

## MESSAGE 모델링을 이용한 승용차 부문의 그린카 도입 전망 분석\*

유종훈 · 김후곤<sup>†</sup>

경성대학교

(2011년 11월 29일 접수, 2012년 2월 20일 수정, 2012년 2월 20일 채택)

## A Long Term Market Forecasting of Passenger Car using MESSAGE Modelling

Jong Hun Yoo and Hu Gon Kim<sup>†</sup>

Kyungsung University

(Received 29 November 2011, Revised 20 February 2012, Accepted 20 February 2012)

### 요 약

본 연구에서는 MESSAGE를 이용하여 승용 부문의 중장기 온실가스 감축잠재량 전망을 위한 방법론과 그 결과를 제시하고 있다. 승용부문의 실질적인 온실가스 감축잠재량을 구하는 것이 아니라 가장 대표적인 중형차 부문의 4가지 차종인, 기존 내연기관차, 하이브리드, 플러그인 하이브리드, 전기차를 이용하여 2050년까지 시장점유율 변화를 알아내 중점을 두었다. 승용 부문의 감축잠재량 분석을 위해 녹색위원회의 그린카 로드맵을 중심으로 한 BAU 시나리오, 그린카 보급을 강화하는 시나리오, 학습 곡선을 이용하여 학습률에 따른 차량 가격 시나리오, 그린카의 학습률을 강화하는 시나리오 등 4가지 시나리오를 구성하였다. 그린카 보급 강화 시나리오에서 2050년에는 BAU 시나리오 대비 13%의 배출량이 감소하였고, 학습률에 따른 차량 가격 시나리오 및 학습률 강화 시나리오에서는 14%의 배출량이 감소함을 알 수 있었다.

**주요어** : MESSAGE, 최적화 모형, 그린카, 친환경 자동차, 온실가스

**Abstract**— In this study, long-term greenhouse gas reductions expected passenger sector was used for the MESSAGE. Green Car road map proposed BAU scenario, Enhanced diffusion green car scenario, and price 1, 2 scenarios was configured with four scenarios.

Enhanced diffusion green car in the scenario, in 2050 compared to BAU scenario 13% of the emissions will decrease. Price 1 and Price 2 scenario is emissions reduction of 14% compared to BAU. This study consists of six chapters. Introduction of MESSAGE, creation and RES in the year and the target year set a different base line and the passenger building materials sector activities, steps for passenger sector scenario and Based on the results of running the emissions reductions were to describe.

**Key words** : MESSAGE, optimization modeling, Green Car, GHG

### 1. 연구의 배경 및 목적

지구온난화 문제를 해결하기 위한 온실가스 규제 및 방지를 위한 교토의정서가 1997년 발표되었다. 이에 따라 41개 의무감축국(Annex-1)들은 2012년까지 2006년 대비 평균 5.2%의 CO<sub>2</sub> 배출량을 감축하기로

합의하였다. 정부는 2020년의 감축목표치로 BAU(Business As Usual) 대비 21%, 27%, 30% 감축의 세 가지를 제시하고 있다.

자동차 부문의 감축 목표달성을 위해 자동차 효율 향상, 바이오연료 도입, 그린카 도입 등을 고려하고 있다. 실제 이러한 정책들이 얼마나 감축목표 달성에 기여할 수 있는지를 알아보려면, 관련 인벤토리 구축, 수송 기술 데이터베이스 구축, 시나리오 설정 등이 있어야 하고, 이를 이용하여 각 정책별 감축잠재량을 계산하여야 한다.

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.  
309, Suyeong-ro, Nam-gu, Busan 608-736 Kyungsung University  
Tel : 051-663-4748; E-mail : yoojonghun@gmail.com

감축잠재량을 분석하는 방법론은 크게 하향식(bottom-up)과 상향식(top-down)의 두 가지가 있다 [8]. 하향식 방법은 거시경제 분석에 사용되는 CGE(Computable General Equilibrium) 모형을 이용하여, 온실가스 감축이 경제·후생·분배에 미치는 파급효과를 분석하는 것이다. 반면 상향식 방법은 최종수요를 설정하고, 이 수요를 만족시킬 수 있는 에너지 흐름 및 기술의 대안을 선택하는 것으로, 대개 최적화 방법론(optimization method)에 기반을 두고 있다.

상향식 최적화 방법론은 1970년대 오일쇼크에 따른 대체에너지의 경제성 분석을 위해 개발되기 시작하였는데, 이에는 MARKAL, MESSAGE, AIM 등이 있다. 이들은 모두 선형계획법(LP, linear programming)에 기반을 두고 있으며, 사용자 인터페이스 및 데이터베이스 활용 등에서 약간씩의 차이를 보이고 있다.

본 연구에서는 BAU시나리오, 그린카 강화 시나리오, 가격 1 시나리오, 가격 2 시나리오 등 4가지 시나리오에 대해 MESSAGE를 이용하여 승용 부문의 중장기 온실가스 감축 잠재량 전망을 위한 방법론을 제시하기로 한다.

본 연구의 구성은 6장으로 되어 있으며 2장은 MESSAGE 구성에 대한 전반적인 소개를 하였다. 3장에서는 승용부문 MESSAGE 모델링에서 연구 대상 차종을 구분하고 이에 따른 RES의 작성과 장기 전망에 따른 베이스 라인 연도와 목표 연도 설정 그리고 승용부문 활동자료를 기술하였다. 4장은 승용 부문 시나리오 설정단계로써 총 4가지 시나리오를 설정하여 차량 점유율에 따른 시나리오를 설정하였다. 5장에서는 시나리오 실행 결과에 따른 배출량 감축량에 대해 기술 하였으며 6장에는 앞서 제시된 내용을 정리하고 연구의 한계점 및 향후 개선 방향을 언급하였다.

## 2. MESSAGE 모델링 개요

MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts)는 IAEA(국제원자력기구)에서 공인된 온실가스감축 정책 평가 모형으로, 많은 국가에서 중장기 온실가스 감축 목표치 산정을 위한 상향식 기법으로 이용되고 있다 [7]. MESSAGE는 사용자 인터페이스를 통하여 에너지 폼(energy form), 최종 수요 자료(effective demands), 기술 데이터베이스 등의 입력을 받아서 LP 모형을 만들고, 이의 최적해를 구하고 그 결과를 다양한 그래프

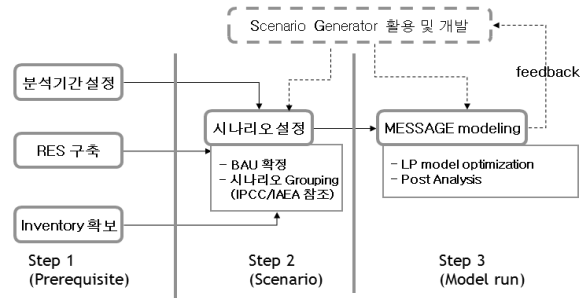


그림 1. 상향식 모델링의 절차

및 테이블로 보여주게 된다 [7]. 이러한 MESSAGE를 수송분야에 적용하기 위해서는 수송 관련 인벤토리 확보, 기술 데이터베이스 구축, 다양한 정책 시나리오 작성 등이 이루어져야 한다.

상향식 모델링은 그림 1과 같이 사전준비(Prerequisite), 시나리오 작성(Scenario), 모델 실행(Model Run) 등의 세 가지 단계로 구성된다.

사전준비 단계에서는 모델의 분석기간을 설정하고, 모델에서 이용될 각종 통계자료(inventory)를 확보하고, 에너지 흐름을 나타낼 RES(Reference Energy System)를 작성하게 된다. 분석기간은 모델의 실행기간을 말하며, 본 연구의 수송부문에서 분석기간은 기준연도 2010년과 분석기간 2011~2050년까지이다.

시나리오 작성 시 각 시나리오들은 BAU 베이스라인 대비 감축잠재량 및 추가비용을 제시한다. 사전준비 단계와 시나리오 작성을 하고 나면, 각 시나리오별 모델작성을 하게 된다. MESSAGE에서는 모델을 “case study”라 하며, “case study”에는 최종수요, 에너지 폼, 엔엔티티 등을 입력하여서 RES를 작성하게 된다. 그리고 “relations”를 통해 다양한 추가 제약식(생산제약, 수요제약, CO<sub>2</sub> 제약, 비용제약 등)을 입력하고, 미리 정의된 시나리오를 대입하여 LP 모형을 생성하고, MESSAGE에 연결된 LP 프로그램에 의해 최적해를 구하게 된다.

## 3. 승용부문 MESSAGE 모델링

### 3-1. RES의 작성

승용부문의 최종수요를 이동거리(km)나 차량대수로 할 수 있는데, 에너지 사용 관점에서 해석하면 이들은 동일한 것으로 볼 수 있다. 만약 중형 승용차 1대가 연간 20,000 km를 주행하고 연비가 10 km/liter 이면, 중형 승용차 한 대와 20,000 km는 등가가 되고

이때 필요한 에너지는 2,000 liter/year가 된다.

본 연구는 국내에서 가장 많이 운행되는 가솔린 중형차의 점유율 변화 및 감축 잠재량을 알아보기 위해 그린카 중 동급 차량인 “ICE(internal-combustion engine)”, “HEV(hybrid)”, “PHEV(plug-in hybrid)”, “EV(electric vehicle)” 로 선정하고, 승용부문의 최종수요는 100만 km/년로 고정 시킨다. 최종수요인 100만km/년은 실수요는 아니며, 각 차종(ICE, HEV, PHEV, EV)의 점유율을 알아보기 위하여 고정시킨 수요이다.

최종수요 “Car demand”를 만족시키기 위해 네 가지 승용기술(수요기술이라고 함)이 고려되고 있는데, ICE의 경우 가솔린 1리터로 12 km를 주행하고, HEV의 경우 가솔린 1리터로 30 km를 주행한다. 여기서 HEV는 자체 구동으로 전기를 생성하기 때문에 외부로부터의 전력 공급은 없다. PHEV는 전기 5.2 KWh와 가솔린 1리터로 57 km를 주행함을 나타내고 있다. EV는 전기 1 KWh로 5 km를 주행함을 나타내고 있으며, 여기에 소요되는 1kwh의 전력을 리터로 환산 하면 0.29 L가 된다.

표 1. 차종별 연료 사용 및 연비

차종	연료	연비
ICE	가솔린 : 1 리터	12km
HEV	가솔린 : 1 리터	20km
	전 기 : 자체 생성	
PHEV	가솔린 : 1 리터	57km
	전 기 : 5.2kwh(1.5Liter)	
EV	전 기 : 1kwh(0.29Liter)	5km

주) RES 작성에서 입력 에너지 단위와 출력 에너지 단위를 동일하게 하여야 된다. PHEV와 EV의 사용 연료 중 전기는 에너지 열량환산기준(총발열량, 에너지 기본법 제 5조 제1항)을 근거로 리터로 환산하였다.

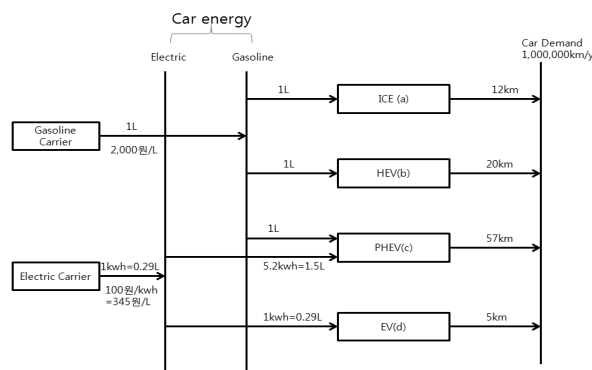


그림 2. 그린카 부문 RES

이를 만족시키기 위한 에너지 흐름을 나타내는 RES (Reference Energy System)는 그림 2와 같다. 여기에는 두 가지 에너지 레벨(energy level)인 “Electric”, “Gasoline”과 “car demand”로 구성된 RES이다.

그림 2에는 두 가지 에너지 공급원인 “Gasoline carrier”, “Electric carrier”가 있고, 이들 각각은 “Car energy”에 속한 에너지 품인 “Gasoline”, “Electric”에 에너지를 공급하게 된다. 여기서 에너지 공급원들은 입력은 없고 출력만 가지는데, 국가 전체 모델에서는 정유공장을 거쳐 생산된 휘발유나 수입 휘발유가 입력으로 들어가게 되지만, 승용부문만을 대상으로 하는 경우 출력만을 가지는 것으로 보고 RES를 작성하는 것이 해석을 하는데 보다 효과적이다.

RES 작성에서 유의할 점은 아크에 표시된 엔터티의 입력 에너지 단위와 출력 에너지 단위를 동일하게 하여야 된다는 것이다. 따라서 그림 2의 아크를 모두 동일한 Liter로 환산하였다.

### 3-2. base year, model year, terminal year, historic capacity

MESSAGE에서 base year와 terminal year사이에서 속한 기간이 모델의 분석 기간(time horizon)이 된다. 본 연구는 2011년부터 2050년까지를 분석기간으로 하였으며 base year는 2010이고 terminal year는 2051년으로 하였다. 분석기간의 몇 개의 분석 간격(period)으로 나누어지는데 대개의 경우 1년 간격, 5년 간격 등이 사용된다 [4]. 이때 분석 간격에 해당되는 해를 model year라 한다. 분석기간이 2011~2050년이고 분석 간격이 1년인 경우 model year는 2011, 2012, 2013, ..., 2050년이 해당된다. 그림 3은 차량수명이 11년으로 가정한 경우를 보여주고 있다.

첫 번째 model year에 투입되는 기존의 설비용량을 historic capacity라 하는데, 본 연구의 경우에는 2011년에 운행되는 기존 차량이 된다. 그림 3에서 차량의 수명이 11년이므로 2001년에 생산(또는 등록)된 차량은 2011년까지, 2002년에 생산된 차량은 2012년까지, 마지막으로 2010년에 생산된 차량은 2020년까지 운행될 수 있으므로, 이들 모두가 첫 번째 model year인 2011년에 운행될 historic capacity가 된다. 승용차의 경우 historic capacity를 확보하기 위해서는 2001년부터 2010년까지 생산(또는 등록)된 차량으로 2011년에 운행될 차량의 데이터를 확보하며 되는데, 본 연구에서는 2001년부터 2010년까지 매년 100,000 km의 차량을 historic capacity로 두기로 한다.

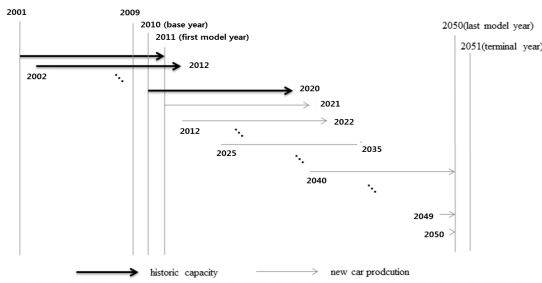


그림 3. base year, model year, terminal year, historic capacity

3-3. 의사결정 변수 및 목적함수

MESSAGE에서 가장 중요한 데이터 중 하나는 최종 수요라 할 수 있다. 승용부문의 최종수요는 차량 대수, 대-km, 인-km 등이 고려될 수 있다. 상향식 모델링에서는 최종수요가 주어지면 이들을 만족시킬 수 있는 최종수요기술(특정 모델의 승용차)들의 연도별 생산대수 및 이들 차량에 투입되는 에너지량이 결정 변수가 된다. 승용차 수명이 11년으로 주어지면, 2020년에 운행되는 승용차의 대수는 2010년부터 2019년까지 연도별 새로 생산된 차량의 대수의 합에다가 2020년에 새로 생산된 차량의 대수를 더하면 된다. 그리고 2020년에 운행되는 차량의 대수가 주어지면 에너지 투입량은 연비에 의해 결정되게 된다. MESSAGE는 내부적으로 의사결정 변수는 연도별 새로 생산되는 차량의 대수와 투입되는 에너지량의 두 가지만을 포함하고 있다.

승용부문의 목적함수 값은 새로 생산되는 차량에 대한 차량생산가격(investment cost)과 투입되는 에너지량에 대한 에너지 가격의 두 가지로 구성된다. 이때 주의할 점은 승용차의 연간 운행거리가 20,000 km이고, 차량구입가격이 30,000,000만원이라면 차량 생산가격은 단위 km당 가격이 되어 1,500 원/km이 입력으로 들어가게 된다. 본 연구 대상 차량은 현재 시중에 판매 되거나 잠정적으로 판매가격이 알려진 가격을 기준으로 하였다<sup>1)</sup>.

3-4. 승용부문 활동자료

기준년도를 2010년으로 하고, 분석기간을 2011년

1) ICE(internal-combustion engine, 현대 쏘나타 판매가Y20 : 2,800만원)와 HEV(hybrid, 현대 쏘나타 HEV : 3,500만원)는 현재 시판되는 세전 가격을 근거로 하였으며, PHEV(plug-in hybrid, 도요타 프리우스 : 4,000만원), EV(electric vehicle, 닛산 리프 : 4,500만원)의 경우 매체 자료 및 제조사홈페이지에 나온 가격을 근거로 하였다.

표 2. 각 차량별 차량 생산가격

	차량가격(원)	운행거리(km)	차량생산가격(원/km)
ICE	28,000,000	20,000	1,400
HEV	35,000,000	20,000	1,750
PHEV	40,000,000	20,000	2,000
EV	45,000,000	20,000	2,250

표 3. 승용부문 RES의 엔티티와 통계자료

	entity name	필요한 통계자료
demand	car demand	이동거리
car technology	ICE	연도별 구입가, 연비, 차량수명
	HEV (hybrid)	연도별 구입가, 연비, 연료구성비, 차량수명
	PHEV (plug-in hybrid)	연도별 구입가, 연비, 연료구성비, 차량수명
	EV(electric car)	연도별 구입가, 연비, 차량수명
energy carrier	oil carrier	연도별 liter당 가격
	electricity carrier	연도별 kwh당 가격

부터 2050년까지로 설정하는 경우 필요한 인벤토리를 살펴보면 최종수요와 관련하여서는 2011~2050년까지의 이동거리(km) 또는 차량대수가 주어져야 하고, 엔티티들과 관련하여서는 표 3과 같은 자료들이 주어져야 한다. 이때 모든 비용들은 2010년의 명목가격으로 하고, 연도별 통계치는 2011~2050년 분석기간에 대한 자료가 필요하다.

본연구의 대상 차량의 연간 이동거리는 20,000Km로 한정을 하였으며, 연비는 각 제조사에서 발표한 공식연비를 사용하였다. 그리고 차량의 수명은 11년으로 설정하였다.

유가 변동의 불확실성을 고려한 에너지수요 전망을 위해 미국 EIA(2008)의 장기 유가시나리오를 채택하여 현재의 환율을 적용하여 환산하였다.

전기차 충전전력 요금은 전기차를 충전하는 일반 소비자, 향후 전기차 충전 사업자 등이 한전과 거래하는 전력에 대한 요금으로서, 경부하 시간대에 충전을 유도하여 국가적으로 효율적인 전기소비를 유도하고자 시간대별로 요금 수준을 달리 적용하고 있다. 2010년도 전기차 충전전력요금에 따라 평균전기요금은 저압(2,130원/KWh) 기본요금에 여름에 사용량인 경부하 요금 51.2원/KWh과 중간부하 요금 129.1 원/KWh, 최대부하 요금 206.5 원/KWh을 더해 평균값 108원을 산출하였다. 하지만 본 연구의 편의를 위해 100원/KWh으로 설정 하였다. 전기요금이 감소하는 이유는

국가전력생산 기본이 원자력에 기반하고 있기 때문에 전력 요금은 점차 감소하는 것으로 설정하였다.

#### 4. 승용 부문 시나리오 설정

승용 부문의 시나리오는 BAU를 포함하여 그린카 보급강화 시나리오, 가격1 시나리오, 가격2 시나리오, 4가지이다. BAU와 그린카 보급강화 시나리오는 장기 연료가격 전망에 따라(표 4) 그린카 점유율이 주어지는 시나리오이고, 가격1과 가격2는 점유율 없이 학습모형의 학습률(r)에 의해 차량 가격이 정해지므로 가격 경쟁력이 있는 차량이 최적해에 의해 선택되는 시나리오이다.

##### 4-1. BAU 시나리오 설정

그린카 보급 시나리오는 정부에서 발표한 연비개선 목표인 140g/km('15년) 달성 및 그린카 보급비율 1.9%('15년), 21%('20년)를 반영하여 작성되었다. 그린카 도입은 녹색위보고자료 「그린카 발전전략 및 과제(2010. 12)」 내용을 반영하여 작성 하였다.

##### 4-2. 그린카 보급강화 시나리오 설정

그린카 보급 강화 시나리오는 BAU 시나리오에 그린카의 보급을 보다 강화하는 정책을 가정한 시나리오이다. 점유율 변화 중 EV는 6%로 BAU보다 2%정도 보급 강화를 주었다.

##### 4-3. 학습곡선을 이용한 가격 시나리오 설정

학습곡선을 이용한 가격 시나리오는 두 가지로 구성되는 편의상 가격 1 시나리오와 가격 2 시나리오로 부르기로 한다. 가격 1과 2 시나리오에서는 그린카의 가격이 학습 곡선에 점차적으로 감소하도록 하였다. 즉 그린카의 보급에서 학습곡선의 학습률 r에 따라 생산 가격이 점차 감소하게 된다. 이러한 학습곡선이 존재하면 누적생산량이 증가함에 따라 평균원가가 체계적으로 감소하게 된다. 학습 모형은 다음과 같다.

$$f(x) = ax^{-b}$$

여기서 f(x) : 세전 판매가격

x : 누적 생산량

a : 첫 번째 단위의 생산원가

b : 학습 곡선의 계수

표 4. 장기 연료가격 전망

구분	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
휘발유 가격	1,850	2,108	2,365	2,623	2,880	3,318	3,396	3,653	3,911
전기 요금	100	96	88	84	84	84	84	84	84

표 5. BAU : 그린카 보급 시나리오

구분	2011	2020	2030	2040	2050
ICE	99%	79%	64%	40%	20 %
HEV	1%	10%	6%	10 %	-
PHEV	-	7%	17 %	30%	40 %
EV	-	4%	13 %	20 %	40 %
합계	100%	100%	100%	100%	100%

표 6. 그린카 보급 강화 시나리오

구분	2011	2020	2030	2040	2050
ICE	98%	80%	59%	33%	10%
HEV	2%	9%	3%	-	-
PHEV	-	5%	20%	35%	45%
EV	-	6%	18%	32%	45%
합계	100%	100%	100%	100%	100%

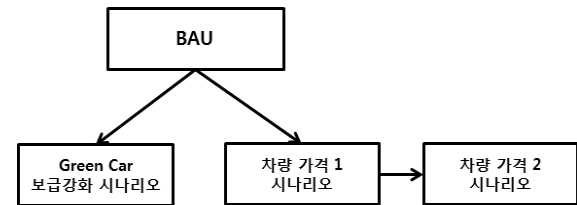


그림 4. 시나리오 구성

위의 학습모형에서 학습률 r이란 누적 생산량이 두 배 되었을 때 단위당 평균 원가가  $(1-r) * 100(\%)$ 만큼 감소한다는 의미이다. 즉, 학습률 r과 학습곡선의 계수 b사이에는 다음과 같은 식이 성립한다.

$$r = \frac{f(2x)}{f(x)} = \frac{a(2x)^{-b}}{ax^{-b}} = 2^{-b} \quad b = -\frac{\log r}{\log 2}$$

본 연구에서 단위당 평균원가는 차량의 가격으로 둔다. 가격 1, 2 시나리오에서 HEV, PHEV, EV 차량의 학습률 r을 달리 적용한 것은 초기 도입 기술력에 의한 것으로서 특히 EV의 경우 배터리에 대한 개발이 가격인하로 직결되면 평균 차량 가격이 타 차량보다 낮아질 수 있기 때문이다. ICE는 누적 생산에 따른 학습률은 없는 것으로 한다.

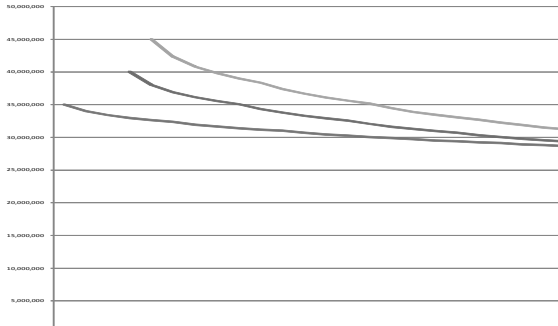
**표 7. 학습률에 따른 차량 가격 인하율**

차종	학습률(r)	학습곡선 계수(b)	단위당 평균 원가 (1-r) * 100(%)만큼 감소	첫 번째 1만대의 생산원가(a)
ICE	-		-	2,800만원
HEV	97%	0.04394	3%	3,500만원
PHEV	95%	0.07400	5%	4,000만원
EV	94%	0.0893	6%	4,500만원

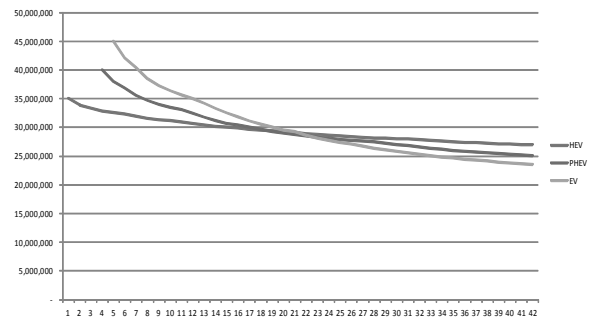
주) 생산원가(a)는 초기 10,000대의 가격이 차량 가격과 동일. 그린카 중 PHEV, EV의 학습률(r)이 HEV보다 낮게 책정한 것은 기술발전예 따라 배터리에 대한 가격이 전반적으로 떨어지면 차량의 평균 가격도 낮아지기 때문이다.

**표 8. 가격 1 시나리오에서 학습률에 의한 누적 생산량 및 가격** (단위: 천원)

	학습곡선계수 (b)	학습률	2010년	2015년	2020년	2025년	2030년	2035년	2040년	5045년	2050년
HEV 가격 추정치	0.04394	0.97	35,000	<b>33,950</b>	<b>31,943</b>	<b>30,682</b>	<b>29,698</b>	<b>28,934</b>	<b>28,298</b>	<b>27,886</b>	<b>27,340</b>
HEV 누적 생산량			2만대	8만대	20만대	42만대	76만대	126만대	176만대	276만대	376만대
PHEV 가격 추정치	0.07400	0.95		<b>36,100</b>	<b>33,281</b>	<b>31,258</b>	<b>29,775</b>	<b>28,534</b>	<b>27,662</b>	<b>26,872</b>	<b>26,126</b>
PHEV 누적 생산량			0	4만대	12만대	28만대	54만대	96만대	146만대	216만대	316만대
EV 가격 추정치	0.0893	0.94		<b>40,796</b>	<b>36,639</b>	<b>33,884</b>	<b>31,851</b>	<b>30,236</b>	<b>28,840</b>	<b>27,528</b>	<b>26,702</b>
EV 누적 생산량			0	3만대	10만대	24만대	48만대	86만대	146만대	246만대	346만대



**그림 5. 가격 1 시나리오에 따른 세전 판매 가격 추이**



**그림 6. 가격 2 시나리오에 따른 세전 판매 가격 추이**

**4-3-1. 가격 1 시나리오 설정**

생산원가(a)는 초기 10,000대의 가격이 차량 가격과 동일하다 즉 각 차량의 초기 생산량은 10,000대를 기준으로 한다.

가격 1 시나리오에서 HEV의 학습률(r)을 97%, 초기 가격이 3,500만원으로 했을 때 학습곡선계수(b)는 0.04394, PHEV의 학습률(r)을 95%, 초기 가격이 4,000만원으로 했을 때 학습곡선계수(b)는 0.07400, EV의 학습률(r)을 94%, 초기 가격이 4,500만원으로 했을 때 학습곡선계수(b)는 0.0893이 된다. 각 차량의 양산 시점은 그린카 로드 맵에 따라 HEV는 2010년, PHEV는 2012년, HEV는 2013년부터 생산 된다. 따라서 학습

곡선에 따른 그린카의 가격 추정치와 연간 누적 생산량추이는 그림 5와 표 8과 같다.

**4-3-2. 가격 2 시나리오 설정**

가격 1 시나리오에 비해 그린카의 학습률을 보다 상향시켜서, 그린카들이 보다 경쟁력이 있도록 설정한 시나리오이다.

**5. 시나리오 실행 결과**

**5-1. BAU 시나리오**

MESSAGE에서 BAU를 실행한 결과는 다음과 같

다. 결과는 차량의 시장 점유율과 온실가스 배출량으로 요약되어 있다. 2020년의 경우 온실가스배출량은 186ton이 되며, 2050년에는 98ton이 된다. 그리고 2011년도 대비 2050년에는 53%의 온실가스 배출량 저감

효과를 보이게 된다.

5-2. 그린카 보급 강화 시나리오

MESSAGE에서 그린카 보급 강화 시나리오를 적용한

표 9. 학습률에 따른 차량 가격 인하율

차종	학습률(r)	학습곡선 계수(b)	단위당 평균 원가 (1-r) * 100(%)만큼 감소	첫 번째 단위의 생산원가(a)
ICE	-		-	
HEV,	97%	0.04394	3%	3,500만원
PHEV	95%	0.07400	5%	4,000만원
EV	93.5%	0.0970	6.5%	4,500만원

표 10. 가격 2 시나리오에서 학습률에 의한 누적 생산량 및 가격

(단위:천원)

	학습곡선 계수(b)	학습률	2010년	2015년	2020년	2025년	2030년	2035년	2040년	5045년	2050년
HEV 가격 추정치	0.04394	0.97	35,000	<b>31,943</b>	<b>30,682</b>	<b>29,698</b>	<b>28,934</b>	<b>28,298</b>	<b>27,886</b>	<b>27,340</b>	<b>26,971</b>
HEV 누적 생산량			2만대	8만대	20만대	42만대	76만대	126만대	176만대	276만대	376만대
PHEV 가격 추정치	0.07400	0.95		<b>35,508</b>	<b>32,434</b>	<b>30,083</b>	<b>28,512</b>	<b>27,648</b>	<b>26,607</b>	<b>25,689</b>	<b>25,086</b>
PHEV 누적 생산량			0	5만대	17만대	47만대	97만대	147만대	247만대	397만대	547만대
EV 가격 추정치	0.0893	0.94		<b>40,452</b>	<b>35,091</b>	<b>31,111</b>	<b>28,657</b>	<b>26,733</b>	<b>25,329</b>	<b>24,301</b>	<b>23,608</b>
EV 누적 생산량			0	3만대	13만대	45만대	105만대	215만대	375만대	575만대	775만대

표 11. BAU 시나리오 결과

	2011	2020	2030	2040	2050
ICE_out	99%	79%	64%	40%	20%
Hybrid_out	10%	10%	6%	10%	-
Plug_in_out	-	7%	17%	30%	40%
Electric_out	-	4%	13%	29%	40%
Total_out	100%	100%	100%	100%	100%
Gasoline Emission : ton	208	178	143	87	45
Electric Emission : ton	-	8	21	41	53
Total Emission : ton	208	186	164	128	98

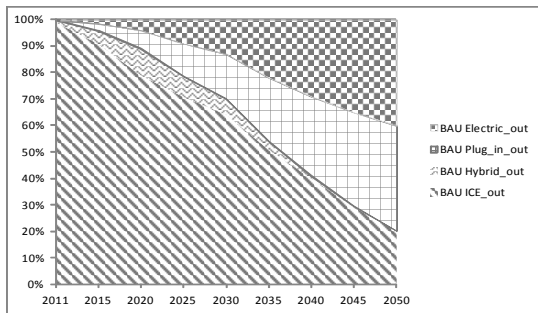


그림 7. BAU시나리오 점유율

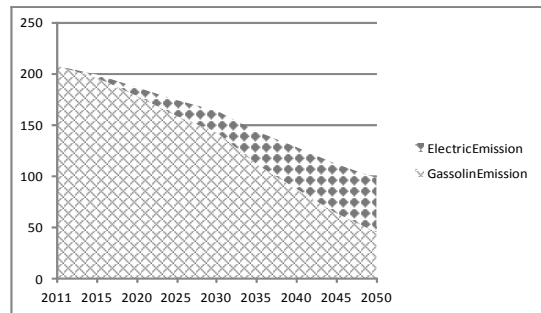


그림 8. BAU시나리오 배출량

결과와 BAU의 전체배출량을 요약하면 표 13과 같다.

표 13에서 2020년도의 그린카 보급 강화에서 더 많은 온실가스 배출량이 나오는 것은 전기차의 보급이 증가 때문이며 이로 인해 간접 배출로 인한 배출량이 일시적으로 증가한 부분이라 할 수 있다. 2050년에는 BAU에서 98ton이 그린카 강화 후에는 85ton으로 줄어들어서 약 13%의 배출량이 감소하게 된다. 비용부분의 변화를 보면 그린카 강화를 한 결과 BAU에 비하여 목적함수 값은 오히려 402,100,000원(402%) 감소하였다. 이는 전기 가격이 상대적으로 휘발유에 비해서 가격이 저렴한데 기인한다.

### 5-3. 가격 1 시나리오

MESSAGE에서 그린카 보급, 가격 1 시나리오를 적용한 결과를 요약하면 표 14와 같다.

2020년의 경우 BAU에서 186ton, 가격 1 시나리오에는 100ton으로 86ton이 줄어들어서 약 46%의 배출량이 감소하게 된다. 그리고 2050년에는 BAU대비 14%의 배출량이 감소하게 된다. 다음은 그린카 보급의 결과를 에너지사용량과 온실가스 배출량으로 요약하여 보여주고 있다.

비용부분의 변화를 보면 가격 1 시나리오를 적용한 결과 그린카 보급에 비하여 목적함수 값은 4,126,260,000

표 12. 그린카 보급 강화 시나리오 결과

	2011	2020	2030	2040	2050
ICE_out1	98%	80%	59%	33%	10%
Hybrid_out1	2%	9%	3%	-	-
Plug_in_out1	-	5%	20%	35%	45%
Electric_out1	-	6%	18%	32%	44%
Total_out	100%	100%	100%	100%	100%
Gasoline Emission : ton	207	179	129	72	25
Electric Emission : ton	-	9	27	46	60
Total Emission : ton	207	188	156	118	85

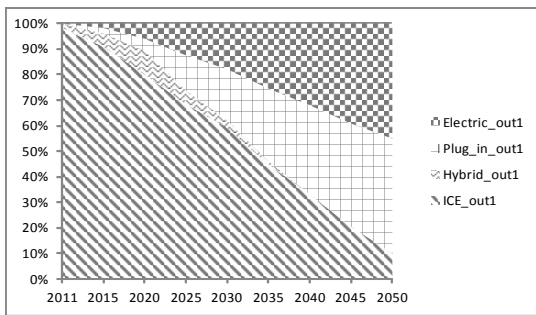


그림 9. 그린카 보급강화 시나리오 점유율

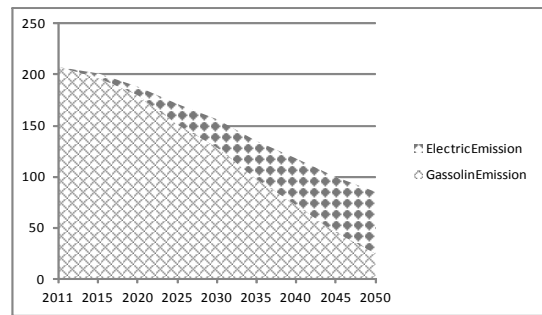


그림 10. 그린카 보급강화 시나리오 배출량

표 13. BAU 및 그린카 보급 강화로 인한 배출량 추이

수송 전체(단위:ton)	2011	2020	2030	2040	2050
BAU	208	186	164	128	98
그린카 보급 강화 시나리오	208	188	156	118	85

표 14. BAU 및 그린카 보급 강화, 가격 1 시나리오에 의한 배출량 추이

수송 전체(단위:ton)	2011	2020	2030	2040	2050
BAU	208	186	164	128	98
그린카 보급 강화 시나리오	208	188	156	118	85
가격 1 시나리오	209	100	62	82	84



원(4,126%) 감소하였다.

#### 5-4. 가격 2 시나리오

MESSAGE에서 그린카 보급강화, 가격 1 시나리오를 적용한 결과를 요약하면 표 16과 같다.

2050년의 경우 BAU에서 98ton 가격 2 시나리오에는 84ton으로 줄어들어서 약 14%의 배출량이 감소하게 된다. 표 17은 그린카 보급의 결과를 에너지사용량과 온실가스 배출량으로 요약하여 보여주고 있다. 비용부분의 변화를 보면 가격 2 시나리오를 적용한

표 15. 가격 1 시나리오 결과

	2011	2020	2030	2040	2050
ICE_out2	100%	10%	-	-	-
Hybrid_out2	-	30%	-	-	-
Plug_in_out2	-	60%	100%	20%	-
Electric_out2	-	-	-	80%	100%
Total_out	100%	100%	100%	100%	100%
Gasoline Emission : ton	209	64	9	2	-
Electric Emission : ton	-	36	53	80	84
Total Emission : ton	0	0	0	0	0

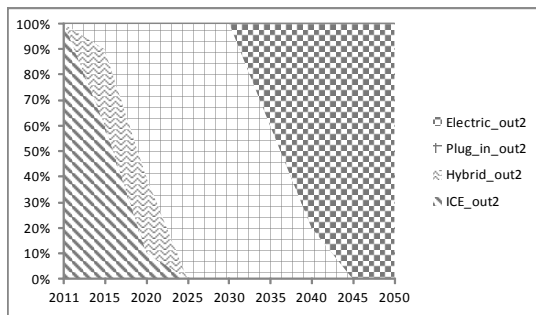


그림 11. 가격1 시나리오 점유율

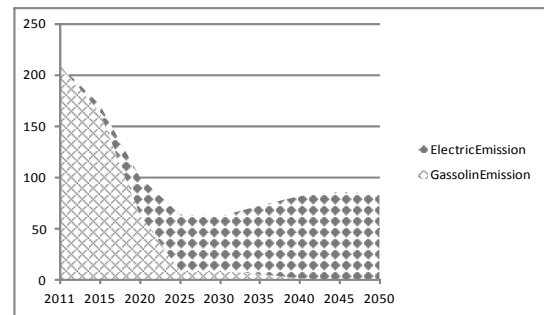


그림 12. 가격1 시나리오 배출량

표 16. BAU 및 그린카 보급 강화, 가격 1, 2 시나리오에 의한 배출량 추이

수송 전체(단위:ton)	2011	2020	2030	2040	2050
BAU	208	186	164	128	98
그린카 보급 강화 시나리오	208	188	156	118	85
가격 1 시나리오	209	100	62	82	84
가격 2 시나리오	209	86	83	88	84

표 17. 가격 2 시나리오 결과

	2010	2020	2030	2040	2050
ICE_out3	100%	-	-	-	-
Hybrid_out3	-	30%	-	-	-
Plug_in_out3	-	70%	30%	-	-
Electric_out3	-	-	70%	100%	100%
Total_out	100%	100%	100%	100%	100%
Gasoline Emission : ton	209	44	3	-	-
Electric Emission : ton	-	42	80	88	84
Total Emission : ton	0	0	0	0	0

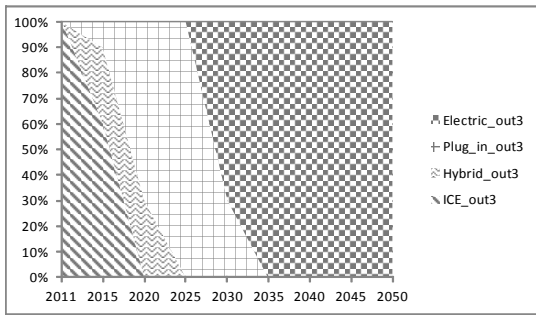


그림 13. 가격2 시나리오 점유율

결과 그린카 보급에 비하여 목적함수 값은 319,520,000 원(319%) 감소하였다.

## 6. 결 론

본 연구는 그린카의 시나리오 설정하고 시나리오의 구성에 따라 MESSAGE를 이용하여 승용 부문의 중장기 온실가스 감축 잠재량 전망을 위한 방법론을 제시하고자 하였다.

BAU 시나리오에서 목표연도인 2050년까지 차량 점유율은 PHEV, EV가 전체 시장의 80%를 차지하고, 장기 연료가격 전망에 따라 이 시나리오에서 HEV의 경우 2049년에 시장에서 완전히 사라지게 된다. 그리고 2011년도 대비 2050년에는 53%의 온실가스 배출량 저감 효과를 보이게 된다.

그린카 보급강화 시나리오에서는 HEV의 경우 2038년부터 시장에서 사라지게 되며, PHEV와 EV가 89%를 차지하게 된다. 그리고 2050년에는 BAU 시나리오 대비 13%의 배출량이 감소하게 된다.

가격 1 시나리오와 가격 2 시나리오에서는 학습 곡선에 의해 차량의 가격이 결정된다.

가격 1 시나리오에서는 학습 곡선에 따른 차량 가격의 하락 과 연료가격 전망에 따른 가솔린 가격의 상승으로 인해 ICE와 HEV는 2025년에 시장에서 사라지게 되며, PHEV도 2045년에 시장에서 완전히 사라지게 되면서 2050년에는 EV만 운행하게 된다. 그리고 2050년에는 BAU대비 14%의 배출량이 감소하게 된다.

가격 2 시나리오에서는 ICE는 2020년에 시장에서 사라지게 되고, HEV는 2025년에 시장에서 사라지게 되며, PHEV도 2035년에 시장에서 완전히 사라지게 되면서 2040년에는 EV만 운행하게 된다. 그리고

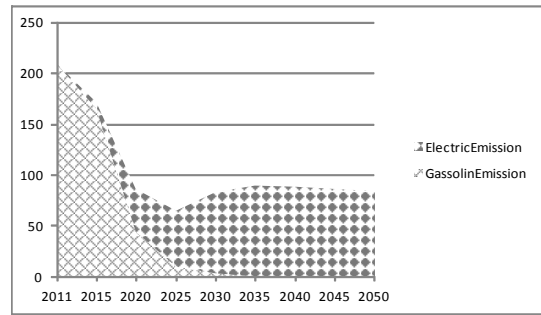


그림 14. 가격2 시나리오 배출량

2050년에는 BAU대비 14%의 배출량이 감소하게 된다. 따라서 위의 결과를 종합하면 장기 연료가격 전망 및 학습곡선의 영향으로 그린카의 차량 가격이 일정 수준까지 떨어지면 목표연도인 2050년에는 EV차만 운행할 것이고 이때 배출량은 간접 배출량인 84ton/y이 배출되게 된다.

## 후 기

본 연구는 환경부의 “2011년 차세대 에코이노베이션 기술개발사업”으로 지원받은 과제입니다.

## 참고문헌

1. “그린카 산업 발전전략 및 과제”, 관계부처 합동, 제 10차 녹색성장위원회 보고, 2010.
2. “그린카 발전전략 및 과제”, 녹색위보고자료, 2010.12.
3. “국가 온실가스 중기(2020년) 감축목표 설정 추진계획”, 녹색성장위원회, 2009.8.
4. “승용차 부문 온실가스 배출 전망을 위한 MESSAGE 모델링” 김 후 곤외 3명, 2011.
5. “에너지기술의 학습 효과에 대한 이론적 고찰” 장한수, 최기련, 아주대학교 대학원 에너지학과 에너지공학, 제15권 제4호, 2006.
6. 지식경제부, “전기차 충전전력요금”, 2010.
7. IAEA, MESSAGE User Manual, 2008.
8. Y. M. Wei, et al., “Progress in energy complex system modelling and analysis,” Int. J. Global Energy Issues, Vol. 25, Nos. 1/2, 2006.
9. D. H. Loughlin, W. G. Benjey, and C. G. Nolte, “Modeling framework for exploring emission impacts of alternative future scenarios,” Geosci. Model Dev. Discuss., p2021-2050, 2010.
10. DOE/EIA, Annual Energy Outlook , 2008.