

선택기반 다세대 확산모형을 이용한 전기자동차 수요예측 방법론 개발

A Demand forecasting for Electric vehicles using Choice Based Multigeneration Diffusion Model

채 아 롬*
(Ah-Rom Chae)

김 원 규**
(Won-Kyu Kim)

김 성 현***
(Sung-Hyun Kim)

김 병 종****
(Byung-Jong Kim)

요 약

최근 온난화 문제가 대두됨에 따라 세계 각국에서 CO₂ 배출감소를 위한 여러 가지 규제를 설정하고 있다. 특히 수송 부분에서의 CO₂ 배출량 감소는 매우 영향력이 크므로 자동차 산업에서도 전기자동차를 비롯한 그린자동차 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 전기자동차 시대 도래 대비를 위하여 전기자동차 보급에 따른 인프라 구축 전략안 및 전력량 수요 예측이 필요하지만, 이의 기반이 되는 전기자동차 수요예측 방법은 소개되어 있지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 선택기반 다세대 확산모형을 이용하여 전기자동차의 수요를 예측하는 방법론을 제시하였다. 전기자동차와 비슷한 성격을 가지는 하이브리드 자동차의 과거 데이터를 이용하여 Bass 모형의 혁신계수와 모방계수를 추정하고 SP(Stated Preference)조사를 통하여 잠재적인 총수요를 추정함으로써 전기자동차의 수요를 년도별로 예측하였다. 또한, 전기자동차가 발전하는 속성 진화에 따른 다세대 확산과정을 모형에 반영하여 보다 정확한 수요예측이 가능하도록 하였다. 본 연구의 수요예측 방법론을 통하여 향후 전기자동차의 시장 점유율을 예측함으로써 전기자동차 보급과 밀접한 관련이 있는 전력수급 및 충전인프라 구축 연구에 활용 될 수 있도록 한다.

Abstract

Recently, the global warming problem has arised around world, many nations has set up a various regulations for decreasing CO₂. In particular, CO₂ emissions reduction effect is very powerful in transport part, so there is a rising interest about development of green car, or electric vehicle in auto industry. For this reason, it is important to make a strategy for charging infra and forecast electric power demand, but it hasn't introduced about demand forecasting electric vehicle. Thus, this paper presents a demand forecasting for electric vehicles using choice based multigeneration diffusion model. In this paper, it estimates innovation coefficient, imitation coefficient in Bass model by using hybrid car market data and forecast electric vehicle market by year using potential demand market through SP(Stated Preference) experiment. Also, It facilitates more accurate demand forecasting electric vehicle market refelcting multigeneration diffusion model in accordance with attribute progress in development of electric vehicle. Through demand forecasting methodology in this paper, it can be utilized power supply and building a charging infra in the future.

Key words : Electric vehicle, demand forecasting, choice based diffusion model, bass model, stated preference experiment

† 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업 “전기자동차 교통안전융합체계 기술개발” 연구단 과제(10PTSI-B056303-01) 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 및 교신저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정

** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 교수

*** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 연구 교수

**** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 교수

† 논문접수일 : 2011년 7월 18일

† 논문심사일 : 2011년 8월 22일

† 게재확정일 : 2011년 8월 23일

I. 서 론

1. 배경 및 목적

최근 온난화 문제가 대두됨에 따라 세계 각국에서는 전 산업 분야에 걸쳐 이산화탄소 배출량 저감을 위해 노력하고 있다. 그에 따라 우리나라 정부도 온난화 문제를 해결하기 위한 자동차 배기가스, 연비규제 및 탄소배출 규제 등의 구체적인 정책을 내놓고 있다. 이처럼 탄소저감문제는 각국에서 해결해야 할 필수 사항으로 특히 탄소배출량의 40%를 차지하고 있는 수송분야의 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 규제가 강화되고 있다. 석유자원의 고갈로 인한 고유가 문제 및 강화된 환경규제 대응을 위한 전략으로 전기자동차 도입은 이산화탄소뿐만 아니라 환경가스 저감에도 기여할 것으로 보인다.

자동차 산업에서도 하이브리드 자동차와 전기자동차, 수소연료전지 자동차 등 친환경 자동차에 대한 관심이 높아짐에 따라 세계 주요 자동차 메이커들은 2010년을 전후해 EV(Electric Vehicle), HEV(Hybrid Electric Vehicle), PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)를 시장에 출시하고 있다.

이에 정부는 '09년에 '전기자동차산업 활성화 방안' 보고 이후, 보급계획을 마련하고 '11년 하반기부터 전기자동차 양산체계를 구축하고 출시할 예정이다. 아래 <표 1>에서는 전기자동차 개발 및 보급 계획에서 전망한 전기자동차 수요 전망으로 '12년 약 4,000대, '20년 기준 총 내수의 약 20%인 100만 대 전기자동차 보급을 예상하고 있다.

<표 1> 국내 연도별 전기자동차 시장 전망
<Table 1> Domestic electric Vehicle market forecasting

(단위: 천대)

'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'20년
0.8	4.0	13.2	35.1	85.7	1046.2

출처: 전기자동차 개발 및 보급 계획

2. 연구의 방법 및 내용

현재 전기자동차의 수요예측은 전기자동차 관련

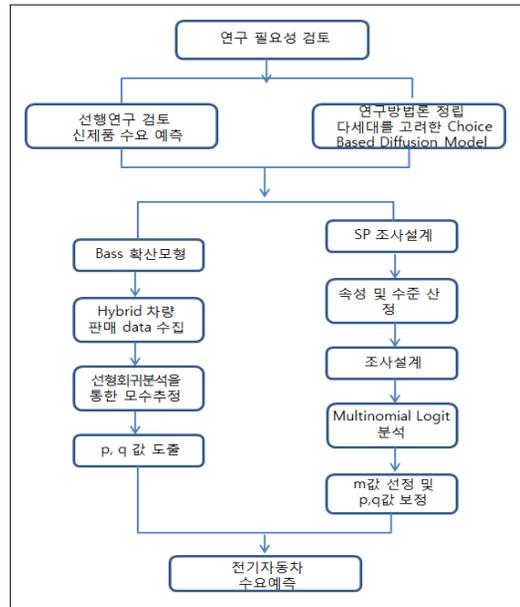
모든 업종의 기업에 있어 향후 성과에 직접적인 영향을 주는 중요한 문제이다. 이러한 수요예측의 중요성에도 불구하고, 현재 정확도면에서 신뢰할만한 수요예측 방법은 소개되어 있지 않고 있다. 전기자동차의 수요예측의 경우, 다음과 같은 세가지의 대표적인 문제가 생긴다.

첫째, 전기자동차는 아직 시장 출시 전인 제품으로 추정을 위한 시장데이터가 존재하지 않기 때문에 확산과정의 예측에 어려움이 있다.

둘째, 전기자동차의 성능과 가격 등 속성이 지속적으로 변화될 것으로 예상되며 이러한 속성의 진화단계 반영이 요구된다.

셋째, 대부분의 현존하는 확산 모형들은 개별 소비자의 선호 및 이질성을 반영하는데 한계가 있다.

위의 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 전기자동차와 비슷한 성격을 가지는 하이브리드 자동차 판매 대수 데이터를 바탕으로 유사추론 예측기법을 적용하였다. 이는 승용차를 대상으로 대형 버스 및 승합차, 특수차량을 제외한 데이터로 본 연구에서 전기자동차도 승용차를 대상으로 소형, 중형, 대형 크기의 범위를 두어 연구를 진행하였다. 이를 통해 혁신



<그림 1> 연구흐름도
<Fig. 1> Flow Chart

계수와 모방계수를 추정하여 전기자동차의 확산 과정을 설명하도록 한다. 그리고 확산과정의 정확성을 위하여 개별소비자의 잠재선호(Stated Preference)조사를 실시하여 전기자동차의 속성 진화에 따른 다세대 확산과정을 모형에 반영하도록 한다. 본 연구의 전체 연구흐름도는 아래 <그림 1>과 같다.

II. 문헌고찰

전덕빈 외(1998)는 신상품의 수요 확산 현상을 다루는 확산이론과 소비자들의 상품 선택 행위를 모형화한 이산 선택 모형이론을 통합하여 선택확률과 수요확산, 그리고 마케팅 변수들 사이의 관계를 규명하고 이를 바탕으로 한 다세대 신상품 수요 모형을 개발하였다[1].

Lee 외 (2004)에서 제시된 확산모형의 아이디어를 기반으로 기존 주택의 홈네트워킹 기술별 확산 모형을 구축하였다. 진출선호 분석을 이용하여 홈네트워킹 서비스 내의 네트워크 관련 기술에 대한 소비자의 선호를 분석하였다. 분석을 통해서 홈네트워킹 관련 경쟁 기술의 각 속성에 대한 소비자의 선호구조를 파악 한 후, 각 기술 속성에 대한 로드맵과 결합하여 각 기술이 동태적으로 확산되는 과정을 예측하였다[2].

Lee 등 (2004)은 진출선호(stated Preference) 자료에 근거한 모형을 활용하여 개별 소비자 단계의 선택과정을 반영하고, 시장 및 기술환경의 변화에 대한 적절한 예측자료와 결합하여 그 결과를 신제품 확산모델로부터 도출된 잠재시장(market potential) 추정치와 결합함으로써 신제품의 판매량을 예측하였다[3].

Jun 외(1999)는 제품의 연속세대에서 확산과 대체를 동시에 고려하기 위하여 선택이론에 기반한 새로운 확산모형을 제시하였다. 이 모형은 소비자의 선택을 반영하기 위해 효용함수(random utility function)를 구축하고 제품 선택에 있어 가격과 같은 외생변수의 효과를 반영하기 위해서 이를 효용함수에 포함시킴으로써 기존 Bass방식의 확산모형보다 정확하게 제품과 서비스의 확산과정을 설명하였다

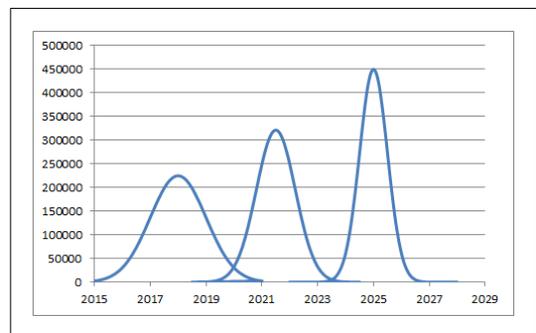
[4]. 소비자들의 상품선택과정을 고려한 다세대 신상품 확산모형 개발에서는 다세대 상품을 포함한 다양한 상품들에 대한 수요양상은 소비자들의 구매 선택행위의 결과로 나타난다 가정하고 상품선택 과정에 대한 인식을 반영 할 수 있었다.

III. 연구 방법론 정립

1. 선택기반 다세대 확산모형

신제품이나 신기술, 특히 시장에 출시되지 않은 제품과 기술에 대해 수요예측을 한다는 것은 상당히 어려운 문제이다. 하지만 시장 초기 또는 시장 진입 시점 전에서의 정확한 수요 예측은 신제품 및 신기술 성공 여부에 매우 중요한 영향을 끼친다. 수요예측과 확산 분석을 위해 Bass 및 Logistic 모형이 많이 사용되었으나 이 방법론들은 수요 예측을 위해 과거의 전체 판매량 자료를 이용하고 있어 아직 시장에 출시되지 않은 제품이나 기술에 대해서 시장을 예측하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 현존하고 있는 Bass 확산 모형의 한계점을 개선하기 위하여 선택 이론에 기반한 Choice-Based Diffusion 모형을 선정하여 다세대 상품의 세대간 수요발생과정을 확산이론과 선택이론을 통합하여 설명하고자 한다. 다세대 기반 확산 모형은 <그림 2>와 같이 각 세대 별 업그레이드 될 때의 수요를 파악할 수 있게 되어 기존의 선택기반 확산 모형보다 정확한 수요를 예측 할 수 있다.



<그림 2> 다세대 확산 모형의 예시
(Fig. 2) Example of multigeneration diffusion model

2. Bass의 확산모형

Bass 모형은 1969년 Frank M.Bass에 의해 제시된 모형으로 다양한 형태의 파생모형을 통해 신제품 도입 예측에 널리 사용되고 있는 모형이다.

Logistic 모형에서 파생된 모형이나 Logistic 모형과 달리 시간에 대한 함수가 아닌 것이 특징이므로 모형의 직관적 이해는 뛰어나지만 과거 자료가 적을 때 자료의 축적에 따른 지속적 개선이 필요한 단점을 가지고 있다. 이 장에서는 Bass의 확산모형을 살펴보면 혁신계수는 초기 시장의 형성과 팽창에 큰 관련이 있으며, 모방계수는 일정 시간이 지난 후의 시장의 성장과 관련이 깊다.

확산모형은 주어진 한 집단내의 수요자들 간에 특정한 상품이나 정보가 퍼지는 속도를 이룬 모형화한 것으로 상품을 선택하는 수요자들 수가 연속적으로 증가하는 것을 가정하여 이 확산 과정이 향후 계속되는 형태를 방정식으로 추정한 후 이를 기초하여 예측하는 것이다.

Bass 확산 모형은 신제품의 채택률이 두가지 요소에 의해 영향을 받는다고 가정한다. 하나는 매스 미디어나 잡지 등에 의한 외부영향의 계수 p , 다른 하나는 기존 채택자의 구전효과에 의한 내부영향의 계수 q 이다. 그리고 이 두 요소의 영향은 선형적 결합으로 작용한다고 가정한다. 그리고 시장의 잠재성인 m 의 세가지 모수추정을 필요로 한다. p 는 혁신계수(innovation coefficient)로서 이전의 채택과는 독립적인 영향을, q 는 모방계수(imitation coefficient)로서 모방이나 학습에 받는 영향이다. 그리고 m (potential number of ultimate adopters)은 궁극적 채택자의 잠재적인 수를 말한다. 잠재수요를 m 이라고 가정할 때, 이는 다음과 같은 수식으로 표현된다. t 기 동안의 판매량 $n(t)$ 는 t 기전까지의 누적판매량을 $N(t)$ 라고 할 때 다음과 같다.

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = [m - N(t)] \left[p + q \frac{N(t)}{m} \right] \quad (1)$$

$n(t)$: t 기의 수용자 수

$N(t)$: t 기 이전까지의 누적 수용자수

p : 모방계수

q : 혁신계수

m : 최종적인 수용자의 수

3. Stated Preference 조사 기법

SP(Stated Preference) 조사기법은 실제조사로는 파악이 불가능한 가상적인 상황에 대하여 개인에게 가상적인 시나리오를 제공함으로써 그들의 선호를 파악하여 결과를 예측하는 일련의 기법을 의미한다.

본 연구에서는 마케팅 분야에서 주로 사용되는 신제품 확산모형(new product diffusion model)들이 기본적인 Bass model에 기반하여 개별 소비자의 이질성을 반영하지 못하고, 제품이 시장에 출시되기 이전 단계에 시장수요를 예측하지 못하는 한계를 극복하기 위한 모형을 제시하여 SP 조사를 통해 소비자의 효용성을 반영할 수 있도록 한다. 소비자마다 속성 수준에서 느끼는 효용 즉, 부분가치는 상이하며, 이러한 결과는 설문조사 과정에서 속성 프로파일에 대한 상이한 순위 혹은 선호점수 부여로 이어져 소비자의 이질성을 포착한다. 전기자동차의 가격, 주행거리 속성이 단계별로 발전함에 따라 각 세대로 구분이 가능하다고 판단하였다.

전기자동차의 경우 소비자 선호를 조사할 만한 시장이 구축되어 있지 않으므로 가상적인 상황에서의 선택양상을 조사하여 소비자가 시장에서 상품을 선택하는 과정을 유사하게 재현, 중요한 속성을 선정하고 합리적인 속성별 수준들을 설정하는 작업이 필요하다.

따라서 전기자동차를 단계별 업그레이드되는 다세대 상품으로 보고 세대 간의 수요발생과정을 확산이론과 선택이론을 통합하도록 한다. t 시점에서 n_t 세대 전기자동차 속성을 선택하는 소비자들의 구매를 고려할 때, 즉 1번째 잠재구매자가 k 세대의 상품을 구매하였을 때 얻는 효용을 다음과 같이 정의한다.

$$U_{it}^{(0,k)} = V_t^{(0,k)} + \epsilon_{it}^{(0,k)} \quad k=1,2,\dots,n_t \quad (2)$$

위첨자 $(0, k)$ 는 비구매 상태에 있던 한 잠재구매자가 k 세대 상품 구매자가 되는 경우를 의미한다. 그리고 구매하지 않는 경우의 효용(비구매효용)을 다음과 같이 정의한다.

$$U_{it}^0 = c + \epsilon_{it}^0 \quad (3)$$

전체 시장의 포화수준을 M_t 라 하고 다음과 같이 정의한다.

$$M_t = M_k, \quad \tau_k \leq t \leq \tau_{k+1} \quad (4)$$

τ_k : k 세대의 시장 진입 시기

$(t-1)$ 시점에서의 전체 다세대 상품에 대한 누적수요를 Y_{t-1} 라 할때 t 시점에서의 잠재구매자 수는 $(N_t - Y_{t-1})$ 이고, k 세대에 대한 신규수요모형은 다음과 같이 구해진다.

$$S_t^k = (N_t - Y_{t-1})P_t^k, \quad k = 1, 2, \dots, n_t$$

$$= (N_t - Y_{t-1}) \frac{\exp(V_t^k)}{\exp(c) + \exp(V_t^1) + \exp(V_t^2) + \dots + \exp(V_t^{n_t})}$$

where $Y_t = Y_{t-1} + \sum_{k=1}^{n_t} S_t^k$

(5)

이러한 효용함수의 정의로부터 단일 신상품을 포함한 다세대 상품의 확산 및 대체과정이 설명될 수 있도록 한다.

IV. Data 수집 및 결과 분석

1. Hybrid 기반 유사추론 데이터 수집

본 연구에서는 전기자동차 시장 데이터가 존재하지 않으므로, 이와 유사한 형태를 가지고 있는 하이브리드 자동차 데이터를 이용하여 유사추론을 하고자 한다. 국내 경우, 2009년에 하이브리드 자동차가 도입이 되어 데이터가 불충분하므로 국내 자동차 시장과 비슷한 성격을 가지고 있는 일본의 Hybrid 자동차 판매량 데이터를 기반으로 유사추론

을 하였다. 일본 Hybrid 자동차 판매량은 <표 2>와 같이 일본 자동차공업협회에서 공시한 2002년부터 2008년까지 자료를 바탕으로 유사추론을 수행하였다.

<표 2> 일본 하이브리드자동차 연간 판매량
(Table 2) Annual sales of Hybrid car in Japan

연도	당해연도 매량	누적 판매량
2002	15,514	15,514
2003	42,423	57,937
2004	66,540	124,477
2005	61,263	185,740
2006	90,410	276,150
2007	90,523	366,673
2008	121,101	487,774

(출처: 일본 자동차공업협회 www.jama-english.jp)

2. 모수 추정

본 연구에서는 수집된 자료의 분석을 위해 SPSS (Statistical Package for Social Science)에 있는 회귀 분석 모듈을 통해서 파라미터 모수값을 도출하고, 도출된 값을 이용하여 Bass 모델에 적용시켜 p, q 값을 추정하였다. 도출한 파라미터 모수값은 <그림 3>과 같다.

모형 요약 및 모수 추정값

종속 변수: VAR00001

방정식	모형 요약				모수 추정값			
	R 제곱	거짓	df1	df2	유의확률	상수항	b1	b2
2차모형	.933	28.034	2	4	.004	20330.148	.296	-2.034E-7

독립변수는 누락입니다.

<그림 3> SPSS를 이용한 회귀분석 모수추정값
(Fig. 3) Regression parameter estimates using SPSS

추정결과, $R^2 = 0.985$ 로 높은 수치의 설명력을 가지고 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 따라서 신뢰성이 높다고 판정할 수 있다. 그리고 일반최소자승 (Ordinary Least Square) 추정방법을 사용하여 p, q, m 을 추정하였다. 다음과 같은 이산적 유추를 통해 일반 최소자승법을 사용할 수 있다.

$$X(i) = pm + (p-q)N(t_{i-1}) - (q/m)N^2(t_{i-1}) + \epsilon(i) \quad (6)$$

$$= \alpha_1 + \alpha_2 N(t_{i-1}) + \alpha_3 N^2(t_{i-1}) + \epsilon(i)$$

위의 식을 OLS 추정하면 주어진 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 를 얻을 수 있고, 이를 토대로 Bass 모형의 모수들을 다음과 같이 얻을 수 있다.

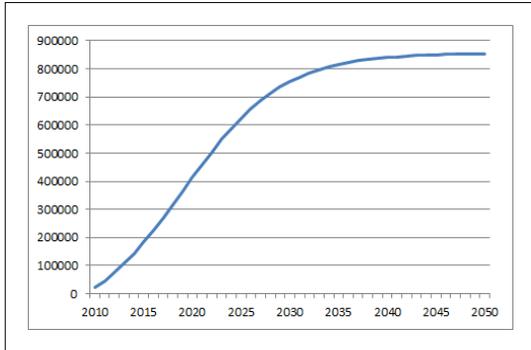
$$\begin{aligned}
 p &= \frac{\alpha_1}{m} \\
 q &= -m\alpha_3 \\
 m &= \frac{-\alpha_2 - \sqrt{\alpha_2^2 - 4\alpha_1\alpha_3}}{2\alpha_3}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

위의 식(7)에서 p, q 값을 도출해내면 다음과 같다.

$$p = 0.02376$$

$$q = 0.174039$$

추정된 모수값으로 Hybrid 자동차 판매 예측은 아래 <그림 4>와 같은 그래프를 그린다. 그림을 통해 하이브리드 자동차는 2045년쯤에 85만대로 포화되는 것을 알 수 있다.



<그림 4> 확산모형을 이용한 Hybrid car 판매량
(Fig. 4) A forecasting Sales of Hybrid car using diffusion model

3. Stated Preference 조사설계

본 연구에서는 소비자 선호를 반영한 정확한 수요예측을 위해 SP 조사를 실시하였다. SP 조사를 통하여 잠재적인 총 수요 및 전기자동차 진화에 따른 세대 별 소비자 효용을 반영 할 수 있도록 하였다. 전기자동차가 승용차 대상으로 확산이 된다는 가정

하에 차종을 소형, 중형, 대형으로 세분화 한 후 각 차종별 등록대수를 예측하였다. 본 연구에서는 전력거래소 수요예측팀에서 발표한 ‘전기자동차 보급에 따른 전력수급영향 및 시사점’ 보고서의 자동차 등록대수 예측 자료를 인용하였다. 신규 보급은 신규보급은 '04~'08년 신규보급 비율 평균인 7.6%를 적용하여 2030년까지의 승용차 등록대수에 대한 등록대수를 예측하였다. 그리고 현재 소형, 중형, 대형차량의 점유율을 반영하여 각 차종 별 등록대수를 아래 <표 3>과 같이 예측하였다.

<표 3> 차종별 승용차 등록대수 예측
(Table 3) A forecasting number of passenger car [단위 : 만대]

연도	구분	등록 대수	연도	구분	등록 대수
2010	소형	376.74	2025	소형	582.75
	중형	986.7		중형	1,526.25
	대형	430.56		대형	666
2015	소형	433.65	2030	소형	675.78
	중형	1,135.75		중형	1,769.9
	대형	495.6		대형	772.32
2020	소형	504			
	중형	1,320			
	대형	576			

본 조사에 앞서 중요 속성들이 파일럿 테스트를 통해 결정되었다. 1차 파일럿(Pilot) 테스트를 통하여 속성 변수들을 뽑아내고, 2차 파일럿 테스트를 통하여 결과값을 추정하였다. 1차 파일럿 테스트에서는 전기차의 특성을 반영하는 차량의 가격, 주행거리, 충전비용의 3가지 속성을 선정하여 진행하였으나, 2차 파일럿 테스트에는 전기차의 중요한 특성 중 하나인 충전시간을 추가로 넣어 보다 구체적으로 소비자의 효용을 반영할 수 있도록 한후, 결과 분석을 통해 2차 파일럿 테스트 속성과 동일하게 본조사를 시행하였다[5,6].

개별속성들에 대하여 살펴보면, 일반적으로 자동차 선택 시 중요한 고려 요인이 되는 자동차 구입 가격, 주행거리를 포함하였다. 자동차 구입 가격의 경우, 소형(1000cc 이하), 중형(1600cc ~ 3,000cc 미만), 대형(3,000cc 이상) 의 기준을 두고 현재 국내에 시판되는 차량 모델들의 가격 평균을 구함으로

써 대푯값을 도출하였다. 연료 비용은(원/km)는 하루 평균주행인 35km(교통안전공단 2008년도 주행거리 실태조사 보고서)를 한달동안 주행할 시 필요한 비용으로 정의하였다. 전기자동차 속성별 수준은 아래 <표 4>의 산은경제연구소에서 발표한 단계별 배터리 가격 및 주행거리 수준 전망을 참고 하여 산정하여 아래와 같이 속성 및 속성 수준을 설정하였다. 최종적으로 결정 된 각 자동차 연료 타입별 속성과 해당하는 수준들은 다음 아래의 <표 5>, <표 6>, <표 7>과 같다.

<표 4> 단계별 배터리 가격 및 주행거리 수준 전망
(Table 4) Expected Battery price and mileage levels

	현단계	1세대 (2010 ~ 2011)	2세대 (2015 ~ 2018)	3세대 (2025 ~ 2030)
배터리가격 (달러/kWh)	1,000~ 2,000	500 ~ 1,000	150 ~ 250	20 ~ 80
주행거리 (1회충전)	-	80 ~ 200km	250~300km	500km
적용가능 차종	-	2인승 통근차량	4인승 소형차	일반차량

(참고자료 : United State Advance Battery Consortium, 산은경제연구소)

<표 5> 휘발유의 속성 및 속성수준
(Table 5) Attributes and Levels of gasolin vehicle

속성	소형	중형	대형
가격	2500만원	3500만원	5000만원
주행거리	500km	500km	500km
충전(유류비)	15만원	25만원	40만원

<표 6> 하이브리드 자동차의 속성 및 속성수준
(Table 6) Attributes and Levels of hybrid vehicle

속성	소형	중형	대형
가격	3000만 원	4000만 원	6000만 원
주행거리	700km	700km	700km
충전(유류비)	10만원	15만원	20만원

<표 7> 전기자동차의 속성 및 속성수준
(Table 7) Attributes and Levels of electric vehicle

속성	수준
가격	+0만원, +500만원, +1000만원
주행거리	150km, 250km, 350km
충전(유류비)	1.5만원, 3만원, 4.5만원

위의 표에서 휘발유와 하이브리드 자동차의 속성은 고정시킨 후 전기자동차의 속성을 조합 후 SPSS 18.0 프로그램을 사용한 직교성 시험을 통하여 9개의 카드를 도출하였다. 최종 설문지는 크게 두 부분으로 구성되어 있다. 첫 번째는 개인특성 변수 및 현재 차량 사용현황, 잠재구매에 대한 조사 수행을, 두 번째 부분은 각 속성별 수준으로 도출한 카드를 제시하여 소비자 조사를 수행하였다.

<표 8> 설문조사 개요
(Table 8) Survey Overview

구분	내용
조사방법	일대일 개별면접조사
조사내용	전기자동차 선호도 조사
조사대상	20세~65세 사이 향후 5년 내에 자동차 구매 의향이 있는 운전자
표본크기	540명
조사지역	서울 및 수도권 지역
조사시기	2011년 06월 29일 ~ 2011년 07월 08일
설문지 구성	<ul style="list-style-type: none"> • 응답자 특성: 응답자 신분(성, 연령), 승용차 보유 유무, 직업, 거주지, 소득 수준 • 자동차 이용조사 : 차종, 사용연료, 차량용도, 이용시간, 주행거리, 연료비, 차량구입 및 유지비 지원 여부 • 선호도 조사 : 차량가격 및 주행거리, 충전시간, 연료가격 변화에 따른 차량 선호도 조사

4. 세대별 선호 기반 결과 분석

수집된 선택자료를 바탕으로 Limdep 9.0 프로그램을 이용하여 Multinomial Logit 분석을 통하여 각 변수에 대한 파라메타를 추정하였다. <그림 5>와 <그림 6>은 대형자동차는 제외한, 소형과 중형 전

기자동차만을 반영하기 위해 소형과 중형 데이터의 결과를 Multinomial Logit 분석을 통해 도출된 모수 추정값을 캡처한 그림으로 추정된 파라메타 결과값을 나타내고 있다. 대형자동차를 제외한 이유는 진화단계를 설명하면서 언급하고자 한다.

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
ONE	3.09513	0.406275	7.61831	2.57572e-014
PRICE	-0.00109863	0.0001538	-7.14323	9.11715e-013
TIME	-0.0478709	0.00562004	-8.5179	2.88658e-015
MILEAGE	0.00314053	0.000294717	10.6561	2.88658e-015
FUEL	-0.266868	0.0142533	-18.7232	2.88658e-015

〈그림 5〉 소형 모수 추정값
(Fig. 5) Estimation value of small vehicle

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
ONE	4.07474	0.428421	9.51106	2.88658e-015
PRICE	-0.000997057	0.000105891	-9.41593	2.88658e-015
TIME	-0.048482	0.00386945	-12.5294	2.88658e-015
MILEAGE	0.0033154	0.000193134	17.1664	2.88658e-015
FUEL	-0.162409	0.00563755	-28.8084	2.88658e-015

〈그림 6〉 중형 모수 추정값
(Fig. 6) Estimation value of medium vehicle

선택모형 추정결과 전기자동차의 효용식은 다음과 같이 표현된다.

$$U_{ev} = One + \beta_{Price} \times Price + \beta_{Time} \times Time + \beta_{Mileage} \times Mileage + \beta_{Fuel} \times Fuel \quad (8)$$

파라메타 (Coefficient) 추정치의 부호를 보면 차량 가격, 충전시간, 충전비용이 모두 음의 부호로서 이들 변수가 증가하면서 선택수단의 효용이 감소하는 것을 보여준다.

전기자동차의 속성 수준이 세대별로 진화하는 단계는 '10년 12월에 정부에서 발표한 그린카 발전 로드맵을 기반으로 정하였다. 정부에서 발표한 전기자동차 양산목표에 따라 중형 자동차는 2015년에 양산계획이므로, 소형차는 1세대부터 3세대까지 모두 반영하였고, 중형 자동차는 2세대부터, 그리고 대형 자동차의 경우는 2020년 이후 양산 계획이므로

3세대부터 반영하도록 하였으나 전문가 자문회의를 통한 결과, 2020년 이후에 대형전기승용차에 대한 개발 계획이 불투명하여 본 연구 결과에서 제외하였다. 아래의 <표 9>는 세대별 전기자동차의 속성을 반영한 표이다.

〈표 9〉 세대별 전기자동차의 진화단계
(Table 9) Stated of electric vehicle generation

	전기자동차		
	1세대 (2011년)	2세대 (2015년)	3세대 (2025년)
가격	+1,000만원	+500만원	+0만원
시간	30분	15분	3분
주행거리	150km	250km	350km
연료비	1.5만원	3만원	4.5만원

* 전기자동차 가격은 휘발유 자동차 가격 기준에서 더해진 가격을 말함

구매자가 전기차를 선택할 확률은 식 (9)와 같이 계산 할 수 있다.

$$P_{ev} = \frac{\exp(U_{ev})}{\exp(U_{gasolin}) + \exp(U_{hybrid}) + \exp(U_{ev})} \quad (9)$$

식 (9)를 통해 각 세대에 따른 전기자동차 선택 확률을 승용차 등록대수 예측치 <표 3>에 곱하여 포화치(m)를 구한다. 또한, 앞에서 추정된 p, q 값 0.02376, 0.174039은 하이브리드 자동차 판매 데이터를 이용한 확산속도이므로 전기자동차에 반영하기 위해 <표 10>에서와 같이 SP를 통해 산정된 선택확률을 곱하여 각각의 p, q 값과 m 값을 <표 11>와 같이 정리하였다.

〈표 10〉 SP 통한 전기자동차 선택 확률
(Table 10) Electric vehicle choice probabilities through SP

	소형	중형
1세대	0.1797	-
2세대	0.4164	0.4306
3세대	0.6682	0.7086

〈표 11〉 선택기반 다세대 확산 모형 모수
 〈Table 11〉 Parameter Estimation

세대	모수	소형	중형
1세대	p	0.004275	-
	q	0.031315	-
	m	524,762	-
2세대	p	0.009888	0.0102
	q	0.072432	0.0746
	m	1,372,444	3,716,812
3세대	p	0.015862	0.0167
	q	0.116186	0.1224
	m	2,959,406	8,219,985

위의 파라미터를 이용하여 전기자동차의 소형, 중형 차종으로 나누어 향후 전기자동차의 누적대수 및 연도별등록 대수를 예측할 수 있다. 아래의 <표 12>는 차종별 예측 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.

〈표 12〉 차종 별 전기자동차 수요예측
 〈Table 12〉 Demand forecasting for electric vehicle

차종	연도별 등록대수	누적대수
소형		
중형		

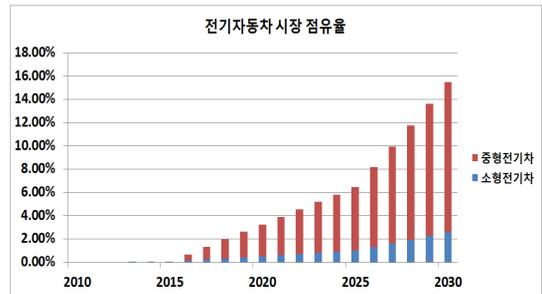
최종적으로 <표 13>과 같은 전기자동차의 최종 수요예측 자료를 구할 수 있다.

2010년에 소형 전기자동차가 도입 됨에 따라 전기자동차의 등록대수 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. 휘발유 자동차와 비슷한 사양을 가지게 되는 2025년부터는 급격히 증가하여 2050년쯤에 포화상태에 이르는 것을 확인 할 수 있다.

〈표 13〉 전기자동차 수요예측
 〈Table 13〉 Demand forecasting for Electric vehicles

연도	전체 승용차 (만대)	전기자동차			비율
		소형 (만대)	중형 (만대)	계 (만대)	
'10	1,363.00	-	-	-	0%
'15	1,569.40	0.69	8.78	9.47	0.04%
'20	1,824.00	9.62	49.74	59.36	3.25%
'25	2,109.00	21	115.1	136.1	6.46%
'30	2,445.68	63.47	314.9	378.37	15.47%

전체 승용차 시장에서 전기자동차의 점유율은 2020년에는 3.25 정도에 불과하지만, 점유율이 꾸준히 증가하여 2030년에는 전체 승용차 시장에서 약 15.47%정도를 차지할 것으로 예상되어진다.



〈그림 7〉 전기자동차 시장 점유율
 〈Fig. 7〉 Electric vehicle market share

V. 결론 및 향후 연구계획

본 연구는 전기자동차의 효율적인 인프라 구축과 전기자동차 도입으로 인한 전력망 수요 예측을 위해 먼저 전기자동차의 수요예측 연구를 진행하였다. 승용차를 대상으로 소형(100cc 이하), 중형(1600cc~3000c 미만), 대형(3,000cc 이상) 3가지 형태로 승용차 시장을 구분하여 자동차 크기별로 향후 전기자동차 수요가 어떻게 확산될 것인지를 SP 조사를 통해 파악 하였다. 그러나 대형 승용차의 경우 향후 전기자동차의 형태로 양산되기까지 시기가 오래 걸리고 양산계획이 구체적으로 잡히지 않고 있기 때문에 최종적으로 대형 전기자동차 데이터를 제외시키고 진행을 하였다. 현재 자동차 시장은 전

기자동차가 도입되기 전으로 과거 데이터를 이용하여 정확한 시장수요를 예측하기 어렵다. 이 한계점을 극복하기 위해 본 연구에서는 선택기반 다세대 확산 모형을 제시하였다. 이는 Bass모형의 한계를 SP 조사를 통해 소비자들의 효용구조를 파악하여 좀 더 정확한 수요예측을 할 수 있다. 본 연구에서 사용한 하이브리드 시장을 통하여 유사추론을 하여 p, q 값을 산정하여 예측한 결과, 2020년에는 약 60만대로 정부가 목표로 하고 있는 100만대보다 다소 낮게 예측이 되었다.

앞의 결과분석에서 보았듯이 전기자동차의 경우 시장도입 초기에는 하이브리드 자동차나 기존 내연기관 자동차에 비하여 많이 밀리지만, 가격이 싸지고, 충전시간이 짧아짐에 따라 전기자동차의 선택 비율이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

하지만, 본 연구에서 제시한 모형은 전기자동차 속성 변화에 따른 전환율을 반영하지 못하고 있다는 문제점과 Hybrid 자동차의 유사추론 과정에서 이용한 모수추정 방법도 기존 모수추정방법인 OLS (Ordinary Least Square)를 사용하여 추정 성능 개선에 대한 여지가 남아있다.

앞으로 본 연구에서는 위의 문제점을 해결하기 위해 다양한 모수 추정방법 적용 및 전환율 반영을 위한 연구를 진행하여 다세대 확산 모형을 개선하도록 한다. 또한, 2020년에 전기자동차 100만대 시대를 정부에서 목표로 하고 있음에 따라 민감도 분석을 하여 이에 필요한 정부보조금, 충전시간 단축에 대한 기술 로드맵 등의 정책적인 시사점을 마련토

록 한후, 전력 수급 및 인프라 구축 연구에 활용될 수 있도록 한다.

참 고 문 헌

- [1] 전덕빈, 박윤서, 박명환, “소비자들의 상품선택 과정을 고려한 다세대 신상품 확산모형 개발,” *대한산업공학회/한국경영과학회 '98춘계공동학술대회 논문집*, 1998. 04.
- [2] 이철용, 이정동, 김연배, “소비자 선택을 고려한 신기술 혁신의 확산예측-한국의 홈네트워킹 시장을 대상으로,” *기술경영경제학회 기술혁신 연구 제 13권, 제 1호*, 2005. 06
- [3] 이종수, 조영상, 이정동, 이철용, “선택기반 확산모형을 이용한 차세대 대형 TV의 수요예측,” *정보통신정책학회*, 제11권, 제4호, pp.57-81, 2004.12.
- [4] 김철완, 김근배, 오영석, “확산모형을 이용한 정보통신 시장의 수요예측 방법,” *정보통신연구진흥원 연구보고서 01-29*, 2001.12.
- [5] Yair Orbach and Gila E. Fruschter, “A utility-based dynamic model used to predict abnormalities in diffusion over time,” *Innovative Marketing*, vol. 4, Issue 1, pp.37-45, 2008.
- [6] Paulus Cheuk Wai Mau, “Modelling consumer preferences and technological change : survey of attitudes to hybrid vehicles,” *SIMON FRASER UNIVERSITY* , 2005.02.

저자소개



채 아 롬 (Chae, Ah-Rom)

2010년 2월 ~ 현 재 : 한국항공대학교 이학석사(교통전공)
2003년 3월 ~ 2008년 2월 : 한국항공대학교 공학사(전자 및 항공전자공학과 전공)



김 원 규 (Kim, Won-Kyu)

1999년 2월 ~ 현 재 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수
1997년 ~ 1999년 : 한국교통연구원 책임연구원
1996년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공(Ph.D)
1990년 : 연세대학교 본 대학원 건축공학과 도시계획전공(공학석사)
1988년 : 연세대학교 건축공학과 졸업



김 성 현 (Kim, Sung-Hyun)

2010년 12월 ~ 현 재 : 한국항공대학교 교통물류연구소 연구교수
2010년 1월 ~ 2010년 12월 : (주)제이티 연구소 연구3실 이사
2004년 5월 ~ 2009년 12월 : 한국건설기술연구원 첨단도로시스템연구실 선임연구원
2005년 8월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시계획학 박사
1997년 2월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시계획학 석사
1992년 2월 : 한국항공대학교 항공관리학과 이학사



김 병 중 (Kim, Byung-Jong)

1994년 ~ 현 재 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수
1993년 : 국토개발연구원 교통연구실 책임연구원
1993년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공(공학박사)
1990년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공(공학석사)
1982년 : 고려대학교 산업공학과 졸업