

## 미시적 도로주행 조건을 반영한 배출량 산정 방법의 적용 사례 연구

### Application of an Emission Estimation Methodology to Reflect Microscale Road Driving Conditions

허혜정	Hu, Hyejung	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : hhu@kict.re.kr)
윤천주	Yoon, Chunjoo	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail : cjyoon@kict.re.kr)
양충헌	Yang, Choongheon	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 과학기술연합대학원대학교 교통물류 및 ITS공학과 교수 (E-mail : chyang@kict.re.kr)
김진국	Kim, Jinkook	한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 (E-mail : jingukkim@kict.re.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** This study proposes a methodology to collect data necessary for microlevel emission estimation, such as second-by-second speeds and road grades, and to accordingly estimate emissions.

**METHODS :** To ease data collection for microlevel emission estimation, a vehicle equipped with speed- and location-recording instruments as well as equipment for measuring road geometry was used. As a case study, this vehicle and the proposed methodology were used on a 10-km-long highway in Yongin City, Korea. Emissions from the vehicle during driving were estimated in various microscale driving conditions.

**RESULTS :** Differences in the estimated emission under different microscale driving conditions cannot be ignored. Compared with the estimations obtained when second-by-second data were not considered, CO and NOx emissions were more than threefold higher when considering second-by-second speed; similarly, CO and NOx emission estimations were higher by approximately 10% and 3%, respectively, when considering second-by-second road grade.

**CONCLUSIONS :** The proposed method can estimate vehicle emissions under real-world driving conditions in such applications as road design and traffic policy assessments.

#### Keywords

*emission estimation, driving cycle, road grade, microlevel emission estimation*

Corresponding Author : Hu, Hyejung, Senior Researcher  
Highway Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and  
Building Technology, 283 Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si,  
Gyeonggi-do, 10223, Korea  
Tel : +82.31.910.0761 Fax : +82.31.910.0161  
E-mail : hhu@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 14, 2016 Revised Mar. 16, 2016 Accepted May. 18, 2016

## 1. 서론

환경오염과 기후 변화, 석유 자원 고갈 문제에 대응하  
기 위하여 자동차 분야에서는 대체 에너지를 사용하  
는 자동차를 개발하기 위한 노력을 기울여 왔고, 그 결  
과 전기, 천연가스, 수소, 바이오 연료 등을 사용하는 자

동차들의 시장 진입이 본격화되고 있다. 그러나 이들 차  
량들의 시장 점유율이 높은 비율에 이르기까지는 시간  
이 조금 더 소요될 것으로 예상된다. 따라서 앞으로도  
한동안은 휘발유, 경유 차량의 연료 소비량을 줄이고 온  
실가스 및 대기 오염물질의 배출을 최소화하기 위한 노

력이 지속될 필요성이 있다.

자동차의 유류 사용량 및 배출량은 자동차의 엔진 출력과 밀접한 관계가 있다. 자동차 엔진 출력은 차량의 주행 상황과 주행하는 도로의 상태에 따라 달라진다. 도로의 종류, 소통상황, 차종에 따라 달라지는 차량 주행 상황은 속도와 가감속도로 표현할 수 있으며, 자동차 엔진 출력에 영향을 미치는 도로의 상태는 대표적으로 도로 포장 상태와 경사도가 있다. 국내에서 사용되고 있는 배출량 산정식의 경우 차량의 평균 속도에 따라 배출량을 산정하기 때문에 차량의 실제 주행 상황에 따라 달라지는 가감속도 등의 영향을 고려하지 못하며 경사도와 같은 도로의 상태에 따른 영향을 전혀 고려하지 못하고 있는 실정이다. 국외에서 사용되고 있는 배출량 산정 모형 중 차량의 엔진 출력에 따라 배출량을 산정하는 미시 기반 배출량 산정 모형은 차량의 미시적 도로 주행 조건을 반영하여 배출량을 산정할 수 있어 실제 도로 주행으로 인한 배출량을 보다 정확하게 산정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이러한 모형을 사용하기 위하여 필요한 자료인 초 단위의 미시적 주행 자료와 도로 경사도 등을 수집하는 것이 용이하지 않다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 도로를 주행하면서 차량의 속도와 위치, 주행하는 도로의 기하구조 정보를 측정할 수 있는 도로안전점검 차량인 '아라서' (ARASEO, Automate Road Analysis and Safety Evaluation TOol)를 활용하여 미시 기반 배출량 산정에 필요한 자료를 수집하여 실제 도로 주행으로 인한 차량의 배출량을 미시 기반으로 산정하는 방법을 제시하였다. 또한, 적용 사례 연구를 통하여 미시적 주행 특성과 경사도를 반영할 때 배출량 산정 결과에서 나타나는 차이를 분석하였다.

본 논문은 선행연구 고찰, 방법론, 데이터 수집, 분석 결과, 결론의 순서로 기술되어 있다.

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1. 배출량 산정 모형

배출량 산정 모형은 여러 나라에서 다양한 형태로 개발되어 사용되고 있으며 크게 다음의 세 가지 종류로 구분할 수 있다. 첫 번째는 평균 속도에 따른 배출량 산정 방식을 사용하는 모형으로 COPERT<sup>1)</sup>, DMRB<sup>2)</sup>가 있다.

두 번째로는 초 단위 속도와 가속도에 따라 배출량을 산정하는 방식으로 MODEM<sup>3)</sup>이라는 모형이 있다. 세 번째 종류는 차량 엔진의 출력 정도에 따라 배출량을 산정하는 미시 기반 배출량 산정 방법으로 PHEM<sup>4)</sup>, VeTESS<sup>5)</sup>, CMEM<sup>6)</sup>, ADVISOR<sup>7)</sup>, MOVES<sup>8)</sup>와 같은 모형이 개발되어 사용되고 있다. 배출량은 차량 엔진 출력 정도와 매우 밀접한 관계가 있으므로 세 번째 종류의 배출량 산정 모형이 실제 배출량에 가까운 값을 추정하기에 유리하다.

우리나라는 첫 번째 방식인 평균 속도 기반의 배출량 산정 방법을 사용한다. 그러나 최근에는 실제 도로 주행 조건을 반영하는 배출량 산정 방법을 도입하기 위한 연구가 다수 수행되었다. Lee et al.(2011)은 실제 도로 주행 조건에 따른 국내 차량의 배출량을 측정하는 실험 등에서 MOVES의 미시 기반 배출량 산정 개념을 도입하였고, Hu et al.(2013)은 MOVES의 방법론과 배출 계수 관련 데이터베이스를 활용하여 한국의 차량 특성과 주행조건을 반영하여 미시 기반의 배출량 산정 방법론을 제안하였다. 또한, 후속 연구로서 교통 시뮬레이션 모형과 연계하여 미시 기반으로 배출량을 산정할 수 있는 방법론인 MOVES Lite-K를 개발하는 연구를 수행하였다(Hu et al., 2016).

### 2.2. 도로 기하구조와 배출량 관련 국내 연구

현재까지는 도로 기하구조의 영향을 반영하여 배출량을 산정하고자 하는 국내 연구는 많지 않고 연비와 관련한 실험과 연구가 대부분이다. 경사도와 연료 소모량과의 밀접한 관계를 명확하게 규명하기 위한 다음과 같은 연구가 수행되었다.

Park et al.(2000)은 G센서(중력가속도 측정 센서)를 활용하여 경사도를 측정하였고 CAMP(Computerized automobile multi player)를 사용하여 ECU(Engine Control Unit)로부터 신호를 입력받아 연비를 계산하였다. 엔진속도, 차량속도, 연비, 연료소비량, 주행거리, 주행시간 등을 기록하였고 실차 실험에 의한 수치 보정을

3) MODelling of EMissions and consumption in urban areas (Jost et al., 1992; Joumard et al., 1995)

4) Passenger car and Heavy-duty Emission Model (Rexeis et al., 2005)

5) Vehicle Transient Emissions Simulation Software (Pelkmans et al., 2004)

6) Comprehensive Modal Emissions Model (Scora and Barth, 2006)

7) Advanced Vehicle Simulator for Systems Analysis (Wipke et al., 1999)

8) Motor Vehicle Emission Simulator (US EPA MOVES, 2010)

1) COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport (Gkatzoflias et al. 2007)

2) Design Manual for Roads and Bridges (Department of the Environment, Transport, and the Regions, 1999)

통해 연비를 최종적으로 산출하였다. Choi et al.(2011)의 연구에서는 경사가 있는 고속도로가 자동차 연비에 미치는 영향에 대해 조사 하였으며 경사를 고려하여 유류 소모량을 산정하였다. Han et al.(2014)은 하이브리드 연료전지 자동차를 대상으로 경사진 도로 주행 시의 연비 향상을 위한 에너지 관리 전략의 중요한 특징들을 분석하였다. Choi and Do(2014)는 승용차를 대상으로 유류소모량 실험을 통해 도로의 경사도(0-2%, 2-5%, 5% 이상)에 따른 유류소모량 산정 모형을 개발하였다. Lee et al.(2016)은 도로 기하구조 설계안에 따른 배출량을 산정하는 방법론을 제시하였다.

실도로 주행 실험을 통해 연비와 배출량을 측정하는 실험에서도 차속, 냉온간 공회전, 에어컨 영향, 타이어 공기압, 중량변화, 발진 가감속 등의 영향을 분석하는 경우가 있으나(Choi et al., 2010) 경사도에 대한 실험이 포함된 국내 연구는 부족한 실정이다.

### 2.3. 시사점

국외에서는 차량의 실제 주행 상황과 도로의 상태를 반영하여 배출량을 산정하는 미시기반 배출량 산정 모형이 개발되어 사용되고 있다. 이러한 방법을 국내에 도입하기 위한 연구도 수행되어 국내에서 사용 가능한 MOVES Lite-K와 같은 모형이 개발되어 있다. 따라서 개별 차량의 초단위 속도 변화와 경사도 자료가 확보된다면 미시기반으로 배출량을 산정할 수 있는 상황이다.

본 연구에서는 도로를 주행하면서 조사 차량의 속도와 위치, 주행하는 도로의 기하구조를 측정하는 차량을 활용하여 미시기반 배출량 산정에 필요한 초 단위 차량 속도 및 경사도 자료를 수집하여 미시기반으로 배출량을 산정하는 과정을 설명하였다. 또한, 적용 사례 연구를 통해 미시적 주행 특성과 경사도를 반영함으로써 배출량 산정 결과가 얼마나 달라지는지를 분석하였으며 본 연구에서 제시한 방법의 활용 가능성에 대하여 살펴보았다.

## 3. 방법론

### 3.1. 미시기반 배출량 산정 모형

본 연구에서 사용한 MOVES Lite-K는 차량의 주행 특성만을 중점적으로 고려하여 배출량을 산정하는 프로그램이다. MOVES의 배출계수를 활용하나 한국 차량의 특성, 주행 특성, 배출 규제 등을 고려하여 보정하는 절차를 거쳐 국내에 적용할 수 있도록 개발되었다(Hu et al., 2016).

MOVES Lite-K의 배출량 산정 절차는 Fig. 1에 나타난 바와 같고 차량이 한 도로구간을 주행한 주행궤적(초단위 속도자료)에 대한 평균 배출율( $CE_{p,c,v}$ , g/km)을 산정하는 절차이다. 이렇게 산정한 평균 배출율에 총 주행 거리(km)를 곱하면 해당 차량의 배출량(g)이 계산된다.

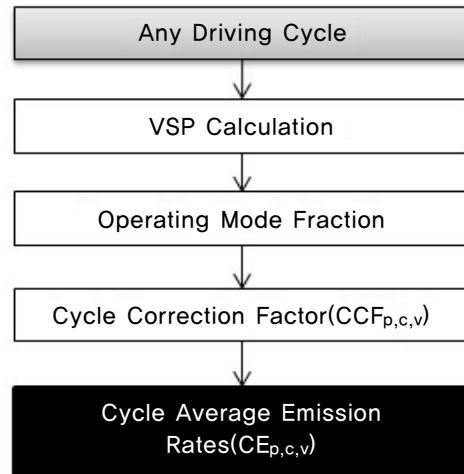


Fig. 1 Procedures for Estimating Emissions in MOVES Lite-K

#### 3.1.1. 차량비출력(Vehicle Specific Power) 계산

차량의 주행궤적(초단위 속도 자료)으로 Eq. (1)에 따라 가속도를 계산한 후 Eq. (2)에 따라 차중과 속도, 가속도, 경사도에 따른 엔진 출력 값인 차량비출력(Vehicle Specific Power, VSP)를 계산한다. 계수값 A, B, C는 차중에 따라 다르며 MOVES의 값(US EPA, 2010)을 사용한다.

$$a_t = v_t - v_{t-1} \quad (1)$$

여기서,  $v_t$  : 속도(m/s),  $a_t$  : 가속도(m/s<sup>2</sup>),

$$P_{V,t} = \frac{Av_t + Bv_t^2 + Cv_t^3 + mv_t(a_t + g \sin \theta_t)}{m} \quad (2)$$

여기서,  $P_{V,t}$  : 차량 V의 시간 t일 때의 VSP (kW/tonne)

$t$  : 시간(sec),  $v_t$  : 속도(m/s) ,

$a_t$  : 가속도(m/s<sup>2</sup>),  $m$  : 차량 중량(tonne),

$A$  : 구름 저항(KW-sec/m)

$B$  : 회전 저항(KW-sec<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>),

$C$  : 공기 저항 (KW-sec<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

$g$  : 중력가속도(9.81m/s<sup>2</sup>),

$\theta_t$  : 도로의 경사(degree)

### 3.1.2. 운행모드 비율(Op mode Fraction) 계산

운행모드(Operating Mode, OP-mode)는 Table 1 과 같이 차량 주행특성에 따라 배출율이 비슷한 속도와 VSP를 묶은 그룹으로 Table 2와 Fig. 2의 예에서 보는 바와 같이 운행모드에 따라 차종별 오염물질별 배출계수가 달라진다. 초 단위로 속도와 VSP가 해당하는 운행모드를 찾은 후 운행모드별(m)로 전체 주행궤적(c)에서 차지하는 비율( $f_{m,c}$ )을 Eq. (3)과 같이 계산한다.

$$f_{m,c} = \frac{Duration_m}{Total Driving Duration_c} \quad (3)$$

Table 1. Operating Mode Bin Definitions (US EPA, 2010)

Operating mode	Operating mode name	VSP(kw/tonne)		Speed(mph)	
		Lower	Upper	Lower	Upper
0	Braking*	-	-	-	-
1	Idling	-	-	-1	1
11	Low speed coasting	-	0	1	25
12	Cruise/Acceleration	0	3	1	25
13	Cruise/Acceleration	3	6	1	25
14	Cruise/Acceleration	6	9	1	25
15	Cruise/Acceleration	9	12	1	25
16	Cruise/Acceleration	12	-	1	25
21	Moderate speed coasting	-	0	25	50
22	Cruise/Acceleration	0	3	25	50
23	Cruise/Acceleration	3	6	25	50
24	Cruise/Acceleration	6	9	25	50
25	Cruise/Acceleration	9	12	25	50
26	Cruise/Acceleration	12	-	25	50
27	Cruise/Acceleration	12	18	25	50
28	Cruise/Acceleration	18	24	25	50
29	Cruise/Acceleration	24	30	25	50
30	Cruise/Acceleration	30	-	25	50
33	Cruise/Acceleration	-	6	50	-
35	Cruise/Acceleration	6	12	50	-
36	Cruise/Acceleration	12	-	50	-
37	Cruise/Acceleration	12	18	50	-
38	Cruise/Acceleration	18	24	50	-
39	Cruise/Acceleration	24	30	50	-
40	Cruise/Acceleration	30	-	50	-

\*Accel < -2mph or < -1mph for 3 consecutive second

Table 2. Operating Mode Emission Rates from MOVES2014

Operating mode	Emission rate(g/hour) for light duty diesel vehicle year 2014			
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
0	3,032.74	1.98	0.07	0.03
1	2,805.63	0.34	0.03	0.03
11	4,411.79	6.8	0.1	0.03
12	6,091.89	11.11	0.16	0.03

13	8,466.31	10.24	0.37	0.04
14	10,697.69	14.69	0.65	0.04
15	12,756.81	21.31	1.15	0.04
16	15,407.65	35.95	2.4	0.1
21	6,002	8.87	0.2	0.05
22	6,831.95	11.75	0.33	0.07
23	8,320.91	15.11	0.5	0.05
24	10,675.19	22.09	0.84	0.05
25	14,246.1	25.07	1.18	0.07
27	18,780.45	37.65	1.86	0.1
28	25,314.54	126.33	6.86	0.23
29	34,681.15	267.54	12.04	1.1
30	43,552.05	939.67	15.84	1.62
33	8,551.08	6.66	0.43	0.07
35	13,711.74	11.37	1.2	0.1
37	17,861.87	16.73	1.68	0.08
38	23,290.89	115.79	5.82	0.19
39	31,022.96	122.18	8.67	0.4
40	39,546.87	359.07	10.92	0.46

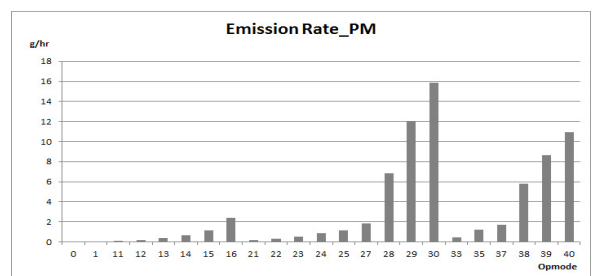
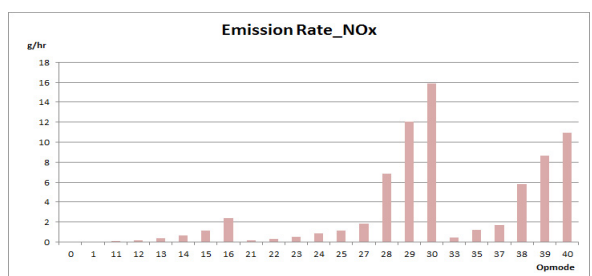
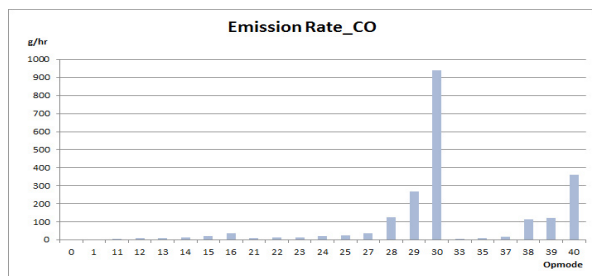
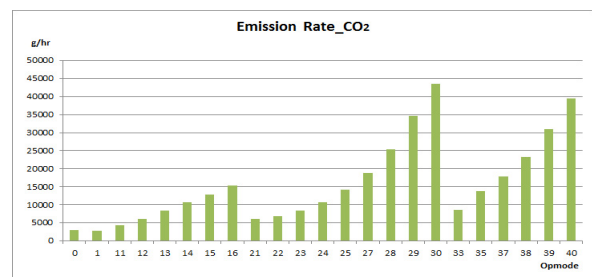


Fig. 2 Emission Rates by Operating Mode\_Diesel Light Duty Vehicle

### 3.1.3. 주행궤적 보정계수(CCF) 계산

MOVES Lite-K에서는 차량 정기 검사제도, 연료의 특성, 기후 조건 등의 변수를 미리 반영한 배출율인 기준 배출율( $EF_{p,b,a,v}$ , g/km)을 기준으로 하고, 기준 배출율을 측정할 때 사용한 기준 주행궤적과의 배출량을 산정하고자 하는 차량의 주행궤적의 주행 특성의 차이를 나타내는 주행궤적 보정계수(Cycle Correction Factor, CCF)를 계산하여 기준 배출율에 곱하여 해당 차량의 배출율을 추정하는 방식을 사용한다.

차종별 오염물질별 기준 배출율은 Table 3에 나타나 있다. 국내에서 사용되는 배출량 산정 기준에 맞추기 위하여 국립환경과학원의 배출량 곡선계수식(NIER 2009, 2010)을 개발할 때 사용하였던 주행궤적 중에서 차종별 NIER 09모드를 기준 주행궤적으로 선정하였고, 해당 기준 주행궤적의 배출량 값을 기준 배출량으로 정하였다.

Table 3. Base Emission Rate by Vehicle Type (Hu et al., 2016)

Korean vehicle type	Base cycle	Avg. speed (km/h)	Cycle emission rate (g/km)			
			CO <sub>2</sub>	CO	NOx	PM <sub>10</sub>
PC-mini_Gasoline	LDV NIER 09	34.1	118.54	0.127	0.027	0
PC-small_Gasoline			158.07	0.385	0.061	0
PC-medium and large_Gasoline			208.84	0.289	0.04	0
PC-mini_Diesel	LDV NIER 09	34.1	118.54	0.206	0.741	0.064
PC-smallDiesel			142.74	0.206	0.741	0.064
PC-medium and large_Diesel			174.35	0.206	0.741	0.064
Bus-large_Diesel	UB NIER 09	32.3	766.96	2.839	10.94	0.217
Bus-large_CNG			721.52	4.925	5.715	0
Truck-small	LDV NIER 09	34.1	218.57	0.143	0.211	0.027
Truck-medium	MDT NIER 09	35	423.79	1.080	2.999	0.072
Truck-large	HDT NIER 09	34.4	1610.12	2.471	14.41	0.309

기준 배출율을 측정한 기준 주행궤적과 분석대상 차량의 주행궤적의 주행 특성이 다르기 때문에 운행 모드

기반으로 배출량을 산정하게 되면 차이가 나게 된다. 이를 주행궤적 보정계수(CCF)라고 하며 Eq. (4)로 산정할 수 있다.

$$CCF_{p,c,v} = \left( \frac{\sum_m f_{m,c} \times ER_{p,v,m}}{\sum_m f_{m,b} \times ER_{p,v,m}} \right) \left( \frac{V_b}{V_c} \right) \quad (4)$$

여기서,  $CCF_{p,c,v}$  : 주행궤적 보정계수(오염물질 p, 주행궤적 c, 세부차종 v인 경우)

$ER_{p,v,m}$  : 운행모드 기반 배출계수(오염물질 p, 세부차종 v, 운행모드 m인 경우), g/hr

$f_{m,c}$  : 주행궤적 c에서 운행모드 m인 시간 비율

$f_{m,b}$  : 기준 주행궤적 b에서 운행모드 m인 시간 비율

$V_c$  : 주행궤적 c의 평균주행 속도, kph

$V_b$  : 주행궤적 b의 평균주행 속도, kph

Fig. 3에 보인 그래프와 같이 차종별로 기준 주행궤적의 운행모드 분포가 있는데, 분석 대상 차량의 주행궤적이 해당 차종의 기준 주행궤적과 다른 운행모드 분포를 가짐으로 인하여 발생하는 배출량의 차이를 주행궤적 보정계수로 표현한 것이다.

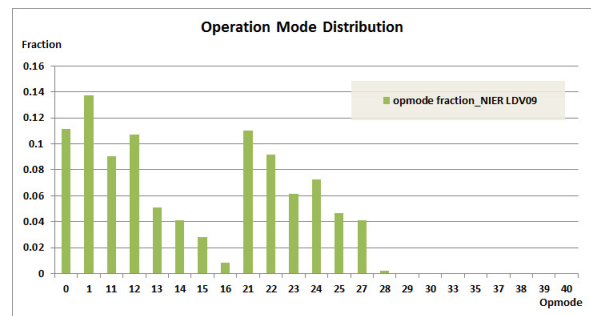


Fig. 3 Operating Mode Fraction of NIER Driving Trace for LDV 09

### 3.1.4. 주행궤적 평균 배출율(CE) 계산

주행궤적 배출율(Cycle Average Emission Rate,  $CE_{p,c,v}$ , g/km)은 분석 대상 차량 주행궤적의 평균 배출율로 기준배출율에 주행궤적 보정계수(CCF)를 곱한 값이다. 차종별 기준 배출율은 Table 3에 나타나 있다.

$$CE_{p,c,v} = EF_{p,b,v} \times CCF_{p,c,v} \quad (4)$$

여기서,  $CE_{p,c,v}$  : 주행궤적 평균 배출율(오염물질 p, 주행궤적 c, 세부차종 v인 경우), g/km

$EF_{p,b,v}$  : 기준 배출율(오염물질 p, 주행궤적 c, 세부차종 v인 경우), g/km

### 3.2. 경사도 측정 방법론

미시 기반의 배출량 산정에서 도로의 경사도를 반영하기 위해서는 차량의 초 단위 위치 변화에 따른 도로의 경사도가 정보가 필요하다.

도로의 경사도를 측정하는 방법은 다양하다. 정밀 경사계 등을 사용하여 정확도 높은 경사도를 측정할 수도 있고, 많은 구간의 도로의 경사도를 측정하기 위해서는 도로를 주행하면서 경사도를 측정하거나, 수치 지도 등으로 경사도를 추정하는 방법이 효율적일 수 있다. 도로를 주행하면서 측정하는 방법으로는 IMU(Inertial Measurement Unit)를 이용하는 방법(Baek and Song, 2007)이나 LIDAR DATA를 이용하는 방법(Zhang and Frey, 2005) 또는 GPS 센서를 이용하는 방법(Hong et al., 2001) 등이 있다.

본 연구에서는 도로안전점검 차량인 아라서(ARASEO, Automate Road Analysis and Safety Evaluation TOol)를 이용하여 경사도를 측정하였다. 아라서는 GPS, IMU, 거리측정기 및 CCTV 카메라 등을 장착한 차량으로서 도로를 주행하면서 수집한 여러 가지 정보를 이용하여 종단경사를 측정하는 기능이 있다(Yun and Sung, 2004). 아라서 측정 종단경사도와 도면의 경사도 차이는 평균 0.083%(최소 0.01%, 최대 0.37%)로 조사되었다(Park et al., 2012).

아라서의 도로 경사도 분석 알고리즘은 고도(z)를 아라서 차량에서 1m 간격으로 측정하며, 고도값의 차이( $\Delta z_j$ )을 이용하여 종단경사(G(%))를 산출한다(KICT, 2012).

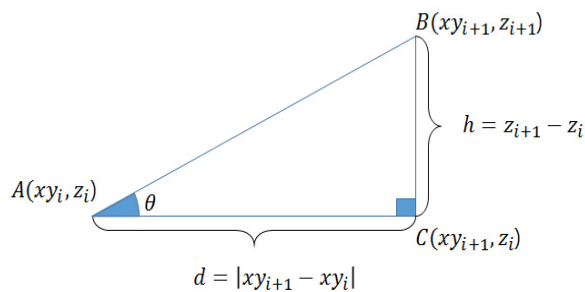


Fig. 4 Road Gradient Estimation Logic

Fig. 4에서 보는 바와 같이, 도로상의 임의의 두 점

$A(xy_i, z_i)$ ,  $B(xy_{i+1}, z_{i+1})$ 에서 종단경사(G(%))는 기울기( $\theta$ )로 표현이 가능하며 1m 간격( $1m(d) = |xy_{i+1} - xy_i|$ )의 경사도는 다음 Eq. (6)과 같이 산출할 수 있다. 여기서  $C(xy_{i+1}, z_i)$ 는 A점에서 수평으로 연장한 선과 B점에서 수직으로 연장한 교차점이다. 측정 간격은 조사 목적과 도로 조건에 따라 조정가능하다.

$$\begin{aligned}
 G(\%) &= \frac{BC}{AC} \times 100(\%) = \frac{h}{d} \times 100(\%) \\
 &= \frac{z_{i+1} - z_i}{|xy_{i+1} - xy_i|} \times 100(\%) \\
 &= \frac{z_{i+1} - z_i}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}} \times 100(\%) \\
 &\approx \frac{z_{i+1} - z_i}{1} \times 100(\%)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

여기서, G = A와 B 두 지점 사이의 도로 경사도(%)

d = A와 B 두 지점 사이의 거리(m)

h = A와 B 두 지점 사이의 고도차이(m)

## 4. 데이터 수집

### 4.1. 주행 조사 구간

도로의 경사도와 주행속도를 측정한 구간은 Fig. 5의 지도에 표시된 용인시 42번 국도상의 10.55km 구간(영통고가 밑 사거리~용인대입구 삼거리)이다. 조사 차량으로 주행하여 측정한 자료를 이용하여 배출량 산정에 필요한 초 단위의 속도와 경사도 자료를 추출하였다.

- 주행구간 : 용인시 42번 국도 일부 구간 (영통고가 밑 사거리~용인대입구 삼거리)

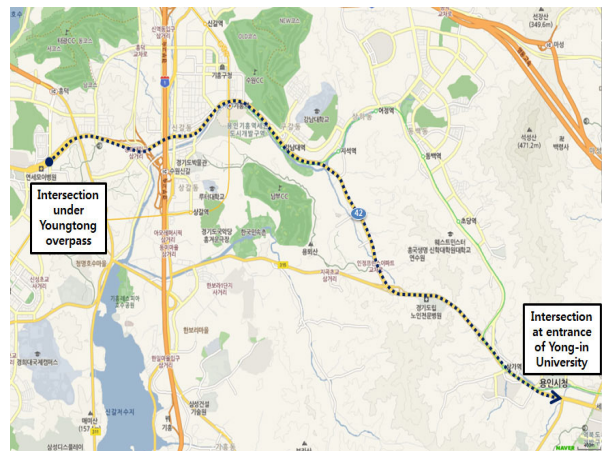


Fig. 5. Driving Route for Data Collection

- 주행 시간대 : 2015. 9. 22(화요일) 오후 2시경
- 총 주행 시간 : 1,111초(18분 31초)
- 총 주행 거리 : 10.55km
- 평균 주행 속도 : 34.2km/hr
- 수집 데이터 : 차량의 주행 위치, 도로의 선형 등

## 4.2. 경사도 측정결과

종단선형 측정 시의 높이 값은 덧셈우기 등 도로 포장 상태의 영향을 많이 받는다. 이러한 영향을 최소화하고 도로 경사의 방향성을 고려하기 위해 기존 연구(KICT, 2012)에서 제시된 적정 기본 분석 단위인 20m를 사용하였다. 산출된 도로 경사도를 경사도가 변화한 지점을 기준으로 정리하면 Table 4와 같다. 이 측정 자료를 이용하여 차량의 위치 이동에 따른 경사도 자료를 산출하였다.

Table 4. Road Gradient Measured using ARASEO

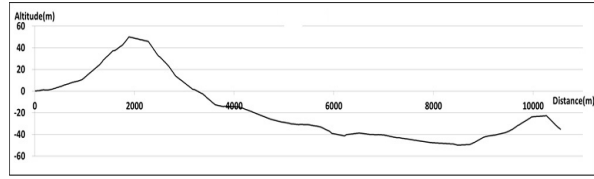
Station(m)		Elevation(m)		Elevation difference (m)	Road gradient (%)
Start	End	Start	End		
0	100	132.337	132.864	0.53	0.53
100	140	132.864	133.273	0.41	1.04
140	180	133.273	133.499	0.23	0.59
180	220	133.499	133.38	-0.12	-0.3
220	280	133.38	133.461	0.08	0.13
280	340	133.461	133.917	0.46	0.77
340	500	133.917	136.197	2.28	1.43
500	600	136.197	137.875	1.68	1.7
600	680	137.875	138.984	1.11	1.4
680	740	138.984	139.94	0.96	1.62
740	780	139.94	140.518	0.58	1.49
780	820	140.518	140.891	0.37	0.96
820	860	140.891	141.353	0.46	1.17
860	960	141.353	142.767	1.41	1.43
960	1,320	142.767	156.952	14.19	3.94
1,320	1,380	156.952	160.688	3.74	6.33
1,380	1,580	160.688	169.387	8.7	4.38
1,580	1,620	169.387	169.787	0.4	1.03
1,620	1,780	169.787	175.294	5.51	3.45
1,780	1,900	175.294	182.388	7.09	5.96
1,900	2,200	182.388	179.086	-3.3	-1.08
2,200	2,240	179.086	176.281	-2.8	-7.18
2,240	2,280	176.281	173.487	-2.79	-7.17
2,280	2,360	173.487	168.161	-5.33	-6.74
2,360	2,480	168.161	161.526	-6.64	-5.59
2,480	2,520	161.526	160.306	-1.22	-3.13
2,520	2,700	160.306	151.537	-8.77	-4.89
2,700	2,840	151.537	142.424	-9.11	-6.56
2,840	3,180	142.424	130.397	-12.03	-3.56
3,180	3,220	130.397	130.013	-0.38	-0.99
3,220	3,380	130.013	126.129	-3.88	-2.43
3,380	3,520	126.129	120.478	-5.65	-4.07

3,520	3,560	120.478	118.939	-1.54	-3.95
3,560	3,620	118.939	117.005	-1.93	-3.28
3,620	3,780	117.005	115.364	-1.64	-1.05
3,780	3,860	115.364	115.709	0.34	0.44
3,860	4,120	115.709	114.916	-0.79	-0.3
4,120	4,280	114.916	112.198	-2.72	-1.71
4,280	4,760	112.198	103.47	-8.73	-1.82
4,760	4,900	103.47	101.882	-1.59	-1.14
4,900	4,960	101.882	101.228	-0.65	-1.11
4,960	5,000	101.228	100.995	-0.23	-0.6
5,000	5,100	100.995	100.163	-0.83	-0.84
5,100	5,140	100.163	99.674	-0.49	-1.25
5,140	5,300	99.674	98.879	-0.79	-0.5
5,300	5,340	98.879	98.975	0.1	0.24
5,340	5,500	98.975	98.728	-0.25	-0.15
5,500	5,600	98.728	97.922	-0.81	-0.82
5,600	5,640	97.922	97.674	-0.25	-0.63
5,640	5,740	97.674	96.758	-0.92	-0.92
5,740	5,940	96.758	92.224	-4.53	-2.27
5,940	5,980	92.224	90.586	-1.64	-4.2
5,980	6,220	90.586	88.594	-1.99	-0.85
6,220	6,260	88.594	89.607	1.01	2.59
6,260	6,520	89.607	90.965	1.36	0.53
6,520	6,760	90.965	89.642	-1.32	-0.55
6,760	6,860	89.642	89.473	-0.17	-0.17
6,860	6,900	89.473	89.613	0.14	0.36
6,900	7,020	89.613	89.238	-0.37	-0.31
7,020	7,220	89.238	87.214	-2.02	-1.02
7,220	7,260	87.214	86.93	-0.28	-0.73
7,260	7,300	86.93	86.862	-0.07	-0.18
7,300	7,340	86.862	86.686	-0.18	-0.44
7,340	7,380	86.686	86.367	-0.32	-0.82
7,380	7,920	86.367	82.568	-3.8	-0.71
7,920	8,020	82.568	82.165	-0.4	-0.41
8,020	8,400	82.165	81.1	-1.06	-0.28
8,400	8,500	81.1	80.02	-1.08	-1.09
8,500	8,720	80.02	80.53	0.51	0.23
8,720	8,760	80.53	81.182	0.65	1.67
8,760	8,860	81.182	83.271	2.09	2.11
8,860	8,900	83.271	84.38	1.11	2.84
8,900	8,940	84.38	85.368	0.99	2.54
8,940	9,020	85.368	86.887	1.52	1.93
9,020	9,100	86.887	87.936	1.05	1.34
9,100	9,260	87.936	88.984	1.05	0.66
9,260	9,420	88.984	90.75	1.77	1.11
9,420	9,480	90.75	91.555	0.81	1.36
9,480	9,600	91.555	94.252	2.7	2.26
9,600	9,640	94.252	95.567	1.31	3.37
9,640	9,680	95.567	96.808	1.24	3.19
9,680	9,720	96.808	97.892	1.08	2.78
9,720	9,940	97.892	104.176	6.28	2.87
9,940	9,980	104.176	105.434	1.26	3.22
9,980	10,280	105.434	106.421	0.99	0.34
10,280	10,500	106.421	96.12	-10.3	-4.7
10,500	10,564	96.12	93.801	-2.32	-3.7

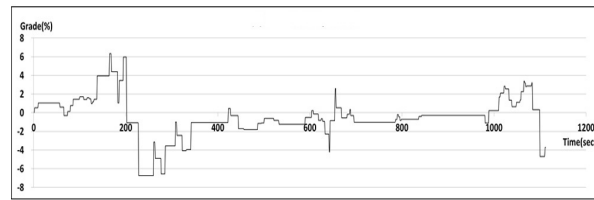
## 4.3. 초 단위 경사도 및 주행 속도

Fig. 6과 같이 주행 조사를 통해 수집한 자료를 한 눈에 파악할 수 있다. Fig. 6(a)는 주행 조사구간의 고도

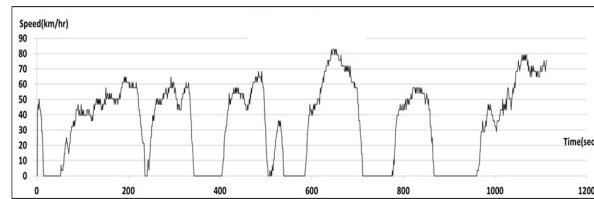
를 측정된 자료이며 Fig. 6(b)와 Fig. 6(c)는 미시기반 배출량 산정을 위한 필수자료인 초 단위 위치에 따른 경사도와 초 단위 차량 속도자료이다. 실험 주행차량이 교차로에서 정지하였을 때, Fig. 6(c)에서 속도가 0인 것을 확인할 수 있다.



(a) Altitude



(b) Road Grade by Second



(c) Driving Speed by Second

Fig. 6 Road Grade and Speed

#### 4.4. 배출량 산정

주행 조사 구간을 주행한 차량의 배출량을 다음의 세 가지 방법으로 산출하였다.

- ① 평균 속도 기반의 배출량 산정 방법
- ② 경사도 자료를 반영하지 않고 MOVES Lite-K로 계산
- ③ 경사도 자료를 반영하여 MOVES Lite-K로 계산

①과 ②의 결과를 비교하여 평균속도로 배출량을 산정하는 경우(경사도가 반영되지 않음)와 차량의 초 단위 주행 속도를 반영하여 배출량을 산정한 경우의 차이를 분석하고, ②와 ③의 결과를 비교하여 경사도 반영 여부에 따른 배출량 산정 결과의 차이를 분석하였다.

##### 4.4.1. 평균속도 기반 배출량 산정

조사 차량의 차종인 경유 SUV 차량에 대하여 평균속도 34.2km/hr인 경우의 배출량(①)을 산정하였다. 각 오염물질별 배출량 산정식과 산정된 배출량 값을 Table

5에 정리하여 나타내었다.

Table 5. Emission Estimation by Average Speed Based Method

Pollutant	Equation for emission estimation (V : speed, km/hour)	Emissions(g)
CO <sub>2</sub>	= 1,811.7 V <sup>-0.6092</sup>	1,835.76
CO	= 3.2797 V <sup>-0.8887</sup>	2.17
NO <sub>x</sub>	= 4.9708 V <sup>-0.6247</sup>	7.80
PM <sub>10</sub>	= 0.428 V <sup>-0.5186</sup>	0.674

##### 4.4.2. 미시기반 배출량 산정

3.1에서 설명한 MOVES Lite-K의 배출량 산정 절차에 따라 배출량을 산정하였다. VSP를 산출하는 과정에서 초 단위 속도자료는 Fig. 6(c)의 초 단위 속도 자료를 이용하였고 경사도를 반영하는 경우 Fig. 6(b)의 초 단위 경사도 자료를 이용하였다. 조사 차량의 차종인 경유 SUV 차량은 Light Duty Vehicle에 해당하므로 Eq. (2)의 VSP 계산에서 다음과 같은 계수를 사용하였다.

- m = 1.4788, 차량 중량(tonne)
- A = 0.15646, 구름 저항(KW-sec/m)
- B = 0.002, 회전 저항(KW-sec<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)
- C = 0.00049, 공기 저항 (KW-sec<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

Table 6에는 경사도를 반영하지 않은 경우(②)와 경사도를 반영한 경우(③)로 구분하여 MOVES Lite-K로 산정한 배출량 결과를 나타내었다.

Table 6. Emission Estimation by MOVES Lite-K

Pollutant	Grade was not considered		Grade was considered		% Difference
	CE(g/km)	Emissions(g)	CE(g/km)	Emissions(g)	
CO <sub>2</sub>	208.71	2,201.89	208.83	2,203.14	0.057%
CO	0.66	6.93	0.73	7.73	10.348%
NO <sub>x</sub>	2.32	24.50	2.28	24.06	-1.838%
PM <sub>10</sub>	0.15	1.60	0.16	1.64	2.923%

## 5. 분석 결과

### 5.1. 초 단위 주행 속도 반영으로 인한 배출량 차이

평균속도 기반으로 배출량을 산정한 경우와 초 단위



주행속도를 반영하나 경사도는 반영하지 않고 MOVE Lite-K로 배출량을 산정한 경우를 비교한 표인 Table 7을 보면, 조사 차량의 주행 궤적에 대하여 초 단위 주행속도를 반영하여 산정한 배출량이 훨씬 높은 것으로 나타났다.

Table 7. Difference in Emissions by Accounting Second by Second Speed

Pollutant	Average speed based emissions(g)	MOVE Lite-K emissions(g)	Ratio
CO <sub>2</sub>	1,835.76	2,201.89	1.20
CO	2.17	6.93	3.19
NO <sub>x</sub>	7.80	24.50	3.14
PM <sub>10</sub>	0.674	1.60	2.37

이는 조사 차량의 주행 특성이 평균 속도기반 배출량 산정의 기준이 되는 기준 주행궤적인 NIER LDV 09번 보다 배출량이 높게 나오는 특성을 가지기 때문인 것으로 보인다. 오염 물질별로 차이가 나는 정도가 다른 것은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 운행모드에 따른 배출율이 오염물질마다 다르기 때문이다.

주행특성의 차이를 상세히 살펴보기 위하여 소형 차량의 기본 주행궤적인 NIER LDV 09 주행궤적과 조사 차량의 주행궤적의 운행모드를 비교하여 보았다. Fig. 7을 보면 조사 차량 주행궤적의 운행모드는 기본 주행궤적 NIER LDV 09과 비교하여 보았을 때 운행 모드 0, 1의 비율은 낮은 반면 27, 28, 29, 30의 비율이 높다.

Fig. 7의 운행모드별 배출계수 그래프에서 보면 27, 28, 29, 30은 높은 배출율을 갖는 운행 모드이기 때문에 이들 모드가 많은 조사 차량의 배출량이 더 높게 산정된 것이다. 운행모드 0, 1의 배출량이 매우 작은 경우에는 더 큰 차이가 나게 되어 CO, NO<sub>x</sub>는 3배 이상의 차이가 났고 PM의 경우 2.37 배의 차이가 나게 되었다.

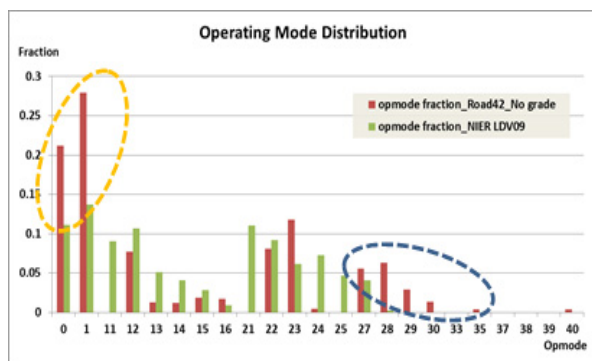


Fig. 7 Comparison of Operating Mode Distribution (Driving Cycle Effect)

## 5.2. 도로 경사도 반영으로 인한 배출량 차이

Table 6에 정리되어 있는 경사도를 반영하여 배출량을 산정한 경우와 반영하지 않고 산정한 경우를 비교한 결과를 보면 배출량은 경사도의 반영여부에 영향을 받는 것으로 나타났다.

차이가 나게 된 원인은 VSP를 산정할 때 경사도를 반영함에 따라 해당되는 운행 모드가 달라지기 때문인데, 오르막 경사가 커질수록 VSP가 증가하고 이에 따라 같은 속도 그룹 내에서 운행모드가 높은 쪽으로 결정되므로 배출량이 높게 산출된다. 내리막 경사의 경우 반대 경향을 갖는다.

Fig. 8은 조사 차량의 주행궤적에 대하여 경사도를 반영하여 운행모드를 산출한 경우와 반영하지 않고 산출한 경우를 비교한 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 경사도에 반영 여부에 따라 운행모드 값에 차이가 나타나는 것이 확인된다.

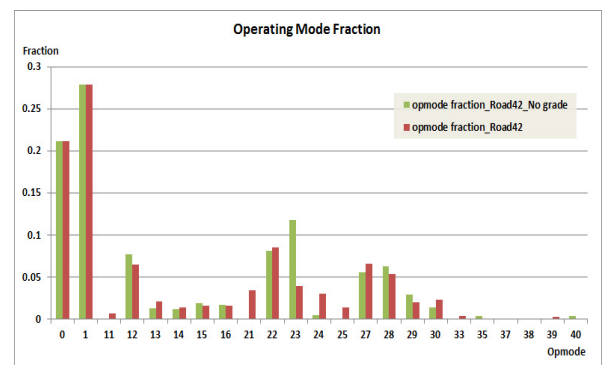


Fig. 8 Comparison of Operating Mode Distribution (Grade Effect)

앞서 설명한 바와 같이 오염물질별로 운행모드에 따른 배출계수의 특성이 다르기 때문에 경사도 반영 여부에 따른 운행모드의 차이는 오염물질별 배출량에도 차이를 가지고 왔다. 그 결과 경사도 반영으로 인한 결과 값을 오염물질별로 비교하면 CO<sub>2</sub>는 0.057%로 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, CO는 10.35%, PM은 2.93% 증가한 반면 NO<sub>x</sub>는 오히려 1.84% 감소한 것으로 나타났다.

## 6. 결론

본 논문에서는 미시적 도로 주행 조건을 나타내는 초 단위 주행궤적 및 경사도 자료를 구축하여 미시기반으로 배출량을 산정하는 과정을 설명하고 사례 분석을 통하여 미시적 주행 특성과 경사도를 반영함으로써 인해 달

라지는 배출량 산정 결과를 분석한 결과를 나타내었다.

적용 사례 분석 결과를 통해 미시기반의 배출량 산정 방법을 사용하게 되면 차량의 미시적 도로 주행 조건에 따라 달라지는 차량의 배출량을 산정할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 분석 결과에 따르면 조사 차량의 미시적 주행 특성인 초 단위 주행 속도의 변화를 고려할 경우 오염물질에 따라 차이를 보이긴 하나 CO와 NOx의 배출량은 3배 이상 더 배출되는 것으로 산정되었다. 또한, 추가적으로 경사도를 고려하여 배출량을 산정하였을 때 배출량 산정결과에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 조사 차량의 주행 경로의 도로 경사로 인해 CO는 10.35%, PM은 2.93% 증가하였고 NOx는 1.84% 감소한 것으로 나타났다.

미시기반의 배출량 산정 방법은 도로 설계(안) 평가에서 노선 대안별 환경적 영향을 분석하고 평가할 경우 도로의 기하구조에 따른 속도의 변화와 경사도의 영향을 고려하여 배출량을 산정할 수 있게 되어 환경적 이익이 더 큰 대안을 선택하는데 도움이 될 수 있다. 또한, 규모가 큰 도로 네트워크의 배출량 분석의 경우에도 미시기반의 배출량 산정 방법이 활용되면 교통운영의 변화와 도로 기하구조 조건을 반영한 배출량을 산정할 수 있을 것으로 보인다.

미시기반의 배출량 산정 방법을 사용함에 있어 미시적 도로 주행 조건 자료의 확보가 쉽지 않은 것은 사실이다. 본 연구에서는 도로를 주행하면서 차량의 속도와 위치, 도로의 기하구조 정보를 측정하는 차량을 활용하였다. 그러나 향후 연구를 통해 수치표고지도(Digital Elevation Model, DEM) 활용 기술 등을 적용하여 네트워크 경사도 자료를 구축할 수 있다면 미시기반의 배출량 산정 방법은 활용 가능성이 높아질 것으로 보인다. 또한, 도로 경사도 자료와 차량의 동적 위치 정보와의 연계 방안에 대한 연구도 필요하다.

자동차의 유류 사용량 및 배출량이 차량의 주행 상황과 주행하는 도로의 상태에 따라 달라짐에도 국내에서 사용되고 있는 배출량 산정식과 연비 측정 및 배출량 측정을 위해 사용되는 실험 주행 사이클은 실제 도로 환경에서의 주행조건을 반영하지 못한다는 지적을 받아 왔다. 본 논문은 실제 도로 환경에서의 주행조건을 반영하여 배출량을 산정하는 것의 필요성과 활용가능성을 보여주고 있다.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by a grant from the Urban Development Program funded by the Ministry of Land,

Infrastructure and Transport of Korea.

#### REFERENCES

- Baek W., Song, B., 2007. Roll and pitch estimation via an accelerometer array and sensor networks, KSAE Vol. 8, 753-760.
- Choi, S., Do, M., 2014. Development of fuel consumption estimation model considering road gradient, Korean Society of Road Engineers, Conference paper, 119-122.
- Choi, S., Jung, H., Shin, Y., Lim, J., Shin, Y., Park, Y., 2010. A study on the effect of driving conditions of passenger cars on the fuel consumption, The Korean Society of Automotive Engineers, Conference paper, 676-681.
- Choi, S., Oh, T., 2011. Effect on the fuel economy by gradient in automobile driveway, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 7, 2925-2930.
- Department of the Environment, Transport, and the Regions, UK, 1999. Design Manual for Roads and Bridges (DMRB), Volume 11, Section 3, Part 1-Air Quality.
- Gkatzoflias, D., Ntziachristos, L., Samaras, Z., 2007. COPERT 4 Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport - Users Manual, ETC/ACC (European Topic Centre on Air Air and Climate Change).
- Hong, S., Ryu, J., Gerdes, C., 2001. Road grade and vehicle parameter estimation for longitudinal control using GPS, IEEE, ITS Conference paper.
- Hu, H., Yoon, C., Lee, T., Yang, I., Sung J., 2013. Instantaneous GHG emission estimation method considering vehicle characteristics in Korea, J. Korean Soc. Transp., Vol.31, No.6, 90-105.
- Hu, H., Frey, C., Yoon, C., Yang, C., Kim, J., 2016. A study for developing a operating mode-based emission model for Korea, J. Korean Soc. Transp., in press.
- Jost, P., Hassel, D., Webber, F., Sonnborn, J., 1992. Emission and Fuel Consumption Modelling Based on Continuous Measurements. DRIVE Project V1053, TUV Rhineland, Cologne, Deliverable No. 7.
- Joumard, R., Jost, P., Hickman, J., 1995. Influence of Instantaneous Speed and Acceleration on Hot Passenger Car Emissions and Fuel Consumption, SAE Paper 950928, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pennsylvania.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2012. Development of Next Generation Equipment for Road Safety Inspection, Research Project Final Report.
- Lee, J., Choi, J. Noh, K., Hu, H., 2016. Application methodology of greenhouse gases emission table for various types of roads and vehicles, International Journal of Highway Engineering, Vol. 18, No.1, 23-31.
- Lee, T., Keel, J., Park, J., Park, Y., Hong, J., Lee, D., 2011. Speed-based emission factor regarding vehicle specific power and acceleration during on-road driving, Transactions of KSAE,

- Vol.19, No.1, 73-81. National Institute of Environmental Research, 2010. National Air Pollutant Emission Calculation Method Manual II.
- National Institute of Environmental Research, 2011, GHG-CAPSS Green House Gas Emission Calculation Method Manual.
- Park, J., Park, Y., Lee, J., 2000. Estimation of real driving fuel consumption rate of a vehicle when driving on road including grade to measure the fuel consumption rate, Transactions of KSAE, Vol. 8, No. 2, 65-76.
- Park, J., Yun, D., Sung, J., Lee, J., 2012. The Measurement of Road Alignment Using GPS-IMU System, J. Korean Soc. Transp., Vol.30, No.5, 61-69.
- Pelkmans, L., Debal, P., Hood, T., Hauser, G., Delgado, M. R., 2004. Development of a Simulation Tool to Calculate Fuel Consumption and Emissions of Vehicles Operating in Dynamic Conditions, SAE Paper 2004-01-1873, Society of Automotive Engineers.
- Rexeis, M., Hausberger, S., Riemersma, I., Tartakovsky, L., Zvirin, Y., Erwin, C., 2005. Heavy-duty Vehicle Emissions, Final Report of WP400 in ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems), University of Technology, Graz.
- Scora, G., Barth, M., 2006. Comprehensive Modal Emissions Model(CMEM), Version 3.01, User's Guide, University of California, Riverside Center for Environmental Research and Technology.
- U.S. EPA MOVES, 2010. <http://www.epa.gov/otaq/models/moves/index.htm>.
- Wipke, K., Cuddy, M., Bharathan, D., Burch, S., Johnson, V., Markel, A., Sprik, S., 1999. Advisor 2.0 : A Second-Generation Advanced Vehicle Simulator for Systems Analysis, National Renewable Energy Laboratory.
- Yun, D., Sung, J., 2014. A study of geometric data collection for vertical alignment analysis using road safety survey & analysis vehicle, Korean Society of Civil Engineers, Conference paper, 3832-3837.
- Zhang, K., Frey, C., 2005. Road Grade Estimation For On-Road Vehicle Emissions Modeling Using Lidar Data, 05-A-1137-AWMA.