

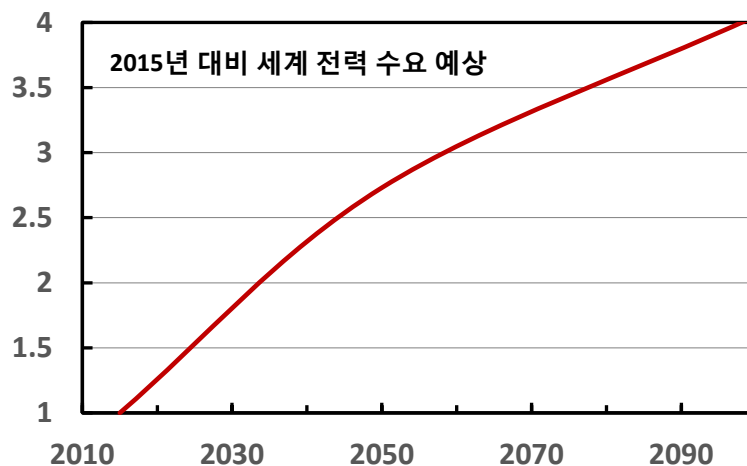
# 세계 원자력의 현황과 전망

장윤일

미국 아르곤 국립 연구소 석학 연구원  
카이스트 원자력 및 양자 공학과 초빙 교수

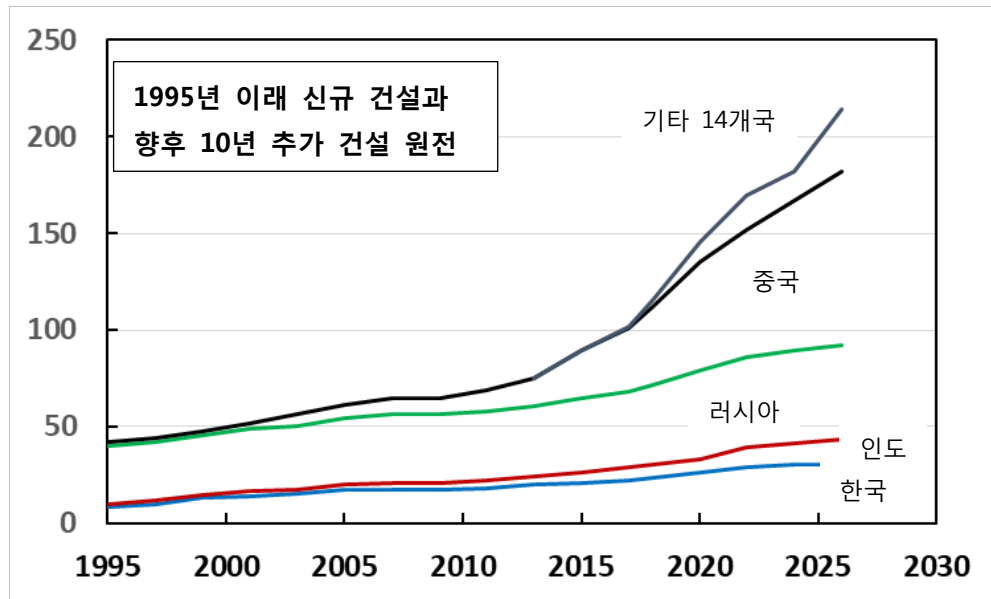
## 미래를 위한 전력 생산

전기는 경제의 엔진이며 지난 50 년 동안 GDP 성장에 비례하여 1 인당 전기 소비도 지속적으로 증가하고 있다. 세계 인구의 꾸준한 증가 추세를 볼 때 총 전력 수요는 2050 년에는 현재 수준의 약 2.5 배, 2100 년에는 약 4 배까지 증가할 것으로 예상된다. 이러한 전력 수요 증가를 감안할 때 우리는 발전 방법을 고르고 선택할 여유가 없다. 인류는 석탄, 천연 가스, 석유, 원자력, 수력, 태양, 풍력, 바이오매스 등 모든 에너지를 필요로 할 것이다. 모든 전력 생산 방법 중에 원자력만이 미세먼지를 포함하여 대기 오염과 온실 가스 발생이 없고, 원자재 및 토지를 가장 적게 사용하며, 급증하는 전력 소비 수요를 대처할 수 있다.



## 전 세계 원자력 현황

후쿠시마 사고 이후 일본은 일부 원전을 폐쇄하였고 독일은 탈원전 정책을 다시 채택했다. 그러나 다른 국가에서는 원자력이 점차 확대되고 있다. 세계가 원전 건설을 더 이상 확대하지 않는 주장과는 달리 1995 년 이래 한국, 인도, 중국, 러시아, 벨라루스 및 우크라이나에 약 80 개의 신규 원전이 건설되었다. 향후 10 년 동안 중국과 다른 19 개국은 100 기의 원전을 추가로 건설할 계획을 세우고 있으며 사우디 아라비아, 이집트 등 신흥 원자력 에너지 30 개국도 원자력 에너지 도입을 고려하고 있다. 이러한 원자력 르네상스는 미래의 전력 수요 성장을 대비하는데 중요한 역할을 할 것이다.



### 독일 사례 연구

독일은 지난 5년간 1,810 억 달러 (약 200 조원)를 투자하여 약 34 GWe 규모의 풍력 및 태양광 발전을 건설했다. 그러나 풍력과 태양광은 약 20-25 %의 시간 동안에만 전력을 생산하며 전력을 생산하지 않는 시간을 위해 대체 에너지원이 필요하다. 독일은 석탄 화력 발전소에서 대체 전력을 공급 받고 있으며 결과적으로 5 년 전과 비교하여 이산화탄소 배출량은 감소하지 않았다. 태양광과 풍력은 변동이 크지만 초과 전력 저장에는 한계가 있어, 초과 전력은 유럽 연합의 다른 국가로 수출된다. 한국과 같이 폐쇄된 전력 시장에서 시간대 별로 초과 또는 부족한 전력의 관리 는 어려운 문제가 될 것이며 이로 인해 태양광과 풍력 에너지의 이점은 대부분 무효화 될 것이다.

### 왜 원자력이 필수적인가?

기존의 에너지 자원은 자연에서 얻어지지만 원자력은 두뇌로 창조된 응축된 에너지원이다. 1 톤의 핵분열은 350 만 톤의 석탄 연소와 동등한 에너지를 생산한다. 원자력은 대기 오염이나 미세먼지 없이 깨끗한 에너지를 생산한다. 또한 온실 가스 배출량은 원자력에 비해 석탄은 30 배, 천연 가스는 20 배 정도다. 발전소 건설에 필요한 철강 요구량은 원자력에 비해 풍력 또는 태양광 발전소는 10 배 이상, 태양열 발전소는 50 배 이상이다. 토지 이용 면적은 원자력에 비해 태양광 발전이 50 배, 풍력은 400 배가 필요하다. 따라서 원자력은 모든 에너지원 중에서 가장 환경 친화적이며, 에너지 공급 잠재력은 거의 무한하다고 할 수 있다.

원자력은 한국의 에너지 안보에 앞으로 계속 중요한 역할을 담당할 것이다.

### 원자력은 한국에서 가장 경제적인 전력 생산 방법

한국은 천연 자원을 보유하지 못하고 LNG를 수입해야 하기 때문에 원자력은 지난 수십 년 동안 가장 경제적인 자원이었다. 현재 원자력 발전 원가에 비해 LNG는 3.5 배, 풍력은 3.4 배, 태양광

은 4.6 배 더 비싸다. 원자력 발전 원가에는 사용후연료 처분 비용과 제염 해체 비용이 포함되며, 이 비용은 정부와 원자력환경공단에서 관리하는 기금에 적립되고 있다.

### **원자력은 절대적으로 안전하다**

원자력이 안전한가 하는 문제에 관하여 두 가지의 크게 잘못 알려진 사실이 있다. 첫째는 후쿠시마 사고로 많은 희생자가 있다고 알려져 있는데 사실은 한 명도 희생된 사람이 없다. 이만 명 정도의 사망자와 실종자는 일본 역사 상 가장 컸던 지진과 쓰나미 때문 이었고 원자로 사고로 인한 것은 아니었다.

둘째로 리히터 규모(Richter Scale)에 맹점이 있다. 후쿠시마의 9.0 지진과 경주의 5.8 지진 폭의 차이가 두 배 정도 되는 것이 아니고,  $10^{9.0}$  과  $10^{5.6}$  즉  $10^{9.0}/10^{5.6} = 1,600$  배이다. 또한 파괴력 (Energy Released) 은 1,600 의 1.5 승, 즉 64,000 배의 차이로 하늘과 땅의 차이지만 원자로는 일본과 비슷한 내진 설계가 되어 있어 한국 원자로의 지진 피해는 불가능하다. 후쿠시마 원전들도 지진으로 인한 피해는 하나도 없었고 쓰나미로 인해 원자로 3기의 Diesel generator oil tank 가 쓸려내려 갔기 때문이었다. 원자력은 가장 안전한 전력원이다.

### **방사선은 삶의 일부다**

자연 방사능은 지표에서도 라돈 가스로 올라오고, 하늘에서 우주 방사선으로 내려오고, 마시는 물, 먹는 음식, 바나나, 우리 몸체 안에도, 일용품에도, 방사선 치료 받을 때 등 우리 몸과 주변에 어디에나 있어 우리와 같이 살고 있다. 이란 람사르와 같이 자연 방사능 양이 한국보다 100배가 높은 지역이 있고 세계 곳곳에 10배 이상 높은 지역이 있는데 이곳에 사는 사람들의 수명이 평균보다 높아서 Radiation Hormesis (호르메시스) 즉 어느 정도의 낮은 방사선은 오히려 건강에 유익하다는 설도 있지만 학술적으로 완전히 증명되지는 않았다. 중요한 점은 원자력 발전으로 인하여 배출되는 방사선의 양은 자연 방사능의 10만분의 1정도 이고 후쿠시마, 체르노빌 같은 대형사고 시에도 주변에서의 피폭량은 아무런 건강에 피해가 없는 정도였다. 단 체르노빌의 증기 폭발과 흑연 감속재 화재로 완전 노출된 노심을 막기 위해 죽음을 각오하고 헬리콥터로 저공비행을 한 200 여 명 중 42명이 사망한 것이 유일한 사망자들이다.

### **사용후연료 처분의 해결책**

사용후연료는 타 발전소 폐기물에 비해 부피가 매우 적은 관계로 직접 처분이 가능하여 스웨덴은 19 억 년 전에 생성된 깊은 암반에 500 m 깊이로 지하 처분을 추진하고 있다. 한국에서도 직접 처분이 가능하나 미국 아르곤 국립 연구소에서 개발한 파이로프로세싱 기술로 사용 후 핵연료에 있는 반감기가 긴 원소를 추출하여 고속로에서 연소시키면 방사성 폐기물의 유효 수명은 약

300,000 년에서 약 300 년으로 줄어들어 처분장 건설 및 관리 부담이 크게 경감된다. 이 방법은 또한 우라늄 자원 활용률을 고속로에서 170 배까지 확장하여 미래 전력 수요 증가를 감당 할 수 있는 무한한 에너지원이 될 수 있다. 현재 상업용 원전은 우라늄 자원의 0.6 %만을 활용하고 있다.

### 원전 수출 기회

1986년부터 한빛 3호기 공동 설계 및 기술 이전을 위해 200명 이상의 한국원자력연구원 연구원들이 미국 컴버스천 엔지니어링 사에 파견된 바 있다. 그 이후 설계 기술 자립을 통해 APR-1400 표준 설계와 4기의 UAE 원전 수출이 가능하게 되었다. 최근 MIT 보고서에 의하면 APR-1400의 건설비는 전 세계에서 가장 낮은 수준이다. 원전 수출은 정부의 적극적인 지원이 있어야 시장에서 경쟁할 수 있다. 러시아는 11개국에서 건설비의 20-50%를 정부 보조금으로 지원하려고 하고, 중국 국영 은행은 파키스탄과 아르헨티나에서 건설비의 80%까지 자금을 조달해 주고 있다.

앞으로 장기적으로 볼 때 고속로와 파이로프로세싱 기술을 확보하는 국가가 원전 기술 선도국이 될 것이다. 원자력연구원의 PGSFR (제4세대 원전 고속로) 프로젝트는 2012년 아르곤 국립연구소와 국제공동연구로 시작되었다. 원래 계획은 2020년까지 설계 인가를 받고, 2028년까지 건설을 완료하는 것이었다. 이에 따라 성공적으로 고속로 기술 이전이 진행되고 있었으나 프로젝트가 중단될 예정이다. 하지만 한국에서 먼저 차세대 원자력 기술을 실증하기 위해 고속로 프로젝트는 재가동되어야 한다. 고속로는 3-40년 후 한국에서 미래 세대를 위한 원자력 기술 성공 사례가 될 것이다.