

승용 및 하이브리드 자동차 온실가스 배출특성 연구

임윤성^{**†} · 문선희^{*} · 정택호^{*} · 이종태^{*} · 동종인^{**}

A study on Greenhouse gas Emission Characteristics of Conventional Passenger and Hybrid Electric Vehicles

Yun Sung Lim, Sun Hee Mun, Taek Ho Chung, Jong Tae Lee, and Jong In Dong

Key Words: Greenhouse gas(온실가스), Hybrid electric vehicle(하이브리드차량), Internal combustion engine(내연기관), Combined mode(복합모드), Curb weight(공차중량), Eco-friendly vehicles(친환경자동차)

Abstract

Automotive manufacturers are applying technologies for greenhouse gas reduction such as vehicle weight reduction, engine downsizing, direct injection technology, variable valves and transmission performance improvement to achieve the targets for enhanced greenhouse gas and fuel consumption efficiency. In this paper, compared and analyzed greenhouse emissions according to engine capacity, engine displacement, curb weight and sales volume of hybrid and internal combustion engine passenger vehicles. Hybrid emit 32~39% less greenhouse gas than internal combustion engines through the combined mode test method. Hybrid electric vehicle's curb weight was about 7% heavier on average for the same engine displacement, while greenhouse gas was about 36% lower. It was confirmed that in order to reduce the emission of pollutants of greenhouse gases as well as the air pollutants, it is necessary to expand the supply of eco-friendly vehicles.

1. 서 론

최근 우리나라는 미세먼지의 영향으로 대기환경에 대한 관심이 최고조에 달해 있으며 국내외 미세먼지에 대한 문제를 해결하기 위해 2019년 미세먼지 범국가기구 가 설립이 되었다. 그리고 미세먼지와 더불어 기후변화, 지구온난화 등의 주요원인이 되는 온실가스에 대한 저감을 위해 우리나라는 2020년 국가온실가스 감축목표를 위한 2009년 온실가스 감축 방안을 발표하였고, 2014년에는 이 목표를 달성하기 위한 로드맵을 수립 하

여 ‘2030 국가 온실가스 감축 로드맵’을 확정 발표 하였다. 온실가스의 주요 배출원 중 하나인 자동차를 포함한 수송부문에서의 부문별 에너지 소비 추이를 살펴보면 산업부문(63.6%)에 이어 수송부문이 18.4%를 차지하는 것으로 조사되었다(2017년 에너지통계 핸드북). 이 중 전체 수송부문 배출량에서 95.7%가 도로에서 배출되는 온실가스로 그 비중이 큰 것으로 조사되고 있다.

이에 환경부·산업통상자원부에서는 자동차 평균에너지 소비효율·온실가스 배출허용기준 및 기준의 적용 관리 등에 관한 고시에 따른 제도를 2012년부터 실시하고 있으며, 이를 통해 수송부문에서의 온실가스 저감을 위해 규제 정책을 추진하고 있다. 이에 따라 자동차를 생산하는 자동차 제작사는 매년 정부에서 설정한 온실가스·연비를 선택하고 2차 목표 연도인 2020년까지 매년 목표를 달성해야 하며 미달성시 과징금이나 벌칙이 부과하게 된다.

우리나라의 평균 연비·온실가스제도는 1차 목표연도

(Received: 25 Feb 2020, Received in revised form: 11 Mar 2020, Accepted: 19 Mar 2020)

^{*}국립환경과학원

^{**}서울시립대학교

[†]책임저자, 회원, 서울시립대학교 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : yun911@korea.kr

TEL : (032)560-7648 FAX : (032)560-7980

인 2012년~2015년과 2차 목표연도인 2016년~2020년으로 크게 나뉘어 제도가 마련되었다. 1차 목표연도의 온실가스 및 연비의 목표치는 온실가스가 140 g/km, 연비가 17 km/L로 설정되었으며, 2차 목표연도에는 온실가스가 30.7% 강화된 97 g/km 이며, 연비는 42.5% 강화된 24.3 km/L로 설정되었다. 국립환경과학원 및 한국에너지공단의 자료집에 따르면 1차 목표연도에는 대부분의 제작사가 목표치를 만족하였으나, 2차 연도 목표가 적용되는 2017년에는 일부 수입사 중 차량의 증량이 무겁고, 차량의 크기가 큰 자동차를 판매하는 수입사는 기준을 달성하지 못한 것으로 조사되었다. 그러나 관련고시에 따라 목표치의 부족분 즉, 미달성분은 발생한 연도 이후부터 3년 이내에 해당 미달성분을 상환할 수 있는 제도가 있어, 제작사에서 갖고 있는 온실가스 잉여분으로 대부분의 제작사가 2018년까지는 제작사별 온실가스·연비의 목표치를 만족하는 것으로 조사되었다.

향후 지속적으로 강화되는 온실가스·연비 목표치를 달성하기 위해 제작사에서는 차량경량화, 엔진 다운사이징, 직접분사기술, 가변밸브, 변속기 성능 향상 등의 온실가스 저감기술 적용과 함께 환경부에서 마련한 에코이노베이션 목록화 기술을 통해 온실가스는 최대 17.9 g/km, 연비는 4.5 km/L까지 온실가스 저감 값을 인정받을 수 있다. 또한 플러그인 하이브리드, 전기자동차, 수소연료전지자동차 등을 판매할 경우 1대당 최대 3대를 판매한 숫자로 인정받는 슈퍼크레딧(super credit)을 온실가스 계산시 인정받을 수 있다. 그러나 하이브리드 기술이 적용된 차량이라고 해서 이 슈퍼크레딧을 모두 받는 것이 아니고, 규정에 따라 온실가스가 50 g/km 미만으로 발생하는 차량에 대해서 1대당 2대의 판매실적을 받게 되며, 전기차, 수소연료전지차 등 온실가스가 0 g/km인 차량에서는 1대당 3대의 판매실적 혜택을 받을 수 있게 된다.

본 연구에서는 최근 발표된 미국, 유럽의 2030 온실가스 동향 및 내연기관 승용차 및 하이브리드 자동차의 온실가스 배출특성에 대하여 알아보고자 2017년 기준 국내에서 판매되는 휘발유 차량을 대상으로 CO₂를 차량 증량과 배기량, 판매량으로 구분하여 연구를 수행 하였다.

2. 국외동향

2.1 미국

최근에 발표된 미국의 온실가스 정책을 살펴보면 미

국에서는 트럼프 행정부 교체 이후, 온실가스 규제를 완화하고 있는 추세이다. EPA/ NHTSA에서 온실가스 기준을 종합적으로 검토하여 2018년 8월 2일 SAFE(Safer and Affordable Fuel-Efficient Vehicle for Model Years 2021~2026)를 발표하였다. 주요내용은 2021~2026년까지 미국 기업 평균 연비 기준(CAFE)과 온실가스(GHG, Green House Gas) 기준을 2020년 수준으로 동결한다는 내용이다. 또한 EPA는 GHG 및 ZEV(Zero Emission Vehicle) 차량의 기준에 관한 캘리포니아에 부여된 면제권을 철회할 것을 제안 하였다. 면제의 철회는 에너지 정책과 보존법(EPCA)이 CO₂ 배출 기준과 관련된 연비 관련 모든 국가 기준에 선점한다는 주장에 기초한 것이며, 캘리포니아가 온실가스에 대한 강력하고 특별한 조건을 만족시키기 위해 캘리포니아 자체의 GHG 또는 ZEV 기준이 필요하지 않다고 기술하고 있다. 이는 미국의 국내 제작사 및 수입사는 온실가스에 대해 유럽보다 많이 완화된 기준을 적용 받는 것이다.

2.2 유럽

미국의 온실가스 제도와 대조되게 유럽에서는 2025년 온실가스 규제 기준을 2021년 대비 15% 감축하는 81 g/km, 2030년에는 37.5% 감축하는 59 g/km를 제안 하였다. 또한 완성차 제작사의 경우 생산 모델 가운데 전기차 등 CO₂ 저 배출 차량을 2030년까지 30% 이상 구성할 경우, 일정 비율의 보너스 점수를 부여하고, 그만큼 CO₂ 절감목표 미달 수치를 허용하기로 하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 하이브리드 및 휘발유 연료를 사용하는 승용자동차의 온실가스인 CO₂를 측정하기 위하여 Fig. 1과 같은 차대동력계(chassis dynamometer)를 이용하여 제작사에서 제출된 CO₂ 값을 분석하였다. 차대동력계는 자동차의 도로에서의 주행을 실험실 내에서 모사하기 위한 실험장치로 자동차를 움직이지 않게 안전고리로 고정시키고 실외에서 운전을 하는 조건과 유사하게 속도에 따라 바람의 양이 컨트롤 가능한 가변송풍팬을 자동차 앞부분에 위치·고정 시켜 자동차를 시험모드에 따라 운전하게 된다. 동력계는 자동차가 실제 도로를 주행 할 때 정지, 가속, 정속 등을 반복하게 되는데 이 과정을 대표한 실측 주행모드를 사용하여 모사 주행

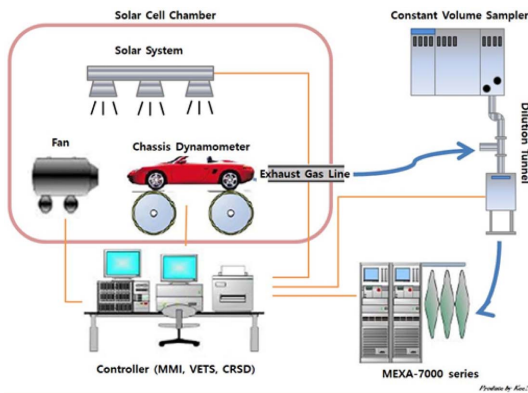


Fig. 1 Vehicle emission test facility

할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치, 관성중량, 동력흡수계, 제어기로 구성된다. 운전자는 모니터를 통해 시험 조건의 속도에 맞게 운전하게 되고, 시험이 끝난 후에는 자동차의 엔진에서 연소되어 배출되는 이산화탄소(CO₂)를 포함한 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 탄화수소(THC) 등의 규제물질을 배출가스분석기(Gas analyzer)로 분석하게 된다.

3.2 실험방법

3.2.1 시험차량

이번 연구의 시험차종은 2017년 국내에서 판매된 국내제작 및 수입자동차 중 연료를 휘발유(내연기관), 휘발유+전기(하이브리드, HEV)를 사용하는 자동차를 대상으로 조사 하였다. 대상 차종의 배기량은 1.8L~2.5L 급이며, 차량공차중량은 1,355~1,775 kg까지의 다양한 배기량과 중량을 갖는 것으로 조사되었다. 시험조건의 차량은 승용차로 2017년 제작사별 동급 배기량 중 하이브리드와 휘발유 모델 중 총 10차종으로 구성되었다. 2017년 국내 판매 승용차를 대상으로 조사한 결과 국내 제작사는 3곳의 제작사에서 하이브리드를 생산하고 있으며, 수입제작사는 6곳의 수입사에서 하이브리드 및 플러그인하이브리드(PHEV) 차량을 판매하고 있었다. 단, 이번 논문의 조건에 부합되는 수입사는 2곳으로 조사되었다. 차량에 사용되는 변속기는 하이브리드의 경우 무단이거나, 자동6단 변속기가 대부분 이었다. 연료 공급방식은 대부분 GDI(Gasoline Direct Injection)와 MPI(Multi Point Injection) 방식을 사용하고 있다. 시험 차량에 대한 정보는 제작사별로 내연기관과 하이브리드 차량의 배기량 조건이 같은 대표차종만 선택하여 Table 1에 변속기, 엔진배기량, 공차중량, 판매량에 대해 나타내

Table 1 Test vehicles

	Engine Types	Transmission (Engine)	Displacement (liter)	Curb weight (kg)	Sales
A	Hybrid	Auto-6 (MPI)	2.4	1,675	17,791
	ICE	Auto-6 (GDI)	2.4	1,550	23,376
B	Hybrid	CVT (GDI)	1.8	1,530	358
	ICE	Auto-6 (MPI)	1.8	1,355	68
C	Hybrid	Auto-6 (MPI)	2.4	1,680	6,375
	ICE	Auto-6 (GDI)	2.4	1,565	12,665
D	Hybrid	CVT (MPI)	2.5	1,685	7,632
	ICE	Auto-6 (GDI)	2.5	1,515	1,472
E	Hybrid	CVT (MPI)	2.0	1,775	396
	ICE	Auto-6 (GDI)	2.0	1,770	375

었다.

3.2.2 배출가스 시험모드

국내의 온실가스 및 연비 측정을 위한 주행모드는 도심구간(CVS-75) 및 고속도로 주행(HWFET)을 합한 복합모드(Combined mode)로 미국의 방식과 동일하게 규정하고 있다. 환경부에서 자동차의 온실가스 평균배출량을 규정하고 산업통상자원부에서는 평균 연료소비효율을 규정하고 있다. 온실가스와 연비는 상관관계가 뚜렷하기 때문에 현재 2개 부처가 공동으로 규정을 마련하여 제작사를 평가하고 있다. 이번 온실가스 시험은 차대동력계와 배출가스 분석기를 활용하여 측정·분석하였다. 온실가스 배출량의 단위는 g/km이며, 복합 CO₂ 배출량은 아래와 같이 계산되어 진다.

$$\text{복합 CO}_2 \text{ 배출량 (g/km)} = (0.55 \times \text{CVS - 75 측정 배출량}) + (0.45 \times \text{HWFET 측정 배출량})$$

각 주행모드의 자세한 시간 및 속도 특성은 Fig. 2에

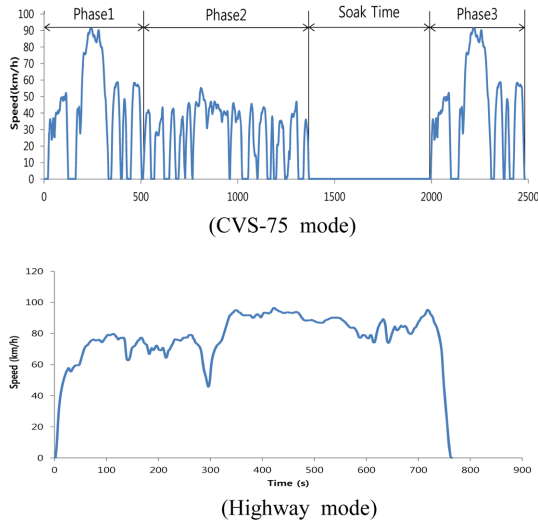


Fig. 2 Test driving mode

나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 시험차량별 온실가스 배출특성

각 주행모드(도심모드, 고속모드, 복합모드)에서 각 제작사별로 동일한 엔진배기량을 기준으로 하여 10차종의 온실가스 배출특성을 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 복합모드에서 하이브리드차량의 온실가스가 32~39% 정도 내연기관의 온실가스보다 낮게 발생하는 것을 알 수 있었다. 특히 도심모드에서 결과가 잘 나타나 있다. 하이브리드를 내연기관과 비교 시 43~51% 정도 온실가스가 낮게 발생되었다. 고속

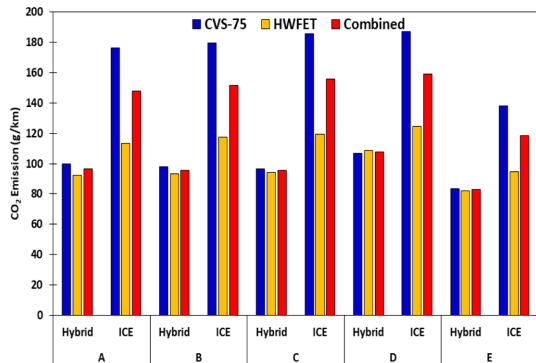


Fig. 3 Emission characteristics on greenhouse gas of various test vehicles

Table 2 Net change in battery SOC

	Test Cycle	Net Change in Battery SOC (%)	Curb weight (kg)
A	CVS-75	0.0068	1,675
	HWFET	0.0044	
B	CVS-75	0.0065	1,530
	HWFET	0.0040	
C	CVS-75	0.0071	1,680
	HWFET	0.0045	
D	CVS-75	0.0075	1,685
	HWFET	0.0045	
E	CVS-75	0.0058	1,775
	HWFET	0.0041	

모드에서는 도심모드 보다는 온실가스 발생 차이가 작았으며 그 결과는 12~21% 정도 하이브리드 차량이 낮게 발생 되는 것으로 조사 되었다. 이는 하이브리드 차량의 경우 저속구간에서 충전된 축전지를 이용하여 운전하기에 나타나는 결과이다. 향후 축전지와 모터가 대량 생산되어 단가가 낮아질 경우 이러한 온실가스의 환경적인 측면을 고려하면 하이브리드 차량의 판매가 증가하여 온실가스 측면에서는 이점이 될 것으로 예상 된다.

Table 2는 이번 논문 시험차량에 대한 축전지 용량 오차율 이다.

4.2 공차중량에 따른 온실가스 배출특성

Figure 4는 공차중량에 따른 제작사별 하이브리드차량과 내연기관에서 발생하는 온실가스 배출결과를 나타내었다. 일반적으로 축전지와 모터의 무게 때문에 하이브리드 차량의 공차중량이 내연기관 차량보다 0.2~13%

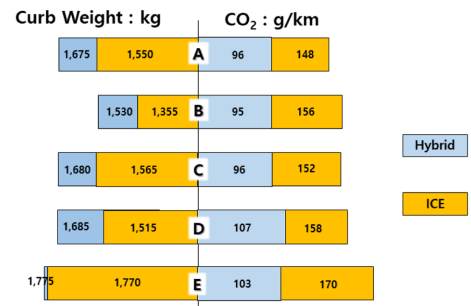
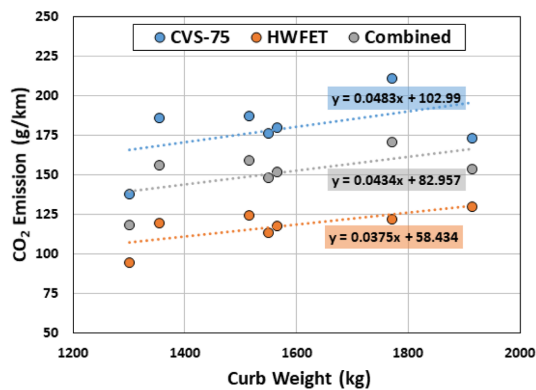
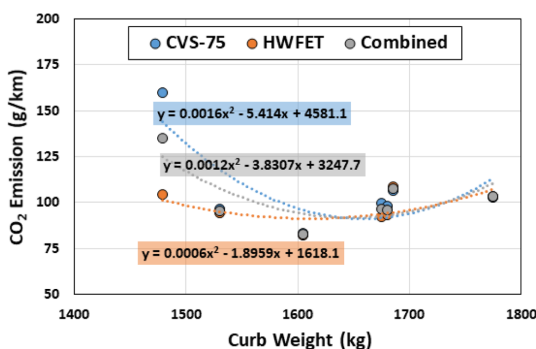


Fig. 4 Emission characteristics on greenhouse gas of vehicles according to the displacements

정도 높은 것으로 나타났다. 시험차량 중 공차중량이 특이한 차량은 E 제작사의 경우 하이브리드와 내연기관의 무게 차이가 5 kg 정도로 거의 차이가 없었으나, 온실가스의 경우 67 g/km 정도 하이브리드 차량에서 낮게 배출되었다. 그 이외에 시험대상 차량의 경우 두 차량의 무게차이가 115~175 kg까지 나타났으며, 평균 146 kg 정도가 차이가 났다. 온실가스 결과는 도심모드에서는 77~108 g/km(평균 87g/km), 고속모드는 16~25 g/km(평균 21 g/km), 복합모드에서는 51~68 g/km(평균 57 g/km) 정도가 차이 나는 것으로 조사되었다. Fig. 5는 내연기관과 하이브리드 차량의 공차중량과 온실가스의 비교결과이다. Fig. 5(a)와 같이 내연기관 자동차는 공차중량에 따라 선형적으로 온실가스가 증가하는 것을 알 수 있으나, 하이브리드 차량은 공차중량에 따른 온실가스가 비선형적으로 증감의 특성을 확정짓기 어렵다는 것을 Fig. 5(b)와 같이 알 수 있다. 이와 같은 결과는 하이브리드 차량은 모터출력, 축전지 제원 등을 고려하여 기술의 발전에 따라 공차중량과 온실가스는 상관성이 적다는 결과를



(a) ICE



(b) Hybrid

Fig. 5 Comparison CO₂ emission and curb weight from the test conditions on ICE(a) and Hybrid(b) vehicles

도출할 수 있다. 또한, 일부 제작사의 내연기관 차량의 경우 무게가 낮음에도 온실가스의 배출량이 높은 차량이 있었다. 이는 차량의 연료분사와 운전패턴에 따른 로직에 의해서 나타날 수 있으며, 또한 각 차량마다 적용된 온실가스 저감기술(에어컨 냉매누기 감소, 에어컨 효율개선, 고효율등화장치 등 에코이노베이션 기술)과 차량 옵션(좌석환기장치, 타이어사양 등)에 따라서도 차이가 있는 것으로 판단된다. 온실가스 저감기술은 현재 에코이노베이션 기술로 인정받는 경우 기술별로 0.4~7.9 g/km로 저감량을 인정받고 있으며, 차량옵션이 증가하는 경우 부대장치의 증가로 차량중량이 증가되는 단점이 있으나 이러한 내용은 각 제작사별 배출가스 및 온실가스 전략과 연관되어 지는 것으로 사료 된다.

4.3 자동차 판매량에 따른 온실가스 배출 특성

이번 논문에 조사 대상인 5개의 제작사의 차량에 대해 판매량을 적용하여 온실가스 발생 특성을 Fig. 6에서 나타났다. 조사 대상 차량은 1.8L~2.5L 사이에 차량이며 A와 C 제작사의 차량의 경우 전체 판매량의 85%를 차지하고 있으며, 나머지 B, D, E의 제작사가 15% 정도의 판매량을 나타냈다. D 제작사의 경우 엔진배기량이 가장 큰 엔진이지만, 전체적인 차량의 무게를 작게 하여 내연기관에서 발생하는 온실가스의 경우 E 제작사 보다 낮게 배출되는 것으로 조사 되었다.

각 제작사별로 하이브리드와 내연기관의 차량의 판매 대수와 온실가스의 차이에 따라 현재 온실가스 거래제에 따른 시장가격을 적용하여 제작사별로 하이브리드 차량의 판매에 따른 온실가스 효과를 분석하였다. 2018년도의 온실가스 기준은 120 g/km이며, 환경부 온실가스 정보센터에서 발행된 2018년 배출권거래제 운영결과보고서에 따른 현재 온실가스거래소에서 거래되고 있는 CO₂의 가격은 39,000원/톤(KAU18)이며, 도로교통안전

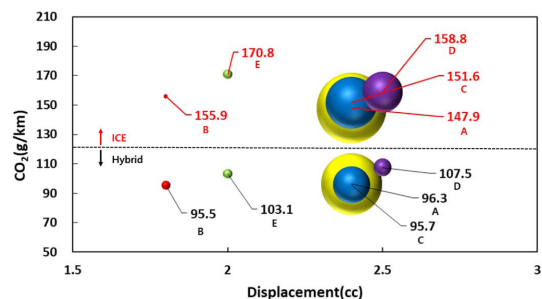


Fig. 6 Emission characteristics on greenhouse gas of vehicles according to displacement and sales volume

Table 3 Save cost of Hybrid electric vehicles

	Save CO ₂ (g/km)	Save Cost (10 ⁶ won/year)	Remark
A	76.5	591	KAU18(2019) (won/tonCO ₂ eq): 39,000
B	89.2	14	
C	81.8	226	1 day driving distance : 30.5 km
D	80.3	266	
E	108	19	

공단에서 발행된 2018 자동차주행거리통계 보고서에 따르면 휘발유 차량의 전국 일일 평균 주행거리를 30.5 km로 적용하여 각 모델별로 하이브리드 차량을 1년 사용할 경우 온실가스 효과를 계산한 결과를 아래의 식을 이용하며 Table 3에 나타냈다. 이번 논문에서는 대상차량을 대표적으로 1대 선정하여 계산한 결과 CO₂ 저감비용은 낮으나, 제작사별로 전체 하이브리드 또는 전기차의 판매대수를 전부 적용할 경우 온실가스 저감효과는 더 크게 나타날 것으로 사료된다.

$$Save Cost (10^6 \text{ won}) = KAU18 \times Save CO_2 \times 1 \text{ day Distance} \times 365 \text{ days} \times Sales \text{ volume}$$

4. 결 론

본 연구에서는 5인승 승용 내연기관과 하이브리드 차량에 따른 온실가스 배출특성을 분석하였으며 그 결론은 다음과 같다.

(1) 차량의 엔진 배기량이 같은 차량 비교시 하이브리드 차량은 복합모드에서는 약 32~39%, 도심모드에서는 43~51% 온실가스 저감효과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

(2) 차량의 공차중량의 경우 하이브리드 차량이 0.2~13% 정도 높았으나, 도심모드에서는 87 g/km, 고속모드에서는 21 g/km, 복합모드에서는 57 g/km 정도의 온실가스가 평균적으로 감소되었다. 이는 무게가 많이 나가면 에너지 소모량 증가에 따라 온실가스가 더 발생하겠지만, 하이브리드 차량의 전기구동에 따라 상쇄됨

을 확인 할 수 있었다.

(3) 시험대상인 10차종의 내연기관과 하이브리드의 온실가스 배출량의 차이를 자동차 판매량에 따라 온실가스의 경제효과를 분석한 결과 연간 제작사 별로 판매된 모델에 따라 14백만원~591백만원의 온실가스 저감효과를 계산 할 수 있었다. 전체 제작사에 대해 하이브리드, 전기차를 대상으로 계산 할 경우 차량의 판매 대수가 많아 온실가스 저감효과는 더 크게 나타날 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2018-01-02-056).

참고문헌

- (1) 2018 Seoul Vehicles driving speed report, Seoul Metropolitan Report (2018).
- (2) 2018 Korean Emissions Trading System Report, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (2018).
- (3) 2018 Vehicles Drive Distance Report, KoROAD (2018).
- (4) 2018 Vehicle Fuel Economy and CO₂ Emissions: Data and Analyses Report, Korea Energy Agency (2018).
- (5) Hoimyoung Choi, "Is greenhouse gas emission from automobiles in the republic korea decreasing?", KSAE Auto Journal, Vol. 41, No. 12, pp. 75~77.
- (6) Han Ho Song, "Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions of transportation fuel in Korea", KSAE Auto Journal, Vol. 39, No. 4, pp. 39~43.
- (7) Sungwook Park, "Global trend greenhouse gas regulation of heavy-duty vehicles", KSAE Auto Journal, Vol. 41, No. 6, pp. 58~61.
- (8) Jongchoon Kim, "Automobiles greenhouse gas", KSAE Auto Journal, Vol. 41, No. 6, pp. 62~66.
- (9) Yunsung Lim, "Eco-Innovation of Light-duty Vehicles", KSAE Workshop, 2018, pp. 119~133.
- (10) Jongchoon Kim, "Automobiles greenhouse gas and fuel economy of government policy", KSAE Auto Journal, Vol. 36, No. 11, pp. 56~59.