

■ 論 文 ■

교통환경분야의 국내외 연구동향 및 시사점 (차량배출량 관련 연구를 중심으로)

A Review of Emissions Studies for Transportation Engineering

강 종 호

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

이 청 원

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 국내외 교통환경분야의 연구 구분
- II. 국내외 차량배출량 산정관련 연구동향
 - 1. 국외 차량배출량 산정관련 연구동향
 - 2. 국내 차량배출량 산정관련 연구동향
 - 3. 국내외 차량배출량 산정관련 연구동향 비교 및 시사점
- III. 국내외 차량배출량감소 정책관련 연구동향
 - 1. 국외 차량배출량감소 정책관련 연구동향
 - 2. 국내 차량배출량감소 정책관련 연구동향
 - 3. 국내외 차량배출량감소 정책관련 연구동향비교 및 시사점
- IV. 국내외 차량배출량감소 교통운영관련 연구동향
 - 1. 국외 차량배출량감소 교통운영관련 연구동향
 - 2. 국내 차량배출량감소 교통운영관련 연구동향
 - 3. 국내외 차량배출량감소 교통운영관련 연구동향 비교 및 시사점
- V. 향후 국내교통환경분야 연구과제 제안
- VI. 결론
참고문헌

Key Words : 차량배출량, 배출계수, 미시적 배출모형, 배출량 표, 미시적 시뮬레이션
Vehicle emission, Emission factor, Microscopic emission model, Emission table, Micro simulation

요 약

교통정책측면에서 국내의 자동차 배출가스로 인한 대기오염 문제는 그 중요성에 비해 구체화된 연구가 부족한 것이 현실이다. 이에 본 연구는 국내외 교통환경 관련연구를 차량배출량 산정, 차량배출량감소 정책, 차량배출량감소 교통운영 관련연구로 구분하고 연구동향 및 시사점을 도출하였다. 그 결과, 국내외 차량배출량 산정관련 연구는 차량의 주행특성을 반영하지 못하는 거시적인 산정방법위주의 연구에 그치고 있어, 미시적인 배출량산정 모형을 개발해야 할 필요성을 제기하였다. 차량배출량감소 정책관련 연구는 계량화된 기초자료를 축적하여 권역별 대기오염 수준에 맞는 차별화된 정책을 수립해야 함을 강조하였으며, 차량배출량감소 교통운영관련 연구는 환경영향의 정량적 평가와 ITS 및 신호시스템의 영향을 고려할 수 있는 시뮬레이션 기법 개발을 통해 차량배출량을 최소화 시키는 교통신호운영전략의 수립이 이루어져야함을 제안하였다. 최근 교통분야에서 환경의 고려가 중요시 되는바, 본 연구결과가 연구자들에게 최근 연구사항을 신속히 파악하여 연구효율을 극대화 하는데 기여하길 기대한다.

There are few studies on air pollution due to vehicle emissions in spite of the importance of this field. Therefore, this study describes trends and suggests implications through analysis relating to existing emissions research. This study has been divided into three areas. The first part is about estimating vehicle emissions. In this part, the authors analyze limits in ways of calculating emissions in the existing macroscopic view and then suggest the development of a model for calculating emissions considering velocity and acceleration. These variables are a function of traffic and individual driving behavior in the microscopic view. The second part is about management techniques for reducing vehicle emissions. The traffic management techniques for reducing vehicle emissions should conform to regional characteristics. The final part is about traffic operation for reducing vehicle emissions. The authors suggest the development of a micro-simulator and then the development of strategies for traffic operation. It is necessary to design better models estimating emissions and then, using real time data, to make a monitoring system simulating emission rates. This study serves as a literature review to make a foundation for further research about emissions research for transportation engineering.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

대기오염 중 자동차에서 배출되는 오염물질이 차지하는 비중이 '92년 60.8%에서 '99년 85.2%로 점차 증가하고 있는 현실을 반영하여 자동차 배기가스 인한 대기오염문제는 최근 몇 년 동안 교통 및 환경분야에서 중요한 연구과제로 주목 받고 있다.

본 연구에서는 교통환경 관련 분야 중 차량배출량과 관련된 국내외 최근 논문 100여 편을 복합적으로 분석하여 이 분야의 연구동향 및 시사점을 제시함을 연구목적으로 한다. 본 연구의 결과는 향후 우리나라의 교통환경관련연구의 방향을 보다 합리적으로 설정하고 교통환경정책 및 교통관리전략의 수립에 중요한 지표가 될 것이다. 특히 최근 환경의 중요성 대두와 함께 교통환경분야도 적극적인 연구노력이 필요한 바, 연구자들에게 최근 연구 상황을 신속히 파악하게 해줌으로써 연구효율을 극대화 하는데 기여할 수 있기를 기대한다.

2. 국내외 교통환경분야의 연구 구분

본 연구에서는 교통환경관련연구를 차량배출량 산정관련연구, 차량배출량감소 정책관련연구, 차량배출량감소 교통운영관련연구로 구분하고, 국외의 최근 연구방향과 국내 연구방향을 비교하여 향후 국내외의 교통환경분야 연구의 방향을 제시하고자 한다.

II. 국내외 차량배출량 산정관련 연구동향

본 절에서는 교통환경분야 연구의 기반이 되는 차량배출량 산정관련 국내외 연구의 동향을 분석하고, 향후 국내외의 차량배출량 산정관련 연구의 방향제시를 목적으로 한다.

가장 이상적인 차량배출량 산정방법은 교통수요모형이나 실측·원격탐사 등을 통한 교통량과 속도 등을 이용하는 방법이지만 전문성이 요구되며 현실적으로 많은 어려움이 따른다. 따라서 국내에서는 현실적으로 다음과 같은 방법을 채택하고 있는데, 즉 보다 평균화된 개념을 도입하여 전체적인 배출량을 추정한 다음 지역현황에 따라 배분하는 방법을 이용하고 있다. 이는 광역단체 단

위의 차종별 평균 주행거리(VKT : Vehicle Kilometer Traveled)를 산정하여 해당지역별로 할당하고, 배출계수를 적용하는 방법으로 여기서 할당 기준은 해당지역의 자동차 등록대수를 이용하고 있다.(국립환경연구원, 2004)

$$\text{배출량(차종, 도로)} = \text{배출계수(차종, 도로)} \times \text{주행 거리(차종, 도로)} \quad (1)$$

미국과 유럽의 경우 다양한 배출요인에 대한 배출량 산정모형을 구축·사용 하고 있다. 미국에서 널리 사용되고 있는 차량배출량 산정모형은 EPA에서 개발한 MOBILE과 California에서 개발한 MVEI(Motor Vehicle Emissions Inventory)로 나눌 수 있다. 여기에서 사용되는 배출계수는 도로상 통행조건의 함수로 가속, 감속, 정속, 정지기동 등을 모두 고려한 평균속도 개념을 이용한다.

1) Mobile

$$\text{배출량} = \text{평균속도} \times \text{차종에 따른 배출계수} \times \text{VMT(Vehicle Miles Traveled)} \quad (2)$$

2) MVEI

MVEI는 크게 4가지로 구성되어 있는데, 이는 CALIFAC, WEIGHT, EMFAC, BURDEN이며, 기본원리는 MOBILE과 같으나, VMT·속도·출발형태·차량대수·온도·납/황 자료에 대한 BURDEN이 포함되어 있다는 것이 큰 차이이다.

유럽의 경우도 미국의 배출계수 산정과 마찬가지로 속도·차종별·연료별·도로경사·부하 등을 고려하고, 엔진가열 배출에 대해 속도·차종·연료 형태 등을 고려한 배출계수를 사용한다.

$$\text{배출량} = f(\text{도로 종류별, 차종별}) \times \text{배출계수} \quad (3)$$

즉, 현재 미국이나 유럽의 경우 다양한 배출요인에 대해 배출계수를 보정하여 보다 정확한 배출량 산정을 시도하고 있다고 판단된다.

1. 국내 차량배출량 산정관련 연구동향

국내의 차량배출량 산정관련 연구는 주로 배출계수

회귀식을 도출하기 위해 통행특성과 배출특성 사이의 상관관계를 연구하거나 총배출량을 지역별로 할당하는 기준에 관한 연구가 주를 이루고 있다.

〈표 1〉 국내 차량배출량 산정관련 연구의 구분

저자 (연도)	배출 계수 산정	배출량산정			
		교통량 고려	개별행태 고려	TDA	TDM
조강래 등 (1993)	○				
조역수 (1993)					○
장영기 등 (1995)				○	
유지열 등 (1997)					○
김동영 (1998)				○	
박성규 등 (2001)		○			
조규탁 (2002)				○	
이영인 (2004)			○		

조강래 등(1993)은 서울의 주요간선도로 10개 노선을 선정하여 교통혼잡 시간대와 비혼잡 시간대로 나누어 각 노선의 주행 상태를 측정하였다. 측정된 주행상태를 10단계의 대표주행모드로 선정하여 배기가스를 측정하고, 측정된 배기가스를 주행속도와의 회귀분석을 통하여 주행속도에 따른 배출계수 산출식을 산정하였다.

1990년 중반부터는 고해상도 격자 배출량 산정방법이 개발되었는데, 대부분 Top Down Approach(이하 TDA라 함)에 기반하고 있으며, 서울지역에 대한 일부 연구에서 교통수요모형을(Traffic Demand Model, 이하 TDM이라 함)을 활용하였다.

조역수(1993)는 우리나라에서 처음으로 TDM의 통행배정 결과를 이용하여 격자별 오염물질 배출량을 산출하는 연구를 수행한 바 있다.

장영기 등(1995)은 시공간적으로 고해상도를 가지는 배출자료 구축을 위한 지침서를 작성했으며, 자동차의 격자별 배출량은 도로의 “차선×길이” 비율을 할당지표로 이용하는 TDA에 의하여 산정하였다.

유지열 등(1997)은 이동오염원을 계산할 때, 교통수요모델(교통량 예측 프로그램인 EMMME/2와 차종 O-D 자료)을 도입하여 장래 차량에 의한 오염물질 배출량의

구체적 예측을 가능케 하는 방법론을 개발하였다.

김동영(1998)은 국내의 배출량 산정방법을 검토하여 우리나라에서 적용 가능한 배출량 산정체계를 개발하였다. 이 배출모형체계 중 자동차에 의한 격자별 배출량은 TDA 방식을 이용하여 산정하였으며, “차선×길이”의 비율을 할당지표로 이용하였다.

이 외에도 자동차에 의한 배출량을 산정하기 위한 다양한 연구들이 수행되었는데, 교통량을 실제로 관측한 일부 환경영향평가를 제외하면, 대부분의 연구는 TDA 방식에 기초하여 배출량을 평가하였다. 한편 최근에 와서 TDA 방식이 가지는 단점을 개선하기 위한 연구들이 시도되고 있는데, 아직은 초기단계이다.

박성규 등(2001)은 교차로 검지기에서 수집되는 실시간 교통자료를 이용하여 서울 강남구 지역의 도로별, 시간대별로 자동차 오염물질 중 CO의 배출량을 산정하였다.

조규탁(2002)은 TDA에 기초하여 지역별 통행특성을 고려한 배출량 산정방법을 개발하였다. 네스티드(둥지화)개념을 이용하여 대상 시공간을 점차 세분화하여 각 공간규모의 배출특성을 평균화하여 배출량의 공간해상도를 높이는 방법을 사용하였다.

이영인 등(2004)은 기존의 거시적인 관점에서의 배출량 산정방식의 한계점을 분석하고, 실시간으로 변화하는 도로상황 및 개별차량의 주행행태에 따른 배출량 산정을 위한 미시적 접근 방식을 택하여 차량의 속도와 가속도에 따른 배출량 산정 모형을 제안하였다.

2. 국외 차량배출량 산정관련 연구동향

국내문헌과 달리 국외문헌의 경우 평균통행속도에 크게 의존하는 현재 배출량 산정방법의 한계에 대해 인식하고, 실제 교통네트워크 상에서 주행행태와 운행조건을 반영하기 위해 미시모형인 교통류 시뮬레이션 모형과 통합하려는 시도가 이루어지고 있다. 또한 대기오염물질 배출량과 연료소비의 관계를 실제 도로 네트워크상에서 보다 미시적으로 연료소모량을 추정하고자 하는 모형이 주를 이루고 있다.

Samaras et al(1995)은 배출량 산정의 bottom-up 과 top-down 방식을 비교하여 원칙적으로 두 가지 평가방법이 일치할 수 있다고 발표하였지만, Loibl et al(1993)은 두 가지 방법은 서로 병합되어야 한다고 주

〈표 2〉 국외 차량배출량 산정관련 연구의 구분

저자(연도)	연구의 구분		
	배출계수	연료소비량	배출량산정
Samaras et al (1995)			○
Loibl et al (1993)			○
Robert Joumard (1995)		○	○
Barth, M et al (1996)	○		
Kishi, Y. et al (1996)		○	
Fen an et al (1997)	○		○
Sturn et al (1997)	○		
Hung, W. T. et al (2000)	○	○	
Hesham Rakha et al (2001)		○	○
Jin Young Park et al (2001)	○		○
Hesham Rakha et al (2003)	○		

장한바있다.

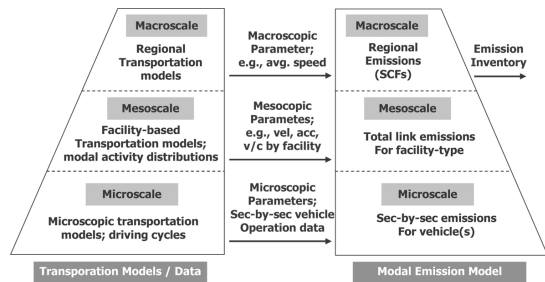
Robert Joumard(1995)는 승용차의 배출량과 연료 소비량에 영향을 미치는 요소들을 결정하기 위한 연구를 수행하였다. 연구에 따르며 배출량과 연료소비량은 속도와 가속도에 민감하게 반응을 하는 것으로 분석하였다.

Barth, M. et al(1996)은 EPA(Environmental Protection Agency)의 MOBILE과 CARB(California Air Resources Board)의 EMPAC은 평균차량속도와 배출량간의 관계를 통계적으로 이용하고 있는 것으로 다양한 교통상황의 영향 하에서의 대기오염물질 배출량 분석에는 한계가 있음을 인식하였다. 연구에 따르면, ITS, 대체연료차량 등의 영향이 대기질 관리계획에 포함되어야 하는데, 이때 차량주행모드, 즉 아이들링, 정속, 가속, 감속 등의 차량상태를 반영해야 한다고 하여, NCHRP (Development of a Modal Emission model) 모형을 제시하였다.

Kishi, Y. et al(1996)은 교통류 흐름을 개선시켰을 때, 연료소비가 잠재적으로 얼마나 감소하는지를 추정하였다. 도로네트워크를 대상으로 미시모형을 사용하였는데, 미국의 TRAF-NETSIM을 이용하였다. 개별차량의 움직임과 상태가 교통네트워크에서 매 초당 계산되기 때문에 개별차량의 연료소비 또한 매초당 계산된다. 차중

은 승용차, 트럭, 버스로 구분되고, 차량주행상태는 속도, 가속도, 감속도로 구분되어 연료소비량은 매 초당 계산되며, 이후 fuel consumption unit table로부터 필요한 조건과 매치시키게 되고, 이를 집계하면 일반적인 연료소비량이 결정된다고 분석하였다.

Fen an et al(1997)은 운전역학관계와 연계해서 대기오염물질 배출자료를 좀더 넓은 범위에서 구하기 위해 차량운영상태와 정지가동상태, 안정상태의 순행, 감가속 정도와 같이 직접적으로 차량운영방식과 관련된 대기오염물질 배출량을 산출하기 위해, 차량운영방식에 근거한 대기오염물질 배출량을 예측할 수 있는 modal emission model을 제안하였다.



자료출처: fen an et al, 1997

〈그림 1〉 Transportation Emission Modeling Framework

Sturn et at(1997)은 입력자료와 적용지역에 기초한 배출목록을 수집하기 위하여 이른바 'actual driving behaviour', 'specific streets', 'vehicle miles travelled'의 세 가지 다른 접근 방법을 비교·분석하였다.

Hung, W. T. et al(2000)은 신호화된 도로망의 자동차에 의한 연료소비량과 오염물질배출량을 측정하기 위한 모델들 중에서 가장 적합한 모델을 선정하고자 여러 모델들을 비교 분석하였다. MOBILE(US EPA, 1994), MVEI(CARB, 1996)와 같은 배출계수 모형은 사용하기 간편하나 실험적 데이터에 크게 의존하는 경향이 있고, 또한 COPERT(Computer Program to calculate Emission Road Traffic)와 같은 평균 속도 모형이 전체 도로망에 배출량과 연료소비량을 측정하기 좋으나 이 두 모델은 신호화된 도로에서는 적합하지 않다고 했다. 따라서 MODEM과 같은 속도, 가속도에 기초한 모델이 신호화된 도로망에서 적용시키기 적합한 형태라고 분석하였다.

Hesham Rakha et al(2001)은 지능형 교통체계 시스템 상에서 연료소비와 차량배출량의 영향을 고려하

기 위한 좀 더 설득력 있는 배출량산정체계를 개발하고자 하였다. 미시적 교통류 모형과 차량배출량 모형을 통합하기 위한 방법론을 제시하였으며, 연료소비와 배출량이 속도와 가속도에 민감하게 반응함을 증명하였다.

Jin Young Park et al(2001)은 개별 차량의 운전 행태를 반영할 수 있는 Microscopic Emission Model을 개발하였다. VISSIM을 이용하여 개별차량들의 교통류 특성을 분석한 후 속도를 기반으로 한 MODEM (Microscopic emission inventory)과 결합하여 차량 배출량을 산정하였다.

Hesham Rakha et al(2003)은 차량배출량 산출모형인 MOBILE5a, MOBILE6, VT-Micro, CMEM (Comprehensive Modal Emissions Model)을 비교 분석하였다. 신호시스템 및 지능형교통체계에서의 미시적 교통류의 배출량 산정에 적합한 모형은 VT-Micro모형인 것으로 분석한바있다.

3. 국내외 차량배출량 산정관련 연구동향 비교 및 시사점

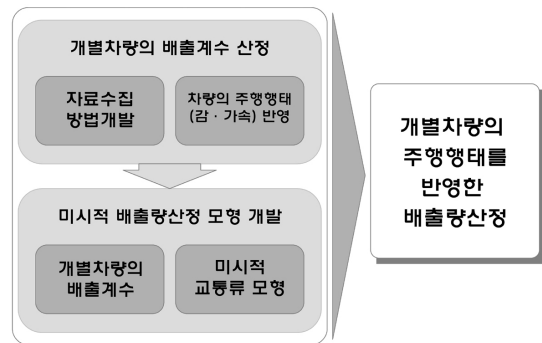
이상의 차량배출량 산정관련 국내외 연구를 비교·분석한 결과, 국외의 경우에 차량의 가·감속 등 미시적인 차량의 움직임을 배출량모형과 결합시키기 위한 자료수집 및 시뮬레이션 기법의 개발이 가장 활발히 연구되고 있는 것으로 분석되었다.

그러나 이 분야의 국내연구는 평균통행속도나 평균주행거리를 적용해서 차량배출량을 산출하는 집합적이고 거시적인 연구에 머무르고 있는 것으로 나타났다. 이러한 차량배출량산정 방법은 실제 도로상에서 시공간적 차량주행특성, 즉 속도와 가속도를 반영하지 못하고 이로 인해 자동차 대기오염물질 배출량을 정확하게 산출하기 어렵다. 따라서 교통운영의 개선효과(신호시스템, 램프 미터링 등)는 현재 우리나라와 같은 대기오염물질 배출량산정 모형으로는 평가 할 수 없다.

최근 이러한 한계점을 인식하여 미시적인 차량배출량 산정방법에 대한 연구가 미미하게나마 진행되고 있지만, 국외의 차량, 속도·가속도 및 단위 등으로 개발된 배출량표등(emission unit table)을 기반으로 연구되어 국내의 실정과 맞지 않는 문제점이 존재 하는 것으로 파악되었다. 향후 우리나라 실정에 맞는 신뢰도 높은 실측데이터를 구축하여 원시자료로 이용한다면 차량의 주행에

따른 대기오염물질 배출량을 모형화하는데 뿐만 아니라 다양한 관련 연구에 기초 자료로 폭 넓게 사용 될 수 있을 것이다.

이러한 점을 고려하여 향후 차량배출량 산정관련연구의 시사점 2가지를 도출하였다. 첫째, 차종별 개별차량 속도와 가속도를 이용하여 개별차량의 대기오염물질 배출계수를 산정하는 연구가 진행되어야 하며 둘째, 이에 따른 배출량산정 모형이 개발되어야 할 것이다.



〈그림 8〉 차량배출량 산정관련 연구분야의 시사점

III. 국내외 차량배출량감소 정책관련 연구동향

본 절에서는 국내외 차량배출량감소 정책관련 국내외 연구를 비교·분석하여 향후 국내의 교통환경정책의 연구 및 합리적인 정책수립을 위한 방향을 제시하고자 한다.

1. 국내 차량배출량감소 정책관련 연구 동향

한화진 등(1995)은 자동차 배출가스 관리제도의 현황 및 문제점을 분석하고 외국의 관리제도를 조사·비교하여 종합적인 정책방향과 중·장기적인 저감정책 방향을 제시하였다. 과학적이고 합리적인 자동차 오염저감 정책의 수립을 위해 오염배출에 영향을 주는 여러 분야의 이론적인 검토 및 실질적인 조사연구의 기초자료를 바탕으로 수행되어야함을 강조하였다.

홍창의 등(1995)은 연구의 범위를 교통혼잡, 대중교통 등 자동차사용의 최소화 방안, 휘발유차량에 비해 디젤이나 LPG차량의 저감효과, 운전행태의 개선에 의한 저감효과를 중심으로 검토하였다.

한화진 등(1996)은 저공해연료 자동차를 국내에 보

급하기 위해 필요한 정책수립상의 제반사항을 외국의 사례분석에 기초하여 조사함으로써 국내에 활용하는 방안을 제시하였다. 저공해연료자동차의 특성(환경·안정성, 경제성, 기술성 등), 국내 보급과 기술개발현황 및 문제점, 외국의 저공해연료자동차 보급정책 및 지원제도 분석과 국내 보급정책의 개선방안과 보급 시나리오를 제시하였다.

김갑수 등(1996)은 서울시의 경유자동차 보유현황 및 경유자동차 오염물질 배출특성을 분석하고 경유차량 배기가스가 장래 서울시의 대기질에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 선진외국과 국내에서 시행중인 경유자동차 오염물질 저감대책의 타당성을 평가하여 문제점을 파악하고 서울시에 맞는 적절한 개선방안을 제시하고자 하였다.

김용건 등(1997)은 자동차 공해 및 저감대책의 현황을 분석하고, 자동차 공해저감을 위한 정책대안들에 대해 비용-편익분석을 수행하여 정책우선순위를 도출하였다. 또한 선진국외의 자동차 공해의 저감에 따른 경제적 유인제도의 활용현황을 조사, 분석하여 국내 정책수단개발에 대한 시사점을 도출하고, 효과적인 정책대안을 추진하기 위해 자동차 관련업체 및 운전자에 대한 경제적 유인제도를 수립하였다.

이성원 등(1998)은 교통부문의 환경문제의 현황과 전망을 분석하고 각종 국제회의 및 국제기구에서의 교통환경과 관련된 논의 동향을 종합분석하여 종합적인 교통환경정책방향과 국제동향에 대한 대처방안을 수립하였다.

김운수(2001)는 교통계획과 대기환경관리가 상호 개별적으로 연구되어온 접근방식을 지양하고, 교통·환경을 매개할 수 있는 접근방법의 도로환경용량의 개념을 제시하였다. 도로환경용량은 기존의 도로별 물리적 용량개념에 더하여 도로변 대기오염도와 소음도 항목을 추가하여, 물리적 개념과 환경영향 개념을 종합화한 개념으로 정의된다. 도로환경용량을 산정할 경우, 기본요소는 도로 통행량/속도 관계식의 도출, 그리고 이를 통한 오염물질 배출량 및 소음도 산정, 도로변 확산을 통한 대기오염도 추정이다. 이를 이용하여 이동오염원에 의한 도로별 교통·환경영향을 포괄한 기준을 바탕으로 교통계획과 환경계획을 연계할 수 있는 정책목표로서 이용될 수 있다.

조중래 등(2002)은 거시적인 통행배분모형을 이용하여 경기도 지역의 행정구역별, Grid별로 배출량을 산출하였다. 산출된 차량대기오염물질 배출량 산정방법을 여러 가지 교통정책의 시행시에 적용하여 각각의 교통정책의 미시행/시행이 차량의 대기오염물질 배출량을 저감하는 정량적인 저감효과를 분석하였다.

〈표 3〉 국내 차량배출량감소 정책관련 연구의 정책 수립 범위

저차 (연도)	정책수립 범위					
	수요 관리	배출가 스규제	대중 교통 개선	저공해 자동차 보급	경제적 유인 제도	환경 용량
한화진 (1995)			○	○		
홍창의 (1995)				○		○
한화진 (1996)				○		
김갑수 (1996)		○			○	
김용건 (1997)	○	○		○		
이성원 등 (1998)	○			○	○	
김운수 (2001)	○					○
강광규 (2002)		○			○	
조중래 등 (2002)	○				○	
이신해 등 (2005)	○		○		○	
김운수 (2005)				○		

이신해 등(2005)은 서울시의 교통으로 발생하는 대기오염 문제를 교통·환경적 관점에서 고찰하고 이러한 문제에 대한 기존 서울시 교통정책을 평가하여 문제점 및 개선안을 도출하였다. 교통으로 인한 대기오염 현황을 기존의 통계자료 및 연구결과를 활용하여 파악하였으며, '중앙버스전용차로제', 'CNG버스도입' 등 최근 서울시에서 이루어졌던 교통정책을 기존교통정책의 평가로 하여 분석하였다. 또한 대기환경을 개선하기 위한 교통관리기법들을 해외 사례를 통해 유형별로 검토하여 서울시의 교통·토지이용 특성에 적합하고 정책방향과 부합되는 교통관리기법들을 분류·제시함으로써 정책의 시행효과를 증진시키는 방안을 검토하였다.

김운수 등(2005)은 서울시 저공해 자동차 보급을 촉진할 수 있는 제도적 기반 조성을 목적으로, 서울시 자동차 대기오염 배출비중 및 오염물질의 배출특성을 분석하고, 저공해 자동차 보급촉진을 위한 운행여건 조성 및 유도방안을 제시하였다. 저공해 자동차의 보급 촉진 관련 대책의 경제적·환경적 효과의 비교평가를 통해 저공해 자동차 보급의 타당성을 검토하였다. 또한 외국 대도시의 저공해 자동차 보급·운행 사례를 분석하여 제반 시사점을 도출하였다.

2. 국외 차량배출량감소 정책관련 연구 동향

Randall Guensler(1994)는 Congestion Pricing에 의한 대기질개선 효과평가와 함께 Congestion Pricing을 실시하기 위한 적정 차량통행속도에 대해 연구하였다.

Zhou et al(2000)은 심각해진 차량배출가스로 인한 대기오염의 원인을 파악하고 국내외의 정책과 연구들을 비교·분석하여 차량으로 인한 대기오염을 저감시킬 수 있는 방안을 연구 한바있다.

Tejas Metha et al(2001)은 다양한 ITS운영전략의 대기오염 영향을 평가하고, ITS사업에 의한 대기질 개선효과와 향후 정책적인 운영전략을 제시하고 있다. 또한 교통계획시 교통과 환경분야가 유기적인 체계를 유지하고 대기질을 평가할 수 있는 방법론을 개발할 필요성이 있음을 제시하였다.

Marie Venner(2004)은 미국에서 자동차 도로교통에서 배출되는 오염물질을 평가하는 EMPAC/MOBLE, multiple driving cycles, velocity-acceleration matrix, emission mapping, physical model의 5가지 방법을 평가 한 후 현실적인 배출량 산정모형을 선정하여 배출량을 산정하였다. 이에 따라 권역별로 차별화된 전략의 수립이 가능해지게 되었다고 주장하였다.

Josias Zietsman et al(2004)은 텍사스를 대상으로 대중교통에 의한 배출가스를 저감시킬 수 있는 방법

〈표 4〉 국외 차량배출량감소 정책관련 연구의 주요내용

저자(연도)	주요내용
Randall Guensler (1994)	- Congestion Pricing에 의한 대기질개선 효과평가 - Congestion Pricing 실시하기 위한 적정 차량통행속도 산정
Zhou et al (2000)	- 차량배출가스로 인한 대기오염의 원인 분석 - 다른나라의 정책들을 비교·분석 - 권역별 차별화된 전략수립
Tejas Mehta et al (2001)	- 다양한 ITS운영전략의 대기오염 영향을 평가 - ITS사업에 의한 대기질 개선효과와 향후 정책적인 운영전략 제시 - 교통계획시 교통과 환경분야가 유기적인 체계를 유지하고 대기질을 평가할 수 있는 방법론을 개발
Marie Venner (2004)	- EMPAC/MOBLE, multiple driving cycles, velocity-acceleration matrix, emission mapping, physical model의 5가지 방법을 평가 - 현실적인 배출량 산정에 의한 권역별 정책 개발
Josias Zietsman et al (2004)	- 대중교통에 의한 배출가스 저감시킬 수 있는 방법 연구 - 차량배출가스 저감으로 인한 경제적 효과를 분석

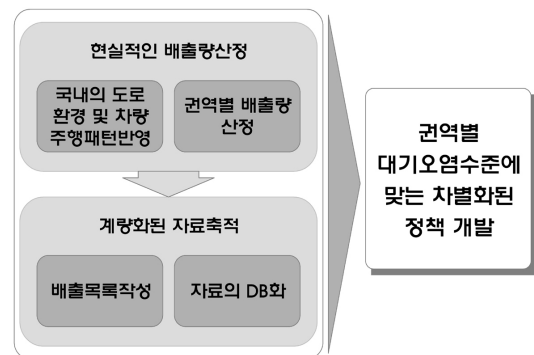
을 연구하고, 차량배출가스 저감으로 인한 경제적 효과를 분석하였다.

3. 국내외 차량배출량감소 정책관련 연구동향 비교 및 시사점

이상의 차량배출량감소 정책관련 연구를 분석한 결과, 차량배출량감소 정책관련 국외연구는 차량주행패턴에 따른 현실적인 배출량산출이 가능하다는 전제하에서 배기가스 총량을 줄이는 방향으로 수요패턴이 이동되도록 유도하는 정책이나, 권역별로 차별화된 교통환경정책의 개발에 초점이 맞추어져 있다.

반면에, 국내의 경우는 외국사례를 소개하고 정책화를 위한 대안제시에 특히 대중교통정책의 중요성을 강조하는 수준에 머무르고 있다. 이러한 점을 고려하여 차량배출량감소 정책관련 연구의 시사점 2가지를 도출하였다.

향후 국내 정책관련 연구는 첫째, 과학적이고 합리적인 자동차 배출량감소 정책을 위하여 국내의 도로환경 및 차량주행패턴을 반영하는 배출계수 및 배출량산정 모형이 개발되어야 하며 둘째, 이를 바탕으로 한 계량화된 기초자료를 축적하여 권역별 대기오염 수준에 맞는 차별화된 정책을 수립해야 할 것이다.



〈그림 3〉 차량배출량감소 정책관련 연구분야의 시사점

IV. 국내외 차량배출량감소 교통운영관련 연구동향

본 절에서는 국내외 차량배출량감소 교통운영관련 국내외 연구를 비교·분석하여 향후 국내외 ITS 및 신호시스템 등의 교통운영관련 사업의 평가 및 차량배출량저감방안연구에 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1. 국내 차량배출량감소 교통운영관련 연구동향

홍민선 등(1993)은 조사시점을 출근 시간대인 07:00~10:00와 평상 시간대인 10:00~18:00로 선정하고, 서울시 자료를 통해 강남역 주변 교통현황을 분석했다. 비디오 촬영을 통해 조사된 자료를 Transyt-7F(Traffic Network Study Tool) 모델을 이용하여 교통신호체계에 따른 지체, 연료소비량, 총통행시간(Total Travel Time) 등을 국내의 교통환경에서 조사하여 제시된 배출계수(조강래 등, 1991)를 이용하여 오염물질 배출량을 산정하였다. Transyt-7F 모델의 모델링 결과에서 교통신호체계에 따라 지체, 연료소비, 총주행거리, 대기오염물질 등은 상호 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 신호등 교차로에서의 지체는 시간손실을 유발하여 운전자에게 간접적인 비용손실을 가져다주고, 연료를 필요이상으로 소비하여 직접적인 비용손실의 요인이 되는 것으로 분석되었다.

홍창의 등(1995)은 서울시 송파구 교차로들과 링크들을 대상으로, 교통량, 지체시간, 링크길이, 정지회수, 운행속도, 주행속도 등을 고려하여, 제작차 배출가스 허용기준, 총량기준, 불량차기준, 속도기준 등에 의한 배출량을 산정하였다. 또한 TRAF-NETSIM에 의한 시뮬레이션을 통하여 일정 도로상의 제한된 범위내의 배출량을 산정하였다. 분석결과 배출량은 속도, 교통량, 정지회수에 영향을 미치는 읍셋에 따라 민감한 반응을 보이는 것으로 나타났으며, 교통체계 및 교통류의 개선은 소통 뿐만 아니라 대기오염물질 감소에도 큰 영향을 미칠 것으로 분석했다.

박광열(1995)은 교차로의 오염물질 배출량이 다른

〈표 5〉 국내 차량배출량감소 교통운영관련 연구의 주요내용

저자(연도)	주요내용
홍민선 등 (1993)	- Transyt-7F 모델을 이용하여 교통신호체계에 따른 차량배출량 변화 요인 파악
홍창의 등 (1995)	- TRAF-NETSIM, Transyt-7F를 이용한 배출량을 산정 - 교통체계 및 교통류의 개선은 소통뿐만 아니라 대기오염물질 감소에도 큰영향
박광열 (1995)	- Transyt-7F를 통해 실제 교통량과 신호시간을 이용하여 교차로의 신호운영 형태의 최적화를 산출
이영인 등 (2002)	- 대기오염물질의 실시간 모니터링 시스템 개발로 교통전략 효과의 평가와 교통과 대기의 통합관리가 가능
박준환 등 (2005)	- 신호제어 전략에 따른 배기가스 배출량 추정 - 대기오염을 최소화 시키는 전략 수립

곳에 비해 정지, 감속, 가속으로 인해 많이 배출된다는 점에 착안하여 Transyt-7F를 통해 실제 교통량과 신호시간을 이용하여 교차로의 신호운영 형태의 최적화를 산출함으로써 정지, 감속, 가속과 함께 최소화가 되며 오염물질량도 최소화 할 수 있다는 가정 하에 현재의 부적절한 운영형태에서 최적화 된 교차로 운영형태의 결과를 나타내고자 했다. 향후 교차로 개선에 있어서 환경적 측면을 고려한 신호시스템 개선을 고려할 때는 교차로 구간의 지체를 감소시키고 차량의 속도를 경제적인 주행속도로 조절하여 정지, 지체에 의한 연료소모와 이로 인한 대기오염 측면을 같이 고려한다면 연료소모에 의한 경제적인 효과와 대기오염물질 배출량을 최소화 시킬 수 있을 것으로 분석했다.

이영인 등(2002)은 ITS사업을 통해 실시간 교통상황을 인식할 수 있는 토대가 마련됨에 따라 보다 발전된 배기가스 산출 모형을 마련하고, 이를 실제 네트워크상의 교통류 상태와 결합시켜 배출가스의 배출량을 모니터링 할 수 있는 모니터링 시스템을 개발하고자 하였다. 대상지역에 대한 교통전략 변화에 따른 교통류 변화에 함께 대기오염물질의 발생량 변화를 고려할 수 있게 되어 교통전략의 효과를 다양한 측면에서 평가할 수 있으며, 교통과 대기의 통합관리가 가능해질 것으로 기대했다.

박준환 등(2005)은 교차로에서의 개별차량 주행행태를 반영한 미시적 배출량 산정방법론을 제시하고, 이를 통해 대기오염을 최소화 시키는 신호운영 전략 수립 방안을 제시하였다. 대기오염물질 배출량이 속도와 가속도에 크게 의존하는 점에 착안하여, 신호제어 전략에 따른 배기가스 배출량을 추정하였다. 분석결과 개별차량의 정지를 최소화 시키는 전략이 차량의 배출량을 최소화 시키는 것으로 나타났다.

2. 국외 차량배출량감소 교통운영관련 연구동향

Sergio Ostria et al(1998)은 지능형 교통체계상에서의 배출량을 산정할 수 있는 모형들을 고찰하고, 교통신호시스템과 여행자정보시스템, 대중교통관리시스템에서의 차량배출량을 평가, 저감시킬 수 있는 framework를 개발하였다.

Hesham Rakha(2000)은 교통신호시스템이 에너지 소비와 차량배출가스에 미치는 영향을 분석하였다. 미시적 교통류 모형과 미시적 배출량 모형을 결합하는 방법론을 제시함으로써, ITS등 신호시스템의 영향을 평가할

수 있는 방안을 제시하였다. INTEGRATION 모형을 이용하여 constant speed, variable speed, stop sign 시나리오 등의 교통신호시스템의 영향을 분석하였다. 분석결과 연료소비와 배출량은 차량 가속도와 속도에 민감하게 반응함을 입증하였다.

〈표 6〉 국외 차량배출량감소 교통운영관련 연구의 주요내용

저자(연도)	주요내용
Sergio Ostria et al (1998)	- 지능형교통체계 및 교통신호시스템에서의 차량배출량을 평가, 저감시킬 수 있는 framework을 개발
Hesham Rakha (2000)	- 교통신호시스템이 에너지소비와 차량배출가스에 미치는 영향을 분석
Koichi Tsubaki (2000)	- 교통신호를 적절한 상황에 통제해줌으로써 차량의 배출가스를 저감시킬 수 있음
Alper Unal et al (2003)	- 신호시스템과 혼잡관리가 차량배출량에 미치는 영향을 분석 - 정지수를 줄이는 것이 차량배출량을 최소화 시키는 방안
Xiugang Li et al (2004)	- 배기가스 배출량과 연료소모량을 교차로 지체와 함께 고려하여 신호현시를 최적화하는 PI를 제시

Koichi Tsubaki(2000)은 NOX와 차량통행속도 그리고 CO₂와 차량통행속도와의 상관관계를 규명하고자 하였다. 교통신호를 일정하게 유지하기 보다는 상황에 맞게 적절히 통제해줌으로써 차량배출가스를 줄일 수 있으며, 도로상에서의 차량의 배출가스를 관리함으로써 교통공해를 줄일 수 있을 것으로 분석했다. 도로의 용량을 초과하여 속도를 유지할 수 없을 경우 운전자에게 대안 경로를 안내하여 일정한 속도를 유지할 수 있게 해줘야 한다고 주장하였다.

Alper Unal et al(2003)은 신호시스템과 혼잡관리와 차량 배출량에 미치는 영향을 분석하였다. 현재의 차량 배출량 산정방법을 고찰하였으며, California의 EMPAC과 미국등지에서 사용되고 있는 MOBILE등은 평균시간, 평균속도 등을 사용하는 것으로서 신호시스템에 의한 감·가속등의 영향을 고려하지 못한다고 하였다.

개별차량에 on-road vehicle data measurement device 을 장착하여 통행중 실시간으로 배출가스를 측정하였다. 실험결과 가속이 차량배출량에 민감하게 반응하는 것으로 나타났으며, LOS가 낮을수록 배출량이 높아졌다. 신호시스템에서 정지수를 줄이는 것이 차량배출량을 최소화 시키는 방안이라고 분석하였다.



〈그림 4〉 실험차량의 구성(자료출처: Alper Unal et al, 2003)

Xiugang Li et. al(2004)은 배기가스 배출량과 연료소모량을 교차로 지체와 함께 고려하여 신호현시를 최적화하는 PI(Performance Index)를 제시하였다.

$$PI = \alpha \frac{D}{D_i} + \beta \frac{E}{E_i} + \gamma \frac{F}{F_i} \quad (4)$$

여기서, α, β, γ : 파라메터

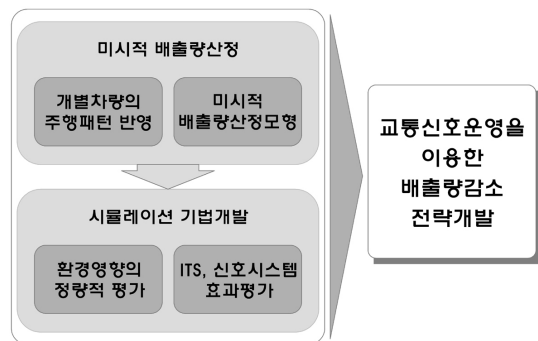
D, E, F : 지체, 가스배출량, 연료 소비량

D_i, E_i, F_i : 지체, 배기가스, 연료의 초기값

3. 국내외 차량배출량감소 교통운영관련 연구동향 비교 및 시사점

차량배출량감소 교통운영 관련한 국외연구는 다양한 검지기체계에서 수집된 교통자료를 활용하여 신호시스템의 영향으로 인한 차량배출량 및 연료소비량을 측정하는 연구와, 배출량을 최소화 혹은 감소시킬 수 있는 교통신호 운영 전략 등의 개발이 활발하게 연구되고 있다.

국내의 경우도 ITS사업의 확대에 따라 그 가능성이 열려있으나 실질적인 연구는 매우 미미한 실정이다.



〈그림 5〉 차량배출량감소 교통운영관련 연구분야의 시사점

이러한 점을 고려하여 향후 차량배출량감소 교통운영 관련 연구의 시사점 3가지를 도출하였다. 첫째, 개별차량의 주행행태를 반영한 미시적 배출량산정 방법이 개발되어야 하며 둘째, 환경영향의 정량적 평가와 ITS 및 신호시스템의 영향을 평가를 고려할 수 있는 시뮬레이션 기법의 개발이 이루어져야 한다. 셋째, 이를 바탕으로 하여 차량배출량감소 교통운영관련연구는 배출량을 최소화시킬 수 있는 교통신호운영전략이나 램프미터링 등의 전략이 수립되어야 할 것이다.

V. 향후 국내교통환경분야 연구과제 제안

국내의 차량배출량 산정관련 연구는 차량의 주행특성을 반영하지 못하는 거시적인 산정방법위주의 연구에 그치고 있어, 향후 국내의 도로현황과 차량의 주행특성을 반영한 미시적인 배출계수를 산정하고 이를 반영한 배출량산정 모형을 개발해야 할 필요성을 제기하였다.

배출량산정연구는 관련연구의 기반이 되는 연구로써, 향후 emission type, grid 및 non-grid 등의 추가적인 비교·분석을 통해 좀 더 구체적인 대안제시가 필요하며 중점적으로 연구되어야 할 분야라고 판단된다.

차량배출량감소 정책관련 연구는 위에서 제시된 배출계수 및 배출량산정 모형에 의해 산출된 계량화된 기초 자료를 축적하여 권역별 대기오염 수준에 맞는 차별화된 정책을 수립해야 함을 강조 하였다.

또한, 차량배출량감소 교통운영관련 연구는 환경영향의 정량적 평가와 ITS 및 신호시스템의 영향을 평가를 고려할 수 있는 시뮬레이션 기법 개발을 통해 차량배출량을 최소화 시키는 교통신호운영전략의 수립이 이루어져야함을 제기하였다.

앞서의 분석을 토대로 교통환경분야에서 향후 우리나라에서 수행되어야 할 주요 연구과제는 대략 아래의 5가지로 대별된다.

1) 미시적 배출계수 및 교통류 모형 개발

(국내 도로교통 환경에 적합, 개별 차량의 주행행태 반영)

2) 미시적 교통류산정모형 개발

(미시적 교통류모형 과 미시적 배출계수의 결합)

3) 시뮬레이션 도구 개발

(교통·환경영향의 정량적 평가검증)

4) 차량 배출량 저감 정책에 필요한 계량화된 국내 기초자료 축적

(배출목록 작성, 자료의 DB화)

5) 차량배출량을 최소화 시키는 교통신호운영 전략의 수립

VI. 결론

본 연구는 국내외 교통환경 관련연구를 차량배출량 산정관련 연구, 차량배출량감소 정책관련 연구, 차량배출량감소 교통운영관련 연구로 구분하고 연구동향 및 시사점을 도출하였다.

결론적으로 향후 국내연구 방향을 다음과 같이 전개될 필요가 있겠다.

차량배출량과 관련한 향후 국내연구는 거시적 분석에서 미시적 분석으로, 차량배출량감소 정책관련연구는 단순한 현황 파악에서 적극적인 정책대안개발로, 그리고 무엇보다도 과학적인 교통운영전략의 개발에 초점이 모아져야 하겠다.

참고문헌

1. 조강래·엄명도·김종훈·홍유덕·김종규·한영출(1993), 자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산출에 관한 연구, 한국대기환경학회지, Vol. 9.
2. 조역수(1993), 선오염원에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구: 서울지역을 대상으로, 서울대학교 환경대학원 석사 논문.
3. 장영기·김동영·조규탁(1995), 먼 및 이동오염원 대기오염배출량 산정 지침에 관한 연구, 환경부.
4. 유지열·동종인·윤균덕·공부주·채경순·최재성(1997), 통행예측기법을 이용한 이동오염원의 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구, 대기환경학회 학술대회 논문집, Vol. 01, No.00.
5. 김동영(1998), 시간 및 격자단위 대기오염물질 배출량: 수도권의 광화학스모그 선구물질을 중심으로, 서울대학교 박사학위논문.
6. 박성규·김신도·김종호(2001), 자동차 대기오염물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구 (강남구의 실시간 교통량 자료를 이용하여), 대한교통학회지, 19권 제4호, 대한교통학회, pp.35~47.

7. 조규탁(2002), 자동차 대기오염물질 배출량의 공간 해상도 개선을 위한 Nested Top Down Approach 개발, 서울대학교 박사학위논문.
8. 이영인 · 조혜진 · 박준환(2004), 차량의 개별주행 행태를 고려한 자동차 배출가스 산정방법론 연구, 서울시연구 제5권, 제4호, pp.43~59.
9. 한화진(1995), 자동차 배출가스 종합대책, 한국환경기술개발원.
10. 홍창의(1995), 서울시 경유자동차 배출가스 저감 정책 수립에 관한 연구, 서울시정개발연구원.
11. 한화진(1996), 저공해연료자동차 보급 활성화 방안 연구, 한국환경기술개발원.
12. 김갑수(1996), 서울시 경유자동차 배출가스 저감 정책수립에 관한 연구, 서울시정개발연구원.
13. 김용건(1997), 자동차 공해저감대책의 비용효과 분석 및 경제적 유인제도 적용방안, 한국환경정책 · 평가연구원.
14. 이성원 · 박지형(1998), 교통부문의 환경문제와 대응방안, 교통개발연구원.
15. 김운수(2001), 도로환경용량 고려한 도시 교통계획의 수립과 적용에 관한 연구, 한국지역학회, 지역연구, 17권, 단일호, pp.17~20.
16. 조중래 외(2002), 수도권 자동차 대기오염물질 배출량 추정 및 대기오염 저감정책방안 연구, 경기개발연구원.
17. 이신혜 · 김원호(2005), 서울시 자동차 배기가스 저감을 위한 교통관리 기법연구, 서울시정개발연구원.
18. 김운수(2005), 서울시 저공해 자동차의 운행촉진을 위한 기반조성 및 지원방안, 서울시정개발연구원.
19. 홍민선 · 우완기 · 최종인(1993), 대도시 교통신호 시스템에 따른 대기오염물질 배출량 변화에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 제9권, 제1호, pp.93~100.
20. 홍창의 · 황상호 · 안호혁 · 김윤지(1995), 교통량에 따른 배기가스량 산정에 관한 연구 (교차로를 중심으로), 대한교통학회 제29회 학술발표회, 대한교통학회.
21. 박광열(1995), 양양지역 교차로 신호시스템에 따른 대기오염물질 배출량 변화에 관한 연구, 관동대학교. 關大論文集, Vol.28, No.2, pp.215~224.
22. 이영인 외(2002), 실시간 검지정보를 이용한 대기오염 모니터링 시스템 개발, 2003년 지능형교통체계 연구개발사업 제1차년도 최종보고서, 건설교통부 · 교통개발연구원.
23. 박준환 · 정상문 · 임강원(2005), 교차로 신호 전략을 이용한 배기가스 배출량 감소 방안에 대한 연구, 대한교통학회 제48회 학술발표회, 대한교통학회, pp.356~364.
24. Samaras P., Almbauer R., Study C., Pucher K. (1997), "Application of Computational Methods for the Determination of Traffic Emissions", Journal of the Air & Waste Management Association Vol. 47, pp.1204~1210.
25. Loibil W., Orthofer R., Winiwarter W.(1993), "Spatially Disaggregated Emission Inventory for Anthropogenic NMVOC in Austria", Atmospheric Environment Vol. 23, pp.37~48.
26. Robert Jourard, Peter Jost, John Hickman, Dieter Hased(1995), "Hot passenger Car emissions modeling as a function of instantaneous speed and acceleration", The Science of the Total Environment 169, pp167~174.
27. Barth, M., F. An, J. Norber, M. Ross(1996), "Modal Emissions Modeling: A Physical Approach", Transportation Research Record 648, pp.74~76.
28. Kishi, Y., S. Katsuki, Y. Yoshikawa, I.Morita (1996), "A Method for Estimating Traffic Flow Fuel Consumption-Using Traffic Simulation", ISAE Review 17, pp.307~311.
29. Fen an and Matthew Bath(1997), "Development of Comprehensive Modal Emission Model : Operating Under Hot Stabilized Condition", Transportation Research Record, p.52-61.
30. Sturn P. J. H., Almbauer, R., Sudy, C., Pucher, K. (2000), "Application of computational methods for the determination of traffic emission", J. of A&WMA, Vol. 47, pp.1204~1210.
31. Hung, W.T., H.Y.Tong(2000), "Review of vehicle emissions and fuel consumption modelling approaches at signalized and road network",

- Proceedings of the 5th Meeting of Hong Kong society for Transportation Studies, 2, pp.234~239.
32. Hesham Rakha, Michel Van Aerde, K. Ahn, and Antonio A. Trani(2001), "Requirements for Evaluating Traffic Signal Control Impacts on Energy and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Measurements", Transportation Research Record 1738, Paper No. 00-1133.
 33. in young Park, Robert B. Noland, and John W. Polak(2001), "Microscopic Model of Air Pollutant Concentrations(Comparioson of Simulated Results with Measured and Macroscopic Estimates", Transportaion Research Record 1750, Paper No. 01-3099.
 34. Hesham Rakha, Kyungho Ahn, Antonio Trani (2003), "Comparison of MOBILE5a, MOBILE6, VT-MICRO and CMEM models for Estimating Hot-stabilized Light-duty Gasoline Vehicle Emissions", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 30(6), Dec., pp.1010~1021.
 35. Marie Venner(2004), "Using Environmental management Systems to Implement Continuous Quality Improvement at State DOTs", TRB 2004 Annual Meeting CD-ROM.
 36. Josias Zietsman, Dennis G.. Perkinson, Brian S. bochner, Janie Bynum(2004), "Transit as a Potential Emissions Reduction Strategy", TRB 2004 Annual Meeting CD-ROM.
 37. Hongchang Zhou(2000). "Vehicular Emission Pollution and Control Strategy in China", Transportation research Board 79th Annual Meeting.
 38. Sergio Ostria, Sandeep Aneja, Robert B. Noland(1998), "Emissions and Fuel Consumption Impacts of Intelligent Transportation Systems: Modeling and Evaluation Methodologies", Transportation Research Board 77th Annual Meeting.
 40. Koichi Tsubaki(2000), "Environment Protection Management Systems", IEE.
 41. Alper Unal, Nagui M. Roupail, and H. Chirstopher Frey(2003), "Effect of Arterial Signalization and Level of Service on Measured Vehicle Emissions", Transportaion Reasearch Record 1842, Paper No. 03-2884.
 42. Xiugang Li, Guoqiang Li, Su-Seng Pang, Xiaguang Yang, Jialin Tian(2004), "Signal timing of intersection using integrated optimization of traffic quality, emissions and fuel consumption: a note", Transporation Research Pard D 9, pp.401~407.
 43. Tejas Metha, Hani S., Mahmassani, and Chan Bhat(2001), "Methodologies for Evaluating Environment Benefits of Intelligent Transportation Systems", Center for transportation Research The University of Texas at Austin, Report No. FHWA/TX-04197-1.
 44. Randal Gunsler and Daniel Sperling, "Congestion Pricing and Motor Vehicle Emission", University of California Berkeley, 1994.

✉ 주 작성 자 : 강종호
 ✉ 교 신 저 자 : 이청원
 ✉ 논문투고일 : 2006. 10. 28
 ✉ 논문심사일 : 2006. 12. 26 (1차)
 2007. 8. 27 (2차)
 2007. 9. 18 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2007. 9. 18
 ✉ 반론접수기한 : 2008. 4. 30