

# 차량 주행상태를 고려한 차량 배출가스 산정 모형 구축

A Study of Calculation Methodology of Vehicle Emissions based on Driver Speed and Acceleration Behavior

한 동 희

(한국도로공사 도로교통연구원  
선임연구원)

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교수)

장 현 호

(서울대학교 환경대학원 박사수료)

## 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구의 배경
    - 2. 연구의 목적 및 내용
  - II. 기존연구 고찰
    - 1. 거시적 수준의 차량 배출량 산정모형
    - 2. 미시적 수준의 차량 배출량 산정모형
  - III. 모형의 구축
    - 1. 모형의 개요
    - 2. 모형의 구축
  - 3. 모형의 계수산정
  - IV. 모형의 검증
    - 1. 검증 개요 및 방법론
    - 2. 검증결과
  - V. 결론 및 향후 연구
    - 1. 결론
    - 2. 향후 연구
- 참고문헌

Key Words : 차량배출가스, 배출표, 주행행태, 미시적시물레이터, 차량역학

Vehicle Emissions, Emission Table, Microscopic Traffic Simulator, Vehicle Kinematics, Driving Behavior

## 요 약

대기오염물질과 온실가스가 주는 폐해는 점차 심각한 수준으로 발전하고 있는 상황에서 자동차에 의한 배출가스가 대표적인 배출원의 하나로 손꼽히고 있다. 교통부문에 있어서는 교통운영전략 등에 의해 배출가스량을 억제 및 관리할 수 있는 방법론에 대한 연구가 필요한 상황이나 아직까지 차량의 운행행태 즉 가속, 감속, 정지 시 등에 따른 배출량을 산정할 수 있는 모형에 대한 연구는 미미한 수준이다. 본 연구에서는 신호교차로와 같은 도로를 주행하는 차량이 가속, 감속 정지 하면서 배출하는 배출가스량을 산정할 수 있는 모형을 구축하였으며 이를 위하여 차량 실험을 기반으로 배출량표를 작성하고 차량의 움직임을 운동학적 접근법으로 분석하여 모형을 구축하였다. 최종적으로는 미시적 시물레이터와 배출표를 이용하여 가장 현실적인 배출량 산정체계를 구축하여 모형을 검증, 평가하였다. 평가 결과 기존의 평균주행속도를 이용한 배출모형 보다 상대적으로 정확한 배출량을 산정하는 것으로 분석되었다.

Traffic signal is one of the major factors that affect the amount of vehicle emissions on urban highway. The amount of vehicle emissions in urban area is highly affected by the vehicle's cruising speeds heavily influenced by the traffic signal lighting conditions. It was attempted in this study to trace the changing patterns of the vehicle emissions by collecting the emission data from a set of simulation studies and by categorizing vehicle cruising conditions into four different groups: idling, acceleration, deceleration, and running at a constant speed. Authors propose a simple emission model prepared based on Kinematic theory. The validation test results showed that the amount of the emission estimated by the proposed model was relatively satisfactory compared to the one of the existing model employing the average speed data only as the determinant.

## I. 서론

### 1. 연구 배경

오늘날 도시대기오염 및 지구 온난화 현상은 전 세계의 대도시에서 직면하고 있는 가장 시급한 환경오염 문제 중의 하나이다. 이와 같은 문제의 심각성을 고려할 때 문제해결을 위한 구체적이고 실질적인 노력이 필요한 시점이며 특히 교통측면에서 볼 때, 도로구간에서 발생하는 배출가스 량을 정확하게 산출하는 것은 향후 환경적인 요인을 고려한 교통운영전략 및 교통계획 수립에 있어서 가장 기본적인 사항이다.

도로망에서 주행하는 차량들은 교통신호 등과 같은 요인에 의해 반복적인 주행상태의 변화를 경험하게 된다. 차량의 주행상태가 가속, 감속, 정지, 순항 하는 경우 각각 배출량의 발생특성이 다르며 각 상태에 따라 배출량을 산정하는 연구는 보다 정확한 배출량을 산정하기 위해 필요한 가장 기본적인 연구라고 할 수 있다. 다만 대부분의 기존 자동차 배출모형은 다양한 차종과 도로상태에 따른 요인을 고려할 수 있도록 만들어졌지만 이와 같은 자동차의 주행상태에 따른 영향을 고려하지 못하거나 이와 관련된 연구가 미미한 것이 사실이다.

### 2. 연구의 목적 및 내용

본 연구의 목적은 차량의 주행상태를 반영한 배출가스량을 산정하는 모형을 개발하는 것이다. 이를 위하여 수행한 연구의 세부 내용은 다음과 같다.

첫째, 기존의 배출량 산정방법론 및 차량의 주행상태 모형화와 관련된 기존 문헌을 고찰하였다.

둘째, 신호교차로에서의 수요 공급관계식을 이용하여 차량 주행상태에 따른 배출량 산정모형을 구축하였다.

셋째, 자동차 배출량 실험을 통한 자동차의 가감속도에 따른 배출계수 산정과 현장 실험을 통한 도로 주행시의 가감속 패턴 분석이 수행되었다.

마지막으로 모형의 검증을 위한 미시적 배출량 산정 체계를 구축하였으며 배출계수 산정과정에서 도출된 배출량표(Emission Table)를 이용하여 본 연구에서 개발된 배출모형의 검증을 수행하였다. 연구의 수행을 모형 구축과정과 함께 설명한 흐름도는 <그림 1>과 같다.

## II. 기존연구 고찰

기존연구 고찰은 국·내외 자동차 배출가스 산정모형들을 검토하고 본 연구와의 차별성을 정리하였다.

### 1. 거시적 수준의 차량 배출가스 산정모형

미국의 대표적인 이동오염원의 배출량 산출모형 MOBILE<sup>1)</sup>은 1970년대부터 미국 연방환경청 (EPA)이 개발해오고 있는 배출량 산정 프로그램으로 이 모형에서 배출량은 차량의 평균주행속도와 통행거리를 곱하여 산정한다.

$$Q = \text{평균속도} \times EF \times VMT (\text{Vehicle Miles Traveled}) \quad (1)$$

여기서, Q(kg/day) : 배출량  
 EF(kg/mile, 대) : 차종에 따른 배출계수  
 VMT(mile/day, 대) : 총 주행거리

유럽의 경우 주행모드(hot, cold, start)중에서 엔진 가열배출에 대해 속도를 고려한 배출계수 작성 후, 다양한 인자에 대해 보정하는 방식을 취하며, 배출계수는 미국의 배출계수 산정과 마찬가지로 속도, 차종별, 연료별, 도로경사, 부하등을 고려하고 있고, 엔진 가열 배출에 대해 속도, 차종, 연료형태 등을 고려한 배출계수를 사용한다. 또한 유럽의 경우도 반영되는 교통특성인 차량의 속도자료는 도로상을 주행하는 평균주행속도가 사용되고 있다.

영국의 경우, 도로부문의 CO<sub>2</sub> 배출량은 연료소비에 의해 산출하되 이때, 속도의 Activity를 적용하여 연료 소비량을 산출한다. 주요 도로별로 산정된 각 차종별 평균 속도를 이용하여 연료소비량을 추정하는 방법을 사용하고 있다.

호주의 온실가스 배출량은 CO<sub>2</sub>는 Tier 1방법으로, non-CO<sub>2</sub>는 Tier 2방법을 기초로 배출량을 산정한다. CO<sub>2</sub>의 배출량 산정은 Tier 1방법에 따라 사용된 연료의 양을 기초로 산출되어 지며 연료의 제원에 따라 완전하게 연소되어지는 비율로 계산되어진다.

교통부문에 대한 IPCC Guideline의 방법론은 Tier 1 및 Tier 2/3 방법론이 있는데 Tier 1 방법은 에너지

1) 경기개발연구원(2002)

소비량에 기초하여 사용된 에너지량에 연료종류별 배출계수를 곱하여 산출하는 방법이고 Tier 2/3 방법론은 환경정책평가원 및 환경부 기존연구에서 정의된 바 있는데 이는 개념적으로 연료 소비량의 추정에 있어 단순한 판매량을 통해 연료소비량을 산정하지 않고 실제 활동(Activity)을 근거로 산출하는 방법이라 설명될 수 있다. Tier2/3 방법론의 개념은 다음과 같다.

$$\text{Emission} = \sum (EF_{abc} \times \text{Activity}_{abc}) \quad (2)$$

- EF : Emission Factor, 연료종류별 배출계수
- Activity : 주행거리 등의 자료를 통한 에너지 소비량
- a : 연료종류(휘발유, 경유, LPG 등)
- b : 차종(승용차, 버스, 트럭 등)
- c : 배출저감기술

## 2. 미시적 수준의 차량 배출가스 산정모형

### 1) Matzoros의 모형(1992)<sup>2)</sup>

이 연구에서는 차량이 간섭교통량에 따라 차량의 가속이 변하고 교차로 제어에 따라 정지, 가감속, 순항의 차량 상태별 배출량과 확산을 추정하였다. 특히, 대기행렬 추정을 통한 각 주행상태의 시간을 구하는 것에 중점을 두었다. 이 연구에서는 차량의 주행상태를 순항(C), 감속(D), 정지(Q), 가속(A)로 분류하고 배출량을 산정하도록 모형을 구축하였다.

정지(Q) mode :  $ER_q(x) = (T_q(x)E_q)/(TL)$   
 순항(C)/ 감속(D)/ 가속(A) mode :  
 $ER_m(x) = (T_m(x)F_m E_m)/(TV_m), m \neq q \quad (3)$

- 여기서,  $ER_m(x)$  : 배출량(g/m/s)
- $E_m$  : 주행모드 m에서의 배출량(g/s)
- $T_m(x)$  : 주행모드 m에서의 총시간(s)
- $F_m$  : 주행모드 m의 교통량
- $V_m$  : 주행모드 m의 평균속도
- $T$  : 분석기간(s)

이 연구에서 교차로의 각 주행모드의 시간을 산출하는 방법으로는 충격파이론을 사용하였다.

이 연구의 배경은 가감속중의 배출량은 일정한 속도로 순항하는 경우보다 더 많은 배출량이 발생하게 되며 따라서 신호교차로를 포함하는 도로에서의 배출량이 그렇지 않은 도로보다 더 크게 나타난다는 것이다. 또한 차량의 배출량은 교차로주변에서 특히 차량이 정지해있는 지역에서 크게 발생한다고 판단하고 있다.

### 2) Coelho의 모형(2005)<sup>3)</sup>

주행속도를 제어하기 위한 신호제어에 활용될 수 있는 차량 배출량 산정방법론을 구축하였고 이를 위해 제어변수(최소녹색시간, 초기속도, 등)들과 CO, NO, HC 배출 및 Delay와의 관계 분석하였다. 이 연구의 주요 목적은 주행속도를 제어하는 신호전략이 대기오염물질 배출에 어떤 영향을 미치는지를 분석하는 것이다.

여기서 주행속도 제어 신호란 일종의 딜레마존 제어로 교차로 상류부에서 검지기를 설치하여 일정속도 이하이면 현재의 녹색신호를 유지하고 속도가 한계속도를 초과하는 경우에는 이를 소거할 수 있도록 녹색시간을 연장해주는 방법이다. 이러한 신호를 적용하는 경우 차량이 정지하는 확률을 감소시킬 수 있고 이로 인한 배출량의 변화를 측정하고자 하였다. 이를 위해서는 가감속 및 정지를 하는 차량과 그렇지 않은 차량의 배출량을 산정해야 하고 이를 위한 모형을 개발하였다.

이 연구에서의 제안된 배출모형은 다음과 같다.

$$DE = EF_i \cdot t_i + EF_a \cdot t_a + EF_d \cdot t_d - EF_c \cdot t_c \quad (4)$$

여기서 i : 정지시동, a : 가속, d : 감속, c : 순항

이 연구는 특정 도로에서 속도검지기가 설치된 특정 위치에서부터 신호교차로 빠져나가는 구간을 대상으로 가감속에 의한 배출량의 발생크기를 분석하기 위해 구축되었다. 따라서 배출모형에서도 가감속 및 정지시의 배출량에서 순항시의 배출량을 뺀 배출량을 모형의 결과값으로 산정하고 있다. 모형에 적용된 감가속도는 SIDRA 프로그램에 적용된 값을 사용하여 분석을 수행하였다.

2) ATHANASIOS MATZOROS and DIRCK VAN VLIET. A model of air pollution from road traffic based on the characteristics of interrupted flow and junction control, Transpn. Res-A, No.4. pp.315-330, 1992  
 3) Margarida C. Coelho, Tiago L. Farias, Nagui M. Roupail, Impct of speed control traffic signals on pollutant emissions, Transportation Research Part D 10(2005) pp.323-340

### 3) CMEM

Comprehensive Modal Emissions Model(CMEM) 모형은 University of Clifornia의 CE-CERT와 University of Michigan의 Lawrence Berkeley National Laboratory에서 NCHRP의 후원을 받아 개발되었다. CMEM은 초단위의 차량 궤적(location, speed, acceleration)을 생성하는 미시적 교통 모형을 위해 개발되었는데 이 궤적은 모형에 바로 적용 가능하고, 개별적 그리고 통합적(individual and aggregate) 두 경우 모두의 에너지/배출량(CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>)을 추정하게 된다. 이 모형은 여러 차량 카테고리별 초단위의 배기관 배출량과 연료소비량을 예측할 수 있으며 모형개발의 주목적은 주어진 차량운행시간의 길이를 고려하여 여러 차량 카테고리별 차량 배기관 배출량과 가속, 감속, 정지, 그리고 순행처럼 차량의 운행상태에 따른 배출량을 추정하는 것이다. CMEM은 여러 가지 운행 조건하에서 연료소비를 여러 차량 카테고리별로 초단위의 배기관 배출량을 예측하며, 소프트웨어의 기본적 특징들을 이용하여 선택된 교통 시설상에서 운행조건의 비교를 할 수 있고 다양한 조건하에서 운영되는 선택된 도로 구간 비교에 의해 차량 연료 소비와 배출량의 분석이 수행되어 진다.

## III. 모형의 구축

### 1. 모형의 개요

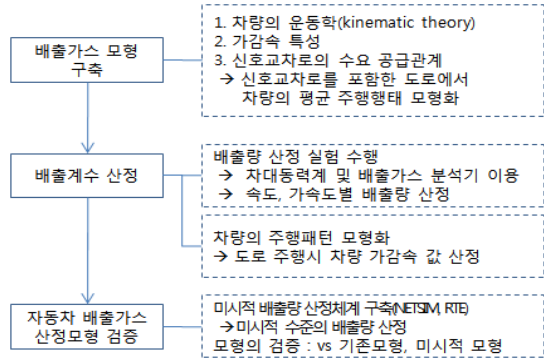
차량의 주행상태를 반영한 배출모형 구축을 위해서는 제일먼저 도로상을 주행하는 차량들의 평균주행궤적을 모형화해야 한다. 본 연구에서는 운동학적 접근법과 신호교차로에서의 수요 공급관계를 이용하였다. 또한 본 모형구축에는 몇 가지 전제사항이 있는데 다음과 같다.

첫째, 모형에서 구분하는 차량의 주행상태는 4 가지 즉, ①정지시동(Idle), ②가속, ③감속, ④순행(Cruise)으로 구분하였다.

둘째, 대상 배출가스의 종류는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질산화물(NO<sub>x</sub>), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)이다.

셋째, 배출량 산정의 대상 차종은 "무연휘발유를 사용하는 승용차"이다.

여기서 차량의 주행상태를 네 가지로 구분한 것은 차량 움직임(motion)의 운동학적 접근법에서 감가속도와



〈그림 1〉 모형구축 흐름도

순행 상태가 분석 가능하고 신호교차로의 수요공급관계에 의하여 정지상태에 대한 분석 가능하기 때문이다. 네 가지 배출가스는 통상 자동차에 의해 배출되는 대표적인 물질로 알려져 있다. 마지막 무연휘발유 승용차는 현재 도로상에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 차량이다.

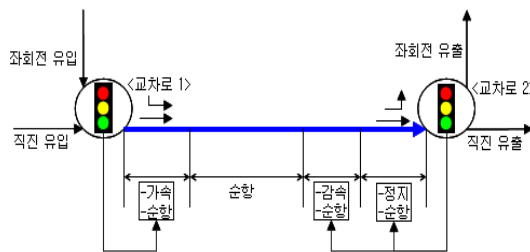
## 2. 모형의 구축

앞서 밝혔듯이 본 연구에서 구축하고자 하는 배출량 산정 모형에서 차량의 주행상태는 정지시동, 가속, 순행, 감속의 형태로 구분된다. 이를 반영하기 위해서는 모형의 구축에 앞서 먼저 신호교차로가 포함된 도로의 형태에 따른 차량의 주행상태를 정의할 필요가 있다.

### 1) 배출량 산정 모형식

이 형태의 도로에서 차량은 가속→순행→감속→정지의 상태변화를 경험하는 차량과 순행상태만을 경험하는 차량으로 분리할 수 있다.

여기서 중요한 것은 가속 및 순행 상태를 결정하는 교통신호는 도로의 상류부 교차로 신호이고 차량의 감속→정지 또는 순행 상태를 결정하는 것은 도로의 하류부 신



〈그림 2〉 Type 1 도로의 구조와 주행상태의 변화

호라는 것이다. 이를 반영하여 모형을 구축한 결과는 다음과 같다.

$$EV_j = \sum_k \{ (aEV_{ij} \cdot t_a \cdot V_{as}^k + cEV(v_c)_j \cdot t_a \cdot V_{as}^k) + (dEV_{ij} \cdot t_{dc} + sEV_{ij} \cdot t_s + cEV(v_c)_j \cdot t_c) \cdot V_s^k + (cEV(v_c)_j \cdot t \cdot V_p^k) \} \quad (5)$$

여기서

- $EV_j$  : 링크에서의 배출가스 j의 배출량(g)
- $aEV_{ij}$  : 가속패턴 i의 배출가스 j의 1 초당 배출량(g)
- $dEV_{ij}$  : 감속패턴 i의 배출가스 j의 1 초당 배출량(g)
- $sEV_{ij}$  : 정지시동시 배출가스 j의 1 초당 배출량(g)
- $cEV(v_c)_j$  : 순항속도  $v_c$ 에서 배출가스 j의 1초당 배출량(g)  
(국립환경과학원의 배출모형식 사용)
- $V^k$  : 이동류 k의 수요교통량(대/시)
- $P^s$  : 정지차량 비율
- $V_s^k$  : 이동류 k의 정지교통량(대/시) =  $V^k \cdot P^s$
- $V_p^k$  : 이동류 k의 비정지교통량(대/시)  
=  $V^k \cdot (1 - P^s)$
- $P_{as}^s$  : 가속출발차량 비율
- $V_{as}^k$  : 이동류 k의 가속출발교통량  
(vph) =  $V^k \cdot P_{as}^s$
- $V_{cs}^k$  : 이동류 k의 순항출발교통량,  
 $V^k \cdot (1 - P_{as}^s)$
- $i$  : 가감속 패턴번호(j = 1, 2, 3, 4, 5)
- $j$  : 배출가스 종류(CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC)
- $t$  : BPR식에 의한 링크 통행시간(초)
- $t_a$  : 가속시간(초),  $t_{dc}$  감속시간(초)
- $t_s$  : 정지시간(초)
- $t_c$  : 순항시간(초)
- $k$  : 해당 링크의 이동류번호(직, 좌)

## 2) 변수계산과정

먼저 신호교차로를 포함한 도로를 주행하는 차량들은 신호현시에 따라 정지했다 출발하는 차량과 정지하지 않고 교차로를 통과하는 차량들로 구분할 수 있다. 전체 수요교통량 중에서 이러한 차량의 비율은 웹스터의 균일지

체 모형과 HCM 지체모형을 적용하여 계산할 수 있다. 이러한 개념은 <그림 1>의 교차로 1, 2에 모두 적용된다.

정지하는 차량(V)의 비율을 웹스터 지체 모형에서 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$V = v(R + t_c) = v \left[ R + \frac{R}{\left(\frac{s}{v} - 1\right)} \right] = R \left[ \frac{vs}{s-v} \right] \quad (6)$$

$$v_s = \left[ 1 - \frac{g}{C} \right] \left[ \frac{vs}{s-v} \right] = (1-\lambda) \left[ \frac{vs}{s-v} \right] \quad (7)$$

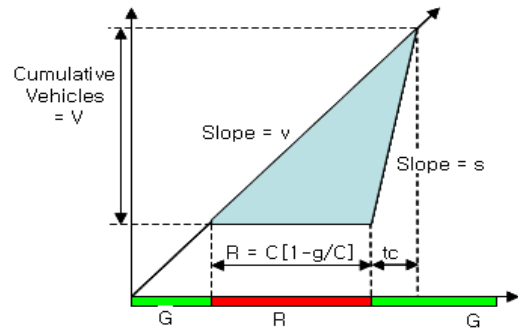
$$P_s = \frac{v_s}{v} = \frac{(1-\lambda) \left[ \frac{vs}{s-v} \right]}{v} = (1-\lambda) / (1 - \frac{v}{s}) \quad (8)$$

웹스터의 지체모형에 기반한 위의 식은 포화도가 1이 넘어가는 순간 확률이 0 보다 작아질 수 있다. 따라서 HCM의 지체모형에 기반하여 모형을 수정하면 다음과 같다.

$$P_s = \frac{1-\lambda}{1-\lambda \cdot \text{Mfn}(1, X)} \quad (9)$$

- 여기서,  $P_s$  : 전체 도착차량 중 정지할 차량의 확률
- $v_s$  : 시간당 정지차량류율
- $v$  : 도착교통류율
- $s$  : 포화교통류율
- $R$  : 적색시간 길이(초)
- $\lambda$  : 현시비율 ( $\lambda = g/C$ )
- $V$  : 총 대기차량수 (= 정지차량수)
- $X$  : 포화도 ( $X = \frac{v}{\lambda \cdot s}$ )

모형에서 필요로 하는 차량의 주행상태별 시간길이를 산정하는 과정은 다음과 같다. 가속시간( $t_a$ )과 거리



<그림 3> 웹스터 균일지체 모형

( $d_a$ ), 가속시간( $t_{dc}$ )과 감속거리( $d_{dc}$ )는 감가속패턴( $j$ )에 따른 평균 가속도( $a_j$ )와 평균 감속도( $d_j$ ) 그리고 순항속도( $v_c$ )를 이용하여 다음과 같은 방법으로 계산되어진다.

$$\text{가속시간 } t_a = v / a_j \quad (10)$$

$$\text{가속거리 } d_a = v_c^2 / (2 \cdot a_j) \quad (11)$$

$$\text{감속시간 } t_{dc} = v / d_j \quad (12)$$

$$\text{감속거리 } d_{dc} = v_c^2 / (2 \cdot d_j) \quad (13)$$

차량당 평균 정지시간은 HCM지체(차량당 평균 지체)를 적용하였다. 차량당 평균 정지거리( $l_{sv}$ )는 차로당/주기당 정지차량수( $V_{sc}$ )에서 환산되어지는 정지거리와 정지차량수를 이용하여 계산할 수 있다. 여기서 정지차량수는 주기당 정지하는 총 차량수이고 이를 평균적으로 적용하기 위해서는 첫 차량의 정지거리 0m 와 주기당 정지하는 마지막 차량의 정지거리를 평균하면 된다. 즉 정지거리×0.5가 차량당 평균 정지거리가 된다.

$$V_{sc} = V_s \cdot (C/3600) \cdot (1/n) \quad (14)$$

$$l_{sv} = V_{sc} \cdot l_{veh} \cdot 0.5 \quad (15)$$

순항거리( $d_c$ )는 전체 링크길이( $l$ )에서 가속거리( $d_a$ ), 감속거리( $d_{dc}$ ) 및 상류부 교차로의 정지거리( $l_{sv}^{up}$ )와 하류부 교차로( $l_{sv}^{dn}$ )의 정지거리를 통해 계산되며 순항속도와 순항거리를 이용하여 순항시간( $t_c$ )을 를 계산한다.

$$d_c = (l - l_{sv}^{up}) - (d_a + d_{dc} + l_{sv}^{dn}) \quad (16)$$

$$t_c = d_c / v \quad (17)$$

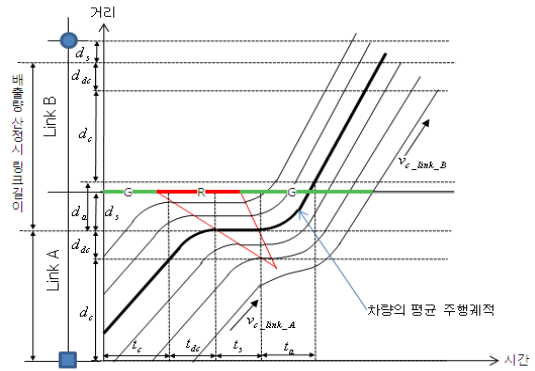
순항시간을 산출하는 순항속도는 링크통행시간을 BPR 함수식을 사용하여 계산하고 이에 링크길이를 적용하여 계산하게 된다.

$$t = t_f \cdot [1 + \alpha(V/c)^\beta] \quad (18)$$

$$v = l / t \quad (19)$$

본 모형식의 적용을 위해서는 도로상을 주행하는 차량을 속도계적에 따라 주행패턴을 시간적으로 분리하는 것이 필요하다. 이러한 개념을 그림으로 표시하면 <그림 3>과 같다.

<그림 4>에서와 같이 차량의 평균적인 주행궤적을 고



<그림 4> 차량의 평균 주행궤적

려할 때 가속의 경우 교차로에 중간에 걸쳐서 발생이 된다. 따라서 별도의 정의를 통해서 배출량 산정구간을 정의해 주어야 한다. 본 연구에서는 가속의 경우 도로의 상류부에서 산정된다고 정의하고 모형을 전개하였다. 따라서 <그림 3>에서와 같이 링크 B의 배출량 산정 구간의 길이는 실제 링크길이에서 상류부 교차로의 정지거리를 빼고 하류부 교차로의 정지거리를 합한 값이 된다.

### 3. 모형의 계수산정

#### 1) 배출량표 작성

본 연구에서 배출모형을 구축하는 데는 차량의 속도 및 가속도에 따른 배출량 값을 산정하는 것이 필요하다. 그러나 차량의 주행행태 즉 정지가속, 가속, 감속 등에 따른 대기오염원 배출 크기에 관한 연구는 국내에서는 아직 수행되지 못한 상황이다.

미국의 경우는 90년대 중반에 NCHRP 25-11 VEHICLE EMISSIONS DATABASE (Project 25-11) 구축을 통하여 이러한 연구를 수행하였고 다양한 분야에 활용하고 있는데 이 데이터베이스는 CMEM 모형을 기초로 구축되었다. 또한 이 자료는 NETSIM 등과 같은 미시적 교통시뮬레이터에 탑재되어 해당 프로그램의 배출량 산정에 활용되고 있다. 다만 데이터베이스는 주로 미국에서 사용되는 자동차들을 대상으로 실험하여 구축된 것으로 본 연구에서 이를 적용하는 데는 한계가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 실험을 통하여 가감속에 따른 배출량 변화 특성을 분석하고 이를 연구에 활용하였다.

**(1) 배출량 산정 실험**

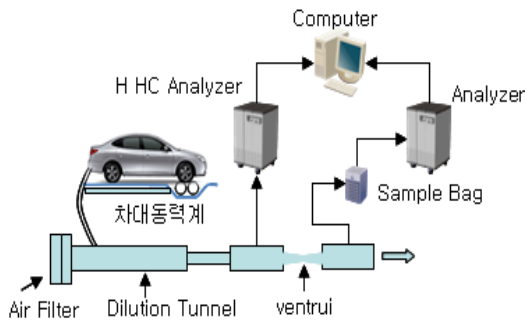
본 연구에서 필요한 실험은 자동차의 일정한 가감속 패턴과 주행속도에 따른 초 단위의 배출량 자료이며 이를 위해 매초마다 각각의 배출량을 추출할 수 있는 실험을 수행하였다. 실험 대상차량은 무연휘발유를 사용하는 승용차 중에서 국내에서 가장 많이 등록되어 있는 준중형자동차 중에서 현대자동차의 아반떼 차량을 사용하였다. 실험 주행모드는 가속도를  $-2.0m/s^2 \sim +2.0m/s^2$  까지 총 4회 이상 약 1,800초 동안 반복 주행하도록 설정하였다. 초기 5분 동안은 일정한 속도로 정속주행하도록 설정하였으며 정지시동시의 배출량 산정을 위해서 가감속 후 일정기간동안 정지하도록 설정하였다.

배출량 산정을 위한 실험환경에는 통상적으로 2 가지 차량조건이 있다. 첫째는 저온시동(Cold Start) 방법이고 또 하나는 고온시동(Hot Start) 방법이다. 통상 자동차 성능평가를 위해서는 자동차를 일정기간 동안 운행하지 않고 냉각시켰다가 실험을 수행하게 되는데 이를 저온시동방법이라고 한다. 본 연구에서는 일반적인 주행 상황에서 발생하는 배출량 산정을 목적으로 하기 때문에 자동차를 예열시켜(즉, 일정시간 주행한 후에) 실험하게 되는 고온시동방법으로 실험을 진행하였다. 또한 배출물질은 가스의 형태로 온도에 민감하기 때문에 실험실온도는  $25^{\circ}C$ 를 유지하도록 설정하였다.

이와 같은 장비들이 연결되어 자동차 배출가스를 측정하는 과정의 개략도 및 실험장비는 <그림 5>와 같다.

**(2) 실험결과**

실험 결과로 산출되는 것은 자료를 집계한 시간단위(1초미만) 별로 산출되는 탄화수소, 이산화탄소, 일산화탄소, 질산화물, 메탄의 가스량이 ppm, 및 grams 단위로 산출되며 해당초에서의 속도(km/h)자료와 주행거리



<그림 5> 차량배출량 측정 장비 및 연결도



<그림 6> 시료채취장치



<그림 7> 배출가스 분석기



<그림 8> 흡입관 연결



<그림 9> 실험수행장면

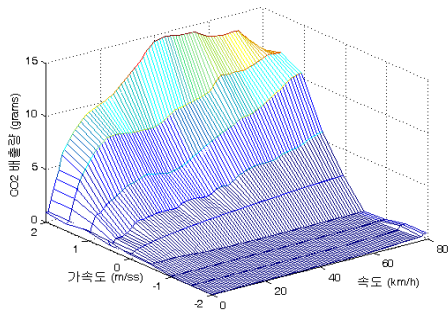
자료(km)가 산출되어진다.

본 연구에서 실험을 통하여 무연휘발유를 연료로 사용하는 승용차의 배출표를 네 가지 배출가스에 대하여 작성하였다. 배출표의 속도범위는 0km/h ~ 79km/h로 구축되었고 가감속도의 범위는  $-2.0m/s^2 \sim +2.0m/s^2$  에서  $0.5m/s^2$ 단위로 설정되었다.

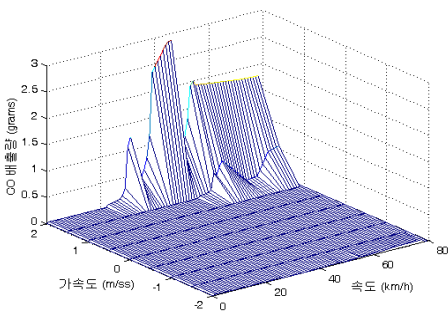
작성된 배출표의 정속시의 배출량(가감속도 =  $0m/s^2$ )은 국립환경과학원의 배출모형을 통해서도 얻어질 수 있다. 국립환경과학원 모형 역시 배출실험을 통하여 산정된 결과이며 본 연구에서 보다 더 많은 실험횟수를 통해 산정된 공식적인 모형이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 작성하는 배출표의 경우 정속자료는 국립환경과학원 모형의 결과로 사용하였으며 본 실험 결과로 산출된 정속주행시의 배출량 크기에 대한 가감속시의 배출량의 크기 비율을 적용하여 국립환경과학원의 정속시 배출량에 적용하여 배출표를 작성하였다. 예를 들면, 차속 30km/h의 상태에서 가감속도가 없는 경우 배출가스량은 국립환경과학원의 배출식을 활용하여 산정하였고, 30km/h에서 일정한 속도로 가감속 하는 경우 배출량은 실험결과에서 가감속시 산정된 배출량과 정속주행시 산정된 배출량의 비율을 산정하여 이를 기존 배출식(환경과학원 모형)에 의한 배출량에 적용하여 산정하였다.

본 방법에 의해 산정된 배출표를 3차원 그래프로 표시하면 다음과 같다.

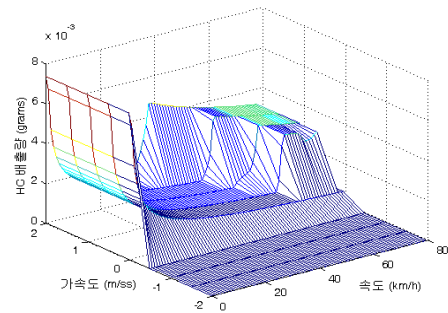
차량 주행상태를 고려한 차량 배출가스 산정 모형 구축



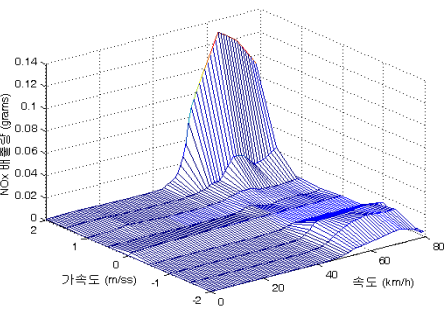
〈그림 10〉 이산화 탄소 (CO<sub>2</sub>) 배출표



〈그림 11〉 일산화탄소 (CO) 배출표



〈그림 12〉 탄화수소(HC) 배출표



〈그림 13〉 질산화물(NOx) 배출표

		이산화탄소 배출량 (단위 : milligrams/sec)									
		가감속도 (m/s <sup>2</sup> )									
		-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0	+0.5	+1.0	+1.5	+2.0	
속도 km/h	0	32	32	56	344	406	812	324	643	802	
	1	8	26	34	243	387	250	636	874	802	
	2	19	26	31	274	523	542	1382	1889	1839	
	3	26	24	25	282	625	811	2067	2839	2899	
	4	34	21	22	284	708	823	2156	3685	3763	
	5	34	20	19	270	781	827	2221	4448	4542	
	6	37	22	17	287	845	943	2546	4902	5882	
	7	41	24	18	282	904	1058	2874	5335	6382	
	8	44	25	19	297	959	1266	3023	5751	6797	
	9	48	26	19	288	1039	1484	3159	6154	7222	
	10	51	28	19	294	1057	1830	3282	6548	7682	
	11	54	28	19	294	1102	1911	3472	6872	7856	
	12	55	30	19	282	1184	1988	3658	7116	8235	
	13	58	31	19	265	1185	1930	3940	7346	8598	
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	
	72	341	184	108	59	2503	5189	9659	11430	13026	
	73	354	194	116	64	2518	5368	9862	11530	12750	
	74	367	204	124	70	2533	5466	10054	11648	12474	
	75	380	215	131	71	2548	5564	10246	11715	12198	
76	388	223	137	71	2563	5642	10391	11687	11808		
77	398	218	154	75	2578	5720	10416	11621	11428		
78	582	582	171	76	2582	5779	10488	11577	11058		
79	607	607	188	77	2607	5837	10488	11577	11058		

〈그림 14〉 CO<sub>2</sub> 배출량표 예시

배출표 작성결과를 분석해보면 온실가스인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 경우 속도가 높아질수록 초당 배출량 커지고, 속도와 가속도가 동시에 증가하는 경우 배출량 급격히 증가한다. 그러나 속도에 상관없이 감속 시에는 배출량이 매우 적다.

일산화탄소의 경우 속도가 높아질수록 배출량 작아진다. 즉 저속에서 초당 배출량이 크게 산출된다. 그러나 일정속도 이상에서부터 가속도가 큰 경우 급격하게 배출량이 크게 산출된다. 이산화탄소와 동일하게 속도에 상관없이 감속 시에는 배출량 매우 적다. 탄화수소는 속도가 높아질수록 배출량 작아진다. 즉 저속에서 초당 배출량이 크게 산출된다. 그러나 가속 시에는 속도가 높아질수록 배출량이 커지지만 저속에서 정속주행시 보다는 크지 않게 산출된다. 탄화수소의 경우 감속 시에는 배출가스가 발생하지 않는다. 질산화물의 경우 속도가 증가할수록 배출량이 크게 산출된다. 가속 시에는 속도가 높아질수록, 가속도가 높아질수록 배출량이 더욱 크게 산출된다. 다른 배출가스와는 달리 감속 시에도 특히, 속도가 높을때서 감속하는 경우 배출량이 크게 산출된다.

2) 차량의 주행패턴 분석

(1) 가감속 특성 분석

개별 차량의 주행상태를 모형화하기 위해서는 신호교차로가 포함된 도시부 도로를 주행하는 차량들의 가감속 특성을 분석하는 것이 필요하다. 도로상을 주행하는 차량의 경우 교통신호의 영향으로 가감속을 반복하는 주행 패턴을 보이게 된다. 이 때 차량의 운전자가 결정하는 가



감속도의 크기는 여러 가지 요인이 작용한 결과이지만 본 연구에서는 교통상황 특성을 고려하여 가감속도를 분석하자 한다. 즉 가속도의 경우 가속을 종료하는 최종속도에 따라 분류하여 분석하였고, 감속도의 경우 감속을 시작하는 초기속도에 따라 분류하여 분석하였다. 향후 이렇게 분류된 기준에 따른 가감속도값은 배출량 산출 모형을 적용하기 위한 파라미터로 사용되어진다.

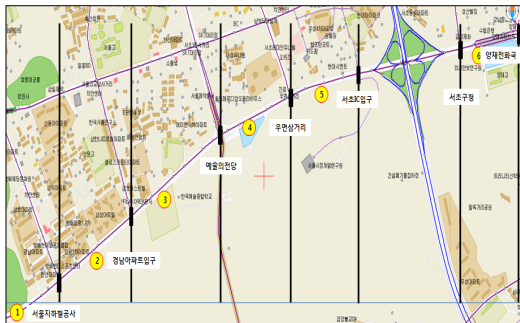
가감속 특성분석을 위한 첫 단계는 도로를 주행하는 차량의 속도 및 가감속도 자료를 수집해야 한다. 특히 가감속도는 초단위로 변화하는 변수로 이 변수들의 특성을 보다 정확하게 분석하기 위해서는 자료의 수집 시간단위 역시 1초 단위가 되어야 할 것으로 판단된다. 또한 자료 수집을 위한 조건으로는 다양한 교통상황을 반영할 수 있어야 하고 감속이 충분히 발생할 수 있는 도로의 구간 길이가 필요하다. 본 연구에서는 가감속도의 분석을 위한 자료 수집을 위해 현장에서 차량 실험을 수행하였다.

**(2) 차량 주행실험**

① 실험의 공간적 시간적 범위

차량 주행실험 조사장소는 남부순환로상의 사당역~양재역사거리 5.1km구간으로 교차로간 거리가 비교적 길고, 교통량의 변동이 많은 구간이며 교통상황에 따라 교통량에 의한 속도차이와 신호교차로에 의한 영향 등으로 다양한 주행패턴 자료의 수집이 가능한 구간이다.

실험은 오전첨두(08:00~10:00), 비첨두(12:00~14:00), 오후첨두(18:00~20:00) 까지 총 6시간 수행되었다.



〈그림 15〉 실험수행지역

② 실험방법

실험에는 삼성자동차의 SM3 (배기량 1500cc) 차량

을 사용하였으며 차량의 위치 및 속도데이터를 인공위성으로부터 수신할 수 있는 GPS 단말기와 GPS단말기와 노트북 컴퓨터를 연결시켜주는 케이블, 노트북컴퓨터, GPS 단말기에서 수집되는 1초 단위의 차량의 위치 및 속도자료를 실시간으로 컴퓨터에 저장시켜주는 소프트웨어 등이 사용되었다.

본 연구에서 배출량 실험을 현재 가장 많은 숫자가 등록되어 있는 준중형차(아반떼 1.6리터)로 수행하였기 때문에 본 실험에서도 유사한 차량인 SM3(준중형, 1.6리터)차량을 사용하여 실험을 수행하였다.

**(3) 실험 결과 분석**

본 연구의 가감속 특성 분석 범위는 가속은 속도 0km/h에서부터 가속하는 경우이며 감속은 최종속도가 0km/h 에 도달하는 경우로 설정하였다. 따라서 자료의 1차 가공의 범위는 속도가 0에서 시작해서 다시 0으로 끝나는 궤적이 대상이 된다.

가감속 특성분석을 위하여 주행실험 결과를 정리한 방법은 다음과 같다. 먼저 가속의 경우 차량의 속도궤적상 일관되게 가속하는 순간까지로 한정하여 자료를 정리하였다. 즉 일관되게 가속을 하다가 2초 이상 감속을 하게 되면 즉, 초별 속도자료에서 가속 시 2회 이상 감속을 하는경우가 발생을 하면 감속이 발생하기 전까지의 속도를 가속 최종속도로 판단하였다. 따라서 가다 서다를 반복하는 경우, 또는 가속 시 일정속도까지 도달하였다가 재 가속하는 경우는 분석대상에서 제외하였다. 감속의 경우 역시 일관되게 감속하여 속도가 0에 도달하는 자료만을 선별하여 분석에 활용하였다.

① 가속특성분석

가속 특성을 분석하기 위해서 가속종료시점에서의 최종속도를 15~20km/h 인 경우, 21~30km/h 인 경우, 31~40km/h 인 경우, 41~50km/h인 경우, 50km/h 이상인 경우로 패턴을 구분하였으며, 초기속도는 모든 패턴에서 0 km/h로 동일하다.

각 패턴별 평균 속도궤적은 초기 속도 0, 시간 0초에서부터 동일하게 경과되는 가속시간에 따라 평균을 한 것이다. 즉 최종속도 30km/h 인 차량을 속도궤적 자료들을 나열하고 가속을 시작하고 1 초가 경과했을 때의 각 자료들의 속도값을 평균하여 평균속도를 산출하였다.

② 감속특성 분석

감속 특성을 분석하기 위해서 감속초기시점의 속도를 15~20km/h 인 경우, 21~30km/h 인 경우, 31~40km/h 인 경우, 41~50km/h인 경우, 50km/h 이상인 경우로 패턴을 구분하였으며 감속종료시점의 속도는 모든 패턴에서 0 km/h로 동일하다.

가속특성 분석과 마찬가지로 각 패턴별 평균 속도케이스는 종료시점을 기준으로 종료되기 1초 전의 속도, 2초 전의 속도 등에 대하여 자료들의 속도 값을 감속시간에 따라 평균을 한 것이다. 즉 초기속도 30km/h 인 차량을 속도케이스 자료들을 나열하고 0으로 감속되기 1초 전의 시간에서의 각 자료들의 속도값을 평균하여 평균속도를 산출하였다.

3) 주행패턴에 따른 평균 가속도와 배출계수

가감속 패턴 및 정지시동 시 평균 가감속도와 배출량을 정리하면 아래와 같다.

패턴별 감가속도 중에는 그 차이가 크게 발생하지 않는 패턴이 존재한다. 이와 같은 점에서 패턴별로 동일한 감가속도를 사용해도 되지만 감가속패턴을 분류한 가장 주요한 목적은 감가속 패턴별로 배출계수가 다르게 적용된다는 것이다. 즉 가속패턴 4와 5의 평균가속도는 거

<표 1> 가속시 패턴별 평균가속도 및 배출량

구분	최종속도	가속 배출량 grams/s			
	km/h	CO <sub>2</sub>	HC	Nox	CO
패턴1	1~20	2.61	0.00288	0.00092	0.01087
패턴2	21~30	2.97	0.00227	0.00089	0.01057
패턴3	31~40	3.60	0.00190	0.00097	0.01020
패턴4	41~50	3.60	0.00166	0.00107	0.00994
패턴5	50이상	4.09	0.00158	0.00113	0.01032

<표 2> 감속시 패턴별 평균감속도 및 배출량

구분	초기속도	감속 배출량 grams/s			
	km/h	CO <sub>2</sub>	HC	Nox	CO
패턴 1	1~20	0.230	0.00001	0.000148	0.012273
패턴 2	21~30	0.203	0.00006	0.000324	0.011394
패턴 3	31~40	0.211	0.00009	0.000466	0.010682
패턴 4	41~50	0.137	0.00004	0.000270	0.010530
패턴 5	50이상	0.080	0.00002	0.001982	0.009767

<표 3> 정지시동 시 배출량

구분	정지시동 시 배출량 grams/s			
	CO <sub>2</sub>	HC	Nox	CO
정지시동	0.40557	0.00733	0.00004	0.00455

의 동일하지만 패턴별 초당 배출량은 상대적으로 크게 차이가 나게 된다. 그 이유는 가속종료속도와 가속도와 관계에서 배출계수가 산정되기 때문에 동일한 가속도로 가속을 하는 경우에도 가속종료속도에 따라 초당 배출량이 다르게 산출될 수 있기 때문이다. 즉 가속패턴 4와 가속패턴5의 가속추세선식과 평균가속도는 거의 동일하지만 배출되는 초당 이산화탄소의 크기는 3.6g/sec와 4.0g/sec로 차이가 발생하기 때문이다.

VI. 모형의 검증

1. 검증 개요 및 방법론

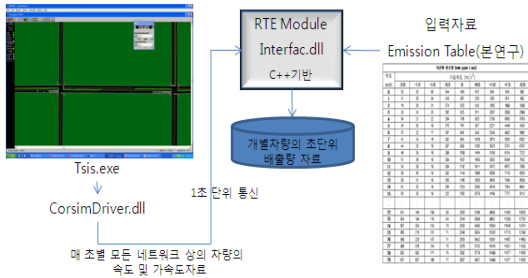
1) 검증방법

다양한 교통조건에서 도로구간을 주행하는 자동차들에 의해 발생하는 배출가스량을 현장에서 직접 수집하는 것은 현재 상황에서 거의 불가능하다. 그 이유는 배출량을 측정하는 장비의 수급여건이나 비용적인 측면, 실험환경의 제약 등이 현실적인 한계가 되기 때문이다.

본 연구에서는 현장의 교통상황을 가장 근접하게 모사할 수 있는 미시적 교통시뮬레이터와 본 연구에서 구축된 배출량 표를 이용하여 미시적 배출량 산정체계를 구축하였다. 사용된 미시적 교통시뮬레이터는 기존의 많은 연구를 통해 현실 교통상황의 모사능력이 검증된 TSIS 5.1의 CORSIM 프로그램이다.

미시적 자동차 배출량 산정체계에서 산출된 배출량(미시적 모형)은 본 연구에서 배출계수 산정을 위한 자동차 실험에서 산정된 배출량 표(Emission Table)를 CORSIM에 탑재(RTE 이용)하고 배출량 표와 CORSIM에서 산출되는 개별차량의 1초단위의 감가속도를 이용하여 산정된 배출량을 의미한다. 본 연구에서는 이를 현장과 가장 유사한 값으로 전제하였다. 따라서 검증은 미시적 배출모형에서 산출된 값에 대한 본 모형의 오차를 분석하는 것이고 비교군인 기존모형은 국립환경과학원의 배출모형으로 예비타당성지침에 제시되고 있는 모형으로 속도에 따른 배출량을 산정할 수 있는 모형으로 설정하였다.

국립환경과학원의 배출모형은 평균주행속도를 이용한 배출량 산정모형으로 본 검증에서와 같이 개별차량의 가감속이 반영된 주행행태가 고려되는 검증에서는 본 모형과 비교하여 그 정확도가 낮게 산출된다는 점에서 그 한



〈그림 16〉 미시적 자동차 배출량 산정 체계

계가 존재한다는 것은 분석의 전제사항으로 명시하고자 한다.

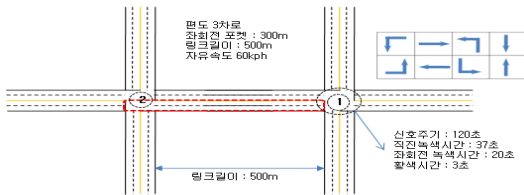
검증의 지표로는 평균제곱근오차(RMSE : Root Mean Square Error)를 사용하였다.

$$RMSE(\theta_1, \theta_2) = \sqrt{E((\theta_1 - \theta_2)^2)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2 / n} \quad (20)$$

2) 검증시나리오 및 입력조건

검증을 위한 도로 네트워크(NETSIM 입력자료)는 신호 교차로 2개로 이루어진 도로망을 선정하였다. 본 검증에서는 2번 교차로에서 1번 교차로로 진행되는 직진 차량을 대상으로 수행되었으며 배출량 산정에 영향을 줄 수 있는 기타 변수들을 제거하기 위하여 좌회전 및 우회전 교통량은 입력하지 않고 수행하였다.

BPR 모형에 사용된 입력변수값은 예비타당성 조사 지침(4판)을 기준으로 설정하였으며 신호지체 산정을 위



〈그림 17〉 실험네트워크 구성

〈표 4〉 네트워크 입력변수

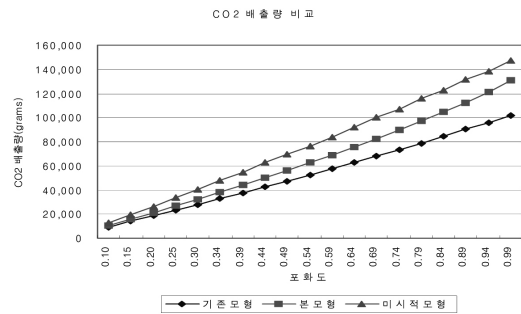
변수명	입력값	BPR 모형 변수	
		변수명	입력값
링크길이	500 m	alpha	0.5
자유속도	60 km/h	beta	2
차로수	2	D(지체)	19.8 초
자유통행시간	30초	1차로 용량	800

한 입력변수값은 도로용량편람의 값을 기준으로 설정하였다. 교통조건은 신호교차로의 직진교통류 포화도 기준으로 0.2~1.10 까지의 조건을 만들어 사용하였다.

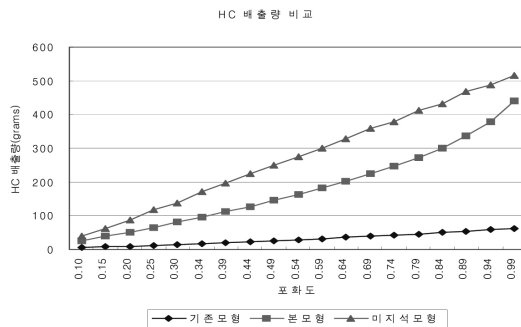
2. 검증결과

1) 검증결과 분석

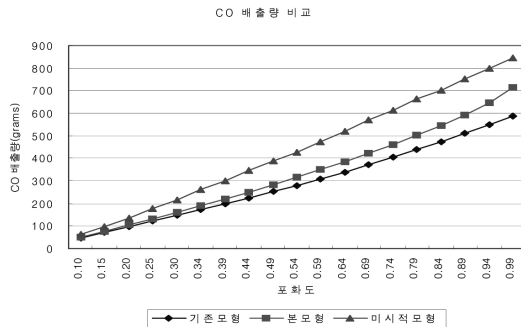
검증결과는 교통상황을 포화도수준에 따라 비포화시, 근포화시, 과포화시로 구분하여 정리하였다. 배출가스의 종류별로 모형의 검증결과는 다음과 같다.



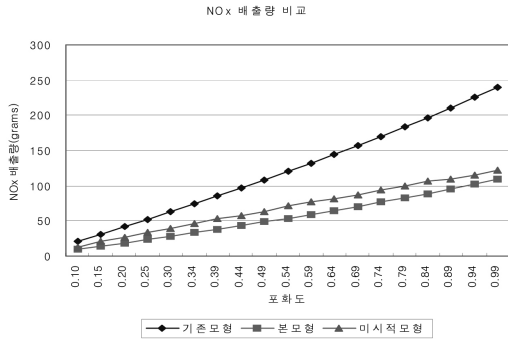
〈그림 18〉 이산화탄소 배출량 비교



〈그림 19〉 탄화수소 배출량 비교



〈그림 20〉 일산화탄소 배출량 비교



〈그림 21〉 질산화물 배출량 비교

2) 결과정리

RMSE를 통한 통계적 검증결과를 요약하면 〈표 5〉와 같다. 이 표에서 향상된 정확도의 크기는 그 비율만큼 기존모형에 비해 미시적모형에 대한 설명력이 향상되었다는 것을 의미한다. 탄화수소, 이산화탄소와 질산화물의 본 모형의 배출량 산정결과가 기존모형에 비해 평균 50%이상 설명력이 높은 것으로 분석되었으며, 비교적 미시적 모형의 배출결과와 유사한 결과를 산출하는 것으로 판단된다.

다만 일산화탄소의 경우 다른 배출가스에 비하여 기존 모형에 대한 향상된 정확도의 크기가 떨어지는 것으로 분석되었다. 일산화탄소의 배출표 특성은 일정한 가속도까지는 정속주행시와 동일한 배출량을 보이는 반면 감속 시에는 배출량이 발생하지 않는다. 다만 급격한 가속과 감속 시에만, 특히 급격한 가속시에 배출량이 크게 발생하는데 만약 실제 차량이 완만한 가속을 한다면 가속시의 배출량은 정속시와 동일하고 감속시의 배출량은 발생하지 않기 때문에 기존 모형의 결과와 큰 차이가 발생하지 않을 수 있다. 특히 본 모형의 경우 평균적인

〈표 5〉 RMSE를 통한 통계적 검증결과

배출가스	교통 상황	RMSE		기준값과의 차이
		기존모형	본모형	
CO <sub>2</sub>	비포화	23,052	12,949	44%
	근포화	34,208	17,923	48%
	과포화	42,974	17,582	59%
HC	비포화	286	130	55%
	근포화	475	202	57%
	과포화	642	229	64%
CO	비포화	173	137	21%
	근포화	291	220	24%
	과포화	383	265	31%
Nox	비포화	58	20	65%
	근포화	102	29	72%
	과포화	150	32	79%

감가속도를 적용하였기 때문에 이와 같은 특성의 영향을 그대로 받는 것으로 판단된다. 그러나 전체적인 모형의 설명력은 기존모형에 비하여 상대적으로 크게 향상되는 것으로 분석되었다.

V. 결론 및 향후 연구

1. 결론

본 연구에서는 도시부 가로망에서 차량의 운행행태를 모형화하고 이에 따라 배출량을 산정할 수 있는 모형을 구축하였다. 이를 위해 자동차의 배출표 작성을 위한 실험을 수행하였는데 그 결과 배출가스는 배출가스 종류별로 가속시, 감속시, 정지시 배출량의 크기가 다른 것으로 분석되었다. 실험결과 초당 발생하는 배출가스는 종류에 따라 저속에서 크게 발생하는 것(CO, HC)과 고속에서 크게 발생하는 것(CO<sub>2</sub>, NOx)으로 나뉘고 차량의 속도 변화에 따라 증가되는 배출가스량의 변화도 다르게 나타나는 것으로 분석되었으나 모든 배출가스에서 전반적으로 나타나는 특성은 차량이 가속을 하는 경우, 특히 고속에서 가속을 하는 경우 상대적으로 배출량이 크게 발생한다는 것이 결과로 분석되었다.

배출표 작성 실험결과와 차량의 주행실험 결과를 토대로 차량 움직임을 운동학적 접근법(kinematic theory)을 사용하여 모형화하고 배출량을 산정하는 모형을 구축하였다. 구축된 모형의 검증을 위하여 미시적 시뮬레이터와 외부확장모듈, 그리고 본 연구에서 산출된 배출표를 이용하여 미시적 배출량 산정체계를 구축하여 모형을 검증하였고 차량의 주행행태를 반영하지 못하는 즉, 평균속도에 의한 배출모형과 비교하여 상당히 정확도가 향상된 것으로 분석되었다.

결론적으로 본 모형은 교통신호변수 등과 같은 교통변수를 사용하여 배출량을 산정하도록 구축되어 있다. 즉 특정 교통상황에서 기본적인 교통변수를 입력하면 배출량을 산정할 수 있도록 구축되어 있기 때문에 각 변수들에 따른 배출량의 예측이나 배출량을 최소화하는 교통운영전략의 평가 시 목적함수로 활용될 수 있다고 판단된다.

2. 향후 연구

단, 본 연구의 결과가 현실적으로 활용되기 위해서는

많은 추가적인 연구를 필요로 한다. 본 연구에서는 무연 휘발유를 사용하는 승용차를 대상으로 이상적인 도로조건을 전제하여 실험 및 연구를 진행하였다. 실제 도로상을 주행하는 자동차는 유종, 형태 측면에서 다양하다. 특히 디젤 차량의 경우 PM 이라는 본 연구에서 다루지 않은 대기오염물질이 배출되며 이로 인한 환경오염문제 역시 심각한 측면이 있다. 따라서 보다 다양한 차종(버스, 트럭 등)과 유종에 따른 분석이 필요하며, 도로의 구배등과 같은 기하구조적 측면에 영향을 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 신호교차로에서의 차량의 개별 행태를 반영한 온실가스 산정모형을 구축한 것으로 초기연구의 성격을 갖고 있다. 따라서 본 연구의 각 분야, 즉 배출계수 산정과 미시적 배출량 산정체계 구축, 차량의 가속속 행태 분석 등의 세부 연구항목들은 보다 심도 있는 수준에서 추가적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 경기개발연구원(2002), “수도권 자동차 대기오염물질 배출량 추정 및 대기오염 저감 정책방안 연구”.
2. 김종규·이종태·서광석(1994), “CVS-75모드와 도로실주행모드에 의한 자동차 배출가스 상관성 분석”, 경기전문대학 논문집, 제21호, 경기전문대학, pp.111~118.
3. 김진영·김영성·김용표(1999), “서울수도권지역 주요 대기오염물질 배출원 자료 현황 분석”, 한국대기환경학회지, 제15권 제6호, 한국대기환경학회, pp.813~826.
4. 대한교통학회(2006), “철도투자평가편람”.
5. 박성규·김신도·이영인(2001), “자동차 대기오염물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구 (강남구의 실시간 교통량 자료를 이용하여)”, 대한교통학회지, 19권 제4호, 대한교통학회, pp.35~47.
6. 서광석·김종규(1995), “교통여건 변화에 따른 자동차 오염물질 배출에 관한 연구”, 환경관리학회지, 제1집, 한국환경관리학회, pp.68~83.
7. 서임기·이병주·왕위걸·남궁문(2007), “미시적 시뮬레이션을 이용한 교통정책 대안별 자동차 배출가스 저감 효과 분석”, 대한교통학회지, 제25권 제6호, 대한교통학회, pp.89~97.
8. 유지열·도종인·윤균덕·공부주·채경순·최재성(1997), “통행예측기법을 이용한 이동오염원의 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구”, 한국대기환경학회 학술대회 논문집, 제1권, 한국대기환경학회, pp.65~66.
9. 장영기·조경두·김동영·조규탁(1997), “GIS를 이용한 이동오염원 배출량 산정”, 한국대기환경학회 학술대회 논문집, 제2권, 한국대기환경학회, pp.100~102.
10. 정성운·류정호·유영숙(2006), “자동차 오염물질 배출계수 산정을 위한 CVS-75모드와 국내차속모드의 상관성 비교 연구”, 한국대기환경학회지, 제22권 제3호, 한국대기환경학회, pp.383~391.
11. 조강래(2001), “자동차에서 배출되는 오염물질의 배출계수 산출과 예측”, 대한설비공학회 환경부문강연회, 2001-11회, 대한설비공학회, pp.1~16.
12. 조규탁(2002), “자동차 대기오염물질 배출량의 공간해상도 개선을 위한 Nested Top Down Approach 개발”, 서울대학교 박사학위논문.
13. Ahn, K.H. and Rakha H.(2008), “The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions”, Transportation Research Part D, Vol.13(3), pp.151~167.
14. Barth, M. J., and Boriboonsomsin, K. (2008), “Real world CO<sub>2</sub> impacts of traffic congestion”, Transportation Research Record, Vol.2058, pp.163~171.
15. Coelho, M.C., Tiago L.F., Nagui M.R. (2005), “Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions”, Transportation Research Part D, Vol.10(4), pp.323~340.
16. Drew, D.R.(1968), “Traffic Flow Theory and Control”, McGraw-Hill.
17. Dion, F., Rakha, H., and Kang, Y.S.(2004), “Comparison of delay estimates at under saturated and over saturated pre-timed signalized intersection”, Transportation Research Part B, Vol.38(2), pp.99~122.
18. IPCC(2006), “IPCC Guideline”.
19. Jones, T.R., and Renfrey, B.P.(1962), “The measurement of acceleration Noise : A traffic Parameter”, Operations Research, Vol.10,

- pp.745~763.
20. Li, X., Li, G., Pang, S.S, Yang, X., and Tian, J.(2004), "Signal timing of intersections using integrated optimization of traffic quality, emissions and fuel consumption: a note", Transportation Research Part D, Vol.9(5), pp.401~407.
  21. Matzoros, A. and Van, Vliet D.V.(1992), "A model of air pollution from road traffic based on the characteristics of interrupted flow and junction control: Part I-model description", Transportation Research Part A, Vol.26(4), pp.315~330.
  22. Messer, C.J.(1997), "Traffic flow theory", TRB special report 165.
  23. Michalopoulos, P.G. and Stephanopoulos, G.(1981), "An Application of Shock Wave Theory To Traffic Signal Control", Transportation Research. Vol.15B, pp.35~51.
  24. Roupail, N.M., Frey, H.C., Colyar, J.D., and Unal, A.(2001), "Vehicle emissions and traffic measures :exploratory analysis of field observations at signalized arterials". Proceeding of 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, pp.7~11, Washington D.C.
  25. Skabardonis, A.(1997), "Modeling framework for estimating emissions for large urban areas", Transportation Research Record, Vol.1587, pp.85~95.

♣ 주 작성 자 : 한동희  
 ♣ 교 신 저 자 : 장현호  
 ♣ 논문투고일 : 2010. 5. 31  
 ♣ 논문심사일 : 2010. 7. 20 (1차)  
                   2011. 4. 18 (2차)  
                   2011. 7. 19 (3차)  
 ♣ 심사판정일 : 2011. 7. 19  
 ♣ 반론접수기한 : 2012. 2. 28  
 ♣ 3인 익명 심사필  
 ♣ 1인 abstract 교정필