

ICT는 지속가능한 발전에 기여하는가?: OECD 국가의 ICT와 환경정책, 에너지소비수준의 관계를 중심으로*

석조은**

〈目 次〉

I. 서론

IV. 분석결과

II. 이론적 배경과 선행연구의 정리

V. 결론 및 정책적 함의

III. 연구모형과 분석방법

〈요 약〉

본 연구는 대한민국을 포함한 OECD 23개국의 2010년~2019년 패널데이터를 대상으로 국가의 ICT와 환경정책, 에너지소비수준의 관계를 시스템 GMM 분석방법을 통하여 실증 분석한다. 특히, 본 연구는 선행연구로부터 ICT와 에너지소비수준의 비선형적(non-linear) 관계를 고려하면서 종속변수는 국가별 에너지소비규모(scale) 및 에너지소비집중도(intensity)를 적용하고 설명변수는 ICT와 환경정책수준을 반영하는 연구가설을 도출하고 이를 검증한다. 이로부터 본 연구는 첫째, ICT 수준이 높을수록 OECD 국가의 에너지소비규모는 증가하지만, 에너지소비 집중도는 오히려 개선되는 결과를 확인한다. 둘째, ICT와 에너지소비수준의 비선형적 관계가 발견되는 가운데, 에너지소비집중도에서 이러한 관계가 더욱 명확하게 나타난다. 마지막으로 기후 변화 대응을 위한 정부의 환경정책수준이 높을수록 에너지소비집중도는 개선되는 결과가 나타난다. 이로부터 본 연구는 ICT의 복합적인 에너지소비양상을 확인하면서 ICT가 지속가능한 발전에 기여하는데 필요한 정책시사점과 함의를 제공하며, 후속연구의 필요성을 제시한다.

【주제어: ICT, 에너지소비수준, 에너지효율개선, 비선형적 관계, 환경정책, 지속가능한 발전】

* 이 연구는 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022S1A5B5A1 7046536).

** 경희대학교 행정학과 교원, 서울대학교 정보지식정책연구소 연구원(ssje99@snu.ac.kr)

논문접수일(2024.6.4), 수정일(2024.7.5), 게재확정일(2024.7.16)

I. 서론

오늘날 Covid-19 팬데믹(Pandemic) 이후로 전세계적으로 급속히 전개되는 ICT(정보통신기술)의 발전과 이용확대는 더욱 심화되는 기후변화 대응과 탄소중립을 도모하는 지속가능한 발전에도 새로운 기회이자 위기로 다가오고 있다. 특히, 이러한 기술발전은 인류사회가 당면한 기후문제 대응에 필요한 대대적인 기술혁신과 사회변화를 동반하며 이 같은 문제 해결의 단초를 제공하는 동시에, 디지털 전환에 따른 막대한 에너지 수요와 소비급증으로 인하여 기후변화 문제를 더욱 심화시키는 장벽으로 제기된다.

특히, 경제적 측면에서 ICT의 발전과 확대는 국가경제의 생산성과 효율성을 제고시키면서 국가의 경제발전에 기여하는 결과로 나타난다.¹⁾ 대표적으로 ICT는 노동생산성과 업무생산성을 개선시키면서 상당한 경제적 성과를 가져오는데, 이 과정에서 사회 전반의 에너지소비량을 크게 늘리는 결과를 초래하기도 한다(Erumban 외, 2016, Farhadi 외, 2012, Hofman 외, 2016, Ishida, 2015). 특히, ICT의 발전과 확대에 의한 에너지소비가 늘어나면서 국가의 경제성장도 이루어지는 연구들이 뒷받침되면서 ICT는 경제성장에 기여하면서 에너지소비증가도 나타나는 결과들이 제시된다(Haseeb 외, 2019, Salahuddin 외, 2016).

반면에, ICT의 지속적인 기술발전과 혁신을 통하여 경제성장에 기여하면서도 에너지소비수준은 감소되는 일명, 탈동조화(decoupling) 현상이 나타날 수 있다는 논의가 나타난다(Lange 외, 2020, Andrae 외, 2019, Corcoran 외, 2013, Malmmodin 외, 2018, Van Heddeghem 외, 2014). 특히, ICT의 또 다른 장점이자 기대효과로서 사회 전반에 가져올 에너지효율개선과 경제구조를 비롯한 사회혁신기제로서 ICT의 긍정적 측면이 지속적으로 제기되면서 이에 관한 논의는 더욱 흥미롭게 나타난다(Lange 외, 2020, Haseeb 외, 2019, Salahuddin 외, 2016).

그러므로 본 연구는 이 같은 ICT의 발전이 가져오는 경제성과와 이점을 확인하면서 이 과정에서 발생하는 ICT의 복합적인 에너지소비양상을 검증하고 이로부터 지속가능한 발전이 가능한지에 관한 연구문제를 제시한다. 특히, 본 연구는 ICT의 상반된 에너지소비효과로부터 어떠한 맥락과 측면에서 이러한 기술발전과 혁신이 경제성과를 포함하여 에너지효율개선과 에너지소비절감을 달성하며 지속가능한 발전에 기여할 수 있는지 주목한다. 실제로 기존 연구에서 ICT를 통한 기술혁신과 발전은 에너지효율개선을 비롯하여 기존의 노동력

1) 한편, ICT의 도입과 발전으로 인한 경제성과는 예상보다 크지 않거나 오히려 더 높은 경제적 부담과 비용을 초래하는 등 생산성 패러독스(productivity paradox)가 나타날 수 있다는 주장도 존재한다(Lange 외, 2020, Solow, 1987).

을 서비스업과 같은 새로운 산업으로 전환하면서 기존의 에너지소비체제와 에너지소비구조를 보다 효율적으로 개선할 수 있음을 제시한 바 있다(Lange 외, 2020, Ren 외, 2021).

그러나 이 같은 기대효과에도 불구하고 보다 효율적인 에너지소비체제와 소비구조로 재편되면서 경제활동은 더욱 활성화되고 이를 통해 더 많은 에너지소비를 유발하는 “리바운드 효과(rebound effects)”가 나타나기도 한다(Lange 외, 2020, Andrae 외, 2019, Corcoran 외, 2013, Malmmodin 외, 2018, Van Heddeghem 외, 2014). 더욱이, ICT의 발전과 확대는 경제성과가 비교적 명확함에도 불구하고 막대한 에너지수요와 소비증가를 발생시키는 요인이 되기도 하므로 지속가능한 발전의 측면에서 상반된 논의가 존재한다.

그러므로 본 연구는 이러한 ICT의 복합적 양상을 고려하면서 ICT와 에너지소비수준에 관한 실증분석을 수행하고 이러한 기술발전과 사회변화가 지속가능한 발전에 기여하는데 필요한 정책시사점과 함의를 제공하는 연구목적과 의의를 제시한다. 특히, 본 연구는 선행 연구로서 OECD 국가와 같은 고도의 경제발전과 ICT 수준을 보유한 국가들에 대한 실증연구가 비교적 드물다는 점에서 대한민국을 포함한 OECD 23개국의 2010년부터 2019년의 패널데이터를 대상으로 시스템 GMM (Generalized Method of Moments) 분석방법을 통하여 ICT와 환경정책, 그리고 에너지소비수준의 관계를 실증 분석한다.

이를 위하여 본 연구는 다음 2장에서 ICT와 환경정책, 에너지소비수준에 관한 이론적 논의와 선행연구를 검토한 후, 3장에서 연구가설과 연구모형을 도출하고 분석방법 및 분석변수를 제시한다. 특히, 본 연구는 연구모형의 내생성과 패널데이터 내 자기상관성을 통제하는 동태적 시스템 GMM 분석결과를 바탕으로 4장에서 연구가설을 검증하는 연구결과를 제시한다. 마지막 5장에서는 지속가능한 발전에 기여하는데 필요한 ICT에 관한 정책시사점과 함의를 도출하고, 후속연구의 필요성을 제공한다.

II. 이론적 배경과 선행연구의 정리

1. ICT와 환경정책, 그리고 에너지소비수준에 관한 이론적 논의와 배경

1) ICT의 발전과 에너지소비수준에 관한 이론적 논의

오늘날 급속한 ICT의 발전과 이용확대가 국가의 경제성장을 견인하며, 이 과정에서 에너지소비증가도 늘어나는 결과를 보여주는 연구들이 확인된다. 가령, ICT는 업계 내 노동생산성을 비롯한 생산효율성을 증가시키면서 이들의 생산활동과 산출물도 크게 늘리는 것으로

나타난다(Lange 외, 2020, Appiah-Otoo와 Song, 2021, Ren, 2021). 더욱이, ICT의 이용확대는 관련 에너지소비를 급격히 늘리면서 이들의 경제성장에도 기여하는 결과로 나타난다(Haseeb 외, 2019, Salahuddin 외, 2016).

뿐만 아니라, ICT는 국가의 경제성장을 도모하는 과정에서 에너지사용도 더욱 증가되는 동시에 생산효율성도 크게 개선되는 결과도 제시된다(Lange 외, 2020, Atkinson과 McKay, 2007). 그러므로 ICT의 발전과 확대는 국가와 업계의 경제성장을 가져오면서 에너지사용량도 크게 증가시키지만, 생산효율성을 비롯한 기술효과에 따른 에너지효율도 점차 개선되면서 이 과정에서 나타나는 에너지소비양상은 상반된 결과가 존재한다. 가령, 유럽의 제조업 실증연구에서 기업의 ICT투자는 기업의 전력사용을 증가시키는 결과로 나타나지만, 동시에 전력사용의 효율성 또한 향상되는 결과가 제시된다(Ishida, 2015).

이러한 결과는 일명, “리바운드 효과(rebound effect)”로 이어지기도 하는데, ICT의 발전과 이용확대로 인한 경제효과 외에도 기술발전과 혁신을 통한 에너지효율개선 등을 통하여 에너지소비효율이 높아지면 업계 전반의 에너지사용증가 또한 더욱 가속화되기도 한다. 그러므로 <표 2>의 선행연구와 같이, 국가 단위의 패널연구에서 ICT의 이용확대는 전반적으로 국가의 전력사용량이 증가되는 결과로 나타나지만, 이러한 결과가 반드시 일방향적(unidirectional)으로만 나타나는 것은 아님을 보여준다.

즉, 이 같은 에너지소비의 복합적 양상으로 인하여 분석대상에 따라서 ICT와 에너지소비수준의 관계는 반드시 정비례로 제시되는 것은 아니며, 디커플링(decoupling) 관계가 나타나기도 한다(Lange 외, 2020, Ren 외, 2021). 그러나 ICT와 에너지소비수준의 관계는 복합적인 리바운드 효과로 인하여 명확하게 논의되기 어려울 수 있다. 특히, ICT의 발전에 따른 에너지소비절감은 이로부터 촉발되는 에너지수요증가로 인하여 그 효과가 상대적으로 크지 않을 수 있고, 결과적으로 사회 전반의 에너지 수요와 소비수준은 지속적으로 증가되기도 한다(Lange 외, 2020, Ruzzenenti 외, 2017, Maxwell, 2011).

〈표 1〉 ICT와 에너지소비양상에 관한 주요 논의

	이론적 논의	내용
에너지소비 증가효과 (Energy increasing effect)	ICT의 직접효과 ICT의 경제효과	-ICT의 발전과 이용확대로 인하여 이들 분야에서 에너지소비가 크게 늘어남. -ICT의 발전과 이용확대는 노동생산성과 생산효율성을 증가시키고 경제성장과 발전을 도모하면서 더 많은 경제활동과 에너지소비가 발생됨.
에너지소비 감소효과 (Energy reducing effect)	에너지효율 및 리바운드효과 (rebound effects) 산업효과 (서비스업 전환)	-ICT의 발전과 이용확대는 노동생산성과 생산효율성을 제고시키면서 동일한 생산량 대비, 더 적은 에너지사용을 달성함으로써 이에 따른 에너지소비절감효과를 가져옴. 그러나 이에 따른 반등효과, 즉 리바운드 효과(rebound effect)로 인하여 에너지소비가 더욱 늘어날 수도 있음. -ICT의 발전과 이용확대는 농업과 제조업 분야에서 노동력을 대체하면서 서비스업으로 산업구조가 전환되고 에너지집중도가 높은 제조업과 농업 비중은 낮아지면서 에너지소비절감이 나타날 수 있음.

*출처: Lange 외(2020) 내용을 재구성함

2) 환경정책과 에너지소비수준에 관한 이론적 논의

한편, 환경정책과 규제를 비롯한 법제도의 측면에서 이 같은 정책요인이 에너지소비수준에 미치는 영향을 실증 분석하는 논의들도 제시된다(Yan 외, 2023). 대표적으로 환경분야에서 정부규제수준(regulatory stringency)이 강할수록 오염배출량을 관리, 통제하는데 보다 효과적이라는 주장이 나타나는데, 대표적으로 더욱 엄격한 규제가 적용될수록 환경성과가 높아질 뿐만 아니라, 이 과정에서 기술혁신도 촉발될 수 있다는 논의가 대표적이다(Popp, 2019). 특히, 이러한 논의는 “적절하게 설계된(properly designed)” 환경규제는 환경성과를 비롯하여 기술혁신을 유발하는 경제적 성과도 도모할 수 있다는 Porter 이론과도 상당히 직결된다(석조은 외, 2021).

이처럼 환경정책과 에너지소비수준의 관계는 환경정책의 규제수준이 강화될수록 기업과 업계의 환경성과를 압박하는 중요 요인으로 작용하면서 에너지소비수준을 관리하는 결과를 가져올 수 있으며, 이 과정에서 환경기술의 개발과 혁신이 이루어지면서 에너지효율도 개선되는 논의가 제시된다(Yan 외, 2023, Popp, 2019). 그러므로 이러한 정부정책과 제도적 여건은 사회 전반의 에너지소비양상에 중요한 영향을 미치면서 이에 부합하는 기술개발과 혁신을 촉진하게 되므로 이 같은 요인은 업계 내 에너지효율개선을 강화하며, 지속적으로 에너지소비수준을 관리하며, 조성하는 역할을 하게 된다(Yan 외, 2023, Popp, 2019).

2. ICT와 환경정책, 에너지소비수준에 관한 선행연구

실제로 ICT의 발전과 이용확대가 국가의 경제성장과 발전 요인으로 논의될 뿐만 아니라, ICT와 경제성장의 관계를 비롯하여 에너지소비수준과 같은 환경성과에 관한 요인들을 포함하며, 분석하는 연구들도 점차 나타난다. 특히, 아래 <표 2>와 같이, 상당히 발전된 경제수준을 가진 OECD 국가를 비롯하여 저개발 및 저소득국가에 이르기까지 이들 연구가 비교적 다양한 국가단위에서 수행된 것으로 확인된다. 그러나 흥미로운 사실은 현 시점을 기준으로 이러한 선행연구가 대체로 경제수준이 높은 OECD 국가보다 한창 산업화와 경제성장을 도모하는 개발도상국을 대상으로 더욱 활발하게 나타난다는 점이다.

이러한 현상은 오늘날 국가의 경제성장과 발전과정에서 ICT의 역할이 더욱 중요해지는 동시에, 과거보다 더욱 엄격하게 적용되는 환경성과와 환경영향을 반영하는 전세계적인 정책동향으로 인하여 개발도상국은 ICT를 통한 경제성장 외에도 이 과정에서 나타나는 에너지소비와 탄소배출 등에 대한 고려도 함께 이루어지는 측면이 강조된다.

반면에, 높은 경제수준을 보유한 OECD 국가를 비롯하여 그 중, ICT 수준도 매우 높은 국내에서는 이에 관한 학술연구가 매우 드문 실정이다. 특히, ICT 분야에서 가장 핵심적인 빅테크 기업들을 대거 확보하고 있는 미국을 비롯한 주요 ICT 선진국에서 이러한 기술발전과 에너지소비수준의 관계를 분석한 실증연구가 의외로 많지 않다는 점은 흥미로운 대목이다.

이로부터 본 연구는 기존 연구에서 나타나는 핵심변수인 ICT와 경제성장, 그리고 에너지소비수준에 관한 실증연구를 바탕으로 다음의 주요 논점을 발견하였다. 첫째, 기존 연구에서 발견된 사실은 ICT의 도입과 발전이 국가의 경제성장과 발전에 기여하면서 이 과정에서 에너지소비도 늘어나는 분석결과가 제시된다는 점이다. 그러나 이러한 현상이 반드시 모든 분석결과에서 공통적으로 확인되는 것은 아니며, 오히려 이와 상반되거나 통계적으로 충분히 확인되지 않는 복합적 분석결과도 상당 수 나타났다.

그 중, 흥미로운 사실은 대체로 해당 연구가 어떠한 국가군을 대상으로 수행되었는가에 따라서 관련 논의가 다르게 전개되는 것을 발견하였다. 대표적으로 OECD 국가를 대상으로 수행한 실증분석에서는 ICT지수가 개선될수록 국가의 에너지소비수준은 늘어나는 결과도 나타나지만(Salahuddin 외, 2016), 이와 달리 오히려 개선되거나 복합적인 결과로 나타나기도 한다(Schulte 외, 2016, Ishida, 2015). 반면에, 개발도상국을 대상으로 수행된 실증연구에서는 ICT의 도입과 확대가 경제성장과 발전에 기여하면서 이들 국가의 에너지소비수준도 높아지는 결과가 더욱 보편적으로 나타난다(Ren 외, 2021, Haseeb 외, 2019, Afzal & Gow, 2016, Sadorsky, 2012).

결국, 이러한 결과의 차이는 ICT와 에너지소비양상의 비선형적(non-linear) 관계가 존재

할 수 있음을 보여주는데, 특히 국가의 경제수준과 ICT 수준에 따라서 ICT의 상반된 효과가 더욱 극명하게 갈리면서 각국의 에너지소비양상도 다르게 나타날 수 있음을 시사한다(Lange 외, 2020). 더욱이, ICT의 에너지소비양상은 국가의 경제적 특성과 제도적 여건에 의하여 이 같은 ICT의 특정효과가 더욱 강화되면서 분석대상에 따라서 국가와 업체별 에너지소비수준은 다르게 전개될 수 있음을 의미한다.

또한, ICT가 경제성장에 기여하는 과정에서 기술발전과 혁신을 비롯하여 산업전환 등을 통하여 사회 전반에 미치는 효과가 더욱 클수록 ICT의 에너지소비양상은 국가의 경제성과 발전을 도모하면서 지속적으로 개선되거나 보다 효율적인 방향으로 관리, 운용될 수 있음을 시사한다. 그러므로 기존 연구는 ICT의 복합적이고 상반된 에너지소비효과를 보여주면서 국가의 IT 수준과 사회·경제적 환경을 비롯한 제도적 여건과 특성에 따라서 ICT의 에너지소비양상은 특정 효과가 더욱 강화되거나 약화되므로 관련 업계와 사회 전반의 에너지 소비패턴과 소비구조는 각기 다르게 전개될 수 있음을 의미한다.

나아가, 본 연구는 선행연구를 바탕으로 ICT와 환경정책, 그리고 에너지소비수준의 관계를 분석하는데 적용하는 핵심변수들을 살펴보았다. 특히, 본 연구의 핵심변수인 ICT 변수는 기존 연구에서 국가별 패널데이터에 기반한 실증분석을 수행한다는 점에서 World Bank와 OECD 등 주요 국제기구에서 제시하는 공식데이터와 지표를 공통적으로 적용하는 것으로 확인된다. 대표적으로 Appiah-Otoo와 Song(2021)에 따르면, ICT 변수는 3가지 유형으로 분류, 통합한 변수로서 개인인터넷 사용, 휴대폰인터넷 구독, 고정 광대역 서비스 구독수준을 적용한 설명변수와 이를 통합한 지표(index)를 설명변수로 적용하였다.

뿐만 아니라, Haseeb 외(2019), Salahuddin 외(2016)는 이 중, 2가지 ICT 변수인 개인인터넷 사용과 모바일인터넷 구독수준을 적용하는 등 선행연구에서 공통적으로 국제기구의 ICT 지표(indicators)를 반영하면서 비교적 유사한 측정변수가 확인된다. 다만, Ren 외(2021)의 경우, 중국지역을 대상으로 한 실증연구라는 점에서 자국 내에서 자체적으로 수집, 공표하는 ICT 변수를 적용하였다.

한편, 환경정책과 에너지소비수준의 관계를 분석한 실증연구는 비교적 쉽게 확인되지 않지만, 최신 연구에서 관련 연구들이 발견된다. 대표적으로 Yan 외(2023)의 연구는 중국지역을 대상으로 지방정부의 환경정책수준이 엄격할수록 해당 지역의 에너지소비량은 낮게 나타나고, 에너지효율은 높게 나타나는 분석결과를 제시한다(Yan 외, 2023). 특히, 해당 연구에서 종속변수로 적용한 에너지효율수준은 전체 에너지사용량 대비 지역생산량을 반영하는데, 이 같은 분석결과는 정부의 환경정책과 같은 제도적 요인이 에너지사용량과 같은 환경성과 외에도 관련 기술개발과 혁신을 통하여 나타나는 에너지효율개선효과를 보여줌으

로써 환경성과와 경제성과를 두루 반영하는 논의를 제시해준다(Yan 외, 2023).

이러한 맥락에서 정부의 환경정책과 같은 제도적 요인은 환경성과와 경제성과를 동시에 달성하는데 핵심요인으로 작용할 수 있다는 점에서 앞서 제시된 Porter의 논의처럼 정부정책과 제도적 요인이 상반된 기술효과를 보다 환경친화적인 방향으로 강화하는데 기여할 수 있다는 점에서 매우 중요한 정책함의와 시사점을 제공해준다(석조은 외, 2021). 특히, 앞서 제시된 ICT와 에너지소비수준의 관계를 실증 분석하는 연구에서 이 같은 정부정책과 제도적 요인을 반영한 실증연구가 매우 드물다는 점에서 이러한 논의는 향후 지속가능한 발전을 달성하는데 필요한 정부정책과 법제도의 측면에서 중요한 의미를 가진다(Yan 외, 2023).

한편, 기존 연구에서 종속변수인 에너지소비수준은 대체로 국가의 에너지소비량 또는 GDP 대비 에너지소비수준을 적용한다. 특히, 전자의 경우, 대다수의 연구에서 이들의 측정값을 적용, 분석하지만, 이 과정에서 종속변수에 직간접적으로 영향을 미치는 여러 변수들을 통제하며, 이에 관한 ICT의 복합적 양상을 도출하는데 보다 신중한 분석과 해석이 요구된다. 그러므로 일부 연구에서는 종속변수로 에너지소비증감량 또는 GDP 대비 에너지소비량으로 전환하여 종속변수에 대한 제3의 변수의 영향력을 보다 효과적으로 통제하면서 해당 변수의 (t-1)기 과거값을 반영하는 패널분석방법을 수행하는 연구들이 확인된다. 가령, 이 같은 연구모형의 특성상, 기존 연구에서 시스템 GMM 분석방법을 비롯한 보다 동태적이고 정교화된 분석방법을 적용하는 실증연구들이 다수 확인된다.

〈표 2〉 ICT와 에너지소비수준에 관한 주요 실증연구

연구자 (연도)	연구대상 (분석시기)	분석방법	연구결과 (에너지소비수준)
Ren 외 (2021)	중국(지역) (2006-2017)	확률효과(RE) 패널분석, GMM 패널분석	ICT의 발전과 확대에 인하여 에너지소비규모(scale)는 증가되는 반면에, 에너지소비구조(structure)와 에너지소비집중도(intensity)는 감소되는 결과가 확인됨.
Haseeb 외 (2019)	BRICS 5개국 (1994-2014)	Granger 인과적 패널분석	ICT와 전력사용증가는 (+)관계가 나타나며, 탄소배출량과는 양방향(bidirectional) 관계가 확인됨.
Salahuddin 외 (2016)	OECD 20개국 (1985-2012)	PMG (Pooled Mean Group) 패널분석	인터넷 사용자의 증가는 경제성장 및 전력소비량의 증가되는 결과로 나타남. (최초의 OECD 국가 패널분석)
Afzal & Gow (2016)	개도국 7개국 (1990-2014)	동태적 패널분석 (PMG, GMM)	ICT와 에너지사용량 증가에 관한 정(+)의 관계를 확인함.

Schulte 외 (2016)	OECD 10개국 27개 분야(업종) (13년치 패널)	고정효과(FE) 패널분석	ICT 투자증가에 따른 총 에너지 수요량이 감소되는 결과가 확인되며, 이는 비(非)전력에너지 분야에서 나타남. 반면에, 전력분야에서는 별다른 양상이 확인되지 않음.
Ishida (2015)	일본 (1980-2010)	ARDL (Auto-regressive distributed lag) 패널분석	ICT 투자증가에 따른 복합적 결과를 확인한 가운데, 장기적으로는 에너지소비량이 감소하는 결과가 나타남.
Sadorsky (2012)	개발도상국 19개국 (1993-2008)	GMM 패널분석	인터넷 사용자의 증가에 따른 전력소비량의 증가를 확인함. (최초의 개발도상국 패널분석)

*참고: 국내 연구는 발견되지 않음.

3. 본 연구의 차별점과 연구의의

이처럼 선행연구는 다양한 지역의 국가들을 대상으로 ICT와 에너지소비수준의 관계를 실증 분석하면서 ICT의 발전과 이용확대가 국가의 에너지소비수준에 미치는 결과를 제시하는데 주력한다. 다만, 기존 논의에서 ICT의 효과는 에너지소비수준에 대한 정(+)의 관계가 주로 나타나지만, 이와 상반되거나 복합된 결과들도 종종 발견된다(Lange 외, 2020, Haseeb 외, 2019). 또한, 기존 연구는 환경정책을 비롯한 관련 정부정책과 제도적 요인을 반영하지 않고 ICT의 효과에 관한 경제 분석에만 국한된 연구가 대다수를 이룬다. 그러므로 기존 연구는 ICT가 지속가능한 발전을 도모하는데 필요한 정책시사점과 함의를 충분히 논의하지 못하는 한계가 나타난다.

이로부터 본 연구는 이러한 ICT의 발전과정에서 이들의 복합적인 에너지소비양상을 고려하면서 ICT와 에너지소비수준의 상반된 특성을 반영하는 비선형적(non-linear) 관계를 적용하는 실증연구를 수행한다. 또한, 기후변화 대응을 위한 정부의 환경정책수준을 본 연구에 반영함으로써 ICT의 급속한 발전과 확대과정에서 ICT가 보다 지속가능한 발전에 기여하는데 필요한 정부의 역할과 정책시사점을 제공할 수 있다(Yan 외, 2023, 석조은, 2022).

특히, 본 연구는 기존 연구에서 대한민국을 비롯하여 높은 경제수준과 ICT 수준을 보유한 OECD 국가를 대상으로 수행된 실증연구가 비교적 드물다는 점에서 이에 관한 이론적 논의와 분석결과를 제시하며, 후속연구의 토대를 제공한다.²⁾ 뿐만 아니라, 본 연구는 전세계적으로 기후변화 대응이 시급한 오늘날, 급속한 디지털 전환이 이루어지는 과정에서 이러한 기술발전과 혁신이 지속가능한 발전에 부합되도록 이를 이끌어 가는데 더욱 높은 사회적 책

2) Salahuddin 외(2016)에 따르면, 자신들의 연구가 OECD 국가를 대상으로 ICT와 에너지소비수준의 관계를 실증 분석한 최초의 연구라고 언급한 바 있다(Salahuddin 외, 2016, p.186, p.192).

임과 기대를 요구받는 OECD 국가를 연구대상으로 적용한다는 점에서 또 다른 연구의의와 연구목적を 가진다.

III. 연구모형과 분석방법

1. 연구가설과 연구모형

먼저, 본 연구는 선행연구와 같이, ICT의 발전과 이용수준이 높아질수록 IT분야의 확대, 기술혁신에 따른 생산성 증가 및 업무효율개선 등으로 인하여 경제활동이 활발해지면서 국가의 에너지소비수준도 더욱 늘어나는 결과를 제시한다(Lange 외, 2020, Appiah-Otoo와 Song, 2021, Ren, 2021, Salahuddin 외, 2016). 실제로 이 같은 논의는 ICT의 직접효과와 경제효과로도 설명되는데, ICT의 발전과 이용확대는 국가경제에서 노동생산성과 생산효율성을 제고하며, 경제성과를 높이는 과정에서 이들의 에너지소비도 증가한다고 본다(Lange 외, 2020). 그러므로 본 연구는 ICT 수준이 높을수록 국가의 에너지소비수준도 늘어난다는 [연구가설 1]을 제시한다.

연구가설 1. ICT 수준이 높을수록 국가의 에너지소비수준은 높을 것이다.

반면에, ICT가 발전할수록 기술혁신에 따른 노동생산성과 생산효율성이 제고되면서 동일한 에너지사용량 대비 더 많은 생산량을 산출하는 등 에너지효율이 개선되는 결과가 나타난다. 즉, 이 같은 에너지효율개선은 기존 대비 더 높은 생산성과 효율성을 달성하면서 에너지효율개선에 따른 에너지소비감소가 발생할 수 있다. 또한, 기술발전에 따른 노동력 대체로 인하여 에너지소비가 많은 제조업 중심의 산업구조가 점차 서비스업으로 전환되면서 이를 통한 에너지소비절감효과가 나타나기도 한다(Lange 외, 2020). 특히, 본 연구의 분석대상이 OECD 국가라는 점에서 이러한 기술혁신과 발전에 따른 에너지효율개선효과와 산업효과는 더욱 크게 나타날 수 있다. 그러므로 본 연구는 ICT 수준이 높을수록 국가의 에너지소비수준은 개선된다는 [연구가설 2]를 도출한다.

연구가설 2. ICT 수준이 높을수록 국가의 에너지소비수준은 낮을 것이다.

이 같은 ICT의 상반된 에너지소비양상은 기후변화 대응을 고려하는 정부정책과 관련

법·규제 등 제도적 요인과 여건에 의하여 보다 환경친화적인 경제성장과 발전을 도모하는 방향으로 전개될 수 있다(석조은 외, 2021, 석조은, 2022). 실제로 기후변화 대응을 위한 각국의 강력한 정책대응과 이행노력은 ICT의 에너지소비양상에도 상당한 영향을 미치는 기술개발과 혁신을 더욱 강화하면서 환경친화적인 ICT의 운용과 기술발전을 도모하는 제도적 환경과 사회 인프라를 구축하는데 중요한 역할을 한다(Yan 외, 2023, Salahuddin 외, 2016). 그러므로 본 연구는 기후변화 대응에 관한 정부정책을 고려하여 정부의 환경정책수준이 높을수록 지속가능한 발전에 부합하는 에너지소비수준이 나타난다는 다음의 [연구가설 3]을 제시한다.

연구가설 3. 환경정책수준이 높을수록 국가의 에너지소비수준은 낮을 것이다.

2. 분석방법과 변수선택

1) 자료수집과 분석방법

본 연구의 수행과정은 다음과 같다. 대한민국을 포함한 OECD 23개국의 2010년~2019년 패널데이터를 대상으로 ICT와 환경정책, 그리고 에너지소비수준과의 관계를 단계적으로 실증 분석한다.³⁾ 특히, 종속변수는 국가의 연도별 에너지소비수준을 적용하고, 설명변수로 ICT의 1차항(x) 및 2차항(x^2) 변수, 환경정책을 반영하는 변수를 포함한다. 또한, 통제변수는 선행연구를 바탕으로 각국의 산업특성과 경제수준을 반영하는 제조업 비중과 1인당 GDP 변수를 포함하는 연구모형을 수립한다(Ren 외, 2021, Salahuddin 외, 2016). 이 과정에서 설명변수와 통제변수는 (t-1)기 시차를 적용하고, 국가 및 연도효과를 통제하는 분석결과를 도출한다.

$$\text{에너지소비수준}_{i,t} = \alpha_{i,t-1} + \beta_1 \text{ICT}_{i,t-1} + \beta_2 \text{ICT}_{i,t-1}^2 + \beta_3 \text{환경정책}_{i,t-1} + \mu_i + \delta_{t-1} + \epsilon_{i,t-1}$$

(i = 국가, t = 연도)

뿐만 아니라, 본 연구는 종속변수인 국가의 에너지소비수준의 (t-1)기 과거값을 연구모형에 포함함으로써 연구모형에서 누락되거나 잠재된 제3의 변수효과를 제어하는 분석결과를

3) 분석대상은 호주, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 아일랜드, 이태리, 일본, 한국, 룩셈부르크, 네덜란드, 뉴질랜드, 노르웨이, 폴란드, 포르투갈, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국, 미국이다.

제시한다. 특히, 본 연구는 종속변수의 (t-1)기 과거값을 연구모형에 반영하는 패널분석방법에서 연구모형의 내생성과 패널데이터의 자기상관성을 통제하고자 동태적 분석방법인 시스템 GMM(Generalized Method of Moments, 일반화적률방법)을 적용한다(Ren 외, 2021, Appiah-Otto 외, 2021, 민인식 외, 2012).

2) 변수선정

(1) 종속변수

먼저, 종속변수인 에너지소비수준의 측정변수는 2가지 변수로 적용한다. 첫째, 연도별 에너지사용규모(전력 사용, Billion Kwh.)이며, 둘째 변수는 연도별 GDP 대비 에너지사용량(비중, %)을 적용하는데, 이는 에너지소비집중도(intensity)를 의미한다(Ren 외, 2021). 다만, 해당 측정값은 전년도 (t-1)기 과거값과 매우 긴밀히 연관되는 특성을 고려하여 이를 연구모형에 포함한다. 특히, 첫째 측정변수인 에너지소비규모의 데이터 분포상, 광범위한 표준편차를 관리하고자 측정값에 자연 로그(log)를 적용하여 분석한다(Salahuddin 외, 2016). 또한, 둘째 측정변수인 국가 경제수준 대비 연도별 에너지소비량을 적용한 에너지소비집중도(intensity)는 국가의 경제수준을 고려하며, ICT의 이용에 따른 이들 국가의 에너지소비수준을 파악하는 장점을 가진다(Ren 외, 2021).

(2) 설명변수

본 연구는 설명변수인 ICT의 측정변수로서 관련 선행연구(Appiah-Otto와 Song, 2021, Salahuddin 외, 2016)로부터 1) 개인 인터넷 사용수준, 2) 모바일 인터넷망 구독수준(인구 100명당), 3) 고정광대역 유선 인터넷망 구독수준(인구 100명당)을 선정하고 이를 적용한다. 특히, 해당 측정변수는 다양한 선행연구에서 공통적으로 제시되는 World Bank의 ICT 지수에 해당되는 데이터를 추출한다.

이로부터 본 연구는 기존 연구방식을 수용하여 설명변수인 ICT의 측정변수를 적용한다(Appiah-Otto와 Song, 2021, Salahuddin 외, 2016).⁴⁾ 또한, 기존 연구에서 지속적으로 제기되어온 ICT와 에너지소비수준의 비선형적(non-linear) 관계를 반영하고자 ICT의 2차항(x^2) 변수를 연구모형에 추가로 포함하고 분석결과를 제시한다(Lange 외, 2020). 이로부터 본 연구는 ICT가 에너지소비수준에 미치는 복합적 양상을 확인하며, 이에 관한 연구가설을

4) 연구모형에서 설명변수 간 다중공선성(multi-collinear) 문제가 존재하는 경우, 분석결과와 오류를 통제하고자 이를 하나의 지수(index)로 통합하는 방법도 존재하는데, 본 연구에서는 이러한 다중공선성 문제가 확인되지 않으므로 이를 개별 적용, 분석한다.

단계적으로 검증한다.

한편, 또 다른 설명변수인 각국의 환경정책에 관한 측정변수는 OECD의 환경정책지수인 EPS(Environmental Policy Stringency)를 반영한다⁵⁾(Albulescu 외, 2022, Yirong, 2022, 석조은 외, 2021). 해당 자료는 OECD의 공식지표로서 OECD 국가를 대상으로 기후변화 관련 환경정책 전반의 엄격성(stringency)를 조사, 측정된 자료로서 0점부터 6점에 이르는 연속형 척도로 구성된다⁶⁾(OECD, 2017). 특히, 본 연구의 분석대상이 고도의 경제수준을 달성한 OECD 국가라는 점에서 이러한 환경정책변수는 OECD 국가에 대한 공통기준과 항목을 적용하며, 기후변화 관련 환경성과를 관리하는 각국의 정부정책과 제도적 수준을 반영하는 지표로서 적용된다.

(3) 통제변수

통제변수로는 선행연구를 바탕으로 국가의 경제수준과 산업특성을 반영하는 제조업 비중과 경제지표(GDPP)을 적용한다(석조은, 2022, Ren 외, 2021, Salahuddin 외, 2016). 이러한 측정변수는 기존 연구에서 국가의 경제발전과 산업특성을 보여주는 변수로서 경제가 발전되고 산업화가 진전될수록 에너지사용수준이 높아지는 측면을 설명하는데 주요 통제변수로 제시된다. 이 외에도 모든 분석모형에서 연도효과를 고려하여 이를 통제하는 분석결과를 도출한다.⁷⁾

〈표 3〉 주요 변수의 선정

	변수명	측정변수(단위)	출처
종속 변수	에너지소비수준 (1) 소비규모(scale), (2) 소비집중도(intensity)	(log) 에너지사용량(전력, Bil. Kwh.)	US EIA (2022)
		에너지사용량, GDP 대비 (%)	

- 5) OECD의 EPS(Environmental Policy Stringency)는 국내 정부부처에서 “환경정책 엄격성”이라는 용어로 사용하는 경우도 있지만, 통상적으로 학계와 정책현장에서 “Policy(Regulation) Stringency”는 “정책(규제) 강도(強度)”라는 용어로 널리 사용되기도 한다. 다만, 정부의 환경규제에 관한 측정지표가 기존연구에서 다양한 방식과 측정변수로 적용되어 왔으나, 최근에는 OECD의 EPS 지수를 바탕으로 이를 반영하는 연구들이 늘어나면서 해당 용어(EPS)가 직접 사용되기도 한다. 그러므로 본 연구는 이를 반영한다.
- 6) 해당 지표는 OECD 국가들을 대상으로 ‘시장유인적’ 정책수단과 ‘비(非)시장적’ 정책수단을 포함한 기후변화 및 대기관련 환경정책수단 전반에 관한 엄격성(stringency)을 조사, 수집한 결과로서 이에 관한 보다 자세한 설명은 OECD(2014, 2017)을 통해서 확인할 수 있다(석조은 외, 2021).
- 7) 다만, 시스템 GMM 분석모형에서 국가변수는 시간불변(time-invariant) 변수로서 종속변수의 (t-1)기 과거값에서 해당 변수의 효과가 통제되므로 분석결과에는 포함되지 않는다. 실제로 해당 변수를 반영하여 시스템 GMM 분석방법을 수행하는 경우, 다중공선성 문제로 인하여 이를 제외한 분석결과가 도출된다.

설명 변수	개인 인터넷 이용수준	인터넷 사용자, 전체 인구 대비(%)	WB (2024)
	모바일 인터넷망 구독수준	모바일 인터넷망 구독자, 인구 100명당	WB (2024)
	고정 광대역 유료 인터넷망 구독수준	고정 광대역 유료 인터넷망 구독자, 인구 100명당	WB (2024)
	환경정책수준 (eps)	환경정책지수(EPS)	OECD (2021)
통제 변수	제조업 산업비중	제조업 비중, GDP 대비	WB (2021)
	경제수준 (gdpp)	1인당 GDP 수준	OECD (2021)

IV. 분석결과

1. 기초통계량

분석변수의 기초통계량을 살펴보면, 다음과 같다. 먼저, 첫째 종속변수인 국가별 에너지 소비규모(scale)의 평균값은 4.996 수준이며, 최대값(8.302)와 최소값(1.808)을 가진다. 두 번째 종속변수인 국가별 에너지소비집중도(intensity)는 GDP 대비 평균 3.691 수준이며, 최대값(1.34)과 최소값(7.17)을 가진다. 또한, 첫째 설명변수인 ICT의 측정변수별 기초통계량은 개인인터넷 이용수준(84.068), (인구 100명당) 모바일 인터넷 구독수준(7.901)과 고정 광대역 유료인터넷 구독수준(3.287)의 평균값이 확인된다. 다만, 모바일 인터넷 구독수준과 고정 광대역 유료인터넷 구독수준 변수의 경우, 표준편차의 범위를 줄이고자 기존 값의 1/10을 적용하여 기초통계값을 분석한 결과다.

또 다른 설명변수인 환경정책지수(EPS)는 OECD 국가 기준, 평균 3.181 수준이며, 최소값(0.78)과 최대값(4.72)으로 나타난다. 이러한 결과는 해당 측정값의 측정구간이 최소값(0)과 최대값(6)임을 고려하면, OECD 국가의 환경정책지수는 비교적 평균값으로 중간값 수준을 약간 상회하며, 표준편차도 비교적 크지 않다. 한편, 통제변수인 제조업 비중(13.733)과 1인당 GDP 수준(1.445)의 평균값도 확인된다.

한편, 주요 변수의 상관관계 분석결과⁸⁾를 살펴보면, 첫째 종속변수인 에너지소비규모(scale)는 (t-1)기 과거값과 $\beta=0.999$ 의 매우 높은 통계적 유의성($p < 0.01$)을 가지며, ICT의

8) <별첨 1>에서 확인할 수 있다.

측정변수 중, 개인인터넷 사용수준($\beta=-0.179$), 모바일인터넷 구독수준($\beta=0.190$), 고정광대역 유료 인터넷망 구독수준($\beta=-0.009$) 중, 개인인터넷 사용수준과 모바일인터넷 구독수준의 통계적 유의성($p < 0.01$)만 유의미하게 나타난다.

반면에, ICT의 2차항(x^2) 변수를 적용한 개인인터넷 사용수준($\beta=-0.161$), 모바일인터넷 구독수준($\beta=0.171$), 고정광대역 유료 인터넷망 구독수준($\beta=0.001$) 중, 개인인터넷 사용수준과 모바일인터넷 구독수준만 통계적 유의성($p < 0.05$)이 나타난다. 반면에, 또 다른 설명변수인 환경정책지수($\beta=0.015$)를 비롯하여 통제변수인 제조업 비중($\beta=0.136$)과 GDP 수준($\beta=-0.032$)의 상관관계를 분석한 결과, 제조업 변수의 통계적 유의성($p < 0.1$)만 확인된다.

두 번째 종속변수인 에너지소비집중도(intensity)의 상관관계 분석결과⁹⁾를 살펴보면, (t-1)기 과거값은 높은 설명력($\beta=0.995$)과 통계적 유의성($p < 0.01$)을 가지지만, ICT의 측정변수인 개인인터넷 사용수준($\beta=0.082$), 모바일인터넷 구독수준($\beta=0.003$), 고정광대역 유료 인터넷망 구독수준($\beta=-0.056$)은 별다른 통계적 유의성이 확인되지 않는다. 또한, ICT의 2차항(x^2) 변수로서 개인인터넷 사용수준($\beta=0.096$), 모바일인터넷 구독수준($\beta=0.018$), 고정광대역 유료 인터넷망 구독수준($\beta=-0.029$)의 통계적 유의성은 확인되지 않는다. 한편, 또 다른 설명변수인 환경정책지수($\beta=-0.195$)는 매우 높은 통계적 유의성($p < 0.01$)이 확인되며, 통제변수인 제조업 비중($\beta=-0.089$)과 GDP수준($\beta=-0.053$)의 통계적 유의성은 발견되지 않는다.

〈표 4〉 주요 변수의 기초통계량

변수명	평균값	표준편차	최소값	최대값
에너지소비규모	4.996	1.363	1.808	8.302
에너지소비집중도	3.691	1.315	1.34	7.17
개인 인터넷 사용	84.068	10.088	53.3	98.136
모바일 인터넷 구독	7.901	2.988	0.4	17.23
고정 광대역 인터넷	3.287	0.660	1.517	4.634
환경정책수준	3.181	0.743	0.78	4.72
제조업	13.733	5.819	3.952	34.903
GDPP	1.445	2.199	-3.667	23.999

9) 상동.

2. 패널 분석결과

본 연구는 OECD 국가의 ICT와 환경정책, 에너지소비수준의 관계를 분석하면서 설명변수인 ICT의 2차항 변수를 추가로 반영함으로써 기존 연구에서 제시되는 ICT와 에너지소비수준의 비선형적(non-linear) 관계를 확인하고 종속변수의 (t-1)기 과거값을 반영함으로써 연구모형의 내생성과 자기상관성을 통제하는 시스템 GMM 분석결과를 바탕으로 연구가설을 검증한다.

먼저, 첫째 종속변수인 국가별 에너지소비규모(scale)의 분석결과를 살펴보면, 종속변수의 (t-1)기 과거값은 모든 분석결과에서 비교적 높은 설명력($\beta = 0.995$, $\beta = 0.996$)과 통계적 유의성($p < 0.01$)을 가진다. 특히, 설명변수인 ICT의 1차항 변수만을 반영한 분석결과(1)를 살펴보면, 개인인터넷 사용수준($\beta = 0.001$)과 고정광대역 유료 인터넷 구독수준($\beta = -0.016$)은 서로 상반된 β 값의 부호를 가지며, 통계적 유의성은 부분적으로 확인된다($p < 0.1$). 반면에, 모바일인터넷 이용수준은 $-\beta$ 값을 가지며, 통계적 유의성은 발견되지 않는다.

한편, ICT의 2차항 변수를 포함한 분석결과(2)를 살펴보면, ICT 변수의 1차항의 분석값에서 별다른 통계적 유의성은 확인되지 않지만, 2차항(x^2)의 분석결과에서는 모바일인터넷 구독수준($\beta = 0.058$)만 통계적 유의성이 부분적으로 발견된다($p < 0.1$). 동시에, 분석결과(2)에서 ICT 변수 중, 통계적 유의성은 존재하지 않지만, 해당 변수 1차항과 2차항 값에서 서로 상반된 β 값이 나타나면서 ICT와 에너지소비수준의 비선형적 관계가 존재할 수 있음을 보여준다.

이로부터 본 연구는 OECD 국가의 에너지소비규모(scale)를 기준으로 ICT 수준이 높아질수록 국가별 에너지소비수준도 높아지는 결과와 함께 ICT의 복합적 양상도 발견함으로써 [연구가설 1]과 [연구가설 2]를 뒷받침하는 결과를 확보한다. 특히, ICT 수준과 에너지소비수준의 관계가 서로 상반된 결과를 가지는 비선형적 관계가 확인되면서 에너지소비규모(scale)의 경우, ICT와 정(+)의 관계가 부분적으로 더욱 명확하게 발견된다.

한편, 또 다른 설명변수인 환경정책(EPS)의 경우, 첫째 종속변수인 에너지소비규모에 관한 분석결과에서는 별다른 통계적 유의성이 발견되지 않으며, β 값의 부호도 (+)로 나타난다. 그러므로 본 연구는 국가의 환경정책과 에너지소비규모의 유의미한 관계가 확인되지 않으므로 [연구가설 3]을 지지하지 않는다. 이 외에도 통제변수인 제조업 비중과 GDP 수준의 β 값도 통계적 유의성은 발견되지 않는다.

다음으로 두 번째 종속변수인 에너지소비집중도(intensity)의 분석결과를 살펴보면, 종속변수의 (t-1)기 과거값은 모든 분석결과에서 높은 설명력($\beta = 0.881$, $\beta = 0.862$)과 통계적

유의성($p < 0.01$)을 가진다. 또한, 설명변수인 ICT의 1차항 변수만을 반영한 분석결과(3)에서 에너지소비집중도에 대한 개인인터넷 사용수준은 별다른 영향을 가지지 않지만, 모바일 인터넷 구독수준($\beta = -0.001$, $p < 0.1$)과 고정광대역 유료 인터넷 구독수준($\beta = -0.015$, $p < 0.05$)은 에너지소비집중도와 (-)의 관계를 가지는 결과가 통계적으로 더욱 유의미하게 발견된다.

또한, ICT의 2차항(x^2) 변수를 반영한 분석결과(4)에서도 이러한 결과가 더욱 강화되어 나타난다. 특히, 분석결과(4)에서 모바일인터넷 구독수준은 1차항 변수와 2차항 변수의 β 값이 각기 상반된 부호($\beta = -0.004$, $\beta = 0.058$)를 가지는 동시에, 통계적 유의성도 각기 확인된다. 또한, 고정광대역 유료 인터넷 구독수준의 β 절대값($\beta = -9.132$)은 이전 분석결과(3)보다 더욱 높아지면서 통계적 유의성($p < 0.05$)도 확보된다. 이처럼 ICT의 2차항(x^2) 변수를 포함한 분석결과(4)로부터 ICT 수준이 높아질수록 국가의 에너지소비집중도(intensity)는 개선되는 결과가 통계적으로 더욱 명확하게 확인되며, 관련 변수의 상반된 분석결과도 동시에 발견된다.

그러므로 본 연구는 OECD 국가의 에너지소비집중도(intensity)에 관한 분석결과(3)과 (4)를 통하여 [연구가설 2]를 지지하는 결과를 확보하면서 ICT와 에너지소비수준의 비선형적(non-linear) 관계를 뒷받침하는 분석결과(4)를 통하여 [연구가설 1]을 지지하는 결과도 확인된다. 특히, 이러한 상반된 결과가 통계적으로 더욱 명확하게 제시되는 가운데, [연구가설 2]를 뒷받침하는 분석결과는 더욱 일관되게 나타난다. 또한, 분석결과(4)에서 ICT 변수인 모바일인터넷 구독수준의 2차항(x^2) β 값(0.058)은 1차항 β 값의 절대값(-0.004)보다 더욱 크므로 모바일인터넷 구독수준은 에너지소비집중도(intensity)에 관한 (+) 관계가 더욱 강하게 작용하는 결과가 확인된다.

반면에, 고정광대역 인터넷 구독수준은 분석결과(3)에서 β 값(-0.151)이 2차항(x^2) 변수를 반영한 분석결과(4)에서의 β 값(-0.913)보다 절대값이 더 커지면서 에너지소비집중도(intensity)에 대한 (-)효과는 더욱 강화되는 결과가 통계적으로 확인된다($p < 0.05$). 그러므로 본 연구는 ICT와 에너지소비집중도(intensity)의 비선형적 관계를 반영하는 분석결과(4)를 통하여 ICT 수준이 높아질수록 에너지소비수준은 개선된다는 [연구가설 2]를 더욱 강하게 지지하는 결과를 확보한다.

특히, 이러한 분석결과는 앞서 제시된 첫째 종속변수인 에너지소비규모(scale)의 분석결과와 비교하여 매우 흥미로운 사실을 보여준다. 가령, ICT 수준이 높아질수록 에너지소비규모(scale)는 늘어나지만, 에너지소비집중도(intensity)는 더욱 개선되는 결과가 통계적으로

상당히 일관되게 나타난다. 비록 ICT의 측정변수가 개인 인터넷 사용과 모바일, 고정광대역 인터넷 구독수준에 한정하여 분석한 결과지만, 이로부터 ICT 수준이 높아질수록 에너지소비수준은 반드시 무한정 에너지소비증가로만 이어지는 것은 아니며, 지속적인 기술개발과 혁신을 통하여 경제발전과 에너지소비감소라는 두 마리 토끼를 잡을 수 있는 가능성이 존재함을 보여준다.

이러한 배경에는 본 연구가 OECD 국가를 대상으로 수행되면서 고도로 발전된 경제수준과 ICT 수준을 보유한 국가일수록 ICT의 상반된 에너지효과가 더욱 명확하게 나타남을 보여주면서 ICT의 발전과 이용확대가 반드시 일방향(unidirectional)의 에너지소비효과로만 존재하는 것은 아님을 제시한다. 특히, ICT를 통한 기술발전과 사회혁신은 기존의 경제여건을 더욱 효율적이고 혁신적인 경제활동과 사회구조로 이행하는데 기여하면서 국가의 지속적인 경제발전을 도모하며, 사회 전반의 에너지소비구조와 에너지소비체계를 근본적으로 개선하는 새로운 기회와 가능성을 포함하고 있음을 시사한다.

그러므로 이러한 기술효과의 복합적 특성을 고려하여 정부는 급속하게 발전 중인 ICT의 기술개발과 혁신과정에서 이 같은 환경성과를 적극적으로 고려하며, 지속가능한 발전에 부합하도록 이에 필요한 정부정책과 제도적 방안을 관련 업계와 정책현장에 지속적으로 시행하며, 이를 지원할 필요가 있다. 다만, 본 연구는 OECD 국가에 한정된 국가단위 연구라는 점에서 다양한 국가군(群)을 폭넓게 반영하며, 기업과 산업분야를 분석단위로 적용하는 미시적 실증연구를 수행하면서 이들 논의를 더욱 정교하게 발전시킬 필요가 있다.

결론적으로 본 연구는 ICT의 이용확대와 발전과정에서 국가별 에너지소비증가 외에도 에너지효율개선 및 산업전환 등을 통한 에너지소비감소라는 상반된 양상을 발견하면서 보다 환경친화적인 기술혁신과 지속가능한 발전에 기여하는데 필요한 정부정책과 제도적 여건의 중요성을 제시한다. 즉, 본 연구는 ICT 수준이 높아질수록 OECD 국가의 에너지소비집중도(intensity)가 개선되는 결과를 통하여 국가의 경제수준 대비 에너지소비수준을 고려하면, 일정 수준 이상의 경제발전을 달성한 국가에서 ICT의 에너지효율개선과 기술효과는 더욱 크게 나타나고 있음을 시사한다.

뿐만 아니라, 기존 연구에서도 ICT의 발전과 확대는 국가의 경제성장과 발전에 기여하면서 사회 전반의 에너지효율개선과 산업전환 등을 통하여 경제효과와 에너지효율개선효과가 동시에 달성될 수 있음을 제시한 바 있다(Lange 외, 2020). 특히, ICT와 국가 경제성장의 관계를 분석한 Appiah-Otoo 외(2021)에 따르면, 국가의 경제수준이 높은 경우, 가령 중위 소득국가(middle income country)와 상위 소득국가(high income country)로 분류된 국가에서 ICT의 경제효과가 더욱 크게 나타나며, 특히 상위 소득국가에서 이러한 경제효과가 개

인인터넷 사용수준과 고정광대망 유료 인터넷 구독수준의 분석결과에서 가장 높게 나타나는 것으로 제시된다(Appiah-Otoo 외, 2021, Vu 외, 2020, Katz 외, 2018).

그러므로 본 연구는 이 같은 OECD 국가의 특성상, ICT 수준이 높을수록 에너지소비집중도(intensity)가 개선되는 분석결과가 나타나는 이유를 이로부터 제시할 수 있다. 즉, OECD 국가는 높은 경제수준과 ICT 수준과 함께 기후변화 대응을 비롯한 환경성과를 중시하는 사회·경제적 수준과 제도적 여건을 바탕으로 ICT의 경제효과 외에도 ICT의 기술혁신과 에너지효율개선을 통한 에너지소비절감과 산업효과도 더욱 강화되는 결과로 해석될 수 있다.

실제로 본 연구의 또 다른 설명변수인 환경정책지수(EPS)의 분석결과를 살펴보면, 기후변화 대응을 위한 환경정책 수준이 높을수록, 즉 더욱 엄격한 환경정책이 적용될수록 에너지소비집중도(intensity)는 개선되는 결과($\beta=-0.075$, $\beta=-0.087$)가 통계적으로 유의미하게 나타난다. 즉, 국가의 경제성과와 환경성과를 동시에 고려하는 측면에서 이 같은 에너지소비집중도(intensity)가 개선되는 결과는 정부정책을 통하여 이러한 양상을 관리하면서 지속가능한 발전을 도모하는데 이러한 제도적 요인이 ICT의 발전과정에서 중요한 역할을 함을 의미한다. 그러므로 본 연구는 에너지소비집중도(intensity)를 기준으로 기후변화 대응을 위한 정부의 환경정책수준이 높을수록 국가의 에너지소비수준이 개선되는 결과를 통하여 [연구가설 3]을 지지한다.

이를 정리하면, 본 연구는 OECD 국가를 대상으로 ICT와 환경정책, 그리고 에너지소비수준의 관계를 분석한 결과, ICT의 복합적 양상과 상반된 효과를 발견하면서 에너지소비규모는 증가되지만, 에너지소비집중도는 개선되는 분석결과를 통계적으로 확보한다. 또한, 이 과정에서 정부의 환경정책은 국가의 에너지소비집중도를 개선하는데 긍정적 역할을 할 수 있음을 보여준다. 나아가, 본 연구는 전세계적으로 급속한 ICT의 발전과정에서 이러한 기술이 기후변화 대응과 탄소중립을 도모하며, 지속가능한 사회발전에 부합하는데 필요한 정부의 역할과 제도적 여건의 중요성을 제시한다.

〈표 5〉 ICT와 에너지소비수준 시스템 GMM 분석결과

에너지 소비수준 (ene)	(1)규모 (scale)	(2)규모 (scale)	(3)집중도 (intensity)	(4)집중도 (intensity)
	β (s.e)	β (s.e)	β (s.e)	β (s.e)
ene (t-1)	0.995*** (0.005)	0.996*** (0.005)	0.881*** (0.118)	0.862*** (0.130)
ind (ind)	0.001* (0.001)	0.001 (0.002)	0.005 (0.006)	-0.001 (0.028)
mobile (mob)	-0.001 (0.001)	-0.003 (0.002)	-0.014* (0.007)	-0.041*** (0.015)
fix (fix)	-0.016* (0.009)	-0.018 (0.085)	-0.151** (0.067)	0.393 (0.283)
ind^2 (ind2)	-	-0.048 (0.115)	-	0.366 (1.108)
mob^2 (mob2)	-	0.058* (0.033)	-	0.580** (0.243)
fix^2 (fix2)	-	0.039 (1.323)	-	-9.132** (4.405)
환경정책 (eps)	0.008 (0.005)	0.008 (0.006)	-0.075* (0.042)	-0.087* (0.048)
제조업 (mfc)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	0.008 (0.010)	0.010 (0.011)
GDPP (gdpp)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	0.009 (0.006)	0.011 (0.007)
cons	-0.024 (0.047)	0.241 (0.752)	0.417 (0.534)	2.103 (6.695)
연도효과	포 함			
N	206	206	206	206
AR(1)	-3.654***	-3.613***	-2.811***	-2.768***
AR(2)	-0.641	-0.657	0.132	0.061
Sargan chi2	43.31622	42.327	49.004	52.948
Wald chi2	220841.12	411934.13	5327.39	4423.92

*유의수준: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

*설명변수 및 통제변수 (t-1)기 적용

V. 결론 및 정책적 함의

본 연구는 대한민국을 포함한 OECD 23개국의 2010년부터 2019년의 패널데이터를 대상으로 ICT와 환경정책, 그리고 에너지소비수준의 관계를 시스템 GMM 분석방법을 통하여 실증 분석한다. 특히, 본 연구는 ICT 수준이 높아질수록 국가의 경제성장과 발전에 기여한다는 선행연구로부터 ICT의 경제효과 외에도 이 과정에서 나타나는 에너지효율개선과 산업효과 등 상반된 에너지소비양상을 고려하면서 ICT와 에너지소비수준의 비선형적(non-linear) 관계를 적용하는 연구모형과 분석결과를 도출한다. 특히, 종속변수인 에너지소비수준에 관한 2가지 측정변수로서 에너지소비규모(scale)와 에너지소비집중도(intensity)를 적용하고, 이들의 분석결과를 다음과 같이 제시한다.

첫째, ICT 수준이 높아질수록 OECD 국가의 에너지소비규모(scale)는 늘어날 뿐만 아니라, 상반된 결과도 부분적으로 확인된다. 특히, ICT 효과의 복합적 양상은 에너지소비규모가 늘어나는 결과가 더욱 명확히 나타나면서 기존 연구처럼 ICT의 직접효과와 경제효과로부터 국가의 경제성장과 발전과정에서 더 많은 에너지소비량이 촉발될 수 있음을 보여준다(Lange 외, 2020). 다만, 이러한 결과의 통계적 유의성은 부분적으로 확인된다.

그러나 더욱 흥미로운 사실은 또 다른 종속변수인 에너지소비집중도(intensity), 즉 경제수준 대비 에너지소비량(%)을 적용한 분석결과에서 ICT의 에너지소비절감효과가 더욱 명확하게 확인되는 분석결과가 통계적으로 일관되게 나타난다. 즉, ICT 수준이 높아지면서 에너지소비량은 지속적으로 증가하더라도 그에 상응하는 경제성장과 발전수준을 고려하면, 이 과정에서 비롯되는 기술발전과 혁신, 산업전환 등에 따른 에너지효율개선과 에너지소비수준의 개선은 더욱 높게 나타난다. 그러므로 ICT의 경제효과에 상응하는 에너지효율과 소비절감의 기술효과는 더욱 높아지므로 지속가능한 발전에 부합하는 에너지소비수준을 달성할 수 있는 가능성을 보여준다.

실제로 본 연구의 분석대상인 OECD 국가는 높은 경제수준과 ICT 수준을 보유하면서 ICT의 경제효과가 더욱 크게 나타날 뿐만 아니라(Appiah-Otoo 외, 2021, Vu 외, 2020, Katz 외, 2018), 환경친화적인 기술발전과 혁신을 통한 에너지효율개선과 에너지소비절감을 뒷받침하는 사회·경제적 여건과 제도적 환경이 동반되므로 이러한 기술효과는 더욱 높게 나타날 수 있다. 특히, ICT의 상반된 에너지소비양상은 급속한 기술발전과 확대과정에서 관련 업계가 당면한 정부정책과 규제, 제도적 여건에 의하여 기술발전의 방향이 상당한 영향을 받는다는 점에서 이러한 ICT의 발전과 이용확대가 기후변화 대응과 탄소중립을 도모하며, 지속가능한 발전에 부합하는데 필요한 정부의 역할과 정책방안이 요청된다.

둘째, 본 연구는 각국의 환경정책수준이 높을수록 에너지소비집중도가 개선되는 결과를 통계적으로 확인한다. 이처럼 정부는 오늘날 급속한 ICT의 발전과 디지털 전환이 이루어지는 과정에서 이러한 기술발전이 초래하는 대규모 환경영향과 환경파괴를 강력히 제어하면서 지속가능한 발전에 기여하도록 시의적절하고 일관된 정책신호(signal)와 제도적 여건을 제공할 필요가 있다.

또한, 본 연구는 지속가능한 발전의 측면에서 대한민국을 비롯한 OECD 국가의 ICT와 환경정책, 에너지소비수준의 관계를 분석한 국내 최초의 실증연구로서 관련 후속연구의 필요성을 제시한다. 가령, 국가별 ICT 수준과 경제수준을 보다 정교하게 반영하며, 이들 논의를 뒷받침하는 후속 연구가 이루어질 필요가 있다. 특히, 국가 단위 실증연구로는 충분히 확인되지 않는 ICT의 복합적 효과를 산업별, 기업별 특성과 국가별 경제구조를 반영하는 미시적 실증연구로 분석, 보완할 필요가 있다. 이 외에도 지속가능한 발전에 관한 주요 변수를 보완하며, 이들 논의를 발전시킬 수 있다.

마지막으로 본 연구는 대한민국이 급속한 경제성장과 발전을 달성하는 과정에서 제조업에 기반한 에너지다소비국가로서 기후변화 대응과 탄소중립의 책무가 더욱 요구되는 가운데, 대한민국이 이 같은 지속가능한 발전에 기여할 수 있도록 정부정책과 제도적 방안이 강력히 요청됨을 제시한다. 특히, 전세계적으로 AI(인공지능)와 디지털 시대로 급속히 전환하는 현 시점에서 이러한 기술발전이 막대한 에너지수요를 동반하며 더욱 극심한 환경피해와 기후변화 위기를 촉발시키는 부작용을 제어하면서 환경친화적인 기술발전과 혁신을 강화하는데 주도면밀한 정부정책과 선제적 대응이 요구된다.

그러므로 정부는 단기적 경제성과와 정치이념에 함몰되는 정책결정과 시야에서 벗어나 명확한 방향성을 가지고 청정에너지(clean energy)체제로 전환하는데 더욱 주력할 필요가 있다. 또한, 정부는 이 같은 기술개발과 혁신을 강화하는 정부정책을 비롯하여 청정에너지 및 친환경 IT 인프라(infrastructure)를 확고히 구축하면서 관련 업계와 정책현장을 비롯한 사회 전반에 이에 대한 정책신뢰와 정책일관성을 지속적으로 제공해야 한다. 이로부터 본 연구는 ICT로부터 촉발된 기술발전과 혁신이 지속가능한 발전에 기여하는데 필요한 학술 논의와 정책시사점을 제공하며, 후속 연구의 발전에 기여할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

민인식·최필선. (2012). 「고급패널데이터 분석」. 서울: 지필미디어.

- 석조은·이정희. (2021). 환경정책의 특성과 혁신에 관한 연구: 환경정책의 강도 (stringency)와 시장유인적 정책수단을 중심으로. 「한국행정학보」, 55(2): 251-276.
- 석조은. (2022). 기후변화 대응을 위한 OECD 국가의 재생에너지체제와 CO2 집중도 (intensity)에 관한 연구: 정부의 재생에너지 정책과 기술혁신을 중심으로. 「한국행정학보」, 56(1): 65-93.
- Afzal, M.N.1., Gow, J. (2016). Electricity consumption and information and communication technology in the next eleven emerging economics. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6: 381-388.
- Albulescu, Claudiu T., Barabas, Maria-E. & Diaconescu, Andar. (2022). The asymmetric effect of environmental policy stringency on CO2 emissions in OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 27311-27327.
- Andrae, A.S.G., (2019). Projecting the chiaroscuro of the electricity use of communication and computing from 2018 to 2030. Preprint 1-23.
- Appiah-Otto, Issac, Song, Na.(2021). The impact of ICT on economic growth - comparing rich and poor countries. *Telecommunications Policy*, 45: 1-15.
- Corcoran, P.M., Andrae Anders, S.G. (2013). Emerging trends in electricity consumption for consumer ICT. National University of Ireland, Galway, Connacht, Ireland, Tech. Rep.
- Erumban, A.A., Das, D.K., (2016). Information and communication technology and economic growth in India. *Telecommunications Policy*, 40: 412- 431.
- Farhadi, M., Ismail, R., Fooladi, M. (2012). Information and communication technology use and economic growth. *PLOS One*, 7 (11), e48903.
- Haseeb, A., Xia, E., Saud, S., Ahmad, A., Khurshid, H. (2019). Does information and communication technologies improve environmental quality in the era of globalization? An empirical analysis. *Environmental Science Pollution Resources*, 26: 8594-8608.
- Hofman, A., Aravena, C., Aliaga, V. (2016). Information and communication technologies and their impact in the economic growth of Latin America, 1990-2013. *Telecommunications Policy*, 40: 485-501.
- Ishida, H. (2015). The effect of ICT development on economic growth and energy consumption in Japan. *Telematics and Informatics*, 32: 79-88.
- Katz, R., & Callorda, F. (2020). The economic contribution of broadband, digitalization and ICT regulation. International Telecommunications Union.
- Lange, Steffen., Pohl, Johanna, & Tilman, Santarius. (2020). Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*, 176.
- Li, Xinze, Zhang, Caiyun, Zhu Huan. (2023). Effect of information and communication technology on CO2 emissions: an analysis based on country heterogeneity perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 192.

- Malmodin, J., Lunden, D. (2018). The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010-2015. *Sustainability*, 10: 3027.
- Popp, David. (2019). Environmental policy and innovation: a decade of research. Working paper No.25631. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA. USA.
- Ren, Siyu, Hao, Yu, Xu, Lu, et al. (2021). Digitalization and energy: how does internet development affect China's energy consumption? *Energy Economics*, 98.
- Sadorsky, P. (2012). Information communication technology and electricity consumption in emerging economies. *Energy Policy*, 48: 130-136.
- Salahuddin, Mohammad, Ala, Khorshed.(2016). Information and Communication Technology, electricity consumption and economic growth in OECD countries: A panel data analysis. *Electrical Power and Energy Systems*, 76: 185-193.
- Schulte, Patrick, Welsch, Heinz, Rexhauser, Sascha, (2016). ICT and the demand for energy: evidence from OECD countries. *Environmental and Resource Economy*, 31: 119-146.
- Van Heddeghem, W., Lambert, S., Lannoo, B., Colle, D., Pickavet, M., Demeester, P. (2014). Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012. *Computer Communications*, 50: 64-76.
- Vu, K., Hanafizadeh, P., & Bohlin, E. (2020). ICT as a driver of economic growth: a survey of the literature and directions for future research. *Telecommunications Policy*, 44(2).
- Yan, Zheming, Zhou, Zicheng, Du, Kerui. (2023). How does environmental regulatory stringency affect energy consumption? Evidence from Chinese firms. *Energy Economics*, 11.
- Yirong, Qin. (2022). Does environmental policy stringency reduce CO2 emissions? Evidence from high-pollutant economies. *Journal of Cleaner Production*, 341.

〈별첨 1〉 상관관계 분석결과

β (sig.)	(log) enes	enes (t-1)	ind	mob	fix	ind2	mob2	fix2	eps	mfc	gdpp
(log) enes	1.000										
enes (t-1)	0.999 (0.000)	1.000									
ind	-0.179 (0.009)	-0.180 (0.009)	1.000								
mob	0.190 (0.006)	0.187 (0.006)	0.456 (0.000)	1.000							
fix	-0.009 (0.890)	-0.009 (0.890)	0.723 (0.000)	0.310 (0.000)	1.000						
ind2	-0.161 (0.020)	-0.162 (0.019)	0.996 (0.000)	0.447 (0.000)	0.715 (0.000)	1.000					
mob2	0.171 (0.013)	0.169 (0.014)	0.414 (0.000)	0.918 (0.000)	0.318 (0.000)	0.405 (0.000)	1.000				
fix2	0.001 (0.983)	0.001 (0.983)	0.748 (0.000)	0.315 (0.000)	0.990 (0.000)	0.744 (0.000)	0.318 (0.000)	1.000			
eps	0.015 (0.821)	0.017 (0.806)	0.240 (0.000)	0.117 (0.092)	0.361 (0.000)	0.212 (0.002)	0.122 (0.079)	0.329 (0.000)	1.000		
mfc	0.136 (0.050)	0.133 (0.054)	-0.113 (0.103)	0.040 (0.559)	-0.095 (0.169)	-0.095 (0.170)	-0.041 (0.550)	-0.104 (0.134)	-0.027 (0.692)	1.000	
gdpp	-0.032 (0.644)	-0.036 (0.604)	0.047 (0.499)	0.019 (0.780)	-0.061 (0.379)	0.064 (0.355)	-0.081 (0.242)	-0.063 (0.365)	-0.118 (0.089)	0.430 (0.000)	1.000

β (sig.)	ene	ene (t-1)	ind	mob	fix	ind2	mob2	fix2	eps	mfc	gdpp
ene	1.000										
ene (t-1)	0.995 (0.000)	1.000									
ind	0.082 (0.239)	0.085 (0.220)	1.000								
mob	0.003 (0.964)	0.002 (0.969)	0.456 (0.000)	1.000							
fix	-0.056 (0.420)	-0.059 (0.291)	0.723 (0.000)	0.031 (0.000)	1.000						
ind2	0.096 (0.168)	0.099 (0.152)	0.996 (0.000)	0.447 (0.000)	0.715 (0.000)	1.000					
mob2	0.018 (0.786)	0.016 (0.810)	0.414 (0.000)	0.918 (0.000)	0.318 (0.000)	0.405 (0.000)	1.000				

fix2	-0.029 (0.672)	-0.022 (0.635)	0.748 (0.000)	0.315 (0.000)	0.990 (0.000)	0.744 (0.000)	0.318 (0.000)	1.000			
eps	-0.195 (0.004)	-0.193 (0.005)	0.240 (0.000)	0.117 (0.092)	0.361 (0.000)	0.212 (0.002)	0.122 (0.079)	0.329 (0.000)	1.000		
mfc	-0.089 (0.201)	-0.087 (0.207)	-0.113 (0.103)	0.040 (0.559)	-0.095 (0.169)	-0.095 (0.170)	-0.041 (0.550)	-0.104 (0.134)	-0.027 (0.692)	1.000	
gdpp	-0.053 (0.444)	-0.052 (0.448)	0.07 (0.489)	0.019 (0.783)	-0.061 (0.379)	0.064 (0.355)	-0.081 (0.242)	-0.063 (0.361)	-0.118 (0.089)	0.430 (0.000)	1.000

ABSTRACT

Does ICT Contribute to Sustainable Development? Analyzing the Relationships Between ICT, Environmental Policy, and Energy Consumption Level in OECD Countries

Jo-Eun Seok

This study conducts an empirical analysis of the relationships between ICT level, environmental policy, and energy consumption level in 23 OECD countries, including South Korea, utilizing the System GMM (Generalized Method of Moments) analysis method on panel data from 2010 to 2019. The research derives and tests hypotheses considering the non-linear relationship between ICT and energy consumption levels, with energy consumption scale and energy consumption intensity as dependent variables. The findings indicate that higher ICT usage leads to a partially statistically significant increase in the energy consumption scale, but more consistently results in an improvement in energy consumption intensity. Additionally, a statistically significant non-linear relationship is observed between ICT level and energy consumption, with this trend being more pronounced in the analysis of energy consumption intensity. These results suggest that, beyond the economic benefits of ICT, there is a notable improvement in energy efficiency, especially in OECD countries characterized by high economic and ICT levels. Moreover, stronger environmental policies in these countries do not significantly impact the energy consumption scale but do result in improved energy consumption intensity. This study thus identifies the bidirectional energy consumption patterns associated with ICT in OECD countries and demonstrates ICT's potential contribution to sustainable development. The research offers policy implications and underscores the need for further studies in this area.

【Keywords: ICT, energy consumption level, energy efficiency improvement, non-linear relationship, environmental policy, sustainable development】