

21세기를 맞이하는 원자력에너지

스웨덴의 교훈

스웨덴은 여러 해 동안 원자력에너지를 이용해 왔으며, 원자력은 국가 전력수요의 상당 부분을 담당하고 있다. 신뢰성 있고 저렴한 전력공급은 스웨덴의 경제발전의 핵심적인 요소가 되어 왔으며, 화석연료 대신 원자력을 이용하여 전력을 생산함으로써 환경보전에 많은 기여를 해 왔다. 그러나 스웨덴 정부는 2010년까지 전 원전을 폐쇄할 것을 약속하였다.

이 보고서는 스웨덴 원전의 운영현황과 스웨덴 경제의 견인차로서의 원자력의 역할을 조명하기 위한 것이다.

모

든 종류의 에너지 변환은 환경에 영향을 미친다. 여기에는 전력생산도 - 화석연료에 의한 것은 물론이고 수력, 풍력발전까지도 - 포함된다.

스웨덴의 토양은 산성화에 특히 민감하며, 25년 전부터 석유 및 석탄연소에서 기인하는 산성화의 문제점이 인식되기 시작했다.

스웨덴의 전력 및 공해 현황

오늘날 대기오염에 관한 논쟁은 기후변화와 오존층의 파괴문제까지 확장되고 있다.

대기오염은 화석연료의 연소로부터 발생하는 이산화탄소 및 프레온가스 등을 대기로 방출하는데 기인한다.

(그림 1)은 1970년부터 1990년까

지의 황화물과 이산화탄소의 예상방출량(인구·차량·주거지 및 사무실의 증가 고려)대비 실제 방출량을 나타내 주고 있는데, 실제 방출량은 20년 동안 감소추세를 보이고 있다.

전기는 공해물질 배출량을 감소시키는 데 크게 기여하였다.

원자력발전이 시작되기 전인 20년 전, Vattenfall사는 전력생산을 위해 연간 약 17,000t의 황(34,000t SO₂)을 배출하였다.

그러나 지난 20년 동안 Vattenfall사의 화석연료에 의한 전력생산량은 점진적으로 감소되었으며, 대기오염물질의 방출량도 감소하였다.

1992년 한 해 동안, Vattenfall사의 전력생산과정에서 방출한 산성화물질은 겨우 수 톤에 불과할 따름이다.

지난 20년 동안 환경보전에 가장 큰 기여를 한 것은 소비자들이 석유나 석탄의 사용 대신 원전 등에서 생산된 전기를 사용하기 시작한 것, 즉 에너지 사용패턴의 변화라고 할 수 있다.

전기는 전기보일러 - 4전기로 및 산업공정까지 광범위하게 사용되고 있다.

값싼 전기를 손쉽게 사용함으로써, 1970년에서 1980년까지의 10년 동안 스웨덴 정부는 많은 환경보호조치를 취할 수 있었다.

이러한 조치로 인해 근로환경의 개선과 오염물질 방출량을 감소시키는 여러가지 처리설비를 운영하게 되었다.

펌프와 환풍기를 운전하는데 충분한 전력을 이용할 수 있었기 때문에 그러한 것들이 가능했던 것이다.

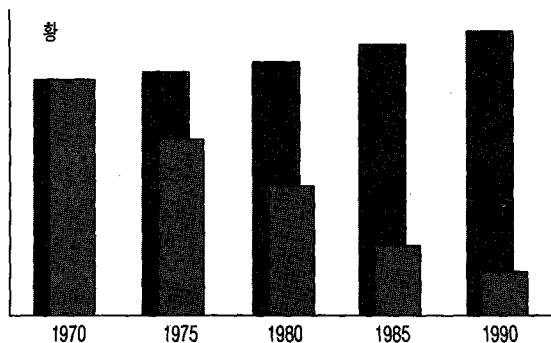
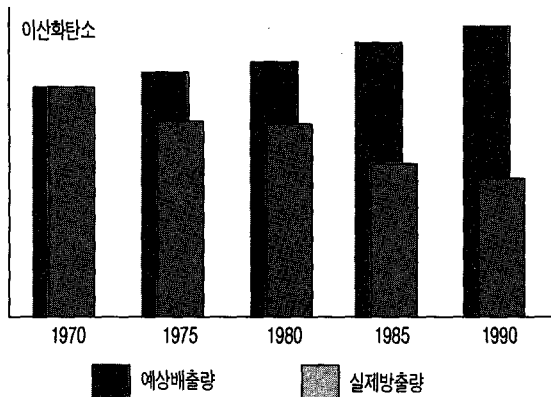
산업계와 공중 모두는 폐기물의 정화 및 처리계통에 전력을 이용하고 있다.

그 양은 수 TWh에 달하고 있는데, 1969년의 환경보호법 발효 이후 더욱 증가하고 있다.

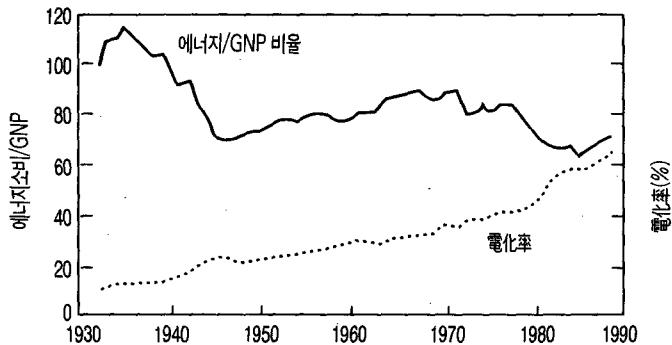
앞으로 공해방지법은 더욱 강화될 전망이며, 이러한 환경규제를 만족하기 위해서는 전력사용이 필수적인 요소가 된다.

S. 노르딘

스웨덴 Vattenfall사
부사장



〈그림 1〉 이산화탄소 및 황의 예상·실제 방출량(1970~1990)



〈그림 2〉 스웨덴의 에너지 탄성치 및 전기화률(1930~1990)

미래의 환경문제와 전력수요

오늘날 스웨덴은 화석연료의 사용을 감소시키고 전기 사용량을 증가시

킴으로써, 환경에 작은 영향을 미치는 탁월한 에너지 관리체계를 유지하고 있다.

스웨덴의 전력생산의 많은 부분이 대기오염물질을 방출하지 않는 수력과 원자력에 의해 이루어지고 있다.

원자력과 수력의 바람직한 구성으로 인한 환경적 이득 외에도, 스웨덴은 유럽의 다른 나라에 비해 저렴한 전력요금의 이득을 향유하고 있다.

이것이 국민 1인당 전력소비량에 있어 스웨덴이 영국의 3배에 달하는 이유이다.

환경적인 측면에서 전기의 활용분야는 더욱 확대될 수 있다. 전기자동차·퀘도버스·전기잔디깎이 등은 교외지역에서의 대기오염과 소음공해를 감소시킬 것이다. Vattenfall사는 환경적 목적으로 인한 전력사용량 증가가 10% 정도에 달할 것으로 예측하고 있다.

수년전 Vattenfall사는 국제적으로 유명한 물리학자인 Gerholm 교수에게 미래의 에너지 수요예측을 의뢰하였고, 그것이 전력수요에 대해 갖는 의미를 질문하였다.

그 결과는 스웨덴이 현재와 같은 전력생산체계를 유지한다면 앞으로도 상당기간 충분한 전력을 공급할 수 있으리라는 것이다.

〈그림 2〉는 1930~1990년 사이의 스웨덴에서의 GNP 대 에너지 소비량, 전화율(Degree of Electrification) 추이를 보여주고 있다.

1936년 이후 전기 보급률의 증가에 비해 상대적 에너지 요구량은 감소되어 왔다.

이것은 그 기간 동안 전기가 산업 및 상업의 생산성을 증가시키는데 큰 기여를 해 왔음을 보여주는 것이다.

미래의 전망은 어떠한가?

1970년대 말 세계에너지협회의(WEC)는 미래의 세계 1차에너지 사용량을 예측할 수 있는 단순한 수학적 모델을 개발하였다.

그 모델은 1970년대와 1980년대의 선진국의 실제 에너지 사용량의 변화를 놀랄 만큼 정확하게 예측하였다.

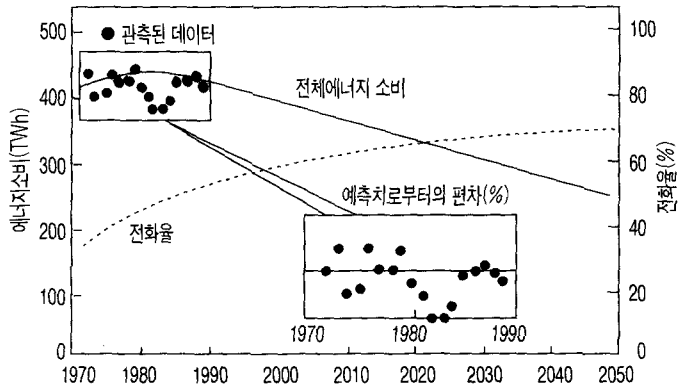
그 모델은 개량되고 있으며, 신뢰성 있는 이론적 근거를 갖고 있다.

미래 예측 시나리오에 사용되는 변수들은 현대적인 통계적 방법론에 의해 평가되어 왔다.

<그림 3>은 이 모델을 사용하여 1972~2050년 기간 동안 스웨덴에 적용한 계산의 결과이다. 전화율(Degree of Electrification)은 1972년의 35%에서 2050년에는 70%에 달할 것으로 예측되고 있다(1972~1989년의 기간 동안의 실제 성장률도 표시되어 있다).

<그림 3>에서 보여주고 있는 실제 에너지 소비율은 예측치에서 10% 이상의 편차를 보이지 않고 있다.

1차에너지 소비량은 금세기 말에 최고치를 기록할 것이며, 그 후로는 서서히 감소할 것이다.



<그림 3> 스웨덴의 전화율 및 1차에너지 소비예측

그 한 가지 이유는 스웨덴의 인구가 2000년대 초부터 감소하기 시작할 것이라는 예측이다.

에너지가격이 일정하다고 가정할 때, 1인당 에너지 소비량은 곧 포화상태가 될 것으로 보인다.

그러나 에너지소비량이 감소할 것이라는 예측은, 그 모델이 에너지가격이 점진적으로 증가할 것을 가정함으로써 에너지의 효율적 이용을 유도할 것이라는 데 있다. 따라서 에너지가격 책정과 가격예측은 대단히 중요한 논의사항이 된다.

전기의 사용편의성과 요금

1970년대 중반까지 스웨덴의 전화 사업을 이끈 것은 수력발전이었다.

수력발전의 단가는 다른 어떤 전력원보다 저렴하였다. 수력발전은 스웨덴의 산업발전과 국가의 복리증진의 중요한 요소이다.

산업화 초기 단계에서 신뢰성 있고 저렴한 전력공급이 가능함으로써 스웨덴의 기간산업인 목재산업 및 광업은 세계시장에서 광범위한 성공을 거둘 수 있었다.

노르웨이와 캐나다와 같이 수력발전원이 풍부한 국가들에서도 스웨덴의 전례를 본받아, 전력소모량이 큰 기간산업이 많은 비중을 차지하고 있다.

석탄이 주요에너지원으로 이용되어 왔던 유럽에서는 전력소모량이 적은 산업이 발달하였다.

1970년대 중반 이후 원자력은 스웨덴의 전력생산량 중 상당한 부분을 점유하기 시작했다.

현재 원자력은 수력발전의 비중을 증가하고 있다.

그 결과 전력요금은 더욱 인하되었고, 전화율은 지속적으로 증가되고 있다.

전기와 다른 형태의 연료를 비교한

조사에서, 소비자들은 전기가 천연가스에 비해 요금이 3배나 더 비싸지만 전기를 선호하는 것으로 나타났다.

소비자들이 전기를 선택하는 가장 큰 이유는 전기의 생산성이 다른 에너지원에 비해 높기 때문이다.

동일한 조건에서, 전기는 화석연료나 바이오매스 연료에 대해 충분한 경쟁력을 갖는다.

Vattenfall사는 조만간에 스웨덴의 전력시장 규제가 완화될 것으로 예측하고 있다.

전력사들은 새로운 전력수요 창출을 위한 적극적인 마케팅전략을 구사할 것이다.

규제완화가 되더라도 전력요금은 크게 변동되지 않을 것으로 예측되고 있다.

그러나 만약 정치적인 이유로 원전이 폐쇄된다면, 스웨덴의 전력요금은 상당히 인상될 것이고, 장기적으로는 전력수요가 감소하고, 환경비용을 유발하는 석탄 및 석유의 사용량이 증가하게 될 것이다.

그러므로 Gerholm 교수의 모델이 예측하는 바와 같이 에너지와 전력요금이 실제로 증가할 것인지는 의문이다.

전력요금은 핵무기 등에 관련된 정치적 결정이나, 새로운 발전방식의 실용화 등과 같은 요인에 의해서 결정될 것이다.

Vattenfall사의 가장 최근의 전력수요 예측치는 Gerholm 교수의 예측

치를 약간 상회하고 있다.

따라서 발전소와 송배전 계통을 안전하고 완벽하게 운전·유지하는 것은 대단히 중요하다.

원자력의 미래

오늘날 원자력의 발전원가는 신형 석탄화력 및 유류화력발전소의 발전원가의 절반에도 못 미친다.

이산화탄소방출稅의 증가와 질소 및 황화물의 방출稅를 고려한다면 그 차이는 더욱 커질 것이다.

만약 원전이 폐쇄된다면 전력요금은 상당히 인상될 것이다.

스웨덴의 현행 전력생산체제가 갖는 환경적 이점은 이미 설명한 바와 같으며, 이외에도 경제적인 이점을 많이 갖고 있다.

원자력은 스웨덴의 복지와 산업발전의 견인차 역할을 하고 있다.

그 이유는 전력을 많이 사용하는 스웨덴의 기간산업이 원자력발전에 의한 값싼 전기를 풍부하게 이용할 수 있기 때문이다. 스웨덴에 있어서 원전의 지속적인 운영은 큰 의미를 갖는다.

필자는, 원자력은 2010년 - 스웨덴 의회가 원전을 폐쇄하기로 목표하고 있는 시점 - 이후에라도 그것이 경제성을 갖지만 한다면 충분히 안전하고 효율적으로 운영될 수 있을 것이라고 생각한다.

현재 의회내에서는 그들이 수년전에 결정된 원전폐쇄 방침을 어떻게 해

석해야 할 것인가에 대한 논의가 있다.

이러한 불확실성은 스웨덴 산업계에 적지 않은 문제를 야기하고 있다.

오늘날 스웨덴은 전력요금에 있어서 충분한 경쟁력을 갖고 있으나, 그것이 얼마나 오래 지속될 것인지는 알 수 없다.

이러한 이유로 전력을 많이 사용하는 일부 산업체는 스웨덴에서 사업체를 운영하는 것을 꺼리고 있다. 그렇게 될 경우 신규고용과 수입이 외국으로 이전될 것이다.

불확실성은 또 다른 문제를 야기한다. 즉 젊은이들이 원전사업에 몸바치는 것을 꺼려하는 것이 그것이다.

원전을 설계하고, 건설하고, 운영해 온 직원들이 퇴직하기 전에 유능한 신입직원들을 확보하지 않으면 안된다.

그러나 2010년의 원전폐쇄 방침으로 인하여 유능한 직원의 채용에 어려움을 겪고 있다.

스웨덴의 원전은 적절히 유지되고 재투자된다면, 안전하고 경제성 있게, 환경에 적은 영향을 미치면서 수십년 동안은 운영될 수 있다.

원자력의 생산성

1970년대 후반, 스웨덴의 원자력 발전량은 57,500GWh/년이었고, 현재는 연간 72,000GWh/년에 달하고 있다.

스웨덴의 모든 원전은 높은 이용률을 자랑하고 있다.

발전소의 이용률은 발전소와 운영 조직의 운영실적을 나타내 주는 중요한 지표로 활용되어 왔으며, 이용률 증대를 목적으로, 핵연료재장전을 효율적으로 수행하기 위한 계획이 수립되어 왔다.

핵연료 재장전기간은 발전소의 안전운전과 불시정지의 감소라는 목적을 달성할 수 있도록 계획된다.

조직구조의 변경과 경영분석센터(Result Center)설립으로 안전에 대한 책임을 kWh당 운전 및 정비비용으로 환산할 수 있게 됨에 따라, 안전관리를 성능지표화하게 되었다.

또 하나의 시장지향적 조치는 전력요금과 타 에너지원과의 경쟁관계를 밝힐 목적으로 발전단가 책정을 전적으로 경영분석센터에 일임하는 것이었다.

포스마크원전의 종합발전계획의 일부로 고려되고 있는 기준에는 다음 사항 등이 포함되어 있다.

- 경영분석센터 조직
- 높은 이용률
- 전 직원에 대한 품질 성과급 지급
- 종합품질 관리

종합발전계획의 목표는 생산성과 비용관리의 최적화에 있다.

시가가 총 15억GBP에 달하는 포스마크원전은 정부의 재정지원 없이 순수한 민간의 투자자본에 의해 운영되고 있다. 여기에는 가장 최근에 건설되었고, 시가가 약 10억GBP에 달하는 3호기(1985년에 운영개시)도 포함된다.

Vattenfall사는 현재의 운전 및 정비비용이, 달성할 수 있는 최저수준이라고 판단하고 있으며, 향후에도 지속적인 품질활동을 통하여 이 수준을 유지할 수 있을 것으로 예측하고 있다.

또한 재투자를 통하여 발전소 노후로 인한 손실을 보상할 수 있을 것으로 판단하고 있다.

스웨덴 원전의 기술적 위상

Vattenfall사의 포스마크원전(3기)은 뛰어난 운전실적을 보이고 있으며, 이용률은 3호기가 운전을 개시한 1985년도 이후 90% 이상을 나타내고 있다.

1993년에 포스마크원전은 우수한 운영 및 안전관리 실적으로 미국의 권위있는 「우수발전소상」을 수상하였으며, 향후로도 탁월한 운영실적을 올릴 것으로 기대된다.

Vattenfall사는 금년도에 링갈스 3호기의 증기발생기를 교체할 계획으로 있으며, 링갈스 3호기는 이 교체작업 이후에 높은 이용률로 장기간 운영될 수 있을 것으로 기대된다. 나머지 원전들도 안전하고 경제적으로 운영되고 있다.

오스카삼 1호기는 스웨덴의 최고령 원전인데 현재는 정지중에 있다.

이 원전은 1971년 8월에 운전을 개시한 스웨덴 원전의 원형(Prototype)으로서 발전소 전반에 걸친 철저한 안전성 점검을 위해 정지중에 있다.

1994년 초에 원자로에 대한 제염작업이 수행되었고 광범위한 검사가 수행되었다.

현재 검사결과가 평가 중에 있으나, 향후 20년간 이 원전이 안전하게 경제성을 유지하며 운전될 수 없을 것이라는 징후는 나타나지 않고 있으며, 1999년내 운영을 개시할 수 있을 것으로 판단된다.

5기의 원전폐쇄

1995년도에 스웨덴의 가장 노후된 5기의 원전이 폐쇄될 예정임에 따라, Vattenfall사의 원자력발전사업에 대한 독립적 심의가 수행되었다.

심의의 목적은 △ 구형 원자로에 신기술이 적용되는 방식 △ 안전관리활동 △ 정보관리체계 등의 타성을 확인하는데 있다.

심의결과 Vattenfall사의 안전수준은 우수한 것으로 나타났으나, 장기적으로 우수한 운전 및 안전실적을 유지하기 위해서는 경력직원들의 퇴직에 따른 충원문제 등이 해결되어야 할 것으로 나타났다.

심의결과보고서에 대해 언론은 대체적으로 부정적이었다.

독자들은 대체로 좋은 뉴스에는 그다지 관심을 보이지 않는 법이다.

그러나 언론보다 더 중요한 것은 정확한 사실을 알기 원하고, 원전의 안전성에 지대한 관심을 갖고 있는 정치인들의 태도이다.

이 보고서가 여론주도층의 인식을 바꾸는데 기여한다면 바람직스러울 것이다.

5기의 비등수형 원전의 폐쇄 결정을 유발한 주요결함은 적절히 관리되고 있으며, Vattenfall사는 심의결과 보고서에서 제시된 권고사항의 수행을 위해 노력하고 있다.

폐기물의 환경적 측면에서의 관심

비록 원전이 대기오염물질을 방출하고 있지는 않지만, 극히 안전하게 취급되어야 할 방사성폐기물을 방출하고 있다.

방사성폐기물의 처분전략은 방사성폐기물이 완전히 붕괴되어 안전해질 때 까지 인간과 동물로부터 격리한다는 원칙에 기초하고 있다.

스웨덴은 원자력산업의 태동기부터 사용후원전연료와 저준위폐기물의 완벽한 처분시설을 건설하기 위한 노력을 기울여왔다.

저준위폐기물의 최종처분장이 1988년부터 사용되어 왔으며, 사용후원전 연료 임시처분장이 1985년부터 운영 중이다.

1993년에 SKB(폐기물 처분회사)는 정부로부터 사용후원전연료 최종 처분장의 개발에 관한 방법을 계속적으로 연구하도록 요청받았다.

SKB는 2개 지역에 대해 최종처분장으로서의 적합성을 검토하기 위한 타당성 검토를 시작하였다.

사용후원전연료는 향후 15년 이내, 즉 약 40년간 중간저장소에 저장된 후, 최종처분장에 저장될 것이다.

머지 않아 방사성폐기물 처분에 활용되는 방법은 다른 유해 산업폐기물의 처분기술에 응용될 수 있을 것이다.

폐기물처분방법은 물질 및 자연조건하에서의 화학반응 등의 연구에 기초하고 있다.

어떤 특정한 조건하에서는 자연 스스로가 방사성물질을 수백년간 격리시킬 수 있다는 사실이 새롭게 발견되었다.

처분장건설 재원을 확보하기 위해서, 모든 원자력발전 원가에 2ore/kWh의 세금이 포함되어 있다.

여기서 확보된 재원은 정부에서 관리하며, 현재 및 미래의 원자력발전에 관련된 모든 비용 - 원전의 폐쇄 및 폐로까지 포함하는 - 으로 사용될 계획이다.

원전사업자들은 후손들에게 불필요한 부담을 안겨주지 않기 위해서, 폐기물을 안전하게 처분하기 위한 책임을 다하고 있다.

정치적 측면과 여론

1991년 이후 원자력에 대한 여론의 지지도는 해마다 감소하고 있다.

5기의 원전 폐쇄가 여론에는 가시적인 영향을 미치지지는 못하였다.

많은 사람들이 원전폐쇄 사실조차도 인식하지 않고 있으며, 원전에 대

한 지지도의 감소추세는 명백히 관측되고 있다.

Vattenfall사는 원자력발전의 안전성을 통상적으로 홍보하는 것 외에도 산업계 및 통상부문의 지도자들과 같은 사람들이 원자력발전의 이점을 널리 알리는 것이 중요하다고 믿고 있다.

최근에 이러한 사람들은 원전에 관한 논의에 대해 거의 관심을 갖지 않고 있다.

현재까지 전력산업계는 스웨덴의 현행 전력공급체계의 이점을 널리 알리지 못했다.

그 이유중의 하나는 전력산업계가 언론 및 기타 이익단체들의 부당한 공격을 막는데 주된 관심을 기울였기 때문이다.

앞으로 전력산업계는 전기의 유용성과 원전의 역할의 중요성을 널리 알리는데 우선순위를 두어야 한다.

많은 노력에 의해서 원전의 위험도가 낮게 유지되고 있다는 것이 알려져야 하며, 그 위험도는 원전이 갖는 여러가지 이점의 측면에서도 고려되어야 한다.

원전에 관한 모든 논의가 끝난 후에 정치가들은 최종 결론을 내릴 것이다.

그러나 중요한 점은 정치가들이 원자력산업계의 지식과 경험과 평가를 무시해서는 안된다는 것이다.

이러한 관점에서 Vattenfall사와 유럽의 전력사업자 모두는 무거운 짐을 지고 있다고 할 수 있다. ☉

(원문자료: 「Nucl. Energy」誌 1995년 34호)