

교통량 배정 방법에 따른 대기질의 사회적 비용 비교분석

이규진* · 최기주**

LEE, Kyu Jin*, CHOI, Keechoo**

Social Cost Comparison of Air-Quality based on Various Traffic Assignment Frameworks

ABSTRACT

This study aims at enhancing the objective estimation of social cost of air quality due to mobile emission. More specifically, it examines the difference between the daily oriented and hourly oriented estimation results of social air quality cost and draws implications from the comparative analysis. The result indicates that the social cost of air quality differs up to approximately 24 times depending on the analysis time period. Moneywise, the difference between daily and hourly assignments amounts to the average of 653.5 billion won whereas only 1% of error occurred in the estimation result based on peak and nonpeak based hourly assignment. This study reaffirms the need for time-based travel demand management for emission reduction, and confirms the feasibility of emission estimation by travel demand forecasting method over the conventional method employed by the CAPSS.

Key words : Valuation of Air Quality, Social Cost, Cluster Analysis, Traffic Assignment, Mobile Emission

초록

본 연구는 자동차 배출가스에 의한 대기질의 사회적 비용 추정 결과의 객관성 향상을 목적으로, 일 단위, 첨두·비첨두 시간단위, 각 시간 단위별 대기질의 사회적 추정 방법 차이가 그 결과에 미치는 영향을 살펴보고 그 시사점을 도출하였다. 분석결과, 대기질의 사회적 비용은 분석 시간대에 따라 약 24배까지 차이가 발생하는 것으로 나타났으며, 일 단위와 각 시간 단위 통행배정에 따른 대기질의 사회적 비용은 연 평균 약 6,536억 원의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 한편 첨두·비첨두 단위와 각 시간 단위의 통행배정에 따른 추정 결과는 약 1%의 차이가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해, 대기질의 사회적 비용은 통행배정 방법론에 따라 큰 차이가 발생한다는 점을 확인하였고, 특히 CAPSS의 방법보다 시간대 분석이 가능한 교통수요분석 기법에 의한 배출량 및 대기질 비용 추정방법이 보다 정확도가 높음을 입증할 수 있었다. 아울러 대기질 개선을 위해, 시간대별 교통수요관리의 필요성을 확인할 수 있었다.

검색어 : 대기질 가치, 사회적 비용, 군집분석, 통행배정, 배출량

1. 서론

1950년 세계 최빈국 중 하나였던 우리나라는 고도의 압축성장 과정을 통해 1996년 소위 선진국 클럽이라는 OECD에 가입하는 등 동서소급을 막론하고 유례를 찾아볼 수 없는 경제발전을 이루었다. 그러나 그 부작용으로 소득 양극화 현상 등과 같은 사회 갈등 및 환경과피 문제의 심각성이 대두되고 있다. 특히, 수도권외의 대기오염으로 인해 약 1만명이 조기 사망하는 것으로 예측되고 있는

* 정회원 · 교신저자 · 아주대학교 TOD기반 지속가능 도시교통연구센터 (Corresponding Author · Tod-based Sustainable City Transportation Research Center, Ajou University · transjin@ajou.ac.kr)

** 정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 (keechoo@ajou.ac.kr)

Received May 25 2012, Revised June 25 2012, Accepted February 14 2013

등(Yoo, Y. S., 2003) 그 심각성에 대한 대책으로 2003년 수도권 대기환경에 관한 특별법의 제정 등을 통해 대기질 개선을 위한 다양한 정책을 시행하고 있다. 우리보다 앞서 산업화를 경험한 대부분의 선진국들도 환경문제에 대해 나름의 해법을 찾고 있고, 실제로 오염되었던 지역들도 오랫동안의 부단한 노력 끝에 회복되어 가고 있다는 보도를 수시로 접할 수 있다. 우리나라도 이러한 대기질 문제를 심각하게 고려하지 않으면 경제적 성장에 막대한 지장을 받을 수 밖에 없는 여건에 놓여있기 때문에 보다 적극적인 정책 시행이 요구되는 상황이다.

대기오염의 42.7%는 교통 분야에서 발생하고 있는 것으로 보고 되고 있는 바(NIER, 2009), 교통-환경 정책은 대기질을 개선하기 위한 효과적인 대안이 될 수 있으나, 통행 억제, 통행수단 전환, 차량 개선을 유도하는 교통-환경 정책들은 기업과 시민의 반대와 더불어 많은 소요 비용으로 인해 실행에는 많은 제약이 따르고 있다. 아울러 교통 부문에서 발생하는 대기오염물질 및 온실가스에 대한 대기질의 사회적 피해 비용에 대해서도 불분명한 요소가 다수 포함되어 있기 때문에, 정책 추진의 제약 요소로 작용하고 있다.

교통-환경 정책의 원활한 추진을 위해서는 객관적인 타당성 평가 결과가 뒷받침 되어야 하며, 각 정책들에 대한 평가 결과의 객관성 향상을 위해서는 다양한 연구가 수반되어야 한다. 이와 같은 연구배경 아래, 본 연구는 일반적으로 환경 분야에서 적용하고 있는 일 평균 단위의 배출량과 대기질 비용 추정 방법과 교통 분야에서 적용하고 있는 침투·비침투 시간 단위의 추정 방법의 적용에 따른 그 결과를 비교해보고, 그에 따른 시사점 도출을 목적으로 한다.

2. 관련 연구 고찰

Kim, T. H. et al. (2010)는 도로부문의 온실가스 배출량 산정 방법론을 Tier 1~Tier 3로 구분하여 국내 적용가능성을 검토하였으며, 비교적 정확성이 높은 Tier 3의 적용을 위해 지속적인 자료의 수집가공 체계의 필요성을 제시하였다.

Yoo, B. Y. et al. (2011)은 교통부문의 온실가스 배출량 산정 방법론인 Tier 1~3을 지자체에 적용한 후 이를 비교하였으며, 산정 방법론에 따라 지자체의 환경적 등급이 다르게 평가될 수 있다는 것을 입증하였다.

Kim, C. W. (1997)은 HPM(hedonic price model)을 활용하여 주택가격에 내재된 이산화황, 이산화질소에 대한 대기질 가격을 추정하였으며, 이는 약 295만원인 것으로 나타났다.

Eom, Y. S. (1998)은 ABM(averse behavior method)을 활용하여 이황산가스, 이산화질소, 오존오염으로 인한 대기오염이 호흡기질환 증상을 감소시키는데 대한 국내 소비자들의 지불의사액을

을 조사하였다. 그 결과 오존 감소를 위한 국내 소비자들의 1인당 월평균 지불의사액은 2,098~2,832원이고 가구당 월평균 지불의사액은 7,951~10,920원으로 나타났다.

Lee, S. W. et al. (2001)은 대기오염을 제외한 다른 여건은 지금 거주지와 이사할 거주지가 동일하다는 가정 하에, 현재 대기오염을 피하여 대기오염이 거의 없는 지역으로 이사하는 경우 지불의사액을 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.

Yoo, Y. S. (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 추정하였다. 각 지역의 피해건수는 지역의 대기오염 측정망자료와 인구를 이용하여 추정하였으며, 사회적 비용의 경우 기존 연구결과인 조기 사망 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, H. et al. (2005)은 조건부가치추정법 추정모형에 대한 편익이전 기법을 활용하여 이집트와 모로코의 대기질 개선에 대한 가치를 평가하였으며, 그 결과 약 3배의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

Park, J. I. (2006)은 BenMAP을 이용하여 수도권의 대기질 건강 편익을 추정하였다. 해당 프로그램의 입력 자료로 편익이전 기법과 조건부가치추정법에 의한 경제적 가치를 활용하였으며, 분석 결과 인천시와 비교해 서울시의 대기질에 대한 개선효과 편익은 약 5배의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

Lee, Y. J. (2011)은 대기질의 질이 주택가격에 미치는 영향 여부와 그 크기를 검증하였으며, 서울시 아파트 매매가격과 25개 자치구의 도시대기측정소에서 측정된 대기오염도 자료를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였다. 그 결과 일산화탄소의 농도가 0.1ppm 상승하면 아파트 제곱미터당 매매가격은 약 359,300원 하락하는 것으로 나타났다.

현재까지 대기질의 사회적 비용 추정 연구는 직접적인 추정 또는 모형을 통한 지역간 비교 등을 중심으로 이루어졌다. 본 연구는 대기질의 사회적 비용에 대해, 분석기준이 되는 시간대의 구분에

따라 어떠한 차이를 발생시키는 지 살펴보고, 그에 따른 시사점을 도출한다는 점에서 기존 연구와 차별성이 있다. 이는 궁극적으로 대기질의 사회적 비용 추정결과의 객관성 향상에 있다.

3. 추정 과정

3.1 기본개념

차량에 의한 대기질의 사회적 비용은 각 차량 배출물질에 대한 총 배출량에 각 차량 배출물질별 사회적 비용 원단위를 곱하여 산정된다. 이때, 차량 배출물질에 대한 총 배출량은 총 주행거리와 평균 통행속도에 해당하는 배출계수의 곱으로 산정된다. 일반적으로 대기질의 사회적 비용 추정 시, 환경 분야에서는 식(1)와 같이 하루 총 주행거리와 하루 평균 통행속도를 적용하고 있으며, 교통 계획 분야에서는 식(1) 또는 식(2)와 같이 첨두 및 비첨두시간대의 총 주행거리와 각 시간대의 평균 통행속도에 대한 배출계수의 곱을 적용하고 있다.

$$C_e = \sum_e vkt \times ef(v) \times c_e \tag{1}$$

$$C_e = \sum_e (vkt^{peak} \times ef^{peak}(v) \times \text{첨두 지속시간} + vkt^{nonpeak} \times ef^{nonpeak}(v) \times \text{비첨두 지속시간}) \times c_e \tag{2}$$

- 여기서, C_e : 차량 배출물질(e)에 대한 사회적 비용(원)
- c_e : 차량 배출물질(e)에 대한 사회적 비용 원단위(원/g)
- vkt : 총 주행거리(km)
- $ef(v)$: 속도(v)의 배출계수(g/km)

식 (1, 2)를 살펴보면, 대기질의 사회적 비용은 통행량 외에 통행속도가 함께 고려되는데, 통행속도는 배출계수와 비선형적인 관계에 있기 때문에 모형에 반영된 통행속도는 대기질의 사회적 비용에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 하루 평균 통행속도와 시간대 그룹 단위의 통행속도에 해당하는 배출계수 적용이 대기질의 사회적 비용에 어느 정도의 영향을 미치는지 분석한다.

이를 위해 식 (1, 2)를 적용하여 대기질의 사회적 비용을 추정하고, 1시간 단위의 통행배정에 의한 대기질의 사회적 비용을 추정하여 그 결과들을 각각 비교해본다. 1시간 단위의 통행배정에 의한 대기질 사회적 비용 추정 절차는 Fig. 1과 같다. 각 시간대별(24시간) O/D를 가공하고, 이를 수도권 네트워크에 통행 배정한 후 시간대별 대기질 사회적 비용을 추정한다. 이때 속도별 배출계수 및 차량 배출물질의 사회적 비용 원단위는 Korea Development Institute (2008)의 표준지침에 제시된 값을 적용하였다.

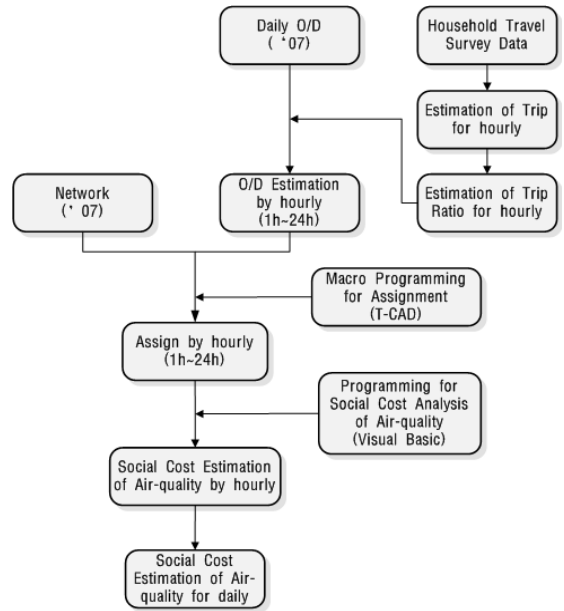


Fig. 1. Procedure for Social Cost Estimation of Air-Quality

Table 1. Traffic Ratio for Hourly of Seoul Metropolitan Area

	Traffic Ratio			
	Seoul-si	Incheon-si	Gyeonggi-do	Seoul Metropolitan
1h	0.000	0.000	0.000	0.000
2h	0.000	0.000	0.000	0.000
3h	0.001	0.000	0.000	0.001
4h	0.002	0.002	0.002	0.002
5h	0.008	0.010	0.007	0.008
6h	0.028	0.033	0.031	0.030
7h	0.109	0.132	0.123	0.118
8h	0.132	0.122	0.127	0.129
9h	0.060	0.048	0.055	0.057
10h	0.048	0.043	0.046	0.046
11h	0.035	0.031	0.036	0.035
12h	0.029	0.028	0.028	0.029
13h	0.035	0.033	0.036	0.035
14h	0.042	0.039	0.040	0.041
15h	0.044	0.045	0.042	0.043
16h	0.054	0.048	0.049	0.051
17h	0.061	0.064	0.062	0.061
18h	0.089	0.095	0.093	0.091
19h	0.075	0.075	0.074	0.074
20h	0.052	0.054	0.052	0.052
21h	0.039	0.046	0.041	0.041
22h	0.033	0.030	0.032	0.032
23h	0.017	0.015	0.016	0.016
24h	0.006	0.006	0.006	0.006
sum	1.000	1.000	1.000	1.000

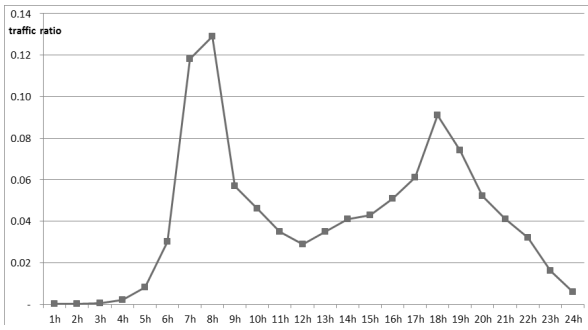


Fig. 2. Traffic Ratio for Hourly of Seoul Metropolitan Area

3.2 통행배정 O/D 자료의 가공

3.2.1 시간대별 O/D 자료의 가공

수도권 가구통행실태조사의 303,308개 원시자료를 이용하여 공로 통행수단에 대한 출발시간과 도착시간의 중간시간을 기준으로 시간대별 통행량 비중을 산정하였으며, 이를 기준으로 각 시간대별 O/D를 가공하였다. 이는 본 연구에서 도로에 배정되는 통행량들은 출발시간과 도착시간의 중간시간 정도에 존재하는 통행량인 것으로 전제하였기 때문이다.

수도권 3개 지자체에 대한 시간대별 통행량 비중을 추정한 결과는 Table 1과 같다. 하루 중 통행량 비중이 가장 높은 시간대는 8시이며, 하루 통행량의 약 13%를 차지하는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 2를 보더라도 시간대에 따른 통행비중의 큰 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

3.2.2 첨두·비첨두 O/D 자료의 가공

교통수요분석에서 일반적으로 구분하고 있는 첨두·비첨두 O/D 자료를 가공하기 위해, 수도권 가구통행실태조사의 원시자료에서 시간대별 통행량을 추정하고, 이를 기준으로 군집 분석하여 첨두시간 그룹과 비첨두시간 그룹으로 분류하였다. 그리고 각 그룹의 지속시간과 통행비중을 결정하였다. 이때, 시간대별 통행량 비중이 0%에 가까운 0시~4시(4시간)는 분석에서 제외하였다. 여기서, 군집분석(Cluster Analysis)은 다수의 대상들을 그들이 소유하는 특성을 토대로 유사한 대상들끼리 그룹화하는 다변량 통계기법이며, 군집분석에 의해 형성된 각 그룹을 군집(Cluster)이라 한다.

Table 2는 시간대들에 대한 2개 군집의 초기 중심값, 즉, 군집씨앗을 나타낸다. 이 초기 군집 중심값을 기준으로 각 시간대와 각 군집의 중심점과의 거리를 계산하여 거리가 가장 가까운 군집에 시간대를 할당하게 된다.

Table 3은 각 시간대의 값과 해당 군집의 중심점간 거리를 나타내며, 7시·8시·18시·19시는 2군집에, 나머지 시간대는 1군집에 포함되는 것으로 나타났다.

Table 2. A Initial Cluster Center

	1' Cluster	2' Cluster
A Initial Cluster Center	945	21,042

Table 3. Distance between Clusters for Hourly

Hour	Cluster	Distance	Hour	Cluster	Distance
5h	1	4630.625	15h	1	1114.375
6h	1	1055.625	16h	1	2349.375
7h	2	2403.500	17h	1	4064.375
8h	2	4224.500	18h	2	1903.500
9h	1	3282.375	19h	2	4724.500
10h	1	1625.375	20h	1	2573.375
11h	1	181.625	21h	1	679.375
12h	1	1287.625	22h	1	686.625
13h	1	242.625	23h	1	3316.625
14h	1	720.375	24h	1	5007.625

Table 4. Cluster Centroid

	1's Cluster	2's Cluster
A Final Cluster Centroid	5952.63	16817.50

Table 5. Distance between Cluster Centroids

	1's Cluster	2's Cluster
1's Cluster	-	10864.875
2's Cluster	10864.875	-

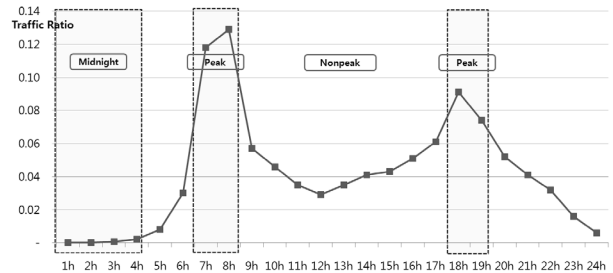


Fig. 3. Classification of Time Zone by Cluster Analysis

각 시간대에 대한 2개 군집의 최종 중심값은 Table 4와 같으며, 최종 군집중심간 거리는 Table 5와 같이 나타났다.

이와 같은 군집분석 결과에 따라, 본 연구에서 첨두시간대는 7시·8시·18시·19시로 설정하고, 비첨두시간대는 나머지 시간대로 설정하였다. 그리고 Table 6과 같이 첨두시간대의 1시간 평균 통행량 비중은 10.3%, 비첨두시간대의 1시간 평균 통행량 비중은 3.65%로 추정하였다. 이러한 통행량 비중을 기준으로 첨두·비첨두 O/D 자료를 가공하였다.

Table 6. Average Traffic Ratio of Peak and Nonpeak

	Hour	Traffic Ratio	Sum	Total Duration	Average Ratio
Peak Time	7h	0.118	41.3%	4	10.3%
	8h	0.129			
	18h	0.091			
	19h	0.074			
Non peak Time	5h	0.008	58.4%	16	3.65%
	6h	0.030			
	9h	0.057			
	10h	0.046			
	11h	0.035			
	12h	0.029			
	13h	0.035			
	14h	0.041			
	15h	0.043			
	16h	0.051			
	17h	0.061			
	20h	0.052			
	21h	0.041			
22h	0.032				
23h	0.016				
24h	0.006				

3.3 차종별·속도별 배출계수와 차량 배출물질별 사회적 비용 원단위의 결정

3.3.1 차종별·속도별 배출계수

본 연구에서 적용한 차종별·속도별 배출계수는 다양한 차종별·세부 차종별·차량 연료별·차량배출물질별·연식별 배출계수를 취합하여 수요분석 기준의 배출계수로 정리한 이규진 등(2012)의 가변적 배출계수 추정 모형을 활용하여 2009년 기준의 배출계수를 Table 7과 같이 추정하였고, 이를 활용하였다.

3.3.2 차량 배출물질별 사회적 비용 원단위

차량 배출물질별 사회적 비용의 원단위는 UNEP(1998), KAIST (1998)의 연구결과를 이용하여 대기오염물질 5종에 대한 사회적 비용 원단위를 정리한 Korea Environment Institute(2002)의 연구결과를 재이용하였다. 그리고 온실가스는 Tol R. S. J.(2009)에 의해 연구된 탄소 1톤당 사회적 비용인 87\$(1995년 기준)을 2009년 가치로 보정하여 활용하였다.

Table 7. Estimation Equation of Mobile Emission Factor for Vehicles-Air Pollutants ('09)

		Estimation Equation	R ²
CO	Auto	$EF = 22.4091 \times v^{-0.8789}$	0.999
	Bus	$EF = 18.5731 \times v^{-0.4319}$	1.000
	Truck	$EF = 10.3054 \times v^{-0.5372}$	1.000
HC	Auto	$EF = 8.6213 \times v^{-1.2914}$	0.999
	Bus	$EF = 4.6648 \times v^{-0.3167}$	1.000
	Truck	$EF = 2.7808 \times v^{-0.5646}$	1.000
NOx	Auto	$EF = 0.2809 + 5.6669/v$	0.983
	Truck	$EF = 14.6336 - 0.4212v + 0.0053v^2 - 0.00002v^3$	0.997
PM	Auto	$EF = 18.4977 \times v^{-0.4319}$	0.979
	Bus	$EF = 0.0803 \times v^{-0.4684}$	0.884
	Truck	$EF = 1.4257 \times v^{-0.3865}$	0.999
CO ₂	Auto	$EF = 0.1336 + 1.2199/v$	0.953
	Bus	$EF = 1098.57 \times v^{-0.4597}$	0.987
	Truck	$EF = 1368.07 \times v^{-0.3091}$	1.000
CH ₄	Auto	$EF = 1793.70 \times v^{-0.3797}$	0.964
	Truck	$EF = 0.0068 + 0.3654/v$	0.990
N ₂ O	Auto	$EF = 0.0139 + 0.3563/v$	0.963
	Bus	$EF = 0.0116 + 0.2643/v$	0.938
	Truck	$EF = 0.0116 + 0.2643/v$	0.938
N ₂ O	Auto	$EF = 0.6225 \times v^{-0.7594}$	0.980
	Bus	$EF = 0.0088 + 0.1647/v$	0.939
	Truck	$EF = 0.0068 + 0.2886/v$	0.988

Note. EF : Emission Factor (g/km)
v : Speed (km/h)

Table 8. Social Cost of Air Pollutants ('09) (Unit: ₩/kg)

	CO	HC	NOx	PM	SOx	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Social Cost	8,475	9,849	10,196	33,289	11,452	79	1,661	24,523

Source : 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.
IPCC (1995), Second Assessment Report: Climate Change. <http://ecos.bok.or.kr/>

Note1 : CO, HC, NOx, PM, SOx의 사회적 비용 원단위는 2000년 기준으로 산정한 한국환경정책평가연구원(2002)의 연구결과에 대해 소비자물가지수(2000년: 84.866, 2009년: 112.8)를 적용하여 환산하였음

Note2 : CO₂의 사회적 비용 원단위는 1995년 기준으로 산정한 Richard Tol(2009)의 연구결과에 대해 소비자물가지수(1995년: 69.873, 2009년: 112.8), 2009년 12월 기준의 환율(1,159원/\$), 탄소와 이산화탄소의 분자비(12/44)를 적용하여 추정(151\$×112.8/69.873×1159/1000×11/44)

Note3 : CH₄와 N₂O의 사회적 비용 원단위는 IPCC (1995)에 근거한 온실가스별 지구온난화지수를 적용하여 추정 (CO₂:CH₄:N₂O = 1:21:310)

Table 9. Social Cost of Air-Quality based on Daily-dependent Traffic Assignment

Social Cost of Air-Quality (₩/Year)	Social Cost of Air-Quality (Billion Won/Day)
19,647,710,855,860	53.83

Table 10. Social Cost of Air-Quality based on Peak and Nonpeak-dependent Traffic Assignment

	Social Cost of Air-Quality (₩/Year)	Social Cost of Air-Quality (Billion Won)
Peak Time (1h)	2,162,139,231,970	5.92
Nonpeak Time (1h)	721,986,368,416	1.98
Day (24h)	20,200,338,822,535	55.34

Table 11. Social Cost of Air-Quality based on Time-dependent Traffic Assignment

(Unit: ₩/year)

	Social Cost of Air-Quality		Social Cost of Air-Quality
5h	155,260,986,364	15h	852,768,246,968
6h	589,486,141,908	16h	1,016,613,700,760
7h	2,528,837,155,954	17h	1,225,835,171,719
8h	2,809,238,927,359	18h	1,882,201,995,146
9h	1,142,140,310,718	19h	1,504,132,399,127
10h	913,929,226,859	20h	1,037,479,935,088
11h	690,405,578,225	21h	811,831,268,576
12h	569,818,723,125	22h	629,743,980,758
13h	690,405,578,225	23h	311,818,121,777
14h	811,831,268,576	24h	116,322,070,068

Totals: 20,290,100,787,300 (55.59 billion won/day)

4. 추정 결과

4.1 일 통행배정에 의한 결과

일 O/D의 통행배정에 의한 대기질의 사회적 비용을 추정하기 위해, 우선 수도권 네트워크에 대해 한 시간 기준의 용량에 용량보정 계수를 적용하여 일 용량으로 환산한 후, 일 O/D를 통행 배정하였다. 그리고 통행배정 결과를 바탕으로 각 링크의 주행속도에 따른 배출계수와 총 주행거리를 적용하여 대기질의 사회적 비용을 추정하였다. 그 결과는 Table 9와 같이 538.3(억원/일)로 추정되었다.

4.2 첨두·비첨두 통행배정에 의한 결과

첨두시간의 평균 통행비중인 10.3%와 비첨두시간의 평균 통행비중인 3.65%에 해당하는 첨두·비첨두 O/D를 가공하고, 이를 통행 배정하여 대기질의 사회적 비용을 추정하였다. 이때, 각 시간대의 통행배정에 따른 도로구간별 통행속도를 추정하였고, 사회적 비용 추정 결과 Table 10과 같이 첨두 1시간은 59.2(억원/시간), 비첨두 1시간은 19.8(억원/시간)으로 분석되었다. 각 시간대별 지속시간인 4시간과 16시간을 적용하여 산정한 하루단위의 총 대기질 사회적 비용은 553.4(억원/일)으로 나타났다.

4.3 시간대별 통행배정에 의한 결과

각 시간대별 O/D를 가공하고, 이를 각 시간대별로 통행배정하기 위해 작성한 TransCAD Macro를 이용하여 24시간의 각 시간대에 교통수요예측을 수행하였다. 그 결과를 바탕으로 각 시간대의 대기질 비용을 추정하기 위한 Program을 작성하였고, 분석된 시간대별 대기질의 사회적 비용은 Table 11과 같다. 그리고 각 시간대의 대기질 사회적 비용을 합산한 결과, 하루 총 대기질 사회적 비용은 555.9(억원/일)으로 나타났다.

4.4 시사점 도출

첫째, 시간대별 대기질의 사회적 비용은 일 평균 최소 3.2억원(0시)에서 최대 77억원(8시)까지 약 24배의 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 대기질 가치는 시간대에 따라 큰 차이가 있기 때문에 대기질 개선을 위한 시간대별 교통수요관리의 필요성을 재확인할 수 있으며, 특히 이는 다양한 교통-환경 정책 중 첨두시간대 교통수요를 관리할 수 있는 정책의 중요성을 시사한다.

둘째, 일 통행배정과 1시간 단위의 통행배정에 따른 대기질의 사회적 비용은 비교 대상 시간에 따라 약 12%~286%의 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 즉, Fig. 4와 같이, 일 통행배정에 의한 대기질의 사회적 비용은 약 26.92억원/시간으로 산정되며, 1시간 단위의 통행배정에 의한 사회적 비용은 약 3.2억원/시간~77억원/시간으로 나타났다. Fig. 3과 같이 분석 시간대별 통행량 차이와 더불어 배출계수는 속도에 대해 비선형의 관계를 가지기 때문에 지체가 많이 발생하는 첨두시간대에는 높은 통행량 비중 이상의 사회적 비용이 산출되기 때문이다. 즉, 도로이동오염원 배출량과 대기질의 사회적 비용에 대한 추정 결과의 객관성 향상을 위해서는 시간대별로 세분화된 O/D의 적용과 통행배정이 필요하다.

셋째, 일단위 통행배정과 시간대별 통행배정 방법에 따른 대기질의 사회적 비용은 각각 538.3억원/일, 555.9억원/일(약 18억원/일(약 6,536억원/년)의 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 현재 환경부의 CAPSS에서는 일평균 통행속도와 총 주행거리를 적용하여 배출량 및 대기질 비용을 산정하고 있는데, 이는 약 6,536억원/년의 오차가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 즉, CAPSS에 의한 객관적인 도로이동오염원 배출량 및 대기질 비용의 추정 결과를 기대하기에는 한계가 있다는 것을 확인할 수 있으며, 교통수요예측 기법(Traffic Demand Analysis: TDA)과의 연계 등을 통한 방법론

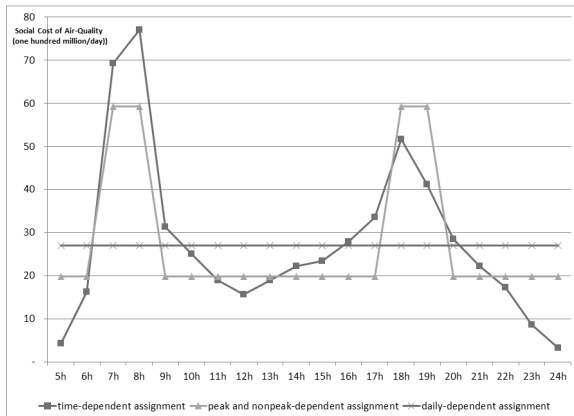


Fig. 4. Social Cost of Air-Quality for Hourly based on Various Traffic Assignment

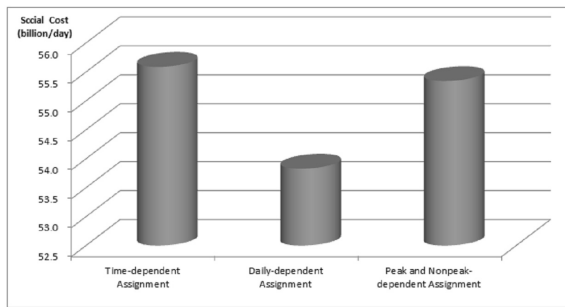


Fig. 5. Social Cost Comparison of Air-Quality based on Various Traffic Assignment

개선이 요구된다.

넷째, 첨두·비첨두 통행배정에 의한 대기질의 사회적 비용은 총 553억원/일로 각 시간대별 통행배정에 의한 사회적 비용인 총 555.9억원/일과 비교해 볼 때 1%의 차이나지 않는 것을 확인하였다. 즉, 기존 첨두·비첨두 통행배정 방법에 의한 대기질 편익은 1시간 단위의 분석결과와 비교해 큰 오차가 없기 때문에 현재 수요예측기법의 합리성을 재확인할 수 있다. 다만, 이는 군집분석에 의해 도출된 첨두·비첨두 비중과 지속시간을 이용하여 사회적 비용을 분석하였기 때문에 그 차이는 더 미미하게 나타난 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 분석 시간대 구분 단위가 차량 배출물질의 배출량과 그에 대한 대기질의 사회적 비용 추정 결과에 어떠한 영향을 미치는지 입증하였으며, 본 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다. 첫째, 대기질의 사회적 비용은 분석대상 시간대에 따라 약 24배의 차이가 발생하였으며, 이를 통해 시간대별 교통수요를 분산

시키기 위한 교통-환경 정책의 중요성을 실질적으로 재확인하였다. 둘째, 일 평균 통행속도와 1시간 단위의 통행속도 적용에 따른 대기질의 사회적 비용은 분석 시간대에 따라 최소 12%에서 최대 286%차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 객관적인 도로이동 오염원 배출량 및 대기질 비용 추정을 위해, 시간대별로 세분화된 O/D의 가공과 통행배정 방법론의 적용이 중요한 부분이며, 특히 일단위의 통행배정 방법으로는 정확한 대기질 추정에 한계가 있음을 의미한다. 셋째, CAPSS에서의 일평균 단위의 분석 결과는 시간 단위의 분석결과와 비교해 연평균 약 6,536억원의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 추정 결과의 객관성 측면에서의 CAPSS에 대한 한계를 나타낸 것으로, TDA와의 연계 분석과 같은 필요성을 시사한다. 넷째, 가구통행실태조사 자료의 통행량을 기준으로 군집 분석한 결과, 첨두시간과 비첨두시간은 각각 4시간과 16시간으로 분류되었으며, 각각의 통행 집중율은 10.3%, 3.65%로 분석되었다. 이는 교통수요분석에서의 첨두·비첨두 O/D가공에 활용될 수 있으며, 차량 배출량 및 그에 대한 대기질 가치 추정결과와 객관성 향상에 기여할 수 있다. 다섯째, 첨두·비첨두 통행배정 방법에 의한 대기질 개선 편익은 1시간 단위의 분석결과와 비교해 1%의 오차가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이는 차량 배출량 및 대기질 가치를 추정함에 있어 첨두·비첨두 시간대 구분 방법의 적합성을 시사한다.

본 연구에서는 대기질의 사회적 비용 추정결과에 영향을 미칠 수 있는 요소 중 하나인, 도로구간의 통행량과 통행속도를 결정지을 수 있는 통행배정의 시간대 구분을 중심으로 비교·분석하였지만, 그 외 배출물질별 사회적 가치 및 지역별 사회적 가치에 대한 다른 판단 기준, 통행배정 기법의 한계에 기인한 통행속도의 추정오차, 차량 가감속의 미반영 등 대기질의 사회적 비용에 영향을 미칠 수 있는 인자들은 다양하기 때문에 향후 이들에 대한 영향과 더불어 대기질의 사회적 비용 가치 추정의 문제점을 보완하기 위한 지속적인 연구가 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2010-0029446)입니다.

References

Abou-Ali, H and Belha, M. (2005). *Does benefit transfer always work : A Multi-country Comparison*, Working Paper in Economics No.158, Department of Economics, Gothenburg University.
 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.
- Eom, Y. S. (1998). "Valuing health effects of air pollution; An Application of the Averting Behavior Method." *Kor J. Env. Hlth*, Vol. 7, No. 1 (in Korean).
- Kim, C. W. (1997). "Measurement of air quality value inherented in house price: Using Spatial Econometrics Model." *Korea Resource Economics Association*, Vol. 7, No. 1, pp. 61-84 (in Korean).
- Kim, T. H., Lee S. I., Kim, Y. I., Roh, J. H. (2010). "Comparison study of generated greenhouse gas amount estimation from road transportation." *Korea Society of Civil Engineers*, Vol. 58 No. 9, pp. 67-73 (in Korean).
- Korea Development Institute (2008). *Guidelines for pre-feasibility study of road and railway projects* (5nd Phase), pp. 240-254 (in Korean).
- Korea Environment Institute (2002). A Comparative study on the environmental aspects of the surface transportation (in Korean).
- Lee, S. W. and Lee, M. M. (2001). *Valuation of social cost related to transportation environment* (2nd Phase). *The Korea Transportation Institute* (in Korean).
- Lee, Y. J. (2011). *A study regarding impacts analysis that the air quality in seoul affects sale price of apartments*, MSc Thesis, University of Seoul (in Korean).
- National Institute of Environmental Research. (2004). *Clean air policy support system* (4nd Phase).
- Park, J. I. and 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 (in Korean).
- Tol, R. S. J. (2009). "The economic effects of climate change." *J. Econ. Perspect*.
- Yoo, B. Y., Bae, S. H., Han, S. H., Han, S. Y., Kim, G. Y. (2011). "A comparative study for estimation of greenhouse gas for local government's sustainable transport." *J. Korean Soc. Transp*, Vol. 29, No. 5, pp. 55-65 (in Korean).
- Yoo, Y. S. (2003). *Estimating social costs of air pollutions and developing emission control strategies for kyonggi-do*, *Gyeonggi Research Institute* (in Korean).