

지역 특성을 고려한 차량 배출물질의 사회적 비용 추정 모형

이규진^{1*} · 최기주²

¹아주대학교 TOD기반 지속가능 도시교통연구센터, ²아주대학교 교통시스템공학과

A Model for Estimating Social Cost of Mobile Emission Considering Geographical and Social Characteristics

LEE, Kyu Jin^{1*} · CHOI, Keechoo²

¹Tod-based Sustainable City · Transportation Research Center, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

²Department of Transportation System Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

Abstract

This study proposed a model for estimating the unit value of social cost for mobile emission considering local geographical and social characteristics, together with a method to evaluate the air quality value. The model was built based on benefit transfer methods, the population density, and green space ratio of each area, which are reflected through independent variables. While applying the model, the unit value of social cost for mobile emissions in both densely populated areas of Seoul and Busan was found to be 18.68 times and 10.71 times higher than the national average, respectively. It is highly expected that this study can contribute to providing more reliable guidelines to decision makers when evaluating various green transportation policies and projects.

본 연구에서는 분석대상 지역의 특성을 고려한 차량 배출물질의 사회적 비용 원단위 추정 모형을 구축하였고, 이를 바탕으로 분석 대상지역의 대기질 가치를 평가하기 위한 방법론을 제시하였다. 구축 모형은 편익이전(Benefit Transfer)기법을 활용한 것으로, 각 지역의 인구밀도와 녹지율이 설명변수로 반영되었다. 본 모형을 적용한 결과, 인구가 밀집되어 있는 서울 지역과 부산 지역에 대한 차량 배출물질의 사회적 비용 원단위는 전국 평균치보다 각각 18.68배, 10.71배 높은 것으로 나타났다. 본 연구는 최근의 녹색교통 정책에 대한 타당성을 판단함에 있어서 보다 신뢰도 있는 결과 도출에 기여할 것으로 기대된다.

Key Words

Benefit Transfer, Function Transfer, Green Transportation, Mobile Emission, Valuation of Air Quality
편익이전, 함수이전, 녹색교통, 차량 배출물질, 대기질 가치

* : Corresponding Author

transjin@ajou.ac.kr, Phone: +82-31-219-3252, Fax: +82-31-219-3253

Received 30 May 2012, Accepted 29 August 2012

I. 서론

우리나라는 최근 성장 중심 개발로 인한 대기오염과 기후변화에 대응하기 위해 다양한 대기질 개선 정책을 시행하고 있다. 특히 자동차가 대기오염의 주범으로 인식되고 있는 만큼, 철도, BRT, 교통수요관리 등과 같은 녹색교통 수단과 정책은 사회적으로 큰 조명을 받고 있다. 그러나 녹색교통에 대한 사회적 요구와 달리, 녹색교통의 상당수는 타당성 평가 과정에서 타당성이 부족하다는 이유로 시행되지 못하고 있는 측면이 있다. 타당성 평가 방법은 상당기간 검증을 통해 그 실효성과 객관성을 인정받고 있으나, 최근 국가 및 사회적 패러다임이 기존 경제성장에서 녹색성장으로 변화되고 있는 것과 달리, 타당성 평가체계는 여전히 환경 친화성이 아닌 기존의 수송 효율성 중심으로 이루어지고 있는 한계가 있다.

녹색교통은 교통 개선 본연의 역할인 통행시간 감축 뿐 아니라 대기질 개선에 큰 목적을 두기 때문에 대기질 개선 평가에 대한 심도 있는 접근이 요구된다. 특히, 녹색교통 도입에 따른 대기질 개선 효과는 운전자(이용자)가 아닌, 주변 거주자와 건축물 등에 직접적인 영향을 주는 것이기 때문에 비이용자 편익으로 평가되어야 하지만, 현재 대기질 개선 편익은 통행시간, 운행비용 편익 등과 같이 이용자 편익으로 평가되고 있는 근본적인 문제가 내재되어 있다.

본 연구는 이러한 문제인식을 바탕으로 녹색교통에 의한 대기질 개선 평가의 객관성 향상을 목적으로, 대기질 개선 편익을 기존 이용자 편익이 아닌, 비이용자 편익으로 평가하기 위한 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 편익이전(Benefit Transfer)기법을 활용하여, 각 지역 특성에 부합하는 차량 배출물질의 사회적 비용 원단위 추정 모형을 구축하고, 해당 모형을 활용하여 분석 대상지역의 대기질 가치를 평가하기 위한 방법을 제시한다.

II. 편익이전 이론

1. 편익이전의 개념

편익이전(Benefit Transfer)은 실제 편익 가치 자료를 기본으로, 연구가 완료된 지역으로부터의 정보를 이용하여 가치 추정결과가 존재하지 않는 제한적인 지역의 가치를 평가하기 위한 방법론이다. 즉, 편익이전이란 현재

존재하는 정보나 지식을 새로운 상황 또는 환경에 이전, 사용하는 것을 총체적으로 일컫는 용어이다 (Desvousges et al., 1998).

편익이전은 1970년대 이후 미국에서 적용되었으며, 편익이전 기법의 적용은 꾸준히 증가하고 있다. 편익이전의 중요한 가정은 기존 연구된 지역의 가치 측정 연구에 대한 분석으로부터 연구 대상지역에 대한 가치를 충분히 추론할 수 있다는 것이다. 문헌적 평가를 실시하여 엄격하게 이루어진 편익이전을 적용한 결과는 해당지역의 직접적인 가치측정 조사보다 정확하지 못하지만 어떤 상황에서는 더 적합하게 적용될 수 있다. 또한 실제적으로 가치측정 조사를 추진하는 경우보다 편익이전을 적용하는 경우가 비용을 절약할 수 있다. Desvousges et al. (1992)은 가치측정에 대한 조사비용과 신뢰도 가치를 비교하였는데, 실제 표본 설문조사를 하지 않음으로 인한 비용절감 효과가 편익이전의 적용에 의한 오차의 가치보다 상대적으로 크다고 하였다 (Jeon et al., 2004).

2. 편익이전의 유형

편익이전이 어느 정도나 유용하게 사용될 수 있는지를 확인하고자 하는 시도가 외국 학자들에 의해 이루어진바 있다 (Boyle et al., 1992; Loomis, 1992; Downing et al., 1996). 이들 연구의 결과는 매우 상이하여 편익이전의 정당성을 인정하기도 하고, 이를 부정하기도 한다. 편익이전은 주로 자연환경자원에 대한 경제적 가치를 추정하기 위한 연구에 활용되었는데, Ahn et al. (2006) 연구에 따르면, 편익이전은 다음과 같이 크게 세 가지 방법으로 이루어진다.

첫 번째 방법은 가치이전(value transfer)이다. 이는 기존의 연구결과로부터 하나의 추정치를 이전하는 점 추정치 이전(single point estimate transfer)과 유사한 다수의 대상지에 대해 수행되었던 연구결과로부터 하나 이상의 추정치를 추출하고 이들의 중앙 대푯값(일반적으로 평균값)을 이전하는 평균값 이전(average value transfer)으로 구분할 수 있다. 점 추정치 이전은 단순히 보이지만 몇 가지 점에서 주의를 요한다. 우선 유효하면서도 신뢰성 있는 하나의 추정치를 선정하는 절차는 단순한 작업이 아니다. 점 추정치 이전이 이상적으로 이루어지려면 기존 연구된 지역과 연구 대상 지역 간의 가치 추정 대상과 평가주체가 되는 모집단의 특성이 동일해야 한다. 또한 점 추정치 이전은 하나의 선행연구로부터 하나의 추정치를 옮겨

오는 일대일 이전이므로 다른 유사한 선행연구로부터의 정보를 활용하지 못한다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위한 한 가지 방법은 다수의 유사한 선행연구로부터 가치 추정치를 그대로 가져오되, 그 중 낮은 추정치를 하한선으로, 가장 높은 추정치를 상한선으로 하여 편익이 전 값의 구간으로 제시하는 것이다. 평균값 이전은 이상치에 의해 크게 영향을 받을 수 있다는 사실에 유의해야 한다. 특히 표본 크기가 작을 때 이상치의 영향은 더욱 심각할 수 있다. 추출된 가치 추정치들이 정규분포를 가진다고 가정하면 평균값과 중앙값은 동일하며, 이러한 조건이 만족될 때 평균값 이전의 유효성이 확보된다고 볼 수 있다. 따라서 평균값 이전을 적용할 때는 평균값뿐만 아니라 중앙값도 함께 제시하는 것이 편익이전을 위해 추출된 가치 추정치들의 분포를 이해하는데 도움이 된다.

두 번째 방법은 함수이전(function transfer)이다. 편익척도를 직접 옮겨 오는 가치이전과 달리, 편익척도와 평가주체인 모집단이나 가치추정 대상의 상관관계를 기술한 함수 자체를 이전하는 방법을 의미한다. 즉, 가치를 이전할 대상지에서 가치추정에 활용된 편익 함수를 대상지에 적용하고 대상지의 특성을 대입하여 가치를 추정하는 방법이다.

세 번째 방법은 메타분석법(meta analysis)이다. 하나 이상의 유사한 대상지에 대하여 수행된 연구 결과들을 메타분석을 활용하여 통합·분석하고, 이를 바탕으로 가치를 추정하고자 하는 대상지에 적용, 그 가치를 추정하는 방법을 말한다. 주로 다중회귀분석 모델을 활용한 메타-회귀모델(meta-regression model)이 활용되고 있는데, 이는 식(1)과 같이 종속변수(지불의사금액)를 기존의 개별연구로부터의 요약 통계량으로 하고, 설명변수를 그 연구의 특성 및 데이터 특성 등으로 설정하여 회귀 분석하는 방법이다.

$$Y_i = f(\text{평가대상의 특성}_i, \text{평가지역의 특성}_i, \text{평가기법의 종류}_i) + \epsilon_i \quad (1)$$

메타분석법은 경제학 실증연구의 분석을 위해 특별히 고안된 방법이다(Stanley, 2001). 메타분석의 가장 큰 장점은 서로 상충되거나 상이한 연구일지라도 전체적인 결론을 도출하기 위해 모두 분석 대상에 포함되기 때문에 연구자의 자의적 판단을 피할 수 있다는 것이다. 단점으로는 어떤 형식으로부터든 공식적으로 발표된 연구만이 분석에 포함되는데서 오는 선택편이(selection bias)의 존재 가능성, 서로 비교할 수 없는 다른 성질의 연구결과가 분

석에 포함될 수 있는데서 오는 이질성(heterogeneity) 문제, 통계적 기법에 너무 의존하기 때문에 분석자재가 연구의 수를 연구의 질보다 더 중요시 여기게 된다는 점을 들 수 있다(Desvousges, 1992).

III. 기존 연구 고찰 및 차별성

1. 기존 연구 고찰

차량 배출물질의 비용, 즉 대기질의 가치 측정 연구는 1990년대부터 의학, 환경 분야에서 활발히 이루어지고 있으며, 1990년대 중후반에는 간접적인 측정법인 헤도닉 가격기법(HPM), 여행비용 접근법(TCM), 회피행동 분석법(ABM)에 의한 연구가 주로 수행되었다.

Lim et al. (1993)은 주택가격에 대해 HPM기법을 활용하여 서울시 대기질이 개선될 때의 편익을 추정하였다. 그 결과 대기질 변수와 주택가격간에 양의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났으며, 서울시 대기 중의 O₃ 농도가 0.03ppm에서 0.02ppm으로 개선될 경우 서울시민들이 지불하고자 하는 액수는 주택수명 30년, 할인율 8% 기준으로 가구 당 월평균 17,170원 정도인 것으로 조사되었다. 이를 연 단위로 환산하면 206,067원/가구/년이 된다.

Kim (1997)은 HPM을 활용하여 주택가격에 내재된 이산화황, 이산화질소에 대한 대기질 가격을 측정하였으며, 그 결과 내재된 대기질 가격은 295만원으로 조사되었으며, 이는 표본들의 주택가격이 평균 1억 9450만원임을 감안할 때 주택가격의 약 1.5%에 해당하는 값이다.

Eom (1998)은 ABM을 활용하여 아황산가스, 이산화질소, 오존오염으로 인한 대기오염이 호흡기질환 증상을 감소시키는데 대한 국내 소비자들의 지불의사액을 조사하였다. 그 결과 오존 감소를 위한 국내 소비자들의 1인당 월평균 지불의사액은 2,098원-2,832원이고 가구당 월평균 지불의사액은 7,951원-10,920원으로 조사되었다.

2000년도에는 가상시장접근법인 조건부가치추정법(CVM), 조건부순위접근법(CRM), 속성가치선택법(CE)을 활용한 연구와 물리적 연계법인 손해함수 접근법(DFM)을 활용한 연구 중심으로 수행되었다.

Yu et al. (1999)은 CE 기법에 근거하여 대기오염 물질(SO₂, NO₂, PM, CO, CO₂)이 먼지, 시정저리, 농업생산, 사망위험, 질병위험, 지구 온난화 등에 미치는 영향을 측정하였다. 대상지역은 대기오염물질이 누적되어 오존이나 미세먼지와 같은 오염물질의 농도가 규제허

용치를 종종 초과하는 서울지역에 한정하였다.

Shin (2002)은 DFM을 활용하여 대기오염으로 인한 급성 호흡기 질환의 경제적 비용을 추정하였다. 그 결과 이산화질소 농도가 10% 변화하면 전국적으로 급성 호흡기 질환 발생건수가 2주간 15,770건 변화하고 그로 인해 환자가 직접적으로 지불하는 의료비용은 8,800만 원인 것으로 제시하였다. 그리고 환자가 치료를 받기 위해 소요한 시간의 기회비용을 유직자만을 대상으로 고려할 경우 연간 57억 6천만원, 무직자까지 포함할 경우에는 연간 약 127억 2천만원에 이르는 것으로 나타났다.

The Korea Transportation Institute (2001)은 대기오염을 제외한 다른 여건은 지금 거주지와 이사할 거주지가 동일하다는 가정 하에, 현재 대기오염을 피하여 대기오염이 거의 없는 지역으로 이사하는 경우의 지불용의액을 주거 소유형태별로 분석하였다. 그 결과 자가일 경우 가구당 평균 지불의사액은 5,640만원, 표준편차는 9,293만원인 것으로 나타났다. 전세일 경우 가구당 평균 지불의사액은 2,650만원, 표준편차는 2,574만원으로 나타났다.

Rhee et al. (2001)은 3중 양분선택형 CVM에 의한 수도권 대기질의 편익가치를 추정하였으며, 그 결과 가구당 대기질에 대한 가치는 월 평균 16,667-16,153 원으로 나타났다.

Yu et al. (2003)은 CE 중 컨조인트 분석기법을 이용하여 서울시 대기오염 영향의 환경비용을 추정하였다.

최근에는 대기질 변화에 따른 건강상의 편익분석을 위해 개발된 모델인 BenMAP(Environmental Benefits Mapping and Analysis Program)을 이용한 연구가 주로 진행되고 있다.

Park et al. (2006)은 BenMAP을 이용하여 수도권의 대기질 건강편익을 추정하였다. 해당 프로그램의 입력 자료로 편익이전 기법과 조건부 가치측정법에 의한 경제적 가치를 활용하였으며, 분석 결과 인천시와 비교해 서울시의 대기질에 대한 개선 효과 편익은 약 5배의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

Korea Environment Institute (2008)은 BenMAP을 이용하여 경유차 저감·천연가스 차량 확대 등 수도권 대기질 개선 대책이 2014년까지 시행될 경우 3조 5천억원-17조 5천억원의 경제적 가치가 생길 것으로 예측하였다. 그리고 서울시의 대기질 개선 정책에 의한 편익은 Shin (2003) 연구의 통계적 생명가치 (value of a statistical life) 추정치인 1인당 5억4,548 만원을 이

용할 때 2003년에 비해 8,548억 원의 사회적 편익이 발생하는 것으로 추정하였다.

Bae et al. (2009)은 미세먼지가 소아천식 입원에 미치는 건강편익을 BenMAP을 이용하여 추정하였는데, 인천시의 미세먼지 농도가 서울시, 부산시, 울산시와 비교해 높았으며, 인천시의 미세먼지 농도 개선에 따른 소아의 건강편익은 서울시와 부산시에 비해 약 3-6배 높은 것으로 나타났다.

KAIST (1998)에서는 환경오염으로 피해를 받는 대상을 인체에 미치는 피해, 건축물의 마모 등으로 인한 피해, 농작물에 미치는 피해, 산림에 미치는 피해로 규정하고, 이에 대해 환경분야의 전문가를 대상으로 AHP분석을 시행하여, 각 대상별 환경피해비용을 비교 연구하였다. 아울러 NO_x, PM, SO₂에 대해서 인간의 건강뿐 아니라 노동 생산성 감소, 농어업 생산성 감소, 구조물 부식 등을 고려하여 산정한 사회적 비용과 함께 CO와 HC에 대해서는 SO₂를 기준으로 산정한 대기위해도 지수에 근거하여 대기오염의 사회적 비용을 산출하였다.

Korea Environment Institute (2002)은 국내외 대기오염물질에 대한 단위비용 산출연구를 종합하여, 육상교통에 의한 대기오염 총 비용과 단위 비용을 산출하였으며, 2010년 기준의 도로 여객의 대기오염 단위비용은 12원/인·km, 온실가스 단위비용은 5.9원/인·km, 화물의 대기오염 단위비용은 17.7원/인·km, 온실가스 단위비용은 14.8원/인·km로 산출하였다.

Gyeonggi Research Institute (2003)은 경기도 각 지역에 대한 대기오염의 사회적 비용을 추정하기 위해 편익이전 기법 중 가치이전 기법을 활용하였다. 오염물질로 인한 질병을 조기사망과 급성호흡기 질환으로 규정하고 이를 선행연구에서 밝혀진 계수값을 이용하여 피해건수를 도출한 다음 이 피해건수로 인해 발생하는 사회적 비용을 지역별로 추정하였다. 각 지역의 피해건수는 지역의 대기오염 측정망자료와 인구를 이용하여 추정하였으며, 사회적 비용의 경우 기존 연구결과인 조기사망 1억8천만원-8억6천만원, 급성호흡기질환 33,440원을 적용하였다. 그 결과 성남시의 대기오염 피해액은 599,198백만원, 연천군 9,234백만원으로 나타났다.

Anne Rozan (2004)은 지불의사액 추정모형에 대한 편익이전 기법을 활용하여 대기질 수준이 비슷한 프랑스와 독일의 대기질 가치를 비교하였다. 그 결과 대기질에 대한 독일의 지불의사액은 프랑스와 비교해 약 1.62배 높은 것으로 나타났다.

Abou-Ali et al. (2005)은 조건부가치측정법 추정 모형에 대한 편익이전 기법을 활용하여 이집트와 모로코의 대기질 개선에 대한 가치를 평가하였으며, 그 결과 약 3배의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

2. 기존 연구와의 차별성

대기질 가치 추정에 대한 연구 동향을 살펴보면, 1990년대 중후반에는 주로 간접적인 가치 측정 측정법인 헤도닉 가격기법(HPM), 여행비용 접근법(TCM), 회피행동 분석법(ABM)에 의한 연구가 진행되었으며, 2000년도에는 가상시장접근법인 조건부가치측정법(CVM), 조건부순위접근법(CRM), 속성 가치선택법(CE)을 활용한 연구와 물리적 연계법인 손해함수접근법(DFM)을 활용한 연구를 중심으로 진행되었다. 최근에는 대기질 변화에 따른 건강상의 편익분석을 위해 개발된 모델인 BenMAP을 이용한 연구가 주로 진행되고 있으며, 환경 경제학에서는 Ahn et al. (2006), UNDP (2008) 등의 연구와 같이 기존에 연구된 환경 재화가치 측정결과를 새로운 상황 또는 환경에 이전하는 편익이전 기법에 대한 연구가 진행되고 있다. 즉, 과거에는 대기질 가치에 대한 직접적인 추정 연구 중심이었다면, 최근에는 모델 등을 통한 간접적인 추정 연구 중심으로 이루어지고 있다.

본 연구 또한 최근 연구동향과 같이 하며, 환경 경제학에서 주로 접근하고 있는 편익이전 기법을 활용하여, 다양한 지역에서 시행되는 교통사업에 활용될 수 있는 대기질 가치 평가 모형을 구축한다. 좀 더 상세하게 설명하면, 기존의 배출물질 자체에 대한 가치 평가 연구와 차별되어, 본 연구는 지역 특성에 적합한 배출물질의 가치를 추정하기 위한 연구로써, 분석대상 지역의 특성에 부합하는 차량 배출물질별 사회적 비용 원단위를 추정하기 위한 모형을 제시하며, 교통수요분석 결과와 연계한 환경(대기질) 비용 추정을 목적으로 실제 분석에서 쉽게 활용 가능한 분석 모형을 구축한다는 점에서 본 연구의 의미를 찾을 수 있다.

IV. 모형 구축

1. 사회적 비용 원단위에 대한 현재 개념

일반적으로 대기질의 사회적 비용 원단위는 현재 총 배출량을 감소시키기 위해 조사된 인당 지불의사총액에 총 인구수를 곱하여 배출물질에 대한 총 사회적 비용을

산정한 후 여기에 총 배출량으로 나누어서 추정한다. 이를 수식으로 표현하게 되면 식(2)와 같다.

$$C = \frac{W \times P}{E} \quad (2)$$

여기서, C : 배출물질의 사회적 비용 원단위(원/kg)
 W : 제로 배출량을 위한 인당 지불의사 총액(원/인)
 P : 총 인구수(인)
 E : 총 배출량(kg)

EC (European Commission)에서의 대기질 사회적 비용 원단위도 인구규모에 따라 차별된 원단위를 제시하고 있다 (Holland et al., 2002). 즉, 차량에서 유발되는 배출물질은 주변 거주자들에게 직접적인 피해를 주는 것이기 때문에, 현재 일반적으로 알려져 있는 대기질의 사회적 비용 원단위에는 기본적으로 배출물질 발생지역(전국)의 인구규모가 반영되어 있다는 것을 확인할 수 있다.

2. 모형 구축 및 관련 계수 추정

1) 구축 모형

교통사업은 특정 지역에서 행해지기 때문에 해당 지역의 특성을 반영한 배출물질의 사회적 비용 원단위가 요구된다. 즉, 전국 평균값이 아닌 교통사업 영향권에 적합한 원단위가 적용되어야 교통사업에 따른 대기질의 가치 변화를 객관적으로 평가할 수 있다. 이에 본 연구에서는 교통사업이 행해지는 특정 지역의 배출물질별 사회적 비용 원단위를 추정하기 위한 모형을 식(3)과 같이 정립하였다. 식(3)을 살펴보면, 차량의 배출물질에 대한 사회적 비용 원단위 가치를 차량 통행지역의 인구밀도와 녹지율 기준으로 이전하여 분석 대상지역의 배출물질에 대한 사회적 비용 원단위를 추정한다. 본 연구에서는 지역별 배출물질의 사회적 비용 원단위를 설명하기 위한 대표변수로 인구밀도와 녹지율로 정의하였다. 이는 KAIST (1998)의 대기오염에 따른 피해 대상이 사람, 건축물, 농작물, 산림으로 조사된 연구결과를 반영한 결과이며, 사람과 건축물 규모의 경우 인구밀도 변수로 설정되고, 농작물과 산림 규모의 경우 녹지율 변수로 설정될 수 있다고 정의하였다.

$$C_{e,a} = C_e \times (w^l \times \frac{d_a}{d_r} + w^g \times \frac{g_a}{g_r}) \quad (3)$$

- 여기서, C : 사회적 비용 원단위(원/kg)
- e : 배출물질(CO, NO_x, PM, SO_x, HC)
- a : 분석 대상지역
- w : 가중치
- r : 전국지역
- d : 인구밀도(인/km²)
- g : 녹지율(녹지 면적/총 면적)

본 모형에서 적용되는 대기오염물질은 CO, NO_x, PM, SO_x, HC로 국한하였는데, 온실가스 배출물질의 경우 대기오염물질과 달리 발생지역에 위치한 사람들의 인체에 직접적인 피해를 주는 것이 아니라, 대기층에 쌓인 후 지구에 광역적으로 영향을 미치기 때문에 본 모형의 적용 대상에서 제외하였다.

그리고 각 분석 대상지역에 대한 용이한 녹지율 산정을 위해, 본 모형의 녹지에는 행정구역별 '지목별 지적통계' 자료에서 구분하고 있는 지목기준으로 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 광천지, 유지, 공원, 유원지, 사적지, 묘지, 잡종지를 포함하고, 녹지율은 총 면적 대비 녹지 면적으로 정의하였다.

교통사업에 대한 대기질 개선 편익은 교통수요예측 결과와 연계하여 추정하고 있기 때문에, 링크(i)기반으로 추정된 교통량과 주행속도에 대해 배출량을 추정하고, 링크(i)가 위치한 지역(a)의 $C_{e,a}$ 를 추정할 수 있다.

본 구축 모형은 수도권에서 주로 시도되고 있는 녹색 교통 사업의 대기질 개선 편익에는 긍정적 영향을 줄 것으로 예상된다. 수도권은 많은 인구가 밀집되어 있는 만큼 대기질에 대한 사회적 비용 가치가 타 지역에 비해 상대적으로 높아야 하는 것이 현실적이지만, 지금까지 수도권 특성을 고려하지 못한 전국 평균의 사회적 비용 원단위를 적용한 기존 방법과 달리 본 모형을 통해 수도권 지역 특성에 부합하는 높은 수준의 대기질 비용을 추정할 수 있기 때문이다.

2) 관련 계수

(1) 배출물질의 사회적 비용 원단위(C_e)

지금까지 차량 배출물질의 사회적 비용 원단위에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다. ExternE (Externality of Energy)연구에서는 국가별·배출물질별로 에너지 소비가 초래하는 대기오염의 사회적 비용을 추정하였으며,

Table 1. Social cost unit value of mobile emission(C_e) (2009.12.31) (Unit: ₩/kg)

Category	CO	HC	NO _x	PM	SO _x
Social Cost	8,475	9,849	10,196	33,289	11,452

Reference: Korea Environment Institute(2002), A Comparative Study on the Environmental Aspects of the Surface Transportation.
 Tol R. S. J.(2009), The Economic Effects of Climate Change, J. Econ. Perspect.
 Economic Statistics System(<http://ecos.bok.or.kr/>)
 IPCC(1995), Second Assessment Report: Climate Change.

인체 피해 비용, 농산물 감소 비용, 구조물 부식비용 등 대기오염으로 인한 총체적인 비용을 고려하고 있다. 해당 연구 결과가 현재 상당수의 연구자들로부터 신뢰받고 있으며, 광범위하게 인용되고 있다 (National Institute of Environmental Research, 2008). 그리고 UNEP (United Nations Environment Programme)에서는 European Commission의 ExternE 연구결과를 바탕으로 각국의 구매력지수(Purchasing Power Parity: PPP)¹⁾를 반영하여 각국의 경제력 수준에 부합하는 배출물질별 사회적 비용 원단위를 제시하고 있다. 정부 차원에서의 대기질 비용 추정과 교통 사업에서의 대기질 편익 추정도 대부분 해당 연구 결과를 적용하고 있다.

다만, UNEP (1998)에서는 CO, HC 배출물질에 대한 사회적 비용 원단위는 제시하지 않고 있다. KAIST (1998)에서는 각 물질별 대기위해도 지수를 제시하고 있는데, SO₂를 기준으로 CO와 HC의 대기위해도 지수에 근거하여 대기오염 물질 5종(CO, HC, NO_x, PM, SO_x)의 사회적 비용을 추정하고 있다. 그리고 Tol (2009)은 지금까지 연구된 탄소의 사회적 비용 원단위에 대한 추정값을 메타분석으로 정리하였으며, 탄소 1톤당 사회적 비용은 87\$(1995년 기준)로 제시한 바 있다. 본 연구에서는 UNEP (1998), KAIST (1998)의 연구결과를 이용하여 각 배출물질별 사회적 비용 원단위를 정리한 Korea Environment Institute (2002) 연구결과와 Tol (2009)의 연구결과를 종합하여, Table 1과 같이 각 배출물질별 사회적 비용 원단위를 정리하였다. 이때, 2000년 기준의 기존 연구결과에 대해 소비자물가지수를 반영하여 2009년 기준으로 수정하였다.

(2) 지역 특성 변수의 가중치(w^d, w^g)

본 연구에서는 배출물질의 사회적 비용은 해당 지역의 인구밀도와 녹지율에 따라 결정되는 것으로 정의하였

1) 전 세계의 물가와 환율이 동등하다고 가정했을 때 상품을 구매할 수 있는 능력으로 실질적인 삶의 수준을 보여주는 지수

Table 2. Weight of damage targets

Category	Human Diseases	Buildings	Crops	Forests
Weight	0.42	0.10	0.23	0.25

Reference: KAIST (1998), Reasonable Fuel Selection for District Heating in Clean Fuel Using Area

Table 3. Weight of geographical variables (w^d, w^g)

Category	w^d	w^g
Weight	0.52	0.48

Table 4. Standard value of geographical variables(\bar{d}_r, \bar{d}_g)

Category	\bar{d}_r	\bar{d}_g
Standard Value	498.25	0.88

다. 일반적으로 대기오염은 사람의 인체와 더불어 건축물, 농작물, 산림 등에도 영향을 미치게 되며, KAIST (1998)에서는 대기오염의 피해대상별 피해정도를 전문가들을 대상으로 AHP 분석하였는데, 그 결과 Table 2와 같이 인체 질병에 42%, 건축물 마모에 10%, 농작물 및 산림손실에 각각 23%, 25%의 피해를 주는 것으로 조사되었다. 이와 같은 조사 자료에 근거하여, 본 연구에서는 Table 3과 같이 배출물질의 사회적 비용 원단위에 대한 인구밀도의 가중치(w^d)는 0.52, 녹지율의 가중치(w^g)는 0.48로 제시한다. 이는 모형적용의 편의성과 자료수집의 현실성을 고려한 것으로, 대기오염에 따른 인체 질병과 건축물 마모는 인구밀도, 농작물 손실과 산림손실은 녹지율로 설명할 수 있다고 전제하였다.

(3) 지역 특성치의 기준값(\bar{d}_r, \bar{d}_g)

각 지역의 배출물질에 대한 사회적 비용을 결정하는 지역 특성치인 인구밀도와 녹지율의 기준값(전국 대평균)을 조사한 결과는 Table 4와 같다. Statistics Korea (2009)과 National Geographic Information Institute (2009)자료에 근거하여, 전국 평균 인구밀도(\bar{d}_r)는 498.25(명/km²)로 산정되었으며, 전국 평균 녹지율(\bar{d}_g)은 0.88³)로 산정되었기 때문이다.

V. 모형의 적용 및 활용 방안

1. 모형의 적용 결과

수도권 각 시군구별로 배출물질에 대한 사회적 비용

Table 5. Weight of social cost unit value of mobile emission for seoul metropolitan cities('09)

City	Weight	City	Weight
Gangnam-gu	15.00	Ilsanseo-gu	7.28
Gangdong-gu	20.74	Gwacheon-si	2.55
Gangbuk-gu	15.36	Gwangmyeong-si	8.87
Gangseo-gu	14.71	Gwangju-si	1.04
Gwanak-gu	19.02	Guri-si	6.49
Gwangjin-gu	22.98	Gunpo-si	8.27
Guro-gu	22.04	Gimpo-si	1.23
Geumcheon-gu	19.79	Namyangju-si	1.66
Nowon-gu	18.27	Dongducheon-si	1.48
Dobong-gu	18.92	Sosa-gu	18.90
Dongdaemun-gu	26.67	Ojeong-gu	10.35
Dongjak-gu	25.54	Wonmi-gu	22.81
Mapo-gu	16.91	Bundang-gu	7.26
Seodaemun-gu	19.58	Gwacheon-si	2.55
Seocho-gu	9.73	Gwangmyeong-si	8.87
Seongdong-gu	19.15	Gwangju-si	1.04
Seongbuk-gu	20.42	Guri-si	6.49
Songpa-gu	21.11	Gunpo-si	8.27
Yangcheon-gu	30.17	Gimpo-si	1.23
Yeongdeungpo-gu	17.26	Namyangju-si	1.66
Yongsan-gu	11.45	Dongducheon-si	1.48
Eunpyeong-gu	16.67	Sosa-gu	18.90
Jongno-gu	7.63	Ojeong-gu	10.35
Jung-gu	13.66	Wonmi-gu	22.81
Jungnang-gu	24.16	Bundang-gu	7.26
Ganghwa-gun	0.65	Yeosu-gun	0.63
Gyeong-gu	8.24	Yeoncheon-gun	0.57
Nam-gu	17.75	Osan-si	4.27
Namdong-gu	8.80	Yongin-si	1.91
Dong-gu	11.31	Uiwang-si	3.15
Bupyeong-gu	18.61	Uijeongbu-si	5.93
Seo-gu	4.01	Icheon-si	0.89
Yeonsu-gu	6.85	Paju-si	0.94
Ongjin-gun	0.63	Pyeongtaek-si	1.36
Jung-gu	1.22	Pocheon-si	0.69
Gapyeong-gun	0.58	Hanam-si	2.08
Deogyang-gu	2.86	Hwaseong-si	1.18

원단위를 추정하기 위한 가중치($w^d \times \frac{d_r}{\bar{d}_r} + w^g \times \frac{d_g}{\bar{d}_g}$)를 산정하면, Table 5와 같이 정리된다.

Table 5를 살펴보면, 서울시 양천구, 동대문구, 동작구의 차량 배출물질에 대한 사회적 비용 원단위 가중치가 각각 30.17, 26.67, 25.54로 추정되었는데, 이는 해당 지역에서의 차량 배출물질 발생에 따른 피해정도가 타 지역에 비해 그만큼 높다는 것을 의미하며, 또 다른 측면으로는 녹색교통 수단과 대기질 개선 정책이 가장 요구되는 지역임을 시사한다. 본 모형은 녹색교통 수단 도입의 타당성 분석 과정에 고려되어야 하는 특성들을

2) 총 인구/총 면적=49,773,145인/99,897km²
 3) 총 녹지 면적/총 면적=88,021km²/99,897km²

보다 현실적으로 반영하게 함으로써, 해당 지역과 같이 접근성보다는 대기질 개선이 요구되는 지역에 대한 현실적인 타당성 결과를 기대할 수 있다는 점에서 본 연구의 의의를 찾을 수 있다.

해당 가중치를 전국권의 시별로 산정한 결과는 Table 6, Figure 1과 같으며, 서울시가 18.68로 가장 높으며, 경상북도와 강원도가 0.67로 가장 낮은 것으로 나타났다. 즉, 녹색교통수단 도입에 따른 저감 배출량이 동일하더라도, 대상 지역에 따라 그 편익 가치는 큰 차이가 발

Table 6. Weight of social cost unit value of mobile emission for major cities of south korea('09)

City	Weight	City	Weight
Seoul	18.68	Chungbuk	1.25
Busan	10.71	Jeonbuk	1.05
Incheon	7.81	Gyeongnam	0.94
Daegu	7.62	Jeju	0.86
Gyeonggi	5.44	Jeonnam	0.84
Gwangju	4.03	Chunnam	0.74
Ulsan	3.94	Gyeongbuk	0.67
Daejeon	3.69	Gangwon	0.67

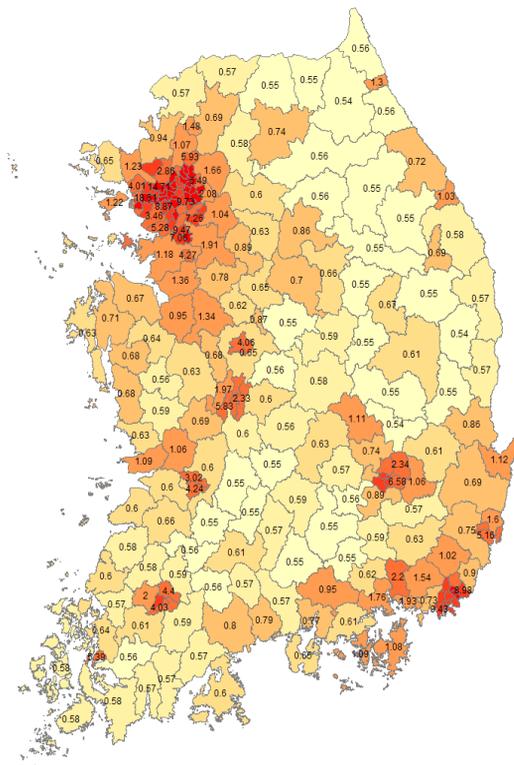


Figure 1. Weight of social cost unit value of mobile emission for cities of south korea('09)

생할 수 있으며, 그 편익은 서울시의 경우 타 지역에 비해 약 18.68배 높게 추정되고, 경상북도와 강원도의 경우는 약 0.67배 낮게 도출된다는 것을 의미한다. 이는 분석 지역의 차량 배출물질에 대한 피해대상 규모(인구 밀도, 녹지율) 차이에 기인한다.

2. 모형의 활용 방안

본 연구에서 제안한 차량배출물질의 사회적 비용 원단위 추정 모형은 교통사업에 대한 대기질의 사회적 비용 추정에 활용될 수 있으며, 이는 식(4)로 정리된다. 식(4)는 차량배출물질에 대한 해당 지역의 피해수준을 반영하여 대기오염 비용을 추정할 수 있는 특징이 있으며, 각 분석지역에 위치한 도로구간(i)의 차종별 총 주행거리, 차종과 통행속도에 따른 배출계수, 그리고 각 도로구간의 배출물질별 사회적 비용 원단위가 고려되고 있다.

$$MA = \sum_i (\sum_k ((VKT_{i,k} \times EF(e,k,v_i) \times C_{e,i})) \quad (4)$$

- 여기서, MA : 대기질의 사회적 비용(원)
- VKT : 총 주행거리(km)
- EF : 배출계수(kg/km)
- v : 주행속도(km/h)
- k : 차종(승용차, 버스, 트럭 등)
- e : 배출물질(CO, NO_x, PM, SO_x, HC)
- C : 사회적 비용 원단위(원/kg)
- i : 분석링크($i \in a$)

VI. 결론

본 연구는 녹색교통 수단에 대한 타당성 결과의 현실성을 향상시키기 위한 목적으로, 분석대상 지역의 특성을 고려할 수 있는 차량배출물질의 사회적 비용 원단위 추정 모형을 구축하였다. 이를 위해 각 지역 특성에 적합한 원단위 가치를 이전할 수 있는 편익이전(Benefit Transfer)기법을 활용하였으며, 그 중 원단위 가치의 설명 변수로 인구밀도와 녹지율을 반영한 함수이전(function transfer)기법을 활용하였다.

본 모형을 전국 시도와 수도권 시군구에 적용한 결과, 인구가 밀집되어 있는 서울과 부산 지역의 대기질에 대한 사회적 비용 원단위는 전국 평균치보다 각각 18.68배, 10.71배 높은 것으로 나타났다. 즉, 해당 지역에서

의 대기질 개선 편익은 기존 결과에 비해 각각 18.68배, 10.71배 높게 도출될 수 있으며, 이는 차량에서 발생하는 배출물질이 인근 거주자와 건축물 등에 직접적인 피해를 발생시키는 현상을 반영한 결과다. 또한 서울 양천구와 서울 동대문 지역의 대기질에 대한 사회적 비용 원단위의 가중치는 각각 30.17, 26.67로 추정되었는데, 이는 해당 지역에서의 녹색교통 수단과 대기질 개선 정책에 대한 요구정도가 그 지표만큼 높다는 것을 의미하기도 한다.

본 연구는 녹색교통 정책에 대한 타당성 결과의 현실적 도출에 기여할 수 있으며, 이를 통해 녹색교통의 활성화와 지속가능 교통체계의 전환에 긍정적 영향을 미칠 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 본 연구에서는 차량 배출물질의 사회적 비용에 영향을 주는 인자에 대해 인구밀도와 녹지율로 국한하여 정의하였으나, 향후 보다 다양한 영향 요소 발굴과 그 영향력에 대한 추가적인 연구가 요구된다. 아울러 엄밀하게는 배출물질별로 피해 대상에 대한 그 피해 정도는 상이하기 때문에, 향후 각 배출물질에 적합한 피해 대상별 피해 가중치에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서는 영향 인자에 대한 피해 가중치를 기존 문헌에 의한 AHP 분석결과로 적용하였으나, AHP는 다소 주관성이 반영될 수 있는 분석 방법이기 때문에 각 영향 인자에 대한 피해정도를 객관적으로 접근할 수 있는 방법론에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government(MEST) (NRF-2010-0029446)

REFERENCES

- Abou-Ali H, Belha M. (2005), Does Benefit Transfer Always Work: A Multi-country Comparison, Working Paper in Economics No.158, Department of Economics, Gothenburg University.
- Ahn S. E., Kim J. G. (2006), An Application of Benefit Transfer to Outdoor Recreation Values in Korea, Korea Environment Institute.
- Anne Rozan (2004), Benefit Transfer: A Comparison of WTP for Air Quality between France and Germany, *Environmental and Resource Economics*, Vol.29, No.3, pp.295-306.
- Bae H. J., Kim M. H., Lee A. K., Park J. I. (2009), Acute Effects of PM10 on Asthma Hospitalization Among Children and Benefit Analysis at Four Major Cities in Korea, *Kor J. Env. Hlth*, pp.1-10.
- Boyle K. J., Bergstrom J. C. (1992), Benefit Transfer Studies: Myths, Pragmatism, and Idealism, *Water Resources Research*, Vol.28, No.3, pp.657-663.
- Desvousges W. H., Johnson F. R., Banzhaf H. S. (1998), *Environmental Policy Analysis With Limited Information: Principles and Applications of the Transfer Method*, Edward Elgar Publishing.
- Desvousges W. H., Naughton M, Parsons G. (1992), Benefits Transfer: Conceptual Problems in Estimating Water Quality Benefits Using Existing Studies, *Water Resources Research*, Vol.28, No.3, pp.675-683.
- Downing M., Ozuna T. (1996), Testing the Reliability of the Benefit Function Transfer Approach, *J. Environ. Econ. Manag.*, Vol.30, pp.316-322.
- Eom Y. S. (1998), Valuing Health Effects of Air Pollution; An Application of the Averting Behavior Method, *Environmental Economic Review*, Vol.7, No.1, pp.1-23.
- Gyeonggi Research Institute (2003), Estimating Social Costs of Air Pollutions and Developing Emission Control Strategies for Kyonggi-Do.
- Holland M. R., Watkiss P. (2002), Benefits Table Database: Estimates of the Marginal External Costs of Air Pollution in Europe, BeTa Version E1.02a.
- IPCC (1995), Second Assessment Report: Climate Change.
- Jeon D. H., Park G. H., Jin Y. S., Jo J. M. (2004), Application of Contingent Valuation Method for Estimating Willingness-to-Pay in Planning the Integrated Sewerage System in the Catchment of Dam Chung-Ju, *J. Environ Impact. Assess*, Vol.13, No.2, pp.73-87.
- KAIST (1998), Reasonable Fuel Selection for District Heating in Clean Fuel Using Area 청정연료 사용지

- 역 내에서 지역난방 차량연료의 합목적 선정에 관한 연구.
- Kim C. W. (1997), Measurement of Air Quality Value Inherent in House Price: Using Spatial Econometrics Model 주택가격에 내재된 대기질의 가격측정: 공간계량경제모형을 이용한 접근, Korea Resource Economics Association, Vol.7, No.1, pp.61-84.
- Korea Environment Institute (2002), A Comparative Study on the Environmental Aspects of the Surface Transportation.
- Korea Environment Institute (2008), Estimation of Health Benefits Resulted from Air Quality Improvement Policy by Korean BenMAP 한국형 BenMAP을 활용한 대기질 개선정책의 건강편익 산정 연구.
- Lim Y. S., Jeon Y. S. (1993), Estimation of Benefits Resulted from Air Quality Improvement by Hedonic Price Method 헤도닉 가격 기법을 이용한 대기질 개선시의 편익 추정, Korea Resource Economics Association, Vol.3, No.1.
- Loomis J. B. (1992), The Evolution of a More Rigorous Approach to Benefit Transfer: Benefit Function Transfer, Water Resources Research, Vol.28, No.3, pp.701-705.
- National Geographic Information Institute (2009), Cadastral Statistics Annual Report.
- National Institute of Environmental Research (2008), Vehicle Restriction Establishment to Improve Urban Air Quality 도심대기질 개선을 위한 차량통행제한 설정 등을 위한 연구(II).
- Park J. I., Bae H. J. (2006), Assessing the Health Benefits of the Seoul Air Quality Management Plan Using BenMAP, Kor J. Env. Hlth. Vol.32, No.6, pp.571-577.
- Rhee H. C., Chung H. S., Kim T. Y. (2001), Valuation of Air Quality in the Metropolitan Seoul, J. Korean Econ. Stud., Vol.28, pp.117-138.
- Shin Y. C. (2002), Estimating the Cost of Air Pollution on Morbidity: Focusing on Hospital Visit for Acute Respiratory Diseases, Environmental and Resource Economics Review, Vol.11, No.4, pp.659-687.
- Stanley T. D. (2001), Wheat from Chaff: Meta-analysis as Quantitative Literature Review, J. Econ. Perspect., Vol.15, No.3, pp.131-150.
- Statistics Korea (2009), Population Projection by Region.
- The Korea Transportation Institute (2001), Valuation of Social Cost related to Transportation Environment (2nd Phase) 교통 환경 관련 사회적 비용의 계량화 (2단계).
- Tol R. S. J. (2009), The Economic Effects of Climate Change, J. Econ. Perspect.
- UNDP/GEF National Wetlands Center 국가습지보전사업관리단 (2008), National Wetlands Center (2008), Economical Value Evaluation of Major Wetlands in Korea 우리나라 주요 습지의 경제적 가치평가 연구.
- Yu S. H., Gwang S. J., Kim T. Y. (1999), Valuing Air Quality of Seoul: Contingent Valuation Method Based on Multi-Attribute Utility Theory, Environmental and Resource Economics Review, Vol.7, No.2, pp.243-271.
- Yu S. H., Gwang S. J., Lee J. S. (2003), Measuring the Environmental Costs of Air Pollution Impacts in Seoul: A Conjoint Analysis, Korea Regional Science Association, Vol.19, No.3, pp.1-17.
- ☞ 주 작 성 자 : 이규진
 ☞ 교 신 저 자 : 이규진
 ☞ 논문투고일 : 2012. 5. 30
 ☞ 논문심사일 : 2012. 6. 27 (1차)
 2012. 8. 29 (2차)
 ☞ 심사판정일 : 2012. 8. 29
 ☞ 반론접수기한 : 2013. 2. 28
 ☞ 3인 익명 심사필
 ☞ 1인 abstract 교정필