

기업의 에너지 원단위에 영향을 미치는 요인에 대한 패널 회귀분석*

이규환** · 전봉걸***

본 논문은 에너지 효율 정책의 효과적 수행을 뒷받침하기 위한 목적으로 제조업 기업의 에너지 원단위와 이것에 영향을 미칠 것으로 예상되는 기업의 특성을 회귀분석하였다. 주요한 분석결과로서, 자본집약도가 증가하면 기업의 에너지 원단위가 증가한다는 점과 설비투자의 증가가 기업의 에너지 원단위를 감소시킬 수 있다는 점을 제시하였다. 또한 에너지 원단위를 연료 에너지 원단위와 전력 에너지 원단위로 구분하여 분석을 실시하였고, 에너지 원단위 분석을 개별 에너지에 대한 에너지 원단위로 구분하여 수행할 필요성을 제시하였다. 본 논문이 제시한 분석결과는 향후 선행 연구가 부족한 에너지 원단위의 미시 실증 연구 분야에서 참고 및 비교할 수 있는 자료가 될 수 있을 것으로 전망된다.

핵심주제어: 에너지 효율, 에너지 원단위, 자본집약도, 기후변화, 고정효과모형
경제학문헌목록 주제분류: N70, Q40

I. 서론

기후변화 문제에 대한 정책적 관심은 이제 더 이상 선진국만의 문제가 아니다. 지난 이명박 정권에서 녹색성장 기조가 강조된 이후, 국회에서는 저탄소 녹색성장 기본법이 의결되었고 이에 발맞추어 정부는 2015년에 탄소배출권 거래제를 도입하겠다고 예고하였을 뿐만 아니라 2020년도 온실가스 감축 목표¹⁾를

* 논문의 부족한 점과 그에 대한 발전 방향을 제시해 준 심사위원분들의 조언에 감사드립니다.

** 제1저자, 서울시립대 경제학부 석사, 한국과학기술기획평가원 위촉연구원, 전화: (02) 589-2793, E-mail: korea84hwan@naver.com

*** 교신저자, 서울시립대 경제학부 부교수, 전화: (02) 6490-2065, E-mail: bonggeul@gmail.com

논문투고일: 2015. 3. 25 수정일: 2015. 5. 27 게재확정일: 2015. 7. 6

1) 환경부는 지난 2014년 1월 녹색성장위원회의 심의를 거쳐 2020년 온실가스 배출치를 2020년 온실가스 배출 전망치(Business As Usual: BAU) 대비 30% 감축하겠다고 발표하였다.

제시하였다. 또한 지방자치단체에서는 기후변화 문제에 대응하기 위해 자체적인 계획을 수립하거나 대응 역량을 증진하기 위한 교육을 실시해 왔으며, 다양한 분야의 국책연구기관에서는 자신들의 주요 주제와 기후변화 문제를 접목한 연구보고서를 발표해 왔다.

이러한 움직임은 이제 한국이 대내외적으로 기후변화 문제로부터 자유로울 수 없다는 점을 시사한다. 지난 몇 년 간 한국은 폭우, 폭염, 폭설 등 극단적인 기상이변의 강도와 빈도가 높아지는 것을 목격해 왔고, 2020년에 효력이 발생할 교토 의정서²⁾의 후속 협약에 의해 한국도 온실가스 감축 의무가 부여될 것으로 예상되기 때문이다. 이에 따라 효과적인 기후변화 대응 정책을 마련하는 것이 정부, 기업, 지방자치단체 등 온실가스 배출을 관리·조정할 수 있는 주체들의 주요한 과제로 떠오르게 되었다.

기후변화 문제에 대응하기 위한 국제사회 및 각국의 정책은 기후변화의 피해를 최소화하는 적응(adaptation) 정책과 온실가스 배출을 감축하여 기후변화를 안정화시키는 완화(mitigation) 정책으로 구분되고 있다(Stern, 2006). 한국과 같이 산업화가 완료되고 일정 수준의 경제성장을 성취한 국가군에서는 완화 정책이 더 높은 정책적 우선순위를 갖는데, 완화 정책은 신재생에너지원의 확충, 탄소 배출을 감축하는 기술의 개발, 에너지 효율의 증가 등을 포함한다. 이 중에서도 에너지 효율과 관련된 정책은 상대적으로 단기간에 그리고 저비용으로 수행할 수 있는 정책으로 여겨진다. 이러한 이유로 IEA, EEA, IPCC 등 환경과 관련된 국외 정부기관 및 국제기구들은 완화 정책과 관련하여 에너지 효율 정책을 우선적으로 시행할 것을 권고하고 있다(지식경제부, 2012). 한국은 에너지 효율성을 측정하는 에너지 원단위(energy intensity)³⁾가 다른 산업화된 선진국들에 비해 비교적 높은 것으로 나타나고 있기 때문에 에너지 효율을 개선함으로써 온실가스 배출을 상당 부분 감축할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 에너지 효율과 관련된 현 정부의 정책, 특히 산업 부분의 에너지 효율 정책은 여러 가지 문제점을 노정하고 있다. 낮은 전력 요금으로 인하여 에너지 절감에 대한 인센티브를 제공하지 못하고 있으며, 단순히 기업의 자발적

2) 교토 의정서는 지구온난화 규제 및 방지를 위한 국제협약인 기후변화협약(UNFCCC)의 구체적 이행 방안으로서, 2008년에서 2012년 동안 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5% 감축하는 것을 목적으로 삼는다. 교토의정서는 산업화가 완료된 국가에게만 감축 목표를 부과하였지만, 교토 의정서 이후 체결될 국제협약에서는 개도국에게도 감축 목표가 부과될 것으로 전망되고 있다.

3) 에너지 원단위(energy intensity)는 부가가치 한 단위를 만들기 위해서 사용된 에너지량을 나타내는 지표로서, 에너지 사용량을 부가가치로 나눈 값으로 구해진다.

협약에 따라 에너지 절약을 유도하고 있을 뿐이다. 또한 에너지 다소비업체를 대상으로 실시하고 있는 온실가스목표관리제도 낮은 과태료로 인하여 그 실효성에 의문이 제기되고 있다.

이러한 문제점에 더하여 세부적인 에너지 효율 정책을 수립하는 데 필요한 실증적인 에너지 소비 분석도 미흡한 실정이다. 산업의 에너지 효율을 분석하는 실증 연구는 산업 전체의 집계된 자료⁴⁾를 사용한 시계열 분석이나 요인구조분해 분석이 주로 사용된 반면, 기업을 관측 단위로 삼아 기업의 특성과 세부 산업의 변화에 따라 에너지 소비 및 에너지 원단위가 어떻게 변화하는지에 대한 미시 실증분석은 상대적으로 부족한 상황이다. 또한 정책평가와 관련된 사전적·사후적 분석도 부족하여 주로 국외 사례에 의존하여 정책 개발을 추진하는 경향을 보여 왔다(이성근, 2007).

이처럼 현재와 같이 에너지 효율에 대한 인센티브 체계가 제대로 작동하지 않고, 산업 및 기업의 특성을 고려하지 않는 에너지 효율 정책 하에서는 효과적인 에너지 효율 정책의 입안과 성공을 보장할 수 없다. 따라서 본 논문은 성공적인 에너지 효율 정책의 수립을 위한 기초적인 실증분석을 실시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ절에서는 2000년부터 2012년까지 제조업의 에너지 소비 현황을 살펴봄으로써 에너지 원단위와 에너지 비용이 어떻게 변화하고 있는지를 살펴본다. 제Ⅲ절에서는 에너지 소비 및 에너지 원단위와 관련된 선행 연구를 검토하는 한편, 에너지 효율의 분석과 관련된 선행 연구의 대부분은 요인분해 분석방법이 사용되었기 때문에 요인분해 분석방법의 장점과 단점을 평가하고 이에 대한 회귀분석 방법의 장점을 고찰한다. 제Ⅳ절에서는 분석모형 및 방법을 소개하고, 분석에 쓰인 자료의 특성과 분석에 사용될 자료를 어떻게 정리·가공하였는지를 설명한다. 그리고 마지막 제Ⅴ절에서는 분석결과를 제시하였고, 분석결과의 강건성을 검증하기 위해 연도를 구분한 분석과 독립변수를 순차적으로 포함한 분석을 수행하였고 그 결과를 부록에 제시하였다.

4) 집계된 자료는 그보다 더 세부적인 단위들의 정보를 잃기 때문에 세부 산업별로 에너지 소비 변화가 어떻게 나타나고 있는지를 분석하지 못한다. 따라서 특정 산업의 에너지 소비 절감 노력을 제대로 평가할 수 없게 된다(김윤경·장운정, 2011). 또한 집계된 자료의 세부 단위들, 예를 들어 기업들의 이질성을 적절하게 고려하지 못하게 된다(정한경, 2005). 한편, 조장희·허정(2013)의 발견처럼 제조기업이 오프쇼어링을 선택하게 되면 에너지 사용이 영향을 받을 수 있다.

II. 제조업의 에너지 사용 현황

2010년 제조업의 에너지 사용량이 농어업·광업·건설업·제조업을 포함한 산업 전체의 에너지 사용량에서 차지하는 비중은 95.1%로 나타났다. 산업, 수송, 가정, 상업공공 부문을 포함한 국가 전체의 에너지 사용량과 비교했을 경우, <표 1>에서와 같이 제조업의 에너지 사용량은 국가 전체의 에너지 사용량의 53.28%를 차지하는 것으로 나타났다.

제조업의 에너지 사용량이 국가 전체의 에너지 사용량의 절반 이상을 차지하는 것은 제조업의 에너지 사용량에 제조 원료로 쓰이는 납사, 원료탄 등이 같이 포함되기 때문이다. 지식경제부에서 발행하는 『2011 에너지통계연보』의 ‘2010 Energy Balance Flow’에 따르면 제조업에서 사용되는 납사 등 산업 원료가 국가 전체 에너지 사용량에서 차지하는 비중은 21.9%로 나타난다. 따라서 제조업에서 생산을 위해 사용되는 에너지 사용량은 국가 전체 에너지 사용량의 약 34%를 차지한다.

<표 2>는 부문에 따른 전력 사용량을 나타낸다. 전력 사용량만을 놓고 보았을 때, 2013년 제조업의 전력 사용량은 국가 전체 전력 사용량의 51%에 달하

<표 1> 부문별 에너지 소비량

(단위: 천 TOE, %)

에너지 소비 부문		에너지 소비량			2010년 구성비
		2004년	2007년	2010년	
산업	농어업	5,245.6	3,156.7	3,433.9	1.9
	광업	186.7	141.6	145.4	0.1
	제조업	81,354.7	94,026.6	97,988.7	53.3
	건설업	826.3	1,219.0	1,449.3	0.8
	소계	87,613.3	98,543.9	103,017.2	56.0
수송		37,318	39,789.6	41,900.1	22.8
가정		20,685.4	18,885.0	21,923.5	11.9
상업공공		12,912.3	14,646.2	17,071.1	9.3
합계		158,528.8	171,864.8	183,912.0	100.0

자료: 지식경제부, 『2011 에너지총조사보고서』, 2012.

〈표 2〉 부문별 전력 소비량

(단위: MWh, %)

전력 소비 부문		전력 소비량			2013년 구성비
		2005년	2010년	2013년	
산업용	농어업	7,006,511	10,041,853	13,061,607	2.8
	광업	1,317,119	1,682,953	1,478,043	0.3
	제조업	158,488,980	211,446,643	242,301,427	51
	소계	166,812,610	223,171,450	256,841,077	54.1
업무용	공공용	13,740,622	19,871,542	21,982,156	4.6
	서비스업	100,986,561	129,923,068	132,054,876	27.8
	소계	114,727,183	149,794,610	154,037,032	32.4
주거용		50,873,036	61,194,167	63,970,472	13.5
합계		332,412,828	434,160,228	474,848,580	100.0

자료: 전력통계시스템, 판매-용도별 판매전력량.

는 것으로 나타났다. 이는 2010년 제조업의 에너지 사용량 비중인 34%보다 더 높은 수치이다.

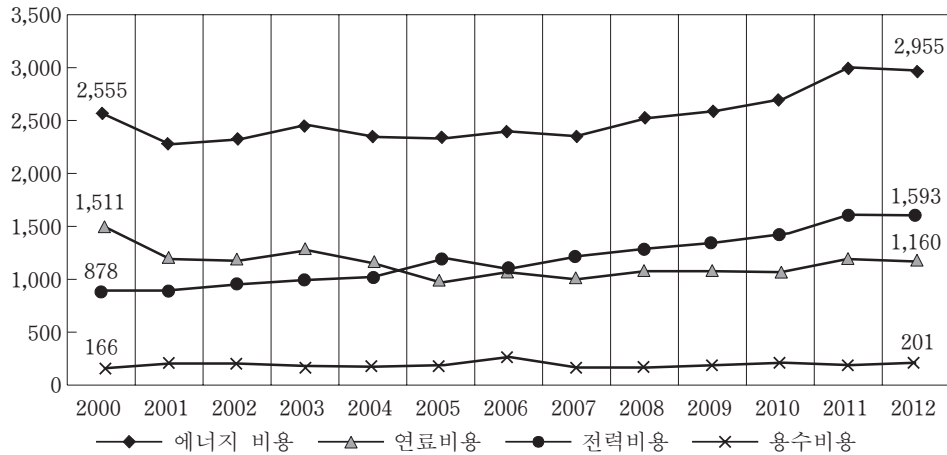
2000년부터 2012년까지 제조업의 전력비용과 연료비용의 변화를 나타내는 〈그림 1〉⁵⁾을 살펴보면 두드러진 특징을 발견할 수 있다. 지난 10년간 전력비용은 증가하고 있는데 반해 연료비용은 감소하는 추세를 보이고 있는 것이다. 동기간 제조업의 산출량이 감소하지 않고, 원유의 가격이 하락하지 않았다면 연료비용이 감소하는 원인을 설명하기 힘들다. 단기간에 에너지 사용 효율성이 증가하여 연료비용이 감소하였다고 설명하기도 힘들 것이다. 대신에 원유보다 상대적으로 발열 효율성이 좋은 천연가스의 사용 증가에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다.⁶⁾

〈그림 1〉에서 확인한 바와 같이 지난 10년 동안 전력비와 연료비의 변화는 상반된 양상을 보여 왔다. 이러한 양상은 에너지 원단위의 변화에서도 확인할 수 있다. 〈그림 2〉는 2000년부터 2012년까지의 에너지 원단위 변화를 나타내는데, 에너지 원단위는 2000년 0.098에서 2012년 0.063으로 약 1/3 가량 하락한

5) 〈그림 1〉의 금액은 실질가치화된 금액이다.

6) 에너지기본법 시행규칙 제5조에 따라 작성되는 에너지 열량환산 기준에 따르면, 천연가스의 발열량은 kg당 11,750kcal이고 원유의 발열량은 kg당 10,100kcal이다.

150 기업의 에너지 원단위에 영향을 미치는 요인에 대한 패널 회귀분석



〈그림 1〉 제조업 에너지 비용 변화

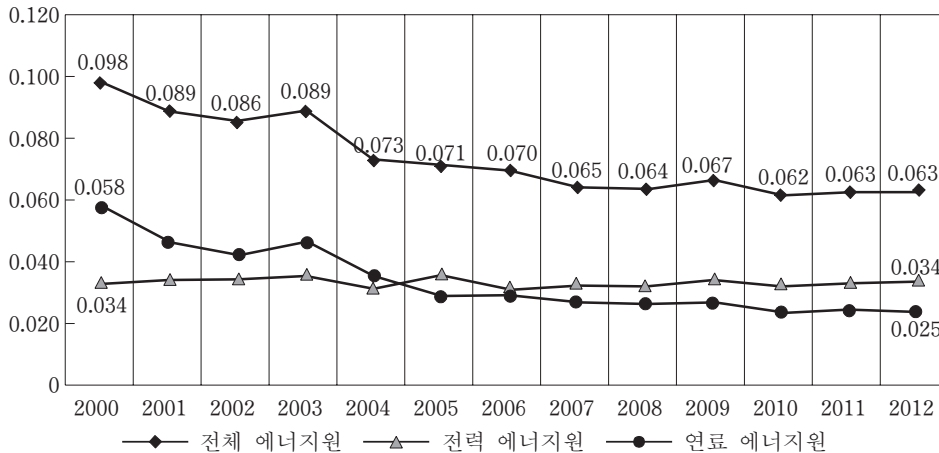
〈표 3〉 제조업 연료용 에너지 사용 추이

연료	단위	2001년	2004년	2007년	2010년	변화율(%)
휘발유	kl	74,415.8	16,666.0	6,004.9	15,942.7	-78.6
등유	kl	477,178.2	318,511.5	283,027.8	155,364.5	-67.4
경유	kl	1,146,172.1	390,430.1	264,511.5	370,950.2	-67.6
경질중유	kl	109,310.4	85,421.3	68,879.1	49,194.7	-55.0
중유	kl	84,517.1	61,517.3	48,307.6	11,329.4	-86.6
중질중유	kl	9,615,540.0	8,445,462.1	7,162,105.4	4,653,050.2	-51.6
프로판	톤	833,375.1	852,608.8	986,572.4	1,326,961.0	59.2
부탄	톤	481,033.7	374,155.9	732,453.1	705,563.5	46.7
도시가스	천M ³	3,324,632.5	4,285,150.5	5,302,691.8	6,501,293.4	95.5

주: 1) 2002, 2005, 2008, 2011 에너지총조사보고서의 내용을 참고하여 작성함.

2) 변화율은 2002년에서 2010년도의 변화임.

것으로 나타났다. 그러나 에너지 원단위를 연료와 전력으로 나누어 보면 동 기간 전력의 에너지 원단위는 0.034를 유지하며 일정한 수준에서 머물러 있었던 것에 반해 연료의 에너지 원단위는 0.058에서 0.025로 절반 가까이 하락하였다. 이러한 연료 에너지 원단위의 변화는 에너지 효율이 개선되어 나타났다가보다는 앞서 살펴본 바와 같이 연료 에너지 사용 변화에서 발생한 것으로 설명할 수 있을 것이다. 따라서 에너지 원단위의 변화를 제대로 평가하기 위해서는 연료 에너지 원단위와 전력 에너지원 원단위를 구분하여 분석을 실시하는 것이



〈그림 2〉 제조업 에너지 원단위의 변화

필요하다.

Ⅲ. 선행 연구 검토

산업의 에너지 소비의 변화를 분석하는 대표적인 방법론은 요인분해 분석이다. 요인분해 분석은 에너지 소비 변화를 발생시킨 요인을 몇 가지로 단순화시켜 어떤 요인이 에너지 소비 변화에 얼마만큼 기여했는가를 분석한다. 정한경(2005)은 요인분해 분석의 기초적인 형태를 두 가지 형태로 분류하였다. 첫 번째 형태는 총에너지 소비의 변동을 산업생산 활동 증가(성장효과), 생산제품의 구성 변화(산업구조효과), 그리고 세부분별 에너지 원단위의 변화(에너지 원단위 효과)로 분해하는 것이다. 두 번째 형태는 에너지 원단위를 분해한 분석으로서, 에너지 원단위를 산업구조효과와 비구조적·기술적 원단위 변화효과로 분해하는 것이다. 위의 두 가지 형태 모두에서 에너지 원단위는 통상적으로 에너지 효율을 나타내는 지표로서 해석되는데, 에너지 소비의 감소가 에너지 원단위의 변화로부터 발생했을 경우 산업의 에너지 효율이 증가했다고 해석된다(이진식, 2010).

이 요인분해 분석방법을 이용하여 한국 산업의 에너지 소비의 변화를 분석한 최근의 논문들은 일정 부분에서는 동일한 분석결과를 도출했지만, 다른 부분에서는 다른 결과를 도출하였다. 이성인·최도영(2010)은 2000년부터 2009년 기간

동안 로그디비지아 방식⁷⁾을 사용하여 생산효과는 에너지 소비 증가에 기여하는 것으로 분석했지만, 산업구조효과와 에너지 원단위 효과는 에너지 소비 감소에 기여하는 것으로 분석했다. 이진식(2010)도 1995년부터 2008년까지 제조업의 에너지 소비 변화를 요인분해 방법 중 로그디비지아 방식을 사용하여 생산효과로 인한 에너지 소비의 증가와 산업구조효과 및 에너지 원단위 효과로 인한 에너지 소비의 감소를 확인하였다. 1990~2009년 기간 동안 한국과 일본의 제조업, 서비스업, 기타 산업의 에너지 소비 변화를 로그디비지아 방식으로 분석한 박정욱(2013)은 2000년 이전까지는 제조업의 산업구조효과와 에너지 원단위 효과가 에너지 소비를 증가시키는 요인으로 작용하다가 2000년부터는 두 효과가 에너지 소비를 감소시키는 요인으로 작용한다는 것을 제시하였다. 이는 이성인·최도영(2010)과 이진식(2010)의 분석결과와 일정 부분 상통하는 분석결과이다. 비교적 최근의 연구로서는 임재규(2014)가 로그디비지아 방식을 이용하여 2000년부터 2011년까지의 제조업 및 산업의 전력 소비의 변화를 분석하였다. 분석결과, 생산효과는 예상대로 전력 소비의 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 구조효과는 전력 소비를 감소시키는 것으로 나타났는데, 이것은 산업구조가 그 동안 전기·전자, 자동차, 조선 등을 포함하는 에너지 저소비 고부가가치 산업으로 변화하였기 때문으로 해석되었다. 반면, 에너지 원단위 효과는 전력 소비를 증가시키는 것으로 나타났다. 이는 제조업에서 에너지 효율 개선을 위한 노력이 크게 부족했다는 것을 시사하는 것으로서, 이것의 원인으로 전력시장에서 가격신호가 제대로 작동하지 않으며, 에너지 효율이 높은 생산 장비의 보급 확대 등을 위한 노력이 부족하였다는 점을 지적하였다.

위에서 검토한 요인분해 방법의 선행 연구들로부터 에너지 소비에 대한 생산효과에서는 거의 일치된 분석결과를 가져왔다. 하지만 에너지 효율 개선의 정도를 나타내는 에너지 원단위 효과에서는 다소 상반된 결론을 내리고 있다. 이는 연구마다 분석기간이 다르고, 분석에 사용된 자료의 출처, 그리고 그 자료를 가공·조정함에 있어서 어떤 보완적인 자료를 사용했는지가 연구마다 각각 다르기 때문인 것으로 판단된다.

7) 에너지 소비 변화를 생산 효과, 산업구조 효과, 에너지 원단위 효과로 분해하는 방법은 크게 라스파이레스 계열과 디비지아 계열로 구분될 수 있다. 라스파이레스 계열은 각각 기준연도 및 비교연도에 변수 가중치를 두어 그 요인의 변화가 전체 지수의 변화에 미치는 영향을 비율로 표시한 방법론이다. 라스파이레스 계열은 변수 가중치를 두는 기준연도의 설정 문제가 존재한다. 반면, 디비지아 계열은 어느 한 연도의 수치를 가중치로 사용하지 않고, 기간의 평균을 가중치로 사용한다(이진식, 2010).

위에서 검토한 바와 같이 요인분해 방법은 에너지 소비의 변화를 몇 가지 요인으로 분해하여 에너지 원단위의 변화로부터 에너지 효율의 변화를 평가할 수 있다. 또한 집계 자료를 사용하기 때문에 국가 간 에너지 효율의 변화를 비교하는 데 용이하다. 그러나 요인분해 방법은 분석적인 측면에서 여러 가지 단점을 가지고 있다. 첫 번째로 지적할 점은 에너지 원단위의 변화, 즉 에너지 효율 변화가 어떠한 요인으로부터 발생했는지를 분석할 수 없다는 점이다. 정책적 관점에서 국가 경제의 파급효과가 큰 에너지 가격을 제외하고 에너지 소비를 변화시킬 수 있는 주요한 요인은 바로 에너지 효율의 개선이다. 그런데 요인분해 방법은 에너지 효율의 변화를 추정할 수 있지만 이것이 어떠한 요인으로부터 발생했는가를 분석할 수 없다. 따라서 요인분해 방법으로부터 에너지 효율 개선을 위한 정책적 근거를 제시하기는 어렵다. 두 번째로 지적할 점은 에너지 소비 변화를 야기하는 요인을 생산의 변화, 산업구조의 변화, 에너지 원단위의 변화로 제한한다는 점이다. 이러한 분석상의 제약은 에너지 소비 및 에너지 효율에 영향을 미칠 것으로 예상되는 다른 요인들, 특히 가격 및 정부 정책의 변화를 분석에 포함시키지 못한다. 마지막으로 지적할 점은 산업의 집계 자료를 사용하기 때문에 산업 내 사업체의 특성을 고려한 분석을 실시할 수 없다는 점이다. 사업체마다 종사자 수, 자본의 보유량, 운영연도, 경영조직, 연료비, 전력비 등 사업체의 특성을 나타내는 변수들의 값이 다르기 때문에 집계 자료를 사용하게 될 경우에는 사업체 내의 변수들이 변화함에 따라 에너지 효율이 어떻게 변화하는지를 분석할 수 없다.

따라서 에너지 효율에 영향을 미치는 요인에 대한 분석을 다각화하고 정교화하기 위해서는 미시수준에서의 자료를 사용한 회귀분석 방법을 이용할 필요가 있다. 왜냐하면 회귀분석은 기본적으로 종속변수와 인과관계를 가질 것으로 예상되는 다양한 변수들을 설명변수로 사용하여 그 설명변수가 종속변수에 가하는 영향의 방향성을 추정할 수 있을 뿐만 아니라 그 크기도 추정할 수 있기 때문이다. 또한 미시수준의 자료에는 분석집단을 구성하는 개체에 대한 다양한 정보가 포함되어 있어 개체가 가지고 있는 특성들을 고려할 수 있을 뿐만 아니라 분석집단을 다양한 기준에 따라 분류하여 하위 집단에 대한 심층적인 분석을 실시할 수 있기 때문이다. 그러나 이러한 분석방법상의 장점에도 불구하고 미시 자료를 이용한 회귀분석 연구는 활발하게 이루어지지 않고 있으며 기본적인 연구 틀도 정립되어 있지 않은 상황이다.

아래에서 검토하는 선행 연구는 에너지 소비를 분석함에 있어 미시수준의 자

료를 사용하고 회귀분석 방법이 적용된 연구들이다. 각각의 선행 연구들은 어떤 연관성을 가지진 않지만 에너지 원단위를 이용하여 에너지 효율에 대한 회귀분석을 실시했다는 점에서 의의를 갖는다.

우선, 정용훈(2012)은 사업체의 특성을 나타내는 노동집약도, 자본집약도, 수출 여부, 그리고 에너지 중 전력사용 비중이 에너지 원단위에 미치는 영향을 분석하였다. 분석에는 1990~1999년 광업·제조업 조사의 미시 자료가 사용되었고, 에너지 원단위 계산에 사용되는 전력비와 연료비는 물가의 변동을 반영하지 않은 명목비용이라는 점을 감안하여 이들 비용을 실질비용으로 환산하였다. 분석결과를 살펴보면,⁸⁾ 자본집약도가 증가할수록 에너지 원단위가 증가하는 것으로 나타났고, 전력 비중이 증가할수록 에너지 원단위가 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 분석결과를 토대로 에너지 비용 중 전력비용의 비중이 낮고 자본집약도가 높은 사업체에 초점을 맞추어 에너지 효율 정책을 수립하고 집행할 것을 정책적 시사점으로 제시하였다.

전봉걸(2013)은 온실가스 관련 비용을 연료 요금, 전력 요금, 용수 요금의 합으로 정의하고, 온실가스 관련 비용 및 에너지 원단위를 종속변수로 삼아 기업의 설비투자와 1인당 생산성이 종속변수에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하였다. 분석에는 2006년에서 2009년까지의 광업·제조업 조사의 미시 자료가 사용되었고, 분석방법에는 Pooled 최소자승법(OLS)이 사용되어 2006년과 2007년을 합한 분석과 2008년과 2009년을 합한 분석을 나누어 실시하였다. 또한 2008년과 2009년을 합한 자료에 분위수 회귀분석 방법이 사용되어 온실가스 비용 관련 지출수준이 다른 집단에 따라 기업의 설비투자와 1인당 생산성의 회귀계수 값이 어떻게 변화하는가를 분석하였다. 분석결과, Pooled 최소자승법을 사용한 분석에서 기업의 설비투자와 1인당 생산성이 온실가스 관련 비용을 증가시키는 것으로 나타났다. 단, 2006년과 2007년의 Pooled 최소자승법에서는 1인당 생산성이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 그리고 1인당 생산성의 증가는 에너지 원단위의 감소를 유발하는 것으로 나타났다.

해외에서도 미시 자료를 이용한 회귀분석 연구 분야는 사실상 불모지와 같다. 그러나 인도에서 자국의 PROWESS DATA BASE를 이용한 연구가 종종

8) 분석에는 Pooled OLS가 사용되었다. 만약 종속변수에 영향을 미치지 않지만 관찰되지 않으면서 시간에 상관없이 일정한 효과를 주는 설명변수가 존재하고, 이 설명변수가 모형에 포함된 독립변수와 상관관계를 가지고 있다면, Pooled OLS의 회귀계수 추정 값은 편의를 갖게 된다(Wooldridge, 2013). 따라서 패널 자료를 사용한 분석에는 이러한 문제점을 고려한 패널 모형이 주로 선호된다.

이루어져 왔다. Kumar(2003)는 인도의 기업 패널 데이터 제공 서비스인 PROWESS DATA BASE로부터 추출한 데이터 셋을 이용하여 기업수준에서 에너지 원단위의 변화에 영향을 미치는 요인에 대한 회귀분석을 실시하였다. 분석에 사용된 변수는 R&D 투자액, 해외 자본 소유 더미, 기업 소유주(국영 또는 민간) 더미 등이 사용되어, R&D 투자액이 기업의 에너지 원단위 감소에 기여한다는 것을 분석결과로서 제시하였다. 그러나 분석기간이 1995~2002년임에도 불구하고 분석에는 패널분석모형이 아닌 Pooled 최소자승법이 사용되어 분석 결과가 잘못되었을 가능성이 크다.

Kumar(2003)와 마찬가지로 PROWESS DATA BASE를 사용한 Sahu and Narayanan(2011)도 인도 제조업체를 대상으로 에너지 원단위에 대한 회귀분석을 실시하였다. 분석기간은 2000~2008년으로 설정되어 총 3만 3,448개의 관측치가 수집되었고, 임금, 유형 자본, 해외 기술수입 비용, R&D 투자액, 순이익, 기계 및 건물 자본의 수리비, 에너지 사용량, 운영연도, 기업 더미 등 기업의 특성을 나타낼 수 있는 다양한 독립변수를 선정하여 이들 변수가 에너지 원단위에 미치는 영향을 회귀분석⁹⁾하였다. 분석에 검증된 세 가지 가설은 ① 유형 자본의 집약도는 에너지 원단위를 증가시키고, ② 수리비의 집약도는 에너지 원단위를 증가시키고, ③ 해외 자본 소유의 기업은 국내 자본 소유의 기업보다 에너지 원단위가 낮다는 것으로서, 분석결과는 세 가지 가설이 모두 성립된다는 것을 입증하였다. 또한 분석결과로부터 R&D 투자액이 증가하면 에너지 원단위가 감소하고, 기업의 규모를 대리하는 에너지 사용량은 에너지 원단위에 대하여 U자형의 관계를 가진다는 점을 제시하였다.

Goldar(2011)도 2006~2007년 동안 인도의 제조업체를 대상으로 기업의 특성에 따라 에너지 원단위(에너지 비용/매출액)가 어떻게 변화하는가를 분석하였다. 기업의 특성으로는 기업의 규모, 수출집약도(수출액/매출액), 수입집약도(수입액/매출액), 수리비집약도(수리비/매출액), 원재료비집약도(원재료비/매출액), 기술수입액집약도(기술수입관련지출/매출액), 운영연도, 해외 자본 소유 더미 등이 사용되었고, 분석에는 Pooled 최소자승법이 사용되었다. 또한 에너지 집약적인 산업과 그렇지 않은 산업을 구분하여 이 두 집단에 대한 분석을 따로 수행하였다. 분석결과는 대체로 어떤 집단을 분석 대상으로 삼는가에 따라 회귀

9) 회귀분석에 어떤 분석모형이 사용되었는지는 언급되어 있지 않다. 단, 회귀방정식에 시간을 나타내는 하첨자가 표기되어 있지 않기 때문에 패널분석모형인 고정효과모형이나 확률 효과 모형 대신 Pooled 최소자승법이 사용된 것으로 추측된다.

계수의 부호와 유의성이 다르게 나타나 일관된 결과를 도출하기 어려운 것으로 나타났지만, 수리비집약도와 운영연도가 일관성을 나타내어 수리비집약도의 증가는 에너지 원단위를 증가시키고 운영연도는 에너지 원단위를 감소시키는 것으로 분석되었다.

중국 기업의 미시 자료를 대상으로 한 회귀분석도 존재한다. Fisher-Vanden *et al.*(2004)는 1997~1999년 동안 중국의 에너지 집약적이고 중대형 규모의 기업을 대상으로 에너지 가격, R&D 투자액, 국가 소유에서 민간 소유로의 소유권 이전 등이 기업의 에너지 원단위에 미치는 영향을 SUR(seemingly unrelated regression) 기법으로 분석하였다. 분석은 기본적으로 전체 에너지원을 합산해 에너지 원단위를 분석하고, 추가적으로 각 에너지원(석탄, 정제유, 전력)의 에너지 원단위를 구분하여 분석을 세분화하였다. 분석결과, R&D 투자액의 증가와 해당 에너지원의 에너지 가격 감소는 에너지 원단위의 감소에 기여하고, 민간 소유 또는 해외 자본 소유의 기업은 국가 소유의 기업보다 에너지 원단위가 더 낮은 것으로 분석되었다.

Cao and Karplus(2014)도 2005년부터 2009년 동안 중국의 기업 데이터를 사용하여 생산요소의 가격과 에너지원의 가격이 전력의 에너지 원단위와 탄소 배출량의 에너지 원단위에 미치는 영향을 Pooled 최소자승법으로 분석하였다. 분석결과, 자본의 가격과 노동의 가격은 두 에너지 원단위에서 서로 다른 부호를 취하거나 유의성이 확보되지 않아 일관된 결과를 가져오지 못했고, 석탄가격은 탄소 배출량의 에너지 원단위에 유의미한 영향을 갖지 않는 것으로 나타났다. 그러나 전력가격은 전력의 에너지 원단위에 음(-)의 유의미한 영향을 가져 전력 가격이 증가함에 따라 전력의 에너지 원단위가 감소한다는 것을 제시하였다.

이 밖에도 Lovo *et al.*(2014)는 2001년부터 2007년까지의 칠레 기업을 분석 대상으로 삼아 기업의 자본재 또는 중고 자본재의 투자 여부가 에너지 원단위에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하였다. 분석결과, 자본재뿐만 아니라 중고 자본재의 투자도 에너지 원단위의 감소에 기여하는 것으로 나타났다. 그리고 중고 자본재의 투자보다 자본재의 투자가 더 에너지 원단위의 감소에 더 큰 영향을 가하는 것으로 분석되었다.

본 논문은 위의 선행 연구들로부터 시도된 분석방법상의 특징을 계승하는 한편, 각각의 선행 연구가 가지고 있는 한계를 극복한다. 우선, 정용훈(2012), Kumar(2003), SAHU and NARAYANAN(2011)는 패널 자료임에도 불구하고 Pooled OLS를 사용해 분석결과에 신뢰성을 떨어뜨렸다. 본 연구는 분석 기법의

설정에 있어서 패널 자료의 특성을 고려한 패널분석모형을 사용하여 분석 기법의 적절성을 확보할 것이다. 전봉걸(2013), Goldar(2011), Kumar(2003), SAHU and NARAYANAN(2011)는 에너지 원단위의 변화를 분석하기 위한 기본적인 변수들을 제공하였기 때문에 본 논문은 그 변수들을 분석모형에 포함시킬 것이다. 이때 정용훈(2012)이 에너지 비용 변수를 실질 가격화한 것처럼 본 논문은 금액으로 표현되는 변수를 실질 가격화하여 물가의 변동으로 인해 발생하는 화폐 가치의 변동을 제거할 것이다.¹⁰⁾ 그리고 앞 장에서 살펴본 바와 같이 연료비와 전력비의 변화 추세는 서로 다른 방향으로 나타나고 있다. 이는 에너지 비용을 연료비와 전력비로 나누어 분석하는 것이 필요하다는 점을 시사한다. 따라서 Fisher-Vanden *et al.*(2004), Cao and Karplus(2014)에서와 마찬가지로 에너지 비용을 연료비와 전력비로 나누어 분석을 시도할 것이다. 마지막으로 전봉걸(2013)과 Lovo *et al.*(2014)는 자본재 투자가 에너지 원단위의 감소에 기여한다는 연구결과를 제시하고 있는데, 본 논문에서도 기계 자본 투자가 에너지 원단위의 감소에 기여하는지를 확인할 것이다.

Ⅲ. 분석모형 설정

1. 분석 자료 설명

분석에 사용된 자료는 2000년부터 2012년까지의 기간을 포함한 10인 이상 광업·제조업 조사의 미시 자료이다.¹¹⁾ 광업·제조업 조사는 광업·제조업 부문 내 산업구조, 산업 활동 실태를 파악하여 경제 정책 수립 및 관련 산업분석에 필요한 기초 자료를 제공하는 데 이용되고 있다. 특히, 산업 내 기업과 관련된

10) 기준연도의 물가가 1이고 다음 해의 물가가 1.5라고 상정하자. 그리고 기준연도와 다음 해의 산출수준이 동일하다고 상정하자. 이때 물가의 변동을 고려하지 않고 생산액 및 부가가치를 평가할 경우, 물적 기준으로 동일한 산출수준임에도 불구하고 다음 해의 산출물이 더 큰 가치를 갖는 것으로 과대평가될 수 있다. 화폐로 표시되는 금액을 실질화하는 것은 이러한 물가의 변동으로 인해 발생하는 가격 변동의 효과를 제거하는 것이다. 가격을 실질화해 주면 기준연도와 비교연도의 산출수준의 변화를 상대적으로 더 정확히 비교할 수 있게 된다.

11) 분석에서 2010년 관측치는 제외되었다. 2010년은 광업·제조업 조사가 아닌 경제총조사 자료가 사용되었는데 유형자산 부문에서 광업·제조업 조사가 사업체 단위로 조사를 수행하는 반면, 경제총조사는 기업체 단위로 조사를 수행하기 때문이다. 이로 인해 2010년 유형자산의 값은 0을 포함하는 경우(관측치가 사업체인 경우)가 상당수이다.

다양한 정보들을 담고 있기 때문에 기업의 생존분석, 생산성 및 효율성 분석 등을 위한 기초 자료로서 사용된다.

본 논문은 광업·제조업 조사의 미시 자료 중 부가가치, 연료비, 전력비, 용수비, 수선비, 기계 자본, 건물 자본, 종업원 수, 경영조직의 자료를 사용하였다. 부가가치는 생산 활동을 통해 새로이 창출된 가치로서, 국민계정에서는 부가가치가 총산출에서 중간소비를 차감한 것으로 계산되지만 광업·제조업 조사의 부가가치는 생산액¹²⁾에서 주요 생산비¹³⁾를 차감한 것으로 계산된다.¹⁴⁾ 전력비, 연료비, 용수비는 각각 전력, 원재료 비용을 제외한 원유 및 가스, 공업용수를 구입하는 데 지불한 비용을 지칭한다. 기계 자본은 발전기, 전동기, 공작기계 등 생산과정에서 동력 및 가공을 위해 사용되는 자본을 나타내고, 건물 자본은 공장, 기숙사, 기타 부속건물과 승강기, 냉난방장치, 통풍장치 등 건물에 설치된 부속시설을 나타낸다. 경영조직은 기업의 경영조직 형태를 범주변수로 표시하는 자료로서, 경영조직은 개인 사업체, 회사법인, 회사 이외의 법인으로 구분된다. 그리고 수선비는 건물 또는 기계장치의 현재 기능을 유지하기 위해 수선한 비용을 말한다.

위에서 열거한 자료들은 경영조직과 종업원 수를 제외하고 모두 화폐단위로 측정되어 있다. 화폐단위로 측정된 자료는 물가의 영향을 받아 실제 그 가치가 평가절상되거나 평가절하될 수 있다. 따라서 두 연도 간 가치의 변동을 정확히 파악하기 위해서는 이 물가의 영향을 제거해야 한다. 본 논문은 여러 가지 물가지수를 사용하여 위에서 제시한 자료들을 2010년도 기준으로 실질화하였다. 우선, 부가가치와 수선비는 국민계정의 GDP 디플레이터를 이용해 명목 부가가치를 실질 부가가치로 변환하였다. 연료비는 통계청의 국내 공급물가지수 중 생산재 연료·동력 지수를 사용하여 변환하였고, 전력비는 전력통계정보 시스템의 산업용 전력 판매 단가를 지수화시켜 이 지수를 적용하였으며, 용수비는 환경부의 상수도 통계의 공업용 요금을 지수화시켜 이 지수를 적용하였다. 다음의 <표 4>는 분석에 사용될 주요 자료를 대상으로 명목 금액을 실질 금액으로

12) 생산액은 당해연도에 생산된 산출물의 금액을 나타내는 자료로서, 제품출하액, 부산물·폐품 판매액, 임가공 수입액, 수리수입액의 합계에서 재고의 완제품과 반제품 및 재공품의 연초, 연말재고액의 증감액을 가감한 것을 나타낸다.

13) 주요 생산비는 원재료비, 연료비, 전력비, 용수비, 외주가공비, 수선비를 합한 값이다.

14) 서로 다른 산식을 사용하여 부가가치를 계산하기 때문에 국민계정상의 제조업 부가가치와 광업·제조업 조사상의 제조업 부가가치는 큰 차이를 나타낸다. 박재곤 외(2011)는 광업·제조업 조사의 부가가치가 10인 이상 기업을 대상으로 한 부가가치임에도 불구하고 국민계정상의 부가가치보다 더 높다는 점을 지적하였다.

〈표 4〉 실질 금액과 명목 금액의 비교

(단위: 조 원)

연도	부가가치		전력비		연료비		관측치 수
	명목	실질	명목	실질	명목	실질	
2000	201	260	6.66	8.77	7.55	15.11	49,552
2001	202	252	7.02	8.78	6.19	11.79	50,567
2002	222	268	7.35	9.43	6.17	11.62	52,524
2003	234	273	7.79	9.87	7.29	12.84	52,939
2004	278	316	7.95	10.06	7.10	11.40	52,657
2005	288	324	9.31	11.79	6.71	9.68	55,183
2006	302	340	8.66	10.72	7.92	10.51	57,107
2007	328	361	10.00	12.02	7.66	9.89	61,224
2008	367	392	11.00	12.79	10.45	10.65	58,338
2009	374	386	12.77	13.31	9.57	10.70	57,891
2011	479	472	16.93	15.98	13.88	11.87	62,880
2012	480	467	19.26	15.93	14.33	11.59	63,651

주: 위에서 제시한 금액들은 총액임.

자료: 광업·제조업 조사 미시 자료.

변환해 준 것을 나타낸 표이다. 부가가치, 전력비는 명목 금액과 실질 금액이 동일한 추세를 보이고 있다. 이에 반해 명목 연료비는 증가하는 추세를, 실질 연료비는 감소하는 추세를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다.

분석에 맞게끔 자료들을 변환해 주는 한편, 분석에 필요하지 않는 자료들을 제거해 주거나 정리해 주는 작업도 수행하였다. 우선, 제조업의 산업분류는 2008년을 기점으로 2007년까지는 제8차 산업분류를 따르고 2008년부터는 제9차 산업분류를 따른다. 따라서 2007년 이전까지의 제8차 산업분류를 제9차 산업분류로 재분류하는 작업이 필요한데, 이러한 분류작업은 통계청의 ‘9차개정구신연계표’를 이용하여 2007년까지의 제8차 세세분류를 제9차의 세세분류로 변환해 주었다.¹⁵⁾

15) 광업·제조업 조사 자료의 특이한 특징 중 하나는 2007년부터 기업 아이디가 기존 7자리에서 10자리로 변경된다는 점에 있다. 즉, 2007년에는 기업 아이디가 2개가 존재하는데 하나의 아이디는 2006년까지의 아이디를 나타내고 다른 하나의 아이디는 2007년 이후의 아이디를 나타낸다. 패널분석을 실시하기 위해서는 이러한 기업 아이디의 변경을 하나의 아이디로 이어줄 필요가 있는데 이러한 조정 작업도 수행하였다.

2. 변수 설명

본 논문의 목적은 제조업 내 기업의 특성을 나타내는 변수가 변화함에 따라 에너지 효율을 나타내는 에너지 원단위가 어떻게 변화하는가를 분석하는 데 있다. 여기서 에너지 효율은 더 적은 에너지를 사용하여 동일한 산출물 및 재화를 생산한다는 것을 의미한다. 에너지 원단위는 일반적으로 생산 활동에서 사용된 에너지 사용량을 생산 활동에서 창출된 가치로 나눈 값, 즉 (에너지 사용량/부가가치)으로 표현된다. 따라서 에너지 원단위가 하락하게 되면 동일한 가치를 더 적은 에너지로 생산했다는 것을 의미하게 되고, 이는 에너지 효율이 증가했다는 것으로 해석된다.

이 에너지 원단위를 나타내는 지표로서 국가 간 비교에 있어서는 (에너지 사용량/GDP)이 주로 사용되었고, 산업 내 비교에 있어서는 (에너지 사용량/부가가치) 또는 (에너지 사용량/산출물)이 주로 사용되어 왔다. 에너지 사용량은 천연가스 또는 원유와 같은 에너지 자원의 물적 사용량이 아니라 에너지 자원 한 단위에서 발생하는 열량(TOE)¹⁶⁾으로 표시되는데, 이는 에너지 자원이 서로 다른 단위를 가지고 있고 한 단위당 만들어내는 에너지도 다르기 때문이다. 그런데 본 논문이 사용하는 광업·제조업 조사에는 기업의 에너지 사용량을 열량으로 나타내는 자료가 없다. 대신에 Patterson(1996)은 에너지 원단위를 나타내는 지표의 종류를 나열하면서 에너지 사용량으로 에너지 열량 대신 에너지 비용이 사용될 수 있다는 점을 제시하였다. 광업·제조업 조사에는 에너지 비용에 대한 자료가 포함되어 있기 때문에 본 논문에서 에너지 사용량은 에너지 비용으로 대리된다.

에너지 원단위의 변화를 설명해 줄 변수를 선정하기에 앞서 에너지 원단위를 결정하는 이론적인 모형이 설정되어 있어야 한다. 즉, 종속변수인 에너지 원단위와 독립변수인 다른 변수들의 관계가 파라미터와 방정식을 포함하는 함수 형태로 제시될 수 있어야 한다. 그러나 아직까지 미시적 수준에서 에너지 원단위와 다른 변수들의 관계를 함수로 표현한 정형화된 형태는 제시되어 있지 않다. 이것은 에너지 원단위를 분석함에 있어서 요인분해 분석방법이 주로 사용되어 왔기 때문에 에너지 원단위와 다른 변수들의 구체적인 함수 형태를 식별할 필

16) TOE(Ton of Oil Equivalent)는 에너지로 사용되는 천연가스, 석탄 등의 한 단위 발열량을 석유의 한 단위 발열량으로 환산한 것으로 서로 다른 에너지 자원의 에너지 발열량을 비교하기 위한 가상단위이다.

요가 없었기 때문에 판단된다. 따라서 에너지 원단위의 변화를 설명하는 독립변수를 선정함에 있어서 기업의 특성을 나타낼 것으로 여겨지는 변수들을 독립변수로 사용하였는데, 앞서 선행 연구 검토에서 언급한 바와 같이 선행 연구들에서 사용된 변수들을 일정 부분 차용하였다. 또한 Reitler(1987)가 제시한 바와 같이 에너지 사용량에 영향을 미치는 요인들은 생산과정과 직접적으로 관계를 갖는 요인, 그리고 생산과정과 간접적으로 관계를 맺는 요인으로 구분할 수 있다. 따라서 기계 자본의 특성을 나타냄과 동시에 생산과정과 직접적으로 관계를 갖는 요인으로 설비투자, 자본집약도, 수선비를 독립변수에 포함시켰다. 여기서 설비투자는 기계 자본의 연말 잔액과 연초 잔액의 차로 계산되는 변수로서, 기업이 얼마만큼의 새로운 기계 자본을 도입했는가를 보여준다.¹⁷⁾ 자본집약도는 노동자 1인당 기계 자본의 규모를 나타내는 변수로서, 생산요소 중 자본이 차지하는 비중을 보여준다. 수선비는 건물 또는 기계장치의 유지 및 보수에 사용된 비용이기 때문에 기계장치의 사용량을 간접적으로 대리해 주는 변수로서 해석될 수 있다. 반면, 생산과정 밖에서 간접적으로 영향을 미치는 요인은 기업의 특성 및 산업의 특성을 나타내는 요인, 에너지 자원의 가격, 정부의 정책 등을 뽑을 수 있다. 이러한 요인들 간의 관계를 간단한 함수관계로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y=f(X_1, Z_1, Z_2, Z_3)$$

여기서, Y_1 : 에너지 원단위

X_1 : 생산과정에서 직접적으로 영향을 미치는 사업체 특성

Z_1 : 생산과정에서 간접적으로 영향을 미치는 사업체 특성

Z_2 : 중분류 산업의 특성

Z_3 : 사회제도 및 기술수준의 변화를 반영하는 시간효과

위의 함수에서 종속변수인 Y 는 에너지 원단위를 나타낸다. 독립변수인 X_1 은 생산과정에 직접적인 영향을 미칠 것으로 예상되는 기업의 특성으로서, 앞서 제시한 설비투자, 자본집약도, 수선비가 이에 속한다.

Z_1 은 생산과정 밖에서 간접적으로 영향을 미치는 요인으로서, 생산과정에 직접적으로 영향을 미치지 않지만 간접적으로 영향을 미치거나 생산 활동의 특성

17) 기업이 기계 자본을 증가시킬 때, 증가된 기계 자본은 새로운 기계 자본일 수도 있고 중고의 기계 자본일 수도 있다. 그런데 광업·제조업 조사에는 증가된 기계 자본이 새로운 기계 자본인지 중고의 기계 자본인지 구분해 줄 수 있는 자료가 없기 때문에 본 논문에서 증가된 기계 자본은 모두 새로운 기계 자본이라고 가정한다.

을 반영할 것으로 예상되는 기업의 특성이다. 여기에는 기업의 운영연도, 경영조직, 건물 자본, 기계 및 건물 자본을 제외한 유형 자본, 기업 유형, 종사자 수가 포함되었다. 여기서 기업의 운영연도는 관측연도(t)에서 창설연도를 뺀 값을 나타낸다. 경영조직은 기업의 경영조직 형태를 나타내는 범주(indicator)변수로서, 경영조직은 개인 사업체, 회사법인, 회사 이외의 법인으로 구분된다. 건물 자본은 승강기, 냉난방장치, 통풍장치 등 전력을 사용하는 기계장치를 포함하고, 기계 및 건물을 제외한 유형자산에는 토지, 구축물, 선박·차량운반구, 기타(공구·기구·비품 등), 건설 중인 자산이 포함된다. 그리고 기업 유형은 종사자 규모에 따라 기업 유형을 구분한 범주변수로서 소기업, 중기업, 대기업을 포함하며,¹⁸⁾ 종사자 수는 기업 규모를 대리하는 변수로서 사용되었다.

〈표 5〉 종속변수와 독립변수의 설명

변수 구분		변수명	변수 설명
종속변수		에너지 원단위	에너지 비용/실질 부가가치
독립변수	생산 과정에 직접적으로 영향을 미치는 기업의 특성	자본집약도	기계 자본/종사자 수
		설비투자액	연말 기계 자본-연초 기계 자본
		수선비	기계 자본 및 건물 자본의 수선 및 유지에 사용된 비용
	생산 과정 밖에서 간접적으로 영향을 미치는 기업의 특성	운영연도	운영연도
		경영조직	개인 사업체, 회사법인, 회사 이외 법인
		건물 자본	연초 및 연말 건물 자본의 평균
		건물 및 기계 자본을 제외한 유형 자본	토지, 구축물, 선박·차량운반구, 기타(공구, 기구, 비품 등), 건설 중인 자산
		기업 유형	소기업, 중기업, 대기업
	산업의 특성을 나타내는 변수	종사자 수	해당연도의 종사자 수
		가동률지수	산업의 가동률
	사회제도 및 기술 수준의 변화를 반영하는 시간 효과	산업 더미	중분류 산업 더미
		시간 더미	2000~2012년

주: 1) 기계 자본과 건물 자본은 연초와 연말 자본의 평균으로 계산됨.
 2) 에너지 비용은 연료비, 전력비, 용수비를 합한 금액임.

18) 2015년 이전까지는 기업 유형의 구분은 「중소기업기본법」에 따라 종사자 수 또는 매출액

Z_2 는 산업이 가지고 있는 특성을 반영한다. 여기에는 가동률지수,¹⁹⁾ 그리고 이외의 산업특성을 반영하는 중분류 산업더미가 포함된다. 마지막으로 Z_3 은 정부의 정책 및 사회 제도, 그리고 한 국가의 전반적인 생산성을 종합적으로 나

〈표 6〉 변수들의 기술통계량

	평균	표준편차	최솟값	최댓값
에너지 원단위	-3.48	1.30	-13.45	6.12
자본집약도	1.57	2.00	-7.38	11.91
설비투자	1.35	2.28	-0.02	14.79
수선비	1.85	1.81	-0.02	13.70
운영연도	2.07	0.87	0.00	6.92
건물 자본	3.90	3.13	-0.71	14.68
기타 유형 자본	5.62	2.30	-0.71	16.50
종사자 수	3.15	0.80	2.30	10.29

주: 변수들에 로그를 취한 값의 기술통계량임.

〈표 7〉 주요 변수들의 상관계수

	에너지 원단위	자본집약도	설비 투자	수선비	운영 연도	건물 자본	기타 유형 자본	종사자 수
에너지 원단위	1							
자본집약도	0.35	1						
설비투자	0.06	0.31	1					
수선비	0.25	0.31	0.19	1				
운영연도	0.06	0.14	-0.07	0.25	1			
건물 자본	0.17	0.48	0.19	0.43	0.32	1		
기타 유형 자본	0.24	0.82	0.30	0.46	0.26	0.80	1	
종사자 수	-0.03	0.06	0.19	0.56	0.21	0.42	0.40	1

을 기준으로 구분되었다. 그러나 2015년 이후에는 종사자 수가 아닌 매출액만으로 기업 유형이 구분되도록 시행령이 개정되었다. 본 연구에서는 시행령이 개정되기 전의 자료를 사용했기 때문에 기업 유형을 구분함에 있어서 이전의 기준인 종사자 수를 사용하였으며 50인 이하는 소기업, 51~300명은 중기업, 301인 이상은 대기업으로 구분하였다.

- 19) 가동률지수는 어떤 기준 시점에서 생산설비의 가동 상황을 100으로 보았을 때, 그 시점과 비교하여 어느 정도 설비가 가동되었는가를 나타내는 지수이다. 가동률지수는 통계청의 『2012 광공업생산연보』를 참고하였다.

타내는 특성으로서, Z_3 은 시간의 변화, 즉 연도를 더미변수로 포함시킴으로써 측정된다.

〈표 5〉는 위에서 기술한 변수들을 정리해 놓은 표이다. 〈표 6〉은 주요 변수들의 기술통계량을 나타낸 표이고, 〈표 7〉은 주요 변수들의 상관계수를 나타낸 표이다.

3. 분석방법

분석에 사용된 자료는 횡단면 자료의 특성과 시계열 자료의 특성을 동시에 가지는 패널 자료이다. 따라서 패널 자료에 적합한 패널분석모형이 사용되었는데, 패널분석모형 중 가장 기본적인 형태라고 볼 수 있는 고정효과(fixed effect) 모형과 확률효과(random effect)모형이 분석에 사용되었다.

고정효과모형은 종속변수에 영향을 미치지 않지만 관찰되지 않는 어떤 효과가 관찰된 설명변수와 서로 상관관계를 가지고 있을 때, 이 관찰되지 않는 효과를 제거하여 설명변수의 추정량을 불편 추정량(unbiased estimator)으로 만들어준다. 이때 관찰되지 않는 어떤 효과는 시간에 상관없이 일정한 값을 가져야 하는데, 이러한 이유로 이 효과를 고정효과라 부르기도 하고 unobserved effect라 불리기도 한다.²⁰⁾ 분석 대상으로 삼는 광업·제조업 조사의 각 기업도 설명변수와 상관관계를 가지면서 관찰되지 않지만 시간에 따라 일정한 고정효과를 가질 것으로 사료된다. 예를 들어, 업주의 에너지 절약에 대한 인식은 생산설비에 쓰이지는 않지만 에너지를 소비하는 조명, 냉난방기구 등의 사용 행태와 생산과정에서 투입되는 다른 생산요소의 효율적 사용에 영향을 미칠 가능성이 높다.

본 논문에서 사용하는 또 다른 모형인 확률효과모형은 고정효과모형과 함께 대표적으로 사용되는 패널분석모형으로서, 고정효과모형과의 차이점은 고정효과가 설명변수와 상관관계를 가지지 않는다는 가정이 전제된다는 점이다. 대신에 고정효과모형은 성별, 출신 지역과 같이 시간에 상관없이 일정한 값을 가지는 변수를 설명변수로 사용할 수 없는데, 확률효과모형은 이러한 시간불변변수를 설명변수로 포함하여 회귀분석을 실시할 수 있다.

앞서 종속변수와 설명변수의 관계를 $Y=f(X_1, Z_1, Z_2, Z_3)$ 로 나타낸 바 있는데, 추정에 사용될 구체적인 회귀방정식은 다음과 같이 표현된다.

20) 고정효과모형과 아래에서 설명할 확률효과모형의 자세한 추정방법은 Wooldridge(2013)에 제시되어 있다.

$$\ln Y = \ln X_1 + \ln Z_1 + \ln Z_2 + \ln Z_3$$

회귀방정식을 log-log 형태로 나타내는 것은 두 가지 장점을 가진다. 첫째, 설명변수의 분포가 극단적인 관측치들로 인해 큰 왜도(skewness)를 가질 경우 오차항의 분포도 큰 왜도를 갖게 될 가능성이 높아진다. 설명변수에 로그를 취하면 이 왜도의 정도를 완화하여 오차항의 분포를 $N(0, \sigma^2)$ 에 최대한 가깝게 만들어 줄 수 있다. 둘째, log-log 회귀방정식에서 설명변수의 회귀계수 값은 설명변수가 1% 증가할 때, 종속변수가 몇 % 증가하는지를 나타내게 된다. 즉, log-log 회귀방정식의 회귀계수는 탄력성으로 해석되기 때문에 분석결과를 해석하는 데 있어서 용이하다.

그 외 분석방법의 특징을 몇 가지 소개하면 다음과 같다. 우선, 분석결과와의 강건성(robustness)을 확인하여 모형설정과 관련된 이론적 근거의 취약성을 보완하였다. 우선, 주요 독립변수로 설정된 자본집약도의 강건성을 확인하기 위해 자본집약도만 포함한 회귀분석을 실시한 후 추가적으로 다른 변수들을 단계적으로 포함한 회귀분석을 실시하여 회귀계수의 부호 및 크기가 일정하게 유지되는가의 여부를 확인하였다. 또한 분석기간 중 제8차에서 제9차로 표준산업분류가 변경됨에 따라 데이터셋의 이질성이 의심될 수 있기 때문에 2008년 이전과 2008년 이후로 기간을 구분하여 두 기간 간 회귀분석 결과에 중대한 차이가 발생하였는지를 확인하였다.

또한 자본집약도, 종사자 수, 운영연도를 분석에 포함함에 있어서 이들 변수의 제공항을 추가하여 이들 변수가 증가함에 따라 에너지 원단위의 부호가 변화하는가를 확인하였고, 기업 유형과 자본집약도의 교호항(interaction term)을 분석에 포함하여 기업 유형에 따라 자본집약도의 기울기 값이 변화하는가를 확인하였다. 그리고 회귀분석 이후에도 오차항의 이분산성(heteroscedasticity)이 의심되는 바, 이분산성에 강건한 robust standard error를 사용하여 이분산성으로 인한 편의가 완화된 회귀계수의 표준오차(stand error)를 제시하였다.

V. 분석결과

분석결과를 제시하기에 앞서 하우스만 검정을 통해 고정효과모형이 적합한지 아니면 확률효과모형이 적합한지를 확인하였다. 하우스만 검정의 귀무가설은

두 모형의 추정치 사이에 체계적인 차이가 없다는 것으로, 귀무가설이 기각되면 두 모형의 추정치 사이에 체계적인 차이가 있는 것으로 확인되어 확률효과 모형을 사용해서는 안 된다. 이는 고정효과와 설명변수 간에 상관관계가 없다고 전제하는 확률효과모형의 가정이 성립하지 않아 확률효과모형의 추정치에 편의가 발생하고 이러한 편의로부터 추정치의 차이가 발생했을 가능성이 높기 때문이다. 하우스만 검정결과, 귀무가설이 기각되어 확률효과모형을 사용하는 것은 바람직하지 않다는 것으로 드러났다. 따라서 이후 제시되는 분석결과들은 고정효과모형으로 추정한 분석결과를 나타낸다.

앞서 언급한 바와 같이 분석에는 자본집약도와 기업 유형을 결합한 교호항이 포함되었고, 몇몇 변수들의 제곱항도 포함되었다. <표 8>은 교호항과 제곱항을 포함했을 때와 포함하지 않았을 때의 분석결과를 제시한 것으로서, 모형1은 교호항과 제곱항을 넣지 않은 분석결과를, 모형2와 모형3은 교호항과 제곱항을 따로 집어넣은 분석결과를, 그리고 모형4는 교호항과 제곱항을 동시에 포함한 분석결과이다.²¹⁾

모형1의 분석결과로부터 업체들의 자본집약도가 1% 증가하면 평균적으로 에너지 원단위가 0.0304% 증가하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 자본집약도가 증가할수록 에너지 효율성이 감소한다는 것으로서, 이는 자본집약도가 증가할수록 부가가치를 한 단위 더 생산할 때마다 투입되는 에너지 비용이 증가한다는 점을 암시한다. 교호항을 포함한 모형2의 분석결과에서는 기업 유형에 따라 자본집약도가 에너지 원단위에 미치는 영향의 크기가 다르게 나타났다. 모형2와 모형4로부터 중기업은 소기업보다 자본집약도가 에너지 원단위에 미치는 영향($0.0252+0.0288=0.054$)이 더 크게 나타난 반면, 대기업은 소기업과 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 이는 중기업에서 자본집약도가 증가함에 따라 에너지 효율성 감소가 더 크게 나타난다는 것으로 해석될 수 있다. 그리고 모형2와 모형4에서 제곱항은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

한편, 설비투자의 증가는 전봉걸(2013)과 Iovio *et al.*(2014)의 분석결과에서와 같이 에너지 원단위를 감소시키는 것으로 나타났지만 그 효과는 -0.0052 수준으로서, 통계적으로는 유의미하지만 경제적으로는 유의미함을 찾기 어려운 것으로 보인다. 그리고 수선비의 한계 효과는 Sahu and Narayanan(2011)와 Goldar

21) 강건성 확인은 <부표 1>과 <부표 2>에 수록하였다. 주요 변수인 자본집약도는 다른 독립 변수가 추가되어도 부호가 일정하게 유지되는 것을 확인하였고, 연도를 구분한 분석에서도 두 기간 사이에 주요 분석결과의 차이점은 다르게 나타나지 않았다.

〈표 8〉 기업의 특성이 에너지 원단위에 미치는 영향

변수	모형1	모형2	모형3	모형4	모형4-1 (연료)	모형4-2 (전력)
자본집약도	0.0304*** (0.0017)	0.0252*** (0.0017)	0.0304*** (0.0017)	0.0248*** (0.0018)	-0.0081* (0.0047)	0.0157*** (0.0018)
자본집약도*중기 업 더미	-	0.0288*** (0.0020)	-	0.0288*** (0.0020)	0.0172*** (0.0050)	0.0119*** (0.0022)
자본집약도*대기 업 더미	-	0.0044 (0.0066)	-	0.0046 (0.0066)	-0.0001 (0.0139)	-0.0035 (0.0072)
자본집약도 (제공항)	-	-	-0.0000 (0.0003)	0.0003 (0.0003)	-0.0008 (0.0007)	0.0037*** (0.0037)
설비투자	-0.0052*** (0.0004)	-0.0053*** (0.0005)	-0.0052*** (0.0005)	-0.0052*** (0.0005)	-0.0032*** (0.0010)	-0.0047*** (0.0004)
수선비	0.0672*** (0.0009)	0.0670*** (0.0009)	0.0672*** (0.0009)	0.0670*** (0.0022)	0.0573*** (0.0021)	0.0386*** (0.0009)
종사자 수	-0.4702*** (0.0166)	-0.4790*** (0.0166)	-0.4702*** (0.0165)	-0.4821*** (0.0155)	-0.6549*** (0.0364)	-0.4143*** (0.0160)
종사자 수 (제공항)	0.0304*** (0.0024)	0.0317*** (0.0024)	0.0304 (0.0024)	0.0309*** (0.0021)	0.0506*** (0.0050)	0.0272*** (0.0023)
운영연도	-0.1278*** (0.0057)	-0.1271*** (0.0057)	-0.1278*** (0.0057)	-0.1273*** (0.0057)	-0.1436*** (0.0141)	-0.0178*** (0.0056)
운영연도(제공항)	0.0323*** (0.0016)	0.0322*** (0.0016)	0.0323*** (0.0016)	0.0322*** (0.0016)	0.0344*** (0.0038)	0.0063*** (0.0015)
건물 자본	0.0246*** (0.0010)	0.0240*** (0.0010)	0.0246*** (0.0010)	0.0240*** (0.0010)	-0.0050** (0.0025)	0.0227*** (0.0009)
기타 유형 자본	-0.0085*** (0.0022)	-0.0066*** (0.0022)	-0.0085*** (0.0022)	-0.0070*** (0.0022)	-0.0004 (0.0058)	0.0084*** (0.0022)
운영조직 더미 (영리 법인)	-0.0452*** (0.0060)	-0.0452*** (0.0060)	-0.0452*** (0.0060)	-0.0451*** (0.0060)	-0.0500*** (0.0135)	-0.0308*** (0.0058)
운영조직 더미 (영리 이외 법인)	0.0862*** (0.0055)	0.0854*** (0.0055)	0.0862*** (0.0055)	0.0854*** (0.0055)	0.2201*** (0.0122)	0.0516*** (0.0053)
기업 유형 더미 (중기업)	0.0022 (0.0062)	-0.0479*** (0.0071)	0.0022 (0.0062)	-0.0479*** (0.0071)	-0.0287* (0.0173)	-0.0212*** (0.0075)
기업 유형 더미 (대기업)	0.0416* (0.0216)	0.0489* (0.0267)	0.0416* (0.0217)	0.0485* (0.0267)	0.0087 (0.0568)	0.0013 (0.0283)

〈표 8〉 계 속

변수	모형1	모형2	모형3	모형4	모형4-1 (연료)	모형4-2 (전력)
산업 가동률지수	-0.0002* (0.0001)	-0.0002* (0.0001)	-0.0002*** (0.0001)	-0.0002* (0.0001)	-0.0017*** (0.0002)	-0.0002** (0.0001)
시간 더미(2001)	0.0348*** (0.0050)	0.0346*** (0.0050)	0.0348*** (0.0050)	0.0346*** (0.0050)	-0.0353*** (0.0099)	0.0874*** (0.0047)
시간 더미(2002)	0.0278*** (0.0051)	0.0278*** (0.0050)	0.0278*** (0.0051)	0.0278*** (0.0051)	-0.0765*** (0.0102)	0.1067*** (0.0048)
시간 더미(2003)	0.0541*** (0.0052)	0.0538*** (0.0052)	0.0541*** (0.0052)	0.0538*** (0.0052)	-0.2024*** (0.0100)	0.1286*** (0.0048)
시간 더미(2004)	-0.0243*** (0.0052)	-0.0245*** (0.0052)	-0.0243*** (0.0052)	-0.0245*** (0.0052)	-0.3276*** (0.0104)	0.1297*** (0.0049)
시간 더미(2005)	-0.0494*** (0.0053)	-0.0497*** (0.0054)	-0.0494*** (0.0053)	-0.0497*** (0.0053)	-0.3309*** (0.0110)	0.1437*** (0.0050)
시간 더미(2006)	-0.0628*** (0.0053)	-0.0631*** (0.0053)	-0.0628*** (0.0054)	-0.0631*** (0.0053)	-0.4214*** (0.0113)	0.1732*** (0.0050)
시간 더미(2007)	-0.1090*** (0.0054)	-0.1092*** (0.0054)	-0.1090*** (0.0054)	-0.1093*** (0.0054)	-0.4804*** (0.0117)	0.1857*** (0.0051)
시간 더미(2008)	-0.1138*** (0.0080)	-0.1144*** (0.0080)	-0.1138*** (0.0081)	-0.1145*** (0.0080)	-0.5849*** (0.0174)	0.2082*** (0.0077)
시간 더미(2009)	-0.1300*** (0.0083)	-0.1306*** (0.0083)	-0.1300*** (0.0083)	-0.1307*** (0.0083)	-0.5477*** (0.0180)	0.1902*** (0.0079)
시간 더미(2011)	-0.1253*** (0.0085)	-0.1264*** (0.0085)	-0.1253*** (0.0085)	-0.1266*** (0.0085)	-0.7446*** (0.0182)	0.2235*** (0.0081)
시간 더미(2012)	-0.1329*** (0.0087)	-0.1341*** (0.0087)	-0.1329*** (0.0087)	-0.1343*** (0.0087)	-0.8286*** (0.0186)	0.2534*** (0.0083)
R-sq(overall)	0.2141	0.2206	0.2141	0.2207	0.0696	0.1149
관측치 수	670,812	670,812	607,812	607,812	311,708	618,647

주: 1) ()는 표준오차를 나타냄. ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서 통계적으로 유의함.

- 2) 운영조직 더미에서 기준 더미는 법인으로 등록되지 않은 사업체임.
- 3) 중분류 산업 더미도 포함되어 있으나 결과는 생략함.
- 4) 모형4-1에서 연료비가 0인 관측치는 제외되고, 모형4-2에서 전력비가 0인 관측치가 제외됨.

(2011)에서와 같이 양(+의 부호를 갖는 것으로 나타났는데, 이는 수선비가 기계 자본의 노후화와 관련성을 갖기 때문인 것으로 사료된다.

이 밖에도 종사자 수와 운영연도가 에너지 원단위에 미치는 영향은 U자의 형태를 띠는 것으로 나타났다. 이는 기업의 규모가 증가할수록 에너지 원단위가 감소하지만 일정 수준을 넘어서면 기업의 규모가 에너지 원단위를 증가시키는 요인이 될 수 있다는 것으로 해석될 수 있다. 운영연도의 경우에서도 동일한 해석을 가할 수 있다.²²⁾ 그리고 건물 자본과 기타 유형 자본도 에너지 원단위에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지만 건물 자본은 양의 부호를, 기타 유형 자본은 음의 부호를 가지는 것으로 확인되었다.

기업의 특성이 에너지 원단위에 미치는 영향을 분석함에 있어서 전력비, 연료비, 용수비를 합한 에너지 비용의 에너지 원단위를 종속변수로 사용하는 한편, 전력비의 에너지 원단위와 용수비의 에너지 원단위를 분리하여 분석을 실시하였다.²³⁾ 모형4-1과 모형4-2는 각각의 에너지원을 분리한 회귀분석 결과로서, 모형4-1은 연료비의 에너지 원단위를, 모형 4-2는 전력비의 에너지 원단위를 각각 나타낸다.

연료비의 에너지 원단위를 나타내는 모형4-1의 분석결과와 전력비의 에너지 원단위를 나타내는 모형4-2의 분석결과 사이에서 자본집약도는 서로 다른 부호를 가지는 것으로 나타났다. 모형4-1의 자본집약도는 음의 부호를 가지는 반면, 모형4-2의 자본집약도는 양의 부호를 가져 자본집약도의 증가에 따라 연료비의 에너지 원단위는 감소하고 전력비의 에너지 원단위는 증가하는 것으로 나타난 것이다. 이는 연료를 사용하는 기계 자본과 전력을 사용하는 기계 자본이 서로 다른 구조, 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 기업 유형에 따른 연료비 에너지 원단위의 자본집약도를 확인했을 때, 중기업의 자본집약도 부호는 양의 부호를 가져 중기업의 경우는 자본집약도가 증가함에 따라 연료비의 에너지 원단위가 증가하는 것으로 분석되었다.

또한 기본 분석모형(모형1~모형4)에서와 같이 두 모형 모두에서 중기업의 자본집약도 효과는 다른 기업 유형보다 더 큰 것으로 나타났으며, 다른 회귀계

22) 회귀방정식이 다음과 같은 수식 $Y = -\beta_1 X_1 + \beta_2 X_1^2 + e$ 로 주어질 때, 일차미분의 값이 0이 되는 지점에서 Y는 감소하다가 증가하기 시작한다. 1계 조건 $-\beta_1 + 2\beta_2 X_1 = 0$ 의 X_1 에 대해 풀면 Y가 증가하기 시작하는 X_1 의 지점을 구할 수 있는데, 본 논문에서 1계 조건을 만족하는 종사자 수는 약 1,662명이고, 운영연도는 약 7.2년이다.

23) 에너지 비용을 구성하는 용수비는 따로 분리하여 분석을 실시하지 않았는데, 이는 용수비가 차지하는 비중이 다른 두 비용에 비해 작기 때문이다.

수의 부호들도 대체로 기본 분석모형의 부호와 크기는 다르지만 같은 부호를 가지는 것으로 나타났다. 그런데 건물 자본의 회귀계수는 연료비의 에너지 원단위에서 10% 신뢰수준에서 유의한 음의 부호를 띠고 전력비의 에너지 원단위에서는 1% 신뢰수준에서 유의한 양의 부호를 띠는 것으로 나타났는데, 이는 건물 자본에 전력을 사용하는 기계장치가 포함되어 있기 때문이다.

한편, 2000년도에서 2012년도로 시간만 경과하게 될 때, 연료비의 에너지 원단위는 56.3% 감소한 것으로 나타났지만, 전력비의 에너지 원단위는 28.8% 증가한 것으로 나타났다.²⁴⁾ 이러한 분석결과는 기업이 전력은 더 비효율적으로 사용하면서 연료는 더 효율적으로 사용하게 되었음을 시사하는 것으로 해석되기 쉽다. 그러나 이러한 변화는 연료와 전력을 동시에 사용하는 업체에서 동일한 부가가치액을 생산할 때 연료 비중을 줄이고 전력 비중을 높였기 때문인 것으로 해석될 수도 있다. 이러한 해석을 내리기 위해서는 연료 에너지원의 가격 및 전력 에너지원의 가격 변화에 따른 에너지 비용의 변화를 분석해야 할 것이다. 하지만 본 논문이 사용하는 자료와 분석방법의 한계상 다른 자료와 분석방법을 통해 그 원인을 분석하는 것이 필요해 보인다.²⁵⁾

VI. 결론

본 논문은 제조업 내 기업의 에너지 원단위와 이것에 영향을 미칠 것으로 예상되는 기업 특성들의 관계를 회귀방정식으로 설정하여 기업의 특성에 따라 에너지 원단위가 어떻게 변화하는가를 분석하였다. 본 논문의 기여는 첫 번째로, 에너지 효율을 나타내는 에너지 원단위의 분석을 수행함에 있어서 기존의 분석 방법론과는 다른 방법론을 사용하여 기업수준에서 에너지 원단위에 영향을 미치는 요인에 대한 분석을 실시하였고, 기존의 선행 연구에서 발견된 방법론상

24) 더미변수의 회귀계수 값은 기준 범주에 속하는 관측치들의 평균과 다른 범주에 속하는 관측치들의 평균 사이의 차이를 의미한다. log-log 회귀방정식에서 연속변수의 회귀계수 값은 % 증가율(탄력성)을 나타낸다. 따라서 log-log 회귀방정식에서 더미변수의 해석은 기준 범주에 속하는 관측치들의 평균에서 다른 범주에 속하는 관측치들의 평균 사이의 변화율을 나타내는 것으로 해석된다. 그런데 여기서 증가율은 더미변수의 회귀계수 값(D)이 아니라 $100 * (\exp(D) - 1)$ 로 변환해 나타낸다(Halvorsen and Palmquist, 1980).

25) 앞서 제II절에서 제시한 바와 같이 지난 10년 동안 연료 에너지원의 사용량 변화가 발생하였다. 특히, 에너지유의 사용량은 감소하고 도시가스의 사용량은 증가하였는데, 이러한 에너지원의 전환이 에너지 원단위의 감소에 영향을 미쳤을 것으로 추측된다.

의 문제를 보완해 패널 자료에 적합한 분석방법으로 분석을 수행했다는 점이다.

두 번째로, 에너지 원단위를 연료 에너지 원단위와 전력 에너지 원단위로 구분하여 에너지원별로 에너지 원단위 분석을 수행하는 것이 필요하다는 것을 제시했다는 점이다. 기존 국내의 에너지 원단위 선행 연구에서는 연료 에너지 원단위와 전력 에너지 원단위를 구분하지 않고 분석하였는데 본 논문에서는 두 에너지원을 분리하여 분석을 수행하였고, 시간 더미의 회귀계수에서 두 에너지 원단위에 큰 차이가 존재한다는 점을 발견하였다. 이러한 차이는 기업의 특성을 통제하고 난 뒤 에너지원 가격의 변화, 정부 정책의 변화 등으로 나타났을 가능성이 크다. 특히, 추후 수행되는 에너지 원단위 분석에서 두 에너지원을 분리하고(연료 에너지원은 다시 가스, 석유로 다시 분리할 수 있다), 에너지원의 가격 변화와 에너지원 사용 비중 변화로 인한 에너지 원단위의 변화를 통제할 수 있다면 정부 정책의 변화로 인한 에너지 원단위의 변화를 보다 정밀하게 분석할 수 있을 것이다.

세 번째 기여는 분석을 수행함에 있어서 다양한 특성들을 독립변수로 사용하고, 기업 유형을 소기업·중기업·대기업으로 구분하여 기업 유형에 따라 에너지 원단위에 대한 자본집약도의 영향을 분리 추정하고, 중분류산업·연도 더미 변수를 사용하는 등 기업의 에너지 원단위에 미치는 효과를 광범위하게 분석하였다는 점이다. 주요한 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

우선, 자본집약도가 증가하면 에너지 원단위가 증가한다는 점을 제시하였고, 특히 중기업의 자본집약도가 다른 기업 유형보다 에너지 원단위에 미치는 영향이 크다는 점을 제시하였다. 그러나 어떠한 과정을 거쳐 자본집약도가 증가하면 에너지 원단위가 증가하는지를 분명하게 제시하지는 못했다. 이러한 해석의 한계는 에너지 원단위와 자본집약도 사이의 관계를 이론적으로 설명한 연구결과가 제시되어 있지 않기 때문이다. 따라서 향후 에너지 원단위와 그것을 설명하는 독립변수 간의 관계를 분명하게 제시하기 위해서는 그들 사이의 관계를 정형화된 형태로 나타낼 수 있는 이론 연구 또는 이론 연구를 뒷받침할 수 있는 실증 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다. 이에 더하여 몇 개의 기업을 선정하여 이들 기업을 집중적으로 조사한 뒤 에너지 원단위에 영향을 미치는 변수들을 포착하는 필드 연구도 필요할 것으로 여겨진다.

두 번째 주요한 분석결과로서, 설비투자가 증가하면 에너지 원단위가 감소하는 것을 제시하였다. 이것은 사업체의 기계 자본이 증가한다고 해서 꼭 에너지 소비가 증가한다는 것은 아니라는 점을 시사한다. 특히, 시간이 지날수록 기술

수준이 발달하여 최신의 기계장치일수록 에너지 효율성이 더 높을 가능성이 크다. 이러한 설비투자가 기존의 에너지 효율성이 낮은 설비를 대체하는 것이라면 설비투자는 에너지 소비 감소에 기여할 수 있다. 따라서 사업체 내 노후화 장비를 에너지 효율성이 높은 최신의 장비로 교체하는 것을 정책적 시사점으로 제시할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 에너지 절약 시설투자를 위한 에너지 이용 합리화 자금과 같은 지원을 확대하는 것이 필요하고, 가능하다면 노후화 설비를 교체하거나 에너지 절약 시설투자를 행한 사업체의 실적을 평가하여 세금을 감면해 주는 등의 인센티브를 제공하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

부록

〈부표 1〉 자본집약도의 강건성 확인

변수	강건성-1					
자본집약도	0.0401*** (0.0010)	0.0413*** (0.0011)	0.0377*** (0.0010)	0.0283*** (0.0010)	0.0308*** (0.0011)	0.0304*** (0.0017)
설비투자	—	-0.0052*** (0.0004)	-0.0058*** (0.0004)	-0.0037*** (0.0004)	-0.0051*** (0.0005)	-0.0052*** (0.0004)
수선비	—	—	0.0570*** (0.0009)	0.0672*** (0.0009)	0.00681*** (0.0009)	0.0672*** (0.0009)
종사자 수	—	—	—	-0.4640*** (0.0165)	-0.4551*** (0.0165)	-0.4702*** (0.0166)
종사자 수 (제곱항)	—	—	—	0.0304*** (0.0024)	0.0300*** (0.0024)	0.0304*** (0.0024)
운영연도	—	—	—	—	-0.1176*** (0.0058)	-0.1278*** (0.0057)
운영연도(제곱항)	—	—	—	—	0.0314*** (0.0016)	0.0323*** (0.0016)
건물 자본	—	—	—	—	—	0.0246*** (0.0010)
기타 유형 자본	—	—	—	—	—	-0.0085*** (0.0022)
운영조직 더미 (영리 법인)	-0.0568*** (0.0060)	-0.0554*** (0.0060)	-0.0580*** (0.0060)	-0.0391*** (0.0059)	-0.0442*** (0.0060)	0.0452*** (0.0060)
운영조직 더미 (영리 이외 법인)	0.0966*** (0.0054)	0.0955*** (0.0055)	0.0998*** (0.0055)	0.0780*** (0.0054)	0.0846*** (0.0056)	0.0862*** (0.0055)
기업 유형 더미 (중기업)	-0.1292*** (0.0053)	-0.1271*** (0.0053)	-0.1571*** (0.0053)	0.0024 (0.0062)	0.0024 (0.0062)	0.0022 (0.0062)
기업 유형 더미 (대기업)	-0.1458*** (0.0183)	-0.1408*** (0.0183)	-0.2068*** (0.0183)	0.0441** (0.0217)	0.0424* (0.0217)	0.0416* (0.0216)
산업가동률지수	-0.0004*** (0.0001)	-0.0004*** (0.0001)	-0.0005*** (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0002* (0.0001)
시간 더미(2001)	0.0419*** (0.0050)	0.0414*** (0.0050)	0.0441*** (0.0051)	0.0376*** (0.0050)	0.0354*** (0.0050)	0.0348*** (0.0050)

〈부표 1〉 계 속

변수	강건성-1					
시간 더미(2002)	0.0403*** (0.0051)	0.0402*** (0.0051)	0.0398*** (0.0051)	0.0311*** (0.0051)	0.0294*** (0.0050)	0.0278*** (0.0051)
시간 더미(2003)	0.0643*** (0.0051)	0.0640*** (0.0051)	0.0659*** (0.0052)	0.0581*** (0.0051)	0.0568*** (0.0052)	0.0541*** (0.0052)
시간 더미(2004)	-0.0081*** (0.0052)	-0.0077 (0.0052)	-0.0091* (0.0052)	-0.0188*** (0.0052)	-0.0200*** (0.0052)	-0.0243*** (0.0052)
시간 더미(2005)	-0.0309*** (0.0052)	-0.0305*** (0.0052)	-0.0336*** (0.0052)	-0.0411*** (0.0052)	-0.0436*** (0.0053)	-0.0494*** (0.0053)
시간 더미(2006)	-0.0369*** (0.0052)	-0.0365*** (0.0052)	-0.0430*** (0.0052)	-0.0504*** (0.0052)	-0.0538*** (0.0053)	-0.0628*** (0.0053)
시간 더미(2007)	-0.0832*** (0.0052)	-0.0828*** (0.0052)	-0.0900*** (0.0052)	-0.0953*** (0.0052)	-0.0983*** (0.0054)	-0.1090*** (0.0054)
시간 더미(2008)	-0.0710*** (0.0076)	-0.0723*** (0.0076)	-0.0775*** (0.0076)	-0.1043*** (0.0076)	-0.1024*** (0.0080)	-0.1138*** (0.0080)
시간 더미(2009)	-0.0894*** (0.0078)	-0.0913*** (0.0078)	-0.0980*** (0.0078)	-0.1186*** (0.0078)	-0.1179*** (0.0083)	-0.1300*** (0.0083)
시간 더미(2011)	-0.0809*** (0.0078)	-0.0822*** (0.0078)	-0.0970*** (0.0078)	-0.1103*** (0.0078)	-0.1132*** (0.0085)	-0.1253*** (0.0085)
시간 더미(2012)	-0.0878*** (0.0080)	-0.0893*** (0.0080)	-0.1052*** (0.0080)	-0.1149*** (0.0079)	-0.1186*** (0.0087)	-0.1329*** (0.0087)
R-sq(overall)	0.2047	0.2032	0.2515	0.1814	0.1966	0.2141
관측치 수	670,876	670,0876	670,876	670,876	670,812	670,812

주: 1) ()는 표준오차를 나타냄. ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서 통계적으로 유의함.

- 2) 운영조직 더미에서 기준 더미는 법인으로 등록되지 않은 사업체임.
- 3) 중분류 산업 더미도 포함되어 있으나 결과는 생략함.

〈부표 2〉 분석 모형의 강건성 확인

변수	모형1	모형1 (Robust se)	2000~2007년 기간	2008~2012년 기간
자본집약도	0.0303*** (0.0010)	0.0303*** (0.0025)	0.0253*** (0.0024)	0.0212*** (0.0033)
설비투자	-0.0052*** (0.0004)	-0.0052*** (0.0050)	-0.0028*** (0.0006)	-0.0056*** (0.0008)
수선비	0.0672*** (0.0009)	0.0672*** (0.0014)	0.0627*** (0.0012)	0.0733*** (0.0018)
종사자 수	-0.4701*** (0.0166)	-0.4701*** (0.0240)	-0.4111*** (0.0217)	-0.4608*** (0.0352)
종사자 수(제공항)	0.0304*** (0.0024)	0.0304*** (0.0036)	0.0218*** (0.0032)	0.0338*** (0.0052)
운영연도	-0.1278*** (0.0057)	-0.1278*** (0.0073)	-0.1462*** (0.0074)	-0.1405*** (0.0138)
운영연도(제공항)	0.0323*** (0.0016)	0.0323*** (0.0020)	0.0349*** (0.0021)	0.0382*** (0.0044)
건물 자본	0.0246*** (0.0010)	0.0246*** (0.0013)	0.01864*** (0.0013)	0.0234*** (0.0022)
기타 유형 자본	-0.0085*** (0.0022)	-0.0085*** (0.0031)	-0.0014 (0.0029)	-0.0032 (0.0043)
운영조직 더미 (영리 법인)	-0.0451*** (0.0060)	-0.0451*** (0.0081)	0.0331 (0.0360)	-0.1501*** (0.0178)
운영조직 더미 (영리 이외 법인)	0.0863*** (0.0055)	0.0863*** (0.0074)	0.1056*** (0.0084)	-0.0158*** (0.0729)
기업 유형 더미 (중기업)	0.0022 (0.0062)	0.0022 (0.0077)	-0.0103 (0.0078)	0.0138 (0.0123)
기업 유형 더미 (대기업)	0.0416* (0.0216)	0.0416 (0.0298)	-0.0008 (0.0275)	0.1673*** (0.0441)
산업가동률지수	-0.0002* (0.0001)	-0.0002 (0.0001)	-0.0002 (0.0001)	-0.0018*** (0.0003)
시간 더미(2001)	0.0348*** (0.0050)	0.0348*** (0.0049)	0.0352*** (0.0048)	-
시간 더미(2002)	0.0279*** (0.0051)	0.0279*** (0.0051)	0.0297*** (0.0049)	-

〈부표 2〉 계 속

변수	모형1	모형1 (Robust se)	2000~2007년 기간	2008~2012년 기간
시간 더미(2003)	0.0541*** (0.0052)	0.0541*** (0.0053)	0.0583*** (0.0050)	—
시간 더미(2004)	-0.0243*** (0.0052)	-0.0243*** (0.0056)	-0.0187*** (0.0051)	—
시간 더미(2005)	-0.0493*** (0.0053)	-0.0493*** (0.0059)	-0.0420*** (0.0052)	—
시간 더미(2006)	-0.0627*** (0.0053)	-0.0627*** (0.0061)	-0.0537*** (0.0054)	—
시간 더미(2007)	-0.1089*** (0.0054)	-0.1089*** (0.0063)	-0.1014*** (0.0056)	—
시간 더미(2008)	-0.1137*** (0.0080)	-0.1137*** (0.0105)	—	—
시간 더미(2009)	-0.1299*** (0.0083)	-0.1299*** (0.0109)	—	-0.0229*** (0.0046)
시간 더미(2011)	-0.1252*** (0.0085)	-0.1252*** (0.0111)	—	-0.0071 (0.0052)
시간 더미(2012)	-0.1328*** (0.0087)	-0.1328*** (0.0115)	—	-0.0169*** (0.0056)
R-sq(overall)	0.2141	0.2141	0.1973	0.1704
관측치 수	670,812	670,812	430,276	240,536

주: 1) ()는 표준오차를 나타냄. ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서 통계적으로 유의함.

2) 운영조직 더미에서 기준 더미는 법인으로 등록되지 않은 사업체임.

3) 중분류 산업 더미도 포함되어 있으나 결과는 생략함.

참 고 문 헌

- 김윤경·장운정, “접속불변에너지산업연관표 00-05-08을 이용한 산업별 에너지 소비 변화량의 구조분해분석,” 『자원·환경경제연구』 제20권 제2호, 2011, 258~289.
- 박재곤·변창욱·정운선, 『지역별 제조업 투자의 효율성과 효과성 분석』, 산업연구원, 2011.
- 박정욱, “한국과 일본의 산업부문 에너지 소비에 대한 LMDI 요인분해 분석,” 『에너지경제연구』 제12권 제1호, 2013, 67~103.
- 윤영희·김현경, “광업·제조업 생산성 분석—2002~2008년 광업·제조업조사 기업체편 분석을 중심으로,” 『2010년 하반기 연구보고서』, 통계청, 2010.
- 이성근·안영환, 『국가 에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선 방안 연구—산업부문의 에너지효율 평가』, 에너지경제연구원, 2007.
- 이성인·최동영, 『저소비·고효율 경제사회 구축을 위한 국가 에너지효율화 추진전략 연구』, 에너지경제연구원, 2010.
- 이진식, “제조업부문 에너지효율 추이 분석,” 『GRI 연구논총』 제12권 제3호, 2010, 251~267.
- 임재규, “국내 산업부문의 전력·에너지 소비효율 비교·분석: LMDI 요인분해 방법론 활용,” 『에너지경제연구』 제13권 제1호, 2014, 121~143.
- 전봉걸, “기업의 온실가스 관련 비용과 행태: 온실가스의 효율적 감축방안 모색을 위하여,” 『한국산업조직학회 정책세미나 논문집』, 2013, 104~137.
- 정용훈, 『에너지 효율향상에 영향을 미치는 요인에 대한 기업별 회귀분석과 정책적 시사점—우리나라 제조업 통계조사』, 에너지경제연구원, 2012.
- 정한경, 『산업부문 에너지 소비 변화요인 분석』, 에너지경제연구원, 2005.
- 조장희·허정, “한국의 제조기업 총요소생산성과 오프쇼어링의 선택,” 『한국경제연구』 제31권 제4호, 2013, 27~52.
- 지식경제부, 『2012, 2011 에너지총조사보고서』, 지식경제부, 2012.
- _____, 『중장기 부문별 에너지 효율정책 추진전략 보고서』, 지식경제부, 2012.
- 통계청, 『2012 광공업생산연보, 통계청』, 통계청, 2013.
- _____, 『2013년 기준 광업 제조업 조사표』, 통계청, 2013.
- _____, 『기준 광업 제조업 조사지침서』, 통계청, 2013.

- Cao, J. and V.J. Karplus, "Firm-level Determinants of Energy and Carbon Intensity in China," *Energy Policy*, Vol. 75, 2014, 167~178.
- Dinesh, D., "Energy-GDP Relationship and Capital Intensity in LDCs," *Energy Economics*, 8(2), 1986, 113~117.
- Fisher-Vanden, K., G. H. Jefferson, H. Liu, and Q. Tao, "What is Driving China's Decline in Energy Intensity?," *Resource and Energy Economics*, 26, 2004, 77~97.
- Goldar, B., "Energy Intensity of Indian Manufacturing Firms: Effect of Energy Prices," Technology and Firm Characteristics Working Paper, 2010.
- Halvorsen, R. and R. Palmquist, "The Interpretation of Dummy Variables in Semilogarithmic Equations," *American Economic Review*, 70(3), 1980, 474~475.
- Kumar, A., "Energy Intensity: A Quantitative Exploration for Indian Manufacturing," *IGIDR Working Paper*, 152, 2003.
- Lovo, L., M. Gasiorek, and R. Tol, "Investment in Second-hand Capital Goods and Energy Intensity," *Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment*, 2014.
- Patterson M. G., "What is Energy Efficiency—Concepts, Indicators, and Methodological Issues," *Energy Policy*, 24(5), 1996, 377~390.
- Reitler, W., M. Rudolph, and H. Schaefer, "Analysis of the Factors Influencing Energy Consumption in Industry—A Revised Method," *Energy Economics*, 1987, 145~148.
- SAHU, S. K. and K. NARAYANAN, "Determinants of Energy Intensity in Indian Manufacturing Industries: A Firm Level Analysis," *Eurasian Journal of Business and Economics*, 4(8), 2011, 13~30.
- Stern N., *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge, 2006.
- Wooldridge J., *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, Cengage Learning; 5 edition, 2013.

[Abstract]

A Panel Regression Analysis on Firm's Energy Intensity

Kyu Hwan Lee · Bong Geul Chun

In this paper, the firm's energy intensity is regressed on firm's characteristics expected to effect it in order to achieve the effectiveness of energy efficiency policy. According to the major analysis results, the increase in firm's capital intensity was led to the increase in its energy intensity and the increase in firm's capital investment resulted in the decrease in its energy intensity. In addition, energy intensity is divided into fossil fuel's energy intensity and electricity's energy intensity. Each is regressed on same variables which is used when energy intensity is not divided. As a result, the need for dividing energy intensity is proposed. The results appeared in this paper is expected to be the reference especially in micro econometrics where there is lacking of empirical studies on energy intensity.

Keywords: energy efficiency, energy intensity, capital intensity, climate change, fixed effect

JEL Classification: N70, Q40

* First Author, M.A., University of Seoul, Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning, Research Assistant, Tel: +82-2-589-2793, E-mail: korea84hwan@naver.com

** Corresponding Author, University of Seoul, Department of Economics, Associate Professor, Tel: +82-2-6490-2065, E-mail: bonggeul@gmail.com

— |

| —

— |

| —