

지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구*

오세신** · 김상기***

요 약

독점시장에 대한 규제로서 투자보수율 규제와 가격상한 규제에 대한 연구가 많이 이루어져 왔지만 지역난방 시장의 특수성을 감안해 분석을 시도하고 규제 별 분석결과를 비교한 사례는 찾기 어렵다. 본 연구는 열과 전기를 서로 다른 특성의 시장에서 판매하는 지역난방 기업들의 비용절감 유인과 지역난방 소비자 들의 후생을 규제가 없는 상황과 비용보상 규제 그리고 가격상한 규제 하에서 어떻게 달라지는지를 게임이론을 활용해 이론적으로 비교분석하였다. 그리고 가격상한 하에서의 비용절감 유인이 비용보상 규제에서뿐만 아니라 규제가 없는 상황에서보다도 높을 수 있다는 결론을 도출하였다.

주요 단어 : 지역난방, 자연독점, 열요금 규제, 가격상한
경제학문헌목록 주제분류 : L1, L5, Q4

* 본 논문은 2018년 에너지경제연구원의 기본연구보고서 「국내 지역난방 제도 개선 연구: 연구개발 투자 제고 방안을 중심으로」의 부록 부분을 보완 및 수정한 것이다.

** 에너지경제연구원 연구위원(주저자). ssosoh@keei.re.kr

***충북대학교 국제경영학과 조교수(교신저자). abekim@chungbuk.ac.kr

I. 서 론

지역난방 시장에서 열요금 규제는 우리나라뿐만 아니라 지역난방 보급률이 높은 유럽 국가들에서도 많은 관심의 대상이 되고 있다. 지역난방이 공공서비스의 성격을 가진 자연독점 산업이라는 관점에서 정부의 규제는 반드시 필요하다. 우리나라에서는 기획재정부 훈령 ‘공공요금 산정기준’에 의거해 공공서비스로 간주되는 재화의 경우 공급비용과 적정 수익률만을 보상하는 총괄원가 규제가 원칙적으로 적용되며 지역난방의 열요금 규제도 이를 준용해 따르고 있다.¹⁾ 하지만 유럽 국가들의 경우 덴마크, 스웨덴, 폴란드, 헝가리와 같이 열요금 규제로 이러한 비용보상 규제를 따르기도 하지만 독일, 영국, 이탈리아, 네덜란드 등과 같이 대체난방 비용을 상한으로 하는 규제 또는 공급자와 소비자 간의 협약을 적용하기도 한다. 따라서 열요금 규제와 관련해 아직까지는 특정 방식이 더 우월하다고 단정할 수 있는 단계는 아닌 것처럼 보인다.

이미 많은 연구에서 원가보상 규제와 가격상한 규제의 장점과 단점에 대해서 분석하였지만 보편적인 자연독점 산업을 전제로 한 것으로 지역난방 산업의 특수성을 감안해 수행된 연구는 거의 없다. 일반적으로 지역난방 시장도 자연독점 시장으로 간주되고 있지만 열병합발전 설비를 보유한 지역난방 기업들은 열과 전력을 서로 다른 성격의 독립된 시장에서 판매한다는 점에서는 전통적인 자연독점 산업과는 조금 다르다고도 할 수 있다.

따라서 지역난방 기업들의 이러한 특수성을 반영해 열요금 규제의 방식에 따라 지역난방 공급자들의 비용절감 유인과 소비자 후생의 변화를 살펴보는 것은 최근 우리나라 지역난방 시장에서 열요금 제도가 화두인 점을 고려할

1) 열요금은 기획재정부에서 산정 원칙을 정하는 중앙공공요금은 아니지만 산업통상자원부의 「지역난방 열요금 산정기준 및 상한 지정」 고시에 따라 중앙공공요금과 마찬가지로 총괄원가 보상을 원칙으로 하고 있다.

때 시기적으로 필요한 연구라 할 수 있다.

본 연구는 지역난방 시장에서 열병합발전과 열전용보일러를 운영하는 지역난방 공급자가 열요금 규제 방식에 따라 비용절감을 위해 노력할 유인이 어떻게 달라지는지와 소비자 후생에 대한 영향을 게임이론모형을 이용해 분석 및 비교하고 정책적 시사점을 제시하는데 목적을 두고 있다. 이에 따라 2장에서는 국가별 열요금 규제 방식을 살펴보고 요금 규제와 관련한 기존 연구 사례들을 검토할 것이며, 3장에서는 한국의 지역난방 시장에 적합한 분석을 위해 게임이론을 기반으로 하는 3가지 시나리오 모형을 설정할 것이다. 그리고 내쉬균형 분석을 시도해 도출된 모형별 결과들을 서로 비교할 것이다. 이를 바탕으로 마지막 4장에서는 결론 및 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 지역난방 시장의 열요금 규제

1. 우리나라와 해외사례 비교

우리나라 지역난방 시장에서 열요금에 대한 규제는 총괄원가 보상을 기본적인 원칙으로 하고 있다. 이는 기획재정부 훈령인 ‘공공요금 산정 기준’²⁾에 의거해 열요금을 공공서비스로 인식하고 있기 때문으로 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 사업자들의 단위당 생산비용이 사업 규모에 따라 상이할 수밖에 없는 여건들을 감안해 가격상한 규제의 요소도 일부 혼합해 적용하고 있다.³⁾

2) 기획재정부훈령 제345호(2017. 8. 7.)에서는 공공요금 산정의 기본원칙으로 “공공요금은 공공서비스를 제공하는데 소요된 취득원가 기준에 의한 총괄원가를 보상하는 수준에서 결정되어야 한다.”고 명시하고 있다.

3) 산업통상자원부고시 「지역난방 열요금 산정기준 및 상한 지정」 제2018-100호(2018. 6. 1.)에 따르면 열요금의 상한은 “지역난방을 공급받는 세대 중 50% 이상 대다수의 세대에 적용되는 열요금(시장기준요금)”의 110%로 하고 있으며, 한국지역난방공사의 열요금을 시장기준요금으로 사용하고 있다.

지역난방 보급률이 비교적 높고 정책적으로 보급의 확산을 장려하고 있는 주요 유럽 국가들의 열요금 규제는 크게 두 가지다. 총괄원가를 보상하는 방식과 대체난방 비용을 열요금의 상한으로 하는 가격상한 규제이다. 구체적으로 독일, 영국, 이탈리아, 네덜란드에서는 열요금을 대체난방인 도시가스 난방의 비용을 상한으로 하여 정하도록 하고 있다.⁴⁾ 북유럽과 동유럽에 해당하는 덴마크, 스웨덴, 폴란드, 헝가리 등은 기본적인 열요금 원칙적으로 적정 원가만을 보상하는 총괄원가 또는 투자보수율 규제를 적용하고 있다.⁵⁾

유럽 국가들의 열요금 규제 방식에 있어 이와 같은 차이는 국별 지역난방 시장의 거버넌스 구조에 기인하는 부분도 있지만 열요금 규제 방식에 대한 관점 차이일 수도 있다.

유럽의 지역난방 공급은 국가별로 정도의 차이는 있지만 상당부분이 지방 정부 또는 소비자 조합에서 소유한 기업을 통해 이루어진다. 따라서 1980-90 년대의 에너지 시장 자유화 흐름 속에서도 비교적 영리 추구보다는 공익성을 보다 중시하는 방향을 유지하고 있는 편으로 볼 수 있다.

우리나라의 지역난방 공급 구조는 기업의 숫자만을 두고 따져봤을 때 대부분이 민간 사업자로 민영화 정도가 높은 편으로 볼 수 있지만 공급량을 기준으로 봤을 때 공기업인 한국지역난방공사가 절반 정도를 차지하고 있다는 점에서 공적인 소유구조가 높은 편이라고도 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 한국지역난방공사가 주식시장에 상장된 기업으로 정부의 지분 비율이 줄어왔던 점을 고려하면 우리나라 지역난방 시장의 민영화 정도는 유럽보다 오히려 강한 편으로 평가할 수 있다. 따라서 열요금 규제도 이러한 구조적 차이를 감안해 적용되어야 할 것이다.

4) 이 가운데 네덜란드가 중앙 정부 규제에 의해 열요금이 대체난방 비용을 초과하지 않도록 정하고 있으며, 나머지 국가들은 지방 정부 또는 공급자와 소비자 간의 협약에 근거해 열요금에 가격상한 방식을 적용하고 있다.

5) 스웨덴은 투자보수율 규제를 해오다가 1996년 지역난방 시장을 자유화하면서 관련 규제들을 폐지했으나 요금인상 등의 부작용 등에 따라 소비자들과의 협의를 통해 요금을 조정하도록 하고 있다.

2. 기존 연구

비용보상 규제와 가격상한 규제는 독점시장 규제 분야의 오랜 관심사였기 때문에 관련된 연구도 상당히 많이 이루어졌다. 비용보상 규제의 문제를 다룬 연구는 Averch & Johnson (1962), Kahn (1970), Braeutigam (1980), Braeutigam & Panzar (1989) 등을 언급할 수 있다. 이 연구들은 비용보상 규제의 문제로 공급자들에게 비용절감 유인을 주기 어렵고 비효율적인 운영을 야기할 수 있음을 공통적으로 지적한다. 이 가운데 Averch & Johnson (1962)과 Braeutigam & Panzar (1989)는 독점시장과 경쟁시장에서 모두 상품을 판매하는 규제기업(regulated firm)이 투자보수율(rate of return on investment) 규제에서 경쟁시장에서 판매되는 상품에 대해 교차보조를 하거나 투자 규모를 늘리는 등 비효율적인 운영을 할 수 있음을 이론적인 분석을 통해 보여준다. 특히, Braeutigam & Panzar (1989)는 비용보상 규제인 투자보수율 규제에서는 두 가지 상품을 생산할 때 발생하는 공통비용이 있을 경우 규제시장으로의 비용 배분을 왜곡시킬 유인이 기업에게 있음을 추가하며, 동일한 이론적 틀을 활용해 가격상한 규제가 이러한 문제들을 완화하거나 해결하는 대안으로 제시될 수 있음을 보여주고 있다.

가격상한 규제와 관련한 기존 연구들은 Cabral & Riordan (1989), Sibley (1989), Clemenz (1991), Liston (1993) 등으로 가격상한이 비용절감 유인을 제공한다는 것을 보편적으로 인정하고 있다. Cabral & Riordan (1989)은 비용절감을 위한 투자가 가능하고 이에 대한 고려가 필요한 산업에서는 가격상한 규제가 투자보수율 규제보다 좋은 결과를 나타낸다는 것을 보여준다. Sibley (1989)는 규제당국이 기업에 비해 생산비용과 소비함수에 대한 정보가 부족하기 때문에 정보의 비대칭성으로 인한 기업의 지대추구(rent seeking)가 발생하는데 가격상한 규제가 이를 억제하고 기업이 자발적으로 효율성을 추구하도록 유도할 수 있는 매커니즘이 될 수 있음을 이론 모형을 통해 제시한다. Clemenz (1991)는 가격상한 규제가 기업의 비용절감 투자를 유도하는데 좋을

뿐만 아니라 사회후생을 높이는데 있어서도 투자보수율 규제보다 더 낫다는 것을 이론적으로 증명한다.

지역난방 열요금 규제에 관한 논의는 Wissner (2014)와 Li et al. (2015) 등에서 다루고 있다. Wissner (2014)는 독일의 지역난방 시장을 분석하며 가격상한 규제의 문제에 대해서도 지적하는데, 가격상한을 잘못 설정할 경우 시장에 잘못된 신호를 보내 공급확대가 필요한 상황에서도 신규투자가 발생하지 않아 공급불안을 초래할 가능성을 언급한다. 이와는 반대로 Li et al. (2015)은 스웨덴의 지역난방 시장에 분석의 초점을 맞추고 있으며 투자보수율 규제가 기업들에게 비용절감 유인을 주지 못하고 오히려 자기 생산비용을 부풀릴 유인을 제공할 수 있음을 취약점으로 지적한다.

본 연구에서는 이와 같이 기존 연구들에서 이루어진 다각적이고 풍부한 논의들을 바탕으로 우리나라의 지역난방 특성을 고려한 이론 모형을 개발하고 분석하고자 한다. 특히, 열병합발전을 통해 열과 전력을 독점시장과 제한적 경쟁시장인 CBP(Cost Based Pool)에서 판매하는 것과 별도의 열전용 설비를 함께 구비하고 있는 것도 감안할 것이다. 분석과 관련해서는 이전의 연구들과 같이 가격상한 규제와 비용보상 규제의 영향을 비교하는 데에 그치지 않고 규제가 없는 자유 시장에서의 비용절감 유인 및 소비자 후생과도 비교를 시도하고자 한다.

Ⅲ. 분석모형 설계 및 분석

1. 게임모형의 설계와 내쉬균형 분석

본 모형 분석은 생산설비로써 열병합발전기(이하 CHP)와 열전용설비를 보유한 지역난방 기업의 개별 설비에 대한 비용절감 투자가 정부의 열요금 규

제 방식에 따라 어떻게 달라지는지를 살펴보기 위함이며 이를 바탕으로 우리나라 지역난방 정책을 위한 시사점을 제시하는데 그 의의를 둔다.

이를 위해 현실을 감안한 정부의 규제 모형을 세 가지로 구성할 것이다. 그리고 지역난방 기업의 이윤 구조와 열 시장 및 전력 도매시장 구조를 가정해 내쉬균형(Nash Equilibrium)에서의 기업의 비용절감 투자 수준과 열 생산 설비 구성 등의 주요 결과들을 모형별로 분석하고 비교할 것이다.

기준모형에서는 열과 전력 시장에 대한 정부 규제가 전혀 없는 시장 자유화 상황을 가정했다. 시나리오 1에서는 현재의 시장 규제를 반영하였는데 열요금 규제가 총괄원가 보상이 원칙인 점과 열병합발전의 열계약 발전 시 전력이 전력시장운용규칙에 따라 변동비의 일부⁶⁾를 보상받도록 되어 있는 것을 감안해 정부 규제 조합을 설정하였다. 그리고 시나리오 2에서는 열요금 규제가 가격상한 방식으로 바뀌었을 때를 가정해 아래와 같이 세 가지 모형을 구성하기로 한다.

기준모형(자율): 열 요금은 독점가격, CHP 전력은 시장(도매) 가격 보상
시나리오 1(평균비용, 변동비): 열 요금은 평균비용 보상, CHP 전력은 변동비의 일부 보상
시나리오 2(가격상한, 변동비): 열 요금은 가격상한, CHP 전력은 변동비의 일부 보상

다음은 열 시장과 CHP 전력을 판매하는 전력 도매시장의 구조에 대한 가정이다. 이를 위해 Lin & Zhou (2013)⁷⁾의 복수의 재화(multiproduct)를 생산하는 기업을 다룬 모형을 활용하고자 한다. Lin & Zhou (2013)는 두개의 재화를 생산하는 독점기업의 R&D의 포트폴리오 문제를 다루고 있다. 이를 참

6) 증분비 + (무분하비용의 최대 50%)

7) Lin, Ping & Zhou, Wen, The effects of competition on the R&D portfolios of multiproduct firms, International Journal of Industrial Organization, 2013, Vol. 31, Issue 1, pp. 83-91

고해 본 연구에서는 지역난방 기업이 대체성 및 보완성이 전혀 없는 서로 다른 재화인 열(h)과 전력(e)을 생산하며 각 재화의 생산을 위해 필요한 설비는 CHP와 열전용보일러(HOB)⁸⁾로 구성되는 것으로 가정한다.

열 생산은 CHP와 HOB를 통해 가능함에 따라 CHP로부터 생산되는 열을 q_{h1} 으로 표기하고 HOB로부터 생산되는 열은 q_{h2} 로 표기하며 서로가 완전 대체가 가능한 동질적인 재화로 본다. 또한 열 시장은 독점시장을 가정함에 따라 열 시장의 역수요함수를 다음과 같이 전제한다.

$$p_h = a - q_{h1} - q_{h2} \quad (1)$$

여기서 p_h 는 열 가격이며 a 는 열 시장 규모를 나타낸다.

전력의 경우에는 CHP에서만 생산되며 CHP에서 생산되는 열의 부산물(by-product)로 간주한다.⁹⁾ 따라서 CHP에서 생산되는 전력은 열 생산량의 함수 $q_e = \alpha q_{h1}$ 로 가정한다. 여기서 α 는 열 생산 대비 전력 생산비율로 1보다 작다고 볼 수 있다.¹⁰⁾

지역난방 기업은 총 n 개 존재하며 모두 동일한(identical) 것으로 가정한다. 따라서 n 개의 지역난방 기업은 n 개의 열 시장에서 각각 독점적으로 열을 공급하지만 전력은 하나의 전력 도매시장에서 생산량에 의한 쿠르노(Cournot) 경쟁을 하는 것으로 가정한다. 따라서 전력 도매시장의 역수요함수는 다음과 같이 전제하였다.

8) 여기서는 일반적인 HOB(Heat Only Boiler), 즉 열전용보일러를 전제하고 있으나 열 생산비용의 추가적인 가정을 통해 소각시설이나 산업폐열, 심지어 재생에너지 열원(태양열, 지열 등) 등의 설비로도 해석할 수 있다.

9) CHP에서의 열과 전력의 생산이 서로 연동되어 있으므로 식의 전개를 열에 대해 한다는 차원에서 전력을 열의 부산물로 간주하는 것이며, 열을 전력의 부산물로 간주하고 식을 전개하더라도 결과는 동일하다.

10) 지역난방에서 CHP의 이용이 에너지효율을 높이기 위함이라는 취지를 고려해 CHP에서 mode 3를 통해 전력만 생산하는 경우는 배제하였다.

지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구

$$p_e = ka - \sum_{i=1}^n q_e^i - Q_{re} \quad (2)$$

여기서 ka 는 전력 도매시장의 규모로서 $k > n$ 으로 가정함에 따라 전체 지역난방 시장보다 크다고 간주할 수 있다. Q_{re} 는 일반적인 발전 기업들이 공급하는 전력량으로 볼 수 있으며 여기서는 외생적으로 주어지는 것으로 가정한다. 이는 본 연구의 분석 대상을 지역난방 산업에만 국한하고 있고 분석의 편의성을 고려한데 따른 것이다.

또한 추후 분석에서 언급되겠지만 전체 시장 규모의 절반 이상을 차지한다고 가정한다. 이는 석탄과 원자력, 그리고 가스 발전량(CHP 제외)이 국내 전체 발전량의 대부분을 차지하는 국내 현실을 감안한 것이다.

개별 지역난방 기업의 이윤함수는 열과 전력의 매출과 함께 비용요소들을 고려해 설정한다. 기업의 총 매출(Total Revenue)은 전력 판매와 열 판매로 구성되며 다음과 같다.

$$TR = p_e \alpha q_{h1} + p_h (q_{h1} + q_{h2})$$

비용함수를 전제하기 위해 다음 사항들을 고려한다. 먼저 CHP의 한계생산 비용은 c_c 로 한단위의 열과 α 만큼의 전력을 생산하는 데 투입되는 비용이 된다. HOB의 한계생산비용은 c_b 로 가정한다. 그리고 역시 현실적인 상황을 반영하여 $c_c > c_b$ 로 전제한다.

또한 지역난방 기업들은 CHP와 HOB에 대한 비용절감 투자를 통해 각각의 설비의 한계생산비용을 줄일 수 있다고 가정한다. 구체적으로 $x_j (j = c, b)$ 의 한계비용을 줄이기 위해 x_j^2 만큼 투자하는 것으로 가정한다. 이에 따라 개별 지역난방 기업의 총비용(Total Cost)은 다음과 같다.

$$TC = (c_c - x_c)q_{h1} + x_c^2 + (c_b - x_b)q_{h2} + x_b^2$$

여기서 $(c_c - x_c)q_{h1} + x_c^2$ 는 CHP에 투입되는 비용, $(c_b - x_b)q_{h2} + x_b^2$ 는 HOB에 투입되는 비용으로 볼 수 있다.

이를 종합해 개별 지역난방 기업의 이윤함수는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}\pi &= TR - TC \\ &= p_e \alpha q_{h1} + p_h (q_{h1} + q_{h2}) - (c_c - x_c)q_{h1} - x_c^2 - (c_b - x_b)q_{h2} - x_b^2\end{aligned}\quad (3)$$

이러한 열과 전력 시장 구조에 대한 기본적인 전제를 바탕으로 정부의 규제 개입이 전혀 없는 기준모형을 먼저 살펴볼 것이다.

1) 기준모형

여기서는 정부가 열 시장과 전력 도매시장에서 가격 결정에 개입하지 않는 경우를 상정한다. 이에 따라 개별 지역난방 기업의 이윤함수는 아래와 같다.

$$\pi = \underbrace{p_h q_{h1} - (c_c - x_c)q_{h1} + p_e \alpha q_{h1} - x_c^2}_{CHP\text{이윤}} + \underbrace{(p_h - (c - x_b))q_{h2} - x_b^2}_{HOB\text{이윤}} \quad (4)$$

여기에 열과 전력 시장의 역수요함수인 식(1)과 식(2)를 대입하고 $q_e = \alpha q_{h1}$ 을 적용한 다음, 지역난방 기업의 이윤을 극대화하는 설비별 비용절감량(x_c , x_b)¹¹⁾과 열 생산량(q_{h1} , q_{h2})에 대한 4개의 1계 조건으로부터 최적반응함수¹²⁾

11) 비용절감 투자는 비용절감량의 제곱승이다. 따라서 비용절감량이 0보다 큰 조건에서는 모형 간 비용절감의 대소 비교는 곧 비용절감 투자의 대소 비교와 동일하다.

12) Brander and Spencer(1988)는 R&D 투자의 효과를 전략적인 경우와 비전략적인 경우로 구분하여 분석하였다. 이후로 다수의 문헌에서는 R&D 투자가 생산량 증대 및 기업들 간의 경쟁에 미치는 전략적 효과를 주목하였으므로 기업들은 R&D 투자를 결정하고 난 이후 생산량을 결정하는 순차적 게임모형을 사용하여 분석했다. 그러나 R&D 투자의 전략적 효과에 집중한 연구가 아닌 최근 연구에서는 R&D 투자와 생산량이 동시에 결정되는 것으로 다루기도 하며 관련 연구로는 Haaland and Kind (2008) 등이 있다. 따라서 본 연구에서는 분석의 편의를 고려해 생산량과 비용절감 투자를 동시에 결정하는 모형을 고려하였다.

지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구

를 도출한다. 그리고 이들을 연립해서 풀면 아래와 같은 내쉬균형에서의 생산 설비별 비용절감 투자량(또는 비용절감량)과 열 생산량을 구할 수 있다.¹³⁾

$$q_{h1}^* = \frac{2a(3k\alpha - 1) + 8c_b - 6c_c - 6\alpha Q_{re}}{6(n+1)\alpha^2 - 7} \quad (5)$$

$$q_{h2}^* = \frac{2(a((2n+1)\alpha^2 - 4k\alpha - 1)) - (2(n+1)\alpha^2 + 3)c_b + 4c_c + 4\alpha Q_{re}}{6(n+1)\alpha^2 - 7} \quad (6)$$

$$x_c^* = \frac{a(3k\alpha - 1) + 4c_b - 3c_c - 3\alpha Q_{re}}{6(n+1)\alpha^2 - 7} \quad (7)$$

$$x_b^* = \frac{a((2n+1)\alpha^2 - 4k\alpha - 1)) - (2(n+1)\alpha^2 + 3)c_b + 4c_c + 4\alpha Q_{re}}{6(n+1)\alpha^2 - 7} \quad (8)$$

결과 1: 내쉬균형에서 지역난방 기업수 n 이 증가할수록 CHP의 열 생산량 q_{h1}^* 와 비용절감 투자 x_c^{2*} 는 감소하고 HOB의 열 생산량과 비용절감 투자인 q_{h2}^* 와 x_b^{2*} 는 증가한다.

증명:

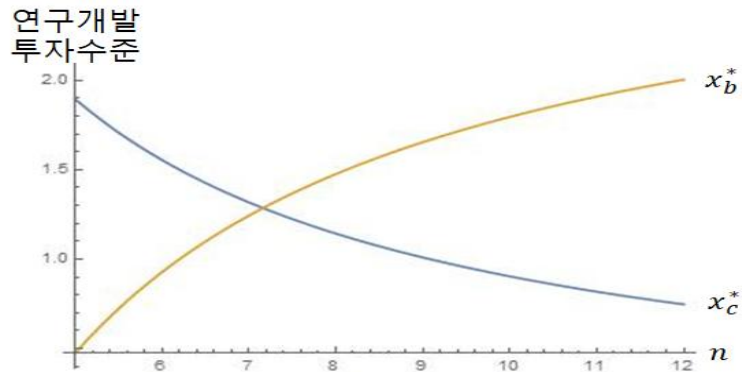
$$\frac{\partial x_c^*}{\partial n} = - \frac{6\alpha^2(a(3k\alpha - 1) - 4c_b + 3c_a + 3\alpha Q_{re})}{(6(n+1)\alpha^2 - 7)^2} < 0$$

13) 본 모형에서 시장 규모가 충분히 크다고 가정하는 경우($a > 8$) q_{h1}^* 과 q_{h2}^* 이 동시에 양의 값이 되기 위해서는 α 는 0.8보다 크고 1보다 작아야 한다.

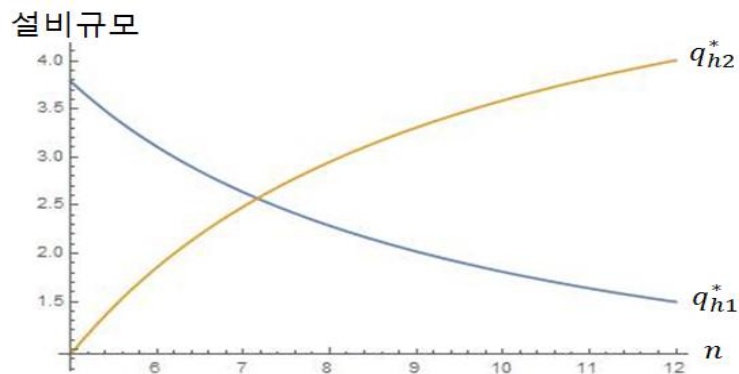
$$\frac{\partial x_b^*}{\partial n} = \frac{8\alpha^2(a(3k\alpha - 1) - 4c_b + 3c_a + 3\alpha Q_{re})}{(6(n+1)\alpha^2 - 7)^2} > 0$$

지역난방 기업 수 n 의 증가는 전력 도매시장에서의 가격 하락을 의미한다. 즉 $\partial p_e / \partial n < 0$ 이 되므로 지역난방 기업에게는 전력과 열을 동시에 생산하는 CHP에 대한 비용절감 투자와 열 생산량을 모두 줄이는 것이 합리적인 선택이 된다.

[그림 1] 지역난방 기업 수와 설비별 비용절감 투자 수준



[그림 2] 지역난방 기업 수와 설비별 열생산량



지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구

2) 시나리오 1: 열 요금은 평균비용, 전력 보상은 변동비 일부로 규제

여기서는 현실과 유사하게 정부 규제에 따라 열 요금은 평균비용으로 보상하고 CHP의 열제약 발전으로 생산된 전력은 변동비의 일부($\delta < 1$)로 보상한다고 가정한다. 이에 따라 개별 지역난방 기업의 이윤함수는 아래와 같다.

$$\pi = \underbrace{p_e^{vc} \alpha q_{h1} + p_h^{ac} q_{h1} - (c_c - x_c) q_{h1} - x_c^2}_{CHP\text{이윤}} + \underbrace{(p_h^{ac} - (c_b - x_b)) q_{h2} - x_b^2}_{HOB\text{이윤}} \quad (9)$$

$$p_e^{vc} = \delta(c_c - x_c) q_{h1} / q_e = \delta(c_c - x_c) / \alpha$$

한편 열 요금을 평균비용으로 산정하기 위해 CHP의 열측 비용 배분은 전체 CHP 비용에서 전력 도매시장에서 보상되는 δ 비율만큼을 제외한 $1 - \delta$ 비율만큼으로 볼 수 있다.¹⁴⁾

따라서 열 생산의 평균비용은 아래 식과 같은 과정을 거쳐 산정할 수 있으며 이는 곧 정부 규제에 의한 열 요금이 된다.

$$\begin{aligned} TC_{chp} &= (1 - \delta)(c_c - x_c) q_{h1} + x_c^2 \\ TC_{hob} &= (c_b - x_b) q_{h2} + x_b^2 \\ AC &= (TC_{chp} + TC_{hob}) / (q_{h1} + q_{h2}) \\ \therefore p_h^{ac} = AC &= \frac{(1 - \delta)(c_c - x_c) q_{h1} + (c_b - x_b) q_{h2} + x_c^2 + x_b^2}{(q_{h1} + q_{h2})} \end{aligned} \quad (10)$$

14) 미국 오크리지 국립연구소 (ORNL)에서 제안하고 있는 CHP의 비용배분 방식 중 Margen 방식에 해당하는 것으로 총비용에서 전력 측의 매출을 제외한 나머지를 열 측의 비용으로 배분한다(최병렬, 열병합발전의 열경제학적 비용배분 기법 연구, 에너지경제연구원 수시연구보고서 14-01, 2014, pp.8-9). 국내에서는 전체 매출에서 열 매출이 차지하는 비중을 CHP의 열측 비용으로 배분하고 있다. 여기서는 둘 중 어떤 방식을 이용하더라도 결과의 방향성에는 영향이 없으므로 계산의 편의성을 고려해 Margen 방식을 채택하였다.

위의 변동비를 기업의 이윤함수에 대입한 후 정리하면 $\pi = 0$ 이 되어 지역 난방 기업이 비용절감에 투자할 유인은 전혀 없게 된다.

결과 2: 열과 CHP 전력에 대한 평균비용 및 변동비 규제 하에서는 지역난방 기업이 비용절감에 투자 유인은 어떠한 설비에서도 존재하지 않는다.

하지만 현실적으로 보면 이러한 체계 하에서도 비용절감 유인이 전혀 없다고는 볼 수 없다. Clemenz (1991)에서 제시되듯이 실제 상황에서는 정보의 불확실성이 존재하기 때문에 과거의 실적치를 이용해 보상받아야 하는 평균비용으로 산정하게 되며 한번 산정된 평균비용은 일정기간(수개월에서 1년 정도) 유지하는 구조이다. 따라서 이러한 시차와 정보의 불확실성에 근거해 지역난방 기업이 비용을 절감은 유인이 발생할 수 있다.

2) 시나리오 2: 열 요금은 가격상한 규제, 전력은 변동비 일부로 보상

여기서는 정부가 지역난방 기업의 열 요금 규제를 가격상한 방식으로 적용해 열 요금이 상한을 넘지 않으면 얼마든지 이윤을 가져갈 수 있도록 허용하게 된다. 다만 CHP 전력은 기존과 마찬가지로 변동비의 일부만을 보상받도록 한다. 다시 말해 CHP에서 생산된 전력은 변동비의 $\delta (< 1)$ 비율만큼만 보상이 이루어지고 독점시장인 열 시장에서의 열 요금은 정부가 정한 가격상한 이하에서 결정된다. 이에 따라 지역난방 기업의 이윤함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\pi &= \underbrace{p_h^{cp} q_{h1} - (c_c - x_c) q_{h1} + p_e^{vc} \alpha q_{h1} - x_c^2}_{CHP\text{이윤}} + \underbrace{p_h^{cp} q_{h2} - (c_b - x_b) q_{h2} - x_b^2}_{HOB\text{이윤}} \\ &= \underbrace{p_e^{vc} \alpha q_{h1}}_{CHP\text{전력매출}} + \underbrace{p_h^{cp} q_{h1} - (c_c - x_c) q_{h1} - x_c^2}_{CHP\text{열매출} - CHP\text{총비용}} + \underbrace{(p_h^{cp} - (c_b - x_b)) q_{h2} - x_b^2}_{HOB\text{이윤}}\end{aligned}$$

열 요금에서 정부의 가격상한을 반영해 $p_h^{cp} = \bar{p}_h = a - Q_h$ 가 되고 총열생산량은 $Q_h = a - \bar{p}_h$ 로 고정될 것이다.

지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구

정부는 CHP 전력에 대해 변동비의 일부(δ)만을 보상하는 것으로 가정함에 따라 p_e^{vc} 는 다음과 같다.

$$p_e^{vc} = \delta(c_c - x_c)q_{h1}/q_e = \delta(c_c - x_c)/\alpha$$

이러한 정부 규제 방식을 기업의 이윤함수에 모두 대입하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi &= \underbrace{p_e^{vc}\alpha q_{h1}}_{\text{CHP전력매출}} + \underbrace{p_h^cp_{h1} - (c_c - x_c)q_{h1} - x_c^2}_{\text{CHP열매출} - \text{CHP총비용}} + \underbrace{(p_h^{cp} - (c_b - x_b))q_{h2} - x_b^2}_{\text{HOB이윤}} \quad (11) \\ &= \underbrace{\delta(c_c - x_c)q_{h1}}_{\text{CHP전력매출}} + \underbrace{p_h^cp_{h1} - (c_c - x_c)q_{h1} - x_c^2}_{\text{CHP열매출} - \text{CHP총비용}} + \underbrace{p_h^{cp}q_{h2} - (c_b - x_b)q_{h2} - x_b^2}_{\text{HOB이윤}} \\ &= \underbrace{p_h^{cp}(q_{h1} + q_{h2})}_{\text{열매출}} - \underbrace{((1 - \delta)(c_c - x_c)q_{h1} + x_c^2)}_{\text{CHP열측비용}} - \underbrace{((c_b - x_b)q_{h2} + x_b^2)}_{\text{HOB비용}} \end{aligned}$$

따라서 위 기업의 이윤 극대화 문제는 필연적으로 구석해(corner solution)로 도출된다(Pindyck & Rubinfeld, 1991). 이에 따라 기업은 아래의 조건에 따라 CHP와 HOB 중 생산설비를 하나만을 선택해야 한다.

$$\underbrace{(1 - \delta)(c_c - x_c)}_{\text{CHP열생산한계비용}} \begin{cases} \geq \\ < \end{cases} \underbrace{(c_b - x_b)}_{\text{HOB한계비용}}$$

CHP의 열 생산 한계비용이 HOB의 한계비용보다 크면 기업은 HOB만 사용하게 되고 반대인 경우에는 CHP만을 운영하게 될 것이다. 따라서 여기서는 정부가 정하는 CHP 전력에 대한 보상수준 δ 가 지역난방 기업의 생산설비 선택에 매우 중요한 변수가 된다.

경우 1: $\underbrace{(1 - \delta)(c_c - x_c)}_{\text{CHP열생산한계비용}} > \underbrace{(c_b - x_b)}_{\text{HOB한계비용}}$ 이므로 기업은 HOB 설비만을 통해 열을 생산한다.

이에 따라 이윤 극대화 문제는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max } \pi &= \bar{p}_h (q_{h1} + q_{h2}) - \underbrace{((1-\delta)(c_c - x_c)q_{h1} + x_c^2)}_{\text{CHP 열측비용}} - \underbrace{((c_b - x_b)q_{h2} + x_b^2)}_{\text{HOB 비용}} \\ \text{s.t. } q_{h1} &= 0, \quad x_c = 0, \quad q_{h2} = a - \bar{p}_h \end{aligned}$$

이를 통해 도출되는 HOB 설비에 대한 최적 비용절감 수준은 다음과 같다.

$$x_b^* = \frac{(a - \bar{p}_h)}{2} \quad (12)$$

결과 3: 가격상한($\bar{p}_h$)이 낮을수록 지역난방 기업은 HOB 설비에서의 열 생산과 비용절감 투자를 모두 증가시킨다.

다만, 비용절감 투자가 기업의 수익이 보장되는 상황에서 이루어진다는 측면에서 가격상한이 무조건 낮다고 비용절감 투자가 늘어난다고 볼 수는 없다. 따라서 결과 3의 해석은 가격상한이 기업의 이윤을 보장하는 범위 내에서 낮을수록 비용절감 투자를 증가시키는 것으로 해석하는 것이 바람직할 것이다.

경우 2: $\underbrace{(1-\delta)(c_c - x_c)}_{\text{CHP 열생산한계비용}} < \underbrace{(c_b - x_b)}_{\text{HOB 한계비용}}$ 이므로 지역난방 기업은 CHP를 통해서만 열과 전기를 생산한다.

경우 2를 반영하면 지역난방 기업의 이윤극대화 문제는 다음과 같이 설정되어야 한다.

$$\begin{aligned} \text{Max } \pi &= \bar{p}_h (q_{h1} + q_{h2}) - \underbrace{((1-\delta)(c_c - x_c)q_{h1} + x_c^2)}_{\text{CHP 열측비용}} - \underbrace{((c_b - x_b)q_{h2} + x_b^2)}_{\text{HOB 비용}} \\ \text{s.t. } q_{h1} &= a - \bar{p}_h, \quad q_{h2} = 0, \quad x_b = 0 \end{aligned}$$

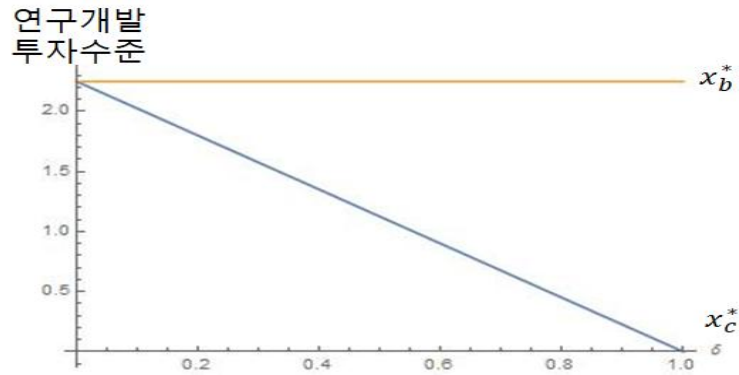
지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구

이를 통해 도출되는 CHP에 대한 최적 비용절감 수준은 다음과 같다.

$$x_c^* = \frac{(1-\delta)(a-\bar{p}_h)}{2} \quad (13)$$

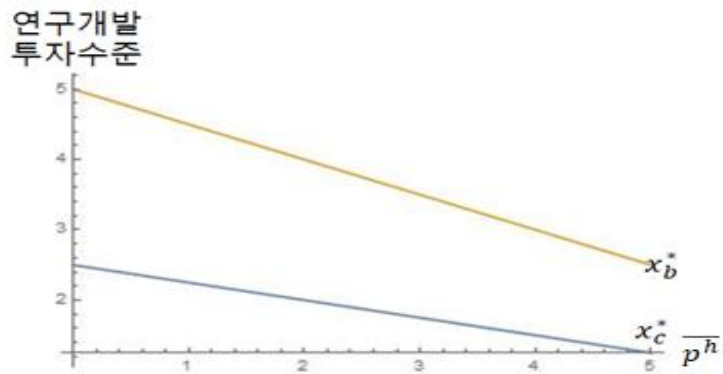
결과 4: 가격상한($\bar{p}_h$)이 낮을수록 지역난방 기업의 CHP 설비를 통한 열 생산과 비용절감 투자는 모두 증가한다. 하지만 CHP 전력에 대한 변동비 보상 비율(δ)이 증가할수록 CHP에 대한 비용절감 투자는 감소한다.

[그림 3] CHP 전력 변동비 보상 비율과 설비별 비용절감량

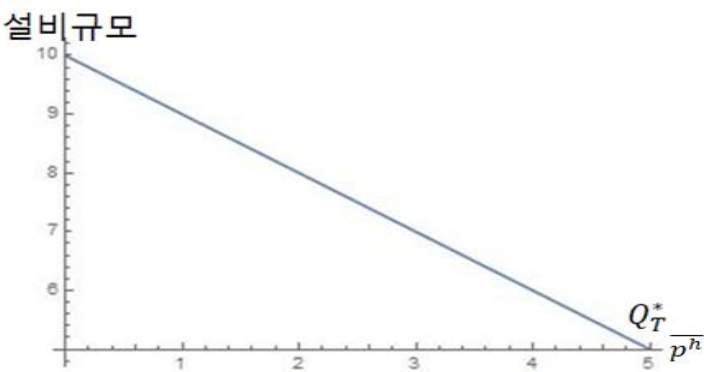


주: 경우 1과 경우 2를 하나의 그래프에 동시에 표시한 것임

[그림 4] 가격상한 수준에 따른 설비별 비용절감량

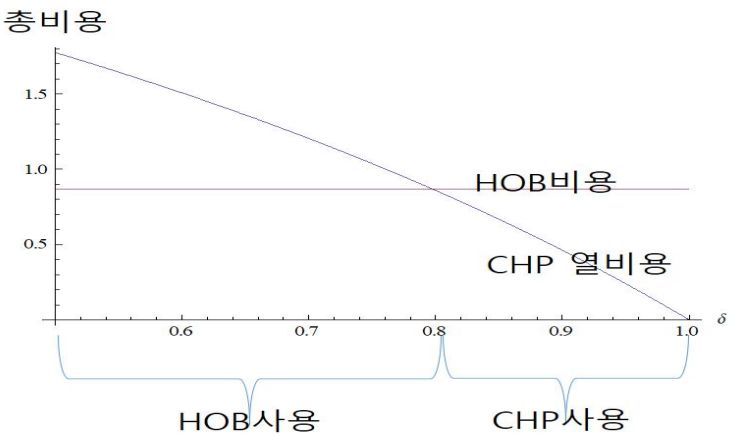


[그림 5] 가격상한 수준에 따른 열생산량



결과 5: CHP 전력에 대한 변동비 보상 비율(δ)이 높으면 CHP의 한계생산 비용 중 열측으로 전가되는 비율이($1 - \delta$) 낮아져 지역난방 기업은 CHP를 통해서만 열을 생산하게 되며 그렇지 않으면 CHP를 통해 열과 전력을 생산하는 것을 포기하고 HOB를 통해 열만 생산하는 것을 선택한다([그림 6]).

[그림 6] CHP 전력의 변동비 보상비율에 따른 열생산 설비
선택($\bar{p}_h = 6$)



한편, 결과 5와 관련해 현실에서는 백업 설비, 개별 설비의 투자비, 가동률, 열 부하의 변동성, 그리고 CHP의 계획발전 포함 빈도수 등 본 모형에서는 반영되지 못한 요소들이 영향을 미침에 따라 CHP 또는 HOB만을 설비로 구성하는 경우는 발생하지 않는다. 따라서 결과 5는 다음과 같이 해석될 필요가 있다. 첫 번째, 전력 도매시장에서 CHP 전력에 대해 변동비 일부를 보상하는 가운데 보상 비율이 높을 경우 CHP의 경제성이 좋아져 지역난방의 CHP의 존도는 더욱 높아질 것이란 점이다. 두 번째, 이를 반대로 해석하면 지역난방 기업의 열원 구성에서 열전용설비의 비중은 감소하는 것으로 이는 비단 HOB만이 아니라 산업 폐열과 같은 미활용 열원에 대한 지역난방 산업의 관심이 줄어드는 것을 의미하기도 한다. 따라서 전력 도매시장에서의 규제 방식이 장기적으로 지역난방 산업의 열원 개발 및 구조에도 영향을 미칠 수 있다는 점을 정책 당국은 심도 있게 고려해야 할 것이다.

2. 시나리오별 결과의 비교

다음으로 시나리오별로 도출된 내쉬균형에서의 열 생산량과 설비별 비용절감 수준을 비교해 보고자 한다. 지역난방 공급자의 전체 비용절감량과 열 생산량은 $X_T = x_{c,T}^* + x_{b,T}^*$, $Q_T = q_{h1,T}^* + q_{h2,T}^*$, $T = b, 1, 2$ 가 될 것이다.

〈표 2〉 시나리오별 규제 조합 및 주요 비교 변수

	열시장	전력시장	CHP 열생산	HOB 열생산	CHP 비용절감	HOB 비용절감
기준모형	자율	자율	$q_{h1,b}^*$	$q_{h2,b}^*$	$x_{c,b}^*$	$x_{b,b}^*$
시나리오1	평균비용	변동비	$q_{h1,1}^*$	$q_{h2,1}^*$	$x_{c,1}^*$	$x_{b,1}^*$
시나리오 2	가격상한	변동비	$q_{h1,2}^*$	$q_{h2,2}^*$	$x_{c,2}^*$	$x_{b,2}^*$

결과 6. 가격상한 $\overline{p_h}$ 이 독점가격보다 낮은 경우 모형별 비용절감은 $X_2 > X_b > X_1$ 관계가 성립하고 총 열 생산량은 $Q_1 > Q_2 > Q_b$ 의 관계가 성립한다.

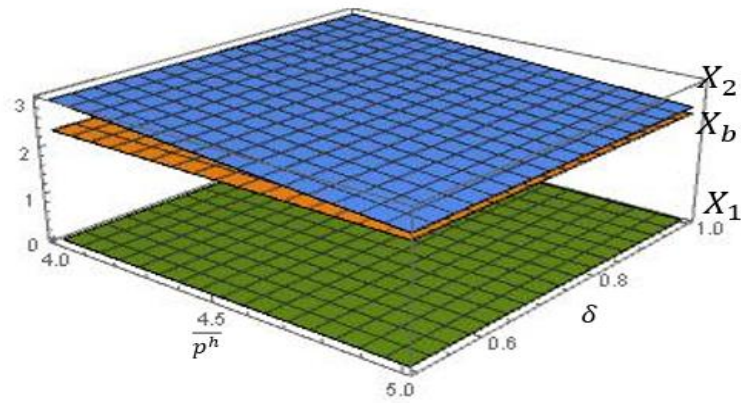
결과 6은 비용절감 유인이 열 요금을 가격상한 방식으로 규제하는 경우 열 시장과 전력 도매시장에서 정부의 규제가 없는 기준모형보다도 높게 나타남을 보여 준다. 열 요금과 CHP 전력을 비용으로 규제하는 경우 비용절감 유인이 가장 낮게 나타나는 것은 기존 연구의 결과와도 일관된 것으로 새로운 부분은 아니다. 여기서는 CHP 전력을 비용으로 보상하더라도 열 요금에 대한 규제를 가격상한 방식으로 전환함으로써 비용절감 유인이 정부 규제가 없는 상황 이상으로 증가할 수 있음을 의미한다. 이는 상한가격이 독점가격보다 낮을 경우 독점기업의 한계수입(marginal revenue)도 감소하므로 비용절감 투자를 통해 한계비용을 줄여 감소한 한계수입과 일치시키는 것이 이윤 극대화를 위한 합리적인 선택이기 때문이다.¹⁵⁾

한편, 열 시장의 소비자 후생을 의미하는 열 생산량은 시나리오 1에서 가장 많으며, 열 시장의 가격상한 규제를 고려한 시나리오 2에서 그 다음으로 높은 열 생산량을 나타냈다. 기준모형에서는 열 시장의 독점가격이 허용되는 상황이므로 가장 낮은 열 생산량을 나타낸다. 이러한 결과를 놓고 볼 때 비용으로 규제하는 것이 소비자 후생 측면에서는 가장 좋은 방식으로 생각할 수도 있다. 하지만 본 분석모형이 한 기간만을 고려한 정태적 모형이라는 점을 감안할 때 기간이 계속 늘어날 경우 시나리오 2에서의 생산비용은 지속적으로 감소하기 때문에 지역난방 기업이 비용보다 높은 요금을 부과한다 하더라도 오히려 시나리오 1에서의 평균비용에 해당하는 요금보다 낮아질 수 있다. 특히, 기업의 이윤 측면까지 고려한다면 전체적인 사회후생도 비용 규제 모형인 시나리오 1에서 보다는 열 요금 가격상한 규제를 적용하는 시나리오 2에서 더 커질 것으로 예상할 수 있다.

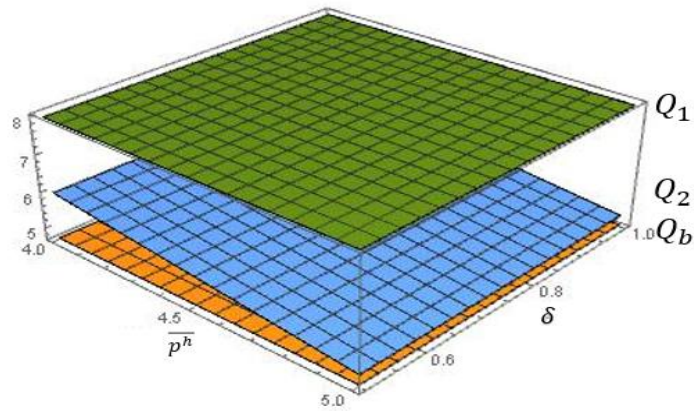
15) 오세진·신동현, 국내 지역난방 제도 개선 연구: 연구개발 투자 제고 방안을 중심으로, 에너지경제연구원 기본연구보고서, 2018, p. 78

지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구

[그림 7] 가격상한과 CHP 효율에 따른 모형별 비용절감 비교



[그림 8] 가격상한과 CHP 효율에 따른 모형별 열생산 비교



IV. 결론 및 토의

비용만을 보상하는 규제와 가격을 제한하는 규제는 자연독점산업의 발전 과정에서 나름대로의 의의를 가질 수 있을 것이다. 산업 형성의 초창기에는 기업에게 수익성보다는 안정성을 보장하고 소비자에게는 낮은 가격을 제공할 수 있는 투자보수를 규제와 같은 비용 규제가 산업의 기반을 다지는 데에는 보다 효과적이었을 수 있다. 하지만 산업이 안정되고 시간이 지나면서 효율적인 구조로 발전해야 할 필요성이 생긴다. 이는 경제가 성장하고 새로운 기술이 발생하면서 산업구조도 변화를 겪게 되며 이 과정에서 새로운 대체 산업의 출현이나 기존에 대체 관계에 있던 타 산업의 발전으로 인해 산업 간 경쟁이 심화되기도 하고, 소비자들의 소비행태 변화에 부응하지 못할 경우 미래 수요의 감소로 인해 도태를 겪을 수도 있기 때문이다.

지역난방 산업 또한 도시가스 산업과 대체 관계에 있으며, 기술이 비약적으로 발전함에 따라 전기를 사용하는 새로운 형태의 난방 수단들도 속속 등장하고 있는 것이 요즘 추세이다. 그럼에도 불구하고 앞서 모형을 통해 분석된 바와 같이 열과 전력 판매에 있어 모두 비용 규제를 받고 있어 비용절감 유인을 찾기가 어려우며 이로 인해 지역난방 산업의 지속적인 발전에도 부정적으로 작용할 수 있다. 최근의 우리나라 지역난방 산업이 겪고 있는 경영 악화 문제도 이와 전혀 무관하다고 볼 수 있는 없을 것이다.

가격상한 규제가 물론 자연독점산업의 만능열쇠는 아니지만 기존 연구 사례들과 본 연구의 결과에서 일관성 있게 말해주는 바와 같이 투자보수를 규제와 같은 비용 규제와 비교해 보다 풍부한 비용절감 유인을 공급한다는 것은 분명해 보인다. 여기에 추가로 본 연구의 결과에서 나타나듯이 가격상한을 적절하게 설정함으로써 규제가 없는 경우보다 더 많은 비용절감 유인을 만들

지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구

수 있다는 것은 정책적인 활용 가치가 높을 수 있음을 의미한다. 물론 적절한 가격상한 수준을 어떻게 산정할 수 있는가에 대한 문제는 남아 있다. 이 때문에 유럽의 여러 지역난방 보급 국가들이 대체난방 비용을 가격상한으로 삼고 있는 것을 잘 관찰할 필요가 있다. 이는 타 산업과의 경쟁을 유도한다는 차원에서 우리나라 지역난방 산업에도 상당히 참고할 만한 것이기 때문이다.

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 오세신 . 2018. 「국내 지역난방 제도 개선 연구: 연구개발 투자 제고 방안을 중심으로」.
에너지경제연구원.
- 최병렬. 2014. 「열병합발전의 열경제학적 비용 배분 기법 연구」. 에너지경제연구원.
- 오세신·마용선, 「유럽의 집단에너지 정책 및 시사점」, 한국에너지학회 추계학술발표회,
2018. 11.
- Averch, H. and Johnson, L., 1962, "Behavior of the Firm under Regulatory Constraint,"
American Economic Review 52: pp. 1053-1069.
- Braeutigam, Ronald R., 1980, "An Analysis of Fully Distributed Cost Pricing in
Regulated Industries," *Bell Journal of Economics* 11: pp. 182-196.
- Braeutigam, Ronald R. and Panzar, John C., 1989, "Diversification Incentives under
Price-Based and Cost-Based Regulation," *The RAND Journal of Economics*, Vol. 20,
No. 3, pp. 373-391.
- Brander, James A. and Spencer, Barbara J., 1988, "Unionized oligopoly and international
trade policy," *Journal of International Economics* 24: pp. 217-234.
- Cabral, Luis M. B. and Riordan, Michael H., 1989, "Incentives for Cost Reduction Under
Price Cap Regulation," *Journal of Regulatory Economics* 1: pp. 93-102.
- Clemenz, Gerhard, 1991, "Optimal Price-Cap Regulation," *The Journal of Industrial
Economics*, Vol. 39, No. 4, pp. 391-408.
- Haaland, Jan I. and Kind, Hans J., 2008, "R&D policies, trade and process innovation,"
Journal of International Economics 74: pp. 170-187.
- Kahn, A. E., 1970, "The Economics of Regulation: Principles," Vol. 1, Wiley: New
York.
- Li, Hailong, Sun Qie, Zhang, Qi, and Wallin, Fedrik, 2015, "A review of the pricing
mechanisms for district heating," *Renewable and Sustainable Energy* 42 : pp 51-65.
- Lin, P, and Zhou, W., 2013, "The effects of competition on the R&D portfolios of

지역난방 시장의 열요금 규제 방식에 따른 공급자의 비용절감 유인 및 소비자 후생 비교 연구

multiproduct firms,” *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 31, No. 1, pp. 83-91.

Liston, Catherine, 1993, “Price-Cap versus Rate-of-Return Regulation,” *Journal of Regulatory Economics* 5: pp. 25-48.

Pindyck, R. and Rubinfeld, D., 1992, “Microeconomics,” 2nd. Edition, New York: McMillan.

Wissner, Matthias, 2014, “Regulation of district-heating systems,” *Utilities Policy* 31: pp. 63-73.

Sibley, David, 1989, “Asymmetric Information, Incentives and Price-Cap Regulation,” *The RAND Journal of Economics*, Vol. 20, No. 3, pp. 392-404.

ABSTRACT

Comparative Analysis on Cost Reduction
Incentives and Consumer Surpluses by Heat
Pricing Regulation in District Heating Market

Saesin Oh* and Sang-Kee Kim**

While lots of studies on regulations of rate-of-return and price-capping for regulating monopoly markets exists, there is little literature on analysing the effects of regulation in district heating market which has the distinct characteristics compared with other energy markets such as electricity and city gas markets. This study is focused on comparatively analysing impacts of various heat pricing regulations on incentives to reduce production costs and consumer surplus in district heating market in which most district heating companies sell heat and electricity to separate markets that are different to each other in terms of competition. It concludes that the incentives under price-capping are higher than not only under rate-of-return but also under no regulation.

Key Words : district heating, natural monopoly, heat pricing regulating,
price capping

* Research Fellow, Korea Energy Economics Institute(main author).
ssoh@keei.re.kr

** Assistant Professor, Department of International Business, Chungbuk
National University(corresponding author). abekim@chungbuk.ac.kr