



미국 원전의 경쟁력 향상과 높은 이용률

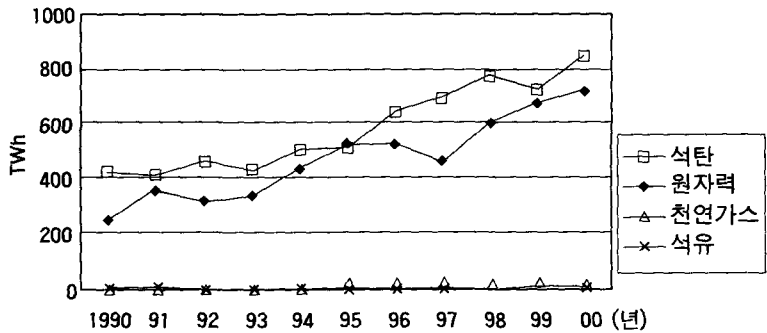
이토오 다케시 *

일본 (재)전력중앙연구소 원자력정보센터

전력 시장 자유화에서의 원자력

2001년 현재 미국의 약 1/3에 해당되는 주에서는 전력 소매 시장의 규제 완화(자유화)가 도입되었다. 이들 주에는 전기 요금이 높은 북동부와 캘리포니아주도 있고 미국 내에서 전기 요금이 높은 지역과 거의 대부분 겹쳐져 있다. 이것은 규제측이 전기 요금의 인하를 유도할 목적으로, 기존의 전력 회사에 의한 시장으로의 지배력 완화를 경쟁 원리의 도입에 의해 달성하고자 하였던 것이라고 판단된다.

2001년 단계적으로 규제 완화가 도입되었던 17개 주 및 워싱턴 특별주에는 미국의 과반수인 52기의 원자력발전소가 가동되고 있다. 발전소 사업자는 규제 완화가 도입되었을 때 사업 존속에 대한 심각한 위기감을 갖게 됨에 따라 원자력발



(그림1) 미국의 전원별 발전 전력량(설비 이용률 70% 이상의 발전소)

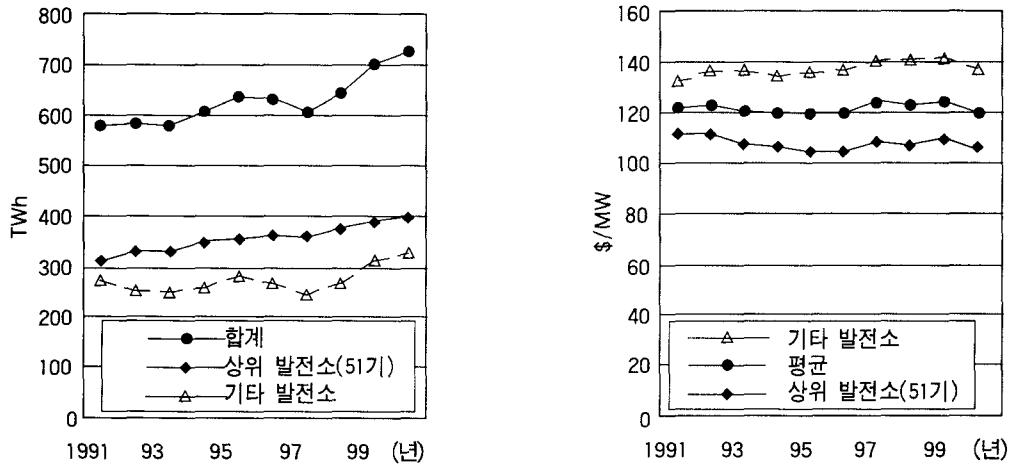
전소의 경쟁력 향상을 위해 경비 절감에 노력을 다하였다.

그 결과, 캘리포니아주의 Diablo Canyon 발전소(112.4만 kW, PWR 2기)에서는 1997년의 경우 계약 직원을 포함한 약 1,850명의 종업원을 불과 1년만에 약 1,300명 정도까지 감축시키는 상황도 나타났다.

그러나 실제로 규제 완화 도입 이

후, 규제 당국의 기대와는 달리 전력 공급의 중요한 부분을 담당하는 기저 부하에는 신규 참여자는 거의 없는 것으로 보인다. (그림 1)은 설비 이용률 70% 이상의 발전소에 대한 전원별 발전 수요를 나타내고 있다. 실제로 기저 부하로서 석탄과 원자력이 전력 공급을 담당하고 있고, 신규 공급원으로서 기대된 경제성이 높은 천연 가스는 활용되고 있

* 伊藤 武



〈그림 2〉 미국의 발전 전력량과 생산 단가(O&M비와 연료비)

지 않았다.

미국 내에서는 전력 자유화 추세를 따르는 분위기 속에 1999년에 약 1,400만kW의 독립 발전 사업자(IPP) 발전소(대부분 천연 가스 발전)가 건설되었다. 그러나 이들은 수익률이 높은(실제로 위험성도 높음) 피크용 발전이 대부분이었다고 생각한다.

2000년에 발생하였던 캘리포니아주의 전력 위기는 천연 가스 공급력의 부족에 따른 가스 가격의 급상승 때문에 발전 단가가 급등하여 전기 요금까지도 상회함으로써 천연 가스 발전이 정지되는 사태에 이르게 된 것이었다. 이 사실은 천연 가스 발전은 연료 시장의 영향을 받기 쉽고 발전용으로는 공급력이 취약하다는 것을 나타내고 있다고 하

겠다.

한편 초기 거액의 투자 비용과 건설 기간을 필요로 하는 석탄 화력이나 원자력의 신설은 추진되지 않았고, 환경에 위해성이 높은 노후된 석탄 화력은 폐기되고 있다. 이 때문에 신규 사업자는 출연하지 않고 기존의 사업자도 감소되는 결과가 발생하여 정책 당국의 의도와는 반대되는 비경쟁적인 환경이 나타나게 되었다.

이와 같은 환경은 기존의 사업자에 유리하게 작용하였고, 특히 경쟁 시장을 목표로 한 경비 절감을 추진하였던 원자력 사업자는 보다 커다란 이익을 얻는 것이 가능해졌다.

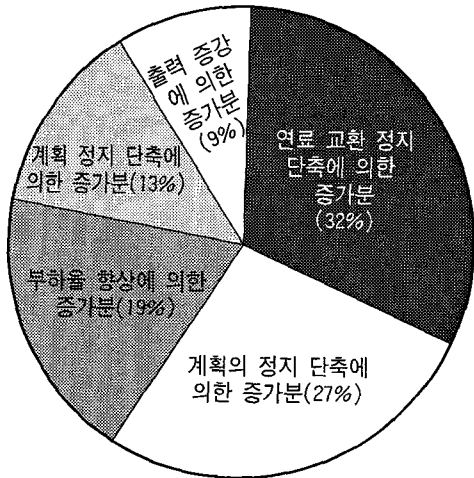
이와 같은 사태에 대해 미국 정부에서는 「국가 에너지 정책」, 「2010년까지 미국에서의 신규 원자력발

전을 추진하기 위한 로드맵」 등 새로운 정책을 발표하였다. 이 가운데 특히 다음 사항이 주목할 점이라 생각한다.

- 대규모 투자를 필요로 하는 천연 가스 파이프 라인 신설을 위한 정책 유도
- 장기적인 투자의 위험성을 낮추며, 원자력 신규 건설의 투자를 촉구하는 지원책
- 기존의 원자력 이용 확대를 위한 지원책

이상의 정책에서는 미국의 기저 부하 발전의 건전한 발전을 위해서는 정책 유도가 필요하다는 것을 나타내고 있다. 이것은 다시 말하면 기저 부하 발전은 완전 자유화에는 적합하지 않다는 것을 의미한다.

또한 동시에 원자력을 포함한 신



1991년과 비교된
2000년 발전 전력량
증가량 86.9TWh
(28% 증가)

〈그림 3〉 미국 발전소(51기)의 발전 전력량 증가 요인

규 사업자가 등장하기까지는 기존의 원자력 발전 이용 확대로 가져 부하 발전을 유지한다는 정책을 나타내고 있다고 생각한다.

원자력 발전의 경쟁력 향상

UDI(Utility Data Institute) 자료에 따르면 미국의 생산 단가(O&M비와 연료비)는 1991년의 2.15센트/kWh에서 2000년의 1.76센트/kWh까지 일관되게 낮아지는 추세에 있다.

이와 같은 저하를 발전 전력량과 단가 지출로 나눠보아도 지출은 약 120달러/kWh로 일정한 반면에 발전 전력량은 현저하게 늘어나고 있어 발전 전력량의 증가가 단가 저감

에 기여하고 있음을 알 수 있다(〈그림 2〉 참조). 이와 같은 발전 전력량의 증가를 요인별로 살펴보면, 일본의 정기 검사에 해당하는 연료 교체 정지 기간의 단축, 계획외 정지의 단축(고장 감소) 등이 크게 기여하고 있는 것을 알 수 있다(〈그림 3〉 참조).

발전 전력량 증가의 가장 커다란 요인으로 되어 있는 연료 교체 정지 기간 단축은 연료 교체 정지 시간의 단축과 연료 교체 사이클의 장기화 효과에 의존하고 있다.

이와 관련된 추이를 살펴보면 정지 시간은 1991년의 72일에서 2000년의 40일로, 연료 교체 정지를 포함한 연료 사이클은 1991년의 15개월에서 2000년의 17.4개월로

각각 개선되고 있다. 이와 같은 상황은 더욱 발전되어 현재 전형적인 발전소의 연료교체 정지 주기는 18~24개월이며 대표적인 정지 기간 목표는 20~30일로 되고 있다. 이 가운데 연료 교체 정지 시간의 단축에 대해서는 주로 On-line Maintenance(운전중 보수) 방식의 도입 영향이 크다고 하겠다.

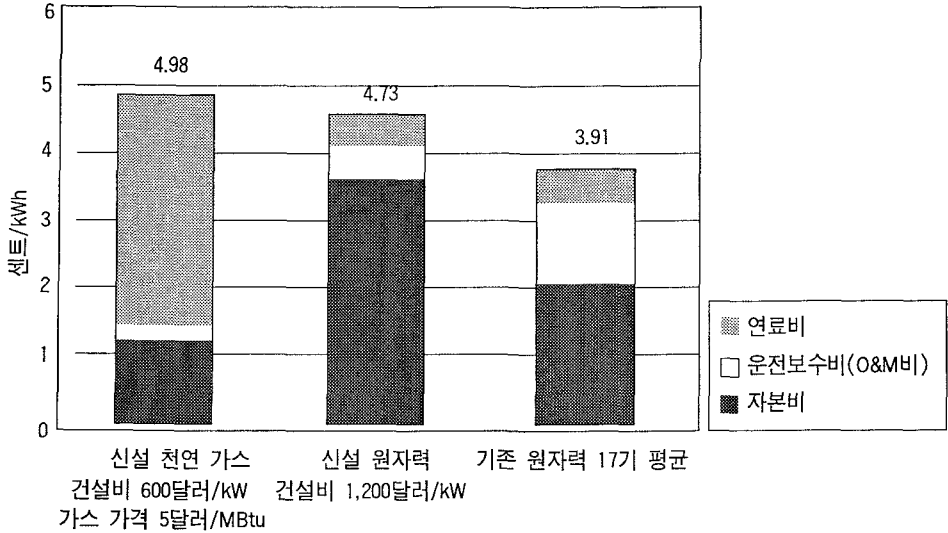
전력중앙연구소에서 입수한 미국 3개 발전소의 On-line 작업을 실태를 보면, 실제로 70% 이상의 작업을 On-line에서 시행되고 있다. 이와 같은 On-line Maintenance에 있어서 리스크를 고려한 보수가 적극적으로 활용되었다.

그 결과 정지시에 실시하였던 예방 보수의 많은 부분을 운전중에 시행되었다. 또한 운전중의 보수 작업이 가능하기 위해 발전소의 보안 규정인 Tech. Spec.도 편경하였다.

On-line Maintenance에서 활용된 리스크를 고려한 보수는 1980년대부터 1990년대에 걸쳐서 보수의 향상을 목표로 실시한 미국 원자력규제위원회(NRC)와 산업계간에 협의한 성과였다.

이에 기초하여 새로운 리스크를 고려한 보수 규칙을 완성되었고, 원자력발전소에서는 안전성뿐만 아니라 신뢰성의 리스크를 고려한 설비 보수가 도입되었다.

이 신뢰성이란 것은 운전의 유지를 의미하며, 신뢰성의 향상이란 것



〈그림 4〉 미국의 발전 총단가 비교(원자력 대비 신규 천연 가스)

은 어떤 기기의 고장에 따른 출력 저하를 방지하는 것을 의미하고 있다.

그 결과, 예를 들어 지금까지 시행되고 있던 분해 점검과 조립시에 발생하는 Human error의 리스크를 회피하기 위해, 필요에 대응한 예방 보수(Predictive Maintenance) 등으로 바뀌었다. 이와 같은 보수 수법의 향상이 계획의 정지의 단축(고장 감소)을 가져왔다고 생각한다.

이와 같은 운전 보수의 개선은 원자력발전소의 경쟁력 향상으로 이어져 기존의 발전소는 당면한 경쟁 상대인 신규 천연 가스 발전소에 대한 단가 측면에서 우위를 차지하게 되었다. 이 때문에 미국에서는 출력

증강과 운전 허가 연장 등 원자력의 이용 확대가 증진되었고 더욱이 신규 원자력발전소 설치까지 검토하게 되었다.

미국 에너지성(DOE)의 보고서에 게재되어 있는 미국 원자력 에너지 협회(NEI)의 경제성 평가 모델에 의해 산출된 총발전 단가의 비교 사례는 〈그림 4〉와 같다. 이와 같은 계산 결과는 이후에 설명하는 NPV 평가에 의거하여 산출된 것이다. 또한 아울러 전력중앙연구소에서 입수한 미국 17기의 2000년도 총단가를 함께 표시하였다.

이와 같은 평가 결과를 기초하여 관련 업계의 협의체인 NEI는 건설비가 1,200달러/kW 이하로 있다면 신규 발전소로서도 원자력 발전

은 경제성을 갖고 있음을 주장하고 신설을 위한 테스트포스를 업계 차원에서 결성하고 있다.

DOE의 보고서가 목표하고 있는 2010년에 실제로 신규 발전소가 건설되는지에 대해서는 논의가 분분하지만 미국에서는 원자력 발전이 경쟁력을 향상시킨 결과 미래의 저 부하용 전원으로서 유력한 옵션으로 자리매김하였다는 것을 의심하지 않고 있다.

원자력 발전의 수익성과 높은 가동률

지금까지 서술한 바와 같이 미국 원자력발전소의 경쟁력 향상은 발전 전력량의 증가, 바꿔 말하면 가동률(설비 이용률)의 상승에 의해



달성되었다. 1991년에 70.2%이었던 설비 이용률은 2000년에는 89.6%에 이르렀다. 이와 같은 높은 설비 이용률과 수익성이 어떤 연관성이 있는지 알아본다.

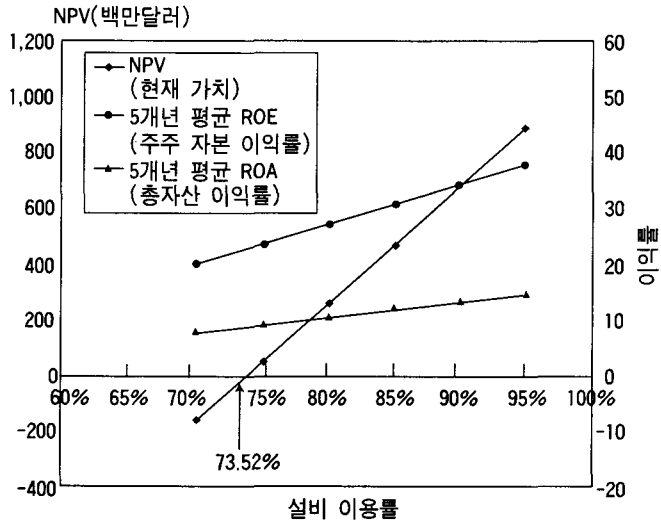
미국에서도 전력 시장의 자유화가 시작되기까지는 일본과 마찬가지로 발전 단가의 저감이 경영자에게 주어진 경영 과제였다. 그러나 자유화 이후에는 얼마만큼의 수익성이 있으며 투자 대상으로서 매력을 갖고 있는가가 중요하였다.

이 때문에 자유화가 도입된 주의 원자력 발전 회사는 일제히 소유하고 있는 원자력발전소의 가치 평가를 실시하여 각각의 경영 방침을 정하게 되었다.

특히 미국 북동부에 위치한 코네티컷주의 경우와 같이 원자력발전소가 법률에 의해 강제적으로 매각되었던 주에서는 매각·구입에 있어 가치 평가가 불가피하였으며 경영상의 가장 중요한 과제였다.

이와 같은 가치 평가에 있어 DCF 수법(Discounted Cash Flow Method)을 이용한 NPV 평가(Net Present Value)가 미국의 원자력 발전 회사에서 많이 이용되었다.

이 평가 수법은 미래에 얻게 되는 현금의 가치를 현재의 가치로 환산(할인)하여 평가(현재 평가)함으로써 투자액을 제외한 투자 가치를 판단하는 것이다.



〈그림 5〉 신규 원자력발전소의 NPV 평가 사례

이와 같은 NPV 평가에 의거하여 설비 이용률은 어떻게 작용하는가에 대해 전력중앙연구소 원자력정보센터에서 개발한 NPV 모델에 따라 계산되었다. 이 계산에서는 NEI에서 경제성이 있다고 하는 건설비 1,200달러/kW의 경우를 이용하였으며 주요 계산 조건은 다음과 같이 하였다.

- 135만kW 1기, 건설비 1,200달러/kW (투자액 16.2억 달러), 40년 운전
- 전기 가격 6센트/kWh, 추가 설비 공사비 1,200만 달러/년
- 할인율 10%, 물가 상승률 1.7%, 감가 상각 40년의 정액법
- 장기 부채 이자율 2.5%, 주주

자본 비율 40%

〈그림 5〉의 경우에서, 2000년의 평균 가동률이 거의 90%에 있다면 수익성(NPV)는 6.8억 달러, 5년 평균의 ROE로서는 30% 이상으로 높은 수익이 기대된다. 한편 73.52% 미만의 설비 이용률에서는 수익성이 마이너스로 됨을 알 수 있다.

즉 다시 말해 설비 이용률은 전기 가격이나 할인을 등에 이어 원자력발전소의 투자가치나 수익성에 영향을 미치는 매개 변수인 것이다.

고정비 부분이 큰 원자력발전소에서는 설비 이용률 몇 %의 차이가 커다란 수익성의 차이로 나타나고 있다. 이 계산의 경우는 신규의 경우이지만, 기존의 발전소의 경우는

전기 가격, 할인율은 사업자의 노력에 의한 개선의 여지가 한정되어 있기 때문에 설비 이용률의 상승이 무엇보다도 수익성 향상에 관계된다고 생각된다.

실제로 미국의 원자력발전소에 있어 설비 이용률의 향상이 수익성의 원동력이 되고 있다.

앞으로도 미국의 설비 이용률 향상이 예상되는가의 의문에 대해서는, 계속적인 노력은 추진되겠지만 대폭적인 향상은 어렵지 않겠는가의 답변이 가장 정확할 것으로 생각한다.

이 경우 어떤 것에 의해 원자력 발전 기업으로서의 투자 가치가 유지되는가 하는 의문에 대해 미국의 원자력 기업은 규모의 경제성 추구(매수, 합병·통합)로 기울어지고 있다. 다시 말해 설비 이용률의 향상에서 다음 단계로의 모색이 추진되고 있다.

이에 대해 일본의 설비 이용률은 아직 미국보다 낮기 때문에 일본 원자력 발전의 수익성은 향상의 여지가 아직 있다는 것을 나타내고 있다.

결론

유가 증권 보고서에 근거한 일본 원자력발전소의 2000년 총단가는 7.54엔/kWh로 이것은 지금 시점의 환율이 1달러=111.3엔임에 따라

6.78센트/kWh로 환산된다. 한편 미국 17기의 총단가는 3.91센트/kWh로 일본과 미국간에는 아직까지 커다란 차이가 있다. 이 차이는 주로 설비 이용률의 차이와 채택하고 있는 연료 사이클 정책의 상이함에 의해 발생되고 있다.

설비 이용률에 대해서는 앞서 서술한 바와 같이 설비 이용률의 향상을 가능하게 제도가 도입되어 있다. 또한 미국에서는 사용후 연료를 직접 처분하는 정책을 채택하고 있는데, 그 처분 비용은 국가가 전기 요금에서 0.1센트/kWh 걷는 것으로 마련하고 있으며 국가가 최종 처분의 책임을 갖고 있다.

이와 같은 제도적인 배경에 의해 미국 원자력 발전의 경쟁력은 확보되어지고 있다. 그러나 경쟁력을 확보하는 것만으로는 자유화 시장으로 신규 참여를 유도할 수 없다.

투자의 위험성에 상응한 수익이 회수되지 않으면 안된다. 원자력 발전을 포함한 현행의 기저 부하 발전은 장기적인 투자 위험성이라는 문제를 갖고 있다. 이 해결을 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.

- 투자에 대한 인센티브를 높일 때까지 전기 가격의 상승을 용인함
- 지원 정책의 도입에 의한 위험성을 완화시킴.

미국에서는 자유화 초기에 전기 요금이 일시적으로 상승하였지만, 신규 사업자의 증가에 의해 가격이

정해질 것으로 전망했었다. 그런데 신규 참여가 기대되었던 천연 가스는 기저 부하 시장으로 향하지 않아 더욱 인프라 정비가 필요하다는 것이 명확해졌다.

현재 미국에서는 원자력에 대한 지원 정책(감가 상각 제도의 재검토, 투자에 대한 세제 우대 조치, 공격 저금리 용자, 오염 가스 비발생 전원에 대한 우대 조치, 장기 전력 구입 계약의 촉진 등)이 검토되고 있다. 이것은 투자의 위험성 경감(위험성 완화)과도 다르지 않다.

일본에 있어서도 전력 시장의 자유화가 검토되고 있으며, 이런 가운데 선행된 미국의 사례는 시사하는 부분이 많다. 원자력 발전을 자유화의 대상으로 생각하는 경우, 현행의 발전소 경쟁력 향상을 가능하게 하는 제도적인 보완이 중요하다. 그러나 기존 발전소의 경쟁력을 향상시키는 것으로는 충분하지 않고, 다음 단계로서 신규 발전소에 대한 투자를 촉진하는 정책적인 지원 대책의 도입이 요구된다.

현재 일본의 원자력 발전의 경쟁력 향상에 있어 이에 가장 큰 목표는 높은 설비 이용률의 달성이다. 그러나 이것은 자유화를 위한 조건이며 더한층의 자유화가 추진되기 위해서는 적절한 정책적 지원이 필요하다라는 것을 미국의 사례에서 보여주고 있다고 생각한다. ☞

〈原子力eye〉 Vol.49 No.3