

# 이산·연속선택모형을 이용한 친환경자동차에 대한 지원정책이 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출에 미치는 영향 분석

권오상\*, 김용건\*\*, 정재호\*\*\*

---

## 〈요 약〉

---

본 연구는 수송부문 CO<sub>2</sub> 배출량 저감을 목표로 하는 친환경자동차에 대한 지원정책의 효과를 예측하고 정책성공의 결정요인을 분석하는 것을 목적으로 한다. 자동차 이용에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량은 자동차의 유형을 선택하는 이산선택행위와 이미 선택한 유형의 자동차를 어느 정도나 운행하는지를 결정하는 연속선택행위에 의해서 영향을 받는다. 본 연구는 이산 및 연속 선택을 결합분석하는 이산·연속선택모형을 구축한 후, 한국 소비자들의 자동차 선택 및 운행거리 자료에 적용하여 자동차의 연료 효율에 따라 보조금·부과금을 차등 적용하는 정책을 시행할 때 발생하는 두 가지 선택의 변화를 동시에 분석하였다. 분석 결과에 의하면 보조금·부과금이 도입되는 방식이나 상대적 크기에 따라 전기자동차나 하이브리드 자동차와 같은 새로운 유형의 친환경자동차의 예상보급률이 달라지며, CO<sub>2</sub> 배출량 저감 수준에 있어서도 상당한 차이를 나타내었다. 또한 보조금·부과금을 적절히 선택할 경우에만 정부의 세입증립

---

\* 서울대학교 농경제사회학부 농업·자원경제학 전공 교수 겸 농업생명과학연구원 겸무연구원 (제1저자).

\*\* 한국환경정책·평가연구원 기후대기연구실장 (공동저자).

\*\*\* 서울대학교 대학원 농경제사회학부 농업·자원경제학 전공 (공동저자).

---

성을 유지하면서도 정책효과를 거둘 수 있을 것이라는 분석 결과도 도출되었다. 따라서 연비에 따라 차등 적용되는 보조금·부과금 형태 정책의 성공 여부는 정책이 새로운 유형의 친환경자동차의 점유율에 실질적인 차이를 유발하도록 설계되었는지에 달려 있다고 할 수 있다.

주제어 : 자동차, 이산·연속선택모형, 친환경자동차 보조금·부과금제,  
이산화탄소배출

\*\*\*\*\*

This study applies a discrete-continuous choice model to a national survey data set of automobile uses to investigate the potential impacts of a bonus-malus system for new cars in Korea. Not only the impacts on the discrete choice of automobile type and class but also those on the continuous decision making of car operation are analyzed. The characteristics of automobiles and individuals that determine car choice and operation are identified. The simulation based on the estimation result shows that an appropriately designed bonus-malus system can induce a reduction in energy consumption and CO<sub>2</sub> emission substantially without additional government expenditure.

Keywords : automobiles, discrete-continuous choice model,  
bonus-malus system, CO<sub>2</sub> emission

---

JEL 분류 : Q58, Q41, C19

## I. 서 론

우리나라는 에너지 다소비형 산업구조로 에너지의 96.4%를 수입에 의존하고 있어 국제 에너지 가격변동에 취약하고, 에너지의 83%를 화석연료에 의존하고 있어 이산화탄소 배출량이 많은 전 세계 상위 10개국에 포함되는 등, 에너지 위기와 기후변화라는 두 가지 커다란 과제에 직면해 있다. 국내 최종에너지 소비의 가장 큰 부분을 차지하고 있는 산업부문은 지속적으로 에너지 절감 활동을 추진해 왔기 때문에 온실가스 감축잠재량이 많지 않고 감축비용도 많이 드는 반면에, 국내 에너지 소비의 약 20%를 차지하고 있는 수송부문은 다른 부문에 비해 화석에너지에 대한 의존도가 높기는 하지만, 상대적으로 저렴한 비용으로 온실가스 감축이 가능하기 때문에 향후 에너지 위기 및 온실가스 배출 감축을 위한 노력이 수송부문에 집중될 것으로 예상되기도 한다.

수송부문은 크게 도로, 철도, 해운, 항공 부문으로 나눌 수 있는데, 이 중 도로부문 에너지 소비는 자동차 보유대수 증가로 인해 1990년 11,205천 TOE에서 2008년에는 28,225천 TOE로 2.5배 증가하였고, 수송부문에서 도로부문이 차지하는 비중도 1990년 79.1%에서 2008년에는 79.9%로 소폭 증가되었다(이성인·김현주, 2009). 국내 자동차 등록대수는 2003년~2007년 사이 5년간 184만 대 가량 증가하였는데 이는 매년 3.0% 증가한 수치이고, 같은 기간 승용차의 점유율도 전체 등록 자동차의 73.7%로 높아졌다(안영환 외, 2008). 도로부문 수송용 연료 가운데 97%를 석유제품이 차지하고 있으며, 국내 석유소비의 36%를 차지하고 있는 도로부문의 에너지 소비는 앞으로도 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 다양한 에너지 절약 정책들이 특히 화석연료의 소비량에 미치는 성과는 차량용 에너지 소비에 어떤 영향을 미치는지에 크게 달려 있다고 할 수 있다.

미국과 유럽의 일부 국가에서는 이미 자동차 등 수송 분야에서 배출되는 온난화가스 배출량을 줄이고 수송에너지의 효율적인 사용을 위한 다양한 정책을

시행하고, 정책의 효율적인 운영을 위한 연구도 진행해 오고 있다. 우리나라에서도 미국의 기업평균연비제도(Corporate Average Fuel Economy : CAFE)와 성격이 비슷한 기업평균연비제도를 2006년 1월 1일부터 도입하여 실행해 오고 있다.

한편, 국내외 자동차 관련 기업들 역시 기후변화에 대한 소비자의 관심 증가와 유가 급등과 같은 사회·경제적 변화에 의한 시장 구조 변화에 대응하기 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 연비규제정책이나 친환경 자동차에 대한 소비자의 요구를 충족시키기 위한 하이브리드 자동차, 전기자동차와 같은 고연비 차량의 생산 및 상용화 노력의 결과로 미국의 일부 지역에서는 전기자동차가 이미 판매되고 있고, 일본에서는 지난 2011년 11월에 판매된 신차 가운데 하이브리드 자동차가 차지하는 비율이 처음으로 10%를 넘어서기도 하였다.

국내에서도 국산 및 수입산 하이브리드 자동차가 판매되기 시작했으며, 2010년에는 총 8,636대의 하이브리드 자동차가 판매되었다(한국자동차공업협회, 2011). 하지만, 국내에서는 여전히 하이브리드 자동차의 신차 시장 점유율이 1% 미만으로 매우 낮은 실정이고, 소비자들의 친환경 자동차에 대한 관심도 부족한 편이다. 또 일부 EU 국가들이 고연비 차량 구매시 가격 지원 및 세금 감면 등의 혜택과 승용차의 CO<sub>2</sub> 배출량을 기업평균으로 규제하는 법안을 상정하는 등, 다양한 노력을 기울이는 것에 반해 국내에서는 친환경 자동차의 보급을 위한 정부의 정책, 제도적 지원이 아직은 미흡한 것이 사실이며, 현재 이러한 종류의 제도의 도입을 정부가 검토하고 있는 상황이다.

이상과 같은 여건을 반영하여, 본 연구는 자동차의 연료효율성에 따라 지원금이나 부과금을 차등화 하여 지원하는 정책의 효과를 예측해 보고자 한다. 수송용 연료 사용량이나 수송부문 CO<sub>2</sub> 배출량은 자동차의 유형을 선택하는 행위에 의해 결정이 되며, 아울러 이미 선택한 유형의 자동차를 어느 정도나 운행하는지에 의해서도 결정된다. 자동차의 선택은 유한한 숫자의 대안 가운데 하나를 선택하는 일종의 이산선택(discrete choice) 행위인 반면, 이미 선택한 자동차의 운행 정도는 연속선택(continuous choice) 행위이다. 자동차의 연료효율에 따라 보조금·부과금을 차등적용하면 자동차의 유형별 선호가 달라지겠지만, 또한 동

시에 자동차의 운행비용이 달라지기 때문에 운행 정도나 운행거리도 달라진다. 따라서 정부가 검토하고 있는 친환경자동차에 대한 지원정책은 두 가지 선택에 모두 영향을 미치게 되고, 그 두 가지 선택 모두를 분석하는 방법이 필요하다. 즉, 어떤 종류의 자동차 혹은 유류관련 정책의 도입도 이미 보유한 차량의 운행 거리에 영향을 미치는 단기적인 효과뿐 아니라 자동차의 선택 자체도 바꾸는 장기적인 효과까지 가지며, 정책의 효과에 대한 예측은 이러한 장단기 효과를 모두 분석함으로써 가능하다. 이러한 장단기효과의 동시적 분석을 위해 본고는 Dubin and McFadden(1984), Dubin(1985), Train(1986) 등이 개발한 이산연속선택모형(discrete-continuous choice model)을 「에너지총조사보고서」가 조사한 한국 소비자들의 자동차 선택 및 운행거리 자료에 적용하고자 한다.

본고는 제Ⅱ장에서 분석모형에 대해 설명하며, 제Ⅲ장에서는 분석자료와 모형의 추정 결과에 대해 설명한다. 제Ⅳ장에서는 친환경자동차에 대한 지원과 저연비 차량에 대한 부과금 도입 시나리오를 설정하여 시뮬레이션을 행하며, 그 결과를 보여준다. 마지막 제Ⅴ장에서는 분석 결과를 요약하고 결론을 내린다.

## Ⅱ. 분석모형

### 1. 이산·연속선택모형

모든 종류의 에너지는 내구재의 선택과 가동을 통해 소비된다. 따라서 에너지 소비에 대한 분석은 내구재의 선택과 가동행위를 모두 분석할 필요가 있다. 에너지 소비는 3단계의 의사결정을 거치는데, 첫 번째 단계는 내구재, 즉 자동차를 몇 대나 구입할지에 대한 선택이다. 두 번째 단계는 구입한다면 어떤 유형의 자동차를 구입할지에 대한 결정이며, 마지막 세 번째 단계가 구입한 자동차를 어느 정도나 운행할지에 대한 결정이다.

내구재의 선택 혹은 에너지 소비행위를 분석하되, 통상적인 연속변수로서의 수요량을 분석하는 모형은 크게 소비습관이 고착되는 과정이나 동태적 최적화 행위를 소비행위에 도입하여 내구재만의 소비행위를 분석하는 Philips(1983), Pollak and Wales(1992), Browning(1989, 1991), Diewert(1974), Anderson and Blundell(1984) 등의 모형과, 내구재의 소비량은 고정되어 있다고 보고 내구재의 이용 빈도만을 분석하는 Balestra(1967), Berndt and Watkins(1977), Griffen(1974), Houthakker(1951), Houthakker and Taylor(1970), Houthakker *et al.*(1974), Wilson(1971)의 연구로 구분될 수가 있다. 이들 두 모형 모두 내구재 자체나 에너지 소비 자체에만 초점을 맞추는 분석모형들이다.

각 개인별 선택자료를 이용해 내구재의 선택과 그 이용 정도를 개인별 자료를 이용해 모두 분석하는 이산연속선택모형도 크게 두 가지로 나누어질 수 있다.<sup>1)</sup> 첫 번째 방법은 Farrell(1954), Lave and Train(1979), Dubin(1985), Dubin and McFadden(1984), Hausman(1979), Mannering and Winston(1985), Train(1986) 등이 개발하고 최근에도 Bourguignon *et al.*(2004), Newey(2007), Nesbakken(2001), Mansur *et al.*(2005), Reiss and White(2002) 등이 확장시킨 바 있는 이산연속선택모형이다. 이들 연구들은 내구재 혹은 있을 수 있는 내구재의 모든 결합을 선택대안으로 나열했을 때 그 중 하나를 선택하는 이산선택행위와 이미 선택된 내구재를 운영하는 정도를 선택하는 연속선택행위를 모두 분석하는 모형을 제안하여 앞에서 언급하였던 내구재 선택·이용과 관련된 3단계 모두 혹은 일부를 분석할 수 있다는 것을 보여주었다.

1) 이산선택모형이기는 하지만 국가 전체나 산업 전체의 자료를 이용하되 제품차별화를 인정한 상태에서 분석을 행하는 또 다른 방법이 있다. Boyd and Mellman(1980)이나 Cardell and Dunbar(1980)가 고안했던 이산선택모형을 시장 전체 자료에 대해 적용하는 방법을 확장한 Berry *et al.*(1995) 류의 이산선택 제품차별화모형은 자동차처럼 차별화된 제품의 특성이 수요에 미치는 영향을 강한 이론적·계량경제학적 기반을 가지면서 분석할 수 있는 유용한 분석수단이고, 한국에서도 박민수·조철(2005), 이성근·안영환(2006), 안영환 외(2008)에 의해 자동차 시장에 대해 적용된 바 있지만, 자동차의 종류별 선택문제만을 분석하는 방법일 뿐 자동차의 운행거리에 미치는 영향은 분석하지 못한다.

두 번째 방법은 Hanemann(1984), Phaneuf *et al.*(2000), Bhat(2005, 2008), Bhat and Sen(2006) 등이 개발해온 방법으로서, 주요행위에 일종의 Kuhn-Tucker 조건을 적용하는 방법이다. 이 방법은 선택 가능한 차종 중 일부를 선택하여 운행하되, 선택되지 않는 차종의 경우 운행거리가 0이라는 선택, 즉 구석 해(corner solution)가 선택된다고 보는 분석법이다. 이 모형은 앞의 Dubin and McFadden(1984) 류의 이산연속선택모형과 비교할 때 분석에 포함될 선택대안의 수를 많이 줄여줄 수 있는 장점을 가지지만, 효용함수의 설정에 따라 분석 결과가 민감하게 변하고, 특히 선택 차량이 하나일 경우만 분석할 때에는 모형이 통상적인 이산선택모형으로 단순화 되어 버리는 단점도 가져 본고가 사용할 자료에 적용하기 어려운 점이 있다(Bhat, 2008).

따라서 본고는 이상의 선택 대안 가운데 Dubin and McFadden(1984) 류의 이산연속선택모형을 이용하여 한국 소비자의 자동차 선택 및 운행거리와 관련된 의사결정 행위를 분석하고, 그 분석 결과에 기초하여 다양한 에너지 절약 프로그램이 소비자들의 자동차 선택과 에너지 소비에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 파악하고자 한다. 본 연구가 분석을 위해 사용하는 「에너지총조사보고서」 상의 자료는 최소한 1대 이상의 자동차를 보유한 가구만을 대상으로 조사되어 있고, 2대 이상의 차를 보유한 가구의 경우 주로 사용하는 자동차에 관한 정보만이 조사되어 있다. 따라서 이 자료는 자동차를 몇 대나 보유하는지에 관한 의사결정을 분석하기 위해 필요한 정보를 포함하고 있지 않기 때문에 본 연구는 위에서 제시된 에너지 소비량 결정과 관련된 3단계 의사결정 가운데 2단계, 3단계의 의사결정행위를 분석하여 에너지 절약 프로그램의 효과를 예측하고자 한다.

한국 자동차 시장에서 선택 가능한 차종으로  $J$ 개가 있다고 가정하자.  $J$ 개의 차종 가운데  $i$ 번째 차종의 특성을 나타내는 벡터를  $z_i$ 라 하고, 각 가구의 소득을  $y$ , 각 가구의 기타 사회경제적 특성을 나타내는 벡터를  $s$ , 그리고 기타 관측되지 않는 변수들을  $w_i$ 라 하자.  $x$ 를 각 자동차가 운행되는 거리(km)라 하고,  $p_i$ 를  $i$ 번째 차종의 km당 운행비용이라 하자.

어떤 가구가  $i$ 번째 차종을 선택하되, 운행거리는 아직 결정하지 않았다고 가정하자. 이 가구가  $i$ 번째 차종을 선택하여 얻는 조건부 간접효용(conditional indirect utility function)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>2)</sup>

$$u_i = u_i(p_i, y, z_i, s, w_i) = v_i(p_i, y, z_i, s) + \epsilon_i \quad (1)$$

단,  $\epsilon_i$  = 관측되지 않는 변수인  $w_i$ 의 함수임.

식 (1)의 확률변수  $\epsilon_i$ 에 대해 어떤 확률분포를 부여함으로써 각 차종의 선택 확률을 도출할 수가 있는데, 만약 제1형태 극한치분포(type I extreme value distribution)를 부여한다면, 선택확률은 다음과 같이 나타난다.

$$P_i = \frac{\exp(v_i(p_i, y, z_i, s))}{\sum_{j=1}^J \exp(v_j(p_j, y, z_j, s))} \quad (2)$$

한편  $i$ 번째 차종이 선택되었다는 전제 하의 연속적인 차량운행거리  $x$ 에 대한 조건부 수요함수(conditional demand function)는 식 (1)의 간접효용함수에 로이의 항등식(Roy's identity)을 적용하여 다음과 같이 도출된다.

$$x_i = - \frac{\partial u_i(p_i, y, z_i, s, w_i) / \partial p_i}{\partial u_i(p_i, y, z_i, s, w_i) / \partial y} = f_i(p_i, y, z_i, s, w_i) \quad (3)$$

각 차종의 선택 가능성을 모두 고려한 상태에서 도출되는 운행거리의 한계수요 함수(marginal demand function)는 각 차종이 선택될 확률을 각 차종이 선택될 경우의 조건부 수요함수에 곱한 뒤, 이를 모두 더하여  $x = \sum_{i=1}^J P_i f_i(p_i, y, z_i, s, w_i)$ 와 같이 도출한다.

이상과 같은 이산연속모형을 추정하는 가장 자연스러운 방법은 FIML 방법

2) 이하 수식들의 기호는 Train(1986)의 표기법을 따름을 밝힌다.

(full information maximum likelihood estimation)을 이용해 두 선택모형을 동시에 추정하는 것이다. 이 경우 효용함수  $v_i$ 에 어떤 함수형태를 부여한 뒤 각 가구가 자신이 실제로 선택한 차종 및 운행거리를 선택할 확률을 구하고, 이러한 확률을 우도함수(likelihood function)에 대입한 뒤, 우도함수를 극대화하는 추정치를 구한다. FIML 방법은 효율성(efficiency)과 일치성(consistency)을 모두 보유하는 추정 결과를 얻을 수 있지만, 매우 복잡한 우도함수를 추정하여야 하기 때문에 현실적으로 사용되기는 힘들다(Train, 1986, p. 86).

따라서 이산연속모형을 추정한 선행 연구들은 이산선택모형과 연속적인 수요결정모형을 분리하여 추정하였다. 이 경우 추정작업은 차종선택모형부터 시작된다. 식 (2)에서 각 가구가 어떤 차종을 선택할 확률은 각 차종의 선택으로부터 얻는 효용 수준  $v_i(p_i, y, z_i, s)$ 들에 의존하고, 또한  $v_i(p_i, y, z_i, s)$ 의 수준을 결정하는 변수들은 각 가구 입장에서는 모두 외생적으로 주어져 있다. 따라서 식 (3)과 같은 운행거리 결정모형에 대한 고려 없이 식 (2)의 차종선택모형만을 먼저 추정하여도 최소한 일치성은 얻을 수 있다.<sup>3)</sup>

차종선택모형이 먼저 추정되었을 때 두 번째 단계로 연속적인 운행거리 결정모형을 독립되게 추정하는 문제는 그리 간단하지가 않다. 이 경우 운행거리 수요함수의 설명변수 가운데 일부분이 그 교란항과 독립이지 못할 수가 있고, 따라서 통상적인 OLS(ordinary least squares) 추정법을 사용할 경우 편의를 가지고 일치성을 상실하는 추정 결과를 도출할 수가 있다. 예를 들어, 디젤과 가솔린, 2개의 차종이 있다고 가정하고, 다음과 같은 수요함수를 추정한다고 하자.

$$x = \alpha D + \beta p + \gamma y + \eta \quad (4)$$

단,  $D$ 는 가구가 디젤을 선택할 경우에는 1, 그 외의 경우에는 0임.

---

3) 그러나 차종선택모형에서의 관측이 불가능한 변수와 운행거리 결정모형에서의 교란항(disturbance)은 공통적인 요소를 공유할 수가 있으므로 이 경우의 추정 결과는 FIML의 추정 결과만큼 효율적이지는 못하다고 할 수 있다.

예를 들어, 어떤 가구가 주말 야외 여행을 즐겨 디젤차를 선호한다고 가정하자. 이 가구의 경우  $D$ 는 1이고, 또한 이 가구는 자동차를 출퇴근뿐 아니라 주말의 여행용으로도 사용하므로 운행거리가 평균보다 더 길 수가 있다.<sup>4)</sup> 그러나 가구원의 주말여행에 대한 선호는 앞의 수요함수에 변수로 포함되지 않으므로 관측될 수가 없고, 따라서 이 가구의 교란항은 평균보다도 더 클 것이다. 이 경우 더미변수  $D$ 와 교란항  $\eta$  사이에는 양(+)<sup>4)</sup>의 상관관계가 존재한다.

한편 디젤의 가격은 가솔린에 비해 낮기 때문에 디젤차의 운행비용은 가솔린차의 운행비용에 비해 더 작다. 앞의 이유로 인해 디젤차를 소유한 사람의 운행거리가 가솔린차를 소유한 사람에 비해 더 길고, 따라서 이 경우에는 운행비용  $p$ 와 교란항 사이에 음(-)의 상관관계가 존재할 수 있다.

식 (4)의 일부변수가 교란항과 상관관계를 가져 발생하는 문제는 크게 두 가지 방법을 사용해 완화할 수 있다(Dubin and McFadden, 1984; Train, 1986). 첫째 방법은 도구변수(instruments)를 사용하는 방법이다. 이 경우  $D$ 와  $p$ 를 각각 다양한 외생변수를 이용해 회귀분석한 뒤, 그 결과로부터 얻어지는  $D$ 와  $p$ 의 예측치로 그 실제치를 대신하여 사용함으로써 문제를 완화할 수 있다.

다른 한 가지 방법은 식 (2)의 차종선택모형의 추정 결과를 이용하는 방법이다. 앞서 설명한 대로 모형 (2)의 설명변수들은 모두 외생변수들이고, 이로부터 얻어지는 선택확률은 최소한 일치성을 보유하는 추정치들이다. 따라서 우리는 차종선택모형으로부터 얻어지는 각 가구의 디젤차의 선택확률과 각 가구가 두 개의 차종을 선택할 확률을 고려하여 계산되는 평균 운행비의 기대치를 사용하여  $D$ 와  $p$ 를 대체할 수 있다. 즉,  $\hat{P}_d$ 와  $\hat{P}_g$ 를 각각 차종선택모형을 추정하여 얻어진 디젤과 가솔린의 선택확률의 예측치라 할 경우  $D$ 와  $p$  대신에 다음과 같은 변수를 사용할 수가 있다.

$$\hat{D} = \hat{P}_d \tag{5}$$

4) 이러한 현상은 본 연구가 사용한 자료에도 실제로 나타나고 있다.

$$\hat{p} = \hat{P}_d p_d + \hat{P}_g p_g \quad (6)$$

본고는 이상의 두 가지 방법 가운데 두 번째 방법을 사용하여 모형을 추정한다.

## 2. 추정 결과의 보정

다음 절에서 설명하겠지만 본고는 각 가구별 자동차 선택과 운행거리 정보를 가구특성변수와 함께 필요로 하며, 이를 위해서는 대규모로 시행된 설문조사 결과를 이용하여야 한다. 이러한 설문조사는 현재로서는 「에너지총조사보고서」 작성을 위해 이루어지며, 자료는 에너지경제연구원이 관리한다. 이 조사의 원자료는 그러나 대외에 공표되지 않아 본고와 같은 분석에 활용될 수가 없는 문제가 있다. 다만 권오상·심상렬(1999)이 에너지경제연구원을 위해 수행한 연구에서 원자료가 공개된 적이 있는데 이 자료는 1996년에 조사된 자료이고, 현재 조사된 자료 중 가장 최근 자료는 2008년도 자료이다.

본고는 유일하게 공개되었던 1996년 조사자료를 사용하여 분석을 진행할 수밖에 없는데, 이 자료를 활용하되 추정 결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 몇 가지 추가 조치가 필요하다.

첫째, 이 자료가 조사될 당시(그리고 가장 최근 연도인 2008년 조사자료의 경우에도) 본고가 검토하고 있는 전기자동차나 하이브리드 자동차는 이용 가능하지 않았고, 따라서 조사자료의 선택대상으로 포함이 되지 않는다.<sup>5)</sup> 이로 인해 정책 시뮬레이션 결과가 최근 연도의 상황과는 맞지 않는 문제가 발생할 수 있다. 이 문제는 소득이나 가격변수 등 해당 변수의 연도별 변화 정도를 추정된

---

5) 이러한 문제는 이산선택모형의 추정 결과 예측에 흔히 등장하는데, 예를 들면 이산선택모형 개발에 결정적인 기여를 했던 McFadden(1974)의 연구는 미국 San Francisco 지역에 전철 시스템 BART(Bay Area Rapid Transit)를 도입했을 때 그 이용률을 예측하는 목적을 가지고 있었고, 그 예측은 아직 BART가 없는 상태에서 통근자들의 통근수단 선택행위를 추정한 결과를 활용하여 이루어지도록 하였다.

모형에 반영하여 선택확률을 구함으로써 해결할 수 있다.<sup>6)</sup>

둘째, 조사가 진행될 당시의 상황과 현재 상황의 차이를 나타내는 변수가 있다고 하더라도 그 변수들을 조정하는 것만으로는 두 연도별 소비자들의 선택 차이를 완전히 반영할 수 없는 문제도 있다. 이 문제는 Train(1986, 2003)이 제안한 바와 같이 추정모형의 상수항을 조정함으로써 해결할 수 있다. 이 과정을 좀 더 설명하면, 식 (1)의 확률효용함수에서 확률변수를 제외한 부분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_{mi} = \beta z_{mi} + \alpha_i \quad (7)$$

$z_{mi}$ 를 응답자  $m$ 이 선택 가능한 대안  $J$ 개 가운데  $i$ 를 선택할 때의 설명변수,  $\beta$ 를  $z_{mi}$ 에 대한 추정계수,  $\alpha_i$ 를 상수항 추정치라고 하자. 이때,  $\alpha_i$ 는 설명변수  $z_{mi}$ 에는 포함되지 않지만 응답자  $m$ 이  $i$ 를 선택했을 때 얻게 되는 효용에 영향을 주는 관측되지 않은 모든 변수의 평균값으로 볼 수 있다.

A 연도에서 조사된 자료를 이용하는 추정모형에 B 연도에 조사된 자료를 반영하는 시뮬레이션을 할 경우에는 앞 소절에서 밝힌 절차처럼  $z_{mi}$ 를 시뮬레이션 연도에 맞게 수정해 줄 수는 있으나, 관측되지는 않았지만 선택에 영향을 주는 다른 변수들의 영향이 있기 때문에 그 변수들의 평균값인  $\alpha_i$ 도 별도로 수정해 주어야 한다.

$S_i$ 를 B 연도에서 실제로  $i$ 번째 대안을 선택한 사람들의 수라고 하자. A 연도의 자료를 이용해 추정한 모형  $v_{mi} = \beta z_{mi} + \alpha_i^A$ 을 B 연도에 관측되는 자료  $z_{mi}^B$ 를 대입하는 시뮬레이션을 통해 B 연도에서 각 대안을 선택할 확률을 구해 낼 수가 있으며, 이렇게 추정모형이 예측하는 B 연도에 있어 대안  $i$ 를 선택할

6) 모형의 추정이 과거 자료를 이용해 이루어졌음에도 불구하고 시뮬레이션 과정에서는 현재의 자료를 반영하여 선택확률을 구하는 것은 본고가 사용하는 로짓 모형이 가지는 IIA (independence of irrelevant alternatives) 가정 하에서 정당화된다.

이산연속선택모형을 이용한 친환경자동차에 대한 지원정책이 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출에 미치는 영향 분석

것으로 예측한 사람의 수를  $N_i^0$ 이라 하자. 따라서 모형이 예측하는  $i$ 번째 대안을 선택할 확률을  $n_i^0$ 이라 하고, B 연도의 자료가 보여주는 대안  $i$ 의 실제 선택확률을  $s_i$ 라 하면, 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n_i^0 = N_i^0 / \sum_j N_j^0, \quad s_i = S_i / \sum_j S_j \quad (8)$$

$n_i^0$ 가  $s_i$ 보다 크거나(과대 추정) 작은 경우(과소 추정)가 발생하는 것은  $\alpha_i^A$ 가 A 연도의 선택 결과에 영향을 미치는 관측되지 않는 변수들의 영향은 잘 반영하지만 B 연도의 선택 결과에 영향을 미치는 관측되지 않는 변수들의 영향은 반영하지 못하기 때문이다. 이러한 오류를 피하기 위해서  $\alpha_i^A$ 를 다음의 식을 이용해서 수정한다.

$$\alpha_i^{A1} = \alpha_i^{A0} + \ln(s_i/n_i^0) \quad i = 1, \dots, J \quad (9)$$

$\alpha_i^{A0}$ 는 A 연도에서 추정된 모형의 상수항 추정치를 뜻하고,  $\alpha_i^{A1}$ 는 식 (9)를 이용해서 새롭게 계산한 결과이다. 이상의 과정은  $n_i$ 가  $s_i$ 와 충분히 가까워질 때까지 반복적으로 시행될 수 있다.

본 연구는 이용 가능한 자료가 1996년에 조사된 자료이고, 이를 이용해 추정작업을 해주기 때문에 정책 시뮬레이션을 위해서는 당연히 위와 같은 절차가 적용되어야 한다. 각 가계의 실제 선택을 보여주는 미시 자료는 1996년 조사자료가 유일하지만 전체가계가 각 차종을 선택한 비율, 즉  $s_i$ 의 수치는 다행히 2008년에 조사된 자료로부터도 얻을 수가 있다. 따라서 본 연구는 2008년을 시뮬레이션이 이루어지는 연도로 보고 위와 같은 상수항 조정작업을 진행하였다.

### Ⅲ. 사용된 자료와 추정 결과

#### 1. 사용된 자료

본고의 분석을 위해 사용된 자료는 1996년 5월~8월 사이에 에너지경제연구원에 의해 조사된 「에너지총조사보고서」상의 자료이다. 총 2,100가구가 조사되었고, 이들 가구는 1대 이상의 승용차를 보유하고 있다. 각 가구로부터 다음과 같은 정보가 얻어졌다.

- 보유한 자동차의 특성: 엔진의 크기, 모델명, 차령, 구입일, 등록형태(자가/회사), 변속기 형태
- 각 가구의 사회·경제적 특성: 가구당 소득, 가구주의 나이 및 성, 운전 경력, 자동차 보유대수, 총운행시간 중 출퇴근이 차지하는 비중, 직장까지의 거리, 출퇴근시의 평균 소요시간
- 기타: 1일 평균 운행거리와 주당 운행일 수

또한 각 자동차의 구입비용, 에너지 연비(km/liter), 실내 면적 등은 중고차 및 신차 시장의 가격자료와 자동차회사가 배포한 소개 자료를 이용하여 구하였다.

조사된 가구 가운데 많은 수가 소형버스와 트럭을 보유하고 있었다. 소형버스와 트럭의 차량 특성은 가솔린 승용차 및 디젤차와는 매우 다르게 나타나므로 이들 가구들은 분석에서 제외되었다. 또한 중요한 정보를 제공하지 않은 가구도 제외되었으며, 연령이나 운전경력 등에 대해 비현실적인 수치를 대답한 가구는 조사 과정에 오류가 포함된 것으로 보고 삭제하였다. 그 결과 총 1,081가구가 분석에 포함되었다.

## 2. 추정 결과

### 1) 차종선택모형

본 연구는 1996년에 선택 가능하였던 차종을 연료형태와 연비에 따라 <표 1>과 같이 9개의 차종으로 분류한다. 차종은 권오상·심상렬(1999)이 했던 바치럼 엔진 크기 등의 다른 변수를 기준으로 분류할 수도 있지만 최근 승용차용 유류 소비 절약과 관련하여 국내외 정책방향이 연비에 초점을 맞추고 있기 때문에 연비를 기준으로 재분류한다. 아울러 2003년부터는 기존과 다른 측정방식으로 측정된 연비기준이 적용되었기 때문에, 에너지관리공단에서 제시한 조정 기준을 사용하여 자료상의 연비를 일부 조정하였다.

<표 1> 자동차의 분류

| 차종      | 연료형태 | 연비( <i>km/l</i> )         | 관측된 표본 수   |
|---------|------|---------------------------|------------|
| Class 1 | 가솔린  | $19.53 < km/l \leq 21.30$ | 69 (6.4)   |
| Class 2 | 가솔린  | $16.74 < km/l \leq 19.53$ | 294 (27.2) |
| Class 3 | 가솔린  | $16.16 < km/l \leq 16.74$ | 100 (9.2)  |
| Class 4 | 가솔린  | $14.64 < km/l \leq 16.16$ | 106 (9.8)  |
| Class 5 | 가솔린  | $13.01 < km/l \leq 14.64$ | 162 (15.0) |
| Class 6 | 가솔린  | $12.01 < km/l \leq 13.01$ | 88 (8.1)   |
| Class 7 | 가솔린  | $km/l \leq 12.01$         | 162 (15.0) |
| Class 8 | 디젤   | $13.78 < km/l \leq 14.93$ | 9 (0.8)    |
| Class 9 | 디젤   | $km/l \leq 13.78$         | 92 (8.5)   |

주: ( ) 안은 전체표본에서 차지하는 비중(%)임.

각 가구가  $i$ 번째 차종을 선택하여 얻는 효용은 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned}
 v_i = & \alpha_i \times \text{소득} + \beta_i \times \text{운전경력} + \gamma_i \times \text{평균 승차인원} + \delta_i \times \text{나이} \\
 & + \theta_i \times \text{등록형태} + \eta_i \times \text{출퇴근시 혼잡도} + \lambda_i \times \text{보유한 차량수} \\
 & + \mu_1 \times i \text{ 번째 차종의 km당 평균운행비용} \\
 & + \mu_2 \times i \text{ 번째 차종의 평균 실내면적} \\
 & + \mu_3 \times i \text{ 번째 차종의 평균 구입가격} \times D_2 \\
 & + \mu_4 \times i \text{ 번째 차종의 평균 구입가격} \times D_3, \quad i = 1, 2, \dots, 9 \quad (10)
 \end{aligned}$$

식 (10)의 추정모형에서 사용한 가구당 월평균 소득은 「에너지총조사보고서」에서는 구간별로 지수화가 되어 있는데, 각 구간별 소득의 평균값을 추정해 반영하였다.

식 (10)에서 운전경력 <sub>$i$</sub> 은 가구주의 운전경력으로서 단위는 1년이고, 평균 승차인원은 차량 운행시 승차하는 인원의 평균치이며, 등록형태는 자기소유인 경우에는 0, 회사소유인 경우에는 1이다. 표본에 포함된 자동차 가운데 4.4%가 회사소유 차량이었다. 각 차종별 km당 평균 운행비용은 연료형태와 연비 등을 이용하여 계산된 km당 연료가격의 평균치로서 단위는 10,000원이다. 차량구입가격과 자동차세의 단위 역시 10,000원이다. 더미변수  $D_2$ 는 월소득이 150만 원 이상일 경우에는 1이고, 그 외의 경우에는 0이다. 또 다른 더미변수  $D_3$ 는 반대로 가구당 소득이 150만 원 미만일 경우에는 1이고, 그 외의 경우에는 0이다. 이들 두 더미변수는 소득 수준에 따라 차량구입가격이 효용에 미치는 영향이 달라질 가능성을 염두에 두고 포함된 것이다. 차량의 평균 실내면적은 차량의 전장과 폭의 곱으로서 단위는  $m^2$ 이다.

식 (10)에서 가구별 특성은 어떤 차종을 선택하든 동일하므로 그에 해당되는 추정모수가 차종별로 달라져야 하고, 차량의 특성은 차종별로 달라지므로 동일한 추정모수를 가진다. 또한 각 차종이 선택될 확률의 합은 항상 1이므로 가구별 특

성을 나타내는 변수의 추정모수 이홉 가지를 모두 식별할 수 없다는 문제가 발생하므로, 본고에서는 비교적 평균 수준의 가솔린 자동차로 구성되는 네 번째 차종의 추정모수들을 모두 0으로 둔다. 즉,  $\alpha_4 = \beta_4 = \gamma_4 = \delta_4 = \theta_4 = \eta_4 = \lambda_4 = 0$  이다.

식 (10)의 최우추정 결과는 <표 2>와 같다.<sup>7)</sup> 추정 결과에서 운영비와 차량의 가격, 실내면적과 같은 모든 차량특성변수의 추정모수들은 5% 유의 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 아울러 모든 차량특성변수의 추정모수들은 직관과 부합하는 부호를 가지고 있다. 즉, 각 차종으로부터 얻는 효용은 운행비용, 차량 구입가격에 대해 감소하고, 차량의 실내면적에 대해 증가한다. 가구의 소득이 낮을수록 차량 가격에 더 민감하게 반응함을 확인할 수 있다.

한편 가구의 특성을 나타내는 변수의 추정모수들은 이들 변수들이 네 번째 차종인 평균 연비가 14km/l 정도인 가솔린차에 비해 다른 차종을 선택할 확률에 미치는 영향을 나타낸다. 이들 모수들은 Class 4의 모수와의 상대적 비교를 나타내기 때문에 통계적으로 유의할 수도 있고 그렇지 않을 수도 있는데, 대체로 소득이 많고 운전경험이 많은 소비자들이 대형 가솔린 자동차를 선호함을 보여준다.  $\mu_3$ 과  $\mu_4$ 의 추정치를 비교할 때 소득이 낮을수록 자동차 가격에 더 민감함을 확인할 수 있다.

각 차종이 실제로 표본에서 차지하는 비중과 식 (10)의 추정 결과에 기초하여 예측된 각 차종의 비중은 <표 3>에 나타나 있다. <표 3>의 열 A는 1996년도 자료에 있어서의 각 등급이 차지한 실제 비중을 보여준다. 열 B는 1996년 자료를 사용했을 때 추정된 <표 2>의 결과를 반영하여 각 등급이 선택될 확률을 예측한 후, 이를 평균했을 때의 각 등급이 차지하는 비중이다. 두 열은 매우 유사함을 알 수 있다.

<표 3>의 열 3은 2008년도 자료에서 확인 가능한 각 등급이 전체 자동차 보유대수에서 차지한 비중이다. 열 1과는 상당한 차이를 보이며, 이는 그 동안

7) 추정에는 STATA 프로그램의 clogit이 활용되었다.

〈표 2〉 차종선택모형의 추정 결과

| 추정모수       | 추정치      | t 값   | 추정모수        | 추정치      | t 값   |
|------------|----------|-------|-------------|----------|-------|
| $\alpha_1$ | -0.00751 | -3.57 | $\delta_8$  | -0.3095  | -1.06 |
| $\alpha_2$ | -0.00301 | -2.72 | $\delta_9$  | -0.09322 | -0.90 |
| $\alpha_3$ | -0.00432 | -2.86 | $\theta_1$  | 0.709471 | 0.65  |
| $\alpha_4$ | 0        | N/A   | $\theta_2$  | 1.130872 | 1.17  |
| $\alpha_5$ | -0.00073 | -0.66 | $\theta_3$  | 1.11655  | 1.13  |
| $\alpha_6$ | 0.000117 | 0.09  | $\theta_4$  | 0        | N/A   |
| $\alpha_7$ | 0.001593 | 1.41  | $\theta_5$  | 0.942738 | 0.94  |
| $\alpha_8$ | -0.01058 | -2.13 | $\theta_6$  | 1.612555 | 1.66  |
| $\alpha_9$ | -0.00518 | -3.09 | $\theta_7$  | 1.679656 | 1.74  |
| $\beta_1$  | 0.064254 | 1.65  | $\theta_8$  | -10.6124 | -0.02 |
| $\beta_2$  | 0.035093 | 1.30  | $\theta_9$  | 1.260271 | 1.28  |
| $\beta_3$  | 0.096697 | 3.06  | $\eta_1$    | -0.12741 | -0.35 |
| $\beta_4$  | 0        | N/A   | $\eta_2$    | 0.049322 | 0.23  |
| $\beta_5$  | 0.057235 | 2.05  | $\eta_3$    | -0.15272 | -0.49 |
| $\beta_6$  | 0.079349 | 2.72  | $\eta_4$    | 0        | N/A   |
| $\beta_7$  | 0.105609 | 3.92  | $\eta_5$    | 0.001425 | 0.01  |
| $\beta_8$  | 0.135831 | 2.08  | $\eta_6$    | 0.170873 | 0.84  |
| $\beta_9$  | 0.100539 | 3.35  | $\eta_7$    | 0.113467 | 0.56  |
| $\gamma_1$ | 0.261243 | 1.23  | $\eta_8$    | -0.01798 | -0.03 |
| $\gamma_2$ | 0.449684 | 3.17  | $\eta_9$    | 0.1421   | 0.68  |
| $\gamma_3$ | 0.229947 | 1.33  | $\lambda_1$ | 0.687481 | 2.21  |
| $\gamma_4$ | 0        | N/A   | $\lambda_2$ | 0.361794 | 1.48  |
| $\gamma_5$ | 0.376126 | 2.43  | $\lambda_3$ | 0.368661 | 1.28  |
| $\gamma_6$ | 0.20658  | 1.14  | $\lambda_4$ | 0        | N/A   |
| $\gamma_7$ | 0.478353 | 2.78  | $\lambda_5$ | 0.695093 | 2.75  |
| $\gamma_8$ | -0.12984 | -0.27 | $\lambda_6$ | -0.18133 | -0.55 |
| $\gamma_9$ | 0.792159 | 4.42  | $\lambda_7$ | 0.967258 | 3.65  |
| $\delta_1$ | -0.45755 | -3.49 | $\lambda_8$ | 1.1495   | 2.71  |
| $\delta_2$ | -0.17776 | -2.25 | $\lambda_9$ | 0.737911 | 2.47  |
| $\delta_3$ | -0.36781 | -3.43 | $\mu_1$     | -534.564 | -3.82 |
| $\delta_4$ | 0        | N/A   | $\mu_2$     | 0.274617 | 2.05  |
| $\delta_5$ | -0.01745 | -0.21 | $\mu_3$     | -0.00129 | -3.90 |
| $\delta_6$ | 0.108795 | 1.12  | $\mu_4$     | -0.00167 | -5.12 |
| $\delta_7$ | 0.257802 | 2.77  |             |          |       |

주: 모형 전체 우도비 검정 통계량(likelihood ratio test statistic) = -1989.4619  
( $p = 0.0000$ ).

〈표 3〉 각 차종의 실제 비중과 예측된 비중

| 차종      | 1996년<br>실제 비중<br>(A) | 추정모형의 비중<br>예측치 평균<br>(B) | 2008년<br>실제 비중<br>(C) | 2008년 자료를 이용해 수정된<br>모형의 비중 예측치 평균<br>(D) |
|---------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---|
| Class 1 | 6.38                  | 6.60                      | 0.07                  | 0.06                                      |
| Class 2 | 27.17                 | 26.40                     | 0.98                  | 0.94                                      |
| Class 3 | 9.24                  | 9.31                      | 1.26                  | 1.19                                      |
| Class 4 | 9.80                  | 10.11                     | 6.00                  | 5.82                                      |
| Class 5 | 14.97                 | 14.77                     | 13.46                 | 13.19                                     |
| Class 6 | 8.13                  | 8.68                      | 12.83                 | 12.72                                     |
| Class 7 | 14.97                 | 14.72                     | 39.89                 | 40.33                                     |
| Class 8 | 0.83                  | 0.81                      | 2.86                  | 2.65                                      |
| Class 9 | 8.50                  | 8.61                      | 22.66                 | 22.02                                     |

의 소득 및 자동차 시장의 변화를 반영하는 것이다. 따라서 위에서 언급한 바와 같이 시뮬레이션을 위해서는 추정 결과를 수정할 필요가 있다. 소득의 경우 통계청 홈페이지에 제시된 1999년 대비 2008년의 소득증가율을 이용하여 실질소득증가율을 반영하였고, 차량의 가격 및 가솔린과 디젤유 값의 변화 정도도 2008년 기준으로 수정하였다. 이들 수치들은 통계청과 에너지관리공단 홈페이지에 제시된 정보로부터 얻었다. 또한 각 상수항도 식 (9)를 5회 적용하여 보정하였고, 그 결과 최종적으로 얻어진 추정모형이 예측하는 각 등급별 선택확률의 평균치는 열 D와 같다. 열 B의 1996년 추정모형이 열 A의 1996년 실제 선택확률을 잘 나타내고, 열 B의 모형이 2008년의 상황을 잘 반영하도록 식 (9)와 같은 절차를 거쳐 보정된 결과가 열 D이기 때문에, 분석에 활용될 열 D의 예측치가 열 C와 매우 유사하여 2008년의 실제 등급 선택확률을 잘 나타냄을 확인할 수 있다.

## 2) 운행거리 결정모형

자동차의 운행거리를 결정하는 행위는 연간 운행거리를 km단위로 계산한 것을 관계된 변수들에 대해 회귀분석을 하여 분석하여야 한다. 이를 위해 다음과 같은 회귀식을 추정한다.<sup>8)</sup>

$$\begin{aligned} \text{km} = & c_0 \times D + c_1 \times \ln(\text{km당 운행비용}) + c_2 \times \text{등록형태} + c_3 \times \text{나이} \\ & + c_4 \times \text{소득} + c_5 \times \text{성별} + c_6 \times \text{출퇴근시의 평균 운행속도} \\ & + c_7 \times \text{평균 승차인원} + c_8 \times \text{운전경력} \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)에서 더미변수  $D$ 는 디젤차일 경우 1, 가솔린차일 경우 0이다. 또한 성별은 남성일 경우 0, 여성일 경우 1의 값을 가진다. 출퇴근시의 평균 운행속도는 각 가구가 위치한 지역의 교통혼잡도를 반영하기 위해 사용되며, 출퇴근거리(km)를 통근시간으로 나누어 구해진다.

제II장에서 설명한 바와 같이 식 (11)의 더미변수와 운행비용은 교란항과 독립이라고 보기 힘들다. 따라서 이미 보여준 식 (5)와 식 (6)처럼 각 차종이 선택될 확률의 예측치를 이용해 더미변수와 운행비용변수의 도구변수를 만들어 추정에 반영한다.

추정 결과는 <표 4>에 정리되어 있다. <표 4>에 의하면 연간 운행거리는 소득의 증가함수이고, 운행비용의 감소함수이다. 디젤 자동차를 선택할 확률이 높을수록 운행 정도가 더 크며, 회사소유 차량의 운행거리가 더 길다. 여성운전

8) 식 (11)의 수요함수는 식 (10)의 효용함수와 정확하게 부합되지는 않는다. 본고처럼 다수의 선택대안 가운데 하나를 선택하는 문제를 분석할 경우 효용함수와 수요함수 사이의 일치성, 즉 적분가능성 조건(integrability condition)을 충족하기 위해서는 매우 복잡한 형태의 효용함수를 추정하여야 하는 문제가 발생한다. 적분가능성 조건은 정책변화로 인해 발생하는 후생변화를 엄밀히 분석하고자 할 경우에는 엄격히 적용되어야 하나, 본 연구처럼 정책의 효과를 예측하는 것이 연구의 목적일 경우 Train(1986)이 보여준 바와 같이 통계적 설명도가 높은 선형모형을 대신 사용하는 것이 더 적합할 수 있다. 이 경우 식 (10)의 효용함수는 식 (11)의 수요함수와 부합되는 효용함수가 존재할 경우 이를 선형근사한 것으로 해석될 수 있다.

<표 4> 자동차 운행거리 결정모형의 추정 결과

| 변수         | 추정치      | t 값    |
|------------|----------|--------|
| 더미         | 41666.86 | 5.25   |
| ln(운행비용)   | -3059.27 | -15.58 |
| 등록형태       | 1814.819 | 2.05   |
| 나이         | -818.351 | -3.68  |
| 소득         | 11.38563 | 4.23   |
| 성별         | -3753.31 | -3.79  |
| 출퇴근시 평균 속도 | 236.1727 | 1.05   |
| 평균 탑승인원    | -725.289 | -1.80  |
| 운전경력       | 135.6704 | 2.24   |

주:  $R^2 = 0.7023$ .

자는 남성운전자에 비해 운전을 덜 하며, 경력이 많은 운전자는 운전을 많이 하나, 나이가 많은 운전자는 상대적으로 적게 운전한다. 비교적 혼잡한 지역에 거주하는 운전자의 운행거리가 짧으며, 카풀 등으로 인해 평균 승차자의 수가 많을수록 총운전거리는 짧은 것으로 나타났다. 이상의 모든 추정 결과는 비교적 현실적이라 할 수 있으며, 아울러 혼잡도를 제외한 대부분의 변수의 모수 추정치가 5% 이하의 유의 수준에서 통계적으로 의미가 있는 것으로 나타났다.

추정모형이 예측하는 바의 정확성을 확인하기 위해서 2008년 자료상의 차량별 연평균 주행거리와 모형을 통해서 추정한 연평균 주행거리를 비교하였고, 결과는 <표 5>와 같다. 본고의 이산연속선택모형은 추정에 1996년 자료가 사용되었음에도 불구하고 2008년도 실제 운행거리의 99%를 예측해낸다.

<표 5> 2008년 승용차의 연평균 운행거리와 추정한 연평균 운행거리

| 구분       | 2008년 (A)            | 추정 결과 (B)          | 비율 (A / B) |
|----------|----------------------|--------------------|------------|
| 연평균 운행거리 | 14903.81<br>(211.43) | 15094.4<br>(87.06) | 0.99       |

주: ( ) 안은 표준오차(standard error)임.

평균운행거리의 95% 신뢰구간 = 평균 ± 1.96SE.

#### IV. 정책 시뮬레이션

서론에서 밝힌 바와 같이 본고는 자동차의 연료효율성에 따라 지원금이나 부과금을 차등화하여 지원하는 정책의 효과를 예측해 보고자 하며, 특히 친환경자동차에 대한 지원정책의 영향을 분석하고자 한다. 친환경자동차로는 하이브리드 자동차와 전기자동차를 검토하며, 새로 이용 가능하게 되는 전기자동차와 하이브리드 자동차의 차량 특성은 <표 6>과 같이 가정한다.

전기자동차와 하이브리드 자동차의 특성은 가격의 경우 본고의 기준 등급이라 할 수 있는 Class 4 차량(예:아반떼, SM3 등) 대비 각각 1,600만 원과 1,200만 원이 더 비싼 것으로 가정한다. 이 때 하이브리드 자동차는 소나타 급, 즉 Class 5의 엔진 크기를 가진 자동차를 가정한다. 하이브리드 자동차의 경우 실제 판매가격을 반영한 것이고, 전기자동차의 경우 미국 등 일부 국가의 판매 가격 등을 감안한 예측치이다.

실내면적의 경우 전기자동차는 중소형인 Class 4와 동일하고, 하이브리드 자동차의 경우 위에서 언급한 것처럼 소나타 하이브리드를 염두에 두고 Class 5 차량 실내면적과 동일하다고 가정한다. 두 유형의 자동차 연비는 현재의 실제 연비와 상용화될 때의 기술조건 등을 감안한 예측치이다.

Train (1978)의 경우처럼 개인특성변수에 대한 추정모수를 현실성을 고려해서 가정하고, 현재 상용화 단계에 있는 전기자동차와 하이브리드 자동차의 가격,

<표 6> 전기자동차와 하이브리드 자동차의 특성

| 구분   | 전기자동차                    | 하이브리드 자동차                |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 가격   | Class 4 차량 평균가격+1,600만 원 | Class 4 차량 평균가격+1,200만 원 |
| 실내면적 | Class 4 차량 실내면적과 동일함     | Class 5 차량 실내면적과 동일함     |
| 연비   | 42.1km/l                 | 21km/l                   |

〈표 7〉 프랑스의 Bonus-Malus System

| 차량의 에너지 등급 | CO <sub>2</sub> 배출량(g/km) | 보조금·부과금 |
|------------|---------------------------|---------|
| A          | 60~100                    | -1,000€ |
| B          | 100~120                   | -700€   |
| C+         | 120~130                   | -200€   |
| C-         | 130~140                   | 중립구간    |
| D          | 140~160                   | 중립구간    |
| E+         | 160~165                   | +200€   |
| E-         | 165~200                   | +750€   |
| F          | 200~250                   | +1,600€ |
| G          | 250 이상                    | +2,600€ |

자료: Callonnet and Blanc(2009).

실내면적 및 연비를 <표 6>과 같이 반영하였을 때 각각의 차량이 선택될 비율은 0.27%와 5.34%로서, 특히 전기자동차의 경우 정부지원이 없을 경우 구입가격이 높아 거의 선택되지 않는다는 점을 확인할 수 있다.

따라서 본고는 정부지원정책으로서, 현재 프랑스에서 시행 중인 바와 같은 보조금부과금제도인 Bonus-Malus System을 국내 현실에 맞게 조정하여 도입하였을 때 차량의 선택비율의 변화 및 운행거리와 연료사용량, CO<sub>2</sub> 발생량 변화 효과를 분석한다.<sup>9)</sup> 이 제도는 2008년 1월에 도입되었으며, 신차의 CO<sub>2</sub> 배출량(g/km)을 기준으로 <표 7>과 같이 각각 보조금과 부과금을 설정하였다.

CO<sub>2</sub> 배출량(g/km)은 일반적으로 차량의 연비에 의해 결정되는데 다음의 두 식을 이용해 계산하였고, 연비가 낮을수록 CO<sub>2</sub> 배출량이 많고 동일한 연비의 경우에는 가솔린 차량보다 디젤 차량의 CO<sub>2</sub> 배출량이 더 많다(환경부, 2008).

$$CO_2(g/km) = 640 / (0.273 \times fuel\ economy(km/l)) \quad \text{for gasoline}$$

$$CO_2(g/km) = 734 / (0.273 \times fuel\ economy(km/l)) \quad \text{for diesel,}$$

9) Callonnet and Blanc(2009) 등의 자료가 프랑스의 Bonus-Malus System의 영향을 보여주지만 주로 신차 등록 대수에서 친환경자동차가 차지하는 비중만을 보여주는데 그치고 있다.

<표 8> 이산화탄소 배출량에 따른 Bonus-Malus System

| 구분          | CO <sub>2</sub><br>(g/km) | 시나리오<br>1 | 디젤          |         | 가솔린         |                     |
|-------------|---------------------------|-----------|-------------|---------|-------------|---------------------|
|             |                           |           | (km/ℓ)      | 차량구분    | (km/ℓ)      | 차량구분                |
| 보<br>너<br>스 | 70 이하                     | 2,900,000 | 38.41 이상    |         | 33.49 이상    | 전기자동차               |
|             | 70~85                     | 2,100,000 | 31.63~38.40 |         | 27.58~33.48 |                     |
|             | 85~90                     | 1,800,000 | 29.87~31.62 |         | 26.05~27.57 |                     |
|             | 90~100                    | 1,400,000 | 26.89~29.86 |         | 23.44~26.04 |                     |
|             | 100~110                   | 1,000,000 | 24.44~26.88 |         | 21.31~23.43 |                     |
|             | 110~120                   | 600,000   | 22.41~24.43 |         | 19.54~21.30 | 하이브리드자동차<br>Class 1 |
| 중립구간        | 120~140                   | 0         | 19.20~22.40 |         | 16.75~19.53 | Class 2             |
| 부<br>담<br>금 | 140~145                   | 80,000    | 18.54~19.19 |         | 16.17~16.74 | Class 3             |
|             | 145~160                   | 150,000   | 16.80~18.53 |         | 14.65~16.16 | Class 4             |
|             | 160~180                   | 260,000   | 14.94~16.79 |         | 13.02~14.64 | Class 5             |
|             | 180~195                   | 380,000   | 13.79~14.93 | Class 8 | 12.02~13.01 | Class 6             |
|             | 195 이상                    | 500,000   | 13.78 이하    | Class 9 | 12.01 이하    | Class 7             |

Bonus-Malus System을 적용하기 위해서는 각 Class에 속하는 차량별로 단위거리당 CO<sub>2</sub> 배출량에 따라 차등화된 보조금 혹은 부과금을 적용하여야 하는데, 자동차 각 Class와 그에 대해 적용되는 보조금·부과금은 <표 8>과 같이 정리된다.<sup>10)</sup> <표 8>의 시나리오 1은 가장 효율적인 자동차에 대해 290만 원의 보너스를 지급하고, 대신 비효율적인 자동차에 대해서는 최대 50만 원까지 페널티를 부과하는 시나리오이다. 이어서 시나리오 2, 시나리오 3, 시나리오 4는 각각 시나리오 1에서 제시된 금액을 2배, 5배, 10배 증가시킨 시나리오들이다. 네 가지 시나리오 하에서 선택된 차량의 등급별 비율과 차량의 운행거리 및 CO<sub>2</sub> 배출량은 <표 9>와 <표 10>에 제시하였다.

10) 자동차의 Class는 운행연비와 연료유형, 연소방식 등에 따라 결정되지만 보조금·부과금은 운행거리 당 CO<sub>2</sub> 배출량에 의해 결정되기 때문에 두 구분이 완전 일치하지 않고, 두 가지 이상의 Class에 대해 동일한 보조금·부과금이 적용될 수도 있다. <표 8>의 보조금·부과금 액수가 일부 구간에 있어 비어 있는 것은 CO<sub>2</sub> 배출효율성 면에서는 그 구간들이 서로 구분되지만, 현재로서는 그에 해당되는 자동차 등급구분이 존재하지 않기 때문에 그러하다.

〈표 9〉 Bonus-Malus System 도입에 따른 차종선택 확률 변화

| 차종       | 비율        |                |                |                |                  |
|----------|-----------|----------------|----------------|----------------|------------------|
|          | 기본모형      | 시나리오 1         | 시나리오 2         | 시나리오 3         | 시나리오 4           |
| Class 1  | 0.06      | 0.07           | 0.06           | 0.04           | 0.00             |
| Class 2  | 0.88      | 0.92           | 0.76           | 0.35           | 0.01             |
| Class 3  | 1.13      | 1.15           | 0.93           | 0.41           | 0.01             |
| Class 4  | 5.49      | 5.57           | 4.51           | 2.01           | 0.05             |
| Class 5  | 12.44     | 12.44          | 10.36          | 4.96           | 0.15             |
| Class 6  | 12.07     | 11.89          | 9.91           | 4.80           | 0.15             |
| Class 7  | 38.86     | 37.97          | 33.46          | 19.44          | 1.03             |
| Class 8  | 2.53      | 2.48           | 1.97           | 0.83           | 0.02             |
| Class 9  | 20.93     | 20.23          | 16.60          | 7.54           | 0.21             |
| 전기자동차    | 0.27      | 0.66           | 8.12           | 48.47          | 97.49            |
| 하이브리드자동차 | 5.34      | 6.62           | 13.32          | 11.16          | 0.88             |
| 비고       | 시나리오 1 대비 | 보조금×1<br>부담금×1 | 보조금×2<br>부담금×2 | 보조금×5<br>부담금×5 | 보조금×10<br>부담금×10 |

Bonus-Malus System을 도입한 시나리오 1과 시나리오 2 모두에서 Class 1과 전기자동차 및 하이브리드 자동차가 차지하는 비율이 기본모형보다 증가하고 디젤 차량과 Class 6, Class 7 등 저연비차량의 비율은 감소하는 것으로 나타났다으며, 지원금과 부과금의 액수가 높은 시나리오 2에서는 이러한 비율 변화가 더욱 크게 나타났다. 시나리오 3과 시나리오 4의 경우 전기자동차에 대한 지원 금액이 매우 높아 전기자동차를 선택하는 비율이 급격하게 증가하는 것으로 나타났지만, 이 두 경우는 실현 가능성이 낮은 대안이다.

현실성을 가지는 시나리오 1과 시나리오 2에서는 기존 자동차 중 가장 연비 효율이 뛰어난 Class 1과 전기자동차, 하이브리드 자동차의 점유율이 모두 증가하는데, 이 두 시나리오는 비교적 현실적이지만 각 시나리오 하에서 발생하는

자동차 종류·등급별 선택에 있어 상당한 차이도 있다. 시나리오 1에서는 하이브리드 자동차나 전기자동차가, 특히 후자의 경우에는 기본모형과 비교할 때 점유율면에서의 차이가 거의 발생하지 않고 대신 기존의 차량 중 비교적 소형이면서 연비가 높은 차량(Class 1~Class 5)의 비중이 높아진다. 이는 시나리오 1에서는 하이브리드 자동차의 판매 가격은 차량 선택 모형에서 기준으로 설정한 Class 4 차량보다 1,200만 원 더 높은 반면, 차량 구입시 받게 되는 보조금은 60만 원으로 차량 가격 차이에 비해 매우 적고, 연비 향상에 따른 운영비 절감 효과도 기존의 Class 1 차량과 비슷한 정도로 볼 수 있어 지원금보조금이 아직은 전기자동차나 하이브리드 자동차의 선택률을 유의한 정도로 바꿀 정도로 충분한 수준은 아니기 때문에 발생한 것으로 보인다. 반면 시나리오 2에서는 고연비 차량과 저연비 차량 간의 상대적인 가격 차이는 증가하고, 기존의 고연비 차량(Class 1~Class 5)과 전기자동차, 하이브리드 자동차 간의 가격 차이는 상대적으로 감소해서 전기자동차의 점유율이 8%, 하이브리드 자동차의 점유율이 13%로 각각 늘어나고, 이 두 새로운 유형의 자동차의 점유율이 의미 있는 정도로 변하게 된다. 두 시나리오가 야기하는 이러한 차이는 시나리오별 CO<sub>2</sub> 배출량 변화에서도 큰 차이를 유발하게 된다.

차량의 연비가 변하면 소비자들은 이에 대해 반응을 하게 되는데, 자동차의 연비가 향상되면 km당 운행비용이 감소해서 자동차의 운행거리가 증가하고, 동시에 운행거리의 증가는 연료사용량 및 CO<sub>2</sub> 배출량의 증가로 이어지는 반발효과도 초래할 수 있다. 전기자동차나 하이브리드 자동차의 점유율 변화에 거의 영향을 미치지 못하고 기존의 고연비 차량의 비중만을 높이는 시나리오 1에서는 이러한 반발효과가 상당히 커서 자동차의 평균 운행거리가 0.12% 소폭 증가한다(<표 10> 참조). 하지만 고연비 차량의 비중 증가로 인해 운행거리의 소폭 증가에도 불구하고 CO<sub>2</sub> 배출량은 0.33% 감소하는데, 그 감소율이 무시해도 좋을 정도로 낮다.

전기자동차와 하이브리드 자동차의 선택비율이 의미 있게 늘어나는 시나리오 2에서는 연비 향상으로 인해 단위당 운행비용이 감소하면서 운행거리가 1.7%

<표 10> 절약 프로그램으로 인한 유류 소비량의 변화

| 구분                             | 비율                 |                    |                    |                    |                    |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                | 기본모형               | 시나리오 1             | 시나리오 2             | 시나리오 3             | 시나리오 4             |
| 총운행거리<br>(1,000km)             | 15094.3<br>(87.06) | 15113.2<br>(86.06) | 15351.6<br>(81.69) | 16567.9<br>(75.49) | 18894.5<br>(76.85) |
| 가솔린(1,000liter)<br>(A)         | 856.6<br>(10.00)   | 855.7<br>(9.88)    | 826.6<br>(9.58)    | 671.0<br>(8.44)    | 427.6<br>(3.28)    |
| 디젤(1,000liter)<br>(B)          | 40.2<br>(7.86)     | 38.5<br>(7.46)     | 31.7<br>(6.23)     | 15.3<br>(3.21)     | 0.5<br>(0.23)      |
| 총연료(1,000liter)<br>(A+B)       | 896.8<br>(11.0)    | 894.2<br>(10.6)    | 858.3<br>(10.42)   | 686.3<br>(9.37)    | 428.1<br>(4.93)    |
| 총 CO <sub>2</sub> 배출량<br>(ton) | 2116.0<br>(24.78)  | 2109.6<br>(24.59)  | 2023.3<br>(24.15)  | 1614.1<br>(21.78)  | 1003.4<br>(11.54)  |

주: ( ) 안은 표준오차(standard error)임. 각 평균치의 95% 신뢰구간 = 평균 ± 1.96SE.

증가하게 된다. 하지만 연비의 향상으로 인해 유류 소비량이 크게 줄고 CO<sub>2</sub> 배출량은 4.38%가 감소하여 비로소 의미 있는 정도의 CO<sub>2</sub> 배출 감소를 유도할 수가 있다.

비현실적으로 보조금과 페널티가 높기는 하다. 하지만 시나리오 3과 시나리오 4는 각각 총운행거리가 대폭 늘어나기는 하나 전기자동차 및 하이브리드 자동차의 점유율이 대단히 높아져 CO<sub>2</sub> 배출량은 각각 23.72%와 52.58% 줄어드는 것으로 예측되었다.

한편, 이상의 시뮬레이션 결과를 이용해 각 시나리오 하에서 정부가 부담하거나 얻게 될 재정비용 혹은 수입을 예측해 볼 수도 있다. 매년 국내에서 판매되는 자동차 대수를 100만 대(2009년 판매량은 108만 9,348대)로 가정할 경우, Bonus-Malus System 시행으로 정부가 지불하거나 얻게 되는 세금 수입을 시나리오별로 추정하면 <표 11>과 같다.

시나리오 1과 시나리오 2를 현실에 적용할 경우 정부는 각각 약 3,872억 원

〈표 11〉 Bonus-Malus System 시행으로 인한 비용 효율성

(단위: 10억 원)

|        | 시나리오 1 | 시나리오 2 | 시나리오 3   | 시나리오 4    |
|--------|--------|--------|----------|-----------|
| 부과금 수입 | 387.2  | 659.8  | 862.6    | 72.9      |
| 보조금 지급 | -59.2  | -631.4 | -7,364.2 | -28,325.7 |
| 계      | 328.0  | 28.3   | -6,501.6 | -28,252.8 |

과 6,598억 원의 세금 수입을 얻고, 이 중 592억 원과 6,314억 원을 전기자동차, 하이브리드 자동차 및 Class 1 자동차 구매자에게 보조금으로 지불하게 되어 결과적으로는 각각 3,280억 원과 283억 원의 추가적인 세금수입을 얻게 된다. 반면 시나리오 3에서는 약 6조 5,016억 원의 재정 손실을 입게 되고, 시나리오 4를 적용하는 경우에는 마찬가지로 28조 억 원에 이르는 재정손실이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시나리오 3과 시나리오 4가 실행하기 어려운 정책임을 다시 한 번 보여준다. 아울러 시나리오 1이 상당 액수의 정부 세입을 추가로 얻게 하는 반면, 시나리오 2는 실제로 CO<sub>2</sub> 배출량에 유의한 영향을 미치면서도 정부의 재정지출이 거의 균형에 이르도록 한다는 점에 있어서도 유용성이 매우 높은 정책이라 할 수 있다.

## V. 요약 및 결론

본고는 자동차의 유형을 선택하는 행위와 선택한 자동차의 운행거리를 선택하는 행위를 동시에 분석할 수 있는 이산연속선택행위 분석법을 실제로 관측된 미시 가계단위의 자료에 적용하여 각 가계의 차량선택행위와 운행거리 결정 행위를 계량 분석하였다. 또한 추정된 모형을 이용해 전기자동차나 하이브리드 자동차와 같은 친환경 차량 구입시에는 보조금을 주면서 동시에 저연비 차량에

대해서는 부과금을 징수하거나 페널티를 부과하는 정책이 도입될 경우의 효과를 분석하였다.

본고의 추정 결과에 의하면 개인의 차량 선택은 개인별 특성은 물론이고 차량의 가격이나 연비, 실내면적 등과 같은 차량의 특성에 의해서도 민감한 영향을 받는 것으로 나타났다. 아울러 차량의 운행거리는 나이나 소득, 운전경력, 성별, 평균 승차인원 등의 개인특성변수에 의해 많은 영향을 받지만 동시에 차량 선택에 따른 단위 거리 당 주행비용, 즉 연비에 의해서도 매우 민감한 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 모든 추정 결과는 차량의 구입비용, 연비 등 운행비용에 미치는 변수 등에 의해 차량의 선택과 운행거리, 그리고 최종적으로 연료소비량이나 CO<sub>2</sub> 배출량이 민감하게 반응하기 때문에 다양한 정책의 효과가 실제로 나타날 것임을 의미한다.

본고는 특히 전기자동차나 하이브리드 자동차를 소비자들이 선택할 수 있는 대안으로 추가로 도입하고, 여기에 고연비 차량 구입시 보조금을 지불하고 대신 저연비 차량의 구입시에는 부과금을 징수하는 정책의 효과를 분석하였다.

분석 결과는 보조금부과금이 도입되는 방식이나 상대적 크기에 따라 그 효과가 매우 다양할 수 있음을 보여준다. 우선 주목되는 것은 정책의 반발효과(rebound effect)가 상당하다는 점이다. 정책 도입에 따른 고연비 차량의 비중 증대가 발생하면 차량의 운행거리가 불변일 경우 그 효과는 모두 CO<sub>2</sub> 배출저감으로 현실화되지만, 실상에 있어서는 연비 증가에 따른 운행비용 감소효과로 인해 운행거리가 늘어나고, 그로 인해 CO<sub>2</sub> 배출량 감소효과가 미미하거나 오히려 정책목표와는 반대로 더 늘어날 수도 있음이 나타났다.

그러한 반발효과는 특히 보조금부과금이 충분한 규모가 될 수 없어 전기자동차나 하이브리드 자동차와 같은 새로운 유형의 친환경자동차의 보급률에는 별 영향을 미치지 못하고 기존의 차량 가운데 고연비-소형 차량의 점유율만을 늘리는 경우 특히 큰 것으로 나타났다.

반면 보조금부과금이 친환경자동차의 보급률에 의미 있는 정도의 영향을 미칠 수가 있으면 반발효과에도 불구하고 상당한 정도의 CO<sub>2</sub> 배출저감이 발생

하며, 아울러 보조금률과 부과금률을 적절히 선택할 경우 정부의 세입중립성을 유지하면서도 정책효과를 거둘 수 있을 것이라는 분석 결과도 도출되었다.

즉, 본 연구가 발견한 바에 의하면 연비에 따라 차등 적용되는 보조금부과금 형태의 정책의 성공 여부는 새로운 유형의 친환경자동차의 점유율에 실질적인 차이를 유발할 수 있는지의 여부에 달려 있다고 하겠다.

본고의 분석은 비교적 오래 전에 이루어진 조사 결과를 활용하되, 현 시점에서 도입될 수 있는 제도변화의 분석에도 활용될 수 있도록 추정모형의 보정 과정을 거쳤지만, 그러한 과정이 실제 자동차 시장에서 발생할 수 있는 다양한 여건변화를 모두 반영하는 데 한계가 있고, 또한 IIA 등 차량선택 과정에 관한 비교적 강한 가정을 도입하여야만 정당화된다는 한계도 있다. 따라서 현 상황에서의 자동차 시장의 여건을 충분히 나타낼 수 있는 조사자료를 추가로 확보하여 보다 신뢰할 수 있는 분석을 시도하는 것이 필요할 것이라 여겨진다.

### ◎ 참고 문헌 ◎

1. 권오상·심상렬, “에너지 절약프로그램이 자동차 및 유류소비에 미치는 영향”, 「한국자원경제학회 1999년도 정기학술대회 논문집」, 건국대학교, 1999.
2. 박민수·조철, “소비재산업의 수요구조 변화와 정책효과 분석방법: 자동차와 전자산업을 중심으로”, 산업연구원, 2005.
3. 안영환·이호무·오인하, “자동차 연비규제의 중장기효과 분석”, 에너지경제연구원, 2008.
4. 이성근·안영환, “에너지 절약정책의 경제성 분석 및 정책구성”, 에너지경제연구원, 2006.
5. 이성인·김현주, “국가 에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선방안 연구: 수송부문의 에너지효율 평가”, 에너지경제연구원, 2009.
6. 통상산업부, 「1996년도 에너지총조사보고서」, 1996.
7. 한국자동차공업협회, 「한국의 자동차산업 2011: 국내·세계자동차통계」, 2011.

8. 환경부, “자동차 온실가스 저감대책 수립방안 마련을 위한 연구”, 2008.
9. Anderson, G. J. and R. W. Blundell, “Consumer Non-durables in the UK : A Dynamic Demand System,” *Economic Journal*, 94, 1984, pp. 35 ~ 44.
10. Balestra, P., *The Demand for Natural Gas in the U.S.*, Amsterdam, North Holland, 1967.
11. Berndt, E. R. and G. C. Watkins, “Demand for Natural Gas : Residential and Commercial Markets in Ontario and British Columbia,” *Canadian Journal of Economics*, 10, 1977, pp. 97 ~ 111.
12. Berry, S., J. Levinsohn, and A. Pakes, “Automobile Prices in Market Equilibrium,” *Econometrica*, 63(4), 1995, pp. 841 ~ 890.
13. Bhat, C. R., “A Multiple Discrete-Continuous Extreme Value Model : Formulation and Application to Discretionary Time-Use Decisions,” *Transportation Research Part B*, 39, 2005, pp. 679 ~ 707.
14. Bhat, C. R., “The Multiple Discrete-Continuous Extreme Value (MDCEV) Model : Role of Utility Function Parameters, Identification Considerations, and Model Extensions,” *Transportation Research, Part B*, 42, 2008, pp. 274 ~ 303.
15. Bhat, C. R. and S. Sen, “Household Vehicle Type Holdings and Usage : An Application of the Multiple Discrete-Continuous Extreme Value (MDCEV) Model,” *Transportation Research, Part B*, 40, 2006, pp. 35 ~ 53.
16. Bourguignon, F., M. Fournier, and M. Gurgand, “Selection Bias Corrections Based on the Multinomial Logit Model : Monte-Carlo Comparisons,” *World Bank and DELTA*, 2004.
17. Boyd, J. H. and R. E. Mellman, “The Effects of Fuel Economy Standards in the U.S. Auto Market : An Hedonic Demand Analysis,” *Transportation Research*, 14A, 1980, pp. 367 ~ 378.
18. Browning, M., “The Intertemporal Allocation of Expenditure on Non-Durables, Services, and Durables,” *Canadian Journal of Economics*, 22, 1989, pp. 22 ~ 36.
19. Browning, M., “A Simple Nonadditive Preference Structure for Models of Household Behavior over Time,” *Econometrica*, 99, 1991, pp. 607 ~ 637.
20. Callonnet, G. and N. Blanc, “Evaluation of the Economic and Ecological Effects of the French ‘Bonus Malus’ for New Cars,” *ODYSSEE-MURE EU-27*, 2009.
21. Cardell, N. S. and F. C. Dunbar, “Measuring the Societal Impact of Automobile

- Downsizing,” *Transportation Research*, 14A, 1980, pp. 423 ~ 434.
22. Diewert, W. E., “Intertemporal Consumer Theory and the Demand for Durables,” *Econometrica*, 42, 1974, pp. 497 ~ 515.
23. Dubin, J. A., *Consumer Durable Choice and the Demand for Electricity*, Amsterdam, North Holland, 1985.
24. Dubin, J. A. and D. L. McFadden, “An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption,” *Econometrica*, 52, 1984, pp. 345 ~ 362.
25. Farrell, M. J., “Demand for Passenger Cars in the United States,” *Royal Statistical Society Journal*, A, 1954, p. 117.
26. Griffen, J. M., “The Effects of Higher Prices in Electricity Consumption,” *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 5, 1974, pp. 515 ~ 539.
27. Hanemann, M., “The Discrete/Continuous Model of Consumer Demand,” *Econometrica*, 52, 1984, pp. 541 ~ 561.
28. Hausman, J., “Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables,” *The Bell Journal of Economics*, 10, 1979, pp. 33 ~ 54.
29. Heckman, J., “Dummy Endogenous Variables in a Simultaneous Equation System,” *Econometrica*, 46, 1978, pp. 931 ~ 959.
30. Heckman, J., “Sample Selection Bias as a Specification Error,” *Econometrica*, 47, 1979, pp. 153 ~ 161.
31. Houthakker, H. S., “Some Calculations on Electricity Consumption in Great Britain,” *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, 114, Part III, 1951.
32. Houthakker, H. S. and L. Taylor, *Consumer Demand in the U.S.*, 2nd ed., Cambridge, Harvard University Press, 1970.
33. Houthakker, H. S., P. K. Verleger, and D. P. Sheehan, “Dynamic Demand Analyses for Gasoline and Residential Electricity,” *American Journal of Agricultural Economics*, 56, 1974, pp. 412 ~ 418.
34. Lave, C. and K. Train, “A Disaggregate Model of Auto-Type Choice,” *Transportation Research*, 13A, 1979, pp. 1 ~ 9.
35. Mannering, F. and C. Winston, “A Dynamic Empirical Analysis of Household Vehicle Ownership and Utilization,” *Rand Journal of Economics*, 16, 1985, pp. 215 ~ 236.

36. Mansur, E. T., R. Mendelsohn, and W. Morrison, "A Discrete-Continuous Choice Model of Climate Change Impacts on Energy," School of Management and School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, 2005.
37. McFadden, D., "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior," in P. Zarembka ed., *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, 1974.
38. Nesbakken, R., "Energy Consumption for Space Heating: A Discrete-Continuous Approach," *Scandinavian Journal of Economics*, 103, 2001, pp. 165 ~ 184.
39. Newey, W. K., "Nonparametric Continuous/Discrete Choice Models," Department of Economics, MIT Press, 2007.
40. Phaneuf, D. J., C. L. Kling, and J. Herriges, "Estimation and Welfare Calculations in a Generalized Corner Solution Model with and Application to Recreation Demand," *Review of Economics and Statistics*, 82, 2000, pp. 83 ~ 92.
41. Philips, L., *Applied Consumption Analysis: Revised and Enlarged Edition*, Amsterdam, North-Holland, 1983.
42. Pollak, R. A. and T. J. Wales, *Demand System Specification and Estimation*, Oxford University Press, 1992.
43. Reiss, P. C. and M. W. White, "Household Electricity Demand, Revisited," Graduate School of Business, Stanford University, 2002.
44. Train, K., "A Validation Test of a Disaggregate Mode Choice Model," *Transportation Research*, 12, 1978, pp. 167 ~ 174.
45. Train, K., *Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics, and an Application to Automobile Demand*, Cambridge, MIT Press, 1986.
46. Train, K. E., *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press, 2003.
47. Wilson, J. W., "Residential Demand for Electricity," *Quarterly Review of Economics and Business*, 11, 1971, pp. 7 ~ 22.

접수일(2012년 1월 27일), 수정일(2012년 5월 29일), 게재확정일(2012년 6월 7일)