

# 運轉費用 節減을 통한 原子力の 生存

## 허가연장에서 생존으로

A. David Rossin

미국원자력학회 회장

허가쟁신이 중요한 관심사이기는 하나, 최근의 발전소 가동중지 사례들에서 볼 수 있는 바와 같이 미국 내에서 운전수명이 다한 발전소를 계속 운전할 것인지 또는 폐쇄시킨 것인지를 결정하는 가장 중요한 요소는 전력 생산비용에 있다.

1987년에 필자가 DOE를 떠나올 때 DOE, NRC 및 미국내 원자력산업계 사이에 합의되어 우선 추진될 원자력사업 항목에는 다음과 같은 것들이 포함되어 있었다.

- ① 현재 운전중인 발전소의 가동률 및 운전성능 향상
- ② 아직까지 건설중인 발전소에 대한 조속한 마무리
- ③ 인허가 절차의 개정
- ④ 개량형(Evolutionary) 신형 원자로 설계에 대한 인허가

⑤ 최소한 격납건물 설계를 진행할 수 있도록 모듈형 액체금속 원자로 및 모듈형 고온기체냉각로에 대한 인허가기준 확정 및 인허가 부여

⑥ 고준위 방사성폐기물에 대한 인허가절차 확립 및 처분장부지 적합성을 평가하기 위한 지하 시험 실시

⑦ 허가 연장

이 계획 이후에 미국 내 경수로의 건설이 완료된 TVA 소유의 몇몇 발전소를 제외하고는 대체로 가동률이 증가되었고, 1992년의 에너지법에서는 인허가 개정에 대한 틀을 마련하였으며, 미국 원자력규제위원회에서는 신형 경수로 설계를 검토중에 있다. 또한 네바다주 Yucca산에는 시험용 시추공을 뚫고 있다.

그러나 한편으로는 우선 추진

사업항목에 포함되어 있었던 액체금속원자로 및 고온기체냉각로에 대한 자금지원이 중단되었고, 허가연장도 표류중에 있다.

### 얼마나 많은 발전소가

### 문을 닫을 것인가?

이제는 발전소의 운전수명을 현실적으로 입증하기 위해 어떻게 허가를 연장시킬 것인가 하는 문제는 더 이상 관심사가 아니다. 요즘들어 문제가 되고 있는 것은 현재 운전중인 발전소 중에서 상대적으로 전력생산비의 증가로 인해 어쩔 수 없이 문을 닫게 될 발전소가 과연 얼마나 될 것인가 하는 것이다.

운전수명이 증가된다면 건설비의 상환에 매우 유리할 수 있다. 그러나 생산한 전력을 생산비보다 비싼 가격으로 팔 수 없다면 이것은 어렵도 없는 이야기이다. 만약 발전소의 운전으로 투자비를 일정한 비율로 상환할 수 있다면 전력회사들이 힘을 얻을 수 있겠지만, 전력회사들은 이와는 달리 저렴한 가격으로 신뢰성있는 전기를 생산할 수 있는 전력원을 찾고자 「최소비용계획」을 추진중에 있다.

운전수명이 다하기도 전에 미리 가동을 중지한 발전소들은 바로 이러한 심적 부담을 받아 온 발전소들이다. 만약에 계속적으로 장기적인 운전을 할 수 있도록 보장해 주었다면 이렇게 상황

이 부정적이지는 않았을 것이다.

발전소를 처음에 설계할 때는 40년 이상 운전할 수 있도록 현실적인 여유도를 두었다. 허가 연장에 있어서는 때때로 규제요건을 계속적으로 지키고 준수하는 문제 대신에 충분한 설계 여유도를 유지하려는 요구로 대체

되어 왔다. 이러한 움직임은 하나의 방법론을 제공하여 왔다.

그 동안 원자력에 반대하는 사람들과의 접촉에서 얻었던 한 가지 교훈이 있다면, 그것은 절차상의 지연이 원자력발전에 가장 강력한 영향을 행사한다는 점이다. 따라서, 어떤 절차 중에 생길 수

있는 예기치 않은 지연도 수용할 수 있을 정도로 충분한 시간을 갖고 모든 인허가 절차를 마칠 수 있다면 매우 다행스런 일이다. 인허가에서 이미 많은 절차가 진행되어 시간을 절약할 수 있다는 것은 매우 중요한 일이다.

그 이유는 일단 원자력 반대론자가 절차상의 지연으로 인해 전력회사측이 막대한 비용을 추가로 더 부담하게 된다는 사실을 알게 되면, 그 자체가 더욱 강력한 압력수단이 되어 합의를 해주는 것에 대한 이권을 더 요구하게 될 것이기 때문이다. 따라서 청문회는 신랄한 토론장이 될 가능성이 충분하다.

Yankee Rowe 발전소에서의 허가 갱신 절차에 반대하는 사람들은 Rowe 발전소가 그러한 많은 싸움 중에서 단지 첫번째 대상이었을 뿐이고, 그들의 궁극적인 목표는 그와 같은 모든 시도 자체를 중지시키는 것이라는 점을 명백히 하고 있다. Rowe 발전소는 결코 청문회 조차도 개최할 수 없었고 이 싸움은 이미 언론 매체에 의해 결말이 났다.

1973년 이후에 운전허가를 취득한 대부분의 발전소들은 현재 운전허가일로부터 유효하게 40년 동안 운전할 수 있도록 허가받았다. 한편으로는 운전허가일로부터 40년까지 NRC가 허가를 연장시켜줄 수 있는 발전소들도 아직 남아있다. 그러나 이러한 허가 연장은 3-4년 동안만 있을 것이

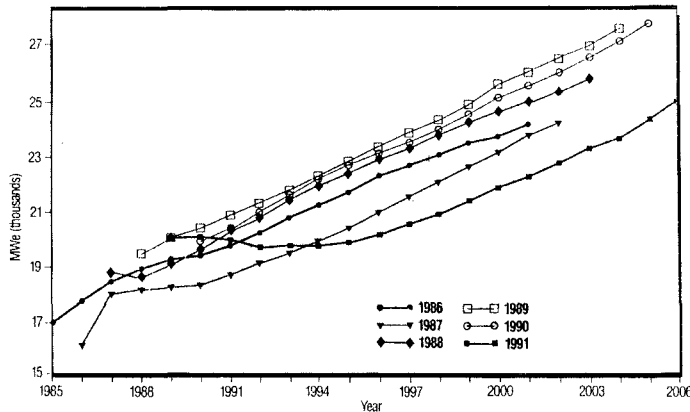


그림 1: Yankee Rowe 발전소는 부하가 불확실하고, 감소할 것으로 전망하고 있다. 위 그림은 뉴잉글랜드 지역(NEPOOL)에서는 6가지 연도별 예측을 나타내고 있는데 91년도의 예측이 가장 낮은 값을 보이고 있다.

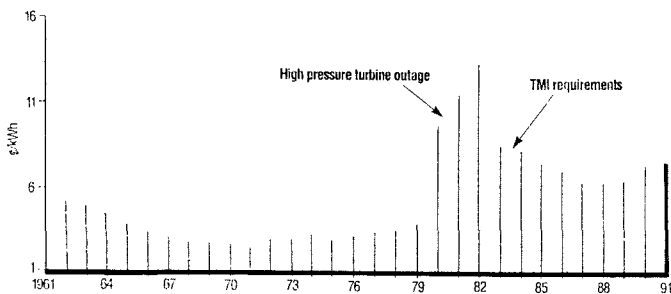


그림 2: Yankee Rowe 발전소의 연도별 비용(1992년 달러)

다. 허가 연장의 기회가 이미 줄어들고 있는 것이다. 2015년까지는 45,500MWe 용량의 발전소들이 현재의 허가 기간이 만료된다.

### 압력용기와 Yankee 발전소

1980년대 중반 각 전력회사 고문들의 요청으로 EPRI는 40년 이상의 운전과 관련하여 노화 발전소계통 및 기기의 요건과 규제 현안들에 대해 연구한 바 있다. 물론, NRC도 자체적으로 이 연구를 수행하였다.

연구결과에 의하면 수명연장에 있어 주요기기는 압력용기로 나타났다. 고속증성자에 의한 충격으로 인해 스틸이 취화되는 현상이 관심사로 부각되었다. 이 결과를 토대로 압력용기의 건전성에 관한 사항이 NRC 규제지침서 99Rev.2(88년 5월)에 정리되었다. 원칙적으로 이 지침은 40년이 지난 발전소에 적용되며 압력용기가 지침을 만족하는 한 계속적인 운전을 보장받을 수 있다.

Yankee Rowe 발전소는 미국 내에서 운전되고 있는 가장 오래된 상업용 발전소이며 매우 뛰어난 운전실적을 갖고 있다. 이 발전소는 3천9백만 달러의 비용으로 예산을 절감하고 공기를 앞당겨 건설되었으며 1960년에 정격 출력인 185MWe에 도달하였다. 운전기간 동안의 평균 가동률은 74%이고 지역주민과의 유대와 환경보호면에서 성공을 거둔 발

전소이기도 하다.

이 발전소의 운전 허가는 3년이 연장되어 2000년 7월 9일까지 40년 동안 운전할 수 있도록 되었고, 이로 인해 이 발전소는 미국 원자력산업계에서 허가 갱신 절차의 확립을 선도하게 될 발전소가 되었다. 허가연장에서 가장 중요한 과제는 압력용기에 관한 것이었다.

Rowe 발전소는 그 이후에 설계되어 운전허가를 받은 발전소들과는 특이한 설계상의 특징과 계통을 가지고 있는 소형발전소이다. 더욱 중요한 차이점은 타 발전소들이 Rowe건설 당시에는 개발되어 있지도 않았던 압력용기 및 용접재질에 대한 시편과 이에 대한 기록을 갖고 있는 반면, Rowe 발전소는 이와 같은 시편과 기록이 없다는 점이다. 이로 인해 NRC는 실제 압력용기의 시편을 구할 수 없을 경우에는 허가 갱신의 검토시에 용접 재질과 재질결합에 대해 보수적인 가정을 해야 한다고 결정하였다. 중대사고하에서의 펌프의 신뢰성과 파괴역학적 해석에 관한 다양한 의견들을 종합해 볼 때, 재질과 같은 인자들은 계속적인 운전 허가와 관련하여 NRC로 하여금 생각했던 것보다 더욱 많은 불확실성을 남겨주었다.

NRC와 Rowe사의 허가갱신을 위한 교섭중에 양측은 공개적인 절차하에 서로의 자료와 계획을 교환하고 이것들을 기록하여 공

표하기로 합의하였다. 양측 모두 서로의 기술을 극구 칭찬하였지만, 규제상에 불확실성은 여러가지 모습으로 나타날 수 있는 법이다. 허가갱신의 절차 중에 NRC는 Rowe 발전소가 안전성을 위해 여유도를 증가시킬 수 있는 수단을 강구할 것을 지시하였다. 그 지시는 다음과 같았다. 「본 위원회는 압력용기 파손을 방지할 수 있도록 여유도를 증가시키는 추가 조치를 취해야 한다고 생각한다.」 비록 이 말이 또 언급되지는 않았지만 이로 인해 원자력산업계에서 우려를 표명하기 시작했다. 관련 규제를 준수하는 것 외에도 NRC 조치를 충족시키기 위해 추가의 비용이 필요한 「얼마나 안전해야 충분히 안전한 것인가?」와 「보완조치(Backfit Rule)」에 관한 논의가 시작된 지 30년이 지난 시점에서, 개방적 규제로 회귀하려는 움직임이 부담스러운 것이 되고 있다.

1992년 2월 14일에 NRC는 「기준을 만족시키는 데 있어 중요한 불확실성들은 재가동 결정을 하기 전에 해결할 필요가 있다」라는 재가동 기준(restart criteria)의 초안을 발표하였다. 이러한 움직임에 입각할 때, Yankee Rowe 발전소측은 1993년 말까지 필요한 모든 자료를 얻기 위한 비용에는 불확실성이 많은 것으로 결론을 맺었다.

그 당시에 뉴 잉글랜드의 경제는 침체되어 부하가 감소하고 있

었고, 따라서 전력생산이 적정 예비를 초과하고 있다. 비록 Rowe 발전소는 180MWe만을 공급하고 있었지만, 소유주측은 전력공급상의 다양성을 유지하고 장차 천연가스 가격의 상승에 대비하기 위하여 발전소를 계속적으로 가동하기를 바라고 있었다.

그러나, 현재는 가스가 저렴하게 공급되고 있고, Rowe를 운영하고 있는 전력회사측도 운전중인 Rowe 발전소보다 싼 가격으로 전력을 생산하고 있는 가스 및 석탄연소 발전소를 갖고 있으면서 이 전기를 팔려고 노력하고 있기 때문에 Rowe 발전소는 분명히 비싼 전기를 생산하고 있는 발전소로 간주되었다.

불확실성, 예비율을 초과하는 전력 생산, 현재의 저렴한 가스 가격 등으로 결국은 Rowe 발전소가 운전허가 기간을 8년이나 남겨 놓고도 가동을 중지하게 되었다. 따라서, 허가연장 신청은 이뤄지지 않았다.

알맞게도 일년 뒤에도 그 지역은 계속 침체되어 있기 때문에 아직도 팔지 못하고 있는 전기가 많이 남아 도는 형편이다.

### SONGS와 TROJAN의 경험

남쪽으로 눈을 돌려 캘리포니아주를 보면, San Onofre 1 (SONGS 1) 발전소는 신뢰성 있고, 경제적이며 무공해인 400MWe의 전기를 생산하고 있었지만

1992년말에 가동을 중지하고 말았다. 캘리포니아주 납세자변호사(Ratepayers' Advocate)는 수년 동안 싸게 공급할 수 있는 천연가스가 있기 때문에, 최소비용 계획에 따라 San Onofre 1 발전소의 가동을 중지해야 한다고 주장하였다. 여기에서도 핵심 현안은 압력용기가 아니라 허가연장이었다.

San Onofre는 이미 TMI사고 후 보완조치로 약 1억 5천만 달러의 개량비용을 투자한 바 있다. 이러한 발전소에 대해 Advocate는 허가갱신 요건 만족여부가 분명치 않다는 이의 제기와 함께, 아직 16년이나 더 운전할 수 있도록 개량한 것조차 평가절하시

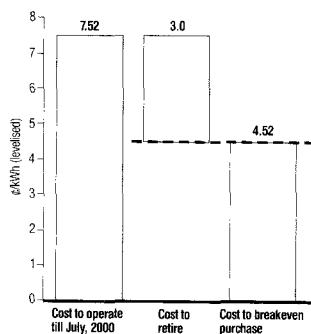


그림 3: 1992-2000년 사이에 Yankee Rowe 발전소의 운전 대 가동중지시의 경제성 비교. 전력 판매비용이 4.55센트/kWh 이상인 경우에 경제성이 있음을 알 수 있다.

켜 발전비용을 비교한 것이다. 그는 또한 PUC(Public Utilities Commission)가 예산에서 1억5천만 달러의 투자에 대한 회수를 승인해서는 안된다고 주장하고 있다. 이러한 예는 원자력발전소에 대한 유명한 논쟁 중의 하나일 뿐이며 결국 운전 연장은 허가되지 않았다.

캘리포니아주 PUC는 전력회사측에 다음 두 가지 안을 제시했다.

첫째, San Onofre 1 발전소를 전력 판매에서 투자비, 상환비 및 운전비를 모두 포함하여 독립적으로 운영해야 한다.

둘째, PUC가 미상환된 모든 투자비를 앞으로의 전기 판매에서 만회할 수 있도록 허가할 경우 1992년 말에는 가동을 중지해야 한다.

전력회사와 주주들에게는 두 번째 안이 위험도가 적었기 때문에 두 번째 안이 선택되었다. 여기에는 물론 주민들이나 행동주의자들로부터 한 마디 항의도 없었다.

사실 San Onofre 1 발전소가 운전되지 않으면 그에 상당하는 예비율 유지용 투자가 필요하기 때문에 주민들의 부담은 늘어날 수 밖에 없다. 흥미로운 점은 캘리포니아주 PUC가 투자비를 투자년도의 전력요금에 포함시키고 있다는 점이다. 이것은 PUC가 원자력 발전소의 CWIP(Construction Work in Progress)에 한

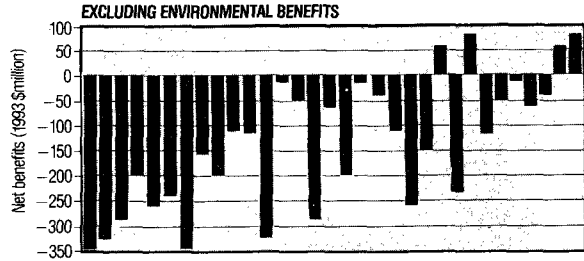
태도와는 다른 것이다.

또한, 이러한 예비율 투자로 인해 예상한 만큼의 용량을 확실히 비축할 수 있다는 점은 명약관화하다(마치 그들이 터빈 발전기와 같이 황동의 명판을 갖고 있는 것처럼) 그러나 이와 같은 투자의 효율성을 판단할 만한 입증된 기록이 없고, 대신 실제 효과를 가늠하기 어려운 일부 자료만이 남아있을 따름이다.

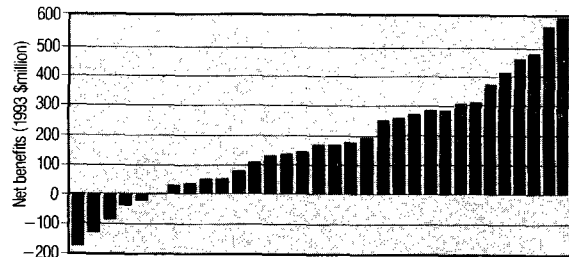
캘리포니아주는 모든 종류의 발전소는 국제화된 환경비용으로 평가해야 한다고 발표하였다. 이것은 이산화탄소를 포함하여 모든 종류의 대기중 방출물에 비용 부담이 필요함을 의미하는 것이며 이와 같은 방법을 적용할 때는 San Onofre 1 발전소도 PUC가 검토하고 있는 장래의 모든 시나리오에서 하나의 대안으로 포함될 수 있다.

그러나, 이와 같은 방법을 적용하지 않는다면, 최근들어 원자력 발전소의 운전비용이 증가하고 있기 때문에 대부분의 시나리오에서 원자력발전이 천연가스발전소보다 다소 비싸거나 겨우 수지가 맞는 상황이다. 원자력발전소에 대해서 PUC는 국제화된 환경비용이론의 적용이 무시되어 왔던 것이다.

오래곤주의 Trojan에서는 또 다른 상황이 전개되고 있었다. 즉, 1178MWe의 가압경수로인 이 발전소는 수력발전으로 대량의 전기를 공급하고 있을 때 부



CASE	6	12	18	4	24	30	5	10	NA	2	16	11	NA	8	17	22	3	14	28	1	23	9	20	26	16	7	13	21	27	19	25	
Gas price	L	L	L	M	L	L	L	M	H	H	M	L	H	H	L	M	M	H	M	H	L	M	H	L	H	M	H	M	M	H	H	
Capital cost	H	H	M	H	M	L	H	M	H	M	H	M	H	M	M	M	M	M	M	L	H	M	M	M	L	L	M	H	M	M	L	L
Cap. factor %	80	70	70	80	80	80	80	70	44	60	70	70	70	70	70	70	80	80	80	80	65	80	70	85	80	70	70	70	70	70	70	70



CASE	6	12	18	4	24	30	5	10	NA	2	16	11	NA	8	17	22	3	14	28	1	23	9	20	26	16	7	13	21	27	19	25	
Env. value	A/N	A/N	A/N	A/N	A/N	A/N	A	A/N	A	A/N	A	A	A/N	A	C	A/N	A	A/N	A	A/N	A	A	A/N	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Gas price	L	L	L	M	L	L	L	M	H	H	M	L	H	H	L	M	M	H	M	H	L	M	H	L	H	M	H	M	M	M	H	H
Capital cost	H	H	M	H	M	L	H	M	H	M	H	M	H	M	M	M	M	M	M	L	H	M	M	M	L	L	M	H	M	M	L	L
Cap. factor %	80	70	70	80	80	80	80	70	44	60	70	70	70	70	70	70	80	80	80	80	65	80	70	85	80	70	70	70	70	70	70	70

그림 4: San Onofre 1 발전소에 대한 비용 효율 민감도. 여러가지 가스 가격, 투자비, 가동률 및 환경비용을 가정하였다. 환경비용을 고려하면 캘리포니아주 PUC가 검토한 시나리오 중 대부분에서 경쟁력이 있음을 알 수 있다.

Note. H = high. M = medium. L = low. For the environmental values, A denotes values calculated by the South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) applied to all emissions, A/N denotes SCAQMD values for in-state emissions and Nevada Public Service Commission values for out-of-state emissions (the SONGS utility, Southern California Edison, is the majority owner of a Nevada fossil station), and C denotes values in the California Energy Commission Energy Report for 1990.

하추중 운전을 하거나 심지어는 운전중을 중지해야만 했다. 기후가 건조한 시기조차도 민물고기의 생존을 위해 강물을 계속 흘러 보내면서 댐을 통해 발전을 해야만 했다.

Trojan 발전소측의 원래 계획은 다소 노후되기는 했어도 아직까지는 안전한 증기발생기를 계속 사용하면서 발전소를 4년 정도 더 운전하는 것이었다. 그러나 증기발생기 교체비용에 대한 불확실성, 경기침체, 천연가스 공급과잉, 2년에 한 번씩 발전소 장래에 대한 투표를 하는 행동주의자들의 골치거리로 인해 소유주측은 아주 가동을 중지하기로 결정하였다.

### 규제와 정치

허가갱신은 필요한 것이기는 하지만 원자력발전소의 운전에 꼭 필요한 충분조건은 아니다. 향후 10년 내지 20년의 기간 동안에 메가와트 용량의 발전소가 가동을 중지할 상황에 놓여 있는 것이다. 그러나 그만큼의 용량은 반드시 필요하다고 믿는다.

현재 미국에서 건설되거나 계획중에 있는 발전소의 대다수는 저렴한 가격으로 풍부하게 공급할 수 있는 천연가스발전소이다. 전력에너지의 확보를 위해 수억 달러의 투자를 하고 있지만, 조만간 미국 내의 많은 지역이 전력부족을 겪게 될 것이다. 동시에

대중들과 산업계는 환경을 보존할 수 있는 에너지원으로서 전원을 개발하고자 노력하고 있다. 이로 인해 연소 터빈에 대한 주문량은 항상 밀려있는 형편이다.

3년이라는 기간 동안에 서부 해안에서는 무려 총 2500MWe 용량의 San Onofre 1, Trojan, Rancho Seco 발전소가 문을 닫게 되었다. 1993년 4월에는 6기의 지역발전소가 가동을 중지했고, 재생에너지원의 고갈과 함께 이와 같은 종류의 현상들은 더욱 심화될 것이다.

자동차들은 현재 액화 천연가스로 작동될 수 있도록 설계되고 있다. 그리고 캘리포니아에서는 2000년까지 모든 자동차의 2%가 오염물질을 배출하지 않는 엔진을 장착할 것을 법률로 정하고 있다. 이는 전기 축전지의 사용을 의미하는 것이며 이를 위해 더욱 더 많은 전기에너지가 필요하게 될 것이다. 따라서 가스 공급이나 기스관의 용량이 포화에 달하면 전기값은 급격하게 오를 것이 뻔하다. 그러므로 미래의 에너지 수요에 대한 답으로 현재와 같이 천연가스에만 매달리게 된다면 이것이야말로 나중에야 해답을 찾게 되는 근시안적인 사고이다.

우리는 이미 허가 갱신을 주저하고 있는 인허가 담당자들을 발견하고 있다. 미네소타주 PUC는 Monticello 발전소를 계속 운전하는 데 필요한 건식 사용후연료 저장용기를 승인하지 않음으로써

운전이 어려운 상황으로 몰고 갔었다. 한편, 주정부도 허가연장에 대해 비판적인 입장을 표명하고 있다.

1992년 5월 하원의원 George Miller는 허가 연장에 대해 주정부가 거부권을 행사할 수 있도록 하는 수정법안을 발의하였다. 이안은 부결되었지만 주정부들은 거부권에 대한 유혹을 받았을 것이다.

### 비용상 불리함의 극복

꼭 18년전에 미국은 에너지 사용에 대해 재검토한 적이 있었다. 그 당시 우리는 전력생산에 있어서 석유의 사용을 줄이고, 더 이상의 기저부하용 석유 및 가스발전소의 건설은 금지할 것을 건의했었다. 가스는 보일러에서 태우기에는 아까운 너무 귀한 연료이기 때문이다. 우리는 대체에너지 개발을 위한 거대한 프로그램을 착수하기 시작했고, 이 결과로 카터 대통령이 원자력은 우리가 의존할 수 있는 최후의 에너지원이라고 발표하기에 이르렀다.

아직도 원자력발전을 전력 시장에서 몰아내고 있는 많은 장애요인이 있다. 만약 허가갱신이 이루어진다면 그것은 미국 내 전력회사와 관련 산업계에 중대한 신호탄이 될 것이다. 그러나 지금은 안전성이나 운전성능을 저하시키지 않고 운전비용을 낮추는 일이 무엇보다도 절실히 필요한 때이다.