

로짓모형을 이용한 전기자동차 충전시설 선택모형 및 충전요금 지불의사 분석 연구

Analysis of Choice model for EV Charger Types and willingness to pay for Charging
Rate based on Logit model

변 완 희* 이 기 흥** 기 호 영***
(Byun, Wan hee) (Lee, Kihong) (Kee, Ho Young)

요 약

최근 계속되는 기후변화에 따른 위기감으로 인해 세계는 온실가스를 감축하기 위한 노력을 강화 하고 있다. 그중 수송 분야에서는 온실가스를 줄이는 방안으로 현재의 내연기관 자동차를 전기자동차로 대체하고자 하고 있다. 한편 전기자동차를 보급하는데 있어서 중요한 충전설비는 완속충전설비와 급속충전설비로 나뉘는데, 전기 충전량 외에도 충전시간 역시 요금을 구성하는 중요 요소가 된다. 그러나 충전시간은 개인이 처한 상황에 따라 시간 기회비용이 같지 않으므로 이와 같은 현상을 정확히 이해하는 것은 충전설비의 보급이나 요금정책에 있어서 매우 중요하다고 생각한다. 따라서 본 연구는 상황에 따른 충전설비의 선택, 충전시간과 비용 지불의사가 어떻게 달라지는지를 밝히고자 로짓모형을 통해 충전설비 선택모형과 함께 상황별 시간가치를 제시하고 있다.

핵심어 : 로짓모형, 전기자동차, 충전설비, 지불의사, 시간가치

Abstract

The word is endeavoring to reduce greenhouse gases with the sense of crisis caused by the continuous climate change. As a method to decrease greenhouse gases, motors driven by fossil fuels are being substituted by EV in the field of transportation. Meanwhile, for the spread of EV, charging installations are divided into general charging type and quick charging type. Also, charging amount and time are main factors to decide charging pay. But, because the opportunity coast for the charging time varies depending on the private situations, it is very important to understand exact phenomenon for the spread of EV charging installations and charging pay policy. Therefore this paper suggested the choice model of charging installation and time value in various situations by using Logit model to make clear the relationship between a choice of charging installation, charging time and willingness to pay for charge.

Key words : Logit model, Electronic vehicle, EV charging infrastructures, Willingness to pay, Time value

* 주저자 : 토지주택연구원 도시건축연구실 수석연구원

** 공저자 및 교신저자 : 토지주택연구원 건축환경연구실 연구위원

*** 공저자 : 토지주택연구원 도시건축연구실 수석연구원

† 논문접수일 : 2013년 07월 22일

† 논문심사일 : 2013년 08월 13일

† 게재확정일 : 2013년 08월 26일

1. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 계속되는 기후변화로 인한 폐해가 심각하고, 이로 인해 세계는 온실가스를 감축하기 위한 노력을 강화하고 있다. 그중 하나가 현재의 내연기관 자동차를 전기자동차(이하, 전기차)로 대체하는 것이다.

정부는 지난 2009년 10월 전기차 산업 활성화 방안을 마련하면서 2020년까지는 국내 소형차의 10%를 전기차로 보급하겠다는 목표를 갖고 있다[1]. 또한 2010년 3월 30일에는 저속 전기자동차의 도로주행을 위한 자동차관리법 개정안을 발표하기도 하였다[2][3]. 자동차 회사로는 현대·기아 자동차는 국내 첫 양산형으로 레이 전기차를 출시하였고, 르노 삼성은 SM3, 한국GM은 스파크를 생산하고 있다.

전기를 주동력으로 하는 전기자동차에게 있어서 반드시 필요한 요소 중 하나는 충전설비이다. 충전설비는 현재 급속충전기와 완속충전기로 구분하고 있다. 아직은 기술적 한계로 급속충전기는 30분, 완속은 6-9시간 정도 소요되고 있지만 충전기술은 빠르게 발전하고 있어 충전시간을 줄이기 위한 다양한 기술들이 개발 중에 있다.

한편, 개인이 자신의 전기차를 충전할 경우 생각할 수 있는 비용으로는 전기 충전량과 충전시간을 생각할 수 있다. 충전시간이 요금구조에 포함될 수 있는 것은 충전시간에 따른 시간가치를 고려하였기 때문이다. 따라서 충전시간은 요금을 결정하는 주요 변수가 될 수 있다. 왜냐하면 충전시간에 따라 비용 지불의사가 다를 것이기 때문이다. 다시말해 동일한 충전 전력량이라 할지라도 30분의 충전시간과 6시간의 충전시간에 대해 동일 요금을 받을 수 없는 것이다.

그러나 충전시간에 대해 시간가치가 모든 상황에서 동일하지는 않을 것이다. 같은 사람이 업무 중 충전할 때와 휴일 또는 퇴근 후 저녁 집에서 충전할 때의 요금 지불의사는 동일한 충전시간이라 해도 같지 않을 것이라곤 쉽게 가정할 수 있기 때

문이다.

이에 본 연구는 상황에 따른 충전설비의 선택의 차이와 충전시간에 대한 요금 지불의사의 차이를 살펴보고자 하였다. 다만, 개인이 처한 상황을 일일이 반영하는 것은 불가능하므로, 본 연구는 단순화하여 분석하였다. 즉 개인의 처한 상황은 2개의 서로 다른 상황, 즉 퇴근 후 저녁 자신의 집에서 충전하는 경우와 낮 시간 백화점에서 충전하는 경우를 가정하였다.

충전설비의 선택행동 데이터는 분양아파트 거주민 160명을 무작위로 선정하여 조사하였다. 본 연구는 전기충전량 요금은 충전설비에 관계없이 동일하며, 따라서 개인의 충전설비 선택은 충전시간과 그에 대한 지불비용으로서의 요금을 통해 보다 충전설비를 선택한다고 가정하였고, 이항 로짓모형을 통해 분석하였다.

2. 전기자동차 현황

전기차는 전기에너지로 구동하는 차로서 통상 배터리를 모터로 구동한다. 넓은 의미로는 모터를 사용하는 하이브리드 자동차, 플러그인 하이브리드 자동차 등이 전기차의 범주에 포함되며, 좁은 의미로 전기차는 외부의 전력을 사용해 충전한 배터리로 모터를 구동하는 배터리 전기자동차를 의미한다. 본 연구에서는 좁은 의미의 전기차를 대상으로 한다.

전기차는 1회 충전에 140km~160km가 주행 가능한데[4], 한국전력은 제주 전기차 실증단지에 대해 전기차 충전서비스를 무료로 제공해 왔으나 전기차가 본격적으로 도입될 시점을 고려해 충전요금을 결정할 예정으로 있다[5].

국내에서는 2010년 3월30일 저속 전기차의 도로주행을 허용함으로써 국내에서 개발된 저속전기차가 도로를 주행하기 시작하였다. 또한 2010년 9월에는 현대의 고속전기차인 '블루온(Blue-On)'이 공개된 이후, 다양한 형태의 전기차가 개발되고 있다[6]. 2012년에는 기아의 '레이 EV'와 르노삼성사의 'SM3 ZE' 등이 생산 보급 중에 있다.

전기차 수요에 있어서는 많은 기관에서 긍정적

인 예측을 내놓고 있다. 가령, 미국 보스턴 컨설팅 그룹은 2020년에 전기차와 PHEV(Plug-in Hybrid Vehicle) 등의 연간 세계 판매대수가 300만대에 달할 것으로 전망하고 있고[7], 프로스트 앤 설리반(Frost & Sullivan) 컨설팅은 2020년에 전기차는 전체 판매차량의 4%~12%가 판매될 것이라고 예측하고 있다[8]. 또한 우리 정부는 2010년 0.1%에서 2020년 5.0%로 예상하고 있고, 2020년 우리나라의 전기차 누적 보급대수는 1000만대에 이를 것으로 내다봤다[4].

II. 자료수집 및 선택행동 차이 분석

1. 충전설비 선택 데이터의 수집

본 연구는 다양한 충전시간과 시간에 대한 지불의사로서의 요금에 대해 급속충전설비와 완속 충전설비의 선택행동 데이터를 설문조사를 통해 획득하였다. 설문조사의 응답자들은 두 개의 서로 다른 상황 하에서 응답하도록 하였고, 충전시간과 충전요금의 다양한 조건에서 충전설비를 선택하도록 하였다. 여기서 두 개의 상황이란 다음과 같다.

- 아파트 충전상황 : 퇴근 후 저녁, 자신의 방전된 전기자동차를 아파트 단지 내 충전시설에서 충전하는 경우
- 백화점 충전상황 : 백화점 쇼핑 중에 자신의 방전된 전기자동차를 충전소에서 충전하는 경우

충전설비 선택을 위한 조건으로 사용된 충전시간과 요금은 <표 1>과 같다. 충전시간은 현재 수준의 전기차 성능과 미래 기술발전을 고려해 정하였고, 충전요금은 몇 번에 걸친 파일럿 조사결과를 통해 결정하였다. 충전설비 간 충전량은 동일하며 가격 차이가 없다고 가정하였고, 요금은 다만 급속충전에 따른 시간 혜택에 대한 지불의사가 있는 비용으로 제시하고 있다.

응답자에게는 두 충전설비의 ‘충전시간’과 ‘요금’을 제시하고, 충전설비를 선택하도록 하였는데, 이때 완속 충전기의 요금은 ‘0원’으로 하였다. 이렇게

한 이유는 첫째, 문항수를 줄이기 위함이고, 둘째, 본 연구는 전기자동차는 반드시 충전해야 하며, 완속과 급속 외에는 다른 대안이 없고, 사람들이 충전설비를 선택함에 있어서 얻을 수 있는 정보는 충전시간과 요금뿐이므로, 응답자들은 두 충전설비의 충전시간과 요금의 비교를 통해 급속충전기의 선택 여부를 결정한다고 가정하고 있기 때문이다.

<표 5> 설문조사에서 제시한 충전시간과 요금
<Table 1> Charging time and Charging Rate- Presented in Questionnaire

items	Charging Time	Charging rate
Quick Charger	5min, 15min, 30min	2,500won, 5,000won, 10,000won, 20,000won
General Charger	1hour, 3hours, 9hours	0won
difference	30min, 45min, 55min, 150min, 165min, 175min, 330min, 345min, 355min	2,500won, 5,000won, 10,000won, 20,000won

아파트와 백화점의 상황에서 충전하는 응답자는 각각 80명, 총 160명이며, 모두 자가 운전자로서 이 들로부터 각각 2,880개의 급속충전기 선택 여부의 데이터를 수집하였다. 응답자 구성은 <표 2>와 같다.

<표 6> 응답자의 구성
<Table 2> Composition of Respondents in Questionnaire

items	Charge in Apartment		Charge in Department Store		
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage	
Sex	Male	23	28.8%	22	27.5%
	Female	57	71.3%	58	72.5%
Ages	Twenties	1	1.3%	4	5.0%
	Thirties	42	52.5%	42	52.5%
	Forties	34	42.5%	30	37.5%
	Fifties	1	1.3%	4	5.0%
	Over Sixties	2	2.5%	0	0.0%
Monthly Income	Less 4.5million won	23	28.8%	31	38.8%
	Over 4.5million won	57	71.3%	49	61.3%

2. 상황에 따른 충전설비 선택행동 분석

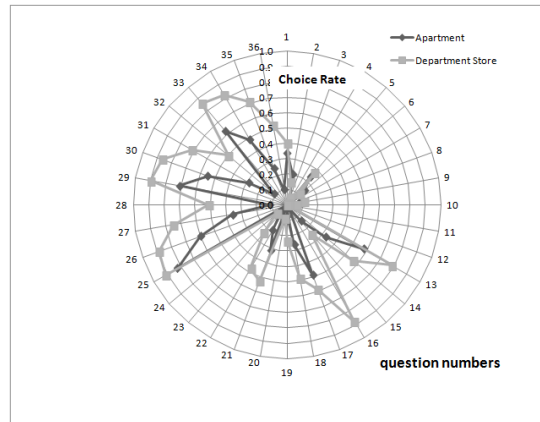
<표 3>은 충전시간과 요금에 따른 아파트와 백화점 각각의 급속충전기 선택 결과를 보여주고 있

다. 36개 문항은 서로 다른 36개의 조건을 의미하며, 각 문항에 대해 80명의 응답자로 하여금 급속충전기 선택자수와 비율을 보여주고 있다.

〈표 7〉 아파트와 백화점에서의 응답자의 급속충전기 선택 결과
 〈Table 3〉 Result of Consumer Choice for Quick Charger installing at the Parking Lot of Apartments and Department Store

Questions	General Charger		Quick Charger		Respondents	Apartment		Department Store	
	Charging Time (시간)	Charging Time (분)	Charging rate (원)	Choice		Percentage	Choice	Percentage	
1	1	5	2,500	80	32	0.3	27	0.4	
2	1	5	5,000	80	12	0.2	16	0.2	
3	1	5	10,000	80	4	0.1	4	0.1	
4	1	5	20,000	80	1	0.0	0	0.0	
5	1	15	2,500	80	22	0.2	19	0.3	
6	1	15	5,000	80	9	0.2	12	0.1	
7	1	15	10,000	80	1	0.0	2	0.0	
8	1	15	20,000	80	1	0.0	0	0.0	
9	1	30	2,500	80	9	0.1	6	0.1	
10	1	30	5,000	80	5	0.0	3	0.1	
11	1	30	10,000	80	1	0.0	0	0.0	
12	1	30	20,000	80	0	0.0	0	0.0	
13	3	5	2,500	80	63	0.6	46	0.8	
14	3	5	5,000	80	45	0.3	26	0.6	
15	3	5	10,000	80	20	0.1	11	0.3	
16	3	5	20,000	80	7	0.0	2	0.1	
17	3	15	2,500	80	47	0.5	39	0.6	
18	3	15	5,000	80	39	0.3	21	0.5	
19	3	15	10,000	80	19	0.1	6	0.2	
20	3	15	20,000	80	7	0.0	0	0.1	
21	3	30	2,500	80	42	0.3	25	0.5	
22	3	30	5,000	80	38	0.2	15	0.5	
23	3	30	10,000	80	19	0.1	5	0.2	
24	3	30	20,000	80	7	0.0	0	0.1	
25	6	5	2,500	80	73	0.8	66	0.9	
26	6	5	5,000	80	71	0.6	48	0.9	
27	6	5	10,000	80	60	0.4	29	0.8	
28	6	5	20,000	80	41	0.1	9	0.5	
29	6	15	2,500	80	72	0.7	57	0.9	
30	6	15	5,000	80	69	0.6	44	0.9	
31	6	15	10,000	80	57	0.3	23	0.7	
32	6	15	20,000	80	40	0.1	9	0.5	
33	6	30	2,500	80	69	0.6	50	0.9	
34	6	30	5,000	80	66	0.5	39	0.8	
35	6	30	10,000	80	57	0.3	20	0.7	
36	6	30	20,000	80	42	0.1	8	0.5	

문항1에서 4를 볼 때, 완속충전기의 1시간 충전과 급속충전기 5분에 대해 응답자들은 아파트와 백화점 모두에서 급속충전기를 많이 선택하지 않고 있고(0.3~0.0), 문항 25에서 문항 28을 볼 때, 완속충전기 6시간과 급속충전기 5분에 대해 응답자들은 아파트와 백화점 모두에서 처음에는 0.8이었지만 충전요금이 증가하면서 급속충전기 선택률은 떨어지고 있다. 이런 결과는 시간에 대한 기회비용, 즉 시간가치로 설명하면 이해할 수 있는 현상이 된다. 한편 <그림 1>은 동일한 조건에 대해 아파트와 백화점 간의 차이를 분명하게 보여주고 있다. 이런 차이를 통계적으로 확인하기 위해, ‘a paired sample t-test’를 시행한 결과 <표 4>와 같이 두 시나리오, 즉 아파트와 백화점 간의 선택 차이에 대한 $t=-6.534$, 유의확률 0.000으로 기각되었다. 다시 말해 동일한 조건에서 두 상황은 급속충전기 선택에 있어서 차이가 있음을 확인하였다.



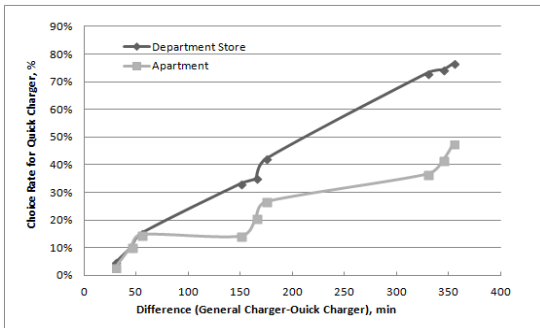
〈그림 1〉 아파트와 백화점에서의 급속충전기 선택의 차이 비교
 〈fig 1〉 Comparison of Consumer Choice Difference for Quick Charger installing at the Parking Lot of Apartments and Department store

〈표 8〉 대응표본 t 검정

〈Table 4〉 a paired-sample t-test

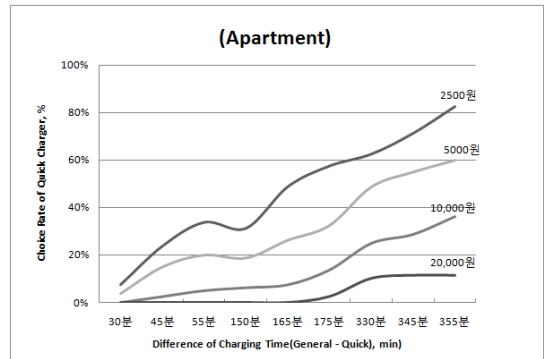
items	Average	N	Standard Deviation		
Apartment	19.1	36	18.6		
Department Store	32.4	36	25.5		
items	Average	Standard Deviation	t	df	sig(2tail)
Apartment-Department Store	-13.33	12.243	-6.534	35	.000

[그림 2]에서 제시하고 있듯이, 완속충전기와 급속충전기 간의 충전시간 차이가 커질수록 급속충전기를 선택하는 비율은 증가하는 경향이 뚜렷해짐을 볼 수 있다. 또한 백화점과 아파트를 비교하면, 2절에서 알 수 있었던 것과 마찬가지로 백화점이 아파트보다 급속충전기 선택율이 높은 것을 확인할 수 있다.



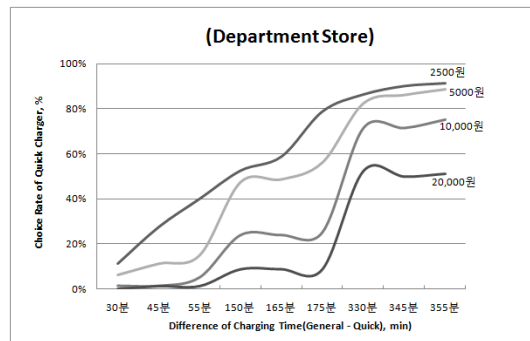
〈그림 2〉 충전시간 차이에 따른 급속충전기 선택을 비교
 〈fig 2〉 Comparison of Consumer Choice Rates for Quick Charger with different Charging Time

[그림 3]과 [그림 4]는 아파트와 백화점 각각에 대해 충전시간과 충전요금의 차이에 따른 급속충전기 선택율을 보여주고 있다. 아파트와 백화점 모두 충전요금의 차이가 커질수록 급속충전기의 선택율이 낮아지는 것으로 나타났다. 다시 말해 급속충전기 충전요금이 상대적으로 높을수록 사람들은 완속충전기로 자신의 선택을 바꾼다는 것을 의미한다.



〈그림 3〉 아파트에서의 충전시간 차이와 요금차이에 따른 급속충전기 선택율

〈fig 3〉 Consumer Choice Rate of Quick Charger with Different Charging Time and Charging Rate in Apartments



〈그림 4〉 백화점에서의 충전시간 차이와 요금차이에 따른 급속충전기 선택율

〈fig 4〉 Consumer Choice Rate for Quick Charger with Different Charging Time and Charging Rate in Department Store

Ⅲ. 충전설비 선택모형과 시간가치

1. 충전설비의 변수 간 차이를 이용한 로짓모형

앞서 III장에서 두 충전설비간의 충전시간과 충전요금에 따라 충전기의 선택율이 달라진다는 것을 알 수 있었는데, 이것은 충전기 선택에 있어서 충전시간과 충전요금이 중요한 요인으로 작동하고 있다는 것을 의미한다. 그리고 좀 더 정확히는 사람들은 충전시간으로 표현되는 시간가치와 충전요금을 통

해 효용이 큰 충전기를 선택한다고 볼 수 있다. 이와 같은 경우, 선택 모형은 이항로짓으로 가능하며 (식 1)과 같이 표현된다. 즉 독립변수 x 가 특정 값을 취할 때의 Y 의 기댓값인 $E(Y/x)$ 가 로지스틱 함수를 따르며, $E(Y/x)$ 는 0~1 사이의 확률 값으로 표현되며, $p(x)$ 는 급속충전기를 선택할 확률이 된다.

$$E(Y/x) = p(x) = \frac{\exp(\alpha + \sum_{i=1}^k \beta_k x_k)}{1 + \exp(\alpha + \sum_{i=1}^k \beta_k x_k)} \quad (\text{식 1})$$

여기서,

$p(x)$: 급속충전기 선택확률

x_k : 변수 (x_1 : 충전시간의 차이, x_2 =충전요금의 차이)

α, β : 파라미터

변수 x 의 파라미터를 구하기 위해서는 확률 $p(x)$ 를 로짓 변환하여 선형화하고, 최대우도법을 통해 변수 파라미터를 추정할 수 있다.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_k x_k \quad (\text{식 2})$$

<표 5>는 백화점에서의 로짓분석 결과를 보여주고 있다. 여기서, Cox와 Snell의 R2와 Nagelkerke의 R2는 각각 0.364, 0.492이다. 그러나 이 두 R2값은 선형회귀분석의 그것과는 달리 의미 있는 해석을 하기 어렵다. 로지스틱 회귀분석에서는 R2를 설명된 분산이라는 의미있는 해석을 하기 어렵고 대체로 낮은 값을 보이기 때문이다. 이보다는 <표 6>의 분류표에서 제시한 값이 의미가 큰데, 이를 설명하면, 2880개의 데이터에서 실제 급속충전기를 선택하지 않은(=0) 1713건에 대해 모형의 적중률은 1499개, 87.5%이고, 급속충전기를 선택한(=1) 1,167건에 대해 모형의 적중률은 746건으로 63.9%이었다. 그리고 전체적인 적중률은 78.0%였다. 이를 볼 때 이 모형은 적합도가 충분히 높다고 말할 수 있다.

<표 9> 백화점에서의 모형 적합도 검증

<fig 5> Verification of Goodness of Fit for Testing Model in Department Store

-2 Log Likelihood	Cox and Snell R-Square	Nagelkerke R-square
2584.078	.364	.492

<표 10> 분류표에 의한 모형 적합도 검증(백화점)

<fig 6> Verification of Goodness of Fit by Classification Table for Testing Model in Department Store

Monitoring(2,880개)		Model		Accuracy%
		0 (General Charge)	1 (Quick Charger)	
Choice of Respondents	0 (General Charger)	1499	214	87.5
	1 (Quick Charger)	421	746	63.9
Total Accuracy Rate				78.0

한편, <표 7>을 보면 변수 x_1 과 x_2 의 파라미터값을 알 수 있고, wald 검정결과 모두 유의했다. 파라미터값을 적용하여 모형을 확률 $p(x)$ 로 표현하면 (식 3)과 같다.

<표 11> 변수 파라미터와 검정(백화점)

<Table 7> Variable Parameters and Testing Hypothesis in Department Store

items	Parameters	S.E	Wald	Freed om	Significance Probability	Exp(B)
x1	-0.012546	.000479	685.511	1	.000	.988
x2	-0.000153	.000009	310.061	1	.000	1.000
Constant Term	-1.471844	.102736	205.249	1	.000	.230

$$p(x) = \frac{\exp(-1.471844 - 0.012546x_1 - 0.000153x_2)}{1 + \exp(-1.471844 - 0.012546x_1 - 0.000153x_2)}$$

(식 3)

x_1 은 충전시간 차이(급속-완속)로서 두 충전설비

간의 차가 커진다는 것은 -값이 커진다는 것이고, 이것은 결국 +값의 증가를 의미하며, 이때 급속충전기 선택확률은 증가하게 된다. x_2 는 요금 차이(급속-완속)로서 두 충전설비간의 요금 차이가 커진다는 것은 +값이 커진다는 것이고, 이것은 결국 -값의 증가를 의미하며, 이때 급속충전기 선택확률은 감소한다.

같은 방법으로 아파트에 대해 로짓분석을 시행하면 다음과 같다.

〈표 12〉 아파트에서의 모형 적합도 검증
 〈fig 8〉 Verification of Goodness of Fit for Testing Model in Apartments

-2 Log Likelihood	Cox and Snell R-Square	Nagelkerke R-Square
2347.875	.247	.370

〈표 13〉 분류표에 의한 모형 적합도 검증(아파트)
 〈fig 9〉 Verification of Goodness of Fit by Classification Table for Testing Model in Apartments

Monitoring(2,880개)		Model		Accuracy%
		0 (General Charge)	1 (Quick Charger)	
Choice of Respondents	0 (General Charger)	2017	176	92.0
	1 (Quick Charger)	383	304	44.3
Total Accuracy Rate				80.6

〈표 14〉 변수 파라미터와 검정(아파트)
 〈Table 10〉 Variable Parameters and Testing Hypothesis in Apartments

items	Parameters	S.E	Wald	Freedom	Significance Probability	Exp(B)
x1	-.007764	.000440	311.723	1	.000	.992
x2	-.000216	.000013	294.183	1	.000	1.000
Constant Term	-1.194646	.119507	99.929	1	.000	.303

$$p(x) = \frac{\exp(-1.194646 - 0.007764x_1 - 0.000216x_2)}{1 + \exp((-1.194646 - 0.007764x_1 - 0.000216x_2)}$$

(식 4)

2. 효용함수를 활용한 이항로짓 모형

효용함수를 활용한 이항 로짓모형은 요금과 충전시간을 변수로 하는 두 개의 효용함수, 즉 완속충전기에 대한 효용함수와 급속충전기에 대한 효용함수를 비교하여 대안을 선택하는 확률을 제시하는 모형이 된다. 따라서 개인 A가 대안(1, 2, ..., J) 중에서 대안 i를 선택할 확률 p_i 는 충전시설 i의 효용이 다른 충전시설 j보다 클 확률이고, 다음과 같이 표현된다.

$$p_i = \text{Prob}[U_i > U_j, \text{ for all } j \neq i] \quad (\text{식 } 5)$$

$$= \text{Prob}[V_i + \epsilon_i > V_j + \epsilon_j, \text{ for all } j \neq i]$$

$$= \text{Prob}[\epsilon_i - \epsilon_j > V_j - V_i, \text{ for all } j \neq i]$$

여기서,

V_i : 충전시설 i의 관측효용
 ϵ_i : 충전시설 i의 비관측효용

$$V_i = a x_{1,i} + b x_{2,i} + SL$$

x_1 : 충전시간
 x_2 : 요금

$i = 1$ 은 급속충전시설, $i = 2$ 는 완속충전시설이다. SL 은 완속충전시설에 대한 특정상수이고, 따라서 $i = 2$ 일 때만이 $SL = 1$ 이 된다.

오차항 ϵ 에 대한 확률분포가 Weibull 분포를 따른다고 가정하면 대안 i를 선택할 확률 p_i 는 다음과 같이 관측효용만으로 표현된다.

$$p_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(V_j)} \quad (\text{식 } 6)$$

백화점과 아파트에서의 전기차 충전에 대한 수요를 추정하기 위해 로짓 분석한 결과는 <표 11>과 같다. 두 충전장소 모두에서 투입한 변수 중 충전시간과 충전비용의 파라미터가 음(-)으로 추정되었는데 이것은, 충전시간이 길어질수록, 충전비용

높을수록 선호도가 낮아지는 것으로 파악되어 직관적 상식과 일치하고 있다. 또한 완속충전시설의 파라미터는 양(+)으로 추정되어 기본적으로 응답자들은 급속충전에 비해 완속충전을 선호하는 것으로

나타났다.

전체적으로 모형의 적합도 (ρ^2 또는 $\overline{\rho^2}$)는 백화점에서 0.33, 아파트에서 0.25 수준으로 양호한 값을 나타내고 있다(보통 0.2 이상이면 양호하다고 판단).

<표 15> 백화점/아파트에서의 충전설비 선택에 대한 로짓분석
<Table 11> Rogit Analysis of Consumer Charger Type Choice in Apartments and Department Store

Department Store				Apartment			
Variable	Coefficient estimate	standard error	t-statistic	Variable	Coefficient estimate	standard error	t-statistic
Charging Time(x1)	-0.01255	0.00048	-26.182 *	Charging Time(x1)	-0.00776	0.00044	-17.656 *
Charging Rate(x2)	-0.000153	0.00001	-17.609 *	Charging Rate(x2)	-0.00022	0.00001	-17.152 *
General Charge(a1)	1.47184	0.10274	14.327 *	General Charge(a1)	1.19465	0.11951	9.996 *
Summary Statistics				Summary Statistics			
Number of observation = 2880				Number of observation = 2880			
L(0) = -1292.039				L(0) = -1173.938			
L($\hat{\beta}$) = -1944.193				L($\hat{\beta}$) = -1582.252			
$\rho^2 = 0.33544$				$\rho^2 = 0.25806$			
$\hat{\rho}^2 = 0.33474$				$\hat{\rho}^2 = 0.25729$			

* p < 0.001

상기 파라미터를 결과를 통해 백화점과 아파트의 충전설비 선택 모형은 (식 7)과 같이 효용 함수 형태로 나타낼 수 있다.

(백화점) (식 7)

$$U_{\text{급속충전}} = -0.01255x_1 - 0.000153x_2$$

$$U_{\text{완속충전}} = 1.47184 - 0.01255x_1 - 0.000153x_2$$

(아파트)

$$U_{\text{급속충전}} = -0.00776x_1 - 0.00022x_2$$

$$U_{\text{완속충전}} = 1.19465 - 0.00776x_1 - 0.00022x_2$$

3. 시간 가치

시간가치는 경제학의 한계대체율¹⁾에 근거하여 식 (8)과 같이 충전시간과 요금의 관계로부터 구할 수 있으며, 이것은 "동일한 효용 하에서 사람들이 충전시간 단축을 위해 지불의사가 있는 요금"으로 해석할 수 있다. 식에서 음(-)은 한계대체율을 양(+)

으로 표현하기 위해 붙인 것이다.

$$MRS = - \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} \quad (\text{식 } 8)$$

여기서,

MRS : 시간가치, 동일 효용에서의 충전시간과 요금의 한계대체율

Δx_1 : 충전시간의 변화(분)

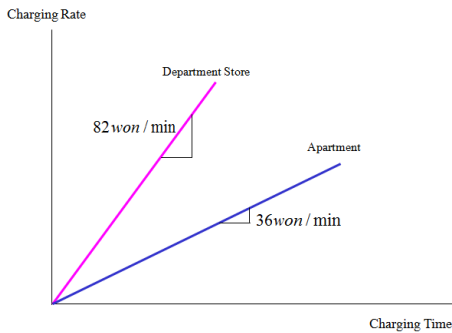
Δx_2 : 요금의 변화(원)

<표 12>는 산정된 시간가치를 충전설비의 변수 간 차이를 이용한 로짓모형과 효용함수를 이용한 로짓모형 각각에 대해 제시하였다. 두 방법 간의 차이는 거의 없다고 판단되며, 백화점은 분당 82원, 아파트는 분당 36원으로 나타났다.

1) 한계대체율은 동일 효용하에서 두 상품사이의 주관적 교환 비율을 말한다.

〈표 16〉 백화점/아파트에서의 충전시간가치
 〈Table 12〉 Charging Time Value for the Consumer in Apartments and Department Store

Rogit Model using variables difference		Rogit Model using Utility Function	
Department Store	Apartment	Department Store	Apartment
82.0 won/min	36.0 won/min	82.0 won/min	35.3 won/min



〈그림 5〉 충전시간에 대한 시간가치
 〈Fig 5〉 Time Value for the Charging Time in Apartments and Department Store

IV. 결론

본 연구는 상황에 따른 충전설비의 선택의 차이와 충전시간에 대한 요금 지불의사의 차이를 살펴보고자 하였다. 다만, 개인이 처한 상황을 일일이 반영하는 것은 불가능하므로 단순화하여 분석하였다.

상황에 따른 충전설비 선택행동 차이를 분석한 결과, 아파트와 백화점 간의 선택행동은 차이, 다시 말해 충전시간에 대한 지불의사가 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 선택행동의 차이를 명확히 밝히기 위해 로짓모형을 이용한 선택모형을 제시하였고, 그로부터 한계대체율의 개념을 통한 시간가치를 산출하였다. 시간가치는 백화점이 분당 82원, 아파트가 분당 36원 등 차이가 있음을 확인하였다. 이것은 동일한 충전시간 및 요금에 대해 느끼는 효용이 상황마다 다르고, 따라서 충전설비에 대

한 정책도 같을 수 없음을 의미하는 것이다.

전기차 충전기의 설치에는 일반적으로 많은 비용이 소요된다. 따라서 충전기의 수요를 예측하거나 통제하는 것은 경제적 측면에서 중요하다고 생각한다. 이 같은 관점에서 상황에 따른 충전시간의 지불의사를 정확히 파악해야 하는 것이 우선적으로 선행되어야 한다. 가령, 충전설비를 도입하고자 할 때, 충전설비간 충전시간의 차이를 알고, 지불의사 비용을 안다면, 요금 정책을 통해 충전시간 수요를 예측할 수 있을 것이다.

본 연구는 상황을 단순히 두 가지로 나누어 상황에 따른 요금 지불의사의 차이를 밝히었으나, 실세계는 이보다 더 복잡하고 다양한 상황이 존재할 것이다. 따라서 전기차 충전과 관련되어 발생할 수 있는 다양한 상황 등을 보다 자세히 조사·분석하여 지불의사를 파악할 수 있다면, 본 연구결과는 전기차 충전설비의 수요예측 및 공급조절 등에 적용 가능할 것이라고 판단한다.

감사의 글

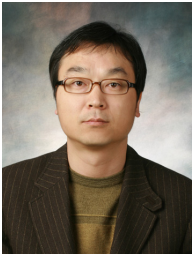
본 연구는 한국토지주택공사(LH)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, Ministry of Environment, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Vitalizing plan of electric car industry, Press release, 2009.10
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Enforcement regulations of Automobile Management Act, 2010.3
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Rules on Automobile Safety Standard, 2010.3
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Building plan for chargeable infrastructure of electric car, 2010.9
- [5] Electric News, 2013.07.02.

- [6] Seong-Kyoo Jang, A Study on New Design Scheme for Building Electric Vehicle Charging Infrastructure in Apartment Housing, Doctorate thesis in Soongsil Univ. 2010
- [7] The Boston Consulting Group, 2009
- [8] Frost & Sullivan, Analysis of the Global Electric Vehicles Market, 2009.

저자소개



변 완 희 (Byun, Wan hee)

2004년 교토대학 공학박사(교통공학전공)

2006년 5월 ~ 현재 : 토지주택연구원 녹색성장연구실 수석연구원

2003년 8월 ~ 2006년 4월 : 한국IBM 유비쿼터스 컴퓨팅 연구소 실장

E-mail : whbyun@lh.or.kr



이 기 홍 (Lee, Kihong)

2001년 충남대학교 공학박사(전력 및 제어 전공)

1992년 ~ 현재 : 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원



기 호 영 (Kee, Ho Young)

2001년 전남대학교 박사과정 수료(데이터베이스전공)

1994년 7월 ~ 현재 : 토지주택연구원 수석연구원

E-mail : hykee@lh.or.kr