

# 후쿠시마 사고 이후 원자력의 미래

“원자력 르네상스”가 도래하지 않을 이유

루츠 메츠, 베를린자유대학교 환경정책연구센터 선임연구위원

후쿠시마에서 일어난 최악의 원자력발전소 사고 이후 국제 에너지 정책은 새로운 국면을 맞이하게 되었다. 전세계적으로 원자력의 르네상스 시대가 도래할 것이라는 예상은 빛나갔고, 일본의 원전 사고 이후, 원자력이 장기적으로 주요 에너지원의 역할을 담당하게 될 가능성은 더욱 희박해졌다. 정도의 차이는 있으나 독일, 스위스, 중국 그리고 일본 정부는 모두 에너지 전환을 앞당겨 실현하는 등 대안을 고민하기 시작하였다. 유럽연합 내 가장 영향력 있는 회원국 중 하나인 독일은 원자력 사용을 전면 폐지하기로 했고, 이 결정은 유럽 전역에 파장을 불러 일으킬 것으로 보인다. 이와 관련하여 외팅거 유럽연합 에너지 담당 집행위원은 일본의 원전 사고로 “가까운 장래에 유럽이 원자력을 사용하지 않고 어떤 방법으로 전력수요를 확보할 수 있나”라는 새로운 도전 과제에 직면하게 되었다고 언급하였다. 반면 러시아, 체코, 프랑스는 원자력 사용의 확대를 지속적으로 추진할 것이라고 발표하였다. 이러한 각국의 대응 방식을 보면서 일본의 원전 사고가 중기적으로 볼 때 민간 차원의 원자력 이용과 미래의 세계가 사용할 에너지 매트릭스에 어떠한 영향을 미칠 것인지 살펴볼 필요가 있다. 세계 4위의 경제 강국인 독일이 이탈리아와 스위스처럼 원자력 사용을 중단하고 미래의 경제성장 동력으로 더 많은 재생 가능 에너지를 사용하기로 한 결정으로 인하여 다른 나라들도 원자력 에너지의 미래에 대해 생각해 보지 않을 수 없게 되었다.

본고에서는 일본 원전 사고를 바탕으로 도래할 것이라고 예상했던 원자력 에너지의 르네상스를 새롭게 평가하고자 한다.

2011년 7월

## [ 1. 들어가며 ]

후쿠시마에서 일어난 참사는 원자력의 위험을 인간이 통제할 수 없다는 사실을 확실하게 보여주었다. 사고 발생 후 원전을 반대하던 사람들은 원자력 시대를 즉시 끝내야 한다고 주장한 반면, 원자력을 지지하던 사람들은 변함없이 원자력이 인류를 위한 최선의 길이라고 주장했다. 칼럼리스트인 클라에스 카스트홀름은 덴마크의 대표적 일간지인 베를링스케 티데네(Berlingske Tidende)에서 후쿠시마 사고 발생 2주 후에도 “원자력은 인류가 사용할 수 있는 가장 안전한 에너지다”라고 주장했다(Berlingske Magasin, 2011.03.27, p. 23).

---

기후 변화 문제가 점점 심각해지고 화석 연료의 유한성이 갈수록 명백하게 드러나는 상황(석유고갈론, 피크 오일) 속에서 지난 10년 동안 원자력은 국제 에너지 공급 문제를 해결해 줄 수 있는 방편으로, CO<sub>2</sub>를 발생시키지 않으며 깨끗하고 값싼 에너지로 큰 관심을 받았다.

---

그렇게 자주 언급된 세계 원자력의 르네상스 시대는 도래한 적이 있었던가? 기후 변화 문제가 점점 심각해지고 화석 연료의 유한성이 갈수록 명백하게 드러나는 상황(석유고갈론, 피크 오일) 속에서 지난 10년 동안 원자력은 국제 에너지 공급 문제를 해결해 줄 수 있는 방편으로, CO<sub>2</sub>를 발생시키지 않으며 깨끗하고 값싼 에너지로 큰 관심을 받았다. 미국의 버락 오바마 대통령도 2010년 2월, “원자력은 이산화탄소를 배출하지 않는 최고의 에너지원이다. 커져만 가는 에너지 수요와 기후 변화 문제를 예방하기 위해 원자력 공급을 확대시킬 필요가 있다. 아주 간단한 방법이다”라고 발표했다. 원자력을 민간 차원에서 사용하기 시작한 초창기만 해도 “너무 싸서 사용량을 계산할 필요가 없다(too cheap to meter)”라는 문구로 원자력의 저렴한 비용을 강조했다지만, 오늘날에는 원자력이 비용 면에서 “다른 대체 에너지원보다는 싸다”는 정도로만 선전할 수 있게 되었다.

원자력의 르네상스 시대에 대한 주장은 오래 전으로 거슬러 올라간다. 이미 1981년 10월 9일 자 뉴욕타임즈에 “대통령, 원자력의 부활 계획을 발표하다(President offers plans for revival of nuclear power)”라는 제목의 기사가 실렸다. 로널드 레이건 대통령이 이끄는 미국 정부가 원자력의 상업적 사용 활성화를 위한 구체적인 계획을 발표했다는 내용이었다. 이때부터 원자력의 르네상스라는 말이 언론에 자주 등장하였다. 원자력 사용을 활성화하던 초기에는 실제로 이 에너지원의 르네상스 시대가 도래했다는 것을 뒷받침할만한 근거가 지금보다 많았다. 1979년에는 전세계적으로 233기의 원자로가, 1981년에는 미국에서만 거의 50기의 원자로가 건설되고 있었다. 지금은 전세계적으로 총 64기의 원자로만 공사 중에 있다. 그러나 서구 산업국가를 살펴보면, 이전에도 그랬듯이 여전히 원자력의 재부상을 암시하는 증거들을 발견할 수 없다. 1973년 이후 에너지프로젝트 분야에서 최대 규모의 시장을 자랑하는 미국에서도 모든 원자력발전소 공사 계획을 철회했다. 한편에서는 원자력 사용의

급속한 확대를 주장하지만, 현실은 전혀 다른 모습의 미래를 예견하고 있다. 1989년에서 2011년 사이 세계 원자로의 수는 423기에서 437기로 약간 증가하였는데, 이는 새로 건설한 원자로가 연평균 1기가 채 안 되었다는 이야기다. 원자력의 상업적 사용을 시작한 해인 1956년 이후, 2008년에는 세계 최초로 새 원자력발전소가 설립되지 않았다. 게다가 2011년 가동된 발전소는 444기로 가장 많았던 2002년보다 7기 적었다.

그렇다면 안전하면서도 싸고 친환경적이라는 원자력이 실패할 것으로 예상되는 이유는 무엇인가? 다음 장에서 전세계 원자력 개발 계획의 현황과 지금까지 원자력 르네상스 시대가 도래하는 것을 방해한 요인이 무엇인지 살펴보고자 한다.

## [ 2. 전세계 원자력 개발 계획 ]

2011년 4월 20일 국제원자력기구(IAEA)는, 2011년 3월 후쿠시마 다이치에서 일어난 지진과 쓰나미로 인해 원자력발전소 3기의 노심이 용해되어 결국 원자로 운영이 불가능하게 되었지만, 전세계적으로 443기의 원자력발전소가 총 375,374MW의 전력을 생산하며 평균 26년간 “가동 가능”하다고 보고하였다. 2010-2011 세계 원자력산업 현황 보고서(World Nuclear Industry Status Report)에서는 이 사고 때문에 전세계적으로 437기의 원자로만이 가동 가능하다고 발표하였다.

정말로 세계 곳곳에서 원자력발전소 건립이 추진되고 있는가? 결코 아니다. 국제원자력기구는 현재 총 62,562MW의 전력을 생산할 수 있는 64기의 원자력발전소가 건설 중이라고 보고하였다. 이 프로젝트는 총 14개 국가에서 진행되고 있다. 중국(27기), 러시아(11기), 인도(5기), 한국(5기), 우크라이나(2기), 캐나다(2기), 일본(2기), 슬로바키아(2기), 대만(2기)을 비롯하여 아르헨티나, 브라질, 핀란드, 프랑스, 이란, 미국에서는 각각 한 기의 발전소가 건립 중이다. 1979년에는 전세계적으로 233기의 발전소가 건립되었다(Schneider, Froggatt, Thomas 2011). 세계원자력협회(WNA)는 현재 61기의 발전소만 건립 중이고, 158기의 원자로 건설이 “계획 단계”에 있다고 보고 있다. 한편 원자력 기술의 발전사를 살펴보면, 원자력발전소가 “계획” 되었다고 해서 반드시 “건설” 되는 것이 아니라는 사실을 알 수 있다. 이러한 상황을 볼 때 “원자력의 르네상스”라는 표현은 단지 이데올로기적 구호라고 보아야 할 것이다. 좀 더 자세히 살펴보면, 서구 산업국가에서는 원자력이 오히려 하향 길에 접어들었다고도 할 수 있다. 유럽연합은 1989년에 177기의 발전소를 보유하고 있었지만, 국제원자력기구의 발표에 따르면, 2011년

---

정말로 세계 곳곳에서 원자력발전소 건립이 추진되고 있는가? 결코 아니다. 국제원자력기구는 현재 총 62,562MW의 전력을 생산할 수 있는 64기의 원자력발전소가 건설 중이라고 보고하였다.

---

---

6대 원전 국가인 미국, 프랑스, 일본, 러시아, 독일, 한국 중에서 미국, 프랑스, 러시아는 핵무기 보유국이며, 이들은 전세계 총 원자력 생산량의 3/4을 생산한다. 그러나 총 전력 생산량 중 원자력발전소에서 생산되는 전력은 최대 13% 정도다.

---

4월 유럽연합 내 가동 가능한 발전소는 143기로 줄어들었다고 한다. 여기에는 후쿠시마 원전 사고 이후 장기적으로 가동이 중단된 독일의 8개 발전소도 포함된다. 국제연합의 192개 회원국 중 2011년 5월 현재, 30개국에서만 원자력발전소를 가동하고 있다. 이란은 부시르 원자력발전소가 계획대로 가동될 경우 31번째 나라가 된다. 이탈리아, 카자흐스탄, 리투아니아는 그 사이에 원자력발전소의 가동을 중지했고, 오스트리아는 츠벤텐도르프에 원자력발전소를 건립했지만 가동하지 않았다.

6대 원전 국가인 미국, 프랑스, 일본, 러시아, 독일, 한국 중에서 미국, 프랑스, 러시아는 핵무기 보유국이며, 이들은 전세계 총 원자력 생산량의 3/4을 생산한다. 그러나 총 전력 생산량 중 원자력발전소에서 생산되는 전력은 최대 13% 정도다. 이는 1차 에너지 소비량의 5.5%와 세계 에너지 소비량의 2%를 조금 넘는 수준이다. 이에 비하면 세계 전력 생산량의 거의 19%를 차지하고 1차 에너지 생산량의 약 10%를 제공하는 재생 가능 에너지는 원자력보다 현저히 많은 전력을 생산하면서 환경 부담 경감 및 기후 보호에 기여하고 있다.

27개 유럽연합 회원국 중 12개 국가는 원자력 전력을 사용하지 않거나, 기술적 및 경제적 이유 또는 정치적 의사결정에 따라 원전 가동을 중단했다. 9개 회원국은 원자력에 의존하고 있으며, 2개 회원국은 원전 가동을 중단했다. 그리고 6개국은 중단을 계획하고 있고, 나머지 10개국은 원자력 개발 계획이 없다. 유럽연합의 새 회원이 된 9개국 중 8개국은 위험한 원전의 가동을 중단시켰고 유럽연합 및 서구의 선진 국가들은 10억 유로 이상의 가동 중단 비용을 분담했다. 현재 동유럽 전역에 오직 1개의 원자력발전소가 건설 중이나 향후 다수의 원전 건설을 계획하고 있다. 전력 산업의 자유화 및 부분적 민영화로 인해 새 원전 건설은 극복하기 힘든 수준의 재정 문제를 안고 있다.

3대 신흥 경제국인 인도, 중국, 브라질은 이미 수십 년 전 원자력발전소 건립을 계획하였지만 부분적으로만 실현하여 전체 전력 생산 및 에너지 소비량 대비 원자력발전소 전력 생산 비율은 최소 수준을 유지하고 있다. 가장 큰 프로젝트는 중국에서 진행 중인데, 중국은 현재 전력 생산량의 1.9%를 생산하는 13기의 발전소를 가동 중이며, 27기의 발전소를 추가로 건설하고 있다. 후쿠시마 사고 이후 중국의 발전소 건설 계획이 어떻게 변할지는 중국 정부의 검토 결과를 통해 공개될 것이니 기다려보자. 인도는 20개의 소규모 발전소를 가동하고 있고 전체 전력 수요의 2.2%를 공급하는데, 추가로 5기의 발전소를 건설하고 있다. 브라질에서는 발전소 2기가 전력의 3%를 공급한다. 그리고 발전소 1기가 새로 건립 중이다.

보다 자세히 살펴보면, 64기의 발전소 중 12기가 이미 지난 20년 사이

“건설” 단계로 분류되고 있다. 다시 말해, 통계에 집계되고 있는 다수의 발전소가 가동 중지 상태이다. 따라서 “전세계적 재탄생”이라는 표현은 부적절한데, 원자력발전소 건설에는 어떤 은행도 감당하기 힘든 엄청난 비용과 상당히 긴 공사 기간이 필요하기 때문이다. 그래서 때로는 국가가 재정적 위험 부담을 지기도 한다. 게다가 원자력발전소 건설의 복잡한 승인 절차 같은 원전 건설 실무와 관련된 어려움도 결코 평가절하되어서는 안 된다.

### 발전소 수명과 전력 생산

전세계 원자력발전소는 현재 총 375,000MW를 생산하며 평균 가동 연수는 26년이다. 전체 발전소 생산량이 지난 몇 년 사이 증가한 것은 새 발전소의 건설 때문이라기보다 증기 발생기의 교체 같은 기술적 조치의 결과였다.

지금까지 전세계적으로 130기의 발전소가 가동 중지 되었으며, 이들의 평균 가동 연수는 22년이었다. 이 역시 전세계 원자력의 르네상스 시대 도래를 기대할 수 없게 하는 현상이다. 2008년부터 2011년 4월 사이 총 9기의 원자력발전소가 새롭게 가동되었고, 11기는 가동이 중지되었다 (Schneider, Froggatt, Thomas 2011).

원자력발전소의 수명을 40년으로 잡으면 2015년까지 총 95기 발전소, 2025년까지는 그 외 192기가 가동을 중단할 것이다. 즉, 2025년까지 총 287기의 발전소가 가동 중지 될 것이다. 현재 가동 중인 전세계 원자력발전소들이 생산하는 총 전력량을 유지하기 위해서는 2025년까지 지금의 발전소를 모두 새로운 것으로 대체해야 한다. 만약 현재 건설 중인 모든 발전소까지 가동할 경우, 2015년까지 현재 계획된 발전소 외에 약 18기를 추가로 건설해야 하며, 2025년까지는 175,000MW 이상을 생산하는 총 191기를 추가로 세워야 한다(Schneider, Froggatt, Thomas 2011). 다시 말해, 19일마다 새로운 발전소 1기를 새롭게 가동해야 한다. 건설 계획을 수립한 시점부터 상업적 가동을 시작하는 시점까지의 시간인 “리드 타임”이 원자력발전소의 경우 최소 10년이므로 현재의 전력 생산량을 유지하는 것조차도 불가능하다고 볼 수 있다.

원자력발전소에서 생산된 전세계 전력을 보면, 전력량의 3/4을 6개국에서만 생산하고 있다. 이것은 사실 전세계 전력 생산에 큰 영향을 미치지 못한다. 2008년 전체 전력 생산량 중 원자력발전소에서 생산한 전력량이 러시아가 16%, 프랑스가 77% 정도였다. 이들 국가의 최종 에너지 소비량 대비 총 전력량이 겨우 14~26%에 불과하므로, 최종 에너지 소비량 대비 원자력발전소에서 생산된 전력량 역시 이에 비례하여 낮다. 2008년 프랑스는 17.3%, 러시아는 2.2% 수준이었다. 국제적으로 비교해 볼 때, 원자력발전소에서 생산된 전력이 전체 전력

---

전세계 원자력발전소는 현재 총 375,000MW를 생산하며 평균 가동 연수는 26년이다. 전체 발전소 생산량이 지난 몇 년 사이 증가한 것은 새 발전소의 건설 때문이라기보다 증기 발생기의 교체 같은 기술적 조치의 결과였다.

---

공급량에서 차지하는 비율은 수년간 지속적으로 줄어들고 있다. 2008년에는 그 비율이 13.5%에 불과했다. 전력이 최종 에너지 소비에서 차지한 비율은 2008년 전세계적으로 17.2%뿐이었고, 원자력발전소에서 생산된 전력은 2.3%로 매우 낮았다. (지속적으로 이 비율은 낮아지고 있다.)

### 계획과 전망

각국 정부의 계획과 의향을 살펴보면, 2020년 미국, 프랑스, 일본, 러시아, 한국이 전세계에서 최대 규모의 원자력발전소를 보유할 것이라는 사실을 예측할 수 있다. 가장 큰 원자력 발전 계획을 추진하던 국가는 최근까지만 해도 중국이었다.

각국 정부의 계획과 의향을 살펴보면, 2020년 미국, 프랑스, 일본, 러시아, 한국이 전세계에서 최대 규모의 원자력발전소를 보유할 것이라는 사실을 예측할 수 있다. 가장 큰 원자력 발전 계획을 추진하던 국가는 최근까지만 해도 중국이었다. 중국과 일본이 후쿠시마 원전 사고 직후 무산시킨 원자력발전소 개발 계획이 어떠한 방식으로 추진될 지는 지켜보아야 한다.

원자력에너지협회(NEA)는 2050년까지 전세계 원자력발전소의 생산량 변화를 알기 위해 고-시나리오 및 저-시나리오를 검토한 결과 다음과 같이 예상하였다.

- 2050년까지 전세계 원자력발전소의 생산 전력은 1.5~3.8배 증가할 것이다.
- 고-시나리오 상으로는 현재 14% 정도인 전세계 전체 전력 생산량 대비 원자력발전소의 전력 생산량은 2050년 22%가 될 것이다.
- 두 시나리오 모두 미래의 원자력 전력 생산은 OECD국가를 중심으로 이루어질 것이다.
- 지금까지 원자력발전소를 운영한 경험이 없는 국가들은 2020년 원자력 전력 생산량의 약 5%만을 생산하게 될 것이다.

아이젠하워 미국 대통령은 1953년, 원자력의 평화로운 이용 계획을 선언하면서 히로시마와 나가사키 원자 폭탄 투하라는 끔찍한 사건을 “평화로운 이용이 가져다 줄 무한한 축복에 관한 예언으로 가려버리려” 했다 (Traube 2004). 이미 1960년대 중반 원자력의 상업적 목적을 위한 대규모 발전소 건설과 함께 원자력의 평화로운 이용에 관한 환상은 사라지기 시작했다. 그러나 미국과 일부 서구 산업국가에서는 십여 년 동안 원자력발전소 건설 붐이 일어났다. 지금은 1970년대 팽배했던 원자력발전소에 대한 지나치게 긍정적인 기대가 터무니 없이 과장된 것이라는 사실이 밝혀졌다. 국제원자력기구(IAEA)는 1974년 전세계 원자력발전소의 전력 생산량이 2000년이 되면 4,500GW에 이를 것이라고 예상했다. 그러나 2010년 실제 생산량은 375GW에 불과했고 이는 2000년에 달성할 거라 기대했던 수준의 12분의 1밖에 안 된다.

1970년 대 중반 미국의 원자력발전소 시장이 붕괴했다. 그 결과, 당시 건설 계획 단계이거나 건설 중 혹은 가동 중인 원자력발전소의 예상 전력 생산량인 총 228GW 중, 현재 101GW의 전력을 생산하는 발전소만이 가동 중이다.

### 3. 원자력이 과거의 에너지일 뿐인 이유

결국 세계 원자력 개발 계획은 그 목표나 기대에 훨씬 못 미쳤다는 사실이 확인되었다. 원자력의 르네상스 시대가 도래하지 않은 이유는 발전소 건설을 위한 원자력 산업의 능력과 전문인력의 부재, 또 원자력발전소 건설에 드는 비용의 지속적 증가로 인한 재정 문제였다. 게다가 원자력발전소가 기후 변화를 막을 수 있다는 주장 역시 수명 주기 분석 결과 타당성이 없는 것으로 드러났다. 또한 원자력의 민간 차원 이용과 군사적 목적의 사용이 삼쌍둥이처럼 뿔뿔히 떨어져 있을 수 없는 관계라는 사실이 원자력 사용에 관한 찬반 논의에서 항상 고려될 수밖에 없다는 문제점도 드러났다. 결국 민주주의 국가에서는 원자력의 민간 차원의 이용을 반대하는 이유로 핵무기의 확산 위험과 테러 목적으로 사용할 가능성이 점점 더 설득력을 얻게 되었다.

#### 원자력 산업의 문제점

원자력 산업은 30년 전부터 다양한 문제에 직면했다. 이미 지금도 설비 생산업체와 전문인력이 부족해 원자력발전소 건설 붐은 일어나지 않을 것으로 예상되며 이러한 추세는 중단기적으로 지속될 것이다. 세계에서 유일하게 일본제강소(Japan Steel Works)만이 유럽형 가압 경수로(EPR) 규모의 원자로 압력 용기를 위한 대형 부품을 생산할 수 있다. 핀란드에 건설 중인 발전소는 앞서 언급한 압력 용기 외에도 증기 발생기 역시 일본에서 수입해 사용하였다. 미국에는 더 이상 대형 부품을 생산하는 회사가 없다. 유럽에는 프랑스 크뢰조에 위치한 아레바슈미데(AREVA-Schmiede)만이 제한된 개수의 일정 크기를 갖는 부품을 생산할 수 있다. 이 밖에도 기존의 부품업체들은 가동 중인 발전소의 운영 연장에 필요한 교체용 증기 발생기를 생산하느라 새 발전소 건설에 참여하지 못하는 경우도 흔히 있다. 발전소를 건설할 수 있는 대형 시설을 갖춘 업체들은 하루 아침에 생겨나지 못하기 때문에 이러한 상황은 계속될 것이다.

또한 새로운 업체가 설립되면 인력을 충원해야 하는데, 회사 입장에서는 은퇴하는 인력을 간신히 보충하고 있는 형편이다. 새로운

---

원자력 산업은 30년 전부터 다양한 문제에 직면했다. 이미 지금도 설비 생산업체와 전문인력이 부족해 원자력발전소 건설 붐은 일어나지 않을 것으로 예상되며 이러한 추세는 중단기적으로 지속될 것이다.

---

발전소를 건설하는 동시에 낡은 시설을 해체하고, 핵폐기물 처리를 위한 해결책을 찾아야 하는 이중 과제를 해결할 만한 엔지니어, 원자력 물리학자, 레이저 보호 전문가 등 전문인력이 이미 고갈된 상태라는 것도 문제점으로 지적 받고 있다.

### 비용과 재정 지원

다른 에너지 기술 분야와 달리 원자력발전소 건설 비용 규모를 예측하기는 쉽지 않다(scale economies). 원자력발전소 건설에 드는 특별 투자 비용이 갈수록 커지고 있다. 미국에서만 아니라 전세계적으로 원자력발전소 건설 비용은 계약서에서 합의한 것보다 훨씬 증가했다. 발전소 건설이 활성화 되기 시작한 1966~67년에는 “추정 순공사비”를 약 1kW 당 560달러로 예상했지만 “실제 순공사비”는 1kW 당 1170달러로 약 209%가 높았다. 1974~75년에는 “추정 순공사비”가 1kW 당 1156달러 그리고 “실제 순공사비”가 1kW 당 4410달러로 381%의 격차를 보였다 (Gielecki & Hewlett 1994). 또 다른 문제는 비용에 관한 최신 자료는 서유럽과 북아메리카 자료 밖에 없으며, 중국, 인도, 러시아의 건설 프로젝트 비용은 공개되지 않거나 비교 불가능한 자료라는 것이다.

---

최근 몇 년간 발전소 건설 비용, 특히 중국과 인도가 대규모의 전통적 화력발전소의 추가 건설로 인해, 전반적으로 급속히 상승했다. 이 때문에 원자력 발전소 프로젝트의 특별 비용 또한 급격히 상승했다.

---

최근 몇 년간 발전소 건설 비용은, 특히 중국과 인도가 대규모의 전통적 화력발전소의 추가 건설로 인해, 전반적으로 급속히 상승했다. 이 때문에 원자력 발전소 프로젝트의 특별 비용 또한 급격히 상승했다. 원자력 산업계는 2002년까지 제 3세대 원자력발전소 신설 비용을 1kW 당 1000달러로 예상하였다. 그러나 이 비용은 비현실적인 것으로 판명났다. 2004년 AREVA NP가 담당한 핀란드 올킬루오의 유럽형 가압 경수로 건설은 계약서상 비용이 2000유로/kW 즉, 1 kW 당 3000달러다. 이 경수로는 아직도 공사 중이며, 현재까지의 비용은 이미 처음 예상한 것보다 두 배 이상 증가했다. 이러한 비용 상승을 고려하여 2007/08년 미국에서는 원자력발전소 신설 비용을 1 kW 당 5000달러 정도로 보았다. 원자력발전소와 석탄 화력발전소를 세울 때 직면하게 되는 어려움과 관련하여 미국 연방에너지규제위원회(FERC)의 존 웰링호프 회장에게 묻자 다음과 같이 대답하였다. “우리는 더 이상 발전소가 필요하지 않다. 그것은 ‘이론적 질문’에 불과하다. 왜냐하면 건설 비용이 합리적인 수준 이하로 떨어지기 전까지는 발전소를 건설할 사람이 아무도 없기 때문이다” (Platts, 2009년 4월 22일). 그는 원자력발전소 신설에 드는 비용이 1kW 당 7000달러로 엄두도 낼 수 없는 수준이라고 설명하였다. 그리고 2009년 온타리오주의 원자력발전소 건설 프로젝트의 예상 비용은 이 설명을 뒷받침해 주었다. 당시 비용은 1kW 당 6700~10000달러로 추정되었고, 결국 프로젝트는 무산되었다. 과거 경험상 초기 예상 비용보다 실제 건설 비용이 항상 더 많이 들어간 사실을 고려하면 실제

공사 비용은 이보다 훨씬 높을 것이다.

대표적인 신용정보기관인 스탠더드 앤드 푸어스사와 무디스사 역시 원자력발전소 신설의 경제성에 대하여 우려하였다. 스탠더드 앤드 푸어사는 이미 2007년 다음과 같이 경고하였다. “과거에는 엔지니어링, 조달 및 건설 계약서상 비용이 그대로 유지될 것이라 쉽게 신뢰할 수 있었다. 그러나 원자재 가격과 원자력 전문 인건비 상승 및 전세계 자본 투자 프로젝트에 대한 요구가 급격히 많아져 건설 비용이 급속히 증가하는 추세다.” 무디스사 역시 미국에서 새 원자력발전소 건설을 가정한 가상 분석의 결과를 다음과 같이 밝혔다. “무디스사는 2015년까지 단지 하나 또는 두 개의 원자력발전소가 신설될 것이라고 본다.” 심지어 원자력에너지연구소(NEI)도 2008년에 “원자력 발전소 신설 비용을 추정하는 것은 상당히 불확실하다.” 라고 발표하였다.

종합해 볼 때, 1950년대와 1960년대에 발전하기 시작한 원자력 기술은 국가 차원의 막대한 지원 없이는 서구 민주주의 산업국가에서 결코 지금까지 유지될 수 없었으며 이제 더 이상 핑크빛 미래만을 기대할 수는 없게 되었다.

### 원자력발전소, 기후 보호에 기여하는가?

전세계 인위적 CO<sub>2</sub> 배출량 중 27%가 전력 생산으로 인해 발생하며 이는 전세계 온실가스 원인 중 가장 크고, 가장 빠르게 성장하는 원인이다. 따라서 CO<sub>2</sub>를 배출하지 않는 원자력 기술은 기후 변화를 막을 수 있는 기적의 방법이라고 칭송 받았다. 원자력의 민간 차원 이용을 주장하는 사람들은 원자력발전소 가동으로 CO<sub>2</sub>가 전혀 발생하지 않는다는 장점을 내세우곤 한다. 그리고 원자력 전력을 사용하지 않을 경우 원자력 전력은 결국 갈탄발전소에서 생산된 전기로 대체될 것이라고 지적한다. 반면에 원자력발전소를 반대하는 사람들은 재생 가능 에너지로의 전환은 원자력발전소만큼 CO<sub>2</sub> 배출량이 거의 없는 분산형 가스 열병합발전소 중심으로 이루어질 것이라고 본다.

보다 체계적으로 살펴보면, 원자력발전소가 CO<sub>2</sub>를 전혀 배출하지 않는 기술은 아니라는 점도 지적 받고 있다. 원자력발전소는 대규모 최신 가스발전소에서 발생시키는 온실가스 배출량의 1/3 정도를 배출하고 있다. 원자력 발전에 사용되는 원료인 우라늄이 어떻게 채취, 농축되는 지에 따라 차이는 있으나 원자력발전소에서 발생하는 CO<sub>2</sub>의 양은 킬로와트시(KWh) 당 7~126그램 CO<sub>2equ</sub><sup>1)</sup>이다(GEMIS 4.7). 독일 생태연구소(Öko-Institut)는 해외에서 수입한 우라늄을 농축하는 독일 내 원자력발전소 1기가 발전소 건설 시 발생하는 CO<sub>2</sub>의 양을 포함하여 킬로와트시 당 28그램 CO<sub>2equ</sub> 상당의 온실가스를 배출한다고 보고하였다. 이 배출량을 독일 내 모든 원자력발전소가 배출하는 총량으로 환산하면,

---

원자력발전소가 CO<sub>2</sub>를 전혀 배출하지 않는 기술은 아니라는 점도 지적 받고 있다. 원자력발전소는 대규모 최신 가스발전소에서 발생시키는 온실가스 배출량의 1/3 정도를 배출하고 있다.

---

2009년 한 해 동안 독일의 원자력발전소들이 배출한 온실가스의 양은 360만 톤 CO<sub>2equ</sub>가 된다. 전세계 원자력 전력 생산 시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출한 최초의 연구에 따르면, 2009년 한 해 동안 전세계 모든 원자력발전소들이 배출한 CO<sub>2</sub>는 1억 1400만 톤 CO<sub>2equ</sub>에 달한다. 이는 그리스가 1년간 발생시킨 CO<sub>2</sub> 총량과 맞먹는 양이다. 이 수치는 핵폐기물 처리 시 발생하는 배출량은 고려하지 않은 수치라는 점을 감안해야 한다.

이 밖에도 향후 수십 년 동안은 우리나라 채취에 훨씬 더 많은 양의 화석 연료를 사용하게 되므로 원자력발전소의 간접 CO<sub>2</sub> 배출량이 급속히 증가할 것으로 보인다(Storm van Leeuwen 2007). 이러한 상황을 고려할 때, 원자력발전소는 앞으로 CO<sub>2</sub> 배출량에서 최신 가스발전소보다 더 큰 장점이 있다고 보기 힘들다. 게다가 원자력발전소를 에너지 효율성 증대나 재생 가능 에너지 이용, 특히 열병합발전과 비교해 보면 원자력발전소는 하등의 장점도 없다.

원자력발전소가 트리튬이나 탄소 14와 같은 동위 원소를 발생시켜 기후 변화 방지에 기여한다는 장점도 거론된다. 핵분열 과정에서 발생하는 크립톤 85는 여러 방사성 물질 중 공기를 가장 잘 이온화시키는 물질이다. 크립톤 85는 원자력발전소에서 발생하며 핵연료 재처리 과정 중 대량 방출된다. 지난 몇 년 간 크립톤 85의 대기 중 농도 상승 원인은 발전소에서 일어난 핵분열 때문으로 밝혀졌고, 현재 그 농도는 역대 최고 수준이다. 크립톤 85가 기후 보호 효과가 있다 할지라도(Kollert & Donderer 1994) 지금까지 국제 기후보호 협상에서 크립톤 85의 배출 문제를 특별하게 다루지 않았다.

그러나 원자력은 기후보호를 위하여 반드시 필요하다는 주장 대신 그 반대의 주장이 훨씬 더 설득력을 갖는다. 다시 말해, 원자력발전소의 가동 중단이야말로 발전소 운영자와 에너지 산업계가 지속가능하며, 사회가 필요로 하는 에너지 기술과 특히 합리적인 에너지서비스 제공 기술의 발전을 위해 혁신적인 방법을 찾도록 유도하는 방법이다.

---

원자력의 역사를 살펴보면, 군사 목적으로 원자력을 사용하면서 민간 차원의 원자력 기술이 발전하였다. 대부분의 국가가 핵무기와 기타 군사적 사용을 위한 원자력 기술 개발을 우선시 했고 원자력 에너지 생산은 일종의 부산물이었다.

### 원자력의 민간 및 군사 목적 사용 - 원자력 사용의 확대가 수반하는 위험

원자력의 역사를 살펴보면, 군사 목적으로 원자력을 사용하면서 민간 차원의 원자력 기술이 발전하였다. 대부분의 국가가 핵무기와 기타 군사적 사용을 위한 원자력 기술 개발을 우선시 했고 원자력 에너지 생산은 일종의 부산물이었다. 그러나 부수적인 영역이 점차 하나의 독립된 분야로 발전하기 시작했다. 원자력은 깨끗한 최첨단 기술로 기술적 진보를 대표하는 에너지가 되었다. 게다가 발전소 운영자에게 원자력 발전은 국가 보조금을 많이 받을 수 있으며 전기 사용자들이 내는 전기세를 통해 모든 비용을 회수할 수 있기 때문에 위험 부담이 없고

고수익을 보장해 주는 사업이었다. 또한 “값싼 원자력 전기”는 전력 소비가 많은 산업 분야에서, 핵무기 보유국인 경우 군대에서도 환영을 받았다. 왜냐하면 민간에서 사용하는 원자력 발전 시설은 군사 목적으로도 사용이 가능하기 때문이다.

군사적 목적과 민간 차원의 원자력 기술의 경계 즉, 전쟁과 평화라는 목적의 경계는 대부분 모호하다. 군사적 사용의 위험을 최소화하기 위하여 이미 오래 전부터 핵에너지의 민간 사용을 위한 다자적 기틀을 마련해야 한다는 의견이 제기되었다. 국제원자력기구를 설립하여 각국이 우라늄 보유량과 기타 핵분열 물질 보유를 공유하게 하자는 의견은 이미 1953년 미국의 드와이트 아이젠하워 전대통령이 “평화를 위한 핵(Atoms for Peace)”이라는 제목의 연설과 1955년 제 1회 국제 원자력 회의에서 언급한 바 있다. 국제원자력기구의 창설 목적과 의의는 인류가 핵분열 물질을 “평화적”으로 이용할 수 있는 방법 즉, 농업, 의학, 에너지 부족 국가 또는 지역을 위한 전력생산 분야에 이용할 수 있는 방법을 모색하는 것이었다. 1970년 발효된 핵확산금지조약 역시 민간 차원의 원자력 기술 이전을 통하여 이 기술을 보유하지 못한 국가들이 핵무기 보유국이 되는 것을 막기 위한 조치였다. 그러나 그사이 이스라엘, 인도, 파키스탄, 북한은 민간 차원의 원자력 이용을 명분으로 내세우며 핵무기를 보유하게 되었고, 이란 같은 몇몇 국가들은 이러한 의도를 갖고 있다고 보고 있다.

이러한 사실은 핵폭탄 개발을 쉽게 막을 수는 없으며 미래에는 더 많은 국가가 핵무기를 보유하게 될 가능성이 상당히 높다는 것을 암시해 준다. 일단 원자력 관련 인프라를 구축하고 핵폭탄의 원료를 핵 농축이나 재처리 시설, 군사 목적의 원자로, 다목적 원자로, 고속 증식로에서 생산할 수 있으면, 해당 국가가 핵 보유국이 되느냐의 여부는 단지 정치적 의지와 원자력 기술에 투자할 준비가 되어 있는지에 따라 결정된다.

## [ 4. 결론 ]

지난 몇 년간 활발하게 논의되고 있는 전세계적 원자력의 르네상스 시대는 현재 오지 않았으며, 경제와 환경 관련 문제를 일으키며 다양한 측면에서 안전을 위협하므로 앞으로도 현실화되지 않을 것이라는 사실을 본고를 통해 확인할 수 있었다. 25년 전 체르노빌 사건과 지난 3월 후쿠시마 원전 사고를 경험한 지금 원자력발전소는 미래에 사라져버릴 형태의 발전소인가 아니면 화석 연료의 유한성과 기후 변화로 인하여

---

군사적 목적과 민간 차원의 원자력 기술의 경계 즉, 전쟁과 평화라는 목적의 경계는 대부분 모호하다. 군사적 사용의 위험을 최소화하기 위하여 이미 오래 전부터 핵에너지의 민간 사용을 위한 다자적 기틀을 마련해야 한다는 의견이 제기되었다.

---

### 필수불가결한 것인가?

원자력의 역사를 살펴본 결과, 다수의 국가에서 원전에 대한 사고의 전환은 대형 원자력발전소의 사고가 계기였다. 2011년 4월 26일은 체르노빌 원전 사고 25주년이 되는 날이었다. 1986년 봄 우크라이나에서 발생한 참사를 계기로 1970년대 미국에서 시작된 서구 산업국가들의 원자력 사용 중단이 가속화되었다. 1979년 펜실베이니아주 해리스버그에서 일어난 TMI-2 발전소의 노심 용해 사건 이후 미국은 원자력발전소 건설 프로젝트의 거의 2/3를 중단했다. 유럽에서는 오스트리아와 덴마크가 체르노빌 사태 이전에 이미 원자력에서 등을 돌렸다. 이어 1986년 이후 이탈리아, 네덜란드, 벨기에, 스웨덴, 스위스, 독일이 원자력 발전을 포기하기로 결의하고 이 중 일부를 실제 이행하기도 하였다. 스페인은 현재 잠정적으로 원자력 발전소의 가동 중지를 선언한 상태이다.

머지 않아 전세계적으로 원자력의 르네상스 시대가 열릴 것이라던 수십 년 전의 예상은 빛나갔고, 일본에서 일어난 원전 사고 이후 원자력이 장기적으로 주요 에너지원의 역할을 담당하게 될 가능성은 더욱 희박해졌다. 오히려 정도의 차이는 있으나 독일, 스위스, 중국 그리고 일본 정부도 모두 에너지 전환을 앞당겨 실현시키는 등 대안을 고민하고 있다는 사실을 확인할 수 있다.

### | 후주 |

1) 온실 효과는 6대 온실가스 혼합물을 CO<sub>2</sub>값으로 환산(CO<sub>2</sub>eq)하여 표현한다.

발행처 프리드리히 에버트 재단 한국 사무소

편집인 크리스토프 폴만, 박상희

편집위원 김영희 신진욱 안두순 안석교 이삼열 정범구 최연혜 (가나다 순)

주소 110-742 서울시 종로구 윤니동 98-5 삼환빌딩 1101호

Tel (02)745-2648/9 / Fax (02)745-6684 / e-mail feskorea@fes.or.kr

<http://www.fes.or.kr>

FES Information Series는 유럽의 통합 과정과 독일의 정치 체제 및 발전을 중심으로 독일과 유럽의 다양한 쟁점들을 소개함으로써 해당 주제의 다양성과 상호 관련성을 부각시키고, 정책 대안에 대한 논의를 촉진할 목적으로 발간한다.

FES Information Series는 특정 정치 노선을 지지하지 않으며, 개별 주제들은 독일이나 유럽의 발전 추세를 관찰하고 평가할 능력을 갖춘 전문가가 집필한다. 여기에 수록된 내용은 필자들의 개인 의견이며, 프리드리히 에버트 재단의 공식 견해가 아님을 밝힌다. FES Information Series는 부정기 간행물로 프리드리히 에버트 재단 홈페이지(<http://www.fes.or.kr>)에서 전문을 내려 받을 수 있다.

Copyright 1998-2011 © by Friedrich Ebert Stiftung, Korea Office