

에너지 집중도 결정요인에 관한 패널 분석*

이도영** · 박성용***

요 약

기후변화에 대한 대응과 지속 가능한 경제성장을 고려한다면 에너지를 효율적으로 사용하는 것은 아주 중요하다. 단위 생산 당 에너지 소비를 나타내는 에너지 집중도는 지난 수십 년간 꾸준히 감소하는 추세를 보였으며, 이는 기술 발전과 여러 경제적 요인들에 기인한다. 본 연구에서는 에너지 집중도에 영향을 미치는 요인들을 글로벌 차원에서 분석하기 위해 1991년부터 2013년까지 23년간 73개국의 패널 자료를 활용하였다. 여러 이견이 있지만, 본 연구 결과로는 도시화는 에너지 집중도를 높이는 역할을 하였고, 일 인당 소득이 증가할수록 에너지 집중도는 낮아졌다. 재생에너지 소비 비중이 높을수록, 감가상각률이 높을수록 에너지 집중도는 낮아진다. 화석연료 소비 비중이 낮은 구간에서는 에너지 집중도가 높아지다가, 소비 비중이 높아지면서 에너지 집중도가 다시 낮아지는 역 U자형 관계를 보였으며, GDP에서 화석연료의 지대가 차지하는 비율이 높을수록 에너지 집중도가 높았다.

주요 단어 : 에너지 집중도, 도시화, 재생에너지, 화석연료 에너지, 감가상각률
경제학문헌목록 주제분류 : Q26, Q32, Q42

* 이 논문은 2019년도 중앙대학교 CAU GRS 지원에 의하여 작성되었음.

** 중앙대학교 일반대학원 경제학과 대학원생(주저자). ldy1993@cau.ac.kr

*** 중앙대학교 경제학부 부교수(교신저자). sungpark@cau.ac.kr

I. 서 론

경제가 발전하면서 지난 수십 년간 단위당 생산에 쓰이는 에너지량은 꾸준히 감소해오고 있다. GDP 당 에너지 소비량으로 측정되는 에너지 집중도(energy intensity)는 한정된 에너지를 얼마나 효율적으로 사용해서 생산하는지를 보여주는 지표이다. 에너지를 효율적으로 사용할수록 에너지원의 사용 기간도 길어지며, 기후변화에 대한 부담도 줄어든다. 에너지 집중도에 영향을 주는 요인들은 소득수준, 기술력, 에너지 사용구조, 도시화 등 다양하다.

일반적으로 고소득 국가일수록 에너지를 효율적으로 사용하는 경향이 있다. Galli(1998)에 따르면 1973년에서 1990년까지의 아시아 10개국을 분석한 결과, 에너지 집중도와 소득 간에는 역 U자형 관계가 있다. 소득이 낮을 때는 농업 중심이어서 에너지 집중도가 낮았다가 개발도상국이 되어 소득이 높아지면 에너지를 집중적으로 사용하며 공업화한다. 고소득으로 가면서 서비스 산업의 비중이 커지고 고부가가치 산업으로 전환되어 에너지 집중도가 낮아지게 된다. Parikh and Shukla(1995)도 1965년부터 1987년까지의 자료로 도시화와 소득이 에너지 소비에 미치는 영향을 연구하였는데, 소득탄력성은 0.25~0.47, 도시화 탄력성이 0.28~0.47로 나왔다. Cole(2006)은 1975년부터 1995년까지 32개 선진국을 대상으로 무역과 에너지 소비에 관해 연구하였는데, 에너지 집중도에 대한 소득탄력성은 모형에 따라 -1.1에서 -0.1로 나타났다. 즉, 무역의 결과로 소득이 1% 정도 증가하면, 에너지 집중도는 0.1~1.1% 떨어진다는 것이다.

도시화도 에너지 사용에 영향을 주는데, Jones(1991)에 따르면, 물적 및 인적 자본이 도시에 집중되면서 전문화와 규모의 경제를 가능케 함으로써 같은 에너지로 더 많은 생산을 끌어낸다. 반면에 생산의 지역 특화로 인해 재화들을 장거리로 운송하면서 에너지를 많이 소비하게 된다. 또한, 전통적인 농업 경

제와는 달리 도시화율이 높을수록 식량 소비자와 생산자가 분리되어 식량 수송의 에너지 소비가 증가하게 되며, 집단적 운송수단이나 위생과 수도시설 같은 대규모 인프라는 에너지 집중도를 높인다. Liddle(2004)은 인당 운송수단에 들어가는 에너지와 도시화 및 인구밀집도가 역의 관계에 있는 것을 밝혔다. 즉, 인구가 밀집되고 도시화 정도가 높을수록 사적인 운송수단에 대한 수요가 적어진다. Poumanyong and Kaneko(2010)는 1975년부터 2005년까지 99개국의 패널 자료로 에너지 소비에 대한 소득과 도시화의 영향을 연구하였는데, 소득이 낮은 구간에서는 도시화가 에너지 소비를 낮추는 역할을 하지만 중간과 고소득 구간에서는 에너지 소비를 높이는 역할을 하는 것을 발견했다.

에너지의 사용 유형도 에너지 집중도에 영향을 준다. 에너지 소비에서 재생 에너지(renewable energy)의 비중이 클수록 에너지 집중도가 낮아지는 경향이 있다. 이는 다양한 에너지를 확보한 국가일수록 에너지 기술력이 높은 것이기도 하며, 전통적인 에너지원(석유, 석탄, 천연가스) 부존량이 적어서 에너지 효율적인 방향으로 성장한 것일 수도 있다.

화석연료 소비율에 따른 에너지 집중도 영향은 불분명하다. Ma and Stern(2008) 그리고 Shahiduzzaman and Khorshed (2013)에 따르면, 화석연료 소비가 높을수록 그것의 가격변화에 민감하므로 에너지를 효율적으로 쓰게 된다. 반면에 화석연료가 풍부해서 에너지 효율성의 향상과 관련 없이 화석연료 소비만 높을 수 있는 내생성 문제가 있다. Sach and Warner(1995)에 따르면, 화석연료가 풍부하고 에너지 가격에 보조금을 지급하는 국가의 경우, 사용하는 연료의 종류를 변화시키거나 에너지 효율적인 기술 개발에 투자할 유인이 없는 경향이 있으며, 높은 에너지 집중도를 유지하게 된다. 화석연료의 부존량을 대신해서 천연자원 지대(rent from natural resources)까지 고려한다면, 높은 에너지 집중도를 유지할 것이라는 가설하에 Jimenez and Mercado(2013)가 75개국 대상으로 분석한 결과, 화석연료 소비가 1%p 늘어나면 에너지 집중도가 0.14% 증가하는 것으로 나타났다. 에너지원의 부존량도 에너지 집중도와 양의 관계에 있는데, 천연자원 지대 비율이 1%p 늘어날 때 에너지 집중도가 0.18% 증가한다. 에너지원이 풍부한 국가는 에너지를 값

싸게 조달할 수 있기에 에너지를 효율적으로 활용할 유인이 떨어진다.

전력 생산 방식에 따라서도 에너지 집중도가 달라질 수 있다. 석탄이나 원유에 기반한 화석연료 발전은 에너지가 많이 소비되는 방식이며, 증기 터빈을 돌리기 위해 물을 끓이는 과정에서 다량의 열에너지가 손실되어 사라진다.¹⁾ 그뿐만 아니라 에너지원을 운반하는 데에 막대한 에너지가 들어간다. 원자력은 소량의 우라늄을 운반하면 되고, 수력이나 풍력 같은 재생에너지는 에너지원 자체가 자연적으로 제공되기에 원료 운반 비용이 없다.²⁾ 또한, 에너지원별로 발전원가가 다르기에 GDP에 미치는 영향도 달라질 수 있다.

에너지의 해외 의존도가 높을수록 에너지원 부족량이 적고, 원유나 천연가스 등의 에너지 가격변화에 민감하므로 에너지 효율적인 정책이나 경제구조를 가질 확률이 높을 것이라 예상된다. 예컨대 원유를 많이 수입하는 국가일수록 지정학적 위험에 민감하므로 재생에너지 같은 대체에너지원 투자에 적극적일 수 있으며, 원자력같이 반영구적이고 효율적인 에너지원을 선택할 것이다. 더불어 원유 생산국들이 보조금 형식으로 연료를 값싸게 공급하는 것에 반해, 원유 수입국들은 에너지 절약을 유도하기 위해 세금을 부과할 것이다. 운송수단도 연료 효율이 높은 디젤 엔진을 장려하거나 대중교통에 대한 유인을 제공하면서 에너지 사용을 절감하는 방식을 택할 것이다.

1) 화력발전의 효율은 40~50%이며, 수력발전은 80~90%, 건식 태양광발전이 8~15%, 풍력발전이 30%, 연료전지가 20~40%, 터빈식의 해양온도 차 발전이 2~3% 정도가 된다. 발전기 혹은 그 원동기에 투입하는 열에너지에 대한 발전기에서 얻을 수 있는 전기에너지의 비율인 발전단열효율이라 하며, 투입 에너지에 발전시설에서 소비되는 에너지도 포함하는 경우에는 송전단열효율이라고 한다. (출처: 두산백과, 오래된 자료에 기반한 통계인 만큼 기술변화에 따라 수치가 달라졌을 가능성이 있다) 2018년도 한국의 화력발전소의 열효율은 발전단 기준은 35%, 송전단 기준 32%이다. (출처: 전력통계정보시스템) 2016년도 한국의 화석연료 유형별 발전 효율의 경우, 석탄은 37.8%, 가스는 54.9%, 석유는 38.1%, 화석연료 종합은 42.4%이다. (출처: ECOFYS, International comparison of fossil power efficiency and CO₂ intensity - update 2018)

2) 100만kW의 발전설비를 1년간 운전하는 데 필요한 연료의 경우, 농축우라늄은 30t, 천연가스는 LNG선 기준 110만t, 석유는 150만t, 유연탄은 220만t이다. 1g의 우라늄 235는 병커C유 10드럼, 유연탄 3t과 같은 에너지를 낼 수 있다. (출처: 한국원자력안전기술원 산하 국제원자력안전학교)

자본에 대한 높은 감가상각률은 에너지 집중도를 낮추는 역할을 할 수 있다. 설비가 마모되는 정도가 높을수록 성장을 위해 요구되는 자본투입이 많아질 것이며, 그에 따라 에너지 효율적인 새로운 장비들이 도입되는 기회도 늘어날 것이다. 따라서 신기술이 반영된 자본 설비로의 전환을 암시하는 감가상각률이 높을수록 에너지 집중도가 낮아질 것이다.

본 연구에서는 1991년부터 2013년까지 23년간 73개국의 패널 자료를 사용하여 에너지 집중도에 영향을 주는 요인들을 분석하고, 기존의 논문에서 언급되었던 내용을 확인하고 확장하였다. 국제적인 관점에서 보편적인 관계를 살펴보고자 패널 회귀분석을 사용하였으며, 개별 고정효과 모형을 중심으로 분석하였다. 국가별로 경제구조와 제도가 상이하기에, 에너지 집중도는 특정 시점에 일어난 공통의 사건에 영향을 받기보다는 국가의 개별성에 더 영향을 받을 것이기 때문이다. 또한, 일부 변수들의 경우에는 선형의 관계보다는 이차함수 형태의 관계가 존재한다는 선행연구들이 있어, 기본 모형의 연장선에서 제곱 항을 고려하는 확장 모형도 함께 고려하였다.

본 연구는 이전 연구들과 비교해 볼 때 다음과 같은 차별성을 가진다. 첫째, 에너지 집중도에 영향을 미치는 설명변수들을 정할 때, 기존의 문헌들에서 언급했던 변수를 최대한 포함하여 설정하였다. 기존의 문헌들은 소득, 도시화, 에너지 사용 유형, 에너지 부존량과 같이 에너지 집중도에 미치는 특정한 변수들에 집중해왔다. 물론 소득과 도시화, 소득과 에너지 사용 유형, 에너지 사용 유형과 에너지원 부존량처럼 그룹화되어서 분석되기도 했지만, 위에 언급한 변수들이 모두 유의미하다면 어느 하나의 변수라도 누락 될 경우, 모형설정에 오류가 존재하게 된다. 소위, 누락 된 변수의 문제가 발생할 수 있기에 본 연구에서는 최대한 유의미한 변수들을 포함 시키고자 하였으며, 각 변수의 제곱 항도 유의미하다는 문헌이 있는 만큼 그것들도 반영하였다.

둘째로 기존의 문헌들에서는 언급하지 않았던 새로운 변수들도 찾고자 하였다. 감가상각률이나 에너지 수입률, 화석연료 발전율의 경우에는 에너지 집중도와는 개연성에도 불구하고 관심받지 못한 변수들이었지만, 본 연구에서는 그 변수들을 다루면서 어느 정도의 유의미함을 확보하였다. 또한, 에너지원

부존량에 대해서도 기존에는 화석에너지원 전체를 천연자원 지대(rents from natural resources)라는 단일한 개념으로 접근했다면, 에너지원 부존 유형에 따라서도 서로 다른 결과가 나오는지 살펴보기 위해 천연자원 지대를 천연가스, 원유, 석탄으로 세분화하여 분석하였다.

본 연구의 실증분석 결과를 간단히 정리하면 다음과 같다, 일 인당 소득의 증가는 에너지 집중도를 낮추는 역할을 했으며, 반대로 도시화는 에너지 집중도를 높인다. 재생에너지 소비율과 자본의 감가상각률이 높을수록, 천연가스와 석탄 지대 비율 및 화석연료 발전율은 낮을수록 에너지 집중도를 낮춘다.

논문의 구성은 다음과 같다. II 장의 분석 모형 및 자료 설명에서는 논문에서 사용한 패널 모형의 형태를 소개하였으며, 변수들의 출처와 가공방법, 통계치 및 설명 요약들을 언급하였다. III 장의 분석결과에서는 일차항이 중심이 된 기본 모형과 제곱 항도 추가한 확장 모형의 분석결과들을 설명변수 중심으로 해석하였다. IV 장에서는 분석결과를 요약하고 정책적인 제언과 한계점을 제시하였다.

II. 분석 모형 및 자료 설명

1. 분석 모형

Jones(1991)나 Sadorsky(2013)을 비롯한 기존의 논문들을 살펴보면, 에너지 집중도와 소득 및 도시화의 변수들은 자연로그값을 사용한다. 본 연구에서도 이 세 가지 변수에 대해서는 자연로그값을 사용하고, 재생에너지 비율과 화석연료 비율, 감가상각률도 자연로그값을 사용하며, 나머지 변수들은 단위가 비율이기에 원자료를 그대로 사용하였다. 이를 분석하기 위해 간단한 선형모형을 설정하자면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln e_{it} = \beta_1 \ln y_{it} + \beta_2 \ln u_{it} + \beta_3 \ln r_{it} + \beta_4 \ln f_{it} + \beta_5 \ln d_{it} + \sum_{j=1}^k \theta_j x_{ijt} + \nu_i + \lambda_t + \epsilon_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (\text{식 1})$$

여기서 i 는 개별 국가를 나타내고, t 는 1991년부터 2013년까지의 시점을 의미하며, e_{it} 는 에너지 집중도, y_{it} 는 일 인당 GDP, u_{it} 는 도시인구비율을 의미한다. r_{it} 는 재생에너지 소비율, f_{it} 는 화석연료 소비율, d_{it} 는 감가상각률을 나타내며, x_{ijt} 는 그 밖의 영향을 알고 싶은 독립 변수들이다. 천연가스 지대 비율, 원유 지대 비율, 석탄 지대 비율, 전력 생산에서 원유, 가스, 석탄으로 발전되는 비율, 전체 에너지 소비 대비 에너지 수입률이 이에 포함된다. (식 1)에서 ν_i 는 국가들의 개별효과를 반영하고, λ_t 는 시간에 따라 공통으로 주어지는 시간 고정효과를 반영하며, ϵ_{it} 는 확률적인 오차항이다. β 는 에너지 집중도에 대한 해당 변수들의 탄력성으로 해석될 수 있다. 본 연구에서는 각 기울기 계수들이 동질적이라는 가정하에 통합 OLS(pooled OLS)와 고정효과 모형을 사용해서 일반적인 패널 회귀분석을 진행하였다. 또한, 일부 변수들의 경우, 종속 변수와 2차 함수 형태의 관계를 보이므로 관련 설명변수들의 제곱 항을 추가한 모형도 분석하였다.

2. 자료 설명

자료는 1991년부터 2013년까지 23년간 73개국을 대상으로 하는 패널 자료를 활용하였으며, 감가상각률을 제외한 모든 자료와 설명은 세계은행(World Bank)의 홈페이지를 참조하였다. 감가상각률의 경우에는 그로닝겐 대학교(University of Groningen)에서 제공해주는 전 세계 국가의 연별 거시경제지표인 Penn World Table 9.1 버전을 활용하였다. 균형패널 분석(balanced panel analysis)을 위해 최대한 자료의 손실을 줄이는 방향으로 정리하였고, 시계열의 길이를 먼저 맞추고 자료가 부족한 국가들은 제외하는 방법을 사용하였다. 다음의 <표 1>은 해당 변수들에 관한 자세한 설명을 요약한 것이다.

<표 1>을 살펴보면, 해당 변수에 대해 간략히 설명하고자 한다. 괄호 안에는 해당 변수와 조응되는 (식 1)의 표기법을 함께 적을 것이다.

에너지 집중도($\ln e_{it}$)는 한 단위의 GDP를 생산하기 위해 1차 에너지(primary energy), 즉 석탄, 석유, 원자력, 수력, 풍력 같은 기초적인 에너지를 얼마나 사용했는지를 나타내는 지표이다. 이때 GDP는 구매력을 고려한 2011년도 미국 달러 가치를 기준으로 한다.

일 인당 GDP($\ln y_{it}$)는 2018년도를 현재로 기준 삼는 미국 달러에 기반한 국내총생산을 그 국가의 국민 수로 나눈 값이다.

도시인구비율($\ln u_{it}$)은 그 국가의 전체인구 대비 도시에 사는 인구의 비율을 의미한다. 도시의 정의는 국가마다 다르다는 게 이 자료의 한계점이다. 특정한 사회기반시설이나 서비스가 존재하는지에 따라 도시와 교외를 구분하기도 하며, 어떤 국가의 경우에는 행정 단위에 따라 구분하기도 한다. 따라서 국가별 통계국에서 수집한 자료들을 토대로 유엔 인구국(United Nations Population Division)에서 평활화(Smoothing) 작업을 거친다.

재생에너지 소비율($\ln r_{it}$)은 최종 소비되는 전체 에너지 사용량 가운데 재생에너지가 차지하는 비율을 의미한다. 재생에너지는 화석에너지이나 원자력 에너지를 제외한 풍력, 조력, 태양열 등을 이용한 에너지 형태를 말한다.

화석연료 소비율($\ln f_{it}$)은 최종적으로 소비되는 전체 에너지 사용량 가운데 화석에너지가 차지하는 비율을 의미한다. 화석에너지는 석유, 천연가스, 석탄과 같은 한번 사용하면 재생될 수 없는 에너지를 말한다. IEA(International Energy Agency)에서 각국의 통계청, 석유회사, 전기회사, 국가별 수출 자료 등을 종합하여 만든 추정치라는 한계점이 있다.

천연가스, 원유, 석탄 지대 비율(x_{i1t} , x_{i2t} , x_{i3t})은 국제 가격 기준으로 각 자원의 생산 가치와 그 총생산비용의 차이가 GDP에서 얼마만큼의 비중을 차지하는지를 말한다. 산출물에서 각 자원의 기여가 클수록 지대 비율은 높게 나타나며, 생산활동이 일회성의 자원 지대에 많이 의존하고 있기에 지속 가능한 발전이 어려움을 의미한다.

〈표 1〉 모형 변수의 명칭 및 단위

변수	변수의 한글 이름	변수의 영문 이름 및 단위
$\ln e_{it}$	에너지 집중도 (자연로그값)	Energy intensity of primary energy (MJ/\$2011 PPP GDP)
$\ln y_{it}$	일 인당 GDP (자연로그값)	GDP per capita (current US\$)
$\ln u_{it}$	도시인구비율 (자연로그값)	Urban population (% of total population)
$\ln r_{it}$	재생에너지 소비율 (자연로그값)	Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)
$\ln f_{it}$	화석연료 소비율 (자연로그값)	Fossil fuel energy consumption (% of total final energy consumption)
x_{i1t}	천연가스 지대 비율 (원자료)	Natural gas rents (% of GDP)
x_{i2t}	원유 지대 비율 (원자료)	Oil rents (% of GDP)
x_{i3t}	석탄 지대 비율 (원자료)	Coal rents (% of GDP)
x_{i4t}	화석연료 발전율 (원자료)	Electricity production from oil, gas and coal sources (% of total electricity production)
x_{i5t}	에너지 수입률 (원자료)	Net energy imports (% of energy use)
$\ln d_{it}$	감가상각률 (자연로그값)	Rate of depreciation

주: 감가상각률은 그로닝겐 대학교에서 제공하는 Penn World Table 9.1을 사용하였으며, 나머지는 세계은행 데이터 홈페이지를 활용하였다.

화석연료 발전율(x_{i4t})은 전체 발전량에서 석유, 천연가스, 석탄 자원을 이용하여서 전기를 발전시키는 비율을 말한다. 원유와 석탄 및 그것들의 파생 연료도 해당하며, 액화천연가스(NGL)를 제외한 천연가스가 포함된다.

에너지 수입률(x_{i5t})은 에너지 사용량에서 에너지 생산량을 뺀 에너지 순수입값을 에너지 사용량으로 나눈 것이며, 원유 환산을 기준으로 측정한다. 산유국과 같이 국내의 에너지 소비량을 넘어서 생산하는 국가들은 에너지 순수출국이므로 에너지 수입률이 음수를 기록하게 된다.

감가상각률($\ln d_{it}$)은 자본축적 방정식에서 자본이 상각 및 마모되는 비율을

말하며, 감가상각률이 높을수록 성장을 지속하기 위해서는 더 높은 자본투자를 요구하게 된다.

<표 2>에서는 <표 1>에 소개한 변수들에 로그를 적용하지 않은 원지수의 기초 통계량들을 정리하였다. 관측치는 73개국의 23년간 데이터에 해당하므로 모두 1679개이다. 간략하게 변수들의 특이 사항들만 언급하자면, 에너지 집중도는 평균이 6.23이고 최소 1.99에서 높게는 50.13까지의 값을 갖는다. 일인당 GDP의 경우에는 평균이 약 1만 6천 달러이며, 중위값은 평균과 유사한 1만 9천 달러쯤 된다. 가장 낮은 소득은 165달러이며, 가장 높은 소득은 9만 1천 달러이다. 평균적인 도시화율은 63%이고, 재생에너지의 평균 소비율은 31%이며, 화석연료 소비율 평균은 67%이다. 천연가스, 석탄 지대 비율은 극히 낮아서 평균이 1% 미만이며, 원유는 평균값이 3% 정도이다. 화석연료 발전율은 대체로 높은 편이어서 평균이 56%이며 많게는 100% 모두 화석연료에 의존하여 발전하기도 한다. 에너지 수입률의 평균은 -22%인 것에 반해서 중위값은 22%인 것으로 보아 많은 국가에서는 에너지를 수입하는 반면에 특정 국가들이 대규모의 에너지를 수출하는 것으로 보인다. 에너지의 거의 전량(100%)을 수입하는 국가도 있다. 감가상각률의 경우는 대체로 5% 내외에서 움직이는 것으로 보인다.³⁾

실증분석에 사용되는 몇몇 변수들은 원자료와 달리 로그 변환을 사용하였다. 일인당 GDP는 상방으로의 제한이 없어 편차가 크기에 자연로그값을 사용하는 것이 일반적이지만, 도시화율은 0%부터 100%까지의 한정된 범위를 갖고 있기에 규모 조정이 논문마다 다르다. Jones(1991)의 경우에는 에너지 집중도는 물론이고 도시화율도 로그값을 사용하지 않은 원지수로 분석하였으나, Sadorsky(2013)나 Bilgili(2017)은 로그값을 사용하였다. 최신의 논문일수록 도시화율에도 로그값을 사용하는 추세이므로, 본 연구에서도 로그값으로 변환하여 에너지 집중도에 대한 도시화율의 탄력성으로 해석하고자 한다.

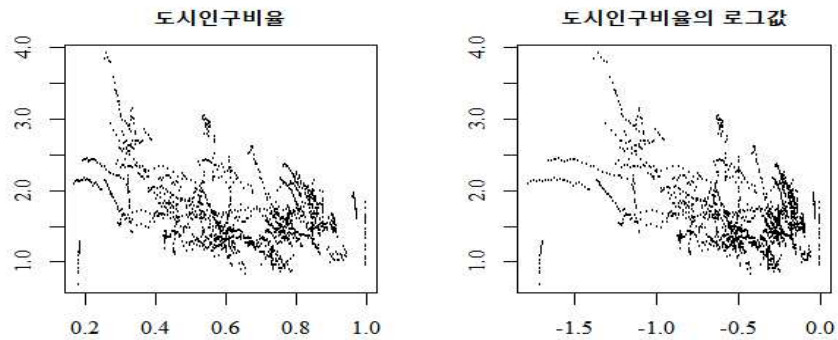
3) <표 2>의 수치들은 시간에 따른 변화를 고려하지 않은 시계열 전체에 대한 통계치의 요약이므로 변수들의 특성을 완전히 드러내지는 않는 참고용임을 밝힌다.

〈표 2〉 기초 통계량

변수	개수	평균	표준편차	중간값	최솟값	최댓값	왜도	첨도
에너지 집중도	1679	6.23	4.32	5.06	1.99	50.13	4.19	27.85
일 인당 GDP	1679	16375	18997	6914	165	91617	1.33	1.08
도시인구비율	1679	0.63	0.20	0.64	0.17	1.00	-0.36	-0.76
재생에너지 소비율	1679	0.31	0.28	0.21	0.00	0.95	0.81	-0.63
화석연료 소비율	1679	0.67	0.27	0.77	0.04	1.00	-0.77	-0.63
천연가스지대 비율	1679	0.00	0.01	0.00	0.00	0.11	6.75	61.63
원유지대 비율	1679	0.03	0.08	0.00	0.00	0.56	3.80	15.83
석탄지대 비율	1679	0.00	0.01	0.00	0.00	0.25	13.78	260.52
화석연료 발전율	1679	0.56	0.32	0.61	0.00	1.00	-0.30	-1.17
에너지 수입률	1679	-0.22	1.68	0.22	-14.11	0.99	-3.95	20.01
감가상각률	1679	0.04	0.01	0.04	0.02	0.10	1.63	4.75

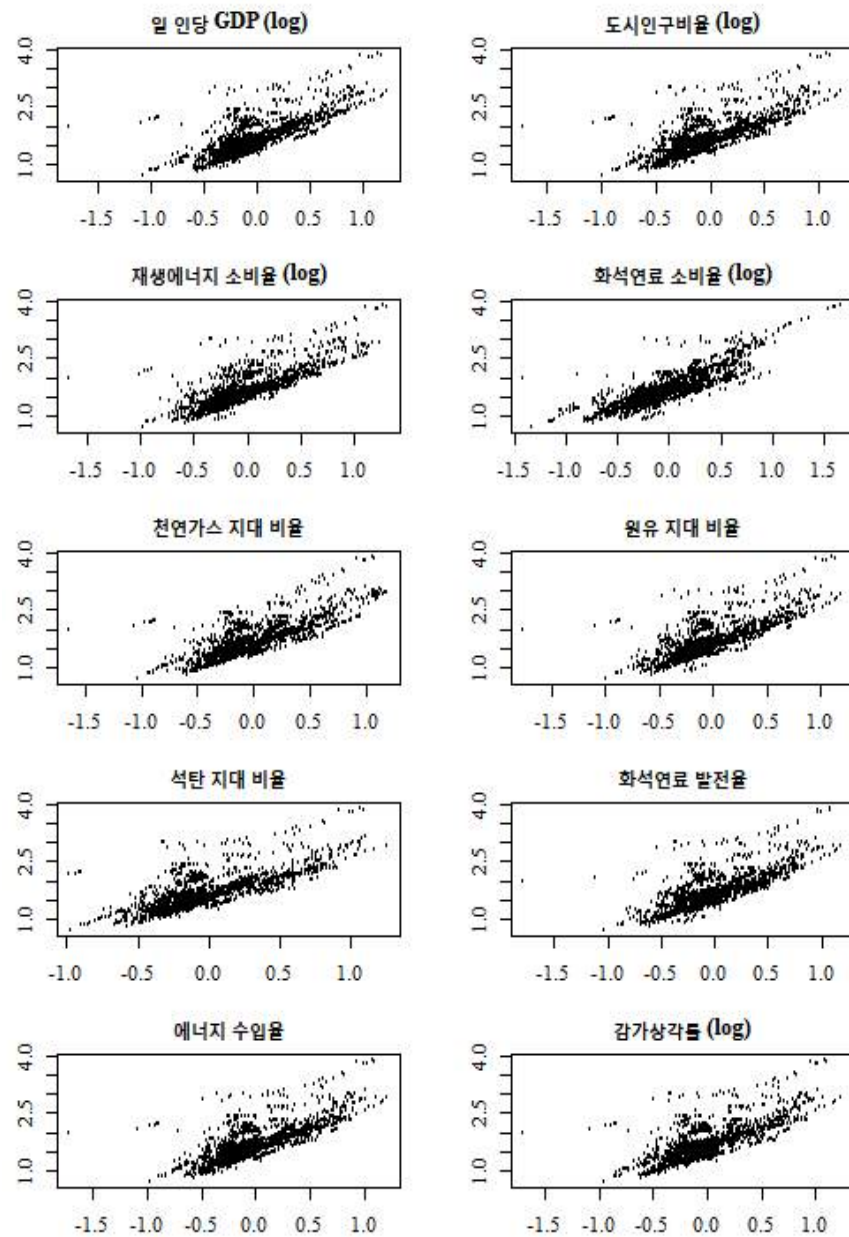
[그림 1]을 보면, 도시화율은 0%부터 100% 사이의 값을 가질 수 있는 변수지만, 현실에서 도시화율이 0%인 국가는 없다. 따라서 로그값으로 전환하여도 실숫값을 가지기에 분석에는 무리가 없다. 하지만 도시화율과는 다르게 일부 변수들은 0%의 값을 갖거나 음수이기에 로그값을 취할 수 없게 된다. 다행히 재생에너지 비율과 화석연료 비율, 감가상각률은 양수 값을 갖기에 로그로 변환하여 탄력성으로 해석할 수 있다. 그 밖의 0% 이하의 값을 갖는 나머지 비율 변수들은 로그값을 취하지 않은 원지수를 사용한다.

[그림 1] 에너지 집중도의 로그값과 도시화율의 원지수 및 로그값의 관계



에너지 집중도에 영향을 미치는 변수들에 대해서 일반적인 선형관계를 추정하고자 변수의 제곱 항을 추가하지 않은 패널 분석을 우선으로 시도하였다. 하지만 경제변수들 가운데 일부는 단순히 선형관계만 있는 것이 아니라, 2차 함수인 U자형 혹은 역 U자형의 관계도 존재할 수 있다. [그림 2]는 해당 설명변수를 제외한 나머지 설명변수를 이용한 회귀분석으로부터 구한 잔차와 종속변수의 관계를 나타낸 그래프이다. 그래프로만 판단하기에는 명확하지 않은 측면이 있지만, 가장 큰 특징은 추가적인 설명변수가 필요해 보일 만큼 강한 선형성을 보인다. 하지만 본 연구에서 새로운 설명변수를 더 찾아내기는 쉽지 않은 일이다. 따라서 선형성보다 비선형성에 주목해보자면, 일 인당 GDP, 도시인구비율, 재생에너지 소비율, 화석연료 소비율이 약간의 이차함수 형태를 보이므로, 그 변수들의 제곱을 고려하고자 한다. 그리고 이미 기존의 연구들 - Galli(1998), Poumanyvong and Kaneko(2010) - 에서 소득은 역 U자형을, 도시화율은 소득에 따라 다른 양상을 보인다고 보고한 바 있었다. 위의 일반적인 항에 관한 분석에서도 화석연료 소비 비율에 관한 해석이 모호하다는 점들을 고려해볼 때, 일부 변수들에 대해서는 제곱 항을 적용하는 것도 타당해 보인다. 따라서 기존의 논문들이 보고한 바와 같이, 소득과 도시화율 변수의 제곱 항을 회귀모형에 추가하였으며, 더불어 재생에너지 소비율, 화석연료 소비율에 대해서도 제곱 항을 고려하고자 한다.

[그림 2] 나머지 변수들의 통제하에서 해당 설명변수의 잔차와 종속변수의 관계



〈표 3〉 변수별 표본상관계수

상관분석	에너지 집중도	일 인당 GDP	도시 화율	재생 에너지 소비율	화석 연료 소비율	가 스 지 대 비율	원 유 지 대 비율	석 탄 지 대 비율	화 석 연 료 발 전 율	에 너 지 수 입 률	감 가 상 각 률
에너지 집중도	1.00	-0.38	-0.37	0.04	-0.43	0.24	-0.02	0.17	0.05	0.04	0.04
일 인당 GDP	-0.38	1.00	0.77	-0.49	0.58	0.02	-0.03	-0.09	0.00	-0.02	-0.21
도시화율	-0.37	0.77	1.00	-0.49	0.61	-0.01	0.05	-0.04	0.03	-0.06	-0.17
재생에너지 소비율	0.04	-0.49	-0.49	1.00	-0.62	-0.19	-0.19	-0.03	-0.47	-0.07	0.05
화석연료 소비율	-0.43	0.58	0.61	-0.62	1.00	0.09	-0.07	0.08	0.49	0.13	-0.11
가스 지대 비율	0.24	0.02	-0.01	-0.19	0.09	1.00	0.16	-0.03	0.12	-0.19	0.19
원유 지대 비율	-0.02	-0.03	0.05	-0.19	-0.07	0.16	1.00	-0.05	-0.04	-0.70	0.32
석탄 지대 비율	0.17	-0.09	-0.04	-0.03	0.08	-0.03	-0.05	1.00	0.16	-0.06	0.08
화석연료 발전율	0.05	0.00	0.03	-0.47	0.49	0.12	-0.04	0.16	1.00	0.21	0.08
에너지 수입률	0.04	-0.02	-0.06	-0.07	0.13	-0.19	-0.70	-0.06	0.21	1.00	-0.27
감가상각률	0.04	-0.21	-0.17	0.05	-0.11	0.19	0.32	0.08	0.08	-0.27	1.00

횡단면분석과 비교하면 시계열까지 고려하는 패널 분석은 다중공선성 문제가 약할 수 있지만, 변수 간의 상관성이 높아서 표준오차가 커지고 계수 추정의 정확성이 떨어질 수 있다. 본 연구에서 사용하는 화석연료 부분의 변수들은 서로 연관되어 있을 개연성이 높기에 다중공선성의 우려가 있다. 특히 화석연료(천연가스, 원유, 석탄) 지대 비율이 높은 국가는 화석연료 소비율과 화석연료 발전율이 높고, 풍부한 에너지원으로 인해 에너지 수입률이 낮을 가능성이 있다. 따라서 그 가능성을 확인하기 위해 변수별 상관분석을 시도하였고, 〈표 3〉은 변수 간 표본 상관계수를 나타내고 있다.

우선, 화석연료 지대 비율끼리는 큰 상관관계가 보이지 않는 것으로 나타났다. 천연가스와 원유의 상관계수는 0.16이고, 천연가스와 석탄과는 -0.03이며,

원유와 석탄과는 -0.05 이다. 화석연료 지대 비율과 화석연료 소비율도 강한 상관관계를 보이지는 않는다. 화석연료 소비율에 대해 천연가스는 0.09 , 원유는 -0.07 , 석탄은 0.08 의 상관계수를 갖는데, 이는 화석연료가 풍부하다고 해서 화석연료 소비율이 높다고 하기에는 약한 관계이다. 화석연료 발전율에 대한 관계에서도 천연가스는 0.12 , 원유는 -0.04 , 석탄은 0.16 의 상관계수를 보이므로 강한 상관관계에 있지는 않다. 에너지 수입률에 대해서 천연가스는 -0.19 , 원유는 -0.70 , 석탄은 -0.06 의 상관계수를 보인다. 에너지 수입률에 대해서만큼은 원유 지대 비율과 -0.70 이라는 강한 음의 상관관계를 보이는데, 이는 원유가 풍부한 산유국들이 대량의 원유를 수출하기 때문이다. 종합해보면, 에너지 수입률과 원유 지대 비율 사이에 강한 상관관계가 존재하여 약간의 추정오차는 생기겠지만, 화석연료 부분의 나머지 변수 간의 상관관계는 약하기에 분석의 정확성이 현저하게 떨어지지는 않을 것으로 판단된다.

III. 분석결과

1. 기본 모형의 추정 결과

기본 모형은 위의 분석 모형에서 언급한 (식 1)과 같다. <표 4>를 보면, 통합 OLS(pooled OLS)와 시간 고정효과 모형의 경우에는 조정된 결정계수의 값이 개별 고정효과 모형과 개별 및 시간 고정효과 모형보다 떨어진다. 에너지 집중도라는 변수는 어떤 특정 시간에 일어난 공통의 사건에 영향을 받기보다는 개별 국가의 정책, 시스템, 경제구조에 더 영향을 받을 것이다. 따라서 기본 모형에서는 개별 고정효과 모형과 개별 및 시간 고정효과 모형을 중심으로 해석하고자 한다.

<표 4>의 개별 고정효과 모형을 보면, 소득은 에너지 집중도와 음의 관계에 있다. 0.1% 미만의 유의 수준으로, 일 인당 소득이 1% 증가하면 에너지

집중도는 0.56% 감소한다. 서론에서도 언급했다시피, 소득이 증가하면서 에너지 사용 대비 고부가가치의 생산이 가능한 산업구조로 전환되기 때문이며, 기술진보를 동반하면서 에너지를 효율적으로 활용하는 산업설비를 갖추게 된다.

전체인구 대비 도시인구비율인 도시화율도 에너지 집중도를 설명하는 중요한 변수이며, 양의 관계에 있다. 0.1% 미만의 유의 수준에서, 도시화율이 1% 증가하면 에너지 집중도는 0.25% 증가한다. 규모의 경제나 생산의 분업 및 전문화로 인한 효과보다는 물류의 집중화, 소비와 생산의 분리로 인한 운송 에너지 증대가 더 크게 작용하는 것으로 해석된다.

전체 최종에너지 사용 가운데 재생에너지의 비율도 에너지 집중도에 음의 영향을 미친다. 0.1% 미만의 유의 수준으로, 재생에너지 비율이 1% 증가하면 에너지 집중도는 0.14% 감소한다. 수력, 풍력, 태양열과 같은 재생에너지의 소비 비율이 높을수록 에너지 집중도가 높다는 것은 재생에너지의 효율성이 높다는 것으로 해석할 수도 있다. 반면에 재생에너지 비중이 높은 이유가 화석연료 에너지원의 부족으로 인한 것이고, 그 부족으로 인해 에너지를 효율적으로 활용하게 된 것일 수도 있다. 하지만 본 연구에서는 화석연료의 부존량은 GDP 대비 천연가스, 원유, 석탄의 지대로 어느 정도 변수를 통제하였기에, 그 측면에서의 내생성은 없다고 판단된다.

전체 최종에너지 사용 중 화석연료의 비율은 에너지 집중도와 음의 관계에 있으며, 0.1% 미만의 유의 수준에서, 화석연료의 소비 비율이 1% 증가하면 에너지 집중도는 0.13% 감소한다. 서론에서도 언급했듯이, 화석연료의 역할에 대해서는 자세히 살펴볼 필요가 있다. Ma and Stern(2008) 그리고 Shahiduzzaman and Khorshed(2013)의 주장에 따라, 화석연료의 소비가 높을수록 화석연료 가격의 변화에 민감하므로 에너지를 효율적으로 쓴다고 해석할 수도 있지만, 반면에 화석연료의 풍부함으로 인해 에너지 집중도와 관련 없이 화석연료 소비만 높을 수 있는 내생성 문제가 있기 때문이다. Sach and Warner(1995)가 내생성을 통제하기 위해 천연자원 지대를 변수에 포함했고, 그에 따르면 화석연료 비율과 에너지 집중도 사이에 양의 상관성을 보여야 한다. 하지만 본 연구에서는 천연자원 지대를 세분화하여 천연가스, 원유, 석탄 지대를 각각 반

영하였음에도 불구하고 화석연료의 영향은 에너지 집중도를 감소시키는 방향으로 작용한다. 화석연료의 역할이 기존의 논문마다 다르고, 본 결과에서도 명확하지 않기에 다음에 나올 제곱 항에 관한 분석에서 다시 다루고자 한다.

〈표 4〉 기본 모형의 고정효과별 패널 회귀분석 결과

	통합 OLS		개별 고정효과		시간 고정효과		개별 & 시간 고정효과	
상수항	0.9072	***						
	(0.0000)							
일 인당 GDP	-0.0609	***	-0.5571	***	-0.0432	***	-0.5663	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
도시인구비율	0.0078		0.2522	***	0.0607		0.2327	***
	(0.8420)		(0.0000)		(0.1158)		(0.0000)	
재생에너지 소비율	-0.1117	***	-0.1416	***	-0.0891	***	-0.1423	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
화석연료 소비율	-0.5171	***	-0.1393	***	-0.5367	***	-0.1411	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
천연가스 지대 비율	0.1479	***	0.0391	***	0.1744	***	0.0399	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
원유 지대 비율	-0.0077	***	-0.0002		-0.0039	*	-0.0001	
	(0.0000)		(0.8551)		(0.0363)		(0.8910)	
석탄 지대 비율	0.0824	***	0.0144	***	0.1000	***	0.0149	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
화석연료 발전율	0.2310	***	0.2104	***	0.2725	***	0.2097	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
에너지 수입률	0.0000		0.0006	***	0.0003	**	0.0006	***
	(0.5627)		(0.0000)		(0.0013)		(0.0000)	
감가상각률	-0.2137	***	-0.2816	***	-0.1235	**	-0.2828	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0051)		(0.0000)	
조정된 결정계수	0.4440		0.7019		0.4555		0.5963	
F 통계량	134.99		403.29		143.58		258.29	
자유도	1668		1596		1646		1574	

주: 괄호 안은 p 값이며, *** 0.1%, ** 1%, * 5%, . 10% 유의 수준을 의미함.

일부 종류의 화석연료 에너지원 부존량도 에너지 집중도에 영향을 주는 변수로 나타났다. GDP에서 차지하는 천연가스 지대가 1%p 상승하면 0.1% 유의 수준에서, 에너지 집중도는 3.9% 증가한다. GDP 대비 석탄 지대가 1%p 상승하면 0.1% 유의 수준에서 에너지 집중도는 1.4% 증가하는 것으로 나타났다. 천연가스나 석탄이 풍부한 경우, 값싸게 화석에너지원을 조달할 수 있어서 에너지를 효율적으로 사용할 유인이 적을 수 있다. 하지만 화석연료의 핵심 에너지원인 원유의 역할은 통계적으로 유의미하지 않았는데, 본 연구에서는 이에 대한 명확한 이론적 근거를 제시하기는 어려운 한계점이 있다.

전체 전기 발전량 가운데 화석연료가 차지하는 비율(화석발전 비율)은 에너지 집중도와 양의 관계에 있다. 0.1% 미만의 유의 수준에서, 화석발전 비율이 1%p 증가하면 에너지 집중도는 약 21% 증가하는 경향이 있다. 화석발전은 연료 소각 시에 발생하고 버려지는 열에너지는 물론이고 연료를 운반하기 위해 들어가는 운송 에너지로 인해 에너지를 많이 쓰는 발전 방법이다.

전체 에너지 소비 가운데 에너지 수입이 차지하는 비율(에너지 수입률)의 경우에는 서론에서 예상한 바와는 달리 에너지 집중도와 양의 관계에 있다. 에너지 수입률이 음수인 국가는 에너지 순 수출국이며, 에너지 수입률이 양수인 국가는 에너지 수입국인데, 에너지 수입에 많이 의존할수록 에너지 집중도가 높다고 분석되었다. 0.1% 미만의 유의 수준에서, 에너지 수입률이 1%p 증가하면 에너지 집중도는 0.06% 증가한다. 본 모형에서는 에너지 수입률이 높을수록 에너지 가격에 민감하여 에너지를 효율적으로 쓸 유인이 생길 것으로 예상하였지만, 결과는 상반되게 나왔다. 에너지 집중도가 높을수록, 즉 에너지 소비가 많을수록, 자국 생산으로 충족되는 것 이상의 에너지가 필요하기에 에너지 수입률이 높다고 인과를 바꾸어 해석해볼 여지가 있는 문제이다.

자본의 감가상각률은 에너지 집중도를 낮추는 역할을 한다. 0.1% 미만의 유의 수준에서, 감가상각률이 1% 증가할 때 에너지 집중도는 0.28% 감소한다. 자본에 대한 마모가 빨리 이루어지는 것은 새로운 자본 설비를 도입할 때 에너지 효율적인 기술을 반영하기 쉬워지는 요인이 될 것이다.

2. 제곱 항을 포함한 확장 모형의 추정 결과

제곱 항에 관한 분석에서는 설명변수의 형태가 변화하였기에 모형에 관한 수식을 다음과 같이 (식 2)로 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \ln e_{it} = & \beta_1 \ln y_{it} + \beta_2 (\ln y_{it})^2 + \beta_3 \ln u_{it} + \beta_4 (\ln u_{it})^2 \\ & + \beta_5 \ln r_{it} + \beta_6 (\ln r_{it})^2 + \beta_7 \ln f_{it} + \beta_8 (\ln f_{it})^2 + \beta_9 \ln d_{it} \\ & + \sum_{j=1}^k \theta_j x_{ijt} + \nu_i + \lambda_t + \epsilon_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad t = 1, 2, \dots, T. \end{aligned} \quad (\text{식 2})$$

여기서 e_{it} 는 에너지 집중도, y_{it} 는 일 인당 GDP, u_{it} 는 도시인구비율, r_{it} 는 재생에너지 소비율, f_{it} 는 화석연료 소비율, d_{it} 는 감가상각률을 뜻한다. 확장 모형에서는 y_{it} , u_{it} , r_{it} , f_{it} 의 자연로그값과 그것의 제곱 항을 함께 고려한다. x_{ijt} 는 그 밖의 영향을 알고 싶은 독립 변수들이며, 기본 모형과 마찬가지로 천연가스, 원유, 석탄 지대 비율, 화석연료 발전율, 에너지 수입률이 포함된다. 뒤의 고정효과 항이나 오차항은 이전 분석과 같다.

<표 5>는 제곱 항을 포함한 확장 모형의 패널 회귀분석 결과를 나타내고 있으며 <표 6>은 확장 모형에서 유의미하게 나온 제곱 항에 대한 계수 추정치와 임의의 수치별 탄력성을 나타낸다. 일 인당 GDP와 재생에너지 소비율, 화석연료 소비율은 일차항은 물론이고 이차항까지 유의미하게 나왔기에, 일차항과 이차항의 계수 추정치를 모두 고려한 탄력성을 표에 나타내었다.

일 인당 소득은 일차항의 추정된 계수가 -1.18이고 이차항의 추정된 계수가 0.035이므로 하락하는 기울기가 점차 완만해지는 형태이다. Galli(1998)의 주장처럼 역 U자형의 모습을 보이기에 이차항의 계수가 작은 편이며, 자료에서 주어진 일 인당 소득의 최댓값인 약 92,000달러를 대입하여도 탄력성은 -0.362가 되어, 양의 탄력성으로 전환되지는 않았다. Galli(1998)의 연구가 본 연구 대상보다 이전인 1973년부터 1990년을 다루고 있다는 점, 대상이 아시아 10개국에 한정되어 있다는 점, 장기(long-run)적인 계수를 다루었다는 점에서

차이가 있어서 단순 비교할 수는 없다. 결과적으로 현실적인 소득 범위에서, 일 인당 소득의 증가는 에너지 집중도를 감소시키는 것을 확인할 수 있었다.

도시화율의 경우, 이전 분석보다 에너지 집중도에 대한 영향이 다소 높아졌다. 0.1% 미만의 유의 수준에서, 도시화율이 1% 증가할 때, 에너지 집중도는 0.35% 증가하는 것으로 나타났다. 도시화율의 정도에 따라 에너지 집중도와 비선형으로 관계되는지를 파악하기 위해 제곱 항을 넣었지만, 통계적으로 유의미하지 않았다.

재생에너지 소비율의 일차항의 추정된 계수는 $-0.28(0.1\%$ 미만의 유의 수준)이고, 이차항의 추정된 계수는 $-0.015(0.1\%$ 미만의 유의 수준)로 추정되었다. 재생에너지 소비율이 증가할수록 에너지 집중도에 대한 탄력성이 높아지는 형태이다. 재생에너지 소비율의 평균값인 30.8%를 대입해보면, 탄력성은 -0.24 가 나온다. 즉, 재생에너지 소비율이 30.8%인 상태에서 그 비율이 1% 증가할 때, 에너지 집중도는 0.24% 감소하는 것이다. 따라서 재생에너지 소비율은 구간에 상관없이 증가할수록 탄력성의 절댓값이 커지는 경향이 있다.

화석연료 소비율을 살펴보면, 일차항의 계수가 $-0.37(0.1\%$ 미만의 유의 수준)이고 이차항 계수는 $-0.063(0.1\%$ 미만의 유의 수준)으로 나타났다. 화석연료 소비율의 구간에 따라 탄력성이 다르게 나타나는데, 대략 5% 이하에서는 양의 탄력성을 갖다가 그 이상의 구간에서는 음의 탄력성을 가지면서 점차 그 절댓값이 커지는 구조이다. 화석연료 소비율의 평균값인 67.2%를 대입하면 탄력성은 -0.32 가 나온다. 즉, 화석연료 소비율이 67.2%인 상태에서 그 비율이 1% 증가할 때, 에너지 집중도는 0.32% 감소하는 것이다. 따라서 화석연료 소비율은 5% 이하의 구간을 제외하고는 소비율이 증가할수록 탄력성의 절댓값이 높아지는 경향이 있다. 천연가스, 원유, 석탄의 지대 비율까지 변수로 반영하였음에도 화석연료 소비율이 에너지 집중도와 음의 관계에 있는 것으로 볼 때, Sach and Warner(1995)의 연구 결과와는 달리 Ma and Stern(2008) 그리고 Shahiduzzaman and Khorshed (2013)의 주장을 지지하는 것으로 해석될 수 있다. 즉, 화석연료의 소비가 높을수록 화석연료 가격의 변화에 민감하므로 에너지를 효율적으로 쓰게 되는 것이다.

〈표 5〉 확장 모형의 고정효과별 패널 회귀분석 결과

	통합 OLS		개별 고정효과		시간 고정효과		개별 & 시간 고정효과	
상수항	5.4010	***						
	(0.0000)							
일 인당 GDP	-1.1373	***	-1.1837	***	-1.2092	***	-1.2429	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
일 인당 GDP (제공)	0.0583	***	0.0359	***	0.0631	***	0.0410	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
도시인구비율	-0.3201	***	0.3492	***	-0.1448		0.4492	***
	(0.0006)		(0.0001)		(0.1189)		(0.0000)	
도시인구비율 (제공)	-0.2234	***	0.0403		-0.1577	**	0.0589	
	(0.0000)		(0.4057)		(0.0020)		(0.2330)	
재생에너지 소비율	-0.2930	***	-0.2758	***	-0.2424	***	-0.2671	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
재생에너지 소비율 (제공)	-0.0228	***	-0.0153	***	-0.0195	***	-0.0151	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
화석연료 소비율	-0.5692	***	-0.3716	***	-0.5910	***	-0.3861	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
화석연료 소비율 (제공)	-0.0502	*	-0.0634	***	-0.0621	**	-0.0682	***
	(0.0188)		(0.0000)		(0.0030)		(0.0000)	
천연가스 지대 비율	0.1358	***	0.0408	***	0.1640	***	0.0439	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
원유 지대 비율	0.0026		0.0004		0.0059	**	0.0012	
	(0.1872)		(0.6499)		(0.0031)		(0.2035)	
석탄 지대 비율	0.0804	***	0.0153	***	0.0977	***	0.0159	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
화석연료 발전율	0.1069	**	0.2252	***	0.1705	***	0.2377	***
	(0.0075)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
에너지 수입률	0.0001	.	0.0006	***	0.0004	***	0.0006	***
	(0.0881)		(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	
감가상각률	-0.2500	***	-0.2576	***	-0.1480	***	-0.2416	***
	(0.0000)		(0.0000)		(0.0008)		(0.0000)	
조정된 결정계수	0.4937		0.7205		0.5029		0.6239	
F 통계량	117.89		315.11		123.84		206.57	
자유도	1664		1592		1642		1570	

주: 괄호 안은 p 값이며, *** 0.1%, ** 1%, * 5%, . 10% 유의 수준을 의미함.

〈표 6〉 에너지 집중도에 대한 제곱 변수의 수치별 탄력성

일 인당 GDP		재생에너지 소비율		화석연료 소비율	
일차항	-1.184	일차항	-0.276	일차항	-0.372
이차항	0.036	이차항	-0.015	이차항	-0.063
달러	탄력성	비율	탄력성	비율	탄력성
1000	-0.687	1%	-0.135	1%	0.212
2000	-0.638	2%	-0.156	2%	0.124
3000	-0.608	3%	-0.168	3%	0.073
4000	-0.588	4%	-0.177	4%	0.037
5000	-0.572	5%	-0.184	5%	0.008
10000	-0.522	10%	-0.205	10%	-0.080
15000	-0.493	15%	-0.218	15%	-0.131
20000	-0.472	20%	-0.227	20%	-0.168
25000	-0.456	25%	-0.233	25%	-0.196
30000	-0.443	30%	-0.239	30%	-0.219
35000	-0.432	35%	-0.244	35%	-0.238
40000	-0.422	40%	-0.248	40%	-0.255
45000	-0.414	45%	-0.251	45%	-0.270
50000	-0.406	50%	-0.255	50%	-0.284
55000	-0.399	55%	-0.258	55%	-0.296
60000	-0.393	60%	-0.260	60%	-0.307
65000	-0.387	65%	-0.263	65%	-0.317
70000	-0.382	70%	-0.265	70%	-0.326
75000	-0.377	75%	-0.267	75%	-0.335
80000	-0.373	80%	-0.269	80%	-0.343
85000	-0.368	85%	-0.271	85%	-0.351
90000	-0.364	90%	-0.273	90%	-0.358
95000	-0.360	95%	-0.274	95%	-0.365
100000	-0.356	100%	-0.276	100%	-0.372

천연자원의 지대 부분은 이전의 분석과 크게 다르지 않았다. 0.1% 미만의 유의 수준에서, 천연가스 지대 비율이 1%p 증가하면 에너지 집중도는 약 4.1% 증가한다. 마찬가지로의 유의 수준에서 석탄 지대 비율이 1%p 상승하면 에너지 집중도가 1.5% 증가하는 것으로 나타났다. 천연가스와 석탄이 풍부한 경우, 에너지원을 손쉽게 조달하여 효율적인 에너지 사용 유인이 적을 것이라 판단된다. 이전 분석과 마찬가지로 원유 지대 비율의 영향력은 통계적으로 유의미하지 않게 나왔다.

화석연료 발전 비율도 이전과 유사한 관계를 보이는데, 0.1% 미만의 유의 수준에서, 화석발전 비율이 1%p 증가하면 에너지 집중도는 22.5% 높아지는 경향이 있다. 에너지 수입률은 1%p 증가할 때, 에너지 집중도가 0.06% 증가하는 것으로 나타났지만, 자료의 편차를 고려하면 영향력이 큰 변수가 될 수 있다. 예컨대 에너지 수입률의 최솟값인 -14.11을 생각해볼 때, 소비하는 것보다 더 많은 비율로 생산하는 에너지 순 수출국이면 영향력이 큰 변수가 될 수 있다. 감가상각률은 1% 증가할 때, 에너지 집중도가 0.26% 감소하는 것으로 해석할 수 있다.

천연가스, 원유, 석탄 지대 비율이나 화석연료 발전율, 에너지 수입률과 같은 비율 변수의 경우에는 자료의 값이 최솟값이나 최댓값과 같이 극단 값으로 갈수록 계수의 영향력이 커질 수 있기에, 위에 열거한 퍼센트의 정도보다는 변수들의 통계적 유의미함에 주목할 필요가 있다.

설명변수의 형태에 따른 분석결과를 보면, 개별 고정효과 모형을 기준으로 했을 때, 조정된 결정계수가 일반적인 항에 관한 분석에서는 0.70이 나왔으며, 제곱 항을 고려한 분석이 0.02 정도 더 높은 0.72가 나왔다. 큰 차이는 아니지만 일 인당 소득, 도시화율, 재생에너지 소비율, 화석연료 소비율의 제곱 형태를 고려하는 것이 더 타당하다고 판단된다.

IV. 결 론

기후변화와 지속 가능한 개발은 현대 경제성장의 단계에서 직면한 가장 핵심적인 이슈이다. 에너지 자원을 효율적으로 사용하는 문제는 국가적인 차원에서도 지정학적 위험 및 안정적 경제 운영과 관련되어 있다. 국제적인 차원에서는 기후변화를 최소화하고 선진국과 개도국이 공생적으로 경제 발전하는 것과 직결되어 있다. 에너지 집중도를 낮추는 것이야말로 성장과 환경을 동시에 생각하는 발전 구조라고 할 수 있겠다.

본 연구에서는 에너지 집중도에 영향을 주는 경제적 요인들을 살펴보았다. 일 인당 소득이 높아지는 경제성장은 산업구조의 변화 및 기술진보의 경로를 통해 에너지 집중도를 낮추는 역할을 하였으며, 반대로 도시화는 규모의 경제나 전문화 같은 에너지 절감의 장점을 상쇄할 만큼 에너지를 더 많이 쓰는 시스템으로 나타났다. 재생에너지 소비율과 자본의 감가상각률이 높을수록 에너지 집중도가 낮아지며, GDP 대비 천연가스 및 석탄과 같은 화석연료의 지대 비율이 높을수록, 화석연료 발전율과 에너지 수입률이 높을수록 에너지 집중도가 증가한다.

따라서 본 연구는 다음과 같은 정책적 함의를 덧붙여 말하고자 한다. 가능하다면 재생에너지 비율을 높이는 정책을 통해 에너지 집중도를 낮출 필요가 있다. 화석연료로 발전하는 것은 연료 운반 및 연소 과정에서 많은 에너지를 소모하며, 주로 중앙집중적인 송전 시스템으로 인해 전기에너지 손실이 많은 편이다. 소규모로 분산된 재생에너지를 많이 사용할수록 운송과 발전에 소비되는 에너지를 절약할 것이다. 더불어 에너지 조달 구조를 다변화함으로써 안정적인 에너지 공급을 가능케 하며, 기술적으로도 다른 에너지원과 경쟁 구조가 형성됨에 따라 에너지 효율적인 발전을 촉진할 것이다. 배준희, 최이중, 이종수, 신정우(2014)에 의하면, 1인당 GDP가 높아질수록 신재생 에너지를 선호하며,

1인당 신재생 에너지 R&D 투자액의 증대 또한 신재생 에너지 선호에 긍정적인 역할을 한다. 따라서 에너지 집중도를 낮추기 위한 신재생 에너지 비율 증대를 위해서는 경제발전과 더불어 R&D 투자가 필수적이다.

국제적인 차원에서 에너지 집중도를 낮추기 위해, 선진국이 아닌 개도국의 입장에서는 산업구조를 고도화할 필요가 있다. 단위 에너지 당 높은 부가가치를 창출하는 서비스업이나 첨단기술 제조업으로 넘어감과 동시에 GDP에서 차지하는 천연자원 지대 비중을 줄일 필요가 있다. 화석연료 산업에 치중하는 산유국이나 자원 부국들은 새로운 산업을 육성하면서 자원 수출에 대한 의존을 줄임으로써 에너지 집중도를 낮출 수 있다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 국가별 특성을 세분화해서 고려하지 못했다는 점이다. 국가의 경제구조에 따라 산업 특성이 달라 극단적인 값들이 많이 포함되어 있다. 예컨대 화석연료 수출에 의존적인 산유국이나 화석연료 발전에 전적으로 의존하는 국가들의 자료는 적절한 계수 추정에 어려움을 줄 수 있다. 둘째, 비율 변수 가운데 음수나 0%와 같이 로그 변환이 어려운 값들이 많이 포함되어 있어서, 특정 변수는 탄력성 개념으로 접근하지 못하였다. 예컨대, 화석연료 발전 비율의 경우, 계수 값이 크게 나와서 영향력이 다소 과대평가된 측면이 있다. 셋째, 특정 변수들에 대한 이론적인 논의가 추가로 필요하다. 본 연구는 실증분석을 기반으로 하였기에 변수가 미치는 영향을 수리적인 관계로 보여주지는 못하였다. 추후의 연구에서는 수리적 도출 과정을 통해 이론적으로 강건한 분석을 시도할 필요가 있다.

접수일(2020년 2월 2일), 수정일(2020년 2월 28일), 게재확정일(2020년 3월 27일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 배준희, 최이중, 이종수, 신정우, 2014. 「신재생 에너지 도입행태 분석: OECD 국가들을 중심으로」.
- Cole, M. A. 2006. "Does trade liberalization increase national energy use?" *Economics Letters*, 92(1) : pp108-112.
- Galli, R. 1998. "The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long term energy demand in Asian emerging countries." *The Energy Journal*, 19(4) : pp85-105.
- IEA. 2015. Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition : pp94.
- Jimenez, R., & Mercado, J. 2014. "Energy intensity: A decomposition and counterfactual exercise for Latin American countries." *Energy Economics*, 42 : pp161-171.
- Jones, D. W. 1991. "How urbanization affects energy-use in developing countries." *Energy policy*, 19(7) : pp621-630.
- Liddle, B. 2004. "Demographic dynamics and per capita environmental impact: Using panel regressions and household decompositions to examine population and transport." *Population and Environment*, 26(1) : pp23-39.
- Ma, C., & Stern, D. I. 2008. "China's changing energy intensity trend: a decomposition analysis." *Energy economics*, 30(3) : pp1037-1053.
- Parikh, J., & Shukla, V. 1995. "Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: Results from a cross-national study of developing countries." *Global environmental change*, 5(2) : pp87-103.
- Poumanyong, P., & Kaneko, S. 2010. "Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis." *Ecological Economics*, 70(2) : pp434-444.
- Sadorsky, P. 2013. "Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries?" *Energy Economics*, 37 : pp52-59.

Shahiduzzaman, M., & Alam, K. 2013. “Changes in energy efficiency in Australia: a decomposition of aggregate energy intensity using logarithmic mean Divisia approach.” *Energy Policy*, 56 : pp341-351.

<https://data.worldbank.org/>

<http://epsis.kpx.or.kr/>

<http://inss.kins.re.kr/>

<http://www.doopedia.co.kr/>

<https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/>

ABSTRACT

A panel analysis
on determinants of energy intensity*

Do-Yeong Lee** and Sung Y. Park***

It is important to use energy efficiently not only for climate change concerns but also for sustainable economic growth. Energy intensity, which means energy consumption per unit of production, has been on a steady decline over the last few decades, due to technological advances and economic factors. In this study, panel data from 73 countries were used for 23 years from 1991 to 2013 to analyze the factors affecting energy intensity on a global level. Although there are many differences, urbanization increases energy intensity, and as income per capita increases, energy intensity decreases. The higher the consumption rate of renewable energy, the higher the depreciation rate, the lower the energy intensity. When fossil fuel consumption is low, energy intensity increases, but as the ratio increases, energy intensity shows an inverted U-shape. The higher the proportion of fossil fuel rents in GDP, the higher the energy intensity.

Key Words : Energy Intensity, Urbanization, Renewable Energy, Fossil Fuel Energy, Depreciation

* This research was supported by the Chung-Ang University Graduate Research Scholarship in 2019

** Graduate Student, Chung-Ang University(main author). ldy1993@cau.ac.kr

*** Associate Professor, Chung-Ang University(corresponding author).
sungpark@cau.ac.kr