

교통사업의 대기질 평가를 위한 가변적 배출계수 예측모형

Variable Emission Factor Prediction Model for An Air Quality
Assessment of Transportation Projects

이 규 진

(아주대학교 TOD기반 지속가능 도시교통연구센터
연구교수)

유 정 훈

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

최 기 주

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

오 세 창

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구방법 및 범위
 - II. 기존 연구 고찰
 - 1. 기존 연구 검토
 - 2. 문제점 검토
 - III. 모형 개발
 - 1. 모형의 기본개념
 - 2. 자료 수집 및 가공
 - 3. 모형의 구축 및 검증
 - IV. 모형 적용
 - 1. 장래 배출계수의 예측
 - 2. 기존 배출계수와의 비교
 - V. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 녹색교통, 대기질 평가, 가변적 배출계수, 열화계수, 제작차 배출허용기준
Green Transportation, Air Quality Assesment, Variable Emission Factor, Deterioration
Factor, Emission Standard for Vehicles

요 약

본 연구에서는 교통사업 시행에 따른 대기질 평가의 객관성 향상을 위하여 장래 도로이동오염원의 배출계수 예측 모형을 구축하였다. 이를 위해 자동차의 연식별 차량대수 자연감소 패턴을 분석한 후, 차량별 열화계수 등을 활용하여 2015년과 2030년의 속도별 배출계수 예측모형을 정립하였다. 본 연구에서 예측한 2030년 기준의 배출계수는 현재 교통 분야에서 적용하고 있는 배출계수와 비교해 볼 때, 운행속도 30km/h의 경우에 승용차와 버스/트럭 각각 5%~37%, 8%~83% 정도 낮은 것으로 분석되었다. 이러한 실험 분석결과는 통계적으로 유의미한 것으로 판정되었으며, 이를 통해 교통사업 시행에 따른 대기질 평가를 위한 본 모형의 유용성을 확인하였다.

In this study, a model is developed to predict emission factors, which aims to objectively evaluate the impact of transport projects on air quality. Two emission prediction models for the years of 2015 and 2030 are developed using the historical trends in vehicle aging and vehicle deterioration factors. The analysis results show that the emission factors under the operating speed of 30km/h for the year 2030 are 5~37% and 2~83% less than those used in the current studies for passenger cars and bus/trucks, respectively. The statistically validated experiment results demonstrate the applicability of the proposed model to evaluation of the impact of transport policies on air quality.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2011-0000859).

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

최근 국가적 패러다임은 대기질 개선 및 기후 변화에 대응하고자 부각된 녹색교통으로 전환되고 있다. 녹색교통은 교통 본연의 역할인 통행시간 단축 뿐 아니라 대기질 개선에 큰 목적을 두기 때문에 대기질 개선 효과에 대한 심도 있는 접근이 요구된다. 하지만 아직까지 관련 연구는 미미한 실정이며, 실제 녹색교통에 대한 평가 방법은 기존과 비교해 개선된 것이 거의 없는 실정이다.

교통사업에 대한 타당성평가 지침으로 널리 활용되는 한국개발연구원(2008)의 「도로철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정 보완 연구(제5판)」, 국토해양부(2009)의 「교통시설 투자평가 지침 개정안」, 한국철도도시공단(2006)의 「철도투자 평가지침」에 적용되어 있는 대기질 평가 모형을 비롯하여 대기질 평가의 핵심이 되는 배출계수는 국립환경과학원에서 2000년 대 초에 조사한 배출계수이다. 그러나 이후 제작차 배출허용기준이 조정되는 등 다양한 사회여건의 변화(여가 통행의 증가에 따라 RV차량의 증대 등)에 따라 세부 차종의 구성도 변화되었기 때문에 과거 연구된 배출계수를 대신할 새로운 배출계수의 연구가 요구된다.

특히, 도로·교통 사업과 같이 장기 교통사업에 대한 대기질 평가의 편익 기간은 장래 30년 정도로 설정하고 있지만, 현재는 과거 특정시점에 연구된 배출계수를 그대로 적용하여 장래의 교통사업을 평가하고 있기 때문에 이에 대한 개선이 요구된다. 분석연도의 경과에 따라 차종과 연식의 구성은 가변적이며, 차종과 연식별로 배출계수가 상이하므로 배출계수는 분석연도에 따라 가변적이어야 한다.

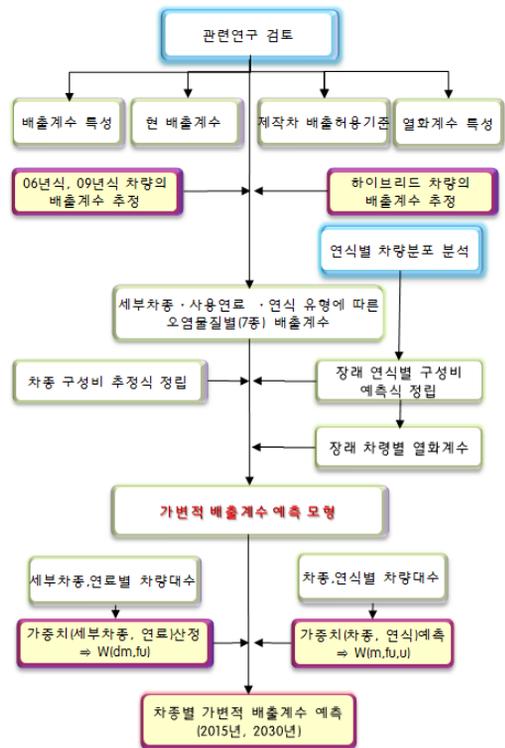
따라서 교통사업에 대한 대기질 평가 결과의 객관성을 확보하기 위해, 장래 분석시점에 적합한 배출계수가 필요하며, 본 연구는 이러한 배출계수(이하: 가변적 배출계수(Variable Emission Factor: VEF))예측모형을 구축하는데 그 목적이 있다.

2. 연구방법 및 범위

본 연구에서 구축하는 모형에서 고려하는 배출계수

의 가변적인 요소는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 차종 및 차량연료의 변화이다. 여가통행의 증가 및 유류비의 변동 등에 따라 분석연도별로 차종 및 사용연료는 가변적이기 때문이다. 다만, 하이브리드와 전기차와 같은 저공해자동차의 경우 정책적인 부분에 따라서도 보급수준이 결정되어 예측의 불확실성이 크기 때문에 해당 차종에 대한 예측은 본 연구범위에서 제외하였다. 둘째, 연식 구성의 변화이다. 현 시점 기준의 배출계수에는 제작차 배출허용기준이 선진국 수준으로 강화되기 이전인 2006년 이전 연식 차량들 기준으로 구성되어 있지만, 장래에는 해당 연식 차량은 자연 감소하고 새로운 연식 차량들이 주행하기 때문이다. 셋째, 차량의 노후화에 따른 배출계수의 변화이다. 동일 연식 차량이더라도 장래에는 차량이 노후화됨에 따라 배출계수는 가변적이기 때문이다. 본 연구 절차는 <그림 1>과 같다.

본 연구에서 고려한 배출계수는 연간시동 배출계수로 국한하였다. 교통부문에서 발생하는 배출량은 연간시동 배출량, 냉간시동 배출량 등이 있지만, 현재 교통



<그림 1> 가변적 배출계수 예측모형의 구축 절차

사업에 대한 대기질 개선효과는 열간시동 배출량을 주로 고려하고 있기 때문에 이에 적용되는 열간시동 배출계수를 연구범위로 설정하였다. 그리고 본 연구에서는 국립환경과학원에서 NIER-Mode에 의해 차종별로 측정된 속도별 배출계수를 기반으로 하며, 배출계수는 주행속도 외에 배출물질간의 상호관계, 온도 등 많은 변인에 의해 영향을 받지만, 본 연구는 교통사업에 따른 대기질 평가의 용이성을 위해, 주행속도 외에 다른 조건은 동일하다고 전제하였다.

II. 기존 연구 고찰

1. 기존 연구 검토

도로이동오염원의 배출량 추정 모형에서는 배출계수가 핵심적 변수이며, 해당 모형을 통해 교통사업에 대한 대기질 평가가 이루어지고 있다. 교통부문에서는 다양한 배출량 중 열간 시동 배출량(이하 배출량)을 중심으로 대기질을 평가하고 있으며, 이에 따라 관련연구들은 열간 시동 배출계수(이하 배출계수)를 중심으로 연구되고 있다.

배출계수는 주로 엔진동력계에 의해 측정되고 있는데, 미국, 유럽, 일본 등은 각 국가별로 자체적인 실험 결과 등을 토대로 자국에 적합한 배출계수를 개발하고 있는 추세를 보이고 있다. 우리나라의 경우 과거 해외의 배출계수를 적용하여 왔으나, 최근 국내의 국가 배출통계 신뢰성 향상을 위해 국립환경과학원에서 배출계수에 대한 지속적인 연구를 진행하고 있다. 해당 연구들은 다양한 유형의 차량에 대해 다양한 물질의 배출계수를 추정하고 있다는 특징이 있다.

국립환경과학원(2000)은 국내 주행시험모드(NIER-Mode) 15개 중 10개 대표차속(4.5km/h, 10.5km/h, 13.5km/h, 16.5km/h, 23.5km/h, 35.0km/h, 45.0km/h, 65.0km/h, 80.0km/h, 95.0km/h)에 대해 시험자동차의 오염물질을 측정하고 평가하였다. 시험자동차는 연료, 제작사, 주행거리, 배기량, 차종 등으로 구분하였으며, 승용차 및 승합차, 소형트럭 등 총 60여종은 차대동력계상에서, 중형트럭 엔진 2종, 대형트럭 엔진 4종, 중형버스 엔진 2종과 대형버스 엔진 7종은 엔진동력계상에서 주행하여 차속별 배출계수

를 측정·분석하였다. 분석된 대기오염물질은 CO, HC, N₂O, PM, CO₂이다.

국립환경과학원(2001)은 자동차에 의한 온실가스 배출량 산정을 통한 능동적인 기후변화협약에의 대처를 위해, 속도별 온실가스 배출계수를 산정하였다. 이때 휘발유 승용차 30대, 경유 소형차 9대, LPG 승용차 4대는 연식과 주행거리별로 분류하여 차대동력계상에서 주행하였으며, 대형엔진 4대는 엔진동력계상에서 주행하였다. 연구에 의해 도출된 배출계수를 적용하여 국가의 배출량을 산정한 결과, 2000년 말 기준으로 자동차의 연간 CO₂배출량은 대기로 배출되는 전체 CO₂ 배출량(4억6천2백만톤)의 14.5%를 차지하는 것으로 조사되었으며, 자동차에서 배출되는 연간 온실가스 총 배출량은 약 6천7백만톤으로 대기오염물질 총 배출량 3백6십만톤의 20배에 달하는 것으로 조사되었다.¹⁾ 종류별로는 CO₂ 6천7백만톤, N₂O 7천톤, CH₄ 6천톤 순으로 배출량이 많은 것으로 조사되었다. 이전까지의 자동차 온실가스 배출량은 Tier1과 같이 연료사용량을 이용한 방법이었으나 해당 연구에서는 차종별, 기술별 배출계수를 적용하는 Tier3방법을 적용하여 배출량을 추정하고 이를 비교하였다.

국립환경과학원은 대기보전정책수립에 필요한 신뢰성 있는 이동오염원 국가배출계수의 확보를 위해 2003년부터 2007년까지 5개년에 걸쳐 오염원별 배출계수 조사연구를 수행하였다.

국립환경과학원(2003)은 연식별 중·대형 경유버스 및 CNG버스 등의 오염물질 배출계수를 개선하였으며, 국내의 기존 배출계수와 비교 검토하였다. 이를 위해 국내 운행 중인 중·대형 경유버스 19대와 CNG버스 9대의 시험엔진에서 배출되는 오염물질을 엔진동력계상에서 운전조건별로 측정·분석하여 연식별·오염물질별 배출 열화율을 분석하여 중·대형 버스의 오염물질별 배출계수를 산정하였다. 본 연구에 의한 배출계수를 기존의 국내 배출계수와 비교한 결과 중형버스 배출계수의 경우 기존보다 더 높게 나타났으며, 대형버스는 전반적으로 더 낮게 나타났다. 그 원인에 대해 기존의 연식별 배출계수 산출과정에서는 상당부분 실측시험자료를 사용하지 않고 배출허용기준 강화율을 보정하여 얻어진 결과를 사용하였기 때문으로 해석하였다.

국립환경과학원(2004)은 국내 운행 중인 소형트럭

1) 국립환경과학원(2001), "자동차의 온실가스 배출량 조사", 107p.

15대, 중형엔진 21대, 대형엔진 31대의 측정결과를 바탕으로 연식별, 오염물질별 배출열화율 산출 및 경유 트럭의 오염물질별 배출계수를 재산정하였다. 그리고 기존 CAPSS 산출식에서 미비한 점들을 수정·보완하였으며, 해외 배출계수와 비교한 결과 일부 항목들은 해당 연구의 배출계수가 높게 산출되었으나, 전반적으로 해외와 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다.

국립환경과학원(2005A)은 국내 운행 중인 소형승합차 34대(경유차 25대, LPG차 9대)의 측정결과를 바탕으로 연식·오염물질별 배출계수를 산출하였다. 영향인자로서 연료보정계수, 열화율, 운전조건 보정계수(K)등을 산출하고 그 결과를 검토하였다. 시험모드별 오염물질 배출특성을 비교·조사한 결과, 미국 기준의 CVS-75 Mode가 국내 NIER-Mode보다 오염물질 배출 측면에서 다소 완화된 운전조건인 것으로 나타났다.

국립환경과학원(2006A)은 경차를 포함한 승용차(소형, 중대형)의 오염물질 배출계수를 보완 및 재산정하기 위해 국내외 배출계수 산정방법 및 기존 배출계수 등을 비교·검토하고, 국내 운행 중인 승용차 총 140대(휘발유차 78대, LPG차 57대, 경유차 5대)의 시험결과를 바탕으로 연료별·배출규제연식별·오염물질별 및 차속별 배출계수식을 산출하였다. 연료별 오염물질 배출특성을 비교한 결과, 휘발유·LPG차가 경유차보다 CO, HC는 38~61배, 0.4~2배 높게, NOx는 경유차가 휘발유·LPG차 보다 7~24배 높게 배출하는 것으로 나타났다.

국립환경과학원(2006B)은 CAPSS의 원활한 운영을 위해 배출계수 갱신 및 기 구축된 배출량 산정시스템을 개선하였다. 교통부문의 배출계수에 대해서는 기존 CAPSS의 배출계수에 포함되지 않았던 중·대형 버스 및 트럭에 대한 계수를 추가하였으며, 나머지 차종에 대해서도 최신 연식을 반영하여 추가하였다. 특히 온실가스 배출계수에 대해서는 휘발유 승용차 등 각 차종별 배출계수를 제시하였다.

국립환경과학원(2007)은 소형 승합차 등 총 77대(소형 경유승합 44대, 소형LPG승합 20대, 소형 화물 13대)의 시험결과를 바탕으로 차속별 온실가스 배출계수식을 차종별, 연료별로 산출하였다.

국립환경과학원(2005B, 2006C)에서는 자동차에서 배출되는 규제오염물질 이외에 미량유해물질(HAPs)인 휘발성유기화합물(VOCs), 알데히드(Aldehyde), 다환방향족탄화수소(PAHs)에 대한 배출계수를 산정하

여 제시하였다. 2005년 연구에서는 소형 승합차를 대상으로 2006년 연구에서는 소형 승용차를 대상으로 배출계수를 분석하였다. 분석결과, VOCs는 휘발유, 경유, LPG 차량 순으로, 알데히드는 경유, 휘발유, LPG 차량 순으로 배출량이 많은 것으로 나타났으며, PAHs는 경유자동차의 후처리장치로 인해 배출량이 미량인 것으로 나타났다.

국립환경과학원(2006D)에서는 기존 CAPSS에 의한 포장도로 비산먼지 배출계수의 신뢰도를 향상시키기 위해 도로등급별 배출계수를 측정하고 산정식을 수정하였다.

이러한 배출계수 추정연구를 정리하면 <표 1>과 같다.

현재 교통시설 투자사업의 타당성 평가시 대기질 개선 편익 산정에 적용되는 배출계수는 한국개발연구원(2008)의 「도로철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정 보완 연구(제5판)」(이하 예타지침), 국토해양부(2009)의 「교통시설 투자평가지침 개정안」(이하 투자평가지침)의 지침에 근거하여 적용되고 있다.

예타지침(2008)에서 적용하고 있는 차종별·오염물질별 배출계수는 철도청(2003)의 「철도투자 평가편람」을 참고하고 있다. 해당 지침에서는 차종을 승용차, 소형버스, 중형버스, 대형버스, 소형트럭, 중형트럭, 대형트럭으로 분류하고 있다.

투자평가지침(2009)에서 적용하고 있는 차종별·오

<표 1> 국립환경과학원의 배출계수 추정 연구

연구연도	차종	배출물질	주행패턴	
2000	승용차, 승합차, 트럭 등 67종	CO, HC, N ₂ O, PM, CO ₂	NIER-Mode	
2001	승용차, 승합차, 트럭 등 47종	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O		
2003	중·대형 버스	CO, HC, PM, NO _x		
2004	소·중·대형 트럭	CO, HC, PM, NO _x		
2005A	소형 승합차	CO, HC, PM, NO _x		
2006A	경·소·중대형 승용차	CO, HC, PM, NO _x		
2006B	승용차, 승합차, 트럭	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O		
2007	소형 승합차	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O		
2005B	소형 승합차	VOCs, CHO, PAHs		
2006C	소형 승용차	VOCs, CHO, PAHs		
2006D	전 차종 적용가능	포장도로 비산먼지		-

〈표 2〉 대기질 평가에 적용되는 배출계수의 정리

관련 지침	차종 분류	배출물질	원출처
에타지침 (2008)	승용차(휘발유 기준), 택시 버스(경유 기준): 소형, 중형, 대형 화물차(경유 기준): 소형, 중형, 대형	CO, NOx, HC, PM, CO ₂	국립환경과학원 (2001), "자동차 오염물질 산정연구"
투자평가지침 (2009)			
철도투자 평가편람 (2003, 2006)		CO, NOx, HC, PM	
대기오염물질 배출량 산정편람 (2007)	승용차: 휘발유 경형, LPG 경형, 휘발유 소형, LPG 소형, 휘발유 중대형, LPG 중대형, 택시 RV: 소형, 중형 승합차: 경유소형, 휘발유 소형, 경유중형 버스: 경유 시내버스, CNG 시내버스 화물차: 경유소형, 경유중형, 경유대형	CO, NOx, HC, PM, NH ₃	
CAPSS (2002)			

오염물질별 배출계수는 국립환경과학원(2007)의 「대기오염물질 배출량 산정방법 편람」을 참고하였다고 하나, 제시한 배출계수를 살펴보면 에타지침에서 제시하고 있는 배출계수와 동일하다.

한편, 철도청(2003)의 「철도투자 평가편람」은 국립환경과학원(2001)의 「자동차 오염물질 산정연구」에서 제시하고 있는 배출계수를 참고하고 있다. 개선된 철도청(2006)의 「철도투자 평가편람」에서도 동일한 배출계수를 적용하고 있다.

아울러 국가 배출량 산정을 위한 배출계수도 국립환경과학원(2007)의 「대기오염물질 배출량 산정방법 편람」에 근거하여 국립환경과학원(2002)의 「대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System: CAPSS)」 자료를 적용하고 있으나 근본적인 배출계수는 국립환경과학원(2001)의 「자동차 오염물질 산정연구」의 것이다.

대기질 평가에 적용되고 있는 배출계수를 정리하면 〈표 2〉와 같다.

2. 문제점 검토

기존 연구들은 모두 분석시점 기준의 배출계수를 추정하기 위한 연구로써, 현재의 배출량 수준을 파악하는데 적용될 수 있다. 환경분야에서는 현 대기질 수준을

파악하는 것에 큰 의미를 두고 있지만, 교통분야에서는 사업기간 동안의 대기질 평가를 위한 목표연도에 적합한 장래 배출계수가 요구되기 때문에, 기존 연구들을 교통분야에서 활용하기에는 문제점이 존재한다. 즉, 교통사업에 대한 대기질 평가는 일반적으로 분석기간을 30년 정도로 전제하기 때문에, 각 분석연도에 적합한 배출계수가 요구된다.

III. 모형 개발

1. 모형의 기본개념

본 연구에서는 현재 적용되고 있는 과거 측정시점 기준의 배출계수가 아닌 장래 분석연도에 부합하는 배출계수를 추정하기 위한 모형을 제시하며, 구축하고자 하는 장래 배출계수 예측모형은 장래 차종과 사용연료의 변화, 연식 구성의 변화, 차량의 노후화에 따른 배출계수의 변화를 반영한다.

즉, 분석시점에 따라 생활환경, 휘발유·경유 가격은 가변적이기 때문에, 분석시점별 차종과 사용연료 구성비가 반영될 수 있도록 모형을 구축한다.

그리고 차종과 사용연료가 동일하더라도 연식에 따라 차량의 배출계수는 모두 상이하며, 분석시점에 따라 차량 연식별 구성비는 가변적이다. 가령, 현 분석시점 기준으로 차량의 평균 배출계수 추정시, 1997년 연식 차량이 존재하기 때문에 해당 연식 차량의 배출계수를 고려할 필요가 있지만, 10년쯤이 지난 장래 시점에서는 해당 연식차량은 모두 폐차되기 때문에 고려되지 않아야 한다. 따라서 이러한 요소가 반영될 수 있도록 모형을 구축한다.

또한, 차량 연식이 동일하더라도 분석 시점에 따라 배출계수는 가변적이다. 이는 시간의 흐름에 따라 차량이 노후되어 더 많은 배출물질이 발생되기 때문이다. 따라서 본 모형에서는 차량의 노후화에 따른 배출계수의 변화가 반영될 수 있도록 구축한다.

정리하면, 본 연구에서는 우선 분석연도별로 다양한 연식·차량별 차량의 배출계수를 반영하기 위해 연식별 차량대수 분포와 차량별 차량대수 분포를 예측하기 위한 모형을 정립하였으며, 해당 모형에 차량별 열화계수를 반영하여 장래 차량의 노후화에 따른 배출계수 특성이 반영되도록 하였다.

2. 자료 수집 및 가공

1) 차량 유형별 배출계수 자료의 수집

다양한 문헌검토를 통해 최근 연구된 국내 배출계수 자료를 수집하였으며, 수집한 차종별·세부차종별·차량 연료별·대기오염물질별·연식별 배출계수를 취합하였다. 이는 <표 3>과 같이 5개 차종, 4개 세부차종, 3개 사용연료, 7개 대기오염물질 및 온실가스, 3개~5개 연식유형의 조합에 따른 250여개의 속도별 배출계수를 수집·정리하였다.

<표 3> 본 연구에서 수집한 배출계수 자료의 유형

차종	세부 차종	연료	오염 물질	연식	차속	배출계수
승용차 택시 승합차 버스 트럭	경차 소형 중형 대형	휘발유 경유 LPG	CO HC NOX CO ₂ CH ₄ N ₂ O CHO	~'99 '00~'02 '02~'05	65km/h 미만 65km/h 이상	$EF = \alpha v^{\beta}$

2) 신규차종 배출계수의 추정

<표 3>의 연식 구분을 살펴보면, 현재까지는 2005년 이전 연식 차량에 대한 배출계수만 연구되었다. 그러나 2006년부터 휘발유 자동차는 미국의 초저공해자동차(ULEV)기준으로, 경유 자동차는 유럽의 EURO-IV 기준으로 제작차 배출허용기준이 강화되었기 때문에 2006년 이후 차량에 대한 배출계수가 요구된다. 2009년 또한 2006년에 비해 그 기준은 더 강화되어, 배출계수의 변화가 발생할 것이다.

제작차 배출허용기준의 변화에 따라 연도별 제작차의 배출계수가 변화되기 때문에, 본 연구에서는 기존 연식의 배출계수에 기존 연식의 제작차 배출허용기준 대비 분석 대상연도의 제작차 배출허용기준의 변화율을 반영하여 신규차종의 배출계수를 추정하는 식(1)을 제시하였다. 하이브리드 자동차에 대한 배출계수 또한 동일한 수식을 적용하여 추정하였다. 신규 차종과 연식 차량에 대한 배출계수는 실험실에서 분석하여야 정확한 결과를 기대할 수 있다. 하지만 이는 시간·비용적으로 한계가 있기 때문에 실험실에서의 차종별 배출계수 측정결과보다 정확성은 다소 떨어지겠지만, 식(1)을 적용하여 신규차종의 배출계수를 보다 쉽게 추정할 수 있도록 하였다.

$$EF_{(m, fu, e)}^{\text{분석대상연도}} = EF_{(m, fu, e)}^{\text{기준}} \times \frac{P_{(m, fu, e)}^{\text{분석대상연도}}}{P_{(m, fu, e)}^{\text{기준}}} \quad (1)$$

여기서,

$EF_{m, fu, e}$: 차종(m), 차량연료(fu) 자동차의 대기 오염물질(e)에 대한 배출계수

$P_{m, fu, e}$: 차종(m), 차량연료(fu) 자동차의 대기 오염물질(e)에 대한 배출허용기준

3) 대표 차종에 대한 배출계수의 추정

<표 3>과 같이 환경 분야에서 연구된 배출계수는 차량 유형 구분이 복잡하고, 교통계획 분야에서 활용되는 차량 유형과 차이가 있기 때문에 <표 3>의 다양한 차종에 대한 배출계수를 실제 활용하기에는 어려움이 따른다. 따라서 다양한 차량 유형별 배출계수를 교통계획 분야에서 활용되는 차량 유형 기준으로 일반화하였다.

교통계획 분야에서 기준점 자료에 활용되는 차종은 일반적으로 승용차·택시, 버스, 화물로 구성되기 때문에, 이 기준으로 배출계수를 집계하는 것이 연구결과의 적용성 측면에서 효율적이다. 따라서 본 연구에서는 해당 차량에 포함된 다양한 세부차종·차량 사용연료별 배출계수를 통합하기 위해 각 유형별 가중치(구성비)를 산정하였다. 이때, 해당 가중치는 각 유형별 자동차 등록대수 자료를 활용하였다. 즉, <표 3>에서 수집된 250여개의 다양한 차량 유형별 배출계수에 대해 각 차량 유형별 등록대수를 기준으로 가중 평균하여 3개 차종에 대한 배출계수(승용차·택시, 버스, 화물)를 추정하였다.

3. 모형의 구축 및 검증

1) 연식별 차량대수 가중치 예측모형의 구축

연식별로 배출계수의 차이가 존재하고, 분석시점에 따라 연식별 구성이 달라지기 때문에, 본 연구에서는 식(2)와 같은 연식별 차량대수 가중치(분포율) 예측모형을 구축하였다. 식(2)를 살펴보면, 특정 연식의 차량대수에 해당 연식차량의 폐차에 따른 자연감소율을 적용하여 분석연도에 적합한 특정 연식차량의 차량대수를 산정하고, 이를 총 차량대수로 나누어 연식별 차량대수 분포율을 추정한다. 해당 식은 차종별·연도별·연식별로 차량의 자연감소(폐차 등) 패턴을 반영하고 있는 특징이 있다.

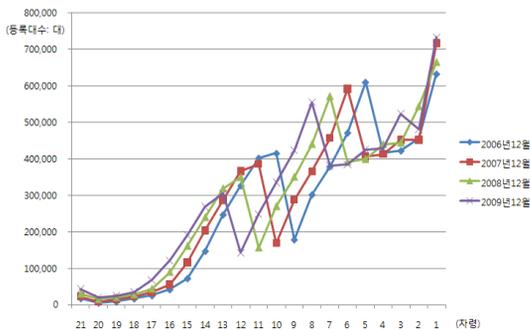
$$w_{(y,m,fu,u)}^* = \frac{N_{(m,y-1,u)} \times d_{(m,y-u+1)}}{N_{(m,y-1)} \times \rho} \quad (2)$$

여기서,

- $w_{(y,m,fu,u)}^*$: (m)차종에 대한 (y)분석연도, 차량 연료(fu), (u)연식의 가중치(차량 대수 비중)
- $N_{(m,y-1,u)}$: (m)차종에 대한 분석 전연도, (u)연식의 차량대수
- $d_{(m,y-u+1)}$: (m)차종에 대한 (y)분석연도, (u)연식 차량의 차령에 대한 자연감소율
- $N_{(m,y-1)}$: (m)차종에 대한 분석 전연도의 차량 대수
- ρ : 연평균 자동차 증가율(1.0287: 2003년~2009년 기준)

식(2)에서 차령별 자연감소율(d)은 차령별 자동차 등록대수 분포를 바탕으로 추정하는데, 차령별 승용차 등록대수 현황을 살펴보면, <그림 2>와 같이 시간의 흐름에 따라 일부 감소된 차령별 등록대수가 다음해로 전이되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 매년 신규 자동차 등록대수 수준과 차령별 자연감소율 패턴을 활용하여 연식별 차량대수 분포율을 예측할 수 있다.

이와 같이 차령별 자동차 등록대수의 변화추이가 일정한 패턴을 보임에 따라 식(3)과 같이 분석연도별로 차령별 자연감소율을 추정하기 위한 식을 구성하였다. 이때, 특정연도의 조기폐차 지원정책에 따라 특정 분석년도만 차령의 자연감소율 패턴이 다를 수 있기 때문에, 이전 3개년도의 자연감소율을 평균한 값을 반영하였다.



<그림 2> 승용차의 차령별 등록대수 추이

$$d_{(m,y-u+1)} = \prod_{q=y-3}^{y-1} \left(\frac{N_{(m,q-1,y-u)} - N_{(m,q,y-u+1)}}{N_{(m,q-1,y-u)}} \right) \quad (3)$$

여기서,

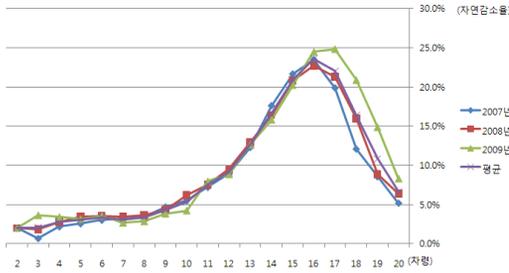
- $d_{(m,y-u+1)}$: (m)차종에 대한 (y)분석연도, (u)연식 차량의 차령에 대한 자연감소율
- $N_{(m,q-1,y-u)}$: (m)차종에 대한 분석자료 기준연도의 전연도(q-1)의 분석대상 이전 차령인 (y-u)의 차량대수
- $N_{(m,q,y-u+1)}$: (m)차종에 대한 분석자료 기준연도 (q)의 분석대상 차령인 (y-u+1)의 차량대수
- q : 분석 자료의 기준연도

해당 식을 적용하여 2007년~2009년의 차령별 평균 자연감소율을 산정한 결과, <표 4>와 같이 10년 차령까지의 자연감소율은 차령별로 큰 변화가 없으나 10

<표 4> 2006년~2009년의 차령별 승용차 등록대수 현황 및 차령별 자연감소율 (단위: 대)

연도 차령	2006년	2007년	2008년	2009년	자연 감소율
21	17,887	23,048	30,267	42,746	-
20	5,557	8,182	14,789	18,892	6.7%
19	8,631	15,801	20,606	24,065	10.8%
18	17,282	22,611	28,267	34,534	16.4%
17	25,724	33,648	43,648	67,188	22.0%
16	41,994	55,449	89,399	121,813	23.6%
15	72,480	115,608	161,299	191,279	20.9%
14	147,556	203,736	239,905	268,496	16.6%
13	247,317	286,892	318,958	304,924	12.6%
12	327,142	366,440	349,065	142,395	9.1%
11	402,437	385,653	156,271	248,466	7.6%
10	415,634	169,014	269,991	335,279	5.3%
9	178,871	287,889	350,104	423,295	4.3%
8	302,174	365,971	440,218	554,841	3.3%
7	379,116	456,829	571,227	380,748	3.1%
6	471,605	591,735	391,254	384,753	3.4%
5	610,279	405,672	398,988	425,595	3.1%
4	416,415	413,282	439,417	428,531	2.8%
3	422,597	451,987	443,742	523,802	2.1%
2	455,218	452,099	543,629	480,973	2.0%
1*	461,325	554,723	490,788	733,328	-
합계	5,427,241	5,666,269	5,791,832	6,135,943	-

주: 연말에 등록된 신차 등록 자료의 불확실성으로 인해 1년 차령의 등록대수는 통계자료를 활용하지 않고, 다음해 2년 차령의 차량대수에 자연감소율(2.0%)을 역으로 적용하여 추정하였음. (예: 2008년 12월, 1년식 차량대수(490,788대)=480,973/0.02)



〈그림 3〉 승용차의 차령별 자연감소율 추이

년 차령 이후의 자연감소율은 급격히 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

그리고 〈그림 3〉과 같이 각 연도별로 차령별 자연 감소율은 유사한 패턴을 보임에 따라, 차령별 자연감소율을 고려한 분석연도의 차령별 차량등록비율 예측 방법을 반영한 식(3)은 적절하게 구성된 것으로 판단된다.

2) 연식별 차량대수 가중치 예측모형의 검증

장래 배출계수 예측모형에 반영될 연식별 차량대수 가중치 예측모형인 식(2)의 적정성을 검증하기 위해, 2005년~2008년의 승용차 등록대수자료를 이용하여

〈표 5〉 2009년의 연식별 등록대수 예측값과 실측값의 비교 (승용차) (단위: 대)

연식	실측 등록대수	실측 연식비율 (RR)	예측 등록대수	예측 연식비율 (FR)	오차수준 $ \frac{FR-RR}{RR} $
1989	42,746	0.7%	44,087	0.7%	0.0%
1990	18,892	0.3%	19,573	0.3%	0.0%
1991	24,065	0.4%	26,043	0.4%	0.0%
1992	34,534	0.6%	38,054	0.6%	0.1%
1993	67,188	1.1%	72,616	1.2%	0.1%
1994	121,813	2.0%	125,180	2.0%	0.1%
1995	191,279	3.1%	188,159	3.1%	0.1%
1996	268,496	4.4%	263,172	4.3%	0.1%
1997	304,924	5.0%	303,265	4.9%	0.0%
1998	142,395	2.3%	141,734	2.3%	0.0%
1999	248,466	4.0%	250,169	4.1%	0.0%
2000	335,279	5.5%	330,422	5.4%	0.1%
2001	423,295	6.9%	421,049	6.9%	0.0%
2002	554,841	9.0%	550,404	9.0%	0.1%
2003	380,748	6.2%	380,066	6.2%	0.0%
2004	384,753	6.3%	385,627	6.3%	0.0%
2005	425,595	6.9%	426,791	7.0%	0.0%
2006	428,531	7.0%	433,507	7.1%	0.1%
2007	523,802	8.5%	536,915	8.7%	0.2%
2008	480,973	7.8%	494,223	8.1%	0.2%
2009	733,328	12.0%	706,311	11.5%	0.4%
합계	6,135,943	-	6,137,366	-	0.05%

차령별 자연 감소율 등을 추정한 후, 2009년 기준의 연식별 승용차 등록대수와 등록비율을 예측하였다. 이를 실제 2009년의 자료와 비교한 결과, 〈표 5〉와 같이 연식별 등록비율(가중치)의 평균 오차수준은 0.05%, 즉 신뢰수준은 99.95%인 것으로 나타났다.

3) 가변적 배출계수 예측모형의 정립

본 연구에서 구축한 가변적 배출계수 예측모형은 식(4)와 같다. 분석연도별로 각 차종별·연식별 차량대수를 예측하고, 각각의 차량대수에 부합하는 배출계수를 곱하여 분석연도의 배출계수를 예측하는 구조로 구성하였으며, 앞서 정립한 식(1), 식(2), 식(3)이 반영되어 있다. 해당 모형은 분석연도에 적합한 세부차종별 등록대수 비율, 연식별 등록비율과 이에 부합하는 연식별 배출계수, 차령별 열화계수를 반영하고 있기 때문에 분석시점에 구성될 차령별 배출계수 수준을 보다 현실적으로 예측할 수 있는 장점이 있다.

$$VEF_{y,m,e}(v) = \sum_{dm} \sum_{fu} \sum_u (EF_{(e,dm,fu,u)}(v) \times w_{(dm,fu)} \times w_{(y,m,fu,u)}) \quad (4)$$

$$w_{(dm,fu)} = \frac{N_{(dm,fu)}}{\sum N_{(dm,fu)}}$$

$$w_{(y,m,fu,u)} = \frac{N_{(m,y-1,u)} \times d_{(m,y-u+1)}}{N_{(m,y-1)} \times \rho} \times df_{(fu,y-u+1)}$$

$$d_{(m,y-u+1)} = \prod_{q=y-3}^{y-1} \left(\frac{N_{(m,q-1,y-u)} - N_{(m,q,y-u+1)}}{N_{(m,q-1,y-u)}} \right)$$

여기서,

$VEF_{y,m,e}(v)$: 분석연도(y), 차종(m), 대기오염물질(e)에 대한 속도(v)의 배출계수

$EF_{(e,dm,fu,u)}(v)$: 대기오염물질(e), 세부차종(dm), 차량연료(fu), 연식(u) 차량에 대한 속도(v)의 배출계수

$w_{(dm,fu)}$: 세부차종(dm), 차량연료(fu)의 가중치(0 ≤ w ≤ 1)

$w_{(y,m,fu,u)}$: (m)차종에 대한 (y)분석연도, 차량연료(fu), (u)연식의 가중치

$N_{(dm,fu)}$: 세부차종(dm), 차량연료(fu)의 차량대수

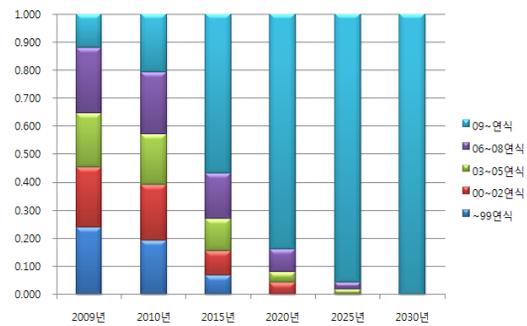
$N_{(m,y-1)}$: (m)차종에 대한 분석 전연도의 차량대수

- $N_{(m,y-1,u)}$: (m)차종에 대한 분석 전연도, (u)연식 차량의 차량대수
- $d_{(m,y-u+1)}$: (m)차종에 대한 (y)분석연도, (u)연식 차량의 차령에 대한 자연감소를
- ρ : 연평균 자동차 증가율(1.0287: 2003년~ 2009년 기준)
- $df_{(fu,y-u+1)}$: 차량연료가 (fu)인 차량 중 (y)분석연도에 대한 (u) 연식 차량의 차령에 대한 열화계수
- $N_{(m,q-1,y-u)}$: (m)차종에 대한 분석자료 기준연도의 전연도인 (q-1)의 분석대상 이전 차령(y-u)의 차량대수
- $N_{(m,q,y-u+1)}$: (m)차종에 대한 분석자료 기준연도인 (q)의 분석대상 차령(y-u+1)에 대한 차량대수
- q : 분석 자료의 기준연도
- m : 차종(승용차, 버스, 트럭)
- dm : 세부차종(dm∈m)
- fu : 세부차종의 차량연료
- y : 분석연도
- u : 연식

과하는데, 이는 각 연식그룹별 가중치에 해당 연식차량의 차령별 열화계수가 반영되어 있기 때문이다.

앞서 추정한 세부차종별 배출계수와 <표 6>의 예측된 차종별 가중치 등을 식(4)에 적용하여, 2015년과 2030년의 차종별·배출물질별 배출계수를 5km/h단위의 속도별로 예측하였다. 그리고 이를 각 유형별 속도에 대한 배출계수 함수식으로 추정한 결과는 <표 7>, <표 8>과 같다. 각 유형별 배출계수 함수식의 결정계수는 0.846 ~ 1.0으로 분석되었기 때문에, 속도별 배출계수를 큰 오차없이 추정할 수 있는 것으로 판단된다.

일반적으로 경제속도일 때 배출계수가 가장 낮은 것



<그림 4> 장래 승용차의 연식그룹별 차량대수 등록비율 분포

IV. 모형의 적용

1. 장래 배출계수의 예측

본 연구에서 정립한 모형을 이용하여 장래 분석연도별로 배출계수를 예측하였다. 우선, 각 분석연도에 대해 연식별 차량대수 등록비율을 예측한 결과, 승용차의 경우 <그림 4>와 같이 2009년도에는 1999연식 차량부터 2009연식 차량까지 다양하게 존재하지만, 2030년도에는 노후 연식 차량의 자연감소(폐차)에 따라 2009연식 이후 차량만 존재하는 것으로 예측되었다. 이때 제작차 배출허용기준이 동일한 연식을 기준으로 배출계수를 그룹화하여 집계하였다.

그리고 앞서 예측한 차종별·연식별 차량대수 등록비율에 각 목표연도의 차량연료별·차령별 열화계수를 적용한 결과는 <표 6>과 같다. <표 6>을 살펴보면, 2009연식 차량의 경우 목표연도가 장래일수록 연식그룹별 가중치가 증가하고 있는데, 이는 신차의 증가와 더불어 오래된 연식의 자연감소율이 반영되었기 때문이다. 그리고 각 목표연도의 연식그룹별 가중치의 합은 1을 초

<표 6> 차종별·연식그룹별 가중치($w_{y,m,fu,u}$) 예측 결과

차종·연식그룹	목표연도	2009년	2010년	2015년	2020년	2025년	2030년
	승용차	~99	0.378	0.321	0.135	-	-
휘발유 가스 승용차	00~02	0.232	0.233	0.144	0.086	-	-
	03~05	0.194	0.183	0.161	0.068	-	-
	06~08	0.234	0.221	0.176	0.129	0.050	-
	09~	0.120	0.207	0.569	0.886	1.077	1.169
	~99	0.348	0.285	0.102	-	-	-
경유 승용차	00~02	0.232	0.233	0.129	0.064	-	-
	03~05	0.194	0.183	0.161	0.054	0.027	-
	06~08	0.234	0.221	0.176	0.122	0.038	-
	09~	0.120	0.207	0.569	0.886	1.060	1.129
	~99	0.444	0.360	0.140	-	-	-
버스	00~02	0.495	0.430	0.157	0.179	-	-
	03~05	0.144	0.143	0.083	0.030	0.019	-
	06~08	0.188	0.187	0.169	0.072	0.032	-
	09~	0.081	0.200	0.702	1.012	1.207	1.277
	~99	0.393	0.340	0.166	-	-	-
트럭	00~02	0.352	0.331	0.157	0.146	-	-
	03~05	0.232	0.233	0.164	0.073	0.048	-
	06~08	0.192	0.180	0.164	0.087	0.044	-
	09~	0.083	0.175	0.571	0.905	1.110	1.211
	~99	0.393	0.340	0.166	-	-	-

〈표 7〉 배출물질별·차종별 배출계수 추정식(2015년 기준)

배출물질	차종	추정식	R ²
CO	승용차	$EF = 10.7657 \times v^{-0.8425}$	0.999
	버스	$EF = 12.4833 \times v^{-0.4796}$	1.000
	트럭	$EF = 7.9165 \times v^{-0.5965}$	0.999
HC	승용차	$EF = 3.5352 \times v^{-1.2625}$	0.987
	버스	$EF = 2.0920 \times v^{-0.3010}$	0.994
	트럭	$EF = 1.7270 \times v^{-0.5756}$	0.999
NOx	승용차	$EF = 2.5994 \times v^{-0.6182}$	0.999
	버스	$EF = 12.8497 \times v^{-0.4043}$	0.930
	트럭	$EF = 16.9675 \times v^{-0.5059}$	1.000
PM	승용차	0	-
	버스	$EF = 0.6080 \times v^{-0.4051}$	0.997
	트럭	$EF = 0.5624 \times v^{-0.4786}$	0.994
CO ₂	승용차	$EF = 896.391 \times v^{-0.5062}$	1.000
	버스	$EF = 823.409 \times v^{-0.3031}$	1.000
	트럭	$EF = 1546.62 \times v^{-0.3798}$	0.967
CH ₄	승용차	$EF = 0.0092 + 0.5641/v$	0.990
	버스	$EF = 0.0035 + 0.1218/v$	0.846
	트럭	$EF = 0.0070 + 0.2354/v$	0.989
N ₂ O	승용차	$EF = 0.0038 + 0.1933/v$	0.945
	버스	$EF = 0.0009 + 0.1061/v$	0.855
	트럭	$EF = 0.0066 + 0.2145/v$	0.971

EF: 배출계수(g/km), v:속도(km/h)

〈표 8〉 배출물질별·차종별 배출계수 추정식(2030년 기준)

배출물질	차종	추정식	R ²
CO	승용차	$EF = 2.0154 \times v^{-0.7230}$	0.997
	버스	$EF = 10.4576 \times v^{-0.5367}$	1.000
	트럭	$EF = 6.2087 \times v^{-0.7162}$	1.000
HC	승용차	$EF = -0.0012 + 0.1555/v$	0.966
	버스	$EF = 0.9311 \times v^{-0.2703}$	0.996
	트럭	$EF = 0.8986 \times v^{-0.6076}$	1.000
NOx	승용차	$EF = 1.2336 \times v^{-0.6130}$	0.997
	버스	$EF = 9.3832 \times v^{-0.4602}$	0.935
	트럭	$EF = 12.4498 \times v^{-0.5362}$	1.000
PM	승용차	0	-
	버스	$EF = 0.1237 \times v^{-0.5326}$	0.891
	트럭	$EF = 0.2666 \times v^{-0.5680}$	0.971
CO ₂	승용차	$EF = 443.345 \times v^{-0.5165}$	1.000
	버스	$EF = 559.598 \times v^{-0.2954}$	1.000
	트럭	$EF = 1263.45 \times v^{-0.3802}$	0.971
CH ₄	승용차	$EF = -0.0007 + 0.1032/v$	0.917
	버스	$EF = 0.0080 + 0.1331/v$	0.972
	트럭	$EF = 0.0086 + 0.1875/v$	0.963
N ₂ O	승용차	$EF = 0.0038 + 0.1933/v$	0.945
	버스	$EF = 0.0009 + 0.1061/v$	0.855
	트럭	$EF = 0.0066 + 0.2145/v$	0.971

EF: 배출계수(g/km), v:속도(km/h)

으로 알려져 있지만, 분석 결과를 살펴보면, 모두 속도에 배출계수가 우하향하는 패턴을 보이고 있다. 이는 입력 자료로 활용한 국립환경과학원의 차종별 속도별 배출계수가 속도에 따라 우하향하는 패턴을 가지기 때문이다.

2015년과 2030년의 각 배출계수 추정식을 비교해 보면, 2030년의 계수가 모두 2015년의 것보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 장래에 배출계수가 낮은 신차가 증가하고, 배출계수가 높은 노후차가 감소되는 현상이 반영된 것으로, 연도별 배출계수 변화 특성을 현실적으로 모사한 결과라 판단된다.

2. 기존 배출계수와의 비교

본 연구에서 추정한 2030년 기준의 배출계수는 현재 교통 분야에서 적용하고 있는 배출계수(2000년대

〈표 9〉 기존 교통 분야에서 적용하고 있는 배출계수 대비 본 연구에서 예측한 2030년 기준의 배출계수

차종	속도 (km/h)	CO	NOx	HC	PM	CO ₂
승용차	10	9%	27%	3%		36%
	20	12%	30%	4%		37%
	30	14%	32%	5%		37%
	40	16%	34%	6%		38%
	50	18%	35%	6%		38%
	60	20%	36%	7%		39%
	70	21%	37%	8%		39%
	80	23%	38%	8%		39%
	90	24%	39%	9%		39%
	100	26%	40%	10%		40%
버스	10	79%	47%	43%	6%	54%
	20	81%	51%	54%	7%	57%
	30	83%	48%	63%	8%	64%
	40	84%	43%	71%	8%	73%
	50	85%	41%	78%	8%	81%
	60	94%	56%	90%	9%	87%
	70	97%	58%	97%	9%	85%
	80	98%	61%	103%	8%	72%
	90	100%	58%	109%	7%	57%
	100	101%	45%	115%	5%	43%
트럭	10	38%	49%	24%	15%	80%
	20	34%	48%	24%	13%	81%
	30	32%	47%	24%	12%	83%
	40	30%	46%	24%	12%	83%
	50	30%	46%	24%	11%	83%
	60	29%	46%	24%	11%	81%
	70	28%	46%	24%	11%	78%
	80	28%	44%	24%	11%	74%
	90	27%	42%	24%	10%	70%
	100	27%	39%	24%	10%	65%

〈표 10〉 기존 배출계수와 본 연구에서 예측한 2030년 배출계수간 차이 검증

배출물질	F값	P-value
CO	36.13	0.00
NOx	52.13	0.00
HC	29.66	0.00
PM	0.63	0.44
CO ₂	91.73	0.00

초 연구된 초기 배출계수)와 비교해, 속도 30 km/h의 경우, 승용차는 배출물질별로 약 5%~37% 차이가 발생하며, 버스와 트럭은 8%~83% 차이가 발생하는 것으로 나타났다(〈표 9〉). 이는 2000년의 세부차종, 차량연료, 연식의 분포 특성이 30년 후인 2030년의 것과 다른 현상을 반영한 결과이다.

이와 같은 배출계수는 교통사업에 대한 대기질 평가에 그대로 반영되기 때문에, 평가결과도 그 차이만큼 발생하며, 이는 곧 대기질 평가결과의 객관성 향상수준을 의미한다.

〈표 10〉과 같이 현재 교통 분야에서 적용하고 있는 배출계수와 본 연구에서 추정한 2030년의 배출계수는 PM을 제외하고 큰 차이가 발생하는 것으로 통계적으로 검증되었다. PM의 경우 기존 배출계수와 본 연구에서 추정한 배출계수가 모두 0에 가깝기 때문에 통계적인 차이는 없는 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 교통사업에 대한 대기질 평가결과의 객관성 향상을 목적으로, 장래 도로이동오염원의 배출계수 예측모형을 구축하였다.

이를 위해 자동차의 연식별 자연감소 패턴을 분석하였으며, 그 결과 10년 차량까지의 자연감소율은 약 5% 미만이나, 10년 차량 이후부터는 자연감소율이 약 7.6~23.6% 수준으로 급격히 증가하고 있는 것으로 확인되었다. 이러한 패턴을 활용하여, 분석시점에 따른 연식별 차량대수 가중치(분포율) 예측모형을 구축하였는데, 구축된 모형의 오차수준은 0.05% 이내로 나타났다. 본 모형을 적용하여 장래의 차량대수 분포율을 예측한 결과, 2009년도에는 1999연식 차량부터 2009연식 차량까지 다양한 연식 차량이 존재하였지만, 2030년도에는 노후 연식 차량의 자연감소에 따라 제작차 배출허용기준이 크게 강화된 2009연식 이후

차량만 존재하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 구축한 장래 도로이동오염원의 배출계수 예측모형을 활용하여, 2015년과 2030년의 속도별 배출계수 함수식을 정립하였는데, 각 차종·배출물질 유형에 대한 배출계수 함수식의 결정계수는 0.846~1.00으로 나타났다. 그리고 배출계수가 높은 노후차가 분석시점의 흐름에 따라 점차 감소되는 현상이 본 모형에 반영되어, 예측된 2030년 기준의 배출계수는 2015년의 것보다 낮은 것을 확인할 수 있었다. 또한 이를 현재 교통 분야에서 적용하고 있는 배출계수와 비교한 결과, 운행속도 30 km/h의 경우에 승용차와 버스/트럭 각각 5%~37%, 8%~83% 정도 낮은 것으로 분석되었다. 이러한 실험 분석결과는 통계적으로 유의미한 것으로 판정되었으며, 이를 통해 교통사업 시행에 따른 대기질 평가를 위한 본 모형의 유용성을 확인하였다.

지금까지 교통 분야에서는 현 시점의 배출량을 추정하는데 초점을 두고 배출계수 관련 연구를 진행한 환경 분야의 연구결과를 그대로 인용하는 수준에 머물렀으나, 본 연구는 교통 계획적 관점으로 접근하여, 교통 계획 분야에서 요구되는 수준의 배출계수 예측 모형을 제시함으로써 현실적인 대기질 평가에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 차종 구성의 경우, 본 연구에서는 분석시점 기준의 차종 구성을 반영할 뿐, 장래의 예측된 차종 구성은 고려하지 못하고 있다. 차종 구성비의 경우 정치적·정책적인 부분과 큰 관련성이 있는 유가변동에 따라 주로 결정되기도 하며, 특히 최근 증가추세에 있는 하이브리드와 전기자동차의 경우도 정부 세제지원의 영향에 따라 보급이 급격히 확대되기도 하였기 때문에 장래 차종별 차량대수 구성비를 예측하기에는 불확실성이 큰 부분이 있다. 이를 해결하기 위해서는 국제유가의 변화분석, 정부정책의 예측, 전기기술의 시장분석 등 다양하고 복합적인 접근이 필요하다. 보다 현실적인 배출량 추정결과를 기대하기 위해서는 이러한 저공해 자동차를 포함한 장래 차종구성에 대한 반영이 필요하기 때문에 향후 연구를 통해 이를 보완하여야 하겠다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제63회 학술발표회 (2010.10.29)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 국립환경과학원(2001), “자동차의 온실가스 배출량 조사”.
2. 국립환경과학원(2003), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구1”.
3. 국립환경과학원(2004), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구2”.
4. 국립환경과학원(2005A), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구3”.
5. 국립환경과학원(2005B), “이동오염원의 유해대기오염물질(HAPs) 배출계수 산정 연구2”.
6. 국립환경과학원(2006A), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구4”.
7. 국립환경과학원(2006B), “국가 대기오염물질 배출량 산정 검증 및 프로그램 개선”.
8. 국립환경과학원(2006C), “이동오염원의 유해대기오염물질(HAPs) 배출계수 산정 연구3”.
9. 국립환경과학원(2006D), “CAPSS 비산먼지 배출량 신뢰도 향상을 위한 배출계수 보완”.
10. 국립환경과학원(2008), “도심대기질 개선을 위한 차량통행제한 설정 등을 위한 연구(Ⅱ)”.
11. 국립환경과학원(2007), “대기오염물질 배출량 산정방법 편람”.
12. 국립환경과학원(2007), “환경부 온실가스 배출량 인벤토리 작성 및 배출계수 개발”.
13. 국립환경과학원(2009), “대기오염물질 배출량 연보”.
14. 국립환경연구원(2004), “대기보전정책수립지원시스템 구축4차년도: 배출량 산정방법론”.
15. 국토해양부(2009), “교통시설 투자평가지침 개정안”.
16. 국토해양부(2010), “자동차 등록대수 통계자료”.
17. 한국개발연구원(2008), “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)”, pp.240~254.
18. 한국철도도시공단(2003), “철도투자 평가지침”.
19. 한국철도도시공단(2006), “철도투자 평가지침”.
20. EPA(2003). “User’s Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2 - Mobile Source Emission Factor Model”.
21. IPCC(2006), “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energy”.

✉ 주 작성자 : 이규진
 ✉ 교신저자 : 이규진
 ✉ 논문투고일 : 2011. 7. 21
 ✉ 논문심사일 : 2011. 7. 25 (1차)
 2011. 9. 5 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2011. 9. 5
 ✉ 반론접수기한 : 2012. 4. 30
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필