

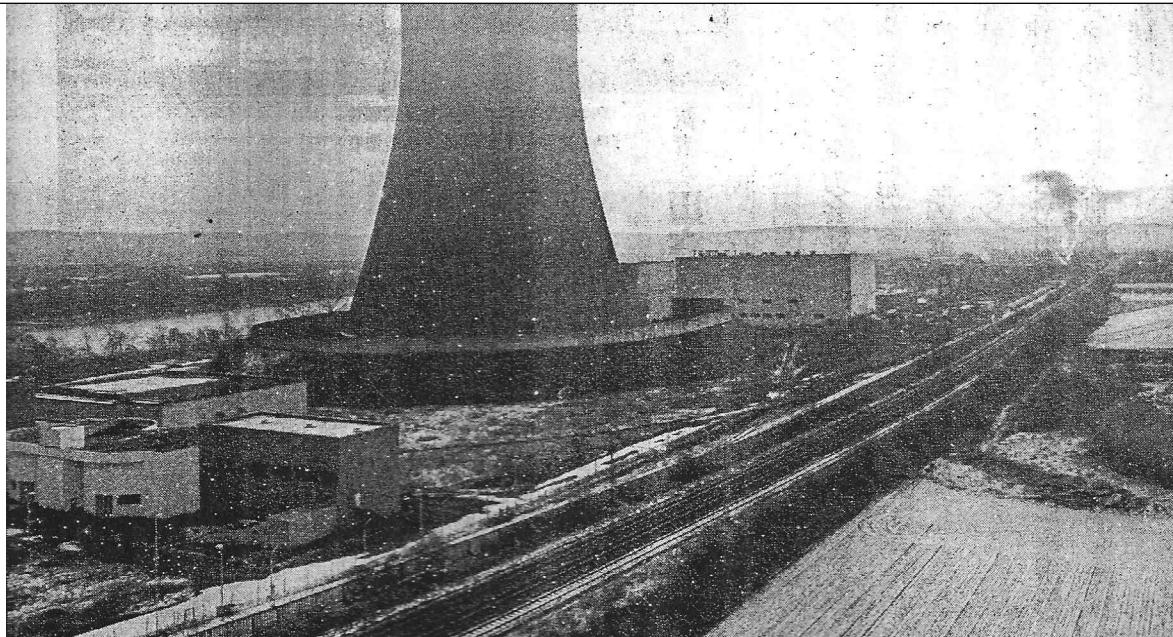
특집1

## 원자력 산업의 종언

"안전 신화"에서는 상정되지 않았던 사고 배상, 급등하는 안전 대책비, 가동 할 수 없으면서도 유지 비용은 계속 들고, 신설 따위는 하늘의 별따기이다. 해외로 활로를 구한 원전 수출도 모두 파탄 났다. 그런데도 아직도 돌진하는가?

도시바의 예를 들 것도 없이 원전은 이익은커녕 일본 경제에 손실을 계속 주고 있다. 원전에 관한 정부의 "선도"는 지금 기업 활동이나 사회생활의 발목을 잡고 있지 않은가.

세계 에너지 산업은 비용경쟁에서 뒤떨어진 원자력에서 철수해 재생에너지로 전환하고 있다. 원자력은 산업으로서 끝났다. 논의와 정책을 다음 단계로 밀고 나갈 때가 아닌가.



## 멸종 직전의 기술 종, 원자력

마이클 슈나이더



사진. 웨스팅하우스사 경영파탄에 따른 공장 폐쇄에 항의하는 노동자들(사진:로이터/아프로)

### 마이클 슈나이더(Mycle Schneider)

1959년생. 파리에 본거지를 두고, 국제적으로 활동하는 에너지·원자력 정책 문제 독립 애널리스트. 연차보고서 "세계 원자력 산업 현황 보고"(World Nuclear Industry Status Report)의 기획·발행자이자 주저자.

역자=타쿠보 마사후미(<핵정보> 주재)

### 넘어지지 않으려고 페달을 계속 밟는 사이클리스트

'우리가 처한 상황을 시각적으로 보여 줘야 한다면, 그것은 넘어지지 않으려고 페달을 계속 밟는 사이클리스트일 것이다.' 그렇게 말하며 장 베르나르 레비는 프랑스 국민의회 의원들을 놀라게 했다.

레비는 프랑스전력회사(EDF)(세계 최대의 전력회사)의 최고경영자(CEO)다. EDF는 프랑스 국내 58기 외에 영국에서 12기의 발전용 원자로를 운전한다. 그 최고 경영책임자가 프랑스는 그 능력을 유지하기 위해 새로운 원전을 계속 건설해야 한다고 한다. 경제적 사고나 최신 에너지 정책전략과는 상관없이 붕괴를 피하기 위해 건설을 계속하는 것이라고.

그러나 2007년 플라망빌에서 프랑스의 최신 원전건설프로젝트(국내 첫 제3세대 유럽 가압수형 원자로(EPR))를 추진하기로 한 동기는 바로 그것이었다.

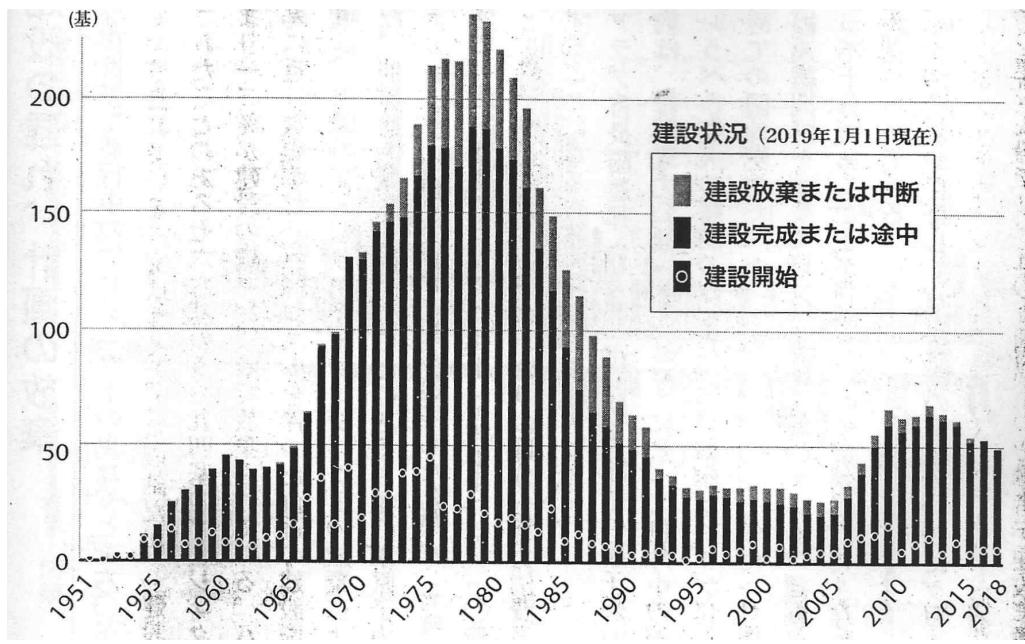


그림1. 세계에서 건설 중인 원자로 수 (1951-2018년)

건설 상황 (2019년 1월1일 현재)

- 건설 포기 또는 중단
- 건설완성 또는 도중
- 건설 개시

출처: WNSR · MYCLE SCHNEIDER CONSULTING

‘능력의 유지’다. 하지만 이는 오히려 원자력산업의 무능력을 보여주는 프로젝트가 되었다. 콘크리트 공사나 용접미비, 결함단조압력 용기, 제어커맨드·시스템 문제 등. 이 프로젝트는 당초부터 심각한 문제에 시달려왔다. 그 결과 비용의 견적은 건설 개시 당시와 비교해서 3배인 110억 유로(1.4조엔)에 이르렀다.

프랑스에서 있었던 일은 국제적인 원자로 건설·운전 산업의 어려움에 관한 긴 이야기 중의 일례에 지나지 않는다. 건설 중인 원자로 수는 이 10년 사이에 최저수준으로 떨어졌다. 2010년에 68기였던 것이 2019년 초에는 49기로 줄고 있다(그림 1). 2018년 중반까지의 10년간에 송전선에 접속된 53기의 평균 건설 기간(기초 콘크리트 타설부터 완성까지의 연수)은 10년이었다. 이들 원자로 중에는 몇 년의 지연과 방대한 예산 초과 끝에 겨우 발전 개시된 것이 적지 않다. 31기(58%)의 운전을 시작한 중국의 평균 건설 기간은 6년이었지만 러시아가 각지에서 발전을 개시한 7기의 건설 기간은 평균 24년이었다. 이것은 어디까지나 “평균”으로서 슬로바키아에서는 1985년에 건설이 시작된 러시아 제2기의 원자로의 완공 시점이 거듭 연기되어 지금도 건설 중에 있다.

## **건설의 지연, 계획의 포기**

현재 세계에서 진행 중인 프로젝트의 적어도 60%는 예정보다 늦어지고 있다. 완성된다고 가정해서 하는 얘기지만 "건설 중"으로 알려진 바 있는 766기 중 94기의 프로젝트 즉 12%가 건설의 여러 단계에서 포기되고 있다. 8기 중 1기에 가까운 포기율이다. 거액의 비용을 동반한 최근의 건설 폐허의 출현은 미국의 V·C서머 프로젝트 포기에 따른 것이다. 세계 최대 규모를 자랑한 적이 있는 고참의 미 원자력 대기업, 웨스팅 하우스(WH)사가 도산한 결과이다 (당시는 토시바의 소유). 회수불능의 매몰비용은 110억 달러(1.2조엔)이상에 달하고 그 상당 부분을 전력 소비자가 부담하게 될 것이다. 아무런 반대급부 없이.

아랍 에미리트(UAE)의 네 개의 원자로 건설 계약은 한국전력공사(KEPCO)에게 예외 중의 예외라고 할 수 있는 최대의 승리가 될 것이었다. 한국 그룹에게는 첫 국외 계약이었다. 그러나 2017년에 1호기의 송전선 연결 기한을 놓친 이후 지연이 이어지고 있다. 운전원의 훈련이 불충분하다고 판명되어 원자로 건물에서 큰 균열이 다수 발견되고 있다.

원자력 산업이 직면하고 있는 난문의 배경 중 하나로 글로벌리제이션이 있다. 핀란드의 올 킬 오토 원전(EPR) 건설 현장에서는 50개국 이상의 노동자가 건설에 종사하고 있다고 보도되고 있다. 이것은 잘 되지 않았다. 이 프로젝트는 2005년의 시작 이후 품질 관리 문제에 계속 골치를 썩이고 있다. 프랑스 정부 관리하의 원자력 메이커인 아레바사는 동프로젝트로 인해 도산해 분할되게 되었다. 정부는 프랑스 아레바의 구제와 EDF증자의 비용 90억유로(1.1조엔)를 이른바 "가보"의 처분으로 조달하려고 하고 있다. 공항 등 정부소유주식을 팔아 자금을 마련하자는 것이다.

## **노후화하는 발전용 원자로**

신규 건설이 별로 없는 가운데, 세계의 운전 중인 원자로의 수는 격감하고 있다. 그 평균 운전 경과 연수는 30년을 넘어 20%가 40년 이상이라는 상태이다. 이것은 비싸다. 말할 것도 없이 운전 개시로부터 몇 십년이나 지난 원전을 운전하는 것은 이제 막 완성된 것을 운전하는 것보다 비용이 높아진다. 많은 나라에서 원전은 이미 시장에서 경쟁력을 잃어버렸다. 예컨대 미국에서는 2009년~2025년의 기간에 총18기의 "조기 폐쇄"를 예정하고 있다. 그 중 7기는 이미 폐쇄됐다. 그리고 또 1기, 펜실베이니아 주에서 노심 용융을 일으킨 스리마일 섬 원전 2호원자로 옆의 1호 원자로가 올해 이어서 폐쇄된다.

일부 전력회사는 “협박수단”을 사용하는 데 성공하고 있다. 이른바 “제로에미션 크레디트”로 불리는 것이다. 원전 소유 전력회사는 ‘우리 발전장치는 탄소 배출을 하지 않는 전력을 제공하는데 안타깝게도 경쟁력이 없다. 하지만 주 보조금이 있으면 계속 이익을 볼 수 있다’고 주장했다. 그래서 몇몇 주들은 이들 노후로를 송전선에 연결해두기 위해 매년 몇 억 달러씩을 지불하는 것에 동의하고 있다. 폐쇄를 비경제적인 형태로 연기하고 있는데 원자력의 경제적 환경의 극적 악화라는 근본적 문제 해결은 되지 않는다.

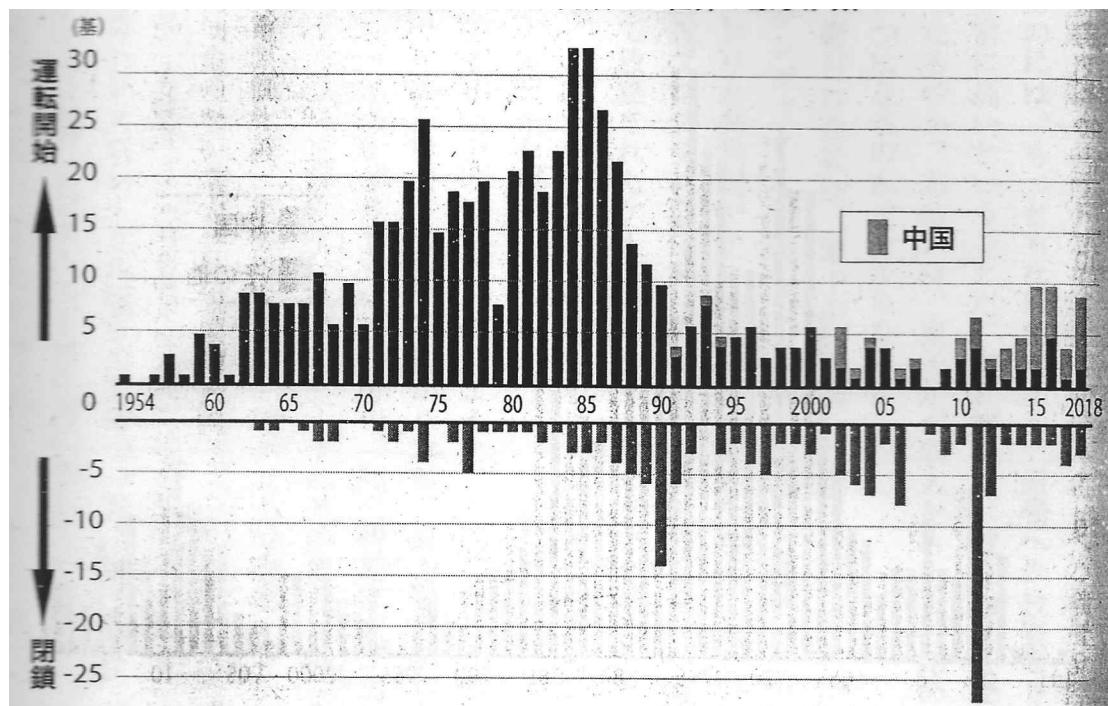


그림2. 운전개시 및 폐쇄한 세계의 원자로 수

출처 : WNISR · MYCLE SCHNEIDER CONSULTING

그리고 이 문제는 몇 년째 계속 악화되고 있다. "후쿠시마"는 영향을 미치고 있지만, 이 위기의 계기는 아니다. 이 테크놀로지의 쇠퇴는 오랜 세월 계속되고 있는 문제다. 현재 세계에서 운전 중인 원자로의 수는 30년 전보다 줄어들고 있다. 1996년 이후 세계의 상업용 전력 믹스에서의 원자력 비율은 17.5%에서 10%로 떨어졌다. 새로 운전을 시작한 원자로는 적고 건설 개시는 더 적다. 2018년에 운전 개시된 것은 9기(중국이 7기고 러시아가 2기)로 폐쇄가 3기이다(그림2). 이에 비해서 “체르노빌” 이전인 1984년과 1985년에는 각각 30기의 순증가를 보였다. 과거 10년간 59기가 운전을 개시하였고(그중 35기가 중국) 54기가 폐쇄됐다. 즉 중국을 제외하면 과거 10년간 운전 개시·폐쇄는 결국 30기의 폐쇄라는 계산이 된다.

상황은 더 악화될 것이다. 장기적으로 중요한 지표 중 하나는 '세계 원자력 산업 현상보고(WNISR)'에서 매년 업데이트되고 있는 건설 개시되는 원자로 수이다. 이 10년(2009년~2018년)에 71기 건설 프로젝트가 공식 시작됐다. 그 중 중국이 35기다. 같은 기간 10기의 건설 프로젝트가 포기됐다. 그 절반이 그 10년 사이에 막 착수된 것이다.

### 상업은행도 대출을 꺼린다

건설 개시 수는 1976년의 피크인 44기에서 1995년의 제로로 급강하했다(그림 3). 떠들썩하게 선전됐던 원자력 르네상스는 일어나지 않았지만, "후쿠시마"이 전인 2010년에 예외적으로 15기의 프로젝트가 개시되었다. 그 2/3가 중국이었다. 이 숫자는 2017년과 2018년에는 각각 5기로 줄었다. 중국은 과거 10년 간의 건설 개시에 있어서 압도적 지위를 차지해왔다. 하지만 마지막 2년간은 다르다. 중국이 상업용 원자로 건설 계획을 마지막으로 시작한 것은 2016년 12월이다. 그 후는 고속로의 실증 시험로 건설을 2017년 12월에 시작했을 뿐이다. 이 2년간 다른 나라들에서 9기의 건설이 시작되었다. 인도(2) 러시아(1) 한국(2) 영국(1) 그리고 신규 진입 사업자인 방글라데시(2)과 터키(1)이다. 이들 9기 중 6기가 러시아산이라는 것은 놀라운 일이다. 이들 프로젝트는 모두 민간은행이나 다른 민간투자자의 용자에 의한 것이 아니다. 모두 정부의 자금 제공에 따른 것으로, 직접적 또는 간접적으로 공적 보조금을 얻은 것이다.

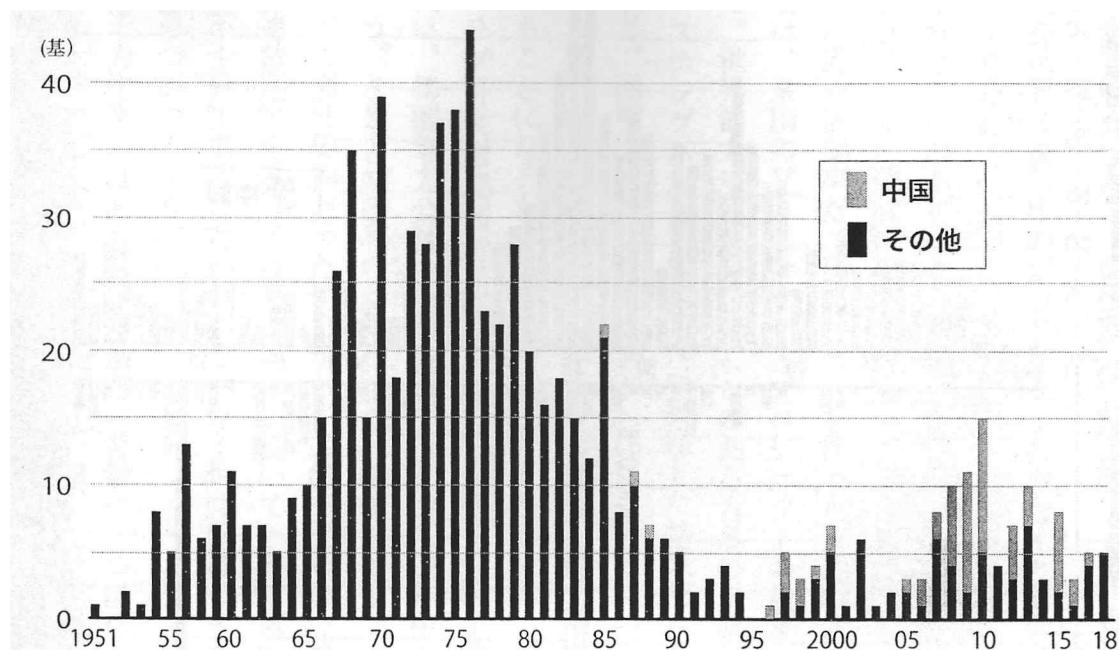


그림3. 세계에서 건설 개시된 원자로 수

출처 : WNISR · MYCLE SCHNEIDER CONSULTING

민간투자자 그리고 세계은행과 아시아개발은행 등 국제적 개발은행들이 원전 건설 프로젝트에 대출해 주기를 꺼리는 데는 지당한 이유가 있다. 원전 투자는 위험이 매우 높다는 것이다. 대출 측에서는 최종적인 필요액이 어떻게 될지 혹은 원자로가 수입을 가져오기 시작하는 것이 언제가 될지 알 수가 없기 때문이다. 신용평가회사들은 원자로를 건설하려는 생각의 존재를 크레디트 네거티브(격하 요인)로 평가하고 있다. 남아프리카공화국과 체코공화국의 것을 포함해 새로운 원자로 건설 프로그램 전체가 신용평가회사의 신용등급 강등을 경고 받고 포기된 경우가 있다. 씨티은행과 도이체은행, UBS은행 등 상업은행은 각각 독자적인 에너지 모델을 운용하고 있다.

투자 은행 라자드의 계산에 따르면, 2009년부터 2017년의 8년 동안에만 태양광 발전이 86%, 풍력 발전이 67%의 비용 절감을 달성하는 한편, 같은 시기에 원자력 비용은 20% 올랐다. 라자드는 제12회 "균등화 발전 원가 비교" 연례 보고서에서 다음과 같은 결론을 내리고 있다. 보조금 없는 전력 회사 규모의 태양광(36~46달러/MW시)과 풍력(29~56달러/MW시)은 실질적으로 다른 모든 발전 기술과의 경쟁력을 갖는 한편, 원자력(112~189달러/MW시)은 비용의 비싼 쪽에 속한다. 사실 이들은 평균 원가 견적이다. 많은 나라에서 저비용 프로젝트가 25달러/MW시 이하의 보증 가격으로 경매에 붙여져 있다. 최저는 20달러/MW시 이하이다. 에너지조사기관 블룸버그 뉴에너지파이낸스(BNEF)에 따르면 새로운 태양광이나 풍력은 대부분의 지역에서 석탄보다 낮아졌다.

재생 가능 에너지의 극적인 비용 저하보다 더 급속히 진행되고 있는 것이 에너지 저장 시스템, 특히 축전지의 비용 저하다. 미국 석탄 산출 주 콜로라도에서의 풍력 발전과 축전지 조합 세트의 2017년 입찰 가격 중앙값은 21달러/MW시였다. 주내의 운전 중인 어느 석탄 화력 발전소보다도 우수했다. 원자력의 운전·정비 비용은 27달러/MW시에서 60달러/MW시 사이이고, 운전 중인 원자로는 어디의 원자로든 그 대부분이 새로운 재생 가능 에너지와 경쟁 할 수 있는 수준과는 거리가 멀다. 게다가 지금까지의 논의에서는 전혀 고려되지 않은 것이 있다. 이러한 종류의 경쟁에 있어서 에너지 이용의 고효율화가 최저가의 옵션으로서 들어오는 것이 적지 않다는 점이다.

### 왜 원자력은 기후변화 대책이 될 수 없는가?

최근 원자력이 기후변화 위기와 싸우는 데 큰 역할을 할 수 있다는 주장이 되살아나면서 증폭되고 있다. 이것은 기본적인 문제에 대한 잘못된 견해에 근

거하고 있다. 원자력발전소는 재생가능 에너지와 마찬가지로 온실가스를 직접 배출하지 않으며 간접 배출(철강, 콘크리트, 수송 등에 포함되는 탄소)도 kWh당 그램 수로 따지면 재생 가능 에너지의 퍼포먼스에 뒤지지 않지만 이는 논점이 다르다.

오늘의 과제는 엔 혹은 달러, 유로 당, 최대의 배출 저하를 최고 속도로 달성하기 위한 전략을 낼는 것이다. 비용과 시간이 관건이다. 왜냐하면 우리에게는 시간이 없어지고 있기 때문이다. 원자력은 가장 비싼 옵션일 뿐 아니라 유난히 느린 옵션이다. 그러니까 새로운 원자력 발전소에의 자금 투입은 기후변동 위기의 증대에 기여하는 것이 된다. 그 완화에의 기여는 아니다.

이것은 비경제적인 원자로 운전에 대해서도 말할 수 있다. 즉, 원자력의 안전성, 폐기물 관리, 핵 비확산 등에 관한 당연한 고려와는 별도로 운전 중인 발전소의 경제적 퍼포먼스에 관해 조목조목 분석하는 것이 현장의 의사결정 지침이 되어야 한다.

그레고리 얀코 전 미국 원자력규제위원회 위원장은 마음을 정했다. “우리는 지금 중요한 선택을 해야 한다. 지구를 구할 것인가, 죽어가는 원자력 산업을 구할 것인가. 나는 지구에 한 표를 던진다.” (Washington Post, 《I oversaw the U.S. nuclear power industry. Now I think it should be banned.》 “나는 미국의 원자력 산업을 감독했다. 이제는 원자력은 금지되어야 한다고 생각한다”, 17 May 2019)

### **"후쿠시마"의 시작에 의해 일본이 보여준 것**

일본은 하이테크 국가에서 고위험 시설이 여럿 집중되어 있을 경우, 충분한 감독이 이뤄지지 않으면 큰 인적·환경적 참사가 발생할 수 있음을 보여준 것만은 아니다. 3.11 이전인 2010년에 원자력이 발전하고 있던 물량의 절반 이상(56%)이 불과 5년에 화석 연료 이외의 것으로 대체될 수 있다는 것도 보여줬다. 전력 소비량의 12% 삭감이 그 성과의 3/4을 차지하고 나머지가 재생 가능 에너지에 의한 것이었다. 분명히 천연 가스 소비는 증가했지만 그래도 에너지 관련 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 배출량은 2013년부터 2017년 사이에 10% 감소하고 2014년에는 원자력에 의한 발전은 제로였다. 그리고 그 후의 원자력 발전 재개는 느린 것으로 경제산업성에 의하면, 2017년에는 전체 발전량 가운데 경우 3.1%에 달했을 뿐이었다. 재생가능에너지에 의한 발전량의 1/5이다. 일본의 정부와 원자력 산업은 원자력은 "절대 필요하다"라고 계속 주장하고 있다. 그 정반대임을 보여줬음에도 불구하고.

일본의 의사결정자들은 심각한 “부인” 상태를 벗어나지 못하고 있는 것 같다. 전기 사업 연합회의 카츠노 테츠 회장은 2018년 12월 “재가동을 위한 대처를 가속화” 하고 싶다고 말했다. 정부는 해외에서의 원자력 관련 투자를 계속 추진하고 있다. 세계 각지(미국, 터키, 영국 등)에서의 투기 실패로 몇 조 엔이나 잃었지만, 그것이 배워야 할 풍부하고도 쓴 교훈을 제공하지 않았던 것 같다. 세계 전체의 2017년 원자력 발전 용량의 순증가는 약 1기가와트였다. 이는 원자로 1기분으로 그 해 세계전체 발전 용량 순증가분 257기가와트(재생가능에너지 157기가와트를 포함)의 0.4% 밖에 안 된다. 원자력은 세계적으로 새로운 발전소 시장에 의미가 없는 것이다. 비즈니스가 일어나고 있는 것은 다른 분야이다.

원자력 발전소의 갱신율은 매우 낮아서 머지않아 소멸된다. 원자력발전소의 운전기간 연장은 기술적 ‘노후화 대책(제리아트릭스)’으로서 ‘르네상스’를 대체할 수가 없다. 생체라면 핵분열장치는 오래 전부터 멸종위기종 명단에 올려져 있었을 것이다. 게다가 이제 원자력은 풍부하고 저렴하고 저비용의 재생가능에너지 테크놀로지라는 침입종에 맞서지 않으면 안 되게 된 것이다.

(캐나다 로킹검, 2019년 5월 16일)