

지자체 도로이동오염원 배출량 산정 방안*

한진석**

A Methodology for Estimation of Vehicle emissions in a Metropolitan Area*

Hahn, Jin Seok**

한국환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute)

제출 : 2015년 2월 23일 수정: 2015년 7월 16일 승인 : 2015년 8월 27일

국문 요약

지자체 단위의 도로이동오염원 배출량을 보다 현실적으로 산정하기 위하여 배출량 산정 시 기초자료인 차량 등록 대수를 보정하는 방안을 검토하였다. 국가교통DB를 이용하여 수도권 지역의 특정 차종(RV, 승합차, 버스, 화물차)에 대한 차량 등록대수를 보정한 결과, 지역별로는 서울의 오차율이 가장 크고 차종별로는 버스와 화물차의 오차율이 큰 것으로 나타났다. 또한, 배출량 산정에 영향을 미치는 기존 등록대수와 보정 등록대수 편차의 절대값은 수도권 지자체 모두 화물차가 가장 큰 것으로 나타났다. 배출량 산정 결과, 기존 등록대수 기반의 배출량과 보정 등록대수 기반의 배출량의 차이는 약 9%로 나타났으며, 수도권 지자체 중에서는 인천의 배출량 오차율이 가장 큰 것으로 나타났다.

■ **주제어** ■ 경유차, 도로이동오염원 배출량, 차량 등록대수, 보정 등록대수, 국가교통DB

Abstract

In this paper, we reviewed the method of replacing the number of registered vehicles with the number of trips to more realistically calculate vehicle emissions. Using the Korea Transport Data Base (KTDB) in replacing the number of registered vehicles with adjusted number of registered vehicle by specific vehicle type in the metropolitan area, the results by region showed that Seoul had the widest rate of error and that, among vehicles, trucks had the widest rate of error. Also, the absolute value of deviation of registered vehicles and adjusted number of registered vehicle influenced by the calculation of the quantity of vehicle emissions showed that out of the metropolitan regional government all trucks showed the widest deviation. The results of calculating the quantity of vehicle emissions showed an average of 9% difference between the emissions based on the number of registered vehicles and the emissions based on adjusted number of registered vehicle.

■ **Keywords** ■ Diesel Vehicles, Vehicle Emission, Number of Registered Vehicle, Adjusted Number of Registered Vehicle, KTDB

* 이 논문은 한국환경정책·평가연구원(KEI)의 지원을 받은 「친환경차 보조금 지원 정책의 온실가스 감축 효과 연구 (과제번호: GP2015-01-02-02)」의 일환으로 수행되었음.

** jshahn@kei.re.kr

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2011년 기준 대기오염물질 총 배출량은 3,543,852톤(비산먼지, 생물성 연소 및 식생 제외)이며, 이 중 도로이동오염원의 배출량은 877,514톤(24.8%)으로 배출원 중 배출량 비중이 가장 크다. 특히, CO, NO_x는 도로이동오염원의 기여율이 각각 64.5%, 31.0%로 가장 높아(국립환경과학원, 2014), 대기환경개선을 위한 도로이동오염원 관리는 여전히 중요한 분야로 남아있다. 수도권¹⁾의 경우 대기환경개선을 위하여 2015년부터 수도권 대기환경개선을 위한 2차 기본계획을 시행하고 있으며, 도로이동오염원의 관리 방안으로는 친환경 자동차 보급 확대, 제작차 배출허용기준 및 사후관리 강화, 운행차 배출가스 관리 강화 등을 추진하고 있다. 이와 같은 지자체 단위의 도로이동오염원 관리 방안에 대한 실효성을 제고하기 위해서는 관리 방안 시행 전·후의 배출량이 정확하게 산정되어야 할 필요가 있다.

도로이동오염원 배출량은 일반적으로 차종별 차량 등록대수를 바탕으로 산정된다(국립환경과학원, 2013). 그러나 이와 같은 방법은 국가 배출량과 같이 총량 개념을 산정하는 데는 큰 무리가 없으나, 특정 지역의 세부 배출량을 산정하는 데는 한계가 있는 것으로 판단된다. 즉, 특정 지역의 세부 배출량을 산정하기 위한 차량 등록대수는 해당 지역 내에서 통행하는 등록대수와 타 지역으로 진출 또는 타 지역에서 진입하는 등록대수가 함께 고려되어야 할 필요가 있다. 특히, 질소산화물(NO_x) 배출량 비중이 높은 화물차의 경우 차량등록지와 실제 물류활동지의 일치율이 낮기 때문에(한국교통연구원, 2011), 차량 등록대수 기반의 배출량은 과다 또는 과소 산정될 가능성이 있다.

이에 본 연구에서는 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량을 보다 현실적으로 산정하기 위하여 차량 등록대수를 보정하는 방안을 검토하고자 한다. 이를 위한 기초자료는 「국가통합교통체계효율화법」을 근거로 5년 단위로 시행되는 국가교통조사¹⁾ 결과를 활용하였으며, 기존 차량 등록대수 기반의 배출량 산정 결과와 본 연구에서 제시한 보정 등록대수 기반의 배출량 산정 결과를 비교하여 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량 산정을 위한 기초자료로 보정 등록대수의 적용 가능성 및 타당성을 검토하였다.

1) 한국교통연구원 국가교통DB센터에서는 조사 중간년도에 사회경제지표를 바탕으로 조사 결과를 매년 갱신함. 또한, 여객 및 화물O/D를 매년 기준년도와 정래년도(20년, 25년, 30년, 35년, 40년)로 구분하여 배포하고 있어 2차 수도권 기본계획 등에 활용이 가능함.

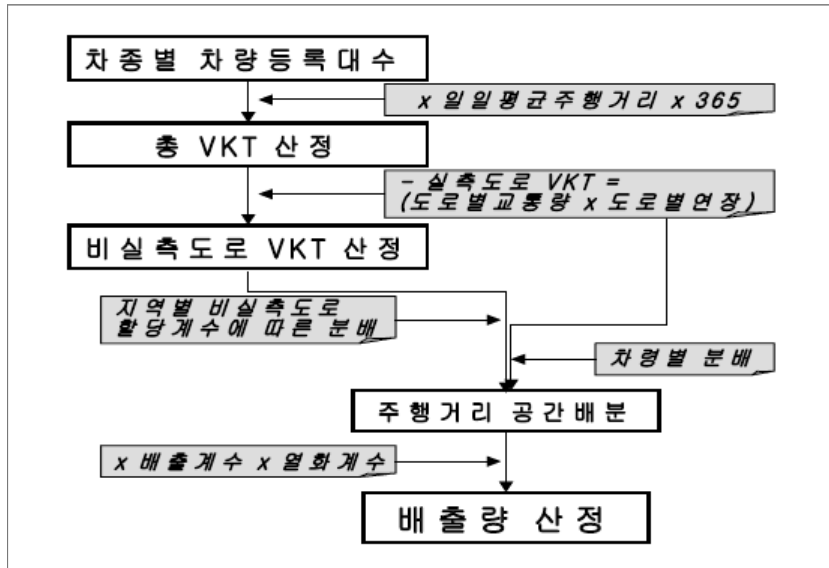
2. 연구의 범위

본 연구는 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량 산정 방안을 검토하기 위하여 전국 대비 차량 등록대수 비중이 높은 수도권을 대상지역으로 선정하였다. 배출량 산정을 위한 대상차량은 차령 10년 이상의 노후 경유차 중 배출가스 저감사업에 참여하지 않은 차량(RV, 승합차, 버스, 화물차)²⁾이며, 대기오염물질은 경유차에서 주로 배출되는 미세먼지(PM₁₀)와 질소산화물(NO_x)로 한정하였다.

II. 선행연구 검토

국내 도로이동오염원 배출량 산정은 주로 국립환경과학원(2013)에서 제시하는 방법을 준용하고 있으며, 도로이동오염원 배출량은 <그림 1>과 같이 차종별 차량 등록대수를 바탕으로 차량 총 주행거리와 비실속도로 차량 총 주행거리를 산정한 후, 배출계수 등을 이용하여 산정한다.

그림 1 도로이동오염원 배출량 산정 흐름(국립환경과학원, 2013)



2) 승용차는 차량 등록대수가 적어 제외하였음.

또한, 다수의 선행연구에서 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량 산정 시 IPCC³⁾ 가이드라인에서(환경부, 환경관리공단, 2008) 제시하는 Tier 3 방법이 적합하며, 해당 방법을 적용하기 위한 기초자료 수집의 필요성을 강조하고 있다(김태호 외, 2010, 유병용 외, 2011, 김기동 외, 2011, 김기동 외, 2012, 이태정 외, 2012). 또한 Tier 3 방법을 개선하여 보다 정확한 도로이동오염원의 배출량을 산정하기 위한 연구들도 지속적으로 진행되고 있으며(최기주, 이규진, 안성채, 2009; 이규진 외, 2012; 권진선, 2014), 국가교통 DB를 활용한 온실가스 배출량 산출모형도 검토된 바 있다(박진영, 민연주, 정태용, 2013).

국외에서는 도로이동오염원의 배출량 분석을 위한 tool 개발도 활발하게 진행되고 있으며, NCHRP(National Cooperative Highway Program) Project 25-25에서는 분석 수준(State, Region, Local, Project)에 따라 적용 가능한 분석 tool을 개발하였다. 이상의 선행연구 검토 결과, 국내의 경우 도로이동오염원 배출량 분석을 위한 tool 개발이 미진하고 Tier 3 방법을 적용하기 위한 기초자료 수집 또한 용이하지 않아 도로이동오염원에 대한 대기관리정책 효과를 다양하게 분석하기에는 한계가 있다.

따라서 장기적으로는 도로이동오염원 배출량 분석을 위한 다양한 tool 개발과 관련 기초자료를 확보할 수 있는 방안이 검토되어야 하며, 단기적으로는 기존 도로이동오염원 배출량 산정 방법을 개선하기 위한 방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 단기적인 관점에서 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량을 보다 현실적으로 산정하기 위하여, 배출량 산정 시 주요 기초자료인 차량 등록대수를 보정하는 방안을 검토하고자 한다.

Ⅲ. 방법론 정립

1. 기초자료 검토

1) 차량 등록대수

수도권에서는 「수도권 대기관리 개선에 관한 특별법」을 근거로 2005년부터 운행경유차를 대상으로 배출가스 저감사업을 시행하고 있다. 배출가스 저감사업은 배출가스 보증기간⁴⁾이 지난 경유차가 배출허용기준을 유지할 수 있도록 저공해조치(배출가스

3) Intergovernmental Panel on Climate Change

4) 경유자동차 배출가스 보증기간은 차량총중량 3.5톤 미만의 경우 5년 또는 80,000km, 차량총중량 3.5톤 이상의 경우 2년 또는 160,000km.

저감장치 부착, 저공해엔진 개조) 또는 조기폐차를 유도하는 사업이다. 본 연구에서는 차령 10년 이상, 총 중량 2.5톤 이상인 노후 경유차 중 배출가스 저감사업에 참여하지 않은 특정 차종(RV, 승합차, 화물차)을 대상으로 분석을 수행하였다. <표 1>과 같이 해당 차종 중 수도권에 등록된 차량은 429,537대로 전국 등록차량의 28%를 차지하고 있으며, 시도별로는 경기도의 등록대수가 가장 많은 것으로 나타났다.

또한, 해당 차종을 연식별로 검토한 결과는 <그림 2>와 같으며, 수도권과 비수도권에 등록된 차량의 연식분포는 대체로 유사한 것으로 나타났다. 그러나 수도권의 경우 1995년 이전에 등록된 화물차 대수가 비수도권에 비하여 많은 것으로 나타나 20년 이상 노후 경유화물차의 통행비중은 수도권이 보다 높은 것으로 판단된다.

표 1 노후경유차 중 저공해조치 미이행 차량의 등록대수

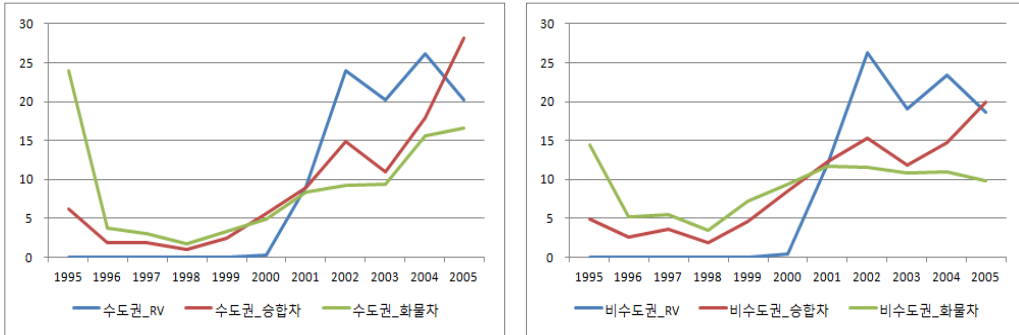
(단위: 대)

구분	RV	승합차	화물차	합계
서울	49,018	13,731	52,569	115,318
부산	16,862	10,867	59,179	86,908
대구	14,806	7,429	57,814	80,049
인천	21,543	6,326	27,868	55,737
광주	10,049	4,079	32,299	46,427
대전	10,965	4,806	28,222	43,993
울산	9,207	3,225	22,366	34,798
세종	1,155	541	4,414	6,110
경기	94,328	27,958	136,196	258,482
강원	13,531	6,407	57,615	77,553
충북	13,251	6,375	59,014	78,640
충남	18,046	8,457	82,478	108,981
전북	13,948	7,318	78,667	99,933
전남	14,592	8,348	95,862	118,802
경북	21,071	12,473	133,142	166,686
경남	21,958	13,229	114,002	149,189
합계	344,330	141,569	1,041,707	1,527,606

자료: 국토교통부 자동차정책과 자동차 등록 통계자료(2014년 10월 기준).

그림 2 연식별 차량 분포

(단위: %)



2) 국가교통조사

5년 주기로 수행되는 국가교통조사는 크게 여객통행실태조사와 화물통행실태조사로 구분되며, 최근 조사는 여객의 경우 2010년에, 화물의 경우 2011년에 수행되었다. 여객통행실태조사와 화물통행실태조사 중 지역 간 기종점통행량(O/D)과 관련된 조사는 가구통행실태조사와 화물자동차통행실태조사이다. 가구통행실태조사는 전국의 여객 이동 실태를 분석하기 위하여 조사대상 가구의 속성과 가구원의 평일 하루 통행을 파악하는 조사이며, 화물자동차통행실태조사는 전국의 화물 이동 실태를 분석하기 위하여 하루 동안 통행한 화물자동차의 운행일지를 파악하는 조사이다. 본 연구에서는 국가교통 조사의 결과물 중 2013년 기준 지역 간 여객 및 화물 기종점통행량(O/D) 자료를 활용하였다.

3) 배출계수

수도권대기환경청에서는 수도권에서 운행하는 차량들의 배출량 산정을 위한 배출계수를 제공하고 있다. 본 연구에서는 해당 계수를 활용하여 배출량 산정하였으며, 본 연구에서 고려하는 차종에 대한 오염물질별 배출계수 특성은 다음과 같다. 미세먼지와 질소산화물 모두 차령이 오래된 중·대형 차량(승합차, 화물차)일수록 배출계수가 큰 특성을 가진다.

그림 3 차종별 연식별 미세먼지 배출계수

(단위: g/km)

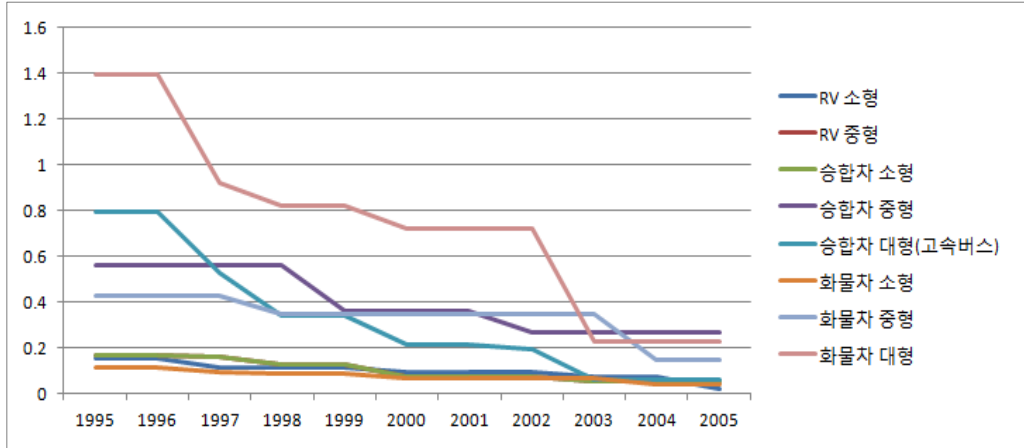
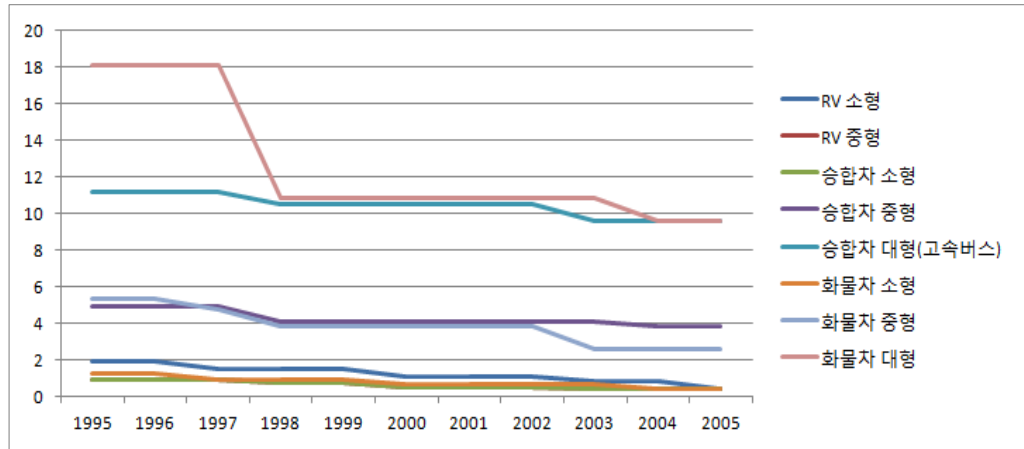


그림 4 차종별 연식별 질소산화물 배출계수

(단위: g/km)



2. 차량 등록대수 보정

전술한 바와 같이, 본 연구에서는 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량을 보다 현실적으로 산정하기 위하여 국가교통DB에서 제공하는 지역 간 기종점통행량(O/D) 자료를 활용하여 차량 등록대수를 보정하는 방안을 검토하고자 한다. 국가교통DB에서는 지역 간 기종점통행량(O/D) 자료를 <그림 5>와 같이 매트릭스 형태로 제공하며, 해당 자료를

통하여 지역별 통행 발생량(O_i) 및 도착량(D_j), 지역 간 통행량(T_{ij}), 지역별 내부통행량(T'_{ij}) 등의 정보를 알 수 있다. 지역 간 여객 기종점통행량(O/D)은 통행수단별(승용차, 버스 등)로, 지역 간 화물 기종점통행량(O/D)은 화물자동차 적재능력별(소형, 중형, 대형)로 구분이 가능하여 기존 차량 등록대수 자료의 차종과 개략적인 매칭이 가능하다.

그림 5 지역 간 기종점통행량(O/D) 자료 형태

구분	Z1	Z2	Z3	O
Z1	T11'	T12	T13	O1
Z2	T21	T22'	T23	O2
Z3	T31	T32	T33'	O3
D	D1	D2	D3	TT

Z_i : 지역
 O_i : 지역별 발생량(대/일)
 D_j : 지역별 도착량(대/일)
 T_{ij} : 지역 간 통행량($i \neq j$)(대/일)
 T'_{ij} : 지역별 내부통행량($i = j$)(대/일)
 TT : 총통행량(대/일)
 $i, j = 1, 2, 3$

한편, <그림 5>와 같이 3개의 지역이 있을 경우, Z_i 지역의 차량 등록대수를 보정하는 방안은 다음과 같다.

$$A'_i = A_i - \{A_i \times ((T_{ij} + T_{ik}) / O_i)\} + \{A_j \times T_{ji} / D_j + A_k \times T_{ki} / D_k\} \quad (1)$$

A'_i : Z_i 지역의 보정 등록대수

A_i : Z_i 지역의 기존 차량 등록대수

$i, j, k = 1, 2, 3 (i \neq j \neq k)$

기본적으로 Z_i 지역의 차량 등록대수는 Z_i 지역의 보정 등록대수와 동일하지 않다. 이는 Z_i 지역에 등록된 차량은 Z_i 지역뿐만 아니라 Z_i 지역 외로 통행이 가능하며, Z_i 지역 외에 등록된 차량 또한 Z_i 지역에서 통행이 가능하기 때문이다. 이에 본 연구에서는 Z_i 지역의 차량 등록대수(A_i)에서 Z_i 지역에서 타 지역으로 진출하는 차량 등록대수($A_i \times ((T_{ij} + T_{ik}) / O_i)$)와 타 지역에서 Z_i 지역으로 진입하는 차량 등록대수($A_j \times T_{ji} / D_j + A_k \times T_{ki} / D_k$)를 고려하여 Z_i 지역의 보정 등록대수(A'_i)를 추정하는 방안을 검토하였으며, 이를 일반화한 수식은 다음과 같다.

$$A_i' = A_i - \left\{ A_i \times \left(\sum_{j \neq i} T_{ij} \right) / O_i \right\} + \left\{ \sum_{j \neq i} (A_j \times T_{ji} / D_i) \right\} \quad (2)$$

$i, j = 1, \dots, 16$ (전국 16개 시도)

IV. 배출량 특성 분석

1. 보정 등록대수 추정

도로이동오염원의 배출량을 산정하기에 앞서, 식 (1)을 이용하여 수도권 지역의 차량 등록대수를 보정한 결과는 다음과 같다. <표 2>는 지역간 기종점통행량(O/D)을 이용하여 수도권에 등록된 차량대수 중 타 지역으로 진출하는 차량대수와 타 지역에 등록된 차량대수 중 수도권으로 진입하는 차량대수를 추정한 결과이다. 또한 <표 3>은 <표 2>의 결과를 고려하여 수도권의 차량 등록대수를 보정한 결과와 기존 차량 등록대수를 비교한 결과이다.

표 2 수도권 기준 진입·진출 차량 등록대수

(단위: 대)

구분		수도권→타 지역			타 지역→수도권		
		서울	인천	경기	서울	인천	경기
RV	소형	787	308	1,166	992	304	918
	중형	9,504	3,979	14,519	12,437	3,752	11,356
버스	시내	121	41	526	121	41	526
	시외	21	7	93	105	16	39
	전세	40	19	138	201	40	101
	고속	17	5	31	36	6	23
	기타	22	6	75	102	20	50
승합차	소형	2,589	1,154	4,002	3,552	1,045	3,307
	중형	68	29	143	135	36	110
	특수	47	10	37	33	12	50
화물차	소형	7,805	5,479	23,907	17,497	6,255	19,217
	중형	3,908	1,735	8,051	3,828	1,970	9,222
	대형	1,546	1,404	6,200	1,860	1,894	7,264
합계		26,475	14,176	58,888	40,899	15,391	52,183

표 3 수도권 지자체별 차량 등록대수 vs. 보정 등록대수

(단위: 대, %)

구분		보정 등록대수			기존 등록대수			오차율		
		서울	인천	경기	서울	인천	경기	서울	인천	경기
RV	소형	3,954	1,543	6,764	3,750	1,547	7,012	5.45	-0.26	-3.54
	중형	48,201	19,769	84,153	45,268	19,996	87,316	6.48	-1.13	-3.62
버스	시내	121	41	526	121	41	526	0.00	0.00	0.00
	시외	238	62	578	155	53	632	53.82	17.25	-8.57
	전세	452	170	899	291	149	935	55.31	14.15	-3.88
	고속	142	42	202	122	41	210	16.14	2.06	-3.74
	기타	244	58	483	165	44	508	47.91	32.37	-4.93
승합차	소형	13,293	5,691	23,373	12,329	5,800	24,068	7.82	-1.88	-2.89
	중형	390	154	825	323	147	858	20.67	4.74	-3.83
	특수	211	53	234	225	51	221	-6.40	4.13	5.96
화물차	소형	52,349	23,950	104,773	42,658	23,174	109,462	22.72	3.35	-4.28
	중형	7,021	3,238	19,001	7,101	3,003	17,830	-1.13	7.83	6.57
	대형	3,124	2,182	9,968	2,810	1,691	8,904	11.17	29.01	11.95
합계		129,739	56,953	251,778	115,318	55,737	258,482	12.51	2.18	-2.59

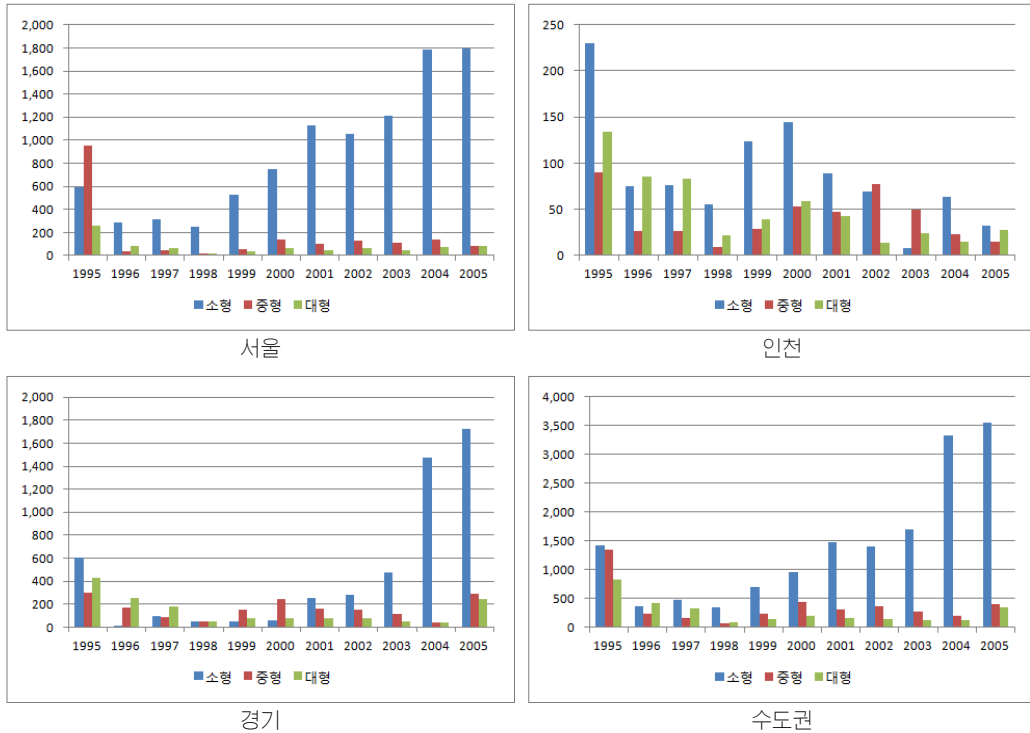
특정 차종(RV, 승합차, 버스, 화물차)을 대상으로 수도권 지역의 차량 등록대수와 보정 등록대수를 비교한 결과, 지역별로는 서울의 오차율이 12.51%로 가장 큰 것으로 나타났다. 서울에서는 전세버스의 오차율이 가장 크게 나타났으며, 인천과 경기에서는 각각 기타버스와 대형화물차의 오차율이 가장 큰 것으로 나타났다. 반면, 배출량 산정 결과에 영향을 미치는 차량 등록대수와 보정 등록대수 편차의 절대값은 서울, 인천, 경기 모두 화물차가 타 차종에 비하여 가장 큰 것으로 나타나(서울: 10,085대, 인천: 1,502대, 경기: 6,925대), 화물차에 대한 차량 등록대수 보정 방안 마련이 시급한 것으로 판단된다.

한편, 수도권 지역의 화물차 톤급별 연식별 차량 등록대수와 보정 등록대수의 절대값 편차를 비교한 결과는 다음과 같다. 서울과 경기의 경우 연식이 짧을수록 소형화물차는 절대값 편차가 커지는 반면, 중·대형 화물차는 절대값 편차가 작아지는 특성을 보인다. 인천의 경우는 화물차 톤급에 관계없이 연식이 짧을수록 기존 등록대수와 보정 등록대수의 절대값 편차가 작아지는 특성을 보인다. 일반적으로 연식이 오래된 차량일수록 배출계수가 크기 때문에, 기존 차량 등록대수 기반의 배출량 산정 결과와 보정 등록

대수 기반의 배출량 산정 결과는 서울과 경기의 경우 중·대형 화물차에서, 인천의 경우 모든 화물차 톤급에서 차이가 두드러질 것으로 판단된다.

그림 6 화물차 연식별 절대값 편차

(단위: 대)



2. 배출량 산정

차량 등록대수 기반의 배출량 산정 결과와 본 연구에서 제시한 보정 등록대수 기반의 배출량 산정 결과를 비교하기 위하여, 수도권의 특정 차종(RV, 승합차, 버스, 화물차)을 대상으로 배출량을 산정하였다. 본 연구에서는 편의상 수도권의 도로이동오염원 배출량을 총량 개념⁵⁾으로 산정하였으며, 산정 방법은 다음과 같다. 배출계수와 열화계수는 각각 수도권 대기환경청(2014)과 국립환경과학원(2013)에서 제공하는 자료를 사용하였으며, 일평균주행거리는 교통안전공단(2013)에서 제시하는 자료를 사용하였다.

5) 국립환경과학원(2013)에서 제시하는 엔진가열(Hot-start) 배출량 산정 방법 중 주행거리 공간배분 단계를 고려하지 않음.

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{열화계수} \times \text{차량 등록대수(보정 등록대수)} \times \text{일평균주행거리} \times 365 \quad (2)$$

오염물질별 배출량 산정 결과를 지역별로 비교한 결과는 <표 4>와 같다. 수도권을 기준으로 기존 차량 등록대수 기반의 배출량 산정 결과와 보정 등록대수 기반의 배출량 산정 결과는 약 9%의 오차가 있는 것으로 나타났으며, 수도권 지자체 중에서는 인천의 오차율이 가장 큰 것으로 나타났다. 또한, 인천을 기준으로 오염물질별 배출량 오차율을 차종별로 비교한 결과는 <그림 7>과 같으며, 미세먼지와 질소산화물 모두 승합차, RV, 버스, 화물차의 순으로 오차율이 큰 것으로 나타났다.

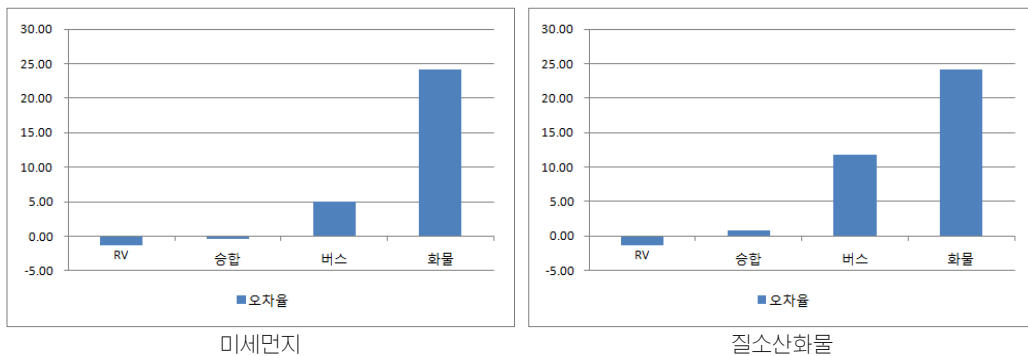
표 4 지역별 배출량 비교

(단위: 톤, %)

구분	미세먼지			질소산화물		
	기존 등록대수	보정 등록대수	오차율	기존 등록대수	보정 등록대수	오차율
수도권	1,616	1,749	8.22	22,555	24,587	9.01
서울	496	533	7.30	6,433	7,213	12.12
인천	217	258	18.95	2,816	3,375	19.83
경기	903	958	6.15	13,306	13,999	5.21

그림 7 인천시 차종별 배출량 오차율 비교

(단위: %)



이와 같이 인천의 오차율이 가장 큰 이유는 <그림 6>에서 검토한 바와 같이 인천은 서울, 경기와는 달리 화물차 톤급별 기존 차량 등록대수와 보정 등록대수의 절대값 편차가 오래된 연식에서 크기 때문으로 판단된다. 즉, 수도권 지자체 모두 배출량 산정 결과의

오차율에 가장 큰 영향을 미치는 차종은 화물차이며, 인천의 경우는 연식이 오래된 화물차의 차량 등록대수와 보정 등록대수의 절대값 편차가 서울, 경기도에 비하여 상대적으로 크기 때문에 배출량 산정 결과의 오차율도 큰 것으로 판단된다.

한편, 오염물질별 배출량 산정 결과를 차종별로 비교한 결과는 <표 5>와 같으며, 수도권을 기준으로 미세먼지와 질소산화물 모두 버스와 화물차의 오차율이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한, 화물차에 대한 오염물질별 배출량의 절대값 편차를 검토한 결과는 <그림 8>와 같으며, 미세먼지와 질소산화물 모두 소형보다는 중·대형 화물차의 편차가 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 한국교통연구원(2011)에서 검토된 바와 같이 톤급이 클수록 지역 간 통행빈도가 높아 차량등록지와 실제 물류활동지의 일치율이 낮기 때문으로 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량 산정결과의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 중·대형 화물차의 등록대수에 대한 보정방안이 우선 마련되어야 할 것으로 사료된다.

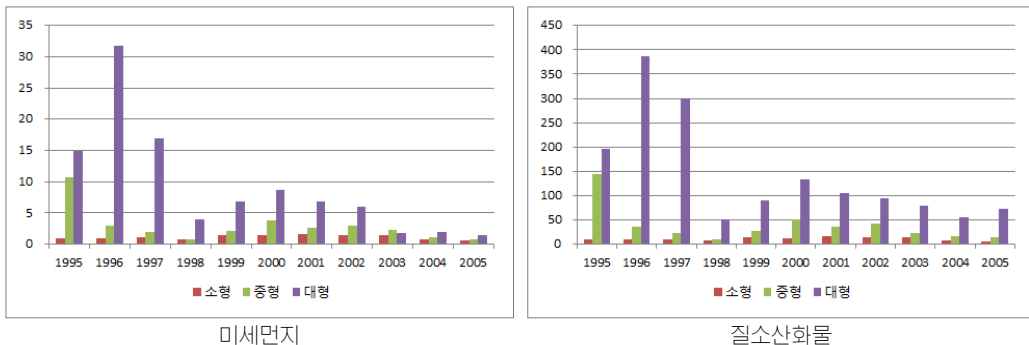
표 5 차종별 배출량 비교

(단위: 톤, %)

구분	미세먼지			질소산화물		
	기존 등록대수	보정 등록대수	오차율	기존 등록대수	보정 등록대수	오차율
RV	156	156	-0.02	1,358	1,361	0.24
버스	243	256	5.45	5,206	5,583	7.24
승합	41	42	0.96	413	418	1.11
화물	1,176	1,295	10.15	15,579	17,225	10.57

그림 8 톤급별 연식별 배출량 절대값 편차 비교

(단위: 톤)



마지막으로 오염물질별 배출량 산정 결과를 연식별로 비교한 결과는 <표 6>, <표 7>과 같으며, 수도권을 기준으로 미세먼지와 질소산화물 모두 1996~2000년 연식의 오차율이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한, 연식별 배출량의 절대값 편차를 지역별로 비교한 결과는 <그림 9>와 같으며, 미세먼지와 질소산화물 모두 2000년 연식 이전에는 인천의 편차가, 2000년 연식 이후에는 서울의 편차가 대체로 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 전술한 바와 같이 일반적으로 연식이 오래된 대형 차량일수록 배출계수가 크고, 인천의 경우 연식이 오래된 중·대형 화물차의 기존 차량 등록대수와 보정 등록대수의 절대값 편차가 서울, 경기도에 비하여 상대적으로 크기 때문으로 판단된다.

표 6 연식별 배출량 비교(미세먼지)

(단위: 톤, %)

구분	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	합계
기준등록대수	827	127	68	18	35	52	78	128	77	94	111	1,616
보정등록대수	839	164	89	24	46	67	90	139	82	98	111	1,749
오차율	1.37	29.14	29.87	30.38	31.04	27.38	15.34	8.86	7.68	4.84	-0.35	8.22

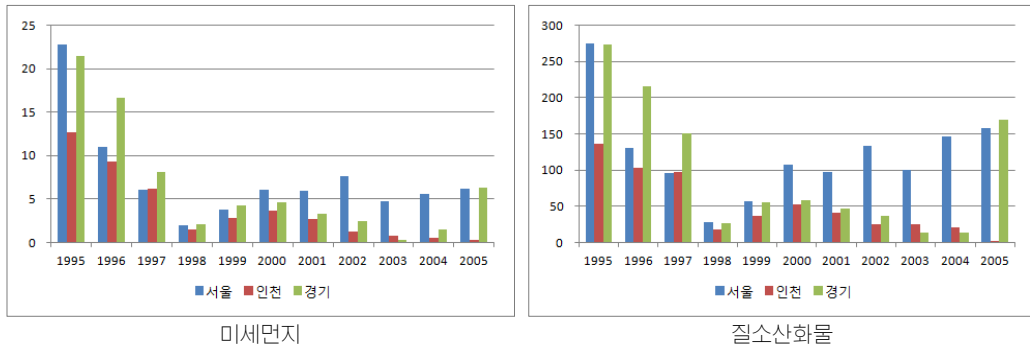
표 7 연식별 배출량 비교(질소산화물)

(단위: 톤, %)

구분	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	합계
기준등록대수	10,429	1,574	1,111	256	488	787	998	1,563	1,133	1,702	2,515	22,555
보정등록대수	10,565	2,024	1,454	330	636	1,007	1,185	1,756	1,271	1,856	2,504	24,587
오차율	1.31	28.57	30.88	28.90	30.34	27.89	18.70	12.38	12.17	9.04	-0.43	9.01

그림 9 지역별 연식별 배출량 절대값 편차 비교

(단위: 톤)



V. 결론

본 연구에서는 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량을 보다 현실적으로 산정하기 위하여 차량 등록대수를 보정하는 방안을 검토하였다. 지역 간 여객 및 화물 기종점 통행량(O/D)을 이용하여 수도권 지역의 특정 차종(RV, 승합차, 버스, 화물차)을 대상으로 차량 등록대수를 보정한 결과, 지역별로는 서울의 오차율이 가장 큰 것으로 나타났으며 차종별로는 버스와 화물차의 오차율이 큰 것으로 나타났다. 또한, 배출량 산정에 영향을 미치는 차량 등록대수와 보정 등록대수 편차의 절대값은 수도권 지자체 모두 화물차가 가장 큰 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 차량 등록대수를 기반으로 특정 지역의 도로이동오염원 배출량을 산정할 경우, 화물차의 배출량 산정 결과는 다양한 관점에서 검토가 필요함을 시사한다.

또한 수도권 지역 화물차를 대상으로 기존 차량 등록대수와 보정 등록대수의 절대값 편차를 톤급별 연식별로 검토한 결과, 서울과 경기도는 연식이 짧을수록 소형화물차의 절대값 편차는 커지고 중·대형 화물차의 절대값 편차가 작아지는 특성을 보인다. 반면, 인천은 화물차 톤급에 관계없이 연식이 짧을수록 절대값 편차가 작아지는 특성을 보인다. 일반적으로 연식이 오래된 중·대형 차량일수록 배출계수가 크다는 점을 감안하면 차량 등록대수 기반의 배출량 산정 결과와 보정 등록대수 기반의 배출량 산정 결과는 서울과 경기도의 경우 중·대형 화물차에서, 인천의 경우 모든 화물차 톤급에서 두드러질 것으로 예상된다.

한편, 수도권 지역의 특정 차종(RV, 승합차, 버스, 화물차)을 대상으로 산정한 차량 등록대수 기반의 배출량과 보정 등록대수 기반의 배출량은 약 9%의 오차가 있는 것으로 나타났으며, 수도권 지자체 중에서는 인천의 오차율이 가장 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 차량 등록대수 기반의 도로이동오염원 배출량 산정은 실제 차량의 지역 간 통행 특성을 충분히 반영하지 못하기 때문에, 특정 지역 단위의 배출량 산정 시 오차를 포함할 가능성이 존재한다. 따라서 지역 단위 도로이동오염원 배출량을 보다 현실적으로 산정하기 위해서는 본 연구의 분석결과와 같이 차종별 통행특성을 고려할 수 있도록 차량 등록대수를 보정해야 할 필요가 있다.

국내에서는 아직까지 전국에 등록된 모든 차량의 기종점통행량(O/D)을 수집할 수 있는 인프라가 충분하게 갖추어져 있지 않다. 즉, 실제 수집되는 교통자료를 바탕으로 지역 간·지역 내 보정 등록대수를 추정하기에는 한계가 있으며, 이에 본 연구에서는

기존 차량 등록대수를 보정하는 방안을 검토하였다. 그러나 본 연구에서 활용한 국가 교통DB는 연간 자료로 월별·일별 통행특성은 고려하지 못하는 한계가 있으며, 통행 경로에 대한 정보가 없기 때문에 해당 자료를 이용해서는 거시적인 분석만이 가능하다.

즉, 본 연구의 보정 등록대수는 수도권 등록대수 중 수도권에서 타 지역으로 진출하는 등록대수를 제외하고 타 지역에서 수도권으로 진입하는 등록대수를 포함하여 추정하였기 때문에, 본 연구에서 추정한 배출량은 수도권 등록차량이 타 지역으로 진출하기 전까지 수도권에서 배출한 배출량, 타 지역 등록차량이 수도권으로 진입하는 전까지 수도권 외 지역에서 배출한 배출량 등은 고려하지 못하는 한계가 있다.

한편, 본 연구에서 추정한 보정 등록대수는 수도권 지역의 등록대수와 수도권 외 지역에서 수도권으로 진입하는 등록대수가 혼재되어 있어 본 연구에서 추정한 배출량으로는 수도권 등록대수로 인한 배출량과 수도권 외 지역에서 수도권으로 진입하는 등록대수로 인한 배출량 구분이 어렵다. 향후 배출량에 대한 오염원의 구분이 공간적으로 이루어진다면 연구 결과에 대한 정책적 활용성은 높아질 것으로 예상된다. 이상의 결과를 바탕으로 지자체 단위의 도로이동오염원 배출량 산정 결과의 신뢰성을 개선하기 위해서는 지자체 단위로 통행대수 자료를 수집할 수 있는 관련 인프라의 확충과 함께, 본 연구에서 제시한 한계들을 개선하기 위한 학술적 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 교통안전공단. 2013. 「2012년도 자동차 주행거리 실태분석 연구」.
- 국립환경과학원. 2013. 「국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ)」.
- _____. 2014. 「대기오염물질 배출량 2011」.
- 권진선. 2014. 「온실가스 배출량 산정의 정확도 제고를 위한 속도데이터 불확도 개선방안 연구」.
- 공주대학교 석사학위논문.
- 김기동, 고현기, 이태정, 김동술. 2011. “배출량 산정방법에 따른 지자체 도로수송부문의 온실가스 배출량 산정 비교”. 『한국대기환경학회지』 27(4): 405-415.
- 김기동, 이태정, 정원석, 김동술. 2012. “도로수송부문 온실가스 배출량 산정을 위한 간선 및 지선도로상의 교통량 추정시스템 개발”. 『한국대기환경학회지』 28(3): 233-248.
- 김태호, 이수일, 김영일, 노정현. 2010. “도로교통부문의 온실가스 배출량 산정 방법론 비교연구”. 『대한토목학회지』 58(9): 67-73.
- 박진영, 민연주, 정태용. 2013. “국가교통DB를 활용한 한국형 교통물류부문 온실가스 배출량 산정 모형 개발”. 『교통연구』 20(2): 29-43.
- 수도권대기환경청. 2014. 「수도권 대기환경개선 시행계획 및 추진실적 작성 지침」.
- 유병용, 배상훈, 한상용, 김건영. 2011. “지속가능교통 평가를 위한 온실가스 배출량 산정 방법론의 지자체 적용 및 비교 연구”. 『대한교통학회지』 29(5): 55-65.
- 이규진, 최기주, 류시균, 백승걸. 2012. “기종점 기반의 도로이동오염원 배출량 추정모형”. 『대한토목학회논문집』 32(2D): 103-110.
- 이태정, 김기동, 정원석, 김동술. 2012. “도로수송부문의 온실가스 배출량 산정방법에 따른 경기도 시·군별 배출량 비교”. 『한국대기환경학회지』 28(4): 454-465.
- 최기주, 이규진, 안성채. 2009. “도로이동오염원 배출량 산정을 위한 Bottom-Up Approach 기법의 개선에 관한 연구”. 『대한교통학회지』 27(4): 83-193.
- 환경부, 환경관리공단. 2008. 「국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인」.
- 한국교통연구원. 2011. 2010년 「국가교통수요조사 및 DB구축사업」 중 전국 여객 기종점통행량(O/D)조사.
- _____. 2012. 2011년 「국가교통수요조사 및 DB구축사업」 중 전국 화물 기종점통행량(O/D) 조사.
- _____. 2013. 2012년 「국가교통수요조사 및 DB구축사업」 중 전국 화물 O/D 전수화 및 장래 예측.