

전력시장에서의 용량가치 보상 메커니즘 연구

장대철, 안병훈 / KAIST 테크노경영대학원

서울특별시 동대문구 청량리동 207-43

논문초록

전력산업의 구조개편에서 발전사업자에게 용량가치를 보상해 주는 것은 현물시장에서 발전용량을 줄임으로써 가격 상승을 유도하여 수익을 높이는 등의 전략적 행동을 줄임과 동시에 발전회사의 단기적인 이윤 추구 및 경쟁에 의해서 저해될 수 있는 장기적인 투자를 유도하기 위한 것이다.

이 논문에서는 용량가치 보상 메커니즘을 용량가격이 생산량에 따라 변화하는 부분과 변화하지 않는 부분으로 나누고 대칭적인 복잡시장 상황을 상정하여, 수요특성과 시장의 경쟁정도 및 소비자 잉여의 중요성 등에 따라서 용량가치 보상 메커니즘이 사회후생에 어떤 영향을 미치는지에 대해서 분석하였다.

결과적으로, 용량가치 보상에 의해서 사회후생이 증가할 수 있으며, 소비자 잉여를 중시할수록 용량가격이 생산량에 따라 변화하는 메커니즘이 효과적이고, 경쟁 형태 및 정도에 따라서 용량가치 보상 메커니즘의 형태가 달라져야 함을 보였다.

제 1 장 서론

전력산업은 다른 산업과는 다르게 실시간으로 수요와 공급이 반드시 일치해야 하며 수요가 공급을 초과해서 발생하는 사회적 비용이 공급이 수요를 초과해서 발생하는 사회적 비용보다 크다는 것이 일반적으로 알려져 있다. 그리고 전력은 보편적 서비스이므로 독점력을 행사함에 의한 피해가 다른 산업에 비해서 크다고 할 수 있다.

전력산업의 구조개편 및 민영화를 먼저 실시한 여러 나라들에서 발전사업자의 전략적 행동에 의한 가격 상승 가능성이 제기되고 있으며(Chloé Le Coq, 2002; Wolak and Patrick, 2001;

김남일, 2002), 한편으로는 단기적인 이윤 추구 및 경쟁에 의한 장기적인 투자의 감소가 나타날 수 있다는 주장이 제기되었다(이승훈, 2000).

에너지경제연구원 연구보고서(2001)에 따르면, 용량가치를 결정하는 방식은 용량시장제도, 용량요금, 가격 스파이크의 세가지로 나누어진다.

용량시장제도는 미국의 PJM 에서 시행되고 있는 것으로 전력구매자가 전력구입량의 일정비율 만큼의 용량을 추가로 구입하는 것으로 이것을 지키지 않을 때에는 전력구매자에게 벌금이 부과된다. 이러한 용량시장제도는 수요곡선이 벌금수준까지는 완전비탄력적(수직선) 이어서 시장지배력 문제가 발생할 소지가 있다.

용량요금은 발전사업자가 고정비용을 회수할 수 있는 메커니즘을 갖게 되므로 투자 촉진 요인이 있지만, 영국의 NETA 이전의 체제에서 용량요금 결정 방식을 고려하는 경우에 공급지장확률을 높이기 위해 시장에서 전략적으로 발전설비를 퇴장 시킬 가능성이 있다.

가격 스파이크는 효율적인 가격신호를 제공할 수 있지만, 가격 변동폭이 커서 위험이 높고 시장지배력 행사가 용이해진다.

국내에서도 미국의 PJM 방식의 용량시장제도(Capacity Credit Market)를 도입하려는 움직임이 있다. 이러한 상황에서 용량가치를 어떻게 보상하는 것이 바람직한가에 대한 필요성이 제기된다.

제 2 장 연구 모형 및 분석

이 논문에서는 정태적인 2 기 모형을 도입하였다. 1 기에서는 정책담당자가 용량가치 보상 메커니즘을 결정하고 2 기에서는 대칭적인 복잡 시장에서 기업 1 과 기업 2 가 생산량 경

쟁을 벌이게 된다. 이 논문에서 생산량은 발전설비용량과 같은 의미로 사용된다.

1 기에서 정책 결정자가 용량가격을 결정하는 요소인 기율기(e)와 절편(f)을 결정하게 되고 이에 따라 기업 1 이 받게 되는 총 용량가치 보상 금액(CP)은 다음과 같다. 이 때 q_1 은 기업 1 의 생산량이고, p_c 는 '용량가격', e 는 용량가격에서 생산량에 비례하는 부분으로 '용량가격의 기율기', f 는 생산량에 비례하지 않는 고정적인 부분으로 '용량가격의 절편' 이라고 부르기로 하자.

$$CP(q_1) = p_c \cdot q_1 = (e \cdot q_1 + f) \cdot q_1$$

정책결정자는 사회 후생을 극대화하고자 한다. 사회후생은 소비자 잉여와 기업의 이윤으로 구성된다.

$$\text{Max}_{e,f} \left(\frac{1}{2} (a - p^*(e, f)) \cdot 2 \cdot q_1^*(e, f) - 2 \cdot CP(q_1^*(e, f)) \right) + 2 \cdot ((p^*(e, f) - c_1) q_1^*(e, f) + CP(q_1^*(e, f)))$$

1 기에서는 2 기에서의 가정과 함께 다음의 가정을 추가적으로 만족시켜야 한다.

$$f \geq \frac{(a - c_1)(1 + b\alpha)(b - e)}{(1 + b\alpha)(b - e) + b}$$

2 기에서 기업 1 의 문제를 살펴보자. 대칭적인 상황이므로 기업 2 의 경우도 유사하게 설정할 수 있다. 기업 1 은 다음의 식을 극대화하게 된다.

$$\text{Max}_{q_1} p \cdot q_1 - C(q_1) + CP(q_1, e^*, f^*)$$

수요함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p = a - b \cdot (q_1 + q_2(p))$$

기업 2(상대방)의 공급함수는 다음과 같다.

$$q_2(p) = \alpha \cdot (p - p^e) + q_2^e$$

이 때 p 는 현물시장의 전력가격이다. 기업 2 의 공급함수는 Day, Hobbs and Pang(2002) 가 제안한 **conjectured supply function** 을 적용한 것이고 α 는 경쟁을 표현하는 모수로 $\alpha=0$ 이면 쿠르노 경쟁을, $\alpha=\infty$ 면 버트란드 경쟁을 의미한다. p^e 와 $q_2^e(q_1^e)$ 는 각각 예상되는 현물시장 전력가격과 기업 2(기업 2 의 문제에서는 기업 1)의 예상 생산량을 의미한다. 균형에서 $p^* = p^e$ 이고, $q_2^* = q_2^e(q_1^* = q_1^e)$ 가 된다. 이러한 접근 방법은 Fulfilled Expectations Equilibrium 의 개념을 이용한 것이다.

비용함수는 다음과 같다.

$$C(q_1) = c_1 \cdot q_1$$

변수와 모수들은 다음의 가정을 만족한다.

$$a \geq 0, \quad b > 0, \quad \alpha \geq 0, \quad c_1 = c_2 \geq 0,$$

$$q_1, q_2, p \geq 0, \quad a > c_1,$$

$$b \geq e \cdot (1 + b \cdot \alpha), \quad c_1 - a \leq f,$$

$$f \leq c_1 - a + \frac{a \cdot \{b + 2 \cdot (1 + b\alpha) \cdot (b - e)\}}{2 \cdot b \cdot (1 + b\alpha)}$$

후방 귀납법(backward induction)으로 게임의 해를 구한다. 2 기에서 현물시장 균형 전력가격과 기업들의 균형 생산량을 구하면 다음과 같다.

$$q_1^* = \frac{(a - c_1 + f) \cdot (1 + b \cdot \alpha)}{-2 \cdot e + 2 \cdot b^2 \cdot \alpha + b \cdot (3 - 2 \cdot e \cdot \alpha)} = q_2^*$$

$$p^* = \frac{a\{2e(1 + b\alpha) - b\} + 2b(f - c_1)(1 + b\alpha)}{\{2 \cdot e \cdot (1 + b \cdot \alpha) - 3 \cdot b - 2 \cdot b^2 \cdot \alpha\}}$$

2 기에서 구한 결과를 활용하여 1 기에서 정책 의사 결정의 최적해를 구하면 다음과 같다.

$$\left\{ (e^*, f^*) \in R^2 : \frac{-b^2\alpha}{1+b\alpha} \leq e^* \leq \frac{b}{1+b\alpha}, \right. \\ \left. f^* = \frac{(c_1-a)}{2} \left(\frac{2e^*}{b} - \frac{1}{1+b\alpha} \right) \right\}$$

최적 균형 상태에서의 전력 현물 시장 가격은 c_1 으로 한계비용과 같고, 기업 1의 생산량은 $\frac{a-c_1}{2b}$ 이다. 기업 1의 이윤은 $-\frac{(a-c_1)^2(e^*+b(e^*\alpha-1))}{4b^2(1+b\alpha)}$ 로 총 용량 보상액과 동일하게 된다. 소비자 잉여는 $\frac{(a-c_1)^2(e^*+b\alpha(e^*+b))}{2b^2(1+b\alpha)}$ 이고 사회후생은 $\frac{(a-c_1)^2}{2b}$ 이다.

[결과 1] 최적의 용량 가치 보상에 의해서 용량가치를 보상하지 않는 경우보다 사회후생이 증가하게 된다. 즉, 항상 다음의 조건이 만족된다.

$$SW_{e=0, f=0} \leq SW_{e^*, f^*}$$

[결과 2] 최적의 용량 가치 보상 방식에 의해서 현물시장 전력가격은 기업의 전력 한계 비용과 같아지게 된다. 즉, 다음의 조건이 만족된다.

$$p_{e^*, f^*}^* = c_1$$

용량가치에 대해서 보상하지 않는 경우와 비교하면, 용량가치를 보상할 때, 현물시장 전력가격은 보상하지 않을 때보다 낮고 ($p_{e=0, f=0}^* > c_1 = p_{e^*, f^*}^*$), 생산량은 더 커지게 된다 ($q_{e^*, f^*}^* > q_{e=0, f=0}^*$).

[결과 3] 소비자 잉여를 중요시할수록 용량가격의 기울기(e)를 증가시키는 것이 효과적인 정책 수단이 된다. 즉, 최적해에서 사회후생

이 동일한 용량가격의 기울기(e)와 용량가격의 절편(f)의 조합이 무한히 존재하는데 용량가격의 기울기(e)가 증가할수록 소비자에게 더욱 유리하게 되고 용량가격의 기울기가 다음과 같을 때 소비자 잉여가 최대가 된다.

$$e^* = \frac{b}{1+b\alpha}$$

그러므로 이 경우 기업의 이윤은 최소가 된다. 영국의 NETA 이전의 용량가치 보상 방식과 같이 용량가격의 기울기(e)가 음수인 경우에는 소비자 잉여가 매우 낮을 가능성이 높기 때문에 영국에서와 같이 제도의 개선 압력이 발생할 것이라고 생각한다. 그리고 PJM 뿐만 아니라 한국의 경우에도 이 모형에서는 $e=0$ 인 경우로 파악될 수 있으므로 소비자 잉여를 중시한다면 용량가격의 기울기(e)를 증가시키고 용량가격의 절편(f)을 감소시키는 정책을 도입하는 것이 바람직하다고 생각된다.

[결과 4] 현물시장의 전력가격과 용량가격의 합을 전체 전력가격이라고 할 때, 전체 전력가격의 상승이 반드시 사회후생의 하락을 의미하지는 않는다. 즉, 생산량을 고려하지 않고 전체 전력가격만을 구조개편 성과의 지표로 삼는 것을 주의해야 한다.

$$p_{e=0, f=0}^{total} - p_{e^*, f^*}^{total} = \frac{(a-c_1)(3e+2b^2e\alpha^2+b(5e\alpha-1))}{2b(3+2b\alpha)(1+b\alpha)} \\ - \frac{(a-c_1)(1+2b\alpha)}{6+4b\alpha} \leq p_{e=0, f=0}^{total} - p_{e^*, f^*}^{total} \leq \frac{(a-c_1)}{3+2b\alpha}$$

[결과 5] 쿠르노(Cournot) 경쟁인 경우 ($\alpha=0$), $e \geq 0$ 이고 버트란드(Bertrand) 경쟁인 경우 ($\alpha=\infty$)인 경우에 $e \leq 0$ 이다. 즉, 경쟁 정도에 따라서 값의 크기 뿐만 아니라 부호도 중요한 결정 요소이다. 전력시장의 경우 중장기적으로 보았을 때 쿠르노 경쟁을 하고 있다고 생각할 수 있으므로 용량가격의 기울기를 양의 값으로 하는 것이 바람직할 것이다.

[결과 6] 경쟁이 강할수록(α 가 커질수록) 용

량가격의 절편(f)은 감소하게 된다. 이것은 경쟁이 심한 경우 고정적인 용량 가치 보상은 줄이는 것이 바람직하다는 것을 뜻한다.

$$\frac{\partial f^*}{\partial \alpha} < 0$$

[결과 7] 한계비용에 따라서 용량가격을 다르게 설정하는 것이 효과적이다. 아래의 두 가지 조건을 동시에 만족하는 경우에 대해서 최적의 용량가격 절편(f)을 한계비용(c_1)보다 높게 선택하는 것이 사회후생 관점에서 바람직한 경우가 존재하게 되는데, 이것은 한계비용이 일정 수준보다 낮은 경우 용량요금- $e=0$ 인 경우를 뜻하고 용량가격의 절편만을 의미함-이 한계비용보다 높게 책정되어야 함을 의미한다. 한국의 경우 한계비용이 낮은 기저부하에 대해서 높은 용량가격(33.0 원/kwh)을 적용하고 비기저부하에 대해서는 낮은 용량가격(7.17 원/kwh)을 적용하고 있음을 볼 수 있다.

$$e = 0, \quad \frac{a(1+2ab)}{(3+4b\alpha)} > c_1$$

제 3 장 결론

결론적으로 용량가치를 보상함에 따라서 현물시장 전력가격이 낮아지고 전력생산량이 많아져서 사회후생이 증가함을 알 수 있다. 또한 최적의 용량가치 보상 메커니즘에 의해서 현물시장의 전력가격은 한계비용으로 책정되어 기업의 비용 정보가 자발적으로 공개되는 결과를 가져오게 된다.

이와 함께 소비자에 대한 중요성에 따라서 용량가치 보상 메커니즘이 바뀌게 됨을 알 수 있다. 즉, 용량가격의 기울기(e)를 크게 할 수록 소비자에게 유리한 정책이 된다. 전력산업에서의 규제 및 제도는 기업보다는 소비자 위주의 정책을 펴는 경우가 많으며 전력산업의 구조가 중장기적으로는 쿠르노 경쟁의 형태를 띠기 때문에 기존의 제도에서처럼 용량

가격의 기울기를 0 이나 음의 값으로 하는 것보다 양의 값을 가지게 하는 것이 효과적일 수 있음을 보였다.

추가적인 연구 방향으로서는 동태적인 모형으로의 확장과 다양한 비용 함수 형태의 적용, 그리고 전력시장 가격 설정 규칙을 pay-as-SMP 에서 pay-as-bid 으로 변화하는 것 등이 있겠다.

참고문헌

1. Chloé Le Coq, "Strategic Use of Available Capacity in the Electricity Spot Market," SSE/EFI Working Paper Series in Economics and Finance No. 496, April 24, 2002
2. Frank A. Wolak and Robert H. Patrick, "The Impact of Market Rules and Market Structure on the Price Determination Process in the England and Wales Electricity Market," Working Paper, 2001
3. 김남일, "경쟁적 전력시장에서의 입찰균형가격 예측을 위한 이론적 모델과 실증분석," 에너지경제연구원 기본연구보고서, 2002
4. 이승훈, "전력산업구조개편모형과 전력거래시장," 한국경제학회 정기학술대회, 2000.2
5. 에너지경제연구원, "경쟁적 전력시장에서의 정부의 역할: 전략적 행동과 규제," 연구보고서, 2001.8