

전력수요가 발전연료 수요에 미치는 영향에 대한 실증분석*

김영덕**

요 약

본고에서는 전력수요가 발전연료의 수요에 어떠한 영향을 미치는지를 실증적으로 분석하고자 하였다. 이를 위해 기존의 방법론과는 달리 발전연료의 수요 추정식을 발전연료의 가격이 포함되지 않는 추정식을 도출하여 사용하였다. 또한 추정 방법에서는 발전연료수요 추정식에서 오차항이 서로 상관관계가 존재할 가능성을 고려하여 이를 통제할 수 있는 SUR 추정방법을 이용하였다. 한편, 발전연료의 계절별 반응을 살펴볼 수 있도록 발전연료수요식을 계절별로 추정하였다. 추정결과를 살펴보면, 첫째, 전력수요 변화에 대해서 중유, LNG, 무연탄, 유연탄 순서로 양(+)의 민감한 반응이 추정되었으나, 경유의 경우에는 다른 연료와 달리 전력수요 변화에 대해서 음의 탄력적인 반응이 추정되었다. 둘째, 세부 부문별 전력수요에 대한 연료 사용량의 반응에 대해 살펴보면 모든 세부 부문의 전력수요 변화가 각각의 연료 사용에 미치는 영향은 전체 전력수요 변화가 각각의 연료 사용에 미치는 영향과 다르지 않은 것으로 나타났다. 셋째, 계절별 추정결과에 대해서 살펴보면 중유는 전력수요 변화에 대해서 가장 민감한

* 이 논문 또는 저서는 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(NRF-2016S1A3A2925230)

** 부산대학교 경제학부 교수. ydkim@pusan.ac.kr

발전연료라고 할 수 있는 반면, 경유는 계절별로 전력수요에 대해서 대응이 없는 연료인 것으로 추정되고 있다. 무연탄과 LNG는 여름을 제외하고 전력수요 증대에 대해 민감하게 반응하는 연료로 나타났으며, 유연탄은 가을과 겨울철에 전력수요 변화에 대해서 유의적인 변화를 나타내지만 탄력성은 다른 연료에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

주요 단어 : 발전연료수요, 전력수요, 화석연료

경제학문헌목록 주제분류 : Q42, L94

I. 서 론

전력생산부문은 우리나라 에너지부문의 과거와 미래를 동시에 안고 있는 부문이다. 산업적으로는 국민경제의 성장을 후원하는 역할을 위해 효율성을 추구하는 동시에 국민의 경제생활 안정을 위해 규제적 제약에 직면하고 있지만, 환경적으로는 우리나라 온실가스의 주 배출원이다. 경제성장, 생활안정 및 환경보호를 동시에 충족하면서 전력을 생산하려는 노력은 다양한 에너지정책과 사회적 관심을 전력분야에 집중시키게 만들었다. 이러한 차원에서 원자력, 유연탄, LNG 등 발전원을 장기적으로 어떻게 구성하여 어떠한 연료를 사용하여 발전하는 것이 적정한가에 대한 관심은 지속적으로 제시되어 왔지만 이에 대한 명료한 대안이나 정책은 늘 도전에 직면하고 있는 실정이다.

이러한 정책적 요구에 부응하기 위해 발전에서의 전원구성 및 연료선택과 관련한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 대체로 증가하는 전력수요를 충족하기 위하여 전원 구성에서 특정 발전설비를 얼마나 확충할 것인지 이러한 설비확충이 온실가스 배출 감축을 어떻게 제약할 것인지 또는 어떠한 발전연료를 선택하여 발전할 것인지는 중요한 연구대상이 된 것이 사실이다. 이를 위하여

대체로 두 가지 방법론적 접근이 이루어져 왔다. 첫째는 발전비용 최소화 모형을 이용하여 발전원 간의 전원구성을 도출하는 선형계획 최적화 모형을 들 수 있으며,¹⁾ 둘째는 비용최소화를 이용한 비용함수 모형을 이용하여 개별 발전 연료 선택 또는 발전원의 구성을 추정하는 실증분석 모형을 들 수 있다.²⁾ 전자의 연구는 다양한 모형들을 통해 다수의 연구가 이루어진 반면, 후자의 연구는 찾아보기가 쉽지 않다.³⁾ 따라서 전자의 연구가 실증적 타당성을 가지기 어려울 뿐만 아니라 정책적 신뢰성도 실증연구에 의해서 보완되지 못하는 형편이다.

전력부문에서 비용함수 추정을 통한 실증 연구가 소수에 불과한 것은 자료 취득의 어려움 때문이라고 볼 수 있다. 특히, 김수일(2006b)의 연구가 지적하고 있듯이, 개별 발전연료의 가격자료가 공개되지 않고 시계열적 연속성도 충분하지 않아서 비용함수 추정이 매우 제한적일 뿐만 아니라 추정 결과에 대한 해석에도 한계가 있을 수밖에 없다. 이러한 문제를 해소하기 위해서는 발전 연료의 가격자료를 사용하지 않고 직접적으로 발전연료 간 대체관계를 모형화하여 추정을 시도하는 것도 하나의 방법일 수 있다.

한편, 전원구성이나 발전연료 수요에 대한 연구의 관심사는 크게 두 가지 시간적 의미를 가진다. 하나는 장기적으로 전력수요를 충족하기 위하여 전원을 어떻게 구성할 것인지에 대한 논의이고 둘째는 주어진 설비 구성 하에서 단기적으로 전력수요를 충족하기 위하여 발전연료를 어떻게 수요할 것인지에 대한 논의이다. 우선, 장기적 전원구성 모형은 연도별 총계자료를 이용하여 추정할 수 있을 것으로 보인다. 전원 구성이 체계적인 전원 간 대체관계를 형성하면서 추정된다면, 이는 장기적으로 전원구성이 고정적일 가능성을 설명할

1) 이에 대한 최근의 연구로는 문영석 외(2011), 최동찬 외(2012), 박종배·노재형(2014) 등의 연구를 들 수 있다.

2) 발전부문의 비용함수 추정 연구는 신정식·류지철(1988), 김수일(2006b)의 연구를 나열할 수 있다.

3) 제조업 등을 대상으로 한 비용함수 추정 실증 연구들은 매우 많으나, 전력부문을 대상으로 한 연구는 드문 형편이다.

수 있다. 둘째, 주어진 전원 구성 하에서 단기적인 발전연료의 수요를 추정하는 것도 본고에서 제시한 모형을 이용하여 월별 총계자료를 대상으로 추정할 수 있다. 이 경우 전원 구성이 주어져 있으므로 단기에서 연료의 대체관계를 명확히 파악할 수 있으며, 전력수요가 증가할 때 발전연료의 체계적인 반응을 통해 어떻게 연료 선택이 이루어지고 이러한 연료 선택이 온실가스 배출에 어떠한 영향을 미치는지를 설명할 수 있다. 본고에서는 두 번째 단기적 발전 연료 수요 추정에 초점을 맞추어 주어진 전원 구성 하에서 발전연료가 어떻게 선택되며, 발전연료 간 대체관계는 어떻게 체계화되며, 전력수요와 발전연료 간에는 어떠한 관계가 있는지를 실증적으로 추정하고자 하였다.

이에 따라서 본고에서는 발전연료의 가격을 포함하지 않으면서도 발전연료 간 대체관계를 허용하는 단순한 형태의 발전연료의 수요모형을 도출하고, 이로 부터 전력수요가 개별 발전연료의 수요에 미치는 영향을 실증적으로 추정하였다. 요소수요함수 도출로부터 개별 발전연료 각각에 대해서 발전연료 수요 추정식을 설정하여 추정이 가능하지만, 개별 발전연료 간에 상호 상관관계가 존재할 수 있으므로 이를 추정에 반영할 수 있는 SUR(seemingly unrelated regression) 추정방법을 이용하여 추정하였다.

본고의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 개별 연료의 가격을 포함하지 않는 발전연료 수요함수를 도출하여 추정식을 설정하고 추정방법을 설명하였다. 3장에서는 OLS와 SUR 방법을 이용하여 추정한 발전연료 수요함수의 추정결과를 제시하고 설명하였다. 또한, 발전연료 수요함수를 계절별로 추정함으로써 계절별 전력수요가 발전연료 수요에 미치는 영향도 분석하였다. 마지막으로 4장에서는 결론과 시사점을 도출하였다.

II. 모형과 추정

발전용 연료수요에 대한 실증분석 모형 설명에 앞서 이를 다룬 국내의 실증분석에 대한 논의를 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다. 발전용 연료수요와 관련한 실증분석 모형은 두 가지 부류로 나뉘어진다. 첫째는 발전비용 최소화 모형을 이용하여 발전원 간의 전원구성을 도출하는 선형계획 최적화 모형을 들 수 있으며, 둘째는 비용최소화로부터 도출된 비용함수 모형을 이용하여 개별 발전 연료 또는 발전원의 구성을 추정하는 실증분석 모형을 들 수 있다.

전력시장 운영의 선형계획 최적화모형을 이용하여 발전원의 구성이나 발전 연료의 소비를 도출한 최근의 연구들은 아래와 같이 정리할 수 있다. 최동찬·한석만·김발호(2012)는 온실가스감축정책이 실행될 때의 전력사업자의 대응방안을 선형계획법에 의거한 최적화 모형을 이용하여 제시하고 있다. 손양훈·노동석(2006)은 선형계획 최적화 모형인 WASP와 POWERSYM 모형을 이용하여 원자력과 유연탄발전의 제약이 존재하는 경우의 발전용 천연가스 수요의 잠재성을 평가하고 있다. 박중배·노재형(2014)은 전력시장 시뮬레이션 모형인 DAYZER 프로그램을 활용하여 제6차 전력수급기본계획 하에서 온실가스 저감목표를 달성하기 위한 발전연료 수요를 평가하여 천연가스에 대한 수요 증대가 실현가능한 것인지에 대해서 논의하고 있다. 문영석·노동석·조상민(2011)은 기존의 발전구조 하에서 신재생에너지 발전을 확대하는 시나리오를 달성하려할 때 초래되는 추가적인 비용을 추정하여 신재생발전의 기술혁신이 수반되지 않는 경우 발전비용 부담이 상당할 것으로 분석하고 있다.

대체로 선형계획법에 의거한 비용최소화 모형은 주어진 각 에너지원별 연료가격과 전력생산비용으로부터 전력수요를 충족하기 위하여 총발전비용을

최소화하는 원별 발전량을 선택하는 모형이라고 할 수 있다. 이 때 전원구성은 각 에너지원의 발전기술과 전원계획이나 정책 등에 의하여 제약을 받기도 한다. 이러한 제약들은 실제 발생할 수 있는 유연한 발전연료 대체나 기술적 대체를 제한하거나 고정시켜 실제 비용부담을 과대하게 발생시킬 가능성이 없지 않다. 또한, 실제 주어진 전원구성 하에서 장단기적으로 전력수요의 변화에 대해서 발전 연료들이 어떻게 상호작용하여 대응하는지에 대해서도 정보가 충분히 확보되지 않은 상태에서 정책과 계획의 변경에 대한 모형에서의 전력생산 반응이 적정한지에 대한 의문도 여전히 존재한다. 예를 들어 전력수요가 증가하게 되는 경우 온실가스 배출이 어떻게 증가할 것인지에 대해서 단순화된 과대(또는 과소) 평가의 가능성이 높다. 이와 더불어 모형에서 다루고자하는 시간이 장기와 단기인지에 관계없이 동일한 모형구조를 가지고 있다는 점도 분석 결과의 시사점을 제한하는 문제를 초래할 수도 있다. 이러한 문제를 완화시키기 위해서는 실제 발전 자료를 이용한 실증적 분석의 필요성이 제기된다. 그럼에도 불구하고 발전원 간의 상호작용을 모형화한 실증적 분석은 찾아보기 쉬운 정도로 충분한 것은 아니다.⁴⁾

발전부문의 연료사용량에 대한 실증적 분석은 많은 연구가 진행되지는 않았지만 주로 비용함수 접근을 사용하고 있다. 일반적인 에너지원간 대체효과를 분석하기 위한 모형으로 비용함수 모형이 사용되어 다수의 연구가 진행되었지만, 발전부문에서의 연구는 소수에 불과하다.⁵⁾ 신정식·류지철(1988)의 연구는 초월대수 비용함수 모형을 사용하였고, 김수일(2006a)의 연구는 변형된 로짓비용비중함수 모형으로부터 발전연료 간 대체관계를 추정하였다. 비용함수 모형을 이용한 실증연구는 비용최소화라는 적정화 이론으로부터 도출된 실증모형으로 이론적 기반을 갖추고 있는 반면, 개별 발전원의 가격 자료 등이 충분히 갖추어져 있지 않은 관계로 실증 분석 결과에 대한 신뢰성에 의문

4) 오인하·오상봉(2011)은 전원구성을 CGE 모형으로 모형화하여 기후변화 정책 효과를 분석하였다.

5) 비용함수 추정을 통한 산업의 에너지 대체관계 추정은 다수의 연구가 진행되었다. 최근의 연구로는 유동현 외(2012) 등을 참조할 수 있다.

을 갖게도 한다.⁶⁾

이와 같이 발전 에너지원 가격과 같은 자료의 부재는 실증분석에서의 비용 함수 접근을 어렵게 하는 요인이라고 볼 수 있다. 따라서 발전 에너지원 가격과 같은 요소가격이 표현되지 않는 요소수요함수를 추정하는 방안을 고려할 필요가 있다. 이에 따라 본고에서는 국가 전체의 발전 에너지원의 수요함수를 도출하여 추정식으로 사용하였다. 모형은 다음과 같이 전력 생산과 판매를 통해 이윤을 극대화하도록 발전 에너지원의 사용량을 선택하는 적정화문제를 설정하였으며, 모형을 단순화하기 위하여 발전연료는 2개만이 존재한다고 가정하였다.

$$\begin{aligned} \max_{z_1, z_2} \Pi &= p_E E - p_1 z_1 - p_2 z_2 \\ \text{s.t. } E &= z_1^{\alpha_1} z_2^{\alpha_2} \end{aligned}$$

여기서 E 는 전력생산량을, z_i 는 전력생산을 위해 사용하는 투입연료 i 의 사용량을, p_i 는 i 발전연료의 가격을, p_E 는 전력가격을 의미한다. $\alpha_i > 0$ 이며, 투입연료 i 의 사용량 변화에 대한 전력생산 변화 반응을 나타내는 파라미터이다. 이윤을 극대화하는 발전연료량의 선택은 상기 적정화문제의 일계조건으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max_{z_1, z_2} \Pi &= p_E z_1^{\alpha_1} z_2^{\alpha_2} - p_1 z_1 - p_2 z_2 \\ \partial \Pi / \partial z_1 &= p_E \alpha_1 z_1^{\alpha_1 - 1} z_2^{\alpha_2} - p_1 = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\partial \Pi / \partial z_2 = p_E \alpha_2 z_1^{\alpha_1} z_2^{\alpha_2 - 1} - p_2 = 0 \quad (2)$$

식(1)과 (2)에 전력생산함수를 대입하고 양변에 로그를 취하면 다음과 같은 두 식을 얻을 수 있다.

6) 발전연료 가격자료가 존재하여도 전력생산에서의 연료대체의 기술적 제약 및 전략적 선택의 영향으로 추정된 연료 대체관계를 실제 대체관계와 식별하기 어려울 수도 있다.

$$\ln E - \ln z_1 = \ln p_1 - \ln \alpha_1 - \ln p_E \quad (1)$$

$$\ln E - \ln z_2 = \ln p_2 - \ln \alpha_2 - \ln p_E \quad (2)$$

이제 전력수요함수와 발전연료의 공급함수를 각각 다음과 같이 가정한다. 여기서 연료공급은 다른 연료의 가격에 대해서 반응하는 것으로 설정하였다. 개별 발전연료 시장에서 발전연료공급자들이 존재하며, 발전연료를 공급할 때 다른 발전연료의 가격에 대하여 반응하여 그들의 발전연료를 시장에 공급하는 것으로 설정하였다.

$$E^d = p_E^{-\eta} \quad (3)$$

$$z_1^s = p_1^{\theta_1} p_2^{\theta_2} \quad (4)$$

$$z_2^s = p_1^{\lambda_1} p_2^{\lambda_2} \quad (5)$$

여기서 $\eta > 0$, $\theta_1 > 0$, $\lambda_2 > 0$ 을 가정한다. 상첨자 d 는 수요를 의미하며, 상첨자 s 는 공급을 의미한다. 발전연료공급은 다른 연료의 가격에 대해서 반응하는 것으로 가정한다. 식(3), (4), (5)를 로그를 취한 후, 상기의 식(1)'과 식(2)'에 대입하여 가격 변수를 제거하고, 시장균형조건을 성립하도록⁷⁾ 하여 정리하면, 식(1)'과 식(2)'는 다음과 같이 각각 표현할 수 있다.

$$\ln z_1 = a_0 \ln \alpha_1 + a_1 \ln E + a_2 \ln z_2 \quad (6)$$

$$\ln z_2 = b_0 \ln \alpha_2 + b_1 \ln E + b_2 \ln z_1 \quad (7)$$

$$a_0 = \frac{\lambda_2 \theta_1 - \theta_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_2 \theta_1 - \theta_2 \lambda_1}, \quad a_1 = a_0 \left(1 - \frac{1}{\eta}\right), \quad a_2 = \frac{\theta_2}{\lambda_2 + \lambda_2 \theta_1 - \theta_2 \lambda_1}$$

$$b_0 = \frac{\theta_1 \lambda_2 - \lambda_1 \theta_2}{\theta_1 \lambda_2 - \lambda_1 \theta_2 + \theta_1}, \quad b_1 = b_0 \left(1 - \frac{1}{\eta}\right), \quad b_2 = \frac{\lambda_1}{\theta_1 \lambda_2 - \lambda_1 \theta_2 + \theta_1}$$

7) 본고에서는 발전연료 수요에 대한 총계자료를 사용하므로 발전용 연료시장에서의 균형 조건을 사용하여 시장청산을 하도록 하였다.

식(6)과 식(7)로부터 추정을 위한 추정식을 도출할 수 있다. 상기의 식(6)과 (7)을 추정하게 되면 발전용 연료수요가 전력수요와 다른 발전용 연료의 변화에 대해서 어떻게 반응하는지를 분석할 수 있다. 식(6)과 식(7)을 일반화하여 n 개의 발전연료에 대해서 표현하고, 기대하지 않은 오차를 포함하면 다음과 같은 일반적인 k 발전연료의 수요 추정식을 얻을 수 있다.

$$\ln z_k = c_0^k + c_1^k \ln E + \sum_{j \neq k}^n c_{2j}^k \ln z_j + u_k \quad (8)$$

여기서 u_k 는 평균이 0이고 분산이 σ_u^2 임을 가정한다. 실증분석 모형을 위하여 식(8)을 기초로, 전력을 생산하여 공급하고 판매하는 과정으로부터 판매전력량과 연료투입량이 관계가 있다는 논의로부터 출발한다. 발전을 위해서 연료를 투입하는 의사결정은 우선, 전력을 생산하는 설비(발전소)가 구성되어 있어야 한다. 구성된 설비를 가지고 수요에 맞추어 발전설비 운영과 연료투입 의사결정을 하게 된다. 전력수요가 발전연료 사용량에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 개별 연료투입량이 어떻게 결정되는지를 보고 추정식을 설정하였다.

우선, 설비구성은 크게 수력, 기력, 복합화력, 내연력, 원자력, 신재생/기타로 구성되어 있다고 보았다. 이중에 화석연료를 투입하는 발전설비는 기력, 복합화력, 내연력으로 볼 수 있다. 기력은 무연탄, 유연탄, 중유, LNG발전소가 있고, 무연탄발전소에서는 무연탄, 유연탄, 중유, 경유를, 유연탄발전설비에서는 역청탄, 중유, 경유를 사용한다. 중유발전에서는 중유, 경유, LNG를 사용하며, LNG발전소에서는 중유, 경유, LNG가 사용된다. 내연력 발전에서는 중유와 경유가 사용되고, 복합화력 발전소에서는 경유와 LNG가 사용된다. 이와 같이 모든 화력발전설비에 중유와 경유를 공통적으로 사용하는 경향이 있으며, 유연탄과 LNG는 기력과 복합 화력발전에서 주요 연료로 사용되는 특성을 살펴볼 수 있다. 기력발전에는 중유, 경유, 무연탄, 유연탄, LNG가 공히 사용되고, 내연력 발전에는 중유와 경유가 사용되고, 복합화력 발전에는 경유와 LNG가

사용되고 있다는 것은 연료사용과 설비구성이 일치하지 않을 수 있음을 의미한다. 물론 기력에서 유연탄, 복합화력에서 LNG의 비중이 높으므로 이 부분에서는 연료와 설비의 일치를 상정해 볼 수 있다. 이와 같이 발전설비 상에서 연료사용에 제약이 되어 있다는 점이 감안된다면, 발전설비구성의 변화가 예상되는 장기에서는 전력수요와 연료사용량의 관계를 직접적으로 실증 분석하는 것에는 한계가 있다. 그렇지만 발전설비구성이 주어져 있는 단기의 경우에는 전력수요와 연료사용량의 관계를 직접적으로 추정하는 것이 무리한 작업이라고 보이지는 않는다. 주어진 설비구성 하에서 전력수요가 변화하면 연료간의 특정한 관계가 단기적으로 명확히 나타날 가능성이 높다. 다시 말해서 단기에서는 전력수요 변화의 반응으로 설비내의 연료 대체 또는 보완만이 관찰되므로 실증분석에서 연료 간의 관계와 전력수요-발전연료의 관계가 장기보다 더욱 뚜렷이 나타날 가능성이 높을 것이다.⁸⁾ 이러한 측면에서 본고에서는 장기의 설비변화 가능성이 높은 연도별 자료는 배제하고 설비구성이 주어진 것으로 볼 수 있는 월별 자료를 선택하여 분석하였다.

연료사용과 전력수요의 실증적 관계를 살펴보기 위해 각 연료의 사용을 타 연료와의 대체관계와 해당연료 사용의 지속성을 기본적으로 통제한 상태에서 특정 전력수요의 연료에 대한 한계적 영향을 기본적인 모형으로 설정하였다. 실증분석을 위한 추정식은 차분변수 식으로 구성한다.⁹⁾ 식(8)을 기반으로 추정식은 아래와 같이 설정하였다.

$$\begin{aligned} \Delta \ln z_t^i &= a_0^i + \lambda_i \ln z_{t-1}^i + \sum_{j \neq i} a_{ij}^i \Delta \ln z_{t-1}^j \\ &+ (\gamma_k^i - \tilde{\gamma}^i) \Delta \ln E_{kt}^i + \tilde{\gamma}^i \Delta \ln E_t^i + v_t^i \quad i = 1, \dots, I \quad k = 1, \dots, K \end{aligned} \quad (9)$$

8) 동일한 추정 모형에 연도별 자료를 사용하는 경우 월별 자료를 사용하는 경우보다 전력수요-연료사용량의 관계를 표현하는 계수의 표준오차가 상대적으로 더 클 가능성이 있다.

9) 전력수요와 연료투입량의 시계열적 속성은 차분변수 추정식의 사용을 시사한다.

여기서 z_t^i 는 t 기의 발전용 화석연료 i 의 사용량을 의미한다. E_{kt} 는 k 부문의 전력수요를 의미하며 $k=1,...,K$ 로서 모두 K 개의 부문이 존재하며, E_t 는 전체 전력수요를 의미한다. 특정 연료의 연료사용량은 두 가지 형태로 조정되는 것으로 가정한다. 첫째는 우선 다른 발전연료와의 대체관계(a_j)를 통해 조정되고, 둘째는 과거의 자기 연료사용에 대한 관성 관계($1+\lambda_i$)에 의하여 조정된다고 가정한다. 셋째는 발전연료와 전력수요의 관계($\gamma_k, \tilde{\gamma}$)를 통해서 전력수요 증가에 대해서 개별 연료가 반응하여 조정되는 것으로 가정한다.

발전연료 간 대체관계는 계수 a_j^i 가 표현하고 있다. 이는 $t-1$ 기의 j 연료사용량의 변화가 t 기의 i 연료사용량에 미치는 영향을 의미한다. 전기의 다른 화석연료 사용량이 증가하였을 때 당기의 자기 연료사용량이 감소하였다면, 이는 두 연료 간에 대체관계가 발생하였음을 표현한다고 볼 수 있다.

식(9)의 λ_i 는 연료사용량이 전기에서 벗어나는 경우 과거의 경험치로 수렴하는 지를 의미하는 조정계수로 해석할 수 있다. 자기 연료에 대한 관성관계는 $1+\lambda_i$ 에 의하여 표현되는데, 전기($t-1$)에 사용한 연료사용량에서 크게 벗어나지 않고 전기의 사용량만큼을 계속 사용하려는 관성이 작용하는 것을 표현한다. 다시 말해서 전원구성의 지속성을 표현한다고 볼 수 있다.

$\tilde{\gamma}^i$ 는 전체 전력수요가 증가할 때 해당 i 연료가 어떻게 반응하여 변화하는가를 표현하는 계수이다. γ_k^i 는 k 부문의 전력수요가 증가하였을 때 i 연료가 어떻게 대응하여 변화하였는지를 표현하는 계수이다. 식(9)의 $\Delta \ln E_{kt}^i$ 의 계수인 $(\gamma_k^i - \tilde{\gamma}^i)$ 는 전체전력수요와 k 부문 전력수요 변화에 대하여 i 연료가 동등하게 반응하는지 아니면 다르게 반응하는지를 표현하는 것으로 해석할 수 있다. 이로부터 어떤 부문에 대해서 어떤 연료가 다른 연료에 비하여 차별적으로 반응하는지를 확인할 수 있다. 이를 위해서 우선 전체 전력수요만을 추정식에 포함하여 추정하고 이를 기준식으로 추정 결과에 제시하였다. 그 다음

에 부문별 전력수요에 대한 반응이 전체 전력수요에 대한 반응과 동일한지를 살펴보기 위하여 전체 전력수요와 k 부문 전력수요 변수를 추정식에 포함하여 추정하였다. 이러한 추정을 모든 K 부문에 대하여 각각 추정하였다.

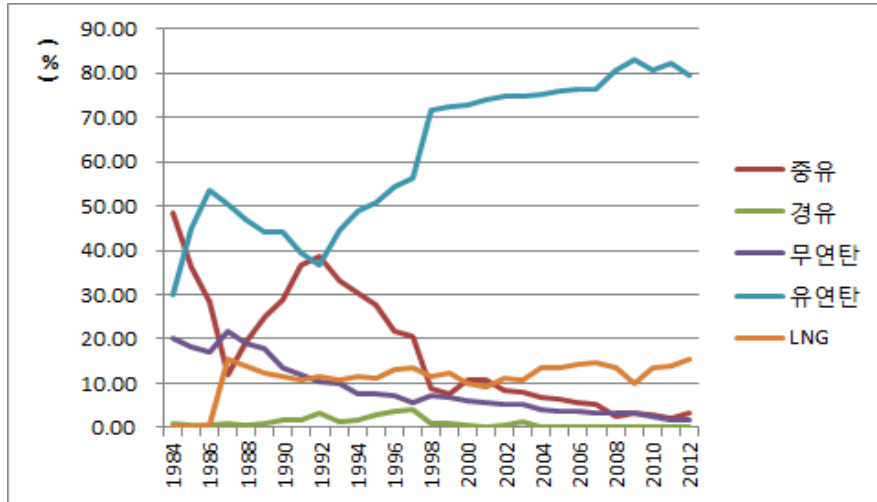
식(9)의 추정방법은 우선 각각의 발전 연료에 대해서 OLS(ordinary least squares)를 사용하고, 이후에 개별발전 연료의 오차항 간의 상관관계를 통제하기 위하여 SUR(seemingly unrelated regression) 추정방법을 이용하였다. SUR을 사용한 것은 연료사용량 간의 오차항이 서로 상관관계를 가지게 되어, 추정치의 유효성(efficiency)에 영향을 주게 되므로 이를 통제하기 위함이다.¹⁰⁾

화석연료사용량 변수는 중유(FHO), 경유(FDO), 무연탄(FCA), 유연탄(FCB), LNG(FLN) 사용량으로 온실가스를 배출하는 화석연료 사용량 변수이다. 따라서 상기의 식에서 i 는 중유, 경유, 무연탄, 유연탄, LNG로 구성된다. 대체로 화석연료는 기력, 복합화력, 내연력에서 사용한다. 비중은 기력이 가장 높고 복합화력, 내연력 순이다. 기력발전은 유연탄, 복합화력은 LNG가 대부분의 비중을 차지한다. 이외에도 발전을 위해서 수력과 원자력이 사용된다. 원자력은 기력 다음으로 비중이 높다. 원별 발전연료 사용량 비중 추이는 아래의 [그림 1]에 제시되어 있다. 한편, 화석연료의 사용량은 수력과 원자력의 발전량에 의해서도 영향을 받게 되므로, 이러한 부분을 고려하여 본고에서는 원자력발전량(GNN)을 외생변수로 추정식에 포함하여 추정하였다.¹¹⁾

10) 추정식의 오차항 간에 상관관계가 존재하면, 개별 추정식을 OLS로 추정하는 경우 추정치는 일치성(consistency)을 가지게 되지만 SUR 만큼 유효성(efficiency)을 보장하지는 못한다. 한편, 시스템 추정과 개별 OLS추정에서의 추정치가 동일한 경우는 개별 추정식의 오차항이 추정식 간에 상관관계가 없거나, 각 추정식의 설명변수가 모두 동일한 경우이다.

11) 본고에서는 수력발전량을 추정식에 포함하지 않은 추정결과를 제시하였다. 수력발전량을 포함하여 추정한 결과, 화석연료 사용량에 대한 수력발전량의 계수가 유의성이 나타나지 않았으며, 다른 계수에 대한 추정 결과 역시 거의 변화가 없었다.

[그림 2] 연료사용량 비중 추이(1984년-2012년)



전체 전력수요는 판매전력량(UTA) 변수를 사용하였다. 부문별 전력수요 변수인 전력판매량은 크게 4개 부문으로 나뉘어 있다. 주택용(URR), 공공용(UPS), 서비스용(USS), 산업용(UID)가 이에 해당된다. 산업용 중에서 제조업(UMF)에 대해서는 따로 구분하여 제조업 전력수요가 개별 화석연료 사용량에 미치는 영향을 추정하여 살펴보았다. 앞서 설명한 바와 같이 전체 전력수요와 각 부문의 전력수요에 대한 반응이 서로 같은지를 살펴보기 위하여 전체 전력수요 변수(UTA)와 개별 부문의 전력수요를 추정식에 포함하여 5개 부문에 대해서 각각의 추정한 결과를 제시하였다.

모든 변수는 로그수준 또는 로그차분을 사용하였다. 표본기간은 1999년 1월부터 2013년 9월까지의 기간이다. 1999년 1월부터를 대상으로 한 것은 1997년 외환위기의 영향이 컸던 1998년을 제외하기 위함이며, 2013년 9월까지를 대상으로 사용한 것은 배출권거래제 시행에 따른 발전사업자의 대응을 반영하지 않기 위함이다. 본고에서 사용한 변수들은 아래의 <표 1>에 정리하였다. 전력 관련 자료는 전력통계속보로부터 추출하였다.

〈표 1〉 변수명

변수명	설명	단위
전력수요 변수		
<i>UTA</i>	전체 전력판매량	kWh
<i>URR</i>	주택용 전력판매량	kWh
<i>UPS</i>	공공용 전력판매량	kWh
<i>USS</i>	서비스용 전력판매량	kWh
<i>UID</i>	산업용 전력판매량	kWh
<i>UMF</i>	제조업 전력판매량	kWh
발전연료 사용량 변수		
<i>FHO</i>	중유사용량	kl
<i>FDO</i>	경유사용량	kl
<i>FCA</i>	무연탄사용량	ton
<i>FCB</i>	유연탄사용량	ton
<i>FLN</i>	LNG사용량	ton
발전량 변수		
<i>GHH</i>	수력 발전량	GWh
<i>GNN</i>	원자력 발전량	GWh

Ⅲ. 추정 결과

앞서도 설명한 바와 같이 식(9)를 추정하기 위하여 OLS와 SUR 두 가지 추정방법을 이용하였다. 우선 전기간을 대상으로 한 OLS추정에 의한 추정결과를 살펴보자. <표 2>는 화석연료 중유, 경유, 무연탄, 유연탄, LNG 발전에서의 연료사용량 추정식을 각각 추정한 결과를 나타내고 있다. (1)~(5)열 모두에서 전기시차의 연료사용량에 대한 계수는 유의적인 음(-)의 계수가 추정되고 있어, 전월의 사용량이 증가된다면 당기에서는 연료사용량이 줄어드는 것으로 이는 개별 화석연료 사용량이 어떤 수준으로 수렴하고 있음을 의미한

다. 그러나 그 조정속도는 연료별로 다른 것으로 추정되며, 경유가 가장 신속하게 수렴하는 것으로 나타났으며 유연탄의 조정속도가 가장 느린 것으로 추정되고 있다.

(1)열에서는 중유 사용량을 추정한 결과를 제시하고 있다. 중유는 전기의 유연탄과 LNG 변화에 대해서 유의적으로 반응하는 것으로 추정되었으며, 그 방향은 두 연료 모두에 대해서 반대방향으로 움직이는 것으로 추정되었다. 전기에 유연탄과 LNG의 사용량이 증가하였다면, 당기에 중유사용을 줄이는 반응을 한다고 볼 수 있다. 전력수요의 증가에 대해서는 매우 높은 반응을 보이는 것으로 추정되었다. 다른 조건이 일정할 경우, 당기의 전력수요 1% 증가는 중유사용을 약 4.8% 증가시키는 것으로 추정되었다.

(2)열에서는 경유사용량의 추정결과가 제시되고 있다. 경유의 경우에는 다른 연료가 전기에 증가하였다 하더라도 이에 대해서 유의적으로 반응하지는 않는 것으로 추정되었다. 또한, 전체 전력수요의 변화에 대해서도 반응을 하지는 않는 것으로 나타났다. 경유의 경우에는 자기의 시차에 대해서만 유의적인 반응을 하는 것으로 추정되었으며, 시차에 대한 반응도 신속하게 수렴하는 반응을 하는 것으로 나타났다.

(3)열은 발전연료로서 무연탄사용에 대한 추정결과를 제시하고 있다. 무연탄의 경우에는 자기 시차에 대해서 유의적으로 반응하고 있으며, 다른 연료와 비교하여 상대적으로 신속하게 수렴을 하는 방향으로 접근하고 있는 것으로 추정되고 있다. 다른 연료의 사용에 대해서는 LNG와 원자력에 대해서만 유의적으로 반응하고 있으며, 그 방향은 반대방향인 것으로 추정되었다. 전체 전력수요의 변화에 대해서도 전력수요가 1% 증가하면 무연탄 사용량은 2.4% 증가하는 것으로 추정되었다.

(4)열은 유연탄발전연료의 사용량 추정에 대한 결과를 제시하고 있다. 유연탄 발전은 자기 시차에 대해서 음(-)의 유의적인 반응을 나타내기는 하지만 계수의 크기가 다른 연료에 비해서 상대적으로 작은 것을 확인할 수 있다. 다른 연료에 대해서는 LNG와 원자력발전에 대해서 유의적으로 반응하는 것으

로 추정되고 있으며, 반응의 방향은 음(-)의 반응으로 LNG와 원자력 발전이 증가하면 유연탄발전은 감소하는 대응을 한 것으로 나타났다. 전체 전력수요의 증가에 대해서는 전력수요가 1% 증가하면 유연탄 사용은 1.1% 증가하는 것으로 추정되었다. 유의적인 반응을 하는 연료 중에서 유연탄은 전력수요에 대해서 반응정도가 가장 약한 것으로 나타나고 있다.

〈표 2〉 발전연료사용량 OLS 추정: 전기간

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
설명	$\Delta \ln FHO_t$	$\Delta \ln FDO_t$	$\Delta \ln FCA_t$	$\Delta \ln FCB_t$	$\Delta \ln FLN_t$
$\ln z_{t-1}^i$	-0.2235 (0.0499)***	-0.3067 (0.0568)***	-0.2799 (0.0546)***	-0.0234 (0.0131)***	-0.0734 (0.0278)***
$\Delta \ln FHO_{t-1}$		0.0145 (0.1030)	-0.0034 (0.0444)	-0.0166 (0.0128)	-0.1339 (0.0371)***
$\Delta \ln FDO_{t-1}$	-0.0812 (0.0541)		-0.0119 (0.0327)	-0.0151 (0.0092)	-0.0202 (0.0266)
$\Delta \ln FCA_{t-1}$	-0.0271 (0.1197)	0.1004 (0.1681)		0.0119 (0.0209)	-0.0724 (0.0593)
$\Delta \ln FCB_{t-1}$	-1.2010 (0.4009)***	-0.2400 (0.5502)	-0.1074 (0.2425)		-0.6667 (0.1982)***
$\Delta \ln FLN_{t-1}$	-0.3163 (0.1441)**	0.2016 (0.1981)	-0.1486 (0.0857)*	-0.1103 (0.0247)***	
$\Delta \ln GNN_{t-1}$	-0.0478 (0.3479)	-0.3361 (0.4954)	-0.5290 (0.2130)**	-0.4138 (0.0572)**	-0.3522 (0.1795)*
$\Delta \ln UTA_t (\tilde{\gamma})$	4.7825 (0.6848)***	-0.3552 (0.9275)	2.4111 (0.4175)***	1.1341 (0.1144)***	3.3305 (0.3277)***
<i>cons</i>	2.7767 (0.6254)***	2.8389 (0.5269)***	3.3923 (0.6649)***	0.3604 (0.2008)*	0.9827 (0.3748)**
R^2	0.3432	0.1758	0.3195	0.4432	0.4316
k 부문 γ_k^i 추정					
$k = URR$	4.5839 (0.8471)***	-0.3042 (0.9675)	2.4046 (0.4351)***	1.0925 (0.1148)***	3.1198 (0.3194)***
$k = UPS$	4.3598 (0.8332)***	-0.9837 (1.1345)	2.7125 (0.5080)***	1.3903 (0.1389)***	2.9675 (0.4199)***
$k = USS$	4.6840 (0.7766)***	-0.6492 (1.0550)	2.8222 (0.4695)***	1.3076 (0.1300)***	3.1702 (0.3913)***
$k = UID$	4.6653 (0.7354)***	-0.6924 (0.9978)	2.5675 (0.4475)***	1.2380 (0.1227)***	3.4774 (0.3708)***
$k = UMF$	4.6280 (0.7282)***	-0.5215 (0.9919)	2.6455 (0.4419)***	1.3158 (0.1201)***	3.4815 (0.3667)***

주: ()안은 표준오차를 나타내며, ***, **, *는 각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.1$ 을 의미함.

(5)열은 발전연료로서 LNG 사용량 추정에 대한 결과를 제시하고 있다. 자기 시차에 대해서는 음(-)의 반응이 추정되었지만, 수렴속도는 상대적으로 빠르지 않은 것으로 나타나고 있다. 다른 연료에 대한 반응에 대해서는 중유, 유연탄, 원자력에 대해서 유의적인 반응을 하고 있으며, 이들이 증가하면 LNG는 감소대응을 하는 것으로 추정되었다. 전체 전력수요 변화에 대해서는 전력수요가 1% 증가할 때, LNG 사용은 약 3.3% 증가하는 것으로 추정되었다.

그러나 개별적인 OLS 추정은 각 연료 추정식의 오차항 간의 상관관계를 추정에 반영하지 못하는 문제가 있다. 각각의 화석연료 사용량은 서로 상호작용을 하면서 발전하는 체계를 가지고 있다. 이러한 상관관계를 반영하지 않고 추정하는 경우 효율적인(efficient) 추정을 보장하지 못한다. 따라서 본고에서는 이러한 연료추정식의 오차항 간의 상관관계를 반영할 수 있는 SUR 추정 방법을 이용하여 추정하였다. SUR 추정에 따른 추정결과는 <표 3>에 제시되어 있다.

<표 3>에서 살펴보는 바와 같이 <표 2>의 추정 결과와 다른 점을 발견할 수 있다. 우선, <표 2>와 달리 <표 3>에서는 자기연료의 시차에 대한 반응이 모두 유의적인 것은 아닌 것으로 나타났다. (1)~(5)열에서 음(-)의 계수가 추정되었지만, 유연탄의 경우에는 유의적이지 않은 것으로 추정되었고, LNG의 경우에는 유의수준이 낮아지는 특징을 갖고 있다. 둘째, 다른 연료와 관계에서 <표 1>에서 유의적이었던 계수 값이 유의성이 사라지는 모습을 나타내고 있다. 당기의 연료 사용량 오차 간의 상호작용을 고려할 경우 연료 사용량 간의 관계가 <표 2>에 비하여 단순해지는 것으로 나타났다. 셋째, 전력수요에 대한 연료사용량의 반응계수의 유의수준이 높아졌음을 확인할 수 있다.

<표 3>에 대해서 각각의 연료 사용량에 대해서 살펴보면 아래와 같다. 우선, 중유사용량의 추정결과를 제시하고 있는 (1)열을 살펴보면, 자기시차에 대해서 상대적으로 큰 음(-)의 계수가 추정되었다. 이는 전기의 중유사용량이 증가하면 당기에 이를 줄이는 반응을 통해 적정수준의 중유사용량 수준으로 수렴하는 것을 짐작할 수 있으며, 상대적으로 신속하게 수렴하는 모습의 특징

을 나타내고 있다. 다른 연료와의 관계를 살펴보면, 경유와 LNG의 사용이 증가하면 중유 사용이 줄어드는 것으로 추정되었다. 이는 단기적으로 중유는 경유, LNG와 체계적으로 대체관계를 가지는 특성이 있음을 제시하는 것이다. 전체 전력수요의 증가에 대해서 중유는 가장 민감한 양(+)의 반응을 나타내는 것을 볼 수 있다. 전력수요 1% 증가하는 경우, 중유 사용량은 약 5.4% 증가하는 것으로 추정되었으며, 이는 전력수요 변화에 가장 신속하고 유연하게 대응할 수 있는 발전연료로서 중유가 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다. 한편, 부문별 전력수요에 대한 중유 사용량의 탄력성을 살펴보면 거의 전체 전력수요에 대한 반응 정도와 유사한 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 중유가 특정 부문의 전력수요에 대해서 다르게 반응하는 것이 아니라 모든 부문의 전력수요 변화에 대하여 동질적으로 반응하는 것을 의미하는 추정결과이다.

(2)열은 경유사용량의 추정결과를 제시하고 있다. 자기시차에 대한 반응은 유의적인 음(-)의 계수 값이 추정되고 있으며, 다른 연료에 비하여 계수의 절대 값이 큰 것으로 나타나고 있다. 이는 경유가 다른 연료에 비해 상대적으로 신속하게 수렴하는 발전연료임을 나타내는 결과이다. 다른 연료에 대한 반응에 대해서는 모든 계수 값이 유의적이지 않은 것으로 추정되었으며, 이는 경유가 발전연료로서 다른 연료와 체계적인 상호작용이 없이 임시방편적으로 사용되는 특성을 가지는 것으로 볼 수 있다. 전력수요에 대한 반응은 특이하게도 다른 연료와 달리 유의적인 음(-)의 반응을 나타내는 것으로 추정되었다. 이는 전력수요가 증가하면 오히려 경유 사용량을 줄여서 대응하는 역할을 경유가 하고 있음을 시사한다. 개별 부문의 전력수요에 대한 반응도 모두 음(-)의 값으로 추정되었으며, 전체 전력수요에 대한 반응과 동질적인 반응을 하는 것으로 나타났다. 경유는 전력수요가 증대하는 반대방향으로 사용량이 줄어드는 추세를 가진 연료이면서 동시에 다른 연료의 발전에 임의적인 차질이 발생하는 경우에 사용하는 임기응변적 대응의 발전연료로서 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다.

〈표 3〉 발전연료사용량 SUR 추정: 전기간

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
설명	$\Delta \ln FHO_t$	$\Delta \ln FDO_t$	$\Delta \ln FCA_t$	$\Delta \ln FCB_t$	$\Delta \ln FLN_t$
$\ln z_{t-1}^i$	-0.2868 (0.0502)***	-0.2907 (0.0530)***	-0.2660 (0.0500)***	-0.0113 (0.0097)	-0.0505 (0.0263)*
$\Delta \ln FHO_{t-1}$		0.1051 (0.1054)	-0.0073 (0.0437)	0.0173 (0.0104)*	-0.1502 (0.0375)***
$\Delta \ln FDO_{t-1}$	-0.1252 (0.0515)**		-0.0226 (0.0313)	-0.0037 (0.0071)	-0.0278 (0.0246)
$\Delta \ln FCA_{t-1}$	-0.0584 (0.1128)	0.0513 (0.1658)		-0.0036 (0.0162)	-0.0646 (0.0571)
$\Delta \ln FCB_{t-1}$	-0.7019 (0.5233)	-0.0562 (0.7238)	-0.0232 (0.3128)		-0.3914 (0.2532)
$\Delta \ln FLN_{t-1}$	-0.4948 (0.1593)***	0.0516 (0.2147)	-0.1373 (0.0942)	-0.0382 (0.0214)*	
$\Delta \ln GNN_{t-1}$	-0.2766 (0.4799)	-0.0431 (0.7050)	-0.4356 (0.3042)	0.0271 (0.0675)	-0.1563 (0.2313)
$\Delta \ln UTA_t (\tilde{\gamma})$	5.4151 (1.0657)***	-4.1657 (1.5676)***	2.3827 (0.6824)***	0.7446 (0.1580)***	3.0544 (0.5647)***
<i>cons</i>	3.7285 (0.6309)***	3.1566 (0.5011)***	3.3394 (0.6088)***	0.1856 (0.1514)	0.7670 (0.3623)**
R^2	0.4428	0.2560	0.4089	0.6809	0.5145
k 부분 γ_k^i 추정					
$k = URR$	5.3768 (1.1108)***	-4.0004 (1.6314)**	2.2809 (0.7071)***	0.7453 (0.1642)***	2.5563 (0.5646)***
$k = UPS$	5.4426 (1.0973)***	-4.3138 (1.6018)***	2.4406 (0.6993)***	0.8913 (0.1509)***	3.0610 (0.5799)***
$k = USS$	5.5396 (1.0734)***	-4.1424 (1.5760)***	2.5643 (0.6787)***	0.8022 (0.1519)***	3.1050 (0.5693)***
$k = UID$	5.4492 (1.0744)***	-4.3055 (1.5722)***	2.4553 (0.6852)***	0.7894 (0.1544)***	3.2589 (0.5572)***
$k = UMF$	5.3303 (1.0817)***	-4.3749 (1.5824)***	2.4909 (0.6892)***	0.8185 (0.1574)***	3.3496 (0.5613)***

주: ()안은 표준오차를 나타내며, ***, **, *는 각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.1$ 을 의미함.

(3)열은 무연탄 사용량의 추정결과를 나타내고 있다. 자기시차와 다른 연료의 관계에 대한 추정결과는 경유와 매우 유사하다. 자기시차에 대해서는 상대적으로 민감하고, 다른 연료와의 관계는 거의 나타나지 않는 것으로 추정되고 있다. 그러나 경유와 달리 무연탄은 전력수요 증가에 대해서 유의적인 양(+)의 대응을 하는 것으로 추정되었다. 전력수요가 1% 증가하면 무연탄 사용량은 약 2.4% 증가하는 것으로 추정되었다. 따라서 무연탄은 전력수요가 증가하는 경우에 전력생산 구성 체계에 영향을 받지 않고 전력수요에 대응할 수 있는 역할을 하는 것으로 볼 수 있다.

(4)열은 유연탄 사용량의 추정결과이다. 자기 시차에 대한 반응은 유의성이 없는 것으로 추정되었으며, 중유와는 양(+)의 관계를 LNG와의 음(-)의 관계를 가지는 것으로 추정되었다. 전력수요가 1% 증가할 때 유연탄의 반응은 0.74 정도로 전력수요에 대해서 비탄력적인 것으로 추정되었다. 전력수요가 증가하는 경우 유연탄의 반응이 다른 연료에 비하여 작은 것으로 나타나 상대적으로 전력수요에 대해서 평탄한 반응을 하고 있음을 알 수 있다.

(5)열은 LNG 사용량에 대한 추정결과를 제시하고 있다. 자기시차에 대해서는 음(-)의 반응을 보이고 있지만 상대적으로 다른 연료에 비하여 조정속도는 매우 느리게 진행되고 있음을 알 수 있다. 다른 연료와의 관계는 중유에서만 유의적으로 나타나는데 음(-)의 관계가 추정되고 있으며, 이는 LNG는 중유와 대체관계에 있음을 시사한다. 전력수요에 대한 반응은 전력수요 1% 증가에 대해서 약 3.0%의 LNG 사용 증가가 추정되고 있다. 중유를 제외하고는 전력수요에 대해 가장 탄력적인 연료로 추정되고 있다.

5개 발전용 화석연료 사용이 전력수요에 대해서 어떻게 반응하는지를 정리하면, 중유의 경우 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났으며, 그 다음이 LNG, 무연탄, 유연탄 순서로 민감한 반응이 추정되었다. 유연탄의 경우에는 중유, LNG, 무연탄과 달리 전력수요에 대한 반응이 비탄력적인 것으로 추정되었다. 이는 유연탄이 기저발전용 연료이기 때문인 것으로 보이며, 중유, LNG, 무연탄의 경우에는 첨두발전용 기능이 전력수요에 대하여 탄력적인 반

응에 반영된 것으로 보인다. 한편, 경유의 경우에는 다른 연료와 달리 전력수요 변화에 대해서 음의 탄력적인 반응이 추정되고 있다. 이는 전력수요 증가에 대해서 경유 사용이 줄어드는 추세를 반영하고 있는 동시에, 전력수요 증가 시에 경유를 줄이고 다른 연료를 무작위적으로 대체하는 현상을 반영한 것으로 볼 수 있다. 발전연료로서 중유의 사용은 1990년대 중반 이후 추세적으로 감소하는 특성을 보이고 있으며, 경유는 2000년대 들어 거의 일정한 모습을 보이고 있다. 중유는 감소추세에도 불구하고 추가적인 전력수요에 대해 민감한 반응을 보이는 것은 특징적일 뿐만 아니라 온실가스 배출 측면에서도 유의할 필요가 있다.

부문별 전력수요에 대한 연료 사용량의 반응은 <표 3>의 하단부에 제시되어 있다. 주거부문, 공공부문, 상업부문, 산업부문 및 제조업의 전력수요 변화에 대한 화석연료 사용량의 반응 계수가 추정되어 있다. 이를 살펴보면 모든 세부부문의 전력수요 변화가 각각의 연료 사용에 미치는 영향은 전체 전력수요 변화가 각각의 연료 사용에 미치는 영향과 다르지 않음을 제시하고 있다. 따라서 특정 전력 수요가 특정 연료에 미치는 차별적인 영향은 나타나지 않으며, 전력수요는 모든 화석연료에 대해 동질적 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

<표 4>~<표 8>은 개별 연료사용량의 계절별 SUR 추정결과를 제시하고 있다. 봄(Spring)은 3~5월, 여름(summer)은 6~8월, 가을(autumn)은 9~11월, 겨울(winter)은 12~2월의 기간을 의미한다.

<표 4>는 중유 사용량에 대해 계절별로 추정한 결과를 제시하고 있다. 계절별로 중유사용에 미치는 요인이 다른 것을 확인할 수 있다. 봄에는 자기시차에 영향을 받지 않으며, 경유와 LNG와 대체관계에 있으나, 여름과 가을에는 자기시차에 반응하지만 LNG에 대해서만 대체관계를 가지며, 겨울에는 자기시차의 영향이 가장 강하게 나타나지만 다른 연료와는 유의한 관계는 없는 것으로 나타났다. 전체 전력수요에 대해서 중유는 여름에 가장 민감하게 반응(7.07)하고 가을(4.87)과 봄(4.32)에도 민감하며, 겨울(3.50)에도 탄력성은 높은

편이기는 하지만 다른 계절에 비하여 가장 덜 민감한 것으로 추정되었다. 중유는 어느 계절에나 전력수요에 대하여 매우 탄력적인 반응을 보이는 것으로 나타나고 있다.

〈표 4〉 계절별 발전연료사용량 추정: 중유($\Delta \ln FHO$)

$\Delta \ln FHO$	SUR	SUR spring	SUR summer	SUR autumn	SUR winter
$\ln FHO_{t-1}$	-0.2868 (0.0502)***	-0.0093 (0.0969)	-0.2573 (0.0969)***	-0.3319 (0.1108)***	-0.4301 (0.0855)***
$\Delta \ln FDO_{t-1}$	-0.1252 (0.0515)**	-0.2163 (0.0793)***	-0.1175 (0.0843)	0.1331 (0.2361)	-0.0231 (0.0677)
$\Delta \ln FCA_{t-1}$	-0.0584 (0.1128)	-0.0140 (0.1500)	-0.1444 (0.2284)	-0.0932 (0.3513)	-0.0077 (0.1520)
$\Delta \ln FCB_{t-1}$	-0.7019 (0.5233)	-0.6923 (0.4692)	-0.9865 (1.1846)	-0.6843 (1.0968)	-0.8943 (0.7649)
$\Delta \ln FLN_{t-1}$	-0.4948 (0.1593)***	-0.4282 (0.1980)**	-0.5210 (0.2975)*	-0.8040 (0.4158)*	-0.1092 (0.2252)
$\Delta \ln GNN_{t-1}$	-0.2766 (0.4799)	-0.4169 (0.4630)	-0.5510 (0.7677)	0.1968 (0.8728)	0.1023 (0.5036)
$\Delta \ln UTA_t (\tilde{\gamma})$	5.4151 (1.0657)***	4.3202 (1.3914)***	7.0707 (3.2102)**	4.8734 (1.5306)***	3.5022 (0.8666)***
<i>cons</i>	3.7285 (0.6309)***	0.0304 (1.2496)	2.9621 (1.2172)**	4.1106 (1.3545)***	5.5397 (1.0884)***
R^2	0.4428	0.4380	0.2836	0.4308	0.7143
k 부분 γ_k^i 추정					
$k = URR$	5.3768 (1.1108)***	3.8671 (1.5433)***	7.3368 (3.2285)**	4.3792 (1.5592)***	3.2356 (1.1492)***
$k = UPS$	5.4426 (1.0973)***	4.4059 (1.4259)***	9.5217 (4.1601)**	3.8919 (2.0216)*	4.3231 (1.0888)***
$k = USS$	5.5396 (1.0734)***	4.4335 (1.4033)***	9.7258 (4.1174)**	4.6557 (1.6934)***	4.3471 (1.0933)***
$k = UID$	5.4492 (1.0744)***	4.2757 (1.3920)***	9.8362 (3.7831)***	3.7648 (1.9506)*	3.6396 (0.8872)***
$k = UMF$	5.3303 (1.0817)***	4.2775 (1.3874)***	8.7233 (3.7221)**	2.7371 (1.9648)	3.4252 (0.8575)***

주: ()안은 표준오차를 나타내며, ***, **, *는 각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.1$ 을 의미함.

〈표 5〉는 경유사용량의 계절별 추정 결과를 나타내고 있다. 경유의 자기시차에 대한 반응은 겨울을 제외하고 모든 계절에 나타나고 있다. 다른 연료와의 관계는 계절별로 다르게 나타나고 있다. 이러한 이유로 모든 계절에 대해

추정한 경우 유의적인 관계가 나타나지 않은 것으로 보인다. 봄에는 원자력발전과 대체관계가 유의적이고, 여름과 가을에는 LNG와 보완관계가 있으며, 가을에는 중유와 대체관계가 유의적으로 나타나고 있다. 전력수요에 대해서는 모든 계절에서 유의적인 반응이 추정되지 않았고, 전 기간에서만 유의적인 음(-)의 반응이 추정되었다. 이러한 현상은 경유 추정이 계절에 대해서 불안정하게 추정된 것으로 볼 수 있다. 따라서 경유사용에 대한 계절별 추정결과는 해석상에 주의가 요망된다.

〈표 5〉 발전연료사용량 추정: 경유($\Delta \ln FDO$)

$\Delta \ln FDO$	SUR	SUR spring	SUR summer	SUR autumn	SUR winter
$\ln FDO_{t-1}$	-0.2907 (0.0530)***	-0.4349 (0.0709)***	-0.5578 (0.1314)***	-0.2486 (0.0979)**	-0.0240 (0.1123)
$\Delta \ln FHO_{t-1}$	0.1051 (0.1054)	0.0422 (0.1986)	0.1261 (0.2209)	-0.3901 (0.1245)***	0.4176 (0.2792)
$\Delta \ln FCA_{t-1}$	0.0513 (0.1658)	0.1912 (0.2174)	-0.0688 (0.3474)	0.0152 (0.2512)	-0.2837 (0.4508)
$\Delta \ln FCB_{t-1}$	-0.0562 (0.7238)	0.8053 (0.6904)	-1.5350 (1.7094)	0.1620 (0.7096)	1.3313 (1.8629)
$\Delta \ln FLN_{t-1}$	0.0516 (0.2147)	-0.2314 (0.2649)	1.0620 (0.4115)**	0.5918 (0.3021)*	-0.0333 (0.5761)
$\Delta \ln GNN_{t-1}$	-0.0431 (0.7050)	-1.3495 (0.6541)**	1.3623 (1.1222)	-0.5960 (0.7038)	-0.7864 (1.3399)
$\Delta \ln UTA_t (\tilde{\gamma})$	-4.1657 (1.5676)***	0.0271 (2.1996)	-1.8965 (4.6437)	0.0398 (1.0511)	0.8102 (1.7863)
$cons$	3.1566 (0.5011)***	4.0805 (0.6700)	5.1518 (1.2161)***	2.2740 (0.8891)	0.1646 (1.0911)
R^2	0.2560	0.5087	0.3816	0.3900	0.1091
k 부분 γ_k^i 추정					
$k = URR$	-4.0004 (1.6314)**	0.9590 (2.5187)	0.0085 (4.5610)	-0.1098 (1.0919)	2.8227 (2.5811)
$k = UPS$	-4.3138 (1.6018)***	-0.0738 (2.1921)	-4.1311 (5.8643)	-0.0620 (1.4081)	-1.8777 (2.4278)
$k = USS$	-4.1424 (1.5760)***	0.1063 (2.1793)	-3.2261 (5.8950)	0.4047 (1.1293)	-1.3267 (2.5016)
$k = UID$	-4.3055 (1.5722)***	0.6263 (2.2446)	2.0069 (5.8872)	-0.3598 (1.3336)	-0.4352 (1.8613)
$k = UMF$	-4.3749 (1.5824)***	0.5548 (2.2205)	2.3590 (5.6092)	-0.9439 (1.3599)	0.6572 (1.7902)

주: ()안은 표준오차를 나타내며, ***, **, *는 각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.1$ 을 의미함.

<표 6>은 무연탄 사용의 계절별 추정결과를 제시하고 있다. 무연탄의 경우 자기시차에 대한 반응은 모든 계절에서 규모의 차이가 있긴 하지만 모두 유의적인 것으로 추정되었다. 다른 연료와의 관계를 살펴보면, 봄에는 원자력발전과 대체관계가 유의적이지만, 가을에는 LNG와 원자력발전과 대체관계가 유의한 것으로 추정되었다. 하지만 여름과 겨울에는 다른 연료와의 관계가 유의적으로 나타나지 않고 있다. 전력수요에 대해서는 여름을 제외하고 모든 계절에서 탄력적인 반응이 유의적으로 나타나고 있다. 그러나 여름에는 전력수요가 증가하여도 무연탄 수요는 유의적으로 반응하지 않는 것으로 추정되었다.

〈표 6〉 발전연료사용량 추정: 무연탄($\Delta \ln FCA$)

$\Delta \ln FCA_t$	SUR	SUR spring	SUR summer	SUR autumn	UR winter
$\ln FCA_{t-1}$	-0.2660 (0.0500)***	-0.3553 (0.1141)***	-0.2251 (0.1028)**	-0.2746 (0.1003)***	-0.4719 (0.0777)***
$\Delta \ln FHO_{t-1}$	-0.0073 (0.0437)	-0.1787 (0.1191)	-0.1075 (0.0783)	0.1179 (0.0864)	0.0210 (0.0662)
$\Delta \ln FDO_{t-1}$	-0.0226 (0.0313)	-0.0559 (0.0699)	0.0246 (0.0461)	-0.0673 (0.1171)	0.0247 (0.0480)
$\Delta \ln FCB_{t-1}$	-0.0232 (0.3128)	0.6236 (0.4145)	-0.4632 (0.6445)	-0.0822 (0.5504)	-0.5066 (0.5330)
$\Delta \ln FLN_{t-1}$	-0.1373 (0.0942)	-0.0548 (0.1738)	0.2014 (0.1655)	-0.5230 (0.1765)***	-0.1993 (0.1555)
$\Delta \ln GNN_{t-1}$	-0.4356 (0.3042)	-0.6670 (0.3894)*	0.4103 (0.4264)	-0.7481 (0.4496)*	-0.5734 (0.3666)
$\Delta \ln UTA_t (\tilde{\gamma})$	2.3827 (0.6824)***	3.9420 (1.2703)***	1.0552 (1.7550)	2.8405 (0.7587)***	2.7736 (0.5560)***
<i>cons</i>	3.3394 (0.6088)***	4.4287 (1.3869)***	2.7071 (1.2652)	3.2655 (1.2125)***	5.7506 (0.9499)***
R^2	0.4089	0.3446	0.1485	0.4483	0.7016
k 부문 γ_k^i 추정					
$k = URR$	2.2809 (0.7071)***	4.2777 (1.4962)***	0.4447 (1.7440)	2.9562 (0.8031)***	2.9125 (0.7919)***
$k = UPS$	2.4406 (0.6993)***	3.9997 (1.2718)***	2.2657 (2.2863)	2.5642 (1.0720)**	2.4572 (0.7639)***
$k = USS$	2.5643 (0.6787)***	3.9424 (1.2709)***	1.7621 (2.2816)	3.5451 (0.8674)***	2.5098 (0.7641)***
$k = UID$	2.4553 (0.6852)***	4.0106 (1.3293)***	0.0422 (2.1269)	2.8059 (1.0477)***	2.7441 (0.5880)***
$k = UMF$	2.4909 (0.6892)***	4.0757 (1.3141)***	0.0148 (2.0753)	2.7519 (1.0828)**	2.8139 (0.5507)***

주: ()안은 표준오차를 나타내며, ***, **, *는 각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.1$ 을 의미함.

<표 7>은 유연탄 사용의 계절별 추정결과를 나타내고 있다. 유연탄의 자기시차에 대한 반응은 여름을 제외하고 모든 계절에서 유의적으로 추정되었지만, 계수의 절대적 크기는 다른 연료에 비하여 상대적으로 작게 추정되었다. 다른 연료와의 관계에 대해 살펴보면, 봄에는 경유, 무연탄, LNG와 대체관계가, 여름에는 LNG와 원자력과 대체관계가, 가을에는 원자력과 대체관계가 유의적으로 나타나는 것으로 추정되었다. 전력수요에 대해서는 가을과 겨울에서 유의적인 양(+)의 반응을 나타냈지만, 가을에는 비탄력적으로 추정되었고, 겨울에도 1보다 높기는 하였지만 다른 연료에 비하여 상대적으로 탄력성이 낮은 것으로 추정되었다.

〈표 7〉 발전연료사용량 추정: 유연탄($\Delta \ln FCB$)

$\Delta \ln FCB_t$	SUR	SUR spring	SUR summer	SUR autumn	SUR winter
$\ln FCB_{t-1}$	-0.0113 (0.0097)	-0.0608 (0.0282)**	0.0086 (0.0233)	-0.0700 (0.0221)***	-0.0512 (0.0180)***
$\Delta \ln FHO_{t-1}$	0.0173 (0.0104)*	-0.0109 (0.0300)	0.0129 (0.0216)	0.0168 (0.0269)	0.0288 (0.0212)
$\Delta \ln FDO_{t-1}$	-0.0037 (0.0071)	-0.0508 (0.0186)***	-0.0067 (0.0120)	-0.0811 (0.0541)	0.0020 (0.0121)
$\Delta \ln FCA_{t-1}$	-0.0036 (0.0162)	-0.0600 (0.0338)*	-0.0048 (0.0333)	0.0580 (0.0449)	-0.0420 (0.0332)
$\Delta \ln FLN_{t-1}$	-0.0382 (0.0214)*	-0.1693 (0.0455)***	-0.1331 (0.0442)***	-0.0811 (0.0541)	0.0187 (0.0396)
$\Delta \ln GNN_{t-1}$	0.0271 (0.0675)	-0.1566 (0.0974)	-0.5082 (0.1114)***	-0.5399 (0.1158)***	-0.1192 (0.0961)
$\Delta \ln UTA_t (\tilde{\gamma})$	0.7446 (0.1580)***	-0.0788 (0.3946)	0.4888 (0.4300)	0.7881 (0.1954)***	1.2583 (0.1307)***
<i>cons</i>	0.1856 (0.1514)	0.9083 (0.4270)**	-0.0826 (0.3561)	1.0536 (0.3392)***	0.7364 (0.2757)***
R^2	0.6809	0.5744	0.3799	0.4842	0.7974
k 부문 γ_k^i 추정					
$k = URR$	0.7453 (0.1642)***	-0.5400 (0.3930)	1.0720 (0.3583)***	0.8513 (0.2014)***	0.9605 (0.1622)***
$k = UPS$	0.8913 (0.1509)***	-0.3383 (0.3044)	1.5160 (0.5640)***	1.1322 (0.2666)***	1.3901 (0.1819)***
$k = USS$	0.8022 (0.1519)***	-0.4327 (0.3226)	1.8858 (0.5141)***	0.9358 (0.2209)***	1.4651 (0.1797)***
$k = UID$	0.7894 (0.1544)***	-0.5068 (0.3560)	1.9603 (0.4302)***	1.0331 (0.2596)***	1.3764 (0.1331)***
$k = UMF$	0.8185 (0.1574)***	-0.4695 (0.3611)	1.9593 (0.3970)***	1.0760 (0.2697)***	1.3183 (0.1154)***

주: ()안은 표준오차를 나타내며, ***, **, *는 각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.1$ 을 의미함.

〈표 8〉 발전연료사용량 추정: LNG($\Delta \ln FLN$)

$\Delta \ln FLN_t$	SUR	SUR spring	SUR summer	SUR autumn	SUR winter
$\ln FLN_{t-1}$	-0.0505 (0.0263)*	-0.0096 (0.0485)	-0.1644 (0.0611)***	-0.0395 (0.0598)	-0.0859 (0.0522)
$\Delta \ln FHO_{t-1}$	-0.1502 (0.0375)***	-0.0725 (0.0892)	-0.1681 (0.0769)**	-0.1667 (0.0669)**	-0.1858 (0.0817)**
$\Delta \ln FDO_{t-1}$	-0.0278 (0.0246)	-0.0174 (0.0477)	0.0368 (0.0404)	-0.1018 (0.0946)	-0.1245 (0.0436)***
$\Delta \ln FCA_{t-1}$	-0.0646 (0.0571)	-0.1384 (0.0993)	-0.0485 (0.1188)	-0.2311 (0.1236)*	-0.0203 (0.1208)
$\Delta \ln FCB_{t-1}$	-0.3914 (0.2532)	-0.7176 (0.3001)**	-0.8340 (0.6056)	-0.0757 (0.4339)	-0.6143 (0.5094)
$\Delta \ln GNN_{t-1}$	-0.1563 (0.2313)	-0.3732 (0.3022)	-0.4028 (0.3577)	-0.5901 (0.3547)*	-0.3193 (0.3493)
$\Delta \ln UTA_t (\tilde{\gamma})$	3.0544 (0.5647)***	2.0198 (1.0877)*	1.9955 (1.5431)	3.6181 (0.5925)***	3.6188 (0.4330)***
<i>cons</i>	0.7670 (0.3623)**	0.0441 (0.6457)	2.2156 (0.8172)	0.5768 (0.7954)	1.2103 (0.7051)*
R^2	0.5145	0.3869	0.3350	0.5731	0.6650
k 부분 γ_k^i 추정					
$k = URR$	2.5563 (0.5646)***	1.1466 (1.1118)	2.9952 (1.5386)*	4.3869 (0.5680)***	3.0784 (0.5889)***
$k = UPS$	3.0610 (0.5799)***	2.0693 (1.0861)*	3.8575 (1.9927)*	3.8881 (0.8735)***	4.1554 (0.6684)***
$k = USS$	3.1050 (0.5693)***	1.9656 (1.0719)*	3.9368 (1.9690)**	3.9891 (0.7133)***	4.3197 (0.6639)***
$k = UID$	3.2589 (0.5572)***	1.5805 (1.0611)	5.2335 (1.7985)***	4.7743 (0.8138)***	4.0214 (0.4828)***
$k = UMF$	3.3496 (0.5613)***	1.5913 (1.0457)	5.1958 (1.7370)***	4.8242 (0.8428)***	3.8338 (0.4370)***

주: ()안은 표준오차를 나타내며, ***, **, *는 각각 $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.1$ 을 의미함.

〈표 8〉은 LNG 사용에 대한 계절별 추정결과가 제시되고 있다. 자기시차에 대한 LNG의 반응은 여름에만 유의적으로 나타나고 있는 것으로 추정되었다. 다른 연료와의 관계를 살펴보면 봄에는 유연탄과 대체관계가 유의적이며, 여름에는 중유와의 대체관계가 유의적이고, 가을에는 중유, 무연탄, 원자력과의 대체관계가 유의적이며, 겨울에는 중유, 경유와의 대체관계가 유의적인 것으로 추정되어 다른 연료와의 관계가 계절별로 매우 복잡한 형태를 보이는 것으로 나타났다. 전력수요와의 관계는 여름을 제외하고 다른 모든 계절에서

유의적인 양(+)의 탄력성을 갖는 것으로 추정되었으며, 상대적으로 가을과 겨울의 전력수요에 대한 탄력성이 높은 것으로 추정되었다.

추정결과를 종합하면 다음과 같다. 우선, 전기간을 대상으로 추정한 결과, 첫째, 연료 간 대체관계는 중유와 LNG 사이에서 유의적으로 나타나며, 중유는 다른 발전연료와 상호작용이 활발한 연료라고 할 수 있다. 둘째, 전력수요의 증대에 대해서 가장 민감한 발전연료는 중유, LNG, 무연탄 순서이며,¹²⁾ 유연탄은 전력수요 탄력성이 1보다 작으며, 경유는 음(-)의 전력수요 탄력성을 나타내고 있다. 특히, 경유수요 추정식은 적합도가 상대적으로 낮아 연료 간 상호작용을 통한 체계적인 발전연료라기보다는 임의적 대응 발전연료일 가능성이 있는 것으로 보인다. 셋째, 특정 전력수요가 특정 발전연료 수요에 다른 영향을 미치는 경우는 찾아보기 힘들고, 대체로 전력수요는 발전연료 수요에 동질적인 영향력이 있는 것으로 나타났다.

계절별 추정결과에 대해서 종합하여 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 중유는 전력수요 변화에 대해서 가장 민감한 발전연료라고 할 수 있으며, 가장 탄력성이 낮은 겨울철에도 3.5 이상의 탄력성을 나타내고 있다. 둘째, 경유는 계절별로 전력수요에 대해서 대응이 없는 연료인 것으로 추정되고 있다. 셋째, 무연탄은 여름을 제외하고 전력수요 증대에 대해 민감하게 반응하는 연료로 볼 수 있다. 넷째, 유연탄은 가을과 겨울철에 전력수요 변화에 대해서 유의적인 변화를 나타내지만 탄력성은 다른 연료에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타나고 있다. 다섯째, LNG는 여름을 제외하고 전력수요의 변화에 대하여 민감하게 반응하는 연료로 나타나고 있다. 여섯째, 발전연료에 대해서 전반적으로 여름철의 연료수요 추정의 적합도가 다른 계절에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타나, 본고에서 추정한 발전연료 수요추정식이 여름철에는 잘 설명되지 않을 가능성을 내포하고 있다. 이는 우리나라 여름철의 발전연료 수요가 임의적이거나 체계적인 연료간의 상호작용 없이 이루어지는 것으로 짐작할 수 있다.

12) 단기에서의 전력수요 증대에 대해서 중유, LNG, 무연탄 수요를 증대시키는 발전 대응을 하고 있음을 살펴볼 수 있다.

IV. 결론 및 시사점

본고에서는 전력수요가 발전연료의 수요에 어떠한 영향을 미치는지를 실증적으로 분석하고자 하였다. 이를 위해 기존의 방법론과는 달리 발전연료의 수요 추정식을 발전연료의 가격이 포함되지 않는 추정식을 도출하여 사용하였다. 또한 추정 방법에서는 발전연료 수요 추정식에서의 오차항이 서로 상관관계가 존재할 가능성을 고려하여 이를 통제할 수 있는 SUR 추정방법을 이용하여 추정하였다. 또한, 발전연료의 계절별 기능을 살펴볼 수 있도록 발전연료 수요식을 계절별로 추정하였다.

발전연료 수요식의 추정결과는 다음과 같은 시사점을 가지는 것으로 정리할 수 있다. 우선, 전기간을 대상으로 전력수요 변화에 대해서 5개 발전용 화석연료 사용이 어떻게 반응하는지를 정리하면, 중유가 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났으며, 그 다음이 LNG, 무연탄, 유연탄 순서로 민감한 반응이 추정되었다. 유연탄의 경우에는 전력수요에 대한 반응이 비탄력적인 것으로 추정되었다. 이는 유연탄이 기저발전용 연료이기 때문인 것으로 보이며, 전력수요에 대하여 탄력적으로 반응한 중유, LNG, 무연탄의 경우에는 첨두발전용 기능이 반영된 것으로 보인다. 한편, 경유의 경우에는 다른 연료와 달리 전력수요 변화에 대해서 음의 탄력적인 반응이 추정되고 있다. 이는 전력수요 증가에 대해서 경유 사용이 줄어드는 추세를 반영하고 있는 동시에, 전력수요 증가시에 경유를 줄이고 다른 연료를 무작위적으로 대체하는 현상을 반영한 것으로도 볼 수 있다.

중유가 전력수요에 대해서 민감하게 반응하는 것은 중요한 시사점을 갖는다. 단기적으로 전력수요를 충족하기 위한 전략적 수단으로 중유가 기능하고 있다는 것을 의미하는데, 온실가스 배출 등 환경적 측면에서 중유가 부정적이

라는 점이 문제가 될 수 있다. 예를 들어 일시적 또는 단기적으로 발전연료의 제약이나 수요의 급작스러운 증대 등의 현상이 발생하는 경우 중유의 사용이 증가하는 현상이 나타날 수 있음을 의미한다. 이는 경제 급전과 환경 편익에서의 상충관계를 초래할 수 있다. 이러한 상충관계가 발생하는 경우 정책적 우선순위를 명확히 할 필요가 있으며, 환경편익이 우선되는 경우 중유 등 화석연료 사용에 대한 부가적인 제약 조건도 살펴보아야 할 것이다.

세부 부문별 전력수요에 대한 연료 사용량의 반응에 대해 살펴보면 모든 세부부문의 전력수요 변화가 각각의 연료 사용에 미치는 영향은 전체 전력수요 변화가 각각의 연료 사용에 미치는 영향과 다르지 않은 것으로 나타났다. 따라서 특정 전력 수요가 특정 연료에 미치는 차별적인 영향은 나타나지 않으며, 전력수요는 모든 화석연료에 대해 동질적 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 모든 부문의 전력수요가 연료사용에 동질적인 영향을 준다는 것은 급전 전략이 체계적이며 안정적이라는 의미를 가진다. 특정 부문의 전력수요가 특정 연료를 반응시킨다면 이는 특정 전력수요가 특정 시간이나 일반적인 급전이 이루어지지 않는 특수한 상황을 만들어낸다고 볼 수 있으므로 이에 대한 대응이 요구된다. 그러나 본고의 추정 결과에 따르면 이러한 특수한 상황은 존재하지 않는 것으로 나타났다.

계절별 추정결과에 대해서 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 중유는 전력수요 변화에 대해서 가장 민감한 발전연료라고 할 수 있으며, 가장 탄력성이 낮은 겨울철에도 3.5 이상의 탄력성을 나타내고 있는 반면, 경유는 계절별로 전력수요에 대해서 대응이 없는 연료인 것으로 추정되고 있다. 무연탄과 LNG는 여름을 제외하고 전력수요 증대에 대해 민감하게 반응하는 연료로 나타났으며, 유연탄은 가을과 겨울철에 전력수요 변화에 대해서 유의적인 변화를 나타내지만 탄력성은 다른 연료에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타나고 있다. 둘째, 발전연료에 대해서 전반적으로 여름철의 연료수요 추정의 적합도가 다른 계절에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타나, 본고에서 추정한 발전연료 수요추정식이 여름철에는 잘 설명되지 않을 가능성을 내포하고 있다. 이는 우

리나라 여름철의 발전연료 수요가 임의적이거나 체계적인 연료간의 상호작용 없이 이루어지는 것으로 짐작할 수 있다. 여름철은 최대전력수요를 포함하는 계절이다. 최대전력수요를 충족시키지 못하는 경우에 급전지시 또는 수요감축 요청 등을 통해 수요관리를 하는 경향이 강하다. 이는 전력수요 증가에 대한 반응을 수요관리를 통해 해소하는 형태를 취하기 때문에 발전연료 수요의 체계를 임의적으로 만드는 경향이 있을 것으로 판단된다. 다시 말해서 여름철 전력수요가 증가할 때 체계적인 연료선택을 통해 수요증가를 충족하는 것이 아니라 연료선택의 변화 없이 수요증가를 충족하려는 경향이 있는 것으로 보인다. 이러한 이유로 여름철 발전연료수요 추정식의 설명력이 약하게 나타나는 것으로 판단된다. 이에 대해서는 향후 보다 정직한 연구가 요구된다.

접수일(2017년 6월 7일), 수정일(2017년 8월 20일), 게재확정일(2017년 8월 31일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 김수일 (2006a), 이항선택모형을 이용한 발전부문의 연료대체분석, 에너지경제연구, 제 5권 제2호, 223~244.
- 김수일 (2006b), 계량경제모형을 통한 발전부문의 연료대체에 관한 연구, 기본연구보고서 06-06, 에너지경제연구원.
- 문영석·노동석·조상민 (2011), 에너지믹스 변화의 비용 추정: 신재생확대 시나리오, 에너지경제연구, 제10권 제2호, 169~186.
- 박종배·노재형 (2014), 전력수급기본계획의 불확실성과 CO₂ 배출 목표를 고려한 발전용 천연가스 장기전망과 대책, 제63권 제11호, 1503~1510.
- 손양훈·노동석 (2006), 발전용 천연가스 수요의 잠재력 평가, 자원환경경제연구, 제15권 제2호, 297~318.
- 신정식·류지철 (1988), 산업용 전력수요를 중심으로 한 수요행태 연구, 에너지경제연구원.
- 오인하·오상봉 (2013), 발전부문 하이브리드 모형을 사용한 기후변화 정책효과 분석, 자원·환경경제연구, 제22권 제4호, 691~726.
- 유동현·박창수·이운재 (2012), 산업별 에너지원간 대체관계 추정을 통한 탄소세의 CO₂ 감축 효과 분석, 에너지경제연구, 제11권 제1호, 85~114.
- 최동찬·한석만·김발호 (2012), 온실가스 감축정책에 따른 발전사업자의 대응 방안에 관한 연구, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 61, No. 4, 522~533.

ABSTRACT

An Empirical Analysis on the Effect of Electric Demand on Fossil Fuel Demand for Electric Power Generation*

Youngduk Kim**

This paper examines impact of the electric demand on various fossil fuel consumptions for the generation of electricity. To do this, we exploit the input demand model for electric power generation excluding electric and fuel prices, which is slightly different from the existing models for input demand. Also, to estimate the input demand model, we use SUR method to control the correlations among error terms. The result shows that: (1) the impact coefficients of the electric demand on heavy oil, LNG, anthracite coal, and bituminous coal are estimated to be sensitively positive; (2) all the estimated impact of the sectoral electric demands on fuel input demands may not be different from that of the aggregate electric demand; (3) from the estimation results by seasons, heavy oil may have the most sensitive response to a change in electric demand, while diesel may be insensitive to electric demand changes.

Key Words : Electric Power Demand, Fossil Fuel Demand for Electric Power Generation

* This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea(NRF-2016S1A3A2925230)

** Professor, Pusan National University. ydkim@pusan.ac.kr