

도로에서 차량당 CO₂ 발생의 민감도

Analysis of CO₂ Emission Sensitivity in Roadways

이윤석 Lee, Yoon-Seok
오흥운 Oh, Heung-Un

경기대학교 공과대학 도시·교통공학과 석사과정 (E-mail: oungge@naver.com)
정희원·경기대학교 공과대학 도시·교통공학과 교수 (E-mail: ohheung@gmail.com)

ABSTRACT

PURPOSES : The sensitivity of CO₂ emissions per vehicle by a various speeds is compared according to the type of roads.

METHODS : The methodology of the study are as follows: First, the sensitivity of CO₂ emissions per vehicle are analyzed by averaged daily travel speeds. Second, the sensitivity of CO₂ emissions per vehicle are analyzed by averaged hourly travel speed. Third, the sensitivity of CO₂ emissions per vehicle are analyzed by sectional travel speeds.

RESULTS : The sensitivity that on Saturday in a week, at peak times in a day and in close location from Seoul was higher than in other situations.

CONCLUSIONS : From this study, we may conclude that CO₂ emissions per vehicle at low speeds are generally more sensitive.

Keywords

CO₂ emission, travel speed, main street type, sensitivity

Main Author : Lee, Yoon-Seok, Graduate Student
Department of Urban & Transportation Engineering College of
Engineering, Iui-dong San 94-6, Yongtong-gu, Suwon-si,
Kyonggi-do 443-760, Korea
Tel : +82.31.246.9012 Fax : +82.31.244.6300
email : oungge@naver.com

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 논문개요

차량의 CO₂ 배출량은 통행속도와 밀접한 관련이 있다. 속도에 따라 차량당 CO₂ 배출량이 다르게 나타나기 때문이다. 본 논문에서는 속도 변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도를 산출하여 간선도로로 별로 비교분석하였다. 여기서 민감도란 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출곡선의 민감도를 나타낸다.

연구의 방법론으로는 첫째, 요일별 통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교하고 민감도를 분석하

였다. 둘째, 시간대별 통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교하고 민감도를 분석하였다. 셋째, 간선도로로 세부 구간별로 평균통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교하고 민감도를 분석하였다.

분석 결과, 요일별로는 토요일이 다른 요일에 비해 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도가 높게 나타났다. 시간대 별로는 오전, 오후 침두시가 다른 시간대에 비해 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도가 높게 나타났다. 마지막으로 간선도로로 세부구간 별로는 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간에서 속도변

화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도가 높게 분석되었다. 분석결과를 통해 추론해보면 차량당 CO₂ 배출량의 민감도는 저속구간(정체구간)에서 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다.

2. 연구의 배경 및 목적

2.1. 연구의 배경

차량의 CO₂ 배출량은 통행속도와 밀접한 관련이 있다. 속도에 따라 차량당 CO₂ 배출량이 다르게 나타나기 때문이다. 본 논문에서는 속도 변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도를 산출하여 간선도로로 별로 비교분석하였다.

본 연구를 통하여 요일별, 시간대별, 세부구간별로 차량당 CO₂ 발생량의 민감도를 파악하고자 한다.

2.2. 연구의 목적

연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 요일별 CO₂ 배출량 비교 및 민감도를 분석하여 속도에 따른 CO₂ 배출 특성을 알아보는데 목적이 있다. 둘째, 시간대별 CO₂ 배출량 비교 및 민감도를 분석하여 속도에 따른 CO₂ 배출 특성을 알아보는데 목적이 있다. 셋째, 간선도로로 세부 구간별 CO₂ 배출량 비교 및 민감도를 분석하여 속도에 따른 CO₂ 배출 특성을 알아보는데 목적이 있다.

이처럼 요일별, 시간대별, 세부구간별 CO₂ 배출량의 특성을 파악하고 차량당 CO₂ 배출량과 속도와의 관계 및 민감도를 분석하는데 목적이 있다.

2.3. 연구의 범위

연구의 공간적 범위는 크게 수도권 내의 고속도로와 도시고속도로, 일반국도로 나누어 분석하였다. 연구의 범위를 도로별로 분석을 실시한 이유는 도로 유형에 따라 통행속도 등 통행특성이 다르게 나타난다. 이에 따라 각 도로별 차량당 CO₂ 배출량의 발생 특성을 비교해 보기 위해서 도로별로 분석하였다.

세부적으로는 첫째, 간선도로별 분석의 경우 고속도로로는 수도권 내의 경부고속도로(입장휴게소~한남대교), 서울외곽고속도로(통일로 IC~통일로 IC)로 선정하였다. 도시고속도로의 경우 강변북로(가양대교~토평 IC)와 올림픽대로(행주대교~암사토끼굴), 일반국도의 경우 1번국도(경기도계~자유 IC)로 선정하여 분석하였다. 간선도로별 분석은 해당 도로의 수도권 내에 해당하는 전

구간의 평균통행속도 자료를 이용하여 분석하였다.

둘째, 간선도로로 세부구간별 분석의 경우 고속도로로는 수도권 내에 해당하는 경부고속도로(서초 IC~한남대교, 안성 IC~오산 IC), 서해안고속도로(목감 IC~금천 IC, 행담도휴게소~발안 IC)로 선정하였다. 도시고속도로로는 강변북로(마포대교~동작대교), 자유로(구산 IC~장항 IC)로 선정하여 분석하였다. 일반국도의 경우 1번국도(경기도계~비전지하차도사거리, 신기사거리~박달우회도로)로 선정하여 분석하였다.

세부 구간별로 분석한 이유는 세부구간은 도로별로 서울시와의 이격에 따라 구간을 선정하였다. 이는 서울시와의 이격에 따라 통행속도에 차이가 있을 것이며 이에 따라 차량당 CO₂ 배출량의 차이가 있을 것으로 판단되었다. 따라서, 서울시와의 이격에 따른 민감도 차이를 알아보기 위해 세부구간별로 분석하였다.

2.4. 연구의 방법

연구의 방법론으로는 첫째, 요일별 통행속도를 이용하여 CO₂ 배출량을 비교하고 민감도를 분석하였다. 둘째, 시간대별 통행속도를 이용하여 CO₂ 배출량을 비교하고 민감도를 분석하였다. 셋째, 간선도로로 세부구간별로 평균통행속도를 이용하여 CO₂ 배출량을 비교하고 민감도를 분석하였다.

3. 관련문헌조사

3.1. 국내 관련문헌조사

심무경(2010)은 연료절감 및 대기환경개선 효과를 분석하는 동시에 CO₂ 배출 저감량을 산출하였다.

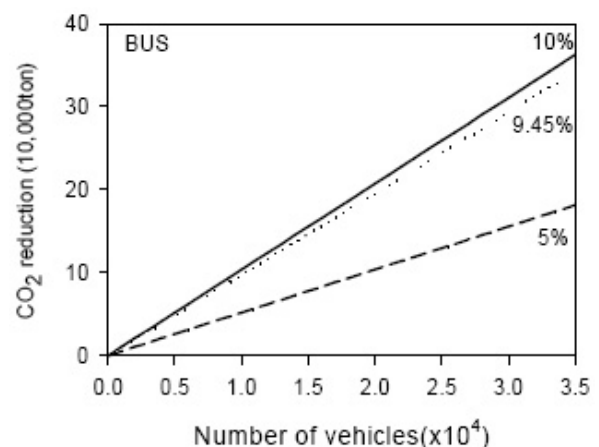


Fig. 1 CO₂ Emission Per Vehicle Reduction of the Number of Bus

연구에서 추산된 연료저감률 9.45%를 적용할 경우 버스 3.5만대에 모두 부착 시 약 34.3만톤의 CO₂가 저감될 것으로 추산된다. 이는 자동차 부문에서 배출되는 CO₂의 0.40%에 해당된다.

이처럼 국내에서도 자동차 부문에서 CO₂ 배출량을 저감시키기 위한 연구가 진행 중이다. 하지만 국외에 비해 아직은 기초단계로서 연구가 미비한 실정이다.

3.2. 국외 관련문헌조사

Alessandra(2002)는 온실가스 배출량 산정을 위한 모델을 개발하여 도로 교통의 부정적 영향을 완화하고 교통정책의 평가 척도로 사용하기 위하여 CO₂ 배출량 연구를 실시하였다.

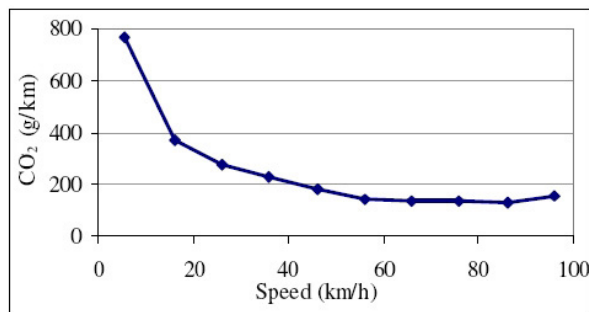


Fig. 2 CO₂ Emission Per Vehicle, According to the Travel Speed

그래프를 보면 전체적으로 L자에 가까운 U자 형태를 띄고 있다. 또한 배출량은 최대 469g/km에서 최소 125g/km까지 분포하고 있으며 평균적으로 199g/km의 배출량을 나타내고 있다. 또한, 저속구간에서 많은 CO₂가 배출되는 것을 알 수 있다.

선행연구 및 문헌고찰에서 알 수 있듯이 속도에 따라 CO₂ 배출량은 상이하게 나타난다. 이와 같은 근거자료를 통하여 도로상에서 속도에 영향을 준다고 판단되는 요일별, 시간대별, 구간별로 3개의 요소를 가정하여 속도에 따른 간선도로별 CO₂ 배출량의 추이를 파악해 보고자 한다.

4. 자료수집 및 분석방법론

4.1. 자료수집

본 연구에서 사용한 자료수집의 경우 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 차량당 CO₂ 배출량의 경우 국립환경과학원(2011)의 차량당 CO₂ 배출계수 산출식(중형-승용-휘발유)을 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 산출하였

다. 제안된 CO₂ 배출계수 산출식은 아래의 Table 1과 같다.

Table 1. CO₂ Emission Factors Formula by Vehicle Type

Vehicle Type	Fuel	Division of the Vehicle Speed	Emission Factor Calculation Formula
Light-Weight Vehicle	Gasoline	65.4km/h under	$y = 887.12x - 0.5703$
		65.4km/h over	$y = 0.9303x + 30.821$
Compact Car	Gasoline	65.4km/h under	$y = 1313.7x - 0.6$
		65.4km/h over	$y = 0.5447x + 78.746$
	Diesel	65.4km/h under	$y = 1133.1x - 0.587$
		65.4km/h over	$y = 0.6175x + 62.478$
Midsize Car	Gasoline	65.4km/h under	$y = 1555.5x - 0.578$
		65.4km/h over	$y = 0.0797x + 144.19$
	Diesel	65.4km/h under	$y = 1818.1x - 0.6643$
		65.4km/h over	$y = 0.3184x + 95.66$
	Lpg	65.4km/h under	$y = 1539.4x - 0.5748$
		65.4km/h over	$y = 0.5056x + 117.39$

둘째, 속도자료의 경우 경기도 교통정보 센터의 노선별, 구간별 평균통행속도 자료(상행기준)를 이용하였으며 2010년 10월 셋째 주의 자료를 활용하였다. 통행속도 자료 선정의 경우 피서철이나 명절 등 특수한 경우가 존재하는 계절이나 월을 피해 선정하였다. 특수한 경우가 없는 일반적인 경우로 판단하여 2010년 10월 셋째 주 자료를 활용하였다.

4.2. 분석방법론

연구의 분석 방법론으로는 첫째, 통행속도에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 변화를 알아보기 위해 민감도를 산출하여 비교하였다. 여기서 민감도란 '통행속도에 따른 차량당 CO₂ 배출곡선의 변화'로 정의하였다. 따라서, 산출된 민감도의 값이 클 수록 차량당 CO₂ 배출량이 급격하게 변화한다고 판단하여 '민감도가 크다.'고 정의하였다. 그리고 산출된 민감도의 값이 작을 수록 차량당 CO₂ 배출량이 완만하게 변화한다고 판단하여 '민감도가 작다.'고 정의하였다.

통행속도에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도의 경우 아래의 Eq. (1)과 같이 표현될 수 있다. 본 논문에서의 민감도는 통행속도에 따른 CO₂ 배출량의 민감도이기 때문에 단위를 CO₂ 배출량 단위와 동일하게 g/km/대로 정하였다(이하 단위생략).

$$\text{민감도} = \frac{\Delta \text{차량당 CO}_2 \text{ 배출량(g/km/대)}}{\Delta \text{통행속도(km/h)}} \quad (1)$$

둘째, 간선도로별로 요일별 통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교하고 민감도를 확인하였다. 요일별 통행속도의 경우 2010년 10월 셋째 주 06시~20시까지의 시간대별 통행속도의 평균을 산출하여 적용하였다.

셋째, 간선도로별로 시간대별 평균통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교하고 통행속도에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도를 확인하였다. 넷째, 간선도로 세부구간별로 평균통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교하고 통행속도에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도를 확인하였다.

간선도로 세부구간별 분석구간 선정의 경우 노선별로 서울시 경계부와의 이격거리에 따라 선정하였다. 서울 중심과 근접한 구간과 먼 구간에서 차량당 CO₂ 배출량의 추이를 비교하기 위하여 구간을 선정하여 분석하였다. 또한 간선도로 세부구간별 분석에서 사용된 평균통행속도의 경우 요일별 분석과 마찬가지로 2010년 10월 셋째 주 수요일 새벽시간을 제외한 06시~20시까지의 시간대별 통행속도의 평균을 산출하여 적용하였다.

4.3. 분석결과

4.3.1. 평균통행속도를 이용한 차량당 CO₂ 배출량의 요일별 민감도

간선도로별로 평균통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량의 요일별 민감도를 알아 보았다. 아래의 Table 2는 연구 대상별로 요일별 평균 통행속도를 나타낸다.

Table 2. Average Travel Speeds by Sections and Dairy

(단위:km/h)

Day	Gyeongbu Expressway	Seoul oegwak sunhwan Expressway	Gangbyeon Expressway	Olympic Expressway	Route 1
Mon	54	64	51	53	32
Tue	56	75	49	49	32
Wed	56	72	51	52	34
Thu	54	71	48	43	36
Fri	56	66	45	49	34
Sat	51	59	47	45	33
Sun	56	82	60	59	35

평균통행속도를 살펴보면 고속도로인 서울외곽고속도로가 평균 약 69.9km/h로 가장 높고 일반국도인 1번국

도가 평균 약 33.7km/h로 가장 낮은 것을 알 수 있다.

평균통행속도 자료를 토대로 요일별 차량당 CO₂ 배출량을 산출해 본 결과는 아래의 Table 3과 같다.

Table 3. CO₂ Emissions Per Vehicle by Highway and Days

(단위:km/h/대)

Day	Gyeongbu Expressway	Seoul oegwak sunhwan Expressway	Gangbyeon Expressway	Olympic Expressway	Route 1
Mon	155	141	160	157	210
Tue	152	150	164	164	210
Wed	152	150	160	158	203
Thu	155	150	166	164	196
Fri	152	149	172	170	203
Sat	160	147	168	172	206
Sun	152	151	146	147	199

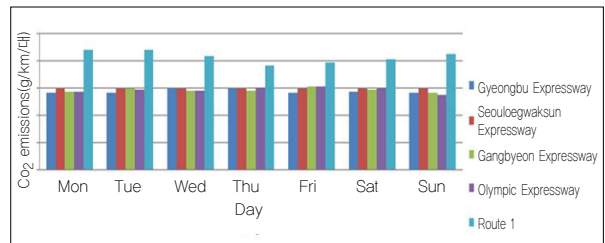


Fig. 3 CO₂ Emissions Per Vehicle by Highway and Days

차량당 CO₂ 배출량을 살펴보면 일반국도인 1번국도가 평균 약 204g/km/대로 타 간선도로의 평균에 비해 약 1.30배로 가장 높다. 그리고 고속도로인 서울외곽고속도로가 평균 약 148g/km/대로 타 간선도로의 평균에 비해 약 1.08배로 가장 낮은 수치를 보이고 있다.

차량당 CO₂ 배출량이 간선도로 중 가장 높은 1번국도의 평균통행속도를 살펴보면 33km/h로 가장 낮게 나타난다. 그리고 차량당 CO₂ 배출량이 간선도로 중 가장 낮은 서울외곽고속도의 평균통행속도를 살펴보면 70km/h로 가장 높은 통행속도를 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

위의 결과를 토대로 추론해볼 때 평균통행속도와 차량당 CO₂ 배출량은 대체적으로 반비례 형태를 띄고 있는 것을 알 수 있다.

요일별로 통행속도 평균을 산출하여 요일별 민감도를 확인한 결과 토요일에 민감도가 -2.1로 가장 민감한 요일로 나타났으며 일요일에 민감도가 -1.5로 가장 둔감한 요일로 나타났다. Table 4는 민감도를 확인하기 위해 요

일별로 산출된 평균통행속도 및 민감도이다.

Table 4. Average Travel Speed and Sensitivity (Days)

Day	Average Travel Speeds (km/h)	Sensitivity
Mon	50.8	-1.8
Tue	52.2	-1.8
Wed	53.0	-1.7
Thu	50.4	-1.9
Fri	50.0	-1.9
Sat	47.0	-2.1
Sun	58.4	-1.5

토요일에 민감도가 가장 민감하게 나타난 이유로는 주말을 이용한 여가통행이 증가하면서 정체현상이 일어난 것으로 판단되었다. 일요일에 민감도가 가장 둔감하게 나타난 이유로는 다음날 출근을 고려하여 외출을 대부분 삼가기 때문이라고 판단되었다.

4.3.2. 평균통행속도를 이용한 차량당 CO₂ 배출량의 시간대별 민감도

간선도로별로 평균통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교하고 시간대별 민감도를 확인해 보았다. 아래의 Table 5는 연구대상별로 시간대별 평균 통행속도를 나타낸다. 시간대별 평균통행속도 자료의 경우 2010년 10월 셋째 주 수요일 자료를 이용하였다.

Table 5. Average Travel Speeds by Road Type and by Hour

(단위:km/h)

Hour	Gyeongbu Expressway	Seoul oegwak sunhwan Expressway	Gangbyeon Expressway	Olympic Expressway	Route 1
00	98	101	78	79	28
01	100	102	78	79	27
02	98	101	78	79	27
03	97	100	78	79	27
04	98	100	78	79	28
05	99	100	77	78	34
06	50	71	44	45	35
07	48	59	46	42	27
08	50	59	44	44	26
09	53	80	47	48	26
10	65	73	44	44	29
11	49	50	54	59	29
12	51	71	75	74	30

13	65	77	70	56	30
14	57	51	53	56	29
15	46	74	52	55	27
16	53	71	42	56	28
17	49	68	42	48	28
18	48	58	44	44	32
19	52	70	45	47	25
20	55	69	59	46	29
21	91	73	73	75	32
22	93	79	74	76	32
23	95	99	77	78	33

시간대별 평균통행속도를 살펴보면 00시~05시까지 새벽시간대에는 1번 국도를 제외한 모든 간선도로에서 고속으로 주행하는 것을 알 수 있다. 그리고 오전, 오후 첨두시를 포함한 06시~20시까지 통행속도는 상대적으로 저속으로 주행하는 것을 알 수 있다.

Table 6. CO₂ Emissions Per Vehicle by Road Type and by Hour

(단위:km/h/대)

Hour	Gyeongbu Expressway	Seoul oegwak sunhwan Expressway	Gangbyeon Expressway	Olympic Expressway	Route 1
00	152	152	150	150	227
01	152	152	150	150	231
02	152	152	150	150	231
03	152	152	150	150	231
04	152	152	150	150	227
05	152	152	150	150	203
06	162	150	175	172	199
07	166	147	170	179	231
08	162	147	175	175	237
09	157	151	168	166	237
10	139	150	175	175	222
11	164	148	155	147	222
12	160	150	150	150	218
13	139	150	150	152	218
14	150	160	157	152	222
15	170	150	158	153	231
16	157	150	179	152	227
17	164	150	179	166	227
18	166	149	175	175	210
19	158	150	172	168	242
20	153	150	147	170	222
21	151	150	150	150	210
22	152	150	150	150	210
23	152	152	150	150	206

차량당 CO₂ 배출량을 살펴보면 일반국도인 1번 국도가 평균 약 222g/km/대로 타 간선도로의 평균에 비해

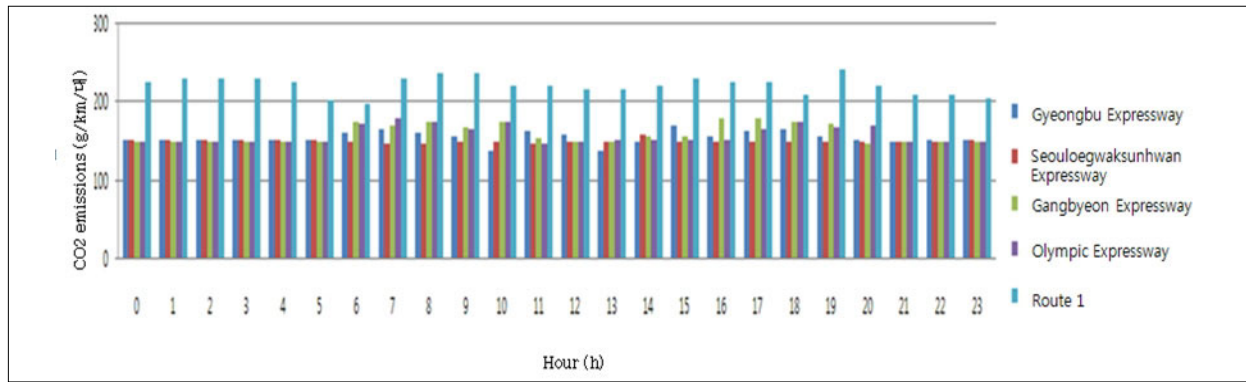


Fig. 4 CO₂ Emissions Per Vehicle by Road Type and by Hour

약 1.43배로 가장 높다. 그리고 고속도로인 서울외곽고속도로가 평균 약 150g/km/대로 타 간선도로의 평균에 비해 약 1.28배로 가장 낮은 수치를 보이고 있다.

시간대별로 민감도를 확인한 결과 00~05시까지 통행량이 많지 않은 새벽시간대에 민감도가 평균 -1.0으로 가장 둔감하게 나타났다. 07~09시, 17시~19시까지 오전, 오후 첨두시에 민감도가 평균 -2.1로 가장 민감한 시간대로 나타났다.

Table 7. Average Travel Speed and Sensitivity(Hourly)

Hour	Average Travel Speeds (km/h)	Sensitivity
00	76.8	-1.0
01	77.2	-0.9
02	76.6	-1.0
03	76.2	-1.0
04	76.6	-1.0
05	77.6	-0.9
06	49.0	-1.9
07	44.4	-2.3
08	44.6	-2.2
09	50.8	-1.8
10	51.0	-1.8
11	48.2	-2.0
12	60.2	-1.4
13	59.6	-1.4
14	49.2	-1.9
15	50.8	-1.8
16	50.0	-1.9
17	47.0	-2.1
18	45.2	-2.2
19	47.8	-2.0
20	51.6	-1.8
21	68.8	-1.1
22	70.8	-1.1
23	76.4	-1.0

이는 교통량이 많을수록 정체현상 등을 이유로 통행속도가 낮아지고 이는 차량당 CO₂ 배출량의 증가와 연관이 있다고 볼 수 있다. Table 7은 민감도를 확인하기 위해 요일별로 산출된 평균통행속도 및 민감도이다.

4.3.3. 세부구간에서 차량당 CO₂ 배출량 민감도

간선도로 종류별로 서울시 경계부와의 이격거리에 따라 세부구간을 선정하여 비교하였다. 여기서 이격거리는 서울시와 경기도 경계부와 선정된 구간의 중간지점 간의 이격거리이다. 그리고 서울시 경계부와 각 구간의 거리는 직선거리를 측정하여 적용하였다.

또한, 서울에서 가까운 구간과 먼 구간의 기준은 간선도로별로 서울시 경계부와 인접해 있는 구간과 경기도와 충청북도 경계부와 인접해 있는 구간을 선정한 것이다.

분석에 앞서 실제적으로 서울시와의 이격이 차량당 CO₂ 배출량에 영향을 미치는지 관계를 규명하기 위하여 T-검정을 실시하여 가설검정을 하였다. T-검정을 실시할 때 두 모집단을 서울시 경계부와 먼 구간의 첨두시 시간대별 차량당 CO₂ 배출량, 서울시 경계부와 가까운 구간의 첨두시 시간대별 차량당 CO₂ 배출량으로 하여 검정을 실시하였다.

Table 8. T-test Results

Section	P - Value
Gyeongbu Expressway	0.000365
Seohean Expressway	0.0000065
Gangbyeon Expressway, Free way	0.0000046
Route 1	0.043747

Table 9를 전제로 P양측 검정을 확인해 보면 유의수준이 통상적으로 5% 즉, 0.05보다 같거나 적다면 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하게 된다. Table 10은 유의확률 P값을 토대로 채택된 가설을 정리한 표이다.

Table 9. The Null Hypothesis and Alternative Hypothesis

The null hypothesis	There are no differences between the average of two populations.
The alternative hypothesis	There are differences between the average of two populations.

Table 10. Adopt the Hypothesis(Road Type)

Road Type	Gyeongbu Expressway	Seohean Expressway	Gangbyeon Expressway, Free way	Route 1
Adopt the Hypothesis	Opposition	Opposition	Opposition	Opposition

가설을 확인한 결과 두 모집단의 평균 간의 차이는 있다는 가설인 대립가설이 4개의 도로 모두에서 채택되었다.

이는 차량당 CO₂ 배출량은 서울시 경계부와의 이격 거리에 영향을 받는다는 가설이 전체 대상구간에서 채택된 것을 의미한다.

T-검정을 통하여 서울시 경계부와의 이격과 차량당 CO₂ 배출량은 상호간의 영향을 미치는 관계임을 입증하였다.

Fig. 5~8은 간선도로 세부구간별 평균통행속도 및 차량 당 CO₂ 배출량을 나타낸다. 그림 안의 표에서 구간명 밑의 ()는 서울시 경계부와의 이격을 나타낸다.

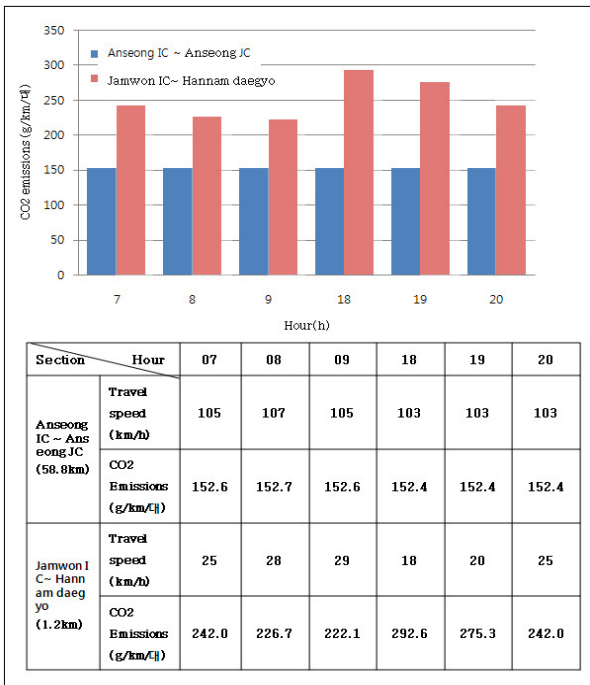


Fig. 5 In the Gyeongbu Expressway, Average Travel Speed and CO₂ Emissions Per Vehicle

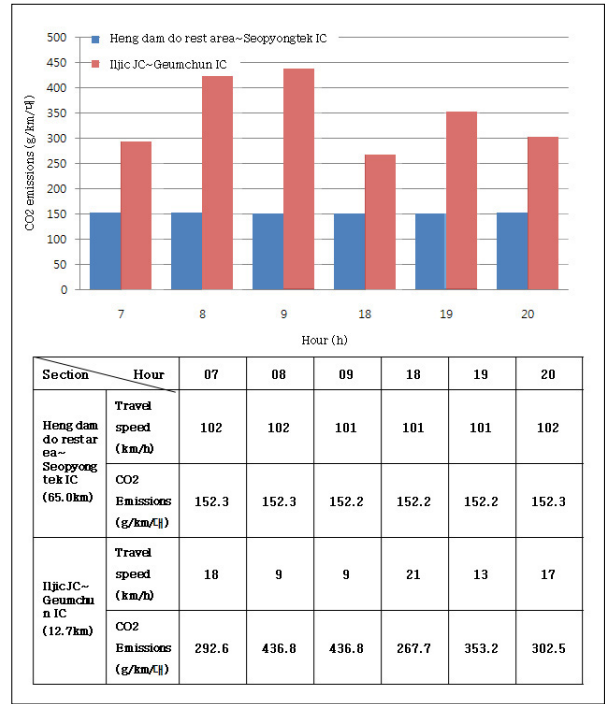


Fig. 6 In the Seohean Expressway, Average Travel Speed and CO₂ Emissions Per Vehicle

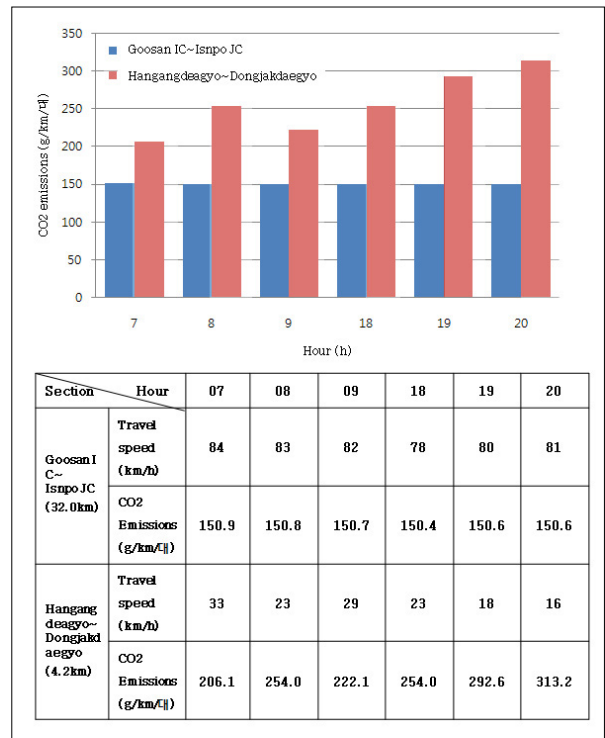


Fig. 7 In the Gangbyeon Expressway, Free Way, Average Travel Speed and CO₂ Emissions Per Vehicle

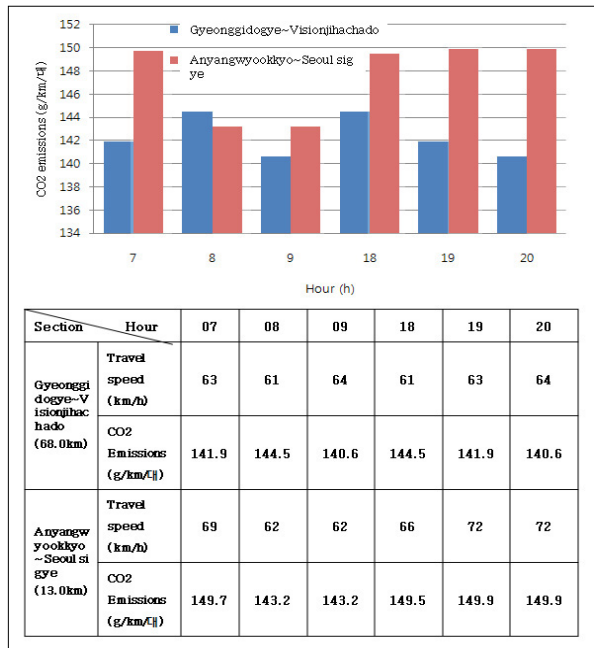


Fig. 8 In the Route 1, Average Travel Speed and CO₂ Emissions Per Vehicle

간선도로 구간별 평균통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교한 결과 1번 국도를 제외한 모든 간선도로에서 서울시 경계부와의 이격이 작을수록 차량당 CO₂ 배출량이 많아지는 것을 확인할 수 있다. 세부 구간에서 차량당 CO₂ 배출량 민감도를 분석한 결과는 Table 11~14과 같다.

Table 11. Sensitivity of CO₂ Emissions Per Vehicle According to the Travel Speed(Gyeongbu Expressway)

Section	Hour	Anseong IC ~ Anseong JC	Jamwon IC~ Hannam daegyo
Hour	07	0.08	-5.60
	08	0.08	-4.68
	09	0.08	-4.43
	18	0.08	-9.40
	19	0.08	-7.96
	20	0.08	-5.60
Average		0.08	-6.28

Table 12. Sensitivity of CO₂ Emissions Per Vehicle According to the Travel Speed(Seohean Expressway)

Section	Hour	Heng dam do rest area~Seopyongtek IC	Iljic JC~ Geumchun IC
Hour	07	0.08	-9.40
	08	0.08	-28.05
	09	0.08	-28.05
	18	0.08	-7.37
	19	0.08	-15.70
	20	0.08	-10.28
Average		0.08	-16.48

Table 13. Sensitivity of CO₂ Emissions Per Vehicle According to the Travel Speed (Gangbyeon Expressway, Free way)

Section	Hour	Goosan IC ~Isanpo JC	Hangangdaegyo ~Dongjakdaegyo
Hour	07	0.08	-3.61
	08	0.08	-6.38
	09	0.08	-4.43
	18	0.08	-6.38
	19	0.08	-9.40
	20	0.08	-11.32
Average		0.08	-6.92

Table 14. Sensitivity of CO₂ Emissions Per Vehicle According to the Travel Speed(Route 1)

Section	Hour	Gyeonggidogye ~Visionjihachado	Anyangwookkyo ~Seoul sigye
Hour	07	-1.30	0.08
	08	-1.37	-1.33
	09	-1.27	-1.33
	18	-1.37	0.08
	19	-1.30	0.08
	20	-1.27	0.08
Average		-1.31	-0.39

앞의 Table을 살펴보면 간선도로 종류별로 1번 국도를 제외한 모든 도로에서 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간에서 차량당 CO₂ 배출량 그래프의 기울기가 급변하는 것으로 나타났다. 간선도로 종류별로 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간과 큰 구간의 민감도 차이는 경부고속도로의 경우 약 78배, 서해안고속도로의 경우 약 206배 강변북로·자유로의 약 206배로 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간이 큰 구간보다 민감하게 나타났다.

1번 국도의 경우 다른 분석 대상 도로에 비해 신호 및 교차로 수 등의 다른 제약조건에 의해 통행속도가 달라질 수 있다. 그러므로 서울시 경계부와의 이격거리보다는 다른 제약조건에 의해 통행속도가 변화되기 때문이라고 판단된다.

5. 결과분석

도로에서 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 발생의 민감도를 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 요일별 평균통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교한 결과 간선도로별로는 일반국도인 1번

국도가 평균 약 204g/km/대로 가장 높고 고속도로인 서울외곽고속도로가 평균 약 148g/km/대로 가장 낮은 수치를 보이는 것을 알 수 있었다.

요일별로 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도를 확인한 결과 토요일에 민감도가 -2.1로 가장 민감한 요일로 나타났으며 일요일에 민감도가 -1.5로 가장 둔감한 요일로 나타났다. 토요일에 민감도가 가장 민감하게 나타난 이유로는 주말을 이용한 여가통행이 증가하면서 정체현상이 일어난 것으로 판단할 수 있었다. 일요일에 민감도가 가장 둔감하게 나타난 이유로는 다음날 출근을 고려하여 외출을 대부분 삼가기 때문이라고 판단할 수 있었다.

둘째, 시간대별 평균통행속도를 이용하여 차량당 CO₂ 배출량을 비교한 결과 앞선 결과와 마찬가지로 나타났다. 일반국도인 1번 국도가 평균 약 222g/km/대로 가장 높게 나타났다. 고속도로인 서울외곽고속도로가 평균 약 150g/km/대로 가장 낮은 수치를 보이는 것을 알 수 있었다.

시간대별로 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도를 확인한 결과 00~05시까지 통행량이 많지 않은 새벽시간대에 민감도가 평균 -1.0으로 가장 둔감하게 나타났다. 그리고 07~09시, 17시~19시까지 오전, 오후 첨두시에 민감도가 평균 -2.1로 가장 민감한 시간대로 나타났다.

셋째, 세부 구간에서 차량당 CO₂ 배출량을 비교한 결과 1번 국도를 제외한 모든 도로에서 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간에서 더 많은 차량당 CO₂가 배출되는 것을 알 수 있었다.

세부구간에서 차량당 CO₂ 배출량을 비교한 결과 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간에서 큰 구간보다 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도가 더 높게 분석되는 것을 알 수 있었다. 간선도로 종류별로 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간과 큰 구간의 통행속도에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 민감도 차이는 경부고속도로의 경우 약 78배, 서해안고속도로의 경우 약 206배 강변북로·자유로의 경우 약 206배로 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간이 큰 구간보다 민감하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

6. 결론

도로에서 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 발생의 민감도를 분석한 결론은 다음과 같다.

속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 요일별 민감도를 살펴본 결과 토요일에 민감도가 가장 민감하게 나타났고 일요일에 민감도가 가장 둔감하게 나타났다. 그리고 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 시간대별 민감도를 살펴본 결과 오전, 오후 첨두시에 민감도가 가장 민감하게 나타났고 00~05시까지 새벽시간대에 민감도가 가장 둔감하게 나타났다. 마지막으로 속도변화에 따른 차량당 CO₂ 배출량의 세부구간별 민감도를 살펴본 결과 서울시 경계부와의 이격이 작은 구간에서 민감도가 민감하게 나타났고 서울시 경계부와의 이격이 큰 구간에서 민감도가 둔감하게 나타났다.

앞의 결론을 통해 추론해 보았을 때 차량당 CO₂ 배출량의 민감도는 저속구간(정체구간)에서 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었다.

본 연구의 한계점 및 향후 연구과제는 다음과 같다.

본 연구는 통행속도 자료를 활용하여 차량당 CO₂ 배출량을 산출하였다. 하지만 통행속도 자료가 2010년 10월 셋째 주로 국한되어 분석된 것이 한계점이다. 향후에는 계절별이나 월별, 년단위로 다양한 속도자료를 활용하여 분석하여 신뢰도를 높여 연구하는 것이 향후에 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이와 더불어 경제운전 도로 구축에 기반이 되는 연구로서 수행되어야 할 것으로 판단된다.

현재 국내의 도로에서 CO₂ 배출량 관련연구는 미비한 편이다. 본 논문을 통해 도로형태별로 CO₂ 배출량이 다르게 나타나며 요일별, 시간대별, 세부구간별로도 CO₂ 배출량의 차이가 다른 것을 확인하였다. CO₂ 배출량이 민감하게 반응하는 특성을 반영하여 도로설계 시 CO₂ 저감형 도로를 구축하는데 초석이 될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학기술재단의 연구지원프로그램으로 지원받았습니다(연구과제 관리코드: AE0207).

References

- Alessandra, C., 2002, Modeling Traffic Flow Emission, Master of Science in Transportation, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Barth, M., Kanok, B., 2009, Traffic Congestion and Greenhouse Gases, Transportation Research at the University of California, Access 35, 2-9.

- Haworth, N., Symmons, M., 2001, *The Relationship Between Fuel Economy and Safety Outcomes*, Monash University.
- Hesham, R., Ahn, K. H., Ihan, E. S. and Jang, S. B., 2003, Emission Model Development Using In-vehicle On-road Emission Measurement, *Transportation Research Board*.
- Ihab, E. S., 2005, Comparative Field Evaluation of vehicle Cruise Speed and Acceleration Level Impacts On Hot Stabilized Emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.
- Kuhlwein, J., 2000, *Uncertainties of Modeling Emissions From Road Transport*, Friedrich Atmospheric Environment.
- Kyonggi traffic information center, 2010, *Route Statistics*.
- Korea Transportation Research, 2001, *Highway Capacity Manual*.
- National Institute of Environmental Research, 2001, *Survey of Greenhouse Gas Emissions of Cars*.
- Sim moo-kyung, 2010, *Study on Air Quality Enhancement and CO₂ Reduction with Analyzing Idling Stop of Vehicles*, Gangwon University.
- (접수일 : 2012. 5. 24 / 심사일 : 2012. 5. 30 / 심사완료일 : 2012. 8. 24)