

核融合에너지의 利用展望

黃 琪 雄
(서울大 工大 教授)

人類의 歷史는 불의 歷史라고 할 만큼 인간에게는 에너지가 중요하며, 에너지의 역사를 간단히 살펴보면, 初期에는 나무나 풀과 같은 自然燃料를 쓰다가, 18C에 들어서서 産業혁명이 가져온 工業의 급격한 발달과 함께 인간의 의식주 형태가 크게 바뀌면서 에너지의 소비량도 급격히 증가하게 되었고, 종래의 自然燃料로부터 석탄과 같은 化石燃料가 주된 에너지원이 되었다. 20C에 들어 석유가 이용이 되기 시작했고 이와 더불어 石油化學工業 및 自動車의 보급이 크게 늘어나면서 에너지의 소비가 급격히 증가해왔다.

全世界가 요구하는 에너지의 양은 앞으로 계속증가 하리라 기대되며 1975년도에 세계 각국이 소비한 에너지와 2025년에 예상되는 에너지 소비량이 표 1에 나타나있다. 1975년 현재 전세계의 에너지 소비량은 8.2×10^{12} watt 였으나 2025년에는 인구는 약 2 배인 80억이 되면서 에너지 소비는 3.3배가 증가하리라 기대된다. 한가지 흥미있는 사실은 北美, 유럽, 소련, 일본, 오스트랄리아에서 1975년에 소비한 에너지는 전세계가 소비한 량의 80%에 달했다는 사실이다. (이들 각나라의 인구는 전세계의 25%에 불과하다.)

표 1. 세계 각나라가 소비한 에너지

REGION	populations N_k (millions)		P_k (thermal kw/cap)		total power demands $N_k P_k$ ($TW = 10^{12} W$)		growthratio
	1975	2025	1975	2025	1975	2025	
N. America	237	315	11.5	15.0	2.72	4.74	1.7
W. Europe	305	447	5.6	5.5	1.70	2.47	1.5
E. Europe & USSR	359	480	5.3	13.6	1.90	6.54	3.4
Japan, Australia, N. Z.	128	320	4.3	6.3	0.55	2.02	3.7
Latin America	323	797	0.93	2.8	0.30	2.22	7.4
Africa	370	885	0.16	1.1	0.06	0.94	16
China & Indochina	1029	1714	0.61	2.0	0.63	3.43	5.4
South Asia	1170	2665	0.20	1.1	0.23	2.80	12
Mid-East	110	353	1.0	4.9	0.11	1.72	16
World average or total	4031	7976	2.0	3.4	8.20	26.9	3.3

*註: 本稿는 1986년 4월 22일 崇田大學校에서 開催된 1986년도 科學의 달 記念講演會에서 發表한 內容을 收錄한 것이다.

이들 에너지는 현재 석탄, 석유와 천연 가스가 총소비량의 3분의2를 공급하고 있으며 세계에너지의 소비 추이를 보면 그림1과 같다.

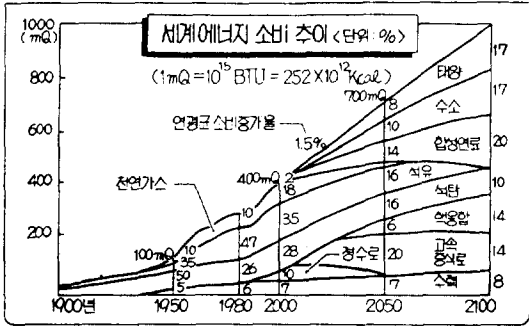


그림 1. 세계의 에너지 소비 추이

석탄과 석유와 같은 化石燃料은 현재 人類의 주된 에너지원이 되고 있으나 특히 이중 석유는 한정된 매장량과 産地와 消費地가 일치하지 않으므로 인해서 공급이 원활하지 못할 경우에는 전세계에 걸친 價格의 앙등이 뒤따르며 이것은 70년대의 두번에 걸친 유훈과동에서 경험한 바 있다. 그후 세계 각국은 석유에너지에의 의존도를 줄이면서 여러가지 대체에너지를 모색하기 시작했으며, 그중 人類의 궁극적인 에너지원이 될 수 있다고 생각되는 것으로는 原子核에너지가 있다. 이것은 20C에 들어서 核物理學의 발달이 核의 비밀을 알려주면서 이의 이용 가능성이 모색되기 시작했고, 초기에는 軍事目的으로 주로 개발이 되었으며 히로시마와 나가사키에 투하된 핵탄두에서 본 核에너지의 양은 엄청난 것이었다.

核에너지는 우라늄이나 플루토늄과 같은 무거운 元素가 가벼운 元素로 바뀌면서 내어놓는 核分裂에너지와, 重水素나 三重水素와 같은 가벼운 元素가 融合反應을 일으킬 때 내어놓는 核融合에너지의 두종류가 있다. 核分裂에너지가 제어되지 않고 급속히 방출되면 原子爆彈이라고 불리우는 형태가 되며, 서서히 제어된 방출형태로 나타날 때에는 原子力發電에서와 같이 일상생활에의 이용이 가능하다. 商業用 原子爐는 1960년대부터 보급이 되기 시작하여 全世界적으로

현재 370여기의 原子爐가 보급이 되어있으며, 150여기가 건설중에 있고 우리나라에도 9기의 原子爐가 가동 내지는 건설중에 있으며, 이들이 전체 발전량에서 점하는 비율은 주간에는 20%, 야간에는 30~40%에 이를만큼 중요한 위치를 점하고 있다.

原子力에너지가 보급되던 初期에는 人類의 제 3의 불이라고 불리우면서 人類의 에너지문제는 영구히 해결될 수 있는 것같이 보였으나 原子爐의 安全性, 환경에 미치는 영향, 燃料의 有限性等이 문제가 되기 시작하면서 原子力에너지 자체에 대해서 비판의 여론이 일기 시작했고, 특히 美國과 같은 나라에서는 TMI 사건이후 신규 건설이 完全 중단되었다. 반면에 불안서와 같은 나라에서는 原子力에너지에의 依存度를 계속 높여가고 있으며, 그동안 기술적인 어려움 때문에 商業化가 지연되고있던 高速增殖爐도 곧 利用하려는 나라도 있다.

核融合에너지가 制御되지않고 급속히 방출되면 水素爆彈이라고 불리우는 형태가 되며, 서서히 制御된 형태로 방출이 되면 太陽과 같이 막대한 에너지를 장기간에 걸쳐서 공급할 수 있으나, 地球上에서는 아직 制御된 核融合에너지는 利用이 不可能한 형편에 있고 이의 실현을 위해 美國, 日本 및 유럽 각국에서 많은 科學者가 노력하고 있다. 核融合에너지는 重水素나 三重水素의 核이 融合反應을 일으키면서 헬륨과 같은 무거운 核으로 바뀔때 방출되는 에너지로써 融合反應이 일어나기 위해서는 같은 부호의 電荷를 가진 核이 갖는 靜電反撥力을 뛰어넘어야만 되므로 매우 빠른 속도로 충돌해야되며 따라서 重水素나 三重水素를 超高温상태 (1억도)로 유지해야되며, 이런 초고온상태-플라즈마상태라고 부른다.-를 生成, 유지하는데 필요한 에너지보다 출력되는 에너지가 많기 위해서는 高密度 (10¹⁴ cm⁻³)의 플라즈마가 長時間 (1초이상) 유지되어야 한다. 이런 조건을 Lawson조건이라고 하며, 이조건을 만족하는 플라즈마를 만들어서 가두어두는데는 보통의 物質로 된 容器로는 不可能하고, 높은 磁場을 利用하는 方法이 있다. 磁場을 利用하는 방법에는 그림2에서와 같이

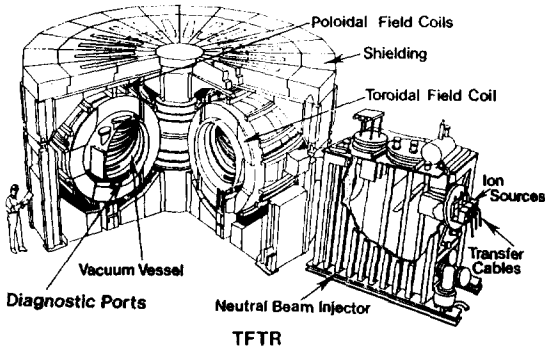


그림 2. Tokamak기기의 단면도

tokamak이라고 불리우는 것과 그림 3에서 보는 바와 같이 mirror라고 불리우는 장치가 대표적인 機器들이나 지금까지 tokamak에서 더좋은 결과가 얻어지고 있으며, 역시 tokamak에서 제일 먼저 Lawson조건을 만족하는 플라즈마가 生成될 수 있으리라 기대된다.

한편 核融合反應을 일으킬 수 있는 超高温, 高密度의 플라즈마를 생성하는데는 높은 出力을 갖는 laser를 이용할 수도 있다. 크기가 수mm 정도의 重水素나 三重水素가 채워져있는 目標物을 사방에서 laser로 때리면 目標物의 表面이 순간적으로 증발을 하면서 反作用에 의해 目標物의 중심을 향해 高温, 高密度의 플라즈마가 生成, 進行되면서 融合反應이 일어나게 된다. 이과정

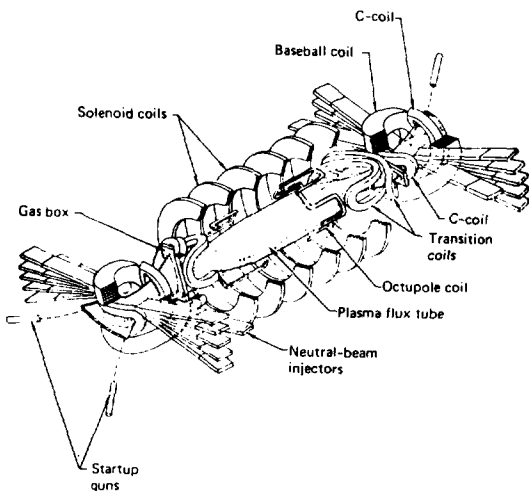


그림 3. tandem mirror의 단면도

을 그려보면 그림 4와 같은 순서로 진행이 된다.

核融合에너지를 다른 에너지와 비교했을 때의 長短點을 따져보면 우선 長點으로써는 첫째, 融合反應爐의 燃料이 되는 重水素는 水素의 同位原素로써 自然水素에 0.015%나 포함되어 있으므로 海水에 포함된 重水素를 核融合反應을 통해 에너지로 바꾼다면 現在 全世界의 에너지 消費를 10억년 정도 相當할 수 있는 에너지를 얻을 수 있으므로 燃料의 枯渴에 대한 염려가 없으며, 둘째, 融合反應에서는 分裂反應과는 달리 연쇄반응이 아니기 때문에 分裂爐에서와 같이 爐의 制御機能이 상실되었을 때 일어나는 爐의 파괴위험이 없으며, 셋째 分裂反應爐에서와 같은 방사능 폐기물의 문제가 없으며 따라서 이들이 生態界에 미치는 영향이나 殘熱處理 문제가 없고 넷째, 燃料의 武器로의 轉用이 불가능한 장점등이 있어서 人類의 궁극적인 에너지 원으로써 적합하다고 할 수 있겠으나 아직까지 地球上에서는 水素爆彈과 같이 制御되지 않은 형태로써의 에너지의 存在가 보여졌을 뿐이며, 融合反應을 서서히 일으켜 日常生活에 이용하고자하는 노력은 아직 결실을 맺지 못하고 있다. 이의 실현을 위해 美國, 日本, 유럽의 각국이 초대형 tokamak을 제작, 실행중에 있으며, 불원간 이들 기기에서 核融合에너지의 平和的 利用 가능성에 대한 궁극적인 해답이 얻어지리라 기대되고있으며, 뒤따라 改善이 이루어지면 商業用 核融合發電所가 등장하리라 기대된다. 이에 技術的인 제문제의 해결과 아울러 經濟性도 고려되어야 하며 현재 사용되고있는 석유, 석탄, 원자력과 같은 기존의 에너지원과 비교되어서 결정되어지는 사항이나, 석유에너지의 가격을 고려해보면 단기간의 가격 상승과 하락이 있지만 현재의 사용량이 지속될 경우 2050년 경에는 지구상의 석유가 고갈된다는 사실을 상기하게되면 가격은 계속적으로 상승하리라 생각되며, 또한 석유는 석유화학공업의 원료가 되는 중요한 자원으로써 남아있는 석유를 모두 태워버리기에 너무 소중한 資源이라고 생각된다. 또한 석탄의 이용은 채탄, 운송, 연소에 자연환경의 파괴와 막대한 양의 공해물질 배출때문에 제약을 받게

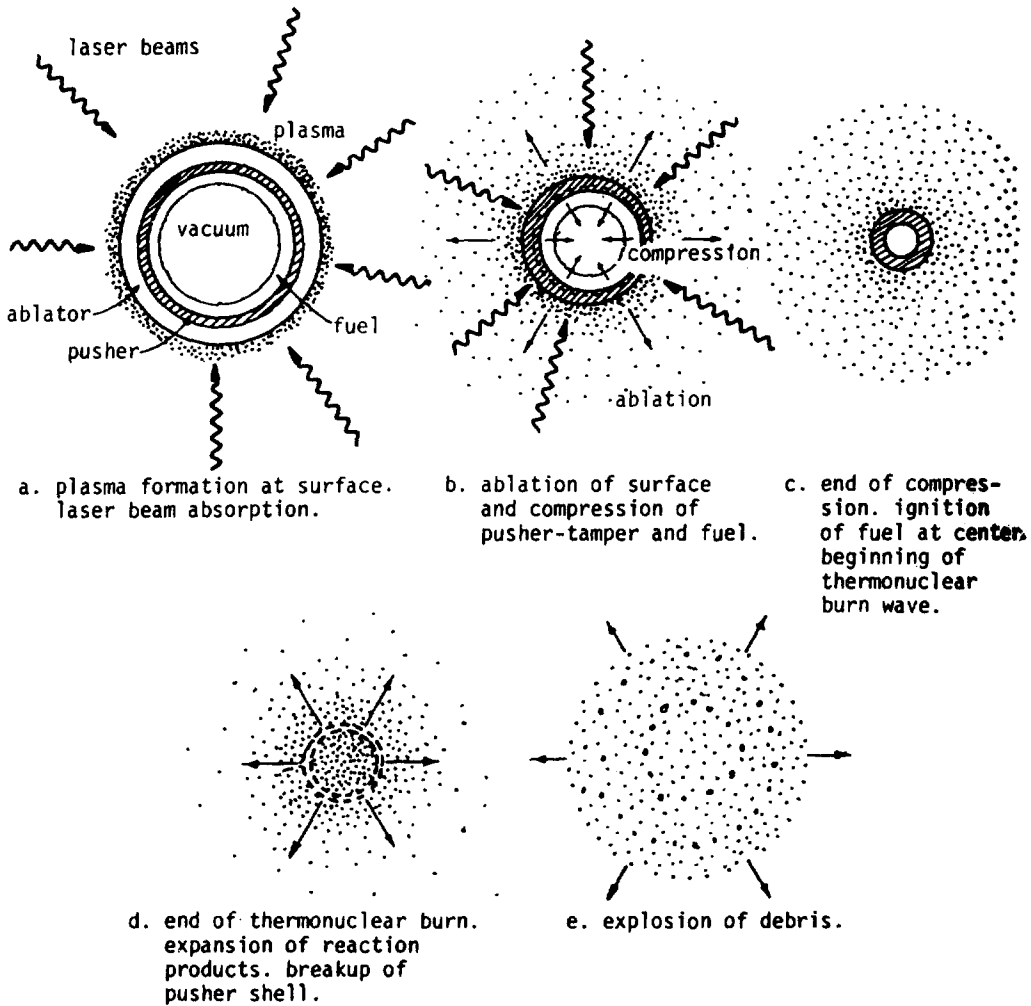


그림 4. Inertial Confinement Fusion의 목표물이 레이저에 의해 압축, 연소되는 과정

되고, 그외에 대체에너지로써 생각할 수 있는 태양에너지, 風力, 潮力, 地熱, bio-mass 등을 들 수 있으나 점차 가속화해가는 인구증가와 발달해가는 工業社會가 요구하는 에너지를 충족하기에는 근원적인 해결책이 될 수 없으며, 장기적인 안목으로써 지구상에 존재하는 모든 에너지원을 생각하면 核融合에너지의 平和的인 이용이 가능하냐 불가능하냐에 따라 人類의 生存이 달려있다고해도 과언이 아니다. 특히 에너지의 대부분을 수입해야되는 우리의 실정으로서 가장 이상적인 에너지라고 할 수 있으나

이의 실현이 있기 위해서는 超高温의 플라즈마를 生成, 維持해야되며 이를 위해 極低溫의 超傳導 코일을 이용한 高磁場을 이용해야하며 大出力의 레이저가 필요하고, 融合反應에서 나오는 中性子の 계속된 충돌을 이겨낼 수 있는 새로운 爐의 내벽재료의 개발이 있어야 되는 등 現存 人類가 갖고있는 최첨단의 과학기술이 요구될 뿐 아니라 연구시설에만도 막대한 투자가 요구되어서 美國, 日本, 소련과 같은 나라에서만 독자적으로 연구를 수행하고 있을 뿐 유럽만 하더라도 어느 한 나라가 독자적으로 수행하기에

는 너무 큰 비용이 요구되는 때문에 유럽의 많은 나라가 공동개발 형식으로 연구를 진행시키고 있다. 여기서 한가지 특기할 사실은 우리나라와 같이 에너지의 거의 전부를 수입해다 쓰는 이웃 일본의 경우로써 해마다 石油수입에 많은 돈을 쓰고 있으며, 有事時 해상보급로가 차단될 경우 일본의 경제가 일순간에 마비가 될만큼 에너지 공급에 취약점을 안고 있으며, 地球上에서 유일하게 原子爆爐의 피해를 본 나라이기 때문에 대부분의 국민이 原子力에너지에 대해 상당히 거부감을 갖고 있어서 일찌기 1950년대부터 核融合에너지의 이용에 대해 연구를 계속해왔다. 이미 상당한 研究能力과 人力을 갖고 있으며, 美國과는 상호 연구협력 협정을 맺어 연구결과와 研究員의 교환을 해오고있다.

現時點에서 核融合에너지의 利用展望에 대해서 논하기 위해서는 세계 각 연구소에서 얻어진 연구결과를 살펴 볼 필요가 있다. 核融合에너지의 平和的 利用에 관한 연구는 2차대전이후 곧 시작이 되었으나 초기의 낙관적인 견해와는 달리 어려운 문제들이 계속 대두되어서 1970년도 초반까지 Lawson조건과는 상당히 거리가 먼 플라즈마가 生成될 수 있을 뿐이었으나 1차 석유파동이 있으면서 核融合에너지에 대한 관심이 급속히 높아졌고, 이에 대한 각국의 투자와 연구가 활발해지면서 큰 진전이 있기 시작했다. 70년대 후반에 들어 전문가의 종합된 의견은

Lawson조건을 만족하는 플라즈마를 만들기 위해서는 초대형 기기가 필요하다는 것이었으며, 이를 토대로 美國, 日本, 유럽에서 기기당 3~4억불 씩이나하는 tokamak이 건설되기 시작했으며, 각각 TFTR, JT-60, JET라고 명명되었다. 이들은 4~5년만에 걸친 제작기간을 거쳐 최근에 完成이 되었으며 시험운용단계를 지나 본격적 실험이 수행되고 있고, 1~2년내로 이들 기기에서 제어된 核融合에너지의 平和的 利用가능성에 대한 科學的 중성이 보여질 예정으로 있고, 實用化에 따르는 工學的인 제문제의 해결에 20년정도의 시간이 필요하다고 볼 때 빠르면 2010년경에는 商業用 核融合爐가 등장하리라 기대된다.

여기서 우리가 유의해야 될 점은 核融合 에너지의 利用에는 고도의 기술과 잘 훈련된 다수의 연구인력이 필요하며 현재와 같이 일부 국가에서만 연구, 개발이 이루어질 경우 原子力發電과 마찬가지로 核融合에너지로 일부 선진국의 전유물이 될 가능성이 무척 높다. 따라서 우리나라도 너무 늦기 전에 국가적인 차원에서 장기적인 계획을 수립하여서 다행히 商業用 核融合爐가 등장하기에는 20~30년의 시간이 더 필요할 것으로 기대되고 있으므로 우선 대규모의 투자가 요구되는 시설보다는 연구인력의 배양에 힘쓰면서 核融合에너지에 대한 연구가 시작되어야 되리라 사료된다.