

# 미래의 Energy : 신재생 에너지와 원자력발전

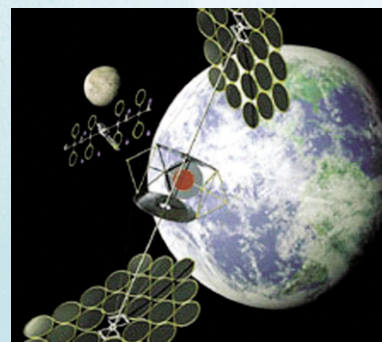
글 | 정재천(한국전력기술(주) 공학박사, jchung@kopec.co.kr)

## 1. 머릿말

범지구적으로 나타나는 물 부족과 식량가격의 폭등, 그리고 에너지의 부족과 분배의 불평등은 시급히 해결해야 할 문제다. 미래학자인 프랑스의 자크 아탈리는 석탄은 230년, 석유는 50년, 천연가스는 70년 정도 사용이 가능할 것으로 진단하고 있다. 2050년이 되면 원자력이 전체 에너지의 15퍼센트를 점유하게 되고 천연상태에서 얻을 수 있는 에너지원들은 현실적인 대안이 되기에는 문제가 많아 보인다고 예측한다.<sup>1)</sup> 결국, 에너지는 점점 비싸질 것이므로 합리적 사용과 함께 적극적인 개발이 더욱 중요해 질 것이다. 앨빈 토플러도, “전 세계 13억 명의 농촌 인구가 여전히 전기의 혜택을 받지 못하고 있다. 이런 상황과 극심한 빈곤 등 오늘날의 현실을 감안할 때 여러 가지 위험과 환경적 피해를 야기한다고 해서 석탄, 가스, 심지어 원자력의 확대를 반대할 수만은 없다.”<sup>2)</sup>며 에너지 부족에 대한 적극적인 해결책이 필요함을 강조한다. 온난화의 관점에서 본다면, 지구의 미래가 지속되기 위해서는 이산화탄소 배출량이 세계적으로 절반 줄어들어야 하는데, 이는 화석연료 소비가 전 세계적으로 감소해야 함을 의미한다. 이러한 에너지 부족 문제를 해결하기 위한 두 가지 기술적, 정책적 흐름이 존재하는데, 바로 신재생 에너지의 개발과 원자력발전의 확대다.

## 2. 미래를 위한 신재생 에너지

신재생 에너지는 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지이다. 태양광, 풍력, 조력, 바이오매스 등



우주 태양광 발전 상상도  
출처: NASA

자연계에서 직접 순환시킬 수 있는 에너지와 연료전지와 수소 에너지 등이 이 분야에 포함된다. 미래학자인 레이 커즈와일은 “태양광 에너지가 5년 내에 화석연료에 대해 가격경쟁력을 갖게 되고, 20년 내에는 모든 에너지가 청정원료에서 만들어질 것이다”<sup>3)</sup>라고 예측한다. 우리가 잘 알고 있는 신재생 에너지 이외에 획기적인 기술은 어떠한 것이 있을까?

제롬 글렌은 우주 태양광 발전 (solar power satellites)과 지열발전과 같은 미래 에너지가 하나의 대안이 될 수 있다고 말한다.<sup>4)</sup> 일본이 주도하는 우주 태양광 발전계획은 수 km 길이의 태양 전지판을 부착한 위성을 지구 상공 궤도에 띄워 태양

1) 자크 아탈리, 미래의 물결, 위즈덤하우스 2) 앨빈 토플러, 부의 미래, 청림출판

3) 예일병의 경제노트, [http://www.econote.co.kr/econo\\_main.asp](http://www.econote.co.kr/econo_main.asp) 4) 조선일보 Weekly Biz, “기후 변화가 바꾸는 21세기” 주재 강의, 2008. 6. 7일 게재 기사

빛을 받아 전기를 생산하고 마이크로파로 변환하여 지구로 전송하는 것이 핵심이다.

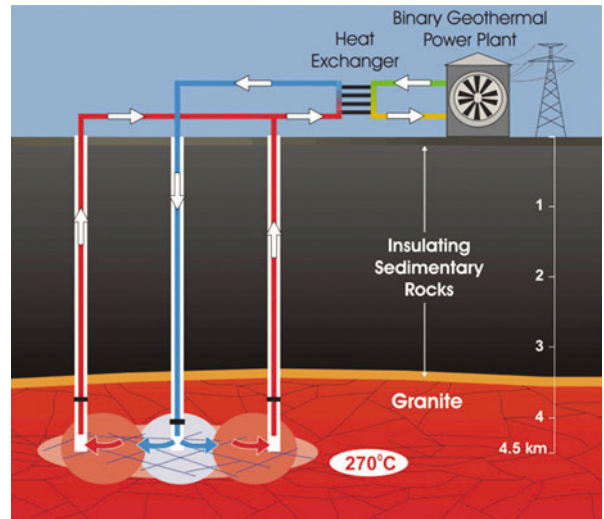
신재생 에너지의 또 다른 후보로는 개선된 지열발전을 들 수 있다. MIT에서 초기 실험을 마친 이 기술의 개념은 다음과 같다. 지하에 두 개의 구멍을 뚫고 각각 4 ~ 5 km로 파 내려간 뒤 두 구멍의 바닥을 서로 연결시킨다. 그 뒤 한 쪽 구멍에 물을 집어넣으면 지열에 의해 바로 옆의 구멍으로 수증기가 분출돼 나온다. 그 수증기가 나오는 구멍에 발전용 터빈을 설치하여 전기를 생산하게 된다.

재생에너지 역시 신재생 에너지와의 경쟁에서 살아남기 위해 부단한 노력을 기울이고 있다. 고효율 천연가스 화력발전, 고효율 석탄 화력발전과 이산화탄소 회수 및 저장(CCS) 기술을 도입하여 친환경적인 그린에너지로의 전환을 꾀하는 것이 그것이다. CCS 기술은, 필터 등에 의해 포집된 이산화탄소를 지하의 폐광이나 폐유정 등에 저장하여 해결하는 것이 핵심이다. 현재 특수 필터를 이용한 포집과 회수 단계에 대한 연구가 진행되고 있으며 운송이나 지하 저장과 같은 연구는 개념적인 수준에서 머무르고 있다.

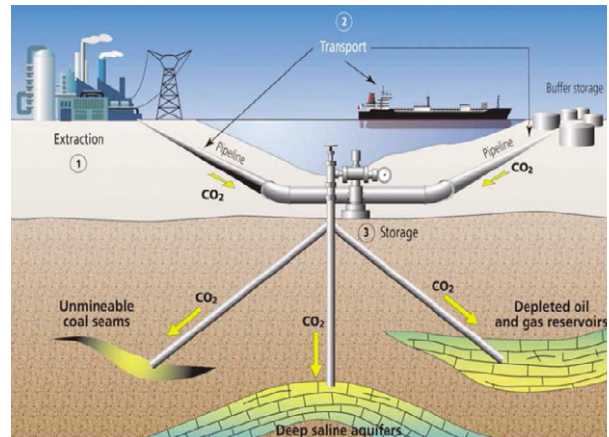
### 3. 신재생 에너지의 주요 현안

현재의 신재생 에너지 기술은 무엇보다도 경제성 측면에서의 한계를 극복해야 하는 숙제가 있다. 한전의 자료에 의하면 태양광 발전의 구입단가는 원자력 보다 17배 이상이고, 풍력발전 역시 3배 가까이 높은 가격으로 공급 받는다. 만일 이러한 우대 정책이 현저히 낮아지거나, 없어져 무한 경쟁에 들어갈 경우, 에너지원으로써의 기능이 가능할 것인가에 대한 우려도 높아지고 있다.

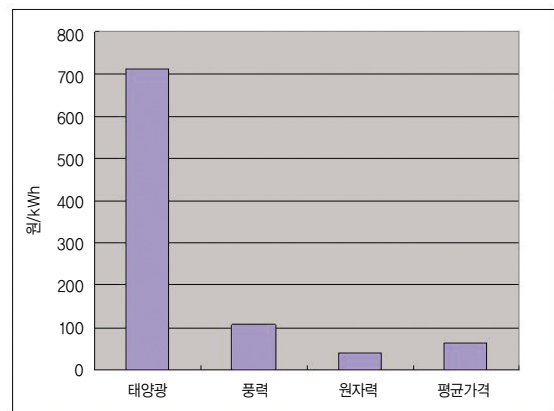
또 하나의 문제점은 현재의 기술 수준으로 볼 때 태양광 발전을 비롯한 신재생 에너지들이 의외로 환경 친화적이지 않다는 것이다. IAEA의 2006년도 자료에 따르면 태양광 발전은 석탄발전의 6%에 불과한 이산화탄소를 배출하나, 원자력보다는 6배 정도 많은 양을 발생시킨다.<sup>5)</sup> 일본 전력연구소의 자료에



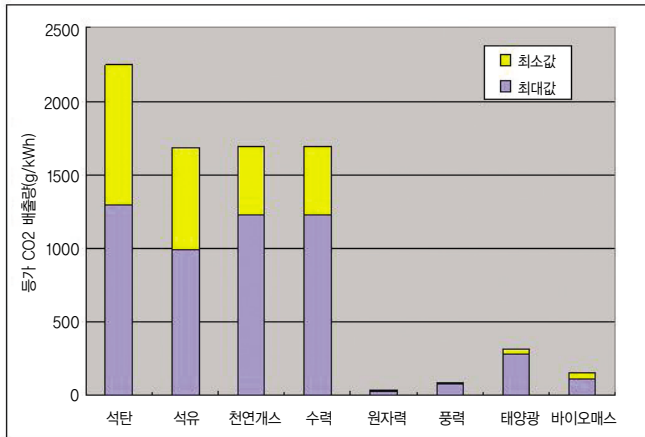
호주의 지열발전 개념도  
출처: IT월드(2008. 8. 22)



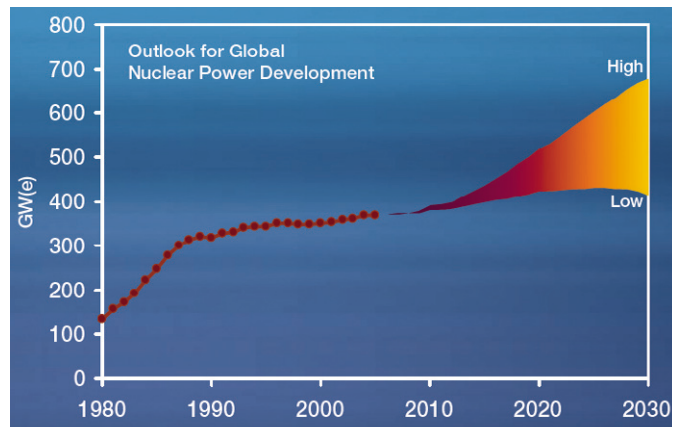
이산화탄소 회수 및 저장(CCS)개념도  
출처: European Commission, "A Vision for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants", 2006



5) IAEA, [www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/devnine.html](http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/devnine.html)



에너지원별 등가 이산화탄소 배출량은 원자력이 가장 적다  
출처: IAEA Bulletin 1998 참조



IAEA 원자력발전량 예측  
출처: Energy, Electricity and Nuclear Power: Developments and Projections- IAEA

의하면 태양광 발전은 석탄발전의 약 1/5 수준의 이산화탄소를 배출한다고 한다. 가장 큰 문제는 태양전지의 수명을 10년으로 볼 때 태양전지에 의해 10년간 발전하는 전력량은 태양전지 자체의 제작에 드는 에너지보다 적다는 것이다.<sup>6)</sup> 결국 태양광 발전의 효율을 획기적으로 높이지 않는 한 태양광 발전을 통한 이산화탄소 저감 전략은 이루기 어렵다는 것을 뜻한다. 따라서 미래의 주도적 에너지로써 신재생 에너지를 사용하기 위해서는 에너지 효율의 향상을 위한 많은 연구 개발이 필요하고 적극적인 지원을 증대시키는 정책이 요구된다.

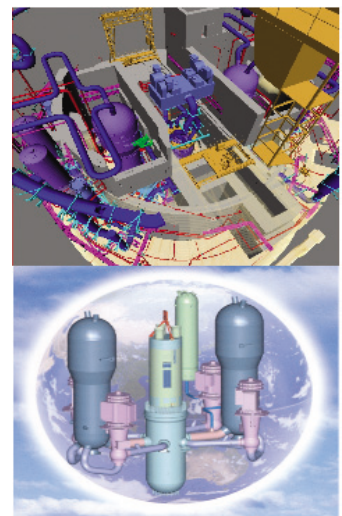
#### 4. 원자력발전의 지속을 위한 주요현안

상기에서 다룬 기후변화와 화석연료의 고갈, 신재생 에너지 개발의 한계 등에 대한 이슈는 결국 주도적인 에너지를 무엇으로 할 것인가에 대한 해답을 요구한다. 이 질문에 대한 현실적 대안이 바로 새로운 원전의 건설이다. IAEA는 지난 20년간 완만한 성장세를 유지하던 원자력발전량이 향후 20년간 폭발적으로 증가할 가능성이 있는 것으로 평가한다. 1980년대 후반 이후 새로운 원자력발전소의 건설이 없었던 미국에서 정부 지급보증을 통해 건설을 촉진하는 정책을 발표한 것이 대표적인 예이다.

원자력발전소에 사용되는 원자로형은 초기 1세대를 거쳐 현재의 3.5세대까지 지속적으로 발전되어 왔다. 현재까지 원자력발전소에 사용되고 있는 기술은 초기 1세대의 기본적인 틀 위에 안전성을 강화하기 위한 방향으로 진화되어 왔다. 2030년경의 미래에는 액체금속원자로, 수소생산원자로 등, 현재의 경수로형 원전보다 진화된 형태의 원자로가 건설되고 운영될 것으로 보인다. 하지만 지금부터 2030년까지는 경수로형 원자로가 대부분의 전기생산을 담당할 것으로 예측된다.

원자력발전 기술은 전기를 생산하여 산업체와 가정 등에 공급하는데 사용되는 기술을 말한다. 이 기술은 임계질량 이상의 우라늄을 핵분열 시켜 열을 얻는 원자로심 (Reactor Core) 기술과 원자로에서 발생한 열을 증기로 바꿔 터빈을 돌리고, 터빈의 회전력을 전기적 에너지로 바꾸는 터빈-발전기 기술로 크게 나눌 수 있다.

국내 원자력발전소의 주



한국형 원전인 APR-1400의 원자로계통 (원자로를 중심으로 두고 증기발생기, 냉각재펌프, 그리고 가압기가 복잡한 배관에 의해 연결)

6) 원자력의 미래, 토리이 히로유키, 상지문화사



원자력발전소의 진화 (현재의 3.5세대 원전은 제1세대 원전의 개선형이다)

력은 가압경수로형 이다. 물을 채운 원자로에 핵연료를 임계질량 이상 장전하면 자발적인 연쇄반응이 일어나 열을 발생시킨다. 물은 물성이 잘 알려져 있고 관리가 쉬우므로 안전한 원자로를 만들기에 이상적인 물질이다. 월성원전은 물대신 중수를 사용한다. 물을 사용하는 원자로는 핵연료의 농축도가 높아야 하지만 중수를 사용하는 원자로는 천연핵연료를 사용하는 차이가 있을 뿐 기본적인 원리는 유사하다. 우리나라의 중성자 연쇄반응을 제어하는 원자로는 작은 양의 연료로도 많은 열량을 얻을 수 있는 핵연료만으로도 안전한 제어를 위한 많은 계통과 설비가 필요하다. 우리나라의 전기에너지의 절반 정도를 공급하고 있는 원자력발전, 과연 이 기술은 우리의 미래를 보장할 수 있는 것일까?

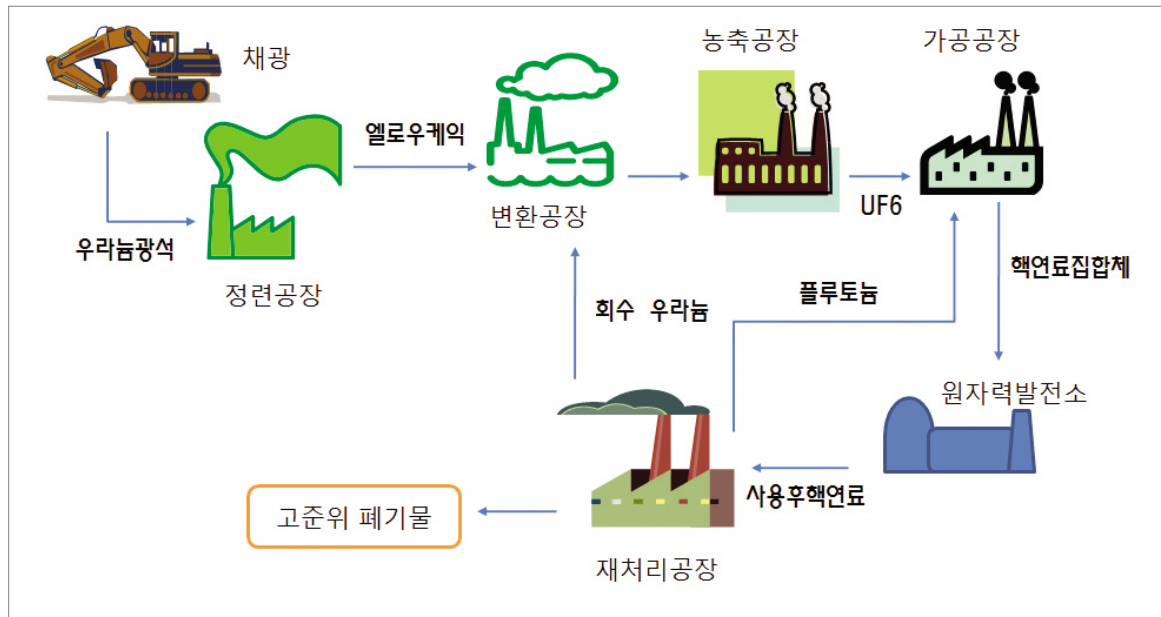
국내 신고리 3, 4호기에 건설 중에 있으며 UAE에 수출계약을 체결한 APR-1400 원전은 3.5세대 원자력발전소로서 두 가지의 안전과 관련한 큰 특성이 있다. 첫 번째는 기존 발전소보다 10배 이상 높아진 안전성이 이고, 두 번째는 규모 7 이상인 강진에도 견딜 수 있도록 내진 설계를 강화한 것이다. 뿐만 아니라 가동 수명이 20년 이상 늘어나고 각종 신기술을 적용하여 공사기간을 단축하는 등, 3세대형인 울진 3, 4호기 이후의 표준형 원전에 비해서도 많은 개선이 이루어져 있다.

하지만 원전의 안전성 강화는 바로 경제성의 저하로 이어진다. 따라서 현재와 미래의 원전 정책은 안전성과 경제성을 동시에 만족하는 수준을 최적화하는 것에 초점을 맞추고 있다. 뿐만 아니라 원전의 경제성을 건설부터 폐기까지의 수명기간 동안의 비용을 대상으로 관리하여, 비록 건설단가가 올라가더라도 운전 및 정비에 소요되는 비용을 획기적으로 줄여 전체 수명기간 동안 투입하는 비용이 과거의 원전에 비해 낮도록 유지하는 최적화 프로그램도 개발 중이다.

## 5. 미래를 위한 핵연료 주기의 완성

우리나라가 해결해야 할 과제는, 사용한 핵연료를 안전하게 처분하는 것이다. 오래된 국내 원전마다 사용한 핵연료의 처분 때문에 골머리를 썩이고 있다. 저장고가 포화되어 인접 원전에 임시로 저장을 의뢰하기도 한다. 참으로 안타까운 현실이다.

핵연료주기는 우리나라의 일생을 말하며 자연 상태에서 채취하여 원자로에서 연소시킨 후 재처리 과정을 통해 다시 사용가능한 연료로 만드는 반복 사이클을 말한다. 원자력발전소는 연료를 재생하여 몇 번이고 다시 사용할 수 있는 효율성이 있다. 타고난 석탄은 재가 되어 연료로서의 기능을 다하는 것과는 매우 다른 순환과정을 가지고 있는 것이다. 고속중식로가 상용화

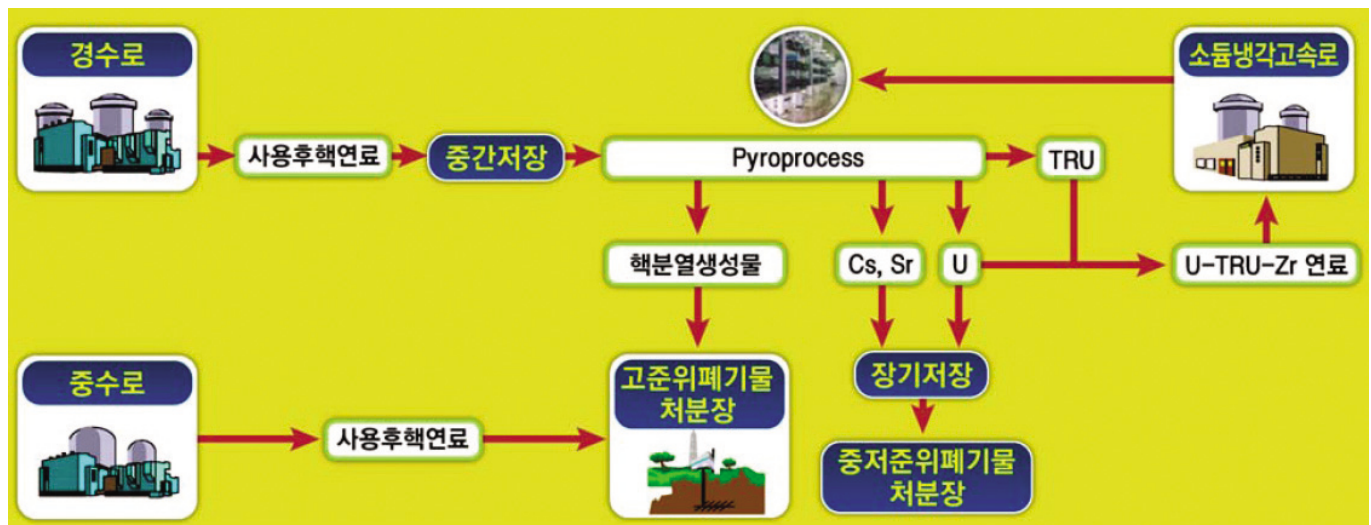


핵연료 주기  
(사용된 핵연료는 재처리를 통해 다시 사용할 수 있다)

되어 플루토늄을 활용하게 되면 우라늄 자원의 활용도는 약 60배 정도의 효율을 가질 수 있다고도 한다. 즉, 원자력발전의 순환구조는 우리 후손을 위한 미래에너지를 확보하는 필수불가결한 기술인 것이다.

전체 발전량 중 40% 이상을 원전에 의존하고 있는 우리나라로서는 사용 후 핵연료의 핵주기를 완성하는 것이 필수적이다. 하지만 한·미 원자력협정에 의해 미국 측 동의 없이는 재

처리를 할 수 없다. 따라서 핵무기의 사용 후 핵연료 재활용 기술인 파이로 프로세싱 (Pyro-processing · 건식 재활용 방식) 이 대안으로 떠오르고 있다. 우리나라가 주도적으로 개발 중인 신기술인 파이로 프로세싱을 거치면 사용 후 핵연료의 부피는 20분의 1로 줄어들고, 발열량은 100분의 1, 독성 감소 기간인 반감기는 1000분의 1까지 떨어진다. 또한 이 기술은 폐연료봉을 섭씨 550도로 태운 후 전기분해로 우라늄과 플루토늄, 넵



파이로프로세싱 기술을 이용한 핵연료 주기

튬 등이 한데 섞인 금속을 추출하므로 핵연료의 원료인 플루토늄만 따로 분류해 낼 수 없다. 핵무기로 이용될 가능성이 없다는 점에서 미국 등의 동의를 얻기 쉽다는 장점이 있는 기술이다. 고준위 방사성폐기물을 연소시키는 궁극적인 기술인 초우라늄원소 연소로는 2040년까지 개발할 계획이다.<sup>7)</sup>

이와 같은 핵연료주기를 위해서는 화학공학과 관련한 연구가 심도 있게 진행되어야 한다. 이를 통해 핵연료주기의 완성, 방사성 폐기물 관리 및 처분과 처분장의 안전성 평가, 냉각재 화학과 환경영향 평가, 동위원소 분리 등의 핵화학공학 연구가 특히 요구된다.

## 6. 맺음말

미래의 에너지는 어떤 형태일까? 천연자원의 고갈과 지구 온난화로 대표되는 에너지 위기는 어떻게 돌파할 수 있을 것인가? 신재생 에너지가 주류를 이룰 것인가? 아니면 재생에너지에 의존할 것인가? 에너지 세상에는 수많은 물음표가 존재한다. 식물의 광합성 작용을 모방한 염료감응 태양전지, 해상풍력발전, 조력발전소의 건설 등으로 대표되는 활발한 미래에너지 개발도 계속되고 있다. 또한 핵융합발전을 위한 기술 개발 노력도 빼놓을 수 없다. 이와 같이 녹색성장을 주도할 에너지에 대한 관심이 어느 때보다도 높은 시대에 우리는 살고 있다. 그러나 에너지 위기에 맞서는 우리가 간과하지 말아야 할 것은, 중장기적인 미래 기술에 환호하기 보다는 현실적인 에너지 자립 기술이 절실히 필요하다는 것이다. 탄소세가 부과되고 에너지의 합리적 사용여부에 따라 보험료, 탄소세 등 각종 비용이 지불되는 현재를 위한 실질적인 대안이 요구되는 시점이다.

필자가 종사하고 있는 원자력발전분야도 미래의 에너지에 포함되기 위한 노력과 경쟁을 계속하고 있다. 좀 더 환경 지향적이고 안전한 에너지, 인간에게 편안하게 다가갈 수 있고 신뢰를 얻을 수 있는 에너지가 되기 위한 노력은 이 시간에도 계속되고 있다. 특히 화학 분야에도 핵연료주기의 완성과 방사성 폐기물의 원천적 감소와 같은 새로운 영역이 열려져 있음을 알고 싶다. 미래의 에너지는 어느 한 분야의 주도적인 기술로써 이루어지는 것이 아니라 모든 분야의 역량이 모아지는 융합의 산물이기 때문이다.

에너지란, 비싼 돈을 주고 사오는 것이라는 고정관념이 에너지의 수출이라는 쾌거로 바뀌는 순간을 우리는 함께 지켜보았다. 세계에서 다섯 번째로 많은 원자력발전소가 가동되고 있으며 발전소의 운영기술이 세계 최고 수준을 과시하였기에 우리는 다섯 번째 원전 해외 수출국으로 도약할 수 있었다. 패션에도 브랜드와 트렌드가 중요하듯, 에너지에도 브랜드와 상표가 필요하다. 이는 무조건적인 열광과 휩쓸림의 결과가 아니라 소걸음으로 한걸음, 한걸음 미래를 향해 나갈 때 얻어질 수 있는 것이다. 신재생이나? 재생 에너지의 효율적 이용이나가 중요한 것이 아니라, 미래 가치를 창출할 수 있으면서 존경받을 수 있는 국가적인 브랜드가 필요하다. 올해에도 약 2조에 달하는 연구개발비가 산업분야를 위해 준비되어 있다. 이와 같은 비용을 효율적으로 활용한다면 우리의 미래는 더욱 밝아질 것이고 에너지 수출국으로써의 혜택을 미래에도 마음껏 누릴 수 있을 것이다. 우리 모두의 헌신적인 노력이 모아지기를 기대한다.

7) 미래원자력시스템 Action Plan - 한국원자력학회/한국방사성폐기물학회, 2008. 9