

# 미래를 여는 레이저 핵융합 에너지 기술

## 첨단 레이저 응용기술 동향

레이저 핵융합 반응을 이용하여 중성자를 발생시키는 기술은 레이저 핵융합 발전로의 개발을 위한 중간단계 기술로 알려지고 있으며 선진국들은 이미 거쳐 간 단계라고 할 수 있다. 그러나 국내에서는 아직 레이저 핵융합에 대한 본격적인 연구가 이루어지지 않고 있던 상황에서 최근 한국원자력연구소의 고속 중성자 발생 실험 연구성과는 시사하다 바가 매우 크다고 할 수 있다.

편집자 주



이용주 박사

한국원자력연구소 레이저핵융합연구팀

최근 발효된 교토의정서를 비롯하여 범세계적으로 지구온난화 가스의 배출을 줄이려는 환경보호 노력이 활발하게 일어나고 있다. 또한 13억 인구를 가진 중국이 급속히 산업화 하면서 부수적으로 따라오는 환경 및 에너지 문제는 이제는 중국만의 문제가 아닌 것으로 인식되고 있다. 이러한 상황에서 폐기물 없는 미래의 청정에너지 개발을 위하여 최근 연구되고 있는 분야가 바로 핵융합 연구이다. 마치 무한한 것처럼 에너지를 쏟아내고 있는 태양을 바라보며 인공적으로 이러한 에너지 발생 장치를 지구상에 만들 수 있다면 에너지 문제는 자연스럽게 해결될 것이라는 생각은 누구나 하게 된다. 이러한 태양의 에너지가 핵융합에 의해 발생되는 에너지이다.

현재 핵분열에 의해 에너지를 발생시키는 원자력 발전의 원리보다 훨씬 안전하고 에너지 효율도 높으면서(그림 1 참조), 원료도 바닷물에서 추출하면 되므로 거의 무한하게 얻을 수 있는 핵융합의 연구는 지난 반세기 동안 세계 여러 나라에서 연구되어 왔다.

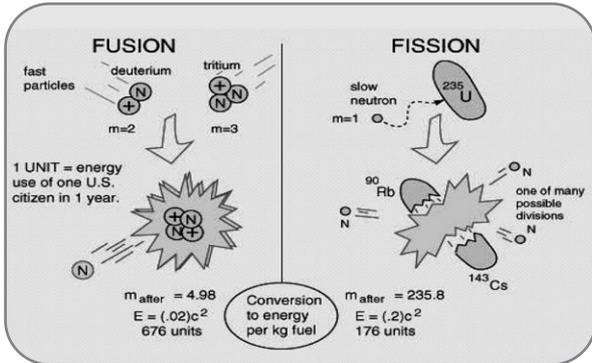


그림 1. 핵융합(Fusion)과 핵분열(Fission)의 원리 및 에너지 발생량 비교(<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu> 홈페이지에서 발췌).

**핵융합의 연구, 세계 여러 나라에서 활발히 연구 진행돼**

인공적으로 핵융합반응을 일으키는 방법은 크게 두 가지로 분류된다. 하나는 강력한 자기장에 의하여 핵융합 연료인 중수소나 삼중수소를 압축하여 핵융합을 유도하는 방법이고(MFE: Magnetic Fusion Energy), 다른 하나는 관성에 의해서 수 밀리미터 정도의 소형 핵융합 연료를 초고압으로 압축해 내부폭발을 유도하므로써 핵융합을 일으키는 방법(IFE: Inertial Fusion Energy)이다(그림 2 참조). 최근 우리나라가 참여하고 있는 국제열핵융합실험로(ITER: International Thermo-nuclear Experimental Reactor) 연구 사업은 MFE에 해당하는 것이다. MFE 보다는 늦게 시작되었지만 극초단 고강도 레이저의 급속한 발전에 힘입어 IFE의 여러 방법 중 현재 가장 유력한 방법으로 대두되고 있는 것이 레이저 핵융합 방법이다. 이는 수 나노초( $10^{-9}$  초)이하의 극초단 레이저 빔을 중수소, 삼중수소로 이루어진 타겟에 조사하여 극히 짧은 시간 안에 핵융합을 일으키는 방법으로서 전문가들은 이 방법에 의한 핵융합발전이 MFE 보다 더 일찍 실용화될 수 있을 것이라는 전망을 내놓기도 한다.

대부분의 세계적 원자력기술 선진국에서는 MFE와 IFE를 병행하여 연구하고 있는데, 레이저 핵융합 연구의 대표적인 연구기관 및 시설들로는 미국 로렌스 리버모어 국립연구소의 NIF(National Ignition Facility) 시설, 일본 오사카대학 부설 레이저공학연구소의 GEKKO XII(激光 12) 시설, 불란서 원자력연구소의 LMJ(Laser Mega Joule)

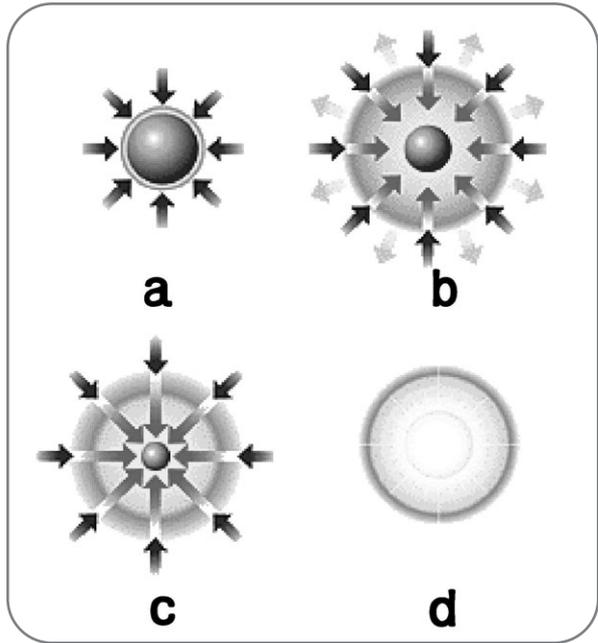


그림 2. 레이저핵융합 반응의 진행 과정; a. 레이저빔이 타겟 연료 표면을 급속히 가열 함. b. 표면의 물질이 팽창하면서 반작용으로 내부를 압축함. c. 레이저빔의 조사가 끝날 때 쪼 납(Pb)의 20배 정도의 밀도로 압축된 연료가 점화됨. d. 열핵반응이 압축된 연료에 급속히 퍼지면서 핵융합이 일어나며 이 과정에서 입력된 에너지 보다 더 많은 에너지가 방출됨.

시설, 영국 러더포드 애플턴 연구소의 VULCAN 시설, 중국 공정물리연구소의 신광 II, III(神光 2, 3) 시설 등이 있으며, 국가적인 차원에서 연구가 진행되고 있다. 관성핵융합에서는 타겟의 압축과정에서 매우 균일한 압축이 필요하였지만 최근 고속점화라는 새로운 방법이 개발되면서 이에 대한 제한 사항이 완화되고 있으며, 핵융합 반응을 일으키는데 필요한 레이저의 에너지도 당초예상보다 1/10 정도로 작은 에너지(약 100 kJ)로도 충분하게 되었다. 이러한 과정에서 핵융합이 일어나면 고에너지의 중성자가 발생하는데 이 에너지를 이용하는 것이 핵융합 발전의 기본 원리이다.

**소형 레이저 장치에 의한 레이저 핵융합 연구에 관심 고조**

한편, 이와는 다른 개념의 레이저 핵융합 방법이 최근에 보고되었는데, 소위 CPA(Chirped Pulse Amplification)

레이저산업 동향 및 전망

라는 기술을 이용한 극초단 고강도 레이저가 개발되기 시작하면서, 광학 테이블에 올려놓을 수 있는 정도의 소형 레이저 장치(1J 이하의 레이저 에너지)에서도 핵융합 반응을 일으킬 수 있다는 것이 알려지게 되었다.

수십 펨토초( $10^{-15}$ 초=백만분의 일 나노초)이하의 극초단 레이저 빔을 중수소나 삼중수소가 포함되어 있는 타겟에 조사하면 순간적으로 타겟을 가열하여 전자가 원자로부터 튀어나가고 이온만 남게 되며, 이 이온들이 전기적인 힘에 의하여 급속히 팽창하면서 온도가 1억도 이상으로 상승하면서 핵융합 반응이 일어난다.

1998년 독일의 막스플랑크연구소에서는 0.2 J의 에너지를 갖는 극초단 고강도 소형 레이저를 중수소 폴리머 타겟에 조사하여 140개의 중성자를 얻는데 성공하였으며(후에는 9,300개 정도의 중성자를 얻었음), 1999년 미국의 로렌스 리버모어 국립연구소에서는 중수소 클러스터 타겟에서 0.1J의 에너지를 갖는 극초단 고강도 소형레이저를 이용하여 1만개 정도의 핵융합 중성자를 발생시키는데 성공하였다. 이러한 실험은 소형 레이저 장치에 의해서도 레이저 핵융합을 일으킬 수 있는 가능성을 보여 주었으며 핵융합반응과 관련된 새로운 연구분야를 개척하게 되었다는 평가를 받고 있다.

이 반응에서 생성되는 핵융합 중성자는 펄스로 발생되는데 그 지속시간이 피코초( $10^{-12}$ 초=천분의 일 나노초) 정도로 극히 짧으면서도 순간적으로 많은 중성자가 방출되므로 향후 산업, 의학, 생명공학 등 활용분야가 매우 넓을 것으로 전망되고 있다. 이러한 소형 장치에 의한 중성자 생성률은 대형 레이저 시설에서 얻을 수 있는 생성률과 같은 정도로서(100,000 개/J) 향후 핵융합 발전로의 개발에 있어서 규모의 신축 가능성을 보여 주고 있다.

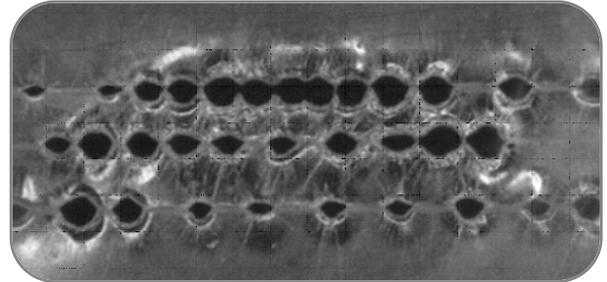


그림 3. 레이저 핵융합 실험중 고강도 레이저에 조사되어 구멍이 생긴 중수소 폴리스티렌 타겟(구멍의 크기는 약 0.02mm).

한국원자력연구소, 최근 레이저 핵융합에 의한 고속 중성자 발생 성공

한국원자력연구소에서는 레이저 핵융합의 원리를 실증하고 극초단 핵융합 방사선 기술의 발전을 위하여 과학기술부 국제화사업의 지원하에 관련되는 연구를 수행하고 있으며, 최근 레이저 핵융합에 의한 고속 중성자 발생에 성공하는 등 상당히 좋은 결과를 내고 있는 것으로 보고되고 있다(그림 3).

한편, 극초단 고강도 레이저의 국내개발을 위하여 광주과학기술원 부설 고등광기술연구소에서는 국내외 기업 및 연구소와 협력하고 있으며, 한국과학기술원에서는 핵융합용 레이저 시스템의 증폭기 기술을 연구하고 있는 것으로 알려져 있다.

레이저 핵융합 반응을 이용하여 중성자를 발생시키는 기술은 레이저 핵융합 발전로의 개발을 위한 중간단계 기술로 알려지고 있으며 선진국들은 이미 거쳐 간 단계라고 할 수 있다. 그러나 국내에서는 아직 레이저 핵융합에 대한 본격적인 연구가 이루어지지 않고 있던 상황에서 최근 한국원자력연구소의 고속 중성자 발생 실험 연구성과는 시사하는 바가 매우 크다고 할 수 있다.