

核融合開發의 現況과 課題

實用화를 위해 착실하게 進展

研究目標을 具體化

全般的으로 核融合에서의 物理·技術은 停滯함이 없이 實用化의 可能性을 追求하여 착실하게 進行되고 있으며 지금까지는 각각 독립되어 수행되던 연구가 최근에는 主路線, 代替(副)路線으로 상당히 좁혀져서 研究標的이 具體化되었다. 물론 이 이외에도 기초적인 연구가 폭넓게 존재하고 있다. 그리고 共通·連帶意識이 各國의 연구자들 사이에 생겨서 계획에 대한 국제협력, 공동작업, 분담이 활발해지고 있다.

중요한 연구소와 시설의 연구장치를 토카마크 方式과 그 이외의 방식으로 분류하여 表에 나타내었다.

여기서 특기할만한 것은 최근에 토카마크방식의 진전이다. 臨界플라즈마 시험장치는 직경 약6m, 굵기 약2m의 도우넛 형태의 플라즈마에 약5만 가우스의 安定化磁界를 加해서 약3MA의 플라즈마電流를 유지한다. 그 發熱에 제2 단가열(中性粒子入射NBI 또는 高周波RF)을 加해 거의 核融合爐條件인 1억도, 1초간 밀폐를 실현하려는 것이다.

미국의 TFTR은 1982년 12월에, EC의 JET는 83년 6월에, 완성되어 현재 예비실험중인데 이미 플라즈마電流 1~2MA로서 밀폐시간 0.3 秒를 얻고 있다. 이 결과는 전출력 운전에서는 臨界條件 또는 科學的實證이 충분히 달성될 수 있음을 예측할 수 있게 하는 것이다. 그리고 次期裝置, 즉 實驗爐급의 단계로 나아가는 기반이 된다.

國際토카마크爐(INTOR) 熱出力620MW의 개

념설계가 IAEA內에서 各國의 공동작업으로 거의 완성되어 가고 있으며 최근 西獨 막스프랑크 研究所內에 EC의 次期裝置 NET(INTOR級)의 설계팀(20명)이 發足하였다. 이 설계팀은 歐州에 散在하고 있는 爐설계그룹과 상호 연락하여 合担協力으로 작업을 수행할 것 같으며 출발이 늦은 歐州도 앞으로는 박차를 가할 것 같다.

한편 미국은 次期爐로서 FED, ETR 등이 제안되어 상당한 정도의 試設計가 되어 있으며 예산확득을 위한 기간의 空費를 回避하겠끔 別案이 나와있다. 이것은 최근의 연구결과를 받아들여 상당히 小型化하고 또한 爐心만으로 국한시킨 TFCX(토카마크爐心實驗裝置)이다.

이 장치는 非圓型斷面으로 베타值6%, 高周波에 의한 電流驅動을 강하게 해서 誘導電流變成器를 작게 한 것으로서 長펄스 自己點火爐心の 檢證을 목적으로 한다. 플라즈마半徑 3.75m이며 1993년에 착공해서 1995년에 點火燃焼實驗 예정이고 예산은 약 10억달러이다.

이것을 先行시켜서 實驗爐 ETR의 2000년 運開를 용이하게 하려는 것이다. 1984년도 예산에서 설계비 7백만달러가 計上되고 있으며 예산의 重要順位가 TFTR에 이어서 높으므로 次年度 以後의 예산에서는 急增이 기대되고 있다.

그리고 미국ORNL에는 기업, 연구소, 大學에서 모인 사람들을 포함해서 49명으로 구성된 강력한 核融合技術設計센터(FEDC)가 있으며 年豫算 550만달러로 토카마크爐 ETR, 미러爐 MARS 등 각 연구소와의 協力下에서 설계를 수행하며 계획을 작성하고 있다.

코스트低減이 最大課題

磁氣核融合爐實現의 최대 문제점은 어떤 방법으로 코스트低減을 할 수 있는가에 있다.

Oak Ridge 研究所에서 코스트分析을 한 결과 超電導線의 電流密度를 2배로 올리면 상당히 小型化할 수 있으며 또 高磁界化, 高베타化로 出力密度를 올리며 한편 遠隔操作技術의 向上 등으로 稼働율을 올림으로서 경제성이 대폭적으로 개선될 수 있다고 하고 있다.

高周波에 의한 플라즈마電流驅動은 토카마크 장치의 變成器를 不要로 하거나 簡易化할 수가 있어 이에 의해서 爐의 운전이 定常化 또는 超長펄스化할 수 있으므로 爐構造에서는 근본적으로 荷重輕減을 할 수 있다. 최근 이 연구는 크게 진전하고 있다. 미국 PLT는 高周波만에 의한 電流의 立上이 가능한 것을 實證했으며 다시 誘導電流없이 效率이 좋은 電流維持를 연구하고 있다.

爐心플라즈마에 있어서 不純物의 混入은 막대한 放射損失에 의한 冷却을 招來하여 플라즈마密閉를 不安定하게 한다. 일본이 먼저 착수한 불순물제거 문제는 西獨의 ASDEX, 美日協力D-III에 인계되어 그 효과가 확실한 것으로 되고 있다. Oak Ridge의 ISX-B는 최근 逆으로 0.5이하의 微量의 불순물이 도리어 密閉시간을 2배로 연장시키는 현상을 발견했다.

최근에는 加熱이 주요한 과제이다. NBI 장치는 Oak Ridge와 버크레이 연구소가 개발을 하고 있으며 80KV, 40A, 30秒가 달성된 최고성능이다.

마이너스 이온源이 歐美의 각 연구소에서 연구되고 있다. 나트륨蒸氣의 超音速流에 100A, 10KV의 플러즈 이온을 통과시켜 마이너스 이온으로 變換시키는 대규모 실험이 행해지고 있다.

高周波加熱은 이온사이클로트론, 低域混成波, 電子사이클로트론의 各周波數領減에 대해서 연구되고 있으며 또 發振裝置, 안테나系가 개발

〔表〕核融合研究裝置一覽

規 模	TOKAMAK 方式	TOKAMAK 以外의 方式
實驗施設	**TFCX(美), **NET(EC) **INTOR(IAEA), **ETR (FED)(美), **FER(日)	**MARS(美, LLNL) mirror 方式
臨界플라즈마裝置	TFTR(美, PPPL), JET(EC), *JT-60(日), **BIG-D(美, 日, GAT)	*MFTF-B(美, LLNL) mirror 方式 *NOVA(美, LLNL) laser 方式
準臨界플라즈마裝置	D-III(美, 日, GAT), *T- -15(土), *TORESUPRA(프 랑스), **R-Project(H)	
大 型	PLT(美, PPPL), T-10(土) PBX(美, PPPL), ASDEX(日) *VpGrade(西獨), JFT-2M(日)	TMX-U(美, LLNL), 감마10(H)= mirror 方式*ATF(美, ORNL), W-7A, *W7AS(西獨) 스텔라토론E (日)=Stellarator 方式 激光12(H)=laser 方式
中 型	ISX(美, ORNL), TFR(프랑스) DITE(美), T-7(土) JIPP-T II(日)	EBT(美ORNL), NBT(H)=torus HBTX, *COMPASS(美), TPE-1R- M, REPUTE(H), OHTE(美, GAT)= 逆轉磁界方式, S-1(美, PPPL)= spherator 型

註: *建設中 **計劃中

되고 있다. 특히 電子사이클로트론用 자이로트론은 開發의욕이 높다. 소련에서는 T-10에서 波長2.6mm, 200KW를 6本으로 이온사이클로트론周波數로 200KW(최대數MW)를 加하는 加熱試驗이 행해지고 있다.

超電導마그네트 開發에 대해서는 보어直徑 3m級の LCT를 日本이 최초로 試作을 끝마치고 이어서 GD社의 것이 나와 이 두 코일시험이 막 시작되었다. 6코일의 전체 테스트는 1985년도에 들어가서 시작하게 될 것이다.

토카마크이외의 방식에 대해서는 미국에서는 단뎀미러가 토카마크와 並行해서 實驗爐心の 후보로 고려되고 있다. LLNL의 TMX-U장치에서는 軸方向損失을 防止하도록 구성된 熱배리어의 효과가 實證된 것 같아 이 방식에 있어서는 극히 밝은 成果라 하겠다. MFTF-B의 제작은 70%정도 진행되고 있다.

歐州에서는 토카마크代替로서 스텔라레이터가 고려되고 있는데 W7A의 密閉性能이 좋아서 W7AS를 새로 제조키로 했다. 한편 미국에서는 이 방식을 토카마크路線內에 포함하는 形式으로 ATF를 건설하여 연구해 나가기로 했다.