뿐만 아니라, 기존 소음의 한계외부비용 위주로 추정하던 것에서 소음의 총 외부비용 및 평균 외부비용을 추가적으로 추정하여 제시하였다. 무엇보다 2014년 이후 새롭게 확인된 근거자료 또는 방법론 등을 반영한 교통소음의 외부비용에 대한 가장 최신의 집대성 보고서로서 의미가 있다.

반면, 국내의 경우 최근 들어 관련 연구가 다소 활기를 띠는 추세이다. 헤도닉 기법(Hedonic approach)을 이용하여, 2005년 서울시 내부순환로의 자동차 소음에 대한 외부비용을 추정한 Park 등⁽⁴⁾, 2013년 서울특별시 철도소음의 외부비용을 추정한 Chang and Kim⁽⁵⁾ 등의 연구가 있다. 이와 같은 선행연구에서는 모두 서울특별시를 대상으로, 헤도닉 기법을 이용하여 교통기관을 도로(자동차) 또는 철도로 한정하여 외부비용을 추정하는 등 적용상에 한계가 있었다.

최근 연구에서는 교통기관을 도로와 철도뿐만 아니라 항공기 등으로 확대하고, 대상지역도 서울특별시와 같이 특정지역으로 한정하지 않으며, 방법론으로 범용 사용되고 있는 가치이전 방법을 적용하여, 우리나라 교통기관별 소음의 외부비용을 추정한 연구 결과가 발표되고 있으며, 이에 대한 주요 선행연구는 다음과 같다.

2017년 Jung and Chang 연구⁽⁶⁾에서는 피해비용 접근법(damage cost approach)을 바탕으로 소음의 외부비용을 산정하는 방안을 제시하였다. 여기서, 피해비용 접근법은 비용 평가에서 일반적으로 적용하는 방법으로, 소음의 영향과 이를 계량하는 방식에 관한 정보가 축적되면서 소음 노출 피해와 그에 따른 경제적 영향을 화폐가치로 평가하는 방법을 의미한다. 주요 내용으로는 2006년 유럽 26개 국가별 성가심 비용과 건강위해 비용을 추정한 HEATCO⁽⁷⁾의 연구결과를 함수이전법을 통해 우리나라의 소음피해 외부비용을 산정하였다. 여기서, 함수이전법은 선행 연구에서 추정한 함수에 분석 대상지의 특성을 대입하여 분석 대상지의 원단위를 도출하거나, 선행 연구의 결과와 중요 인자 간의 관계를 밝혀서 분석 대상지의 원단위를 추정하는 방법이다. 즉, 유럽 국가별 소음 피해비용 원단위와 1인당 GDP의 함수관계를 추정하고, 우리나라를 대상으로 1인당 GDP를 대입하여 소음의 피해비용 원단위를 산출한 것이다.

한편, 2019년 이병권 등⁽⁸⁾의 연구에서는 영국 환경식품농림부(Department for Environment, Food and Rural Affairs, 이하 “DEFRA”라 한다)의 소음 노출로 인한 사회적 비용 추정모델⁽⁹⁾, WHO의 기초자료, 우리나라 2018년 기준 1인당 국민총소득(GNI, gross national income) 등을 적용하여, 교통기관별 소음의 외부비용을 추산하였다.

이와 같은 선행 연구는 특정지역에 상관없이 전체

지역을 대상으로 주요 교통기관에 적용 가능한 소음의 외부비용 원단위를 제시했다는 점에 의미가 있지만, 가치이전의 기준이 다소 시간이 지난 2006년 HEATCO⁽⁷⁾, 2014년 DEFRA⁽⁹⁾ 등 특정 모델에 한정되어 있어, 향후 적용상에 한계가 있다.

또한, 우리나라 전국을 대상으로 모든 교통기관에 적용할 수 있는 소음의 외부비용(원단위 또는 평균비용, 한계비용)을 자체 추정한 객관적으로 신뢰할 수 있는 연구모델(모형)이 있다면 이에 대한 연구결과를 활용하는 것이 최선일 것이다. 그러나 2019년 EC의 연구보고서⁽³⁾에서 보듯이 수많은 연구들이 축적되고 집대성되어야 가능할 것이다. 현재 우리나라는 소음의 외부비용 추정 관련 선행 연구가 유럽 등에 비해 많이 부족하고, 비용 추정 시 우리나라 전역의 주요 교통기관을 대상으로 범용 사용할 수 있는 연구 모델이 없기 때문에, 객관적으로 신뢰할 수 있는 해외의 선행 연구결과를 바탕으로 가치이전을 통해 우리나라 교통소음의 외부비용을 추정하는 것이 불가피할 것으로 판단된다. 이에 EC의 연구보고서는 가치이전의 기준으로 삼기에 충분한 근거를 가지고 있다. EU 회원국 전체에 대한 수년간의 독립적·개별적·부분적 연구결과를 종합하고 집대성하여 EC의 공식적인 보고서로 발간된 가장 최근판이기 때문이다.

따라서 이 논문에서는 2019년 EC의 연구보고서⁽³⁾ 중 교통소음의 외부비용에 대한 핵심적인 내용, 즉 외부비용의 구성내역, 추정 방법론, 총비용 및 평균비용, 그리고 한계비용의 추정치를 요약하여 제시하고자 한다. 그리고 EC 연구보고서의 평균비용 및 한계비용에 대하여 소득조정 조건부 가치이전방법을 통해 우리나라의 것으로 환산된 교통소음의 평균외부비용 및 한계외부비용을 산정하여 제시하였다. 마지막으로, 이와 같이 산정된 외부비용의 활용방안을 구체적으로 제시하였다.

2. 소음피해의 외부비용 산정과 내부화에 대한 논리적 근거

2.1 외부비용의 개념 및 교통부문 외부비용의 종류

외부비용(external costs)이란 ‘한 경제주체의 행위가 시장을 통하지 않고 값을 지급하지 않고도 다른 경제주체의 경제적 성과에 불이익을 주는 현상’을 말

한다. 예를 들어, 자동차를 운행할 경우 발생하는 소음은 자동차 실내 탑승자뿐만 아니라 도로변 공동주택 거주자나 보행자 등 실외 주변 사람들에게도 일정 부분 피해를 유발하는 바, 이러한 타인의 피해비용을 자동차 운행자에게 부담 지우는 시장기능이 존재하지 않는다. 그 결과, 자동차 운행자는 타인이 입는 소음 피해에 상관없이 본인이 직접 부담하게 되는 비용에만 근거하여 자동차 운행이라는 행위를 결정하는 것이다. 이와 같이 한 개인의 자동차 운행으로 인해 타인이 지불하게 되는 소음피해 비용은 자동차 운행 시 외부비용의 일부분이 되는 것이다.

교통부문에서 초래되는 외부비용으로는 사고비용, 대기오염 비용, 기후변화 비용, 소음비용, 혼잡비용, 생태계 손상비용, 토양 및 수질오염 비용 등이 있다. 이중 사고비용은 가장 직접적이고 규모가 큰 것이다. 심한 경우에는 다수의 사망자 및 부상자가 발생할 수도 있다. 교통수단이 석탄이나 석유와 같은 화석연료를 에너지원으로 사용하는 한 미세먼지, 질소산화물, 이산화탄소 등이 배출되어 대기오염 및 기후변화로 인한 피해비용을 초래한다. 또한, 도로나 철도, 항공기 등에서 배출되는 소음은 인간의 쾌적한 삶을 위협하며, 교통 혼잡이 가중되면 시간지체, 연료낭비, 대기오염 심화 등의 혼잡비용을 초래한다. 이외에도 교통부문에서는 간접적으로 생태계 훼손, 토양오염, 수질오염 등의 외부비용도 발생된다.

이 논문에서는 교통부문의 이와 같은 다양한 직/간접적인 외부비용 중에서 특히 소음분야에 국한하여, 소음 노출로 인한 피해의 외부비용이 외국에서는 어떠한 근거 및 과정을 거쳐 구체적으로 어떻게 추정되는지, 그리고 이것이 우리나라에는 어떻게 적용될 수 있는지를 살펴보고자 한다.

2.2 소음피해의 외부비용 내부화에 대한 논리적 근거

자동차, 철도, 항공기 등의 교통기관에서 발생하는 소음은 인간으로 하여금 성가심이나 짜증, 나아가 수면장애를 유발할 수 있으며, 이러한 교통소음에 장기간 노출될 경우에는 허혈성 심장질환, 뇌졸중, 고혈압 등 건강상의 피해가 초래될 수도 있는 것으로 알려져 있다.

이와 같이 교통기관 운영 시 소음 노출로 인한 인체 건강영향 피해는 교통 수요자 자신뿐만 아니라 사

회 전반적으로 광범위하게 영향을 미칠 우려가 있음에도 불구하고, 일반적인 시장경제 체제에는 교통소음 노출로 인해 초래되는 피해비용, 즉, 교통소음의 외부비용이 오염자 부담원칙에 의하여 교통수요자에게 완전하게 부과되지 않는다. 설령 부과되더라도 발생하는 외부비용의 일부만이 부과될 뿐이다. 이는 사적(private)시장에서 교통수요자 개인 또는 사업자가 이와 같은 외부비용 전체를 고려하지 않고, 오직 자신에게 발생하는 직접비용만을 고려하여 교통 행위를 결정하기 때문이다.

그 결과, 사적시장에서는 사회적으로 바람직한 수준보다 낮은 비용으로 더 많은 교통행위를 초래함으로써 사회적 후생 극대화에 도달하지 못하는 시장실패(market failure)가 발생한다. 이러한 시장실패로 인해 발생하는 소음 피해 비용은 해소되지 않고, 누적되는 악순환이 반복된다. 이에 대한 가장 큰 이유는 교통수요자가 자신의 교통행위로 인해 초래되는 소음의 외부비용을 완전하게 부담하지 않기 때문이다.

이와 같은 시장실패를 해소하여 사회적으로 가장 바람직한 교통행위를 유도하기 위해서는 교통소음의 외부비용을 교통수요자에게 부담시키는 제도적 장치가 필요하다. 이에 대한 대표적인 수단으로는 규제 및 조세 등과 같은 경제적 유인수단을 우선적으로 고려할 수 있으며, 이를 통해 소음의 외부비용이 교통수요자에게 전가된다면 교통수요자의 소음저감에 대한 노력이 강화됨에 따라 소음을 유발하는 교통행위도 사회적으로 바람직한 수준에 수렴하게 된다.

이와 같은 과정을 경제학에서는 외부효과의 내부화(internalization)라고 하며, 관련 세부 내용은 다음과 같다.

Fig. 1은 소음 노출로 인한 사적 및 사회적으로 바람직한 균형(equilibrium)을 표현한 그림으로, Q 는 소음을 유발하는 교통행위의 양이며, $R \& C$ 는 수입(revenue) 또는 비용(cost), 하첨자 p 는 사적(private) 관점, 하첨자 s 는 사회 전체적(social) 관점, ML (marginal loss)은 교통수요자의 교통행위에 대한 한계손실, MB (marginal benefits)는 교통행위로 인한 한계편익을 칭한다. 또한, ML_p 는 교통행위에 대한 사적 한계손실, MB_p 는 교통행위로 인한 사적 한계편익, SDC (service degradation cost)는 교통행위로 인해 발생한 소음 피해의 외부비용을 의미한다.

여기서, 교통행위가 증가할수록 소음은 증가한다는

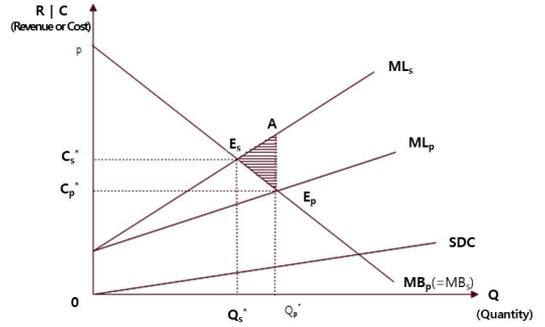


Fig. 1 Private and social equilibrium due to noise

전제 하에, 한계손실(ML) 곡선은 교통행위가 증가할수록 증가하는 형태를 가지는 반면에, 한계편익(MB) 곡선은 교통행위가 증가할수록 감소하는 형태를 가진다. 따라서 소음의 외부비용(SDC) 곡선은 교통행위가 증가할수록 증가하는 형태를 가진다.

교통행위로 인해 발생하는 한계손실 곡선이 사적인 입장에서는 ML_p 가 되지만, 사회 전체적인 관점에서는 식 (1)과 같이 사적 한계손실인 ML_p 와 사회적 한계손실인 SDC 를 수평으로 합산한 ML_s 가 된다. 또한, 교통행위의 양에 상관없이 사회 전체적으로 발생하는 한계편익은 없기 때문에, 식 (2)와 같이 사적 한계편익(MB_p) 곡선과 사회적 한계편익(MB_s) 곡선은 동일하다.

$$ML_s(Q) = ML_p(Q) + SDC(Q) \tag{1}$$

$$MB_p(Q) = MB_s(Q) \tag{2}$$

Fig. 1에서 정부가 개입하지 않는 사적인 시장에서의 균형은 사적 한계손실(ML_p)와 사적 한계편익(MB_p)가 교차하는 E_p 가 된다. 반면, 사회적으로 바람직한 균형은 사회적 한계손실(ML_s)와 사회적 한계편익(MB_s)가 교차하는 E_s 가 된다⁽¹⁰⁾. 즉, 사적인 시장에서는 더 많은 교통행위의 양이 더 적은 비용으로 진행되는 반면에, 사회적 균형에서는 교통행위의 양이 사적 균형보다는 줄어들고 비용은 더 증가하게 된다. 이는 교통행위로 인해 발생하는 소음의 외부 비용을 고려하기 때문이며, 사회 전체적인 후생(welfare)은 사회적 균형이 사적 균형보다 빗금 친 $\triangle E_s A E_p$ 만큼 더 크다.

이와 같이 사회 전체적인 후생을 극대화할 수 있음에도 불구하고 사적 시장에 맡겨둘 경우, 후생 극대화

에 실패하게 되는 것을 경제학에서는 ‘시장실패’라고 한다. 이는 사적 시장에서 소음피해의 외부비용과 같은 공적인 비용을 전혀 고려하지 않고, 오직 사적인 편익과 손실만을 고려하여 의사결정을 하기 때문이다.

따라서 사회적 후생을 극대화하도록 노력하는 것이 정부의 역할이기 때문에 정부가 시장에 개입하여 소음 피해의 외부비용(SDC)을 관련 원인자(교통수요자)에게 부담하도록 하면 교통행위로 인한 사적 한계 손실인 ML_P 는 외부비용(SDC) 만큼 상향 이동하여 사회적 한계손실인 ML_S 가 되며, 그 결과 사적 시장에서 균형은 사회적 한계손실(ML_S)과 한계편익(MB_S)가 교차하는 E_S 에서 발생되어, 결과적으로 사회적 후생이 극대화될 수 있다.

2.3 소음피해의 외부비용 추정의 필요성

소음 노출로 인한 피해의 외부비용을 내부화하는 대표적인 방법으로는 다음 세 가지를 고려할 수 있다.

첫째, 경제적 유인제도로써, 소음 노출로 인해 초래되는 외부비용(SDC)을 조세(일명 소음세) 또는 부담금 형태로 부과하는 방법이다. 예를 들어, 사적 한계 손실과 사회적 한계 손실이 일치하면($ML_P = ML_S$), 교통수요자의 소음 노출을 유발하는 교통행위에 대한 최적비용은 이 두 곡선이 교차하는 Q_S 로 결정되고, 사회적 후생은 사적 균형상태보다 빚금 친 $\Delta E_S AEP$ 만큼 증가하여 극대화된다.

둘째, 규제제도를 활용하는 방법으로, SDC 만큼의 외부비용이 소요되도록 소음 배출에 대한 규제를 실시하는 방법이다. 예를 들어, Q_P 수준에서 규제 준수 비용이 AE_P 만큼 소요되도록 규제기준이 설정되고 시행된다면, 소음피해의 외부비용은 교통수요자에게 전부 전가되어 소음은 사회적 측면에서 최적수준으로 발생하게 될 뿐만 아니라, 관련 사회적 후생도 극대화된다. 이는 현재 시행 중인 「소음진동관리법」 상의 소음·진동배출허용기준 등이 여기에 해당한다고 볼 수 있다. 그러나 현실은 교통소음이 심각한 사회문제의 하나로 부각되고 있으며, 이는 현재의 교통소음 관련 규제가 외부비용을 충분히 내부화하지 못하고 있음을 반증한다. 즉, 현재의 교통소음 규제제도 하에서 교통수요자에게 전가된 소음피해의 외부비용은 AE_P 보다 감소하게 됨에 따라, 현행 규제 하에서의 균형은 $E_S E_P$ 선상의 특정 한 점에서 이루어질 것이다. 이와 같이 새로운 균형에서의 교통행위의 양은 Q_S 와 Q_P 사이에

서 결정되고, 비용 또는 수익은 C_S 와 C_P 사이에서 결정될 것이다. 최종적으로 사회적 후생손실은 $\Delta E_S AEP$ 보다는 작지만 여전히 존재하게 되어 사회적 후생극대화에 실패하게 된다. 여기서, 후생손실(deadweight loss)이란 경제학적으로 균형이 최적상태가 아닐 때 발생하는 효율성 상실분을 의미하며, 대체적으로 세금 부과나 독점, 가격상한제 등으로 인해 발생한다.

셋째, 앞에서 언급한 경제적 유인제도와 규제제도를 적절하게 결합(policy mix)하는 방법이다. 교통소음 노출로 인한 피해의 외부비용 중 일부는 소음 규제를 통해 내부화하되, 내부화하지 못한 잔여분은 조세나 부담금 등 경제적 유인제도를 통해 내부화하는 방안이다. 이는 소음 규제를 기본으로 하되, 경제적 유인제도를 보조적인 수단으로 활용하여 규제제도의 한계점을 보완하는 방식으로, 환경정책의 일반적인 추세와도 부합한다.

이와 같이 소음세 등의 조세를 부과하여 경제적 유인제도를 강화 및 확대하거나, 소음배출 규제를 강화하거나 또는 경제적 유인제도와 규제제도를 동시에 시행하는 등 어느 것을 택하더라도, 가장 우선되어야 하는 것은 교통소음으로 인해 초래되는 소음피해의 외부비용을 정확하게 추정하는 것이다. 그렇지 않고서는 사회적으로 바람직하고 실행 가능한 세율이나 규제의 강도를 정할 수 없기 때문이다.

또한, 소음 규제와 경제적 유인수단을 동시에 시행하는 정책결합의 경우에도 중복규제, 이중규제 또는 과도한 규제에 대한 논란을 잠식시키기 위해서 교통소음의 외부비용을 정확하게 추정하는 것이 요구된다. 이는 각각의 정책수단이 내부화하는 외부비용의 합이 교통소음으로 초래된 총외부비용을 초과하지 않도록, 규제의 강도와 세율을 설계하면 되기 때문이다.

나아가, 교통소음을 저감하기 위해 기존 규제를 강화하거나 관련 제도를 신규 도입할 경우에도 관련 타당성(예를 들어, 경제성)을 검증하기 위해서 교통소음의 외부비용 추정을 필요로 한다. 이는 신규 제도 시행으로 교통소음이 저감될 경우, 그 편익을 계산하기 위해서는 교통소음 피해의 외부비용이 필수적으로 요구되기 때문이다.

이외, 소음피해 보상금액을 산정하는 데 있어서도 소음의 평균외부비용이 필수적으로 요구된다. 이는 보상금액의 최대치가 측정된 소음수준과 평균외부비용을 곱한 것이 되기 때문이다.

3. 소음피해의 외부비용 추정 사례(EC)

3.1 개요

국내의 경우에는 소음, 특히 교통소음 피해의 외부 비용 추정 관련 연구가 아직은 초기단계에 불과한 데 반하여, 유럽의 경우에는 오래전부터 관련 연구가 활발하게 진행되고 축적되어 왔다. 또한, 개별 국가에 대한 다양한 연구를 집대성하여, 유럽연합 전체 차원에서 보고서를 주기적으로 발표한 것이 매우 특징적이라고 할 수 있다.

EC는 2008년 대기오염, 기후변화, 소음, 사고, 혼잡 요인을 주요 대상으로 하여, 개별 회원국 및 전체에 대한 교통수단의 외부 한계비용 추정결과 보고서를 발간하였다(handbook on external costs estimation)⁽¹⁾. 이 연구는 주로 유럽 국가 내에서 수행된 선행 연구를 기초로 하여 작성되었으며, 30명 이상의 전문가 패널에 의해 검토되었다.

또한, 이 보고서는 이후 2014년에 한 차례 갱신을 하여(update of the handbook on external costs of transport)⁽²⁾, 외부비용 추정 대상부문으로 교통 인프라 손상비용을 추가하였으며, 주요 내용은 2008년 EC의 연구보고서⁽¹⁾와 마찬가지로 교통의 외부 한계비용을 추정하였다.

최근 2019년에는 2014년도 갱신 이후 새로 추가된 정보와 방법론의 개선 등을 모두 반영하여 신규 발간하였다(handbook on the external costs of transport)⁽³⁾이다. 이 보고서에서는 2016년 기준으로 기존 EU 회원국 28개국에서 전체 회원국으로 대상을 확대하였으며, 한계외부비용 뿐만 아니라 총비용, 평균비용까지 추가로 고려하였다.

이 논문에서는 교통수단의 외부비용 중 소음에 국한하여, 상기 EC에서 가장 최근에 발간된 2019년도 연구보고서⁽³⁾의 주요내용을 중심으로 소음피해의 외부 비용 추정에 관한 선진사례를 조사·분석하고자 한다.

3.2 범위

교통소음의 범위는 도로와 철도를 대상으로 하였다. 이외 내륙수로와 해운의 경우 대체로 인구밀도가 낮은 지역에서 운항되고, 소음발생 인자가 낮기 때문에, 소음비용 추정에서는 제외하였다.

교통소음에 장기간 빈번하게 노출되면 수많은 건

강상의 문제가 우려되는 바, 교통소음 노출과 인체건강 상 문제와의 인과관계가 밝혀졌거나 유용한 근거가 가능한 건강상의 문제는 성가심(annoyance)과 건강위해(health endpoints)로 구분하였다.

성가심은 타인을 성가시게 하거나, 실망, 분노, 탈진, 수면장애 등을 유발할 수 있으며, 건강위해로 EC의 연구보고서⁽³⁾에서 고려하고 있는 대표적인 질환은 허혈성 심장질환, 뇌졸중, 치매, 고혈압 등이다. 여기서, 수면장애는 건강위해의 주요한 요소이지만, 비용 추정 시 중복성을 피하기 위해 성가심에는 포함하지만, 건강위해에서는 제외하였다.

이외, 유방암이나 우울증도 소음 노출로 인한 인체 건강 반응으로 주장하는 자료들이 있지만, 아직은 단편적이어서 제외한다. 또한, 생산성 감소, 생태계 훼손, 진동 등도 자료의 한계와 유용한 근거 부족 등으로 비용 산정에서는 제외한다.

3.3 소음피해의 총외부비용과 평균외부비용

소음피해의 총외부비용과 평균외부비용은 Fig. 2와 같이 bottom-up 방식으로 계산된다.

한 국가의 교통기관 당 소음의 총외부비용은 해당 교통기관별 소음 노출인구수와 노출인구수 대비 소음피해 비용을 곱하여 산출한다.

여기서, 교통기관은 도로, 철도를 대상으로 하며, 교통기관별로 산출된 총비용을 모든 교통기관에 대해 합산하면, 해당 국가의 연간 교통소음 피해의 총외부비용이 된다.

노출인구수는 50 dB(A) 기준, 5 dB(A) 간격으로

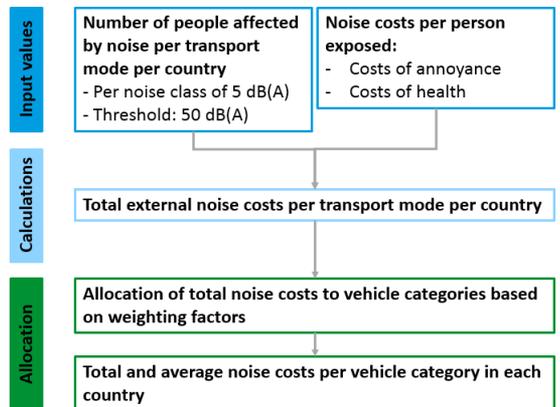


Fig. 2 Methodology total and average noise costs

단계를 구분하여 계산한다. 이 자료는 기본적으로 각 국가가 EC에게 보고하는 국가별 데이터를 근거로 한다. 데이터가 보고되지 않거나 누락되는 경우는 유럽 환경청(EEA, european environment agency)의 소음 지도를 활용하여 보정한다.

노출인구수 대비 소음피해 비용은 성가심 비용과 건강위해 비용으로 구성된다. 여기서, 성가심 비용은 지불의사(WTP) 접근법 중 진술선호법(stated preference method)을 근간으로 하는 Bristow 등⁽¹¹⁾의 연구결과를 적용한다.

또한, 건강위해 비용은 크게 질병으로 인한 고통 또는 불편함 등 개인 자신에 대한 효과와 의료비용 등 사회에 대한 효과로 구분되는 바, 개인 자신에 대한 효과는 VSL이나 VOLY를 통해 산정된다. 그리고 사회에 대한 효과는 질병으로 인한 생산성 감소비용과 작업 복귀에 소요된 날들의 손실비용으로, VOLY의 8%를 적용한다.

성가심 비용과 건강위해 비용을 합산하면 Table 1과 같이 소음 노출인구수 대비 dB당 연간 소음피해 비용, 즉, 교통소음(도로, 철도) 피해의 외부비용 원단위가 산출된다. 여기서, 외부비용 원단위는 교통기관별로 소음에 노출된 한사람에게 dB당 연간 발생하게 되는 성가심 비용과 건강위해 비용을 합한 것이므로, 교통기관별 소음피해의 외부비용 중 가장 기본이 되는 교통소음의 원단위라고 할 수 있다.

교통기관별 소음 피해의 총외부비용은 해당 기관에 속하는 교통수단별 소음 가중치에 의거하여, 교통수단별 총외부비용으로 할당된다. 예를 들어, 도로교통의 경우, 해당 도로를 주행하는 차종별로 트럭과 같은 화물차에서 발생하는 소음은 일반 승용차에서

발생되는 소음보다 더 큰 성가심을 유발할 가능성이 높기 때문에, 이를 반영하기 위해서는 Table 2와 같이 교통수단별 가중치가 요구된다.

Table 2에서 교통수단별 소음에 대한 가중치 특성 분석 결과는 다음과 같다.

도로교통에서는 시속 50 km 기준의 도시지역 도로와 시속 80 km 이상의 도로로 구분하여 가중치를 상이하게 적용한다. 일반 승용차의 휘발유 차량에 대한 가중치 1.0 대비 버스나 대형 화물차량(HGV)은 9.8배 이상 높게 가중치가 설정되어 있어, 소음피해 외부비용이 승용차에 비해 상대적으로 더 많이 발생할 것으로

Table 2 Weighting factors for noise for different vehicle types

	Urban (50 km/h)	Other roads (80 km/h or higher)
Road		
Passenger car	1.0	1.0
Petrol	1.0	1.0
Diesel	1.2	1.0
Motorcycle	13.2	4.2
LCV*	1.5	1.2
Bus/coach	9.8	3.3
HGV** 3.5 t-7.5 t	9.8	3.0
HGV 7.5 t-16 t	13.2	4.2
HGV 16 t-32 t	14.9	4.8
HGV > 32 t	16.6	5.5
Rail		
Passenger train	1	
Freight train	4	

* Light commercial vehicle

** Heavy goods vehicle

Table 1 Environmental price of traffic noise for the EU28

(unit: €2016/dB/person/year)

L _{den} (dB(A))	Road			Rail		
	Annoyance	Health	Total	Annoyance	Health	Total
50-54	14	3	17	14	3	17
55-59	28	3	31	28	4	32
60-64	28	6	34	28	6	34
65-69	54	9	63	54	9	63
70-74	54	13	67	54	13	67
≥ 75	54	18	72	54	18	72

예측할 수 있다. 또한, 도시지역 오토바이 소음에 대한 가중치는 13.2로 대형 화물차량(HGV 7.5 t~16 t)과 동일한 가중치로, 버스(9.8)보다 높으며 승용차 대비 약 13배 높은 수치에 해당한다. 이는 우리나라와 같이 최근 배달 오토바이 증가로 인한 도시소음 문제를 더 심각하게 유발할 수 있으며, 이에 따라 더 많은 소음피해 외부비용이 요구된다.

한편, 철도 운영 시 소음 피해 가중치는 설계속도가

Table 3 Total and average noise costs for land-based modes for the EU28

Transport mode	Total costs	Average costs	
		€-cent /pkm	€-cent /vkm
Passenger transport	billion €		
Passenger car	26.2	0.6	0.9
Petrol	13.8	0.5	0.8
Diesel	12.4	0.6	0.9
Motorcycle	14.8	9.0	9.4
Bus	0.8	0.4	8.0
Coach	0.9	0.2	4.7
Total passenger road	42.6		
High speed passenger train	0.4	0.3	97
Passenger train electric	2.6*	0.8	106
Passenger trail diesel	0.9	1.4	81
Total passenger rail	3.9		
Total passenger transport	46.5		
Freight transport	billion €	€-cent /tkm	€-cent /vkm
LCV	5.4	1.6	1.1
HGV 3.5 t-7.5 t	1.0	1.2	4.0
HGV 7.5 t-16 t	1.8	0.8	5.7
HGV 16 t-32 t	3.0	0.4	6.5
HGV > 32 t	3.2	0.4	7.2
Total freight road	14.5		
Freight train electric	2.1	0.6	359
Freight train diesel	0.4	0.4	201
Total freight rail	2.4		
Total freight transport	17.1		
Total road, rail	63.6		

반영된 노선의 종류와 관계없이, 여객 열차(passenger train)와 화물 열차(freight train)로 구분한다. 도로와 마찬가지로 일반 여객 열차의 소음 가중치를 기준으로, 화물 열차는 동일 소음레벨 대비 더 높은 성가심을 유발할 수 있어, 4배 높은 소음 가중치를 적용한다.

마지막으로, 각 교통수단별 소음 피해의 총외부비용을 교통실적, 예를 들어, Table 3과 같이 pkm, tkm, vkm 등 연간 주행거리로 나누면 교통수단별 소음피해의 평균외부비용을 산정할 수 있다.

여기서, pkm, tkm, vkm는 주행거리를 나타내는 교통실적 단위으로써, 각각 한 사람을 1 km 이동한 거리, 1톤을 1 km 이동한 거리, 차량 1대를 1 km 이동한 거리를 나타낸다.

3.4 소음피해의 한계외부비용

소음피해의 한계외부비용은 상기 평균외부비용과 여러 가지 면에서 다르다. 주로 지역요소가 소음 수준이나 관련 피해, 성가심 수준에 영향을 미치기 때문이다. 대표적인 지역요소로는 인구밀도, 배경소음 수준, 소음발생 시점 등이 있으며, 주요 내용은 다음과 같다.

인구밀도의 경우, 우리나라와 같이 인구밀도가 높은 나라에서는 도로변 공동주택 등 소음 배출원에 인접해서 많이 거주할수록 성가심 반응이 높아지고, 이에 따라 소음피해 한계비용은 더 증가할 것이다. 이를 반영하기 위해 지역을 인구밀도에 따라 도시, 준도시, 시골로 구분한다.

배경소음 수준은 기존 교통수단 운영 시 소음 수준으로, 향후 교통량이나 대형(화물) 차량 혼입률, 운행 속도 등 소음영향인자 변경에 따른 소음피해 한계비용에 영향을 미친다. 즉, 배경소음 수준 이외 다른 조건이 동일하다면, 배경소음(기존 교통소음) 수준이 높을수록 교통량 증가 등으로 인해 소음원에서의 소음이 높아지더라도 소음피해 한계비용 증가율은 낮을 것이다. 이와 같은 특성을 반영하기 위해 배경소음 수준을 교통 상황에 따라 체중(dense)과 원할(thin)로 구분한다. 이는 교통 체중이 지속될수록 배경소음 수준은 높다는 것을 전제로 한다.

이외, 소음은 하루 24시간 중 발생 시점에 따라 영향 정도가 다르다. 즉, 동일 수준의 소음이라도 주휴식과 수면을 취해야 하는 야간에 피해가 더 큰 것으로 보고되고 있다. 이를 반영하기 위해 소음 발생

Table 4 Marginal noise costs for road transport

(unit: €-cent(2016)/pkm, tkm or vkm)

Road	Time of the day	Traffic situation	Urban	Suburban	Rural
Passenger transport(€-cent/pkm)					
Passenger car	Day	Dense	0.5	0.03	0.004
		Thin	1.1	0.07	0.009
	Night	Dense	0.9	0.05	0.007
		Thin	2.1	0.13	0.015
Motorcycle	Day	Dense	7.4	0.4	0.06
		Thin	18.0	1.2	0.14
	Night	Dense	13.5	0.8	0.11
		Thin	32.7	2.1	0.24
Bus	Day	Dense	0.5	0.03	0.004
		Thin	1.3	0.08	0.010
	Night	Dense	1.0	0.05	0.008
		Thin	2.4	0.15	0.018
Coach	Day	Dense	0.3	0.02	0.002
		Thin	0.7	0.04	0.005
	Night	Dense	0.5	0.03	0.004
		Thin	1.2	0.08	0.009
Light commercial vehicles(€-cent/vkm)					
LCV	Day	Dense	1.7	0.1	0.01
		Thin	4.1	0.3	0.03
	Night	Dense	3.0	0.2	0.03
		Thin	7.4	0.5	0.06
Freight transport(€-cent/tkm)					
HGV average	Day	Dense	0.7	0.04	0.01
		Thin	1.6	0.11	0.01
	Night	Dense	1.2	0.07	0.01
		Thin	3.0	0.19	0.02
HGV 3.5 t-7.5 t	Day	Dense	1.5	0.08	0.01
		Thin	3.6	0.23	0.03
	Night	Dense	2.7	0.15	0.02
		Thin	6.5	0.42	0.05
HGV 7.5 t-16 t	Day	Dense	0.7	0.04	0.01
		Thin	1.8	0.11	0.01
	Night	Dense	1.3	0.07	0.01
		Thin	3.2	0.21	0.02
HGV 16 t-32 t	Day	Dense	0.6	0.03	0.00
		Thin	1.3	0.09	0.01
	Night	Dense	1.0	0.06	0.01
		Thin	2.4	0.16	0.02
HGV > 32 t	Day	Dense	0.6	0.03	0.00
		Thin	1.4	0.09	0.01
	Night	Dense	1.1	0.06	0.01
		Thin	2.6	0.17	0.02

Table 5 Marginal noise costs for rail transport

(unit: €-cent(2016)/pkm and tkm)

Rail	Time of the day	Traffic situation	Metro politan	Urban	Rural
Passenger transport(€-cent/pkm)					
High speed train	Day	Dense	0.13	0.07	0.01
		Thin	0.21	0.12	0.02
	Night	Dense	0.23	0.13	0.02
		Thin	0.38	0.21	0.03
Conventional passenger train	Day	Dense	0.45	0.20	0.03
		Thin	0.74	0.33	0.05
	Night	Dense	0.82	0.36	0.05
		Thin	1.35	0.59	0.09
Freight transport(€-cent/tkm)					
Freight train	Day	Dense	0.13	0.05	0.01
		Thin	0.17	0.08	0.01
	Night	Dense	0.24	0.09	0.01
		Thin	0.39	0.15	0.02

시점을 주간과 야간으로 구분한다.

최종적으로, 도로 및 철도에 대한 소음피해의 한계 외부비용은 2011년 CE/INFRA/ISI⁽¹²⁾와 2004년 INFRA/IWW⁽¹³⁾에서의 한계비용 계산 방법에 근거하며, Table 4 및 Table 5와 같다.

4. EC 추정치의 국내 적용 방안

4.1 국내 교통소음 피해의 외부비용 추정

국내에서 교통소음 피해의 외부비용에 대하여 교통기관별·교통수단별로 평균비용 및 한계비용을 상기 EC의 경우처럼 일관된 추정방법을 통하여 제시한 사례는 아직 찾아보기 어렵다. 교통소음 피해의 외부 평균비용 또는 한계비용 추정치는 교통소음을 유발하는 사업의 경제성 평가, 교통소음 피해액 산정 또는 환경세(소음세) 도입 등에 있어 매우 유용한 자료로 활용될 수 있다. 이는 교통소음 피해의 외부 평균비용 또는 한계비용에 대한 객관적·과학적 추정치가 없을 경우, 소음 관련 경제성 평가, 소음 피해액 산정, 환경세율 산정 등이 객관적·과학적 근거를 가지고 이루어질 수 없다는 것을 의미한다.

국내 연구자료를 근거로 한 추정치를 적용하는 것이 최선이나, 그것이 가능하지 않다면 차선책으로 EC의 추정치를 가치이전 방법(value transfer approach)을 통해 우리의 실정에 맞게 조정하여 활용하는 것도 고

Table 6 Environmental price of traffic noise for Korea

(unit: ₩/dB/person/year)

Lden dB(A)	Road			Rail		
	Annoyance	Health	Total	Annoyance	Health	Total
50-54	18 753	4019	22 772	18 753	4019	22 772
55-59	37 507	4019	41 525	37 507	5358	42 865
60-64	37 507	8037	45 544	37 507	8037	45 544
65-69	72 335	12 056	84 390	72 335	12 056	84 390
70-74	72 335	17 414	89 748	72 335	17 414	89 748
≥ 75	72 335	24 112	96 446	72 335	24 112	96 446

려해볼 수 있다.

여기서, 가치를 이전하는 방법은 1차 자료를 직접적으로 이전하는 방법과 메타분석을 통해 공통적인 이익함수를 추정하여 이전하는 방식으로 대별될 수 있다. 전자의 경우 적용이 단순하고 투명하여 현실 적용성에서 유리하다는 장점이 있다. 후자의 경우, 단순가치이전 보다 현실 설명력이 제고될 수 있다는 장점이 있는 반면에 충분한 정보 및 자료, 그리고 기존의 연구실적이 전제되어야 한다는 한계가 있다.

이와 같은 이유로 인해 EC의 연구보고서⁽³⁾에서는 단순 가치이전 방법 중에서도 소득조정조건부 단위 가치이전(unit value transfer under income adjustments)을 적극적으로 활용하였으며, 타 지역의 경우에도 이 방법을 권고하고 있다.

이 논문에서는 상기 EC 연구보고서의 추정치를 바탕으로, 소득조정조건부 단위 가치이전 방법을 통해서 식(3)과 같이 국내 교통소음 피해의 외부비용(WTP_{KR} , 평균비용 및 한계비용)을 추정하였다.

$$WTP_{KR} = WTP_{EC} (I_{KR}/I_{EC})^\epsilon \quad (3)$$

여기서, WTP_{EC} 는 EC의 외부비용 추정치이며, I 는 구매력 지수가 반영된 1인당 GDP(PPP-adjusted per capita GDP), ϵ 는 WTP 의 소득 탄력성이며, 하첨자 KR, EC는 각각 우리나라와 EC를 칭한다.

한편, WTP_{EC} 는 이 논문 3.3과 3.4에서 제시한 2016년 가격기준 EC의 평균비용 및 한계비용 추정치로, 이것을 2020년 국내 원화가격 기준으로 환산하기 위해서 2016~2020년 유효환율 평균값⁽¹⁴⁾ 1 302원을 적용하였다. 또한, I_{KR} 과 I_{EC} 는 2020년 세계은행

(World Bank)⁽¹⁵⁾기준으로 각각 \$42 251, \$41 504를 적용하였으며, WTP 에 대한 소득 탄력성(ϵ)은 EC 연구보고서⁽³⁾의 제안에 따라 0.8을 적용하였다.

최종적으로 2020년 기준 국내 교통소음 피해의 외부비용 원단위는 2019년도 EC 연구보고서⁽³⁾의 추정치를 가치이전 방법을 통해 상기 지수값을 적용한 결과, Table 6과 같다.

Table 6에 의하면 국내 교통소음 피해의 외부비용 원단위는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

첫째, 소음 수준이 높아질수록 성가심 비용과 건강 위해 비용 모두 증가하기 때문에 외부비용 원단위도 증가한다.

둘째, 도로나 철도 등 교통기관에 관계없이, 건강 위해 비용보다는 성가심 비용이 최소 4배 이상 더 높다.

(1) 교통소음 피해의 평균외부비용

가치이전 방법을 통해 2019년 EC 연구보고서⁽³⁾의 추정치를 우리나라의 것으로 전환한 교통소음(도로, 철도) 피해의 평균외부비용은 Table 7과 같다.

Table 7에 의하면 육상 교통수단의 경우, 소음피해의 평균외부비용은 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, 한 사람을 1 km 이동(pk)할 때 비용보다는 차량 1대를 1 km 이동(vkm)할 때 비용이 더 높으며, 그 차이는 대형차량일수록 더 커진다. 교통수단이 최소한 한 사람 이상을 운송한다는 점에서 볼 때, 동일한 거리를 사람 기준으로 했을 때보다 교통수단 자체가 이동하면서 유발하는 소음이 더 크기 때문에 상대적으로 비용이 더 높게 추정되는 것이다.

둘째, pk 기준으로 평균비용이 가장 높은 것은 이

Table 7 Average noise costs for land-based modes for Korea

Transport mode	Average costs	
	₩/pkm	₩/vkm
Passenger transport		
Passenger car	8.04	12.06
Petrol	6.70	10.72
Diesel	8.04	12.06
Motorcycle	120	125
Bus	5.36	107
Coach	2.68	62.96
High speed passenger train	4.02	1299
Passenger train electric	10.72	1419
Passenger train diesel	18.75	1085
Freight transport	₩/pkm	₩/vkm
LCV	21.43	14.73
HGV 3.5 t-7.5 t	16.07	53.58
HGV 7.5 t-16 t	10.72	76.35
HGV 16 t-32 t	5.36	87.07
HGV > 32 t	5.36	96.45
Freight train electric	8.04	4808
Freight train diesel	5.36	2692

륜차로 추정되었다. 이는 운송인원이 2인 이내로, 인원수 대비 소음은 상대적으로 더 크기 때문이다. 이위, 이륜차를 제외하면 교통수단별 평균비용은 사람 기준으로 4원/pkm ~ 20원/pkm으로 추정되며, 교통수단별 차이는 크지 않다. 마지막으로, 차량(vkm) 기준으로 볼 때는 교통수단별 평균비용은 최소 12원/vkm(승용차) 내외에서 최대 4808원/vkm(전기 화물기차)로 교통수단별 격차가 매우 큰 것으로 추정되었다.

(2) 교통소음 피해의 한계외부비용

국내 교통소음 피해의 한계외부비용에 대해서도 평균외부비용 추정과 동일한 방법으로 가치이전하면 Table 8, Table 9와 같다.

Table 8과 Table 9에서 알 수 있는 바와 같이, 교통소음 피해의 한계외부비용은 당시의 교통상황에 크게 영향을 받는 것으로 분석되었다. 예를 들어, 도로 등

Table 8 Marginal noise costs for road transport for Korea

Road	Time of the day	Traffic situation	Urban	Suburban	Rural
Passenger transport(₩/pkm)					
Passenger car	Day	Dense	6.70	0.40	0.05
		Thin	14.73	0.94	0.12
	Night	Dense	12.06	0.67	0.09
		Thin	28.13	1.74	0.20
Motorcycle	Day	Dense	99.13	5.36	0.80
		Thin	241.12	16.07	1.88
	Night	Dense	180.84	10.72	1.47
		Thin	438.03	28.13	3.21
Bus	Day	Dense	6.70	0.40	0.05
		Thin	17.41	1.07	0.13
	Night	Dense	13.40	0.67	0.11
		Thin	32.15	2.01	0.24
Coach	Day	Dense	4.02	0.27	0.03
		Thin	9.38	0.54	0.07
	Night	Dense	6.70	0.40	0.05
		Thin	16.07	1.07	0.12
Light-commercial vehicles(₩/vkm)					
LCV	Day	Dense	22.77	1.34	0.13
		Thin	54.92	4.02	0.40
	Night	Dense	40.19	2.68	0.40
		Thin	99.13	6.70	0.80
Freight transport(₩/tkm)					
HGV average	Day	Dense	9.38	0.54	0.13
		Thin	21.43	1.47	0.13
	Night	Dense	16.07	0.94	0.13
		Thin	40.19	2.55	0.27
HGV 3.5 t-7.5 t	Day	Dense	20.09	1.07	0.13
		Thin	48.22	3.08	0.40
	Night	Dense	36.17	2.01	0.27
		Thin	87.07	5.63	0.67
HGV 7.5 t-16 t	Day	Dense	9.38	0.54	0.13
		Thin	24.11	1.47	0.13
	Night	Dense	17.41	0.94	0.13
		Thin	42.86	2.81	0.27
HGV 16 t-32 t	Day	Dense	8.04	0.40	0.00
		Thin	17.41	1.21	0.13
	Night	Dense	13.40	0.80	0.13
		Thin	32.15	2.14	0.27
HGV > 32 t	Day	Dense	8.04	0.40	0.00
		Thin	18.75	1.21	0.13
	Night	Dense	14.73	0.80	0.13
		Thin	34.83	2.28	0.27

Table 9 Marginal noise costs for rail transport for Korea

Rail	Time of the day	Traffic situation	Metropolitan	Urban	Rural
Passenger transport(₩/pkm)					
High speed train	Day	Dense	1.74	0.94	0.13
		Thin	2.81	1.61	0.27
	Night	Dense	3.08	1.74	0.27
		Thin	5.09	2.81	0.40
Conventional passenger train	Day	Dense	6.03	2.68	0.40
		Thin	9.91	4.42	0.67
	Night	Dense	10.98	4.82	0.67
		Thin	18.08	7.90	1.21
Freight transport(₩/tkm)					
Freight train	Day	Dense	1.74	0.67	0.13
		Thin	2.28	1.07	0.13
	Night	Dense	3.21	1.21	0.13
		Thin	5.22	2.01	0.27

교통수단 주변으로 거주인구가 밀집될수록, 주간보다는 야간에, 그리고 교통흐름이 원활할수록 추가 소음 피해에 대한 한계외부비용은 더 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 도시지역의 경우, 소음피해의 한계외부비용은 교통흐름이 혼잡한 주간에 가장 낮고, 교통흐름이 원활한 야간에 가장 높다.

지금까지 살펴본 교통소음 피해의 외부 평균비용과 한계비용을 승객용 도로교통 위주로 비교해 보면 다음과 같다. 단, 교통소음이 주로 문제시되는 곳이 인구밀집지역이라는 점을 감안하고, 한계비용의 경우에는 비교의 편이를 위해 비교 대상을 도시지역으로 국한한다. 이 경우 교통소음 피해의 한계비용이 평균비용보다 낮은 것은 교통흐름이 복잡한 주간뿐이며, 교통흐름이 원활한 주간과 야간의 어떤 경우에도 한계비용은 평균비용보다 높다. 이는 평균비용이 증가하는 구간에서는 한계비용이 평균비용보다 항상 높게 나타나는 경제이론과 부합한다.

4.2 활용방안

앞서 교통소음 피해의 외부비용에 대한 EC 보고서⁽³⁾의 추정치를 바탕으로 하여, 가치이전 방법을 통해 2020년 기준 국내 교통소음 피해의 외부비용 원단위를 추정하고, 최종적으로 평균외부비용 및 한계외부비용을 산정하였다.

Table 10 External noise costs by traffic modes in Korea(in case of road 58 dB(A), rail 60 dB(A))

		Road	Rail
Environmental price (₩/dB/p/yr)	Annoyance	37 507	37 507
	Health	4019	8037
	Total	41 525	45 544
Noise costs per person/year (₩/p/yr)	Annoyance	2 175 406	2 250 420
	Health	233 102	482 220
	Total	2 408 450	2 732 640
Noise costs per person/month (₩/p/month)	Annoyance	181 284	187 535
	Health	19 425	40 185
	Total	200 704	227 720

국내 교통소음 피해의 외부비용 원단위는 도로, 철도 등 교통기관별로 5 dB 간격의 교통소음에 대한 성가심 및 건강위해 비용을 연간·인당·dB 단위로 산출한 것이다. 이에 특정 교통기관에 대한 평균적인 소음 수준과 노출인구가 알려진다면, 연간 총 소음피해 비용을 추정할 수 있다. 따라서 이러한 비용 추정치는 특정 교통기관이 주 소음원이 되는 관련 사업의 경제성 평가 또는 관련 사업으로 인한 소음피해 비용 추정 및 피해보상금 산정에 유용하게 활용될 수 있다.

예를 들어, 도로의 경우 야간 시간대 소음기준인 58 dB(A) 적용 시 소음피해의 외부비용 원단위는 Table 6에 따라 성가심 비용 37 507(원/dB/인/년), 건강위해 비용 4019(원/dB/인/년)을 합한 41 525(원/dB/인/년)으로 나타난다. 또한, 철도의 경우 야간 소음기준인 60 dB(A) 적용 시 소음피해의 외부비용 원단위는 Table 6에 따라 성가심 비용 37 507(원/dB/인/년), 건강위해비용 8037(원/dB/인/년)을 합한 45 544(원/dB/인/년)으로 나타난다.

상기 소음피해의 외부비용 원단위에 적용하고자 하는 소음기준(도로 58 dB(A), 철도 60 dB(A))을 곱해 주면, Table 10과 같이 각 소음원별 노출인구 1인에 대한 연간 소음피해 비용이 도로 2 408 450(원/인/년), 철도 2 732 640(원/인/년)이 되고, 이를 12로 나누면 노출인구 1인에 대한 월간 소음피해 비용은 도로교통이 200 704(원/인/월), 철도 227 720(원/인/월)으로 추정된다.

이외, 특정지역의 교통기관별 연간 총 소음 피해 비용은 앞서 구한 1인당 연간 소음피해 비용에 특정

지역의 교통기관별 소음 노출인구수를 곱하여 추정할 수 있다.

Table 10에서 보는 바와 같이, 야간 시간대 소음기준의 경우 교통기관별 연간 또는 월간 소음피해 외부비용은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

첫째, 도로보다는 철도의 소음 피해비용이 더 높게 추정되었다. 이는 야간 시간대 소음기준이 철도가 도로보다 2 dB(A) 더 완화되어 있기 때문이다.

둘째, 성가심 비용이 건강위해 비용보다 최소 4.6배 더 높게 추정되었다. 이는 건강위해 비용에 포함되는 질병이 소음 노출과의 직접적인 인과관계가 분명하게 밝혀진 특정 몇 개의 질병으로 한정된 것이 영향을 미친 것으로 판단된다.

마지막으로, 1인당 월간 소음피해 외부비용은 환경부 중앙환경분쟁조정위원회의 배상액 기본수준인 1인당 월 14만 5000원 대비 도로는 1.4배, 철도는 1.6배 더 높게 추정되었다. 이는 향후 적정 배상액 검토 시 기초자료로 활용할 수 있다.

교통소음 피해의 평균외부비용은 교통수단별 교통실적에 대한 단위당 소음비용을 나타낸다. 이러한 평균외부비용은 소음피해 외부비용을 교통수단별로, 예를 들어, 도로교통의 경우 승용차, 버스, 트럭 등으로, 승용차는 휘발유, 경유 차량 등으로 세분화하여 살펴보고자 할 때 유용한 지표이다. 또한, 세분화하지 않고 교통기관별로 전체에 대한 외부비용만 추정하고자 할 때는 앞서 언급한 교통소음 피해의 외부비용 원단위 지표로 가능하다.

교통수단별 소음피해의 평균외부비용을 교통실적, 예를 들어, 연간 주행거리(km, vkm 등)와 곱하면 해당 교통수단의 연간 소음피해의 총외부비용이 되고, 이를 모든 교통수단에 대해 합산하면 교통부문의 연간 총 소음피해비용을 추정할 수 있다. 그리고 이를 교통기관별·소음수준별 노출인구로 나누어주면, 앞서 설명한 교통소음 피해의 외부비용 원단위도 추정할 수 있다.

교통수단별 소음피해의 평균외부비용은 총외부비용을 바탕으로 top-down 방식을 통해 산출된 값이라는 것에 주목할 필요가 있다. 즉, 앞서 설명한 교통소음 피해의 외부비용 원단위와 노출인구를 곱해 교통기관별 총외부비용이 산출되면, 이를 해당 교통기관의 교통수단별 가중치를 반영하여 교통수단별로 총외부비용을 할당하고, 이를 교통실적, 즉 주행거리로 나누어주면 교통수단별 평균외부비용이 된다.

이 논문에서는 국내 교통소음 피해의 외부비용 원단위와 평균외부비용 추정 시, EC 보고서⁽³⁾를 바탕으로 가치이전방법을 통해 산정하였다. 이는 EC에서 적용한 교통수단별 가중치가 우리나라의 가중치와 동일하다는 것을 전제로 한 것이다. 그러나 만약 EC의 가중치가 국내의 가중치와 유의미한 차이를 보인다면, 국내 연구결과를 기반으로 한 가중치를 적용하되 top-down 방식과는 역순으로 bottom-up 방식을 통하여 교통부문 총 소음피해의 외부비용을 산출하고, 이를 교통모드별·소음 수준별 노출인구와 나누어 줌으로써, 국내 현실을 반영한 소음피해의 외부비용 원단위(원/dB/인/년)를 추정할 수 있다.

한계외부비용은 Fig. 1에서 설명한 바와 같이, 소음피해의 외부비용에 대한 내부화 측면에서 볼 때 경제적인 효율성을 극대화할 수 있는 가장 적합한 지표라고 할 수 있다. 이는 사회적 후생을 극대화하기 위해서 내부화해야 하는 소음피해의 외부비용이 한계외부비용이기 때문이다. 구체적인 내부화 수단으로 환경세(소음세)를 도입할 경우, 소음피해의 한계외부비용은 이론적·실질적으로 가장 적합한 지표가 될 수 있다.

5. 결 론

교통소음에 장기간 지속적으로 노출될 경우, 성가심이나 허혈성 심장질환, 뇌졸중, 고혈압 등의 건강위해가 초래되는 것으로 보고되고 있다. 이러한 피해는 교통수요자 자신뿐만 아니라 주변 타인에게 까지 영향을 미치지만, 교통수요자는 교통수단 이용의 직접비용만을 부담할 뿐, 소음 유발로 인한 사회 전체의 비용, 즉 교통소음의 외부비용은 부담하지 않는다. 교통소음으로 인한 사회 전반적인 피해를 최소화하기 위해 이와 같은 외부비용을 교통수요자에게 부담시키는, 즉, 교통소음 피해의 외부비용에 대한 내부화가 필요하며, 대표적인 수단으로는 소음규제 또는 환경세(소음세) 등이 있다. 또한, 실효성 있는 규제수준 또는 환경세율(소음세율)을 설정하는 데 있어 필수적인 기초자료가 교통소음 피해의 외부비용이다. 즉, 교통소음 피해의 외부비용에 대한 구체적이고 객관적인 추정치가 있어야 규제수단 또는 환경세 추진의 실효성 및 신뢰성을 담보할 수 있다.

그러나 교통소음 피해의 외부비용 추정에 대한 국내 연구는 아직 활발한 편이 아니다. 반면, 유럽의 경

우 오래 전부터 관련 연구가 활발하게 추진되고 연구 실적이 축적되어 왔으며, EC 차원에서 이를 집대성하여 공식적인 핸드북을 2008년부터 2014년, 2019년까지 총 세 차례 발간하였다. 특히, 2019년에 발간된 핸드북에서는 비용추정 방법론과 자료 등에 있어 2014년 이후 나타난 새로운 사실 및 증거를 보완하였으며, 이전까지 한계비용 추정에 머물던 것을 평균비용 추정까지 내용 및 범위를 확대하였다.

이에 이 논문에서는 EC 연구보고서⁽³⁾의 주요내용을 요약 분석한 후, 평균외부비용 및 한계외부비용에 대하여 유럽 28개국의 추정치를 대상으로 가치이전 방법을 통해 국내 교통소음 피해의 외부비용을 추정하였다. 추정 결과, 야간 소음기준인 도로 58 dB(A), 철도 60 dB(A) 적용 시, 1인당 연간 외부소음비용은 도로 2 408 450(원/인/년), 철도 2 732 640(원/인/년)이 되는 것으로 산정되었다.

한편, 평균외부비용은 교통실적과 곱해져 교통수단별 또는 교통기관별 소음피해로 인해 발생된 총외부비용이 된다. 이를 모든 교통기관별로 합산하면 연간 교통부문 소음으로 인한 총외부비용이 된다. 이와 같이 이 논문에서 산정한 평균외부비용 또는 한계외부비용은 향후 다양한 용도로 활용될 수 있다. 즉, 소음 피해 관련 사업의 경제성 평가 시 주요한 기초자료로 활용되며, 관련 사업의 소음 피해비용 산정, 적정 보상금 책정 시에도 활용될 수 있다. 또한, 한계외부비용은 환경세(소음세) 도입 시 적정 세율 책정에 필요한 기초자료로 활용될 수 있다.

이러한 다양한 활용성에도 불구하고 이 논문에서 제시한 국내 교통소음 피해의 외부비용 추정값이 국내 현실을 적정하게 반영하여 추정한 것이 아니라, EC의 추정치를 가치이전 방법을 통해 국내 추정치로 전환했다는 한계는 있다. 유럽과 우리나라가 교통수요 구조, 관습 및 문화, 인구구조, 소득수준 등이 비슷하다면 가치이전 방법은 유용한 수단이 될 수 있다. 다만, 이러한 변수들이 다를 수 있음에도 불구하고 국내 소득변수만을 반영하여 가치 이전하는 것은 현실점에서 이보다 더 나은 대안을 찾을 수 없다고 판단되기 때문이다.

이 논문에서는 국내 소득변수만을 반영하여 가치이전 하였으나, 향후 관련 연구결과가 지속적으로 축적되고 확보된다면 이익함수이전 또는 메타분석 등 함수 자체를 이전하는 방법을 시도할 필요가 있다.

References

- (1) Handbook on Estimation of External Cost in the Transport Sector, Maibach et al., 2008.
- (2) RICARDO-AEA, 2014, Update of the Handbook on External Costs of Transport, Report for the European Commission: DG-MOVE.
- (3) European Commission, Handbook on the External Costs of Transport(ver. 2019), 2019.
- (4) Park, S.-J. and Kim, K.-S., 2005, A Comparison of the External Costs of Automobile Noise on Property Value: The Cases of the Inner Circulation Road in Seoul and the Circulation Line 7 in Tokyo, Journal of Korea Planning Association, Vol. 40, No. 1, pp. 171~185.
- (5) Chang, J. S. and Kim, D.-J., 2013, Hedonic Estimates of Rail Noise in Seoul, Transportation Research Part D, Vol. 19, pp. 1~4.
- (6) Jung, D. and Chang, J. S., 2017, Valuing Traffic Noise Cost Based on the Damage Cost Approach, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 35, No. 4, pp. 292~306.
- (7) Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A., Fagiani, P., Hunt, A., De Jong, G. et al., 2006, Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO), Deliverable D5: Proposal for Harmonised Guidelines, IER, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany.
- (8) Lee, B. K., 2019, Cost-benefit Study Considering the Risk of Noise Exposure, Korea Environment Institute.
- (9) Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2013, Noise Pollution: Economic Analysis, <https://www.gov.uk/guidance/noise-pollution-economic-analysis> (accessed October 7, 2021).
- (10) Kang, K. K., Kim, K. M. and Park, Y. M., 2021, Economic Incentive System for Noise and Vibration Reduction, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 459~467.
- (11) Bristow, A. L., Wardman, M. and Chintakayala, V. P. K., 2015, International Meta-analysis of Stated Preference Studies of Transportation Noise Nuisance, Transportation, Vol. 42, No. 1, pp. 71~100.

(12) Ce, D. and Infrass, F., 2011, External Costs of Transport in Europe(Update Study for 2008).

(13) INFRAS; IWW: Schreyer, C. et al., 2004, External Costs of Transport: Update Study, International Union of Railways (UIC), Paris, FR.

(14) Economic Statistics System, <http://ecos.bok.or.kr> (accessed July 12, 2021).

(15) THE WORLD BANK, GDP Ranking, PPP Based, <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/gdp-rankin-g-ppp-based> (accessed July 12, 2021).



Kwang Kyu Kang received Ph.D. in Economics from State University of New York at Stony Brook in 1995. He currently works at Institute of Environment & Energy. He has interest on Economic Evaluation.



Jong Won Kim received Ph.D. in Economics from Hankuk University of Foreign Studies in 2015. He recently works at Yonsei University Graduate School of Legal Affairs. He has interest on Economic Evaluation.



Kyoung Min Kim received master's degree in Dept. of Energy and Environmental System Engineering from University of Seoul in 2010. He currently works in Korea Environment Institute. He has interest on the Environmental noise.



Young Min Park received Ph.D. degree from Kyoto University in 1996. He currently works in Korea Environment Institute. He has interest on the Environmental Impact Assessment.