

차량 가속특성에 따른 이산화탄소(CO₂) 배출량 비교

CO₂ Emission Considering Condition of Vehicle Acceleration

주진윤 Joo, Jin Yun | 경기대학교 도시·교통공학과 학사과정 (E-mail : joo9011@nate.com)
오흥운 Oh, Heung Un | 정회원·경기대학교 도시·교통공학과 교수·교신저자 (E-mail : ohheung@gmail.com)

ABSTRACT

PURPOSES : The present study aims to evaluate the added CO₂ emissions incurred from accelerating operation when to increase the speed up to the allowed level.

METHODS : The methodology used are basically the relationship between emission rates and vehicle speeds or acceleration rate. These rates together are used to calculate the added CO₂ emissions incurred from accelerating operation.

RESULTS : It was resulted that the all the emission rates are increasing proportionally to vehicle speeds or acceleration rates. Additionally, it was also resulted that allowable speeds increasing, the added emission rates are increasing rapidly.

CONCLUSIONS : It may be concluded that if the allowable speed ranges are managed, CO₂ emissions during vehicle operation are much reduced. From this reason, it was found that the allowable speed during highway design and operation would be much necessary

Keywords

emission rates, acceleration rate, added CO₂ emission, Scale-Factor

Corresponding Author : Oh, Heung-Un, Professor
Department of Urban & Transportation Engineering College of Engineering, Kyonggi University. 154-42, Gwanggyosan-ro, Yongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 443-760, Korea
Tel : +82.31.249.9742 Fax : +82.31.244.6300
E-mail : ohheung@gmail.com

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Mar. 10, 2015 Revised Mar. 11, 2015 Accepted Mar. 17, 2015

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

지구온난화로 인한 대응방안으로 1995년에 시작된 유엔기후변화협약에 따라 유럽연합을 비롯한 여러 선진국들은 온실가스 감축목표를 정하여 감축하도록 하고 있다. 우리나라도 2009년에 2020년까지 온실가스 배출전망 대비 30% 감축이라는 중기 국가 온실가스 감축 목표를 발표하였다. 이에 따라 우리나라는 지속가능한 토지이용과 친환경적인 교통체계를 구축하기 위해 녹색교통운동과 저탄소녹색성장기본법을 발의하였으며 온실가스 감소를 위한 정책과 연구활동에 따른 대안들이

제시되고 있다.

온실가스는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)로 정의되고 있다. 자동차에서 배출되는 이산화탄소(CO₂)는 온실가스 중에서도 인위적 요인에 의해 가장 많이 발생하는 물질이다. 주행차량들의 이산화탄소(CO₂) 배출로 인해 도로인근 거주자들은 오염된 공기에 노출되어있으며 그로인한 호흡기질환 등의 건강문제가 발생하고 있다. 현대인의 건강과 친환경적인 교통체계를 구축하기 위해서는 차량의 이산화탄소(CO₂) 배출량을 감소시킬 수 있는 방안이 필요하다.

차량의 이산화탄소(CO₂) 배출량은 도로의 선형 및 구배에 따라 달라진다. 또한 동일한 도로구간에서도 차량의 가속도, 가속빈도, 가속거리 등 연료소비량에 따라 달라진다. 현재 석유를 주요 에너지원으로 하는 도로환경에서 연료소비량을 고려한 도로 기하구조설계는 석유 소비의 효율성 및 이산화탄소(CO₂) 배출 측면에서 상당히 바람직하다고 할 수 있다(Kang et al, 2013).

이에 따라 본 연구에서는 도로의 기하구조 중에서도 직선 가속허용구간에서 가속에 따른 이산화탄소(CO₂) 할증계수원리를 통하여 차량의 가속도별 이산화탄소(CO₂) 배출량을 비교하고자 한다. 차량 속도증가허용률에 따른 가속 시 누적 이산화탄소(CO₂) 배출량을 비교하고자 한다. 이에 더하여 차량 속도증가허용률에 따라 무가속 시와 비교해 가속 시 추가적인 이산화탄소(CO₂) 배출량을 분석하고자 한다.

이를 통해 가속에 따라 이산화탄소 발생이 증가한다는 일반적인 사실을 초기속도와 속도증가 변수에 따라 정량적으로 검증하고자 한다. 본 연구를 통해 추후 직선 가속허용구간의 적정 가속길이를 산출하기 위한 기초자료로 활용할 것이다.

1.2. 연구 수행과정

본 연구는 가속도에 따른 할증계수를 산정하여 가속도 변화에 따른 이산화탄소(CO₂) 배출량 변화를 비교하였다. 또한, 속도증가허용률에 따른 무가속 시와 가속 시 이산화탄소(CO₂) 배출량과 가속 시 추가된 배출량을 비교·분석하였다. 연구수행과정은 다음과 같다. 첫째, 선행연구검토를 통해 가속에 따른 이산화탄소(CO₂) 할증계수의 원리를 검토하였다. 둘째, 가속도에 따른 총 이산화탄소(CO₂) 배출량을 분석하였다. 셋째, 가속 시 총 이산화탄소(CO₂) 배출량을 분석하였다. 넷째, 무가속 시와 비교해 가속 시 추가된 이산화탄소(CO₂) 배출량 변화를 분석하였다.

2. 선행연구 검토

2.1. 차량 이산화탄소 배출관련 연구

이산화탄소(CO₂) 배출량 연구에 대한 논문을 검토하였다. 검토결과 차량의 탄소가스 발생량의 영향요인으로 차량속도, 도로 기하구조, 차량의 가속정도 등이 있었다. 또한, 검토한 논문들을 통하여 가속에 따른 탄소가스 발생량 간에는 밀접한 관계가 있음을 검증하였다. 탄소가스와 관련된 논문은 다음과 같다.

Irene(2007)은 차량의 연료소비는 이산화탄소(CO₂) 배출량과 관련이 있음을 제시하였다. 결과적으로 가속도 값이 증가할수록 이산화탄소(CO₂) 발생량도 증가하는 비례관계임을 알 수 있다.

Kang et al(2013)은 차량 연료효율성을 계산적인 측정방법으로 도출하고자 하였다. 분석방법으로써 차량의 가속정도를 영향요인으로 한 자체적인 연료소비량 모형을 개발하는 방법을 이용하였으며, 이를 이용하여 도로 기하구조별 연료소비량 그래프를 도출하였다. 결론으로써 차량의 탄소가스 배출량은 주행 시 연료소비량의 정도에 영향을 받는다고 하였으며, 친환경 도로는 연료소비량을 효율적으로 고려한 기하구조를 지니는 것이 바람직하다고 제시하였다.

Bokare and Maurya(2013)은 경차량의 속도, 가·감속에 따른 탄소가스 배출량을 연구하였다. 분석방법으로써 실험차량 주행방법을 이용하여 주행 시 배출되는 탄소가스를 탄소배출량 측정 프로그램을 이용하여 측정하였다. 분석결과 차량의 탄소가스는 가속도가 비슷할 때 차량의 속도에 따라 민감하게 발생량이 변화하는 것으로 나타났다. 또한 감속 시에는 가속 시보다 탄소가스 배출량에 영향을 주지 않는다고 제시하였다.

Rakha and Ding(2003)은 자동차의 정지횟수가 연료소비량과 탄소배출량에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 분석방법으로써 실험차량 주행방법을 이용하여 주행 시 배출되는 탄소배출량 측정 프로그램을 이용하였으며, 분석결과로서 탄소가스 배출량은 자동차의 정지횟수보다 주행속도수준에 따라 상당히 민감하였다는 것을 나타냈다. 또한, 차량의 탄소배출량은 차량의 가·감속 정도에 따라 민감하다는 것을 나타냈다. 결론으로써 자동차의 정지를 위한 교통시설물을 적절히 도입하여 운전자로 하여금 가·감속을 최소화 시킨다면 탄소배출량을 줄일 수 있다고 제시하였다.

2.2. 선행연구의 시사점

선행연구검토를 통한 시사점은 다음과 같다.

Irene(2007)은 차량의 가속도 값이 증가함에 따른 연료소비량 변화 그래프를 통해 가속도 값에 따른 이산화탄소 할증계수를 제시하였다. 이는 본 연구에서 가속 시 이산화탄소 배출량을 구하기 위한 기본 검토사항으로 사용될 것으로 판단된다.

Kang et al(2013)은 차량의 연료소비량과 가감속정도를 비교·분석하여 탄소가스 배출량에 대한 연구결과

를 제시하였다. 이는 탄소가스 감소를 위한 효율적인 연료소비를 조력하는 도로의 기하구조를 고려한 목적방법론을 설계하는데 응용되어 질 수 있을 것으로 판단된다.

Rakha and Ding(2013)은 자동차의 탄소가스 배출량이 정지횡수보다 주행속도 수준에 민감하다는 것을 제시함으로써, 탄소가스 감소를 위하여 정지유도 시설물을 배치하는 방법론보다 선형의 변화와 같은 기하구조 기준제시를 하는 방법론을 설계하는데 응용되어 질 수 있을 것으로 판단된다.

2.3. 연구의 차별성

본 연구는 할증계수원리를 이용하여 가속도 변화에 따른 이산화탄소(CO₂) 배출량 변화를 비교하였다. 또한, 속도증가 허용률에 따른 가속 시와 무가속 시 누적 이산화탄소(CO₂) 배출량을 구하고 차량의 가속 시 이산화탄소(CO₂) 추가배출량 분석을 하였다.

3. 자료수집

3.1. 속도에 따른 이산화탄소 배출계수원리

국립환경과학원(2011)에서 제시한 차종, 연료, 차속에 따른 이산화탄소(CO₂) 배출계수 산출식(Table 1.)을 이용하여 차량속도에 따른 이산화탄소(CO₂) 배출량을 산출하였다. 본 연구에서는 국내에 가장 많이 주행되는 차종으로 승용-소형-휘발유의 속도에 따른 이산화탄소(CO₂) 배출량을 산출하였다. Fig. 1은 위 산출식으로 구한 속도에 따른 이산화탄소(CO₂) 배출계수를 그래프로 나타낸 것이다.

Table 1. CO₂ Emission Factors Formula by Vehicle Type

Vehicle type	Fuel	Vehicle speed	Coefficient Equation	Remarks
C a r	Light-weight	Gasoline	65.4km/h under $y=887.12x^{0.5703}$	choice
		Gasoline	65.4km/h over $y=0.9303x + 30.821$	
	Compact	Gasoline	65.4km/h under $y=1313.7x^{0.6}$	
		Gasoline	65.4km/h over $y=0.5447x + 78.746$	
	Midsize	Dessel	65.4km/h under $y=1133.1x^{0.587}$	
			65.4km/h over $y=0.6175x + 62.478$	
Midsize	Gasoline	65.4km/h under $y=1555.5x^{0.578}$		
		65.4km/h over $y=0.0797x + 144.19$		
	Dessel	65.4km/h under $y=1818.1x^{0.6643}$		
		65.4km/h over $y=0.3184x + 95.66$		

※ National institute of environmental research, 2011

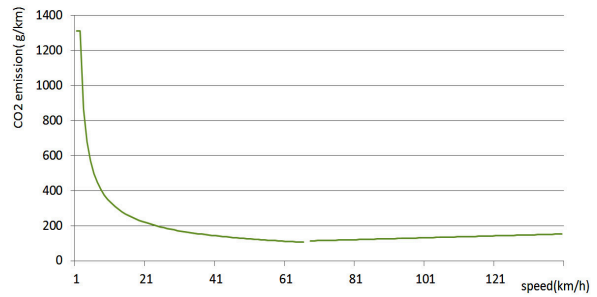


Fig. 1 CO₂ Emissions by the Vehicle Speed

3.2. 가속도 변화에 따른 이산화탄소 할증계수원리

3.2.1. 가속도에 따른 연료소비 증가에 관한 연구 검토

Irene(2007)의 가속도에 따른 연료소비 증가에 관한 연구를 보면 자동차의 이산화탄소 배출량은 연료소비량과 관계가 있다고 제시하고 있다. Fig. 2는 Irene(2007)이 제시한 가속도-연료소비 그래프이다. 가속도가 증가함에 따라 연료소비량도 늘어나고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 Irene(2007)는 가속도에 의한 이산화탄소 할증계수를 제시하였다. 여기서 이산화탄소 할증계수는 가속도 0.5m/s²를 기준으로 가속 시 연료소비량(약 7.2)과 무가속시 연료소비량(약 5.0)을 이용하여 0.44의 할증계수를 도출하였다. 이를 이용한 이산화탄소 할증계수 산정식은 다음 Eq. (1)과 같다.

$$CO_2 \text{ scale factor}(k) = \frac{\text{Fuel consumption under non accelerated condition} - \text{Fuel consumption under accelerated condition}}{\text{Fuel consumption under non accelerated condition}} \quad (1)$$

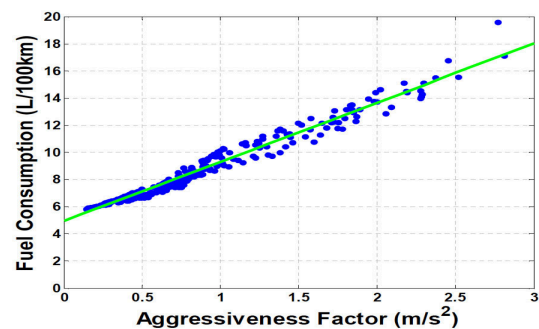


Fig. 2 Fuel Consumption Versus Aggressiveness Factor (Irene, 2007)

3.2.2. 도로 기하구조별 평균가속도 값 검토

본 연구에서는 가속 시에 따른 이산화탄소(CO₂) 배출량 비교를 위한 적정가속도 값을 선정하였다. Table 2는 미연방교통부가 도로 기하구조 조건별 차량 적정 가속도의 평균값을 제시한 것이다. 여기서 도로의 직선

구간에서는 도로설계 정도에 따라 평균 가속도 값이 0.54~1.25m/s²으로 제시되어 있다.

Table 2. Deceleration and Acceleration Rates

Deceleration Rate, d(m/s ²)	Alignment Condition	Acceleration Rate, a(m/s ²)
Speed Profile		
Radius R(m)	d	Radius R(m) a
R > 436	0,00	R > 875 0,00
175 < R < 436	0,6794 - $\frac{295,14}{R}$	436 < R < 875 0,21
R < 175	1,00	250 < R < 436 0,43
		175 < R < 250 0,54
1,00	5	Horizontal Curve Combined With Sag Vertical Curve
(use rates for Alignment Conditions 1 through 4)	6	Horizontal Curve Combined With Non-Limited Sight-Distance Vertical Curve (use rates for Alignment Conditions 1 through 4)
1,00	7	Horizontal Curve Combined With Limited Sight-Distance Crest Vertical Curve (i.e., K < 43m%)
n/a	8	Sag Vertical Curve on Horizontal Tangent
n/a	9	Vertical Crest Curve With Non-Limited Sight Distance(i.e., K > 43m%) on Horizontal Tangent
1,00	10	Vertical Crest Curve With Limited Sight Distance (i.e., K < 43m%) on Horizontal Tangent

where : K = rate of vertical curvature, G = grade(%)

Design Consistency (All Alignment Conditions)

1,00 to 1,48	Good Design	0,54 to 0,89
1,48 to 2,00	Fair Design	0,89 to 1,25
> 2,00	Poor Design	> 1,25

※ U.S DOT, 2000

3.2.3. 가속도별 이산화탄소 할증계수 산정

위의 Fig. 2에서는 가속도(a) 증가에 따라 연료소비량이 증가하며 그에 따른 이산화탄소 할증계수를 구할 수 있었다. Table 2에서는 도로의 직선구간에서 세가지 평균 가속도(a) 0.54m/s², 0.89m/s², 1.25m/s²을 제시하였으며 이에 대한 할증계수를 Table 3에서 산정하였다.

Table 3. Scale-Factor by Acceleration

Acceleration (a)	CO ₂ Scale-Factor(k)	Rate
0.54(m/s ²)	0.04:(x-2.2)=2.5:10.8, x=2.37 k = 2.37/5=0.47	47%
0.89(m/s ²)	0.39:(x-2.2)=2.5:10.8, x=3.88 k = 3.88/5=0.78	78%
1.25(m/s ²)	0.75:(x-2.2)=2.5:10.8, x=5.44 k = 5.44/5=1.09	109%

3.2.4. 가속 시 CO₂ 할증계수(k) 적용 비교·분석

가속도에 따른 할증계수(k)로 Table 3의 값을 사용하여 이산화탄소(CO₂) 배출량 변화를 비교하였다. 가속에 따른 속도증가허용률은 초기속도 대비 5%를 기준으로 하였다. 초기속도 대비 5%의 속도 증가까지 이동한 거리에 대한 이산화탄소(CO₂) 총배출량은 Eq. (2)을 이용하였다.

$$T_{CO_2} = \frac{[(1+k) \times (CO_2^v + CO_2^{v_{5\%}})] \times S_a}{2} \quad (2)$$

여기서, T_{CO_2} = 총 CO₂ 배출량, (g)

k = CO₂ 할증계수

CO_2^v = v 에서 CO₂ 배출량, (g/km)

v = 초기속도, (km/h)

$CO_2^{v_{5\%}}$ = $v_{5\%}$ 에서 CO₂ 배출량, (g/km)

$v_{5\%}$ = 초기속도대비 5% 증가된 속도

= $v + v \times 0.05$, (km/h)

S_a = 가속도 a 일때 이동거리, (km)

(a : 0.54m/s², 0.89m/s², 1.25m/s²)

Table 4는 Eq. (2)을 이용하여 구한 가속도별 이산화탄소(CO₂) 배출량을 산출한 결과를 나타낸 표이다.

비교결과, 가속도(a)와 할증계수(k) 비례관계에 있으며, 가속도가 증가될수록 이산화탄소(CO₂) 배출량도 증가하는 것으로 나타났다.

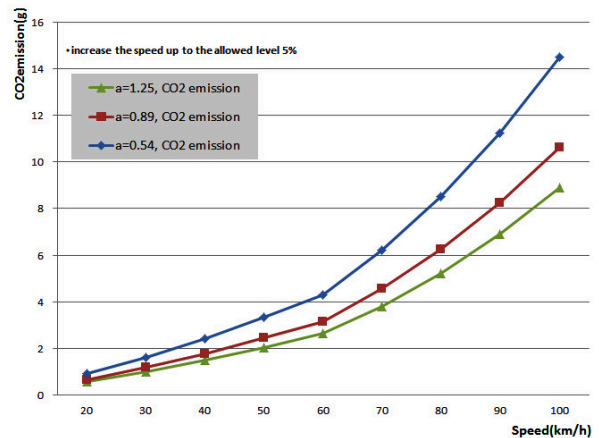


Fig. 3 CO₂ Emissions Graph by Acceleration

Table 4. CO₂ Emissions Value by Acceleration (increase the speed up to the allowed level 5%)

Speed (km/h)		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
Operation type		Non-accelerated	accelerated	Non-accelerated	accelerated	Non-accelerated	accelerated	Non-accelerated	accelerated	Non-accelerated	accelerated	Non-accelerated	accelerated	Non-accelerated	accelerated	Non-accelerated	accelerated	Non-accelerated	accelerated
a = 0.54	Target speed (km/h)	20	21	30	31.5	40	42	50	52.5	60	63	70	73.5	80	84	90	94.5	100	105
	Total CO ₂ emission(g)	0.64	0.92	1.13	1.63	1.68	2.44	2.30	3.33	4.19	4.30	4.19	6.22	5.73	8.50	7.58	11.25	9.76	14.49
a = 0.89	Target speed (km/h)	20	21	30	31.5	40	42	50	52.5	60	63	70	73.5	80	84	90	94.5	100	105
	Total CO ₂ emission(g)	0.39	0.68	0.68	1.20	1.02	1.79	1.40	2.45	1.80	4.57	2.54	4.57	3.48	6.25	4.60	8.26	5.92	10.64
a = 1.25	Target speed (km/h)	20	21	30	31.5	40	42	50	52.5	60	63	70	73.5	80	84	90	94.5	100	105
	Total CO ₂ emission(g)	0.28	0.57	0.49	1.00	0.73	1.50	0.99	2.05	1.28	2.64	1.81	3.82	2.48	5.22	3.27	6.91	4.21	8.90

※ a = acceleration(m/s²)

4. 속도증가허용률에 따른 무가속 시와 가속 시 총 CO₂ 배출량 분석 방법론

4.1. 속도증가허용률에 따른 무가속 시와 가속 시 총 CO₂ 배출량 산정

초기속도별 속도증가허용률에 따라 무가속 시와 가속 시 이산화탄소(CO₂) 배출량을 분석하였다. 속도증가허용률은 초기속도 대비 속도변화율을 5%, 10%, 15%, 20%로 설정하였다. 속도증가를 위한 가속도(a)는 0.54m/s²를 적용하였다. 아래는 속도별 속도증가허용률 *i*에 대한 무가속 시 이산화탄소(CO₂) 배출량 Eq. (3)과 가속 시 이산화탄소(CO₂) 배출량 Eq. (4)이다(여기서 이산화탄소(CO₂) 배출량은 누적 의미임).

$$\sum t_{CO_2}^{i\%} = CO_2^0 \times S^{i\%} \quad (3)$$

$$\sum T_{CO_2}^{i\%} = \frac{[(1+k) \times (CO_2^v + CO_2^{v_{i\%}})] \times S^{i\%}}{2} \quad (4)$$

(*i* = 5, 10, 15, 20)

여기서, $\sum t_{CO_2}^{i\%} = v_0$ 에서 무가속 시 거리 $S^{i\%}$ 에 대한 총 CO₂ 배출량, (g)

$\sum \Delta T_{CO_2}^{i\%} = v_0$ 까지 가속 시 거리 $S^{i\%}$ 에 대한 총 CO₂ 배출량, (g)

k = CO₂ 할증계수

$CO_2^0 = v_0$ 에서 CO₂ 배출량, (g/km)

$v_0 =$ 초기속도, (km/h)

$CO_2^{v_{i\%}} = v_{i\%}$ 에서 CO₂ 배출량, (g/km)

$v_{i\%} =$ 초기속도대비 *i*% 증가된 속도

$$= v_0 + v_0 \times i\%, \text{ (km/h)}$$

$S^{i\%} = v_0$ 에서 $v_{i\%}$ 까지 도달 가속거리(km)

$$= \frac{(v_{i\%})^2 - (v_0)^2}{2 \times a}, \text{ (} a = 0.54 \text{ m/s}^2 \text{)}$$

4.2. 가속 시 추가된 CO₂ 배출량 산정

초기속도별 속도증가허용률(*i* = 5%, 10%, 15%, 20%)에 따라 무가속 시와 비교하여 가속 시 추가된 이산화탄소(CO₂) 배출량을 분석하였다. 아래는 가속 시 속도증가허용률(*i*)에 대한 추가된 이산화탄소(CO₂) 배출량 산정식이다.

$$\sum \Delta T_{CO_2}^{i\%} = \sum T_{CO_2}^{i\%} - \sum t_{CO_2}^{i\%} = \left(\frac{[(1+k) \times (CO_2^v + CO_2^{v_{i\%}})] \times S^{i\%}}{2} \right) - (CO_2^v \times S^{i\%}) \quad (5)$$

여기서, $\sum \Delta T_{CO_2}^{i\%} = v_{i\%}$ 까지 가속 시 거리 $S^{i\%}$ 에 대한 추가된 CO₂ 배출량(누적), (g)

5. 분석결과

5.1. 속도증가허용률에 따른 무가속 시와 가속 시 총 CO₂ 배출량 산정 결과

속도증가허용률(*i*)이 높을수록 총 이산화탄소(CO₂) 배출량이 증가됨을 알 수 있었다. 60km/h 이후에는 이산화탄소(CO₂) 배출량이 더 많이 증가함을 알 수 있었

다. Fig. 4는 속도증가허용률(i)에 따른 무가속 시 총 이산화탄소(CO_2) 배출량 그래프이다.

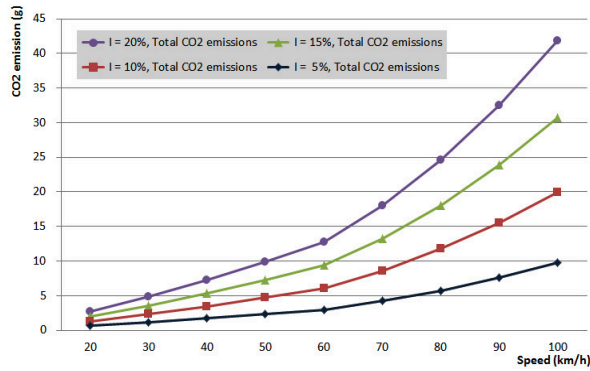


Fig. 4 Non-accelerated CO₂ Emissions Graph by Increase the Speed up to the Allowed Level

Fig. 5는 가속 시 속도증가허용률(i)에 따른 총 이산화탄소(CO_2) 배출량 그래프이다.

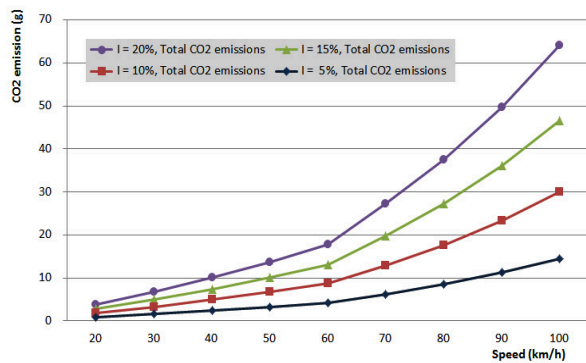


Fig. 5 Accelerated CO₂ Emissions Graph by Increase the Speed up to the Allowed Level

5.2. 가속 시 추가된 CO₂ 배출량 산정 결과

전체적으로 무가속 시(정속주행 시)보다 가속 시 이산화탄소(CO_2) 배출량이 더 많은 것을 알 수 있었다. 속도증가허용률(i)이 높을수록 추가된 이산화탄소(CO_2) 배출량이 더 증가됨을 알 수 있었다. 60km/h 이후에는 추가된 이산화탄소(CO_2) 배출량이 더 많이 증가함을 알 수 있었다. Table 5는 무가속 시와 가속 시를 비교하여 가속 시 속도증가허용률에 따른 추가된 이산화탄소(CO_2) 배출량을 나타낸 표이다.

Fig. 6는 가속 시 속도증가허용률(i)에 따른 추가된 이산화탄소(CO_2) 배출량 그래프이다.

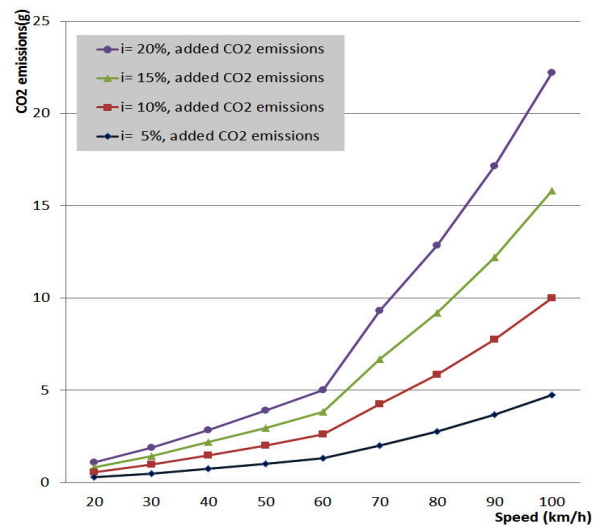


Fig. 6 Accelerated added CO₂ emissions by Increase the speed up to the allowed level

Table 5. Accelerated Added CO₂ Emission by Increase the Speed up to the Allowed Level

Speed (km/h)		20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Total CO ₂ emissions (g)	i = 5%	Non-accelerated	0.64	1.13	1.68	2.30	2.97	4.19	5.73	7.58	9.76
		accelerated	0.92	1.63	2.44	3.33	4.30	6.22	8.50	11.25	14.49
		added emission	0.29	0.50	0.76	1.03	1.33	2.02	2.77	3.67	4.73
	i = 10%	Non-accelerated	1.31	2.30	3.45	4.71	6.08	8.59	11.75	15.53	19.99
		accelerated	1.87	3.29	4.93	6.73	8.69	12.84	17.57	23.26	29.98
		added emission	0.56	0.99	1.48	2.02	2.61	4.24	5.83	7.74	9.99
	i = 15%	Non-accelerated	2.01	3.54	5.30	7.24	9.34	13.20	18.04	23.85	30.69
		accelerated	2.83	4.99	7.47	10.21	13.18	19.87	27.22	36.06	46.50
		added emission	0.82	1.45	2.18	2.97	3.84	6.68	9.19	12.22	15.81
	i = 20%	Non-accelerated	2.74	4.83	7.22	9.87	12.74	18.00	24.61	32.53	41.88
		accelerated	3.82	6.73	10.07	13.76	17.76	27.33	37.47	49.66	64.08
		added emission	1.08	1.90	2.85	3.89	5.02	9.32	12.86	17.13	22.20

※ i = increase the speed up to the allowed level

6. 결론

본 연구에서는 가속에 따른 이산화탄소(CO₂) 할증계수 원리를 통하여 차량의 가속도별 이산화탄소(CO₂) 배출량을 비교하였다. 차량 속도증가허용률(i)에 따라 무가속 시와 가속 시 이산화탄소(CO₂) 배출량을 비교 분석하였다. 이에 더하여 차량 속도증가허용률(i)에 따른 가속 시 추가 이산화탄소(CO₂) 배출량을 분석하였다. 그에 따른 결과로 첫째, 가속 시 CO₂할증계수(k) 적용 비교를 통해 가속도(a) 0.54m/s², 0.89m/s², 1.25m/s²에서 각각 할증계수(k) 0.47, 0.78, 1.09로 분석되어 가속도(a)와 할증계수(k)가 비례 관계에 있는 것으로 나타났다.

둘째, 속도증가허용률(i)에 따른 무가속 시와 가속 시 총 이산화탄소(CO₂) 배출량 산정 결과, 속도증가허용률(i)이 높을수록 총 이산화탄소(CO₂) 배출량이 증가됨을 알 수 있었다. 또한, 무가속 시에 비해서 가속 시 추가된 이산화탄소(CO₂) 배출량이 큰 것을 정량적 검증을 통해 알 수 있었다.

셋째, 속도증가허용률(i)에 따른 가속 시 총 이산화탄소(CO₂) 배출량 산정 결과, 60km/h 이상의 속도에서 속도증가허용률(i)의 증가에 따라 초기속도에 비례하여 추가 이산화탄소(CO₂) 발생량이 급격하게 증가함을 볼 수 있다.

결론적으로, 이산화탄소(CO₂) 배출량은 속도증가허용률 범위에 영향이 있음을 알 수 있었다. 이산화탄소(CO₂) 발생량을 고려할 때 적정 속도증가허용률(i)은 비교적 완만한 5%가 적정하며, 불가피한 경우 10%까지 허용가능 하도록 해야 할 것이다.

7. 향후연구과제

도로에는 기하구조상 가속이 제한적인 구간이 존재한다. 본 연구는 이러한 기하구조 중 직선가속허용구간에서 이산화탄소(CO₂) 배출량을 고려한 적정 속도증가허용률을 제시하였다. 그러나 직선가속허용구간의 설계 시 기하구조상의 다른 조건들을 고려해야 한다. 따라서, 본 연구에서 제시한 적정 속도증가허용률을 직선가속허용구간에 적용시키기 위해서는 첫째, 도로의 기하구조 조건을 복합적으로 고려한 적정 가속길이 산출 연구가 필요할 것이다. 둘째, 기존 이산화탄소(CO₂)를 고려한 도로설계기법들과 비교·분석하는 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다.

(연구과제 관리코드: 2013R1A1A2012547)

BIBLIOGRAPHY

- AASHTO(2011), A Policy on geometric design of Highways and Streets.
- Bokare and Maurya(2013), "Study of effect of speed, acceleration and deceleration of small petrol car on ITS tail pipe emission", International journal for traffic and transport engineering, 2013, 3(4):465-478
- Choi, Byungnam(2010), "A study on accident features on variation section of cross slope for expressway", Master thesis, Myongji Univ
- Guarnaccia(2010), "Analysis of traffic noise in a road intersection configuration", WSEAS Transactions on systems, issue 8, volume 9, August 2010
- Irene, 2010, "The effects of driving style and vehicle performance on the real-world fuel consumption of U.S. light-duty vehicles, Master thesis, Virginia polytechnic institute and state univ
- Jung jae-hak(2009), "A Hydrodynamic Diffusion Wave Model for Stormwater Runoff on Highway Surfaces at Superelevation Transitions", Doctor of Philosophy, University of Texas at Austin, Austin, Texas
- Jung Sukjin(2011), "A study of the characteristics of traffic accidents in rainy conditions on freeways", master thesis, University of Seoul.
- Kang et al (2013) , "New highway geometric design methods for minimizing vehicular fuel consumption and improving safety", Transportation research part C 31 99-111
- Kim Sangyup et al, 2007, "Theoretical review of highway grades considering vehicle performance", master thesis, University of Seoul.
- Lee seungyong(2008), "A study on the design of vertical grade considering vehicle performance", Master thesis, university of Seoul.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2012), Road structures and facilities Commentary Guidelines)
- Netional institute of of Enviromental research, 2001, "Survey of greenhouse gas emission of cars"
- Sim Myeongjin(2012), "A study on improvement of the expressway drainage poor site during rainfall", Master thesis, Yonsei Univ
- Son jeongsam et al, 2005, Charateristic study of tire hydroplaning phenomenon to vehicle velocity, Korean Society of Mechanical Engineering, vol29, No10, p1307
- Song Mintae et al, 2013, "Theoretical review on the vertical geometric design standards for high-speed roadway", International Journal of Highway Engineering, Vol.15, No.4 p 177

- Oregon department of transportation highway division(2011),
ODOT Hydraulics manual
- Rakha and Ding(2003), "Impact of stops on vehicle fuel
consumption and emissions", Virginia tech transportation
institute, USA
- Ruediger Lamm, Basil Psarianos, Theodor Mailaender.(1999)
Highway design and traffic safety engineering handbook.
McGraw Hill
- Steven, 2005, "Differences in noise emissions (Lmax) between
accelerating vehicle and vehicles driving at steady speed at 30
and 50km/h", European commission dg research
- Texas department of transportation(2014), Criteria For Highway
Design Speed Facilities.
- US DOT, 2000, Speed prediction for two-lane rural
highways,Publication No.99-171, US Department of
Transportation, USA
- Washington state department of transportation(2010), WSDOT
Hydraulics manual