

LMDI을 활용한 인천시 전기 소비 요인분해분석

LMDI Decomposition Analysis for Electricity Consumption of Incheon

한 준*
Joon Han

요약: 이 연구는 2045년 탄소중립을 선언한 인천광역시를 대상으로 5개 부문(산업, 상업, 공공·기타, 수송, 가정)에 대해 LMDI(Log Mean Divisia Index) 방법론을 활용해 2002~2020년 기간 전기 소비량 변화를 분해분석한 연구이다. 탄소중립의 기반이 되는 에너지 전환을 위해서는 기존 화석에너지를 전기로 전환하는 전기화를 비롯해 에너지 효율, 재생가능에너지가 모두 중요한데, 이 연구에서는 에너지 효율 관련 지표와 전기화를 지표를 주요 요인에 포함시켰다. 즉, 전기 소비량 변화를 1인당 에너지 소비량 효과, 에너지 집약도 효과, 1인당 GRDP 효과, 전기화율 효과, 인구 효과로 분해하였으며, 부문별 특성을 고려해 부문에 따라 요인을 달리하였다. 주요 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 인천시 전기 소비량 증가에서 1인당 GRDP 효과의 영향이 가장 컸는데, 경제 성장과 에너지 소비 간 탈동조화가 진전될 수 있는 노력이 필요하다. 둘째, 인천시 전기 소비량 증가와 관련해 전기화율 효과 영향이 일부 있었으나 크지 않았다. 저탄소 발전원 확대를 전제로 전기화 확대 노력이 보다 필요하다. 셋째, 인천시 전기 소비량 변화와 관련해 에너지 집약도 개선의 영향이 있었으며, 산업과 상업에서의 개선 영향이 컸다. 넷째, 가정 부문에서 1인당 에너지 소비량 증가가 인천 전기 소비량 증가에 영향을 약간 주었는데, 시민 대상 교육과 홍보가 더 강화되어야 한다.
핵심주제어: 인천, 전기 소비, LMDI, 전기화

Abstract: This study decomposes changes in Incheon's electricity consumption for five sectors (industrial, commercial, public/other, transportation, and household) from 2002 to 2020 through the Log Mean Divisia Index (LMDI) method. Energy efficiency and renewable energy as well as electrification that converts existing fossil energy into electricity are important for energy conversion, which is the basis for carbon neutrality. In this study, energy efficiency-related and electrification rate indicators are included as major effects. The change in electricity consumption is decomposed by the per capita energy consumption, energy intensity, per capita GRDP, electrification rate, and population effects. The effects applied by each sector are different, and the main results are as follows. First, the per capita GRDP effect has the greatest impact on the increase in electricity consumption in Incheon. A policy approach is needed to advance the decoupling between economic growth and energy consumption. Second, the electrification rate impacts the increase in electricity consumption in Incheon but is not significant. More efforts are needed to increase electrification through expanding low-carbon power generation sources. Third, improving energy intensity impacts the change in electricity consumption in Incheon, and the improvement in industry and commerce is significant. Fourth, the increase in per capita energy consumption in the household sector influences the increase in electricity consumption in Incheon. Therefore, education and publicity should be further strengthened for citizens.

Key Words: Incheon, Electricity Consumption, LMDI, Electrification

* 인천연구원 연구위원

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

인천광역시는 2020년 4월 기후비상상황 선포 이후 탄소중립 지방정부 실천 연대 탄소중립 선언(2020.7) 참여, 탈석탄동맹(Powering Past Coal Alliance: PPCA) 가입(2020.11), 인천형 그린뉴딜 추진계획 발표(2020.11), 탈석탄금고 선언(2020.12) 등을 거쳐 지난해 ‘2045년 탄소중립 선언’ (2020.12)에 이르기까지 기후변화 대응 관련 적극적인 태도를 취해왔다. 이런 가운데 인천시는 2021년 기준 발전량이 60,506 GWh(한국전력공사, 2022)에 달해 전력자립도가 243%였으며, 이는 17개 광역지자체 중에서 가장 높은 수준이었다. 전기 소비 측면에서는 2021년 기준 24,901 GWh(한국전력공사, 2022)를 소비해 2000년 대비 75.4% 증가한 수준이었고, 이는 세종시를 제외한 16개 광역지자체 중에서 네 번째로 낮은 증가 수준이었다.

한편, 탄소중립 달성을 위한 기반이라 할 수 있는 에너지전환(이상엽, 2021)은 크게 세 가지 축, 즉 에너지 효율, 전기화(electrification),¹⁾²⁾ 재생가능에너지를 통해 달성될 수 있다(IRENA, 2019). 여기서 전기화는 기존 화석 에너지원이 전기로 대체되는 것을 말한다. 다시 말하면, 사회의 에너지 전환을 위해서는 에너지 효율 개선을 통해 소비하는 에너지 총량을 줄이고, 소비하는 에너지 중 전기로 충당하는 비율을 높이며, 거기서 쓰는 전기는 재생가능에너지를 통해 친환경적으로 생산해야 하는 것이다.

인천의 경우, 에너지 효율의 주요 지표인 1인당 최종에너지 소비량이나 GRDP당 최종에너지 소비량과 관련해 2020년 기준 각각 3.8 TOE/인, 132 TOE/천원으로 17개 광역지자체 중에서 각각 6번째, 5번째로 높은 수준이었

1) ‘전력화’라는 표현과 혼용되어 쓰이고 있다.

2) 한준(2019)에서 제시한 것과 같이, 전기화에 대한 평가와 관련해 국내 연구에서는 국내 전원믹스를 전제로 비효율적 전환, 전력수급 불안정, 사회적 갈등 유발 등의 이유로 부정적인 의견이 많았고, 해외 연구에서는 저탄소 발전원을 전제로 온실가스 배출 저감 등의 이유 때문에 긍정적인 의견이 많았다. 전기화 논의에서 전제하는 발전원에 대한 고려가 병행되어야 하는 이유다.

다. 아울러 전기화 정도를 표시하는 지표인 전기화율³⁾과 관련해서는 2020년 기준 18.1%로 전국 평균 19.7%보다 낮고 17개 광역지자체 중에서 13위 수준이었다. 에너지 효율이나 전기화 측면에서 봤을 때 인천의 점수가 상대적으로 그리 높다고 하기 어렵다.

한편, 탄소중립 목표 달성 측면에서 전기 소비량 변화를 어떻게 바라볼 것인가는 다소 복합적인 측면이 있다. 탄소중립 달성을 위한 주요 축인 전기화 확대나 에너지 효율 개선과 관련해 전기화 확대에 의한 전기 소비 증가는 바람직하지만, 에너지 효율 개선 악화로 인한 전기 소비 증가는 바람직하지 않기 때문이다. 이처럼 전기 소비량 변화는 전기화를 비롯해 1인당 에너지 소비량, 단위소득당 에너지 소비량, 인구 등 다양한 요인으로부터 영향을 받으며, 그 영향은 요인별로, 시기별로 다양하게 달라진다. 때문에 다양한 요인들이 전기 소비량 변화에 미치는 영향을 면밀히 분석하고, 이를 기반으로 전기화 확대 및 에너지 효율 개선 등 전기 소비 부문에 대한 정책 대응을 해가는 것이 필요하다.

이런 맥락에서 이 논문은 에너지 소비 특성 분석에서 많이 활용되고 있는 LMDI(Log Mean Divisia Index; 로그 평균 디비지아 지수) 방식을 활용하여 인천광역시 전기 소비량 변화의 특성을 분석하였다. 이 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 인천광역시를 비롯해 타 광역지자체의 전기 소비 현황들을 살펴보고, III장에서는 LMDI 방법론에 대한 소개와 더불어 이 연구의 구체적인 분석 방법 및 분석 자료에 대해 설명하였다. IV장에서는 분석 결과를 제시하였고, V장에서는 결론과 정책 제언을 제시하였다.

3) 엄밀하게 말하면, 전기화율 지표는 전기화의 정도, 즉 기존 화석에너지가 전기로 대체되는 정도를 나타내는 지표이어야 한다. 그러나 이를 정확히 반영하는 통계가 아직 구축되어 있지 않기 때문에 여러 연구에서는 최종 에너지 소비량 대비 전기 소비량의 비중을 전기화율 지표로 사용하고 있다(에너지경제연구원, 2021; 에너지경제연구원, 2022; Desbrosses, 2006; Jung and Lee, 2014; Nishio and Hoshino, 2010, Schurr et al., 1990).

2. 연구의 범위 및 방법

이 연구는 인천광역시의 부문별 전기 소비 현황을 타 광역지자체들과 비교해보고, LMDI 방법론을 활용해 전기 소비량 변화를 세부 요인들로 분해하여 기간별로 분석하였다. 이때 고려한 부문은 산업, 상업, 공공·기타, 수송, 가정의 5개 부문이었고, 부문 특성을 고려하여 요인을 달리하였다. 즉, 산업, 상업, 공공·기타, 수송 부문에서는 전기화율 효과, 에너지 집약도 효과, 1인당 GRDP 효과, 인구 효과로 요인을 설정하였고, 가정 부문에서는 전기화율 효과, 1인당 에너지 소비량 효과, 인구 효과로 하였다.

II. 인천 및 광역지자체의 전기 소비 현황

1. 인천 및 광역지자체의 전기 소비 현황

먼저 2002년과 2020년 우리나라 광역지자체별 인구당 최종에너지 소비량 및 GRDP당 최종에너지 소비량을 살펴보면 다음 <표 1>과 같다. 표에서 보듯이, 우리나라 평균 인구당 최종에너지 소비량은 2002년 3.3 TOE/명에서 2020년 4.3 TOE/명으로 증가하였으며, 이 기간 CAGR (Compound Annual Growth Rate; 연평균증가율)은 1.4%였다. 지역별로 보면 인구당 최종에너지 소비량은 울산(25.2 TOE/명)이 가장 높았고, 그다음 전남(20.3 TOE/명), 충남(17.5 TOE/명), 경북(7.9 TOE/명) 등의 순이었으며, 인천은 여섯 번째(3.8 TOE/명)로 높았다. 2002-2020년 기간 인구당 최종에너지 소비량의 CAGR은 충남이 5.0%로 가장 높았고, 대구가 -0.5%로 가장 낮았으며, 인천은 0.4%였다. 우리나라 평균 GRDP당 최종에너지 소비량은 2002년 157.2 TOE/천원에서 2020년 120.8 TOE/천원으로 감소하였으며, 이 기간 CAGR은 -1.5%였다. 지역별로 보면 GRDP당 최종에너지 소비량은 전남(500.7 TOE/천원)이 가장 높았고, 그다음 울산(427.3 TOE/천원), 충남(329.6 TOE/천원), 경북(206.6 TOE/천원) 등의 순이었으며, 인천은 다섯 번째(132.2

TOE/천원)로 높았다. 2002-2020년 기간 GRDP당 최종에너지 소비량의 CAGR은 대부분 지역이 (-)인 가운데 서울이 -3.2%로 가장 낮았고, 울산이 1.1%로 가장 높았으며, 인천은 -1.7%였다.

〈표 1〉 광역지자체별 인구당 최종에너지 소비량 및 GRDP당 최종에너지 소비량

구분	인구당 최종에너지 소비량(TOE/명)			GRDP당 최종에너지 소비량(TOE/천원)		
	2002	2020	2002-2020 CAGR	2002	2020	2002-2020 CAGR
전국	3.3	4.3	1.4%	157.2	120.8	-1.5%
서울	1.5	1.4	-0.4%	57.4	31.9	-3.2%
부산	1.8	1.7	-0.3%	119.1	68.7	-3.0%
대구	1.8	1.7	-0.5%	128.9	75.7	-2.9%
인천	3.6	3.8	0.4%	181.0	132.2	-1.7%
광주	1.4	1.7	0.9%	88.5	61.2	-2.0%
대전	1.6	1.7	0.4%	91.0	62.1	-2.1%
울산	18.0	25.2	1.9%	348.0	427.3	1.1%
세종	-	2.0	-	-	62.5	-
경기	2.0	2.2	0.6%	107.5	64.2	-2.8%
강원	3.9	3.7	-0.3%	217.6	125.9	-3.0%
충북	3.7	4.4	1.0%	185.1	105.9	-3.1%
충남	7.2	17.5	5.0%	275.3	329.6	1.0%
전북	2.4	2.9	1.2%	143.5	108.1	-1.6%
전남	13.9	20.3	2.1%	548.2	500.7	-0.5%
경북	5.5	7.9	2.1%	250.2	206.6	-1.1%
경남	2.1	2.5	0.9%	101.0	81.7	-1.2%
제주	1.8	2.1	1.1%	100.4	80.4	-1.2%

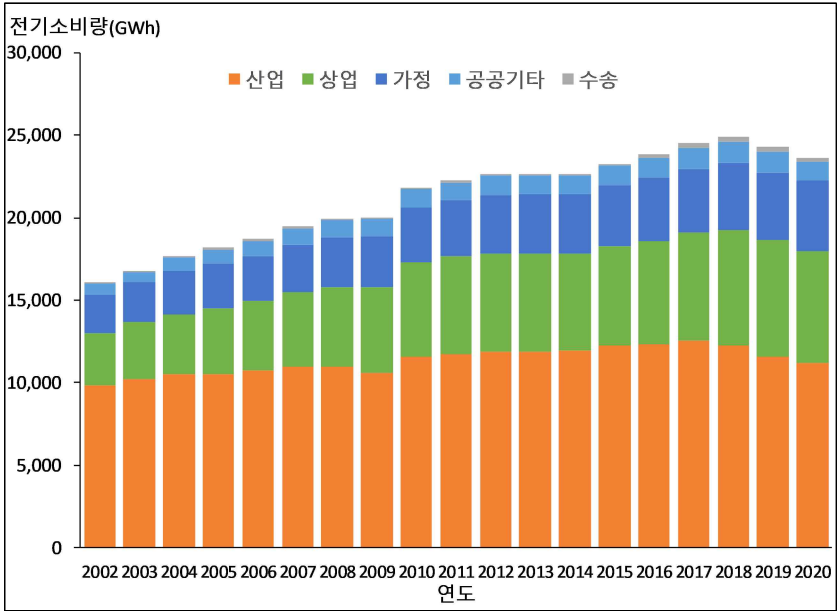
자료 : 국가에너지통계종합시스템(KESIS) 및 국가통계포털(KOSIS) 자료를 바탕으로 가공

한편, 2002~2020년 기간 동안 인천광역시 부문별 전기 소비량 추이는 〈그림 1〉과 같다. 인천광역시 전기 소비량은 2018년까지 서서히 증가했다가 2019년 이후 다시 감소하였는데,⁴⁾ 이는 코로나 19로 인한 경제활동 부진 영향이 주요했다(김수일, 2021; 이서진, 2021). 부문별로 살펴보면, 2020년 기준 인천 전기 소비량 중에서 산업 부문(47.4%)이 가장 비중이 컸고, 그다음 상

4) 이러한 경향은 전기뿐만 아니라 최종에너지 소비에서도 마찬가지였고, 당시 인천만 아니라 우리나라 전체적으로 감소했다.

업(28.5%), 가정(18.2%), 공공·기타(4.8%), 수송(1.2%) 순이었다.

〈그림 1〉 인천 부문별 전기 소비량 추이 (2002~2020)



자료: 2002~2020년도까지 연도별 지역에너지통계연보를 바탕으로 작성

2. 인천 및 광역지자체의 전기화 현황

다음 <표 2>는 2002, 2011, 2020년 시점에 우리나라 광역지자체별 전기화율을 나타낸 것이다. 우리나라 평균 전기화율은 2002년 14.9%에서 2020년 19.7%로 증가하였고, 이 기간 CAGR은 1.55%였다. 지역별로 보면 2020년 기준 세종(40.1%)로 가장 높았고, 그다음 경기(35.5%), 경남(34.7%), 전북(33.3%) 순이었으며, 인천은 18.1%로 17개 광역지자체 중에서 13번째였다. 2002-2020년 기간 전기화율의 CAGR은 부산(2.91%)이 가장 높았고, 경북(0.24%)이 가장 낮았으며, 인천은 1.05%로 세종시를 제외한 16개 광역지자체 중에서 14번째였다.

〈표 2〉 광역지자체별 전기화율

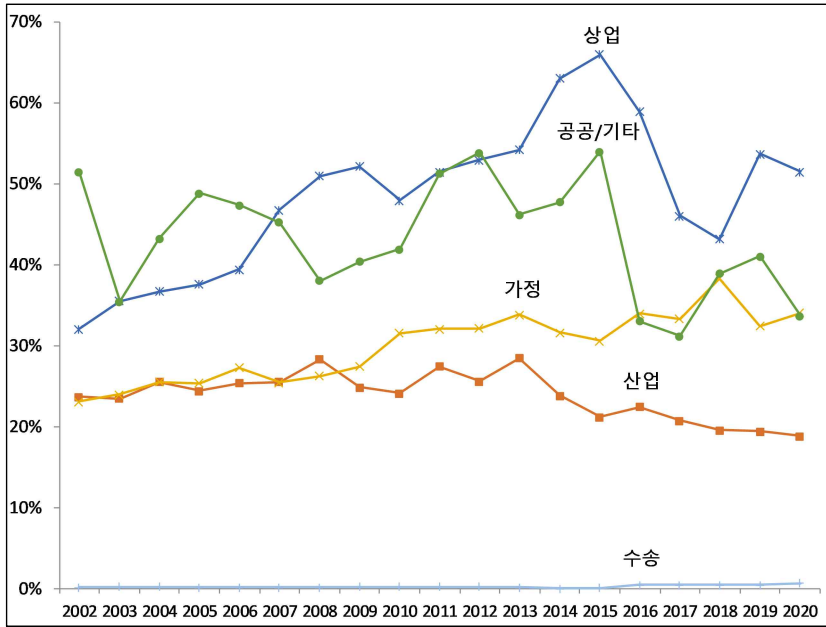
(단위: %)

기간	2002	2011	2020	2002-2020 CAGR
전국	14.9	19.1	19.7	1.55
서울	20.0	26.0	29.6	2.20
부산	17.8	27.1	29.8	2.91
대구	21.0	28.3	31.2	2.24
인천	15.0	18.6	18.1	1.05
광주	22.1	29.5	30.3	1.78
대전	23.0	30.8	31.6	1.78
울산	8.4	9.8	9.9	0.91
세종	-	-	40.1	-
경기	23.2	32.2	35.5	2.41
강원	16.0	16.7	24.6	2.40
충북	19.9	27.8	33.1	2.88
충남	9.6	14.1	11.7	1.08
전북	22.2	35.0	33.3	2.27
전남	4.8	6.1	7.1	2.14
경북	16.1	20.1	16.8	0.24
경남	25.8	31.7	34.7	1.65
제주	19.2	29.1	32.0	2.87

자료: 산업통상자원부·에너지경제연구원(2003), 산업통상자원부·에너지경제연구원(2012), 산업통상자원부·에너지경제연구원(2021)을 바탕으로 가공

한편, 2002~2020년 기간 인천광역시 전기화율 추세를 부문별로 살펴보면 〈그림 2〉와 같다. 2020년 기준 상업 부문이 51.5%로 가장 높았고 그다음 가정 부문 34.0%, 공공·기타 부문 33.7%, 산업 18.8%, 수송 부문 0.7%였다. 상업과 공공·기타 부문의 전기화율은 2015년까지 증가하다가 이후에 감소하였으며, 가정 부문은 2018년까지 증가 후 감소하였고, 산업 부문의 전기화율은 2013년까지 큰 변화가 없다가 그 이후 감소 추세였다. 수송 부문의 전기화율이 1% 미만으로 작았다.

〈그림 2〉 인천광역시 부문별 전기화율(%) 추이 (2002~2020)



자료: 2003~2021년도까지 연도별 지역에너지통계연보를 바탕으로 작성

III. 방법론

1. 지수분해분석

지수분해분석(Index Decomposition Analysis: IDA)은 에너지 소비량 변화나 CO₂ 배출량 변화를 분석할 때 많이 활용되는 방법론으로(이재형, 2018; Mairet and Decellas, 2009; Ma, 2014; Rogan et al., 2012) 지수 이론(Index Theory)에 근거해 시스템의 변화를 여러 개 지수로 단순화해서 파악하는 방법론이다(김진수·허은영, 2005; 진상현·정경화, 2013). 즉, 먼저 시스템을 설명하는 중심 함수를 몇 개 요인을 통해 정의하고, 이를 다양한 방식으로 분해한 후, 중심 함수에 각 요인들이 미치는 영향을 분석한다(Ang, 2004). 이 방법론의 장점은 기준 시점과 비교 시점의 자료만 있으면 분석이 가능하고, 비

교 시점 간 변화의 양이나 비율에 대해 모두 분석이 가능하며(김진수·허은영, 2005), 필요한 만큼 요인을 추가해 분석 범위를 확장할 수 있다는 것이다.

지수분해분석은 크게 디비지아(Divisia) 지수 계열과 라스파이레스(Laspeyres) 지수 계열로 구분할 수 있다. 먼저 디비지아(Divisia) 지수 계열은 기준 연도와 비교 연도의 평균을 이용하는데(Ang, 2004), 특정 연도 수치에 가중치 적용시 생길 수 있는 왜곡을 방지할 수 있다. 디비지아 지수 계열은 단순 평균을 이용하는 단순 로그 디비지아 방식(Simple Log Mean Divisia Index)과 로그 평균을 이용하는 로그 평균 디비지아 방식(Log Mean Divisia Index)으로 구분된다(에너지경제연구원, 2007). 한편, 라스파이레스 지수 계열은 기준 연도 혹은 비교 연도를 기준으로 가중치를 설정하여 요인 변화로 인한 영향을 측정한다.

이 연구는 로그 평균 디비지아 지수분해분석 방법을 활용하여 2002년~2020년 기간 인천광역시 전기 소비량 변화를 분해분석하였다. 대상은 인천광역시 산업, 상업, 공공·기타, 수송, 가정 부문으로 하였고, 부문별 특성이 다르므로 요인을 달리하여 분해하였는데, 산업, 상업, 수송, 공공·기타 부문의 경우 전기화율 효과, 에너지 집약도 효과, 1인당 GRDP 효과, 인구 효과로 구분하였고, 가정 부문은 전기화율 효과, 1인당 에너지 소비량 효과, 인구 효과로 구분하였다. 이를 수식으로 나타내면 식 (1), (2)와 같고, 각 변수에 대한 정의는 <표 3>과 같다.

$$El = \sum_{i=1}^5 El_i$$

$$i = 1(\text{산업}), 2(\text{상업}), 3(\text{공공·기타}), 4(\text{수송}), 5(\text{가정}) \quad (1)$$

$$El = \sum_{i=1}^4 \frac{El_i}{FE_i} \times \frac{FE_i}{GP} \times \frac{GP}{PO} \times PO + \frac{El_5}{FE_5} \times \frac{FE_5}{PO} \times PO$$

$$= \sum_{i=1}^4 E_i \times I_i \times G_i \times P_i + E_5 \times F_5 \times P_5 \quad (2)$$

<표 3> 변수 정의

변수	정의
EL_i	i 부문 전기 소비량
FE_i	i 부문 최종에너지 소비량
GP	지역내총생산 (실질 GRDP)
PO	인구
E_i	i 부문 전기화율 효과 (최종에너지 소비량 대비 전기 소비량)
F_i	i 부문 1인당 에너지 소비량 효과 (인구 대비 최종에너지 소비량)
I_i	i 부문 에너지 집약도 효과 (지역내총생산 대비 최종에너지 소비량)
G_i	i 부문 1인당 GRDP 효과 (1인당 지역내총생산)
P_i	i 부문 인구 효과

산업, 상업, 공공·기타, 수송 부문 ($i=1, 2, 3, 4$)에 대해 전기 소비량 EL 을 시간의 함수로 가정하고 시간에 대해 미분을 하면 다음 식 (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 이를 다시 시간 $0 \rightarrow T$ 까지 적분하면 식 (4)와 같고, 양변에 $\frac{EL_i(T) - EL_i(0)}{\ln(EL_i(T)/EL_i(0))}$ 를 곱하면 식 (5)와 같다. 여기서 $\frac{EL_i(T) - EL_i(0)}{\ln(EL_i(T)/EL_i(0))} \times \ln \frac{X(T)}{X(0)}$ 형태를 X_{eff} 라고 표현한다면 식 (5)는 식 (6)처럼 나타낼 수 있으며, 이는 $0 \sim T$ 기간 동안 산업, 상업, 공공·기타, 수송 부문의 전기 소비량 변화(EL_i)가 전기화율 효과, 에너지 집약도 효과, 1인당 GRDP 효과, 인구 효과로 구분된다는 것을 보여준다.

$$\frac{1}{EL_i} \frac{dEL_i}{dt} = \frac{1}{E_i} \frac{dE_i}{dt} \times \frac{1}{I_i} \frac{dI_i}{dt} \times \frac{1}{G_i} \frac{dG_i}{dt} \times \frac{1}{P_i} \frac{dP_i}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \ln EL_i = \frac{d}{dt} \ln E_i \times \frac{d}{dt} \ln I_i \times \frac{d}{dt} \ln G_i \times \frac{d}{dt} \ln P_i \quad (3)$$

$$\ln \frac{EL_i(T)}{EL_i(0)} = \ln \frac{E_i(T)}{E_i(0)} + \ln \frac{I_i(T)}{I_i(0)} + \ln \frac{G_i(T)}{G_i(0)} + \ln \frac{P_i(T)}{P_i(0)} \quad (4)$$

$$EL_i(T) - EL_i(0) =$$

$$\frac{EL_i(T) - EL_i(0)}{\ln(EL_i(T)/EL_i(0))} \times \left[\ln \frac{E_i(T)}{E_i(0)} + \ln \frac{I_i(T)}{I_i(0)} + \ln \frac{G_i(T)}{G_i(0)} + \ln \frac{P_i(T)}{P_i(0)} \right] \quad (5)$$

$$EL_i(T) - EL_i(0) = E_i + I_i + G_i + P_i \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (6)$$

가정 부문($i=5$)의 경우도 마찬가지로 해서 전기 소비량 변화(EL_i)를 전기 화율 효과, 1인당 에너지 소비량 효과, 인구 효과로 구분할 수 있다.

$$\frac{1}{EL_i} \frac{dEL_i}{dt} = \frac{1}{E_i} \frac{dE_i}{dt} \times \frac{1}{F_i} \frac{dF_i}{dt} \times \frac{1}{P_i} \frac{dP_i}{dt} \quad (7)$$

$$\frac{d}{dt} \ln EL_i = \frac{d}{dt} \ln E_i \times \frac{d}{dt} \ln F_i \times \frac{d}{dt} \ln P_i \quad (8)$$

$$\ln \frac{EL_i(T)}{EL_i(0)} = \ln \frac{E_i(T)}{E_i(0)} + \ln \frac{F_i(T)}{F_i(0)} + \ln \frac{P_i(T)}{P_i(0)} \quad (9)$$

$$EL_i(T) - EL_i(0) =$$

$$\frac{EL_i(T) - EL_i(0)}{\ln(EL_i(T)/EL_i(0))} \times \left[\ln \frac{E_i(T)}{E_i(0)} + \ln \frac{F_i(T)}{F_i(0)} + \ln \frac{P_i(T)}{P_i(0)} \right] \quad (10)$$

$$EL_i(T) - EL_i(0) = E_i + F_i + P_i \quad (i=5) \quad (11)$$

2. 선행 연구

그동안 국내외에서 국가 전체나 산업, 가정 부문을 대상으로 지수분해분석 방법론을 통해 온실가스 배출량 변화 내지 에너지 소비량 변화를 분석한 연구들은 상당수 있었다. 국내 지자체를 대상으로 한 연구들도 일부 있었는데, 진상현·황인창(2009a)은 우리나라 16개 지자체를 대상으로 1990~2006년 기간 최종에너지 소비량 변화를 LMDI를 활용해 생산 효과, 원단위 효과, 인구 효과로 분해분석하였다. 진상현·황인창(2009b)은 1997~2006년 기간 국내 8개 지자체를 대상으로 CO₂ 배출량 변화를 LMDI를 활용해 배출계수효과, 연료비효과, 원단위 효과, 생산 효과, 인구 효과로 분해분석하고, 결과에 따라 지자체들을 유형화하였다. 진상현·정경화(2013)는 우리나라 각 지자체들을 대상으로 1991~2010년 기간 온실가스 배출량 변화를 LMDI를 활용해 집약도 효과, 생산 효과, 인구 효과로 분해하고 분석 대상 지자체들을 결과에 따라 유형화하였다. 고재경·김성욱·주정현(2015)은 경기도 31개 시·군을 대상으로 최종

에너지 소비량 변화를 생산 효과, 원단위 효과, 인구 효과로 분해분석하고, 그 결과에 대해 군집분석을 수행하였다. 한준·정연미(2020)는 서울시 5개 부문(산업, 상업, 공공·기타, 수송, 가정)을 대상으로 2002~2017년 기간 동안 전기 소비량 변화를 요인분해하였으며, 요인으로는 전기화율 효과, 에너지 집약도 효과, 1인당 에너지 소비량 효과, 1인당 GRDP 효과, 인구 효과를 고려하였다.

3. 분석 기간 및 분석 자료

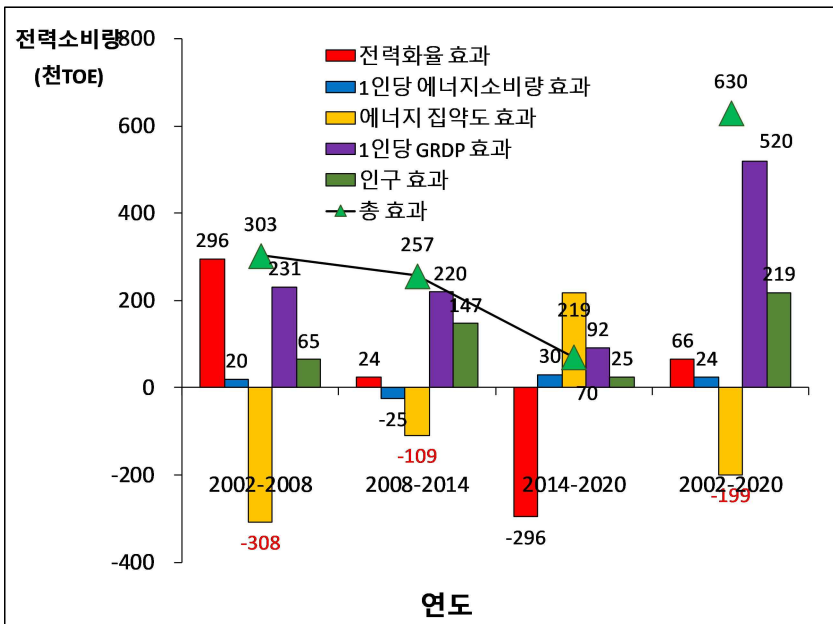
이 연구는 인천광역시의 전기 소비량을 2002~2008년, 2008~2014년, 2014~2020년 세 시기로 구분하여 5개 부문(산업, 상업, 공공·기타, 수송, 가정 부문)을 대상으로 LMDI 방법론을 활용해 분해분석하였다. 부문별 최종에너지 소비량과 부문별 전기 소비량은 2003년, 2009년, 2015년, 2021년 지역 에너지통계연보를 활용하였다. 다만, 지역에너지통계연보 자료의 경우, 2016년 데이터까지는 가정과 상업 부문의 수치가 합산되어 제시되었는데, 두 부문 간 특성이 달라 구분이 필요했다. 이에 최종에너지에 대해서는 인천 최종에너지 소비에서 비중이 큰 석유, 전기, 가스에 대해 원별로 가정과 상업 부문 수치 비율을 도출하고 원별 가중치를 고려해 분리하였다. 전기 소비량에 대해서는 연도별 한국전력통계자료를 통해 가정 부문 전기 소비량을 도출하는 방식을 이용하였다. GRDP 자료는 KOSIS(Korean Statistical information Service) 국가통계포털에 있는 인천의 지역내총생산 실질 자료를 활용하였고, 인구 자료는 KOSIS(Korean Statistical information Service) 국가통계포털에 있는 인천의 주민등록인구 현황 자료를 활용하였다.

IV. 분석 결과

2002~2020년 기간 인천광역시의 전기 소비량 변화 분해 결과는 다음 <표 4>, <그림 3>과 같다. 2002~2020년 사이 인천광역시 전기 소비량은 630 천 TOE 증가했는데, 여기에는 1인당 GRDP 효과(520 천TOE)가 가장 큰 영향을

미쳤고, 그 다음 인구 효과(219 천TOE), 에너지 집약도 효과(-199 천TOE), 전기화율 효과(66 천TOE), 1인당 에너지 소비량 효과(24 천TOE) 순으로 영향을 미쳤다. 즉, 2002~2020년 기간 1인당 GRDP 증가가 인천광역시 전기 소비량 증가를 가장 크게 견인하였고, 인구가 늘어난 것도 그 다음으로 전기 소비 증가에 큰 영향을 주었으며, 최종에너지 소비 중 전기 비중이 늘어난 것이나 1인당 에너지 소비가 늘어난 것도 일부 영향을 주었다. 반면, 에너지 집약도 감소는 인천광역시 전기 소비가 줄어드는 방향으로 영향을 미쳤다.

〈그림 3〉 인천 전기 소비량 분해분석 결과 (단위: 천TOE)



각 요인이 부문에 미친 영향을 살펴보면, 전기화율 효과는 상업, 가정 부문에서 전기 소비 증가를 유도하는 방향으로 크게 나타났고 산업에서는 전기 소비 감소를 유도하는 방향으로 크게 나타났다. 즉, 상업과 가정 부문에서는 전기화가 심화되었고, 산업에서는 전기화 경향이 줄어들었다는 것이다. 1인당 GRDP 효과는 산업에서 전기 소비 증가를 유도하는 방향으로 크게 나타났

고, 상업에서도 영향이 컸다. 1인당 에너지 소비량 효과는 가정 부문에서 전기 소비 증가 쪽으로 영향을 미쳤다. 요인별 영향을 시기별로 구분해 살펴보면, 전기화율 효과의 경우 2008년 이후 감소 경향이 커졌고, 에너지 집약도 효과는 점차 커지고, 1인당 GRDP 효과는 점차 줄어드는 경향을 보였다. 인구 효과는 2014년 이후 그 영향이 줄어들었다.

각 시기별로 살펴 보면, 인천광역시의 전기 소비는 매 시기별로 계속 증가해왔으나 증가 폭은 시간이 지남에 따라 303 천TOE, 257 천TOE, 70 천TOE 순으로 점차 줄어들었다. 이런 변화를 유발시킨 원인으로는 이전 시기와 비교했을 때 전기화율 증가 영향의 감소가 가장 컸고, 그 다음으로 2014-2020년 기간에 1인당 GRDP 증가 영향의 감소가 일부 있었다. 반면, 에너지 집약도 감소 영향은 점차 줄어들었고, 2014-2020년 기간에는 에너지 집약도가 증가했다.

부문별로 살펴보면, 인천광역시 전기 소비 증가에 가장 큰 영향을 미친 부문은 상업 부문(290 천TOE)이었고, 그 다음 가정(169 천TOE), 산업(117 천TOE), 공공·기타(38 천TOE), 수송(2 천TOE) 순이었다. 원래 인천시 전기 소비에서 가장 큰 비중을 차지하는 부문은 산업(2020년 기준 47.4%), 상업(2020년 기준 28.5%) 등의 순인데, 상업에서의 전기 소비 증가가 가장 컸던 것이다. 좀 더 세부적으로 살펴보면, 상업 부문 전기 소비 증가에 전기화율 효과(182 천TOE)가 가장 큰 영향을 미쳤고, 그다음 1인당 GRDP 효과(145 천TOE)였으며, 에너지 집약도 감소는 전기 소비 감소를 유도하는 방향으로 영향을 미쳤다(-87 천TOE). 상업 부문에서 전기화는 2002~2014년 기간 상당히 진행되다가 2014~2020년 기간 감소했고, 에너지 집약도의 경우 2014년까지 감소하다가 2014~2020년 기간 증가했다. 가정 부문의 경우, 전기화율 효과(108 천TOE)가 전기 소비가 증가하는 쪽으로 가장 큰 영향을 미쳤고, 인구 효과(37 천TOE), 1인당 에너지 소비량 효과(24 천TOE)도 전기 소비 증가 쪽으로 영향을 미쳤다. 산업 부문의 경우, 1인당 GRDP 효과(342 천TOE)가 전기 소비가 증가하는 쪽으로 가장 큰 영향을 미쳤고, 인구 효과(120 천TOE)도 일부 영향을 미쳤다. 반면 산업부문에서의 전기화율 감소는 전기 소비 감

소 쪽으로 영향을 주었고(-209 천TOE), 에너지 집약도 감소 역시 전기 소비 감소 쪽으로 영향을 주었다(-136 천TOE). 공공·기타 부분의 경우, 에너지 집약도(31 천TOE)와 1인당 GRDP 효과(29 천TOE)가 전기 소비 증가 쪽으로 일부 영향을 주었고, 전기화율 효과(-32 천TOE)는 전기 소비 감소 쪽으로 영향을 미쳤다.

〈표 4〉 인천 전기 소비량 변화 부문별 시기별 분해분석 결과

(단위: 천TOE)

	가정	산업	상업	수송	공공·기타	소계
전기화율 효과	(T1) 30	(T1) 158	(T1) 130	(T1) 0	(T1) -22	(T1) 296
	(T2) 53	(T2) -169	(T2) 126	(T2) -8	(T2) 21	(T2) 24
	(T3) 25	(T3) -235	(T3) -77	(T3) 25	(T3) -34	(T3) -296
	(TA) 108	(TA) -209	(TA) 182	(TA) 18	(TA) -32	(TA) 66
1인당 에너지 소비량 효과	(T1) 20					(T1) 20
	(T2) -25					(T2) -25
	(T3) 30					(T3) 30
	(TA) 24					(TA) 24
에너지 집약도 효과		(T1) -267	(T1) -76	(T1) -1	(T1) 36	(T1) -308
		(T2) 50	(T2) -127	(T2) 0	(T2) -32	(T2) -109
		(T3) 97	(T3) 97	(T3) -2	(T3) 25	(T3) 219
		(TA) -136	(TA) -87	(TA) -8	(TA) 31	(TA) -199
1인당 GRDP 효과		(T1) 165	(T1) 52	(T1) 1	(T1) 13	(T1) 231
		(T2) 129	(T2) 78	(T2) 0	(T2) 12	(T2) 220
		(T3) 62	(T3) 24	(T3) 0	(T3) 6	(T3) 92
		(TA) 342	(TA) 145	(TA) 5	(TA) 29	(TA) 520
인구 효과	(T1) 10	(T1) 39	(T1) 12	(T1) 0	(T1) 3	(T1) 65
	(T2) 21	(T2) 74	(T2) 45	(T2) 0	(T2) 7	(T2) 147
	(T3) 5	(T3) 14	(T3) 5	(T3) 0	(T3) 1	(T3) 25
	(TA) 37	(TA) 120	(TA) 51	(TA) 2	(TA) 10	(TA) 219
총 효과	(T1) 59	(T1) 95	(T1) 118	(T1) 0	(T1) 30	(T1) 303
	(T2) 49	(T2) 84	(T2) 123	(T2) 0	(T2) 9	(T2) 257
	(T3) 60	(T3) -62	(T3) 49	(T3) 0	(T3) -1	(T3) 70
	(TA) 169	(TA) 117	(TA) 290	(TA) 2	(TA) 38	(TA) 630

주. T1는 2002~2008년 기간, T2는 2008~2014년 기간, T3은 2014~2020년 기간, TA는 2002~2020년 기간을 의미

V. 결론 및 제언

이 연구는 2002~2020년 기간 인천광역시 5개 부문, 즉 산업, 상업, 공공·기타, 수송, 가정 부문의 전기 소비량 변화를 LMDI 지수분해분석 방법을 활용해 분해분석한 연구이다. 산업, 상업, 공공·기타, 수송 부문의 전기 소비량 변화는 전기화율 효과, 에너지 집약도 효과, 1인당 GRDP 효과, 인구 효과로 분해하였고, 가정 부문의 전기 소비량 변화는 전기화율 효과, 1인당 에너지 소비량 효과, 인구 효과로 분해하였다. 연구의 주요 분석 결과와 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 2002~2020년 기간 인천광역시 전기 소비량 증가와 관련해 1인당 GRDP 증가가 가장 큰 영향을 주었다. 기본적으로 소득이 증가하면 에너지 소비나 온실가스 배출이 늘어나는 것이 그간의 패턴이었는데 최근에는 선진국을 중심으로 재생가능에너지 확대와 에너지 효율 개선, 디지털화·스마트화 등에 기반해 경제 성장과 에너지 소비 간 탈동조화(decoupling)가 일어나고 있다. 탄소중립을 목표로 하는 인천시도 이와 같이 경제 성장과 에너지 소비 간 탈동조화가 촉진될 수 있도록 재생가능에너지 확대, 에너지 효율 개선, 디지털화·스마트화 등의 정책적 대응 노력이 필요하다.

둘째, 2002~2020년 기간 인천의 전기 소비 증가에 전기화율 효과가 일부 영향을 미쳤고, 부문별로 보면 상업에서 전력화가 늘고 산업에서 전력화가 줄었으며, 시기별로 보면 나중일수록 전력화가 줄었는데 상업과 산업 모두에서 다 줄었다. 저탄소 발전원이 확대된다는 전제 하에 탄소중립 달성의 기반이 되는 에너지전환에 있어 전기화는 매우 중요하다. 인천은 전기화율이 나 전기화율 진행 속도 측면에서 타 지자체에 비해 상대적으로 낮고 느린 편인데, 특히 산업을 중심으로 전기화가 보다 진전될 수 있도록 공정 전환, 에너지 전환 등의 노력이 필요하다.

셋째, 2002~2020년 기간 인천광역시 전기 소비량 변화와 관련해 에너지 집약도 개선이 일정 부분 영향을 주었던 것은 긍정적이다. 사실 이 기간 우리나라 전체적으로 에너지 집약도가 감소했고, 인천도 그런 추세에 따라 에너

지 집약도가 감소했으며, 그 과정에서 인천의 전기 소비가 감소하는 쪽으로 영향을 주었다. 인천의 에너지 집약도 개선에 있어서는 산업에서 가장 큰 개선이 있었고, 그다음 상업에서의 개선이 있었다. 시기별로는 2002~2014년 기간에 특히 에너지 집약도의 상당한 개선이 있었으며, 이것도 산업과 상업 부문 영향이 컸다.

넷째, 가정 부문의 1인당 에너지 소비량 증가는 인천시 전기 소비 늘리는 방향으로 일부 영향을 미쳤다. 가정 부문은 에너지 소비에 있어 타 부문 대비 그 비중이 작지만, 탄소중립 달성을 위한 인식 개선이나 실천, 정책 수용성 등의 측면에서 보면 그 중요성이 결코 작지 않다. 친환경 녹색건축물 확대 정책 강화를 비롯해 효율적인 에너지 소비에 대한 시민 인식 개선과 실천 확대 차원에서 지속적인 교육과 홍보 노력이 필요하다.

한편, 이 연구는 몇 가지 점에서 한계를 가진다. 앞서 기술한 대로 전기화 개념을 정확히 반영하는 통계가 아직 없기 때문에 이 연구에서는 기존 선행 연구를 바탕으로 최종 에너지 소비량 대비 전기 소비량 비중을 전기화율 지표로 사용했다. 그로 인해 전기 소비 변화 없이 최종에너지 소비 변화만으로 전기화율 지표 수치가 달라질 수 있어 결과 해석에 주의를 기울여야 한다. 향후 전기화 정도를 보다 정확히 반영할 수 있는 통계 구축에 대한 연구가 필요하다. 또한 이 연구는 분석이 너무 많아지지 않도록 코로나19 확산 이전과 이후까지 시기를 구분하지는 않았다. 만약 세 번째 분석기간(2014~2020년)을 코로나19 확산 이전과 이후로 구분해 분석한다면 코로나19로 인한 변화까지 파악하는데 도움이 될 수 있다.

■ 참고문헌 ■

- 고재경·김성욱·주정현, 2015, “기초지자체 에너지 소비 변화 요인 및 특성 분석: 경기도 지역을 중심으로,” 『지방행정연구』, 29(2), pp.127-152, DOI: 10.22783/krila.2015.29.2.127.
- 김수일, 2021, “코로나19가 한국의 전력 수급에 미친 영향 분석,” 울산: 에너지경 제연구원.
- 김진수·허은녕, 2005, “구조분해분석을 통한 국내 산업별 에너지 소비 변화요인 연구,”

『자원환경경제연구』, 14(2), pp.257-290.

산업자원부·에너지경제연구원, 2003, 『2003 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경 제
연구원.

_____, 2004, 『2004 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경 제
연구원.

_____, 2005, 『2005 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경 제
연구원.

_____, 2006, 『2006 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경 제
연구원.

_____, 2007, 『2007 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경 제
연구원.

_____, 2013, 『2013 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경 제
연구원.

_____, 2014, 『2014 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경 제
연구원.

_____, 2015, 『2015 지역에너지통계연보』, 울산: 에너지경 제
연구원.

_____, 2016, 『2016 지역에너지통계연보』, 울산: 에너지경 제
연구원.

_____, 2017, 『2017 지역에너지통계연보』, 울산: 에너지경 제
연구원.

_____, 2018, 『2018 지역에너지통계연보』, 울산: 에너지경 제
연구원.

_____, 2019, 『2019 지역에너지통계연보』, 울산: 에너지경 제
연구원.

_____, 2020, 『2020 지역에너지통계연보』, 울산: 에너지경 제
연구원.

_____, 2021, 『2021 지역에너지통계연보』, 울산: 에너지경 제
연구원.

에너지경제연구원, 2007, 『산업부문 에너지이용효율화 추이 분석기법 및 Tool 개발』,과
찬: 산업자원부.

에너지경제연구원, 2021, 『주요국 상대비교를 통한 우리나라 에너지전환정책 시사점
연구』, 의왕: 에너지경제연구원.

에너지경제연구원, 2022, 『KEEI 중기 에너지수요전망(2021~2026)』, 의왕: 에너지경제
연구원.

이상엽, 2021, “탄소중립의 요체는 에너지전환,” 『Focus』, 경제·인문사회연구회. 2021

년 가을호.

- 이서진, 2021, “코로나19와 한국전력소비 변화,” 『에너지경제연구』, 20(2), pp.183-206.
- 이재형, 2018, “철도수송부문 온실가스 배출 요인 분해분석,” 『기후변화학회지』, 9(4), pp.407-421, DOI: 10.15531/KSCCR.2018.9.4.407.
- 지식경제부·에너지경제연구원, 2008, 『2008 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경제연구원.
- _____, 2009, 『2009 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경제연구원.
- _____, 2010, 『2010 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경제연구원.
- _____, 2011, 『2011 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경제연구원.
- _____, 2012, 『2012 지역에너지통계연보』, 의왕: 에너지경제연구원.
- 진상현·정경화, 2013, “지역별 온실가스 배출특성에 관한 연구 - 지수분해분석을 중심으로,” 『한국정책과학학회보』, 17(2), pp.1-26.
- 진상현·황인창, 2009a, “지수분해분석을 이용한 지자체의 에너지 소비특성에 관한 연구,” 『자원환경경제연구』, 18(4), pp.557-586.
- 진상현·황인창, 2009b, “지자체의 온실가스 배출특성에 관한 지수분해분석 : 에너지부분을 중심으로,” 『환경정책』, 17(3), pp.101-128.
- 한국전력공사, 2003, 『2002년 한국전력통계 제72호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2004, 『2003년 한국전력통계 제73호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2005, 『2004년 한국전력통계 제74호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2006, 『2005년 한국전력통계 제75호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2007, 『2006년 한국전력통계 제76호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2008, 『2007년 한국전력통계 제77호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2009, 『2008년 한국전력통계 제78호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2010, 『2009년 한국전력통계 제79호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2011, 『2010년 한국전력통계 제80호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2012, 『2011년 한국전력통계 제81호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2013, 『2012년 한국전력통계 제82호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2014, 『2013년 한국전력통계 제83호』, 서울:한국전력공사.
- _____, 2015, 『2014년 한국전력통계 제84호』, 나주:한국전력공사.
- _____, 2016, 『2015년 한국전력통계 제85호』, 나주:한국전력공사.
- _____, 2017, 『2016년 한국전력통계 제86호』, 나주:한국전력공사.
- _____, 2018, 『2017년 한국전력통계 제87호』, 나주:한국전력공사.

- _____, 2019, 『2018년 한국전력통계 제88호』, 나주:한국전력공사.
- _____, 2020, 『2019년 한국전력통계 제89호』, 나주:한국전력공사.
- _____, 2021, 『2020년 한국전력통계 제90호』, 나주:한국전력공사.
- _____, 2022, 『2021년 한국전력통계 제91호』, 나주:한국전력공사.
- 한준, 2019, “우리나라 전력화(Electrification)의 CO₂ 배출 영향 연구,” 『환경정책』, 27(1), pp.107-129, DOI: 10.15301/jepa.2019.27.1.107
- 한준·정연미, 2015, “LMDI를 활용한 서울시 전력소비량 특성 연구,” 『환경정책』, 28(2), pp.131-151, DOI: 10.15301/jepa.2020.28.2.131.
- Ang, B. W., 2004, “Decomposition analysis for policy-making in Energy: Which is the preferred method?,” *Energy Policy*, 32, pp.1131-1139, DOI: 10.1016/S0301-4215(03)00076-4.
- Desbrosses, N., 2006, “Understanding the electrification of industrial energy consumption in Europe,” The Leonardo Energy initiative homepage.
- International Renewable Energy Agency(IRENA), 2019, *Global energy transformation - A roadmap to 2050*, Abu Dhabi: IRENA.
- Jung, Y. H. and S. H. Lee, 2014, “Electrification and productivity growth in Korean manufacturing plants,” *Energy Economics*, 45, pp.333-339, DOI: 10.1016/j.eneco.2014.07.022.
- Ma, C., 2014, “A multi-fuel, multi-sector and multi-region approach to index decomposition: An application to China's energy consumption 1995~2010,” *Energy Economics*, 42, pp.9-16, DOI: 10.1016/j.eneco.2013.11.009.
- Mairet, N. and F. Decellas, 2009, “Determinants of energy demand in the French service sector: A decomposition analysis,” *Energy Policy*, 37, pp.2734-2744, DOI: 10.1016/j.enpol.2009.03.002.
- Nishio, K. and Y. Hoshino, 2010, *Impacts of electrification on CO₂ emission reduction potentials in the G7 countries*, (SERC discussion Paper 10004), Tokyo: Central Research Institute of Electric Power Industry.
- Rogan, F., C. J. Cahill, and B. P. Ó. Gallachoir, 2012, “Decomposition analysis of gas consumption in the residential sector in Ireland,” *Energy Policy*, 42, pp.19-36, DOI: 10.1016/j.enpol.2011.10.059.
- Schurr, S. H., C. Burwell, W. D. Devine, and S. Sonenblum, 1990, *Electricity in the American economy: Agent of technical progress*, New York: Greenwood Press.
- 국가통계포털 (KOSIS), <http://kosis.kr>.
- 국가에너지통계종합시스템 (KESIS), <http://www.kesis.net>.

한준: 서울대학교 환경대학원 환경계획학과에서 박사학위를 취득하고 현재 인천연구원 경제환경연구부에서 재직 중이다. 기후변화, 탄소중립, 에너지 관련 다양한 정책 연구를 수행하고 있다(joon@ii.re.kr).

투 고 일: 2023년 01월 28일
심 사 일: 2023년 02월 09일
게재확정일: 2023년 02월 20일