



# 스웨덴의 원전 폐쇄 정책이 환경, 건강 및 경제에 미치는 영향

이익환

한국과학기술정보연구원 전문연구위원



· 한양대 원자력공학과 학사, 석사

- 현대건설(주) 원자력부장
- 한국원자력연구소 본부장
- 한전 한수원(주) 처장
- 한국원자력기술(주) 회장
- 한전원자력연료(주) 사장 역임

**본**고는 스웨덴 의회 및 정부에서 탈원전 정책을 결정하고 1차 원전 2기의 폐기를 1999년, 2005년에 각각 마쳤고 향후 탈원전 정책을 완료해야 하는 스웨덴의 실상을 분석한 내용이다.

스웨덴은 북유럽에서 중공업을 선도해 온 국가로 전력 수요가 많은 국가이다. 현재 운전 중인 원전은 10기이고 모두 폐기 대상이지만 전체 전력의 약 45%인 연 70~80TWh의 전력을 원전에서 공급하고 있으며, 원전을 대체할 대안이 현실적으로 마땅하지 않아 오늘에 이르고 있다.

특히 원자력을 지지하는 제1당인 사민당 정부에 연정으로 참여하고 있는 녹색당은 환경기후장관을 맡고 있어 그들의 강령과 공약을 실천에 옮겨야 하는 입장이라 서로의 입장이 대조적이고 미묘하다.

스웨덴의 현실과 비교, 우리나라의 고리 1호기 폐기 결정을 되돌아보게 한다. 본 보고서에서 설명되고 있지만 1차 폐기된 Barseback 원전 1, 2호기는 마침 고리 1호기와 용량이 비슷한 60만kW급으로 2기 원자로의 폐기로 인한 부작용을 볼 때, 그리고 고리 1호기와 설계가 비슷한 미국의 원전이 60년 규제기관의 승인하에 운전되고 있는데 고리 1호기는 40년 운전이 폐기되어야 하는 입장을 볼 때, 우리의 고리 1호기 폐기 결정은 무언가 이해가 어렵다.

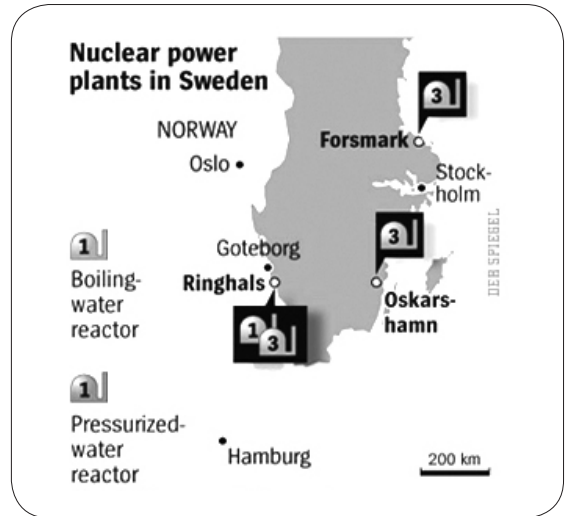
미국 설계인 고리 1호기는 미국의 비슷한 설계와 비교하여 아직도 기술적 운전 잠재력이 20년 가까이 남았다고 볼 수 있는데 안전성의 문제와 기술적인 문제에 대한 충분한 전문가의 검토와 평가에 대한 과정이 생략된 채 정책적으로 결정된 것으로 이해되기 때문이다.

## 서론

인류가 살아온 과정을 통해 산업 발전과 농업 활동은 온실가스, 특히 CO<sub>2</sub> 배출로 인한 지구 기후 변화의 근본적 원인이 되고 있다. 1992년 당시 190개 국가가 온실가스 배출 감축의 필요성을 인식하고 기후변화 감축 계획에 합의한 바 있다. 그러나 전력 생산에 화석연료와 같이 저렴하고 안정적인 에너지 사용으로 에너지 수요가 경쟁적으로 증가하게 되었는데, 다행히 OECD 국가들은 정체 내지 감축되는 추세이나 중국과 인도 등 신흥 개발도상국의 온실가스 배출 증가는 큰 폭으로 증가하고 있다.

스웨덴은 프랑스 등과 함께 화석연료 주종에서 대규모 원전을 설치, 운영하여 온실가스 발생을 줄이고 있다. 이러한 성공적인 결과에도 불구하고 스웨덴 연정에 참여하고 있는 정당인 녹색당 소속의 환경기후장관인 Asa Romson은 스웨덴의 원전 조기 폐쇄를 공약하고 있다. 녹색당이 중도좌파인 정부에 참여하고 있는 목적도 탈원전 정책의 이행이라 할 수 있다. 1차 2기를 폐기시켰지만 사민당 정부와의 합의에 의거, 2018년 내에 적어도 2기의 원전을 추가 폐쇄시키기로 되어 있다. 그러면 경제적인 기준 원전의 운전 정지로 세수가 상승될 수밖에 없게 되며 재정의 어려움이 필연코 발생하게 된다.

스웨덴의 경수로 기술은 자국(ASEA-Atom)에서 개발하여 당시 석유 의존과 수력 발전 위주의 전력 계통에 대안으로 역할을 해 오고 있다. 1972년 Oskarshamn 1호기가 처음 운전되어 1986년에는 전력의 50%를 원전에서 공급하였다. 현재 원전 10기에서 10GW 용량으로 연 70TWh의 전력을 공급, 점유율은 43~47% 선이다. 원전 수명 기간은 제3세대 원전의 경우 60년, 이 이전 단계의 원전은 50년이다.



스웨덴의 원전 위치

## 분석 방법

스웨덴 원전 계획에서의 CO<sub>2</sub> 방출 영향을 분석하기 위해 원전 ‘수명기간 평가(LCA: Life Cycle Assessment) 방법’에 따라 전력 생산에서 온실가스 방출량을 계산한다. LCA의 영역은 발전소 건설 및 해체, 연료 생산 및 수송, 운전과 부산물 및 폐기물 취급 관련 사항도 포함된다.

자료의 정확도를 고려하여 공기업인 Vattenfall이 발표한 보고서, 2차례에 걸쳐 검토한 원전의 온실가스 방출 결과, 그리고 기후 변화에 따른 정부 간 협의체 자료를 활용하였는데 이 중 가장 높은 값의 평균치인 배출량 1kWh당 65kg-CO<sub>2</sub>를 이용하였다.

원전은 CO<sub>2</sub>를 배출하지 않지만 우라늄 채광 및 수송, 원전 건설 등 2차적인 화석연료를 사용하는 부분이 포함된다. IAEA에서 발표한 1kWh당 10kg보다는 높은 자료이다.



발트 지역의 전력망을 통해 연간 약 300TWh의 전력이 현재 상호 거래되고 있다. 신재생 에너지원의 발달의 경우 원전에서 생산된 전기로 부족분(back up 전력)을 보충한다. 자국의 전력으로 충당하진다면 석탄, 가스 발전에서 생산된 전기를 이용할 수 있다.

발트 지역의 총 화석연료에 의한 전기 사용량은 연 556TWh(이 중 81%는 석탄화력)이다. 만일 스웨덴 원전을 신재생 에너지로 대체하려면 10배로 용량을 확장해야 한다. 스웨덴의 원전은 탄소를 거의 배출하지 않는 에너지원이고 가동률 90%로 매우 안정적이다.

발트 지역 및 북유럽의 전력 생산 가격 구조는 스웨덴의 원전과 이 지역의 화력발전과 연동되어 있다. 즉 원전에서 생산되는 전력에 따라 생산 단가가 감소되는데, 만일 원전이 폐쇄되면 가격에서 반대 현상이 발생하게 된다.

만일 스웨덴 탈원전이 이행된다면 3가지 시나리오가 고려될 수 있다. ① 100% 석탄화력으로 대체, ② 90% 석탄과 10% 가스 발전, ③ 80% 석탄과 20% 가스 발전 등이다. 원전 수명이 될 때까지는 계속 운전한다. 1kWh 전력 생산을 위해 발전소 별 CO<sub>2</sub> 배출량은 석탄 1,045g, 가스 602g, 원전 65g이다.

건강 및 안전성에 대한 검토를 하였다. 에너지와 전력 생산으로 온실가스 배출에 따른 기후 변화뿐 아니라 화석연료에서 발생하는 중금속 오염 또는 원전의 중대사고가 발생할 때 방사능 피해 등 인류의 건강에 영향을 주게 되는 것이다. 각 에너지 별로 위험에 따른 TWh당 사망자 수로 계산할 수 있는데 석탄(중국제외) 28.67명, 천연가스 2.821명, 원자력은 0.074명이다.

경제적 영향은 기후와 건강 이상으로 심각하다. 현재 전력망의 40% 이상을 공급하는 원전 기술이 조기 폐쇄된다면 이는 총체적인 경제와 산업 생산 전반에 영향을 주게 된다. 기초 산업을 대표하는 기업인 SKGS(40만명

의 종업원과 스웨덴 수출입에 영향을 주는 기업)는 만일 기술적 수명이 다하지 않은 상태에서 탈원전으로 갈 경우 스웨덴 산업은 심각한 위협에 당면할 수 있다고 보고 하였다.

### 검토 결과

CO<sub>2</sub> 방출 영향은 원전과 다른 전력과의 CO<sub>2</sub> 방출을 비교, 계산하였다. 스웨덴 전체 원전의 전력 생산 실적은 전체 원전 계획의 현재의 원전 실적에 기준하여 만일 원전의 기술적 수명을 늘릴 수 있다면 향후 발생할 CO<sub>2</sub> 배출 19~21억톤을 줄일 수 있는 잠재력이 있다는 결론이다. 이 수치는 스웨덴이 현재 모든 에너지원에서 배출하는 방출량의 30배에 해당된다.

원자로 규모에 따라 방출량에 차이가 있다. 1991년 정책 결정에 따라 전체 생산 잠재력의 1/3 시점에 조기 해체된 B1(Barseback) 원전이 스웨덴과 인접한 덴마크와 독일의 석탄화력 발전과 교체되었다고 가정하면, 매일 10,700톤의 CO<sub>2</sub>를 감축한 결과가 되었을 것이며, 2014년까지 감축량을 계산하면 스웨덴의 연간 방출량과 비슷하다. 현재까지 B1 및 B2 원전의 조기 해체로 인하여 CO<sub>2</sub>량 9천400만톤 감축 기회를 잃게 되었는데 이는 스웨덴의 총배출량의 4.5배에 해당한다.

원전 폐쇄에 따른 건강 영향은 스웨덴의 원전이 있는 그 곳에 화력발전소로 대체한다고 가정하면 원전으로 인해 에너지 관련 50,000~60,000명이 죽음에서 방지된 것으로 분석되었다. 원전을 석탄 발전에서 대체할 경우, 각 원전 수명의 남은 기간에 대해 매년 80~318명의 생명을 죽음에서 방지하는 잠재력을 가지고 있는 것이다. 유럽위원회(UC)가 전력 생산과 관련 연구에서 Barseback 원전의 운전 정지로 인한 직접적 계산 결과를 발표한 년 약 200여명의 숫자가 일치함을 보여주었다.



스웨덴의 Forsmark 원전. 스웨덴은 프랑스 등과 함께 화석연료 주종에서 대규모 원전을 설치, 운영하여 온실가스 발생을 줄이고 있다.

폐쇄된 Barseback 원전에서 약 30km 인근의 덴마크와 독일의 석탄화력과 가스 발전에서 발생한 오염에 의해 2,400여명이 사망한 것으로 예측된다. Barseback 원전 폐쇄 결정은 현재까지 북유럽에서 에너지 생산 역사에서 기후와 건강에 가장 심각한 부정적인 영향을 준 경우로 평가받고 있다.

스웨덴의 수력 및 원자력의 안전 실적은 수송 분야와 함께 타 주요 산업에 비교하여 뛰어나다고 할 수 있다. 스웨덴의 원자력 역사에서 인간이나 환경에 영향을 준 결과로 초래된 사고는 IAEA의 안전등급 2를 제외하고는 없었다. 수력의 역사에도 일부 범람한 사실은 있지만 사망자는 발생하지 않았다.

원자력은 통계적으로는 타 전력 시스템에 비해 안전하지만 중대사고가 발생하면 수력이나 화력발전 사고보다 훨씬 큰 결과를 초래할 수도 있다. 1975년 중국의 Banqiao(板橋)댐은 부실 공사와 태풍으로 인한 붕괴와 하류 유실로 23만 명이 사망하였고 6백만 개의 건물 유실과 1,100만 명에게 삶에 큰 영향을 주었다. 1986년 체

르노빌 원전 사고는 방사선 사망자의 세계 유일한 것으로 2006년 현재 43명이 사망하고 6000명의 진단에서 갑상선 암 15명이 판정을 받은 기록이 있다.

스웨덴의 전력 에너지에 의한 사고는 1973년 수력 사고로 인해 1명의 사망자가 발생했을 따름이다. 그러나 사고의 가능성은 있어 스웨덴 북부 Suorva 댐은 중국 Banqiao 댐의 10배의 물을 담고 있어 조절 실패로 인해 Lule 강을 끼고 있는 65,000명의 Boden과 Luleå를 공격할 수 있을 것이며 하류의 Trängslet 댐에 의한 15,000명이 사는 Moraand Orsa시에도 비슷한 예가 발생할 가능성이 있다.

직접적인 경제(세수) 영향에 대해 알아본다. 잠재적 세금은 포함되지 않고, 현재 세금 수준에서 스웨덴 전 원전 대상의 미래 세수 잠재력은 8천억 SEK(약 1,200억 달러)로 추산된다. 전력 회사가 공기업으로 회사 이익에 대한 세금 역시 포함되지 않았다. 연 5%의 할인율을 가정할 때 향후 30년 동안 남은 세수의 잠재적 가치는 약 400억 SEK(60억 달러)이다. 추가 부담금은 폐기물 처분에



스웨덴의 Oskarshamn 원전. 스웨덴의 경수로 기술은 자국(ASEA-Atom)에서 개발하여 당시 석유 의존과 수력 발전 위주의 전력 계통에 대안으로 역할을 해 오고 있다. 1972년 Oskarshamn 1호기가 처음 운전되어 1986년에는 전력의 50%를 원전에서 공급하였다.

대한 1kWh당 0,022 SEK(잠재적인 가치에 대한 총금액: 460억 SEK)인데 이는 장기 세금에 포함되지 않았다. 폐기물 처분 프로그램의 총소요 금액은 약 990억 SEK이며 이중 490억 SEK는 현재 집행이 가능하다.

가상적으로 2022년 원전 폐쇄에 따른 환경과 경제적인 영향을 알아보았다. 환경과 경제적 위험을 줄이는 전략으로 운전 중인 원전을 2022년까지 모두 폐쇄하는 것인데 사실 실행 가능성은 거의 없어 보인다. 독일의 경우와 같이 오래되고 적은 규모의 원전부터 폐쇄하면 이 전략의 첫 시발점이 될 수 있다. 스웨덴 환경기후부 장관은 이미 그의 전략을 제의한 바 있는데 O1(Oskarshamn 1), R1(Ringhals 1)의 폐로를 2018년까지 실천한다는 것이다. 그러나 엄격한 세금 체제에서 전력회사는 수익이 가능한 발전소를 폐기시키는 어려운 것이다.

독일과 같이 조기 폐기시키는 경우는 물류 면에서 수입 가스 발전이나 기저부하용 석탄 발전을 대체하여 생

산 손실을 복구할 가능성이 있지만 소비자 측면의 에너지 비용은 극단적 증가가 예상된다. 2022년 모든 원전이 폐쇄되면 340TWh(전체 생산 잠재력의 16%)의 생산 가능 잠재력을 남긴 채 원전이 모두 정지된다.

스웨덴 원전으로 인한 CO<sub>2</sub> 절감은 약 20억 톤에 해당되지만 2022년 조기 원전 폐기의 경우 CO<sub>2</sub> 3억3천만 톤 절감 역시 유보된다. 세수에 대한 것으로 정부 소유 공기업 세수 감소가 6600억 SEK(1000억 달러)가 발생할 것으로 추정된다.

### 검토 사항

현재 스웨덴의 전력 사정은 산업적 사회에 알맞게 다양한 전원의 구성으로 안정적인 공급에 매우 양호한 편이다. 가장 큰 역할은 즉각적인 대응이 가능한 수력(4대강과 15개의 지류)과 기저부하용 원자력의 역할을 들





스웨덴의 Ringhals 원전. 원전 폐쇄 정책은 스웨덴의 문제를 넘어 지구 환경과 건강에 심각한 영향을 미칠 것이다. 세계 경제가 위험한 온실가스를 피하는 저탄소 정책의 긴급성을 감안할 때 원전 조기 폐쇄 정책은 UN의 지속 가능 개발 정책에 역행하는 정책이며 미래 인류 복지의 국제적 의무에 반하는 것이다.

수 있다. 향후 원전 폐기에 따른 대안으로 수력의 증설은 더 이상 하지 않는 것으로 스웨덴은 법으로 정하고 있다.

Barseback 원전이 폐기된 바 있어 원전 폐쇄는 사실상 시작되고 있다. 원전 폐기에 따른 대안은 아직 없다. 스웨덴은 인구의 급격한 증가와 함께 산업의 대규모 중공업산업으로 성공적인 도약을 이루었고 기후 변화에 따른 온실가스 감축 계획이 전력 부문과 수송 부문을 중심으로 진행되고 있다. 수송 분야는 사실 93% 화석 연료에 의존하기 때문에 절감 부분에 큰 역할을 할 수 없다.

정부의 신규 발전은 풍력을 추진하는 데 2020년까지 연간 30TWh를 생산을 목표로 추진하고 있는데 이는 2020년까지 신재생 에너지를 전체 전력의 49%까지 개발한다는 장기 계획에 따른 것이다. 그러나 이러한 계획은 원전 폐쇄 계획과 직접 연계하지 않았고 예산, 사전 타당

성 조사 등 충분한 국내 관련 인프라 등을 고려하지 않고 책정한 계획이어서 실천이 어려울 것이다.

### 정책적 함축 사항

본 보고서는 스웨덴의 에너지 관련 온실가스 배출량, 오염 물질 및 인프라 비용에 대한 자료를 근거로 가능한 직접적인 효과와 스웨덴의 원전의 조기 폐쇄의 정책에 대한 영향을 체계적으로 제시한 것이다.

결론을 요약하면, 건강, 환경 및 경제적 영향이 상호 직결된다는 것이다. 원전의 정책적 폐쇄 계획에 대하여 이를 대신할 대체 에너지 계획이 현재 없고 스칸디나비아의 지역적 특성에 따라 풍력 및 태양광 발전의 한계가 있어 전력 공급은 수입 화석 발전과 기존 발전소 조합이 될 것이다. 이 경우 2020년까지 온실가스 40%를 감축하겠다는 정부 정책이 어긋나게 된다.



본 보고서는 스웨덴 정부가 수명 기간 이전에 조기 탈원전 정책을 시행함으로써 온실가스로 인한 수많은 사람들이 죽음으로 이어지고 수십 억 톤의 온실가스 방출과 천억 달러의 자산을 잃게 할 수 있음을 보여주고 있다.

원전 폐쇄 정책은 스웨덴의 문제를 넘어 지구 환경과 건강에 심각한 영향을 미칠 것이다. 세계 경제가 위험한 온실가스를 피하는 저탄소 정책의 긴급성을 감안할 때 원전 조기 폐쇄 정책은 UN의 지속 가능 개발 정책에 역행하는 정책이며 미래 인류 복지의 국제적 의무에 반하는 것이다.

### 결언

스웨덴은 중공업산업을 성공적으로 이끈 산업 체제를 갖고 있으며 다양한 전력 시스템으로 안정적인 공급을 하고 있다. 전력 구성은 수력, 원전이 중심이 된다. 원전은 Barseback, Forsmark, Oskarshamn, Ringhals 등 4개의 단지가 있다. 그러나 Barseback 1, 2호기(각 600MW급)는 1999년, 그리고 2005년에 각각 의회와 정부 정책에 따라 폐쇄된 바 있어 현재 총 10기의 원전이 운전 중이며 총전력 중 원자력 이용률은 43~47% 선이다.


스웨덴 정부를 구성하는 제1여당 사민당은 113석(전체 349석)으로 녹색당(25석)과 소수 연정을 구성하고 있다. 소수 연정으로 인해 사안별로 다른 야당과 합의해야 하는 어려움을 갖고 있다. 특히 연정에 참여하는 녹색당은 원전 폐쇄를 공약을 내걸었고 환경기후 장관이 녹색

당이기에 때문에 향후 원전 폐쇄의 일정이 제대로 지켜질지를 주시하고 있다.

정부의 사민당은 기후 변화, 조세, 경제성 등 여러 면에서 원전을 지지하는 입장이지만 연정 파트너인 녹색당은 물론, 우호 정당이면서 원전 반대 입장의 환경당, 좌파당과의 사이에 난처한 입장이다.

스웨덴의 탈원전 정책은 이행 가능성은 낮지만 만일 추진될 경우 다양한 관점에서 어떠한 영향을 주게 되는지가 분석되었다. 결론은 원전의 조기 폐쇄는 인류 건강, 환경, 경제적 측면에서 크게 손상을 받는다는 것이다. 만일 2022년 탈원전이 된다면 약 16%의 전력생산 잠재력을 포기하는 결과가 되어 에너지에 따른 수많은 인명의 죽음과, 수십 억 톤의 온실가스발생, 나아가 천억 달러 이상의 자산을 잃게 된다는 결론이다.

우리나라는 전체 전력의 약 30%를 원전에서 발전한다. 매년 약 5억 톤의 CO<sub>2</sub>를 배출하는데, 만일 원전이 없다면 스웨덴 이상으로 어려움이 클 것이다. 국내에 후쿠시마 원전 사고 이후 반원자력단체 등 반대의 목소리가 높아지고 있다. 예로써 원전의 계속운전은 안전성 확인을 전제로 외국의 60년 승인을 우리는 기술적 운전 잠재력의 시간이 많은데도 겨우 30년, 40년에 조기 폐쇄하라고 주장한다.

주민의 표를 의식한 일부 정치가에 의해 국익에 역행하는 결정을 내릴 가능성이 있는 우리나라에 본 보고서는 경종을 울려주고 있다고 하겠고, 에너지 정책 입안자는 물론, 환경 및 국민 건강에 관련되는 모든 분들에게 참고가 되었으면 한다. 

### 〈자료 출처〉

Staffan A. Qvist, "Environmental and health impacts of a policy to phase out nuclear power in Sweden", Energy Policy, 84, 2015