

도로기하구조 조건에 따른 차량별 온실가스 배출량 산정사례 적용연구

- 맑은 날씨를 기준으로 -

Application Methodology of Greenhouse Gases Emission Table for Various Types of Roads and Vehicles

이 중 학	Lee, Jonghak	정회원 · 한국외국어대학교 차세대도시농림융합기상사업단 선임연구원 · 교신저자 (E-mail : jonghack2000@hufs.ac.kr)
최 재 성	Choi, Jaisung	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (E-mail : jaisung.choi@gmail.com)
노 관 섭	Noh, Kwansub	정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 (E-mail : ksno@kict.re.kr)
허 혜 정	Hu, Hyejung	정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구위원 (E-mail : hhu@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study aimed to offer a greenhouse gases table to assist a road designer in calculating the greenhouse gases for a road environment when making a decision about an alternative road.

METHODS : This study developed an operation mode table of greenhouse gases using the MOVES program. Similar factors for Korean vehicles and fuels are reflected in the MOVES program, which was made in the USA. Finally, a paired t-test was conducted to calculate the site data and MOVES data. Through these studies, a methodology was suggested for calculating carbon emissions based on various types of roads alignments.

RESULTS : The site results for a passenger truck on the road were statistically significant when the vehicle speed was above 65 km/h. However, a future study will consider factors for various road alignments and vehicles.

CONCLUSIONS : This study will contribute to the theoretical basis for reducing carbon emissions from roads by helping road designers make decisions about road alternatives in terms of the road environment.

Keywords

MOVES program, road alignment, greenhouse gases, carbon emission, operation mode

Corresponding Author : Lee, Jonghak
Hankuk University of Foreign Studies, Weather Information Service
Engine, 81, Oedae-ro, Mohyeon-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si,
Gyeonggi-do, 17035, Korea
Tel : +82.70.4617.4412
E-mail : jonghack2000@hufs.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Sep. 1, 2015 Revised Sep. 4, 2015 Accepted Jan. 18, 2016

1. 서론

온실가스 배출 순위 세계 10위인 우리나라는 전체 배출량 중 도로에서 16%를 차지하고 있다. 이에 따라 저탄소 녹색성장(CO₂ 배출 저감 등)에 일조하기 위한 도로설계 기술 개발이 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있다.

현재, 도로법을 포함한 도로관련법에서 도로분야의 저탄소 녹색성장에 걸맞는 환경대책과 관련한 구체적인 조항없이 도로법 제22조(도로정비 기본계획의 수립)에 “환경친화적인 도로건설 방안” 조항만 언급하고 있지만, 향후, 도로법 및 저탄소녹색성장기본법 개정, 법조항 신

설에 대한 활발한 움직임이 요구되고 있다.

도로기하구조에 따라 다르게 발생하는 탄소배출량에 관한 연구는 온실가스 감축을 위한 각종 도로교통정책 수립 및 도로분야에 대한 환경측면에서 중요한 의사결정 근거가 된다.

그러나 도로기하구조에 따라 다르게 발생하는 온실가스 배출량을 추출하기 위해서는 기술적으로 복잡하고 아직까지 연구에 제약이 많아 정확한 배출량을 산정하기가 어렵다. 특히, 현재의 기술적 수준은 주로 교통량과 차량속도 그리고 도로종단경사와 같이 일부 기하구조에만 치중되어 있는 실정이다.

따라서 도로기하구조에 따라 다르게 발생하는 온실가스 배출량에 관한 정확하고 다양한 분석을 수행하기 위해서는 온실가스 배출량표를 활용하여 다양한 도로기하구조에 적용할 수 있는 기술적 토대가 필요하다.

그러므로 본 연구의 목적은 도로설계자가 도로기하구조에 따라 다르게 발생하는 온실가스 산정을 보다 쉽고 객관적으로 수행할 수 있도록 도로기하구조상에서 발생하는 차량별 온실가스 배출량을 산정할 수 있도록 사례 적용연구를 수행하는 것이다.

2. 이론적 고찰

본 연구에서는 도로기하구조에 따라 다르게 발생하는 온실가스 산정의 관한 기술적 판단기준과 문제점을 검토하고 개선된 온실가스 산정방법론을 제안하고자 한다.

2.1. 관련 지침 검토

우리나라 한국개발연구원(2008)의 도로철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구에서는 도로기하구조 조건을 반영하지 않고 단순히 교통량과 속도에 따라서 온실가스를 반영하고 있다. 따라서 환경편익을 산정할 때 도로연장과 교통량이 같으면 온실가스 배출량의 결과가 똑같이 산정되는 문제점이 발생한다.

2.2. 온실가스 배출량 연구

Park and Rakha(2006) 및 Pablo and Long(1997)은 차량장착용 온실가스 배출장치를 활용하여 도로기하구조와 온실가스 배출량을 다룬 연구 결과를 살펴볼 때, 도로의 기하구조 조건 중에서 종단경사가 온실가스 배출량에 미치는 영향이 가장 크다는 것을 규명하였다.

Ko(2011)는 MOVES 프로그램을 활용하여 종단경사

구간에서 발생하는 차량들의 온실가스 배출량은 주로 엔진의 부하에 따른 배기가스에 해당하며 평면곡선부의 설계 변화에 따라 발생하는 차량들의 온실가스 배출량은 주로 차량의 국지적 가감속도 상황에서 발생한다는 것을 규명하였다.

2.3. 온실가스 산정 소프트웨어

현재 온실가스 배출량을 산정할 수 있는 소프트웨어로는 국내외에서 크게 3가지로 구분된다. 여기서 MOVES Software 및 시뮬레이터에 장착하는 UC-Win/Road의 ECO 드라이빙 옵션은 가상상황에서 온실가스 배출량을 산정하도록 만들어졌으며, 차량장착용 온실가스 배출장치는 차량에 장착하여 도로상에서 온실가스 배출량을 직접 수집할 수 있다.

2.3.1. MOVES Software

미국 환경부에서 개발한 MOVES(Motor Vehicle Emissions Simulator)는 차량운행모드에 따른 배출계수를 사용한다는 점인데, 차량의 미시적인 운행 조건인 초당 속도, 초당 가속도, 초당 차량 출력비(VSP; Vehicle Specific Power)에 따라 차량운행모드를 구분하고 해당되는 모드에 맞는 배출계수를 적용하여 배출량을 산정한다(EPA, 2010).

MOVES Software에서 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법은 Link Drive Schedule Mode, Link Mode, Operation Mode 등이 있다(EPA, 2010). 3가지의 MOVES 산정방법론 중에서 상세한 도로기하구조 조건 및 특정 연속류 구간을 분석하여 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 Operation Mode가 가장 적합하다.

2.3.2. UC-Win/Road의 ECO 드라이빙 옵션

본 연구에서는 차량 시뮬레이터를 활용하여 온실가스 배출량을 산정할 수 있는 실험도구에 대해서 알아보고자 한다. 이 중에서 가장 많이 쓰이는 소프트웨어는 일본에서 개발한 UC-Win/Road의 ECO 드라이빙 옵션이다. 이 소프트웨어는 주로 3차원의 가상공간을 컴퓨터에서 재현하여 도로설계 비교안의 검토 및 기술제안 등을 수행하는데 쓰이고 있다. 다만, 온실가스 배출량을 산정할 때 가감속도에 따른 함수식은 반영이 되지 않지만, 종단경사 구간에 따른 온실가스 배출량은 반영하지 못하고 있다. Eq. (1)은 주행시간에 대한 온실가스 배출량을 나타낸 것이다(大口 외 2002).

$$E = K_c(0.3T + 0.028D + 0.056 \sum_k \delta_k (v_k^2 - v_{k-1}^2)) \quad (1)$$

여기서,

E : 주행시간에 대한 온실가스 배출량(kg- CO_2)

T : 주행시간(sec)

D : 주행거리(m)

k : 속도계측점의 수

δ_k : 앞 계측점보다 속도가 클 때 1, 아니면 0

v_k : k점에서의 주행속도(m/s)

K_c : 배출계수 CO_2 0.00231kg-C / 가솔린cc,
(1999년 환경청)

2.3.3. 차량장착용 온실가스 배출장치

차량장착용 온실가스 배출장치는 도로 현장에서 차량 및 연료에 따른 온실가스 배출계수를 산정하기 위해서 쓰이고 있는 장치이다. 이 장치는 차량에 설치하여 운행 데이터를 실측하는 장치로서, 차량에 장착된 데이터 연결 케이블(DLC; Data Link Cable)로부터 분석에 필요한 많은 종류의 차량 운행데이터를 통해서 온실가스를 직접 측정하는 장치이다. 또한 이 소프트웨어에서 도로 기하구조에 대한 정보는 위치파악시스템(GPS; Global Positioning System)을 통해서 측정하며 연료소모량은 연료유량센서로 측정한다. 이때 데이터 연결케이블을 통해서 차량별로 차속, 엔진 회전수, 가속페달, 냉각수 온도, 연료소모량 등을 분석할 수 있다.

지금까지 우리나라에서는 차량운행과 연료소비량에 따른 온실가스 배출계수를 산정하기 위해서 많은 비용과 시간을 소모하고 있다. 그러나 도로 기하구조에 따른 온실가스 배출계수 연구는 공식적으로 수행하지 않고 있다. 그러다보니 현재까지의 온실가스 배출장치는 도로 기하구조에 따른 온실가스를 배출하도록 만들어진 것이 아니라 단순히 차종별 평균주행속도에 따른 온실가스 배출량을 산정할 수 있도록 제작되었다.

2.4. 소결 및 시사점

문헌검토 결과, 기존 연구에서는 단순히 차종과 속도에 따라서 온실가스 배출량을 산정하였기 때문에 두 노선의 연장 및 예측 교통량이 같다면 배출결과가 똑같이 나타나는 문제점이 발생하고 있다. 또한, 지금까지의 온실가스 배출기술은 주로 국지적인 구간인 교통량과 차량속도 그리고 종단경사에만 치중하였기 때문에 다양한

도로기하구조 조건에 따른 온실가스 배출량을 산정하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 종단경사 등 다양한 도로 기하구조 조건을 고려해서 온실가스 배출량을 산정할 수 있는데 중점을 두었다. 이러한 측면에서 본 연구는 초단위로 차량의 속도, 가감속도, 교통량과 차량속도 그리고 종단경사 등을 반영하여 온실가스를 산정할 수 있는 MOVES Software를 활용할 수 있는 방안에 대해서 검토하였다.

3. 실험 및 분석

3.1. 수집자료 개요

MOVES Operation Mode 배출량표는 한국건설기술연구원 도로연구실의 협조를 받아서 수집된 자료이다. 수집된 자료는 국가 R&D 사업인 '탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발' 과제에서 쓰였던 자료를 공유한 것으로서 본 연구에 적용하였을 때의 장단점 및 부합성 등을 종합적으로 고려하였다.

- 수집일자 : 2013년 2월 15일
- 협조기관 : 한국건설기술연구원 도로연구실
- 수집자료 : Operation Mode 온실가스 배출량표

3.2. 배출량표 적용방법

3.2.1. 차종별 비교 및 정산

국립환경과학원에서 제시하고 있는 차종별 온실가스 배출계수와 MOVES에서 사용되는 차종별 배출계수는 차이점이 있다. 따라서 MOVES Software에 우리나라의 조건에 맞는 차종 및 속도별 배출량을 선정하는 작업이 필요하다. 한편, MOVES Software에서 제공하는 차량과 비교하기 위한 국내차량은 승용차, 버스, 소형화물차, 중형화물차, 대형화물차로 선정하였다.

미국 MOVES Software에서 제공되는 온실가스 배출함수를 산정하기 위한 차량의 종류는 Passenger Car, School Bus, Passenger Truck, Combination Short haul Truck 등이 있다. 여기서, 차량별 대기오염물질의 배출계수는 생산년도에 따라 값에 차이가 크다. 현재 우리나라 2011년 기준 등록차는 1991년 이후 차량이 대부분이며, 1991~2011년의 에너지 소비량의 배출계수는 연도별 편차가 크지 않으므로 평균값을 사용하였다. Table 1은 MOVES 제공차량 정보이다.

Table 1. Vehicle Information of MOVES

ID	Fuel	Engine tech	Model year	Regulatory class
20	Gasoline	Internal-combustion engine	1991~2011	Light duty vehicle (20) (Passenger car)
30	Diesel	Internal-combustion engine	1991~2011	Light duty trucks (30) (Passenger truck)
46	Diesel	Internal-combustion engine	1991~2011	Medium heavy duty (46) (Combination short haul truck)
48	Diesel	Internal-combustion engine	1991~2011	Urban buses (48) (School bus)

본 연구에서는 MOVES에서 제공되는 차량과 우리나라 차량을 같은 차종끼리 분류하였다. MOVES 제공 차량과 우리나라 차량을 분류하면 승용차는 Passenger Car, 버스는 School Bus, 중형화물은 Passenger Truck, 대형 화물은 Combination Short Haul Truck 이다.

3.2.2. 연료 비교 및 정산

연료(휘발유, 경유)의 경우는 우리나라에서 적용되는

Table 2. Korean Gasoline Content Standard

Item	Korea ('09.1.1)	International
Sulfur(ppm)	10 below	10 below
AromaticCompounds (volume %)	24(21) below	25 below
Benzene (volume %)	0.7 below	0.8 below
Olefin(volume %)	16(19) below	6 below
Steam pressure (kPa, 37.8°C)	60 below	46 below
90% Leak temperature(°C)	170 below	152 below

<http://www.me.go.kr/mamo/>

Table 3. Korean Diesel Content Standard

Item	Korea ('09.1.1)	International
Sulfur(ppm)	10 below	10 below
Density@15°C(kg/m³)	815~835	820~840
Polycyclic aromatic hydrocarbon(weight %)	5 below	2 below
lubrication(µm)	400 below	400 below
AromaticCompounds (weight %)	30 below	15 below
cetane	52 above	48 above

<http://www.me.go.kr/mamo/>

값을 확인하여 대체할 수 있다. Table 2 및 Table 3은 우리나라 연료의 함량 기준 정보를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 MOVES Software에서 제공되는 연료 중에서 우리나라의 증기압, 황함량, 산소함량, 방향족함량, 올레핀함량, 바이오디젤함량, 세탄지수, 다고리 방향족함량, 90% 유출온도 기준에 부합하는 연료종류를 Table 4와 같이 선정하였다.

Table 4. Results of MOVES Fuel Type for This Study

Fuel ID	Fuel mark ID	Oxidation	Carbon contents
10(Conventional gasoline)	4271	1	0.0196
20(Conventional diesel)	20011	1	0.02

3.2.3. Operation Mode 온실가스 배출량표 작성

Table 5는 날씨 조건이 맑음일 때에 Operation Mode 온실가스 배출량표 및 결과를 나타낸 것이다. 온실가스 배출량이 가장 큰 차종은 중대형트럭과 버스로

Table 5. Green House Gases Table of Operation Mode

(unit : g/sec)

Op mode ID	Passenger car	Passenger truck	Combination short haul Truck	School bus
0	0.99	1.79	4.43	4.43
1	0.89	1.33	2.18	2.18
11	1.39	1.99	2.93	2.93
12	1.88	2.63	8.52	8.52
13	2.72	4.31	15.61	15.61
14	3.48	5.98	22.78	22.78
15	4.22	7.60	28.80	28.80
16	5.22	10.19	39.62	39.62
21	1.82	2.44	2.36	2.36
22	2.15	3.06	10.95	10.95
23	2.69	4.51	18.16	18.16
24	3.49	6.21	26.29	26.29
25	4.55	7.91	33.81	33.81
27	6.01	10.90	46.70	46.70
28	8.09	14.28	65.38	65.38
29	11.08	19.13	84.06	84.06
30	13.89	20.81	102.73	102.73
33	2.72	4.67	9.74	9.74
35	4.34	7.36	29.80	29.80
37	5.65	10.19	46.64	46.64
38	7.36	12.58	65.29	65.29
39	9.81	15.52	83.94	83.94
40	12.52	20.21	102.60	102.60

나타났으며 다음은 소형트럭과 승용차 순으로 나타났다. 본 배출량표는 본 연구에서 온실가스를 산정하기 위한 방법으로 활용되는 표로서 차종별 가감속도 및 주행속도를 1초 단위로 적용하여 온실가스를 산정하도록 작성되었다. 1초 단위로 적용한 이유는 실제 차량의 주행속도가 연속적으로 가감속을 하기 때문에 보다 정확한 온실가스 산정을 위해 초단위로 온실가스 배출량을 산정한다.

3.3. 배출량표 정산

본 연구에서 산정한 온실가스 배출량이 국내 도로환경에 적합한지에 대한 검증절차가 필요하다. 본 연구에서는 모든 차종에 대한 자료를 수집하는 것은 어렵기 때문에 4가지 차종 중에서 소형트럭을 선정하여 통계검증을 하였다.

3.3.1. 자료수집 개요

- 수집일자 : 2013년 3월 15일
- 협조기관 : (주)허츠엔터
- 수집자료 : 도로에서 측정한 소형트럭 온실가스 배출량

Table 6. Site Test Information

Section	Items	Detailed information
Test site and day	Day	· 2011.04.09. / Pm 13:00~14:00
	Site	· Jayu-ro (Sinpyeong IC-Dongtae IC) Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea
Test condition	Vehicle type	· Hun-dai Poter2 / Manual transmission / 2009Y
	Vehicle specification	· Maximum loadage : 1,000kg · Maximum generating power : 126PS
	Weather	· Clear
	People	· Two adults
	Road	· Rural · Length : 18.5km · Design speed : 80km/h · Number of lane : Two ways 6 lanes · Median : installed · Lane width : 3.5m / lane · Pavement : asphalt
	Region	· Plane
	Traffic	· Free flow condition, when tested
	Fuel type	· Diesel

3.3.2. 자료 현황

실측자료에서는 연료소모량에 대한 값만 산정되므로 본 연구에서는 실시간 연료소모량(cc/sec)을 이산화탄

소(g/sec)로 변환하는 과정이 필요하다. 이산화탄소는 총 연료소모량에서 이산화탄소가 차지하는 비율을 나타낸다. 이산화탄소 배출계수는 환경부에서 공시하고 있으며 이산화탄소 배출계수는 연료에 따라서 차이가 있다¹⁾. 본 연구의 실험차량에서 쓰인 연료는 경유이므로 환경부에서 공시된 경유수송(육상)에 의거하여 이산화탄소 배출계수 2.62E+00(kg CO₂/L)을 적용하였다. Table 7은 종단경사에 따른 온실가스 배출량의 분포를 나타낸 것이다. 표에서 보듯이 종단경사에 따른 온실가스 분포도는 자유로 도로가 고규격화 된 곳이 많기 때문에 온실가스 분포도는 주로 평지(-1.9~1.9%)에 집중되어 있다.

수집된 온실가스 자료의 속성을 구체적으로 알아보기 위해서 그룹별로 분석을 하였다. Table 7에서 보듯이 평지에 대한 표본수가 대다수이므로 본 연구에서는 평지(-1.9~1.9%)에 대해서 가감속도별 속도에 따른 온실가스 배출량을 분석했다.

Table 7. Results of Green House Gas Emissions on Vertical Alignment of Road

Range of gradient	Num of sample	Average speed (km/h)	Average acceleration · deceleration(m/s ²)	Average CO ₂ (g/sec)
-1.9% below	17	48.7	1.05	4.9
-1.9~1.9%	1266	51.6	0.06	4.9
1.9% above	14	50.6	0.05	4.7

Table 8은 자유로 도로 구간 중에서 평지(-1.9~1.9%)에 대해서 그룹별 평균 온실가스 배출량을 분석한 것이다. 분석 결과를 살펴보면 감속일 때에는 속도에 따른 평균 온실가스 배출량의 차이는 크게 나타나지 않았지만

Table 8. Results of Green House Gas Emissions on Vertical Alignment of Road (-1.9~1.9%)

(unit : g/sec)

Section	Speed(km/h) acceleration · deceleration(m/s ²)	Speed(km/h)		
		30 below	30~60	60 above
Deceleration	0 below	3.4	3.3	4.8
Uniform	0~0.09	3.4	4.4	5.2
Acceleration	0.1 above	4.4	6.5	10.8
Num of sample		149	657	460

1) 탄소배출계수 / 연료원별 사용, <http://www.edp.or.kr/>

속도가 60km/h 이상이면서 가속일 때 평균 온실가스 배출량은 높은 수치를 나타냈다.

3.3.3. 실측값과 MOVES 값 비교

본 연구에서는 실측값과 MOVES 값을 비교하기 위해 다음과 같은 과정을 수행하였다. 또한 본 연구의 실측값과 MOVES 값의 입력값과 결과값은 Table 9와 같다.

- 실측자료 값을 MOVES 산정 과정에 반영
- VSP(Vehicle-Specific Power) 산정 및 온실가스 산정
- MOVES 산정값과 실측값 비교

Table 9. Data Classification of Site and Moves Program

Section	Detail	Site	MOVES
Input	Road alignment	Vertical	Vertical
	Vehicle year	2009	1991~2011(average)
	Vehicle type	Passenger truck	Passenger truck
	Fuel	Diesel	Diesel
	Weather	Clear	Clear
	Speed	Considered	Considered
	Accel · deceleration	Considered	Considered
Output	Result	Total fuel consumption(cc)	Total energy consumption
	Carbon calculation	CO ₂ emission coefficient* offered by Korean Environment Minister	CO ₂ =total energy×oxidation fraction×carbon content×(44/12)**
	Final result	CO ₂ (g/sec)	CO ₂ (g/sec)

주) * 2.62E+00(kg CO₂/L)

** 0.07333(44/12×0.02, MOVES의 Carbon Content)

3.3.4. 통계검증

기존 연구 검토에서 설명하였듯이 우리나라에서 온실가스 배출계수의 지속적인 보완으로 인해서 온실가스 배출계수가 보다 세분화되었다. 본 연구에서 수집된 자료는 화물소형트럭으로서 본 연구의 목적이 주행 중 도로기하구조 조건에 따른 온실가스 배출량을 구분하는 것이기 때문에 주행속도가 65km/h 이상일 때 실측값과 예측값(MOVES)을 비교 분석하였다. 본 연구에서의 검증방법은 대응표본 t-검정을 실시하였고 본 연구의 가설은 다음과 같다.

- H_0 (귀무가설) : $U_1 = U_2$
: 온실가스 배출량의 실측값과 예측값의 차이가 없다.

- H_1 (대립가설) : $U_1 \neq U_2$
: 온실가스 배출량의 실측값과 예측값의 차이가 있다.

그 결과, 온실가스 배출량에 대한 대응표본 t-검정결과, t값은 -1.428이고, 유의확률이 0.000이므로 유의수준 0.05에서 귀무가설을 채택함으로 온실가스 배출량의 실측값과 예측값은 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 65km/h 이상일 때 온실가스 배출량의 예측값은 국내 도로 조건과 같다는 결론을 내릴 수 있다. Table 10은 온실가스 배출량에 대한 대응표본 t-검정 결과이다.

Table 10. Paired t-test Result of 65km/h Above

Section	Average	Num of sample	Standard deviation	Mean square error			
Site result	5.3202	347	1.70104	.09132			
Prediction result	5.4415	347	.87301	.04687			
Average	Standard deviation	Mean square error	95% confidence interval		t-test	degree of freedom	Significant level (both)
			Lower	Upper			
-1.2133	1.58288	.08497	-2.28845	.04580	-1.428	346	.154

4. 사례 적용연구

4.1. 온실가스 배출요인도출

4.1.1. 주행속도 산정

도로기하구조에 따른 온실가스는 차량의 주행속도에 따라서 다르게 나타난다. 주행속도 예측모형은 다양하게 있지만 본 연구에서는 온실가스 배출구간이 지방부자유로 도로구간이기 때문에 Jonghak Lee(2013)의 주행속도예측모형을 적용하였다.

Table 11. Development Process of Speed Prediction Models

First author	Year	Country	Parameter
Fitzpatrick	1999	USA	Radius of curve, Vertical grade etc
Ottesen	2000	USA	Curvature change rate, Length of tangent
Jessen	2000	USA	Speed limit, Vertical grade etc
Donnell	2000	USA	Radius of curve, Vertical Grade etc
Jonghak Lee	2013	Korea	Upstream curvature change rate, Upstream length of tangent etc

4.1.2. 가감속도 산정

온실가스 배출량표가 1초단위이기 때문에 1초단위의 가감속도를 산정할 필요가 있다. 본 연구에서는 Akcelik, R의 polynomial 함수식을 활용하였다. Eq. (2)는 최종적으로 회귀분석에서 산출된 함수식으로서 t 시간에 대한 총 가감속도를 나타낸 것이다.

$$t_a = \frac{V_f - V_i}{2.08 + 0.127(V_f - V_i)^{1/2} - 0.0182V_i} \quad (2)$$

여기서,

t_a : 총 가감속도(m/s²)

V_f : 나중속도(m/s²)

V_i : 초기속도(m/s²)

4.1.3. 기하구조별 온실가스 산정

앞서 산출된 주행속도와 1초단위 가감속도 값은 다시 VSP(Vehicle-Specific Power) 산정식에 제공되어 기하구조조건(중단경사 등)에 따라서 온실가스 배출량이 산정될 수 있다. 최종적으로 VSP에서 산정된 값들은 온실가스 배출량표와 연결하여 초단위별 배출량을 구할 수 있다.

$$VSP = \frac{A_r V + BV^2 + CV^3 + MV(a + g \sin \theta)}{M} \quad (3)$$

여기서,

VSP : 시간 t일 때의 차량이 받는 힘(kW/tonne)

a_t : 가속도(m/s²)

M : 무게(tonne)

v_t : 속도(m/s)

A_r : 노면마찰저항(KW-sec/m²)

B : 차량의 회전저항(KW-sec²/m²)

C : 공기저항(KW-sec³/m³)

θ : 중단경사(°)

g : 중력가속도(9.8m/s²)

VSP를 통해서 산정된 온실가스 배출 변수들은 Fig. 1과 같이 온실가스 배출량표와 연계하여 온실가스 배출량을 도출할 수 있다. 예를 들어 주어진 1초 시간의 속도는 117(km/h)이고 VSP가 23.7일 때 Operation Mode ID

Bin 38값을 찾을 수 있다. 이 때 Bin 38에 해당하는 온실가스 배출량은 앞서 제시된 Table 5를 적용하면 7.38(g/sec)이 된다.

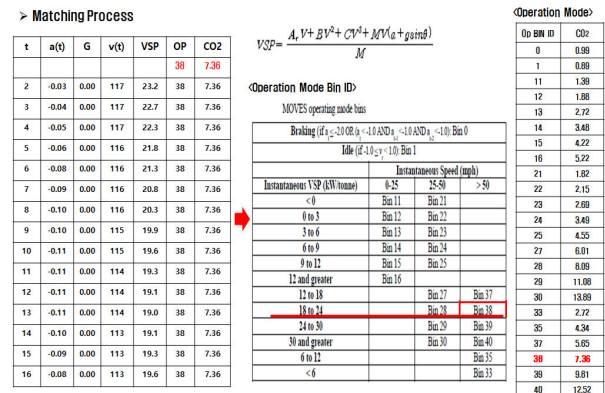


Fig. 1 Application of Operation Mode Green House Gases Table

4.2. 기존사례 적용연구

사례 적용연구에서는 도로 노선 대안별 온실가스를 산정할 때 본 연구에서 제안한 온실가스 배출산정기법을 도로설계 단계에서 어떻게 적용하고 본 연구에서 적용된 결과가 기존 연구 결과와 어떠한 차별성이 있는지를 연구하였다. 현재 도로 노선 대안 선정 시 환경비용은 단순히 차량별 속도에 따른 온실가스 비용만을 제시하고 있기 때문에 단순히 교통량과 설계속도만을 고려했다.

이러한 기술적인 한계로 교통량, 연장 및 속도만 같다면 온실가스 배출량의 결과가 똑같이 산정되는 문제점이 발생하고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위한 방안으로 기존 사례에 대한 온실가스 배출산정기법의 적용방법을 제안하였다.

4.2.1. 수집자료 개요

- 수집일자: 2013년 4월 26~30일
- 구간선택: 적금~영남간 연륙교

4.2.2. 분석방법

본 연구에서 분석하고자 하는 대상은 적금~영남간 연륙교 가설공사를 위한 도로 노선이다. 본 연구는 2가지 노선 대안에 대해서 도로 기하구조 유형에 따른 온실가스 배출량을 산정하였다. 산정방법은 앞서 제안한 온실가스 배출량 산정방법론을 토대로 대안1과 대안2에 대해서 평면곡선부와 중단경사 구간의 도로기하구조 조건에 따라 발생하는 가감속도를 반영하여 온실가스 배출량을 비교분석하였다.

Fig.2는 적금~영남간 연륙교 가설공사를 위한 도로 노선 대안 사례이다.



Fig. 2 Test Site in This Study

4.2.3. 도로 노선 대안별 온실가스 배출량 분석

본 연구는 도로 기하구조 유형별 온실가스 배출량의 차이를 알기 위한 것으로서 두 노선의 연장이 같도록 자료를 가공하였다. 또한 온실가스 배출요인은 앞서 검토된 온실가스 배출요인 단계(Eq. (2)~(3) 참조)를 거쳐 분석하였다. 교통량은 기존 자료에서 활용되었던 자료를 토대로 분석기간의 교통량을 도로개통 시기인 2010년부터 2029년까지 교통량이 적용되었다(2010년의 교통량은 총 12,326,994대).

Table 12. Alternative 1 of Road Alignment Condition

Horizontal section information		
STA(m)	Distance (m)	Curvature change rate (gon/km)
00+183	183	
00+322		139
00+441	119	
00+534		93
00+726	192	
00+895		169
01+712	817	
01+949		237
02+023	74	
Longitudinal section information		
STA(m)	Vertical grade (%)	
00+150	-4.5	
00+470	-1.3	
01+310	1.5	
01+830	0.4	
02+023	0.4	

Table 13. Alternative 2 of Road Alignment Condition

Horizontal section information		
STA(m)	Distance (m)	Curvature change rate (gon/km)
00+040	40	
00+490		168
01+660	1,170	
02+023		64
Longitudinal section information		
STA(m)	Vertical grade (%)	
00+120	5	
01+020	5	
01+780	0	
02+023	5	

본 연구에서는 도로 노선 대안별 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법으로 본 연구에서 제한한 온실가스 배출산정기법을 활용하였다. 분석결과를 살펴보면, Fig. 3~Fig. 4와 같이 대안1[4,980.93(g/trip)]의 경우보다 대안2[7,458.31(g/trip)]의 온실가스 배출량이 모든 차종에서 약 1.7배 이상 높게 나타났다. 대안2의 온실가스 배출량이 높았던 이유는 두 평면곡선부에서의 주행속도차이가 많이 나기 때문에 이에 따른 온실가스 배출량도 높게 나타났다.

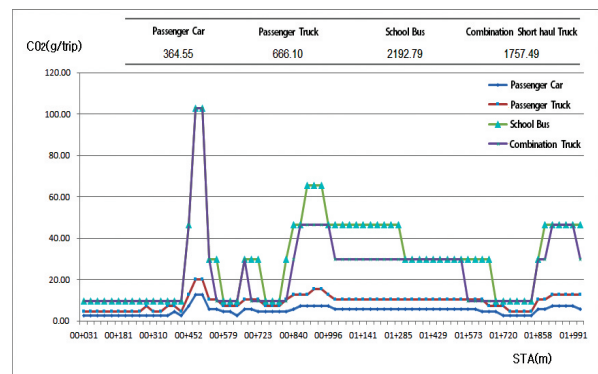


Fig. 3 Carbon Emissions from Alternative 1

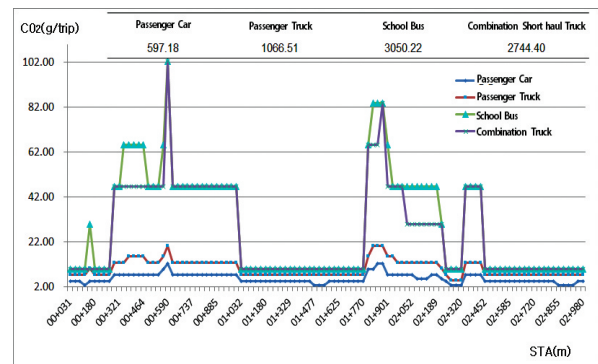


Fig. 4 Carbon Emissions from Alternative 2

기존 연구에서는 도로기하구조를 반영하지 못해서 단순히 교통량과 속도에 따라서 온실가스를 산정하기 때문에 대안1과 대안2의 결과가 똑같이 나타나는 문제점이 있었지만 본 연구에서는 도로 기하구조 조건에 따라서 도로 노선 대안별 온실가스 배출량을 산정할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구는 MOVES Software를 활용하여 우리나라 온실가스 배출 조건에 부합하는 차종, 차량의 생산년도, 연료 등이 반영된 온실가스 배출량표를 활용하여 도로 기하구조에 따라서 온실가스 배출량을 배출할 수 있는 사례 적용연구를 수행하였다.

그 결과, 기존 연구에서는 도로기하구조를 반영하지 못했거나 반영하더라도 국지적인 구간인 교통량과 차량 속도 그리고 중단경사에만 치중하였기 때문에 다양한 도로기하구조 조건에 따른 온실가스 배출량은 산정하지 못하였다. 특히, 한국개발연구원(2008)의 도로철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구에서 두 노선의 연장 및 예측 교통량이 같다면 배출결과가 똑같이 나타나는 문제점이 발생했다.

본 연구의 결과물이 기여할 수 있는 부분은 도로설계자가 본 방법론을 활용하여 환경측면에서 최적의 도로 노선 선정 시 보다 정확한 의사결정을 할 수 있도록 온실가스 배출량을 최소화할 수 있는 도로설계 대안을 제시할 수 있다는 점이다.

그러나 본 연구의 한계점 및 향후 연구로는 다음과 같다.

첫째, 검증부분에서 주로 평지구간에 제한되었고 도로폭원과 교차로 형식 그리고 곡선반경 등의 도로의 기하구조를 제대로 반영하지 못한 점이 있다.

둘째, 상습지체구간을 반영하여 온실가스 배출량을 최소화할 수 있는 대안노선 설계 시 기준값으로 적용되어야 한다.

셋째, 소형트럭은 기하구조 변화에 민감하지 않으므로 본 연구에서 적용한 값은 승용차와 같은 기준이라고 볼 수 있다. 따라서 온실가스배출이 많은 대형차를 기준으로 적용하면 온실가스 배출량의 변화를 확인할 수 있다.

마지막으로, 온실가스 배출량은 기상조건에 따라서 차이가 나기 때문에 기상상황별(비, 눈 등) 온실가스 배출량을 반영할 수 있는 기술이 개발되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 기상청 차세대도시농림융합스마트기상서비스 개발(WISE) 사업의 지원으로 수행되었습니다(KMIPA-2012-0001).

REFERENCES

- Akcelik, R. and Biggs, D. C.(1987), Acceleration Profile Models for Vehicles in Road Traffic, Transportation Science, Vol. 21, No. 1, pp.36-54.
- Akcelik, R., and Besley, M.(2001), Acceleration and Deceleration Models, 23rd Conference of Australian Institute of Transportation Research, Monash University, Melbourne, Australia.
- EPA(1999), Determination of NOx and HC Basic Emission Rates, OBD and I/M Effects for Tier1 and Later LDVs and LDTs, EPA 420-P-99-009.
- EPA(2001), MOBILE6 Estimates of Exhaust Emissions for 1994-and-later Light Duty Diesel Cars and Truck, EPA420-R-01-041.
- EPA(2010), Motor Vehicle Emission Simulator, User Guide for MOVES2010a.
- European Environment Agency(1997), COPERT II Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport Users Manual, Technical Report No. 5.
- European Environment Agency(2000), COPERT III Computer program to calculate emissions from road transport(Methodology and emission factors).
- IEA(2011), CO₂ Emissions from Fuel Combustion, 2011 Highlights.
- KID(2008), Feasibility Study Guideline of Road & Rail Sectors.
- Ko, Myunghoon(2011), Incorporating Vehicle Emission Models into the Highway Design Process, Ph.D. Dissertation, Zachry Department of Civil Engineering, Texas A&M University, College Station, Texas.
- Lee, Jonghak(2013), Evaluation of Horizontal Alignment Alternatives Based on Levels of the Greenhouse Gases, Ph.D. Dissertation, Department of Transportation Engineering, University of Seoul.
- MLIT(2013), Carbon Neutralization Technology of Road(Second Year).
- National Institute of Environmental Researcher (2009), Establishment of Climate Change Responding System(II).
- Park, S. and Rakha, H.(2006), Energy and Environmental Impacts of Roadway Grades, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1987, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D. C., pp.148-160.
- 大口・片倉・谷口(2002), 都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル, 土木學會論文集, No.695/IV-54, pp.125-136.
- 수도권대기환경청 홈페이지, <http://www.me.go.kr/>
- <http://www.edp.or.kr/lcidb/>