
그린카 산업의 학제적 분석 방안에 관한 연구*

최진호** · 정선양*** · 박경배**** · 장대철***** · 조형례***** · 강승규*****

<목 차>

- I. 서론
- II. 산업플랫폼 기반 전기자동차 연구
- III. 친환경차 플랫폼 모델링 및 최적해 연구
- IV. 시스템 다이내믹스를 통한
전기자동차의 확산
- V. Agent-based Model(ABM) 기반
전기자동차의 확산 연구
- VI. 결론 및 시사점

국문초록 : 전 세계적으로 기후변화와 저탄소 소비행태를 향한 움직임이 일어남에 따라 이에 대한 대처가 요구되고 있으며, 국제적인 유가상승은 그린카에 대한 소비자들의 니즈를 촉발시키고 있다. 본 논문은 그린카 산업 플랫폼 구축 정책과 기업전략을 도출하기 위한 선행 연구로서 이를 위해 정책프레임 및 실증분석, 개념적/수리적 모델링, 시스템 다이내믹스, ABM 등의 다양한 방법론을 사용하여 다각적으로 접근, 통합하여 플랫폼 관점에서의 학제적

* 이 논문은 2011년도 정부재원(교육과학기술부 사회과학연구지원사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2011-330-B00094).

** 세종대학교 경영학과 부교수, 교신저자 (jhchoi@sejong.ac.kr)

*** 건국대학교 밀리MOT스쿨 정교수 (sychung@konkuk.ac.kr)

**** 상지대학교 경영학과 조교수 (kbpark@sangji.ac.kr)

***** KAIST 경영공학부 초빙교수 (nozajang@gmail.com)

***** 건국대학교 밀리MOT스쿨 박사수료 (cswbest@hanmail.net)

***** 건국대학교 밀리MOT스쿨 석사과정 (sheuringv@gmail.com)

연구 프레임워크를 제시하고자 한다. 먼저 그린카 사례 분석을 위한 산업플랫폼 분석 프레임워크를 도출하고, 필요한 구성 요소들을 제시하였으며 계량경제학 모델을 적용하여 그린 플랫폼(양면시장)에 관련된 기본 모델을 수립하였다. 또한 동태적인 관점에서의 분석을 위해 시스템 다이내믹스 모델을 그린카 환경에 접목하여, 특정 그린카 산업분석에 적용할 수 있는 시스템 다이내믹스 분석 모델을 수립하였다. 마지막으로 보다 미시적 관점에서 한국의 하이브리드 자동차 시장의 활성화 방안에 대하여 ABM을 이용하여 개별 소비자 관점에서 연구하였다. 이를 기반으로 현 한국시장에서 실행 중 혹은 실행 예정인 하이브리드 자동차 정책에 대한 분석 방안을 제시하였다.

주제어 : 그린카, 산업플랫폼, 수리적모델링, 시스템다이내믹스, ABM

A Multidisciplinary Research Framework for Green Car Industry

Jinho Choi · Sunyang Chung · Kyungbae Park ·
Dae-Chul Jang · Hyeongrye Cho · SeungGyu Kang

Abstract : Climate change and low-carbon consumer movement is demanding proper response around the world while rising oil price increases consumers' needs for green car. As a preliminary study to establish an industrial platform for green car and bring out corporate strategies, this article aims to propose an academic research framework by using various methodologies including conceptual/mathematical modeling, system dynamics, and ABM from different angles. First, an analysis framework for the industrial platform was introduced to analyze green car cases, required elements were proposed, and econometrics was applied to build a basic model related to green platform (two-sided market). Also, to analyze from a dynamic perspective, a system dynamics model was applied to green car environment to build a system dynamics analysis model that is applicable to particular green car industry analysis. Lastly, an agent based model was used to study the way to activate the hybrid car market in Korea from individual consumers' perspective. Based on the result, vehicle policies that are either being enforced or planned to be enforced in the Korean HEV market can be analyzed.

Key Words : Green car, Industry platform, Economic modeling, System dynamics,
ABM

I. 서론

전 세계적으로 기후변화가 화두에 오르며 저탄소 소비행태를 향한 움직임이 곳곳에서 일어나고 있다. 지속적으로 증가하고 있는 CO₂ 배출량은 환경변화에 많은 영향을 미치고 있다(Automotive News, 2009). 자동차 산업은 CO₂ 배출량 및 환경에 미치는 영향이 크고 규제에도 민감한 산업이다. 선진국들과 자동차 업체들은 기후변화 및 CO₂ 배출량 감소를 위해 적극적으로 대처를 하고 있으며 국제적으로 유가가 상승하는 만큼 소비자들 사이에서도 환경 친화적인 전기자동차에 대한 니즈가 점차 높아지고 있다.

전기자동차(electric vehicle, EV)는 석유 연료와 엔진을 사용하지 않고, 전기로 배터리를 충전하여 전기 모터로 구동하는 자동차를 말한다. EV는 크게 세 가지로 나뉘는데 Battery Electric Vehicle (BEV), Hybrid Electric Vehicle (HEV), Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)로 구분할 수 있다(Zhang 2009; 정선양 등, 2013). 배터리 식 전기자동차(BEV)는 All Electric Vehicle이라고도 부르며, 배터리에 충전된 전기를 이용하여 모터로 추진력을 얻는 자동차를 말한다. 하이브리드 전기자동차(HEV)는 기존의 내연기관 엔진(ICE)과 전기모터를 동시에 장착하여 기존의 일반 차량에 비해 연비 향상 및 유해가스 배출량을 줄인 자동차를 말한다(Bitsche 2004, Chan 2007). 플러그인 하이브리드 전기자동차(PHEV)는 가정용 전구나 외부 전기콘센트에 플러그를 꽂아 충전한 전기로 주행하다가 충전한 전기가 모두 소모되면 가솔린 엔진으로 움직이는, 내연기관 엔진과 배터리의 전기 동력을 동시에 이용하는 자동차로, 하이브리드 전기자동차(HEV)보다 진일보한 방식이다(James, 2009; Romm, 2006; Zhang, 2009).

하이브리드 자동차는 일반적으로 기존 휘발유 차량에 비해 최대 50%의 연료를 절감할 수 있다(Chan, 2007; James, 2009). 연료소비가 많은 저속구간에선 엔진이 정지해 있고 모터가 구동하게 되어 연료를 절약하고, 정차 시에도 엔진이 정지되어 있으므로 연료의 소비가 없다(Romm, 2006). 또한, 기존 휘발유 엔진에 비해 엔진 출력이 적게 설계되어 있어 엔진자체로도 연료가 절감되고 환경오염 물질의 배출이 적어 친환경적이며 저속구간에서 엔진이 대기오염물질을 많이 배출하는데, 이 구간을 전기모터가 담당하게 되므로 배출가스가 현저히 줄어든다(Hickman, 2009; Romm, 2006). 2012년부터 2013년까지 판매가 부진했던 국내 자동차시장은 2014년 국내 자동차시장은 시장의 내외부 여건이 개선되면서 작년보다 2.7% 증가한 159만대가 판매될 것이라고 예상되고 있다. 그 중에서도 BMW에서는 전기차 i3 및 플러그인 하이브리드 i8을 국내업체와 함께 국내시장

확대에 나서게 되며, 2013년 하반기 선보인 한국GM 스파크 전기차, 르노삼성 SM3 Z.E 에 이어 올해 기아 쏘울 전기차 등 국내 전기차 출시가 본격적으로 시작된다. 2012년부터 약 3만 9천대로써 1%도 되지 않은 저조한 보급률을 보였던 하이브리드 자동차 판매에 대한 보완적 시장이 생겨나고 있는 것이다(KARI, 2014)

본 논문에서는 자동차산업의 저탄소/친환경 산업 생태 플랫폼을 구축하기 위한 정책과 기업전략을 도출하기 위한 선행 연구로서 아래 세부 연구주제들에 대한 기존의 선행 연구 동향들을 분석하고 학제적 분석 프레임워크를 제시하고자 한다.

먼저, 선진국 중심의 사례를 분석하고, 그린카 플랫폼 비즈니스 모델에 대한 검증을 시도하고, 이를 통해서 한국의 그린카 정책을 위한 시사점을 발견하고자 한다. 이를 위하여 플랫폼 비즈니스에 대한 이론적 고찰을 통해서 그린카 산업정책에 적용가능한지 실효성을 살펴보고, 이론적 고찰을 바탕으로 산업 플랫폼 모델에 대한 일반적 이론 모델을 구축한다.

둘째, 플랫폼의 친환경화의 관점에서 모형화하고 분석한다. 이를 위해서 개념적 프레임워크를 활용하여 정책적 또는 전략적 방향성을 도출하고, 수리적 방법론을 적용하여 그린 플랫폼(양면시장)에 관련된 기본 모델을 수립하고자 한다. 이를 통해서 그린 플랫폼과 관련된 다양한 이슈들에 대해서 확인하고 그 해결책을 모색한다.

셋째, 시스템 다이내믹스 방법론의 적용 관련 논문들을 분석하여 내용을 더 심도 있게 파악함으로써, 시스템 다이내믹스 모델 수립을 위한 선행 학습을 하고, 모델링에 필요한 각각 변수들의 이론적 근거와 실증적 필요성을 찾는다. 이를 기반으로 그린카 환경에 접목하여, 특정 그린카 산업분석에 적용할 수 있는 시스템 다이내믹스 분석 모델을 수립한다.

넷째, 보다 미시적 관점에서 기존의 자동차 시장을 분석한 선행연구를 기초로 하여 한국의 하이브리드 자동차 시장의 활성화 방안에 대하여 개별 소비자 관점에서 연구한다. 이를 위하여 반복적이고 경쟁적인 에이전트 간의 상호작용을 분석하기 위한 Agent Based Model을 이용하여 모델을 수립하고, 현 한국시장에서 실행 중 혹은 실행 예정인 하이브리드 자동차 정책에 대해 검토 및 분석하고자 한다.

본 논문은 앞서 언급한 바와 같이 전기자동차라는 주제에 대해 플랫폼 관점에서의 학제적 연구관점을 제시하는 연구이다. 상기 제시한 친환경차 정책프레임 및 실증분석, 개념적/수리적 모델링, 시스템 다이내믹스 모델링, Agent-Based Modeling(ABM) 등의 다양한 방법론을 사용하여 문제에 다각적으로 접근하며 연구결과를 통합하여 분석하고자 하는 학제적 접근 프레임워크를 제시함으로써 문제해결의 가능성을 높이고 현실에서의 정책 적용 가능성과 기업 전략의 활용타당성을 높이고자 한다. 본 연구에서는 각 세부연

구주제별로 선행 연구, 분석 방법론 및 현재까지 도출된 분석 내용 및 향후 연구내용을 제시하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 친환경차의 대표주자라고 할 수 있는 전기자동차 관련 선행연구 거시적 관점에서의 전기자동차 산업플랫폼 분석 프레임워크를 제시 하였다. 3장에서는 친환경차 보급과 관련하여 폭넓게 참고 되어 사용될 수 있는 시스템 다이내믹스 인과지도 모형을 제시한다. 4장에서는 보다 미시적 관점에서, 현재 시중에 유통되고 있는 친환경차의 대표주자격인 HEV차량의 시장점유율에 영향을 미치는 다양한 정책들의 효과를 분석할 수 있는 ABM(Agent Based Modeling) 접근법을 제시하고자 한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

II. 산업플랫폼 기반 전기자동차 연구

1. 산업플랫폼

Kley 등은 전기자동차 시장에 대한 비즈니스 모델을 전반적인 관점에서 연구했다(Kley et al., 2011). 이들은 전기자동차의 기본적인 역사에 대해 먼저 기술하고 일반적인 비즈니스 모델에 대하여 설명했다. 그리고 전기자동차의 배터리, 충전 인프라 시스템, 시스템 서비스를 각각 기준으로 하여 미리 설명한 비즈니스 모델에 맞게 새로운 모델을 구축했다. 이 세 가지 기준에 따라 세워진 비즈니스 모델들은 모델 내부적으로 상호작용이 있을 수 있는 부분을 표기하여 전기자동차 산업의 전반적인 비즈니스 모델을 설정했다. 전기자동차 시장에 많은 참여자가 있으며, 가능한 조합들이 많이 있고, 또 그들이 상호간에 연계되어 있음을 확인할 수 있는 연구라고 볼 수 있다.

이미 연구된 문헌들을 참조로 본 연구에서는 전기자동차 시장을 양면시장, 혹은 다면시장으로 보고 플랫폼 나아가서 산업 플랫폼 관점에서 시장을 분석하는 것을 목적으로 한다. 다면시장(Multi-sided markets)은 두 개 이상의 시장을 타겟으로 하는 비즈니스 모델로, 산업조직론에 관련된 학자들은 최근에 플랫폼이 double-sided markets과 multi-sided markets 로 확장시켜 볼 수 있다고 보며, 산업플랫폼과 멀티사이드 시장은 매우 유사한 특징을 가지고 있다고 언급하였다. 플랫폼의 연계로 간접 네트워크가 발생하는 것 등이 그러한 특징이다(Boudreau, 2009; Gawer, 2009; Rochet and Tirole, 2003).

플랫폼이라는 단어는 16세기부터 일상생활이나 비즈니스에서 다양한 의미로 활용되어 오다가 최근에는 복잡한 제품이나 제품시스템에 있어서 공통의 구성요소를 활용하는 것 또는 나누는 것이라고 정의되고 있다(Baldwin, 2009). Wheelwright and Clark는 ‘플랫폼 제품(platform product)’이란 핵심 고객그룹들의 니즈를 충족시키는 것으로 첨가물, 보완재, 제품특징들에 대한 제거 등으로 설명했다(Wheelwright and Clark, 1992). 또한 Evans 등은 다양한 유인책이 동원된 플랫폼에서는 고객들이 플랫폼 상으로 모여지게 되며 새로운 가치를 창출해 낸다고 언급하였다(Evans, 2006). 이러한 개념은 기업의 내외부 지식교류가 활발하게 되면서 기술사업화 등의 혁신이 가속화되는 개방형 혁신(open innovation)이 가능해지고 정보통신기술 및 기기의 발달 등에 따라 혁신적 사용자가 상호간의 경험의 공유 및 학습이 가능해져 새로운 제품과 서비스를 개발에 주체적으로 참여하는 시스템이 늘어감에 따라 더 유효해지고 있음을 알 수 있다(Chesbrough, 2003; von Hippel, 2005). 플랫폼이 본격적으로 등장하게 된 배경인 다면시장에 대한 이론은 1980년대와 1990년대에 집중적으로 연구된 네트워크 효과에 영향을 받아 이어지는 맥락의 연구라고 강조하였다. 또한 그들은 이러한 환경에서 플랫폼을 성공적으로 만들려면 가격구조를 올바르게 정해야 하고, 다양한 수요를 균형 있게 조절해야 하며, 시장의 여러 조건들이 시장이 성장할 수 있도록 갖춰져야 한다고 주장하였다.

플랫폼은 수요와 공급을 이어주는 장으로서 네트워크 경제를 창출하는 핵심 장(場)이며, 시장조정자를 만들어내고 공통적인 협력의 룰을 만들어낼 수 있는 비즈니스에 있어서 가치사슬의 핵심이라고 할 수 있다(Boudreau, 2010; Eisenmann, 2007; 최병삼, 2012; 최병삼, 2011). Rochet & Tirole의 플랫폼 경쟁모형에서는 기술적, 산업적 컨버전스가 플랫폼의 분화(divergence)를 촉진한다고 보고, 이용자들의 플랫폼에 대한 선호 차 확대가 사회후생에 미치는 영향을 동태적으로 분석한 결과 소비자 잉여가 달라질 수 있다고 언급하였다(Rochet and Tirole, 2003). Gawer는 또한 비즈니스차원에서는 플랫폼이라는 단어가 다양한 의미로 해석될 수 있다고 하며 내부 플랫폼, 공급사슬 플랫폼, 산업플랫폼, 다면시장 플랫폼에 대한 유형별 플랫폼을 제시하면서 새로운 형태인 산업플랫폼과 다면시장 플랫폼에 대한 논의를 적극적으로 펼쳤다(Gawer, 2009). 또한 그는 산업 플랫폼(industry platform)에서는 일련의 기업을 둘러싼 비즈니스 생태계에서 보완적인 제품, 기술, 이러한 플랫폼을 구성할 때에는 같은 공급사슬이거나 교차소유(cross-ownership)되는 산업이 아니더라도 산업적 생태계 내에서 보완적 개발기술과 제품, 서비스와 결합될 수 있다고 주장하였다. 또한 결합되는 때에는 플랫폼 소유자, 보완자, 플랫폼을 둘러싼 인터페이스가 필요하다고 제시하였다. 서비스를 개발하는 토대가 되는 구성요소

(building block)가 포함된다고 제시하였다. Bresnahan and Greenstein은 컴퓨터 산업을 예로 들면서 발전되는 사업은 소수의 지배적인 플랫폼을 중심으로 산업이 집중되어 있고, 시장에서 차별적인 경쟁력을 가지고 있다고 언급하였다(Bresnahan, 1999). 이들은 산업차원에서 플랫폼을 정의하는 것이 필요하다고 언급하면서 공급자와 수요자를 조정하는 노력을 둘러싼 표준적인 구성요소들의 집합으로써의 플랫폼이 산업차원의 플랫폼이라고 주장하였다. 특히 산업플랫폼 관점에서 가장 성공적인 산업모델은 소프트웨어 산업이라고 할 수 있는데, 소프트웨어 산업의 경우에는 애플리케이션과 소비자간의 간접네트워크가 생겨나고, 여러 관련기능과 산업이 생겨나는 번들링이 가능해지면서 다면적 플랫폼(Multisided platform)의 특성을 가지게 된 사례라고 할 수 있다. 현재는 모바일과 PC산업과 연계되어 가장 많은 플랫폼 효과를 누리고 있다(Evans et al., 2006).

Gawer and Cusumano는 플랫폼전략은 기술진보, 제품과 시스템 디자인, 생태계에서의 비즈니스관계에 대한 논의들을 필요로 한다고 하며, 제품플랫폼과 산업플랫폼의 차이에 대해서 제시하였다(Gawer and Cusumano, 2009). 이들은 산업플랫폼의 소유자가 자체적으로 비즈니스내의 시스템차원에서 가격을 내리는 등의 경쟁력을 가질 뿐만 아니라 보완재의 혁신으로부터도 많은 혁신의 혜택을 받을 수 있다고 언급하였다. 이와 관련하여 이상규(2010)는 서로 다른 이용자 그룹이 거래나 상호작용을 원활하게 할 수 있도록 물리적, 제도적 환경을 구축해야 한다고 언급하였다. 앞서 서술한 바와 같이 플랫폼이라는 특징을 바탕으로 본 산업플랫폼에 대해서 정리해보면, 산업플랫폼의 다면적 시장을 구성하는 참여자들 사이에 가장 대표적으로 수익창출이 가능한 공통적 구성체계(아키텍처)를 지닌 핵심역량과 이를 둘러싸는 협조적 관계를 통한 네트워크 효과를 발생시키는 구조를 가진 모델로 협업과 경쟁이 동시에 존재하는 개념이다. 이러한 산업플랫폼은 견제와 균형이 동시에 존재하며, 상호협력이 가능하면서도 지속적 성장이 가능한 창조적 비즈니스 모델이라고 볼 수 있다(정선양 외, 2013).

이러한 산업플랫폼의 논의들은 대부분 기존의 단순한 플랫폼차원에서의 논의에서 나아가 두 개 이상의 시장을 대상으로 하는, 또는 두 개 이상의 산업을 대상으로 하는 수준에서 분석되고 있으며, 산업플랫폼이 어떠한 형태를 갖추고 있으며, 그것이 산업혁신에 있어서 경쟁력을 높이는지에 대해서 고찰하고 있다. 특히 산업플랫폼에서의 플랫폼리더(또는 플랫폼 소유자)가 존재하는데, 그들은 공급사슬 내부주체가 아니더라도 외부의 기업 및 산업에서도 혁신역량을 끌어들이어 만들어낸다고 주장하였다.

2. 산업플랫폼 관점 전기자동차 기본 모형

전통적 자동차 산업을 구성하는 참여자는 크게 제조사 및 소매업체, 소비자이지만 전기자동차 시장에서는 더 다양한 참여자가 존재하며, 이를 설명하기 위해서 앞서 제시된 산업플랫폼의 참여자들로 설명되어질 수 있다. 플랫폼내의 이해관계자들은 전체의 수익 향상을 위해서 가장 효과적인 비즈니스 모델을 추구하게 되며 이를 바탕으로 한 참여자들의 관계 및 거버넌스 구축을 목표로 하고 있다. 이와 관련하여 IBM은 전기자동차의 플랫폼전략에서 제조사, 소비자, 에너지 및 서비스 공급자 이외에 플랫폼의 역할을 하는 구성체를 비즈니스 모델에 실제로 대입하여 플랫폼 소유자와의 관계도를 제시하였다(IBM, 2010). 또한 전기자동차는 충전 서비스 제공자, 집합체(agggregator), 플랫폼 소유자(owner)라는 새로운 참여자도 고려될 수 있으며, 이러한 주체들과 시장과의 관계가 중요해진다고 볼 수 있다(San Roman, 2011).

또한 Kawahara는 전기자동차의 기반이 되는 산업을 이해하기 위해서 네 가지 층으로 이루어진 산업구조를 이해해야 한다고 주장하였다(Kawahara, 2009). 먼저, '애플리케이션' 부문은 전기자동차와 축전지, 태양전지 패널 등이 해당된다. '서비스' 부문으로는 카셰어링이나 태양광발전을 이용한 고정가격매취제도 등 서비스 비즈니스 모델로 이루어진 산업부문이 해당된다. 그리고 '제어' 부문으로 전기자동차의 보급을 전체로 전력이 최적배분 및 전력망을 제어하는 기능이 포함된다. 마지막으로 가장 하부구조인 '인프라' 부문은 발전소, 충전소 등이 포함된다. 이와 같이 전기자동차 시장에서는 앞서 제시된 전통적인 자동차산업의 참여자를 포함하여 배터리 제조사, 에너지 공급사, 서비스 제공사 등 더 많은 참여자가 포함되며, 이들 간의 복합다면적인 관계의 양상이 나타난다(Kley et al., 2011). 이를 설명하기 위해서는 본 논문에서는 <표 1>에서 제시된 산업플랫폼의 참여자인 플랫폼 제공자, 플랫폼 스폰서, 플랫폼 보완자, 플랫폼 사용자의 정의를 활용하여 기존의 비즈니스 모델의 선형적인 관계에 대한 시각의 한계점을 극복하고자 산업플랫폼에 대한 적용을 하도록 한다(정선양 2013).

<표 1> 전기자동차 산업플랫폼의 참여자

플랫폼의 참여자	전기자동차의 산업플랫폼의 참여자	특징
플랫폼 제공자	에너지 공급사, 서비스 제공사	에너지 공급사는 인프라부문과 제어부문을 포괄함
플랫폼 스폰서	정부	새로운 산업의 도입으로 인해서 정부의 역할이 강조됨
플랫폼 보완자	제조사	부품과 배터리부문 등이 포함되며, 에너지 인프라 및 제어 등 더 많은 이해관계자들과 경쟁하게 됨
플랫폼 사용자	소비자	규제 및 보조금 등의 정책도입으로 더 많은 선택권이 주어졌으며, 사용자의 변화패턴이 더 다양해짐

정부는 전기자동차 산업활성화를 활성화시키기 위해서 연비 및 CO₂ 배출량 규제 등을 실행하며, 기술개발을 위한 보조금 및 인센티브를 제공하고, 충전인프라를 제공하며, 시장을 활성화시킬 수 있는 생태계를 구축하는 역할을 하게 된다. 먼저, 제조사는 자동차 단가를 낮추기 위해서 기술혁신을 끊임없이 시도하며 소비자의 구매조건을 개선시켜 나간다. 에너지 공급사의 경우 에너지 사업을 담당하는 공공부문이 주요 역할을 담당하는데, 발전소, 충전소, 송전망 등의 인프라와 전력망 전체에서 전력을 조절하는 역할 등을 담당하게 된다. 서비스 제공자는 충전 인프라 사업, 통신 네트워크나 애플리케이션 제공 등을 포함한 다양한 서비스모델을 제공하게 된다. 소비자의 수용도와 사회인식도에 따라서 정책방향 및 강도가 결정될 수 있다(정선양, 2013).

전기자동차 산업플랫폼을 작동시키기 위해서는 정부의 역할이 매우 중요하다고 할 수 있다. 이와 관련해 Kampman 등은 유럽의 전기자동차 시장에서 있어서 정부의 정책을 금융정책과 비 금융정책으로 구분했다(Kampman et al., 2011). 먼저, 금융정책으로는 전기자동차 구입에 대한 보조금, R&D 보조금, 충전소설치에 따른 보조금, CO₂ 에 기반한 차별화된 에너지 연료 및 에너지 정책 등이 있다. 전기자동차 정책을 결정할 때에는 단순히 녹색성장의 측면에서 스마트 그리드나 부품, 전지 등 관련 산업의 규제 및 시장 활성화 정책 등으로 비 금융정책을 실행할 수 있다. 특히 이산화탄소 규제와 동시에 시장을 활성화시키기 위한 기술촉진법 등은 비금융정책의 대표적인 수단이라고 할 수 있다.

이론적 배경들을 통해서 산업플랫폼에서의 참여자와 그들 사이에서 상호작용하는 정책적 작용요소를 제시할 수 있다(정선양, 2013). 앞서 제시된 산업플랫폼의 작용요인 및 전기자동차 기반에서 새롭게 적용되는 요인들을 포함하여 볼 때, 전기자동차 산업플랫폼의 작용요인은 <표 2>에서 제시한 바와 같이 보조금, 조세지출, 규제, 정보로 볼 수 있

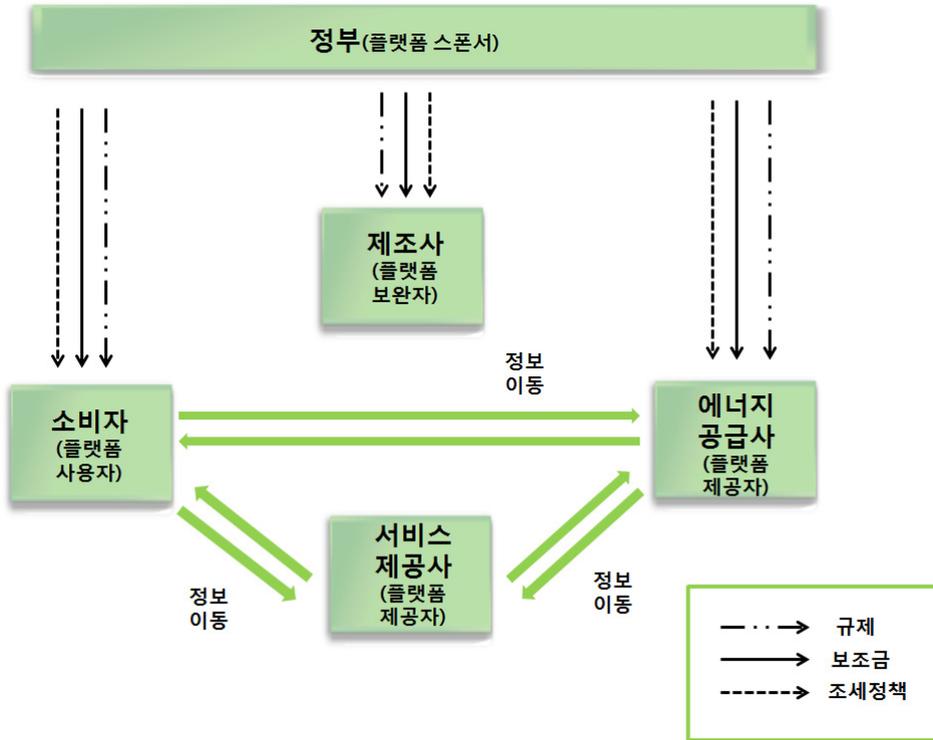
다. 전기자동차라는 친환경기반 정책요소가 포함되게 되면서 다양하고 더 많은 작용요인이 존재하는 특징을 염두에 두어야 한다.

<표 2> 전기자동차 산업플랫폼의 작용요인

플랫폼의 작용요인	전기자동차 산업플랫폼의 작용요인	특징
보조금	보조금 (R&D투자, 인센티브)	전체수익성을 기준으로 인센티브를 조정하되, 그린카 플랫폼에서는 더 많고 다양한 보조금이 작용함
조세	조세지출 (세액공제, 소득공제)	직접적인 보조금정책보다 간접적인 조세정책에 대한 활용이 더 늘어나고 있음
규제	규제	녹색시장에 대한 규제로 인해 더 엄격한 규제가 적용되고 있음
-	정보	에너지 산업부문이 포함되면서 정보의 흐름 및 상호작용이 매우 중요한 요인으로 등장하게 됨

본 논문에서는 앞서 제시된 내용을 바탕으로 전기자동차의 산업플랫폼은 제조사, 에너지 공급사, 서비스 제공사, 소비자, 정부로 구성되며 정책적 작용요인은 정보, 보조금(R&D투자, 인센티브), 조세지출(세액공제, 소득공제), 규제로 요약된다. 이러한 영향요소들은 플랫폼의 모양에 따라서 강도와 규칙성 정도가 달라질 수 있다(정선양 외, 2013).

이러한 시스템 내에서 플랫폼 리더는 누구이며, 플랫폼 참여자는 누구인가에 따라서 그 시장형성이 달라지며, 정부의 정책 또한 달라질 수 있게 된다. 아래의 <그림 1>은 앞서 제시한 이론적 배경을 그린카의 산업플랫폼의 예시에 대해서 제시한 내용이다. 전기자동차의 산업플랫폼은 정부와 제조사 중심으로 작동하는 수직 통합형 비즈니스 모델에서 에너지 공급사 및 서비스 제공사와 스마트 그리드 중심의 시장이 형성되는 분산형 네트워크 비즈니스 모델로 확장되는 구조로 변화하게 된다. 이러한 산업변화의 과정에서는 기존의 제조사 중심의 수직적 통합구조에서 플랫폼 제공자인 에너지 업계와 서비스 업계가 포함되는 분산형 네트워크 구조가 혼합되어 자동차 업계의 새로운 산업구조가 형성된다. 특히 에너지 업계의 전력 및 공익사업 기업들이 에너지 체계를 도입하면서 이를 위해 정보흐름을 관리하는 일들은 새로운 현상이라고 할 수 있다(정선양 2013).



<그림 1> 전기자동차의 산업플랫폼의 기본모델

현재 본 주제와 관련해서 산업플랫폼 프레임워크를 기반으로 현재 주요 나라의 전기자동차 관련 사례를 분석하고 있으며, 정책적 관점에서 시사점을 도출하고자 한다.

Ⅲ. 친환경차 플랫폼 모델링 및 최적해 연구

본 연구의 목적은 플랫폼 친환경화에 대해서 모형화하고 분석하는 것이다. 이를 위해서 개념적 프레임워크를 활용하여 정책적 또는 전략적 방향성을 도출하고, 수리적 방법을 적용하여 그린 플랫폼(양면시장)에 관련된 기본 모델을 수립하고자 하였으며, 이를 통해서 그린 플랫폼과 관련된 다양한 이슈들에 대해서 확인하고 그 해결책을 모색하고자 하였다.

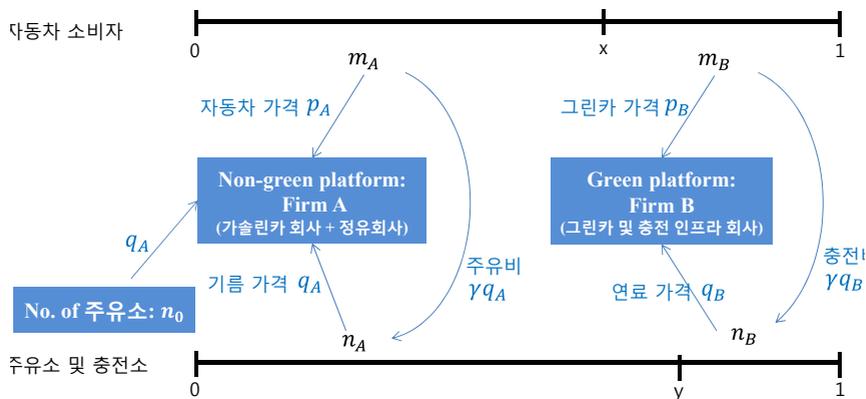
본 연구대상인 전기자동차 시장은 여러 그룹이 참여하는 양면시장, 혹은 다면시장으로 형성될 것이다. 자동차를 구매하고 이용하는 소비자와, 자동차 판매사 및 충전사 등

이 전기자동차 시장의 참여자이다. 이와 관련된 플랫폼 선행연구들을 참조하여, 이미 가솔린 자동차 시장이 형성되어 있는 상태에서 전기자동차 시장이 어떠한 가격 체계 하에서 어떠한 가치를 창출할 수 있을 것인지를 제시하고자 아래와 같이 모델을 제안하였다. 전기자동차 시장을 양면시장, 혹은 다면시장으로 보고 플랫폼 비즈니스의 관점에서 시장을 분석하는 것을 목적으로 한다.

장대철 등의 기본적인 모형 설정은 다음과 같다(장대철 외, 2013).

- (1) 자동차와 관련해서 가솔린 기반 플랫폼(Non-green platform)인 회사 A가 있고, 친환경 기반 플랫폼(Green platform)인 회사 B가 있다. 이 회사들은 두 가지 유형의 고객이 있는데, 하나는 자동차 소비자이고, 다른 하나는 자동차의 종류에 따라 주유 및 충전을 하는 주유소/충전소이다.
- (2) 회사 A는 자동차 소비자에게 가솔린 자동차를 판매하고, 주유소에 기름을 판매한다.
- (3) 회사 B는 자동차 소비자에게 그린카를 판매하고, 충전소에 연료를 판매한다.
- (4) 자동차 소비자는 소비한 자동차의 유형에 따라 주유소/충전소에서 주유/충전을 한다.
- (5) 자동차 소비자측과 주유소/충전소측은 기존에 주유소가 n_0 만큼 존재한다는 점을 제외하면 대칭적(symmetric)이다.
- (6) 한 사람이 두 대 이상의 자동차를 보유하지 않는다고 가정하자.

다음 <그림 2>는 위와 같은 가정 하에서 그린 플랫폼과 일반 플랫폼 간의 경쟁을 묘사한 연구의 모형 프레임워크이다(장대철 외, 2013).



<그림 2> 그린 플랫폼과 일반 플랫폼 간의 경쟁 모형

장대철 등에 의하면, 그린 플랫폼과 일반 가솔린 플랫폼과의 경쟁 상황을 묘사하기 위해서 다음과 같은 가정 및 논리 구조를 설정하였다(장대철 외, 2013).

- (1) 자동차 소비자와 충전소/주유소의 플랫폼 선택을 분석하기 위해, 호텔링 모델을 적용한다.
- (2) 두 플랫폼은 길이가 1 인 라인의 양 끝에 각각 위치한다.
- (3) 자동차 소비자와 충전소/주유소의 사이즈는 둘 다 1 로 정규화하고, 각각 길이가 1 인 라인을 따라 균등 분포되어 있다고 가정한다.
- (4) 자동차 소비자는 가솔린 기반 플랫폼(non-green platform)에서 자동차를 구매하려면 가격 p_A 를, 친환경 기반 플랫폼(green platform)에서 그린카 구매하려면 가격 p_B 를 지불해야 한다. 이와 관련된 거래비용(Transportation cost) 모수는 s 이다.
- (5) 주유소/충전소는 가솔린 기반 플랫폼(non-green platform)에서 기름을 구매하려면 가격 q_A 를, 친환경 기반 플랫폼(green platform)에서 연료를 구매하려면 가격 q_B 를 지불해야 한다. 이와 관련된 거래비용 관련 모수(Transportation cost parameter)은 t 이다.
- (6) 가솔린 자동차 소유주는 주유소에서 가격 γq_A 를 지불하고 주유를 하고, 그린카 소유주는 충전소에서 가격 γq_B 를 지불하고 충전을 한다. 따라서, 주유소/충전소의 마진이 $1-\gamma$ 이 된다.
- (7) 가솔린 자동차를 사는 사람들은 주유소가 많을수록 선형적으로 효용이 증가한다. 주유소가 하나 늘어날 때 증가하는 효용을 a 라고 한다.
- (8) 그린카를 사는 사람들은 그린카 충전소가 많을수록 선형적으로 효용이 증가한다. 충전소가 하나 늘어날 때 증가하는 효용을 b 라고 한다.
- (9) 자동차 소비자가 자동차를 구매함으로써 얻는 기본적인 효용은 u_0 이다.
- (10) 주유소/충전소가 기름 및 연료를 구매함으로써 얻는 기본적인 효용은 v_0 이다.

본 장에서는 일반 가솔린 플랫폼과 친환경 기반 플랫폼 간의 경쟁 상황에 대한 기본적인 모형을 수립하여 제시하였다. 이러한 모형의 해는 복잡하기 때문에 추후 연구과제는 수리적 분석으로 구해진 해를 기초로 하여 수치적 해석을 진행하는 것이다.

IV. 시스템 다이내믹스를 통한 전기자동차의 확산

시스템 다이내믹스(system dynamics)는 시간의 흐름에 따라 변화하는 동태적(dynamic)이고 복잡계적(complex)인 사회 및 물리현상을 분석하기 위해 개발되고 발전되어온 연구방법론으로 그간 산업, 도시공학, 환경, 학습조직, 정책 등 사회내의 다양한 분야의 시스템을 분석하기 위하여 널리 사용되어 왔다. 시스템 다이내믹스는 기본적으로 복잡한 비선형 시스템에 분석적 해결책을 제공하는 것을 목표로 하고 있으며, 과거의 행동에 영향을 받아 미래의 결과와 행동이 다시 결정되는 피드백 시스템의 순환적인 인과관계에 기초하고 있다. 따라서 변수간의 순환적인 인과관계와 이에 따른 복잡계적인 파급 과정을 도식화하는데 용이하지만, 투입변수의 출처와 인과관계에 대한 연구자의 주관적 개입 가능성 때문에 일부 비판의 소지도 존재하고 있다(황성주 등 2013). 하지만, 시스템 다이내믹스의 이러한 한계에도 불구하고, 신기술에 바탕을 둔 하이테크 신산업에서 흔히 발생하는 R&D 및 기반설비 투자 효과나 소비자 부문의 네트워크 효과 등의 비선형적인 상호 순환적인 장기적 파급효과를 기존의 선형적 수리모형이나 통계모형으로 분석하는 것은 방법론적 특성상 기본적인 어려움을 겪을 수 밖에 없다는 점에서, 시스템 다이내믹스는 기존의 선형적인 방법론에 비해 신기술에 기반한 신산업 분야에 대한 분석에서 우월성을 가진다고 볼 수 있다(황성주 외, 2013). R&D 투자의 비선형적인 효과를 분석하기 위한 시스템 다이내믹스 적용의 예로 조윤숙(2012)은 산업별 R&D 투자의 장기적 파급 효과를 분석하기 위하여 시스템 다이내믹스 모델을 구축하여 적용하였으며, 이를 통하여 연구변수에 대한 수치적 예측과 함께 동태적 변화 과정을 함께 반영하여 분석하였다. 시스템 다이내믹스를 신기술에 기반한 신산업 분석에 적용한 예로 Struben and Sterman(2008)은 대체연료 자동차(AFV, alternative fuel vehicle)의 확산 과정을 시스템 다이내믹스 방법론을 사용하여 분석, 연구하기도 하였다.

시스템 다이내믹스는 R&D 및 기반시설 투자의 효과, 소비자 부문의 네트워크 효과 등에서 순환적인 장기적 파급효과가 나타나고, 여러 변수간의 피드백 구조와 연쇄 반응이 흔히 발생하는 신기술 기반의 신산업 상황을 분석할 수 있다는 점에서 유용하다. 특히 친환경 자동차 산업의 경우 신기술 R&D 투자, 신기술과 제품에 대한 소비자 인지 및 확산 문제, 멀티 플랫폼 상황 하에서의 플랫폼간의 경쟁 등 복잡한 여러 가지 문제가 복합되어 동태적으로 발생하므로, 이러한 시스템적 상황 전체를 고려할 수 있는 시스템 다이내믹스 방법론 적용의 필요성이 크다. 시스템 다이내믹스 분석론의 적용을 통해 관련

된 분야에 대한 정부의 합리적 정책 결정과 기업의 적절한 전략적 의사결정 모두에 대해 깊이있고 유용한 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

1. 시스템다이내믹스 기반 관련 선행연구

다면시장에서의 복잡한 프레임워크를 분석하기 위해 시스템다이내믹스 기법을 활용한 연구가 활발히 진행된 바 있다. Struben and Sterman은 친환경차 확산에 있어 구전(word of mouth)과 마케팅(marketing)이 네트워크 효과(network effect)를 발생시킨다고 하였다(Struben & Sterman 2008). Jeong 등은 디젤 승용차의 확산과정 연구에서 자동차의 수요에 따라, 연료가격(가솔린, 디젤, LPG)이 유기적으로 변화하며, 연료가격의 변화는 장기적으로 디젤차 판매에 영향을 주는 주된 요인이라고 하였다(Jeong et al., 2009). Walther et al.은 정부, 자동차산업, 고객, 인프라의 4가지 모듈로 플랫폼을 정의하고, 각 모듈은 상호의존적이라고 하였다(Walther et al., 2010). 특히, 자동차 산업에서의 학습효과와 연구개발을 주요 변수로 보고 있다. 이와 같은 선행연구들을 종합하여 친환경차 도입 및 확산에 반드시 필요한 공통요인들을 발견하여 <표 3> 및 <표 4>와 같이 요약하였다. 주요 요인으로는 가격, 주행거리, 네트워크효과, 충전시스템, 연료가격이다. 이러한 요인을 기반으로 친환경차 확산과 관련한 인과지도를 구축하였다(박경배, 2012).

<표 3> 시스템다이내믹스 기반 친환경 자동차 선행연구

주요 변수	선행연구
가격 (price)	Choy and Prizzia(Choy and Prizzia, 2010) Stave(Stave, 2002) Carlsson and Stenman(Carlsson and Stenman, 2003)
주행거리 (driving range)	Montazeri and Asadi(Montazeri and Asadi, 2011) Kadirov and Varey(Kadirov and Varey, 2010)
네트워크효과 (network effect)	Oliver and Lee(Oliver and Lee, 2010) Harich(Harich, 2010)
충전시스템 (recharge system)	노철우 · 김민우(노철우 등, 2008) Fiorello et al.(Fiorello et al., 2010)
연료가격 (fuel cost)	Kadirov and Varey(Kadirov and Varey, 2010) Mazraati and Shelbi(Mazraati and Shelbi, 2011)

자료: 박경배(2012)

<표 4> 시스템다이내믹스 기반 친환경 자동차 선행연구 요약

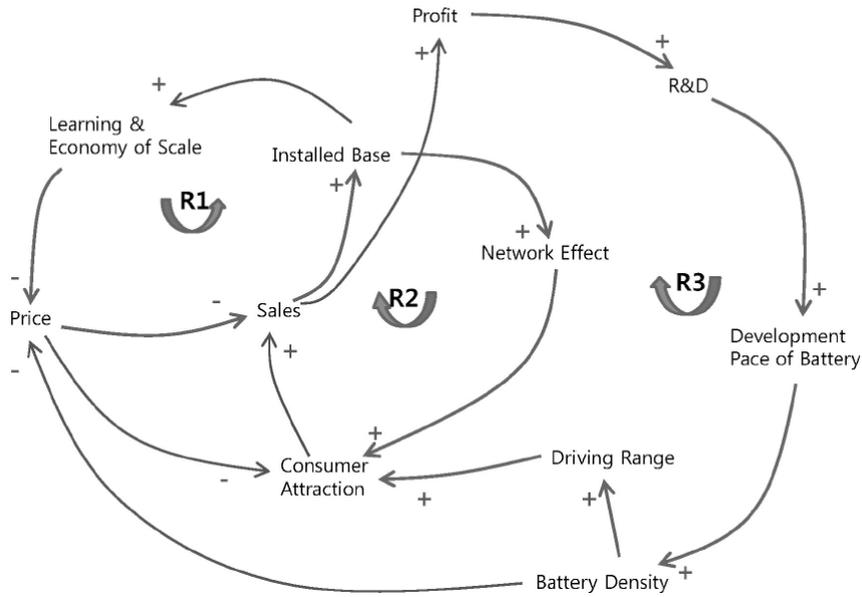
주요 변수	선행연구
가격 (price)	<ul style="list-style-type: none"> • 하와이 소비자들은 보조금과 세금지원을 통해 구매의도가 향상됨(Choy and Prizzia, 2010) • 환경관련 의사결정에서 가격최적화가 대중 참여를 향상시킴(Stave 2002) • 정부 보조금 보다 연료가격이나 개인의 선호가 더 중요한 요인으로 작용(Carlsson and Stenman, 2003)
주행거리 (driving range)	<ul style="list-style-type: none"> • 하이브리드 차는 성능을 희생하지 않으면서 연료비용과 오염감소를 개선해야 함(Montazeri and Asadi, 2011) • 미국 GE와 일본 Toyota 사례 등에서 자동차 판매에 있어 연료 효율성 및 주행거리 향상이 중요한 변수로 작용(Kadirov and Varey, 2010)
네트워크효과 (network effect)	<ul style="list-style-type: none"> • 미국과 한국을 대상으로 연구한 결과 하이브리드차 확산에 소비자의 사회적 가치와 긍정적 자기이미지가 중요(Oliver and Lee, 2010) • 긍정적 네트워크효과의 구축은 전체 시스템에 긍정적 효과로 과급됨(Harich, 2010)
충전시스템 (recharge system)	<ul style="list-style-type: none"> • 한국의 경우 배터리 용량이 큰 하이브리드가 긍정적으로 부각됨(노철우 · 김민우, 2008) • 인프라 투자, 스테이션 네트워크, 연료가격, 자동차 구매는 상호 피드백을 유발함(Fiorello et al. 2010)
연료가격 (fuel cost)	<ul style="list-style-type: none"> • 미국, 일본 사례를 볼 때 자동차 판매를 촉진시키기 위해서는 연료 효율성을 개선한 새로운 자동차를 촉진해야 한다고 주장(Kadirov and Varey, 2010) • 대체연료차의 연료소비가 증가함에 따라 대체 연료비는 감소됨(Mazraati and Shelbi, 2011)

자료: 박경배(2012)

2. 친환경차 확산전략에 대한 시스템다이내믹스분석 기본모형

본 주제에서는 상기 선행연구에서 살펴본 전기차 개발과 보급과 관련된 정책적 관점의 선행 연구들을 바탕으로 친환경차 보급과 관련하여 폭넓게 참고 되어 사용될 수 있는 시스템 다이내믹스 인과지도 모형을 구축하고 시사점을 도출하는 연구이다. 구축된 모형에 대한 깊이 있는 인과지도 분석을 통해 친환경차 확산에 관한 정책적 시사점과 기업 측면의 전략적 제언사항을 도출하고자 한다.

또한 연구를 통해 구축된 친환경차 확산에 대한 시스템다이내믹스 모형은 향후 친환경차 보급 및 정책 수립과 관련하여 좀 더 구체적인 정량적 분석을 위한 기본적 바탕이 될 수 있을 것이다. <그림 3>은 친환경차(하이브리드차) 판매와 확산에 있어 주요한 요인을 전체적으로 포괄한 인과지도를 보여준다.



자료: 박경배(2012)

<그림 3> 친환경차(하이브리드차) 확산 인과지도

박경배는 선행연구들을 바탕으로 위와 같은 인과지도 모형을 구축하여, 세가지 중요한 피드백 루프를 발견하였다(박경배 2012). 3가지 순환고리 모두 강화고리인 점은 하이브리드차의 확산에서 일정수준의 임계질량(critical mass) 혹은 티핑포인트(tipping point)가 존재할 것이라는 것을 예측할 수 있게 해준다. 각 루프의 해당 부문과 강화 고리의 특징을 정리하면 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 피드백 루프별 해당부문과 강화고리의 특징

loop#	해당부문	강화고리의 특징
loop1	생산부문	학습효과의 규모의 경제
loop2	소비자부문	네트워크 효과
loop3	기술발전 부문	배터리성능과 주행거리

자료: 박경배(2012)

위 인과지도를 바탕으로 도출한 정책적 시사점 및 결론은 다음과 같다.

첫째, 위의 3가지 강화고리에서 임계질량이 존재하며, 임계질량을 전후로 하여 시스템의 형태가 급격히 변화한다는 것이다. 임계질량을 돌파하면 스스로 성장 동력을 얻어 급

속히 확산되지만, 그렇지 못하면 점차 쇠락하여 사라지게 된다(박경배, 2012). 김동환은 양의 피드백 루프에서는 급진적인 성장 혹은 쇠퇴가 일어나며, 양의 피드백 루프가 언제 성장하고 언제 쇠퇴할 것 인지 파악하는 것이 가장 큰 문제라고 하였다(김동환, 2004).

둘째, 임계질량을 돌파한다면 향후 친환경 차량이 내연기관을 완전히 대체할 수도 있지만, 그렇지 못한다면 전기차나 수소연료전지차 등 차세대 친환경 차량으로의 전환이 일어날 가능성이 매우 크다. 예를 들어, 천연가스버스의 경우 정부의 적극적 정책지원과 인프라 구축으로 국내에서는 경유 시내버스를 거의 완전히 대체 하였다. 그러나 캐나다에서는 비록 초기에는 정부지원과 보조금으로 확산이 일어난 듯 보였지만, 지원이 끊어진 후에는 쇠퇴하기 시작하여 시장에서 사라지고 말았다. 즉, 임계질량의 돌파는 친환경차의 자기지속 성장(self-sustainable growth)의 기준이 되는 것이다. 하지만 자동차 기업이 당면한 가장 큰 문제는 임계질량이 사전에 발견되기 어렵다는 데 있다(박경배, 2012). 그러나 김동환에 따르면 경우와 상황에 따라 차이가 있지만, 일반적으로 전문가들은 임계질량의 수준이 전체인구의 20% 수준이라고 예상한다(김동환, 2004). 따라서, 박경배는 자동차 기업은 하이브리드차의 확산이 전체 시장의 20%에 도달하는지를 눈여겨 볼 필요가 있으며 이 수준을 돌파한 경우 급진적 확산이 일어날 수 있으므로 이에 대비한 기술 투자와 신차 개발을 적절히 전개할 필요가 있다고 하였다(박경배, 2012).

셋째, 가장 중요한 강화고리이자 한계요인으로 배터리 기술발전의 영향력이 클 것으로 예상된다는 점이다. 박경배는 그의 인과지도에서 생산과 소비자 부문의 두 강화고리 와는 달리 배터리 기술 발전은 i) 주행거리 증가로 인한 강화고리(배터리밀도→주행거리→소비자매력도→매출→수익→R&D→배터리기술 발전속도→배터리밀도)작용과, ii) 가격하락으로 인한 강화고리(배터리밀도→가격→매출→수익→R&D→배터리기술 발전속도→배터리 밀도) 모두에 영향을 준다고 하였다(박경배, 2012). 따라서 전체 인과 지도 내의 영향력이 가장 큰 고리로 파악하였다. 일반적으로 하이브리드차의 확산과정에서 가장 중요한 것이 소비자부문의 네트워크 효과라고 여겨지는데, 사실상 그 기저에 숨어있는 가장 중요한 힘은 배터리 부문의 기술발전이며, 이러한 배터리 기술이 차량 가격을 낮추고 주행거리를 늘림으로써 결과적으로 강화고리가 폭발적으로 성장할 수 있는 임계질량 도달을 촉구한다는 것이다.

넷째, 모든 강화고리에 포함된 확산과정의 중심변수는 사용자 기반이 아니라 매출일 가능성이 크다는 점이다. 박경배에 의하면, 매출과 소비자 기반은 동전의 양면과 같이 하이브리드차의 매출이 증가하면 그 누적효과로 사용자 기반이 증가하게 된다(박경배, 2012). 그러나 사용자 기반은 그 자체로는 수익을 창출하지 못하기 때문에 정책판단에

있어 그 중요성이 매출보다 떨어지며 임계질량의 돌파 기준은 매출이 되어야 한다고 하였다. 즉, 그의 연구에서는 하이브리드차의 매출 정체가 자동차 기업이 심각하게 고려할 사항이라고 하였다. 이러한 매출 정체가 향후 3~5년 이상 더 지속된다면 차세대 친환경 차인 수소연료전지차 등으로 곧바로 이전될 가능성이 크다는 신호로 해석할 수 있다고 하였다. 그러므로 박경배는 향후 3~5년이 하이브리드차의 자생 여부를 결정짓는 가장 중요한 시기이며, 이러한 생존여부를 결정짓는 중요한 요소로 배터리 기술의 발전을 들었다(박경배, 2012).

이러한 의미있는 시사점에도 불구하고 변수 선정의 타당성에 대한 한계가 존재할 수 있다. 배터리 수명과 주행거리는 소비자 매력도에 영향을 주지만(Kadirov and Varey, 2010), 사실 소비자 매력도를 형성하는 요인들은 가격, 성능, 기타운영비용, 안전, 환경적 영향 등 매우 그 범위가 다양하며(Struben and Sterman, 2008), 박경배(2012)와 본 연구에서도 이를 '소비자 매력도'라는 변수로 포괄적으로 고려하고 있다. 다만, 본 인과지도에서는 하이브리드 자동차를 중심 연구대상으로 선정하고, 하이브리드 자동차의 성능을 대표할 수 있는 성능 변수로 '배터리 밀도(battery density)'와 '배터리를 사용한 주행거리(driving range)'를 선정하였으며 이러한 기본적 기능의 향상이 없이는 다른 소비자 매력도 요인의 효과가 거의 전달되지 못할 것으로 보았다. 즉, 기본적 기능의 향상 없이는 타 분야의 개선이 일어나도 소비자 매력도가 상승될 수 없다고 가정하였으며, 이러한 가정 하에서 연구의 복잡성을 최소화하고 핵심적 연구문제에 집중하기 위해 배터리를 사용한 주행거리(driving range), 차량 가격, 네트워크 효과 외에 소비자 매력에 영향을 미칠 수 있는 다른 변수들을 간소화해 생략하였다. 하지만 향후 연구에서는 시장 및 소비자 특성, 친환경차 특성(순수 전기차, 플러그인 하이브리드, 수소연료전지차)에 따라 모형을 추가적으로 확장, 수정하여 적용할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 친환경 자동차 시장을 분석할 수 있는 시스템 다이내믹스 모형의 기초적인 토대를 제공하는 것에 데에 의의를 두고 있으며, 이러한 통합적 기본 모형을 변화하는 시장 및 기술 및 제품 구조에 맞추어 유연하게 적용해 나가는 것은 중요하고 의미있는 추후 연구의 과제가 될 수 있을 것이다. 또한 향후 연구에서는 여러 가지 친환경차 분야의 시장, 기술, 제품 특성별로 전문가 인터뷰 등을 통해 추가적 세부 변수의 파악이 이루어질 수 있을 것이며, 이러한 작업은 연구의 세밀도와 구체적 응용가능성에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

V. Agent-based Model(ABM) 기반 전기자동차의 확산 연구

각국 정부 및 자치단체들은 에너지 보호 및 환경 문제에 대응하기 위해 연료세 증가 및 다양한 규제, 하이브리드 차량 구매 시 보조금 지급 등 다양한 정책을 시행하거나 계획하고 있다(Beresteanu 2011; Ozaki, 2011). 다른 나라들과 마찬가지로 한국 정부도 HEV와 같은 친환경차를 증가시킴으로써 CO₂ 배출을 감소시키기 위한 다양한 정책을 시행중이거나 계획하고 있다(MOE, 2012). 하지만 동태적 환경에서 각국의 정책 및 정책적 조합이 어떤 실질적 효과를 기초로 하여 한국의 하이브리드 전기자동차 시장의 미래 및 활성화를 가져 올 것인가에 대해서는 정량적 분석이 부족한 상황이다.

이에 본 연구에서는 앞서 제시한 시스템다이내믹스 분석 모형을 보다 미시적인 관점에서, 기존의 자동차 시장을 분석한 선행 연구에 대하여 연구한다. 특히 시스템다이내믹스에서 도출된 자동차 가격(price)에 대한 소비자 매력도(consumer attraction)를 보다 미시적인 관점에서 분석하기 위해 시장참여 에이전트를 제조사 에이전트와 소비자 에이전트로 구분하여 제조사 에이전트의 가격조정에 대한 소비자 실질적인 영향도를 제시하고자 하였으며, 소비자간 에이전트의 네트워크 효과(network effect)를 추가 반영한 분석을 제시하고 있다. 특히 자동차 가격 변화 및 차량 연료가격의 변화와 함께, 보조금(subsidy)/페널티(penalty)와 세제혜택(tax incentives)를 포함한 정부 정책적 요인들을 대상으로 국내 자동차 시장에서의 HEV 차량의 보급률을 높이는 데 있어서 중요한 영향요소가 무엇인가를 분석하고자 한다. 나아가 HEV 시장 확산에 있어서 세제혜택과 보조금/페널티간의 시너지 효과를 분석함으로써 정책들 간의 효과적인 최적 조합 방안을 제시하고자 한다. 본 연구 결과 및 시사점은 정책결정자들에게 자동차시장에서의 HEV 시장 확산을 위한 실질적인 가이드로 활용될 수 있다.

1. ABM 기반 그린카 선행연구

본 장에서는 보다 미시적인 관점에서, 기존의 자동차 시장을 분석한 선행연구를 기초로 하여 한국의 하이브리드 전기자동차 시장의 미래 및 활성화 방안에 대하여 제시하고자 한다. 앞서 제시한 시스템 다이내믹스 모형과 비교시 ABM은 시뮬레이션이라는 측면에서는 동일하나 관점이 보다 미시적이라고 볼 수 있다. 시스템 다이내믹스는 복잡계 시스템의 행동을 조사하기 위한 개념으로서 저장(stocks), 유량(flows), feedback loop(피드백 루프)를 사용하

는 시뮬레이션 방법이며, 시스템 다이내믹스 모형은 특정 시간 구간에 대한 문제를 위한 미분방정식의 집합으로 이뤄져 있는 반면 ABM은 서로 상호작용하는 다수 자동화 에이전트들을 포괄하는 모델링 기법이다[Macal, 2010]. 에이전트들의 행동은 그들이 어떻게 학습하고, 서로 상호작용하고, 적응하는지를 결정하는 규칙 (rules)에 의해 결정되며, 전체 시스템 행위는 개별 에이전트들간의 상호작용에 의해 결정된다. 아래 <표 6> 에 시스템다이내믹스와 ABM간의 주요한 차이를 제시하였다 (Grazziola et al., 2011; Schieritz and Milling, 2003).

<표 6> 시스템다이내믹스와 ABM간의 주요 차이점

보조급/페널티	시스템 다이내믹스	ABM
관점	하향식 (top-down)	상향식 (bottom-up)
빌딩블록	피드백 루프	에이전트
분석단위	시스템 구조	에이전트의 규칙
모델링차원	통합적 (aggregate)	개별적 (individual)
시스템구조	확정됨	확정되지 않음
시간조절	연속적	이산적

이를 위하여 반복적이고 경쟁적인 에이전트 간의 상호작용을 분석하기 위한 ABM을 이용하여 모델을 수립하고, 현 한국시장에서 실행 중 혹은 실행 예정인 정책에 대해 검토 및 분석하고자 한다. 실제 환경(real world)에 최대한 근접한 분석을 하기 위하여 한국의 인구 분포, 소득, 자동차 시장현황, 정책 등의 데이터를 기반으로 HEV 시장 확산도를 평가하고자 한다(Choi, 2012).

ABM에서 시스템은 자동차의사결정의 주체로 모델링이 되며, 각 에이전트는 기본 룰에 따라 의사결정을 하고 생산, 소비, 판매 등의 다양한 행동을 실행한다(Bonabeau, 2002). 반복적이고 경쟁적인 에이전트 간의 상호작용이 ABM의 특징인데, 간단한 ABM이라도 복잡한 행동패턴이 나타날 수 있고, ABM은 실제 생활에 가까운 시뮬레이션 데이터 값을 얻을 수 있다(Bonabeau 2002; North, 2007).

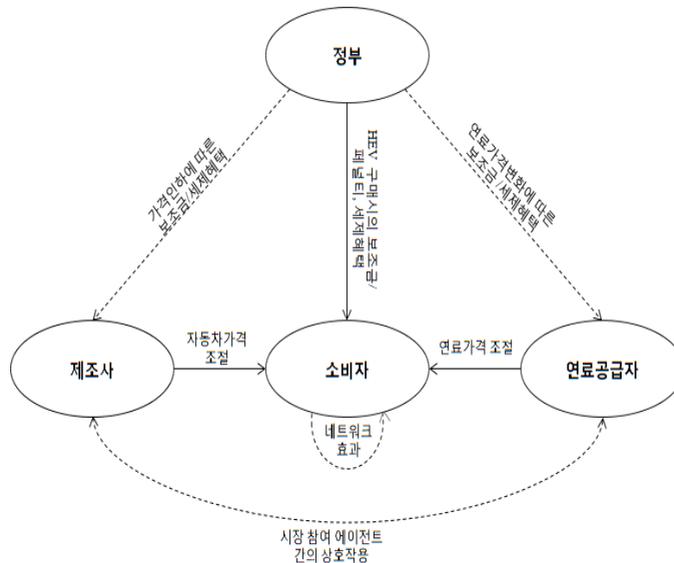
Sweda and Klabjan는 ABM을 이용하여 가정용 EV 소유권(BEV, PHEV)의 패턴을 파악하고 새로운 충전 인프라의 전략적 배치를 활성화하는 방안을 확인하고자 하였다(Sweda, 2011). 충전소의 수가 증가할수록 BEV의 불편도(Inconvenience)는 감소하였으며, 연료 가격이 높아 짐에 따라 BEV, PHEV, HEV의 순서로 시장점유율이 나타났다. 이는 전기모터의 의존도가 높은 친환경 자동차에 충전 인프라 및 연료가격이 중요한 영향을 미친다고 할 수 있다.

Eppstein et al. (2011)은 ABM을 통해 사회적효과(Social effect)와 미디어가 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV) 시장 침투에 미치는 영향 분석하였다. 다른 정부 정책과 제조사의 경쟁력 있는 모델 개발도 중요하지만, 사회적효과와 미디어의 영향력 또한 중요함을 검증하였다.

2. ABM 기반 그린카 확산 영향요인 분석 모형

앞서 언급한바와 같이 본 연구에서는 한국의 하이브리드 전기자동차 시장의 미래 및 활성화 방안에 대하여 연구한다. 자동차 가격 변화 및 차량 연료가격의 변화와 함께, 보조금(subsidy)/페널티(penalty)와 세제혜택(tax incentives)를 포함한 정부 정책적 요인들을 대상으로 국내 자동차 시장에서의 HEV 차량의 보급률을 높이는 데 있어서 중요한 영향요소가 무엇인가를 분석하고자 한다.

<그림 4>에서 제시한 바와 같이 참여 에이전트는 소비자, 제조사, 공급자, 정부로 구성되며 각각의 에이전트는 상호작용을 한다(Choi, 2012). 소비자는 매일 자신의 주행거리, 연료비, 차량의 수명을 리뷰하여 3개 제조사의 18개의 구매 가능모델에 대하여 자동차 구매를 고려한다. 각 제조사는 차량의 가격을 결정한다. 정부는 CO₂ 방출에 따른 보조금 및 페널티, 하이브리드 구매 시에 세금감면 혜택을 제공하여 시장 활성화를 유도하고, 공급자는 가솔린, 경유, LPG의 가격을 결정한다.



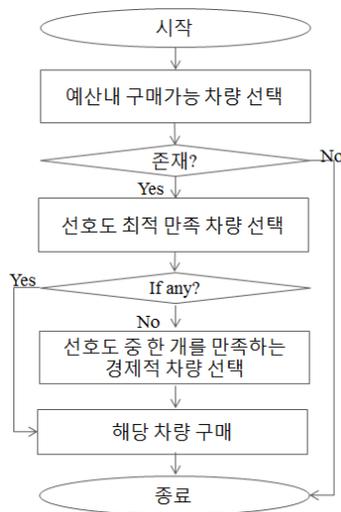
<그림 4> 한국 하이브리드 자동차 시장 참여자 및 영향요인

1) 소비자

소비자 에이전트는 10,000명으로 각 에이전트마다 거주지, 소득수준, 월 자동차 사용 예산(자동차 할부금+연료비+기타), 자동차 이용목적 그리고 자동차에 대한 선호도를 가지고 있다. 한국 상황을 현 교통상황을 적용하기 위하여 통계청 및 서울시의 자료를 이용하여 각 자치구(25개)별 인구 분포, 월평균 소득수준 분포, 서울시 지출 소비내역, 자치구간의 이동 목적별 인구분포를 적용하였고, 에이전트의 자동차 선호도를 차량에 대한 시장점유율로 산출하여 사실에 근거한 기초데이터 사용하여 적용하였다.

소비자는 일정 기간(매 월)마다 예산, 차량을 비교하여 자신에 상황에 맞는 최적화된 차를 구매한다. 친환경차(하이브리드차) 구매를 위한 소비자 자동차

각 소비자들이 HEV 차량을 구매하기 위한 주요 프로세스는 <그림 5>와 같다(Choi, 2014).



<그림 5> 친환경차(하이브리드차) 구매과정

2) 제조사

차량가격을 조절하는 에이전트로서 소비자가 선택할 수 있는 차량 셋을 제공. 실제 데이터를 기반으로 하여 시장 점유율을 바탕으로 현대, KIA 그리고 GM의 3개 브랜드를 선정하였고, 한국의 자동차 구분 기준에 따라 경형(1,000cc미만), 소형(1,000~1,600cc미만), 중형(1,600~2,000cc 미만) 그리고 대형(2,000cc 이상)으로 구분하였다. 또한 2011년 한국 자동차 판매량을 바탕으로 각 브랜드별 경형, 소형, 중형, 대형 각 하나의 모델(현

대는 경형 자동차 없음)을 선정하였다.

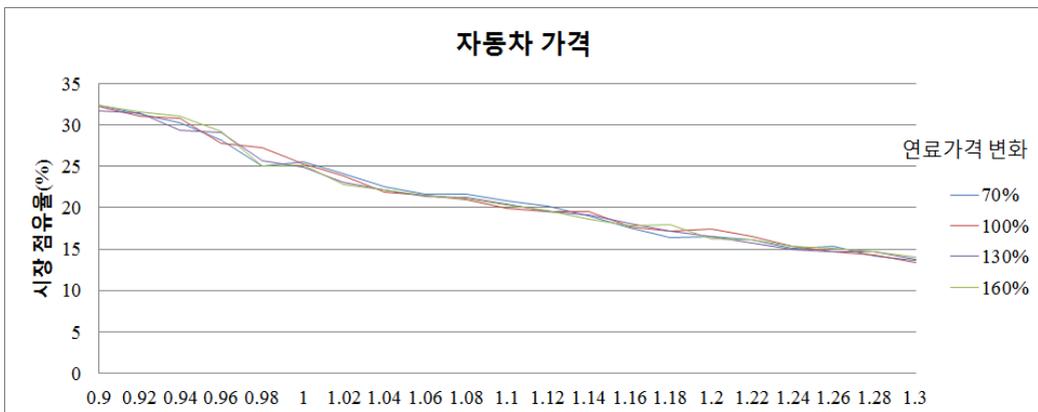
3) 연료공급자

연료가격을 조절하는 에이전트. 2001년부터 2011년까지 한국의 10년간의 휘발유, 경유 그리고 LPG의 가격 변화율을 적용하였으며 각 종류별 연료에 따라 휘발유 \$6.5~10.5/gallon, 경유 \$6.0~10.0/gallon, 그리고 LPG \$3.5~\$7.5/gallon의 범위 내에서 가격을 조절한다.

4) 정부

소비자 에이전트가 하이브리드 구매 시 보조금 및 세금 면제정책으로 차량 구매 유도를 한다. 한국의 현재 진행 중인 세금면제 정책을 적용하였으며(하이브리드 자동차 구매 시 300만원 일시불 지급) 2015년부터 시행예정인 보조금/페널티 제도도 적용하였다.

특히 본 연구에서는 자동차 가격 및 공급되는 연료가격의 변화에 따라 HEV 구매율에 영향을 미치는가를 분석하고자 2021년까지 현재 자동차 가격 대비 자동차 가격을 변화할 경우 HEV 확산에 미치는 영향에 대해 실험연구를 실시하였다. 자동차 제조사들이 현재 자동차 가격 대비 90%~150%까지 가격이 변화했을 경우 HEV 구매에 미치는 자동차 가격의 영향도를 분석하였다. 또한 자동차 연료는 크게 가솔린, 디젤, LPG 세 가지로 구성된다. 다양한 연료를 사용하는 자동차들에 대해 현재가격대비 70%, 100%, 130%, 160% 변경시킬 경우 HEV 확산에 미치는 영향에 대해서 분석을 실시하였다. 본 모형을 기반으로 한 기본 분석결과는 <그림 6>과 같다(Choi, 2014).



<그림 6> 자동차 가격 및 연료가격 변화에 따른 HEV 구매율 변화

위 <그림 6>에서 제시한 바와 같이 제조사가 제공하는 전체적인 차량가격이 상대적으로 낮을수록 HEV 확산률이 점점 높아지는 것을 확인할 수 있다. 특히 차량가격이 낮아질 경우 낮은 소득을 가진 소비자들은 매달 지불할 수 있는 자동차 할부금을 위한 예산을 높이는 것과 동일한 효과를 가지게 된다. 이는 소비자들에게 더욱 많은 소비선택기회가 주어짐을 의미한다. 반면 자동차 가격이 높아질 경우 낮은 소득의 소비자들은 낮은 가격의 차량을 구매하거나 자동차구매를 포기하게 되므로 HEV 시장 점유율이 낮아진다.

또한 자동차연료가격의 변화는 HEV 차량점유율 변화에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 한국에서는 자동차 연료가격이 상대적으로 높은 가격대에 형성되어 있으며 특히 연료세가 총 연료가격의 50%를 구성하고 있다. 상대적으로 높은 연료세로 인해 한국의 가솔린 연료 가격은 미국대비 약 두배로 비싸며[EIA 2012; KNOC 2012], 이러한 높은 가격으로 인해 소비자들은 가격변화에 대한 민감도가 낮은 것으로 파악된다.

상기 분석 외에 추가적으로 수행하고자 하는 연구내용은 보조금 및 세제 관련 정부정책의 영향요인에 대한 분석이다. 현재 추진 중 또는 추진 예정인 자동차 시장 내 정부정책(보조금/페널티, 세제혜택)들이 HEV 시장 점유율에 실질적이고 효과가 얼마일지에 대해 객관적으로 비교, 검증할 수 있으며 정량적 분석결과 및 방법론을 실질적으로 활용할 수 있다. 나아가 당근과 채찍에 해당하는 자동차 시장 내 정부정책(보조금/페널티, 세제혜택)들 간의 다양한 조합을 통해 시장 정책에 있어서 개별 정책 및 두 가지 이상의 정책의 조합이 HEV 시장 확산에 미치는 영향을 다각도로 분석하고자 한다.

이러한 연구결과를 통해 그린카 확산을 위해 필요한 최적 정책요소 및 정책적 요소간의 조합과 함께 시장 환경으로부터의 영향을 시간의 흐름에 따라 시장참여자(에이전트)간의 상호작용 및 상호작용이 HEV확산에 미치는 영향을 동태적으로 분석하는 것이 본 연구의 새로운 시도이자 핵심적 기여라고 할 수 있다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 실무적으로 관련 정책 입안자들을 위한 정책적 시사점을 제공할 수 있으며, 기존에 제시하지 않았던 체계적인 정책 분석 방법론을 제시한다는 측면에서 의의가 있다.

VI. 결론 및 시사점

자동차 및 수송 관련 산업은 전 세계 이산화탄소 배출량의 많은 비중을 차지하고 있으며 탄소 집약도는 전력 산업과 석유 산업, 다음으로 높은 수준이어서 기후변화에 대한

대응과 녹색성장을 위해서 가장 중요한 산업 중 하나이다. 자동차 및 수송 관련 산업이 환경에 미치는 영향으로 인해 그린카의 중요성은 점차 증대되고 있으며, 그중 현재까지의 시장 도입 현황 및 기술수준을 고려할 경우 전기자동차에 대한 관심이 매우 높은 상황이다.

본 논문에서는 전기자동차라는 주제에 대해 저탄소/친환경 산업 생태 플랫폼을 구축하기 위한 정책과 기업전략을 도출하기 위한 학제적 연구로서, 아래 세부 연구주제들에 대한 기존의 선행연구 동향들을 분석하고 학제적 분석 프레임워크를 제시하고자 하였다.

첫째, 가장 거시적 시각의 정책 연구로서 그린카 사례 분석을 위한 산업플랫폼 분석 프레임워크를 도출하고, 필요한 구성 요소들을 제시하였다. 자동차 산업플랫폼은 제조사, 에너지 공급사, 서비스 제공사, 소비자, 정부로 구성되며 정책적 작용요인은 정보, 보조금, 조세지출 및 규제로 요약된다. 이러한 영향요소들은 플랫폼의 모양에 따라서 강도와 규칙성 정도가 달라지게 된다.

둘째, 계량경제학 모형을 적용하여 일반 가솔린 플랫폼과 친환경 기반 플랫폼 간의 경쟁 상황에 대한 기본적인 모형을 수립하였다. 플랫폼 선행연구들을 참조하여, 이미 가솔린 자동차 시장이 형성되어 있는 상태에서 전기자동차 시장이 자동차 및 연료가격과 관련하여 어떠한 가격 체계 하에서 어떠한 가치를 창출할 수 있을 것인지를 제시하고자 모델을 제안하였다.

셋째, 동태적인 관점에서의 분석을 위해 시스템 다이내믹스 모형을 그린카 환경에 접목하여, 특정 그린카 산업분석에 적용할 수 있는 시스템 다이내믹스 분석 모델을 수립하였다.

넷째, 앞서 제시한 시스템다이내믹스 분석 모형을 보다 미시적인 관점에서 분석하고자 시스템다이내믹스에서 도출된 자동차 가격(price)에 대한 소비자 매력도(consumer attraction)를 분석하기 위해 시장참여 에이전트를 제조사 에이전트와 소비자 에이전트로 구분하여 제조사 에이전트의 가격조정에 대한 소비자 실질적인 영향도를 제시하고자 하였으며, 보다 미시적 관점에서 한국의 하이브리드 자동차 시장의 활성화 방안에 대하여 Agent Based Model을 이용하여 개별 소비자 관점에서 연구하였다. 이를 기반으로 현 한국시장에서 실행 중 혹은 실행 예정인 하이브리드 자동차 정책에 대한 분석 방안을 제시하였다.

그린카 산업은 기존의 자동차산업에 비해 더욱 다양한 구성요소가 존재하고 여러 에이전트들이 참여하여 복잡한 관계를 형성하기 때문에 유기적이며 복합적인 관점에서 학제적 연구를 할 필요가 있다. 이에 본 연구는 다양한 방법론을 통해 플랫폼 관점에서 산

업을 조명함으로써 산업플랫폼의 구성요소(Building Block)를 수립하고 각 구성요소가 에이전트들에게 미치는 영향, 에이전트간의 역학관계와 네트워크 효과 및 행동 시나리오를 분석하고 있다. 이러한 다각적 접근을 통해 거시적·미시적 관점에서 동시에 산업플랫폼을 분석함으로써 플랫폼 생태계를 구축함에 있어 효과적인 국가적 정책수립과 기업 전략수립의 방향을 제시하고자 한다.

향후 연구과제로는 각 세부 주제에 대한 상세한 분석과 함께, 보다 유기적인 연구성과 조합을 위해 상호성과교류를 더욱 강화하여 일관성을 확보하고, 세부 연구사항들을 조절하여, 체계적이고 일관된 연구 성과를 제시함이 필요하다. 그린카의 대안 선택과 확산 과정을 연구하는 본 연구는 하나의 주제를 다양한 시각과 방법론(사례연구 및 실증분석, 수리적/경제적 모델링, 시스템 다이내믹스 모델링, ABM 등)으로 접근한다는 측면에서 그리고 이러한 연구들을 통합하여 분석한다는 측면에서 전문성 높은 연구임과 동시에 타 연구에서 시도하지 않았던 학제적 연구로서 본 연구결과물의 성과를 달성하고자 한다.

참고문헌

(1) 국내문헌

- 김동환 (2004), 『시스템사고: 시스템으로 생각하기』, 선학사.
- 노철우·김민우 (2008), “플러그인하이브리드 전기자동차의 스마트충전에 관한 연구”, 『신재생에너지학회 추계학술대회논문집』, 한국신재생에너지학회.
- 박경배 (2012), “친환경차 확산전략에 대한 시스템다이내믹스 접근과 인과지도 분석”, 『한국 시스템다이내믹스연구』, 제13권, 제4호. pp.33-55.
- 이상규 (2010), “양면시장의 정의 및 조건.” 『정보통신정책연구』, 제17권, 제4호.
- 황대철·이은경 (2013), “자동차 산업에서 친환경 플랫폼과 석유기반 플랫폼과의 경쟁 관계 분석”, 『SSK 통합심포지엄 발표자료』, Working paper.
- 정선양·조형례·최진호 (2013), “전기자동차의 산업플랫폼에 대한 연구”, 『기술혁신학회지』, 제16권, 제2호, pp.530-558.
- 조윤숙 (2012), “건설교통 R&D투자의 에너지절감 및 CO₂배출 감소 효과분석”, 『시스템다이내믹스학회 2012년 하계 정기학술대회』, Working paper.
- 최병삼 (2012), “가치창출 틀 플랫폼, 다원화 혁명 이끈다”, 『DBR: Platform Leadership』, 제2권, 제103호.
- 최병삼 (2011), “플랫폼의 일반적 정의가 기업의 경제적, 전략적 의사결정에 미치는 효과에 대한 연구”, 『상업교육연구』, 제25권, 제3호.
- 황성주·박문서·이현수·장유진·문명기·문예지 (2013), “건설 분야 정부 R&D 투자의 사업별 경제적 파급효과 분석: 정성적 자료 기반의 시스템다이내믹스 예측모형 개발”, 『한국건설관리학회지』, 제14권, 제2호, pp.131-140.

(2) 국외문헌

- Armstrong, M. (2006), “Competition in Two-Sided Markets”, *The Rand Journal of Economics*, Vol. 37, pp. 668-691.
- Automotive News. (2009), *JP Morgan Article*.
- Baldwin, C. Y. and Woodard, C. J. (2009), “The Architecture of Platforms: A Unified View”, *Harvard Business School*, Working Paper. 09-034.
- Beresteau, A. and Li, S. (2011), “Gasoline Prices, Government Support, and the Demand for Hybrid Vehicles in the United States”, *International Economic Review*, Vol. 52, No. 1. pp.161-182.
- Bitsche, O. and Gutmann, G. (2004), “Systems for Hybrid Cars”, *Journal of power sources*, 127

(1-2), pp.8-15.

- Bonabeau, E. (2002), "Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems.", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, No. 3. pp. 7280-7287.
- Boudreau, G., Panicker, J., Guo, N., Chang, R., Wang, N., and Vrzić, S. (2009), "Interference Coordination and Cancellation for 4G Networks.", *Communications Magazine*, IEEE, Vol. 47, No. 4. pp. 74-81.
- Boudreau, K. (2010), "Open Platform Strategies and Innovation: Granting Access vs. Devolving Control.", *Management Science*, Vol. 56, No. 10. pp. 1849-1872.
- Boudreau, K. and Hagiu, A. (2009), *Platforms Rules: Multi-Sided Platforms as Regulators*. A Gawer, ed. *Platforms, Markets and Innovation*. Edward Elgar, London.
- Bresnahan, T. and Greenstein, S. (1999), "Technological Competition and the Structure of the Computer Industry.", *Journal of Industrial Economics*, 47, pp. 1-40.
- Caillaud, B. and Jullien, B. (2003), "Chicken and Egg: Competition Among Intermediation Service Providers.", *The Rand Journal of Economics*, Vol. 34, pp. 309-328.
- Carlsson, F. and Johansson-Stenman, O. (2003), "Costs and Benefits of Electric Vehicles: A 2010 Perspective.", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 37, No. 1. pp. 1-28.
- Chan, C. (2007), "The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles.", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 95, No. 4. pp.704-718.
- Chesbrough, H. W. (2003), *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting*, Harvard Business Press.
- Choi, J. P. (2010), "Tying in Two-Sided Markets with Multi-Homing.", *The Journal of Industrial Economics*, Vol. 58, pp. 607-626.
- Choi, J. (2014), "Agent based Model for Estimating HEVs Market: Focusing on the Case of Korea", Working paper.
- Choy, D. (2010), Ross, P., "Consumer Behavior and Environmental Quality in Hawaii.", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 21, No. 3. pp. 290-298.
- Cusumano, M. A., and Gawer, A. (2002), *Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation*, Harvard Business School Press, Boston.
- Cusumano, M. A. and Gawer, A. (2002), "The Elements of Platform Leadership.", *MIT Sloan management review*, ISSN 1532-9194, Vol. 43, No. 3, pp. 51-58.
- Eisenmann, T. R. (2007), "Managing Networked Business: Course Overview for Educators.", *Harvard Business School*, Working Paper.

- Eisenmann, T. R. (2007), “Managing Propriety and Shared Platforms: A Life-Cycle View.”, *Harvard Business School Technology & Operations Management Unit*, Research Paper, No .07-105.
- Eppstein, M. J., Grover, D. K., Marshall, J. S. and Rizzo, D. M. (2011), “An Agent-Based Model to Study Market Penetration of Plug-In Hybrid Electric Vehicles.”, *Energy Policy*, Vol. 39, No. 6. pp. 3789-3802.
- Evans, D. S. and Schmalensee, R. (2007), *Catalyst Code: The Strategies Behind the World's Most Dynamic Companies*, Harvard Business School Press.
- Evans, D. S., Hagui, A. and Schmalensee, R. (2006), *Invisible Engines: How Software Platforms Drive Innovation and Transformation Industries*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Fiorello, D., Angelo, M. and Martina, R. (2010), “The ASTRA Model for Strategic Assessment of Transport Policies.”, *System Dynamics Review*, Vol. 26, No. 3. pp.283-290.
- Gawer, A. (2009), *Platform Dynamics and Strategies: From Products to Services*, in: *Gawer, A., ed., Platforms, Markets and Innovation*, Edward Elgar.
- Gawer, A. and Cusumano, M. A. (2009), “How Companies Become Platform Leaders.”, *MIT Sloan Business Review*, Vol. 49, No. 2.
- Grazziola P. Figueredo, Uwe Aickelin, and Peer-Olaf Siebers. (2011) “Systems Dynamics or Agent-Based Modelling for Immune Simulation?”, *Proceedings of the 10th International Conference on Artificial Immune Systems (ICARIS 2011)*, LNCS Volume 6825, Cambridge, UK, pp.81-94.
- Hagiu, A. and Yoffie, D. B. (2009), “What’s Your Google Strategy.”, *Harvard Business Review*, April.
- Harich, J. (2010), “Change Resistance as the Crux of the Environmental Sustainability Problem.”, *System Dynamics Review*, Vol. 26, No. 1. pp. 35-72.
- Hickman, J. R. (2009), “Clean vehicles.”, *Renewable Energy Focus*, 10, pp. 33-34.
- IBM (2010), “Switching Perspectives: Creating New Business Models for a Changing World of Energy.”, Executive Report, *IBM Global Business Services*.
- James, M. L. (2009), “The (Green) Car of the Future.”, Canberra: Parliament of Australia, Parliamentary Library. Retrieved from <http://202.14.81.230/library/pubs /bn/2009-10/CarOfTheFuture.pdf>.
- Jeong, S., Kim, K., and Park, J. (2009), “CO₂ Emissions Change from the Sales Authorization of Diesel Passenger Cars: Korean Case Study.”, *Energy Policy*, Vol. 37, No. 7. pp. 2630-2638.
- Kadirov, D., Richard, V. (2010), “The Companion Community: How Car Producers Promote

- Hybrid Car Consumption.”, *Journal of Research for Consumer*, Vol. 17. pp. 1-6.
- Kampman, B., Braat, W, van Essen, H. and Gopalakrishnan, D. (2011), “Economic Analysis and Business Models”, *Report: Impact of Electric Vehicles-Deliverable4*, CEDelft.
- KARI, 2014년 세계 자동차시장 전망, 특집, 2014
- Kawahara, E. (2009), *Denki Jidosha ga Kakushin suru Kigyo Senryaku*, Nikkei Business Publications, Inc..
- Kley, F., Lerch, C. and Dallinger, D. (2011), “New Business Models for Electric Cars: A Holistic Approach.”, *Energy Policy*, 39, pp. 3392-3403.
- Macal, C.M. (2010), “To agent-based simulation from system dynamics. In”, *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*.
- Mazraati, M. and Haithem, S. (2011), “Impact of Alternative Fuels and Advanced Technology Vehicles on Oil Demand in the U.S. Up to 2030.”, *OPEC Energy Review*, Vol. 35, No. 1. pp. 70-89.
- MOE (2012), *The Subsidy/Penalty Plan in Terms of Carbon Dioxide Emission Level*, Ministry Of Environment.
- Montazeri-Gh, M. and Asadi, M. (2011), “Intelligent Approach or Parallel HEV Control Strategy Based on Driving Cycles.”, *International Journal of Systems Science*, Vol. 42, No. 2. pp. 287-302.
- North, M. J. and Macal, C. M. (2007), *Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*, Oxford university press, USA.
- Oliver, J. D. and Lee, S. (2010), “Hybrid Car Purchase Intentions : A Cross-Cultural Analysis.”, *Journal of Marketing*, Vol. 27, No. 2. pp. 96-103.
- Ozaki, R. and Sevastyanova, K. (2011), “Going Hybrid: An Analysis of Consumer Purchase Motivations.”, *Energy Policy*, Vol. 39, No. 5. pp. 2217-2227.
- Parker, G. G., and Van Alstyne, M. (2005), “Two-Sided Network Effects: A Theory of Information Product Design.”, *Management Science*, Vol. 51, pp. 1494-1504.
- Rochet, J. C. and Tirole, J. (2003), “Platform Competition in Two-Sided Markets”, *Journal of the European Economic Association*, Vol. 1, No. 4. pp. 990-1029.
- Romm, J. J. and Frank, A. A. (2006), “Hybrid Vehicles Gain Traction.”, *SCIENTIFIC AMERICAN*, 294, pp. 72-79.
- San Roman, T. G, Monber, I, Abbad, M. R. and Miralles, A. S. (2011), “Regulatory Framework and Business Models for Charging Plug-in Electric Vehicles: Infrastructure, Agents, and Commercial Relationships.”, *Energy Policy*, 39, pp. 6360-6375.
- Schieritz, N. and Milling, P.M. (2003) “Modeling the Forrest or Modeling the Trees: A

- Comparison of System Dynamics and Agent based Simulation. In”, *Proceedings of the XXI International Conference of the System Dynamics society*.
- Stave, K. A. (2002), “Using System Dynamics to Improve Public Participation in Environmental Decisions.”, *System Dynamics Review*, Vol. 18, No. 2. pp. 139-167.
- Struben, J. and Sterman, J. (2008), “Transition Challenges for Alternative Fuel Vehicle and Transportation Systems.”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 35, No. 6. pp. 1070-1097.
- Sweda, T. and Klabjan, D. (2011), “An Agent-Based Decision Support System for Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment.”, *Vehicle Power and Propulsion Conference(VPPC), 2011 IEEE*, 6-9 Sept.
- von Hippel, E. (2005), *Democratizing Innovation, London, England and Cambridge, MA: The MIT press*.
- Walther, G., Wansart, J., Kieckhäfer, K., Schnieder, E. and Spengler, T. S. (2010), “Impact Assessment in the Automotive Industry: Mandatory Market Introduction of Alternative Powertrain Technologies.”, *System Dynamics Review*, Vol. 26, No. 3. pp. 239-261.
- Wheelwright, S. C. and Clark, K. B. (1992), “Creating Project Plans to Focusing Product Design.”, *Research In Engineering Design*, Vol. 5, No. 1. pp. 1-20.
- Zhang, F. and Cooke, P. (2009), “The Green Vehicle Trend: Electric, Plug-In Hybrid or Hydrogen Fuel Cell?”, *DIME - Dynamics of Institutions and Markets in Europe*, 3, pp. 1-40.

<http://www.betterplace.com>

<http://www.gridpoint.com/>

□ 투고일: 2014. 03. 13 / 수정일: 2014. 06. 12 / 게재확정일: 2014. 07. 03