꿈의 무한 청정에너지 '인공태양'

글_한정훈 한국기초과학지원연구원 책임연구원 jhhan@kbsi.re.kr

기획연재순서
❶ DNA
❷ 반도체
❸ 자동차
❹ 항공
❺ 로봇
❻ 차세대 전지
❼ 토목
❽ 바이오신약
❾ 스마트 무인기
❿ 인간유전체기능연구
⓫ 21세기 차세대 초전도기술
⓬ White Biotechnology
⓭ 지능형 교통시스템(ITS)
⓮ 나노바이오 융합 측정제어기술
⓯ 차세대 광통신 기술
⓰ 차세대 소재성형 기술
⓱ 차세대 정보디스플레이
⓲ RFID
⓳ 디지털 컨버전스와 지능형 홈네트워크
⑳ 핵융합기술

핵융합에너지 개발 목적은 전기생산이다. 앞으로 약 50년 후 핵융합에너지가 상업화로 접어들 때, 현재 국내 전기생산의 약 40%를 담당하고 있는 원자력에너지의 역할을 이어 받는 것이 핵융합에너지 개발의 목적이다. 핵융합에너지 개발은 태양에서 빛과 열을 만들어 내는 핵융합에너지를 지구 위에서 제어된 방식으로 생산하자는 것이다.

50년 주기로 핵융합발전소 재활용 가능

핵융합에너지를 '꿈의 무한 청정에너지'라고 하지만 이는 약간의 과장이 섞인 표현이다. 우선 핵융합 발전소 건설비용과 건설부지 구입비용 등만 따져 봐도 무한에서 당장 유한에너지가 될 것이고, 청정에너지라는 말도 인간이 만든 모든 발명품이 불완전한 것임을 역사에서 보아 왔듯이 완벽한 청정에너지는 될 수 없다. 다만 연료의 구입비용이 화석연료나 원자력 에너지에 비해 상대적으로 저렴하고 원자력에너지와 마찬가지로 온실가스를 배출하지 않으며, 방사성 폐기물의 양도 현재의 같은 에너지를 방출하는 원전에너지의 0.04% 수준이므로 청정에너지라고 부르는 것이다.

또한 핵융합에너지는 1차 연료가 비방사능 물질인 중수소와 리튬으로 연료의 저장 및 수송비용이 저렴하고, 핵융합발전소의 방사능 독성도는 핵융합발전소 해체 후 50년이 경과하면 석탄탄광의 방사능 독성보다도 더 낮다. 50년 주기로 볼 때 핵융합발전소는 재활용 가능한 발전설비인 것이다.

하지만 지난 30년 동안 국가경제를 지탱하는 전기에너지를 묵묵히 공급해오면서도 일반 대중으로부터 오해와 편견의 대상이 됐던 원자력에너지도 향후 30년 후에 실현될 것으로 전망되는 제4세대 원자력 발전소에서는 연료의 효율성과 방사능 폐기물의 양을 혁신적으로 감소시켜 청정에너지 수준의 기술적 진보상태에 도달할 것으로 전망되고 있다.

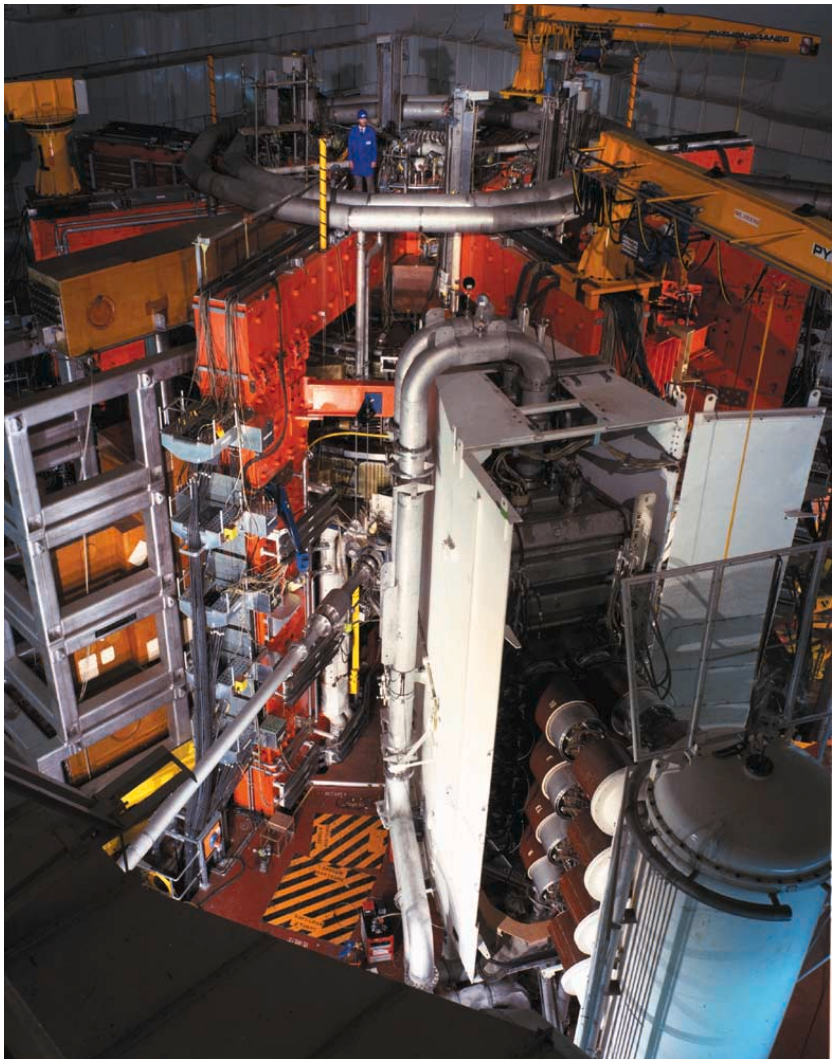
핵융합에너지 개발은 일차적으로 기후 변화를 가져오는 온실가스 배출을 줄이는 것이고, 이차적으로는 온실가스 배출은 하지 않으나 화석연료와 마찬가지로 원자력에너지 연료의 유한성에 대비하는, 태양에서 오는 에너지로 시작된 지구상의 인류 문명을 계속 유지 및 발전하게 하는, 지구상에서 인류가 구현하는 태양에너지의 개발이라고 볼 수 있다. 따라서 '21세기 미래를 여는 과학기술로서의 핵융합'이라기보다는 '21세기

혹은 그 이후의 미래를 보존하는 생존 수단으로서의 핵융합' 이라고 기술하는 것이 더 적절한 표현일 것이다.

상용화 위해 35년간 'ITER 프로젝트' 가동

1950년대말에 미국과 구소련, 유럽연합에서 시작된 핵융합연구는 지난 40여년간의 연구개발 끝에 1997년에 유럽연합의 JET 핵융합실험 장치(그림 1 참조)에서 중수소-3중수소 핵융합 반응으로 약 16㎿의 에너지를 방출시키기에 이르렀다. 1988년부터 추진되어 온 국제핵융합로(ITER)건설 프로젝트는 지난 1년 6개월 동안 유럽연합과 일본이 협상을 한 결과 국제핵융합로를 프랑스 남부의 카다라쉬에 건설하는 것으로 결정했다. 유럽연합, 일본, 러시아, 미국, 한국 6개국간에 추진을 위한 협상이 올해 안에 마무리되면 2006년말경에 건설이 시작되어 산업국가들을 중심으로 한 핵융합 에너지 개발을 위한 인류 공동의 노력이 본격적으로 시작된다.

ITER 핵융합로는 방출되는 열에너지가 500㎿ 규모이며, 핵융합에너지 상용화를 위한 모든 기술적인 문제들을 검증하는 프로젝트이다. 총 35년이 걸리는 프로젝트로서 10년의 건설기간, 20년의 운영기간, 5년의 해체기간을 거쳐 핵융합발전소 건설, 운영, 해체 단계의 모든 기술적 검증을 거쳐 실제 상업용 핵융합발전소의 건설, 운영 및 해체에 필요한 모든 기술적인 설계들을 확보하여 핵융합발전소 상업화를 실현하는 실질적인 기반을 마련하는 것이 ITER 프로젝트의 목표이다.



〈그림 1〉 JET 핵융합 실험 장치

현재 핵융합에너지 개발에 연구투자비, 연구인력, 연구수준에서 세계 1위를 달리고 있는 유럽연합은 25개의 회원국이 공동 출자한 유럽집행위원회 아래의 유럽원자력공동체(EURATOM)에서 단일핵융합프로그램을 운영하고 있다. 유럽연합은 ITER 운영기간 중에 DEMO 핵융합로를 설계하고 ITER의 해체 기간 중에 DEMO를 운영하는 한편, PROTO라는 상업핵융합로를 건설 및 운영하여 ITER 건설 착공, 50년 후에 1GW의 전기에너지를 생산한다는 계획을 21세기

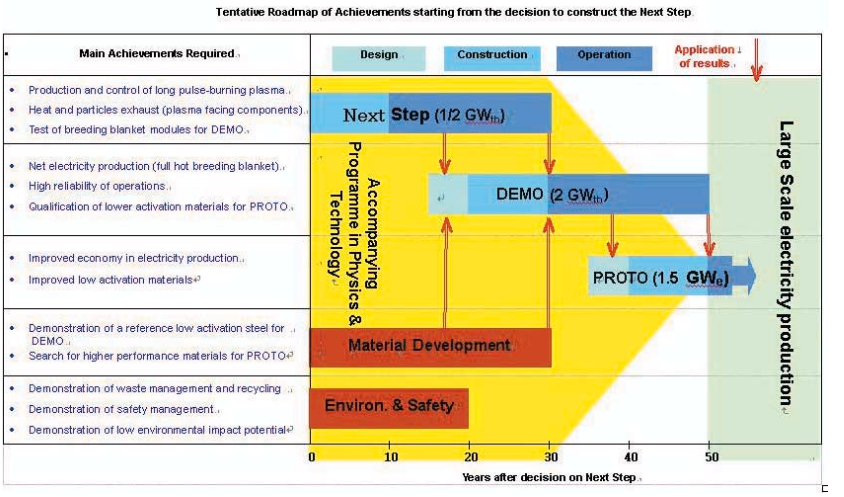
초에 수립하였다(그림 2 참조).

하지만 당초의 유럽 핵융합에너지 개발 계획은 지구온난화의 심각성과 이로 인한 기후변화로 유럽에서의 인명과 재산피해의 규모가 날로 증가하자 기존의 핵융합에너지 개발을 앞당기려는 시도에서 2001년 12월 EU 집행부의 지시로 영국 토니 블레어 총리의 과학보좌관인 데이비드 킹 교수의 주도하에 기존의 'ITER→DEMO→PROTO 단계'의 로드맵(상용화까지 50년 소요)에서 DEMO와 PROTO 단계를 결합한 '지름길 전략(그림 3 참조)'을 도출하여 35년 이내 DEMO 실증로에서 전기를 생산한다는 것이었다.

이러한 유럽, 일본, 미국 등의 핵융합에너지 개발 동향을 파악하고 이에 대처하기에 앞서, 앞으로 우리 자신들과 인류 미래의 삶을 유지하기 위하여 핵융합에너지 개발을 위해 30~50년간의 시간과 돈을 투자해야 하는지를 우리 스스로 곰곰이 따져 보아야 한다.

OECD 회원국을 중심으로 한 산업화된 국가들과 그 밖의 몇몇 나라들을 제외하고는 아직도 세계 인구의 대다수가 굶주림과 최저 생계수준의 생활환경에서 삶을 근근이 유지하고 있는 상황에서 지난 40년간 선진국에서 수십조 원의 연구개발비가 투자되었고 앞으로도 수십조 원의 연구개발비 투자가 예상되는 핵융합에너지 개발에 우리 나라가 투자해야 하는 것이 적절한 것인지를 생각해 보아야 한다는 것이다.

배럴당 70달러 수준을 넘나들고 있는 원유 값과 유럽이 염려하는 지구 온난화 수준이 얼마나 심각한 것인지, 앞으로



〈그림 2〉 유럽핵융합 개발 전략

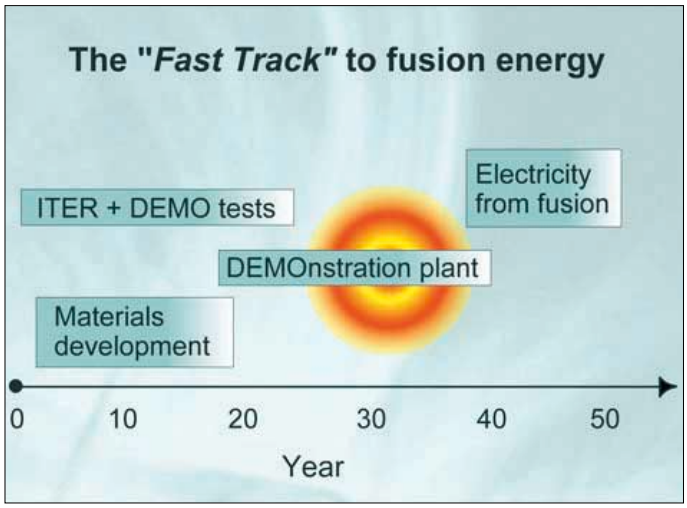
인류가 당면하게 될 원유를 비롯한 화석연료의 고갈에 대해서도, 어쩌면 지금 당장의 자신의 삶과는 관계가 없어 보이는 먼 나라와 미래의 문제들에 대해, 정신없이 돌아가고 있는 IT 강국 대한민국에서 오늘을 사는 우리 모두는 한번쯤 진지하게 생각해 보아야 한다.

'기술혁신'만이 자원고갈 문제 해결

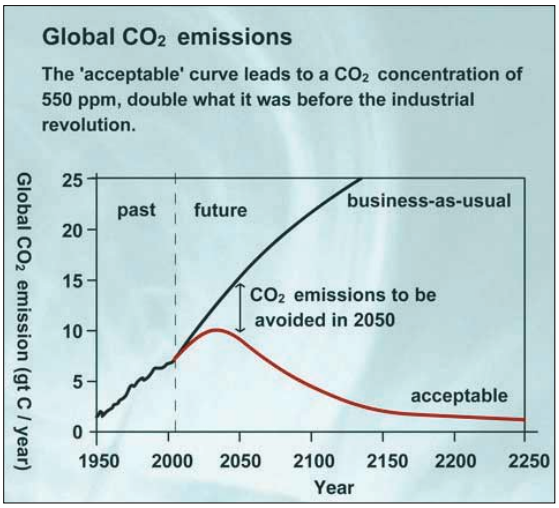
세계 인구의 40%에 해당하는 중국과 인도의 산업화는 전지구적인 자원고갈을 가져오고 있다고 해도 과언이 아니다. 특히 이 두 나라의 산업화의 방향 설정과 두 나라의 산업화에 절대적으로 필요한 에너지를 어떤 방식으로 공급하느냐에 따라 지구생태계에 미치는 영향은 매우 다를 것이다. 이미 21세기 들어 가속되는 중국의 산업화로 석유, 제철 및 기타 금속들의 원자재 값은 하루가 다르게 오르고 있고, 이제 중국에 이어 세계 두 번째 인구대국인 인도가 산업화의 시동을 걸고 있다는 것은 자원고갈 문제뿐만 아니라 지구 생태계에 심각한 위협이 될 수 있다.

또한 지난 수년간 늦여름에 미국의 남동부 해안을 엄습하는 허리케인은 매년 예외 없이 규모와 강도가 더해지다가 급기야는 인구 50만 명의 미국 재즈의 본고장 뉴올리언스를 복구 불가능한 폐허로 만들어 재산 피해가 100조 원을 훌쩍 넘는 미국 역사상 초유의 재난을 가져오기도 했다.

그러면 이러한 문제들에 대한 해결책은 무엇인가. 중국이 세계의 중저가 공산품 생산 공장 노릇을 중단하지 않는 한, 산업 국가들과 산업화가 진행되는 나라들에서의 온실가스 배출이 줄어들지 않는 한, 독일의 환경단체가 주장하듯 사람들이 자동차의 사용을 포기하고 자전거나 마차를 타고 다니지 않는 한, 모든 경제활동이 미래 사회의 자원고갈에 대비한 새로운 산업구도로 개편되지 않는 한, 지금과 같은 기상재해는 반복될 것이고 온실가스 배출이 증가할수록



〈그림 3〉 지름길 전략



〈그림 4〉 지구 이산화탄소 배출량

피해규모는 증가될 것이다. 즉 지금의 모든 경제활동이 변형되거나 중단되지 않는 한 기상재해는 계속될 것이고, 이에 대한 직접적인 피해자는 국부가 빈약하거나 사회 빈곤 및 소외 계층이라는 것을 우리는 외신을 통해 접하고 있다.

각 개인이 일정수준의 재화만 있으면 고대 제국의 어느 황제보다 더 호화롭게 살 수 있는 현대문명 속에서 사람들이 현대문명의 혜택을 포기하는 희생을 감수하지 않는 이상 환경과 경제라는 양립할 수 없어 보이는 두 마리의 토끼를 잡는 방법은 현재로서는 '기술 혁신' 밖에 특별한 대안이 없는 듯하다.

수십 개 원천 극한 기술의 융합체

20세기 인류가 이룩한 대표적인 기술들 몇 가지를 열거하라고 한다면 전기의 발명, 전화, 자동차, 항공기, TV, 플라스틱, 컴퓨터 등을 들 수 있다. 이들은 소비를 촉진시키고 생산을 증가하고 늘어난 매출로 이익을 창출하는 대표적 자본주의의 첨병기술들이다. 덕분에 21세기 초에 있는 인류는 일정한 재화만 가지고 있다면 황제 부럽지 않은 호사 생활을 누릴 수 있다.

하지만 그 뒷면에는 21세기 자본주의 경제에 실패한 나라들의 국민들과 소외계층과 빈곤층이 고초를 당하고 있으며, 지구 생태계 전체도 위협을 받고 있다. 지구 한쪽 편의 사치를 위해 항공수송에서 나오는 이산화탄소로 인한 지구온난화가 만들어낸 거대 폭풍이 지구 반대편 빈곤 국가에 해일과 홍수를 가져와 방어능력 없는 국가의 국민들은 졸지에 삶의 터전을 잃는다는 것이 지나친 과장만은 아니다. 오늘날 국제화 사회에서 목격하는 현실이기 때문이다.

탄산음료를 담는 셀 수 없는 플라스틱 병과 페스트 푸드를 담는 플라스틱 용기, 매일 같이 쏟아져 나오는 엄청난 쓰레기 등 일일이 열거할 수 없는 20세기에 발명된 경제기술들이 쏟아놓는 쓰레기들이 21세기의 지구 곳곳을 오염시키고 있다. 20세기 기술들이 만들어 낸 쓰레기들을 21세기의 기술들로 처리해야만 하는 것이다.

21세기의 기술은 분명 20세기 기술보다 '한수 위'의 극한 기술들이며, 이러한 극한 기술들이 집합되는 '만남의 장소'가 핵융합발전소 건설현장이라고 볼 수 있다. 핵융합 반응이 일어나는 수억도의 플라즈마를 고진공 상태에서 가두는 지구자장의 10만 배의 자기장은 영하 268도의 초임계 헬륨이 흘러들어가는 초전도 자석에서 만들어진다. 초고온 플라즈마와 초저온 냉매를 이용한 초전도 자석으로 대변되는 핵융합에너지 개발에 수십 개의 원천 극한 기술들이 융합되어 20세기 인류사회가 만들어낸 쓰레기들로 오염된 지구 생태계를 복원하고, 21세기에 필요한 청정에너지인 핵융합에너지를 인류에게 제공할 것이다.

글쓴이는 연세대학교 천문기상학과를 졸업 후, 동대학원에서 석사학위를, 미국 텍사스대학에서 박사학위를 받았다.