

KEEI ISSUE PAPER

이슈페이퍼 23-15

에너지원단위를 이용한 국가 에너지효율 지표 개발 및 분석

김철현



이슈페이퍼 23-15

**에너지원단위를 이용한
국가 에너지효율 지표 개발 및 분석**

김철현

1. 연구의 필요성 및 목적

□ 연구의 필요성

- 국가 기준에서 에너지원단위는 에너지효율을 대표하는 데 한계가 존재함.
 - 에너지원단위는 최종 소비단 수준에서는 에너지효율과 밀접한 관계가 있지만, 상위 단계로 올라갈수록 효율 외적인 요인들이 추가되며 효율과의 관계가 약해짐.
- 국가 전체의 에너지효율의 변화를 파악하기 위해서는 이러한 원단위의 한계를 최대한 극복할 수 있는 에너지효율 지표가 필요함.

□ 연구 목적

- 본 연구의 목적은 에너지원단위에서 최대한 효율과 무관한 요소를 제거하여 국가 전체의 에너지효율 지표를 도출하는 것임.
 - 이를 위해 실제 에너지효율에 가까운 하위 소비 단계에서의 에너지원단위로 부터 부문별 에너지효율 지수를 도출하고, 이를 상향식 방식을 이용해 국가 전체의 에너지효율 지표를 산정하는 방식을 이용함.

2. 연구 방법론 및 주요 연구 결과

□ 연구 방법론

- 본 연구는 Belzer, Cort, and Ganguli(2020)(이하 BCG)의 모형을 국내 자료에 적용함.

- BCG는 디비지아 요인분해 방식을 이용해 부문별 효율 지표를 도출하고, 이를 상향식으로 합산하여 미국 전체의 에너지효율 지표가 산정되는 시스템을 구축함.
- BCG는 일차에너지 기준(Mode-1)과 최종에너지 기준(Mode-2) 효율 지표를 각각 제시함.
- 일차에너지 기준 효율은 부문별 에너지원단위를 3-요인(구조, 효율, 발전)으로 분해하여 도출되며, 최종에너지 기준 효율은 4-요인(구조, 효율, 전력화, 발전)으로 분해하여 도출됨.
- Mode-1과 Mode-2의 주요 차이는 전력화율을 효율에 포함시킬 것인지 아니면 분리할 것인지의 차이임.
- 전력은 발전에 투입된 에너지가 크므로 최종에너지소비량이 동일하더라도 전력화율이 상승하면 일차에너지소비량은 증가함.
- 따라서 산출량과 최종에너지소비량이 동일하다는 가정 하에 전력화율이 상승하면 최종에너지 기준으로는 효율(Mode-2)이 불변이나, 일차에너지 기준으로는 효율(Mode-1)이 낮아졌다고 할 수 있음.

□ BCG와의 차별성

- BCG와 자료의 존재 및 관심 요소 등으로 통계의 세분류, 활동 변수, 분해 요소 등에서 차이가 있음.
- 가정과 서비스업에서 BCG는 주거면적을 활동 변수로 이용했지만, 본 연구에서는 각각 주택 수와 산출액을 이용함.
- 수송 부문에서 BCG는 여객과 화물을 분리했지만, 본 연구는 자료 부족으로 둘을 분리하지 못함.

- 본 연구에서는 BCG에서와는 달리 열량환산기준 변경 효과를 제거하여 분석을 시도함.
 - 우리나라는 5년마다 열량환산기준 변경이 이뤄지고, 이때마다 석유환산톤(toe)기준 에너지소비량이 바뀜.
 - 따라서 이러한 열량환산기준 변경에 기인한 에너지소비 변화를 효율 변화와 분리해 살펴볼 필요가 있음.
 - 최종 부문별 분석에서는 열량환산기준이 동일한 기간을 중심으로 기간별 분석을 실시해 열량환산기준 효과를 제거했으며, 발전 부문에서는 모형 자체에 환산기준 효과를 포함하여 제거함.
- BCG는 에너지효율 지표 시스템 구축에 중심으로 두고 효율 변화에 대한 분석은 향후 연구로 제시했지만, 본 연구는 우리나라 효율 변화에 대한 분석을 시도함.
 - 최종 부문별로 기간별 분석을 통해 기간별로 부문별 원단위가 어떤 요소에 의해 얼마나 변했는지를 분석함.
 - 발전 부문에서는 발전원단위 요인분해를 통해 에너지전환정책의 효과를 분석함.

□ 주요 연구 결과

1) 산업 부문

- 산업 부문의 분석에는 에너지효율과 관련이 적은 원료용 에너지는 제외하고 분석했으며, 에너지원단위 계산에 이용된 활동 변수로는 산출액을 사용함.
 - 제조업은 에너지밸런스에서 기타제조업과 기타에너지업을 제외한 9개(음식담배, 섬유 의복, 목재나무, 펄프인쇄, 석유화학, 비금속, 1차금속, 비철금속,

조립금속) 업종으로 구성함.

- 비제조업은 3개(농림어업, 광업, 건설업) 업종으로 구성함.

○ 효율 지표의 개선 폭은 부문 전체의 에너지원단위 개선 폭과 차이를 보임.

- 제조업의 효율 지표는 분석 기간 제조업 전체 에너지원단위 개선 폭의 절반 정도 개선에 그친 것으로 나타났으며, 비제조업의 경우는 에너지원단위 개선 대비 최종에너지 기준 효율이 3배 정도 더 큰 폭으로 개선된 것으로 나타남.

- 전력화율이 상승하며 최종에너지 기준 효율(Mode-2)이 일차에너지 기준 효율(Mode-1) 대비 큰 폭으로 개선된 것으로 나타남.

○ 열량환산기준 효과를 제거한 기간별 분석에서는 2012~2016년 기간 개선되어 왔던 효율이 2017~2020년 기간에는 악화된 것으로 나타남.

- 제조업의 경우 2017~2020년의 효율 악화는 석유화학의 설비증설 효과에 따른 원단위 악화가 큰 역할을 한 것으로 보임.

- 구조 효과는 2012~2016년 기간을 제외하곤 대체로 제조업 전체 에너지원단위의 개선 요인으로 작용했으며, 전력화율은 2016년까지는 원단위 악화 요인으로 작용했으나, 2017~2020년에는 1차금속과 석유화학에서의 전력화율이 감소하며 원단위 개선 요인으로 전환함.

- 비제조업은 농림어업의 원단위가 악화세를 유지하고, 그동안 빠르게 개선되어 왔던 건설업의 에너지원단위는 정체하며 2017~2020년 기간 효율이 악화됨.

□ 서비스업 부문

○ 서비스업의 분석에서는 에너지총조사를 이용해 에너지소비를 하위 업종별로 나눠서 분석했으며, 활동 변수는 산업과 동일하게 산출액을 사용함.

- 에너지밸런스에서 서비스업은 하위 업종으로 구분되지 않아. 에너지총조사를 이용해 하위 8개(도소매, 음식숙박, 공공행정, 교육, 통신, 의료보건, 스포츠레저, 기타서비스) 업종으로 에너지소비를 분류함.
 - 서비스업에서는 기온 효과를 추가적으로 고려하여 분석함.
- 산업과 유사하게 효율 지표의 개선 폭이 에너지원단위 개선 폭 대비 작았으나, 그 차이는 상대적으로 적었음.
- 특히, 산업과는 달리 효율의 개선세는 특별하게 둔화하지 않고 유지된 것으로 나타났는데, 서비스업에서 에너지소비의 큰 비중을 차지하는 음식숙박과 도소매업에서의 지속적인 개선이 원인으로 파악됨.
 - 서비스업 에너지원단위 개선은 타 부문 대비 상대적으로 효율 개선에 기인한 것으로 나타났으며, 구조 효과가 부문 전체의 에너지원단위에 미친 영향은 미미했음.
- 기간별 분석에서도 서비스업의 효율은 2012년~2020년 기간 연평균 3% 정도로 빠르게 개선돼 양호한 개선세를 유지한 것으로 나타남.
- 기온 효과는 2007~2011년에는 서비스업 에너지원단위의 악화 요인으로 작용했으나, 2012~2020년 기간에는 원단위 개선 요인으로 작용함.

□ 가정 부문

- 가정 부문의 분석은 주택 형태별(단독주택, 아파트, 공동주택) 에너지소비와 주택 수 자료를 이용함.
- 주택 형태별 자료는 에너지경제연구원에서 운용 중인 EGMS 모형 등을 이용해 추정함.

○ 가정의 효율과 에너지원단위는 2014년경까지는 대체로 개선되었으나, 이후로는 개선세가 멈춘 것으로 나타남.

- 2015년 이후 에너지원단위는 기온 효과 등으로 소폭 상승(악화)하였으나, 효율은 동 기간 큰 변화 없이 유지됨.

- 2015년 이후 효율과 에너지원단위의 추세 변화는 2014년 하반기 국제 유가 급락에 따른 도시가스와 열에너지 실질 요금 하락 때문으로 분석됨.

○ 기간별 분석에 따르면 일차에너지 기준 효율은 2017~2020년에는 소폭 악화했으며, 최종에너지 기준 효율은 동 기간 정체한 것으로 나타남.

- 가정 부문 전체 에너지원단위는 기온 효과에 크게 영향을 받은 것으로 분석됨. 기온 효과는 서비스업과 마찬가지로 2007~2011년 기간에는 에너지원단위 악화 요인으로, 2012~2020년 기간에는 원단위 개선 요인으로 작용했으나 에너지원단위 변화에 미친 영향은 서비스업 대비 컸음.

- 단독주택에서 아파트와 공동주택으로 이동이 지속되며 구조 효과는 모든 기간에서 가정 에너지원단위의 개선 요인으로 작용해 온 것으로 분석됨.

- 전력화율은 2012~2016년 기간을 제외하고 대체로 에너지원단위 악화 요인으로 작용함.

□ 수송 부문

○ 수송 부문은 자료 한계 등으로 해운 부문을 제외한 도로, 항공, 철도의 에너지 소비와 수송서비스 자료를 이용함.

- 활동 변수로 이용한 수송서비스의 경우 여객-도로 부문의 승용차의 인-km 자료가 2011년 이후부터 조사되기 시작해 2010년까지 자료는 추정함.

- 화물-해운-국제 부문의 톤-km 자료는 집계되지 않아, 수송 부문 분석에서 해운 부문을 제외함.
- 수송 효율은 2020년을 제외하고 수송 전체의 에너지원단위와 유사한 움직임을 보임.
 - 도로 부문이 수송 전체 에너지소비의 약 90% 가량을 차지하면서, 원단위와 효율의 변화 양상과 변화 폭이 타 부문에 비해 유사하게 나타남.
 - 단, 2020년에는 코로나19 사태로 에너지원단위가 전년 대비 13% 이상 큰 폭으로 상승(악화)했지만, 효율은 상승 폭이 5% 정도에 그침.
 - 수송의 원단위와 효율은 2009~2015년 기간에는 빠르게 개선되었으나, 이후는 개선세가 멈춤.
 - 이는 가정 부문의 효율이 2015년 이후 개선세가 멈춘 것과 같이 국제 유가 급락에 따른 국내 수송 연료유 가격 하락 때문으로 분석됨.
- 기간별 분석에서는 2020년의 급격한 효율 변화로 기간-4(2017~2020년) 효율이 연평균 2.0% 악화된 것으로 분석됨.
 - 구조 요인은 도로 부문의 비중이 상승하며 기간-3(2012~2016년)에서 원단위 악화 요인으로 작용했는데, 특히 2020년에는 승용차가 대중교통을 대체하며 기간-4의 원단위 악화의 주 원인이 됨.

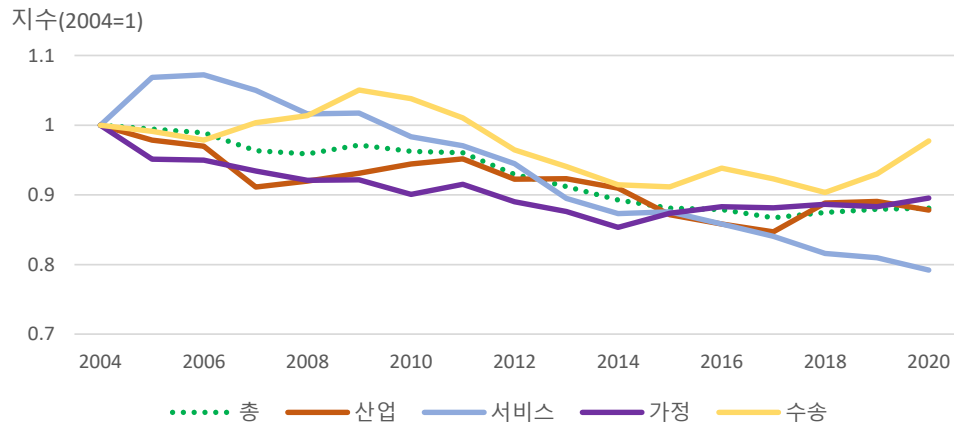
□ 국가 에너지효율 지표 도출

- 부문별 효율 지수를 이용해 상향식으로 도출된 국가 전체의 효율 지표는 2017년경까지 개선되다 이후는 개선(하락)세를 멈춤.
 - 일차에너지 기준 효율(Mode-1)은 2017년 이후 소폭 악화(상승)된 것으로 나타났으며, 최종에너지 기준 효율(Mode-2)은 2018년에 악화(상승)했다 이

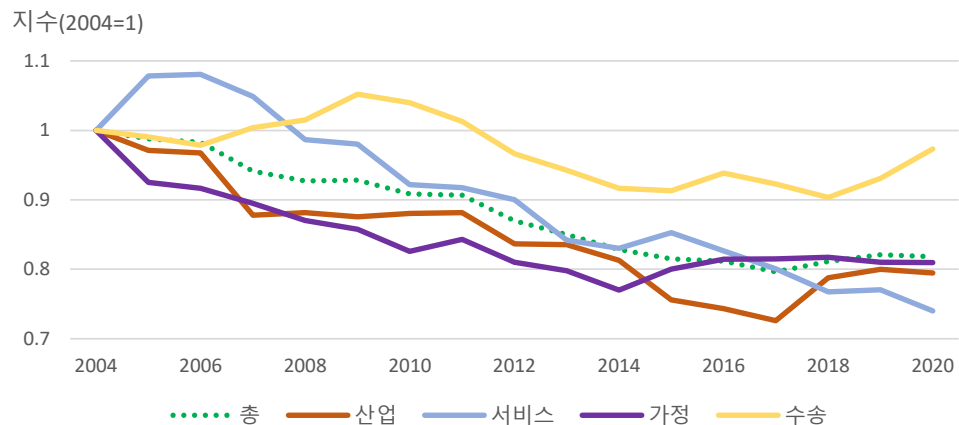
후는 변화가 크지 않은 것으로 나타남.

- 2015년경까지는 모든 부문에서 효율 개선이 이뤄지며 국가 전체의 효율도 빠르게 개선되었으나, 가정과 수송의 효율이 2015~2016년경부터 정체 또는 소폭 악화되고, 산업의 효율도 2018~2019년 기간 큰 폭으로 악화됨.
- 반면, 서비스업의 효율은 대부분 기간에서 빠르고 견조한 개선(하락)세를 유지하며 국가 전체의 효율 개선을 주도함.

〈부문별 및 국가 총 효율(일차에너지 기준: Mode-1) 변화〉



〈부문별 및 국가 총 효율(최종에너지 기준: Mode-2) 변화〉



□ 국가 발전효율(발전원단위) 변화 분석

- 총 발전원단위는 국가 전체의 발전효율이라고 할 수 있는데, 본 연구에서는 총 발전원단위를 협의의 발전 에너지원별 효율, 발전믹스, 열량환산기준 효과로 분해하여 분석함.
 - 자료는 에너지원별(무연탄, 유연탄, 유류, 가스, 원자력, 수력 및 기타신재생) 발전 투입 에너지와 발전량을 이용함.
 - 최종 부문과는 달리 열량환산기준 효과를 모형 자체에 포함시켜 분석함.
- 분석 결과 국가 총 발전효율(발전원단위)에 가장 큰 영향을 미친 요인은 열량 환산기준 변경으로 나타남.
 - 특히, 2007년 7차 열량환산기준 변경으로 총 발전효율이 9% 가까이 개선된 것으로 분석됨.
 - 2021년 총 발전효율(발전원단위)은 2004년 대비 15% 가량 개선되었는데, 이중 협의의 발전 에너지원별 효율은 3% 정도 개선된 것으로 나타남.
- 기간별 분석으로는 에너지전환정책 효과 분석을 위해 2012~2016년과 2017~2021년(에너지전환정책 기간)을 비교 분석함.
 - 에너지전환정책에 따른 총 발전효율의 개선 폭은 크지 않았음. 2012~2016년 기간에도 총 발전효율은 연평균 2.91%로 빠르게 개선되었고, 전환정책 기간에는 2.96%로 개선세가 소폭 상승함.
 - 이는 전환정책 기간 가스의 발전원단위가 악화하며 국가 전체의 총 발전원단위 개선세가 제한되었기 때문임.
 - 반면, 에너지전환정책과 직접적으로 연결되는 발전믹스 효과가 2012~2016년 발전원단위의 악화 요인에서 전환정책 기간에는 개선 요인으로 전환돼 정책 효과가 분명하게 나타남.

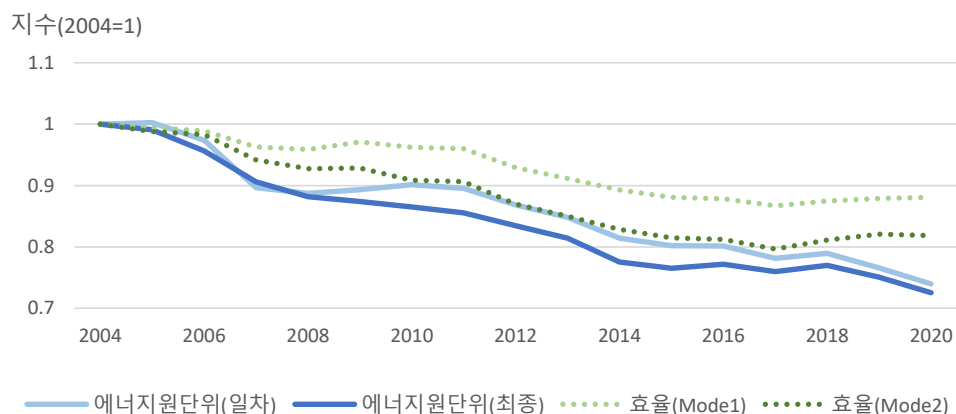
- 에너지전환정책 기간 총 발전효율(발전원단위)은 2.96% 개선됐는데, 이 중 절반 이상인 1.54%p가 발전믹스 변화에 기인한 것으로 분석됨.

3. 결론

□ 연구의 의의

- 기존에 국가 에너지효율을 대표하는 변수로 사용되는 에너지원단위 대비 에너지효율 변화를 더욱 잘 추적할 수 있는 에너지효율 지표를 도출함.
- 부문별 에너지효율 지표가 상향식으로 합산되어 국가 전체의 효율 지표로 계산되어졌으며, 이를 통해 부문별 기여도 등의 분석이 가능했음.
- 우리나라는 열량환산기준에 따라 에너지소비량이 크게 변동할 수 있는데, 본 연구에서는 BCG에서 고려하지 않았던 열량환산기준 변경 효과까지 고려함.
- 향후 보다 세분화된 자료를 이용한다면 보다 정확한 효율 지표를 도출해 내는 것이 가능하며, 본 연구는 이에 대한 방법론을 제시함.

〈국가 에너지원단위와 효율(최종에너지 기준) 비교〉



□ 주요 결론 및 정책제언

- 기존의 에너지원단위와 에너지효율 지표의 변화 폭에는 큰 차이가 존재하는 것으로 나타남.
 - 변화 양상은 기간별로 차이가 나는 때도 있었지만, 대체로 에너지원단위와 효율 지표는 유사한 움직임을 보임.
 - 반면, 변화 폭에 있어서는 효율 지표의 개선 폭은 에너지원단위의 개선 폭의 절반 정도로 차이가 크게 나타남.
- 이는 국가 에너지효율 정책의 평가 기준을 현재와 같이 국가 에너지원단위로 설정하는 것이 불합리함을 나타냄.
 - 효율 정책의 성과를 에너지원단위의 개선 폭으로 평가할 경우, 정책의 효과가 크게 과대 평가될 수 있음. 보다 정확한 평가를 위해서는 본 연구에서 제시된 에너지효율 지표를 이용해야 할 것으로 보임.
 - 만약, 정책 목표가 국가 에너지원단위 개선이라면 에너지효율 정책뿐만 아니라 산업 구조 개편, 대중교통 및 아파트 보급 확대 등의 구조적 요인과 관련된 정책에도 관심을 가져야 할 것으로 보임.