

⑨ 미래 에너지로서의 경제 · 사회적 가치

핵융합에너지 상용화되면 인류 삶의 패턴 바뀐다

글 | 신재인 _ 한국핵융합협회 회장 jaeishin@chollian.net

현재 에너지는 주로 거대 에너지공급회사가 석유, 석탄과 같은 천연의 1차 에너지를 가공해서 공급망을 통해 이를 필요로 하는 소비자들에게 분배되는 형태를 취하고 있다. 전기가 대표적인 예로 발전시설을 운영하는 전력회사가 전기를 독점 생산해서 전력망을 통해 소비자들에게 공급하고 있다. 열에너지도 지역난방회사와 같은 중앙공급시설을 가진 큰 회사가 소비자들에게 역시 배관망을 통해 분배하고 있다. 그래서 도시 지하에는 거미줄처럼 촘촘히 설치되어 있는 이런 에너지망으로 지상과 같은 복잡한 세계를 구축하고 있다. 이렇게 중앙 집중식 에너지 공급은 정치·사회적으로 에너지공급을 독점하고 있는 정부 또는 특정집단에 권력이 집중되는 현상과 거대 다국적 기업을 탄생시켜 일부 계층에게 부와 명예의 사회적 특권을 부여하는 역할을 하고 있다.

미래 사회의 창조적 파괴 · 신가치 창조

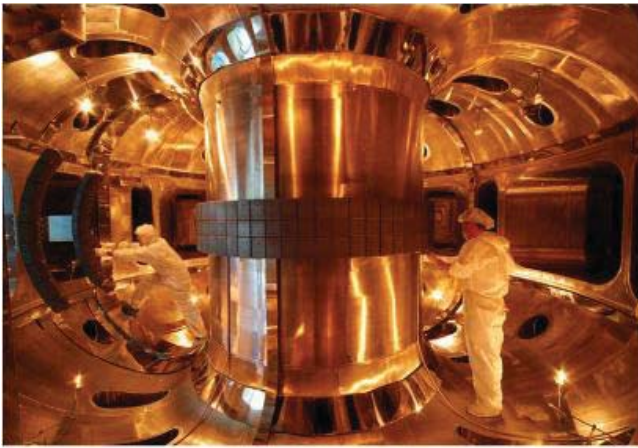
미래 에너지시장은 환경문제와 국제적 그린전쟁 결과로 신재생 에너지 활용이 확대될 것이고 수소경제시대를 맞아 연료전지나 수소연소를 통해 소비자에게 직접 공급하는 소규모 에너지 생산시설이 늘어날 것으로 전망되고 있다. 이런 에너지 시설들은 안전하고 깨끗한 환경특성 때문에 소비지역 주변에 건설되고 에너지 공급망은 매우 간소화될 경향을 보일 것으로 예측된다. 따라서 독점, 집중되어 있는 현재 에너지 공급체계·산업체계는 독립적으로 분산된 소규모 공급체계로 창조적 진화를 하게 될 것으로 보인다. 이 경우에는 사회문화적 특성도 크게 변하게 된다. 가족중심의 사회 가치

체계가 더 강조될 것이고, 같은 특성을 가진 그룹들이 지역·혈연·학연관계를 떠나 더욱 강화될 것이다. 즉 현재와 같은 에너지 공급체계의 분화는 새로운 사회체제와 삶의 가치를 유도하게 된다.

핵융합에너지는 이와 같은 미래 에너지체계변화에 따른 사회구조 및 문화적 틀의 창조적 파괴와 개혁 그 중심에 있다. 그 이유는 핵융합 에너지야말로 1차 에너지인 가연성 연료를 포함한 모든 형태의 에너지를 공급할 수 있기 때문이다. 핵융합에너지는 수소를 발생시켜 연료전지를 가동시킬 수 있고, 자동차 엔진이나 보일러 등의 연소연료로 사용할 수 있으며 발전을 통한 전력을 직접 공급할 수도 있다. 부대기술인 플라즈마기술 역시 환경오염 물질의 무공해 소각처리, 독성 방사성 폐기물의 소멸처리 등에 사용할 수 있다. 따라서 핵융합에너지기술은 에너지의 생산, 공급, 사용, 처분의 전 과정을 환경 친화적으로 처리할 수 있다. 이 때문에 핵융합에너지의 상용화는 새로운 사회적 가치를 창조하고 인류 삶의 패턴을 변화시키며 국제 간의 힘의 균형도 바꿀 수 있다.

핵융합에너지의 직접적인 경제적 효과 전문학적

2007년에 유럽과 일본에서는 이미 핵융합발전소의 개념설계를 완료하였다. 그 결과를 보면 핵융합발전비용 중 건설비용은 기존 원전보다 약 50% 정도 더 소요될 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고 폐기물관리 등 환경비용과 연료비들을 고려하면 기존 원전의 발전단가보다 더 낮아 경제성이 확보될 것으로 예상되고 있다. 2030년 첫 핵융합발전소 건설 때까지 상업화가 가능할 것으로 기



KSTAR 장치의 중심로서 플라즈마 실험이 이뤄지는 대형 고진공 진공용기의 내부

대되는 저방사화 재료와 액체질소온도에서 작동하는 고온초전도 전자석을 적용할 경우 발전단가(COE)는 3¢/KWh로 예측되고 있어서 비슷한 시기의 다른 에너지원의 발전단가와 비교해도 충분히 경쟁할 수 있다고 보고 있다.

재래식 화석연료의 고갈현상이 극심하게 노출되는 2050년대의 세계 원자력발전의 수요는 약 500 GWe이 될 것으로 전망된다. 따라서 세계 핵융합발전시장 규모는, 지금의 1.5GWe 급의 원자력 발전소 평균 건설비용을 30억 달러로 산정하고, ITER의 현재 건설비용 약 50억 달러를 감안 할 때, 50년 후의 상업적으로 최적화된 1.5GWe의 핵융합발전소 건설비용은 약 40억 달러로 산정되기 때문에 극동 지역에서 원전을 대체하는 상업용 핵융합발전소의 수요를 중국, 일본, 한국, 극동 러시아를 합쳐 약 200기로 산정할 경우 최소 8천억 달러의 시장이 형성된다고 볼 수 있다. 만일 설계 및 엔지니어링, 운전 · 보수, 부품산업까지 고려한다면 극동지역의 시장 규모만 해도 3배 이상으로 확대될 것으로 추정된다.

따라서 한국이 미래 핵융합에너지시장에서 시장 점유율이 30% 일 경우 그 규모는 8천억 달러 이상으로 추정된다. 국내의 경우에는 핵융합발전소 건설에 따른 화석연료의 수입 및 물류비용 절감과 온실가스 배출량의 급격한 감소로 인한 환경 유지비용의 천문학적 감소가 또한 기대되어 간접비용의 절감효과도 부수적으로 기대할 수 있다.

미래 첨단산업 기반기술로 활용

핵융합에너지기술은 기술 간의 상호연관이 크고, 여러 기술들의

집적수준이 높은 기술이다. 즉, 다양한 공학 기술들이 그 안에 결합되어 있는 기술이기 때문에 전기전자, 기계, 반도체, 신소재, 의료, 국방, 환경, 항공, 우주 등 여러 산업분야에 미치는 파급효과가 지대하다. 그리고 원자력산업, 고온 초전도체 산업, 저방사화 재료산업, 초고속 계산 및 운전제어 정보산업 등과는 상호 발전을 촉진하는 보완적 관계에 있다. NuTRM(국가원자력기술지도) 최종 보고서에 따르면 핵융합로기술 응용분야(초고온재료, 초전도, 진공, 플라즈마, 수소)에서 2020년부터 연간 약 1조 원 이상의 투자효과가 창출될 것으로 예상하고 있다.

핵융합 기술개발 과정에서 수반되는 플라즈마, 가속기, 레이저 등의 파생 기술은 나노기술(NT), 바이오기술(BT), 환경기술(ET), 우주기술(ST) 등의 미래 첨단산업 기반기술로 바로 활용될 수도 있다. 또한, 열원으로서 지역난방, 해수담수화, 수소 생산 등의 분야에 직접 이용될 수 있고, 14MeV 중성자원은 핵변환, 원전연료 생산 등의 분야에도 이용될 수 있다.

현재 핵융합에너지기술과 연계된 산업 기술들은 유럽, 일본, 러시아, 미국 등 기술 선진국들의 몇몇 기업만이 세계 시장을 독점하고 있다. 이 분야에서 생산되는 첨단 극한기술 제품들을 국내 반도체, 기계가공, 의료기기, 방송 및 통신기기, 전력송출, 에너지와 관련된 산업들이 수입하고 있다. 핵융합에너지기술이 국내에서 독자적으로 자립되면 국내 중공업 기술의 첨단화와 국내 제조업 산업구조를 고부가가치 산업구조로 전환 시킬 것으로 기대되고 있다.

거대 세계 에너지시장 선점 기대

핵융합에너지기술은 첨단기술과 고진공, 초저온, 고자장, 극고온 등 극한기술로 구성되어 있어 핵융합에너지기술을 독자적으로 확보하고 있는 국가는 과학기술의 선진국으로 바로 이해될 수 있다. 과학기술 강국은 국가 외교적 측면 이외에도 국제간 교역, 이익을 위한 협상, 국가의 도덕적 우위성, 국민의 우월성을 평가하는데 주요소가 된다.

우리에게 주는 핵융합에너지기술의 직접적 가치는 세계 4위의 에너지 수입국인 우리 나라를 에너지 수출국으로 변화시킬 수 있고, 우리로서는 언제나 중동지역의 정치상황과 국제경제 흐름에 신경을 집중할 수밖에 없었던 에너지 불안정성과 에너지 안보문제에서 완전히 자유스러울 수 있다는 점이 될 것이다. 핵융합에너지 연료는 중수소와 삼중수소다. 일차적인 연료기체인 중수소는 해수 중에 포함되어 있어서 실질적으로 국내에 무한히 존재하며,

핵융합 관련 기술과 그 파생기술

분야	핵융합 기술	관련산업 기술	파급 기술
중성자공학 및 핵융합로공학	핵융합 Neutronics, 핵융합 실험로	중성자원, 블랭킷, 방사선 상해 해석, 핵 데이터	핵폐기물 소멸처리, 동위원소 생산, 핵연료생산 혼성로
고진공	핵융합로 진공용기, 초고진공 배기장치, 누설 탐지 기술	태형 진공용기, 초고진공 펌프, 자동진공누설검출	고에너지 가속기 및 일반 장치
초전도전자석	초전도 TF 전자석, 초전도 PF전자석, 대형 전자석 코일	대전류초전도코일, 초전도체재료, 대형코일정밀성형기술	초전도 에너지 저장 시스템, 자기부상열차개발
극저온	He 액화 냉동계, 초전도코일냉각장치, NBI가열장치 진공계	터보압축기, 터빈 팽창기, 극저온 감압펌프, 단열기술	초전도 에너지 저장 시스템, 자기부상열차개발
고에너지 빔	NBI 가열장치	대전류 이온원, 3차원 이온빔 인출 코드	위성궤도수정이온엔진, 이링장치
고주파에너지	고주파 가열장치	대전력 고주파 증폭기술, Klystron Gyrotron	방송통신용대전력 고주파 장치
전력전자	융합로 접지계, 전자석 코일전원, 플라이휠 발전기, 변압기	접지계 설계 기술, 직류 차단기, 전력용 반도체, 초대형 플라이휠 I	직류송전시스템
계측제어	플라즈마진단, 극저온 온도 계측, 불순물 제어, 운전 제어, 디지털 제어, 전계통제어시스템	분광분석 기술, 레이저탐침계측법, 극저온 온도계, 광섬유 및 통신, 고속연산처리장치	분광계측장치, 고출력 레이 반도체 식각
컴퓨터통신	데이터 처리장치, 초고속연산처리장치, 컴퓨터 소프트웨어, 데이터 통신 시스템	CAMAC 시스템, 초고속 데이터 기록계, 슈퍼컴퓨터 이용기술, 유체해석 시뮬레이션, 컴퓨터간 통신, 광통신 시스템	정보처리시스템, 슈퍼컴퓨터
재료/신소재	본체지지 비자성 구조재, 제1벽, 블랭킷 리미터, 디버터판, 초전도전자석, 거대 코일	비자성 구조용재, 저유도 방사화 재료, W-Cu 집합재, 내방사성 복합재, 극저온 고강도 구조체, 고온절연재	각종 공구, 장식품, MMD 발전전극
생산가공	핵융합로 접합, 대형 정밀 가공, 제1벽재료 및 검사	전자빔, 레이저 용접, 세라믹 코팅, X-선 CT 스캐링	대형정밀용접
시스템 공학	전원 시스템 해석, 전자장 해석	과도현상 해석 프로그램, 과전류해석, 3차원 자장해석	사용전력 과도현상 해석
보수 점검	In-Situ 코팅장치, 융합로내 보수점검 계통, 원격 측정장치, 분해수리이동시스템	진공용기내 매뉴플레이트, 중량물원격이동장치, 로봇 시스템, 인터페이스, 원격 절단장치	터빈 건물내 점검, 원격 보수점검
기 타	삼중수소안전계, 연료 전제장치, 펠릿입사장치	삼중수소 모터, Pd합금막, 고속연료 가속기술	

다른 연료기체인 삼중수소는 핵융합로의 블랭킷 내에서 리튬을 이용하여 생산하기 때문에 자체적으로 공급한다. 이때 소모되는 리튬은 현재 알려진 매장량만 가지고도 2만 년 이상 공급할 수 있다고 한다.

우리가 독보적으로 핵융합에너지기술을 확보한다면 거대 세계 에너지시장도 선점할 수 있어서 2050년대에는 8천억 달러 이상의 시장을 점유할 수도 있다. 또한 핵융합에너지 기술은 첨단, 극한기술일 뿐만 아니라 관련 기술간 집적효과도 높아 타 산업에 파급되

는 기술효과도 매우 크다고 평가되고 있다. 나노기술(NT), 바이오 기술(BT), 환경기술(ET), 우주기술(ST)에 접목되고, 발전 이외에도 가속기, 의료기기, 전력수송 및 저장, 위성제작 및 제어, 수송, 반도체, 신소재 등에 폭넓게 이용될 수 있다.

핵융합에너지는 아직 완전히 성숙된 기술은 아니다. 그러나 20년 후에는 인류 미래 꿈의 기술로 변화되어 사회, 문화, 경제, 국제 협력에서 미치는 가치와 영향은 무한대일 것으로 판단되고 있다. 바로 이러한 이유 때문에 선진 국가 모두가 핵융합에너지 상용화의



KSTAR 장치에서 과학자들이 일하는 모습

그 기술의 독자적 영역확보에 열중하고 있는 것이다.

그러나 아직도 우리 주변에는 핵융합에너지를 아주 단순한 하나의 불안정한 미래 에너지원으로만 생각하는 경향이 있다. 사실 핵융합에너지의 기술은 이미 기본적으로 확보된 상태에 있다. 지금은 환경에 미치는 영향을 최소화하고 경제성을 높이는 공학적 작업을 하고 있는 과정에 있다.

이런 상황에서 지난 7월 15일 공식적으로 우리 기술로 건설한 KSTAR가 첫 건설 운영단계에서 플라즈마 발생에 성공한 것은 세계

에서 처음으로 성취한 일여서 주목받기에 충분했고, 우리로서는 독자적인 핵융합기술을 확보할 수 있다는 증거를 보인 일이었다. 따라서 이번 플라즈마 발생 성공은 건국 60주년을 맞는 2008년 올 해 국가 과학기술자들이 국민에게 드리는 희망의 선물이 되었다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 원자력공학과 졸업 후 미국 MIT에서 박사학위를 받았다. 원자력 환경관리센터 소장, 한국원자력연구소 소장, 미국 하버드대 JFK 행정대학원 객원교수, 한국원자력학회 회장, 국가핵융합연구소 소장 등을 지냈다.