

자가용부문 차종선택 및 에너지소비량 전망모형의 개발*

Developing a Passenger Car Sector Model and Forecasting Automobile Energy Consumption in Korea

권오상** · 한지연*** · 박현정**** · 정예지*****

Oh-Sang Kwon · Jeayeon Han · Hyunjung Park · Yejee Jung

요약: 본고는 자가용 부문의 에너지 사용량 전망과 정책효과 분석에 활용될 수 있도록 총 32개 자가용 차종의 선택문제와 연간운행거리결정을 분석할 수 있는 모형을 시험적으로 개발하여 제시하였다. 자동차의 차령분포와 구입가격, 연료비/세금 등의 운용비용, 연비변화 등을 이용해 차종별 연간비용을 도출하고, 이 비용이 차종별 비중 선택에 미치는 영향을 분석하였고, 이를 위한 이론적 근거와 계량경제학적 추정결과를 제시하였다. 또한 운행거리 역시 주요 경제변수에 의해 내생적으로 결정되도록 하였고, 차령분포와 연비변화로 인한 에너지 효율성변화가 최종 에너지 소비량에 미치는 영향도 반영하였다. 본고가 제시하는 모형은 현재 이용가능한 자료를 최대한 활용하면서도 매년 자동차시장의 동향변화를 반영해 비교적 쉽게 개선할 수 있는 구조를 가지고 있고, 따라서 지속적인 운영 및 보안을 통해 수송부문 정책도입 등이 에너지 소비량과 온실가스 및 대기오염물질 배출에 미치는 영향을 전망하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심주제어: 자가용부문, 차종선택, 주행거리선택, 에너지소비량

Abstract: This study constructs a passenger car sector model of Korea to analyze the impacts of government policies on energy consumption and vehicle choice. A calibrated nested logit model is applied to the choice of 32 types of passenger cars based on the estimated demand elasticities of vehicle choice. Total vehicle stock, driving distance, and vehicle age distribution are also analyzed econometrically. In the model the annual cost of each vehicle type is designed to incorporate the impacts of vehicle age distribution, vehicle purchase price, tax and other policy incentives, and fuel efficiency improvement. The model forecasts that the total energy consumption of the passenger car sector may decline by 13% by 2050. The model also shows that a large increase in the share of environmentally-friendly vehicles requires non-price incentives as well as price incentives.

Key Words: Passenger Car Sector, Vehicle Choice, Driving Distance, Energy Consumption

* 본고는 온실가스종합정보센터 의뢰로 시행된 『국가 온실가스 배출전망 모형 개선 방안 연구』 결과물의 일부를 수정·보완한 것으로서, 온실가스종합정보센터의 공식 입장과는 관련이 없는 연구자들의 개인저작임을 밝힙니다.

** 교신저자, 서울대학교 농경제사회학부 농업·자원경제학전공 교수 겸 농업생명과학연구원 겸무연구원

*** 공동저자, 서울대학교 농경제사회학부 농업·자원경제학전공 대학원

**** 공동저자, 온실가스종합정보센터 감축목표팀 사무관

***** 공동저자, 온실가스종합정보센터 감축목표팀 전문위원

I. 서론

수송부문이 국가 전체의 에너지 사용량과 온실가스 및 여타 대기오염 물질 배출에 있어서 차지하는 비중이 갈수록 커지고 있다. 따라서 그 사용량과 배출량을 결정하는 구조를 파악하고 관련 정책 도입 시 에너지 사용량과 배출량이 어떻게 달라질지를 전망하는 것은 미세먼지 배출이나 국가 온실가스 배출량 관리와 관련하여 매우 중요한 절차라 할 수 있다.

수송부문은 자가용과 근거리 여객 및 화물수송, 장거리 여객 및 화물수송, 해상운송, 항공운송 등 다양한 세부 부문으로 구성되어 있지만, 산업 활동에 의해 활동량과 에너지 소비량이 주로 결정되는 여타 부문과 달리 자가용부문은 인구나 소득 등에 따라 주로 결정되는 전체 차량대수뿐 아니라 어떤 차종의 차가 어느 정도나 비중을 차지하는지와 각 차종의 운행거리가 어떻게 되는지 등, 보다 다양한 요인들에 의해 에너지 사용량이 결정되는 복잡한 구조를 가진다. 이런 점에서 자가용부문에 있어서의 차량의 소유와 운행이 결정되는 메커니즘을 적절히 반영하되, 자료의 이용 가능성까지도 반영하는 분석모형이 개발되어 향후 에너지 소비량 전망과 정책효과 분석을 위해 사용될 필요가 있다 하겠다.

자가용부문모형이 가지는 그러한 중요성과 복잡성으로 인해 각국 정부나 해외 연구기관이 개발·운영하고 있는 여러 수송부문모형들도 자가용 부문만을 특히 세밀히 구축하기 위해 노력하고 있는데, 한국의 경우에는 아직 그러한 체계적인 모형이 개발되어 학술적으로 검증된 바가 없어 이에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본고는 현재 우리나라에서 이용가능한 자료를 활용하되, 자가용부문의 차량 수, 차종, 운행거리와 에너지 사용량 등이 결정되는 메커니즘을 파악할 수 있는 모형을 개발하여 제시하고자 한다.

본고는 그러한 목적을 달성하기 위해 먼저 제II장에서 현재 이용되고 있는 해외의 대표적인 자가용 수송모형들을 개관하고 그 특성을 파악한다. 이어서 제III장에서는 한국적인 상황을 반영하여 본고가 제시하는 자가용

부문모형의 기본구조(framework)를 제시하고, 모형의 세부 의사결정행위를 분석하는 방법을 제시한다. 특히 본고는 차종 선택행위에 있어 해외 모형들이 대부분 채택하는 캘리브레이션 로짓(calibration logit)모형의 이론적 근거를 검토하고, 이 모형이 통계적 타당성을 가지기 위해서는 실제 통계자료와 어떤 일치성을 가져야하는지도 분석하여 제시한다. 아울러 차량의 수, 차량구조, 차종선택, 운행거리결정 등과 같은 주요 세부사결정을 자료를 이용해 분석하는 틀을 제시한다. 제IV장은 본고가 제시하는 모형을 실제로 가동하기 위해 어떤 자료를 이용할 수 있는지를 설명하고, 자료를 이용해 실제로 모형을 구축하여 제시한다. 본고의 제V장은 구축된 모형을 이용해 향후 한국의 자가용부문 에너지 종류별 소비량과 자가용부문 전체 에너지 소비량을 시험적으로 전망하여 제시한다. 그리고 마지막 제VI장은 본고의 분석내용을 정리하고 간략한 결론을 내리도록 한다.

II. 기존모형 검토

미국을 비롯한 세계 많은 국가들이 수송부문 정책효과 분석을 위해 자가용을 포함하는 수송부문의 모형을 개발하여 운영하고 있고, 여러 국제기구나 연구단체에서도 그러한다. 이들이 운용하는 모형 중 본고는 NEMS(National Energy Modeling System), MoMo(Mobility Model), WEM(World Energy Model), GCAM(Global Change Assessment Model) 등의 모형을 개관하도록 하며, 이들 모형의 구조를 본고가 구축하는 모형에 반영하고자 한다.

NEMS는 미국 EIA(Energy Information Administration)의 대규모 에너지 전망모형으로서, 모형 내 수송부문의 경우 경량자동차, 항공, 화물, 기타의 4가지 세부 모듈로 구성되어 있다(EIA, 2009). 이 중 승용차와 소형 트럭의 연료 소비량을 전망하는 경량자동차 세부 모듈이 본고가 검토하는 자가용부문모형이라 할 수 있다. 자가용자료는 지역별로 세분화되어 있으며, 생산자 기술선택요소라고 해서 향후 기술 형태에 대한 생산자 선택에

관한 전망도 모형에 포함되어 있다. 지역별 자동차 판매량자료와 소비자의 차종 선택행위를 분석하고, 이를 통해 자동차의 총 숫자, 즉 저장(stock)을 구한다. 소비자의 차종선택행위는 뒤에서 본고가 사용하는 방법과 유사한 계량경제 추정법을 이용해 분석한다. 이어서 개인별 자동차 운행거리를 분석하여 이를 연비추정치와 결합해 최종적인 에너지 소비량을 도출한다.

다국가모형으로 잘 알려진 것으로서 MoMo와 WEM이 있는데, 이들 모형은 IEA(International Energy Agency)에서 만든 글로벌 전망 모형으로서 전 세계를 29개 지역으로 나누어 전망하고 있다(IEA, 2017a, 2017b). 모형의 기본구조는 소위 ASIF구조로¹⁾ 되어 있는데, 자동차 운행거리(activity)와 자동차 소유구조(structure), 즉 자동차 보유대수와 차종별 구성을 반영하고, 여기에 차종별 연비(intensity)를 반영하여 최종 에너지 소비량(fuel)을 도출한다. 인구 1,000명당 자동차 보유대수는 1인당 GDP의 지수함수 형태로 추정하고, 차종별 점유율 방정식은 캘리브레이션 로짓모형을 이용해 추정한다. 점유율 방정식의 설명변수로는 구입비, 유지보수비, 운영비, 연료비 등을 연간으로 환산한 연간비용이 차종별로 구축되어 사용된다. 점유율 방정식에는 연간비용을 점유율로 변환하는 탄력성 형태의 파라미터와 연간비용별로 할당되는 가중치도 포함되는데, 전자는 수치를 가정하고, 후자는 기준연도 자료를 이용해 캘리브레이션한다.

GCAM 역시 글로벌모형이고 ASIF 과정을 거치지만 추가하여 자동차 이용의 시간 비용 등도 수요 예측에 반영한다(Mishra et al., 2013). GCAM은 MoMo와 마찬가지로 로짓함수에 연간비용을 적용하여 차종별 점유율을 구하는 캘리브레이션 방법을 활용한다. 하지만 자동차 총 저장량을 추정할 때 차종 점유율을 가중치로 반영하는 승용서비스의 평균비용을 1인당 GDP와 더불어 반영하기 때문에 차종선택이 자가용 자동차 총량에 미치는 환류효과(feedback)도 모형에 포함한다는 특성을 가지고 있다.

1) Activity (passenger travel) * Structure (travel by mode, load factors) * Energy Intensity = Fuel Use.

본고는 이상의 잘 알려진 해외모형들을 감안하되, 한국의 실정과 자료의 가용여부를 최대한 반영하는 모형을 구축하고자 한다. 본고 역시 ASIF형의 모형을 개발하지만, 구체적으로 다음과 같은 점에 유의하고자 한다. 첫째, 가능한 한 필요한 설명변수의 수를 줄여 장기예측이 원활하도록 한다. 이를 위해 1인당 GDP, 인구변동, 구입/운영비용 등을 주로 설명변수로 반영하도록 하였다. 둘째, 향후 발생할 기술변화, 가격변화, 정책변화 등의 영향을 반영할 수 있도록 모형을 설정하였고, 새로운 자료가 추가될 경우 모형을 개선하는 방안을 검토하였다. 셋째, 전체 차종별 비중방정식은 일관되게 추정하도록 하였고, 비중변화에 영향을 미칠 수 있는 세부요인들을 최대한 반영토록 모형을 구축하였다.

Ⅲ. 본고의 분석모형

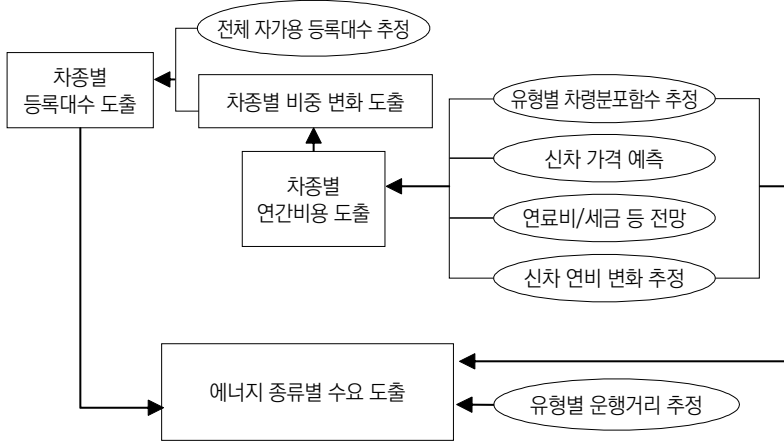
본고가 수립하는 모형의 기본구조는 <그림 1>과 같다. 모형의 수립 이전 먼저 자가용의 차종을 분류하면, 유형별로는 승용차, 승합차, 소형트럭의 3가지로 분류하고, 자동차의 차령은 1~20세 각 연도별로, 그리고 21세 이상은 모두 합하여 하나의 연령으로 구분하였다. 다만 승합차와 소형트럭의 경우 자료의 여건상 20세 이상을 하나의 차령으로 하였다. 아울러 각 유형의 자동차는 다시 엔진사이즈와 사용하는 연료에 따라 승용차 20종, 승합차 5종, 소형트럭 7종으로 구분하였다. 사용하는 에너지는 가솔린, 디젤, LPG, 전기, 수소로 구분된다.

<그림 1>의 위쪽을 보면 먼저 전체 자가용 등록대수와 그 결정요인이 분석되어야 하고, 여기에 차종별 비중변화가 결합되어 각 연도별 차종별 등록대수가 추정된다. 이 부분이 ASIF모형 구조에서 자동차의 소유구조(structure)에 해당된다. 그림의 우하변에 유형별 운행거리 추정과정이 있으며, 이것이 모형의 활동(activity)에 해당된다. 그림의 우변에는 여러 가지 추가 분석내용들이 있는데, 이 중 에너지 효율성(energy intensity)에

해당되는 신차 연비 변화 추정부분과 차령분포함수 추정부분이 자동차 소유구조에 해당되는 차종별 등록대수 추정치 및 활동에 해당되는 유형별 운행거리 추정치와 결합되어 그림 아래쪽 중앙의 최종 에너지 종류별 수요(fuel)를 도출한다.

차종별 비중결정모형으로는 본고 역시 해외모형들처럼 캘리브레이션 로짓모형을 사용하되, 자가용 차량 유형을 승용, 승합, 소형트럭의 세 종류로 분류한 후 다시 각 유형 내에서의 개별 차종별 점유율을 추정하기 때문에 기존 연구들과는 달리 중첩(nested) 로짓모형으로 모형을 확장하는 시도를 한다. 로짓모형에는 해외연구와 마찬가지로 차종별 연간비용이 독립변수로 사용된다. 연간비용은 다시 자동차 유형별(=승용차, 승합차, 소형트럭) 차령분포, 신차의 가격, 연료비와 세금, 신차의 연비 등이 반영되어 계산되며, 이들 세부항목들의 예측치나 정책영향이 반영되어야 한다. 또한 이들 4가지 세부요인 중 유형별 차령분포함수와 신차의 연비 변화 추정치는 마지막 단계인 에너지 종류별 수요량을 도출하는 데에도 반영되도록 하여, 차령별 수량변화와 연비구조 변화가 에너지효율성 추정치에도 반영되도록 하였다.

〈그림 1〉 모형의 기본구조



이상 설명된 모형을 구성하는 세부 요소들의 구체적인 분석절차는 아래와 같은데, 우선 차종별 비중방정식의 추정이 특히 어렵기 때문에 이에 대한 분석을 검토하고, 이어서 여타 세부 요소들의 분석방법을 논의한다.

1. 차종별 비중방정식 추정

n 가지의 자가용 차종이 있다고 하자. GCAM, MoMo 등의 잘 알려진 수송모형들이 사용하고 있는 차종 비중방정식 분석법은 로짓모형으로서, 다음과 같은 모습을 가진다.

$$s_i = \frac{c_i p_i^{-\gamma}}{\sum_{j=1}^n c_j p_j^{-\gamma}} \quad (1)$$

단, p_i =차종 i 의 연간비용, c_i =가중치, γ =선택 탄력성

이들 모형에서 차종별 연간비용 p_i 는 자료로 구축되어 공급되지만, 탄력성 파라미터 γ 는 그 값이 특정 수치로 가정되고, 가중치 c_i 는 식 (1)을 기준연도의 관측되는 점유율 s_i 와 연간비용 p_i 를 반영하는 n 개의 연립방정식으로 구축해 풀어 구해낸다. 파라미터 c_i 들이 계량모형으로부터 추정되는 것이 아니라 자료를 이용해 계산되기 때문에 식 (1)의 선택모형을 캘리브레이션 로짓모형이라 부를 수 있다. 그러나 기존 모형들은 이 방법이 Clarke and Edmonds(1992)의 논문에 기초하고 있다고만 밝힐 뿐 모형의 정확한 이론적 근거를 제시하지 않으며, 또한 탄력성 파라미터 γ 를 어떻게 구할 것인지에 대해서도 불명확하다. 본고는 이 문제를 일단 검토하고자 한다.

Clarke and Edmonds(1992)의 논문은 n 가지 기술대안 혹은 차종이 있을 때 이중 대안 i 가 차지하는 비중은 이 대안이 가격 면에서 다른 대안들보다 더 유리할 확률과 같다고 보고, 다음과 같이 설정하였다.

$$s_i = \int_0^\infty f_i(p) \prod_{j \neq i}^n \int_p^\infty f_j(p') dp' dp \quad (2)$$

단, $f_i(p)$ =가격 p 의 확률밀도함수

위 모형의 확률밀도함수로서 형태(shape) 파라미터 γ 와 스케일(scale) 파라미터 δ_i 를 가지는 Weibull분포 $f_i(p) = \frac{\gamma}{\delta_i} \left(\frac{p}{\delta_i}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{p}{\delta_i}\right)^\gamma\right)$ 를 설정하면, 다음과 같이 비증방정식이 풀린다.

$$\begin{aligned} s_i &= \int_0^\infty f_i(p) \prod_{j \neq i}^n \int_p^\infty f_j(p') dp' dp \quad (3) \\ &= \int_0^\infty \frac{\gamma}{\delta_i} \left(\frac{p}{\delta_i}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{p}{\delta_i}\right)^\gamma\right) \prod_{j \neq i}^n \left[\exp\left(-\left(\frac{p}{\delta_j}\right)^\gamma\right)\right] dp \\ &= \int_0^\infty \frac{\gamma}{\delta_i} \left(\frac{p}{\delta_i}\right)^{\gamma-1} \prod_j^n \left[\exp\left(-\left(\frac{p}{\delta_j}\right)^\gamma\right)\right] dp = \frac{\delta_i^{-\gamma}}{\sum_j \delta_j^{-\gamma}} \end{aligned}$$

한편 가격 p_i 의 평균은 Weibull분포의 특성상 $E(p_i) = \delta_i \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)$ 와 같이 도출되어, δ_i 가 각 대안의 평균가격과 비례한다. 따라서 이를 감안해 선택모형을 $s_i = \frac{p_i^{-\gamma}}{\sum_j p_j^{-\gamma}}$ 와 같이 변환할 수 있다. 기존 해외모형들이 실제 분석을 할 때에는 관측되는 기준연도에서의 선택비중을 감안하기 위해 이를 변형하여 수식 (1)의 $s_i = \frac{c_i p_i^{-\gamma}}{\sum_j c_j p_j^{-\gamma}}$ 와 같이 가중치 c_i 를 캘리브레이션 해서 사용하는 것으로 이해된다.

그렇다면 수식 (1)의 탄력성 γ 를 임의로 가정하기 보다는 실제 자료를 이용해 도출할 수 있는 방안에 대해 검토할 필요가 있는데, 본고는 이를 위해 많은 종류의 차종 J 개의 차종별 점유율과 그 특성자료를 계량분석하는 모형을 검토하되, 자료의 특성상 분할자료 회귀분석(fractional data regression model)을 적용하는 방안을 검토한다. 이 분석법은 차종별 점

유율이 분할자료의 특성을 가지기 때문에 그 값이 0과 1사이에 놓여 있고 모두 합하면 1이 되어야 한다는 성질을 잘 반영한다(Aitchison, 1982; Fry et al., 1996; 이홍림·권오상, 2017). 이 분석법은 다음과 같은 회귀분석을 시행한다.

$$\ln\left(\frac{\theta_i}{\theta_J}\right) = x_i\alpha + u_i, \quad i = 1, \dots, J-1 \quad (4)$$

단, θ_i = 모델 i 의 시장점유율,

x_i = 모델 i 의 모델 J 대비 차량 특성벡터 ($= z_i - z_J$, z 는 특성벡터 자체),

α = 파라미터 벡터, u_i = 교란항

일단 모형 (4)가 추정되면, 그 결과를 이용해 점유율을 역으로 도출할 수 있는데, 다음과 같은 절차를 밟을 수 있다.

$$\theta_i = \theta_J \exp(x_i\alpha), \quad \sum_{j=1}^{J-1} \theta_j = 1 - \theta_J, \quad \sum_{j=1}^{J-1} \theta_j \exp(x_j\alpha) = 1 - \theta_J,$$

$$\theta_J = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} \exp(x_j\alpha)},$$

$$\theta_i = \frac{\exp(x_i\alpha)}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} \exp(x_j\alpha)} = \frac{\exp((z_i - z_J)\alpha)}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} \exp((z_j - z_J)\alpha)} = \frac{\exp(z_i\alpha)}{\sum_{j=1}^J \exp(z_j\alpha)}$$

보다 구체적으로 회귀식을 $z_i\alpha = \alpha_i + \beta \ln p_i$ 와 같이 설정하면, 최종적인 점유율 방정식은 다음과 같이 식별된다.

$$\theta_i = \frac{\exp(z_i \alpha)}{\sum_{j=1}^J \exp(z_j \alpha)} = \frac{\exp(\alpha_i + \beta \ln p_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(\alpha_j + \beta \ln p_j)} \quad (5)$$

단 $\alpha_i = \alpha_{oi} + \alpha_{1i} z_{-p_i}$, $z_{-p_i} = \ln p_i$ 를 제외한 차종 i 의 여타 특성 변수

계량경제분석을 통해 식별되는 모형 (5)와 GCAM 및 MoMo 등에서 사용하는 모형 (1)간의 관계는 다음처럼 두 모형의 자기가격탄력성을 각각 도출해보면 확인이 된다.

$$\frac{\partial \ln \theta_i}{\partial \ln p_i} = \beta - \frac{\beta \exp(\alpha_i + \beta \ln p_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(\alpha_j + \beta \ln p_j)} = \beta [1 - \theta_i]$$

$$\frac{\partial \ln s_i}{\partial \ln p_i} = \frac{\partial \ln s_i}{\partial p_i} \frac{\partial p_i}{\partial \ln p_i} = -\gamma + \frac{\gamma c_i p_i^{-\gamma}}{\sum_{j=1}^J c_j p_j^{-\gamma}} = -\gamma (1 - s_i)$$

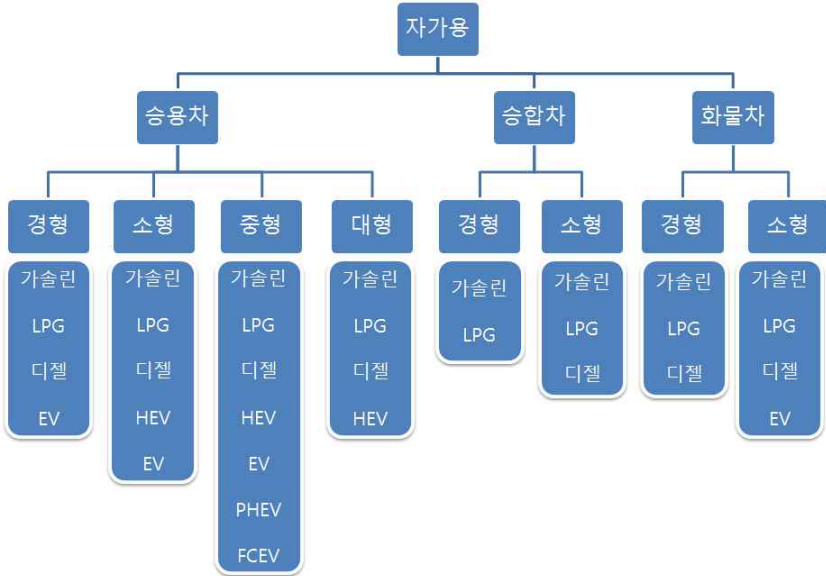
따라서 $n = J$ 이고 $\theta_i = s_i$ 일 경우 $\gamma = -\beta$ 가 성립해야 하고, 두 모형은 완전히 일치함을 확인할 수 있다. 계량분석을 할 경우 캘리브레이션할 경우에 비해 보다 세분된 차종자료를 사용하기 때문에 실제로는 $J > n$ 이어서 $\theta_i \neq s_i$ 이지만, 탄력성 계산 시 γ 혹은 β 외의 또 다른 부분인 $1 - s_i$ 와 $1 - \theta_i$ 의 차이에 의해 선택대안의 수 차이가 선택탄력성에 미치는 영향이 반영되기 때문에(선택대안의 수가 많을수록 자기가격에 대해 탄력적) 그러한 차이에도 불구하고 계량모형 추정결과 얻어진 β 의 추정치를 $-\gamma$ 의 추정치로 간주할 수 있고, 본고는 따라서 수식 (4)와 같은 분할자료 회귀 분석을 시행해 수식 (1)의 탄력성 파라미터 γ 의 값을 구한다.

2. 캘리브레이션 중첩 로짓모형 구축

본고는 <그림 2>와 같이 자가용을 엔진사이즈와 연료 종류에 따라 승용

차를 20차종으로, 또한 승합차를 5차종으로, 그리고 소형트럭을 7차종으로 각각 구분한다.

〈그림 2〉 차종 구분



이러한 총 32개 차종별 비중방정식을 한꺼번에 캘리브레이션할 수 있지만 승용차, 승합차, 소형트럭은 용도 면에서 어느 정도 차이가 있는 것이 사실이기 때문에 본고는 이렇게 3가지로 자가용차량의 용도를 먼저 구분하고, 이어서 각 유형 내에서의 각 차종의 점유율을 분석하는 2단계 중첩(nested)모형을 분석한다. 분석 절차는 먼저 각 유형 내에서 로짓모형을 적용해 차종별 점유방정식을 도출하고, 유형 내 점유율을 가중치로 하는 유형별 연간비용을 도출한 후, 다시 이를 적용하여 각 유형이 차지하는 비중방정식을 도출하는 방식을 취한다. i 를 자가용 자동차 유형을 나타내는 지수로, $j[i]$ 를 i 번째 유형에서 j 번째 차종이 차지하는 비중으로 정의하면, $P^{j[i]}$ 를 유형 i 내 차종 j 의 연간비용이라 할 때 유형 i 의 연간 비

용은 $P^i = \sum_j (s^{j[i]} \times P^{j[i]})$ 와 같이 도출된다. SW^i 와 $SW^{j[i]}$ 를 각 유형과 각 세부차종에 부여되는 가중 파라미터라 할 경우 본고의 중첩 로짓모형은 다음과 같다.²⁾

$$s^i = \frac{SW^i(P^i)^{-\gamma}}{\sum_h SW^h(P^h)^{-\gamma}}, \quad \sum_{i=1} SW^i = 1, \quad i=[\text{승용차}, \text{승합차}, \text{트럭}] \quad (6)$$

$$s^{j[\text{승용}]} = \frac{SW^{j[\text{승용}]}(P^{j[\text{승용}]})^{-\gamma_{\text{승용}}}}{\sum_h SW^{h[\text{승용}]}(P^{h[\text{승용}]})^{-\gamma_{\text{승용}}}}, \quad j=1, \dots, 20$$

$$s^{j[\text{승합}]} = \frac{SW^{j[\text{승합}]}(P^{j[\text{승합}]})^{-\gamma_{\text{승합}}}}{\sum_h SW^{h[\text{승합}]}(P^{h[\text{승합}]})^{-\gamma_{\text{승합}}}}, \quad j=1, \dots, 5$$

$$s^{j[\text{트럭}]} = \frac{SW^{j[\text{트럭}]}(P^{j[\text{트럭}]})^{-\gamma_{\text{트럭}}}}{\sum_h SW^{h[\text{트럭}]}(P^{h[\text{트럭}]})^{-\gamma_{\text{트럭}}}}, \quad j=1, \dots, 7$$

3. 기타 추정 방정식

같은 브랜드의 자동차라도 매년 시장에 출시될 때 마다 연비가 개선되어 출시되기 때문에 연도별 연비의 차이가 존재한다. 따라서 점유율은 차종별은 물론 차령별로도 구분이 되어야 한다. 이 문제는 원칙적으로는 수식 (6)과 같은 비중방정식은 신차에 대해서만 적용하고, 이어서 등록된 모든 차의 차종별, 차령별 수는 코호트(cohort) 분석법을 적용해 추정하여 해결할 수가 있다(예: Fridstrom and Østli, 2016). 자동차 등록대수 관련 자료로는 국토교통부의 자료가 있고, 한국자동차산업협회의 『자동차등록

2) 단, 자가용 유형별 선택에 있어서의 로짓모형의 탄력성 파라미터 γ 의 경우 관측치 수의 제한 등으로 인해 실제 자료를 이용해 추정해내는 것이 현재로서는 어렵기 때문에 각 유형내 개별 차종 선택문제에서의 탄력성 ($=\gamma_i$) 과 일치한다고 가정한다. 즉 전체 모형에서 γ 의 추정치는 한 가지이다.

통계월보』자료도 있다. 국토교통부 자료는 자동차가 자가용인지 영업용인지 등으로 구분되어 있으나 엔진사이즈 등에 관한 구체적인 정보가 미비하여 코호트분석에 사용하기 어렵다. 『자동차등록통계월보』자료는 제작자별(수입차 포함), 세부모델별, 출고연도별 매월의 등록대수를 제공한다. 다만 승용차와 트럭의 경우 자가용인지 영업용인지의 구분이 없는 문제가 있다. 후자의 자료를 이용해 코호트분석법을 적용해보면, 차령별 등록자료의 불안정성과 자료 집계기준 상의 일관성 결여로 인해 차종별 차량등록대수가 상당히 불안정하게 변하는 것으로 나타나는 문제가 있다. 이는 예를 들면 2015년에 등록된 당해 출고 특정 모델의 자동차 수보다도 2016년에 등록된 출고된 지 1년이 지난 동일 모델의 자동차 수가 더 많이 집계되는 것과 같은 현상이 자주 발생하여, 자동차의 잔존확률 추정치가 신뢰하기 어렵다는 점 때문에 주로 발생한다.³⁾

본고는 따라서 신차가 아닌 자동차의 유형별 차종별 등록대수 전체에 수식 (6)과 같은 비중방정식을 적용하여 각 유형별, 차종별, 차령별 점유율을 계산하였다. 차령분포의 파악을 위해서는 등록된 차량의 차령분포함수를 통계자료를 이용해 직접 추정하는 방법을 사용하였다. 차령분포함수 추정을 위해서는 공식적인 등록대수 자료인 국토교통부 자료를 이용하되, 이 자료가 엔진사이즈나 연료종류별로 차종구분을 하지 않기 때문에 자가용, 승합차, 소형트럭의 유형별 차령분포함수 차이만 존재한다고 가정하고 모형을 분석하였다. 즉 각 유형별로 각 차령이 차지하는 비중은 일종의 균제상태(steady state)에 도달하였다고 전제하고, 그 균제상태에서의 차령별 비중을 추정하여 각 유형별 차령분포를 도출하였다. 이 방법은 차령구조가 균제상태에 있다고 전제해야 하는 한계는 있으나, 대신 총 차량등록 대수는 공식 등록대수와 일치하도록 하여 분석하기 때문에 코호트 분석 때처럼 잔존을 추정의 편의(bias)로 인해 총 등록대수가 큰 폭의 변화를 보이는 문제를 제거할 수가 있다. 본고는 차령분포함수로 다음과 같은

3) 자료가 이런 특성을 가지므로 비교적 자료형태가 양호한 일부 차종에 대해서만 코호트 분석을 적용해 보았을 때에도 잔존확률이 과다 추정되어 향후 자동차 등록대수가 국토교통부의 공식통계 등과 비교하면 지나치게 크게 전망되는 문제가 발생한다.

Gompertz함수나 로지스틱함수를 사용하였다.

$$share_i = b_1 \exp(-\exp(-b_2(i - b_3))) \quad (7)$$

$share_i = b_1 / (1 + \exp(-b_2(i - b_3)))$, $share_i$ =차령 i 의 비율

인구 1,000명당 자동차 등록대수 역시 어떤 상한을 가질 수밖에 없으므로 다음과 같은 Gompertz함수를 통해 추정하였다. 상한치는 외부적으로 주어지지 않고 자료에 의해 추정된다.

$$y = \bar{y} \exp(-\exp(-\alpha(x - \beta))) \quad (8)$$

단, $y=1,000$ 명 당 전체 자가용 대수, \bar{y} =포화점 (추정됨), $x=1$ 인당 GDP

자가용의 연간 주행거리도 수식 (8)과 같은 Gompertz함수를 통해 추정되는데, 자가용의 경우 설명변수 x 는 1인당 자가용 보유대수를, 상업 활동 등과 관련이 있는 승합차와 소형화물차의 경우는 1인당 GDP 혹은 추세치인 연도변수를 사용하였다.⁴⁾

IV. 사용된 자료와 주요 추정결과

1. 사용된 자료

본고에서는 앞에서 밝힌 바대로 수식 (1)의 차종비중방정식의 탄력성 파라미터 γ 는 수식 (4)와 같은 분할자료 회귀분석을 통해 얻도록 한다. 분할자료 회귀분석에서는 연간가격이 차종선택에 미치는 영향을 분석해야

4) 이들 변수들은 MoMo 및 GCAM과 같은 해외의 기존 모형들을 참고하여 선정되었는데, 적용 가능한 다른 설명변수들에 비해 통계적 유의성이 높은 것으로 판정된 변수들을 사용하였다.

하기 때문에 차량가격과 연간환산가격 간의 관계가 분명한 신차를 대상으로 모형을 추정한다. 계량경제모형을 추정하기 위해 세부 차량 모델별 시장 점유율 자료와 모델별 특성자료를⁵⁾ 수집하였다. 신차 점유율 자료로는 2011년부터 2013년 사이 월별 신차 시장 점유율 자료를 이용하였고, 차종별 신차 등록대수 자료로는 한국자동차산업협회의 『자동차등록통계월보』상의 자료를 이용하였다.⁶⁾ 『자동차등록통계월보』는 매월 150개 정도의 모델 판매 자료를 제공한다. 차량 특성과 가격 등은 자동차 회사 등의 추가 자료원으로부터 확보하였다. 기본모형($j = J$)으로는 가솔린 소나타를 선정하였다. 따라서 모든 설명변수 x_i 는 소나타 가솔린 모형의 특성과의 차이 값을 가진다.

캘리브레이션 증첩 로짓모형의 추정에 있어 각 차종의 엔진사이즈와 연료 형태에 따른 연간환산비용이 사용된다. 연간환산비용은 신차 구입가격의 km 당 운행비용에 운행거리를 곱하여 산출된 운행비용, 자동차세, 유지비를 합산하여 구하였다. km 당 운행비용을 구하기 위해 해당 차종의 연비와 연료가격을 이용하였다. 다만 자가용 차량의 연간 운행거리가 감소하는 추세를 보이고 있어 2011년부터 2013년까지의 자료에는 기준연도인 2016년 현재보다는 다소 높은 수준의 연간 운행거리를 적용하여 연간비용을 도출하였다. 각 등급의 차종별로 대표 모델을 선정하여 그 공시가격을 신차 구입 가격으로 계산하였다.

한편 시뮬레이션에서 적용될 수소차와 전기차의 가격의 경우 가격 하락 및 보조금을 반영하여 수정된 판매가격을 이용하였다. 즉 신차구입가격은 전기차의 경우 현재 보조금이 반영된 가격이 유지되는 것으로 가정하였다. 수소차의 경우도 가격하락 효과와 보조금을 반영하여 5,000만원에서 2020년까지 3,200만원까지 하락하는 것으로 가정하였다. 다만 자가용 중 현재 정확한 판매가격을 구할 수 없는 경우 임의로 가격을 설정하였다.⁷⁾

5) 엔진사이즈, 실내면적, 연료종류, 가격, 연비, 세금, 수입차 여부 등.

6) 2014년 시행되었던 저탄소차협력금제도 관련 한국환경정책·평가연구원과 산업연구원의 공동연구과정에서 구축된 자료이다.

7) DAMAS GLS, TOPIC, LABO GSL, DAMAS VAN(디젤), KORANDO VAN(가솔린)의 경

연료비를 연간비용에 포함시키기 위해 신차의 연비 변화를 GIR(온실가스종합정보센터) 전망치를 이용하여 반영하였다. 연비변화는 신차에 대해서만 적용하므로 각 차종별 차령구조가 파악되어야했다. 앞서 설명한 바와 같이 자동차 유형별로 차령구조가 균제상태에 이르렀다고 가정하고 국토교통부의 유형별, 차령별 등록현황자료를 이용하여 추정된 차령분포함수에 신차의 연비개선효과를 축차적으로 반영하여 차령별 연비의 가중평균을 매 연도의 각 차종별로 도출하였다. 연비는 공인연비가 아닌 실질연비를 적용하였으며, 가솔린, 디젤, LPG의 경우 GIR 적용수치를 사용하고, 나머지의 경우 한국석유관리원과 녹색기술연구소의 측정결과를 바탕으로 하였다. 자동차세의 경우 취득세, 등록세, 자동차세를 합산한 값을 이용하였다. 취득세는 판매가격의 2%, 등록세는 승용차와 승합차의 경우 판매가격의 5%, 화물차의 경우 판매가격의 3%로 계산하였다. 자동차세는 국토교통부의 자료를 이용하였다.

이상 자료들의 출처는 <표 1>과 같이 다시 정리된다.

<표 1> 주요 자료 출처

| | |
|-----------------------|--|
| 자가용 판매가격 | 네이버 자동차, 각 제작사 홈페이지 |
| 연비 | GIR제공 |
| 연평균 운행거리 | 임의 설정 (13,000km) |
| 단위당 에너지 가격 | 한국석유공사 오피넷, LPG의 경우 자동차용부탄 가격 이용, 수소의 경우 김봉진(2015)의 분석치 이용 |
| 취득세 | 판매가격의 2% |
| 등록세 | 승용차, 승합차의 경우 판매가격의 5%, 화물차의 경우 판매가격의 3% |
| 자동차세 | 국토교통부 국가교통DB사업단 <2015 국가교통통계> 지방세 부과액 및 징수액 |
| 자동차 등록대수 | 국토교통부 국토교통통계누리 차종별 자동차 등록현황 |
| 가구당 월평균 운송기구 유지 및 수리비 | 가구당 월평균 가계수지 (2인 이상 가구) |
| 가구 수 | 한국은행 경제통계시스템 |

우 국내에 15년 이상의 연식만 존재하므로 정확한 판매가격을 구할 수 없었다. 따라서 임의로 가격 설정하였다(가솔린 차량은 같은 규모의 LPG 차량의 약 90%. 나머지는 임의). BONGO-3 EV의 경우 국내에 10대 이내의 차량만이 존재하므로 정확한 판매가격을 구할 수 없었다. 따라서 임의로 가격을 설정하였다.

2. 주요 모형 추정결과

먼저 수식 (4)의 차종선택모형 계량분석 결과는 <표 2>와 같다. 설명변수로 수식 (4) 및 (5)가 보여주는 바와 같이 연간비용의 로그 값이 사용되고 이 변수의 계수가 수식 (1)의 γ 값의 음(-)의 값으로 간주된다. 그 외 수입산인지의 여부, 디젤인지의 여부, LPG인지의 여부, 하이브리드 가솔린인지의 여부, 전기차인지의 여부 등이 설명변수로 반영되었다. 국산 가솔린에 비하면 이들 특성들은 모두 점유율을 낮추는 요인으로 작용하였으며, 모든 설명변수의 통계적 유의성이 확보되었다. γ 의 추정치는 2.059이고, 이 값이 본고의 모형설정에 사용된다.

<표 2> 탄력성 추정결과

| 변수 | 비고 | 추정치 | t-값 |
|----------|--------|--------|-----------|
| ln(연간비용) | ln(만원) | -2.059 | -39.18*** |
| 수입산 | 수입산=1 | -2.912 | -55.99*** |
| 디젤더미 | | -.922 | -20.02** |
| LPG더미 | | -2.822 | -26.21*** |
| 하이브리드가솔린 | | -.808 | -6.01*** |
| 전기차 | | -4.645 | -10.20** |
| 관측치 수 | | 8,637 | |
| Adj R2 | | 0.744 | |

주: **와 ***는 각각 5% 및 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 의미

추정된 탄력성을 이용하고, 기준연도인 2016년의 실제 32가지의 자가용 차량의 점유율 자료를 반영하면, <표 3>과 같이 중첩 로짓모형의 32가지의 세부 차량 유형별 가중치 $SW^{j[i]}$ 와 3가지 차량 유형별 가중치 SW^i 가 도출된다.

〈표 3〉 자가용 차량 수요 추정결과⁸⁾

| 구분 | 엔진 사이즈 | 연료종류 | 연간비용 (원) | 2016 비중 | $SW^{j[i]}$ | SW^i |
|----------|-----------|------------|-------------|------------|-------------|--------|
| 승용차 | 경형 | 가솔린 | 3312996.25 | 0.10015046 | 0.033 | 0.955 |
| | | LPG | 3307812.95 | 0.00421297 | 0.001 | |
| | | 디젤 | 3173960.49 | 0 | 0 | |
| | | EV | 7187607.82 | 0.00011229 | 1.840407E-4 | |
| | 소형 | 가솔린 | 4392496.25 | 0.07012514 | 0.042 | |
| | | LPG | 4955112.95 | 0.00026927 | 2.051960E-4 | |
| | | 디젤 | 4133068.00 | 0.00280104 | 0.001 | |
| | | HEV | 5186295.20 | 0.00042033 | 3.518415E-4 | |
| | | EV | 8037607.82 | 0.00017292 | 3.567525E-4 | |
| | 중형 | 가솔린 | 5157496.25 | 0.27249938 | 0.225 | |
| | | LPG | 5419212.95 | 0.0853315 | 0.078 | |
| | | 디젤 | 6139068.00 | 0.18375477 | 0.218 | |
| | | HEV | 6260695.20 | 0.00847404 | 0.010 | |
| | | EV | 8360607.82 | 0.00029391 | 6.576090E-4 | |
| | | PHEV | 7943695.20 | 1.0671E-05 | 2.148905E-5 | |
| | | FCEV | 15609003.1 | 6.1144E-06 | 4.947422E-5 | |
| | 대형 | 가솔린 | 6789496.25 | 0.15333246 | 0.223 | |
| | | LPG | 6697612.95 | 0.01542699 | 0.022 | |
| | | 디젤 | 6615068.00 | 0.09866745 | 0.136 | |
| HEV | | 7384395.20 | 0.00393829 | 0.007 | | |
| 승합차 | 경형 | 가솔린 | 3742938.27 | 0.00628604 | 0.004 | 0.017 |
| | | LPG | 3019526.86 | 0.04870652 | 0.018 | |
| | 소형 | 가솔린 | 5272938.27 | 0.0016187 | 0.002 | |
| | | LPG | 4575026.86 | 0.0944295 | 0.080 | |
| | | 디젤 | 5093721.27 | 0.84895924 | 0.897 | |
| 소형 트럭 | 경형 | 가솔린 | 4584726.87 | 0.00095858 | 0.001 | 0.028 |
| | | LPG | 2554627.44 | 0.03373621 | 0.015 | |
| | | 디젤 | 2909906.82 | 0.00046315 | 2.637685E-4 | |
| | 소형 | 가솔린 | 6084726.87 | 7.5115E-07 | 1.953680E-6 | |
| | | LPG | 4207627.44 | 0.01578685 | 0.019 | |
| | | 디젤 | 3854906.82 | 0.94905033 | 0.964 | |
| | | EV | 7435669.07 | 4.1286E-06 | 1.622651E-5 | |

8) 2016년 12월 등록현황 자료 사용, $\gamma = 2.059$ 적용.

이어서 차령분포함수를 추정하였는데, 2012-2016년간의 국토교통부 등록자료를 이용하여 자가용 유형별 차령분포함수를 비선형모형으로 추정하면 <표 4>와 같은 결과가 도출된다. 이 추정결과가 예측하는 각 차령별 비중을 차령분포함수 값으로 간주한다.

<표 4> 차령분포함수 추정

| 모형 및 파라미터 | 추정치 | t-값 |
|--|-----------|----------|
| 승용차: $share_i = b_1 \exp(-\exp(-b_2(i - b_3)))$ | | |
| b_1 | .0974434 | 17.36*** |
| b_2 | -.14883 | -9.58*** |
| b_3 | 12.70314 | 24.97*** |
| 승합차: $share_i = b_1 / (1 + \exp(-b_2(i - b_3)))$ | | |
| b_1 | .0545103 | 16.1*** |
| b_2 | -1.308132 | -1.64* |
| b_3 | 16.81682 | 32.01*** |
| 소형 화물차: $share_i = b_1 \exp(-\exp(-b_2(i - b_3)))$ | | |
| b_1 | .0573453 | 22.79*** |
| b_2 | -.3173585 | -3.97*** |
| b_3 | 17.92702 | 35.30*** |

주: *와 ***는 각각 10% 및 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 의미

아울러 인구 1,000명당 자가용 자동차 수와 승용차, 승합차, 소형화물차의 연간 운행거리 함수를 추정하면 <표 5>와 같이 결과가 정리된다.

〈표 5〉 자동차 수 및 운행거리 추정 결과

| 모형 및 파라미터 | 추정치 | t-값 |
|--|-----------|-------------|
| 자동차 수: $y = \bar{y} \exp(-\exp(-b_2(1인당\ GDP - b_3)))$ \bar{y} | 430.3185 | 37.51*** |
| b_2 | 145.7325 | 14.40*** |
| b_3 | .0127497 | 58.48*** |
| 승용차 운행거리: $y = \bar{y} + b_1 \exp(-\exp(-b_2(1000명당\ 자가용대수 - b_3)))$ \bar{y} | 12442.09 | 36.60*** |
| b_1 | 3297.993 | 7.89*** |
| b_2 | -4666589 | -1.53 |
| b_3 | 323.0759 | 227.11*** |
| 승합차 운행거리: $y = \bar{y} + b_1 \exp(-\exp(-b_2(1인당\ GDP - b_3)))$ \bar{y} | 15618.63 | 9.97*** |
| b_1 | 9580.918 | 2.59** |
| b_2 | -.2284605 | -1.81* |
| b_3 | 2007.201 | 1810.35*** |
| 소형트럭 운행거리: $y = \bar{y} + b_1 \exp(-\exp(-b_2(연도 - b_3)))$ \bar{y} | 15527.58 | 80.41*** |
| b_1 | 6840.181 | 24.87** |
| b_2 | -1.285759 | -5.13* |
| b_3 | 2007.147 | 16025.26*** |

주: *, ** ***는 각각 10%, 5% 및 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 의미

〈표 4〉 및 〈표 5〉의 추정에서도 거의 모든 파라미터 추정치가 통계적으로 유의하지만, 운행거리 방정식의 경우 b_2 의 추정치 통계적 유의도가 비교적 낮고 추정치 자체도 크기가 않아 자가용의 운행거리는 어떤 변수의 영향을 민감하게 받기보다는 대체로 일정하게 유지되는 경향이 있음이 확인된다.

V. 향후 전망 예시

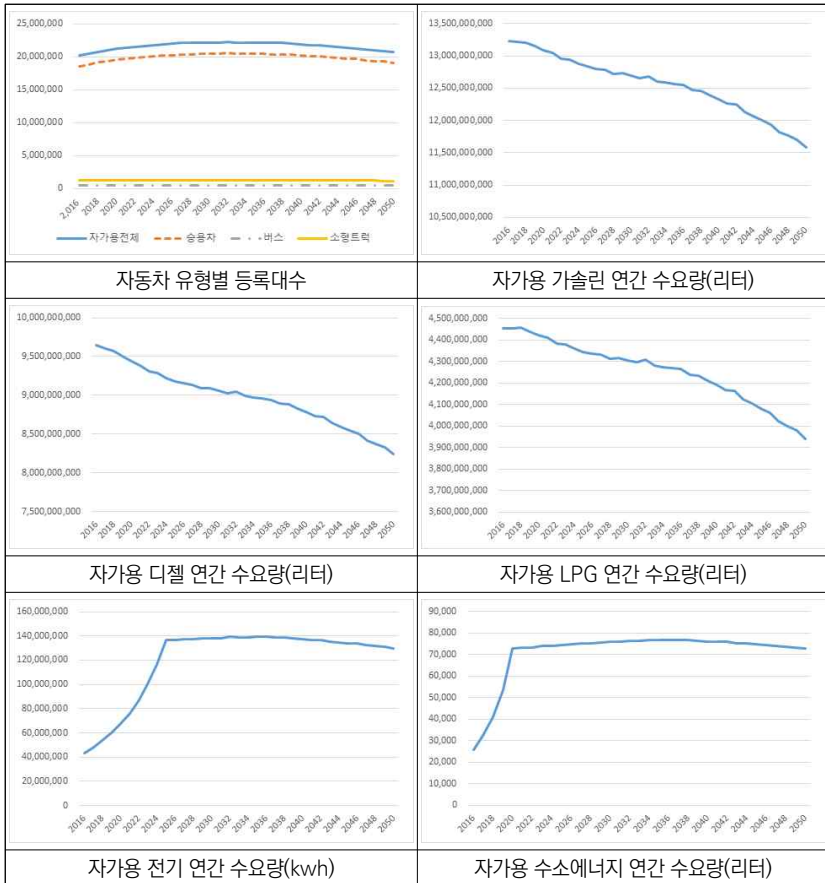
이상의 모형 추정결과를 <그림 1>이 제시하는 모형 전체의 구조에 반영하면 향후 각 차종의 대수와 에너지 사용량을 예측해볼 수 있다. 향후 예측을 위한 시나리오로 다음을 설정한다.

먼저 전체 차량대수는 차량대수 추정모형에 GIR이 보유한 국내 유관기관이 제시하는 1인당 GDP와 인구 수 전망치를 적용하여 예측한다. 차량 유형별 연간 운행거리 역시 설명변수 예측치를 반영하여 향후 전망치를 도출한다.

차량의 연간비용 계산을 위해서는 신차가격의 경우 전기차는 정부지원과 기술발전에 따른 가격하락효과로 인해 2025년까지 2,000~2,500만원 수준까지 가격이 하락한 후 고정된다고 가정한다. 수소차의 경우 앞에서 밝힌 바대로 가격하락 효과와 보조금을 반영하여 5,000만원에서 2020년까지 3,200만원까지 하락하는 것으로 가정하였다. 연료비 역시 GIR이 보유한 전망치를 사용하며, 향후 신차의 연비 변화 역시 과거 변동추세 등을 반영하는 전망치를 적용한다. 연비의 변화는 신차에만 적용되므로 자동차 유형별 차령분포함수 추정치에 연비변화를 축차적으로 반영하여 전체 등록 자동차의 연비구조변화를 매년 새로이 계산토록 한다.

에너지의 종류별 수요량 전망에는 차종별/차량별 등록대수 전망치에 연간 운행거리 전망치를 반영하고, 에너지 효율변화를 반영하기 위해 연비개선효과 추정치도 적용한다. 연비는 공인연비가 아닌 실질연비를 반영토록 한다.

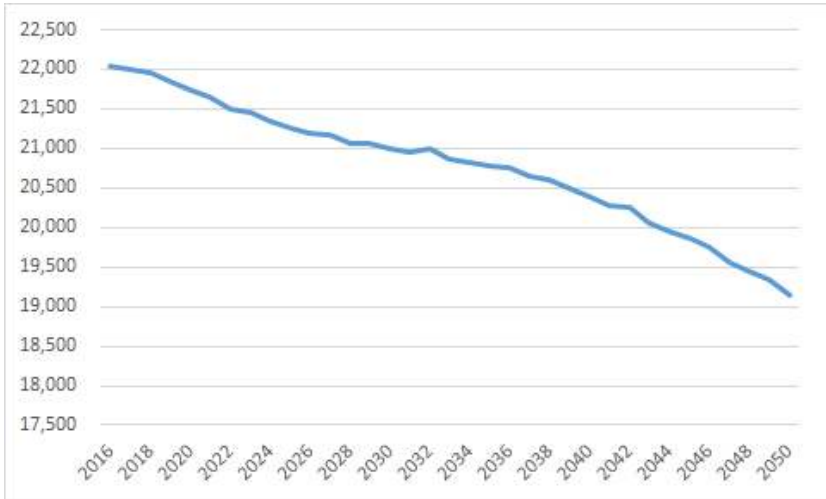
〈그림 3〉 주요 변수 전망치



이상의 절차를 거쳐 도출된 주요 변수의 2050년까지의 전망치는 〈그림 3〉 및 〈그림 4〉와 같다. 〈그림 3〉의 분석결과를 보면, 차량대수의 경우 2032년까지 증가하다가 이후 감소하는데, 인구 1,000명당 차량 등록대수가 430대 정도로 상한에 이른 후, 인구감소로 인해 총 등록대수는 감소추세로 전환된다. 승용차, 승합차, 소형트럭의 비중 즉 점유율은 큰 변화가 없으나, 승합차와 소형트럭의 등록대수는 2029년에 피크에 달하여 승용차에 비해 2년 정도 피크 도달 시점이 빠르다.

〈그림 4〉 자가용 총 에너지 수요량

(천TOE, 수소제외)



〈그림 3〉에서 에너지 수요량 변화는 에너지 종류에 따라 다양한 모습을 보여준다. 9) 가솔린의 경우 연비개선효과 등으로 인해 2031년까지는 차량 등록대수가 늘어남에도 불구하고 소비량이 감소한다. 디젤의 경우 조금 더 빠른 수요 감소 형태를 보여주나, 향후 대기오염에 대한 대책이나 디젤 자동차에 대한 선호도 감소 등이 발생할 경우 이보다 더 빠른 감소속도를 보여줄 수도 있을 것이다. LPG의 경우 가솔린과 디젤 가운데 정도의 수요 감소형태를 보여준다. 전기의 경우 2025년까지 진행될 것으로 전망된 비교적 빠른 속도의 전기자동차 보급가격의 하락효과로 인해 초기에 수요량이 주로 늘어난 후 안정된 모습을 보일 것으로 예상되며, 수소의 경우도 유사한 형태의 전망이 이루어진다. 〈그림 4〉에 나타난 이러한 에너지 유형별 수요 전망치를 모두 포괄하는 자가용 부문 총에너지 수요량 역시 연비 개선효과와 차량등록대수 정체 등으로 인해 장기적으로는 감소가 예상되는데, 2050년에는 2016년 대비 약 13% 정도 에너지 소비량이 감소할 것으로 전망되고 있다.

9) 연료별 천TOE 전환계수는 다음과 같다. (L → 천TOE) 휘발유: $0.778/10^6$, 경유: $0.901/10^6$, LPG: $0.6861/10^6$, (kWh → 천TOE) 전기: $0.086/10^6$.

그러나 이상과 같은 전망치는 전망을 위해 설정한 시나리오에 크게 의존하고 있는 것이다. 무엇보다도 위의 전망은 자동차 구입가격이나 연비, 에너지 가격 변화 등과 같은 자동차의 연간비용에 영향을 미치는 요인 외에는 모두 고정된 것이라 보고, 특히 각 차종별 선택모형에 있어서의 가중치 $sw^{z[i]}$ 와 sw^z 가 <표 3>의 추정치와 같이 현 수준에 고정되어 있다는 전제 하에 도출된 것이다. 이들 파라미터들은 각 차종에 대한 선호도에 영향을 미치는 비가격적 요인을 반영하는 것이다. 따라서 그러한 비가격적 요인이 향후 바뀔 경우 이들 파라미터의 값이 변할 것이므로 이를 적절히 모형에 반영하는 것이 필요할 것이다. 예를 들면 위에서 보여준 현재의 전망에 의하면 전기자동차의 경우 구입가격 하락에 따른 연간비용 감소에도 불구하고 향후 보급대수가 2016년 보급대수의 3배를 넘지 않을 것으로 전망되어, 2017년 9월에 도입된 『미세먼지관리종합대책』에 따라 2020년까지 25만대의 전기차를 보급하고, 수소차도 1만대 이상 보급하고자 하는 정부 목표나, 충전 인프라의 확대를 전제로 전기자동차 보급대수를 예측한 김승연 등(2017)의 전망과는 차이를 보인다. 본고가 예측하는 것 이상의 큰 폭의 친환경차 점유율 증가는 충전소 보급확대와 1회 충전 후 주행가능거리 확대 등이 충분히 이루어져 전기차의 선호도 파라미터 $sw^{z[i]}$ 가 확연히 커질 때 가능할 것이다.¹⁰⁾ 현재로서는 전기차가 보급되기 시작한 지 오래되지가 않아 이러한 비가격 편의성이 높아질 때 전기차의 선호도 파라미터 $sw^{z[i]}$ 가 얼마나 민감하게 반응하는지를 확인하는 것이 여의치가 않다. 그러나 선호도 파라미터 혹은 로짓모형의 가중치 벡터는 앞으로 매년 각 차종별 보급량이 바뀌는 모습에 본고가 제시하는 방법을 적용해 새로이 추정할 수 있으며, 이 과정을 수년간 반복할 경우 이들 파라미터의 변화추세와 행태에 대한 예측이 상당한 정도 가능하고, 이를 토대로 보다 신뢰도 있는 향후 차종 점유율 변화와 에너지 사용량 변화를 전망하는 것이 가능하게 된다.

10) 선호도 파라미터는 또한 친환경자동차에 대한 적극적인 홍보에 의해 높아질 수도 있고, 친환경자동차의 보급률이 일단 높아진 후 일종의 네트워크 외부효과(network externality)가 발생해 추가로 높아질 수도 있다.

전기자동차 등의 선호도 파라미터 $SW^{(i)}$ 의 향후 변화를 예측함에 있어 추가 연구도 기획하여 시행할 수가 있을 것인데, 예를 들면 비가격적 특성의 변화를 가격변화에 반영할 수 있는 체계적인 방법을 고안하거나, 아니면 설문조사를 활용하는 선택실험(choice experiment)을 실행하여 설문에서 시나리오로 제시된 친환경자동차의 편의성 증대가 응답자의 차종선택에 어떤 영향을 미치는지를 분석하고, 그 결과를 활용해 $SW^{(i)}$ 벡터를 조정하는 방법 등도 사용할 수 있을 것이다.

아울러 이상 본고가 제시하는 분석결과는 향후 전기차나 수소차와 같은 친환경자동차의 보급률을 높임에 있어 차량구입가격이나 연간 운행비의 절감과 같은 가격적 요인을 통해 보급 확대를 유도하는 데에는 한계가 있고, 친환경차량 자체에 대한 선호도를 높이고 비가격측면에서의 편의성을 제고하는 것이 매우 중요하다는 점도 보여준다.

VI. 요약 및 결론

본고는 자가용 부문의 에너지 사용량 전망과 정책효과 분석에 활용될 수 있도록 전체 자가용 차량을 승용차, 승합차, 소형트럭의 3가지 유형으로 구분하고, 각 유형별로 다시 20, 5, 7가지 세부 차종을 각각 구분하여 총 32개 차종의 선택문제와 연간운행거리결정을 분석할 수 있는 모형을 시험적으로 개발하여 제시하였다. 자동차의 차령분포와 구입가격, 연료비/세금 등의 운용비용, 연비변화 등을 반영해 차종별 연간비용을 도출하고, 이 비용이 차종별 선택비중에 미치는 영향을 분석하였고, 이를 위한 이론적 근거와 계량경제학적 추정결과를 제시하였다. 또한 운행거리 역시 주요 경제변수에 의해 내생적으로 결정되도록 하였고, 차령분포와 연비변화로 인한 에너지 효율성변화가 최종 에너지 소비량에 미치는 영향도 반영하였다.

본고가 제시하는 모형은 현재 우리가 이용할 수 있는 자료를 최대한 활

용하면서도 매년 자동차시장의 동향변화를 반영해 비교적 쉽게 개선할 수 있는 구조를 가지고 있고, 따라서 지속적인 운영 및 보관을 통해 수송부문 정책도입 등이 에너지 소비량과 온실가스 및 대기오염물질 배출에 미치는 영향을 전망하는 데 활용될 수도 있을 것이다.

본고의 모형을 시험 가동한 결과 인구감소와 연비개선, 그리고 정부의 친환경자동차에 대한 지원정책 등으로 인해 향후 자가용부문 에너지소비량은 장기적으로는 어느 정도 감소할 것으로 전망된다. 그러나 전기차나 수소차와 같은 친환경자동차의 보급률을 현저히 높이기 위해서는 가격측면의 인센티브만으로는 불충분하고, 충전소의 증가나 1회 충전 후 주행거리 확대와 같은 자동차 자체의 사용 편의성을 높이는 비가격적 인센티브의 역할이 중요함도 확인된다. 본고는 또한 그러한 비가격적 요소의 변화가 차종선택에 미치는 영향을 계량적으로 파악하기 위한 추가 연구방향도 제안하였다.

■ 참고문헌 ■

- 김봉진, 2015, “보조금과 수소가격을 고려한 국내 연료전지차의 경제성 분석,” 『한국수소 및 신에너지학회 논문집』, 26(1), pp.35-44.
- 김승연·이상립·이지웅, 2017, “전기자동차 보급으로 인한 2030년 온실가스 감축량 추정,” 『환경정책』, 25(4), pp.39-61.
- 이홍림·권오상, 2017, “산림의 임상구조 결정요인 분석과 기후변화에 따른 임상구조 변화 예측,” 『자원·환경경제연구』, 26(2), pp.229-255.
- Aitchison, J., 1982, “The statistical analysis of compositional data,” *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 44(2), pp.139-177.
- Clarke, J. F. and J. A. Edmonds, 1992, “Modelling energy technologies in a competitive market,” *Energy Economics*, 15(2), pp.123-129.
- Energy Information Administration (EIA), 2009, *The national energy modeling system: An overview 2009*, Washington, DC: DOE/EIA.
- Fridstrom, L. and V. Østli, 2016, *Vehicle fleet forecasts based on stock-flow modeling*, Institute of Transport Economics, Norwegian Centre for Transport Research.
- Fry, J. M., T. R. Fry, and K. R. McLaren, 1996, “The stochastic specification of

demand share equations: Restricting budget shares to the unit simplex,”
Journal of Econometrics, 73(2), pp.377-385.

International Energy Agency (IEA), 2017a, *Energy technology perspectives 2017: Scenarios & strategies to 2050*, Paris: OECD/IEA.

_____, 2017b, *World energy model documentation*, Paris: OECD/IEA.

Mishra, G. S., P. Kyle, J. Teter, G. M. Morrison, S. Kim, and S. Yeh, 2013, *Transportation module of global change assessment model (GCAM): Model documentation*, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis.

권오상: 미국 University of Maryland at College Park에서 농업 및 자원경제학 박사학위를 취득하고 서울대학교 농경제사회학부 교수로 재직 중이다. 현재 환경정책의 계량경제분석과 기후변화의 경제학 등에 관심을 가지고 있으며, 저서로 『환경경제학』(박영사), 『농·식품경제원론』(공저, 박영사)이 있고 다수의 환경경제관련 논문을 발표하였다 (kohsang@snu.ac.kr).

한지연: 서울대학교 농경제사회학부를 졸업하고 현재 대학원에 재학 중이다. 주요 관심 분야는 환경정책, 기후변화 정책의 경제적 분석 등이다(rab1011@snu.ac.kr).

박현정: 환경부 온실가스종합정보센터에서 사무관으로 재직 중이다. 수송부문 중·장기 온실가스 배출 전망, 감축 모형 분석, 감축 이행 모니터링 및 이행평가 관련 연구를 수행하고 있다.

정예지: 환경부 온실가스종합정보센터에서 전문위원으로 재직 중이다. 수송부문 중·장기 온실가스 배출 전망, 감축 기술·정책 조사, 기술DB 구축 관련 연구를 수행하고 있다.

투 고 일: 2018년 01월 13일
 심 사 일: 2018년 01월 29일
 게재확정일: 2018년 03월 22일