

우리나라 태양광 산업의 교역패턴 요인 분석

Factor Analysis of Trade Patterns in Korea Photovoltaic Industry

주 신 애* Sin-Ae Ju
정 윤 세** Yoon-Say Jeong
박 현 희*** Hyun-Hee Park

목 차

I. 서론	IV. 분석결과
II. 태양광 산업의 일반현황	V. 요약 및 결론
III. 분석모형의 설정	참고문헌
	Abstract

국문초록

온실가스 감축 의무와 방사능 유출 우려 등으로 각국의 신·재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중에서도 태양광은 가장 현실적인 에너지로 주목받고 있으며, 세계 시장의 수요가 증가함에 따라 한국 태양광 산업의 해외진출 및 무역요인에 관한 체계적 분석이 필요하다. 본 연구에서는 한국과 태양광 제품을 거래하는 11개국을 대상으로 1990년부터 2014년까지 총 25년간의 패널데이터를 연구하여 보았다. 중력모형을 중심으로 분석을 시행하였으며, 분석결과 한국의 태양광 제품은 일반적으로 중력모형과 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 경제규모와 거리 이외의 요인에서는 각각 다른 결과가 도출되었다.

<주제어> 중력모형, 태양광산업, 무역패턴, 패널데이터

* (주)광명전기 주임, 제1저자
** 단국대학교 무역학과 교수, 공동저자
*** 단국대학교 무역학과 조교수, 교신저자

I. 서론

세계적으로 저탄소 정책이 시행되고 석탄, 석유 등 부존자원 고갈에 대한 우려로 신·재생에너지에 대한 투자가 증가하고 있다. 교토의정서에서는 주요 37개국에만 온실가스 감축의무가 부여된 반면, 2015년 파리기후변화협약에서는 195개국이 참여하여 당사국 모두가 온실가스 감축 의무를 갖게 되었다. 기후변화에 대응하기 위해 선진국들은 2020년부터 매년 1,000억 달러씩 개발도상국의 기후변화대처사업을 지원하게 되고, 온실가스 감축의무는 더욱 커지게 되었다. 이에 따라 세계 각국의 신·재생에너지 투자계획이 잇따르고 있으며, 특히 11개 신·재생에너지 분야¹⁾ 중 가장 현실적인 에너지로 주목받고 있는 태양광의 증가세는 더욱 가속화 될 것으로 예상된다.

초기 신·재생에너지의 공급 및 수요는 독일을 비롯한 유럽 등 선진국을 중심으로 발생하였으나 현재는 한국, 중국, 일본이 공급과 수요의 한 축을 이루고 있다. 또한 경제 성장과 전력수요의 급증으로 전력인프라 확충이 시급한 동남아시아 지역에서는 세계적 그린에너지 확산과 더불어 신·재생에너지설비의 구축계획이 증가하고 있다. 2014년 국제에너지기구(IEA: International Energy Agency)추산 태양광 발전설비 설치실적이 세계 7위인 우리나라는 태양에너지 발전 확대를 위해 다양한 정책을 시행하고 있으며, 2030년까지 온실가스 배출 전망치 대비 37%를 감축하겠다고 발표한 바 있다. 이에 따라 신·재생에너지 분야에 대한 투자는 더욱 확대될 것으로 보이며, 국내시장 경쟁 및 세계시장으로의 진출은 더욱 가속화 될 것으로 예상된다. 따라서 국내 태양광 산업의 세계시장 진출에 대한 체계적인 연구가 필요한 상황이다.

본 연구에서는 우리나라와 태양광 제품을 거래하고 있는 태양광 산업 선진 5개 국가 및 진출 유망국인 동남아 6개 국가를 선정하여 총 11개 국가와의 무역패턴을 분석하고 한국 태양광 산업의 수출 영향요인을 알아보고자 한다. 분석기간은 1990년부터 2014년까지 25개년을 대상으로 하며, 분석방법으로는 중력모형(Gravity Model)을 중심으로 패널데이터를 연구한다. 중력모형은 국제 무역현상을 설명하는 가장 대표적 모델 중 하나로 1962년 Tinbergen에 의해 발표되었으며, 경제적 요소와 지리적 요소를 결합하여 무역패턴을 분석하는 효율적 모형으로 평가되고 있다.

신·재생에너지 수출확대 및 국제경쟁력 요인으로는 환경적, 정책적, 경제적 요인에 관한 연구 등이 있었으나 요인별 상세한 무역패턴 반영에는 한계가 있었으며, 특히 본 연구의 분석대상인 태양광 산업만을 대상으로 한 무역 영향요인 분석은 거의 없었다. 따

1) 신재생에너지는 태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 지열, 해양, 폐기물, 연료전지, 석탄액화가스화, 수소 등 11개 분야이다.

라서 본 연구에서는 한국 태양광 산업의 무역결정요인을 보다 체계적으로 연구하고자 하며, 논문의 구성은 다음과 같다.

I장은 서론으로 연구의 배경 및 목적과 본 논문의 구성에 대한 소개이다. II장은 태양광 산업의 일반현황으로 세계 태양광 산업의 동향 및 한국 태양광 산업의 현황을 살펴본다. III장에서는 무역결정요인 분석을 위한 중력모형에 대해 설명하고, 분석모형의 설정 및 변수에 대한 정의를 내리고 있다. 그리고 IV장에서는 추정방법과 분석결과를 제시하고자 한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문에 대한 논의 및 결론으로 마무리 짓는다.

II. 태양광 산업의 일반현황

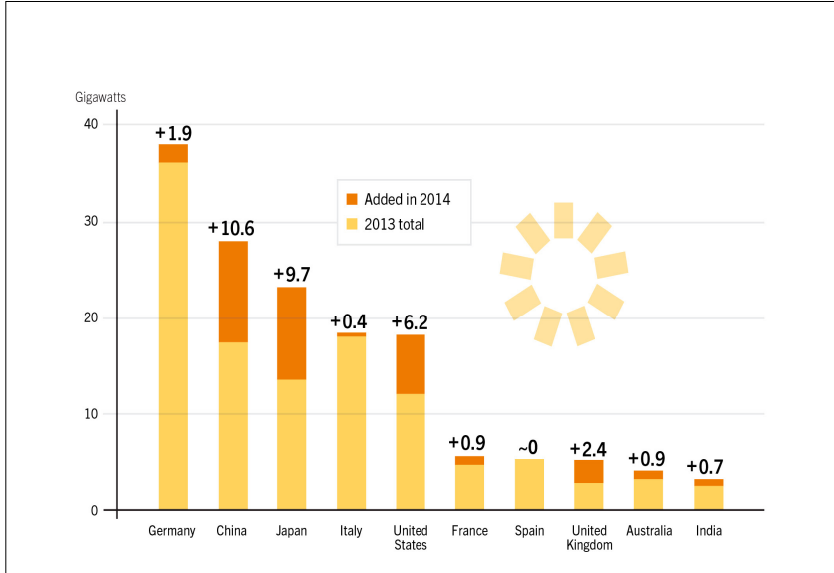
1. 세계 태양광 산업의 현황

태양광은 태양전지를 통하여 햇빛을 전기에너지로 변환하는 시스템으로 청정하고 무한한 에너지라는 점과 설치가 쉽고 수명이 길다는 장점이 있어 신·재생에너지 11개원 중 가장 많은 투자가 이루어지고 있는 분야이다. 또한 햇빛만 있으면 전 세계 어디에서나 발전이 가능하다는 점과 도서산간지역에 있는 일반 가정에도 설치가 가능하기 때문에 다른 에너지원 대비 에너지 보급이 용이하다.

실제로 2000년 이후 태양광 발전기술은 빠른 속도로 증가하였으며, 태양광 수요는 전 세계로 확산되고 있다. 중국, 일본 등 아시아와 미국 시장 등이 성장하고 신규 설비용량이 급증하면서 2014년 전 세계 태양광 신규설치규모는 2013년 대비 약 40GW증가 하였다(〈그림 1〉참조). REN21(2015)에서 발표한 Renewables Energy 2015 Global Status Report에 따르면 전 세계 태양광 총 설비용량은 2004년 3.7GW규모에서 2014년 177GW로 성장하였으며 설치규모면에서 상위 5개국은 독일, 중국, 일본, 이탈리아, 미국 순이다.(〈그림 2〉참조).

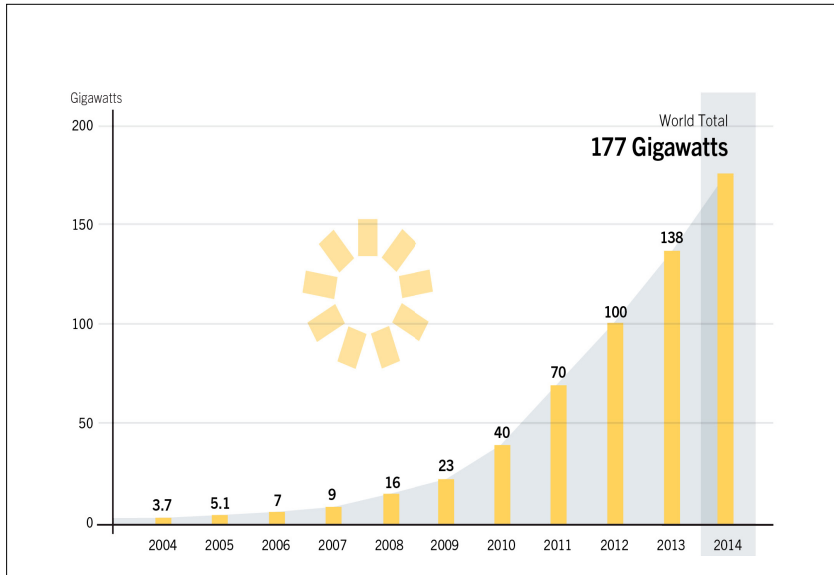
태양광 산업에 대한 세계시장의 투자액을 살펴보면 2014년에는 약 1,453억 달러가 태양광 산업에 투자되었으며 이는 신·재생에너지 산업 전체 투자규모가 약 3,000억 달러인 점을 감안해 볼 때 신재생에너지 산업에서 태양광 산업이 약 53%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

〈그림 1〉 전 세계 태양광 설비 누적 용량, 2014



자료: REN21(2015), Renewables 2015, Global Status Report, p.59.

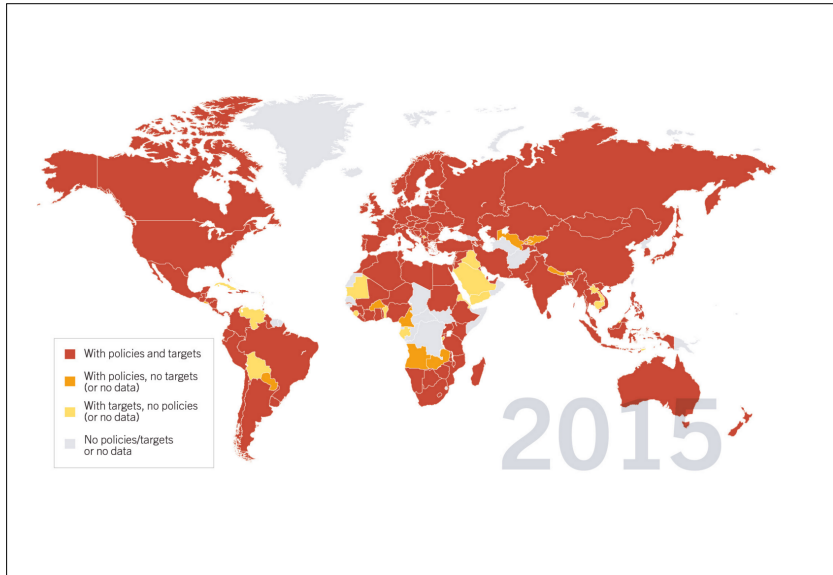
〈그림 2〉 상위 10개국의 태양광 누적 및 신규 설비용량



자료: REN21(2015), Renewables 2015, Global Status Report, p.59.

신·재생에너지 확대 정책은 국가별로 상이하나 관련 정책과 설치 목표를 세운 국가는 <그림 3>과 같으며 2015년 기준 164개 국가에 달한다.

<그림 3> 신재생에너지 정책 및 목표 수립 국가



자료: REN21(2015), Renewables 2015, Global Status Report, p.89.

신재생에너지와 관련하여 채택하고 있는 대표적인 정책으로는 발전차액제도(FIT: Feed in Tariff)와 공급의무화제도(RPS: Renewable energy Portfolio Standard)가 있다. 발전차액 제도는 신·재생에너지의 전력거래 가격이 에너지원별 기준가격보다 낮을 경우 차액을 지원하는 제도이며, 공급의무화제도는 신·재생에너지설비를 제외한 500MW 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자에게 의무공급량을 지정하여 일정비율 이상을 신·재생에너지로 공급하도록 하는 제도이다. REN21(2015)에서 발간한 내용에 따르면 2015년 초 주요국가의 신·재생에너지 지원정책 채택 현황은 <표 1>과 같다.

<표 1> 주요국가 신·재생에너지 지원정책 채택 현황

	독일	중국	일본	이탈리아	미국
FIT	○	○	○	○	○
RPS	X	○	○	X	○

자료: REN21(2015), pp.99~101을 바탕으로 저자 재구성.

세계적으로 수요가 증가하고 기술 수준이 높아지면서 신·재생에너지에 의한 전력 생산단가도 낮아지고 있다. 태양광 시스템의 주요 자재이자 약 60% 정도의 높은 원가비중을 차지하고 있는 태양전지는 태양광에너지 발전 효율에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 태양전지의 원자재인 폴리실리콘은 모듈 가격의 핵심 요소를 이루는데, 2008년 kg당 US\$450이던 폴리실리콘 가격은 2012년 US\$15/kg까지 하락하고 2015년 11월 기준 US\$14.21/kg수준에서 안정되면서 전체 시스템의 원가감소에 큰 영향을 미쳤다. 이에 따라 모듈 가격은 평균 US\$0.56/Wp까지 하락하여 태양광 발전시스템의 가격경쟁력을 높였으며 태양광 발전시스템의 발전원가는 화석연료의 발전원가와 동일선상에 놓이는 그리드 패리티(Grid Parity)²⁾시대를 앞두고 있다.

2. 한국 태양광 산업의 현황

한국 태양광 산업은 기술 선도국들에 비해 참여 시기는 늦었으나 빠른 기술력과 반도체 산업을 통한 인프라로 산업전체 밸류체인을 갖출 수 있었다. 한국태양광산업협회의 발표 내용에 따르면 우리나라 태양광 산업의 수출액은 전체 신·재생에너지 수출의 약 80~90%, 산업전체 매출의 70~80%를 차지하며 신·재생에너지 산업의 주축을 이루고 있다.

태양전지(HS코드 854140)기준 수출량을 살펴보면 1990년 약 5,700만 달러에서 2014년 34억 1,900만 달러로 약 60배 증가하였으며, 국내 발전설비 설치실적은 2014년 IEA 추산 세계 7위로 올라섰다. 또한 한국에너지공단(2015)이 조사한 통계치에 따르면 전체 신·재생에너지 산업 대비 태양광산업 매출이 63%, 수출 79%, 기업체수 28%, 고용인원 52% 등 모든 면에서 신·재생에너지원 대비 가장 높은 비중을 차지하였다.

한국의 태양광 산업은 제2의 반도체 산업으로 육성하고자 하는 정부의 중장기 성장동력화 기술이며, R&D 지원 및 다양한 보급 지원정책을 통해 시장규모가 확대되고 있다. 한국에너지공단에서는 주택지원사업, 설치의무화사업 등 다양한 정책을 시행하고 있으며, 우리나라는 2012년부터 공급의무화제도(RPS)를 채택하고 있다. 태양광 의무공급량은 2012년 276GWh에서 2015년 이후 1,971GWh규모로 증가하였으며 2016년 3월 현재 한국 전력거래소에 의하면 500MW이상 공급의무자는 한국전력 발전자회사 6개사를 포함하여 민간발전사업자 9개사와 한국지역난방공사 및 한국수자원공사가 있다.

2) 그리드 패리티(Grid Parity)란 신재생에너지 전력 발전원가가 기존 화석연료 발전원가와 같아지는 시점을 말한다. 즉, 석유나 석탄과 같은 화석연료의 고갈과 대기오염 등의 환경문제 해결을 위해 개발하고 있는 태양에너지·풍력 등 신재생에너지로 전기를 생산하는 데 필요한 발전원가와 화석연료 발전원가가 같아지는 균형점을 말한다.

3. 선행연구의 검토

신·재생에너지 확대요인 및 태양광 산업과 관련한 주요 연구는 국제경쟁력과 수출확대요인을 중심으로 다루었다.

김정예(2009)는 신·재생에너지 보급 영향 요인에 관한 연구에서 태양광 보급 확대요인을 환경적 요인, 정책적 요인, 산업적 요인으로 구분하였으며, 종속변수로는 발전량을 사용하였다. 환경적 요인의 세부 항목에서는 1인당 GDP를 사용하였고, 정책적 요인으로 FIT와 RPS 도입여부를 활용하였다. 또한 R&D 예산규모와 원자력공급량 및 일사량 등을 추가적으로 분석하였다.

김태은(2011)은 정책수단(FIT, RPS), 원자력공급비중, 소득수준, 에너지가격, 인구 등을 신·재생에너지 성장 영향요인으로 하였으며 종속변수로는 신·재생에너지 총발전량을 선정하였다. 정책변수를 핵심 변수로 선정하였으나, 다른 통제요인이 없을 경우에만 유의한 값이 도출되는 것으로 나타났다.

임대묵(2012)은 정책에 따른 R&D를 신·재생에너지 수출영향요인으로 분석하였으며 이를 위해 R&D 방정식과 중력모형의 변형 형태인 수출방정식을 이용하였다. GDP를 국가규모 변수로 사용하였으며, FIT와 RPS 등을 정책변수로 투입하였다.

유진만(2013)은 신·재생에너지 국제경쟁력 결정요인에 관한 연구에서 정책수단(FIT, RPS)과 원자력발전비중, 기타통제변수(인구, 1인당 에너지소비량) 등을 사용하였으며, 신·재생에너지 발전비율을 종속변수로 사용하였다.

위의 선행연구들에서는 신·재생에너지 수출확대 및 국제경쟁력 요인으로 환경적, 정책적, 경제적 요인 등을 주로 다루었으나, 태양광 산업만을 대상으로 하는 분석은 거의 없는 상황이다. 따라서 본고에서는 태양광산업을 중심으로 중력모형을 사용하여 태양광 산업의 무역패턴을 연구하고자 한다.

Ⅲ. 분석모형의 설정

1. 중력모형 이론

뉴턴의 만유인력 법칙에서 응용된 중력모형은 국제무역의 연구에 도입되면서 무역 현상을 설명하는 가장 대표적 모델 중 하나로 자리 잡았다. 중력모형은 1962년 Tinbergen

에 의해 발표되었으며, 경제적 요소와 지리적 요소를 결합하여 무역패턴을 분석하는 가장 효율적인 모형 중 하나로 평가되고 있다. 중력모형의 기본원리는 양국 간의 무역규모가 두 국가의 경제규모에 비례하고 거리에는 반비례 한다는 것으로 각 설명변수의 1% 변동이 양 국간의 무역(수출액+수입액)에 몇 %의 영향력을 미치는가를 분석할 수 있다. 뉴턴의 만유인력의 법칙을 바탕으로 많이 사용되는 중력모형의 기본모형은 식(1)과 같다.

$$T_{ij} = A \cdot \frac{Y_i Y_j}{D_{ij}}, \quad i \neq j \quad (1)$$

식(1)에서 T_{ij} 는 양국 간 무역규모로 교역상대 국가간의 수출과 수입의 합을 나타내며, A 는 비례상수이다. Y_i 는 i 국의 경제규모, Y_j 는 j 국의 경제규모를 나타내며 일반적으로 각국의 GDP를 대리변수로 사용한다. D_{ij} 는 두 국가사이의 물리적 거리를 나타내며, 연구자별로 수도간, 항구간 또는 주요 공항간 거리를 사용하기도 한다.

위 식에서 변수 간 변동 폭을 줄이고, 선형모형으로 변환하기 위해 log를 취하면 식(2)와 같이 바꿀 수 있다.

$$\ln(T_{ij}) = A + \beta_1 \ln(Y_i) + \beta_2 \ln(Y_j) + \beta_3 \ln(D_{ij}) + \epsilon_{ij} \quad (2)$$

식(2)를 토대로 분석한 무역패턴의 예상 계수의 값은 $\beta_1 > 0$, $\beta_2 > 0$, $\beta_3 < 0$ 이며 이는 양 국가의 무역량이 경제규모에 비례하고, 거리에는 반비례 하는 것임을 알 수 있다.

초기에는 경제학적인 이론 근거의 부족으로 학자들의 주목을 받지 못하였으나 중력모형을 뒷받침하는 많은 연구가 이루어지면서 점차 이론적 체계가 입증되었다. Krugman and Helpman(1985)은 제품차별화 모델(Differentiated Products Model)을 기반으로 양국의 경제규모와 교역규모의 관계를 제시하였고, Deardoff(1998)는 헉셔-올린 모델(Heckscher-Ohlin Model)이 중력모형의 근거가 될 수 있음을 증명한 바 있다. 1990년대 이후 중력모형을 응용한 다양한 연구가 이루어지면서 국내에서도 연구가 활발히 진행되고 있다.

손찬현과 윤진나(2000)는 한국의 교역패턴 및 지역경제권의 영향에 대한 연구에서 중력모형과 일치하는 결과 값을 얻었으나, 실제 교역규모가 예상규모보다 크기 때문에 중력모형의 기본변수 이외에도 중요한 무역촉진요인이 있음을 밝혔다.

장철호(2010)는 중력모형을 이용하여 한국 석유제품의 교역패턴을 분석하였으며, 양국 경제규모의 1% 상승은 0.36%의 무역증대효과가, 양국 거리의 1% 상승은 2.64%의 무역

감소 효과가 있음을 밝혀 일반적 중력모형과 일치함을 증명하였다.

2. 모형 설정

본 연구에서는 식(2)의 중력모형을 바탕으로 태양광 제품의 무역에 영향을 미칠 수 있는 몇 가지 변수를 추가하여 분석하고자 하며, 이를 정리한 것이 식(3)이다.

$$\ln T_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP_i \cdot GDP_j) + \beta_2 \ln DIS_{ij} + \beta_3 \ln POP_j + \beta_4 SUN_j + \beta_5 \ln RD_i \quad (3)$$

$$+ \beta_6 FIT_j + \beta_7 RPS_j + \beta_8 \ln Oil + \beta_9 Nclear_j + \beta_{10} Renewable_j + \mu_{ij} + \epsilon_{ij}$$

종속변수인 T_{ij} 는 i 국(우리나라)의 j 국(수출대상국)에 대한 수출규모를 의미한다. 중력모형의 기본 구조는 양 국가의 수출입 규모가 두 국가의 경제규모에 비례하고 거리에는 반비례 한다는 것이지만, 본 연구에서는 상대국에 대한 우리나라의 수출액만 넣어 분석한다. 수출액에 대한 데이터는 UN comtrade에서 수집하였으며, 태양전지(HS코드 854140)를 기준으로 자료를 추출한다.

GDP_i와 GDP_j는 우리나라와 수출상대국가의 경제규모 대리변수로써 세계은행(World Bank)에서 데이터를 수집하며, 2005년 USD를 기준으로 하여 각 해당년도의 GDP를 넣어 분석한다. 경제규모는 소비시장의 규모와 생산능력의 대리변수로써 소비규모의 상승은 수요의 증가로 이어지고 생산능력의 향상은 규모의 경제로 인한 공급능력 확대로 이어져 결과적으로 정(+)의 영향을 미칠 것으로 예상된다.

DIS_{ij}는 한국과 수출상대국 사이의 거리를 의미하며 대표적 무역 장애요인 변수이다. 운송비와 운송시간, 문화적 차이 등을 대변하는 변수로 본 연구에서 역시 부(-)의 영향을 미칠 것으로 예상되며 자료는 globefeed의 수도간 거리를 이용한다.

POP_j는 수출상대국의 인구수로 국가통계포털(Kosis)의 자료를 이용하였으며 소비인구의 상승은 전력수요에 영향을 미칠 것으로 예상되어 정(+)의 영향이 있을 것으로 예상된다.

SUN_j는 수출대상국의 일사량으로 일사량이 높을수록 전기 생산량 및 전기 판매 수입은 증가하므로 수출량에는 정(+)의 영향을 미칠 것으로 예상된다. 데이터는 NASA를 기반으로 한 National Resource Canada의 RET Screen 프로그램의 2015년 평균 일사량을 사용한다. 일사량은 위도와 경도에 따른 영향을 받을 뿐이고 연도에 영향을 받는 변수가 아니므로 횡단면 데이터만을 이용하기로 한다.

RD_i는 한국의 태양광 분야에 대한 연구개발 예산으로 한국에너지기술평가원의 자료를 이용하며 연구개발 및 투자예산이 높을수록 수출에는 정(+)의 영향이 있을 것으로 예상된다.

FIT_i와 RPS_i 수출상대국의 발전지원정책 도입여부로 도입국가에는 '1', 미도입국가에는 '0'의 터미변수를 사용한다. 각 정책은 신·재생에너지 산업의 확대를 촉진 및 지원하는 정책수단으로 투자 확대요인이며 각 국가의 무역에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. FIT와 RPS의 내용이 상이하고, 국가별로 도입 여부가 달라 각각의 독립변수로 사용하였으며 자료는 REN21의 2005년~2014년도 자료와 한국에너지공단에서 발간한 신재생에너지 백서 및 자료검색을 통하여 구하였다.

Oil은 국제 원유가격으로 각 연도별 배럴 당 원유가격의 평균치로 산정하며 국가통계포털(Kosis)의 자료를 활용한다. 국제 유가의 상승은 대체재인 신·재생에너지의 수요에 정(+)의 영향을 미칠 것으로 기대해 볼 수 있다.

Nu_i는 수출상대국의 원자력 에너지 공급비중으로 원자력으로 생산되는 에너지의 양이 많을수록 대체재인 신·재생에너지의 보급비중은 적을 것으로 예상된다. 따라서 수출에는 부(-)의 영향을 미칠 것으로 예상된다.

RE_i는 수출상대국의 신재생 에너지 공급비중으로 각 국가의 신·재생에너지 수요가 높을수록 태양광에 대한 수요가 높을 것으로 예상되며, 수출에는 정(+)의 영향을 미칠 것이다. 각 변수의 설명 및 출처를 요약하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 변수의 설명 및 출처

변수명	변수정의	출처
T _{ij}	한국의 수출액	UNcomtrade
GDP _i	한국의 GDP	World Bank
GDP _j	수출상대국의 GDP	World Bank
DIS _{ij}	양국간 거리	Globefeed
POP _j	수출상대국의 인구수	Kosis(World Bank)
SUN _i	수출상대국의 일사량	NASA, RET Screen
RD _i	한국의 태양광 연구개발 투자	한국에너지기술평가원
FIT _i (터미변수)	수출상대국의 FIT 도입여부	Global Status Report(REN21)
RPS _i (터미변수)	수출상대국의 RPS 도입여부	
Oil	국제 원유가격	Kosis(IMF)
Nu _j	수출상대국의 원자력 공급비중	Kosis(World Bank)
RE _j	수출상대국의 신재생 공급비중	Kosis(World Bank)

자료: 저자작성.

IV. 분석결과

1. 분석방법

본 연구에서는 한국 태양광 제품의 무역패턴 분석을 위해 최근 국제무역의 연구에 많이 사용되는 중력모형을 이용한다. 중력모형은 1962년 Tinbergen에 의해 발표되었으며 모형의 유연한 성격으로 인하여 국제 무역현상을 설명하는 가장 대표적 모델 중 하나로 평가되고 있다. 기본원리는 두 국가간의 무역규모가 경제규모(GDP)에 비례하고, 거리는 반비례 한다는 것이다.

분석기간은 1990년부터 25개년을 선정하여 2014년까지의 패널데이터³⁾를 활용하였으며, 분석 대상국으로는 우리나라와 태양광 제품을 거래하고 있는 태양광 산업 5개 선진 국가 및 진출 유망국가인 동남아 6개국을 선정하여 총 11개국을 대상으로 하였다.

패널데이터는 특정 시점이 아닌 시계열 자료를 사용하여 시간의 흐름을 반영하고 있으며, 횡단면자료를 포함하고 있어 누락되는 변수로 인한 오류를 줄일 수 있다. 그리고 자료의 변동성과 관찰되지 않는 정적 특성을 동시에 반영함으로써 계량연구에서는 많은 이점을 가지고 있다는 장점이 있다(민인식과 최필선, 2013, pp.2-3). 자료 수집 후 각 변수들의 단위 폭을 줄이기 위해 log를 취하며, 정책변수인 FIT와 RPS는 더미변수로 처리하여 도입여부에 따라 0과 1을 부여한다. 본 연구에서는 미 도입국가에는 '0'을 도입국가에는 '1'을 반영하기로 한다.

중력모형의 계수추정을 위해 최소제곱법(OLS: Ordinary Least Square)분석과 일반화최소제곱법(GLS: Generalized Least Square)분석을 활용한다. 패널분석에서는 오차항의 이분산성⁴⁾과 자기상관관계⁵⁾에 따라 특성이 달라질 수 있는데, OLS는 모든 패널개체에 대해 오차항의 동분산성을 가정하고 있으므로 이분산성 확인을 위해 우도비(LR: Likelihood ratio)검정과 F-test검정을 실시한다. 또한 OLS에서는 오차항의 자기상관관계가 없을 것을 가정하고 있으므로 자기상관관계 확인을 위해 Wooldridge 검정을 실시한다. 각 검정을 통해 OLS의 기본가정(동분산성과 비 자기상관관계)에 위배될 시 GLS분석을 활용하며, GLS분석으로 진행시에는 하우스만 검정(Hausman Test)을 통해 고정효과모형과 확률효과모형의 적합성 여부를 확인한다.

3) 통계패키지 STATA MP14 버전 사용.

4) 오차항의 이분산성은 오차항이 X변수의 계수에 영향을 주어 추정계수의 표준오차 추정치가 올바르게 측정되는 결과를 낳는다(양오석, 2013, p.103).

5) 오차항에 자기상관이 존재할 경우 오차항 분산의 효율성 문제가 발생하게 된다.

2. 분석결과

본 연구에서는 계수 추정을 위해 Pooled OLS와 GLS분석을 이용하였고, 이를 통해 모형 적합성을 검증하였다. 먼저 Pooled OLS를 통한 회귀분석에서 오차항의 이분산성 검정 및 자기상관관계 여부를 확인하였고, 패널개체특성의 고려여부를 판단하였다. Pooled OLS를 사용할 경우 패널개체의 특성을 고려 할 필요가 없고, 고려할 필요가 있을 경우 GLS분석을 시행한다.

먼저 오차항의 이분산성 검정을 위해 F-test⁶⁾와 우도비(LR)검정을 하였으며 검정결과 0.01)p 이므로 1% 유의수준에서 오차항의 동분산성이 기각되었다.⁷⁾ 동분산성의 기각으로 본 회귀식의 OLS 추정이 적합하지 않음을 알 수 있다. 추가적 검증을 위해 자기상관관계 검정을 시행하였다. 자기상관관계 검정에서는 p=0.28로 자기상관이 존재하지 않는다는 귀무가설이 채택되었다.⁸⁾

그러나 이분산성의 존재로 첫 번째 가설이 이미 기각되었으므로 본 연구는 패널개체 특성을 고려한 GLS분석이 OLS분석보다 더 나은 추정치를 얻을 수 있음을 확인하였다. GLS분석은 다시 고정계수모형과 변동계수모형으로 나누어지는데, GLS패널데이터의 장점인 패널 개체 특성과 시간특성을 고려하기 위해 변동계수모형을 통한 고정효과모형과 확률효과모형을 분석하였다.

따라서 하우스만 검정(Hausman test)을 통해 고정효과와 확률효과간의 최적 추정방법을 검증하였다. 검정 결과 p값이 0.1보다 작아 1% 유의수준에서 귀무가설이 기각되었다 (0.1)p. 따라서 본 모형에서는 고정효과 모형이 더 적절한 것으로 나타났다.⁹⁾

고정효과모형으로 추정한 결과, 중력모형의 기본 변수인 경제규모의 곱은(한국의 GDPi x GDPj) 1% 유의수준에서 수준에서 유의한 것으로 나타났으며 1% 경제규모의 상승은 한국태양광 제품의 수출에 약 2.45% 정(+)의 영향을 미침을 알 수 있었다. 그러나 고정효과모형의 경우 시간 불변변수의 개체특성(μ_i)을 제외시킨 후 계수를 측정하기 때문에 시간에 따라 변하지 않는 패널 특성을 추정 할 수 없고¹⁰⁾, 본 모형에서는 거리변수 및 일사량의 계수를 측정 할 수 없는 단점이 있다. 따라서 시간 불변계수의 추정을 위해 확률효과모형을 통한 결과 값을 살펴보았다.

6) F-test에서 귀무가설인 $\mu_i = 0$ 채택되면 Pooled OLS분석을 시행하고, 기각되면 고정효과 모형을 추정하여 오차항(μ_i)의 고정된 개체특성 고려의 필요성 여부를 판단한다.

7) LR모형의 영가설은 동분산성이 이분산성에 포함되는 것이다.

8) 오차항은 서로 상관관계가 없어야 하며 서로 다른 시점에도 상관관계가 존재하지 않아야 한다.

9) $cov(x_{it}, \mu_{it}) \neq 0$ 에서는 고정효과모형이 일치추정량이다.

10) 고정효과모형에서는 $cov(x_{it}, \mu_{it}) \neq 0$ 인 경우 μ_i 가 사라지기 때문에 시간불변계수를 추정할 수 없다.

확률효과모형의 추정 결과, 경제규모와 거리변수의 계수 방향이 중력모형의 기본 가정에 일치함을 알 수 있었다. 무역 대상국 간 경제규모가 1% 상승할 경우 약 1.172% 수출 증대 효과가 있음을 알 수 있으며, 상대적으로 경제규모가 높은 국가와 무역 시 한국의 태양광 제품 수출량도 증가함을 볼 수 있었다. 시간 불변계수로 고정효과 모형에서는 추정될 수 없었던 거리변수의 계수는 확률효과 모형을 통해 1% 유의수준에서 수출규모가 약 1.603% 감소하는 결과를 나타내었다.

인구변수는 1% 유의수준에서 1% 인구증가 시 수출에는 0.781%의 부(-)의 영향이 있는 것으로 나타났으며, 정책터미변수인 FIT와 RPS는 미 도입 시 부(-)의 값을 나타내었다. FIT를 미 도입한 국가의 경우 0.712%의 수출 감소 영향이 있는 것으로 나타났으며, RPS의 경우 통계적으로 유의한 값을 도출하지 못하였다. 한국의 태양광 연구개발예산 투자 실적(RDi)은 긍정적 영향을 나타냈으나 역시 유의하지 못한 통계치를 보였으며, 세계 유가평균에 대한 결과 값에서는 1% 유가 상승 시 약 1.221%의 정(+)의 영향이 있음을 나타냈다.

그리고 일사량 부분에서는 1% 유의수준에서 부(-)의 값을, 원자력 공급비중 면에서는 역시 비중이 높을수록 0.068% 부(-)의 값을 나타냈다. 마지막으로 신재생 공급비중이 높을수록 수출에는 0.039% 긍정적 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 한국 태양광 산업의 수출액에 대한 각 설명변수의 계수 추정 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 11개 국가 분석결과

	고정효과모형		확률효과모형	
	coef	se	coef	se
ln_gdp _{ij}	2.450***	0.397	1.172***	0.140
ln_distance _{ij}			-1.603***	0.170
ln_pop _j	-3.540	2.418	-0.781***	0.132
fit _j	-0.207	0.343	-0.712*	0.368
rps _j	0.005	0.340	0.251	0.331
ln_rdi _i	0.065	0.132	0.048	0.155
ln_oil	0.383	0.431	1.221***	0.388
sun _j			-0.834***	0.304
Nuclear _j	0.029	0.033	-0.068***	0.024
Renewable _j	0.198***	0.040	0.039**	0.019
_cons	-80.651***	22.494	-28.395***	7.511

R2(within)	0.6588	0.6065
R2(between)	0.1905	0.8373
R2(overall)	0.2277	0.6937

주: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

V. 요약 및 결론

지구 온난화 방지를 위한 세계적 저탄소 정책 및 이로 인한 신·재생에너지의 수요가 증가하고 있다. 2015년 12월 파리에서 열린 기후변화협약 당사국 총회 이후 전 세계의 신·재생에너지에 대한 투자계획은 증가하고 있으며, 태양광 분야의 산업 확대도 가속화 될 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 세계적 수요에 대응하고자 중력모형을 토대로 한국 태양광 산업의 수출요인 및 무역패턴에 관한 연구를 진행하였다. 특정 산업의 분석을 시도했다는 데 있어 기존 중력모형 연구들과의 차별성이 있으며, 산업성장요인 등 내수 성장을 위주로 한 기존 신·재생에너지 분야의 연구와 달리 수출 패턴을 분석해 보았다는 점에서 의의가 있다.

분석대상은 태양광 산업의 선진국가인 5개 국가와 진출 유망국가인 6개국을 분석하였으며, 분석대상기간은 1990년부터 2014년까지 총 25개년이다. 분석방법으로는 중력모형을 이용한 패널회귀분석을 시행하였으며, GLS분석을 위해 고정효과모형과 확률효과모형의 값을 도출하였다. 각 요인의 수출 탄력성을 확인하기 위해 확률효과모형으로 값을 해석하였으며 우리나라와 태양광 제품 교역 국가들간의 결과 값은 일반적인 중력모형과 일치함을 확인하였다.

분석결과 경제규모가 크고 거리가 가까운 국가일수록 산업의 수출에는 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 경제규모(GDP)가 제품공급능력과 외국 상품의 흡수 능력을 대변하기 때문에 무역 발생의 긍정적 요인으로 작용했음을 알 수 있다. 또한 태양광 산업이 환경과의 연계성을 띄고 있으므로 경제수준이 높은 국가일수록 환경산업에 대한 투자가 높았기 때문이라 판단할 수 있다. 거리변수의 경우 부(-)의 영향이 있는 것으로 나타났는데 이는 기존 연구의 대부분에서 나타난 바와 같이 거리변수가 운송비와 운송시간 등을 대변하기 때문인 것으로 보인다.

위의 분석결과를 토대로 중력모형이 태양광 산업의 무역현상을 설명하는 적합한 모형

이라 판단되며, 경제규모가 크고 가까운 국가와 거래할수록 태양광 제품 수출의 활성화에는 기여도가 높다고 할 수 있다.

기본 변수 이외의 추가 변수에 대한 논의는 다음과 같다.

첫째, 인구변수는 부(-)의 영향이 있는 것으로 나타났다. 이는 선진국가의 경우 대부분 전력인프라가 잘 갖추어져 있기 때문에 인구 변수가 전력수요증대에 영향을 미치고, 반면 동남아시아 국가에서는 전력인프라 미확충으로 인해 인구변수에 따른 전력수요의 영향이 없었던 것으로 보인다.

둘째, 정책변수(FIT, RPS)는 산업의 확대 요인으로 정의되었으며, FIT와 RPS의 도입에 따른 계수의 방향이 일치하지 않았다. 그러나 분석 대상국 중 FIT를 채택한 국가 수가 더 많고, 태양광 산업 선진국가들은 모두 FIT를 채택하고 있었기 때문에 결과값이 다르게 해석되었다고 볼 수 있다.

셋째, 한국의 태양광 연구개발 예산부분은 정(+)의 값을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았으며, 이에 대한 추가적 분석이 필요할 것으로 생각된다.

넷째, 유가상승은 태양광 제품의 무역에 정(+)의 영향이 있는 것으로 나타났으며 화석 연료의 대체재인 신·재생에너지 수요에 긍정적 영향이 있는 것임을 알 수 있다.

다섯째, 태양광 사업의 수익성과 관련한 변수로 선정된 일사량은 무역에는 부(-)의 영향이 있는 것으로 나타났으나, 사업 수익성은 각 국가의 전력판매 정책 및 프로젝트별 사업방식에 따라 달라 질 수 있으므로 추가적 분석이 필요하다.

여섯째, 원자력공급과 신·재생에너지공급비중에 따른 태양전지 수출은 각각 부(-)의 영향과 정(+)의 영향을 나타냄으로 예상 결과값과 일치함을 알 수 있었다.

향후 연구에서는 분석대상을 산업선진국과 진출유망국 두 그룹으로 나누어 그룹간 차이를 비교 분석하면 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것이며, 분석대상 국가수를 늘려 좀 더 깊이 있는 연구를 진행하고자 한다. 그리고 본 연구에서 선정여부만을 고려했던 정책변수(FIT, RPS)에 대한 분석을 각국별 지원수준의 차이와 환경적 요인을 고려하여 분석하면 유의미한 결과를 도출할 수 있을 것이라 생각된다.

참고문헌

- 강정화(2015), “신재생에너지 산업전망과 국내 기업들의 해외 진출방향”, 「중점연구 보고서」, 한국수출입은행, 해외경제연구소.
- 권윤정(2015), 「중력모형을 이용한 한국과 주요 교역국간 무역 패턴 분석」, 부산대학교 대학원 석사학위논문.
- 김도연(2015), 「태양광 산업의 경쟁력에 관한 연구」, 부산대학교 대학원 박사학위논문.
- 김정예(2009), 「신재생에너지 보급에 영향을 미치는 요인에 관한 연구」, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 김태은(2011) “신재생에너지 성장의 영향요인 연구 FIT와 RPS의 효과성 검증을 중심으로,” 「한국행정학보」, 제45권 제3호, pp.305-333.
- 김효정(2009), 「중력모형 하에서의 OECD 가입국 간 산업내 무역 결정요인 분석」, 경희대학교 대학원 석사학위논문.
- 민인식·최필선(2013), 「패널 데이터 분석 STATA」, 서울: (주)지필미디어.
- 박현희(2015), “중력모형을 이용한 우리나라 농식품 수출 교역패턴 분석”, 「무역연구」, 제11권 제5호, pp.583-595.
- 산업통상자원부, 한국에너지공단(2015) 2014년 신·재생에너지 보급통계.
- 성봉석·유진만(2010), “재생에너지 산업에 대한 무역기반 경쟁지위 변화와 수출시장요인 분석,” 「사회과학연구」, 제36권 제2호, pp.217-237.
- 성봉석·송우용(2010), “재생에너지 산업의 수출특화 구조변화 분석”, 「국제지역연구」, 제14권 제3호, pp.195-222.
- 손찬현·윤진나(2000), “중력모형에 기초한 한국의 교역패턴 및 지역경제권의 영향,” 「대외경제정책연구」, 제11권, pp.3-41.
- 심기은·정경화(2009), “환경규제가 재생에너지 및 에너지절감산업의 수출에 미치는 영향: 한국과 일본의 비교연구,” 「자원·환경경제연구」, 제18권 제1호, pp.75-103.
- 양오석(2013), 「첫 눈에 반한 STATA」, 서울: (주)지필미디어.
- 이민식(2009), 「FIT와 RPS제도 비교와 시사점(산업이슈)」, 서울: 산은경제연구소, pp.59-78.
- 임대묵(2012), 「환경정책이 신재생에너지 수출에 미치는 영향력 분석」, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 유진만(2013), 「신재생에너지 산업의 국제경쟁력 결정요인에 관한 연구」, 충남대학교 대

학원 박사학위논문.

장철호(2010), “중력모형을 이용한 한국의 석유제품 교역패턴 분석,” 「경제연구」, 제28권 제1호, pp.69-89.

주신애(2016), 「우리나라 태양광 산업의 무역결정요인 분석」, 단국대학교 경영대학원 석사학위논문.

지식경제부, 한국에너지공단(2012, 2014) 「신재생에너지 백서」.

한국신·재생에너지협회(2015), Weekly Briefing 신재생에너지 주간 해외 산업동향.

한국에너지공단(2015), 「2014년 신·재생에너지 산업통계」.

Anderson, J. E.(1979), “A Theoretical Foundation for the Gravity Equation,” *American Economic Review*, Vol. 69, pp.106-116.

Anderson, J. E. and E. van Wincoop.(2003), “Gravity with Gravitas: A solution to the Border Puzzle,” *American Economic Review* 93, pp.170-192.

Deardorff, A. V.(1998), “Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neoclassical World?,” *J. A. Frankel, ed, The regionalization of the world economy Chicago*: University of Chicago Press.

Helpman, E.(1986), “Imperfect Competition and International Trade: Evidence from Fourteen Industrial Countries,” *Journal of the Japanese and International Economies* 1, pp.62-81.

Krugman, P. R.(1979), “Increasing Returns, Monopolistic competition and International Trade,” *Journal of International Economics*, Vol. 9, pp.469-471.

REN21(2015) *Renewables 2015 Global Status Report*

<http://www.kopia.asia>

<http://www.knrec.or.kr>

<http://comtrade.un.org> UN Comtrade

<http://www.globefeed.com> Globefeed

<http://www.worldbank.org/>

<http://kosis.kr/>

<http://www.kita.net/>

Factor Analysis of Trade Patterns in Korea Photovoltaic Industry

Sin-Ae Ju
Yoon-Say Jeong
Hyun-Hee Park

Abstract

Interests in renewable energy have been increasing with low-carbon policy and concerns about radioactivity. And solar energy is receiving attention as the most realistic energy in the industry. Demand for solar energy was started in Germany and European countries, and further expanding to other countries. And Korea became one of the high technology level countries in that industry. So, systematic analysis is needed for trading fact and overseas expansion of Korea's photovoltaic energy together with increased demand in the world. In this paper, we analyzed panel data for 25 years, from 1990 to 2014 from 11 countries that have track record with Korea's PV product. It is conducted based on Gravity model and matched with general report for Korean PV industry. But it shows different result for other factors.

〈Key Words〉 Gravity Model, Solar Energy, Photovoltaic Industry, Trade Pattern, Panel Data