

미래 에너지의 총아, 레이저 핵융합 연구 동향

자연이 에너지를 만들어 내는 자연스러운 에너지 생성 반응과 달리 인위적으로 에너지를 만들어 내는 기술이 1960년대 이후 계속 연구되어 왔으며 21세기에 들어오면서 그 가능성이 높아지고 있다. 본고에서는 레이저를 이용하여 핵융합 반응을 일으키는 방법에 대해서 설명한다. 레이저 핵융합 반응은 에너지 및 전기 생산의 목적 이외에도 핵연료나 고준위 폐기물의 처리에 중요한 대안을 마련해 줄 수 있을 것으로 전망되고 있다.

〈편집자 주〉



이용주

서울대학교에서 원자물리를 전공했고 1990년 미국 미네소타대학교 물리학과 박사학위를 취득했다. 1991년 12월 한국원자력연구원에 입원하여 양자광학연구부에서 재직중이며 레이저 핵융합, 고에너지 밀도 과학, 원자분광학 분야를 연구중이다.

한국원자력연구원 양자광학연구부

Tel: 042-868-2935,

010-5408-2935

E-mail: yjrhee@kaeri.re.kr

20세기 초 아인슈타인이 상대성이론을 발표한 이후 에너지와 물질의 동일성을 이용한 연구의 결과로서 현재의 원자력 발전소가 건설되었다. 즉, 물리반응에서 물질의 질량이 일부 없어지면 그에 해당하는 에너지가 발생된다는 이론이다. 무게가 무거운 불안정한 우라늄이 가벼운 원소들로 붕괴하면서 질량의 일부가 없어지는데 이 없어진 질량에 해당하는 에너지가 $E=mc^2$ 의 공식에 따라 생산되며 이것을 전기로 바꾸는 기술이 바로 원자력 발전 기술인 것이다. 한편, 이러한 질량 결손과 에너지 생산의 원리는 자연의 섭리로서 태양이나 우주의 별에서 방출되는 에너지도 이러한 원리에 의한 것이다. 즉, 원자력 발전소의 반응 방식과는 반대로 수소처럼 가벼운 물질이 서로 융합하여 무거운 물질로 변화할 때 일부의 질량이 없어지는데 이 없어진 질량이 에너지로 바뀌게 된다. 우주에서는 수소가 융합되어 헬륨이 되고 헬륨이 융합되어 탄소가 되는 등, 가벼운 원소가 융합하여 점점 무거운 원소로 변화하는 반응이 계속 일어나게 된다. 이러한 반응의 결과로서 없어지는 질량에 해당하는 에너지가 빛이나 전파로 방출되어 우리에게 도달하게 된다. 이렇게 가벼운 원소가 융합하여 무거운 원소가 되면서 이 과정에서 에너지가 발생하는 원리는 자연이 에너지를 만들어 내는 “자연”스러운 현상이다.

핵융합을 위한 다양한 점화 방법에 대한 연구 활발

그러나 이렇게 자연스러운 에너지 생성 반응은 높은 온도와 높은 밀도에서만 일어날 수 있는 것으로서 지구와 같이 식어진 별에서는 일어날 수 없는 현상이다. 한편, 이러한 반응을 지구상에서 인위적으로 일으켜 에너지를 만들어 내

는 기술이 1960년대 이후 계속 연구되어 왔으며, 21세기에 들어오면서 그 가능성이 높아지고 있다.

인위적 반응을 비교적 쉽게 일으키기 위해서 수소의 동위원소를 사용하게 되는데, 수소원자에 중성자가 하나 들어있는 중수소와 중성자가 두 개 들어있는 삼중수소를 혼합하여 연료를 만들어 사용하게 되면 핵반응이 비교적 쉽게 일어날 수 있으며 온도를 약 1억도 정도로 높여주면 핵융합 반응이 일어나게 된다. 이러한 핵반응을 일으키기 위해서 현재 여러 가지 방법이 연구되고 있는데 여기서는 레이저를 이용하여 핵융합 반응을 일으키는 방법에 대해서 설명한다.

중수소와 삼중수소로 이루어진 연료를 플라스틱 구 안에 넣고 그 주위를 여러 방향에서 레이저로 순식간에 가열하면 겉 표면의 플라스틱이 외부로 팽창하면서 내부에 있는 핵연료를 압축하게 되고, 이 과정에서 내부의 핵연료가 압축되면서 온도가 상승하고 밀도가 높아져서 핵융합 반응이 일어나는 점화 조건에 이르게 된다. 한편, 이렇게 압축에 의해서 점화를 유도하는 조건을 훨씬 완화하기 위해서 새로운 방법들이 제안되었는데, ① 핵연료를 압축하는 도중에 점화용 레이저를 한 번 더 적용하여 마치 자동차의 가솔린 엔진에서 점화플러그를 사용하는 것과 같은 원리로 핵반응 점화를 훨씬 쉽게 일어나게 하는 방법(고속점화 방법)과 ② 핵연료를 압축하는 도중 갑자기 충격파를 생성하여 연료내부로 전파하게 하여 점화를 일으키는 방법(충격점화 방법) 등이 제안되었다. 현재 세계의 과학자들은 이러한 점화 방법에 대해

서 여러 가지 새로운 아이디어를 제안하고 있으며 실현 가능성을 실험으로 검증하고 있다.

핵연료를 압축하는 방법으로는 ① 레이저 빔을 핵연료에 직접 조사하는 직접조사 방법과 ② 핵연료를 실린더 모양의 구조체에 넣고 레이저를 구조체 안쪽 벽에 조사하여 X-선을 발생시키고 이 X-선이 핵연료를 압축하도록 하는 간접조사 방식이 있다. 후자의 경우는 핵무기의 원리와 흡사하여 주로 국방용 시설에서 연구되는 방식이며, 일반 산업용 에너지 생산을 위해서는 직접조사 방식이 연구되고 있다. 그러나 미국에서는 간접조사 방식을 산업용 에너지 생산 데모시설에 채택한 것으로 알려지고 있다.

선진국 중심으로 대형 레이저 시설 활용한 실험 진행

현재 압축과 점화반응의 실험적 검증을 위하여 대형 레이저 시설을 활용하는 실험이 국제적으로 진행되고 있다. 실제로 우리의 생활에서 전기를 생산할 수 있는 시설을 개발하기 위한 데모시설의 건조가 계획되고 있다. 특히 미국은 당초 국방용으로 레이저 시설 개발을 시작하여 2009년에 시설 건조를 완료하였고 2010년에 레이저 성능 검증을 성공적으로 실시하였으며, 2012년에는 에너지 생산을 위한 점화반응을 최종적으로 실증할 예정이다. 그리고 이 기술을 연장하여 전기 생산을 위한 데모 시설을 건설할 계획이며 2025년경에 건설을 완료하고자 하고 있다. (그림 1)

유럽에서는 프랑스를 중심으로 미국에 버금가는 국방용 레이저 시설을 건설하고 있으며, 2015년경에 시설건조

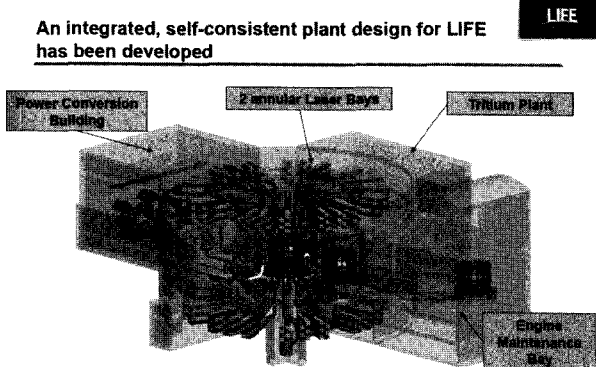


그림 1. 미국의 로렌스 리버모어 국립연구소에서 계획 중인 레이저 핵융합 데모 시설; (M. Dunne, 미국원자력학회 TOFE 발표자료, 2010)

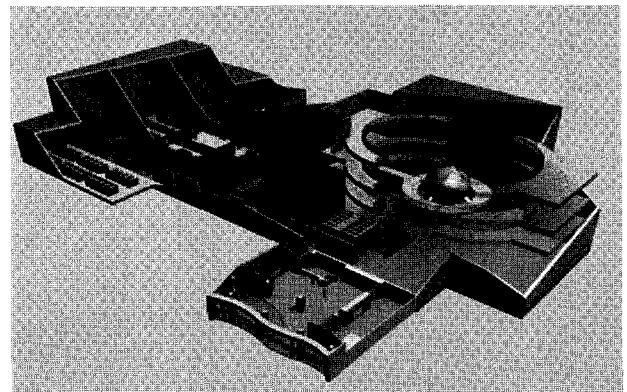


그림 2. 유럽에서 국제공동으로 추진되고 있는 레이저 핵융합 시설; 한국도 이 사업에 적극 참여하고 있음. (<http://www.hiper-laser.org/>)

를 완료하려고 계획하고 있다. 그러나 유럽에서 에너지 생산을 위한 시설건조는 영국을 중심으로 유럽의 10개국이 참여하는 공동연구 프로젝트로서 진행되고 있으며, 2020년대 중반에 시설 건조를 완료할 예정이다 (그림 2). 이 계획은 현재 세계적으로 진행되고 있는 레이저 핵융합 공동연구 사업의 대표적인 프로젝트로서 한국도 이 사업에 2006년도부터 참여하였으며, 2008년부터는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지원을 받아 본격적으로 참여하였다. 아시아 지역에서는 일본과 중국에 대형 레이저 시설이 있으며, 한국은 현재 일본에서 유사 레이저를 도입하여 기초 실험을 진행하고 있다. 이 분야의 연구에 있어서 아시아 국가 중에서는 일본이 가장 앞서 있으며, 국제공동연구를 통하여 2030년대에 건설될 수 있는 핵융합 시설을 계획하고 있다 (그림 3). 유럽에서 연구하는 핵융합반응은 직접 조사 방식으로서 미국의 간접 조사 방식과는 차이가 있으며, 점화방식에서는 고속점화방식과 충격점화방식을 모두 연구하고 있다. 향후 10년 내지 20년을 내다보는 기술로서 최적의 핵융합 방식을 결정하기 위하여 우선 많은 방식에 관한 연구가 이루어지고 있다. 이를 위한 연구는 주로 영국의 VULCAN 레이저 시설, 프랑스의 LULI 레이저 시설, 체코공화국의 PALS 레이저 시설 등을 활용하여 이루어지고 있으며, 한국도 이 국제공동 연구에 적극 참여하고 있다.

핵융합 · 핵분열 동시 연구개발 통한 상호보완적 활용 기대 한편, 레이저 핵융합 반응은 에너지 및 전기 생산의 목

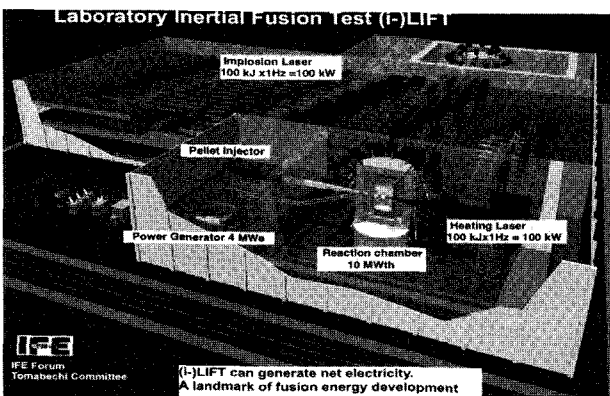


그림 3. 아시아 지역의 공동 연구를 통하여 건설될 수 있는 레이저 핵융합 발전시설의 모형 (H. Azechi, KAERI 발표자료, 2011)

적이외에도 핵반응에서 생산되는 고속중성자를 이용하는 응용분야를 가지고 있으며, 가속기를 이용하는 방식이나 핵분열 원자로를 이용하는 방식과는 매우 차별화된 중성자를 제공하므로써 특이한 활용분야를 제시한다. 이 중에서 괄목할 만한 분야는 2008년 미국 로렌스 리버모어 국립연구소의 모세 박사가 제안한 내용으로서 핵융합에서 발생하는 고속중성자를 이용하여 고준위 핵폐기물을 처리하고 여기서 생산되는 에너지를 활용하는 개념이다. 현재 특별한 처리대책이나 활용방안 없이 원자력발전소 부지 내에 계속 쌓여가고 있는 사용 후 핵연료나 고준위 폐기물의 처리에 중요한 대안을 마련해 줄 수 있을 것으로 전망되고 있다. (그림 4).

핵분열 반응이나 핵융합 반응은 모두가 원자력 분야의 중요 반응으로서 원자핵이 붕괴하거나 융합하면서 없어진 질량에 해당하는 에너지를 생산하는 반응이다. 이 두 반응은 서로 상호보완적으로 활용될 수 있으며, 향후 인류 삶의 질 향상과 지구환경 보호를 위하여 동시에 연구 개발되어야 한다. 한국원자력연구원은 대한민국의 에너지 확보를 위하여 이러한 원자력 연구 분야에 오늘날의 힘을 기울이고 있다.

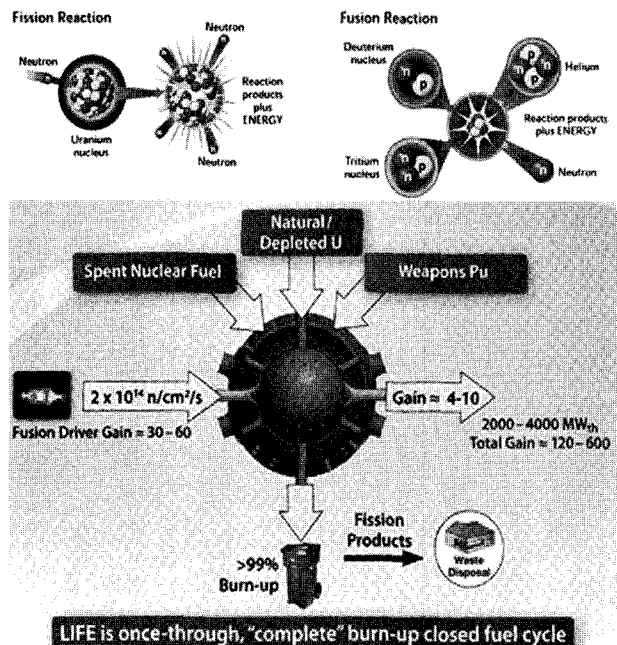


그림 4. 핵융합 중성자를 활용하여 다양한 핵연료를 처리할 수 있는 핵반응 개념도 (E. Moses, FEC 발표자료, 2008)