

전기 및 수소차 보급 확산의 환경적·경제적 영향분석: 계산가능일반균형모형(CGE)의 적용[†]

한택환* · 임동순** · 김진태***

요약: 본 연구는 정태적 계산가능일반균형 모형을 사용하여 전기 및 수소차 도입이 국내총생산과 이산화탄소 배출 등에 미치는 영향을 분석하고 평가하였다. 전기 및 수소차 확산이 경제에 미치는 영향에 대한 기존의 견해는 투입구조가 투입절약적으로 변화하기 때문에 경제에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 견해와 전기 및 수소차의 투입절약적 기술진보가 경제에 긍정적인 영향을 준다는 견해가 병존하고 있다. 또한 전기 및 수소차 도입이 가져올 이산화탄소 배출에 관하여서도 분명한 결론은 부재하다. 본 연구는 이러한 전기차·수소차의 환경적·경제적 영향에 대한 견해의 불일치에 대한 하나의 답을 모색하기 위한 시도이다. 본 연구는 전기차 및 수소차가 자동차산업 내에서의 확산에 대한 Bass 모형의 결과를 계산가능일반균형모형(CGE)에 충격으로 통합시키는 방식의 접근을 취하였다. 자동차산업과 자동차 사용 산업의 투입계수와 에너지 최종수요의 변화를 충격으로 주는 계산가능일반균형모형 분석을 통하여 경제·환경적 영향을 추정된 결과 전기차는 이산화탄소 배출 면에서 부정적인 영향을 주고 반면에 수소차는 이산화탄소 배출을 감소시키며, 국내총생산 면에서는 전기차와 수소차 공히 긍정적인 영향을 가져오는 것으로 나타났다. 수소차는 전기차보다 이산화탄소와 국내총생산 면에서 우위를 가지고 있는 것으로 나타났다. 전기차·수소차의 이산화탄소 배출량 변화패턴은 다음과 같이 설명된다. 자동차 사용부문 이산화탄소 배출 측면에서 전기차는 배출량 소폭 증대, 수소차는 소폭 감소라는 상반된 결과를 보인다. 그러나 전기차 수소차 공히 자동차 제조 관련 부문에서의 이산화탄소 배출이 증대하는 것으로 나타나고 있으나 이 증가 폭이 자동차 사용부문에서의 변화의 크기보다 상당히 작다. 전기차·수소차의 이산화탄소 배출 패턴은 이 두 가지 효과가 결합하여 나타난 것으로 해석된다.

주제어: 전기차, 수소차, 계산가능일반균형모형(CGE), 투입계수, 확산, 이산화탄소, 국내총생산

JEL 분류: C68, Q54

접수일(2018년 9월 20일), 수정일(2019년 4월 24일), 게재확정일(2019년 5월 1일)

[†] 본 논문은 저자들이 참여한 연구보고서인 한국가스공사, 수소 및 전기차 본격 도입이 국내 수송용 유류세 부과와 국내 탄소 배출에 미치는 영향분석, 연구용역보고서, 2017년의 내용을 전면 재작성한 것임을 밝혀둔다. 그러나 본 연구의 결론은 한국가스공사와는 무관하며, 전적으로 저자들의 개인적인 견해이다. 본 논문은 2018년 8월 27일의 한국환경경제학회 하계학술대회에서 발표된 논문을 수정, 보완한 것이다.

* 서경대학교 금융경제학과 교수, 제1저자(e-mail: twhan@skuniv.ac.kr)

** 동의대학교 경제학과 교수, 교신저자(e-mail: dslim@sdeu.ac.kr)

*** KAIST 경영대학원 지식발전연구소 연구원, 공동저자(e-mail: kimjintae9011@kaist.ac.kr)

Environmental and Economic Impact of EV and FCEV Penetration into the Automobile Industry: A CGE Approach[†]

Taek-Whan Han*, Dongsoo Lim**, and Jintae Kim***

ABSTRACT : This paper analyzed the impact of the penetration of EV(electric vehicle) and FCEV(fuel cell electric vehicle) into the automobile industry, using a static CGE approach. There are contrasting view on the economic impact of EV/FCEV penetration: negative economic impact due to shrunken intermediate inputs versus positive impact because of input saving technical progress. Regarding environment, there is no clear consensus whether EV or FCEV will contribute to the reduction of CO₂ emissions in Korea. This study attempts to provide an answer to these questions. By giving shocks to the input coefficients of automobile industries and automobile using sectors, as well as to the final demands for energies. we integrated the Bass diffusion model into the CGE framework, The result suggests that the EV penetration has adverse impact on the CO₂ emission while the FCEV penetration has positive impact. On the other hand, both EV and FCEV have positive impacts on GDP. When considering automobile manufacturing sectors only, adverse impacts on CO₂ are demonstrated both for EV and FCEV. However, since the size of CO₂ increase is small, these results does not alter the overall effects.

Keywords : EV, FCEV, CGE, input coefficient, penetration, CO₂, GDP

Received: September 20, 2018. Revised: April 24, 2019. Accepted: May 1, 2019.

[†]This paper is derived form the research project, Korea Gas Corporation, *A Study on the Impact of Hydrogen and Electric Vehicles on the Fuel Tax Revenues and GHG Emission in Korea*, 2017. However, the method, implication and conclusion of this paper differs significantly from this project and the views of Korea Gas Corporation. The earlier version of this paper was presented in the Korea Environmental Economics Association Summer Conference, August 27, 2018.

* Professor, Department of Economics and Finance, SeoKyeong University, First author(e-mail: twhan@skuniv.ac.kr)

** Professor, Department of Economics, Dongeui University, Corresponding author(e-mail: dslim@sdeu.ac.kr)

*** Researcher, Sustainable Development Research Center, College of Business, KAIST, Co-author(e-mail: kimjintae9011@kaist.ac.kr)

1. 서론

1. 연구의 배경, 목적 및 방법론

최근 전기차를 비롯한 친환경자동차의 확산이 가속되고 있고 자동차산업이 경제와 환경에 미치는 영향의 크기를 볼 때 이러한 추세는 환경과 경제에 구조적인 변화를 가져올 것으로 전망된다. 우리나라에서 전기차는 2010년 60대, 2016년 10,770대로 빠르게 증가하고 있지만, 신차 판매량 중 전기차 판매량은 0.34%이고 등록 차량의 약 1% 수준으로 확산이 지지부진한 상태이다. 우리나라는 친환경자동차 보급 확산을 위해 5년마다 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 기본계획」을 수립하고 있다. 2015년 발표된 제3차 계획은 미세먼지 특별대책으로 인해 당초 목표보다 상향조정되어 2020년까지 25만 대 보급을 목표로 하고 있다. 전기차와 수소차의 확산은 아직까지는 부진하지만 가까운 장래에 그 보급률이 확대되는 가능성이 있다. 그러므로 전기차와 수소차의 확산이 이산화탄소 배출에 미치는 영향과 경제적 영향에 대하여 분석할 필요성이 대두되고 있다. 전기차와 수소차가 환경과 경제에 미치는 영향에 대한 분석은 에너지 수요의 변화와 투입산출 관계를 모두 고려하여야 한다.

전기차 및 수소차 확산이 경제에 미치는 영향에 대하여서는 투입구조가 투입 절약적으로 변화하기 때문에 경제에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 견해와 오히려 투입의 감소는 효율성의 증대를 의미하며, 신기술의 확산은 투자와 소비의 진작을 통하여 경제에 긍정적 영향을 준다는 견해가 병존하고 있다. 한편 전기차 및 수소차의 확산이 이산화탄소 배출 등 환경에 미치는 영향에 대하여서도 통일된 견해는 부재하다.

본 연구는 이러한 전기차 수소차의 확산에 따른 에너지 이용의 변화와 자동차 산업에서의 투입 절약적 기술변화가 가져올 환경적·경제적 영향에 대한 견해의 불일치에 대한 하나의 답을 모색하기 위한 시도이다. 본 연구는 계산가능일반균형모형(Computable General Equilibrium, CGE)을 방법론으로 채택하였다. 산업연관분석 모형은 전·후방 연관 효과가 큰 자동차산업, 즉 전기 및 수소차 확산에 따른 경제적 파급효과를 추정하는데 있어 장점이 있으나 기술의 변화와 최종수요의 변화에 따른 가격변화와 그에 따른 효과를 파악할 수 없는 단점이 있다. 반면에 부분균형모형(Partial Equilibrium Model)은

전·후방 연관 효과에 대한 고려가 부족한 단점이 있다. 계산가능일반균형모형(CGE) 접근은 이 단점들을 상당 부분 해소해 주는 이점이 있다. 본 연구는 전기차 및 수소차가 자동차산업 내에서의 비중을 확산시켜나갈 때 자동차산업과 운송서비스산업의 투입계수와 에너지 최종수요의 변화를 충격으로 주는 계산가능일반균형모형 분석을 통하여 그 경제·환경적 영향을 추정하고 그 시사점을 도출하였다.

2. 전기 및 수소차의 개요

친환경자동차(CEVs: Clean Energy Vehicles)에는 다음과 같은 종류가 있다. 배터리 전기차(BEV: Battery Electric Vehicle)는 충전 가능 배터리에 의하여 구동되는 자동차를 말한다. 통상 그냥 전기차라고 지칭하기도 한다. 하이브리드 자동차(HEV: Hybrid Electric Vehicle)는 배터리와 화석연료 엔진을 모두 사용하는 자동차이다. 배터리는 자체충전기능만 가지며 외부로부터의 전력 충전은 불가능하다. 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV: Plug-in Hybrid Vehicle)는 하이브리드 자동차로서 외부로부터 전력 충전이 가능한 자동차이다. 수소연료전지 자동차(FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle)는 수소를 연료전지에 주입하여 생성된 전기로 구동되는 자동차이다.

수소차는 수소연료전지 자동차뿐만 아니라 수소내연기관 자동차(Hydrogen internal combustion engine vehicle)도 있지만, 실질적인 대안으로 인정받고 있지는 못하다. 본 논문에서 수소차란 수소연료전지 자동차(FCEV)를 지칭하며, 수소를 직접 내연기관의 연료로 사용하는 수소내연기관 자동차는 제외된 개념이다. 한편, 본 논문에서 전기차(EV)는 배터리 전기차(BEV)로 정의하였다. 수소차의 연료인 수소의 공급은 도시가스를 기존의 액화석유가스 충전소에 연결하여 천연가스 개질(Steam Methane Reforming)을 통하여 생성된 수소를 수소차에 주입하는 방안을 가정하였다.¹⁾

1) 이러한 방안은 한국가스공사에서 구상 중인 방안으로서 상당한 현실성을 가진다고 볼 수 있다. 한국가스공사 (2017) 참조.

〈표 1〉 전기차와 수소차의 개관

구분	전기차(EV)	수소차(FCEV)
연료	전기로 주행	수소연료전지에서 발생한 전기
연료 공급	기존 전력망을 통한 전기	1) 물 전기분해 2) 부생수소 공급 3) 개질 수소 공급
구동 기관	모터만으로 주행	
CO ₂ 배출	주행 중 없음 (발전 전원구성에 따라 상이)	주행 중 없음 (수소 제조과정에서는 발생함)
장점	친환경적 운전조작이 간편	친환경적 높은 에너지 효율 전기차 대비 충전시간이 짧음
단점	대형차에 적합지 않음 전지 수명이 짧음	연료전지의 백금 가격이 비쌘
개발 과제	전기 충전 인프라 구축 및 기술 개발 배터리 성능 향상 및 가격경쟁력	수소 충전 인프라 구축 고가의 부품가격 인하

주: 수소차의 연료공급 대안 중 물의 전기분해와 부생수소 공급은 본 연구에서는 제외된 대안임.

II. 전기차 및 수소차 확산의 경제적 영향에 관한 선행연구 소개와 방법론의 모색

1. 주요 선행연구 분석

전기차 및 수소차의 사용 확대의 경제적·환경적 영향을 분석하는 연구는 산업연관분석모형, 계산가능일반균형모형, 그리고 거시 및 부분균형 모형 등 기타 방법론을 사용한 연구의 3그룹으로 구분될 수 있다.

산업연관분석 모형으로는 Leurent and Windisch(2015), Oaswa and Nakano(2015, 2016) 등의 연구가 있다. Leurent and Windisch(2015)은 산업연관분석에 기반한 모형을 통하여 전기차(Electric Vehicle, EV) 확산으로 인하여 내연기관 중심의 기존 자동차(Conventional Vehicle, CV) 산업이 전기자동차의 투입구조로 변화하는 것을 가상적으로 상정하여 그 영향을 분석하였다. Leurent and Windich(2015)은 전기자동차의 핵심 부품인 배터리의 가격하락과 전기자동차의 조립이 내연기관 자동차보다 제조가 쉽다는

점을 반영하여 새로운 투입계수를 추정하였다. 부가가치 투입비율의 변화가 없고 기존의 내연기관 자동차 위주의 산업이 100% 전기차 위주의 산업으로 대체된다고 가정할 때, 자동차 산업에서 전기 및 전자 산업의 투입이 2.2%에서 43.7%로 변하는 것으로 추정하였다. 또한 이와 같은 방식으로 추정된 투입계수를 바탕으로 내연기관 자동차에서 전기자동차로 대체될 때 최종수요 변화로 인한 생산, 고용, 세금 파급효과를 분석하였다. 파급효과 계산 결과 자국에서 전기자동차가 생산되고 수출되는 시나리오에서 전기자동차 확대가 국민경제에 긍정적인 영향이 있는 것으로 분석되었다. 반면 국내에서 생산된 내연기관 자동차가 수입된 전기자동차로 대체되는 시나리오에서는 국민경제에 상당 수준 부정적으로 미치는 것으로 분석되었다. Leurent and Windisch(2015)의 연구 결과는 국내총생산뿐 아니라 조세 및 재정지출에도 초점을 두고 있으며 사회 후생적 측면을 강조하고 있다. Leurent and Windisch(2015)은 자동차산업이 전기자동차 산업으로 완전히 대체되는 것을 전제로 새로운 투입산출표를 만들고 이때 최종수요 1단위가 증가할 때 그로부터 발생하는 파급효과를 비교하는 방식을 사용하였다.

Oaswa and Nakano(2015)는 배터리 전기차(BEV), 하이브리드 자동차(HEV), 플러그인 하이브리드자동차(PHEV), 수소차(FCEV) 등 다양한 친환경자동차(CEVs: Clean Energy Vehicles)의 확산으로 경제에 미치는 파급효과를 산업연관표(Input-Output Table)를 사용하여 2020년 및 2030년의 CEVs의 생산량과 수송부문 에너지 가격 등을 분석한 연구이다. 연구에 따르면 전기자동차(EV) 확산으로 인하여 배터리, 모터, 인버터부품이 증가하게 되며 엔진과 내연기관 차량에 적용되는 전기 및 전자장비, 연료탱크 등이 감소한다고 분석하였다. 또한 수소자동차(FCEV) 확산으로 인해 배터리, 모터, 인버터, 수소탱크, 연료전지 등 부품이 증가한다고 보았으며 엔진 및 연료탱크 부품이 감소한다고 보았다. 하이브리드 자동차 및 플러그인 하이브리드 자동차 투입의 경우 감소되는 제품 없이 모터 인버터 등 제품만이 증가한다고 분석했다. Oaswa and Nakano(2016)는 또한 친환경자동차의 도입으로 인하여 교통부문의 환경적 효율성이 개선되지만 전 수명주기에 걸친 고용영향은 2030년에 일본에서 37,000명의 고용감소를 가져올 것으로 예측하였다.

Oaswa and Nakano(2015, 2016)는 가솔린 자동차, 디젤자동차, 천연가스 자동차 등 기존 내연기관 자동차와 청정디젤자동차, 전기자동차, 하이브리드 자동차, 플러그인 하

이브리드 자동차, 연료전지(수소)자동차 등 8개로 재분류하였다. 그리고 각 자동차 유형별로 승용차, 트럭, 버스의 3개 차종이 매치되므로 24개의 자동차 산업으로 분류하였다. Oaswa and Nakano(2016)는 이 24개 자동차산업별로 최종수요 변화에 따른 생산유발계수를 계산하였으며 고용유발계수도 계산하였다. 이 방법론을 Leurent and Windich(2015)의 방법론과 비교해 보자. Leurent and Windisch(2015)는 자동차산업이라는 분류를 그대로 두고 투입계수를 변화시켜서 기존 자동차가 전기자동차로 완전히 대체되는 상황을 전제하여 2개의 별개의 산업연관표를 만들고 여기에 자동차 혹은 전기자동차 산업의 최종수요 1단위 증가가 가져오는 유발효과를 비교하는 방식을 사용하였다.

반면, Oaswa and Nakano(2015, 2016)의 방식은 전기차 수소차 등 친환경자동차의 투입산출구조의 재분류에 따라 미세한 결과의 차이를 가져올 수 있는 오류를 내포하고 있다고 생각된다. 또한 전기차나 수소차의 현재 투입산출구조를 기존의 투입산출표로부터 작성하는 것 자체가 지난한 작업이다. 더군다나 일본과 같이 친환경차의 생산액이 일정 수준에 있지 않은 우리나라의 경우 전기차나 수소차에 대한 산업재분류는 거의 불가능한 작업이라고 할 수 있다. 따라서 Oaswa and Nakano(2015, 2016)의 방법론보다는 기존의 자동차산업에서 투입구조가 변화해가는 방식이 오류의 가능성이 더 낮을 것으로 판단된다.

계산가능일반균형 모형을 적용한 연구로는 Schmelzer and Miess(2015)와 Miyata et al.(2014)이 있다. Schmelzer and Miess(2015)는 오스트리아의 전기자동차 보급 목표의 경제적 비용을 평가한 연구로 비용에는 세수 변동 및 정부 예산에 미치는 영향, 국내총생산에 미치는 영향이 포함되어 있다. 동 연구는 이산선택모형을 에너지-경제 혼합 계산가능일반균형모형에 포함한 모형을 사용하여 기존 자동차에 대한 고가의 대안 차종을 구매 의사결정에 합리적으로 포함하는 모형을 구축하였다. 이는 자동차라는 재화를 기존 자동차와 전기차 등으로 이루어진 복합재(Composite good)로 보는 발상이며 복합재의 구성을 결정하면서 이산선택모형을 도입하고 있다. 기준 전망치(Business-As-Usual) 시나리오(2008~2030년)에서는 전기차 관련 부문의 투자가 미치는 영향은 국내총생산에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 하지만 내연기관에서 전기차로 소비자의 선호가 바뀌면서 정부의 세수는 감소하게 되는 것으로 나타났다. 본 연구는 전기차에 대한 보조금이나 유류세 감소로 인한 재정 부족은 사회 후생의 감소로, 즉 경제적 비용의

하나로 보고 있다. 이 연구에서는 사회회계행렬(SAM: Social Accounting Matrix)을 구축하면서 기존 자동차와 전기자동차의 투입산출구조의 이질성을 어떻게 처리하였는지 가 분명히 나와 있지 않다. 한편 Schmelzer and Miess(2015)는 전기차가 고가이며, 전기차 도입으로 인하여 평균적인 자동차 가격이 상승하고 따라서 여타 소비에 부정적 영향을 주는 것으로 분석하였다. 고가인 전기차의 소비는 모형 내에서 주로 기존 자동차의 연료에 대한 세율을 인상시켜서 전기차의 소비를 촉진하는 것으로 처리하였다.

Miyata et al.(2014)은 일본 도요다 자동차 회사가 있는 일본의 도요하시시(豊橋市 Toyohashi-shi)의 경제에 전기자동차 도입이 가져올 영향을 계산가능일반균형 모형을 통하여 분석하였다. 모형에서 산업은 38개 부문으로 이루어져 있는데 여기에는 일반 자동차제조업, 전기자동차 제조업, 일반 자동차 운송서비스업, 전기자동차 운송서비스업 등이 포함되어 있다. 충격은 전기자동차 제조업과 전기자동차 운송서비스업, 태양광발전, 열병합발전, 기타운송업 등 5개 부문에 5~25%의 보조금을 부여하는 방식으로 주어졌다. 분석결과는 국내총생산은 미세하게 상승하지만, 이산화탄소 배출이 감소하는 것으로 나타났다. 여기서 보조금의 비용은 명확하게 고려되지 않았지만, 보조금 지급으로 인한 세수의 감소와 그에 부수된 공공서비스의 감소는 후생감소로 해석될 수 있을 것이다.

여타 연구로 Bjertnaes(2013)와 Gherzi(2015)가 있다. Bjertnaes(2013)은 노르웨이의 전기차 구매 세율을 8% → 37%로 약 680~880유로(약 85만~110만 원) 수준으로 변화시켰을 때 장기적으로 전기차 구매감소로 인하여 온실가스가 증가할 수 있다고 분석하였다. Bjertnaes(2013)은 전기차에 대한 조세 지원확대가 온실가스의 배출량을 줄인다고 하였으나 이는 분석대상인 노르웨이의 전원구조를 전제로 한 것임을 유념해야 한다. Bjertnaes(2013)의 방법론은 CES 효용함수를 설정하여 다섯 개의 차종(플러그인 하이브리드 자동차, 디젤자동차, 전기자동차, 수소자동차, 휘발유자동차)에 대한 수요함수를 추정하고 이에 대하여 조세 변화의 효과를 추정한 것이다. 이러한 연구는 소비자들의 행태에 대한 부분 균형적 접근이며 이로부터 온실가스 배출량 등 경제적 환경적 영향을 예측할 수 있다. 그러나 이러한 방법론은 직접적인 영향만을 추정하는 것이지 투입-산출 관계에 의한 파급효과를 추정하지 못하며 또한 가격기구를 통한 일반균형적인 측면도 고려할 수 없다. 또한 Gherzi(2015)는 일종의 다 부문 거시경제 모형(IMACLIM-P model)을 통하여서 전기자동차의 도입이 경제 성장에 가져오는 영향을 분석하였다. 비

관적 시나리오 하에서 전기차의 도입은 유럽의 경제에 미세하게 부정적인 영향(-0.17%)을 줄 것으로 예측하였다. 한편 낙관적인 전망에서는 오히려 국내총생산이 비슷한 비율로 증가하는 것으로 전망되었다. 낙관과 비관 시나리오는 주로 EU산 전기차의 경쟁력과 그에 따른 수입 비중 및 수출 비중과 관련된 것이다. 따라서 기존의 수출입 패턴이 유지된다고 보면 전기차의 경제 성장에 미치는 영향은 거의 없다고 볼 수 있을 것이다.

이상의 선행연구를 주제별로 정리하면 다음 표와 같다.

〈표 2〉 선행연구의 주요 내용

연구 유형	논문	주요 내용
산업연관 분석	Leurent and Windisch (2015)	기존 자동차가 전기차로 100% 변환될 때의 투입계수를 추정하고 두 상황에서의 자동차 최종수요 충격에 대한 유발효과 비교분석. 전기차로의 변환은 수출증대가 없으면 경제에 부정적 영향.
	Oaswa and Nakano (2015, 2016)	자동차산업을 전기차, 수소차 등으로 상세하게 재분류한 투입산출표를 작성하여 최종수요에 충격주어 파급효과 비교분석. 고용에는 부정적 영향을 주고 환경 효율성은 개선될 것으로 분석.
계산가능 일반균형 모형	Miyata et al. (2014)	일반 자동차제조업, 전기자동차 제조업, 일반 자동차 운송서비스업, 전기자동차 운송서비스업 등을 별도로 분류하여 계산가능일반균형 모형 구축하고 여기에 보조금 지급 시의 결과를 시뮬레이션하여 국내총생산은 미세하게 상승하며 이산화탄소는 감소하는 것으로 나타남.
	Schmelzer and Miess (2015)	이산선택모형과 계산가능일반균형모형의 결합으로 전기차로의 전환이 오스트리아의 국내총생산에 긍정적 영향을 주는 것으로 분석.
부분균형 분석 및 거시 모형	Bjertnaes (2013)	여러 차종에 대한 CES 효용함수를 설정한 부분균형접근으로 전기차의 세율 인상이 노르웨이의 온실가스 배출을 증대시킨다고 분석.
	Gherzi (2015)	일종의 거시경제 모형인 IMACLIM-P를 통하여 분석한 결과 전기차도입이 유럽경제에 미치는 영향은 중립적인 것으로 나타남.

2. 선행연구와 본 연구의 관련성

본 연구는 전기 및 수소차산업을 처리하는 방식에서는 Leurent and Windisch(2015)의 기존 자동차의 투입구조를 변화시키는 방법을 변형시켜서 사용하기로 한다. Leurent and Windisch(2015)는 자동차산업의 투입구조가 완전히 전기차 산업으로 변화되는 것을 전제로 두 개의 다른 투입구조를 가지는 자동차산업의 최종수요 변화에 따른 생산유

발액을 구하였다. 또한 실제로 높은 전기차 및 수소차의 원가가 보조금 및 지원정책 등에 의하여 낮은 실효 가격을 인위적으로 유지하게 되어 있는 문제를 모형에서 처리하는 방식도 Leurent and Windisch(2015)의 방식대로 전기차의 가격이 내연기관 자동차보다 높지만, 자동차산업의 산출액을 같이 설정하고 투입계수만 변화시키는 방식으로 처리하였다.²⁾ 본 연구는 Leurent and Windisch(2015)과는 달리 기존의 자동차 산업 내에서 전기차가 확산해가는 것을 투입계수와 최종수요에서 자동차산업 내에서 전기 및 수소차의 비중이 확대되는 방식으로 처리하였다. 그러나 본 논문은 Leurent and Windisch(2015)이나 Oaswa and Nakano(2015, 2016)가 가격기구를 통한 영향이라는 중요한 점을 놓치고 있는 점을 고려하여 계산가능일반균형모형 접근을 채택하였다.

본 논문은 계산가능일반균형모형을 채택함으로써 유사한 연구들이 채택하고 있는 산업연관분석 기반 모형보다는 한 단계 진전되었다고 주장할 수 있다. 왜냐하면, 투입구조의 변화 특히 투입 절약적 기술진보는 산업연관모형을 바탕으로 분석하면 산출의 감소로 나타날 수밖에 없다. 그러나 투입 절약적 기술진보가 경제에 부정적 영향을 줄 수 있는가? 물론 해당 산업에 대한 직접적인 투입산업들은 산출이 감소할 것이지만 이는 효율의 향상이며 해당 산업의 매출 증대로 이어질 것이다. 또한 해당 산업의 제품을 사용하는 많은 산업은 원가절감의 혜택을 누릴 것이다. 당연히 단순한 산업연관모형은 이러한 요인들을 고려할 수 없으며 이러한 요인들을 산업연관분석에 기반을 두어 분석하려면 매우 복잡하고 여러 가지 가정을 수반한 과정을 거쳐야만 할 것이고 이러한 분석과정은 계산가능일반균형 모형이 대체로 훨씬 일반적이고 정밀한 방식으로 수행할 수 있다.

III. 연구의 구성과 방법론

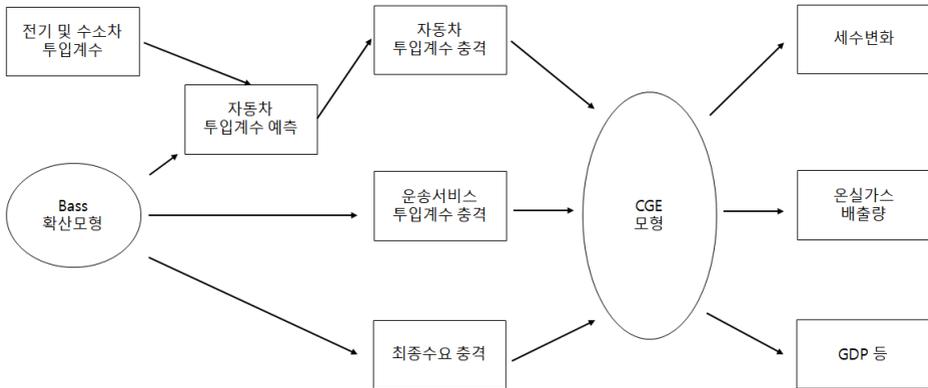
1. 연구의 구성

본 연구는 계산가능일반균형모형을 기반으로 하여 전기 및 수소차 확산이 국내총생산, 이산화탄소 배출, 주요 상품의 가격 등에 미치는 영향을 분석할 수 있는 모형을 구축

2) 이 방법은 실제로는 높은 전기차의 가격을 인위적으로 낮추는 문제를 일으킨다. 실제로 가격을 이렇게 낮추려면 보조금이 지급되어야 하며 보조금은 사회적 비용을 발생시킨다. Leurent and Windisch(2015)는 이 문제를 부분적으로 분석하고 있다.

하였다. 전기 및 수소자동차의 보급에 따른 경제적 영향분석의 근본적인 문제점은 현재 산업연관표상 전기차나 수소차가 별도로 분류되어 있지 않을 뿐만 아니라 실제로 수소차와 전기차의 생산이 0에 가깝다는 것이다. 통상적으로 산업을 재분류하여 ‘전기차산업’이나 ‘수소차산업’을 만드는 방식의 접근은 불가능하다. 본 연구에서는 투입계수 및 최종수요 계수에 충격을 주는 방식으로 접근하고자 한다. 보조금 충격으로 주어 수요를 견인하는 영향을 분석하는 방식의 접근도 산업연관표상 전기 및 수소차산업이 존재하지 않기 때문에 곤란하다. 그러므로 보조금이나 조세감면 등의 가격요인을 직접 충격으로 부여하지는 못하고 보조금 조세감면 및 각종 지원정책의 결과로 전기차 및 수소차가 자동차 산업 내에서 그 비중을 증대시켜나가는 확산모형을 구축하여 이를 충격으로 사용하기로 한다. 따라서 본 연구에서는 보조금 지급에 따른 전기차와 수소차의 수요증대 효과와 그에 부수된 정부지출의 증가효과가 모형에서 고려되지 않고 있다.³⁾ 논문의 전체적인 구조는 다음 <그림 1>과 같다.

<그림 1> 본 논문의 구조



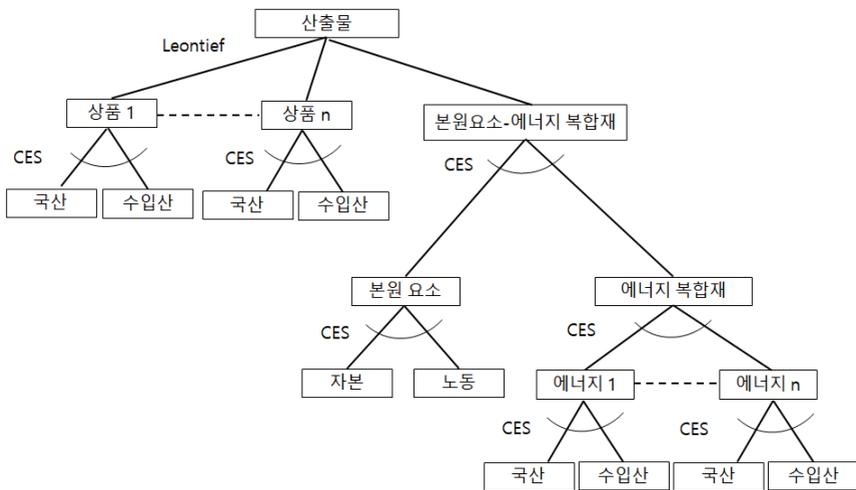
2. 계산가능일반균형 모형의 구축

본 논문에서 사용된 계산가능일반균형 모형의 구조는 다음과 같다. 일국에서 생산되는 각 산업의 산출량은 사용된 투입량의 함수이다. 이는 다음 <그림 2>처럼 일련의 계층

3) 보조금이 고려되지 않고 있는 것은 그러나 큰 문제는 없고 오히려 장점도 있다. 그 이유는 후술하였다.

구조로 묘사할 수 있다. 산출량은 중간투입 복합재와 에너지-본원요소복합재의 레온티에프 함수이다. 각 중간투입 복합재는 아밍턴 함수에 의하여 결정되며 이는 중간재로 투입되는 상품이 무역을 통해서 수입재화가 국산재화를 완전하게 대체할 수 없다는 것을 가정하고 있다. 에너지 복합재는 노동-자본의 복합재인 본원요소 복합재와 결합하여 에너지-본원요소 복합재로 구성된다. 생산함수에서 에너지 복합재와 본원요소 복합재의 대체관계를 고려하면 에너지 가격 상승으로 인한 충격을 대체를 허용하지 않았을 때보다 완화할 수 있다는 장점이 있다.⁴⁾

〈그림 2〉 생산의 계층적 구조



자료: Yusuf and Resosudarmo (2007).

생산함수 상위에 있는 상품은 중간재 복합재(X_S)와 에너지-본원요소 복합재($XPRIME$)의 Leontief 함수로 식 (1)과 같은 형태로 반영이 된다. 이때 i 는 상품, s 는 수

4) 에너지를 CES 복합 본원 생산요소의 구성요소로 설정한 본 모형 대신 레온티에프 투입요소의 하나로 넣고 분석하는 대안도 있을 수 있다. 이렇게 모형을 구성하는 것은 에너지와 자본 및 노동 간의 대체 탄성치가 0이라고 가정하는 것으로서 이러한 가정도 분석 목적에 따라 타당하다고 생각된다. 실제로 연구의 중간단계에서는 에너지를 레온티에프 투입요소로 놓고 계산가능일반균형 분석을 한 결과 이산화탄소 배출과 국내총생산이 다 같이 감소하는 것으로 나타났다. 단기적으로는 레온티에프 가정이 더 타당하고 장기적으로는 대체성을 부여하는 가정이 더 타당하다고 생각된다. 본 연구에서 에너지를 레온티에프 투입요소가 아닌 CES 생산요소로 간주하고 대체성을 부여한 것은 본 연구가 전기차 및 수소차의 확산이라는 장기적인 문제를 다루고 있기 때문이다.

입 및 국산, j 는 산업을 의미한다. 만약 $A(j)$ ⁵⁾변수가 $x\%$ 만큼 감소한다면 X_S 와 $XPRIME$ 가 $x\%$ 만큼 감소하게 된다.

$$X(j) = \frac{1}{A(j)} \times \min \left[\frac{X_S(i,j)}{A_S(i,j)}, \frac{XPRIME(j)}{APRIME(j)} \right] \quad (1)$$

$X(j)$ = j 산업 산출물

$A(j)$ = j 산업 투입계수

$X_S(i,j)$ = j 산업의 i 상품 중간재 복합재

$A_S(i,j)$ = j 산업의 i 상품 투입계수

$XPRIME(j)$ = j 산업 에너지-본원요소 복합재

$APRIME(j)$ = j 산업 투입계수

$A_S(i,j)$ 변수가 $x\%$ 만큼 감소한다면, 식 (2)에서 j 산업에서 투입되는 국산 및 수입 I 재화가 수입 비중과 CES 함수의 대체탄력성이 반영되어 $x\%$ 보다 작은 값으로 감소하게 된다. 식 (3)은 식 (2)의 에너지-본원요소 복합재를 CES 함수를 간략히 표시한 수식이다. 에너지 복합재는 각 에너지의 CES 복합재이며, 본원요소 복합재는 자본, 노동 등 본원 생산요소들의 CES 복합재이다. 이때, 에너지 재화는 중간재 복합재에 포함되지 않는다. 에너지 재화를 본원요소와 복합재로 구성하게 되면 에너지 가격 상승 등 에너지와 관련된 공급부문의 충격을 본원요소로 대체하여 충격을 완화할 수 있는 기능을 하게 된다.

$$\frac{X_S(i,j)}{A_S(i,j)} = \left(\sum_i \delta_i \left[\frac{X(i,s,j)}{A(i,s,j)} \right]^{-\rho} \right)^{-1/\rho} \quad (2)$$

$X_S(i,j)$ = j 산업의 i 상품 중간재 복합재

$A_S(i,j)$ = j 산업의 i 상품 투입계수

$X(i,s,j)$ = j 산업의 국산 또는 수입 i 상품수요량

$A(i,s,j)$ = j 산업의 국산 또는 수입 i 상품 투입계수

5) 변수 A는 투입계수이다.

δ_i = 분배파라미터

ρ = 대체탄력성파라미터

$$XPRIM = CES[V, E_c]$$

$$E_c = CES[E_1, E_2, \dots, E_N] \tag{3}$$

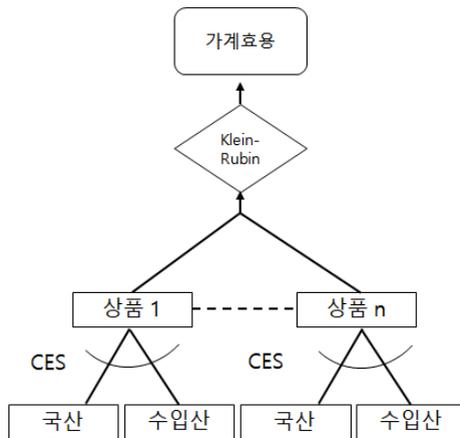
V = 본원요소(K, L)

E_c = 에너지 복합재

E_N = 에너지 재화

계산가능일반균형 모형에서는 하나의 대표적 소비가계(Representative consuming household)가 존재한다고 가정하며 가계는 주어진 예산제약에서 최적의 상품 묶음을 선택하여 자신의 효용을 최대화한다. <그림 3>은 ORANI 모형의 가계효용함수 구조를 나타내고 있다. 식 (4)는 이를 함수로 표현한 것이다. 가계가 소비하는 재화는 국내재와 수입재의 복합재로서 CES 함수형태를 가지며 여러 개의 재화 및 서비스로 구성되어 있다. 복합재로부터의 효용은 Klein-Rubin 효용함수를 가정하고 있다. Klein-Rubin 효용함수

<그림 3> 가계수요의 계층적 구조



자료: Horridge, M. (2003).

는 가계 소비지출 행태를 사치재(Luxury)와 필수재(Subsistence)로 구분하여 소비하는 것을 반영한다. Q는 인구를 의미하며 효용함수를 나누어 가계당 효용을 계산해준다.

$$\text{가계당 효용} = \frac{1}{Q} \prod_i ((X3_S(i) - X3_SUBs(i))^{S3LUX(i)} \quad (4)$$

Q = 인구

$X3_S(i)$ = 가계 국산-수입복합재 소비량

$X3_SUBs(i)$ = 가계 i 재화 필수소비량

$S3LUX(i)$ = 한계 예산 비중(the marginal budget shares)

모형의 국산 재화에 대한 시장청산 조건은 식 (5)와 같다. 사용되는 상품은 중간소비 재화(1), 투자 재화(2), 가계소비(3), 수출(4), 정부지출(5), 재고(6)로 구성된다.⁶⁾

$$X_d^0 = \sum_{j=1}^n X_{(d)j}^{(1)} + \sum_{j=1}^n X_{(d)j}^{(2)} + X_{(d)}^{(3)} + X_{(d)}^{(4)} + X_{(d)}^{(5)} + X_{(d)}^{(6)} \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

X_d^0 = 국내에서 사용되는 국산재화 수요

$X_{(d)j}^{(1)}$ = j 산업의 국산 중간재 수요

$X_{(d)j}^{(2)}$ = j 산업의 국산 투자재 수요

$X_{(d)}^{(3)}$ = 민간수요(국산)

$X_{(d)}^{(4)}$ = 수출수요(국산)

$X_{(d)}^{(5)}$ = 정부수요(국산)

$X_{(d)}^{(6)}$ = 재고수요(국산)

본 논문에서 최종적으로 사용한 모형은 2002년 Mark Horridge에 의해 개발된 ORANIG-NM(No Margin)을 한국 데이터와 실정에 맞게 변형한 KORANIG-NM 모형을 사용하여 분석하였다.⁷⁾ 즉 28개 산업과 28개 제품으로 분류된 호주모형을 우리나라 데이터 및

6) 자세한 내용은 Dixon(1982)을 참고.

7) 문석용 경성대학교 명예교수님이 ORANI 모형을 기반으로 개발한 모형을 연구자가 본 연구목적에 맞게 변형-

연구목적에 맞게 40산업-40제품 모형으로 변환하였으며, 교역재와 비교역재로 나누어진 호주모형의 구분을 없애고⁸⁾ 또한 4분류 노동으로 구성된 원래의 호주모형을 우리나라 데이터 실정에 맞게 하나의 노동으로 통합하였다.

3. 모형의 주요 내용 및 핵심적인 가정들

1) 수출 및 수입에 대한 가정

본 계산가능일반균형 모형은 일국모형이다. 자동차산업은 대표적인 수출주도형 산업으로서 수출이 최종수요의 큰 비중을 차지한다. 전기 및 수소차의 확산비율이 국내 시장과 수출시장에서 동일하게 적용되는 것으로 암묵적으로 가정하였다. 그러나 모형의 운용 면에서 보면, 자동차산업 및 자동차상품 구성에서 내연기관 자동차가 전기차 및 수소차로 대체되어가는 것으로 인한 충격은 투입계수에 대한 충격으로 충분하다. 수출이든 내수든 생산에 대한 충격은 투입계수로만 나타난다. 한편 수입되는 자동차 내부에서의 전기차 및 수소차 비중 역시 특별한 주의가 필요 없다. 소비자들은 아밍톤 대체 탄성치에 의하여 수입 자동차와 국산 자동차에 대하여 불완전한 대체재로 간주하지만 수입차에 대한 내연기관자동차, 전기차, 수소차에 대한 구분은 모형내에서 나타나지 않는다. 그것은 물론 국산차에 대하여서도 마찬가지이다. 본 연구에서 내연기관 자동차, 전기차, 수소차에 대한 소비자들의 선호 차이는 주어지지 않았으며, 그 영향은 오로지 연료 소비와 운송서비스 산업에 대한 에너지 투입의 변화로서만 나타난다.

2) 이산화탄소 배출량 계산과정과 및 배출규제에 대한 가정

본 연구는 이산화탄소 배출량을 부문별(산업, 가정), 에너지원별(광산품, 휘발유, 경유 등)뿐만 아니라 원천별(국산 및 수입재)로 구분한다. 2015년 이산화탄소 배출량을 계산하기 위하여 에너지밸런스의 에너지원별 사용량에 배출계수를 적용하여 에너지원별 배출량을 계산하였다. 그러나 이렇게 작성된 에너지원별 배출량은 계산방식, 배출계수

확장한 것임.

8) 국제가격에 민감한 부문이 교역재이고 그렇지 않은 부문이 비교역재인데 우리나라의 경우 소규모 개방경제로 생각해 볼 때 구분이 필요하지 않다고 볼 수 있음.

의 차이 등으로 인해 국가온실가스 배출량과 다소 차이가 있어 에너지원별 배출량의 합이 국가 이산화탄소 배출량(NG)과 같도록 조정하였다.⁹⁾ 이렇게 하는 이유는 국가 온실가스 배출량 통계에 에너지원별 통계가 공표되지 않고 있기 때문이다.

또한 에너지 밸런스의 에너지원과 산업연관표상의 상품분류가 다르기 때문에 기준년도 이산화탄소 배출량을 계산하기 위해서 본 모형상의 에너지원에 맞게 에너지밸런스의 에너지원을 재분류하여야 한다. 유연탄 및 무연탄으로부터의 배출은 광산품의 배출량으로 간주하였고 등유, 중유 등은 석탄 및 석유제품으로 간주하였다. 본 연구에서 광산품을 에너지원으로 분류한 이유는 주로전력부문의 석탄 사용이 대부분 무연탄 및 유연탄 소비에 따른 것이며 무연탄과 유연탄은 광산품으로 분류되어 있기 때문이다. 재분류는 다음 <표 3>과 같다.¹⁰⁾

<표 3> 본 모형의 에너지원과 에너지밸런스 데이터에서의 에너지원

본 모형에서 에너지원	에너지밸런스 데이터에서의 에너지원
광산품	유연탄, 무연탄(비에너지 제외)
석탄 및 석유제품	연탄, 등유, 중유 등
휘발유	휘발유
경유	경유
액화석유가스	액화석유가스
가스	도시가스, 천연가스

에너지원별, 원천별, 부문별 이산화탄소 배출량의 계산과정을 식으로 표시하면 식 (6)

9) 온실가스 종합정보센터, 「2017 국가온실가스 인벤토리 보고서」, 2018.에서 에너지 분야 연료연소부문 2015년 배출량(597.2MtCO₂eq)을 사용하였다.

10) 철강에의 코크스 투입은 공정투입이 아닌 에너지 사용으로 간주된다. 즉, 코크스 생산에서의 CO₂ 배출량은 에너지 분야 철강의 원료용 유연탄으로 포함되며 산업공정분야가 아닌 것으로 간주되었다. 또한 철강분야 원료용 유연탄의 경우 4.5%의 몰입율을 적용하여 조정되었다. 그러나 유연탄 무연탄 사용량 중 비에너지원은 제외되었다. 그런데 본 모형에서는 유연탄으로부터 생산되어 주로 철강 산업에 투입되는 석유 및 석탄제품의 하나인 코크스로부터의 CO₂ 배출은 철강(일차금속)산업으로의 코크스 투입에서의 배출이 아니라 석유 및 석탄제품 산업으로의 광산물(유연탄) 투입 단계에서 배출량이 계산되었다. 왜냐하면 이 두 단계를 모두 계상하면 이중계산이 되기 때문이다. 그러므로 본 연구에서의 철강부문 이산화탄소 배출량은 산업별 배출량으로 잡히는 배출량보다 과소 계상되어 있으며 그 부분은 석유 및 석탄제품에 대한 광물 투입 부분에서의 배출로 잡히고 있다. 한편 나프타의 경우 25% 정도의 에너지원 사용비율, 즉 75%의 몰입율을 적용하여 반영하였다. 몰입율에 관한 정보는 온실가스 종합정보센터(2018)에서 제시된 수치들을 이용하였다.

과 같다. 에너지원별 이산화탄소 배출량($adjG(e)$)을 기준으로 산업별 중간수요와 가정용 최종수요에 배분되는 비중과 원천별 비중을 적용하여 기준년도 에너지원별, 원천별, 부문별 이산화탄소 배출량을 계산하였다.

$$\text{에너지원별 이산화탄소 배출량} : adjG(e) = Coeff(e) \times NG \quad (6)$$

$$\text{에너지원별, 원천별, 부문별 온실가스 배출량} : adjG(e,s,k) = adjG(e) \times S(e,s,k)$$

$adjG(e)$: 조정된 모형 에너지원 이산화탄소 배출량

$Coeff(e)$: 에너지원별 비중(에너지밸런스 데이터)

NG : 2015년 이산화탄소 배출량(에너지 부문)

에너지원별, 원천별, 부문별 이산화탄소 배출량을 계산과정에서 사용하는 비중 $S(e,s,k)$ 는 식(7)과 같다. 단, 광산품은 유연탄, 무연탄, 철광석, 시멘트, 원유, 천연가스 등이 포함된 상품으로 광산품의 산업별 중간수요 비중으로 이산화탄소 배출량을 배분하면 부문별 유연탄, 무연탄 소비관계를 왜곡시킬 수 있어 광산품에서 유연탄, 무연탄만의 중간소비를 별도로 집계해 부문별 비중을 적용하였다.

$$S(e,s,j) = \frac{X(e,s,j)}{\sum_j \sum_s ((X(e,s,j) + HH(e,s)))}, \quad (7)$$

$$S(e,s,HH) = \frac{HH(e,s)}{\sum_j \sum_s ((X(e,s,j) + HH(e,s)))}$$

$S(e,s,k)$: e 에너지원에서의 원천별, 부문별 비중

e : 에너지원(6개),

j : 산업(40개),

HH : 가계(1개),

s : 원천(2개, 국산 또는 수입),

k : $j + HH$ 부문(41개)

$X(e,s,j)$: 산업의 j 상품별, 원천별 에너지 e 에 대한 중간수요

$HH(e,s)$: 가계 상품별, 원천별 에너지 e 에 대한 민간 최종수요

한편 본 연구에서는 기준년도에 목표관리제, 배출권거래제도 등 온실가스 배출 규제에 관한 요소를 명시적으로 포함하지 않았다. 그러나 에너지원별, 원천별, 부문별 배출량을 기반으로 모형 내에서 이산화탄소 배출계수가 정의되고 있다. 이 배출계수는 여러 가지 규제로부터 영향을 받은 결과이기 때문에 기존의 에너지 관련 규제와 정책의 영향은 암묵적으로 포함되어 있다고 해석할 수 있을 것이다.

3) 전원구성에 대한 가정

한편, 본 연구의 가정 중 하나는 현재의 전원구성에 변화가 없다는 것이다. 본 연구는 2010년 산업연관표를 사용하여 2015년 국내총생산을 기준으로 연장한 사회회계행렬(SAM: Social Accounting Matrix)을 기반으로 수행되었다. 따라서 2011년 이후의 전원구성 변화 등은 반영되지 않고 있다. 즉, 전력산업의 생산은 레온티에프 함수이며 투입계수는 외생변수이고 여기에 대한 충격은 주지 않고 있다.

4) 충격의 기본 성격과 보조금/조세와의 관련성

본 연구에서 충격은 확산모형의 결과를 바탕으로 최종수요와 투입계수에 주어진다. 대개 계산가능일반균형모형에서 충격은 투입계수보다는 여타의 파라미터나 주요외생변수에 대하여 주어진다. 그러나 본 논문에서는 전기차와 수소차가 기존의 자동차 산업 내에서 확산하여간다는 특수한 여건으로 인하여 최종수요뿐 아니라 투입계수에 충격을 주는 방식을 사용하였다. 투입계수에 충격을 주는 방식은 Dixon and Rimmer(2009)가 계산가능일반균형모형을 사용한 예측기법을 제시하면서 사용하였다. 또한 Antoszewski (2017) 에너지 효율성의 개선 영향을 분석하는 계산가능일반균형모형에서 투입계수에 외생적 충격을 주는 방식을 분석하였다. 한편 van Meij and van Tongeren(1999) 농업 분야의 국제적 기술이전에 관한 계산가능 일반균형모형 분석에서 화학제품과 기계류의 투입계수에 충격을 주는 방식의 분석을 사용하였다. 이처럼 투입계수에 충격을 주는 기법은 여러 계산가능일반균형 모형에서 채택되고 있으나 산업 내에서의 새로운 대안적 기술의 확산에 적용된 것은 본 논문이 처음이라고 할 수 있다.

자동차산업의 투입계수에 충격을 주는 방식을 사용하면 보조금과 관련하여서 문제점

이 있을 수 있다. 전기차 및 수소차의 확산은 보조금(세제 지원이나 지원정책 등 실효적인 보조금 포함)의 결과로 나타나는 것이지만 본 연구에서 보조금은 명시적으로 모형 내에 들어 있지 않다. 자동차산업은 내연기관 자동차, 전기차, 수소차의(레온티에프) 복합재이다. 여기서 자동차산업에 대하여 보조금을 지급하지 않는 것으로 전제한 것은 사실 상 암묵적으로 자동차산업 전체적으로는 보조금이 0이지만 전기차 수소차에 대하여 지급되는 보조금을 내연기관 자동차에 대한 조세액(부(負)의 보조금)과 정확하게 상쇄되는 것으로 가정한 것과 마찬가지이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$s_{\text{automobile}} = (1 - \alpha - \beta)s_c + \alpha s_e + \beta s_h = 0 \quad (8)$$

여기서 α = 전기차 비율, β = 수소차 비율, $s_{\text{automobile}}$ = 자동차산업 보조금 변화율, s_e = 전기자동차 보조금 변화율, s_h = 수소자동차 보조금 변화율

이처럼 자동차, 화학산업 등에 대한 순 보조금 변화를 0으로 암묵적인 가정을 하는 것이 그다지 비합리적이지 않다. 자동차산업은 이미 성숙한 산업으로서 전체적으로 보아서 보조금을 지급할 타당성이 부족하다. 보조금은 내연기관 자동차에서 전기차 및 수소차로의 전환을 위하여 지급되는 것이다. 그러므로 내연기관 자동차산업으로부터의 조세수입을 전기차 및 수소차에 대하여 보조금으로 사용하여 자동차산업 전체에 대한 순 보조금 변화를 0으로 간주하는 것은 타당한 접근이다.

5) 장기모형과 단기모형

GEMPACK을 사용하는 모형에서 완결규칙 또는 클로저(Closure)는 모형의 변수 중에서 특정 변수를 외생변수로 처리하는 것을 의미하며 이를 자유롭게 설정할 수 있는 것이 ORANI 모형의 장점이다. 일반적으로 모형의 외생변수로 기술변화와 관련된 변수, 정부 세율, 수입 재화 수입가격, 환율 등이 있으며 모형 분석 목적에 따라 클로저의 구성이 다르며, 또한 새로운 균형 상태로 소요되는 시간적 견해를 다르게 반영할 수 있다.¹¹⁾

본 연구에서는 모든 모형에 대하여 장기모형과 단기모형의 2가지를 모두 시도하였다.

11) 또한 모형에서 이론적으로 충분히 설명되지 않은 방정식 또는 변수에 대해서 외생변수로 처리하는 기능도 한다.

일반적으로 장·단기모형의 차이는 자본의 양과 자본수익률뿐 아니라 노동량과 임금률 양자에 관련되어 있다. 단기모형은 자본 부존량이 외생변수이고 실질자본수익률이 내생적으로 결정되며, 실질 임금률은 외생변수이지만 노동투입(고용량)은 내생변수로 처리되어 있다. 반면에 장기모형은 실질자본수익률이 외생변수이며 자본 부존량은 내생화되어 있으며, 노동투입(고용)은 외생이지만 실질 임금률은 내생화되어 있다.¹²⁾

단기모형은 자본 양이 고정된 상황을 나타내고 있으며 장기모형에서는 외생변수의 충격에 따른 직간접 영향으로 자본 양이 조정되는 충분히 긴 시간을 상정한다. 일반적으로 단기 모형 결과는 1~3년 정도 기간을 가정하며, 장기는 5~20년의 기간을 가정하는 것으로 해석될 수 있다.

IV. 데이터베이스의 구축과 모형의 연산

1. 산업연관표의 재분류

수소 및 전기차 관련 산업 경제적 효과를 분석하기 위하여 계산가능일반균형 분석의 기초인 2010년 산업연관표 기본부문(384개)을 본 연구 대상에 맞게 40부문으로 재분류하였다. 연구에서 관심 분야인 휘발유, 경유, 액화석유가스 등 3개 산업을 석탄 석유제품에서 분리하고, 또한 전력 및 신재생에너지 산업에서 도시가스와 온수-증기의 2개 산업을 분리하였다. 또한 운송장비에서 승용차, 트럭, 버스 등 3개 산업을 분리하고 운송서비스 산업에서 도로여객운송서비스와 소화물 운송서비스 등 2개 산업을 분리하였고 전기 및 수소차의 보급 확대에 의한 연료 최종수요 및 중간수요의 변화를 반영하기 위하여 다음 <표 1>과 같이 석탄 및 석유제품(대분류 006)을 휘발유, 경유, 액화석유가스로 재분류하였다.

12) Horridge(2005) 참조.

〈표 4〉 본 연구에서 사용된 40개 산업분류

번호	산업 명	번호	산업 명
1	농림수산물	21	기타 제조업 제품 및 임가공
2	광산물	22	전력 및 신재생에너지
3	음식료품	23	도시가스
4	섬유 및 가죽제품	24	증기 및 온수
5	목재 및 종이 인쇄	25	수도 폐기물 및 재활용 서비스
6	석탄 및 석유제품	26	건설
7	휘발유	27	도소매 서비스
8	경유	28	운송서비스
9	액화석유가스	29	도로여객 운송서비스
10	화학제품	30	소화물 전문 운송서비스
11	비금속광물제품	31	음식점 및 숙박 서비스
12	1차 금속제품	32	정보통신 및 방송 서비스
13	금속제품	33	금융 및 보험 서비스
14	기계 및 장비	34	부동산 및 임대
15	전기 및 전자기기	35	전문, 과학 및 기술 서비스업
16	정밀기기	36	사업지원서비스
17	승용차	37	공공행정 및 국방
18	버스	38	교육서비스
19	트럭	39	보건 및 사회복지 서비스
20	운송장비	40	문화 및 기타 서비스

2. 전기 및 수소차 확산 시나리오

우리나라 정부의 로드맵에 따르면 2020년에 전기자동차의 판매 대수 64,000대, 보유 대수는 200,000대, 2025년에는 580,000대의 전기차가 보유될 것으로 전망하고 있다. 수소차는 2020년에 3,900대가 판매되고 보유대수는 9,000대에 이르며 2025년에 수소차의 누적 보유 대수는 100,000대에 달할 것으로 계획되고 있다. 이 로드맵은 정부의 지원 프로그램들이 계획대로 수행되는 것으로 가정하고 있다.¹³⁾

자동차의 확산과 같은 기존 산업/제품의 다른 기술로의 전환을 예측하는 모형에는 Bass 확산모형 등 몇 가지 기법이 사용된다.¹⁴⁾¹⁵⁾ 그러나 본 논문은 Bass 확산모형을 사

13) 관계부처 합동(2015).

14) Bass(1969) 확산모형에서 t 연도의 전기 및 수소차 숫자 $X(t)$ 는 다음과 같은 관계식이 설정된다. $f(t)/[1 - F(t)] = x(t)[p + qF(t)]$ 여기서 $f(t)$ 는 t 시점에서의 확률밀도함수, $F(t)$ 는 누적확률밀도함수, p 는 혁신계수, q 는 모방 파라미터, 그리고 $x(t)$ 는 t 와 가격, 광고, 정부 정책 등 다른 변수의 함수이다. 여기서 혁신계수 p 는 소비자가 기존의 내연기관 자동차로부터 전기 및 수소차로 얼마나 빨리 전환되는가를 나타내며 q 는 모방자(late follower)

용하여 별도로 우리나라의 자동차 산업 내의 전기 및 수소차의 확산을 추정하지는 않았다. 해외시장에서의 확산은 세계전체에 대하여 추정을 해놓은 결과들이 존재한다. 우리나라와 같은 비교적 소규모 시장에서의 신기술 채택은 정부의 지원 및 정책에 크게 의존한다. 따라서 모형에 의한 추정보다는 기존의 선행연구 결과를 조정하여 시나리오를 작성하였다. 본 논문은 IEA의 Blue map 시나리오¹⁶⁾를 바탕으로 작성된 한국산업기술평가관리원(2015)의 전망 결과를 조정하여 사용하였다.¹⁷⁾ 하위 안(2035년 6% 확산), 기준 안(2035년 15% 확산), 상위 안(2035년 34.5% 확산)의 3가지 확산 전망을 제시하였으나 본 연구에서는 기준안만을 고려하였다.¹⁸⁾

확산모형을 이용한 전기차 보급 대수와 보급률의 전망은 다음과 같은 과정을 통하여 도출하였다. 우선 2035년까지 채현석(2013)과 김종달 외(2016)의 결과를 적용하여 국내 자동차의 전체 보급 전망 대수를 2020년 1863.6만 대, 2030년 2367.4만 대, 2035년

들의 전기 및 수소차 채택 행태를 묘사하는 파라미터이다. Bass 확산모형의 추정과 해의 유도는 다음 방정식에 의한다. $S(t) = mf(t) = m[p + qF(t)][1 - F(t)] = m \frac{(p+q)^2}{p} \frac{e^{-(p+q)t}}{(1 + \frac{q}{p}e^{-(p+q)t})^2}$ 또한 $t^* = \frac{\ln q - \ln p}{p+q}$ 이다.

여기서 S =전기 및 수소차의 확산율, m =전기 및 수소차의 최대 확산율, t^* =최대확산율 도달 시점이다.

- 15) Park, et al.(2011) 연구에서는 Bass 확산모형을 사용하여 수소연료전지 자동차의 한국과 미국의 자동차 시장에서의 확산과정을 전망하였으며 한국 시장의 경우 2038년, 미국 시장의 경우 2050년에 성숙 지점에 도달할 것으로 추정되었다. Massiani, et al.(2015)는 독일 자동차 시장에 도입되는 전기 및 수소차를 중심으로 관련된 3개 기술의 제품의 파급효과를 Bass 모형을 기반으로 하여 독일 경제를 대상으로 비교 분석하였다. Cordill(2012)은 하이브리드 자동차의 미래 확산모형을 추정하기 위하여 혁신계수와 모방계수를 3개의 자동차(토요타 프리우스, 혼다 하이브리드 시빅, 포드 에스케이프)에 대하여 2000-2010 판매 자료를 사용하여 분석하였다. Jensen, et al.(2014)은 덴마크의 전기차 수요를 추정하기 위하여 회귀분석과 확산모형을 동시에 사용하였는데 시장 파급 모형에서는 확산 속도와 관련된 계수를 현실적인 경제, 산업구조, 자동차 수급 상황에 부합하도록 조정하여 사용하는 것이 요청된다고 주장하였다. McCoyd와 Lyons(2014)은 아일랜드의 EV 보급 확산을 추정하기 위하여 에이전트 기반 모형을 채택하여 5개의 상이한 사회경제적, 인구 통계적 그룹을 대상으로 연구를 수행하였는데, 연구 결과에 따르면 고소득 및 주택 소유자 그룹이 대조되는 그룹에 비하여 상대적으로보다 빠른 신규 수소 및 전기차 선택을 하는 것으로 나타났다. Brown(2013)은 미국 보스톤 지역의 전기차도입 파급효과를 이산형 선택 모형으로 추정한 결과 2030년에 보스톤 지역에서는 시장 규모, 경제 성장, 재정적 인센티브 체계의 존재유무 등에 따라 전체 자동차 시장에서 전기자동차의 보급률이 1~22%의 매우 넓은 범위에서 결정될 것으로 추정하였다. 채현석(2013)과 김종달 외(2016)는 전기자동차는 2018년 이후로는 내연기관 자동차보다 우월한 수명주기비용 상에서의 가격경쟁력을 가지게 될 수 있는 것으로 추정하였다.
- 16) IEA, Energy Technology Perspective 2010: Scenarios and Strategies to 2050, 2010; IEA, Energy Technology Perspective 2012: Pathways to Clean Energy Systems, 2012. Blue map 시나리오에 의하면 2050년 기준 세계 자동차 시장에서 차지하는 수소차의 보급 비중은 20%, 전기차와 플러그인 하이브리드 자동차의 합계 비중은 50%로 전망하고 있다.
- 17) 자세한 시나리오 작성과정은 한국가스공사(2017) 참조.
- 18) 이러한 확산시나리오는 기준안 시나리오의 경우 혁신계수 0.0002, 모방계수 0.3을 설정한 것과 같으며, 상위 안과의 하위 안의 경우는 혁신계수 0.0003, 0.00015, 모방계수 0.35, 0.25가 적용된 것과 같다.

2,619.3만 대로 설정한다. 전체 보급 전망 대수는 모형에 따라 추정된 미래 전기·수소차 보급률에 곱하여 미래 전기·수소차 보급대수를 시산하는 기초 전망치로 활용된다. 둘째 IEA(2010, 2012)에 제시된 미래 온실가스 저감을 위한 전망 시나리오인 Blue map 시나리오의 전기차 보급 전망에 따르면, 2050년 기준 세계 자동차 시장에서 수소차의 비중은 20%, 전기차와 플러그인 하이브리드 자동차의 비중은 50%로 가정하고 있다. 본 연구에서는 우리나라가 대도시를 중심으로 국토가 좁고 공동주택이 밀집하여 전기자동차 충전소 등 인프라 조성에 유리하고, 보조금 등 정책 노력이 당분간 지속하는 한편 신기술에 친화적인 소비자들의 선호가 있다는 점을 고려하였다. 이에 따라 Blue map 시나리오의 미래 기준연도인 2050년에는 전기차와 수소차의 합계 점유율이 90%에 달할 것으로 가정하였다. 이 점유율은 Bass 모형의 계수 가운데 m (최대 확산율)으로 가정하였다. 셋째, 2035년의 기준안 전기 및 수소차 보급대수를 추정하기 위하여 앞서 설명한 m 계수를 2050년 90% 점유율 가정과 기존의 전기차 관련 Bass 모형 추정 선행연구결과에서 제시된 혁신계수와 모방계수 분포 범위를 검토하여¹⁹⁾ 혁신계수(p)와 모방계수(q)를 각각 0.002, 0.3을 적용하여 2035년의 보급률은 14.6%로 추정하였다. 전기차 보급대수는 전체 자동차 전망 대수인 2619.3만 대에 보급률을 곱하여 291.5만 대로 추정하였다.

친환경차 내에서 전기 및 수소차의 비중은 별도로 추정하지 않고 그 비중이 10:0, 9:1, 8:2, 5:5, 2:8의 다섯 가지 시나리오를 설정하여 분석하였고 기준안을 8:2로 설정하였다. 전기차와 수소차의 선택은 예측하기 어렵고 기술진보와 정부의 정책 의지 등 외생적 요인에 의존하기 때문에 친환경차 내부에서의 가상적인 전기차, 수소차 비율을 시나리오로 설정하여 분석하였다. 다음 표는 기준안에 따른 전기차 및 수소차 확산시나리오이다.

〈표 5〉 전기차 및 수소차의 확산시나리오(기준안)

구분	연도	2010	2015	2020	2025	2030	2035
전기차/수소차 비중	판매기준	0%	0.26%	0.9%	3.11%	10.96%	34.65%
	누적 보유 대수 기준	0%	0.02%	0.28%	1.17%	4.32%	14.56%

19) 모형추정에 사용된 혁신계수와 모방계수는 한국가스공사 보고서(2017) 전망 모형 부분에 자세하게 서술되어 있으며, Massiani and Gohs(2015), Jensen et al.(2016), Cordill(2012)에서 제시된 전기차 관련 혁신계수 0.0019~0.002과 모방계수 0.23~1.25 범위 내에서 사용하였다.

3. 자동차산업의 중간 투입계수 충격의 계산과정

본 논문에서는 전기 및 수소차 확산의 경제적 영향분석을 위하여 1) 경제 내의 보유 자동차가 기존 내연기관 자동차에서 전기 및 수소차로 대체되어 발생하는 에너지 최종수요(민간소비)에²⁰⁾ 대한 외생적 충격, 2) 운송서비스업 중 일정 부분이 수소 및 전기차로 대체되어 이에 해당하는 만큼의 연료 중간수요 변화의 외생적 충격, 또한 3) 전기 및 수소차의 생산 비중이 증대함에 따른 중간투입계수의 변화를 충격으로 주는 방식으로 처리하는 3가지의 충격을 부여하였다.

이들 3개의 충격의 크기는 확산모형에서 추정된 결과를 시점별로 연결해서 충격을 주는 방식을 취하였다. 확산모형은 2015~2025~2035년 20년간에 대하여 분석하였는데, 각 시점 기준으로 전기차에 대한 투입구조(투입계수)를 추정하면 이를 전기차 확산모형의 결과와 결합하여 시점별 승용차, 버스 및 트럭에 대하여 투입계수를 계산하였다. 새로운 내연기관-전기자동차-수소자동차 복합 산업에 대한 투입계수 벡터($A_{automobile}$)는 기존의 내연기관 자동차산업에 대한 투입계수 벡터(A_c), 전기자동차 자동차산업에 대한 투입계수 벡터(A_e) 수소 자동차산업에 대한 투입계수 벡터(A_h)의 가중평균으로서 다음 식과 같이 표시된다.

$$A_{automobile} = (1 - \alpha - \beta)A_c + \alpha A_e + \beta A_h \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} A_{1a} \\ A_{2a} \\ A_{3a} \\ \vdots \\ A_{ma} \end{bmatrix} = (1 - \alpha - \beta) \begin{bmatrix} A_{1c} \\ A_{2c} \\ A_{3c} \\ \vdots \\ A_{mc} \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} A_{1e} \\ A_{2e} \\ A_{3e} \\ \vdots \\ A_{me} \end{bmatrix} + \beta \begin{bmatrix} A_{1h} \\ A_{2h} \\ A_{3h} \\ \vdots \\ A_{mh} \end{bmatrix}$$

전기 및 수소차의 비중 증대는 이와 같은 방식으로 국내 자동차산업(승용차, 버스, 트럭, 기타 자동차)에 중간투입구조의 변화를 유발하게 된다. 전기 및 수소차의 생산 비중이 증대되면 기존 자동차산업에서 중간 투입요소로 많이 사용하는 기계, 금속제품 등의 투입요소가 전기·전자, 정밀화학 등 전기 및 수소차 생산에 필요한 투입요소의 증대로

20) 연료는 자본재가 아니므로 투자수요가 없고, 본 모형에서는 정부지출에서 전력, 휘발유 등에 대한 정부지출은 0으로 설정되어 있다. 따라서 최종수요는 민간소비만이 고려되었다.

대체될 것이다. 전기 및 수소차의 투입계수 데이터는 정밀 실사를 통하여 확보되어야 하지만, 본 연구에서는 선행연구에서 조사된 프랑스와 독일의 투입계수를 바탕으로 한국 실정에 맞게 변형하여 작성하였다.

이 과정은 다음과 같다. 일단 우리나라의 2010년 산업연관표로부터 승용차, 버스, 트럭, 기타 자동차산업의 투입계수를 확보한다. 그리고 전기차 산업(전기 승용차, 전기버스, 전기 트럭)의 투입계수는 프랑스에 대하여 Leurent and Windisch(2015)이 작성한 내연기관 자동차와 전기자동차 산업의 투입계수를 원용하여 계산하였다. 즉, Leurent and Windisch(2015)의 프랑스에서의 내연기관 자동차로부터 전기자동차로 변환될 때의 투입계수의 변화율이 우리나라에도 동일하게 적용된다고 가정하여 우리나라의 기존 자동차산업 투입계수를 바탕으로 우리나라의 전기차산업의 투입계수를 작성하였다. 한국의 전기차 산업에 대한 산업(상품)별 투입계수를 작성하는 방식을 수식으로 표현하면 다음과 같다. 이러한 과정은 승용차, 버스, 트럭에 대하여 동일한 방식으로 수행된다.

$$A_{ie}^K = A_{ic}^K \times \frac{A_{ie}^F}{A_{ic}^F}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

여기서 A_{ie}^K = 한국(K)의 전기자동차산업(e)에 대한 상품*i*의 투입계수

A_{ic}^K = 한국(K)의 내연기관자동차산업(c)에 대한 상품*i*의 투입계수

A_{ie}^F = 프랑스(F)의 전기자동차산업(e)에 대한 상품*i*의 투입계수

A_{ic}^F = 프랑스(F)의 내연기관자동차산업(c)에 대한 상품*i*의 투입계수

수소차에 대하여서는 이와 동일한 방식으로 Wenger and Schirmesiter(2000)과 Jochem, Schirmeister, and Marscheider-Weidemann(2003)이 작성한 독일의 수소자동차 산업 투입계수를 이용하여 다음과 같이 계산되었다.

$$A_{ih}^K = A_{ic}^K \times \frac{A_{ih}^G}{A_{ic}^{AG}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

여기서 A_{ih}^K = 한국(K)의 수소자동차산업(h)에 대한 상품*i*의 투입계수

A_{ic}^K = 한국(K)의 내연기관자동차산업(c)에 대한 상품*i*의 투입계수

A_{ih}^G = 독일(G)의 수소자동차산업(h)에 대한 상품*i*의 투입계수

A_{ic}^G = 독일(G)의 내연기관자동차산업(c)에 대한 상품*i*의 투입계수

이러한 중간투입계수의 충격은 GEMPACK 모형에서 사용되는 TABLO 언어에서는 변수(여기서는 중간투입계수)의 수준이 아니라 변화율을 외생적으로 부여하는 방식으로 적용된다.²¹⁾ 아래 식은 산업에 대한 상품별 중간투입 변화율, 기술(투입계수)변화율, x_i 는 산업 *i*의 산출량 변화율, x_{ij} 는 산업 *j*에 대한 상품 *i*의 투입 변화율, a_j 는 산업 *j*의 평균적인 기술(투입계수) 변화율, a_{ij} 는 산업 *j*에 대한 상품 *i*의 투입계수 변화율이다. 하 첨자 *i*는 상품, *j*는 산업을 나타낸다.²²⁾ TABLO 언어에서 소문자는 변화율, 대문자는 수준 변수를 의미한다.

$$x_{i,j} - a_{i,j} + a_j = x_j \tag{12}$$

이 식에서 충격은 기술(투입계수) 변화율인 a_j 나 $a_{i,j}$ 에 충격을 주는 것이다. 이 식은 산업 *j*에 대한 상품 *i*의 투입량의 변화율은 산업 *j*의 산출량의 변화율과 함께 산업 *j*의 전반적인 기술(평균적인 투입계수)의 변화율뿐 아니라 산업 *j*에서의 상품 *i*의 투입계수 변화율에 의하여 결정된다. 본 논문에서는 자동차산업에 대한 투입계수들의 변화율들에 대하여($a_{i,j}$, 여기서 *j*는 자동차산업) 외생변수로 보고 충격을 주는 방식으로 분석을 수행한다. <부표>에서는 판매 대수 비중 15%일 때의 자동차산업의 투입계수 및 투입계수 변화율(기준안(15%) 전기-수소 비중 8:2 가정)을 예시로 보여주고 있다.

4. 에너지별 최종수요 및 운송서비스 투입계수 충격의 계산과정

1) 에너지 최종수요 충격의 계산과정

전기 및 수소차 확산에 따라서 기존의 자동차산업에 대한 투입구조만이 변화하는 것

21) GEMPACK은 비선형방정식의 해를 도출하기 위해 퍼센트 변화(Percentage Change) 방식으로 방정식을 기술하여 일종의 선형화 방식을 해를 구한다.

22) Tablo프로그램에서는 $x1_s(c,i) - [a1_s(c,i) + a1tot(i)] = x1tot(i)$; 와 같이 표현된다. 여기서는 *c*가 상품, *i*는 산업을 나타내고 있다.

이 아니라 자동차의 에너지원인 휘발유, 경유, 액화석유가스가 전기와 수소로 대체되는 연료전환(Fuel Switching)이 진행된다. 그러므로 최종수요 및 수송서비스 부문에 투입으로 들어가는 연료의 구성이 변화하게 된다. 수소에너지는 천연가스의 개질을 통하여 공급되며 도시가스 공급 망을 통하여 공급되는 것으로 가정하였다.

본 연구에서는 자동차 에너지전환에 따른 수요변화를 반영하기 위하여 확산모형의 전기 및 수소차 비율 변화부터 휘발유, 경유, 액화석유가스 소비 감소율과 전기 및 도시가스 소비 증가율을 도출하였다. 그 과정은 다음과 같다.

휘발유, 경유, 액화석유가스 소비량이 최종에너지 소비에서 차지하는 비율은 전기차 및 수소차 확산으로 인하여 감소할 것이며 그것은 자동차 보유 대수 기준²³⁾ 확산에 따라 감소할 것이다. 그로 인해 특정 에너지원(휘발유, 경유, 액화석유가스 중 하나)의 전기 및 수소차 확산으로 인한 총 최종에너지소비량 변화율은 2010년²⁴⁾ 최종에너지 대비 육상운송 비율에 확산비율을 곱한 만큼이 될 것이며 계산과정은 아래 수식과 같다.²⁵⁾

$$e_{i,j}^{old} = -1 \times \frac{LT(2010)_i}{TE(2010)_i} \times DIFF_j \quad (13)$$

e_{ij}^{old} = j 차종 확산으로 인한 에너지 i 의 최종에너지 소비 변화율

$LT(2010)_i$ = i 에너지의 2010년 육상운수 에너지 소비량

$TE(2010)_i$ = i 에너지의 2010년 최종에너지 소비량

$DIFF_j$ = j 차종(전기 혹은 수소차)의 확산율

한편 전기차 혹은 수소차(j)의 확산에 따른 휘발유, 경유, 액화석유가스 등 에너지 소비변화량 E_{ij}^{old} 는 다음과 같다.

23) 에너지 최종수요는 보유 자동차 비중에 따라 결정될 것이다. 반면에 투입계수는 생산비중에 따라 결정될 것이다.

24) III장의 확산시나리오에서 2010년을 기준으로 전기차 및 수소차의 확산 모형을 구성하였으므로 2015년이 아닌 2010년의 에너지 사용 데이터를 사용하였다. 본 논문의 기준년의 산출 등 사회회계계정 데이터는 2010년 산업연관표를 기반으로 2015년 GDP에 맞추어 조정된 수치를 사용하였다. 이산화탄소 배출량은 2015년 배출량을 사용하였다. 확산 시나리오가 2010년을 기준으로 확산율을 계산하지만 2015년 전기차 및 수소차의 확산율이 사실상 0%이므로 확산율 기준으로 계산한 충격은 2010년 기준과 2015년 기준에서 동일한 수치가 산정된다. 본 논문에서는 이러한 방식으로 계산한 에너지 사용변화율을 2015년을 기준년도로 작용한 CGE 모형에 충격으로 주었다.

25) 여기서 사용되는 단위는 에너지 공통단위인 TOE이다.

$$E_{ij}^{old} = -1 \times LT(2010)_i \times DIFF_j \quad (14)$$

차종별(전기 및 수소차) 확산에 따른 기존 에너지 전체(휘발유, 경유, 액화석유가스의 합) 감소량은 다음과 같이 계산된다.

$$E_j^{old} = \sum_{i=1}^n E_{i,j}^{old} \quad (15)$$

전기 및 수소가 확산하면 내연기관 연료인 휘발유, 경유, 액화석유가스의 소비는 감소하지만, 전기 및 수소차의 에너지원인 전기와 수소의 소비는 증가하게 된다. 증가한 전기 및 수소 소비의 증가율을 계산하려면 확산율만 가지고는 계산할 수 없고 기존의 연료 소비량에 대응한 전기차 에너지원(전기)이나 수소차 에너지원(수소)으로의 에너지 전환율을 알아야 한다.

에너지 전환율은 주어진 기존 에너지원(휘발유, 경유, 액화석유가스)의 연비²⁶⁾를 사용하여 주행거리를 계산하고 이에 상응한 동일한 주행거리를 가져오는 신규에너지원의 양을 계산하는 방식으로 구하였다. 전기 및 수소차의 확산에 따른 j 신규에너지원(전력 혹은 도시가스)의 소비변화량은 다음 식으로 계산된다.

$$E_j^{new} = - \sum_{i=1}^m [E_{ij}^{old} \times CONV_i \times FE_i] \times \frac{1}{FE_j} \times CONV_j \quad (16)$$

E_j^{new} = (에너지전환효율 고려) 신규 에너지원 변화량

E_{ij}^{old} = 전기 및 수소차 확산에 따른 기존 에너지 변화량

$CONV_i$ = 기존 에너지의 전환율

FE_i = 기존 에너지의 연비(각 연료 단위당 주행거리)

$CONV_j$ = 신규 에너지로부터 각 에너지 단위로 전환율

(수소의 경우 도시가스로부터 수소로의 개질효율을 추가로 고려)

26) 에너지(TOE)단위로 환산한 차종별 연비는 휘발유 12,853km/TOE, 경유 16,648km/TOE, LPG 5,333km/TOE, 전기 21,739km/TOE, 수소 29,285km/TOE이다. 자세한 산정기준은 한국가스공사(2017) 참조. 단, 이 연비들은 계산과정에서 사용된 수치들이며, 최종적으로 경제전체에서의 이산화탄소 배출 유발 계수와는 다른 개념임을 유의해야 한다.

위와 같이 E_j^{new} 가 계산되면 그로부터 계산가능일반균형 모형에 충격으로 주어야 하는 에너지 전환효율을 고려한 전기차 혹은 수소차 확산에 따른 전기 및 도시가스 최종에너지 소비 변화율(e_j^{new})이 아래와 같이 계산된다.

$$e_j^{new} = \frac{E_j^{new}}{TE_j} \quad (17)$$

가계부문의 에너지 최종수요 변화는 최종수요량 자체를 외생변수로 설정해 이를 감소시키는 방법이 아니라 가계의 평균예산 비중을 나타내는 파라미터에 충격을 주어 전기 및 수소차 확산에 따라 휘발유, 경유 수요가 감소하고 전기, 도시가스 수요가 증가하는 것으로 반영하였다. 평균 예산 비중 변화는 가계의 소비 선호의 변화(taste-change)를 의미한다.²⁷⁾ 최종에너지 소비 변화율(e_j^{old} , e_j^{new}) 만큼 가계 선호가 변화한다고 간주하였다.²⁸⁾

2) 자동차 사용 산업에 대한 에너지별 투입계수 충격의 계산과정

자동차 보유 대수 기준으로 변화는 에너지 최종수요의 변화만을 가져오는 것이 아니라 자동차를 자본재로 사용하여 서비스를 제공하는 산업, 즉 운송서비스 산업과 여타 자동차 사용 산업의 투입계수 변화로 나타난다. 자동차 사용 산업에 대한 에너지투입계수의 변화는 최종수요에서의 에너지 소비량 변화율을 적용하여 이를 운송서비스 산업에 대한 에너지 투입계수의 변화율로 계산하여 적용하였다. 이 과정에서 기존 에너지원인 휘발유, 경유, 액화석유가스의 투입과 새로운 에너지원인 전력과 도시가스의 투입규모를 고려하여 충격의 크기를 조정하였다.

27) 이 파라미터는 ORANI 모형에서 a3_s(taste change, household imp/dom composite)이다. 여기서 평균의 의미는 가계가 소비하는 재화가 '국산-수입 복합재'이기 때문에 단순 국산재, 수입재 소비와 구분하기 위해 평균이란 단어를 사용하였다. 자세한 내용은 Horridge, M.(2003)를 참고.

28) 산업연관표 민간소비의 휘발유, 경유 상품은 수송 및 비수송 목적으로 사용된 에너지 사용량이 구분되어 있지 않다. 본 연구에서는 별도의 구분 없이 가계에서 사용되는 모든 휘발유, 경유 상품이 수송용으로 사용된다고 가정하였다.

V. 분석결과

분석에 사용된 계산가능일반균형 모형은 단기모형과 장기모형의 2가지 모형이 사용되었다. 단기모형은 자본 스톡 부존을 외생변수로 처리하고 총 수익률을 내생변수로 처리하였다. 반면에 장기모형에서는 자본 스톡이 내생화되고 총 수익률이 외생변수로 처리되었다. 본 연구에서는 자본과 수익률의 외생-내생 설정을 제외한 모든 모형 구성요소와 구조가 장기모형과 단기모형에서 동일하게 설정되었다.

본 분석은 수소 및 전기차의 확산에 대한 시나리오 3가지(하위 안, 기준안, 상위 안) 중 기준안만을 적용한 것이다. 즉, 전기 및 수소차의 확산이 최종수요와 운송서비스 산업에 대한 중간투입(즉 에너지 수요) 면에서는 14.56%(기준안 상황에서의 누적 보유 대수의 비율에 상응) 그리고 자동차산업에 대한 중간투입 측면에서 34.65%(생산 측면에서의 확산율 기준안)가 되는 상황이 되도록 각 투입계수와 최종수요의 변화율을 계산하여 충격으로 준 계산가능일반균형 분석결과이다. Bass 확산모형을 이용한 예측에 따르면 이 수준으로 전기 및 수소차의 확산이 이루어지는 것은 2035년경의 상황이므로 이것을 2035년에 발생하는 파급효과로 해석할 수도 있을 것이다.

1. 국내총생산에 대한 영향

아래 <표 6>은 기준안²⁹⁾에서 전기차와 수소차의 상대적 비중에 관한 5개 시나리오 분석결과 중 실질국내총생산 변화율을 보여주고 있다. 실질국내총생산은 증가하고 있으며 장기모형에서의 증가율이 단기모형에서보다 더 높다. 장기모형에서 국내총생산이 단기모형에서보다 좋게 나오는 것은 자본이 내생화하여 보다 유리한 방향으로 자본 스톡을 조정할 수 있기 때문으로 해석된다. 국내총생산은 장기와 단기 모두 수소차의 비중이 증대할수록 긍정적인 방향으로 변화하고 있다. 장-단기 모두 지출 측면에서 국내총생산 증가요인은 수출의 증대와 수입의 감소이다.

장기에서 단기보다 우수한 국내총생산 영향이 나타나는 것을 분석하기 위하여 지출 항목별로 분해하여 보았다(<표 9>, <표 10>). 이 결과를 보면 장기에서는 소비와 투자가

29) 기준안이란 2035년 경에 전기차 및 수소차의 합계 비중이 자동차 산업내에서 누적보유대수 기준 14.56%가 되는 시나리오를 말함(<표 5> 참조).

증가하고 있지만, 단기에서는 소비와 투자를 고정되어 있다고 보아 그 변화가 없다. 또한 장기에서는 수출의 증대와 수입의 감소가 단기에서보다 현저하다. 이러한 요인들이 국내총생산의 증가를 가져왔으며, 이러한 경향은 단기에서보다 장기에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. <표 11>을 보면 단기에서는 설정 때문에 자본 스톡의 변화가 0인 반면에 장기에서는 휘발유, 경유, 액화석유가스, 운송장비의 자본 스톡 감소, 전기 및 전자기기, 전력, 도시가스 부문 등의 자본 스톡 증가가 현저하다. 자본 스톡의 조정은 변화된 수요에 부응한 것으로서 경제의 효율성을 향상하게 시키고 물가수준의 하락에 기여하여 수출 증대와 수입 감소에도 이바지하였다고 분석된다. <표 7>을 보면 장기에서는 물가 하락이 현저하며, 단기에서는 물가가 상승하고 있다. 그러나 단기에서도 주요 수출품인 승용차와 주요 수입품인 석탄 및 석유제품, 광산품 등의 가격이 하락하고 있다(<표 21, 표 22> 참조).

장기에서 국내총생산이 단기보다 더 증가하고 있으며 수소차의 비중이 증대함에 따라 국내총생산 변화는 더 좋은 방향으로 변화하고 있다. 정기에서 전기차 대 수소차 비중 0:10 설정에서 국내총생산 변화율은 +1.06%에 이르고 있다.

고용변화의 면에서는 <표 8>에서 보듯이 실질국내총생산에 대한 영향보다는 덜 긍정적인 영향을 보인다. 단기에서 전기 및 수소차 비중이 10대0인 경우에는 고용이 감소하고 있기도 하다. 이는 전기 및 수소차, 그리고 전력과 도시가스가 내연기관 자동차 및 휘발유 경유 등 보다 고용을 덜 유발하기 때문으로 판단되며 전기차보다 수소차 관련 산업의 고용유발 효과가 더 크기 때문으로 분석된다.

<표 6> 실질국내총생산 변화율

(단기/장기) (%)

실질국내총생산	10대0	9대1	8대2	5대5	2대8	0대10
단기	0.070	0.080	0.088	0.108	0.118	0.123
장기	0.962	0.971	0.980	1.005	1.030	1.057

〈표 7〉 물가지수(국내총생산 물가지수)

(단기/장기) (%)

자본 스톱	10대0	9대1	8대2	5대5	2대8	0대10
단기	0.313	0.281	0.252	0.184	0.144	0.129
장기	-0.891	-0.907	-0.922	-0.966	-1.010	-1.050

〈표 8〉 고용변화율

(단기/장기) (%)

장/단기	10대0	9대1	8대2	5대5	2대8	0대10
단기	-0.013	0.000	0.011	0.035	0.045	0.046
장기	0.79	0.79	0.80	0.82	0.84	0.86

〈표 9〉 실질 총생산 변화율(지출항목별)

(단기) (%)

구분	10대0	9대1	8대2	5대5	2대8	0대10
가계소비	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
투자	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
정부 소비	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
재고	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
수출	0.165	0.180	0.194	0.229	0.253	0.265
수입	-0.095	-0.101	-0.106	-0.122	-0.135	-0.143

〈표 10〉 실질 총생산 변화율(지출항목별)

(장기) (%)

구분	10대0	9대1	8대2	5대5	2대8	0대10
가계소비	0.280	0.285	0.290	0.305	0.320	0.333
투자	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
정부 소비	0.080	0.082	0.083	0.088	0.092	0.096
재고	0.226	0.225	0.225	0.225	0.224	0.224
수출	0.686	0.698	0.710	0.746	0.781	0.811
수입	-0.310	-0.319	-0.329	-0.358	-0.387	-0.408

〈표 11〉 주요 산업 자본 스톡 변화율

구분	(장기) (%) (단기 자본 스톡 변화 없음)	
	8대2 장기	2대8 장기
전체	1.10	1.13
광산품	1.10	1.37
석탄 및 석유제품	0.96	1.14
휘발유	-9.07	-9.00
경유	-5.42	-5.24
액화석유가스	-6.11	-5.70
전자 및 전자기기	3.15	2.52
승용차	2.42	3.53
버스	0.68	1.13
트럭	1.08	2.87
운송장비	-4.40	-4.13
전력 및 신재생에너지	6.70	2.61
도시가스	4.89	10.88
운송서비스	1.97	2.06
도로여객 운송 서비스	1.29	1.40
소화물 전문 운송 서비스	1.15	1.33

2. 온실가스(이산화탄소) 배출에 대한 영향

다음 표는 시나리오에 따른 이산화탄소 배출량 변화율 결과이다.³⁰⁾ 단기에서 즉 현재의 자본 상태에서는 전기차비중이 대부분인 경우에는 증가하지만 수소차의 비중이 증대하면 이산화탄소배출량은 감소하며 0대10 단기에서는 -1.28%의 변화율을 보이고 있다. 그러나 장기적으로, 즉 자본의 조정이 이루어진 후에는 1대10인 경우를 제외하고는 이산화탄소의 배출이 증대하는 것으로 나타나고 있다. 이것은 실질국내총생산이 장기적으로 더 증가하는 것과 관련이 있다. 즉, 이윤 극대화 기업들은 장기에서 자본조정을 통하여 실질국내총생산을 증대시키며 이것이 더 큰 이산화탄소 배출증대를 가져온다.

30) 한편, 본 연구는 온실가스 배출에 대한 별도의 규제가 존재하지 않는 것으로 가정한 결과임을 유념할 필요가 있다. 즉, 2010년 수준의 투입산출구조와 산업구조가 유지되는 것을 전제로 추가적인 온실가스 규제가 없는 것을 가정하고 모형을 모의 실험한 것이다. 배출권거래제도가 실시된다면 배출량의 제약으로 온실가스 배출량의 증가는 미미할 것이다.

〈표 12〉 이산화탄소 배출 변화율

	(%)					
장/단기	10대0	9대1	8대2	5대5	2대8	0대10
단기	1.14	0.90	0.67	-0.05	-0.78	-1.29
장기	1.98	1.75	1.52	0.83	0.14	-0.33

전기차나 수소차의 비중 증대가 이산화탄소의 배출량에 가져오는 변화는 다음과 같이 설명된다. 첫째로 전기차 비중 증대의 경우에는 전기차 자체는 이산화탄소 배출이 없지만 전력생산에서 이산화탄소 배출량 증가가 휘발유 경유 등의 소비감소에 따른 배출량 감소보다 크다. 전기자동차의 에너지 단위당 연비가 휘발유차나 경유차보다 높음에도 불구하고, 전력산업 배출계수가 휘발유나 디젤의 연소보다 높기 때문에 전기차 사용으로부터 유발된 이산화탄소 배출이 휘발유차나 경유차보다 더 크다.³¹⁾ 이처럼 전기차의 비중이 증대하면 휘발유 경유로부터의 배출감소보다 큰 전력사용으로부터의 이산화탄소 배출 증가로 인하여 자동차 사용부문으로부터의 배출량이 증가하며, 장기적으로는 더욱 그러하다. 전기차는 추가적으로 자동차 제조 관련 부문에서의 배출량 증대도 작용하여 전기차 비중이 큰 경우 이산화탄소 배출증가를 보이고 있다.³²⁾

한편 수소차의 비중이 증대할 경우에는 어떤지 보자. 수소차의 경우에도 GDP 증대로 인한 이산화탄소 배출증대 요인이 작용한다. 그렇지만 수소차의 이산화탄소 배출이 경유 휘발유 등 보다 낮으므로 수소차의 비중이 증가하면서 이산화탄소 배출이 감소한다.³³⁾

이를 이해하기 위하여 0대10 상황에서의 에너지원별 이산화탄소 배출량의 변화율을 장기와 단기로 보면 다음 <표 13, 표 14>와 같다. 이를 보면 광산품³⁴⁾과 석탄/석유제품,

31) 2011년 배출계수(사용단)는 휘발유 67tCO₂/TJ, 경유 69tCO₂/TJ, 도시가스 50tCO₂/TJ, 전력 127tCO₂/TJ이다.

32) 기준안 10대0 시나리오의 경우 트럭 4.2%, 버스 1.4% 등의 배출량 증가를 나타내고 있다.

33) 수소차의 전기차에 대한 상대적 비중 증대에 따라 이산화탄소 배출증가율이 감소하고 있는 이유는 도시가스의 배출계수가 전력에 비하여 상대적으로 낮기 때문이다. 수소차의 이산화탄소 배출측면에서의 전기차에 대한 우위는 도시가스로부터 수소로의 개질 효율성이 75%인 점을 감안하면 그 우위가 약화되지만 이를 감안하더라도 여전히 수소차의 이산화탄소 배출은 휘발유나 경유차보다는 낮다. 한편, 본 연구의 가정 중 하나는 현재의 전원 구성에 변화가 없다는 것이다. 그러나 2014년 제7차 전력수급기본계획이 발표된 이후 전원구성에서 석탄발전 비중이 증가하는 추세로 2010년 석탄발전량 40.8%, 2014년 44.1로 4%가 증가하였다(전력거래소, 2015 발전설비현황, 2015). 그러므로 실제 전원구조의 변동을 고려하면 전기차의 수소차에 대한 이산화탄소 면에서의 열위는 더 뚜렷해질 것으로 평가된다.

34) 전력부문에 대한 석탄 투입은 광산품 부문에서 직접 석유 및 석탄 산업의 가공과정을 거치지 않고 투입되고 있는 것으로 통계 처리되고 있다. 광산품 부문에는 석탄뿐 아니라 천연가스와 기타 비연료 광물이 포함되어 있다. 정밀한 연구를 위해 광산품이라는 분류보다는 유연탄을 별도의 에너지원으로 분류하여야 하지만 본 연구는 광

그리고 도시가스로부터의 배출량은 증가하고 휘발유, 경유, 액화석유가스로부터의 배출량은 감소하고 있다. 에너지원별 이산화탄소 배출에서 절대적인 비중을 차지하는 것은 광산품(53.6%)이며 이 배출량의 변화율이 전체 배출량변화율을 사실상 결정한다. 수소차 비중증대에 따라 이 광산품으로 부터의 이산화탄소배출량 증가율이 크게 감소하며 이것이 수소차 비중 증대 시 이산화탄소배출 증가가 둔화되고 결국 수소차 비중이 5대5에서부터는 이산화탄소배출이 감소로 전환되게 하는 주요인이다. 특기할 사항은 수소차에 주입되는 수소가 도시가스 개질로부터 생성되는 것으로 모형을 구성하였음에도 불구하고 수소차 사용 시보다 전기차 사용 시에 도시가스로부터의 이산화탄소 배출량 증가가 더 크다는 점이다. 이는 전력 및 신재생에너지 산업의 투입 중 도시가스가 상당부분을 차지하고 있으며 전기차 사용 확대로 인한 전력소비 증대효과가 수소차 사용으로 인한 도시가스 사용 증대효과보다 상당히 크다는 것을 의미한다.

〈표 13〉 에너지원별 이산화탄소 배출량 변화율

에너지원별		단기(%)					
에너지원	배출비중	10대0	9대1	8대2	5대5	2대8	0대10
광산품	53.6	3.79	3.46	3.13	2.13	1.13	0.44
석탄/석유제품	12.3	2.16	1.94	1.72	1.07	0.40	-0.06
휘발유	4.3	-11.98	-11.98	-11.98	-11.97	-11.95	-11.93
경유	10.6	-10.40	-10.38	-10.36	-10.30	-10.25	-10.21
액화석유가스	3.8	-6.30	-6.35	-6.40	-6.56	-6.73	-6.84
도시가스	15.4	4.53	4.32	4.11	3.43	2.68	2.12

산품이라는 분류를 사용하였으며 유연탄으로부터의 배출만을 광물로부터의 배출로 간주하였다. 천연가스는 도시가스의 원료로서 그 자체로서는 연료로 사용되지 않는 것으로 가정하였다. 또한 기본부문 산업연관표를 참조하여 광산품 부문으로부터의 투입 중 유연탄 연료가 아닌 것으로 판단되는 경우에는 에너지 투입이 아닌 것으로 간주하여 이산화탄소 배출 계산에서 제외하였다.

〈표 14〉 에너지원별 이산화탄소 배출량 변화율

에너지원별		장기(%)					
		10대0	9대1	8대2	5대5	2대8	0대10
에너지원	배출비중						
광산품	53.6	4.80	4.43	4.07	2.98	1.88	1.14
석탄/석유제품	12.3	3.40	3.15	2.90	2.16	1.42	0.91
휘발유	4.3	-13.81	-13.80	-13.80	-13.78	-13.76	-13.74
경유	10.6	-10.30	-10.29	-10.28	-10.25	-10.22	-10.19
액화석유가스	3.8	-5.61	-5.68	-5.75	-5.96	-6.18	-6.32
도시가스	15.4	5.75	5.72	5.71	5.64	5.57	5.50

현 전력 생산구조에서 전기자동차의 확산은 석탄의 사용증대를 의미하며 이는 이산화탄소뿐 아니라 미세먼지 관리 측면에서 중대한 시사점을 지니고 있다. 이산화탄소 배출계수에서 우위에 있는 수소 자동차의 경우에는 자동차 운행 부문에서의 자동차 제조 관련 부문에서의 배출량 증대에도 불구하고 자동차 운행부문에서의 상당폭의 이산화탄소 배출량 감소로 인하여 이산화탄소의 배출이 감소하고 있다.³⁵⁾

3. 주요 상품 산출 및 가격 영향분석

주요 상품의 산출량 변화 분석결과는 다음과 같다. 단기에서 전력, 도시가스, 운송서비스 등의 산출은 증가하며 승용차, 버스, 트럭 등과 도로운송서비스, 전기·전자제품 등도 소폭 증가하였다. 그러나 운송장비(수송기기의 부품과 열차 등)와 휘발유, 경유, 액화석유가스 등은 산출이 감소하였다. 장기에서는 휘발유, 경유, 액화석유가스 등의 산출 감소 폭은 둔화되지만 전력과 도시가스의 산출은 더욱 증가하고 있다. 또한 승용차, 버

35) 자동차 제조분야에서의 투입계수 변화와 연료 최종수요 및 투입구조 변화로부터의 효과를 분리하여 보기 위하여 두 분야의 충격중 하나씩만(연료충격만 주거나 자동차 투입계수 충격만 주어서) 연산하여보았다. 연료충격만 준 경우 국내총생산 증가율은 단기 10대0은 0.088186% 0대10은 0.074309%였으며 이산화탄소 증가율은 단기 10대0은 1.038884% 0대10은 -1.400249%였다. 연료충격만 준 경우의 결과는 두 분야 모두 충격을 준 결과와 크게 다르지 않았다. 그리고 자동차 산업 충격만 준 경우 국내총생산 증가율은 단기 10대0은 -0.01665% 0대10은 0.048805%였으며 이산화탄소 증가율은 단기 10대0은 0.100773% 0대10은 0.105649%였다. 자동차 산업 충격으로부터의 효과가 그다지 크지 않아서 전체 결과에 큰 영향은 주지 않고 있으나 전기차와 수소차 간에 유의미한 차이를 보이고 있다. 즉, 국내총생산측면에서 보면 전기차는 감소요인이 되고 있으나 수소차는 증가요인이 되고 있으며, 반면에 이산화탄소 배출 측면에서 보면 수소차와 전기차 공히 이산화탄소의 증가요인이 되고 있다.

〈표 15〉 주요 상품 산출량 변화율

구분	단기(%)	
	8대2 단기	2대8 단기
광산품	0.04	0.28
석탄 및 석유제품	-0.02	0.05
휘발유	-12.49	-12.37
경유	-12.63	-12.21
액화석유가스	-3.83	-3.57
전자 및 전자기기	0.55	0.38
승용차	0.89	1.40
버스	0.75	0.99
트럭	3.61	4.53
운송장비	-2.64	-2.43
전력 및 신재생에너지	4.54	1.17
도시가스	3.19	7.53
운송서비스	0.70	0.65
도로여객 운송 서비스	2.17	2.08
소화물 전문 운송 서비스	0.06	0.08

〈표 16〉 주요 상품 산출량 변화율

구분	장기(%)	
	8대2 장기	2대8 장기
광산품	1.20	1.42
석탄 및 석유제품	0.92	1.08
휘발유	-9.11	-9.05
경유	-5.44	-5.27
액화석유가스	-6.14	-5.74
전자 및 전자기기	3.18	2.55
승용차	2.44	3.53
버스	0.73	1.15
트럭	1.12	2.87
운송장비	-4.36	-3.96
전력 및 신재생에너지	6.69	2.59
도시가스	4.84	10.81
운송서비스	2.15	2.12
도로여객 운송 서비스	1.47	1.48
소화물 전문 운송 서비스	1.20	1.31

스 등과 도로운송서비스, 전기·전자제품 등의 산출폭도 증가하고 있다. 특기할 사항은 장기의 경우 자동차 부품이 중심인 운송장비 부문의 산출 감소폭은 더욱 커지고 있다. 이러한 장단기 차이는 장기에서의 자본 스톡 조정에 의한 공급능력 조정에 의하여 발생하는 것이다.

앞의 <표 7>에 나타난 바와 같이 물가수준은 단기에는 상승하지만, 장기에서는 하락하고 있다. 장기에서 물가가 하락하는 것은 자본 스톡의 조정으로 공급능력이 조정되기 때문으로 분석된다. 한편 주요 상품별 가격의 변화는 <표 17, 표 18>과 같다. 일단 가격은 단기에서는 상품별로 상승과 하락이 교차하지만, 장기에서는 대부분 상품에서 하락세가 뚜렷하다. 단기에서는 전기 및 수소차 비중 증대와 관련하여 전력과 도시가스의 가격이 상승하지만, 장기에서는 이 가격들이 하락세로 돌아서고 있다. 휘발유, 경유, 액화석유가스 등의 가격은 단기에서는 상당 폭 하락하였으나 장기에서는 하락 폭이 크게 작아지고 있다. 이러한 장기, 단기의 상반된 결과를 설명하자면 단기의 경우 전기 및 수소차 비중 증대로 인하여 전력과 도시가스의 가격이 상승하고 휘발유, 경유, 액화석유가스의 가격이 하락하지만, 장기의 경우는 수요변화에 부응하기 위한 자본량 변화로 인하여 가격의 변동 폭이 둔화되는 것으로 해석할 수 있다.

<표 17> 주요 상품 가격변화율

구분	단기(%)	
	8대2	2대8
광산품	-0.62	-0.01
석탄 및 석유제품	-0.07	-0.06
휘발유	-4.06	-4.05
경유	-3.65	-3.55
액화석유가스	-1.81	-1.73
전자 및 전자기기	0.94	0.65
승용차	-0.43	-0.70
버스	-0.17	-0.59
트럭	1.27	0.63
운송장비	-1.52	-1.43
전력 및 신재생에너지	8.59	3.51
도시가스	2.43	6.73
운송서비스	-0.60	-0.54
도로여객 운송 서비스	0.00	-0.06

〈표 18〉 주요 상품 가격변화율

상품	장기(%)	
	8대2	2대8
광산품	-1.17	-1.24
석탄 및 석유제품	-0.21	-0.20
휘발유	-0.30	-0.30
경유	-0.39	-0.40
액화석유가스	-0.31	-0.31
전자 및 전자기기	-0.43	-0.46
승용차	-1.20	-1.74
버스	-0.81	-1.30
트럭	-0.77	-1.85
운송장비	-0.51	-0.46
전력 및 신재생에너지	-0.39	-0.40
도시가스	-0.15	-0.15
운송서비스	-1.21	-1.17
도로여객 운송 서비스	-1.35	-1.34

한편, 본 연구의 중심 분야인 자동차 부문의 가격 추이를 보자. 승용차, 버스 등의 가격은 하락하고 있으며 이러한 경향은 장기에서 더욱 뚜렷하다. 자동차 부문의 투입이 기계적 자동차 부품 산업에서 전기·전자 및 화학산업으로 대체되며 이는 대체로 투입의 축소에 따라 원가하락과 그에 따른 가격하락을 가져온 것으로 유추된다. 이러한 추론은 승용차·버스의 가격하락이 생산의 감소가 아니라 생산의 증가가 수반되면서 발생했다는 점을 보면 더욱 그 타당성이 드러난다. 이러한 분석결과로 볼 때 단순한 산업연관분석 접근(예: Osawa and Nakano, 2015)은 문제점이 있다는 것을 재확인할 수 있다.

VI. 결론 및 시사점, 연구의 한계 및 향후 연구과제

산업연관분석기반 선행연구들에서 전기차와 수소차의 경제적 영향이 부정적으로 분석된 것은 대체로 전기자동차 등이 상대적으로 중간투입물량이 적어 산업연계 효과가 축소된 데에 기인한다. 그러나 전기자동차나 수소자동차의 낮은 중간투입과 이에 따른

낮은 생산유발 효과는 동시에 높은 효율성을 의미할 수 있으며 이는 국내총생산의 증가를 가져올 수 있다. 또한 산업연관분석 기반 연구들은 대체로 이산화탄소 배출 면에서는 긍정적인 영향을 예측하였는데 이 경우 실질국내총생산 증대와 그에 따른 이산화탄소 배출증대 효과를 간과한 측면이 있으며, 각국의 전원구조에 따라 크게 달라질 수 있다는 점도 고려되어야 한다.

본 연구의 분석결과에 따르면 전기 및 수소차의 도입은 국내총생산에는 긍정적인 영향을 주는데 이러한 경향은 장기모형에서 더욱 증폭되고 있다. 반면에 이산화탄소 배출과 관련하여서는 전기차와 수소차가 상반된 결과를 보여주고 있다. 현재의 전원구조를 고려할 때 전기차 중심의 확산은 이산화탄소 배출 면에서 이롭지 않으며 장기모형에서는 더욱 그러하다. 전기차보다 수소차 중심의 확산이 이산화탄소 배출 면에서 우월하며 수소차의 비중 증대에 따라 이산화탄소의 배출은 감소하고 있다. 또한 전기 및 수소차가 도시지역의 대기질 개선에 기여하는 면도 있지만, 양자 모두 전력생산에 필요한 석탄 사용의 증대를 가져오며, 이는 전기차가 더욱 심하다. 이는 미세먼지 전구물질(precursor) 등 대기오염물질의 배출을 증가시킬 것이다.

전기차 및 수소차의 도입은 국내총생산 측면에서 보면 긍정적 영향이 있으므로 배출권거래제 등 경제적으로 효율적인 이산화탄소 감축 수단을 도입하면 전기차와 수소차의 도입과 함께 국내총생산이 증대하면서도 이산화탄소 배출량을 안정화할 수 있을 것으로 생각된다. 특히 이산화탄소 배출의 증대가 장기에서 더 커지는 점을 고려할 때 배출권거래 등을 통하여 이산화탄소 배출을 증가시키는 투자를 억제하고 이산화탄소 배출 저감 투자를 유도하는 정책의 중요성이 더욱 강조된다고 할 수 있다.

자동차 사용부문에서의 이산화탄소 배출량은 전기차의 경우 증가하고 수소차의 경우 대체로 감소하는데 이는 자동차 제조 부문까지 동시에 고려하여도 크게 다르지 않다. 이것은 내연기관 자동차가 전기차 혹은 수소차로 전환되면서 발생하는 자동차 제조 관련 부문에서의 투입-산출구조의 변화로 인한 이산화탄소 배출증대 효과가 분명히 존재하기는 하지만 그 절대적 크기가 그리 크지 않기 때문이다.

본 논문이 선행연구와 차별되어 기여한 점과 한계 및 향후 연구과제 등을 기술하면 다음과 같다. 본 논문은 선행연구에서 전기차와 수소차의 기존 산출량이 적어서 투입산출표를 신규로 작성하기 어려운 상황에서 제한된 가정과 설정을 통하여 분석의 왜곡을 가

저은 점을 고정하였다. 즉, 최종수요뿐만 아니라 투입계수에 대하여 충격을 부여하는 방식으로 효과를 도출하였다는 점에서 중요한 기여가 있다고 판단된다. 또한 일반적인 통념과는 달리 전기차와 수소차의 확산에 따른 투입의 감소가 국내총생산 측면에서 부정적이지 않으며 가격하락 등을 통하여 실질국내총생산에 긍정적 영향을 준다는 점을 확인하였다. 그러나 이러한 생산 활동의 증대가 전기차 중심의 확산의 경우 이산화탄소 배출량 측면에서 부정적 요인으로 작용할 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 결과는 내연기관 자동차, 전기 및 수소차의 가격경쟁력이 동일하게 되도록 조세 및 보조금을 인위적으로 조정하여 자동차산업의 순 보조금이 0이 되도록 설정한 모형에 의하여 도출된다. 이러한 결과는 장기적으로 내연기관차, 전기차, 수소차 3가지 기술이 동일한 가격경쟁력을 가질 경우를 전제로 한 분석의 결과이다. 그러므로 본 논문의 분석결과는 장기적인 방향성의 제시로서만 받아들여져야 한다. 보조금과 가격경쟁력이나 소비자 선호 등을 명시적으로 고려한 모형 또한 별도의 향후 연구과제로 남겨놓고자 한다. 한편 부가적인 분석결과는 에너지 재화를 CES 형태의 복합 생산요소로 설정하지 않고 레온티에프 투입으로 설정할 경우 그 결과가 상당히 차이를 보일 수 있음도 확인하였다. 추후 연구에서는 에너지의 대체 탄성치에 관한 결과의 민감도에 대하여 정밀한 분석이 필요하다고 판단된다.

그리고 본 연구는 정태모형으로 축차적인 자본 축적 과정 등을 나타내지 못하고 있다. 향후에는 동태모형의 구축 또한 바람직하다. 산업연관표의 분류상 한계로³⁶⁾ 전기차 충전시설 및 수소차 충전시설 등 인프라 건설의 효과를 명시적으로 충분히 고려하지 못하였다. 장기모형에서 수소차 수요에 대응하여 도시가스 산업의 자본, 그리고 전기차 수요에 대응하여 전력산업의 자본이 유발되는 측면도 모형에 포함되어 있으므로 장기모형에서는 이 측면이 부분적으로는 반영되었다고 볼 수 있기도 하다. 향후 연구에서는 인프라 측면을 명시적으로 고려한 연구가 바람직할 것이다.

36) 기존 내연기관 자동차의 인프라인 주유소 등이 도소매 산업으로 포함되어 분리된 자료를 제공하지 않기 때문에 본 연구에서는 인프라 관련 효과를 분명하게 분석하지 못하고 있다.

[References]

- 관계부처 합동, 「제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획」, 2015.
- 온실가스 종합정보센터, 「2017 국가온실가스 인벤토리 보고서」, 2018.
- 전력거래소 웹사이트 (<https://www.kpx.or.kr/www/contents.do?key=222>)
- 채현석, “Bass 확산 모형을 이용한 전기자동차 수요 예측”, 경북대학교 대학원 경영학과 석사 학위 논문, 2013.
- 채현석·정재우·김종달, “Bass 확산 모형을 이용한 전기자동차 수요 예측”, 「환경정책」 제24권 제1호, 2016, pp. 109~132.
- 한국가스공사, 「수소 및 전기차 본격 도입이 국내 수송용 유류세 부과와 국내 탄소배출에 미치는 영향 분석」, 연구용역보고서, 2017.
- 한국산업기술평가관리원, “수소연료전지차의 시장 도래”, 「KEIT PD Issue Report」 Vol.15-7, 2015.
- Antoszewski, M., “Assessment of energy-related technological shocks within a CGE model: Does the aggregation bias matter?,” unpublished working paper, 2017.
- Bass, F. M., “A new product growth for model consumer durables. *Management science*,” Vol. 15, No. 5, 1969, pp. 215~227.
- Bjertnaes, G. H., “Are tax exemptions for electric cars an efficient climate policy measure?,” Discussion Papers No. 743, Statistics Norway Research department, May 2013.
- Brown, M., “Catching the PHEVer: simulating electric vehicle diffusion with an agent-based mixed logit model of vehicle choice.” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 16, No. 2, 2013, pp. 1~5.
- Cordill, Aaron. *Development of a diffusion model to study the greater PEV market*. Diss. University of Akron, 2012.
- Dixon, P. B., *Orani, A multisectoral model of the Australian economy* (Vol. 142). North Holland, 1982.
- Dixon, Peter B. and Maureen T. Rimmer, *Forecasting with a CGE model: Does it Work?*, General Paper No. G-197, The Centre of Policy Studies (COPS), Monash University, May 2009.
- Gherzi, Frédéric, *Macroeconomic modelling of electric cars penetration in EU28*. CIRED

- Working Paper. 2015. <hal-01583771>
- Horrige, M., “ORANI-G: A generic single-country computable general equilibrium model.”
Centre of Policy Studies and Impact Project, Victoria University, Australia, 2005.
- Hutagalung, Aldi Martino. *The economic value of Indonesia's natural gas: a quantitative assessment of three gas policies*. Universiteit Twente, 2014.
- IEA, *Energy Technology Perspective 2010: Scenarios and Strategies to 2050*, 2010.
- IEA, *Energy Technology Perspective 2012: Pathways to Clean Energy Systems*, 2012.
- Jensen, A. F., E. Cherchi, S. L. Mabit, and J. D. D. Ortúzar, “Predicting the potential market for electric vehicles.” *Transportation Science*, Vol. 51, No. 2, 2017, pp. 427-440.
- Jochem, Eberhard, Elna Schirrmeister, and Frank Marscheider-Weidemann, “4. Potential economic impacts of fuel cell technologies,” A chapter in Arman Avadikyan, Patrick Cohendet, Jean-Alain Héraud eds., *The Economic Dynamics of Fuel Cell Technologies*, Springer, 2003.
- Leurent, F. and W. Elisabeth, “Benefits and costs of electric vehicles for the public finances: An integrated valuation model based on input-output analysis, with application to France.” *Research in Transportation Economics*, Vol. 50, 2015, pp. 51-62.
- Massiani, J. and G. Andreas, “The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies.” *Research in Transportation Economics*, Vol. 50, 2015, pp. 17-28.
- McCoy, D. and L. Seán, “Consumer preferences and the influence of networks in electric vehicle diffusion: An agent-based micro-simulation in Ireland.” *Energy Research & Social Science*, Vol. 3, 2014, pp. 89-101.
- Miyata, Y., H. Shibusawa, and T. Fujii, “Economic and Environmental Impacts of Electric Vehicle Society in Toyohashi City in Japan - A CGE Modeling Approach -,” 54th Congress of the European Regional Science Association: “Regional development & globalisation: Best practices,” 26-29 August 2014, St. Petersburg, Russia, European Regional Science Association (ERSA), Louvain-la-Neuve, 2014.
- Osawa, J. and M. Nakano, “The Impact of the Popularization of Clean Energy Vehicles on Employment,” *Procedia CIRP*, Vol. 47, 2016, pp. 478-482.
- Osawa, J. and M. Nakano, “A model of the economic ripple effect caused by the spread of clean

- energy vehicles.” *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng.*, Vol. 81, No. 823, 2015, p.14- 00071.
- Park, S. Y., J. W. Kim, and D. H. Lee, “Development of a market penetration forecasting model for Hydrogen Fuel Cell Vehicles considering infrastructure and cost reduction effects.” *Energy Policy*, Vol. 39, No. 6, 2011, pp. 3307~3315.
- Schmelzer, Stefan, and Michael Miess, “The Economic Costs of Electric Vehicles.” *DEFINE Working Paper*, 2015.
- van Meij, Hans and Frank van Tongeren, “Endogenous International Technology Spillovers and Biased Technical Change in the GTAP Model,” *GTAP Technical Paper*, No. 15, January 1999.
- Wenger, J. and E. Schirrmesiter, *The innovation process from internal combustion to fuel cells - Chances and risks for the industry of Baden-Württemberg*, FhG-ISI, Karlsruhe, 2000.
- Yusuf and Resosudarmo, “Searching for Equitable Energy Price Reform for Indonesia,” *MPRA Paper*, No. 2350, 2007.

〈부표〉 판매대수 비중 15%일 때의 자동차 산업의 투입계수 및 투입계수 변화율
(기준안(15%) 전기-수소 비중 8:2 가정)

산업부문	15% 적용시 투입계수			투입계수 변화율			
	승용차	버스	트럭	승용차	버스	트럭	
1	농림수산물	0.000	0.000	0.000	-2.47%	-2.17%	-0.56%
2	광산품	0.000	0.000	0.000	0.00%	0.00%	0.00%
3	음식료품	0.000	0.000	0.000	-2.47%	-2.17%	-0.56%
4	섬유 및 가죽제품	0.003	0.004	0.001	-2.47%	-2.17%	-0.56%
5	목재 및 종이, 인쇄	0.002	0.003	0.002	-2.47%	-2.17%	-0.56%
6	석탄 및 석유제품 (휘발유경유, 액화석유가스 제외)	0.002	0.001	0.001	-2.47%	-2.17%	-0.56%
7	휘발유	0.001	0.001	0.001	-2.47%	-2.17%	-0.56%
8	경유	0.001	0.002	0.003	-2.47%	-2.17%	-0.56%
9	액화석유가스	0.000	0.000	0.000	-2.47%	-2.17%	-0.56%
10	화학제품	0.061	0.069	0.059	23.20%	17.97%	31.00%
11	비금속광물제품	0.014	0.017	0.012	160.13%	82.54%	289.73%
12	1차 금속제품	0.034	0.028	0.029	31.56%	72.33%	80.07%
13	금속제품	0.035	0.034	0.027	-21.05%	-20.35%	-13.79%
14	기계 및 장비	0.024	0.031	0.030	-22.02%	-24.71%	-23.73%
15	전기 및 전자기기	0.145	0.141	0.134	174.42%	201.63%	275.36%
16	정밀기기	0.009	0.009	0.008	13.35%	12.48%	23.52%
17	승용차	0.000	0.000	0.000	0.00%	0.00%	0.00%
18	버스	0.000	0.000	0.000	0.00%	0.00%	0.00%
19	트럭	0.000	0.000	0.000	0.00%	0.00%	0.00%
20	운송장비	0.282	0.273	0.329	-27.86%	-27.80%	-27.44%
21	기타 제조업 제품 및 업가공	0.037	0.037	0.014	-2.47%	-2.17%	-0.56%
22	전력 및 신재생에너지	0.004	0.004	0.004	46.74%	47.75%	55.93%
23	도시가스	0.001	0.001	0.001	-2.47%	-2.17%	-0.56%
24	증기 및 온수	0.000	0.000	0.000	0.00%	0.00%	0.00%
25	수도, 폐기물 및 재활용 서비스	0.002	0.003	0.002	-2.47%	-2.17%	-0.56%
26	건설	0.001	0.000	0.000	-2.47%	-2.17%	-0.56%
27	도소매서비스	0.048	0.053	0.045	-2.47%	-2.17%	-0.56%
28	운송서비스	0.009	0.010	0.009	-2.47%	-2.17%	-0.56%
29	도로여객 운송서비스	0.000	0.000	0.001	-2.47%	-2.17%	-0.56%
30	소화물 전문 운송서비스	0.001	0.001	0.000	-2.47%	-2.17%	-0.56%
31	음식점 및 숙박서비스	0.004	0.001	0.000	-2.47%	-2.17%	-0.56%
32	정보통신 및 방송 서비스	0.005	0.004	0.005	-2.47%	-2.17%	-0.56%
33	금융 및 보험 서비스	0.006	0.017	0.006	-2.47%	-2.17%	-0.56%
34	부동산 및 임대	0.003	0.003	0.002	-2.47%	-2.17%	-0.56%
35	전문, 과학 및 기술 서비스업	0.039	0.012	0.017	-2.47%	-2.17%	-0.56%
36	사업지원서비스	0.001	0.001	0.001	-2.47%	-2.17%	-0.56%
37	공공행정 및 국방	0.000	0.000	0.000	-2.47%	-2.17%	-0.56%
38	교육서비스	0.000	0.000	0.000	-2.47%	-2.17%	-0.56%
39	보건 및 사회복지 서비스	0.000	0.001	0.001	-2.47%	-2.17%	-0.56%
40	문화 및 기타서비스	0.003	0.002	0.003	-2.47%	-2.17%	-0.56%