



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

The History and Challenges of Nuclear power generation in Sweden

Downloaded from: <https://research.chalmers.se>, 2025-07-01 02:22 UTC

Citation for the original published paper (version of record):

Kåberger, T. (2023). The History and Challenges of Nuclear power generation in Sweden. Korean Nuclear Association for International Cooperation, 2023(11): 1-5

N.B. When citing this work, cite the original published paper.

해외 전문가 칼럼 | 2023년 11월

스웨덴 원자력 발전의 역사와 난제



들어가며

스웨덴은 21세기 들어 경제성과 안전성이 부족한 원자로 일부를 폐쇄했다. 그러나 2022년 출범한 새 정부는 신규 원전 도입에 대한 의지를 드러내고 있는 가운데, 여전히 난제와 원자력 업계의 기회를 살펴보고자 한다.

스웨덴은 원자력 발전의 단계적 폐지와 관련해 1980년 국민투표를 실시했고, 국민 대다수가 찬성표를 던졌다. 그러나 국민투표 결과와 달리, 이후 스웨덴의 원자력 발전 설비용량은 2배 이상 증가했고 결과적으로 스웨덴은 1인당 원자력 발전 설비 용량이 가장 높은 국가가 되었다.

21세기에 들어서며 상황은 또 달라졌다. 스웨덴은 원전 전면 폐지 계획을 단계적으로 포기했으나,

동시에 원자로를 하나씩 폐쇄했다. 스웨덴 바르세보크(Barsebäck) 원자력 발전소의 초기 비등경수로형(BWR) 원자로 2기는 정치적 결정에 따라 폐쇄됐다. 수익성이 없었음에도 원전 소유기업들은 세금으로 보상을 받았다. 이들 원자로는 스웨덴 3대 도시인 말뫼(Malmö)뿐만 아니라 덴마크 수도 코펜하겐과 가까운 위치였다. 또 카스트럽(Kastrup) 국제공항과도 매우 가까웠으므로, 2011년 미국 9·11 테러 이후 위험하다고 인식됐고, 2005년에 두 번째 원자로가 폐쇄됐다.

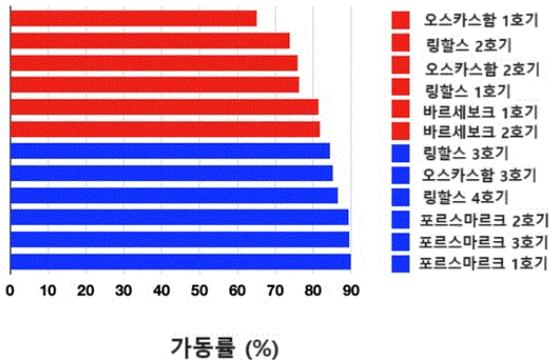
Tomas Kåberger

- 스웨덴 찰머스 공과대학교 교수
- Vattenfall¹⁾ 이사
- 스웨덴 에너지청²⁾ 사무총장

1) Vattenfall : 스웨덴 국영 전력업체

2) 스웨덴 에너지청(National Swedish Energy Agency) : 스웨덴의 국가 에너지 연구 프로그램을 담당하는 기관

[표 1] 스웨덴 원전별 가동률



범례 참고 : ■ 운전 중단 ■ 운전 중
출처: 국제원자력기구(IAEA) PRIS 데이터

이후 나머지 오래된 소형 BWR들은 가동률이 낮다는 경제적인 이유로 폐쇄됐다. 사실 구식 BWR은 외부 주요 순환 파이프를 갖추고 있어 안전도 취약했다. 또 오스카스함(Oskarshamn) 원자력 발전소도 2016년 대규모 개조 이후 10억 달러 규모의 손상이 발생하면서 원자로 중 하나를 폐쇄하기로 결정됐다. 그 밖에 가장 오래된 링할스(Ringhals) 원자력 발전소의 가압수형 원자로(PWR) 역시 일련의 기술적 문제로 인해 폐로되었다.

국제원자력기구(IAEA)의 PRIS 데이터를 통해서 알 수 있듯 폐쇄된 원자로 6기 모두 남아있는 원자로에 비해 가동률이 낮았으며, 이는 원전을 폐쇄할 경제적 타당성을 제공하는 요인으로 볼 수 있다.

한편, 남아있는 원자로들은 발전용량 및 경제적 경쟁력을 확대하는 방향으로 업그레이드되었다. 스웨덴에서 원자력 발전에 대한 정치적 지지가 확대되었고, 2022년 출범한 정부는 신규 원자로 건설에 대한 의지를 명백히 드러냈다.

이전 정부는 남아있는 원자력 발전소의 경쟁력을 개선하기 위해 결단력 있는 조치를 취한 바 있다. 일례로 재난과 같은 원전 사고에 따른 경제적 리스크를 보상하기 위해 도입됐던 원자력 발전세는 2015년 이후 폐지되었다. 이는 더 많은 원자로의 폐쇄를 막기 위한 조치였다.

사용후핵연료를 위한 고준위폐기물 처분용기(canister)가 부식될 위험이 있다는 과학적 연구 결과가 발표되자, 방사성폐기물 저장소가 폐쇄된 이후 납세자가 폐기물 관리 책임을 맡도록 법안이 개정됐다.

2001~2010년 스웨덴은 전력 순 수입국이였다. 그러나 풍력 발전의 급격한 확대는 원자력 발전의 감소를 상쇄하고도 남았고, 이후 상황은 더 개선됐다. 2010년부터 스웨덴은 매년 순 수출국이 됐고, 2022년에는 유럽 최대 순 수출국으로 올라섰다. 이에 따라 특히 2023년 상반기 스웨덴의 비가정용(Non-household) 전기요금은 kWh당 0.112로 핀란드(kWh당 0.0808)와 더불어 유럽연합(EU)에서 가장 낮은 수준을 기록했다³⁾.

스웨덴 원자력 발전의 경제적 난제

정계의 지원과 법안 개정에도 불구하고, 스웨덴의 원자력 발전은 경제적인 어려움을 겪고 있다. 전기요금이 낮고 일부 비용이 증가한 것이 그 이유다. 첫째, 핵연료의 비용은 통상적으로 화석연료를 사용하는 화력발전소에 비해 더 낮다. 그러나 핵연료 비용을 무시할 수 있는 정도는 아니다.

3) Eurostat, Electricity price statistics, 2023.10.

우리들의 글로벌 시장 가격은 2015년 kg당 50달러에서 2023년 160달러로 지난 몇 년간 크게 상승했다. 달러화 대비 스웨덴 코로나화의 환율 하락으로 인해 4배 이상 가격이 상승하면서 이는 스웨덴 사업자들에게 더욱 큰 부담으로 작용하고 있다.

둘째, 기업들은 방사성폐기물 관리 비용의 재산정이 불가피했다. 기업을 대상으로 원자로 해체 및 폐기물 관리에 필요한 자금을 지원하는 정부 기관인 국가부채청(National Debt Office)은 원자력 발전소에서 생산되는 전력 1kWh당 필요한 비용을 새로 산정했는데, 기존에 비해 상당히 상승한 것으로 나타났다.

포르스마르크(Forsmark), 오스카스함, 링할스 등 원자력 발전소 세 곳의 비용 상승을 살펴보면, 포르스마르크는 kWh당 3.0외레(öre)⁴⁾에서 4.9외레로, 오스카스함은 kWh당 5.6외레에서 7.8외레로, 링할스는 kWh당 4.5외레에서 9.3외레로 상승했다.

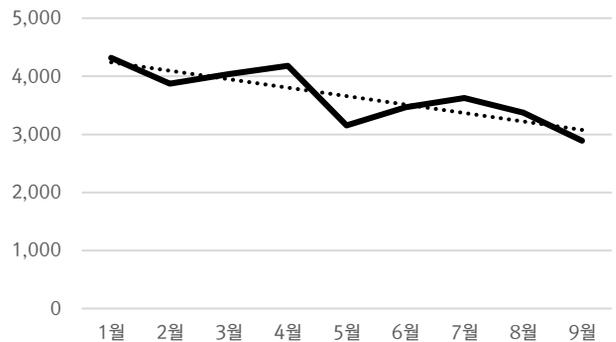
이를 남아있는 원전의 지난 4년간 전력 생산 비용으로 환산하면 전체 비용 상승은 kWh당 20~40외레에 해당한다. 향후 몇 년간 가격은 kWh당 50외레 수준이 될 것으로 보인다.

문제는 일련의 기술적 문제와 낮은 전력 가격으로 인해 2022년 1월부터 2023년 가을까지 실제 전력 생산이 감소했다는 점이다. 링할스 원자력 발전소 4호기는 유지보수 이후 가동하는 과정에서 가압기에

물을 넣지 않고 히터를 켜는 바람에 가압기 내 히터가 녹아내리는 사고가 발생했다. 이 사고로 인해 반년간 전력 생산이 중단되고 수리비가 발생했다. 그러나 이것이 유일한 문제는 아니었고 원자로 재가동 후에도 전력 생산 감소 추세는 이어졌다.

비용 상승에도 불구하고 가장 규모가 크고 새로운 원자로들은 가까운 미래에도 경쟁력을 유지할 수 있는 가능성이 있다. 그러나 업계 전문가들의 판단에 따르면, 신규 원자로 건설 계획은 더 어려워질 전망이다.

[표 2] 스웨덴 원자로의 2023년 월간 전력 생산량



단위 : GWh
출처 : 2023년 전력공급, 스웨덴 통계청

원자력 업계의 기회

최근 몇 년간 원자력 기술부터 연료까지 글로벌 시장이 위축되면서, 원자력 사업자들이 부품과 서비스를 조달할 때 공급업체 간 경쟁을 유도하기가 점차 어려워지고 있다. 또 러시아의 우크라이나 침공으로 인해 지정학적 갈등이 발생하면서 이러한 상황은 더 악화되었다.

4) 1코로나는 100외레에 해당한다.

▲ 우라늄 및 연료 공급

수년간 러시아의 핵연료 공급 통제는 EU에게 골칫거리였다. 러시아는 전 세계 핵연료 생산의 대부분을 차지하고 있다. 그러나 서유럽에서 더 우려되는 것은 러시아가 카자흐스탄, 우즈베키스탄과 함께 독립국가연합(Commonwealth of Independent States)을 구성해, 글로벌 우라늄 채굴의 절반 이상을 점유하고 있다는 점이다.

EU는 프랑스의 옛 식민지였던 니제르에서 우라늄을 조달하는 방식으로 공급 다각화에 나섰다. 2021년 EU의 우라늄 중 25%는 니제르에서 공급됐다. 그러나 2023년 니제르에서 군부 쿠데타가 일어나면서 우라늄 공급이 불확실해졌다.

그 결과 유럽 원전 기업들은 대체 공급업체를 물색하고 있으며, 이에 따라 우라늄 신규 투자가 필요해질 것으로 보인다. 장기 계약을 통해 공급원을 다각화하고 리스크를 공유하는 것이 매력적인 옵션이 될 수 있다. 이는 스웨덴의 원자력 기업도 마찬가지다.

▲ 기술

스웨덴은 기존 원자로 유지보수를 외부에서 영입한 숙련 근로자들의 기술 지원에 의존하고 있다. 이로 인해 높은 비용이 발생하고 있다. 그 이유는 전문 기술, 높은 보안 기준, 그리고 공급업체 간의 낮은 경쟁 때문이다.

이러한 상황에서 유럽 외 지역의 기업들에게 기회가 있을 수 있다. 기존 공급업체들의 독점으로 인해 높은 비용이 발생하고 있는 상황에서, 새로운 공급업체의 진입은 경쟁을 확대하고 비용을 낮출 수 있기 때문이다. 따라서 스웨덴 정부는 이미 확립된 절차에 새로운 공급업체를 투입하는 데 초기 비용이 높더라도 이를 기꺼이 감수하려 할 것이다. 지정학적 요소도 중요하겠지만, 한국 및 일본 공급업체에게는 진출의 기회가 될 수 있다.

▲ 신규 원자로

현 정부는 신규 원자로를 건설한다고 발표했지만, 스웨덴의 경제 상황은 녹록지 않다. 스웨덴의 전기 요금은 유럽에서 가장 낮다. 게다가 핀란드, 프랑스, 영국의 원자로 건설 프로젝트들에서 일정 지연, 예산 초과 등이 발생해 좌절감을 안겨주고 있다.

아시아 공급업체들은 더 우수한 것으로 알려져 있다. 특히 한국의 아부다비 납품은 성공 사례로 제시되고 있다.

그러나 스웨덴에서도 원자로 조달 프로세스에는 구매 기업이 심각한 리스크에 노출되지 않도록 다양한 기술적 재정적 보장이 필요할 것으로 예상된다. 비(非)유럽 공급업체의 경우 이 같은 리스크에는 안전 당국과의 관계 관리도 포함된다.

현 정부가 원자력 친화적이므로 이는 작은 리스크로 보일 수 있다. 현 정부는 구매업체와 원자로 공급업체 모두에게 매력적인 장기 보증을 제공할 수 있다.

그러나 스웨덴은 정권이 교체되는 국가라는 점을 고려해야 한다. 정권이 교체될 경우, 새로운 정부의 정책 방향이 현 정부와 다를 수 있으며, 이는 비(非)유럽 공급업체에게 불리하게 작용할 수 있다. 정권이 교체되더라도 일관성을 유지하기 위해 정당들이 2016년부터 안정적인 장기 에너지 협정을 체결하려던 시도가 최근 무산된 것은 이러한 점을 시사하는 것으로 볼 수 있다. 따라서, 비(非)유럽 공급업체의 경우, 스웨덴 정부와의 협력에 앞서, 향후 정권 교체에 대비한 전략을 마련할 필요가 있다.

그러나 스웨덴의 원자력 정치학은 역설적이다. 발표된 정책이 실행되지 않고, 정책이 시간이 지남에 따라 바뀌기 때문이다. 정당들이 장기 에너지 협정을 체결하지 못함에 따라 불확실성이 커졌다.

그러나 원자력 사업자들은 경쟁을 보장하기 위해 공급업체를 다각화하는데 큰 관심을 갖고 있다. 따라서 연료, 부품, 기술 등을 공급하는 신규 기업들에게 지원을 제공할 가능성이 높을 것으로 전망된다.

결론

스웨덴은 작은 국가지만 원자력 발전량이 높은 국가다. 스웨덴에서 6기의 원자로가 1,000만명에게 전력을 제공하고 있으며 이는 세계 평균 대비 10배에 달한다.

해당 원고에 대해 사전 동의 없이 상업 상 또는 다른 목적으로 무단 전재·변경·제3자 배포 등을 금합니다.
또한 본 원고를 인용하시거나 활용하실 경우 △출처 표기 △원본 변경 불가 등의 이용 규칙을 지켜야 합니다.
해당 원고의 내용은 집필자 개인의 의견으로 한국원전수출산업협회의 공식견해가 아님을 밝힙니다.