

⑧ 산업계가 ITER 프로젝트에 거는 기대

# 에너지 수입대체 효과만 연간 100조원

글 | 신대용 \_ 고려제강 부사장 daeysin@kiswire.com

세계의 자원은 급격하게 감소되고 있다. 18세기 중엽, 영국에서 시작되어 유럽과 러시아를 산업화하고 20세기 들어 동남아, 아프리카까지 확산시킨 산업혁명만 분명히 인류의 삶을 풍요롭게 만들어 주었지만 동시에 인류의 종말을 앞당기는 촉진제가 되었다. 산업의 발달은 전 세계적으로 광물과 석유 등 한정된 지구의 자원을 사용하는 경쟁을 유발시켰고, 인구는 기하급수적으로 늘어났다. 산업혁명 당시 8억 명도 되지 않던 세계 인구는 2000년에 60억 명을 돌파하고 이제는 70억 명에 육박하였다. 지구의 자원은 유한한데 그 자원을 나눠 쓸 인구는 폭증하고 있는 것이다.

## 현 인류 '손자' 대에 지구 부존자원 고갈

한국환경자원공사의 자료에 의하면 철, 크롬, 석탄, 코발트를 제외한 주요 자원은 30~100년 내에 고갈된다고 예측하고 있고, 그 중 에너지의 주원료인 석유는 20~50년, 천연가스는 20~50년, 석탄은 110~150년을 넘지 못한다고 한다. 즉 현 인류는 '손자' 대에서 지구의 부존자원을 모두 사용해 버린다는 계산이다. 정말 믿어지지 않는 일이나 어쨌든 인류에게 커다란 위협이 가까이 다가오고 있는 것만은 사실이다.

지난 2000년도에 배럴당 26달러였던 원유가격이 이제는 130달러를 넘어섰다. 물론 투기 등으로 과대하게 인상되었다고는 하나 길게 보면 오르지 않을 수 없을 만큼 원유의 매장량이 줄어가고 있는 것 또한 사실이다. 다행히 현재 사용하는 연료를 대체할 수 있는 자원이 등장한다면 큰 문제는 없을 것이다. 태양열, 풍력, 파도, 지

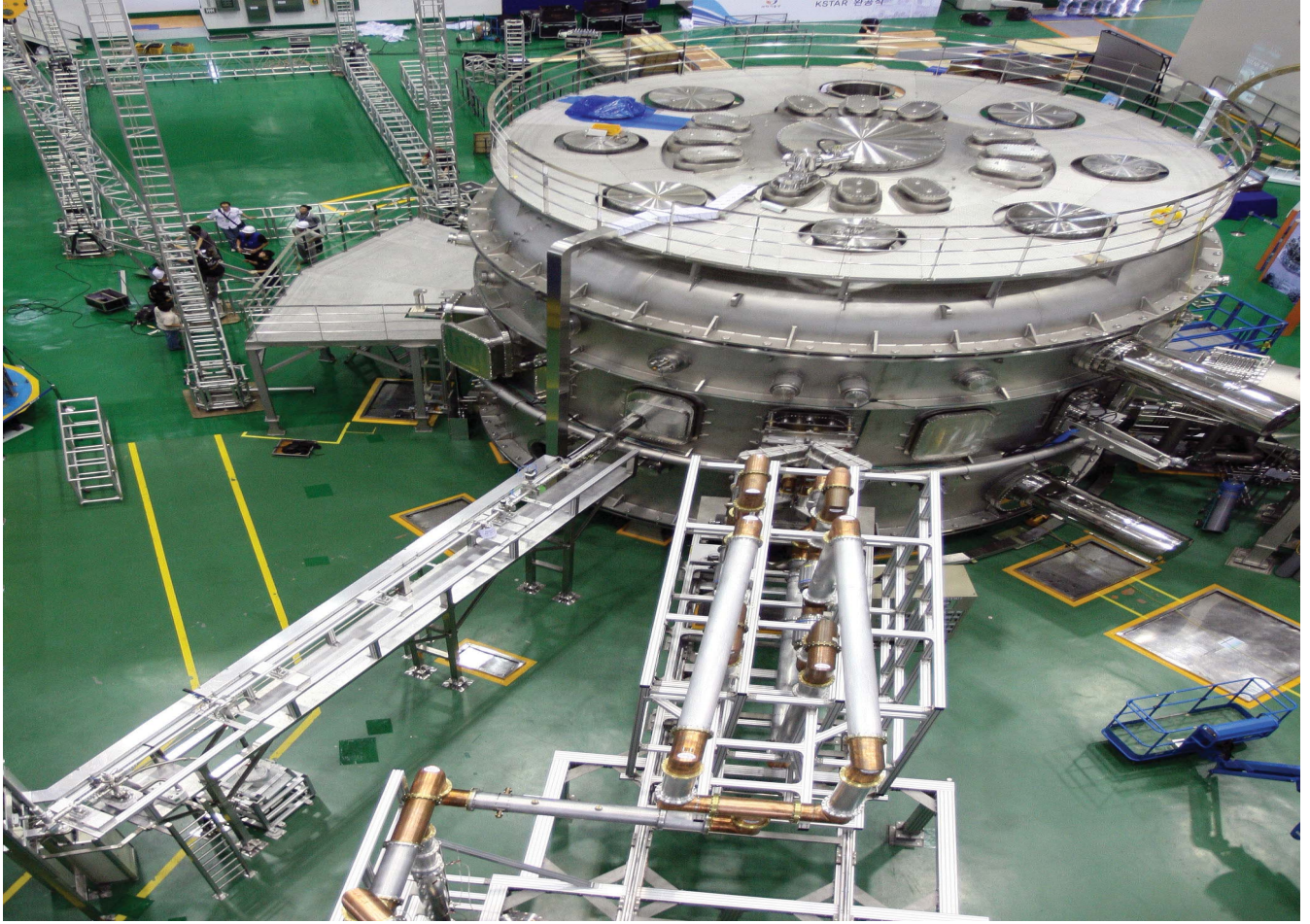
열 등과 같은 대체에너지의 이용이 주요한 역할을 할 수 있을 것이라고 보고 있으나 실용성, 상업성 및 신뢰도 면에서 그 기술은 아직도 시작단계에 불과하며 에너지 밀도가 낮아 대용량 에너지원으로 적합하지 않은 문제점이 있다.

향후 몇 십년 내에 석유를 대신할 에너지원의 발굴은 상당히 제한적이다. 더욱이 석유, 석탄과 같은 화석 연료는 지구온난화를 유발시켜 더욱 인류의 종말을 앞당기고 있다. 그나마 원자력 발전이 있어 위안이 되지만 그 원료인 우라늄 역시 방사성 물질로 인한 지구 오염뿐만 아니라 유한한 지구의 자원으로 장기적으로 볼 때 영원한 에너지원이 될 수는 없다.

우주의 생성원리로 볼 때 지구는 이제까지 50억 년을 살아왔고 앞으로 50억 년은 더 살 수 있다고 한다. 그러나 현재와 같은 인구의 증가와 유한한 부존자원의 수요 증가, 그리고 온난화 상태가 가속된다면 인류는 지구상에서 얼마나 오랫동안 살아갈 수 있을까?

## 단 한 번의 시도로 KSTAR 종합시운전 성공

지난 7월 15일 대전의 핵융합 연구소에서는 박종구 교육과학기술부 차관을 비롯한 내외 귀빈들이 참석한 가운데 차세대 초전도 핵융합 연구장치(KSTAR)의 최초 플라즈마 발생 시연회를 가졌다. KSTAR는 2007년 장치 완공 후 최초 플라즈마 발생실험을 위해 진공시운전과 극저온 냉각시운전, 초전도 자석시운전, 플라즈마 발생시운전 등 4단계에 걸친 장치의 종합시운전을 수행하였으며, 각 시운전 단계에서 장치의 성능을 저해하는 누설이나 결함이 없이



차세대 초전도핵융합연구장치 KSTAR

단 한 번의 시도로 종합시운전을 성공적으로 수행하였다. 핵융합 실험로 시험가동에 있어서 단 한 번의 시도로 시운전을 마친 것은 세계에서 처음 있는 일이었고 획기적인 일이었다. 이로써 대한민국은 세계에서 핵융합 에너지 개발 연구의 선두주자로 우뚝 섰고, ITER 프로젝트의 성공을 돕는 파트너가 확실하게 된 것이다.

ITER는 라틴어로는 ‘길’이라는 뜻이다. 아마 ‘인류가 생존하기 위한 길’이라는 뜻일 것이다. ITER는 태양과 같은 영원불멸의 에너지를 지구상에 만들기 위하여 세계 각국의 과학자들이 지난 40년 간 이루어 놓은 핵융합 에너지 개발 연구를 바탕으로 대용량 에너지 생산 가능성을 공학적으로 최종 점검하는 실험로이며, 핵융합 상용화 시대로 가는 마지막 징검다리인 것이다.

**온도 안정화 장치로서의 역할 위해 크롬도금**

고려제강이 핵융합로 부품 연구 개발을 시작한 것은 1996년부터이다. 기초과학기술연구원의 핵융합 사업단으로부터 KSTAR의 주

요 부품 중 하나인 초전도 선재에 크롬도금을 해달라는 요청을 받은 것이다. 그 때만 해도 초전도 선재는 유럽과 미국과 일본만이 연구하고 생산하던 첨단 제품이어서 핵융합 사업단이 미국과 일본에서 수입해온 Nb<sub>3</sub>Sn계 초전도 선재의 외관을 크롬으로 도금을 해달라는 것이었다. 고려제강은 자동차용 엔진밸브 스프링, 레이저 타이어용 스틸코드, 비드와이어, 현수교 및 사장교용 케이블, 전선용 보강재, 반도체 웨이퍼 절단용 강선, 각종의 와이어로프를 생산하는 선재제조 전문회사로서 아연, 알루미늄, 동과 동합금 등의 선재도금을 오래전부터 전문적으로 해오고 있었다.

크롬도금을 하는 목적은 첫째, 크롬은 금속 중에서 전기전도도가 낮고 저항성이 높은 금속으로서 초전도 선재 소선 간의 저항을 높여 자장 변화시 발생하는 기전력에 의한 AC손실을 줄이고 전기는 잘 통하지 않으나 열전도는 나쁘지 않게 하여 온도 안정화 장치로서의 역할을 하도록 하는 것이다. 그리고 둘째, 비상시 전류 이동이 일어날 수 있도록 하기 위함이고, 셋째, 초전도 도체 열처리 과



정에서 소착을 방지하기 위해서이다.

고려제강은 1997년부터 연구소의 실험실에서 간이 침지식 크롬 도금 설비를 구성하여 도금액의 종류, 도금온도, 도금시간, 전류와 전압의 조건 및 첨가제의 영향에 대한 실험 결과를 얻을 수 있었다. 이를 토대로 1년 6개월 후에 연속도금이 가능한 파일럿 라인을 설비하였다. 그러나 침지식 도금라인과 연속식 도금라인의 생산 조건이 달라 수많은 시행착오를 거친 후 1999년부터 납품이 시작되었다. 그리고 2006년까지 KSTAR 프로젝트에 약 60톤의 크롬도금 선재를 납품하였다. 당시 크롬도금의 물성은 단연 세계 최고의 품질로 각광을 받았고, 우리 과학자들의 입소문을 타고 세계로 퍼져나갔다.

### ITER 현물 할당에 따라 초전도 선재 개발 착수

크롬도금의 품질로 호평을 받고 있던 2002년에 고려제강은 핵융합 사업단으로부터 초전도 선재 자체를 개발해 달라는 요청을 받고 핵융합 사업단의 초전도부문 과학자들의 지도 아래 2003년 연구소 내에 초전도 사업부를 신설하여 본격적인 초전도 선재 연구개발을 시작하였다.

초전도체는 매우 낮은 온도에서 전기저항이 0에 가까워지는 초전도 현상이 나타나는 도체이며, 제1종 초전도 물질과 제2종 초전도 물질이 있다. 제1종 초전도 물질은 순수한 금속들이 대부분 해당되는데 외부자기장(H)이 임계자기장(Hc)보다 작을 때 초전도성이 나타나지만 Hc가 너무 낮아 초전도 특성을 유지하기가 어렵다. 제2종 초전도 물질은 Nb<sub>3</sub>Sn, Nb<sub>3</sub>Al, NbTi, MgB<sub>2</sub> 등의 저온 초전도체와 BSCCO, YBCO 등의 고온초전도체가 있다. 전자는 액체헬륨온도(4~20K)영역에서 초전도 현상이 일어나는 물질로 금속계 초전도 물질인 NbTi합금과 화합물계 초전도 물질인 Nb<sub>3</sub>Sn이 현재 실용되고 있다. 주로 핵융합로용 토카막장치, 의료용 MRI, 입자가속기, 분석용 NMR 등에 이용되고 있고 자기부상열차, 초전도 전자추진선, 자기분리기, 초전도 베어링 등을 실용화 하기위하여 개발 중이다. 후자는 액체질소온도(77K) 부근에서 초전도 현상이 일어나는 물질로 전력케이블, 모터, 발전기, 변압기, SMES, 한류기 등에 응용하기 위하여 우리 나라를 포함한 세계 각국에서 연구 개발하고 있고, 상용화를 위한 상당한 진척이 있는 것으로 알려지고 있다.

고려제강이 요청받은 초전도 선재는 Nb<sub>3</sub>Sn계로서 핵융합로의 토로이달 코일용 초전도 선재이며, 전류를 흐르게 하여 1억~3억도

플라즈마의 위치를 제어하는 역할을 한다. ITER 프로젝트의 경우 초전도 선재는 플라즈마를 가두는 자기력선 바구니 역할을 하는 폴로이달 코일 NbTi계 240톤과 플라즈마를 발생시키는 센트럴 솔레노이드 코일 Nb<sub>3</sub>Sn계 153톤, 그리고 토로이달 코일 Nb<sub>3</sub>Sn계 460톤 등 총 854톤을 사용하도록 설계되어 있고 참가국들이 현물로 공급하도록 되어있다.

단위 : %

국가명	유럽	한국	일본	미국	중국	러시아	계
솔레노이드 코일 Nb <sub>3</sub> Sn		100					100
토로이달 코일 Nb <sub>3</sub> Sn	20	20	25	8	7	20	100
플로이달 코일 NbTi	13				69	18	100

처음에는 1억~3억도의 플라즈마를 자력선으로 제어하는 어마어마한 과학의 최첨단 제품을 개발할 수 있을까 하는 의문도 제기되었다. 그러나 지구의 온난화를 방지시키고 유해한 방사성 물질의 오염걱정도 없는 친환경에너지이자 무한한 바닷물 속의 중수소를 연료로 사용해 지구상에서 가장 많은 부존자원을 가진 청정에너지인 핵융합 에너지가 개발된다면 석유 한 방울 나지 않고 삼한사온의 기후에 국토가 좁아 태양열, 풍력, 파도 등의 대체에너지 사업이 어려운 우리 나라에서 그 무엇보다 좋은 에너지원이 될 수 있을 것 이란 비전이 있었다. 또한 자손 대대로 아름다운 금수강산을 훼손하지 않고 물려줄 수 있으니 이 프로젝트에 참여하는 것은 대단한 명분이 있을 뿐만 아니라 미래에 희망이 있는 사업이 될 것이라는 기대가 컸다.

### 빈약한 국내 인프라·기술정보 등 극복하고 개발 성공

Nb<sub>3</sub>Sn의 초전도 물질이 형성되는 조건은 Nb와 Sn이 반응하여 결합하는 범위가 Nb<sub>3</sub>Sn으로 상당히 협소하고 그 확산된 배합비율이 달라지면 우수한 초전도 특성을 얻는데 어려움이 있어 선재 설계가 가장 중요하다. 초전도 선재의 제조 공정은 80여개의 공정으로 이루어져 있는 매우 복잡한 공정으로서 국내에서는 공정별 제조설비의 인프라가 형성되어 있지 않았고 핵심기술의 정확한 정보의 입수도 어려웠다. 많은 공정의 기술개발도 어려울 뿐만 아니라 모든 설비를 전부 구비하기도 시간적, 공간적, 투자 효과적 측면에서 볼 때 가치가 없다. 그래서 고려제강은 요소기술 중 핵심기술과 많은 공수가 중복되는 설비는 자체에서 설계·제작하고 단위 투자규모가 크고 1회 공수만 사용되는 설비, 예를 들면 건드릴, 심가공, 단

조, HIP, 전자빔용접, 압출 등은 기간산업체 중에서 필요한 규격에 적합한 설비를 찾아 외주형태로 개발하기로 하였다.

그러나 국내 인프라와 기술정보가 없어 자문을 구할 곳도 없었고 오직 반복 실험하여 결과를 토의하고 새로운 개선 방향을 도출하면서 재현성을 거쳐 최적의 조건을 찾아야 했다. 샘플 100kg을 만들어 성능시험 한 번 하는데 들어가는 비용이 무려 1억 원이 넘었으므로 실패했을 때마다 느끼는 심리적 부담은 시간이 흐를수록 쌓여갔고 약 100회의 시험 후에야 초전도 선재가 어떤 것인지를 알 수 있었다.

원자재에 대한 어려움도 많았다. 세계적으로 볼 때 후발업체이고, 거래량이 샘플 정도의 적은양이라 원자재 업체로서는 고려제강이 주요한 고객이 아니었다. 그래서 결정한 사양대로 요구를 하면 까다롭다며 사양기준을 넓혀주지 않으면 판매가 안 된다고까지 했다. 소재가 수입검사에 불합격하여 반송조치하면 그 다음부터는 그만큼 가격을 올리기도 했다.

이러한 어려움 속에서 마침내는 그 누구도 생산해내지 못한 새로운 Nb<sub>3</sub>Sn계 초전도 선재를 개발한 것이다. Nb<sub>3</sub>Sn계 초전도 선재 개발로 2006년 10월 한국저온초전도공학회로부터 기술상을 획득하고, 2007년 5월에는 NEP(신제품 인증), 2007년 7월에는 IR52 장영실상을 수상하였으며 4건의 국내특허와 1건의 국제특허를 출원하였다.


고려제강이 개발한 Nb<sub>3</sub>Sn 초전도 선재의 시중 가격은 현재 고려제강에서 생산하고 있는 강선제품 가격의 약 500배이다. 핵융합 프로젝트를 제외하고는 아직까지 그 수요가 많지 않지만 지금부터 그 수요를 찾고 있다. 그리고 초전도 선재 중 현재까지 MRI용 등 가장 수요가 많은 NbTi도 개발하고 있다. 그리고 이들을 적용하는 상품도 개발할 계획이다.

### 핵융합 파생기술, 다른 산업에도 파급 효과 커

초전도 분야는 핵융합 파생기술 중의 한 가지이다. 핵융합 발전소는 1억℃ 이상의 초고온 플라즈마를 4K(-269℃)에 달하는 극저온 냉매를 사용하는 초전도 자석에서 나오는 수 테슬라급의 고자기장에 의하여 초고진공 상태에서 유지, 핵융합 반응에서 나오는 중성자의 운동 에너지를 열에너지로 변화, 발생하는 열로 증기 발전기를 돌려 전기를 생산한다. 핵융합 반응이 일어나는 핵융합로는 1억℃ 이상의 태양과 같은 열원을 4K의 극저온 상태로 봉쇄한 극한 기술이다. 이제 KSTAR의 완공으로 우리 나라도 이 극한기술을 어

느 정도 보유하게 되었다.

초전도 자석 설계 및 제작기술, 극저온 냉동기 설계·제작 및 설치기술, 고자기장 하에서의 거대 초고온 진공용기의 설계·제작 및 설치기술, 초정밀 기계 가공기술, 대용량 정밀 전원 공급 시스템 설계·제작 및 설치기술, 초고온 단열 소재 설계·제작 및 설치기술, 중성자 및 방사능 환경 하에서의 신호 전달 및 데이터 저장기술, 대용량 초고속 데이터 전송 및 저장기술, 초고속 실시간 제어 운전기술, 거대 구조물의 초정밀 조립 및 설치기술, 전자빔과 레이저 빔을 사용한 초정밀 용접 가공기술, 극저온 고자기장 환경에서의 거대 구조물 설계 및 제작기술, 초고온 플라즈마 진단기술, 대용량 초고주파(RF, MW) 가열기술, 고전압 이온 가속장치 설계·제작 및 설치 기술, 삼중수소 생성·저장 및 복원기술, 중성자 차폐기술, 극저온 고자기장 초고압 하에서의 각종 밸브, 센서, 배관 설계, 가공 및 설치기술 등의 극한 기술들은 핵융합로의 건설관련 원천기술들로서 기술 선진국들의 몇몇 기업만이 세계시장을 독점하고 있는 첨단 산업분야이다. 이 분야에서 파생되는 첨단 극한 기술들이 국내의 반도체, 기계가공, 의료가제작, 방송 및 통신기기, 전력 송출, 에너지 산업들에 파급되어 또 다른 파생기술을 생성하는 이른바 첨단과학산업 클러스터가 우리 나라에도 조성되어야 할 것이다.

흔히 핵융합에너지를 꿈의 에너지라고 하지만 핵융합에너지는 인류의 생존을 위해 개발하지 않으면 안 될 절대절명의 에너지다. 그러므로 ITER 프로젝트는 반드시 성공하여야 한다. 여기에 우리 자손들의 운명이 걸려 있다. KSTAR와 ITER 프로젝트가 성공적으로 완료되어 핵융합 발전소가 신규 전력수요를 대체하게 될 때 매년 100조 원(관세청이 발표한 2008년 상반기 에너지 수입액은 70조 원)을 상회하는 에너지 수입액을 절감할 수 있어 우리 나라는 세계 굴지의 경제부국이 될 수 있다. 그리고 핵융합 발전소의 건설 및 수출로 매년 수십조 원의 경제적 효과가 있고, 파생기술의 스핀오프로 첨단산업의 경제적 효과 역시 비슷하게 창출될 것이다. 무엇보다도 영원불멸의 에너지로 금수강산을 훼손 없이 자손대대로 넘겨줄 수 있을 뿐만 아니라 나아가 인류의 행복에 공헌할 수 있을 것이다. 



글쓴이는 한양대학교 금속공학과를 졸업했으며, 고려제강 기획기술본부장, 흥덕 ENG(주) 대표이사, 사단법인 한국핵융합협회 이사, 케이 에이 티(주) 대표이사 등을 지냈다.