

다층적 관점에서 바라본 에너지경관의 변동: 태양광 모듈 탄소인증제를 사례로

장근용*

Changes in the Energy Landscape from Multi-Level Perspective: A Case Study of the Photovoltaic Module Carbon Certification System

Geunyong Jang*

요약: 본 연구는 태양광 모듈 탄소인증제를 중심으로 에너지경관의 변동에 주목했다. 세계 태양광시장이 중국 기업 중심으로 재편됨에 따라, 정부는 태양광산업의 경쟁력 강화를 추진했다. 그러나 정부 주도로 구성된 제도는 에너지경관의 역동적인 변화를 담지 못하는 한계가 존재했다. 이를 배경으로, 다층적 관점(multi-level perspective)의 “거시환경-사회기술체제-틈새”로 이어지는 층위를 탐색해 사회기술체제로서 정부와 국내 태양광 기업이 세계 시장 변화에 대응하는 과정을 추적했다. 각 층위의 변화 속도와 혁신적 실험이 일어나는 틈새에 대해 주목했던 다층적 관점의 개념적 논의에 문제를 제기하며, 공간에 따라 차별적으로 변동하는 에너지경관을 추적해 이러한 간극을 메우고자 했다. 이러한 공간적 논의는 각 국가별로 상이한 탄소배출계수, 산업 특성 등을 추적해, 구성된 제도에 대해 보다 높은 설명력을 가질 수 있다. 또한, 정부 주도의 재생에너지 정책 도입의 문제점과 함의에 대한 토론을 통해, 보다 현장 중심적인 제도의 형성과 이행의 필요성을 제시한다.

주요어: 에너지경관, 글로벌 가치사슬, 태양광 모듈 탄소인증제, 사회기술시스템, 다층적 관점

Abstract: This study examined changes in the energy landscape, focusing on the photovoltaic module carbon certification system. As the global photovoltaic market has been reorganized around Chinese companies, the South Korean government has pushed to strengthen the competitiveness of the nation's photovoltaic industry. However, a limitation remains in that the government-led effort was not sufficient to bring about dynamic changes in the energy landscape. Against this backdrop, this study explored the stages leading to the multi-level perspectives of “macro-environment, socio-technical regime, and niche” to track the process of the government and domestic photovoltaic companies as part of a socio-technical regime responding to global market changes. In particular, this study raised an issue with the conceptual discussion of multi-level perspective, which placed a particular emphasis on the rate of change at each level and the niche in which innovative experiments take place, and thus attempted to fill this gap by tracking the energy landscape that

* 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정 (Ph. D student, Department of Environmental planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, gyjang@snu.ac.kr)

varies differently from space. These spatial discussions can track different carbon emissions coefficients and industrial characteristics for each country, and have a higher level of explanatory power for the system thus constructed. In addition, through discussions on the problems and implications of the government-led introduction of renewable energy policies, this study suggests the need to create and implement a field-oriented system.

Key Words : energy landscape, global value chain, photovoltaic module certification system, socio-technical system, multi-level perspective

1. 서론

재생에너지 균등화발전원가(LCOE, Levelized Cost of Electricity)의 하락과 더불어 그리드패리티(grid parity) 도달 여부는 정부의 에너지전환 정책이 추진되는 과정에서 주요 의제로 등장했다.¹⁾ 또한 재생에너지의 보급과 확산으로 인한 탄소버블과 좌초자산에 대한 문제는 에너지산업 전반에 걸친 이해와 제도의 정교화에 대한 필요성을 제기했다. 재생에너지 선도국들을 중심으로 개별 산업의 가치사슬에서 재생에너지 사용량을 늘리도록 강제하고, 탄소국경세 도입을 추진하면서 산업의 재구조화를 통해 에너지전환에 대한 속도를 높이고 있다. 그러나 국내에서는 원자력 중심의 공고한 축적체제를 중심으로 다양한 영역에서 거센 저항에 직면하고 있다. 에너지정책의 설계와 이행에 있어 다양한 이해관계자의 관계 조정과 타협을 통해 정책을 실현시켜나갈 수밖에 없기 때문에 새로운 제도의 이행과 공고화에 어려움을 겪고 있기 때문이다.

에너지체제에 대한 전환의 관점을 통해 살펴 볼 때, 경성에너지경로에서 연성에너지경로로의 이행은 지역 분산형, 사용자 참여, 사회·기술적 접근을 동반한다 (Devine-Wright, 2007: 79). 이러한 에너지체제의 경로 전환은 원자력을 중심으로 한 거대한 축적체제의 해체를 통해 실현할 수밖에 없고, 한국전력 중심의 중앙집권적 전력 송·배전 시스템은 공고화된 에너지산업 구조의 개편을 동반해야한다. 또한, 화석연료 기반의 엔진에서

전기 기반 모터로의 모빌리티 전환은 기존 내연기관 중심의 자동차 생산 시스템의 양적·질적 변동뿐만 아니라 문화와 제도의 변화도 수반하고 있다. 이러한 사회기술시스템 전환의 맥락에서 새로운 기술의 등장, 제도의 형성과 변화는 기존 체제에 속한 이해관계자(stakeholder)간 갈등에 대한 교섭과, 체제에 대한 포섭을 통해 공진화(co-evolution)한다. 사회기술시스템 접근에서 나타나듯이 에너지전환은 에너지원을 바꾸는 문제뿐만 아니라 하나의 에너지원과 결부된 다양한 기술적 요소와 정치·경제·사회적 요소들을 함께 선택하는 문제이기 때문이다(Miller *et al.*, 2013; 한재각, 2018; 홍택화, 2020). 이에 따라 사회기술시스템의 전환은 에너지경관 전반의 변화를 수반하고 있다. 특히 신·재생에너지 발전량의 약 25%를 차지하고 있는 태양광산업에서 다양한 제도의 형성과 이행을 통해 에너지경관의 역동적인 변동이 나타나고 있다.²⁾

우리나라는 태양광산업 진입 초기에 한화(케미칼), LG전자, 현대중공업과 같은 대기업의 전략적 판단 하에 기업 인수합병, 내부 조직화(intra-firm coordination) 등 다양한 전략을 통해 독일 등 태양광산업 선도국가의 기술을 빠른 속도로 추격하면서 기회를 창출했다(이재열·장근용, 2021). 우리나라는 후발 추격국의 위치에서 입증된 기술을 도입한 후에 기술역량을 확보하는 발전국가의 기술혁신 경로를 따르으로써 해당 산업 선도국가의 기술수준을 빠르게 추격하는 경로를 따라왔다(송위진, 2002; 이근, 2014; 홍택화, 2019). 태양광산업에서도 마찬가지로 경쟁력 있는 기술을 빠르게 도입함으로써 빠

른 시간 내에 선도국가를 추격해 도약(leap-frogging)했다.³⁾ 국내에서 태양광 모듈 제조에 대한 기반이 구축되면서, 국내 태양광 모듈 시장에서 국산 태양광 모듈의 점유율이 2019년 기준으로 78.7%를 차지해 수입대체효과를 발생시켰다.⁴⁾ 중국산 모듈이 국내 시장에 무분별하게 침투하는 것을 지연시켰지만, 태양광 모듈 제조에 있어 중국산 셀 사용 비중이 높게 나타나고 있기 때문에 태양광산업 가치사슬 전반의 경쟁력 강화를 위한 노력을 지속해야 할 필요성이 제기되고 있다. 이를 위해, 본 연구에서는 국내 태양광산업이 세계 태양광산업의 변동에 대응하는 과정에서 새롭게 도입한 제도를 태양광 모듈 탄소인증제로 포착하고, 정부가 제도적 기반을 조성한 상황을 다층적 관점에서 공간적 요소를 접목해 논의했다.

이미 프랑스에서는 태양광 모듈에 대해 탄소발자국제도를 도입해 시행하고 있고, 한국의 탄소인증제는 프랑스의 탄소발자국제도를 벤치마킹해 여러 국가들의 탄소 배출량을 산출해 설계되었다. 정부가 도입한 다양한 법과 제도들이 다층적 차원에서 탄소인증제와 네트워크를 형성하고 보다 정교한 형태로 진화를 거듭해나가고 있다. 이에 따라 세계 태양광산업의 현황과 국내 태양광산업 정책 간 간극을 포착하고 제도적 개선을 도모하고자 본 논문을 4개의 절로 구성해 논의를 전개했다. 서론에서는 에너지전환의 흐름과 세계 재생에너지 산업의 변동과 같은 주요 이슈들을 통해 전반적인 현황을 살폈고, 2절에서는 에너지경관의 변동이 사회기술시스템의 변동으로 나타난 상황을 포착해 사회·기술시스템전환론의 분석틀로 제시되는 다층적 관점(MLP, Multi-Level Perspective)을 중심으로 공간적 논의를 제시했다. 3절에서는 재생에너지경쟁력 강화방안에 제시된 탄소인증제 도입과 관련해 국내에서 나타나는 태양광 모듈 제조 방식의 변화를 포착했다. 또한 다양한 행위자들의 입장을 1차 자료와 2차 자료를 통해 비교·분석하여, 재생에너지와 관련된 법과 제도에 영향을 끼치는 요인을 추적해 제도의 변화를 논의했다. 또한 산업통상자원부의 보도자료 및 RPS(Renewable Portfolio Standard), 탄소인증제 공

고 등을 중심으로 정책적 함의에 대해 주목하고, 산업의 현황을 살폈다.⁵⁾ 그러나 2차 자료를 활용한 기업 조사의 경우, 기업의 입장에서 부품의 수급정보 등 외부에 공개하기 어려운 정보들도 일부 존재하기 때문에, 기업 공시자료 및 IPO자료, 주주총회 자료 등을 통해 간접적으로 정보를 추적했다. 명시적으로 확인하기 어려운 기업의 부품·소재 공급선이나 언론에 보도되지 않은 내용들은 2021년 4월 28일부터 4월 30일까지 대구에서 개최된 신재생에너지엑스포에서 현장조사와 기업관계자를 대상으로 반구조화(semi-constructed)된 인터뷰를 중심으로 교차 확인을 통해 연구에 반영했다(Cresswell and Poth, 2018). 이와 같이 다양한 스케일에서의 산업과 제도 간 네트워크를 추적함으로써, 보다 총체적인 접근을 시도했다(Amin and Thrift, 1994; Ruming, 2009).

2. 에너지경관의 변동과 다층적 관점

세계적인 에너지전환의 흐름 속에서 재생에너지 산업을 비롯한 신산업의 등장으로 인해 산업 구조가 재편되어, 이를 둘러싼 역동적인 변화들이 감지되고 있다. 유럽 연합은 탄소국경세에 대해 본격적으로 논의하기 시작함으로써 각국의 온실가스 배출량을 측정해 관세를 부과하겠다고 공언했고, 국내 기업(삼성전자, 삼성SDI 등)이 생산하는 D램을 구매하는 애플, 2차 전지를 구매하는 BMW 등은 재생에너지로 제조한 부품들을 공급할 것을 공급업체에게 요구했다.⁶⁾ 이처럼 경제경관의 변동은 산업 전체에 큰 파급을 미치므로, 단순히 재생에너지 발전 원만의 문제가 아니다. 이처럼 탄소 장벽의 등장은 환경에 대한 문제뿐만 아니라 공간적으로도 매우 중요한 문제로 작용하고 있음을 내포하고 있다.

국내 재생에너지 산업에 대한 정책적 지원과 관심은 태양광산업에 집중되었다. 2021년 1분기 기준으로 태양

광은 1,017MW, 풍력은 25MW의 신규 보급이 이루어졌다(한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021d). 지방정부 산하 연구기관 및 국책연구기관들은 태양광 클러스터 조성 등에 대한 연구결과를 차례로 발표하면서 발전설비 생산, 제품 연구개발, 전력 발전 등 다양한 영역으로 나누어 태양광산업 진흥 전략을 발표했다(김보원·김광민, 2016; 여형범, 2016; 이경기·김덕준, 2011; 한국과학기술정보연구원, 2015). 이러한 흐름 속에 태양광산업의 발전과정과 제도적 변화, 에너지경관을 포착하고자 했던 연구가 일부 이루어졌다.

이재열·장근용(2020)은 진천과 음성에 조성된 태양광 클러스터와 관련한 지역발전의 경로의존(path dependency)과 고착효과(lock-in)에 대한 논의와, 유연한 기회를 통해 태양광 클러스터로 발달음한 여러 선도 기업을 중심으로 입지 기회의 창에 대한 논의를 진행함으로써 초기 태양광 기업의 입지에 있어 정부를 중심으로 한 정책적·제도적 지원의 중요성을 제시했다. 또한 권순범(2015)은 대기업으로부터 스핀오프(spin-off)를 통해 성장한 태양광기업(에스에너지)을 중심으로 기업경영전략을 조명함으로써 태양광산업 전반의 가치사슬과 산업의 특성 등을 이해하고 규명할 수 있는 틀을 제공했다. 재생에너지 제도와 관련하여, 상민경 외(2019)는 탄소인증제가 WTO 체제에서 비관세장벽(NTB, Non-Tariff Barriers)의 일종인 무역기술장벽(TBT, Technical Barriers to Trade)으로 작용할 수 있다고 지적했다. 또한, 이러한 문제와 관련된 규제가 필요하다는 논의가 국제적으로도 활발하게 진행되는 상황과 맥락을 분석함으로써, 재생에너지 관련 제도의 법적 쟁점에 대해 함께 제시했다.

사회기술시스템에 대한 논의에서 제도와 기술은 정치·경제·문화 등 사회의 다양한 영역을 포섭해 공진화하기 때문에, 1980년대 이후에 과학기술학에서 사회구성주의(social constructivism)는 중요한 접근법이자 이론으로 발전해왔다. 이에 따라, 기술변화의 과정에 정치적, 경제적, 조직적, 문화적 요소들이 개입하는 현상을 분석함으로써 기술을 둘러싼 다양한 현상들이 사회적 과

정의 일종으로 강조되어왔다(송성수, 2002). 이러한 사회·구성주의적 기술학에 대한 논의는 행위자-네트워크 이론(ANT, Actor-Network Theory), 사회기술시스템 등의 논의에 영향을 끼쳤다. 이를 통해 에너지경관의 변동과 제도의 변화 과정을 통해 에너지체제의 변동을 살펴볼 수 있는데, 에너지체제는 사회기술체제의 속성을 가지고 있다. 에너지 이용은 기술적 요소뿐만 아니라, 이를 둘러싼 사회를 구성하는 제도나 사회 제반 구조, 관계들이 복잡하게 연결되어 있기 때문이다(윤순진 외, 2011; 윤순진·심혜영, 2015). 한재각(2010; 2017)은 에너지 전환의 '과정'에 주목하면서, 사회기술시스템에 관한 개념을 통해 에너지·기후 운동의 전환 과정이 기술적 요소의 변화뿐만 아니라 사회적 요소들의 조정과 변화를 수반하는 것으로 제시했다. 이처럼 에너지전환은 에너지와 관계된 다양한 정치, 경제, 문화, 기술, 제도 등의 요소들이 함께 결합하며 공진화한다. 따라서 이와 관련된 다양한 담론들은 단순히 화석연료를 재생에너지로 대체하는 문제뿐만 아니라 다양한 사회기술시스템 속에서 새로운 에너지 관련 논의의 장을 여는데 기여할 수 있다. 거시환경에서 에너지전환의 흐름이 나타나는 상황과 더불어, 산업의 여러 층위에서 나타나는 에너지경관에 의미를 부여하고 분석하고자 한다. 위와 같이 다양한 연구들을 통해 재생에너지 산업과 제도 간의 관계를 간접적으로 파악할 수 있었지만, 공간적 차원에서 나타나는 에너지 경관의 변동을 조명한 연구는 다소 미흡했다. 본 연구에서는 다층적 관점의 틀에서 공간적 논의를 결합해 이러한 간극을 극복하고자 한다.

다층적 관점은 기술변화의 발생과 도입, 기술체제 전환의 메커니즘과 과정에 관심을 둔다(박경환 외 역, 2021: 459). 이는 진화경제학과 과학기술사회학을 토대로 기술경로의 궤적, 경로의존, 사회-네트워크, 혁신 등에 대해 살펴며, 기술전환이 왜 발생하는지를 규명하고자 한다(Geels, 2011). 또한, 새로운 기술이 사회에서 확산되어 수용되기 위해 다양한 이해관계자뿐만 아니라 사회·기술적 제도와 상호작용을 고려해야한다는 점을 강조하고 있다(강재정, 2016). 하지만 일련의 사회기술시

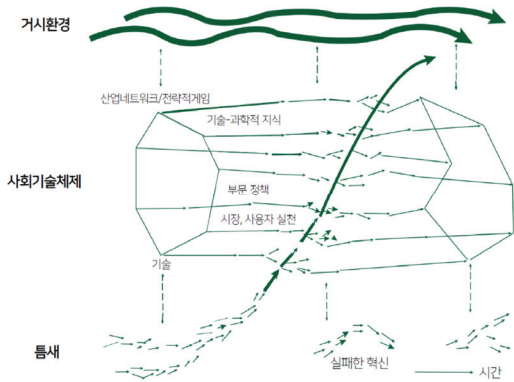


그림 1. 다층적 관점에서 각 층위 간 상호작용 (Geels, 2002; 박경환 외 역, 2019)

스텝의 전환 과정에서 일어나고 있는 다양한 행위와 제도 간 나타나는 미시적인 상호작용을 시스템적으로 다루지 못하고, 정책개입의 정당성이나 방법을 제시하기 어렵다는 점에서 한계가 있다(이영석·김병근, 2014).

다층적 접근에서 거시환경은 세계화, 기후변화, 고령화와 같이 사회적, 정치적, 문화적 변화 등의 장기적 추세를 지칭하는데, 거시환경의 변화는 사회기술체제에 대한 변화의 압력으로 작용한다(송위진·성지은, 2014). 사회기술체제는 특정한 사회적 기능이 이루어지는 사회·기술적 조건이나 관행이나 제도 등으로 구성된다. 이 체제 내에서 이루어지는 혁신의 대부분은 점진적으로 이루어지게 되고, 현존 기술을 급진적으로 파괴하기보다 현 상황에서의 최적화를 지향한다(과학기술정책연구원 사회혁신팀, 2014). 따라서 기존의 사회기술체제는 경로의존적인 성격을 가질 수밖에 없으며, 기존의 경로가 고착화되어 혁신의 지체가 이루어질 수도 있다(Geels, 2004). 마지막으로 틈새는 널리 확산되고 채택되면 새로운 결과를 만들 수 있는 혁신으로, 혁신을 수행하는 소규모 ‘공간’을 일컫는다. 이러한 공간에서 이루어지는 혁신은 현재 지배적으로 이루어지는 사회기술체제의 선택압력(selective pressure)으로부터 보호되고, 이러한 보호를 통해 혁신들은 불충분한 기술적 성능이나 낮은 경제적 성과에도 불구하고 더 발전될 수 있다(과학기술정책연구원 사회혁신팀, 2014). 따라서 이러한 틈새는 시장

에서 보호받기 때문에 신기술의 인큐베이터(incubator) 역할을 할 수 있다(Schot, 1998; 김봉균·문선우, 2012).

다층적 관점에서는 이러한 층위가 공간적 또는 지리적 스케일이 아닌 기능적 스케일로 이루어짐으로써, 사회기술체제 및 틈새의 행위자 간 기능적 관계 속에서 상호작용하며, 각각의 고유 구조나 문화 및 관행을 보유하고 있다고 보았다(Geels and Schot, 2010). 이처럼 각 층위 간 상호작용을 통해 새로운 제도나 기술 등을 분석하는데 있어, 에너지, 교통, 농·식품 등 다양한 차원에 접목해 논의할 수 있는 설명력을 갖고 있다(Geels, 2019). 하지만 거시환경과 사회기술체제, 틈새 수준을 명확히 구분할 수 없을 뿐만 아니라 시스템의 역동에 대한 메커니즘이 단순히 이를 포착하려는 경험적 연구에 있어 어려움이 존재하기도 한다(이보아, 2018). 특히 거시환경, 사회기술체제, 틈새와 같은 메타포를 지리적 과정으로 바라보지 않고 시간적 특징을 주로 강조함으로써 공간에 대한 논의가 다소 부족하게 이루어진 부분이 존재한다(Bridge et al., 2013). 거시환경, 사회기술체제, 틈새의 층위에서 나타나는 변화 속도를 중심으로 이를 설명했기 때문이다(Geels and Schot, 2007).

앞서 언급한 것처럼 세계 태양광산업의 재구조화는 기술의 변화로 인한 글로벌 가치사슬의 변동이나 재생에너지 제도에만 국한된 문제가 아니다. 공간적 차원에서 재생에너지와 관련된 법과 제도가 어떻게 설계되고 이행되는지에 대한 문제와도 결부되어 있기 때문이다. 역동적으로 변화하는 경제경관은 기존의 산업 및 관련 제도가 만든 특정한 장소의 역사적 유산과 거시적 경제 변화에 따른 새로운 힘이 상호작용하며 만들어낸 결과로 나타난다(Massey, 1984; Mackinnon·Cumbers, 2018). 그렇기 때문에 다층적 관점을 통해 공간적 차원에서 나타나는 경제지리학적 현상에 대한 논의를 진행함으로써 에너지경관에 대한 복합적인 이해를 도모하고자 한다.

3. 글로벌 가치사슬의 변동과 탄소인증제

1) 국내 태양광산업의 현황과 태양광 모듈의 원산지 논란

세계 태양광산업 에너지경관의 변동은 중국을 중심으로 이루어지고 있다. 중국은 에너지 인프라에 대한 선제적인 투자를 통해 규모의 경제를 실현하고, 화석연료에 대한 의존도를 낮추고자 기업에 대한 세제혜택 등을 통해 제도적 기반을 조성했다. 중국 기업들은 정부의 기업가주의적(entrepreneurship) 정책을 바탕으로 세계 최고 수준의 기술개발 역량을 보유하게 되었다(Ball *et al.*, 2017: 29). 이를 통해 중국의 론지솔라(Longi solar), 진코솔라(Jinko solar)등 세계 최고 수준의 기업들을 중심으로 수직적 통합(vertical integration)이 이루어져, 전·후방산업의 연계가 조직화된 공급망을 갖추게 되었고, 폴리실리콘→잉곳/웨이퍼→태양광 셀→태양광 모듈로 이어지는 태양광 가치사슬 전반에서 높은 점유율을 확보하고 있다(그림 2).

이처럼 중국의 태양광 기업들은 규모의 경제를 통해 가치사슬 전반에 있어 전·후방산업의 높은 연계를 조직

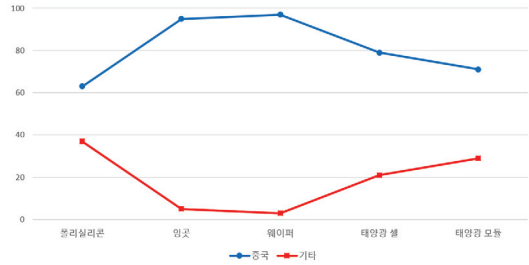


그림 2. 세계 태양광산업 가치사슬 내 중국의 비중(2019년)

(Bernreuter Research, 2019; 연구자 재구성)

했다. 중국의 폴리실리콘 생산 선도기업들은 태양광 셀 생산을 위한 기초소재인 폴리실리콘을 전기료가 저렴한 신장(Xinjiang) 지역에서 생산하면서 높은 가격 경쟁력을 확보했다.⁷⁾ 폴리실리콘과 웨이퍼 생산의 낮은 경쟁력을 갖게 된 국내 기업들은 폴리실리콘 생산 설비를 해외로 이전하거나, 상장폐지 되었다.⁸⁾ 이에 따라, 국내 태양광 셀/모듈 생산 기업들은 주로 중국기업으로부터 중간재를 조달했으며, 코로나19의 확산으로 인해 중국으로부터 부품 및 소재의 공급이 불안정해진 한화솔루션의 진천과 음성공장은 일시적으로 태양광 모듈 생산을 중단하기도 했다.⁹⁾ 이러한 세계 태양광 시장의 변동은 우리나라의 태양광산업의 가치사슬의 변동과 재구조화를 추동했다.

한국무역협회 무역통계의 태양광 가치사슬의 품목 수

표 1. 최근 4년간 폴리실리콘, 잉곳, 웨이퍼, 셀 모듈 수입 현황

구분 (HS코드)	수출량(톤)				수입량(톤)			
	2017년	2018년	2019년	2020년	2017년	2018년	2019년	2020년
폴리실리콘 (2804611090)	66,315	54,631	53,286	13,098	4,312	2,319	3,169	2,370
잉곳 (2804611010)	640	472	803	99	232	49	117	94
웨이퍼 (3818002010)	1,536	2,066	744	428	7,924	11,578	10,848	9,790
태양광셀 (8541409021)	2,022	2,476	7,379	2,912	3,156	2,180	5,666	4,927
태양광모듈 (8541409022)	242,095	225,979	205,124	196,591	49,700	42,994	76,901	90,922

자료: 한국무역협회 무역통계 품목 수출입(2017~2020), 태양광관련 수출입품목코드(HSK) 참조, 연구자 재구성

출입을 살펴볼 때, 폴리실리콘의 수출량은 지속적으로 감소하고 있다. 코로나19의 확산으로 2020년의 수입(수출)액의 변동이 있다는 것을 감안하더라도, 태양광 셀의 수입량이 증가 추세임을 확인할 수 있다. 우리나라의 태양광 모듈 제조 기업들은 중국의 론지(LONGi), 중환(Zhonghuan) 등 중국의 태양광 기업으로부터 중간재를 수입해 태양광 셀과 모듈을 조립하여 완제품을 생산하고 있다. 한편, 현대에너지솔루션이 2020년 7월경 태양광 셀 제조 사업을 철수하고, 모듈사업에 집중하겠다는 보도가 있었으나, 태양광 셀 제조 공장을 지속적으로 증설하여 2021년 4월부터 신설 공장 가동예정이다.¹⁰⁾ LG전자도 태양광 사업부 매각을 검토한다는 보도가 있었으나, 태양광사업을 더 확대하고 있다¹¹⁾. 또한 신성이엔지는 김제에 태양광 모듈 생산 공장을 신설하며 태양광 모듈 제조 용량을 확장했다.¹²⁾ 이처럼 국내 태양광산업의 경우 중국에서 기초소재(폴리실리콘) 및 중간재(웨이퍼, 태양광 셀)를 생산해 한국에서 제조(Made/Manufactured)하는 형태로 나타난다.¹³⁾ 셀을 가공하고 조립해 모듈을 생산하는 형태의 제조방식은 원산지관리법 상의 충돌을 가져왔고, 국내 태양광산업의 경쟁력이 갈수록 낮아지고 있다는 주요 근거로 등장했다. 국내에서 제조한 태양광 셀을 사용해 제조한 태양광 모듈의 보급량은 지속적으로

감소하지만, 중국산 셀을 사용한 모듈의 사용량은 지속적으로 증가하는 상황에서, 국정감사 및 언론보도 등을 통해 국내에서 조립하는 태양광 모듈이 “Made in Korea”인지, 아니면 “Assembled in Korea”인지에 대한 문제제기가 원산지 표기를 중심으로 이루어졌다.

이처럼 재구조화된 가치사슬을 통한 산업구조의 변화는 “정부의 에너지전환 정책(탈원전)이 결국 중국이 이익을 보는 정책이다.”, “태양광 모듈은 국산이 아니라 사실상 중국산”이라는 비판에 직면했다. 표 2의 RPS 보급량 통계를 살펴 볼 때, 중국산 셀을 사용해 제조한 모듈의 비중이 급격하게 증가했기 때문이다.

대외무역관리규정에 의하면, 국내에서 완제품 제조 시에 해당 물품의 전체 제조원가 중, 수입 원료의 단가를 제외한 금액이 전체 제조원가의 85% 이상인 경우에 국내산으로 인정하고 있다. 수입 원료를 사용한 국내생산물품 중, 원산지 규정을 충족하지 아니한 물품의 원산지 표시는 제조국가와 원료 생산 국가를 동일한 크기로 표시해야한다(법제처 국가법령정보센터, 2014). 그러나 내수용 태양광 모듈의 경우 원산지 표시 의무는 없고, 표시할 경우, 중국산 태양광 셀을 사용한 모듈은 대외무역관리규정에 따라 “제조국: 한국”, “Cell: 중국산”과 같이 표기하는 것이 원칙이다(산업통상자원부, 2020a). 국내 태양

표 2. RPS 보급량 통계(태양광 셀 기준)

구분	한국산 셀		한화큐셀 생산 셀 (중국 제조)		중국산 셀		기타국가 생산 셀 (대만, 미국, 일본)		복수국가 생산 셀 (혼용 사용)	
	용량(kW) (발전소수)	용량비율 (%)	용량(kW) (발전소수)	용량비율 (%)	용량(kW) (발전소수)	용량비율 (%)	용량(kW) (발전소수)	용량비율 (%)	용량(kW) (발전소수)	용량비율 (%)
2017	443,170 (2,251)	39.59	78,056 (480)	6.97	505,918 (2,209)	45.20	37,704 (228)	3.37	54,427 (5,377)	4.86
2018	988,903 (5,793)	52.16	242,979 (1,108)	12.82	603,961 (2,174)	31.86	22,561 (126)	1.19	37,370 (9,383)	1.97
2019	1,498,962 (9,777)	50.25	141,306 (2,013)	4.74	1,000,010 (4,532)	33.52	26,260 (216)	0.88	316,588 (18,729)	10.61
2020	877,428 (7,840)	22.12	99,207 (1,723)	2.50	2,589,649 (12,833)	65.28	19,547 (156)	0.49	381,373 (24,588)	9.61
합계	3,808,463 (25,633)	38.23	561,548 (5,324)	5.63	4,669,537 (21,777)	47.16	106,072 (726)	1.06	789,758 (58,078)	7.92

자료: 한부경의원실 2021년 5월 14일자 보도자료

광 기업들은 태양광 셀을 수입해 기업 나름대로의 기술을 이용해 국내에서 생산하기 때문에 제조국은 한국이라고 주장했지만, 태양광 모듈에 대한 원산지 논란은 국내·외에서 오랜 시간 동안 지속되었다.¹⁴⁾ 태양광 모듈은 약 76%가 태양광 셀을 덮는 형태로 강화유리가 부착되어 있고, 폴리머(봉지재, 백시트) 10%, 알루미늄프레임 8%, 실리콘(태양광 셀) 5%, 구리 1%와 0.1% 미만의 은, 기타 금속 등으로 이루어져있다(IRENA, 2016). 부품의 단가는 정량적으로 산출이 가능하지만, 태양광 모듈을 제조하는데 투입되는 기업의 기술에 대한 비용이 어느 정도인지 정량적으로 판단할 수 있는 기준이 마련되지 않았고, 제조방식에 대한 다양한 이해관계에 따라 이견이 존재했기 때문이다.

이와 같이 태양광 모듈 제조에 투입되는 다양한 원료와 부품들은 각국 정부가 글로벌 생산네트워크 내에서 무역장벽을 구축하거나, 자국 산업 육성을 위한 주요 행위자로 인식되었고, 이는 국가 간, 또는 국가 내에서 다양한 논란을 불렀다. 2010년에 미국의 국토안보부와 세관은 “외국산 부품을 사용했다라도 미국 내에서 생산한 제품은 원산지가 미국”이라는 판결을 내렸다⁶⁾. 2014년에 EU가 중국산 태양광 모듈에 대해 반덤핑 관세를 부과하기로 결정함에 따라, 중국기업들은 한국에 태양광 셀을 수출해 한국에서 모듈을 제조함으로써 원산지 규정을 우회해 관세를 회피하는 전략을 사용하기도 했다.¹⁷⁾ 또한, 2014년에 산업통상자원부는 중국산 태양광 셀을 이용해 국내에서 태양광 모듈을 제조하는 것은 완제품의 본질적인 특성을 부여하는 실질적인 변형으로 보기 어렵기 때문



그림 3. 한솔테크닉스 태양광 모듈 KS인증 내역 (2021년 4월 28일, 연구자 촬영)

에 중국산 제품으로 판단한다고 유권해석을 내리기도 했다.¹⁸⁾ 그리고 2019년에 관세청은 태양광 셀로 모듈을 제조하는 과정을 단순한 형태의 조립 과정으로 보고, 대외 무역법령에 의거해 태양광 모듈의 원산지가 태양광 셀의 원산지에 따라 결정된다고 판단해 단속에 나서기도 했다.¹⁹⁾

충북 청주에 태양광 모듈 생산 공장이 입지한 한솔테크닉스는 중국의 태양광 셀 제조기업으로부터 태양광 셀을 공급받고 있다. 한솔테크닉스를 비롯한 다양한 모듈 제조회사들은 내부 조직화, 태양광 모듈 제조에 대한 부품 및 소재의 외부조달 등을 통해 태양광 모듈을 제조함으로써 시장에서 경쟁력을 확보하기 위해 노력하고 있다. 기업들의 다양한 모듈 제조 사례를 통해 태양광 모듈의

표 3. 태양광 모듈 원산지 논란에 대한 집단별 입장

구분	태양광 모듈 원산지 표기에 대한 입장
정부(산업통상자원부)	국내 태양광시장에서 국내 생산 태양광 모듈 점유율은 78%(2019년 기준)로 경쟁력을 확보하고 있음.
태양광산업협회	태양광산업의 핵심이 셀에서 모듈로 이동하는 상황이고, 중국산 태양광 셀을 사용했기 때문에 국산 모듈이 아니라는 것은 모듈 제조공정에 대한 이해가 부족한 주장입 ¹⁵⁾ .
태양광 모듈 생산 기업	태양광 셀을 중국으로부터 수입해 셀과 셀 사이 간격을 없애는 기술 등, 다양한 방식으로 부가 가치를 더해 모듈을 생산하고 있음.

출처: 다수의 언론보도 및 관계자 인터뷰를 통해 연구자 작성

생산네트워크를 세 가지 형태로 구분하여 제시할 수 있다. 그러나 기업마다 다양한 생산방식을 구성하고 있어 국내 조달 정도를 명확하게 분류하기 어려운 부분이 존재한다. 이에 따라 대표적인 사례를 도식화해 제시했다(표 4).

어느 국가에서 제조했는지, 모듈 제조를 위해 어느 국가의 부품 및 소재가 사용되었는지에 따라 탄소배출량이 달라지기 때문에, 탄소인증제와 결부된 고정가격계약

경쟁입찰과 같은 제도와 연결된다. 다음의 탄소인증제 도입과 이행에 대해 살펴보면 관련 논의를 이어나가고자 한다.

2) 탄소인증제의 도입과 이행

세계 태양광시장에서 국내 산업의 경쟁력을 강화하기 위해 정부는 제도적 기반을 구축하고 있다. 정부는 2019

표 4. 국내기업의 태양광 모듈 생산 방식

구분	웨이퍼	태양광 셀	태양광 모듈	기업의 규모
↑ 국내 조달 정도 ↓	중국기업(Longi, Zhonghuan 등)으로부터 수입, 한국기업(웅진에너지)으로부터 구매	자체 제조		대기업 (한화솔루션, 현대에너지솔루션, LG전자)
	한국 기업으로부터 구매	한국산 웨이퍼를 원료로 제조한 중국산 셀 수입	중국산 태양광 셀을 원료로 모듈 제조	중견기업
	중국기업으로부터 구매		국내 제조	

출처: 기업 관계자 인터뷰 등을 바탕으로 구성.

표 5. 「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안」의 주요 내용

개요	주요 내용	정책
제품 효율·품질 기반으로 시장 경쟁구도를 전환	친환경화: REC 제도 개편	<ul style="list-style-type: none"> 탄소인증제 도입 경쟁입찰 확대 폐모듈 재활용
	고품질화	<ul style="list-style-type: none"> 최저효율제 사후관리: KS 인증심사 기준에 국내 서비스(A/S)조직·인력·설비 요건 강화 추진
	융·복합 제품 및 시장 육성	<ul style="list-style-type: none"> 신비즈니스: 건물외장재용 태양광 진출, IoT·빅데이터·AI·5G 기반 新서비스
산업생태계 경쟁력 강화	내수시장의 안정적 확대: 재생에너지 투자확대 모멘텀	<ul style="list-style-type: none"> 재생에너지 3020 가속화 기업투자 지원 리파워링 및 RE 100
	기술고도화: 민간주도 R&D 로드맵 수립	<ul style="list-style-type: none"> 2022년까지 양산 태양광 셀 한계효율 23% 달성 2022년까지 풍력발전 핵심부품 국산화 등
	기업 체질 개선	<ul style="list-style-type: none"> 생산시설투자 금융지원 5,000억 원, 재생에너지 전용펀드 1,000억 원
	지역기반의 혁신생태계 조성	<ul style="list-style-type: none"> 5개 권역에 연구·기반시설 등 인프라 보강
해외진출촉진		<ul style="list-style-type: none"> 전략시장별 진출지원, 수출금융 우대 등

자료: 산업통상자원부, 2019; 안희민, 2019 재인용

년 상반기에 「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안」을 발표하면서, 재생에너지보급정책과 함께 산업 경쟁력 확보 방안을 제시했다. 이러한 산업경쟁력 확보는 재생에너지 산업을 통해, 에너지전환의 정책기조 속에서 일자리 창출과 수출 경쟁력 확보를 동반한 양적·질적 성장을 도모하고 있다. 이를 통해 기술개발 및 산업에 대한 지원뿐만 아니라 다양한 정책적 변화도 수반하고 있으며, 이러한 변화는 지속가능한 에너지전환을 위한 제도적 기반 조성의 핵심 축으로 기능한다.

탄소인증제는 「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안」의 핵심과제 중 하나로서, 정부는 국산 태양광 모듈의 품질을 높이고 저탄소 공정시스템으로 유도하기 위해 태양광 모듈 탄소인증제를 도입했다(산업통상자원부, 2020b). 프랑스에서는 이미 CFP(Carbon Foot Print, 탄소발자국) 제도를 통해 자국 태양광산업에 적용 중에 있다.²⁰⁾ 또한 EU에서도 유사제도를 도입할 계획을 가지고 있어, 국내 도입을 통해 우리 기업의 해외시장 진출에도 도움이 될 것으로 기대되는 주요한 제도이다(산업통상자원부, 2020c). 탄소인증제에서 온실가스 총량은 직접 발생되는 배출량(N₂O, CO₂ 등)과 소비된 전력생산을 위한 배출량을 합산하여 평가하게 된다(산업통상자원부, 2020b). 우리나라의 태양광 모듈 탄소인증제는 태양광 모듈 제조 과정에서 배출되는 온실가스의 총량(CO₂·kg)을 계량화하여 관리하고 탄소 배출량을 검증해 RPS와 결부지어 가중치를 나누어 부여했다. 산업통상자원부(2020a)는 탄소인증제가 “제품생산 과정에서 탄소배출량이 적은 제

품을 우대하는 제도로, 저탄소제품 설치 확산을 통해 친환경 시장으로의 단계적 전환을 추진하는 제도”라고 언급했다. 산업통상자원부는 이 제도가 에너지전환뿐만 아니라 산업의 안정성 측면에서도 일부 효과를 이끌어낼 수 있는 제도라고 주장했다. 국내기업들이 여러 국가와 기업에서 생산된 소재 및 부품들을 활용함으로써 공급선을 다변화해 외부 요인으로부터 대응할 수 있는 역량을 갖추게끔 하는 제도라는 것이다. 그리고 태양광 모듈 제조에 투입되는 폴리실리콘, 잉곳·웨이퍼, 태양광 셀, 모듈, 부자재(프레임, 유리 등)의 제조과정에서 탄소배출량을 평가할 때, 국가별로 탄소 배출량 가중치를 다르게 산정하고 있기 때문에, 중국산 부품에 대한 비관세 장벽을 구축하고, 수입대체 효과를 확보하는 기대효과를 갖게 되었다.

산업통상자원부는 탄소인증제 도입을 위해 구체적인 로드맵을 설정하고, 공청회를 통해 태양광 발전사업자, 발전소 시공사, 모듈 제조사 등의 의견을 수렴해 정책에 반영하고자 노력했다(산업통상자원부, 2020d). 그러나 탄소인증제가 도입되기 이전에 태양광 발전소를 건설한 사업자의 경우 탄소배출량을 검증한 모듈을 사용할 수 없었기 때문에, 기존 발전사업자와 신규 발전사업자 간 형평성 문제가 대두됐다.²¹⁾

또한 태양광 모듈 탄소인증제는 실제 현장과 정책 간의 괴리가 있다는 비판도 존재했다. 태양광 셀의 원료인 웨이퍼의 경우 국내에서 옹진에너지가 생산하고 있는데, 옹진에너지의 연간 생산능력은 500MW 수준으로, 2019

표 6. 탄소인증제 도입 일정

일정	주요 사건
2019.04	「재생에너지산업 경쟁력강화방안」에서 탄소인증제를 핵심과제로 제시
2020.02	탄소배출량 사전검증을 위한 업무협약(태양광산업협회·한국에너지공단) ²²⁾
2020.03	태양광 모듈 제조사 대상 사전검증
2020.04	태양광 모듈 탄소인증제도 공청회 개최
2020.05	탄소인증제 운영고시(산업통상자원부) 및 세부검증기준(에너지관리공단) 제정
2020.06	태양광 모듈 전체 대상 탄소배출량 검증 실시
2020.07	태양광 모듈 탄소배출량 검증 신청 접수

출처: 산업통상자원부와 언론보도 자료를 추적해 연구자 작성

년 국내 보급 태양광 모듈 용량인 3967MW에 비해 현저히 낮고 중국산 웨이퍼에 비해 상대적으로 가격이 높아, 국산 웨이퍼를 사용해 태양광 모듈을 제조할 수 있는 기업이 한정적인 것으로 나타났다.²³⁾ 또한 대기업의 경우 태양광 셀을 직접 생산할 수 있는 생산시설을 이미 보유하고 있어, 중국산 태양광 셀에 비해 낮은 탄소배출량을 가진 국산 태양광 셀을 사용할 수 있고, 낮은 탄소배출량을 가진 기초소재, 중간재를 보다 낮은 탄소배출계수를 가진 국가로부터 다변화해 공급 받을 수 있는 역량이 상대적으로 높기 때문에 대기업에게 상대적으로 유리한 제도라는 것이다.

“중국기업들과 경쟁할 수 있는 기업은 A사 정도인데, A사도 웨이퍼는 중국에서 사오거든요, 웨이퍼가 탄소인증제 등급을 좌우하는 큰 요소 중 하나인데, 웨이퍼를 생산하는 웅진에너지는 법정관리에 들어갔고, 케피(생산용량)가 중국기업들과 비교했을 때, 상대가 안 되니까 ... 우리도 1등급 모듈 얼마든지 만들 수 있어요. 비싸서 그렇지, 고객에게 단가도 맞춰야하니까. 웨이퍼를 독일이나 노르웨이에서 수급해보려고도 했는데, 웨이퍼 말고 다른 부품[유리, 알루미늄 프레임 등]들을 통해서 탄소배출량을 맞춰보려고 하고 있어요. 그런데 알루미늄 프레임도 그렇

고 중국 제품이 가격적으로도 월등하니까[국내기업의 경쟁력이 상대적으로 낮아요]”(세계신재생에너지엑스포에서 태양광 모듈 제조 B사 관계자 인터뷰, 2021.04.28.)

태양광 모듈 제조 기업의 관계자에 대한 인터뷰 등을 통해 살펴봤을 때, 정부가 세계 태양광 시장의 변동에 대응하기 위해 태양광 모듈 탄소인증제를 설계해 현장에 적용했다고 하더라도, 새로운 경로를 창출했다기보다, 오히려 세계 시장에서 퇴출될 기업의 존속 및 유지에 도움을 줌으로써 산업의 역동성을 저하시켰다는 평가도 있다. 특히 세계시장에서는 태양광 모듈의 대형화를 통해 균등화발전원가의 감소와 시공비 절감을 추구하고 있으나, 내수용 태양광 모듈은 상대적으로 크기가 작은 웨이퍼를 사용하여 태양광 모듈을 제조하고 있기 때문에 경쟁력의 약화가 우려되고 있기 때문이다.²⁴⁾ 이와 같이 새로운 제도의 등장으로 인해 모듈 제조 단가 상승으로 인한 가격경쟁력 약화, 대형 모듈 제조업체 위주의 시장 재구조화가 이루어지고 있다. 특히 탄소인증제는 신재생에너지 고정가격계약 경쟁 입찰과 같은 제도와 결부되어 있는데, 현행 평가 기준으로는 평가 총점 100점 중, 10점이 모듈의 탄소 배출량과 관련이 있다.

이처럼 태양광 모듈의 탄소배출량에 따라 신재생에너지

표 7. 고정가격계약 경쟁입찰 선정 평가 기준

구분	평가지표	세부내용 및 평가기준	배점	
			현행	개선
계량평가 (1.2배수)	입찰가격	[(상한가격-입찰가격)/상한가격] × 70	70	70
	태양광 모듈 탄소배출량	<ul style="list-style-type: none"> • 670kg·CO₂/kW 이하(10점) • 670 초과 830kg·CO₂/kW 이하(4점) • 830kg·CO₂/kW 초과(1점) 	-	10 (신설)
사업내역서평가	<ol style="list-style-type: none"> 1. 신속하고 지속적인 유지·보수 체계의 적절성 여부 미흡(3.5~4), 보통(4.1~4.5), 우수(4.6~5) 2. 발전소의 안정적인 사업운영능력 여부 미흡(3.5~4), 보통(4.1~4.5), 우수(4.6~5) 3. 주민(농업인 등)참여형, 지역 및 산업발전에 끼치는 영향 미흡(8.5~9.0), 보통(9.1~9.5), 우수(9.6~10) 		30	20
합계			100	100

자료: 한국에너지공단 신재생에너지센터(2021a)

지 고정가격계약 경쟁 입찰시 인센티브를 주는 방식으로 제도가 구성됐다. 탄소배출량 검증 모듈 사용 여부 및 탄소배출 정도에 대해 정량평가를 진행하고 이를 고정가격계약 경쟁 입찰 선정 평가에 반영하는 것이다.²⁵⁾ 태양광 모듈을 제조하는데 사용되는 부품별 탄소배출량을 산출하는 방법은 생산 가치사슬 별 kW당 이산화탄소배출량을 근거로 한 표준배출계수 평가와 제조사가 자체적으로 평가하는 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)가 있다. 국내에서 탄소배출량 평가를 받은 태양광 모듈은 국가가 기본 값을 제공한 표준배출계수 평가를 적용해 탄소배출량이 산출됐다. 탄소배출계수는 먼저 태양광 모듈 제조 공장이 입지한 국가들을 대상으로 IPCC(기후변화에 관한 정부간 패널) 4차 평가 종합보고서 등을 기반으로 전력배출계수를 산출해 정부에서 기본 값을 제시하고, 이렇게 산출된 전력배출계수는 태양광 모듈 탄소인증제에서 모듈별 탄소배출량 측정을 위한 기본 자료가 된다.²⁶⁾ 표 8의 각국의 생산단계별 탄소배출 계수를 확인했을 때, 중국산 소재 및 부품을 사용하는 것에 비해, 국산 부품 및 소재를 사용했을 때 상대적으로 적은 탄소배출량이 산출되는 것을 알 수 있다.²⁷⁾

태양광 모듈 탄소인증제 도입 결과, 2021년 2월 6일 기준으로 1등급 제품은 한화솔루션이 62개, 현대에너지

솔루션이 8개, 에스에너지 7개, 신성이엔지 1개의 제품군이 등록되어 있다. 태양광 셀을 직접 제조하거나, 국내 기업의 부품·자재를 쓸 수 있는 여력이 되는 대기업 위주로 1등급 인증을 받게 되어, 외국에서 부품·소재를 수입해 모듈을 제조하는 업체들의 가격경쟁력이 약화되는 결과가 나타났다.²⁸⁾ 2021년 4월 기준으로 중국산 태양광 모듈이 탄소인증제에서 등급 인증을 받지 못했지만, 2021년 하반기부터 탄소인증에 적극적으로 나설 것이라는 전망과 함께, 탄소인증제 도입과 이행에 대한 산업 전반의 우려도 함께 제기되고 있다.²⁹⁾ 일부 국내 태양광 기업들은 정부가 조성한 태양광 모듈 탄소인증제 아래에서 대만산 웨이퍼 수급에 성공하는 등, 부품 수급의 여러 경로를 모색하고 있다.³⁰⁾ 이러한 산업의 현황과 제도적 간극은 아웃소싱, 위탁생산 등의 생산체계를 도입해 유연하게 공간적 분업을 이행할 수 있는 대기업에게 유리한 정책이 될 우려가 있다. 그럼에도 불구하고 탄소인증제가 도입될 수 있었던 이유는 세계적으로 확산되는 탄소장벽에 대응하여 선제적 대응을 하고, 저탄소 공정시스템 및 고효율 모듈로의 개발을 유도하기 위함이었다. 또한 코로나19의 확산 등 예상하기 어려운 부품 및 소재 공급의 불안정성을 극복하기 위해 안정적인 생산네트워크를 구축할 수 있는 기반을 조성하기 위해서였다.

표 8. 각국의 생산단계별 탄소배출 계수

구분	폴리실리콘	잉곳	웨이퍼	셀	모듈	유리	강화유리(열공정)	EVA	POE	PET	PVF	알루미늄프레임
말레이시아	146.812	83.837	0.892	0.548	12.923	1.066	0.232	2.477	3.464	3.188	20.766	8.066
인도	142.726	81.611	0.887	0.537	12.748	1.062	0.227	2.464	3.429	3.181	20.662	8.007
중국	122.568	70.631	0.862	0.483	11.885	1.041	0.204	2.403	3.255	3.145	20.147	7.715
대만	105.357	61.256	0.841	0.437	11.148	1.024	0.185	2.351	3.106	3.115	19.707	7.467
독일	105.109	61.121	0.84	0.437	11.138	1.024	0.184	2.35	3.104	3.114	19.701	7.463
미국	93.605	54.854	0.826	0.406	10.645	1.012	0.171	2.316	3.005	3.094	19.407	7.297
한국	89.871	52.82	0.821	0.396	10.485	1.008	0.167	2.304	2.973	3.088	19.312	7.243
캐나다	63.785	38.61	0.789	0.326	9.368	0.982	0.138	2.225	2.748	3.041	18.645	6.866
프랑스	30.674	20.574	0.748	0.238	7.951	0.949	0.1	2.125	2.462	2.983	17.8	6.387
노르웨이	25.241	17.614	0.741	0.224	7.718	0.943	0.094	2.109	2.415	2.974	17.661	6.309

출처: 한국에너지공단 신재생에너지센터, 2021b, 2021년 2월 26일 기준

3) 다층적 관점에서 공간적 흐름

세계적으로 에너지전환의 거시환경 속에서 각국은 탄소배출의 감축을 목표로 하고 있으며, 이러한 여건의 변화는 재생에너지 관련 제도에 대한 변화의 압력을 가지게 되었다. 정부가 주도한 탄소인증제가 오랜 시간 동안 다른 국가의 제도 등을 벤치마킹하고, 국내 산업 현황에 대한 검토를 통해 도입됐다고 하더라도 제도와 실제 현장과 괴리가 일부 존재할 수밖에 없었다. 특히 사회기술체제는 경로의존적인 성격을 가질 수밖에 없기 때문에, 국내에서는 제도의 도입과 이행에 대해 반대에 직면하기도 했다. 하지만 탄소인증제의 도입은 세계 재생에너지 산업 전반에서 나타난 새로운 변동을 포착해 이에 대응하려는 시도의 일환이었고, 보다 공고한 재생에너지 생태계 구축을 위한 제도적 기반 조성이었다. 태양광 모듈 제조국이 어디인지에 따른 원산지 논란은 산업의 가치사슬에 대해 보다 명확한 기준을 확립해 탄소인증제를 보다 정교하게 도입하고 이행하라는 요구였다.

중국산 태양광용 웨이퍼가 세계시장을 장악하면서, 국내에서 태양광용 웨이퍼 제조 산업은 사양 산업으로 여겨졌고, 다수의 기업들이 도산하거나, 법정관리에 직면했다. 그러나 탄소인증제 도입 이후 각 제조사들이 저탄소 배출 태양광 모듈 제조를 위해 웅진에너지의 웨이퍼를 구매하기 시작하면서 사양 산업에 대해 일정 수준의 보호가 이루어지기도 했다. 태양광 모듈 제조 산업은 이미 모듈화되고 진입장벽이 낮은 산업이기 때문에 새로운 혁신이 급격하게 일어날 것이라고 기대하기 어려운 상황이지만, 생산네트워크의 변동으로 인한 가치사슬의 재구조화, 공간적 분업 등의 다양한 공간적 흐름을 통해 혁신을 수행하는 틈새가 발생해 시장에서 새로운 혁신의 공간이 창출될 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 변동들은 다층적 관점에서 기술혁신, 시간의 흐름을 통해 주로 분석해왔던 틀에서 이론적 논의를 보완할 수 있는 중요한 통로가 될 수 있을 것이다.

4. 결론: 요약 및 토론

본 연구에서는 태양광 모듈 탄소인증제를 통해 정부와 기업이 중국 중심으로 재편된 세계 태양광 시장에 대응하는 과정을 주목했다. 제도의 도입과 이행 과정에서 글로벌 스케일에서 나타나는 에너지경관의 변동 간 간극이 있음을 포착해 다층적 관점의 렌즈를 통해 이를 바라보고자 했다. 글로벌 차원에서 나타나는 에너지전환의 공간적 흐름을 통해 거시환경의 변동이 이루어졌고, 사회기술체제 수준에서 다양한 제도의 변화가 나타났다. 이처럼 거시환경의 변화는 사회기술체제에 대한 변화의 압력으로 작용했고, 다양한 정책적, 제도적 변화들이 등장했다. 정부 주도의 재생에너지 제도 형성은 태양광 기업으로 하여금 생산네트워크의 변화나 부품 및 소재 공급선 다변화 등 다양한 경로를 창출할 원동력을 제공했다. 한편 탄소인증제 도입 과정에서 세계 태양광산업과 국내 태양광산업의 상황에 대해 충분히 고려하지 않아, 제도 도입 초기에는 현장의 혼란을 야기하기도 했다.

기존의 다층적 관점에서는 사회기술시스템을 분석할 때, 진화경제학적 논의와 결부지어 기술이 왜 선택되었고, 왜 선택되지 않았는지, 기술경로 선택의 경로의존성과 고착에 대해 논의하며 시간의 흐름을 중심으로 논의되었다. 따라서 다층적 관점은 공간적 논의의 부재로 인해 산업과 기술이 배태되고 진화해 온 공간에 대한 분석이 미흡하게 이루어졌다. 본 연구에서는 국내 태양광 산업에서 제도의 도입과 가치사슬의 공간적 변동에 대해 탐색함으로써 경제지리학적 관점에서 논의의 틀을 확장하고자 했다. 앞서 제시한 태양광 모듈 탄소인증제는 재생에너지 발전 방식 중에 태양광산업에서 처음으로 적용됐다. 정책의 초기 실시 과정이기 때문에, 이 정책의 효과성과 다른 산업으로의 파급력에 대해 단언하기 어렵다. 하지만 탄소인증제를 통해 국내에서 생산한 제품 사용을 장려하고, 제품의 제조과정에서 보다 낮은 탄소배출을 지향한다는 점에서 2차 전지나 ESS(Energy Storage System), 풍력 발전 등 재생에너지와 결부된 다양한 영

역들로 확산되고 이행될 수 있는 혁신의 공간이 일부 포착된다.

충북 진천에서는 태양광 모듈 재활용 센터가 완공되어 가동이 이루어질 예정이고, 2023년부터 생산자책임재활용제도(EPR, Extended Producer Responsibility)가 도입되어 생산자의 태양광 모듈 재활용이 의무화 될 전망이다. 이러한 역동적인 에너지경관의 변화는 기술과 제도의 변화뿐만 아니라 공간적 흐름 속에서 틈새를 만들어 낼 것이고, 산업의 거시적 차원뿐만 아니라 지역적 차원에서도 경로의 창출이 이루어질 것으로 예상된다. 그렇기 때문에 재생에너지와 관련된 사회기술시스템의 여러 층위에서 역동적인 변화들이 더 급속하게 나타날 것이고, 정부 정책과 글로벌 스케일에서 나타나는 산업의 변동 사이에서 나타난 간극은 규모와 빈도가 급속하게 증가할 것이다. 그렇기 때문에 정부는 우리나라의 산업, 에너지 체제 등의 변동에 있어 다양한 이해관계자 간 갈등과 조정을 해야 하는 역할에 놓여있으며, 성공적인 에너지전환 정책의 이행을 위해 태양광 모듈 탄소인증제의 도입과 이행, 제도화의 과정에서 나타난 틈새를 지속적으로 탐색해야만 한다. 따라서 제도의 도입과 이행에 있어, 기업, 산업 협회, 협동조합 등의 유기적인 거버넌스 구축이 보다 적극적으로 요구된다. 정부는 보다 현장중심적인 정책 설계를 통해 태양광산업과 관련된 대기업뿐만 아니라 중소기업, 소비자 등을 분절적으로 바라볼 것이 아니라, 이들을 모두 시장 참여자로 포섭시켜 재생에너지산업의 지속가능성을 담보할 수 있는 기반을 조성해야 한다.

본 논문에서는 다층적 관점에서 다소 부족했던 공간적 차원에서 논의를 전개하고자 했지만 거시환경-사회기술 체제-틈새 간의 관계에 대해 정교하게 논의하기는 어려웠다. 정부, 태양광 기업을 중심으로 논의를 전개했기에 신재생에너지 고정가격계약 경쟁 입찰과 관련한 발전사업자 등 다양한 행위자의 목소리를 충분히 반영하지 못했다. 또한, 태양광 모듈의 원산지에 관련한 논의에 있어, 태양광 모듈 제조에 투입되는 모든 부품들의 제조국(제조 기업)을 포착하기 어려운 한계점이 있어 대표적인 사례만을 제시할 수밖에 없었다. 이로 인해 태양광산업 가

치사슬의 업스트림과 다운스트림을 모두 다루지 못하고, 에너지경관의 일부 장면만 소개했다는 한계가 있다. 이와 같이 전반적인 산업의 현황을 포착하지 못하고 일부 장면만을 연구에서 보여줄 수밖에 없던 이유는 재생에너지 산업과 관련한 논의의 스케일이 방대하고, 제도의 도입 초기이기 때문에 이해관계자의 다양한 네트워크와 역학관계를 조명해 규명하기에 한계점이 있었기 때문에 제도에 대한 기대의 측면에서 접근했기 때문이다. 이후 후속연구에서 태양광 모듈 탄소인증제와 결부된 RPS 등을 중심으로 실제 현장에서 나타나는 현황을 포착해 제시한다면 정부의 에너지전환 정책에 대해 보다 심도 있게 이해할 수 있는 틀을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

주

- 1) LCOE는 발전 설비 운영을 통해 발전을 하는 기간 대비 발생하는 모든 비용을 나타낸 값이다(IRENA, 2016). LCOE는 다양한 발전원 간 단가를 비교하기에 유용한 측면이 있으나, 제반환경의 변화 등 다양한 요소로 인해 지속적으로 변동한다. 그리드패리티는 화석연료의 발전비용과 신재생에너지의 발전비용이 같아지는 지점을 의미한다.
- 2) 2019년 기준으로 국내 신재생에너지 총발전량은 51,122,085Mwh였고, 그 중 태양광 발전량은 12,996,018Mwh로 나타났다(통계청, 2021)
- 3) 태양광 셀은 단결정/다결정 셀로 나눌 수 있는데, 단결정 태양광 셀은 다결정 태양광 셀에 비해 더 높은 기술수준을 요구하는 대신 가격이 더 높다. 국내 기업들은 빠르게 단결정 태양광 셀로의 기술경로를 창출했는데, 태양광 셀 생산을 위한 기초소재인 폴리실리콘 가격이 급격하게 하락한 상황에서 원가부담이 적었기 때문이다. 미국을 비롯한 재생에너지 선도국들은 대면적 고효율 태양광 모듈을 선호했고, 발전 효율성이 모듈의 경쟁력을 좌우하는 주요 요소로 나타났다.
- 4) “2019년 기준 국내 태양광 시장 국산 모듈 점유율 78.7%로 국내 시장 주도 중”(산업통상자원부, 2020e, 2020년 2월 17일자 보도자료 참조)
- 5) RPS(Renewable energy Portfolio Standard)는 발전설비용량이 일정수준 이상인 발전사업자로 하여금 신재생에너지 발전 시설을 갖추거나, 신재생에너지 공급 인증서를 구매해 신재생에너지를 이용한 발전 할당량을 채우게 하는

- 제도이다.
- 6) “BMW·애플, 부품사에 “100% 재생에너지만 써라”… 구글은 “원전도 무탄소 에너지””, 조선비즈, 2020년 7월 7일자 참조.
 - 7) “강제노역 논란 신장서 세계 폴리실리콘 절반 공급…태양광 어찌나” 아시아경제, 2021년 4월 12일자 참조.
 - 8) “태양광 탄소인증제 시작됐지만…업계 ‘빈익빈 부익부’ 우려”, 아주경제, 2020년 7월 23일자 참조.
 - 9) “코로나發 ‘셋다운’ 지속…현대차 공장 또 스톱, 기아차도 휴업 연장”, 한국경제, 2020년 2월 18일자 참조.
 - 10) “[단독]中 저가공세에 꺼져가는 태양광… 대기업마저 셀 사업 철수 검토(동아일보, 2020년 7월 1일자)”라는 보도가 나왔지만, 기업 관계자는 태양광 셀 제조 부문의 철수에 대해 부인하였음.
 - 11) “매각설까지 돌았던 LG 태양광, 친환경 혼풍에 시장 정조준”, 머니투데이방송, 2021년 6월 4일자 참조.
 - 12) “‘클린룸’ 잘나가는 신성이엔지, 올해는 ‘태양광’으로 빛 볼까”, 인사이드코리아, 2021년 4월 14일자 참조.
 - 13) 태양광 셀을 태양광 모듈로 만드는 과정은 다음과 같다. ① 태빙(tabbing, 셀과 셀을 접합) → ② 스트링(string, 셀을 모듈로 합침) → ③ 레이업(layer-up, 스트링 자동배열) ④ 버싱(bussing, 매트릭스 연결) ⑤ 모듈에 백시트 부착 및 불량검수 ⑥ 알루미늄 프레임 등 결합 → ⑦ 커링(curing, 모듈 프레임을 안정적으로 운영하기 위한 실리콘 경화 작업) → ⑧ 그라인딩(grinding, 모듈 모서리 연마) → ⑨ 시뮬레이션(모듈 출력 확인), 이투뉴스 2021년 5월 4일자 참조.
 - 14) Pike(2015)는 원산지에 대한 논의가 공간회로(spatial circuit)를 통한 관계 속에서 서로 연결되어있다고 언급하면서, 기준에 이루어진 브랜드와 브랜드에 대한 논의들은 생산자와 소비자에만 주목하는 경향이 있었다고 주장했다. 원산지화(origination)에 대한 논의는 「Origination: The geographies of brands and branding」(pike, 2015)을 참조.
 - 15) “태양광산업협회, 도 넘은 태양광 산업 흡집내기 중단하리” 전기신문, 2021년 1월 21일자 참조.
 - 16) 미국 국토안보부와 세관의 결정은 정부조달 시에 미국산 제품만 사용하도록 한 바이아메리칸(buy american) 조항을 우회할 수 있는 결정으로 작용했다. “외산 재료 써도 美서 생산하면 미국산” 그린데일리, 2010년 10월 7일자 참조.
 - 17) “EU, 한국산 태양광 모듈 주의보 발령”, 전자신문, 2014년 9월 15일자 참조.
 - 18) “태양광 잘 나가는데…모듈의 70% 이상이 중국산?”, 아이

- 뉴스 24, 2021년 5월 14일자 참조.
- 19) “‘무늬만 국산?’ 태양광 모듈…관세청, 전수조사해야” 한국세정신문, 2020년 10월 14일자 참조.
- 20) 프랑스의 CFP는 100kW 이상 공공 조달 태양광 설비 입찰 시장에서 평가점수의 약 20%를 반영하고 있다(산업통상자원부, 2020c).
- 21) “RPS 탄소인증제, 기회균등 원칙 위배”, 투데이에너지, 2020년 12월 1일자 참조.
- 22) 태양광 주요 모듈별 탄소배출량 측정, 탄소배출량 시범인증, 중소·중견기업 탄소배출량 산정교육 및 컨설팅 지원 등에 대한 협약에 관한 내용이다.
- 23) “1등급 웨이퍼 공급 부족해… 쓰고 싶어도 못 쓴다”, 전기신문, 2021년 6월 16일자 참조.
- 24) 중국의 글로벌 모듈 기업은 M10, M12의 면적을 가진 태양광 모듈을 생산하고 있지만, 탄소인증제 하에서 높은 등급을 받기 위한 내수용 태양광 모듈은 M6 면적의 모듈을 생산할 수밖에 없는 한계가 있다(탄소인증제, 모듈 면적 키우는 세계 시장 추세에 ‘역행’, 전기신문, 2021년 6월 7일자 참조)
- 25) 이와 관련해 탄소인증제 시행 전에 건설된 태양광 발전소에 대한 역차별 문제도 대두되고 있으나, 에너지공단의 제도 보완을 통해 일부 해소되었음. 이와 관련한 내용은 한국에너지공단의 “2021년 상반기 RPS 고정가격계약 경쟁입찰 공고”를 참조.
- 26)

표 9. 전원믹스에 따른 국가별 전력배출계수(kgCO₂-eq/kWh)

국가	말레이시아	인도	중국	대만	독일	미국	한국	캐나다	프랑스	노르웨이
배출량	1.141	1.104	0.921	0.764	0.762	0.657	0.624	0.386	0.085	0.036

자료: 신재생에너지센터(2021c)

- 27) 탄소배출량은 (공정배출량+전력사용에 따른 배출량)×소재·부품 사용량이다. 모듈별 탄소배출량은 한국에너지공단 신재생에너지센터(2021b)의 “표준배출방법 탄소배출량 계산 엑셀시트”를 참조.
- 28) “탄소인증제, 태양광모듈 가격만 높였다”, 이투뉴스 2021년 1월 18일자 참조, 2021년 상반기 태양광 모듈 제조에 필요한 은, 유리 등 원자재 가격 상승이 모듈 가격의 상승을 주도했지만, 모듈 제조시 탄소배출 총량을 줄이기 위해 전력배출계수가 낮은 국가의 부품을 전략적으로 선택해야해 단가 상승 압력을 피하기 어려웠다는 지적도 있다.
- 29) “태양광 설비 탄소인증제도 좋지만 중국산 모듈 국내시장 잠식 가속 위협” 에너지경제신문, 2021년 4월 19일자 참조, 세계신재생에너지엑스포 기업 관계자 인터뷰(2021년 4월

29일).

- 30) “중소 모듈 업계, 탄소인증 1등급 시장에서 ‘숨통’ 트이나”. 전기신문 2021년 9월 2일자 참조.

참고문헌

- 강재정, 2016, “사회기술시스템 관점에서 유용한 기술의 수용과 확산 - 전기자동차를 중심으로,” 산경논집, 37, pp.23-52.
- 과학기술정책연구원 사회혁신팀, 2014, 지속가능한 사회기술시스템으로의 전환: 이론과 실천방법론.
- 권순범, 2015, “태양광산업에서 에스에너지의 비즈니스모델 진화과정: JCPenney 백화점 사례를 중심으로,” Korea Business Review, pp.75-104.
- 김보원·김광민, 2016, 충북지역 태양광 산업 발전방향에 대한 연구 -선진국 사례와 시스템 다이내믹스 분석, 2016-03 한국은행 충북본부.
- 김봉균·문선우, 2012, “전략적 니치관리(SNM)를 활용한 정부 신재생 R&D 성장과정 분석,” Journal of Technology Innovation, 20(2), pp.161-187.
- 박경환·권상철·이재열·옴김, 2021, 경제지리학개론, 서울: 사회평론아카데미(=MacKinnon D. and Cumbers, A., 2019, An Introduction to Economic Geography: Globalisation, Uneven Development and Place, London: Routledge)
- 법제처 국가법령정보센터, 2014, 대외무역관리규정, 2014년 11월 21일 최초 제정.
- 안희민, 2019, 태양광 산업 진흥을 위한 탄소인증제 추진 최신 동향 분석, 국내IP 환경동향보고, 환경부·한국환경산업기술원.
- 여형범, 2016, “지역에너지 전환과 충남의 에너지정책 방향,” 충남리포트, 210, pp.1-13.
- 윤순진·김소연·정민지, 2011, “한국과 일본 원자력 사회기술 체제 발전 경로의 유사성과 상이성: 관성과 역동출부에 대한 대응을 중심으로,” 《ECO》, 15(2), pp.147-195.
- 윤순진·심혜영, 2015, “에너지전환을 위한 전략적특새로서 시민햇빛발전협동조합의 가능성과제도적 한계,” 공간과사회, 51, pp.140-178.
- 이경기·김덕준, 2011, “Development Strategy of the Solar Photovoltaic Industry in Chungbuk Special Zone,” 2011 아시아 5개국 국제학술세미나 자료집, pp.174-207.
- 이근, 2014, 「경제추격론의 재창조: 기업·산업·국가 차원의 이론과 실증」, 서울: 오래.
- 이보아, 2018, “에너지 전환의 지리에 아상블라주 사유 더하기,” 한국도시지리학회지, 21(1), pp.93-106.
- 이영석·김병근, 2014, “사회-기술 전환이론 비교 연구 -전환 정책 설계와 운영을 위한 통합적 접근-,” 한국정책학회보, 23(4), pp.179-210.
- 이재열·장근용, 2020, “지역산업 경로창출의 장소의존성: 태양광산업 선도기업의 충청북도 솔라밸리 입지과정을 중심으로,” 한국지리학회지, 9(1), pp.157-175.
- 산업통상자원부, 2019, 태양광·풍력산업 생태계 강화로 3020 추진동력 확보, 2020년 4월 4일자 보도자료.
- 산업통상자원부, 2020a, (설명자료)국내에서 판매·설치되고 있는 태양광 모듈은 관련 규정에 따라 적법하게 원산지를 표시하고 있는 것으로 파악하고 있으며, 국내 태양광 모듈 점유율 통계는 일관된 방식으로 작성 가능한 최종 제조국 기준으로 작성중임(문화일보 10.14일자 보도에 대한 설명), https://motie.go.kr/motie/gov3.0/gov_openinfo/sajun/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=163404&bbs_cd_n=81, 2020년 10월 15일자.
- 산업통상자원부, 2020b, 온실가스 감축 위한 태양광 탄소인증제 시행, <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156402030>, 2020년 7월 21일자 보도자료.
- 산업통상자원부, 2020c, 친환경 재생에너지 제품 확대를 위한 태양광 모듈 탄소인증제 본격 시동, <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156377549>, 2020년 2월 27일.
- 산업통상자원부, 2020d, 태양광 모듈 탄소인증제도 공청회 공고, http://www.motie.go.kr/motie/in/ay/policynotify/announce/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=65971&bbs_cd_n=6, 2020년 4월 13일자.
- 산업통상자원부, 2020e, “2019년 기준 국내 태양광 시장 국산 모듈 점유율 78.7%로 국내 시장 주도 중,” <https://www.korea.kr/news/actuallyView.do?newsId=1488692442020년> 2월 17일자.
- 상민경·한성애·박선호, 2019, “재생에너지 탄소인증제도의 개발 방향성에 관한 연구: 국제무역규범 및 환경과

- 벨링 관련 무역분쟁사례분석을 중심으로,” 한국태양에너지학회 논문집, 39(6), pp.1-13.
- 송성수, 2002, “사회구성주의의 재검토: 기술사와의 논쟁을 중심으로,” 과학기술학연구, 2(2), pp.55-89.
- 송위진, 2002, “혁신체제론의 과학기술정책: 기본 관점과 주요 과제,” 기술혁신학회지, 5(1), pp.1-15.
- 송위진·성지은, 2014, “시스템 전환론의 관점에서 본 사회문제 해결형 연구개발사업의 발전 방향,” 기술혁신연구, 22(4), pp.89-116.
- 통계청, 2021, 지역별 신·재생에너지 발전량(비재생폐기물 제외, 2019년 4/4분기-), https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=337&tblId=TX_33701_A005, 2021년 10월 9일 최종 열람.
- 한국과학기술정보연구원, 2015, 충북 태양광산업 현황 및 발전방안, 2015 정보분석보고서.
- 한국무역협회, 2020, 한국무역협회 국내통계 품목수출입, <https://stat.kita.net/stat/kts/pum/ItemImpExpList.screen>, 2021년 4월 15일 최종열람.
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021a, 고정가격계약 입찰 제도, https://www.knrec.or.kr/m/business/rps_bidding.aspx, 2021년 7월 1일 최종열람.
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021b, 탄소배출량 검증, https://www.knrec.or.kr/m/business/sunlight_carbon.aspx, 2021년 2월 26일 기준.
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021c, 태양광모듈 탄소배출량 산정 및 검증지침, 2021년 1월 25일 공고.
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021d, 2021년 1/4분기 신·재생에너지 신규 보급용량 안내, https://www.knrec.or.kr/pds/statistics_read.aspx?no=104&search-field=&searchword=&page=1, 2021년 5월 28일 최종 열람.
- 한재각, 2010, 왜 에너지 전환의 ‘과정’에 주목해야 하는가: 사회기술 시스템과 전환 이론의 함의, 제14호, 에너지기후정책연구소.
- 한재각, 2017, 에너지전환에서 에너지협동조합의 전략과 역할, 『Enerzine Focus』, 제79호, 에너지기후정책연구소, http://enerpol.net/epbrd/bbs/board.php?bo_table=bbs15&cwr_id=4149
- 한재각, 2018, “에너지전환의 개념 분석과 한국 에너지정책을 위한 시사점,” Energy Focus, 15(3), pp.72-98.
- 홍덕화, 2019, 「한국 원자력발전 사회기술체제: 기술, 제도, 사회운동의 공동구성」, 서울: 한울.
- 홍덕화, 2020, “동북아 수퍼그리드와 에너지전환의 경로,” 공간과사회, 30(1), pp.247-282.
- Amin, A. and Thrift, N., 1994, “‘Living in the global’, in Amin, A. and Thrift, N. (eds), Globalisation, institutions, and regional development in Europe,” Oxford University Press: Oxford, pp.1-22.
- Ball, J., Reicher, D., Sun, X. and Pollock, C., 2017, The New Solar System: China’s Evolving Solar Industry and Its Implications for Competitive Solar Power in The United States and the World, Steyer-Taylor Center for Energy Policy and Finance.
- Bernreuter Research, 2019, SOLAR VALUE CHAIN How China has become dominant in all production steps for solar panels, <https://www.bernreuter.com/solar-industry/value-chain/>, 2021년 4월 30일 최종 열람.
- Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M. and Eyre, N., 2013, “Geographies of energy transition: Space, Place and the low-carbon economy,” Energy Policy, 53, pp.331-340.
- Creswell, J. and Poth, C., 2018, Qualitative inquiry and research design: Choosing among five transitions, CA: SAGE.
- Devine-Wright, P., 2007, “Energy citizenship: Psychological aspects of evolution in sustainable energy technologies, In J. Murphy(eds.), Framing the present, Shaping the future: Contemporary Governance of Sustainable Technologies,” Earthscan, pp.63-86.
- Geels, F.W., 2002, “Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study,” Research Policy, 31, 1257-1274.
- Geels, F.W., 2004, “From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory,” Research Policy, 33(6-7), 897-920.
- Geels, F.W., 2011, “The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms,” Environmental Innovation and Societal Transitions, 24-40.

- Geels, F.W., 2019, "Socio-technical transitions to sustainability: a review of criticisms and elaborations of the multi-level perspective," *Environmental Sustainability*, 39, 187-201.
- Geels, F. W. and Schot, J., 2007, "Typology of sociotechnical transition pathways," *Research Policy*, 36(3), 399-417.
- Geels, F. W. and Schot, J., 2010, Conceptual Framework for Analyzing Transition, in Grin. *et al.*, ed., Transition to Sustainable Development: New Directions in the Study of Long Term Transformative Change, New York: Routledge.
- IRENA, 2016, End of life management: Solar photovoltaic panels, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf.
- Massey, D., 1984, Spatial Divisions of Labour: Social Structures and the Geography of Production, London: Macmillan.
- Miller, C., Iles, A. and Jones, C., 2013. "The Social Dimensions of Energy Transitions," *Science as Culture*, 22(2), pp.135-148.
- Pike, A., 2015, Origination: The geographies of brands and branding, Oxford: Wiley-Blackwell.
- Ruming, K., 2009, "Following the actors: mobilising an actor-network theory methodology in geography," *Australian Geographer*, 40(4), pp.451-469.
- Schot J., 1998, "The usefulness of evolutionary models for explaining innovation. The case of the Netherlands in the nineteenth century," *History and Technology*, 14, pp.173-200.
- 그린데일리, 2010, "외산 재료 써도 멋서 생산하면 미국산," <http://www.greendaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=9014>, 2010년 10월 7일자.
- 동아일보, 2020, "[단독] 中 저가공세에 꺼져가는 태양광... 대기업마저 셀 사업 철수 검토," <https://www.donga.com/news/Economy/article/all/20200701/101760884/1>, 2020년 7월 1일자.
- 머니투데이방송, 2021, "매각설까지 돌았던 LG 태양광, 친환경 훈풍에 시장 정조준," https://news.mtn.co.kr/newscenter/news_viewer.mtn?gidx=2021060414174388508, 2021년 6월 4일자.
- 아이뉴스24, 2021, "태양광 잘 나가는데... 모듈의 70% 이상이 중국산?," <http://www.inews24.com/view/1367201>, 2021년 5월 14일자.
- 아시아경제, 2021, "강제노역 논란 中신장서 세계 폴리실리콘 절반 공급...태양광 어찌나," <https://view.asiae.co.kr/article/2021041208573148741>, 2021년 4월 12일자.
- 아주경제, 2020, "태양광 탄소인증제 시작됐지만...업계 '빈익빈 부익부' 우려," <https://www.ajunews.com/view/20200722145527044>, 2020년 7월 23일자.
- 에너지경제신문, 2021, "'태양광 설비 탄소인증제도' 좋지만 중국산 모듈 국내시장 잠식 가속 위협," <https://www.ekn.kr/web/view.php?key=2021041901003737>, 2021년 4월 19일자.
- 이투뉴스, 2021a, "탄소인증제, 태양광모듈 가격만 높였다," <https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=229599>, 2021년 1월 18일자.
- 이투뉴스, 2021b, "[탐방]불량율0.3%미만...연700MW 고효율 모듈 생산," <http://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=231973>, 2021년 5월 4일자.
- 인사이트코리아, 2021, "'클린룸' 잘나가는 신성이엔지, 올해는 '태양광'으로 빛 볼까?," <http://www.insightkorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=87915>, 2021년 4월 14일자.
- 전자신문, 2014, "EU, 한국산 태양광 모듈 주의보 발령," <https://www.etnews.com/20140915000389>, 2014년 9월 15일자.
- 전기신문, 2021a, "중소 모듈 업계, 탄소인증 1등급 시장에서 '숨통' 트이나," <https://electimes.com/article.php?aid=163055942422203097>, 2021년 9월 2일자.
- 전기신문, 2021b, "탄소인증제, 모듈 면적 키우는 세계 시장 추세에 '역행'," <http://www.electimes.com/article.php?aid=1623032189218384097>, 2021년 6월 7일자.
- 전기신문, 2021c, 태양광산업협회 "도 넘은 태양광 산업 흠집내기 중단하라," <http://www.electimes.com/article.php?aid=1611194032211377097>, 2021년 1월 21일자.
- 전기신문, 2021d, "'1등급 웨이퍼' 공급 부족해... 쓰고 싶어도 못 쓴다," <http://www.electimes.com/article.php?aid=1623844853218876097>, 2021년 6월 16일자.

조선비즈. 2020, “BMW·애플, 부품사에 “100% 재생에너지만 써라”… 구글은 “원전도 무탄소 에너지,” https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/07/07/2020070702766.html, 2020년 7월 7일자.

투데이에너지, 2020, “RPS 탄소인증제, 기회균등 원칙 위배,” <http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=231434>, 2020년 12월 1일자.

한국경제, 2020, “코로나發 ‘섯다운’ 지속…현대차 공장 또 스톱, 기아차도 휴업 연장,” <https://www.hankyung.com/economy/article/202002184661i>, 2020년 2월 18일자.

한국세정신문, 2020, “‘무늬만 국산?’ 태양광 모듈…관세청, 전수조사해야,” <https://www.taxtimes.co.kr/mobile/article.html?no=246726>, 2020년 10월 14일자.

한무경의원실, 2021, “2020년 국내 보급된 태양광 모듈 중 국산은 22.12%에 불과!” 2021년5월 14일자.

교신: 장근용, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과, 이메일: gyjang@snu.ac.kr
Correspondence: Geunyong Jang, 08826, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, Korea, Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Email: gyjang@snu.ac.kr

최초투고일 2021년 09월 06일

수 정 일 2021년 10월 10일

최종접수일 2021년 10월 17일