



횡단면 분석을 활용한 한국 산업용 도시가스 수요함수 추정

이복희·이혜정*·유승훈**·[†]허성윤**

서울과학기술대학교 석사과정, *서울과학기술대학교 박사과정,

**서울과학기술대학교 에너지정책학과 교수

(2020년 10월 5일 접수, 2020년 12월 17일 수정, 2020년 12월 18일 채택)

Estimating the Demand Function for Industrial Natural Gas Use in Korea : A Cross-sectional Analysis

Bok-Hee Lee · Hye-Jeong Lee · Seung-Hoon Yoo · [†]Sung-Yoon Huh

Dept. of Energy Policy, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, Korea

(Received October 5, 2020; Revised December 17, 2020; Accepted December 18, 2020)

요 약

미래의 안정적인 천연가스 수급을 위해서는 사전에 정확한 수요행태를 파악하고 이를 바탕으로 공급 물량을 확보하는 것이 필요하다. 본 논문은 향후 국내 천연가스 수요 증가의 핵심인 산업용 도시가스의 수요함수 추정 방법론을 제안하여 보다 정확하게 국내 천연가스 수요 특성을 파악하고 안정적인 공급계획 수립에 도움이 되고자 하였다. 국내 304개 산업체의 횡단면 자료를 활용하여 산업용 도시가스 수요함수를 추정하였고, 도시가스 가격, 산업체 매출 이외에 자본투자, 제조원가 등 산업체의 운영 특수성이 수요에 미치는 영향을 도출하였다. 최종적으로 특이치에 강건하고, 오차항의 동분산 및 정규성을 가정하지 않는 최소절대편차추정법을 선택하여 결과 값을 도출하였다. 추가로 산업용 도시가스의 가격탄력성 값을 활용하여 산업용 도시가스의 경제적 가치를 추정하였다. 분석 결과, 산업체에 도시가스를 확대 공급하는 것이 국가 차원에서 이득이 되는 것으로 나타났으며, 따라서 정부는 산업용 도시가스 지원 정책을 통해 보급 확대를 추진할 필요가 있다.

Abstract - In order to supply stable natural gas in the future, it is necessary to forecast the demand in advance and secure the quantity of supply. In this paper, we propose a method of estimating the demand function of industrial natural gas, which is the core of the increase of domestic natural gas demand in the future. The cross-sectional data of 304 domestic industries were used to estimate the demand function of the industrial natural gas, and the effect of industry specific characteristics such as capital investment, manufacturing cost. Finally, the least absolute deviation estimation method which is robust to outliers and does not assume the homogeneity of the error term and the normality, And the results were derived. In addition, the economic value of industrial city gas was estimated using the price elasticity of industrial city gas. Therefore, it can be seen that the continuous expansion and supply of city gas to the industrial sector is beneficial at the national level, and the government needs to promote expansion through the industrial city gas support policy.

Key words : industrial natural gas, demand function, ordinary least square, least absolute deviation

[†]Corresponding author:sunghuh@seoultech.ac.kr

Copyright © 2020 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

천연가스는 사용의 편리성, 안정성, 그리고 저탄소에너지 추세와 맞물려 세계적으로 그 수요가 지속적으로 성장해 왔으며, 2030년에는 석탄을 제치고 두 번째로 큰 1차 에너지원으로 자리매김 할 전망이다[1]. 중국 등 많은 신흥국가들이 석탄의 가스 전환(Coal to Gas) 정책을 펴며 천연가스의 사용 비중을 늘려가고 있고, 미국은 자국의 저렴한 셰일가스를 확대 공급하고 있다. 우리나라의 천연가스 수요 또한 이러한 세계 추세와 유사하게 성장해 왔다. 1986년 도입을 시작한 이래 2013년까지는 연평균 17% 수준의 급격한 성장을 이뤘고, 2004년 이후부터는 연평균 5% 수준의 안정적 성장을 이어오고 있다[2]. 세부적으로 살펴보면, 2000년 초반까지는 도시가스 공급망 및 보급률 확대 등의 영향으로 도시가스용 수요가 높은 성장률을 보였고, 2000년 이후에는 액화천연가스(Liquefied Natural Gas, LNG) 발전소가 증가하면서 발전용 수요가 천연가스 수요증가를 견인하였다[3]. 정부의 제13차 천연가스 수급계획에 따르면 미래에는 도시가스 보급률 포화, LNG 발전 확대 제한 등의 영향으로 연평균 0.8% 수준으로 성장률이 둔화될 것으로 전망되지만, 산업용 도시가스는 예외적으로 연평균 1.7% 수준으로 타 용도 대비 높은 성장률을 보일 것으로 예상된다[4]. 이는 반도체 등 대규모 공장 신설에 따른 수요 증가 및 온실가스저감 의무에 따른 산업체의 연료전환 등이 원인일 것으로 추정된다.

천연가스는 특성상 개발 및 인프라 구축에 많은 비용과 오랜 시간이 소요된다. 따라서 단기 수요 변화에 따라 빠른 공급 대응이 어려워, 스폿(spot) 시장에서 물량을 구하고자 할 때 난항을 겪을 수 있다. 또한 현재 승인된 국제 LNG 프로젝트 기준으로 볼 때, 2020년 중반 이후는 LNG 수급이 빠듯할 가능성이 있기 때문에 중장기적인 시각으로 천연가스 수요를 정확히 예측하고 공급계획을 수립하는 것이 필요하다. 이러한 측면에서 도시가스, 특히 가장 많은 성장이 예상되는 산업용 수요를 정확히 예측하는 것이 안정적이고 경제적인 천연가스 수급계획을 세우는데 중요하다고 볼 수 있다.

산업용 도시가스 수요에 영향을 주는 요인은 가격과 소득(매출 등) 이외에도 다양한 요소가 있다. 예를 들어 철강 업종의 경우는 탄소배출 저감 필요에 따른 연료전환, 석유화학업종의 경우는 납사가격 상승으로 인한 원료의 대체가 도시가스 수요에 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 논문은 산업체 도시가스 수요에 영향을 주는 다양한 요소들의 횡단면

자료를 활용해 탄력성을 구하고 수요함수를 추정함으로 보다 정확한 도시가스 수요 예측에 기여하고자 하였다. 본 연구에서는 수요함수 추정 방법론으로 최소자승법(Ordinary Least Squares, OLS)과 최소절대편차추정법(Least Absolute Deviation, LAD)을 비교 검토하여 최종적으로 특이치(outliers)에 좀 더 강건한(robust) LAD를 선택하여 적용하였다.

이후 본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 제II장에서 국내 도시가스 시장 현황 및 산업용 도시가스 수요 추정 필요성에 대해 설명하였다. 제III장에서는 선행연구들과 본 연구의 차이점을 설명하고 제IV장에서는 분석방법론인 OLS 및 LAD에 대해 설명하였다. 제V장에서는 횡단면 자료를 활용한 산업용 도시가스 수요추정 모형 산출 결과를 제시하고 분석내용에 대한 설명과 시사점을 도출하였다. 마지막으로 제VI장에서는 분석 결과를 요약하고 본 연구의 의의 및 후속 연구의 방향성에 대해 논하였다.

II. 국내 도시가스 시장 현황 및 산업용 수요예측 필요성

국내 천연가스 시장은 도입 후 10년간 발전용 수요가 많았으나, 1996년 도시가스용이 발전용 수요를 추월한 이후 도시가스 수요 비중이 발전용 보다 높게 유지되고 있다. 2017년 기준으로 도시가스 수요는 총 1,951만톤, 발전용 수요는 총 1,730만톤을 기록하였으며, 전체 물량 중 비중은 각각 53%, 47%로 도시가스 비중이 더 크다[5].

도시가스 보급 시작 이래 가정용, 산업용을 중심으로 연평균 약 40% 수준의 급속한 성장을 지속해 오다, 보급률이 약 70%에 이른 2000년대 중반 이후 연평균 3% 중반 수준으로 성장세가 둔화되기 시작했다. 다만 예외적으로 2010년부터 2013년까지 산업용을 중심으로 급격한 수요 증가세를 보이는데, 주원인은 당시 고유가로 인해 많은 산업체들이 BC유, 납사 등 유류에서 도시가스로 연료 및 원료를 전환했기 때문이다. 산업용 도시가스는 주로 보일러, 요업/철강, 냉난방, 수송, 냉열이용, C1화학 용도로 쓰인다. 요업/철강은 철, 비철금속의 가열 및 열처리 용도를, C1화학은 천연가스를 원료로 고부가물질(DME, 수소 등)을 제조하는 용도를 말한다[6].

산업용 도시가스의 업종별 소비 변화를 세분화하여 살펴보면 도시가스 수요는 산업 전반에서 균등하게 늘어난 것이 아닌 특정 업종을 중심으로 성장해 왔음을 볼 수 있다. 예로 금속업종에서 도시가스를 많이 써오고 있는데, 이는 주요 철강회사에서

쇠를 녹이는 열원 등으로 도시가스를 주로 사용하며 그 수요를 지속적으로 늘려왔기 때문이다. 특히 철강업체들은 탄소배출 감축을 위해 쉽게 취할 수 있는 방법이 연료전환이기 때문에 이에 대한 영향도 수요에 반영이 되었다. 또한 2010년 이후 석유화학업종에서의 도시가스 수요 증가가 두드러지는데 이 시점에 주요 회사들이 원료용 납사를 도시가스로 대체한 것이 영향을 미쳤다. 이와 같은 국내 산업용 도시가스 수요의 특수성을 고려해 볼 때, 정확한 수요예측을 위해서는 산업체 특성을 고려하는 것이 필요함을 알 수 있다[7].

정부에서 발표한 제13차 장기 천연가스 수급계획 [4]에 따르면, 향후 우리나라의 천연가스 수요증가는 도시가스 수요가 이끌 것을 예상하고 있다. 이는 재생에너지의 증가 및 전력수요 정체를 인한 신규 LNG 발전소 투자 제약으로 발전용 천연가스 수요의 증가율은 과거 대비 낮은 반면, 도시가스는 산업용을 중심으로 추가 성장 여력이 있기 때문이다. 도시가스의 가정용 수요는 보급률 포화로 성장이 제한적이지만, 산업용의 경우 주요 반도체 공장 등 대규모 신규 수요가 나타나고 있으며, 석유화학 산업체에서도 온실가스 저감 및 경제성을 고려하여 벙커씨(BC)유 대신 천연가스 사용을 늘리고 있어 지속적인 수요 성장이 전망된다. 또한 산업용의 경우 국내 총생산 성장에 따라 가동률 증가 및 공장 증설 등의 움직임이 수반되기 때문에 수요증가의 여지가 타용도보다 높다. 산업용 도시가스의 수요 증가 추세는 비단 국내에 국한 된 것이 아니다. IEA [8]에서는 2040년 기준으로 산업용 천연가스 수요가 2017년 대비 약 60% 이상 증가할 것으로 예상하고 있다. 이는 발전용수요 증가율 예상치인 31% 보다 약 2배 높은 수치이다.

이와 같은 수요 증가세에 대응하여 안정적이고 경제적인 천연가스를 공급하기 위해서는 정확한 수요예측에 근거한 중장기 수입물량의 선제적인 확보가 필요하다. 우리나라에 천연가스를 공급하기 위해서는 가스전, 액화플랜트, 선박, 인수기지, 가스 공급배관 등 다양한 인프라 구축이 필요하며, 이를 위해서는 최소 4~5년 이상의 기간과 조 단위의 막대한 비용 투자가 필요하다[9]. 천연가스는 자원 특성 상 경제적으로 저장 가능 물량이 한정적이기 때문에 통상 20년 이상의 장기 계약의 형태로 이뤄져 왔다. 최근 미국 셰일가스 등의 영향으로 공급선이 다양해지고 물량이 많아져, 구매자 시장(Buyers Market)이 형성되면서 계약기간이 짧아지고 형태도 변화되어 가고 있지만, 여전히 10년 이상의 장기 계약이 주를 이루고 있다. 따라서 수요예측의 실패

로 스팟 시장에서 LNG를 구매해야 할 경우, 충분한 물량확보가 어려울 수 있고, 가격의 변동성도 매우 크다. 한 가지 예로 2018년 초 겨울 중국의 급격한 LNG 사용의 증가로 스팟 시장에서 물량을 구하기 어려운 상황이 발생했으며, 가격 또한 급격이 오른 사례가 있다. 따라서 안정적인 천연가스 공급을 위해서는 정확한 수요 분석 및 예측이 선행되어야 한다.

앞에서 설명하였듯 우리나라 미래 천연가스 수요는 도시가스용, 그 중에서도 산업용을 중심으로 성장이 예상되기 때문에 이 부분에 대한 수요예측 정확도를 높여야 한다. 산업용의 경우 산업체 운영 특성이 도시가스 사용량 변화에 중요한 영향을 미치기 때문에 이를 고려한 수요예측이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 산업체의 운영 특성을 반영할 수 있는 횡단면 자료를 활용한 산업용 도시가스 수요함수추정을 통해 보다 정확한 천연가스 수요예측에 도움을 주고자 한다.

III. 선행연구

도시가스를 사용하기 위해서는 배관 등 공급 관련 인프라와 LNG 터미널 등 저장 인프라 투자가 선행되어야 한다. 이러한 요인으로 발전용 이외에 가정, 산업용 등 다른 용도의 주 에너지원으로 도시가스를 사용하는 국가는 한정적일 수밖에 없으며, 이에 따라 도시가스의 수요함수 추정에 대한 선행 연구 또한 한정적이다. 이 중 도시가스 배관 인프라가 잘 구축되어 있고, 천연가스 공급 역사가 20년 이상 된 나라인 미국, 유럽, 중국 및 한국을 대상으로 진행된 도시가스 수요추정함수 관련 다양한 선행연구 사례를 Table 1에 정리하여 제시하였다. 많은 선행 연구들은 가정용 수요를 대상으로 수요함수 추정 및 가격, 소득 탄력성을 구하였으며, 산업용 수요 함수를 추정한 연구는 상대적으로 드물다. 또한 시계열 자료 위주의 분석이 이뤄져왔으며, 특히 산업용 수요를 횡단면 자료로 분석한 논문은 찾아보기 어려웠다.

Beierlein et al. [10]은 미국 북동부 지역을 대상으로 1961년부터 1970년까지 10년간의 시계열 자료 및 횡단면 자료를 활용하여 가정용/상업용/산업용 도시가스 수요의 가격, 소득 탄력성을 추정하였다. 도시가스 수요의 단기, 장기 가격 탄력성은 각각 -0.05, -0.33으로 추정 되었으며, 수요의 단기, 장기 소득 탄력성은 각각 0.11, 0.77로 추정 되었다. 이를 통해 미국 도시가스 수요는 경제학적인 수요 법칙을 만족하며, 탄력성의 절대값이 1 보다 작기 때문에 모두 비탄력적임을 알 수 있다. 또한 도시가스 수

요는 장기로 갈수록 보다 탄력적인 경향을 보인다.

Balestra and Nerlove [11]은 미국 36개 주의 1957년부터 1962년까지의 6년간의 시계열 자료와 횡단면 자료를 활용하여 가정용/상업용 도시가스 수요의 가격 및 소득 탄력성을 추정하였다. 도시가스 수요의 장기 가격 탄력성은 $-0.01 \sim -0.20$, 장기 소득 탄력성은 $0.01 \sim 0.02$ 로 도출 되었으며, Beierlein et al. [10] 결과와 유사하게 미국 도시가스 수요는 경제학적인 수요 법칙이 성립됨을 볼 수 있다. 또한 가격과 소득에 비탄력적임을 보아 미국에서 도시가스는 필수재 성격을 띠고 있음을 알 수 있다.

Asche et al. [12]은 유럽 18개국을 대상으로 1978년부터 2002년까지의 24년간 패널 자료를 활용하여 가정용 도시가스의 가격, 소득 탄력성을 추정하였다. 분석 방법론으로 OLS를 활용하였으며, 그 결과 도시가스 수요의 단기, 장기 가격 탄력성은 각각 -0.154 , -0.442 로 도출 되었으며 미국의 도시가스 수요함수 추정 결과와 동일하게 수요의 법칙을 따름을 볼 수 있다. 반면 도시가스 수요의 단기, 장기 소득 탄력성 결과 값은 각각 0.613 , 1.22 로 단기적으로는 소득에 비탄력적이지만, 장기적으로는 탄력적임을 알 수 있다. 이와 상기 미국 대상의 연구 사례를 비교하여 볼 때 도시가스의 수요추정 함수는 지역 및 국가 특수성에 따라 다르게 도출될 수 있다는 시사점을 준다.

중국 정부의 Coal to Gas 정책에 따른 천연가스 보급 확산에 따라 도시가스 수요추정 관련 연구들이 꾸준히 진행되고 있다. Yu et al. [13]은 중국 전역을 대상으로 2006년부터 2009년까지 4년간의 패널 자료를 활용하여 가정용 도시가스의 수요함수를 추정하였다. 분석 방법론으로 실현가능한 일반화최소자승법(Feasible generalized least squares model)을 활용하였으며, 결과 값으로 도시가스 수요의 가격 탄력성은 -1.431 , 소득 탄력성은 0.207 이 도출 되었다. 가격 탄력성의 경우 일반적인 수요의 법칙을 따르고 있지만, 미국/유럽 사례와는 다르게 가정용 도시가스 수요가 가격에 탄력적으로 반응함을 볼 수 있다. 이는 중국 가정용 도시가스가 다른 선진국에 비해 필수재가 아니라는 것을 의미하는데, 실제로 중국의 경우 가정에서 난방 등의 용도로 도시가스를 쓰지 않는 경우가 많고, 가격이 오르는 경우 다른 연료로 대체하거나 사용량을 줄이는 경우도 흔하게 일어난다.

Zhang et al. [14]은 중국의 1992년부터 2012년까지 패널 자료를 활용하여 산업용, 가정용, 상업용, 수송용 도시가스의 수요함수를 추정하였다. 분석을 위해 자기회귀시차분포모형(Autoregressive distribu-

tion lag model)을 활용하였으며, 대표적인 결과 값으로 산업용 도시가스의 단기, 장기 가격탄력성은 각각 0.222 , 0.847 , 소득탄력성은 2.037 로 도출 되었다. 이는 경제학적인 수요 법칙을 만족하지 않지만, 중국 내에서의 수요의 가격탄력성과는 일치된 방향성을 보인다. 이와 같은 현상이 나타나는 원인은 중국 정부의 강력한 천연가스 가격 통제 및 보급 정책에 있다. 중국의 산업체들이 석탄에서 천연가스로 연료를 전환하는 과정 중에 있으며, 정책 영향으로 산업용 천연가스가 상대적으로 낮은 가격을 유지하고 있다. 이로 인해 천연가스 시장은 아직 불안정한 상황에 있으며, 중국 내부에서 천연가스 가격결정 구조 개혁을 해야 한다는 목소리가 조금씩 커지고 있다. 동일한 맥락에서 수송용의 연료도 유류에서 천연가스로 변경되어 가는 과정에 있는 등 중국 내 천연가스 시장의 변동성 및 정책적 요인이 크게 작용하기 때문에 대부분의 도시가스 사용 용도에서 선진국에서 나타난 일반적인 결과 값과는 조금 다른 모습을 보이고 있다.

반면, 한국을 대상으로 진행된 도시가스 수요함수추정에 관한 연구 결과는 선진국과 유사한 경향을 보이고 있다. Lee and Yoo [15]는 2018년의 횡단면 자료를 활용하여 서울시 가정용 수요함수를 추정하였고, 도시가스 수요의 가격 탄력성과 소득 탄력성을 각각 -0.43 과 0.18 로 도출 하였다. 이를 통해 국내 가정용 도시가스 수요함수는 일반적인 수요법칙을 따르며 미국/유럽의 경우와 유사하게 비탄력적인 특징을 가짐을 알 수 있다.

이승재 외[16]는 1981년부터 2012년까지 31년간의 국내 시계열 자료를 활용하여 가정용 도시가스의 가격, 소득 탄력성을 추정하였다. 효과적인 시계열 데이터 분석을 위해 내생시차변수모형(코익의 분포모형)을 이용하였고, 분석 방법론으로 OLS를 활용하였다. 추정 결과 값은 가정용 도시가스 수요의 단기, 장기 탄력성은 각각 -0.5 , -2.16 , 단기, 장기 소득 탄력성은 각각 0.87 , 3.16 을 나타낸다. 이를 통해 가정용 도시가스 수요는 장기적인 관점에서 가격과 소득에 탄력적임을 알 수 있다.

본 논문의 주제와 연관된 국내 산업용 수요추정 함수에 관해서는 이석태 외[17]의 선행연구사례가 있다. 우리나라의 1985년부터 2015년까지 시계열 자료를 활용하여 산업용 도시가스의 수요함수를 추정하였다. 코익의 분포모형을 이용하였고, 특이치에 대한 영향을 최소화하고 모수에 대해 강건한 추정을 위해 분석방법론으로 최소평균제곱(Least Median of Squares, LMS) 기법을 사용하였다. 이를 통해 도시가스 수요의 단기, 장기 가격 탄력성은

Table 1. Summary of previous studies

국가	출처	추정 기간	분석 대상	가격 탄력성		소득 탄력성	
				단기	장기	단기	장기
미국 (북동부 지역)	Beierlein et al. [10]	1961~1970	가정용 상업용 산업용	-0.05	-0.33	0.11	0.77
미국 (36개주)	Balestra and Nerlove [11]	1957~1962	가정용 상업용	-	-0.01~ -0.20	-	0.01~ 0.02
유럽	Asche et al. [12]	1978~2002	가정용	-0.154	-0.442	0.613	1.422
중국	Yu et al. [13]	2006~2009	가정용	-1.431		0.207	
	Zhang et al. [14]	1992~2012	가정용	-0.223	-0.223	2.051	
			상업용	-1.004	5.730	-	
			산업용	0.222	0.847	2.307	
			수송용	-0.199	3.866	-	
한국	이승재 외[16]	1981~2012	가정용	-0.52	-2.16	0.87	3.61
	Lee and Yoo [15]	2008	서울시 가정용	-0.43		0.18	
	이석태 외 [17]	1985~2015	산업용	-0.16	-0.22	2.44	3.391

각각 -0.16, -0.22, 단기, 장기 소득 탄력성은 각각 2.44, 3.39로 도출 되었다. 결과 값으로 산업용 도시 가스는 가격에 비탄력적인 필수재 성격을 띠며, 소득 증가에 탄력적인 정상재임을 알 수 있다.

앞에서 설명한 미국/유럽/한국의 도시가스 수요 함수 추정 결과를 요약해 보면 도시가스 수요는 경제학적인 수요 법칙을 따르며, 가격에 비탄력적인 필수재 성격을 띠고 있음을 알 수 있다. 산업용의 경우는 가정용과는 다르게 소득에 탄력적인 정상 재임을 나타내고 있다. 여기서 추가로 고려해야 할 것은 지역 및 국가 특수성에 따라 그 탄력성의 값은 모두 다르다는 점이다. 특히 산업용의 경우는 중국 사례에서 볼 수 있듯, 산업 환경의 변화, 정부 정책 등 외부 요인으로 인해서 경제학 이론과는 전혀 다른 수요함수 형태를 보이는 경우도 있다. 따라서 산업용 수요함수의 정확한 추정을 위해서는 시계열 데이터를 활용한 분석과 동시에 산업체 또

는 산업 환경의 특수성을 고려한 횡단면 자료를 활용한 분석을 고려하여 진행하여야 한다. 앞 절에서 설명하였듯 산업용 도시가스는 향후 우리나라 천연가스 수요 증가의 가장 중요한 부분을 차지할 것으로 예상되기 때문에 정확한 수요 추정을 위한 지속적인 보완 연구는 필수적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 2016년 국내 산업체 횡단면 자료를 활용하여 수요함수 추정을 진행하였다. 특히 횡단면 자료의 독립변수 선정시, 자본투자, 제조원가 등 산업체의 운영 특수성을 나타낼 수 있는 지표로 선정하여 탄력성을 도출하고자 하였다. 이 연구를 통해 우리나라 산업의 특수성을 일부 반영한 산업용 도시가스 수요함수를 추정함으로 기존 선행 연구를 보완할 수 있을 것으로 기대한다.

IV. 연구방법론

4.1. 수요함수 추정모형

산업용 도시가스 수요는 도시가스의 가격 및 산업체 매출 등에 영향을 받으며 동시에 설비 투자와 같은 산업체 운영 특성에 의해서도 달라진다. 본 논문에서는 이러한 수요특성을 반영하여 산업체 도시가스 수요량을 추정하기 위해 횡단면 자료를 활용한 다중회귀분석 모형을 이용하였고, 산업체 특성을 잘 보여주는 6개의 독립변수를 사용하여 모형을 설정하였다.

회귀모형이 모수에 대해 선형인 모형이라는 가정 하에, 추정 가능한 회귀방정식을 도출하기 위해 종속변수와 독립변수에 자연로그를 취하여 식(1)과 같은 이중로그함수 형태를 설정하였다. 이중로그함수 형태는 추정된 계수가 해당 특성 변수에 대한 수요의 탄력성을 나타낸다는 장점이 있다.

$$\ln G_i = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_i + \alpha_2 \ln Q_i + \alpha_3 \ln K_i + \alpha_4 \ln M_i + \alpha_5 \ln E_i + \alpha_6 S_i + \epsilon_i \quad (1)$$

식 (1)에서 G_i 는 산업용 도시가스 수요량(m^3 /년), P_i 는 산업용 도시가스 가격(백만원/ m^3), Q_i 는 산업체의 매출(백만원/년), K_i 는 산업체의 자본투자(백만원/년), M_i 는 산업체의 제조원가(백만원/년), E_i 는 산업체의 전기사용량(kWh/년), S_i 는 중소기업 여부를 의미한다. 산업체의 매출, 자본투자, 제조원가 및 전력 사용량은 산업체 운영 특성을 나타내주는 지표로 이에 대한 수요함수 추정을 통해 각 독립변수가 산업체 도시가스 사용량에 미치는 영향을 확인할 수 있다.

이미 언급한 바와 같이 상기 다중회귀분석에서 추정되어야 하는 모수인 α_1 은 P 이외의 독립변수가 불변일 때 P 한 단위 변화에 따른 G 의 평균 변화분을 나타낸다. 즉, P 변수에 대한 G 변수의 탄력성, 즉 수요의 가격탄력성을 말한다[18].

식 (1)에서 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 는 추정해야 하는 모수이며, ϵ_i 는 오차항 추정 값이다. 또한 i 는 ($i=1, \dots, N$) 조사표본 내 각 i 번째 산업체를 의미한다. α_1 은 수요의 가격탄력성, α_2 는 수요의 매출탄력성을 나타낸다. 여기서 매출은 산업체 소득을 간접적으로 나타내주는 지표이기 때문에 매출탄력성은 수요의 소득탄력성으로 같음할 수 있다. 또한 α_3 는 수요의 자본투자 탄력성, α_4 는 수요의 제조원가 탄력성, α_5 는 수요의 전기사용량 탄력성, 마지막으로 α_6 는 기업구분(중소기업 여부)의 영향을 의미한다. 더미 변수인 S_i 의 경우 자연로그를 취하지 않고 추정하였으며, 따라서 해당 변수의 계수 추정치는 탄력성을 의미하지 않는다. 식 (1)를 일반화하여 정리하면 다음과 같다. V_i 는 산업체의 도시가스사용량에 영향을 주는 벡터, α 는 모수벡터를 의미한다.

$$G_i = V_i' \alpha + \epsilon_i \quad (2)$$

횡단면 자료를 활용한 수요함수 추정에는 모수적인 기법이 일반적으로 사용되는데 OLS가 대표적인 예이다. OLS를 사용하기 위해서는 원칙적으로 오차항이 정규 분포(normal distribution)를 따르고, 동분산(homoscedasticity)을 갖는다는 가정을 만족해야 하며, 자기상관이 없어야 한다(no autocorrelation). 물론 분석에 활용되는 표본 수가 많을 경우 중심극한정리를 통해 정규성 가정을 근사적으로 만족시킬 수 있다. 본 논문에서는 모수적 기법인 OLS를 사용하여 횡단면 자료를 분석 시 Breusch and Pagan [19]이 제안한 라그랑지승수(Lagrange multiplier, LM) 검정을 실시하였으며, 이를 통해 오차항의 이분산이 없다는 귀무가설을 검정하여 결과 값이 통계적으로 유의미함을 증명하고자 하였다.

하지만, OLS는 개념적으로 평균 회귀(mean regression)를 구하는 방법이기 때문에 표본 대상 중 특이치의 영향에 강건하지 않다. 따라서 본 연구에서는 이에 대한 대안으로 Jarque and Bera [20]가 제안한 LAD 추정방법을 추가적으로 활용하였다. LAD 모형은 오차항의 확률적 구조 정형화가 요구되지 않기 때문에 OLS 대비 오차항의 분포 변화에 대해 대단히 강건하고 일치적인 특성을 가진다. LAD 추정법 사용의 또 다른 이점으로는 특이치에

영향을 적게 받고(즉 샘플 수가 적고 오차항 분포의 꼬리 부분이 정규분포 대비 두꺼울 경우), 오차항의 동분산 및 정규성(normality) 가정이 필요없다는 것이다[35,36]. 물론 오차항의 동분산 가정이 만족하지 않을 때 사용할 수 있는 기법은 LAD만 있는 것은 아니다. GLS (Generalized Least Squares) 등 다양한 모수적 추정 기법을 고려해 볼 수 있다. 하지만, LAD는 준모수적 추정 기법이라는 특성상 GLS 추정기법 등 다른 모수적 추정기법보다 큰 유연성을 가진다는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 산업용 도시가스 추정모형을 도출할 때, LAD를 활용하여 오차의 정규성 및 동분산 가정에 대한 영향을 피해가고 특이치에 강건한 추정을 진행하였다.

4.2. 추정기법

잘 알려진 바와 같이 OLS를 활용한 추정기법은 설명변수(독립변수)와 종속변수 간차의 제곱 합을 최소화하는 방법이다. 한편 LAD는 설명변수와 종속변수 간차의 절대값의 합을 최소화 시키는 방법이며 계산적으로 어렵지 않으므로 실용적이라는 장점이 있다. 이러한 LAD의 통계적 성격 및 강건함은 Bassett and Koenker [21], Yoo [22], 정동원 외 [23]에서 증명되고 있다. 본 논문의 산업용 도시가스 수요함수에 대한 LAD는 다음 식(3)과 같이 정의할 수 있다.

$$\beta_{LAD} = \underset{\alpha \in B}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^n |G_i - V_i' \alpha| \quad (3)$$

기존 연구에서 횡단면 자료를 활용한 산업용 도시가스 수요추정 함수 모형에 LAD를 적용한 사례는 드물다. 따라서 본 연구에서는 수요함수 추정모형으로 LAD를 적용하여 추정값을 도출함과 동시에 해당 결과를 OLS 추정 결과와 비교한다. 결론적으로 이를 통해 시계열 자료를 활용한 수요추정 함수 모형을 보완할 수 있으며, 횡단면 자료를 활용 시 적용 가능한 보다 강건한 수요추정함수 추정모형을 제안할 수 있다.

V. 분석 결과 및 시사점

5.1. 분석 자료

국내 개별 기업의 도시가스 소비량과 설명변수로서 필요한 기업정보는 공개되어 있지 않거나 구득하기 어렵다. 따라서 본 연구는 설문조사를 통해 도시가스를 주 연료로 사용하는 산업체를 대상으로 2016년 경영실적 자료를 수집하고 해당 자료를

Table 2. Descriptions of variables

변수	내용
연간 도시가스 사용량	산업체에서 연간 사용한 도시가스 총량 (m ³)
산업용 도시가스 가격	해당년도 산업체 도시가스 가격 (원/m ³)
매출액	연간 제품출하 총액 (백만원)
자본투자	유형자산의 연말 잔액 (백만원)
제조원가	제품 생산을 위한 사용된 연간 비용 합계 (백만원) ※ 재료비, 연료비, 전력비, 용수비, 외주가공비, 수선비
전기 사용량	연간 전기 사용 총량 (kWh)
중소기업여부	기업규모에 따른 중소기업 여부 확인 (중소기업=1, 대기업=0)

주: 모든 자료는 2016년 실적 기준임

활용해 분석을 수행하였다. 자료의 객관성 및 신뢰성 확보를 위해 실제 설문조사는 전문 설문조사기관 (리서치 프라이프)이 수행하였다. 해당 조사는 2017년 6월에서 7월 두 달 간 전문조사원들이 직접 해당 사업장을 찾아가 설문을 진행하는 대면 설문 방식으로 진행되었다. 응답한 총 1,100개의 산업체 중 생산과정에서 도시가스를 연료로 사용하는 304개 대상 산업체를 선별하여 분석의 표본으로 삼았다. 해당 304개 기업 중 99.7%가 한국표준산업분류 중 제조업에 속한다. 또한 조사 해당 년도인 2016년은 GDP 성장률이 2011년부터 2018년까지의 평균 성장률에 해당하는 해로 산업체들은 정상적인 운영 환경을 유지하고 있다고 판단된다.

본 논문의 종속 변수는 산업체 도시가스 사용량이며, 독립변수는 도시가스 가격, 연간 매출액, 자본투자, 제조원가, 전기사용량, 중소기업 여부이다. 보통 산업용 도시가스 단위 가격은 지역 및 사용량에 따라 달라지기 때문에 동일한 양의 도시가스를 사용하여도 산업체별 연료비 원가는 다르다. 분석에 활용된 변수의 상세한 정의는 Table 2에 제시하였다.

Table 3은 수요함수 추정에 사용된 변수의 기본 특성을 보여준다.

5.2. 분석 결과

본 연구의 목적 중 하나는 산업체의 특성을 고려한 수요함수 추정 및 이를 이용하여 각 요소별 탄

Table 3. Descriptions and sample statistics of the variables

변수	변수명(단위)	평균값	표준편차
<i>G</i>	도시가스 사용량 (m ³)	693,020	5,589,595
<i>P</i>	산업용 도시가스 단위 가격 (백만원)	6.664×10 ⁻⁴	9.729×10 ⁻⁵
<i>Q</i>	매출액 (백만원)	51,991	224,269
<i>K</i>	자본투자 (백만원)	22,503	83,603
<i>M</i>	제조원가 (백만원)	41,370	197,733
<i>E</i>	전기 사용량 (kWh)	9,082,495	87,423,175
<i>S</i>	중소기업 유무	0.921	0.270

력성 정보를 얻는 것이다. 본 논문에서는 설문조사를 통해 산업체 운영에 관한 유의미한 자료를 확보하였으며, 이를 활용한 수요함수 추정을 진행하였다. 그러므로 본 연구는 과거 산업용 수요함수에 대한 보완 연구로서의 가치가 있다. 또한 시계열 자료를 활용한 도시가스 수요함수 추정의 경우, 연도별 기온의 특수성이나 보급률, 수요가수 증가에 대한 영향을 정확히 구분하기 어려운 경우가 많다. 그러나 횡단면 자료를 활용할 경우 이런 제약의 문제를 일부 해결할 수 있어, 산업체 운영 특수성이 산업체 도시가스 사용 원단위와 전체 수요함수에 미치는 영향을 분석하기 용이하다.

사용된 304개 산업체 표본 데이터의 수요함수 추정을 위해 OLS를 먼저 적용하였다. 단, OLS 적용을 위해서는 오차항의 분포가 동분산을 갖는다는 가정이 성립해야 하므로 이 가정을 만족함을 증명해야 한다. 보통 횡단면 자료의 경우 오차항 분산의 크기가 달라지는 이분산이 존재하는 경우가 흔하므로, 이분산이 없음을 증명하는 것이 반드시 필요하다. 따라서 이분산이 없다는 귀무가설 검정을 위해 앞 절에서 설명한 LM 검정을 사용하였다. Table 4에서 확인할 수 있듯 OLS 사용 시, LM 통계량은 0.228, *P*-value는 0.633으로 이분산이 없다는 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 이분산은 존재하지 않으며 OLS 사용이 가능하다는 것이 증명되었다.

Table 4의 결과값을 보면, OLS를 사용하여 구한 산업용 도시가스 수요의 가격탄력성은 -2.6618, 매

Table 4. Estimation results of demand functions for industrial natural gas

변수	OLS		LAD	
	추정계수	t-value	추정계수	t-value
상수항	-18.8660	-4.20**	-11.9690	-3.45**
<i>P</i>	-2.6618	-4.49**	-1.5181	-3.31**
<i>Q</i>	1.0604	2.55**	1.0210	3.17**
<i>K</i>	-0.0597	-0.66	-0.1274	-1.82*
<i>M</i>	-0.5958	-1.59	-0.5100	-1.76*
<i>E</i>	0.4400	4.73**	0.5599	7.79**
<i>S</i>	0.4041	0.96	0.65	1.99**
adjusted R-squared	0.306		0.293	
LM statistic	0.228 (0.633)		-	
표본 개수	304			

주: *, **는 각각 유의수준 10%, 5%에서 통계적으로 유의함을 의미하며 LM statistic의 괄호는 p-value를 의미함

출탄력성은 1.0604이며 각각 유의수준 5%에서 통계적으로 유의함을 확인할 수 있다. 여기서 매출은 곧 산업체의 소득과 유사한 의미를 가지므로, 매출 탄력성을 산업체 도시가스수요의 소득탄력성으로 같음할 수 있다. 하지만 OLS 사용 시, 자본투자, 제조원가 및 중소기업유무에 대한 추정계수는 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 횡단면 자료의 특성상 특이치가 존재하기 때문에 표본자료들이 결과값에 영향을 주었다고 짐작된다. 실제로 사분범위(interquartile range, IQR)를 바탕으로 $Q_3+1.5*IQR$ 이상, $Q_1-1.5*IQR$ 이하의 값을 특이치로 정의한 후, 분석에 사용된 독립변수 및 종속변수 자료의 특이치 개수를 파악해 본 결과 G는 36개(304개 샘플 중 11.8%), P는 0개(0%), Q는 41개(13.5%), K는 35개(11.5%), M은 43개(14.1%), E는 26개(8.6%)로 다수의 특이치가 발견되었다. 이 중 도시가스 단위 가격(P)과 더미변수인 중소기업 여부(S) 변수의 경우는 자료의 특성 상 특이치가 없는 것이 자연스러운 결과이다. 따라서 특이치의 영향에 강건한 다른 추정방법을 사용할 필요성이 대두되었다. 이에 오차항 분포 가정에 의존하지 않고, 특이치에 강건한 LAD를 추가로 적용하였다. 결과적으로 LAD 추정법을 사용할 경우 모든 변수들의 추정계수가 유의

수준 5%, 10%에서 통계적으로 유의미함을 알 수 있으며 이하의 논의에서는 수요함수 추정방법론으로 LAD를 최종 선택/사용하였다.

추정결과에 근거하여 산업체의 운영특성을 나타내는 주요 변수들이 도시가스 수요에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다. 도시가스 가격, 산업체 매출액, 전기사용량, 중소기업 유무 변수는 유의수준 5%에서, 나머지 변수인 산업체의 자본투자 및 제조원가는 유의수준 10%에서 통계적으로 유의하다. Table 4의 추정 값들을 활용해 산업용 도시가스의 가격, 산업체 매출, 자본투자 등이 산업체의 도시가스 수요량에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 가격변수와 자본투자, 제조원가 변수는 산업용 도시가스 수요에 부정적인 영향을 미치며, 산업체 매출액과 전기사용량, 중소기업 유무 변수는 수요 증가에 긍정적인 영향을 미친다.

산업용 도시가스 수요의 가격탄력성은 -1.5181로 음의 부호를 가진다. 이는 가격과 수요의 반비례 관계를 가진다는 경제이론에 부합하는 것이다. 이석태 외[17]에서 분석한 산업용 도시가스 수요함수의 단기 가격탄력성과 비교하여 보면 본 논문에서 횡단면 자료를 추정한 값이 더 탄력적임을 확인할 수 있다. 이석태 외[17]는 시계열 자료를 활용하고 LMS 추정법을 적용하여 산업용 도시가스 수요의 단기 가격탄력성을 -0.157로 추정하였다. 본 논문에서 제시한 수요의 가격탄력성의 절대값이 더 크음을 볼 수 있으며, 이 차이는 자료의 특성에 기인한 것으로 볼 수 있다. 이석태 외[17]에서 분석한 자료는 국내 산업체 전체 도시가스 수요를 대상으로 분석한 반면 본 논문의 표본 자료는 지역별로 균등하게 조사 대상 산업체를 선정하여 조사한 자료이기 때문에 업종별 비중에 차이가 있다. 국내 가스사용 산업체 중 화공 업종 산업체 수가 전체의 21%를 차지[24]하는 반면 본 논문의 자료 표본 중 화공 관련 업체는 약 7% 비중이다. 이는 화공 업종이 경남, 전남 지역에 집중되어 있기 때문에 나타난 현상이다. 화공 업종은 국내 가스에너지 총 사용량 중 약 38%를 차지[24]하고 있는 도시가스 주사용 업종임을 고려하였을 때, 표본집단의 업종별 비중은 전체 산업용 도시가스 수요 탄력성 결과값에 영향을 주는 원인 중의 하나로 판단된다. 업종별 특성이 가격탄력성에 주는 영향을 정확하게 구하기 위해서는 표본 및 데이터를 보완한 후속 연구가 필요하다.

산업용 도시가스 수요의 매출 탄력성 추정값은 1.0210으로 도출 되었다. 산업체의 매출은 소득과 연관이 있기 때문에 이 값은 소득 탄력성의 한 종류

로 같음할 수 있다. 결과 값의 부호는 (+)로 수요함수의 일반적인 특징을 보여주고 있으며, 절대값이 1보다 크므로, 산업체의 도시가스 수요는 매출(소득)에 탄력적임을 알 수 있다.

Table 4의 자본투자, 제조원가 탄력성 추정값을 살펴보면 각각 -0.1274와 -0.5100이다. 탄력성이 음의 부호를 띠므로 산업체의 자본투자 및 제조원가는 도시가스 수요의 대체 관계에 있음을 알 수 있다. 산업체에서는 일반적으로 자본투자를 통해 공장 설비를 현대화하고 효율을 개선한다. 이코노마이저 등 열회수 설비 투자를 통한 산업용 보일러 효율 향상 및 히트펌프 설치 등이 그 대표적인 예이다. 따라서 자본투자가 진행되면, 산업체의 도시가스 사용량은 줄어들게 된다. 본 연구를 통해 얻은 자본투자 탄력성 추정값은 이러한 산업체 도시가스 수요의 특징을 잘 나타내준다. 이러한 예는 비단 산업용 도시가스뿐만 아니라 발전용 연료에서도 찾아볼 수 있다. 예로 이명현 외[25]는 국내 화력발전산업 내에서 석유사용량과 자본투자간 대체관계가 성립함을 증명하였다.

산업체 제조원가와 도시가스 수요의 대체 관계는 본 연구를 통해 확인하였지만, 제조원가를 구성하는 요소들이 매우 다양하고, 설문조사의 특성 및 산업체의 보안 정책 때문에 자료 확보가 제한적이어서 자세한 인과관계 분석은 한계가 있었다. 제조원가가 큰 산업체 일수록 도시가스 대신 다른 대체재가 투입되었다는 것은 알 수 있지만, 그 대체재가 어떤 것인지 본 연구의 자료로는 파악이 어렵다. 따라서 산업체 제조원가의 도시가스 수요 대체성에 대한 세부적인 분석을 위해서는 자료를 확보하여 추가 연구가 필요하다.

산업체 도시가스 수요의 전기사용량 탄력성은 0.5599이다. 즉, 산업체에서 도시가스 수요와 전기수요가 상호 보완관계를 가진다는 것을 의미하며 절대값의 크기가 1보다 작기 때문에 비탄력적인 특징을 나타낸다. 도시가스를 주 연료로 사용하는 대부분 산업체에서 전기는 생산 공정의 보조에너지로 사용한다. 도시가스와 전기의 이중연료(Dual-Fuel) 설비를 설치하고 운영하는 산업체는 극히 드물다. 따라서 단기적으로 볼 때, 도시가스의 사용량이 증가하면, 제품 생산량이 증가하게 되고, 이에 따라 보조연료인 전기의 사용량도 함께 늘어나게 된다. 본 연구에서는 이러한 특징을 전기사용량 탄력성 추정 값을 통해 검증하였다.

추가로 LAD로 추정한 가격탄력성 값을 활용해 산업용 도시가스의 경제적 가치를 추정할 수 있다. 산업용 도시가스의 수요량이 G_0 이고, 도시가스 단위

가격이 P_0 일 때, G_0 만큼의 도시가스 소비를 통해 산업체가 얻게 되는 경제적 가치(총 지불의사액)는 수요곡선의 아래면적이다. 이를 Taylor 이론에 따라 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$P(G) = P(G_0) + P'(G_0)(G - G_0) + C(G) \quad (4)$$

산업용 도시가스의 경제적 가치 추정을 위한 소비자 잉여(Consumer Surplus, CS) 면적을 구하기 위해 Alexander et al. [26]가 활용한 식 (4)의 Taylor 전개를 활용하였다. 식 (4)를 0에서부터 G_0 까지 적분한 후 해당 양만큼의 도시가스 사용에 대해 산업체가 지출한 금액인 P_0G_0 을 빼주면 소비자 잉여를 도출할 수 있으며 이는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$CS = \int_0^{G_0} P(G)dG - P_0G_0 \quad (5)$$

$$= -\frac{P_0G_0}{2\delta} + \int_0^{G_0} C(G)dG$$

여기서 δ 는 산업용 도시가스 수요의 가격탄력성을 의미한다. Alexander et al. [26]은 식 (5)에서 우변의 첫 번째 항(P_0G_0 를 가격탄력성의 2배로 나누어줌)이 소비자 잉여의 1차 테일러 근사이며, 선형 수요함수의 경우 해당 값이 소비자 잉여와 정확히 일치함을 입증하였다. 이를 정리하여 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$CS \approx -\frac{P_0G_0}{2\delta} \quad (6)$$

식 (6)을 바탕으로 소비자 잉여를 구하기 위해 **Table 3**의 2016년 전국 산업용 도시가스 단위가격 평균값 666.4원/m³ 및 **Table 4**의 산업용 도시가스 수요의 가격탄력성 -1.5181을 적용하였으며, 이를 통해 도출된 소비자 잉여는 219.5원/m³이다. 최종적으로 산업용 도시가스의 경제적 가치는 산업용 도시가스 평균가격과 소비자 잉여를 합한 885.9원/m³로서, 2016년 산업용 도시가스 공급가격 대비 약 1.3배 높은 것을 알 수 있다. 지불의사액이 소비자 관점에서의 가격이며 경제적 가치가 어떤 재화나 서비스를 소비하기 위한 소비자의 최대 지불의사액이라는 관점에서 볼 때, 해당 885.9원/m³의 경제적 가치는 2016년 기준 국내 기업이 도시가스를 연료로 사용하기 위해 지불할 수 있는 금액의 상한선(upper bound on willingness to pay)으로 해석된다.

5.3. 시사점

본 연구에서는 산업체 도시가스 수요 추정을 위해 304개 산업체의 2016년 횡단면 자료를 사용하였으며, OLS 및 LAD를 통해 수요함수를 추정하였다. 이에 대한 분석결과로 다음 시사점을 도출하였다. 첫째, 본 연구에서 도출한 산업용 도시가스 수요의 가격 탄력성은 -1.5182, 매출(소득) 탄력성은 1.0210으로 산업용 도시가스 수요는 도시가스 가격과 산업체 매출에 탄력적으로 움직이는 것을 알 수 있다. 이는 이승재 외[16]에서 증명한 가정용 도시가스의 특징(가격에 비탄력적이며 필수재의 성격)과는 다르게 산업용 도시가스는 상대적으로 가격에 민감하게 반응한다는 것이다. 이는 가정용 도시가스의 경우 일단 공급이 시작되면 다른 연료로 대체하기 어렵지만, 산업용 연료의 경우 도시가스, 병커씨유, LPG 등 다양한 연료가 치열하게 경쟁하며 연료의 대체가 가정용 대비 쉽기 때문에 일어나는 현상이다. 박철웅 외[27], 박명덕 외[28]는 산업용 도시가스와 경쟁연료와의 상대가격 차이에 따라 산업체의 연료대체가 이뤄지고 있으며, 이에 따라 도시가스 수요가 변하는 것을 증명하였다. 따라서 탄소 배출을 줄이고, 오염 물질이 적은 친환경 연료를 확대 보급하고자 하는 정부의 노력이 효과적으로 이뤄지기 위해서는 병커씨유, LPG 등 경쟁연료 대비 친환경적인 도시가스의 가격경쟁력 확보가 필요하다. 예시적으로 연료비 연동제를 조정하여 산업용 도시가스의 요금을 경쟁연료대비 낮게 조정하거나, 보조금, 또는 세금을 통해 산업용 도시가스의 가격경쟁력이 유지되도록 하는 방법이 있다.

산업용 도시가스 지원 정책은 Table 5에서 정리한 도시가스의 경제적 가치를 고려 시 필요성이 높아진다. 추정 값에서 볼 수 있듯 산업용 도시가스를 연료, 원료로 사용하는 산업체는 제조/생산 과정에서 도시가스의 가격보다 더 많은 가치를 창출한다. 이를 고려 시 산업체에 도시가스를 지속 확대 공급하는 것이 국가 차원에서 이득이 될 수 있으며, 도시가스의 안정적 확대 공급을 위한 국가 인프라 구축과 정책적 지원책을 검토해야 한다. 특

히 도시가스 요금 산정에 있어서는 산업용 도시가스의 경제적 편익을 고려해서 요금에 반영해야 하며, 이를 위한 정부의 지속적인 정책 지원이 필요하다.

추가적으로 고려해야 할 점은 산업용 도시가스는 산업체 매출에 탄력적으로 움직인다는 것이다. 경제가 성장하면 이에 따라 산업체의 규모가 커지고, 가동률이 증가하면서 산업체 매출 또한 커지게 되며, 도시가스 수요 또한 증가하게 된다. 향후 우리나라는 지속적인 경제성장이 예상되기 때문에 도시가스 수요를 예측하는데 있어 이 부분이 필수적으로 반영되어야 한다. 국내총생산 증가에 따른 산업체 매출 증가 효과를 분석하고, 본 연구에서 추정한 매출 탄력성을 활용하여 산업용 도시가스 수요를 추정하는 방법도 고려해 볼 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서는 매출, 자본투자 등 산업체의 주요 운영특성에 대한 도시가스 수요의 탄력성을 각각 도출하였으며, 이를 결과 값을 통해 현재의 산업현황을 반영한 상향식(Bottom Up) 방법의 보다 실제적인 산업용 도시가스 수요를 추정할 수 있는 기반을 마련하였다. 산업체의 자본투자, 제조원가 증가는 도시가스 수요와 대체성이 있으며, 전기사용량은 도시가스 수요와 보완재 관계이다. 매출, 자본투자, 제조원가 등은 산업체의 운영현황을 나타내는 자료라는 측면에서 의미가 있으며, 향후 이에 대한 추가적인 연구로 각 요소별 산업체 운영 특성을 반영한 수요함수를 조금 더 구체화 시킬 수 있을 것으로 기대된다. 특히 현재 우리나라는 조선, 자동차 등 중공업에서 사물인터넷(IoT), 인공지능 등과 같은 4차 산업혁명 관련 산업으로 산업구조가 변해가고 있는 시기이기 때문에 앞으로의 도시가스 수요함수 추정은 이러한 구조적 변화를 고려되어야 하며[29, 30], 산업체의 운영 특성을 반영하는 수요함수 추정이 이것을 가능하게 해 줄 것으로 생각한다. 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 전자부품 등 앞으로 성장이 예상되는 산업들은 철강, 제지 등 과거 산업군과 비교할 때 단위 도시가스사용량이 적을 것으로 예상된다. 예를 들어 이러한 상황에서 산업구조의 변화로 도시가스 다소비 업종인 금속 및 석유화학 산업체의 가동률 변화가 생긴다면, 과거 실적으로 추정했던 산업용 도시가스의 가격, 소득 탄력성과 미래의 탄력성은 다른 절대값을 보일 것이다. 향후 장기 도시가스수요 예측 및 천연가스 수급계획 수립 시에 이를 고려해야 할 필요성이 있다.

셋째, 본 연구에서 확인한 자본투자와 산업용 도시가스 수요함수의 대체성을 고려, 제3차 에너지기

Table 5. Estimation results of consumer surplus and economic value of industrial natural gas in 2016.

	산업용 도시가스 평균가격 (2016년)	소비자 잉여	경제적 가치
추정값	666.4원/m ³	219.5원/m ³	885.9원/m ³

본계획[31]의 에너지 수요절감 목표 달성을 위한 정책적 제언이 가능하다. LAD 결과에서 볼 수 있듯 산업용 도시가스의 자본투자 탄력성은 -0.1274 이다. 즉, 산업체 설비 투자 등을 통한 효율 개선으로 도시가스 수요 감소가 가능하다는 의미이다. 에너지 절약시설은 투자비 대비 절감 효과(금액)가 크기 때문에 산업체에서는 자본투자를 통해 에너지 사용량을 줄이려는 시도를 적극적으로 추진하고 있다[32]. 실제로 금호석유화학, 현대제철 등 다양한 기업에서 자본투자(주로 고효율 설비 도입)를 통해 에너지사용량을 크게 절감하는 사례가 보고되고 있다. 現정부는 제3차 에너지기본계획에서 최종에너지소비량을 2040년 기준 BAU 대비 18.6% 절감(도시가스수요 14.6% 감축) 하겠다는 공격적인 목표를 제시하였다. 본 연구결과와 주요 산업체의 에너지 절감을 위한 자본투자 사례를 고려해 볼 때, 산업체 에너지 효율화 설비 투자에 대한 정부의 지원이 제3차 에너지기본계획 목표달성을 위한 가시적인 성과 창출에 도움이 될 것이라 생각된다.

마지막으로, 본 연구에서 활용한 제조원가, 전기 사용량, 중소기업 여부 등을 산업용 도시가스 수요 추정에 활용하는 것이 필요하다. 이 변수들은 국내 산업체의 특성을 나타내는 요소들이기 때문에 정확한 도시가스 수요 추정에 도움이 될 것이다. 제조원가 탄력성이 음의 값을 가지는 것으로 보아 제조원가가 큰 산업체일수록 도시가스 사용량이 감소함을 알 수 있다. 단, 제조원가 중 어떤 요소가 도시가스를 대체하는 지에 대해 정확히 알기 위해서는 추가 자료 조사를 통한 보완 연구가 필요하다. 본 연구에서 추정한 제조원가 탄력성을 활용해 거시적인 틀에서 도시가스 수요 추정은 가능할 것으로 보인다. 전기사용량 탄력성은 양의 값을 가지며, 도시가스 사용량과 보완 관계에 있음을 알 수 있다. 따라서 산업체 매출 증가 등의 요인으로 도시가스 사용량이 증가하면, 전기사용량도 함께 증가하게 될 것이다. 정부에서 중장기 전력수요를 예측할 때 산업용 도시가스의 전기사용량 탄력성을 활용하여 수요추정 방법론 보완이 가능할 것으로 예상된다. 중소기업여부 계수 추정값을 통해 중소기업일수록 도시가스를 더 많이 사용한다는 것을 알 수 있다. 대부분 중소기업은 설비투자 여력이 부족하여 대기업 공장 대비 설비 효율이 낮다. 따라서 동일한 규모, 동일한 매출의 산업체라도 중소기업의 경우 도시가스 사용량이 상대적으로 많다. 이를 도시가스 수요추정 시 활용한다면, 향후 우리나라 중소기업 수 변화에 따른 도시가스 사용량 변화를 예측해 볼 수 있을 것이다.

VI. 결론 및 토의

정부의 친환경 에너지 정책으로 국내 천연가스 수요는 지속적으로 성장할 것이며, 산업용 도시가스가 연평균 약 1.7%의 수요 증가로 전체 천연가스 수요 증가를 이끌 것으로 전망된다. 따라서 중장기적으로 안정적, 효율적인 천연가스 수급계획 수립을 위해서는 향후 수요 성장의 중심인 산업용 도시가스 수요의 정확한 예측이 필요하다.

본 논문은 2016년 304개 산업체의 횡단면 자료를 활용하여 산업체 운영 특성을 수요함수 추정에 반영하였다. 자료는 도시가스 수요와 연관이 있는 산업체 도시가스 가격, 매출, 자본투자, 제조원가, 전력사용량, 중소기업 유무로 이루어졌으며, 설문 조사를 통해 확보하였다. 본 논문에서 분석한 산업용 도시가스의 탄력성은 가격탄력성 -1.5181 , 매출탄력성 1.0210 , 자본투자 탄력성 -0.1274 , 제조원가 탄력성 -0.5100 , 전기사용량 탄력성 0.5599 이다.

가격탄력성은 절대값이 1보다 크므로 가격에 탄력적으로 반응함을 보여주고 있다. 매출탄력성 또한 절대값이 1보다 크므로 매출에 따라 도시가스 수요가 탄력적으로 반응하지만, 가격 변화에 비해 상대적으로 비탄력적이다. 자본투자와 제조원가는 도시가스 수요와 대체 관계에 있으며, 비탄력적인 특징을 가진다. 이를 통해 산업체에 에너지효율화 설비 등 자본투자를 늘릴 경우, 도시가스 수요를 줄일 수 있음을 확인하였다. 이를 고려할 때 제3차 에너지기본계획에 제시된 에너지절감 목표 달성을 위해서 정부는 산업체 에너지 효율화 설비 관련 자본투자를 적극 지원하는 정책을 검토할 필요성이 있다. 현실적으로 빠르고 효과적으로 도시가스 사용량 절감을 할 수 있는 방법이라 사료된다. 또한 도시가스 수요와 전기사용량의 보완 관계로부터 산업체에서 도시가스와 전기는 경쟁연료라기 보다는 상호 보완 역할을 하며 제품 생산을 위해 협력하는 연료임을 유추할 수 있다. 또한 중소기업 계수가 양의 값을 가지는 것으로 보아 중소기업일수록 단위 도시가스 사용량이 증가함을 알 수 있다.

가격탄력성을 활용해 구한 2016년 기준 산업용 도시가스의 경제적 가치는 885.9 원/ m^3 으로 도시가스 가격보다 약 1.3배 높다. 이를 고려 시 도시가스를 지속 확대 공급하는 것이 국가 차원에서 소비자 후생을 증가시키는 이득이 있으며, 정부는 세제혜택 등 정책적 지원을 통해 도시가스의 확대 공급에 노력할 필요가 있다.

본 연구의 기여도는 다음과 같이 정리할 수 있다. 우선 횡단면 분석을 통해 기존 시계열 분석법

을 보완하는 동시에 기업체 특성 등 산업현황을 반영한 상향식 방식으로 산업용 도시가스 수요를 추정할 수 있다는 점을 확인하였다. 기존 국내 산업용 도시가스 수요함수 추정을 다룬 연구들([17], [27], [33])의 경우 주로 시계열 자료를 이용해 기존, 국내총생산 등의 변수에 초점을 둔 반면 본 연구는 횡단면 자료를 이용해 기업의 특성을 반영할 수 있는 신규 변수들의 영향을 점검하였다. 본 연구의 결과는 기존 관련 연구들의 분석결과와 상호간 교차검증을 가능케 하는 등 국내 도시가스 수요함수 연구의 저변확대에 일조한다. 둘째, 국내 에너지 부문에 적용 가능한 구체적이고 시의성 있는 정책적 시사점을 제공하였다. 특히 일부 논란 중인 에너지 효율화 설비투자가 수요 감축에 실제 기여할 수 있다는 점을 산업용 도시가스 분야 내 실증 분석 결과를 통해 확인하였다. 셋째, 가격탄력성을 바탕으로 산업용 도시가스의 경제적 가치를 도출하였으며, 해당 결과는 도시가스라는 에너지원의 산업적 기여도를 확인하는 한편 향후 타 에너지원 가치와의 상대 비교 등에 참고자료로서 활용될 수 있다.

마지막으로 본 연구의 한계점과 후속 연구 방향을 제시한다. 먼저 본 연구는 1년의 한정된 기간의 일부 산업체 대상의 자료만을 활용하였다는 한계가 있다. 본 연구는 304개의 제한된 산업체의 정보로 분석하였기 때문에 현재의 복잡한 산업구조가 도시가스 수요에 미치는 영향을 더 정확히 반영하기 위한 추가 연구가 필요하다. 특히 제조원가의 도시가스 수요 대체성에 대한 정확한 인과관계 분석이 필요하다. 이를 위해 2016년 이외 시점의 산업체 자료를 확보하고, 조사 대상을 확대하여 지속적인 보완 연구를 진행할 필요가 있다. 예로 해당 과정을 통해 국내 산업구조 변화를 반영한 도시가스 수요 함수 추정이 가능해 질 것이다. 둘째, 후속 연구에서는 산업용 도시가스 수요에 영향을 줄 수 있는 추가적인 설명변수들의 포함을 고려할 수 있다. 예로 본 연구는 산업용 도시가스 외 타 연료의 가격을 독립변수로 고려하지 않았다. 하지만 산업용 도시가스 수요는 타 에너지원의 가격에 따른 수요 대체성이 주요한 특성일 수 있으므로 향후에는 타 에너지원의 가격 또는 타 에너지원 대비 도시가스의 상대가격 등을 변수로 고려할 필요가 있다. 셋째, 예측 모형으로서의 적용가능성 제고를 위해 사용된 설명변수의 예측값 확보 방안을 고민해야 한다. 특히 자본투자와 제조원가 변수의 경우 미래 예측값 확보에 불확실성이 클 것으로 판단된다. 모형을 통한 예측 과정에서 독립 변수를 예측하는 방

법을 결정하는 것은 중요한 이슈이지만, 명확히 정해진 원칙이 있는 것은 아니다 [34]. 독립변수 예측을 위해선 문헌 검토 또는 전문가 의견 등을 기반으로 한 판단 방법, 과거 자료를 바탕으로 간단한 지표로 만든 후 이를 미래 자료 생성에 활용하는 방법 (예: 평균 성장률 등의 적용), 독립변수의 추세분석을 통해 미래 자료로 외삽하는 방법, 위의 방식들을 혼용하는 방법 등을 사용할 수 있다 [34]. 또한 미래 값의 불확실성이 큰 독립변수의 경우 복수의 시나리오로 처리를 할 수도 있다. 본 연구의 모형에서 사용된 자본투자와 제조원가 변수의 미래값 또한 상기 다양한 독립변수 예측 방식 중 개별 기업의 특성에 적합한 방식을 적용함으로써 합리적인 수준의 예측값이 확보되어야 할 것이다.

사 사

본 논문은 제1저자(이복희)의 2019년 8월 서울과학기술대학교 석사학위 논문 내용을 수정·발전시킨 연구임

REFERENCES

- [1] 국제에너지안보과, “제2차관, 국제가스연맹(IGU) Diplomatic Gas Forum(3.28.) 환영사”, (2019)
- [2] e-나라지표, “가스(LNG)수급 동향”, (2019)
- [3] 투데이에너지, “천연가스 발전용이 도시가스 수요 초과”, (2008)
- [4] 산업통상자원부, “제 13차 장기 천연가스 수급 계획”, (2018)
- [5] 에너지경제연구원, “2018 에너지통계연보”, (2018)
- [6] 한국가스공사(<http://www.kogas.or.kr>)
- [7] 국가에너지통계종합정보시스템 (<http://www.ksis.net>)
- [8] IEA, “World Energy Outlook 2018”, (2018)
- [9] SK E&S(<https://www.skens.com>)
- [10] Beierlein, J. G., Dunn, J. W., and McConnon, J. C., “The demand for electricity and natural gas in the northeastern United States”, *The Review of Economics and Statistics*, **63**, 403-408, (1981)
- [11] Balestra, P., and Nerlove, M., “Pooling cross section and time series data in the estimation of a dynamic model: the demand for natural gas”, *Econometrica: Journal of the econometric society*, **34**(3), 585-612, (1996)
- [12] Asche, F., Nilsen, O. B., and Tveterås, R., “Na-

- tural gas demand in the European household sector”, *The Energy Journal*, **29**(3), 27-46, (2008)
- [13] Yu, Y., Zheng, X., and Han, Y., “On the demand for natural gas in urban China”, *Energy Policy*, **70**, 57-63, (2014)
- [14] Zhang, Y., Ji, Q., and Fan, Y., “The price and income elasticity of China’s natural gas demand: A multi-sectoral perspective”, *Energy Policy*, **113**, 332-341, (2018)
- [15] Lee J. S., and Yoo, S. H., “The economic value of residential natural gas consumption: the case of Korea”, *Energy Sources Part B: Economics, Policy, and Planning*, **8**(4), 313-319, (2013)
- [16] Lee, S.J., Euh, S.S., Yoo, S.H., “Estimation of city gas demand function using time series data”, *Journal of Energy Engineering*, **22**(4), 370-375, (2013)
- [17] 이석태, 임슬예, 유승훈, “Estimation of industrial natural gas demand function”, *한국혁신학회지*, **12**(4), 25-40, (2017)
- [18] 남준우, 허인, “계량경제학 이론과 활용”, 홍문사, (2018)
- [19] Breusch, T. S., and Pagan, A. R., “The LM test of its application to model specification in econometrics”, *Review of Economic Studies*, **47**(1), 239-254, (1980)
- [20] Jarque, C. M., and Bera, A. K., “A test for normality of observations and regression residuals”, *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 163-172, (1987)
- [21] Bassett, G., and Koenker, R., “Asymptotic Theory of Least Absolute Error Regression”, *Journal of the American Statistical Association*, **73**(363), 618-622, (1978)
- [22] Yoo, S. H., “A robust estimation of hedonic price models: least absolute deviations estimation”, *Applied Economics Letters*, **8**(1), 55-58, (2001)
- [23] Jeong, D. W., Han, J.H., Lim, C.S., “An Empirical Study of Foreign Direct Investment and Economic Growth in Developing Countries”, *Journal of the Korea Academia-Industrial co-operation Society*, **15**(5), 2732-2742, (2014)
- [24] 국가통계포털(<http://kosis.kr>)
- [25] 이명현, 강상목, 정영근, “국내 화력발전산업에 대한 연료화 자본의 대체성 분석”, *에너지경제연구*, **10**(1), 1-24, (2011)
- [26] Alexander, D. L., Kern, W., and Neil, J., “Valuing the consumption benefits from professional sports franchises”, *Journal of Urban Economics*, **48**(2), 321-337, (2000)
- [27] 박철웅, 박철호, “용도별 특성을 고려한 도시가스 수요함수의 추정”, *에너지경제연구*, **17**(2), 1-29, (2018)
- [28] 박명덕, 이상열, 정희용, “산업용 도시가스 수요 변화 요인분석”, *에너지경제연구원, 수시연구 보고서*, 1-61, (2015)
- [29] 산업연구원, “한국 산업의 경쟁력 구조 변화와 정책적 시사점”, (2017)
- [30] 이은민, “4차 산업혁명과 산업구조의 변화”, *정보통신방송정책*, **28**(15), 1-22, (2016)
- [31] 산업통상자원부, “제 3차 에너지기본계획”, (2019)
- [32] 지식경제부, 에너지관리공단, “에너지절약 우수 사례집”, (2012)
- [33] 박철웅, 박철호, “산업용 도시가스 수요함수의 추정: 석유화학업종을 중심으로”, *환경정책*, **27**(1), 1-25, (2019)
- [34] Bhattacharyya, S. C., “*Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*”, Springer, (2011)
- [35] Johnston, J. and Dinardo, J., “*Econometric Methods(4th Edition)*”, McGrawHill, (2007)
- [36] Greene, W. H., “*Econometric Analysis(7th Edition)*”, Pearson, (2012)