

## 승용차 공회전제한장치 장착전략의 경제효과분석: 수도권 지역을 대상으로

이규진<sup>1\*</sup> · 장정아<sup>1</sup> · 최기주<sup>2</sup> · 심상우<sup>1</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 TOD기반 지속가능 도시 · 교통연구센터, <sup>2</sup>아주대학교 교통시스템공학과

### Economic Effects Analysis for Passenger Car's Idle Stop and Go Strategy: Focusing on Seoul Metropolitan Area

LEE, Kyu Jin<sup>1\*</sup> · JANG, Jeong Ah<sup>1</sup> · CHOI, Keechoo<sup>2</sup> · SHIM, Sang Woo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TOD-based Sustainable City Transportation Research Center, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

<sup>2</sup>Department of Transportation System Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

#### Abstract

The greenhouse gas emission generated by idling vehicles is a critical issue in the greenhouse gas reduction from the transportation sector. Recently, the mandatory application of the Idle Stop and Go (ISG) for buses, trucks and taxis is in the process of legislation. Focusing on the regulation is about to apply to passenger cars, this study analyzed the quantitative economic effects of the ISG installation by passenger car types in Seoul metropolitan area to support proper policy making. The benefit cost ratio of ISG installation on commercial passenger car of Seoul is the most effective, calculated as 8.55. Accordingly, the amount of 660 liters (per year per vehicle) of fuel and 1,606 kg (per year per vehicle) of CO<sub>2</sub> could be reduced. The results of this study might be used as an index for judgment of policy such as determining appropriate subsidy for ISG installation on passenger cars.

수송 분야의 온실가스 감축에서 차량운행 중 공회전에 따른 온실가스 발생 문제는 중요한 요소이므로 최근 버스, 트럭, 택시에서의 공회전제한장치(ISG) 장착이 법제화되고 있으며, 일반 승용차에도 ISG 장착을 확대하려는 추세이다. 이에 본 연구에서는 수도권 지역을 대상으로 승용차의 차종별 ISG 장착 전략에 따른 경제적 효과분석 결과를 기반으로 그에 따른 정책 방향성을 제시하고자 한다. 분석 결과, 서울시 사업용 승용차에 ISG를 장착하는 전략이 가장 효과적(B/C: 8.55)으로 나타났고, 그에 따른 연료절감량은 660(ℓ/년/대)이며, CO<sub>2</sub> 저감량은 1,606(kg/년/대)인 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 향후 일반 승용차의 ISG 장착에 대한 적정 보조금 산정 등의 정책 판단 지표로 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### Keywords

economic effects, emission reduction policies, fuel reduction, greenhouse gas emissions, idle stop and go  
경제적 효과, 배출저감정책, 연료 감소, 온실가스, 공회전제한장치

\* : Corresponding Author  
transjin@ajou.ac.kr, Phone: +82-31-219-3252, Fax: +82-31-219-3253

Received 6 February 2014, Accepted 25 May 2014

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 온실가스 배출량 세계 9위, 누적 배출량은 세계 22위, 온실가스 배출 증가율은 OECD 가입 국가 중 1위로, 세계에서 손꼽히는 온실가스 다배출 국가 중 하나이다. 에너지 부문 배출량 중 약 20% 정도는 자동차, 항공, 철도, 선박 등의 수송 부문에서 배출되고 있다. 수송 부문 온실가스는 엔진의 연료 소모에 의해 발생되고 있으며, 미국의 에너지국(Department of Energy) 및 환경보호국(Environmental Protection Agency) 자료에 따르면 자동차는 자동차 엔진에서 소모되는 연료 중 도심지 공회전으로 인해 약 17.2% 정도의 에너지가 낭비되고 있는 것으로 알려지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 하이브리드 차량의 경우 공회전제한장치(Idle Stop and Go, 이하 ISG)를 필수 기능으로 장착하고 있으며, 최근 일반 내연기관 차량에서도 이를 점차 확대 적용되고 있는 추세이다. 또한 ISG의 재시동시 출발 지연 문제와 시동모터 내구성 문제 등이 최근에 해결되면서 ISG 장착은 사회적으로 큰 관심을 받고 있다 (Iiyama, 1996; Lindsay, 2008; Son et al., 2009).

이러한 추세에 따라 현재 다수의 지방자치단체에서는 버스, 트럭, 택시를 대상으로 ISG 장착 사업을 시행하고 있으며, 대전광역시 2012년 3월부터 시내버스, 일반 택시, 택배용 화물의 ISG 장착률을 높이기 위해 ISG 장착금의 약 50%를 보조금으로 지원하고 있다. 반면 일반 승용차는 2009년 1월 출시된 기아자동차의 유럽 전용 모델인 씨드(cee'd)를 시작으로 ISG가 장착되는 추세이지만, 국가 차원의 승용차 ISG 장착 지원 사업은 적극적으로 추진되지 못하고 있는 상황이다.

도심 대기질 개선을 위한 전략 중 하나로, 전국 등록 차량의 절반이상을 차지하고 있는 일반 승용차에 대한 ISG 장착 사업을 구체적으로 검토할 필요가 있으며, 이러한 전략은 승용차의 ISG 장착에 따른 내·외부 경제적 효과 분석 결과를 기반으로 수립될 수 있다.

현재 버스, 화물 및 택시 대상의 ISG 장착 관련 연구는 일부 진행이 되었으나 일반 승용차의 ISG 장착 관련 연구는 부재한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 일반 승용차의 ISG 장착 전략 및 승용차 ISG 장착 사업의 적정 인센티브 수준을 수립하는데 활용하고자 실험환경 기반으로 승용차의 공회전 시 초당 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배

출량을 실측하고, 수도권 지역의 실주행 자료 기반으로 공회전 시간을 분석하였으며, 이를 통해 산출된 공회전에 따른 승용차 유형별 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량을 이용하여 승용차의 ISG 장착에 따른 내·외부 경제적 효과를 도출하였다.

### 2. 연구 방법 및 범위

#### 1) 연구절차 및 방법

본 연구 절차 및 방법은 다음과 같다. 첫째, 공회전 상황의 효과를 모형화하기 위하여 실험환경 기반으로 승용차의 초당 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량을 실측한다. 둘째, 도로유형 특성(고속도로, 서울시 국도, 서울시 단속류 구간, 인천·경기 국도, 인천·경기 단속류 구간 등)에 따라 3일간 동일한 시간대에 주행한 차량을 기반으로 각 시간대 및 도로유형별로 1시간씩의 주행 자료를 추출하여 주행 및 정차시간 특성을 분석한다. 셋째, 교통수요 예측 기법을 이용하여 전 단계에서 파악된 시간대 및 도로유형별 정차시간을 수도권 지역의 모든 승용차량의 특성으로 일반화한다. 넷째, 서울시, 인천시 및 경기도의 주행거리 당 평균 정차시간을 승용차 유형에 따라 일반화한다. 마지막으로 이를 종합적으로 반영하여 ISG 장착 전략에 따른 승용차의 공회전 시 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량 및 내·외부 경제효과를 분석하고, 최적의 장착 전략을 선정한다.

#### 2) 연구범위

본 연구는 기존에 ISG 장착 사업을 시행하고 있거나, ISG 장착에 대한 기대효과가 연구된 버스, 화물, 택시를 제외한 승용차 차종을 연구대상으로 하며, 승용차의 세부적인 유형구분은 Table 1과 같이 21개로 설정하였다. 지역적 범위는 등록차량 및 통행량이 전국의 절반 이상

Table 1. Classification by vehicle types

Region	Classification by Vehicle Type	Total Number of Car Types
Seoul	Type <ul style="list-style-type: none"> <li>• Private</li> <li>• Company</li> <li>• Government</li> </ul>	9 types
Incheon	Displacement <ul style="list-style-type: none"> <li>• ~1,000CC</li> <li>• ~1,500CC</li> <li>• ~2,000CC</li> <li>• 2,000CC~</li> </ul>	12 types
Gyeonggi		
Total		

을 차지하는 수도권을 대상으로 하였으며, 효과분석 대상은 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량으로 설정하였다. 이때, ISG 장착에 따라 운전자 본인에게 발생하는 연료절감 비용은 내부경제효과로, CO<sub>2</sub> 저감에 따라 사회 전체적으로 발생하는 온실가스 저감 비용은 외부경제효과로 전제하였으며, 최종적으로 ISG 장착 비용 대비 편익 비용을 산정한 후 이를 장착 전략별로 비교하였다.

## 관련연구 고찰

### 1. 공회전제한장치

공회전제한장치는 Stop-start 시스템, ISG, 공회전 자동제어시스템, 마이크로 하이브리드 기술 등 다양하게 불리고 있으나 ISG가 가장 일반적인 용어이다(Son et al., 2009). 공회전제한장치는 차량운행 중 정차 시 엔진을 정지하고, 출발 시 자동으로 시동이 걸려서 출발할 수 있는 장치로 하이브리드 차량에서부터 수동 T/M을 가진 승용차까지 다양하게 적용할 수 있다. 환경부는 '대기환경보전법 제59조(공회전의 제한)'의 법률 개정을 통해 자동차 공회전 제한의 의무화 조치를 위한 법적 근거를 마련하였으며, 공회전제한장치 제품의 품질과 안정성을 확보하기 위한 성능 기준에 대한 규정(대기환경보전법 제60조: 배출가스저감장치 및 공회전제한장치의 인증 등)을 제정하였다. 그리고 서울시, 인천시, 세종시 등에서는 관련 조례를 제정하여 자동차의 공회전을 제한하는데 필요한 사항을 규정하고 있다.

### 2. 기존 연구 고찰

Hong et al.(2010)은 NIER 모드<sup>1)</sup>와 도로 주행에 대한 디지털운행기록계를 이용하여 버스 20대, 택시 6대, 트럭 4대의 도로 주행데이터에 대한 공회전 정지시간을 분석하였으며, 그 결과 버스의 경우 공회전 시간은 전체 운행시간의 30.9%였고, 이 중 21.6%가 공회전 정지가 가능한 시간인 것으로 나타났다.

Lyu et al.(2006)는 배출가스시험장치(차대동력계, 보조운전장치, 시료채취장치, 희석터널, 입자상물질 측정장치, 배출가스 분석기)를 이용해 시험 자동차의 실측 주행을 통해 공회전을 포함한 연료별, 차속별 CO<sub>2</sub> 배출

량을 분석하였다. 분석 결과 동일연료·동일운전 조건하에 배기량과 차량무게가 클수록 CO<sub>2</sub> 배출량이 증가하며, 공회전일 경우 일반적인 녹색속도인 40-60km/h에서의 CO<sub>2</sub> 발생량 보다 높은 배출량이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Montazeri-Gh and Fotouhi(2011)은 교통상황을 인식하기 위해 주행 중 상황에 대한 군집분석을 수행하였고, 공회전 시간 비율, 속도변화, 크루지 비율, 가감속 값 등에 대한 데이터 분석 결과 공회전 시간 비율이 교통상황을 인식하기 위한 주요 지표로 활용이 될 수 있음을 확인하였다.

Shim et al.(2009)는 NIER-07을 이용하여 다양한 차종에 대한 공회전 정지 시 연료저감량 측정을 통해 공회전 및 시동 시 연료소모량을 이용한 공회전 정지에 따른 연료저감량 산출 방법을 모형화하여 운행자동차의 공회전 정지에 의한 CO<sub>2</sub> 저감량을 산출하였다.

Akcelik et al.(1983), Biggs et al.(1986), Post et al.(1984), Rakha et al.(2000), Ahn et al.(2002) 등의 연구에서는 차량 연료소모량과 관련된 추정 연구를 수행하였으며, 미국의 ORNL(Oak Ridge National Laboratory) 데이터를 근거로 속도, 등속도, 가속도, 공회전 등과 연료소모량 및 배기 가스량의 관계에 대해 회귀분석을 통해 모형화하였다(Force 모델, Polynomial 회귀모형, hybrid 회귀모형).

Kim et al.(2008)은 차량에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량은 차량의 연료소모량과 99% 이상의 양의 상관관계를 가지는 것을 증명하였고, CO<sub>2</sub> 배출량을 근거로 차량의 연비 및 연료소모량을 추정하거나 역으로 연료소모량을 근거로 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정하여도 무방함을 확인하였다.

Taniguchi(2003)는 도로 주행시험 자료를 기반으로 분석한 신호 정지 시 공회전 정지 효과 기반의 연비개선 효과를 3대의 배기량 2,000cc 차량을 이용하여 시험한 결과 전체 주행 구간에서 약 5.8%의 연비 개선이 가능함을 확인하였다.

Saito et al.(2008)는 소형트럭이 친환경 운전을 할 경우의 CO<sub>2</sub> 배출량 저감 효과를 분석하였는데, 시속 15km/h 정도의 주행조건하에서 15% 이상의 CO<sub>2</sub> 배출량이 저감됨을 확인하였다.

이와 같이 ISG와 관련하여 국내·외에서 일부 연구들이 수행되었으나 본 연구에서 목적을 두고 있는 승용

1) 국립환경과학원의 배출계수 측정을 위한 표준 주행모드

차 공회전과 관련된 교통계획 측면에서의 정량적 내·외부 경제적 효과와 관련된 연구는 미비한 실정이다.

## ISG 장착전략에 따른 경제효과분석

### 1. 공회전시 연료소모량 및 CO<sub>2</sub> 배출량 실측 실험

#### 1) 실험 장비 구성

본 연구에서는 차량 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량을 실측하는 시험환경을 이용하였다. 이러한 시험환경은 습도, 기온 등을 유지하고, 주행 상황에 맞는 바람을 제공하면서 차량 배기구의 모든 공기를 수집하여 배출 가스를 모두 측정하는 밀폐된 형태를 가진다. 세부 시험환경의 구성은 Figure 1, 2와 같다. 이때 측정 장치는 Figure 1과 같이 차대동력계와 OBD-II 연결장치, 온실가스 시료채취장치, 온실가스 분석하기 위한 NDIR (Non-Dispersive Infrared) 분석기, 자료처리장치 및 기타부속장치로 구성되며, 시험 환경 내 2009년식 YF 소나타 차량이 설치된 모습은 Figure 2와 같다.

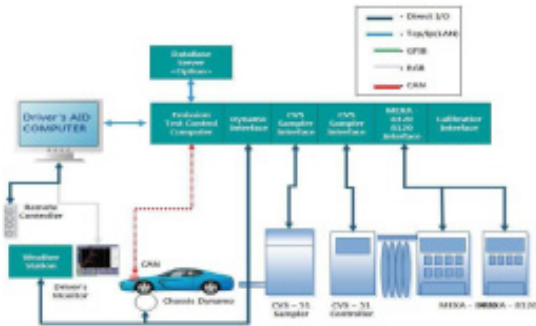


Figure 1. A components of test environments



Figure 2. A set up of experiment vehicle

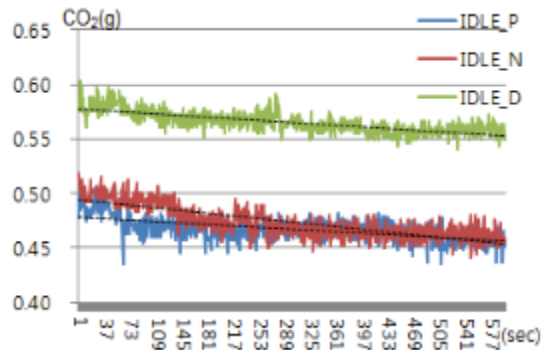


Figure 3. CO<sub>2</sub> emission by cumulative time of idling

Table 2. The measurement results of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission on idling

	Gear (D)	Gear (P)	Gear (N)
Fuel Consumption (ml)	139	115	120
CO <sub>2</sub> Emission (g)	338.41	279.59	283.66

note: cumulative measurement results for 600 seconds

#### 2) 실험 결과

실 주행상황에서 발생하는 승용차 공회전 시 연료소모량 및 CO<sub>2</sub> 배출량과 유사한 실험결과를 얻기 위해, 정속 주행상태와 고속 주행상태를 구현하면서 기어가 'N (중립)', 'P(주차)', 'D(주행)' 일 때의 공회전 시 배출량을 측정하였다.

공회전 시 기어상태별로 600초 동안 수집한 자료를 분석한 결과는 Figure 3과 같으며, 공회전 시 CO<sub>2</sub> 배출량은 매 초별로 0.45-0.60g 수준 인 것으로 측정되었다. 기어의 'D'(IDLE\_D)상태가 'P'(IDLE\_P)나 'N'(IDLE\_N)인 상황보다 CO<sub>2</sub> 배출량이 많은 것으로 분석되었으나, 공회전이 지속될수록 CO<sub>2</sub> 배출량은 약간의 감소 추세를 보이는 것으로 나타났다.

총 600초간 공회전 시 누적 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량을 측정된 결과, Table 2와 같이 'D'인 경우 139ml의 연료가 소모되고, 그에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량은 338.41g인 것으로 측정되었다. 한편 기어가 'P'인 경우는 'D'인 상황과 비교해 약 17.3%의 연료가 절감되어 115ml의 연료소모량과 279.59g의 CO<sub>2</sub> 배출량이 발생하는 것으로 분석되었다.

### 2. 단위 주행거리 당 정차시간 실험

단위 주행거리당 정차시간을 측정하기 위해 OBD-II 연결 장치를 장착한 승용차를 고속도로와 서울시 국도

및 단속류 도로, 인천·경기도의 국도 및 단속류 도로를 교통류적응주행법(Floating car technique)에 따라 다양한 경로와 시간대에 대해 실 주행하였다. 실측한 총 주행시간은 77시간, 총 주행거리는 2,319km이며, 분석 편의와 도로 유형 간 균일한 샘플수를 비교하기 위해 랜덤으로 각 유형별 1시간씩의 주행측정 결과를 추출하여 분석하였다. 수도권 주행특성에 대한 대표성을 확보하기 위해서는 많은 주행 자료가 요구되나, 시간 및 예산 제약의 한계가 존재하기 때문에 자료편이가 발생하지 않도록 도로유형과 시간대를 구분하여 자료를 가공하였다.

침두시간의 교통지체와 신호지체에 따른 정차 특성 분석 결과는 Table 3과 같이, 침두 시 고속도로에서는 주행시간 중 약 9%가 정차(공회전)인 상황이며, 인천시·경기도 단속류 도로에서는 약 39%가 정차(공회전) 중인 것으로 나타났다. Hong et al.(2010) 연구에서 조사된 버스·택시·택배트럭의 평균 공회전 비율인 28.6%와 비교했을 때, 본 조사에서의 승용차 공회전 비율은 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이는 도로상에서의 차종간 정차시간 차이가 크지 않음을 시사한다. 주행거리 1km당 정차시간을 분석한 결과, 침두 시 고속도로에서는 정차(공회전) 상황이 10초로 나타났으며, 비침두 시에는 지역 및 유형에 따라 정차(공회전)시간이 35.1-55.1초로 다양하게 나타났다. 침두 시 서울시 단속류 도로에서는 주행 중 정차(공회전)시간이 가장 긴

112.7초로 측정되었으며, 다음으로 인천·경기 단속류 도로에서의 정차(공회전)시간이 90초로 나타났다.

### 3. 지역별 단위 주행거리 당 정차시간 분석

서울시와 인천시/경기도 지역에 대한 단위 주행거리 당 정차시간을 일반화하기 위해, 각 지역 및 도로유형별 단위 주행거리 당 평균 정차시간인 Table 3에 각 도로 유형별 총 주행거리 비중을 곱하여 이를 산정하였다.

각 지역 및 도로유형별 총 주행거리 산정의 경우, 수도권의 도로망 네트워크를 구축한 다음 교통수요모형을 이용하여 통행 배정한 결과를 기반으로 분석하였다. 그 결과 Table 4와 같이 침두 1시간 총 주행거리 중 서울시는 국도 주행이 43.9%로 가장 크며, 인천시·경기도의 경우 단속류 도로 주행이 55%로 가장 높게 나타났다.

서울시와 인천시·경기도의 1km 주행거리당 평균 정차시간을 일반화하여 분석한 결과는 Table 5와 같이 서울시는 50.9초, 인천시·경기도는 48.9초로 나타났다. 정차시간이 많은 단속류 도로 비중이 서울시보다 인천시·경기도가 많음에도 불구하고, 서울시의 평균 정차시간이 인천시·경기도지역보다 높게 분석된 것은 서울시 단속류의 침두 시 지체시간이 인천시·경기도 지역에 비해 상대적으로 길기 때문인 것으로 판단된다.

### 4. 지역 및 승용차 유형별 총 주행거리 분석

Table 1에서 구분한 승용차 유형 기준의 공회전 시 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하기 위해, 자동차 유

**Table 3.** The experiment results of idling period while 1 hour's diving

Period	Region Road Type	A (Second)	B (%)	C (km)	D (Second/km)
Peak Period	Highway	327	9%	32.7	10.0
	Seoul National Highway	1,290	36%	19.8	65.1
	Seoul Road	1,357	38%	12.0	112.7
	Incheon-Gyeonggi National Highway	1,226	34%	26.5	46.2
	Incheon-Gyeonggi Road	1,405	39%	15.6	90.0
Off-peak Period	Highway	-	0%	65.0	0.0
	Seoul National Highway	1,089	30%	25.4	42.9
	Seoul Road	1,214	34%	22.4	54.1
	Incheon-Gyeonggi National Highway	1,014	28%	28.9	35.1
	Incheon-Gyeonggi Road	1,219	34%	22.1	55.1

note: A (Idling Period)  
 B (Percentage of Idling Period per hour=A/3600)  
 C (Travel Distance)  
 D (Idling Period per Travel Distance=A/C)

**Table 4.** Percentage of vehicle kilometers traveled by region and road types

Region	Road Type	Peak 1 Hour (%)	Off-peak 1 Hour (%)
Seoul	Highway	20.3%	23.9%
	National Highway	43.9%	45.1%
	Road	35.8%	31.1%
	Total	100.0%	100.0%
Incheon Gyeonggi	Highway	16.8%	20.0%
	National Highway	28.2%	35.7%
	Road	55.0%	44.3%
	Total	100.0%	100.0%

**Table 5.** Average idling period for 1km travel distance in Seoul and Incheon-Gyeonggi

Region	Average Idling Period (sec)
Seoul	50.9 sec.
Incheon · Gyeonggi	48.9 sec.

**Table 6.** Vehicle kilometers traveled by region and vehicle types

Region	Vehicle Type	Number of Vehicles (No.)	Vehicle Kilometers Traveled (VKT/year)
Seoul	Private	2,263,426	24,817,461,129
	Company	147,083	8,232,478,347
	Government	4,038	36,427,376
Incheon	Private	663,658	7,808,922,670
	Company	20,608	1,199,795,194
	Government	1,110	12,944,002
Gyeonggi	Private	3,080,629	39,710,992,606
	Company	71,476	3,272,213,831
	Government	4,678	56,753,302
Seoul	~1,000CC	119,322	987,317,919
	~1,500CC	387,178	2,996,409,633
	~2,000CC	850,974	8,442,785,256
	2,000CC~	400,776	4,858,472,047
Incheon	~1,000CC	59,392	505,309,272
	~1,500CC	135,010	1,151,438,702
	~2,000CC	231,309	2,550,492,151
	2,000CC~	63,884	914,674,119
Gyeonggi	~1,000CC	244,479	2,293,729,919
	~1,500CC	569,369	5,250,724,005
	~2,000CC	1,094,101	13,087,309,042
	2,000CC~	361,926	5,342,280,303

형에 따른 총 주행거리를 조사한 “2010년 자동차 주행거리 실태조사 연구(Korea Transportation Safety, 2012)” 자료를 활용하였으며, 자동차 유형별 주행거리를 정리한 결과는 Table 6과 같다. 승용차 유형별로는 개인 승용차의 총 주행거리가 가장 많으며, 배기량 1,500-2,000CC차량의 총 주행거리가 가장 많은 것으로 나타났다.

### 5. 지역 및 승용차 유형별 공회전시 총 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량 추정식

승용차 공회전에 따른 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정하기 위한 모형은 식(1)과 같으며, 이는 침두시간과 비침두시간에 대해 지역과 차량유형별 총 주행거리당 주행거리당 정차시간을 곱하고 정차시간당 단위 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량을 곱하는 방식으로 구성되어 있다.

식(1)에 포함되는 지역 및 차량유형별 총 주행거리, 주행거리당 정차시간, 정차시간당 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량은 앞서 분석된 Table 2-6의 값을 이용하였다.

$$Y_{R,K} = VKT_{R,K} \times \frac{ST}{RD_R} \times \frac{FE}{ST_R} \tag{1}$$

$$\frac{ST}{RD_R} = \frac{\sum_K (VKT_{R,K,P} \times \frac{ST}{RD_{R,K,P}}) \times 4}{\sum VKT} + \frac{\sum_K (VKT_{R,K,NP} \times \frac{ST}{RD_{R,K,NP}}) \times 16}{\sum VKT}$$

- 여기서,  $Y$  : 총 연료소모량( $g$ ), CO<sub>2</sub>배출량( $kg$ )
- $VKT$  : 총 주행거리(대 · km)
- $R$  : 지역(서울시, 인천시 경기도)
- $K$  : 차량 유형(용도, 배기량)
- $ST$  : 정차시간(분)
- $RD$  : 주행거리(km)
- $FE$  : 단위 연료소모량( $g$ ), CO<sub>2</sub>배출량( $kg$ )
- $P$  : 침두시간
- $NP$  : 비 침두시간

본 연구의 조사 결과와 식(1)로 분석한 수도권의 1km 주행거리당 정차 시 연료소모량은 11.5ml, CO<sub>2</sub> 배출량은 28.1g으로 스웨덴 볼보자동차에서의 공회전 제한장치 부착에 따른 CO<sub>2</sub> 저감량 15(g/km)보다 많게 나타났으나<sup>2)</sup> 이는 본 실험 소나타 차량이 기본적으로 볼보 차량에 비해 연비가 낮고, CO<sub>2</sub> 배출량이 많기 때문인 것으로 사료된다. 실험 차량의 연비를 8km/ℓ로 전제할 경우, 본 조사에서는 전체 주행 중 연료소모량의 14.4%가 정차 시 소모되는 것으로 분석되었고, 이는 스웨덴 볼보와 프랑스 발리오의 공회전제한장치 장착에 따른 연비 15% 상승<sup>2)</sup>효과와 유사한 결과로 해석된다.

### 6. ISG 장치의 경제효과분석 및 시사점

승용차 유형별로 공회전 시 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량은 식(1)과 그 세부 변수들에 대한 실측값을 적용하여 분석하였고, 승용차 유형별로 ISG 장치에 따른 기대효과는 Table 7과 같다.

여기서, ISG 장치에 따른 연료절감비용은 운전자 본인에게 혜택이 발생하므로 내부경제효과로, CO<sub>2</sub> 저감에 따른 사회적 기대비용은 사회 전체에 주는 이익이므로 외부경제효과로 정의하였다. 서울시 개인승용차의 1대

2) “환경부(2011), 공회전 제한장치 시범사업 평가결과”의 참고 3

당 공회전 시 평균 연료소모량은 129ℓ/년이며, CO<sub>2</sub> 배출량은 315kg/년으로 추정되었으며, 이를 화폐가치로 환산할 경우 서울시 자가용 ISG 장착의 내부경제효과는 246,000원/년/대, 외부경제효과는 25,000원/년/대로 나타났다.

승용차 1대당 가장 높은 기대효과를 나타내는 ISG 장착 대상차량은 서울시에 등록된 사업용 승용차(연료절감량: 660ℓ/년/대, CO<sub>2</sub> 저감량: 1,606kg/년/대)이며, 서울시에 등록된 모든 사업용 승용차의 ISG 장착 시 1년간 97,000m<sup>3</sup>의 연료를 절감하고, 236,000톤의 CO<sub>2</sub>를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 이에 따른 10년간 연료절감과 온실가스 저감 편익은 총 1,141(만원/대)이며, B/C는 8.55로 분석되었고, 이는 서울시 사업

용 승용차의 하루 평균 주행거리가 가장 길기 때문이다. 반면 서울시 관용 차량의 짧은 주행거리 특성으로 인해 서울시에 등록된 관용 승용차의 기대효과(연료절감량: 106ℓ/년/대, CO<sub>2</sub> 저감량: 259kg/년/대)가 가장 낮게 분석되었다.

배기량별 ISG 장착 기대효과를 살펴보면, 대체로 배기량이 클수록 1대당 연료절감량 및 CO<sub>2</sub> 저감량이 큰 것으로 나타났다. 이는 경차의 경우 단거리 통행이 많은 반면 중대형 차량의 경우 중·장거리 통행이 많기 때문인 것으로 사료된다. 배기량 기준으로는 경기도 2,000CC 이상 승용차의 ISG 장착 기대효과(연료절감량: 167ℓ/년/대, CO<sub>2</sub> 저감량: 407kg/년/대)가 가장 높은 것으로 분석된 반면 서울시에 등록된 1,500CC 미

**Table 7.** Economic effects of passenger car ISG strategy

Region	Vehicle Type	Reduction per vehicle/year		Total Annual Reduction in Vehicles		Cost Reduction per vehicle/year		Benefits and B/C <sup>3)</sup> per vehicle based on 10 years (10,000 won)			
		Fuel (ℓ)	CO <sub>2</sub> (kg)	Fuel (1,000 m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (1,000 tons)	Fuel <sup>4)</sup> (1,000 won)	CO <sub>2</sub> <sup>5)</sup> (1,000 won)	Fuel Reduction Benefits	CO <sub>2</sub> Reduction Benefits	Total Benefits	B/C
Seoul	Private	129	315	292	712	246	25	203	21	224	1.67
	Company	660	1,606	97	236	1,253	127	1,036	105	1,141	8.55
	Government	106	259	0	1	202	20	167	17	184	1.38
Incheon	Private	133	324	88	215	253	26	209	21	230	1.73
	Company	659	1,605	14	33	1,252	127	1,036	105	1,140	8.54
	Government	132	321	0	0	251	25	207	21	228	1.71
Gyeonggi	Private	146	355	450	1,095	277	28	229	23	253	1.89
	Company	518	1,262	37	90	985	100	814	82	897	6.72
	Government	137	334	1	2	261	26	216	22	238	1.78
Seoul	~1,000CC	98	237	12	28	185	19	153	16	169	1.26
	~1,500CC	91	222	35	86	173	18	143	15	158	1.18
	~2,000CC	117	285	99	242	222	22	184	19	202	1.52
	2,000CC~	143	348	57	139	271	27	224	23	247	1.85
Incheon	~1,000CC	96	235	6	14	183	19	151	15	167	1.25
	~1,500CC	97	235	13	32	183	19	152	15	167	1.25
	~2,000CC	125	304	29	70	237	24	196	20	216	1.62
	2,000CC~	162	395	10	25	308	31	255	26	280	2.10
Gyeonggi	~1,000CC	106	259	26	63	202	20	167	17	184	1.38
	~1,500CC	104	254	59	145	198	20	164	17	181	1.35
	~2,000CC	135	330	148	361	257	26	213	22	234	1.76
	2,000CC~	167	407	60	147	318	32	263	27	289	2.17
Eco-Driving(SMA <sup>6)</sup> )	27	65	169	407	51	5	43	4	47	-	

3) ISG 장착비용(133.5만원) 적용: "환경부(2011), 공회전 제한장치 시범사업 평가결과"의 택시 장착비용 및 유지비용 적용

4) 휘발유: 1,900원/ℓ, 경유: 1,700원/ℓ, LPG: 1,100원/ℓ 적용

5) CO<sub>2</sub>의 사회적 비용(87원/kg): "이규진, 최기주(2013), 교통량 배정 방법에 따른 대기질의 사회적 비용 비교분석"의 2009년 기준 CO<sub>2</sub>의 사회적 비용에 소비자 물가상승률 적용하여 산정

6) SMA: Seoul Metropolitan Area

만 승용차(연료절감량: 91 ℓ/년/대, CO<sub>2</sub> 저감량: 222 kg/년/대)의 기대효과가 가장 낮은 것으로 나타났다. 이 또한 대상 차량들의 하루 평균 주행거리에 기인한 결과이나, 서울시의 경우 대중교통이 인천시·경기도에 비해 상대적으로 잘 구축되어 있으며, 지역 범위가 상대적으로 좁다는 점도 그 이유 중 하나로 사료된다. 그러나 서울시에 등록된 1,500CC 미만 승용차의 ISG 장착 시 B/C 역시 1.18로 추정되어, 모든 승용차종에서 ISG 장착에 대한 경제적 타당성이 확보되는 것으로 분석되었다.

이러한 연구 결과를 볼 때 승용차 ISG 장착은 사업차, 개인승용차, 관용차 순으로 이루어지는 것이 효과적이며, 본 연구 결과를 기반으로 승용차 유형별 ISG 장착에 따른 세제혜택 및 인센티브 수준의 결정한다면 서울시 사업용 승용차의 경우 1대당 CO<sub>2</sub> 저감효과는 12만 7천원/년, 105만원/10년인 것으로 분석되었으므로 세제혜택 및 인센티브는 105만원/10년 이내로 결정할 수 있을 것이며, 인천시 1,000cc 미만 승용차의 경우는 15만원/10년과 같이 지역별로 차등하여 결정할 수 있다. 그러나 본 연구결과는 재시동 시 소모되는 연료의 양을 제외한 공회전에 따른 순수 기대효과이므로 Jeong(2003), Choi et al.(2002)의 연구 결과를 고려한다면 그 기대효과는 경감될 수 있으므로 이를 고려할 필요가 있다. 또한 승용차 ISG 장착에 따른 온실가스 저감 편익만을 고려하여 인센티브를 결정할 경우 과다한 정부지출 예산이 소요될 것으로 예상되며, ISG가 설치된 신규 승용차 구입자와의 형평성 문제가 발생할 우려가 있다. 이에 ISG 장착에 따른 연료절감 효과(서울시 개인승용차 203만원/10년, 사업용 승용차 1,036만원/10년)에 대한 홍보를 통해 자발적 ISG 장착을 우선시하여 활성화시킬 필요가 있을 것이다. 또한, 정차 시 기어를 '주행(D) 모드'에서 '주차(P) 모드'로 변경하는 에코드라이빙에 대한 효과분석 결과, 1대당 연 27ℓ의 연료절감효과와 65kg의 CO<sub>2</sub> 저감 효과가 발생하며, 수도권 모든 승용차가 이러한 에코드라이빙 실행 시 1년간 169,000m<sup>3</sup>의 연료를 절감하고, 407,000톤의 CO<sub>2</sub>를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 이에 따른 연료절감과 CO<sub>2</sub> 저감의 경제효과는 연간 각 3,200억원, 322억원인 것으로 분석되어 정차 시 '주차(P) 모드'로 전환하는 운전자의 운전습관도 연비 개선 및 온실 저감에 효과적인 것으로 나타난 바, 이러한 에코드라이빙 교육도 대기질 개선의 일부 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구에서는 승용차 유형별 공회전 시 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량 분석 결과를 기반으로 ISG 장착에 따른 경제적 효과를 제시하였고, 본 연구에 의해 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 실측 주행환경에서 600초간 승용차의 공회전 시 연료소모량과 CO<sub>2</sub> 배출량의 분석 결과, 기어 P(주차)인 경우 D(주행)인 상황에 비해 약 17.3%의 연료가 절감되는 것으로 나타났다. 또한 수도권 모든 승용차가 정차 시 '주차(P) 모드'로 전환하는 운전습관으로 변화함에 따른 연료절감과 CO<sub>2</sub> 저감의 경제효과는 연간 각 3,200억원, 322억원인 것으로 분석되었다.

둘째, 수도권의 승용차 주행 중 정차시간 실험 결과를 기반으로 교통수요예측 모형을 통해 수도권 지역의 승용자동차 평균 정차시간을 일반화한 결과, 승용차의 평균 정차시간은 서울시 50.9초/km, 인천시·경기도 48.9초/km로 나타났다.

셋째, 서울시 개인승용차의 공회전 시 연료소모량(129ℓ/년) 및 CO<sub>2</sub> 배출량(315kg/년)을 통해 ISG 장착에 따른 경제효과를 분석한 결과 내부경제효과는 24.6만원/년, 외부경제효과는 2.5만원/년으로 분석되었고, 경제성(B/C 1.67) 역시 충분한 것으로 나타났다.

넷째, ISG 장착에 따른 기대효과가 가장 높은 것은 서울시 사업용 승용차로, ISG 장착에 따른 연료절감량(660ℓ/년/대)과 CO<sub>2</sub> 저감량(1,606kg/년/대)에 근거한 ISG 장착의 기대효과는 1,141만원/대/10년, B/C는 8.55로 분석되었다.

다섯째, 배기량별 ISG 장착의 기대효과를 비교한 결과, 대체로 배기량이 클수록 1대당 연료절감량 및 CO<sub>2</sub> 저감량이 큰 것으로 나타났다.

여섯째, 본 연구결과를 활용하여 승용차 유형별 ISG 장착에 따른 세제혜택 및 인센티브 수준은 서울시 사업용 승용차의 경우 온실가스 저감 효과인 105만원/10년을 적용할 수 있으나 재시동 시 소모되는 연료량, 정부예산 및 ISG 장착 차량 구입자의 형평성 등을 종합적으로 고려하여 결정할 필요가 있다. 특히, ISG 장착에 따른 연료절감 효과가 1,036만원/10년(서울시 사업용 승용차)으로 확인되었기 때문에 홍보를 통한 자발적 ISG 장착 유도가 우선시되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구결과는 수도권 대기질 개선 전략의 일부로써 승용차의 ISG 도입 전략에 대한 정책적 방향 설정에 기



여할 수 있을 것으로 기대되나, 향후 추가 연구를 통해 본 연구결과를 보다 합리적으로 일반화할 필요가 있다. 또한 본 연구의 범위로 설정한 CO<sub>2</sub> 외에 타 배출물질에 접근도 요구되며, 본 연구에서는 휘발유 차량을 중심으로 접근하였으나 경유 및 LPG 차량은 다른 특성을 보일 것으로 예상되므로 이에 대한 추가 연구가 요구된다. 또한 본 연구에서는 차종간 정차시간 차이가 크지 않은 결과를 제시하였는데, 추가 조사와 통계적 검증을 통해 이를 확인할 필요가 있다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea Government(MSIP) (NRF-2010-0029 446).

## REFERENCES

- Ahn K., Rakha H., Trani A., Van Aerde M. (2002), Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels, *J. Transp. Eng.*, 128(2), 182-190.
- Akcelik R., Bayley C., Bowyer D. P., Biggs D. C. (1983), A Hierarchy of Vehicle Fuel Consumption Models, *Traffic Eng. Control*, 24(10), 491-495.
- Biggs D. C., Akcelik R. (1986), An Energy-related Model of Instantaneous Fuel Consumption, *Traffic Eng. Control*, 27(6), 320-325.
- Choi G. N., Cho G. B., Jeong D. S. (2002), A Comparison Study of Fuel Consumption and Emissions for Engine Idling and During Startup, *The Korean Soc. Automot. Eng.*, The 2002 Conference of Korea Society of Automotive Engineers, Korea.
- Hong S. T., Lee B. H., Lee D. Y., Shim M. G., Rim J. M. (2010), An Analysis of Idling Stop Time Using Real On-road Driving Data, *J. Korean Soc. Transp.*, 28(1), Korean Society of Transportation, 25-28.
- Iiyama (1996), *Direct Injection Gasoline Engines*, Wayne University.
- Jeong D. S. (2003), A Study of Fuel Consumption According to the Engine Idling, A Workshop for Supply Activation of Small Car, *Korean Society of Automotive Engineers*, 23-40.
- Kim Y. T., Lee H. K., Kang J. H., Han S. B., Chung Y. J. (2008), Relationship Between CO<sub>2</sub> Emission and Fuel Consumption Rate According to Used Fuels at Driving Mode., *J. Energy Eng.*, 17(4), 227-232.
- Korea Transportation Safety Authority (2012), 2010 Report on the Actual Condition of Vehicle Kilometer Travelled.
- Lee K. J., Choi K. C. (2013), Social Cost Comparison of Air-Quality based on Various Traffic Assignment Frameworks, *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, 33(3), 1087-1094.
- Lindsay Brooke (2008), High-valve Hybrids, *AEI*, 25-27.
- Lyu Y. S., Ryu J. H., Jeon M. S., Kim D. W., Jung S. W., Kim S. M., Eom M. D., Kim J. C. (2006), A Study on Characteristics of Carbon Dioxide Emissions from Passenger Cars, *J. Korean Soc. Atmospheric Environ.*, 22(4), 451-458.
- Ministry of Environment (2011), Evaluation Result of Pilot Project for Idle Stop and Go.
- Montazeri-Gh M., Fotouhi A. (2011), Traffic Condition Recognition Using the Means Clustering Method, *Scientia Iranica*, 18(4B), 930-937.
- Post K., Kent J. H., Tomlin J., Carruthers N. (1984), Fuel Consumption and Emission Modelling by Power Demand and a Comparison with other Models, *Transp. Res. Part A*, 18(3), 191-213.
- Rakha H., Medina A., Sin H., Dion F., Van Aerde M., Jenq J. (2000), Field Evaluation of Efficiency, Energy, Environmental and Safety Impacts of Traffic Signal Coordination across Jurisdictional Boundaries, *Transp. Res. Rec.*, 1727, 42-51.
- Rakha H., Van Aerde M., Ahn K., Trani A. (2000), Requirements for Evaluation of Environmental Impacts of Intelligent Transportation Systems Using Speed and Acceleration Data, *Transp. Res. Rec.* 1738, 56-67.

- Saito A., Ueki S., Nagatomi Y., Sawazu N., Takada Y. (2008), Analysis of CO<sub>2</sub> Reduction Mechanism by Eco-driving with Light Duty Diesel Freight Vehicle in Real Traffic Conditions, SAE Technical Pap., 2008-01-1304.
- Shim M. K., Rim J. M., Lee B. H., Hong S. T., Lee D. Y. (2009), Estimation of CO<sub>2</sub> Reduction by Applying Idling Stop to In-use Vehicles, J. Korean Soc. Mechanical Eng. Part B, 33(10), 748-756.
- Son M. H., Park G. H., Son S. W. (2009), The Technology Trend of Stop-start Systems, Electronics and Telecommun Trends, 24(5), 52-61.
- Taniguchi M., Sato F. (2003), The Effect of Idling Stop at Red Light for Fuel Saving from the Data of the Field Test, Society of Automot. Engineers of Jpn.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제67회 학술발표회 (2012.10.20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ☞ 주 작성자 : 이규진
- ☞ 교신저자 : 이규진
- ☞ 논문투고일 : 2014. 2. 6
- ☞ 논문심사일 : 2014. 3. 17 (1차)  
2014. 5. 25 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2014. 5. 25
- ☞ 반론접수기한 : 2015. 2. 28
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필