

特別企劃 核融合 - 그 技術的課題와 開發戰略의 前題(6)

TOKAMAK核融合炉의 定常化 展望

핵융합반응을 이용하는 炉를 개발하는 계획은 미국, 소련, EC, 일본등에서 추진되고 있으며, 앞으로 2~4년내에 TOKAMAK方式으로 臨界条件(Break even 조건이라고도 함. 플라즈마를 만들기 위한 소비전력과 想定되는 핵융합로 전기출력이 같아지는 조건에 상당하는 플라즈마常数, 즉 온도 1억도, 粒子밀도 10^{20}cm^{-3} , 밀폐시간 1초)이 달성될 전망이 보인다. 이어서 炉工学試驗裝置 혹은 實驗炉 단계로의 연구개발이 진행될 것이 예상된다.

현재 TOKAMAK 방식에서는 炉조건에 가장 가까운 플라즈마常数가 달성되어 그 플라즈마의 성질이 비교적 잘 이해되고 있다. 그 결과, 장래를 예측하는 각종 比例則의 신뢰성도 높다. TOKAMAK 방식은 현시점에서 次期장치로 가장 유망시되고 있다.

한편 핵융합로의 최종목표인 商業炉로서의 실용성 견지에서 TOKAMAK 방식은 아직 그 구조의 복잡함과 현재의 상태에서는 펄스운전 방식이라는 것 등 몇가지의 단점이 지적되고 있다.

TOKAMAK 방식으로 임계조건을 달성한 후에 TOKAMAK 방식을 그대로 사용해서 차기장치를 개발연구 할 경우, 이 방식이 商業性을 갖춘 炉의 원형이 될 수 있을까, 혹은 TOKAMAK 방식의 질적개선이나 적당한 단계에서 다른방식으로서의 移行·併合 가능성에 대한 전망은 차기장치를 연구개발하는 指導原理, 性格을 정하는데 중요한 판단재료가 된다. 이것이, 問題提起의 原

点이라 할 수 있다.

에너지源으로 炉를 건설함에 있어서, 炉心이 되는 플라즈마의 성능은 核·熱·構造設計, 材料開發, 보수유지의 容易성과 밀접하게 관련되어 있으므로 한 분야에서 진전이 있으면 다른 분야의 곤란성은 현저히 낮아지게 된다. 핵융합 플라즈마에 관한 최근의 연구방향은 이와같은 研究情勢의 진전에 대응해서 단순히 고온·고밀도의 플라즈마를 얻는 것뿐만 아니라 炉기술과 플라즈마 성능과의 整合性을 높이기 위한 플라즈마의 發生法과 밀폐성능의 개선으로 향하는 것이 세계적인 추세가 되었다.

1. TOKAMAK 방식의 制限条件과 定常炉化의 目的

TOKAMAK 방식이란 toroidal(円環狀) 磁場과 그 속에 있는 plasma中을 흐르는 円環電流에 의해서 발생하는 磁場(전류의 돌래를 周回하는 poroidal磁場)의 合成에 의해서 磁氣容器를 구성하는 것이다. 이와같은 구조를 얻기 위해서 plasma中을 흐르는 円環電流를 어떻게 만드는가가 중요한 포인트가 된다.

종래의 TOKAMAK에서는 이 円環電流를 그림 1에 표시하는 것 처럼 일종의 線流器를 사용해서 만들어 내고 있다. 즉 그림 1에서 1차 코일에 전류를 흐르게 하면, 電磁誘導의 원리에 따라 1차전류가 발생하는 磁束은 鉄心(空心일 경우도 있다)을 거쳐서 円環플라즈마와 교차한

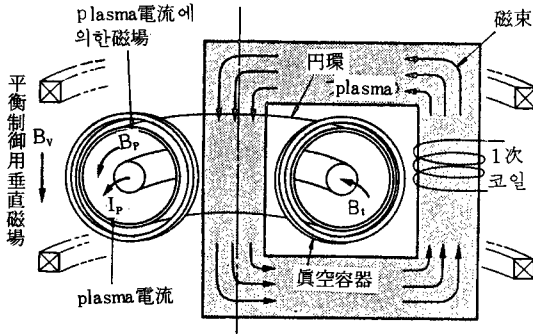


그림 1 TOKAMAK 방식의 原理構成

다. 1차전류의 변화에 따라 발생하는 磁束變化分에 비례해서 D環플라즈마에 誘導起電力이 발생한다. 磁氣容器속에 미리 얽은 플라즈마(일종의 반도체)를 만들어 두면 이 유도기전력에 의해 2차 전류가 발생한다. 이 상황은 通常의 電氣機器에서 변압기 혹은 變流器와 동일하다. 변압기는 交流機器이므로 이것만으로는 플라즈마전류를 정상적으로 한방향으로 유지시킬 수 없다. 전류의 방향을 바꿀 때마다 炉出力을 일단 정지시켰다가 다시 再start를 하게 된다. 예를 들면, TOKAMAK 방식의 차기장치설계의 전형적인 예인 INTOR에서는 1週期 100초 이상의 核燃焼를 duty 70~80%로 행하고 10°회의 뒤돌이운전을 想定하고 있다.

이와같은 pulse 炉를 商業炉로서 생각하면 다음과 같은 문제점들이 발생한다.

- ① 연속적 전기출력을 얻기 위해서는, 炉로부터 나오는 발생열의 蓄積回路를 필요로 한다.
- ② 열 또는 기계적応력이 週期的으로 가해지기 때문에 炉壁등 구조물의 수명을 단축시킨다.
- ③ 週期運轉을 하기 때문에 制御回路가 복잡해진다.
- ④ 炉의 start를 위해서는 많은 전력이 필요하므로 炉의 每回 start에 의해 소비되는 전력이 전체출력에 대해 효율을 惡化시킨다.
- ⑤ 변압기로 부터 발생하는 磁束變化는 약간이기는 하나 필연적으로 주변의 超電導코일과 鎖交하여 유도전류를 誘起시킨다. 이와같은 유도전류는 超電導상태 유지에 나쁜영향을 주므로 이것을 방지하기 위해 초전도코일의 설계조건이 복잡해진다.
- ⑥ 전력축적·伝送시스템 등 定常電氣

出力化를 위한 에너지伝送시스템이 복잡해진다.

이와같은 몇가지 문제중 INTOR 설계등 당면하고 있는 작업에서는 ②와 ⑤의 문제가 가장 심각한 것으로 받아들여지고 있다. 이상의 문제점에서 알 수 있듯이 定常炉方式이 pulse 炉方式보다 훨씬 바람직한것임은 확실하다. 한편 상업성의 견지에서 완전한 定常炉方式이 필요 불가결한 것인가에 관해서는 다시 종합적인 관점으로 부터의 평가가 필요할 것이다. 시스템기술은 항상 많은 요소의 타협 산물로 생겨나는 것이며 몇개 要素에 있어서 物理上 대단히 뛰어난 특징은 많은 요소속에서는 극히 적은 부분밖에 占할 수 없기 때문에 결론을 얻기 위해서는 炉의 설계·제작자의 평가를 기다려야 한다.

여기서는 하나의 기준으로 TOKAMAK 방식 商業炉의 설계, 考察의 例로 Starfire의 결과를 소개한다. TOKAMAK 방식에서 플라즈마 전류를 변압기 이외의 방법으로 勵起시켜 定常炉를 얻을 경우, 이를 위해 소요되는 전력은 炉 전기출력의 10%이내라야 한다. 이 경우 정상 핵융합로에서는 종래의 非定常 TOKAMAK 炉에 비해 에너지코스트가 25~30%가 내려가는 반면 上記정도의 전력을 소비하는 plasma 電流 駆動機器를 위해서는 12~15%의 에너지코스트상승이 전망된다. 종합적으로 봐서 이와같은 定常炉化에 의해서 에너지코스트를 15% 내릴수 있음이 기대된다.

Starfire 炉에서는 출력 600MW, plasma 전류 10MA이다. plasma 電流 駆動用 機器의 효율을 50%로하여 10MA의 전류를 net 入力 30MW로 발생시키는 것이 당면의 최저목표가 된다. 이것은 0.3A/W의 電流勵起率을 얻을 수 있음을 의미한다.

2. 플라즈마電流의 性質과 電流駆動方法

高温plasma 中에서 수소는 電子와 ion으로 나누어져 random한 열운동을 하고 있다. 그 상태는 기체운동론에서 알려져 있는것 처럼 Maxwell의 速度分布函數로 나타내진다. 그 平均熱速度

는 eV, 温度等 에너지의 단위로 표현된다(1eV는 11,600°K에 相当). random한 열운동은 각 方向成分에서 相殺되어 전체적으로 볼때 電荷의 이동은 발생하지 않는다. plasma 전체에 起電力을 加하면 電子전체가 고르게 한 方向으로 이동한다. 이것은 通常導體中の 전류 개념과 같다고 할 수 있다. 이와같은 상태는 그림 2 (a)와 같이 표시된다. 즉, Maxwell分布를 하는 電子전체가 한 方向으로 全体로서 벗어나는것을 뜻한다. 다시말해Maxwell分布函数가 x 의 正負方向에서 非对称이 되는 것이 전류의 발생과 等價이다.

Krystron이나 進行波管(TV나 우주통신에 사용되는 高周波電力管의 일종)에서 電子b-

eam의 直流에너지가 고주파로 變換되는 것은 잘 알려져 있으며 그 逆過程을 발생시키는 것도 가능하다. 고주파의 位相速度에 特定 電子를 同期시키면 그 전자는 加速된다.

그 결과 그림 2 (b)와 같은 속도분포함수가 발생한다.

또 하나의 plasma 전류 발생기구로서, 고주파에 의해서 特定속도의 전자를 전류진행 方向과 直각방향으로 튕기면 그림 2 (c)와 같은 속도분포함수가 발생한다. 이 경우에도, 그림 2 (c)는 x 의 正負方向에 非对称이 되므로 전류가 발생한다. 이상과 같이 大別해서 세종류의 플라즈마 전류발생기구에 대응해서 다음과 같은 전류구동 기구가 제안되고 있다.

(1) boot-strap 電流

이것은, 그림 2 (a)와 같은 분포함수의 비대칭성으로부터 plasma 전류를 발생시키는 것으로서, 荷電粒子는 磁場에 감겨져 있으나 磁氣容器內에서는 压力勾配로 인해 밖으로 향하는 입자의 擴散流가 존재한다. 이 확산류는 磁力線을 밖으로 잡아당기는 작용을 가지게 된다. 이와같은 입자와 자력선의 움직임은 공간적인 자력선의 歪變化를 뜻한다. 이 변화를 시간으로 번역하면 特定 경우에는 일종의 起電力이 생기는 磁束變化로 볼수 있으며 이와같은 機構에서 흐르는 전류를 boot-strap 電流라고 한다.

高温 plasma로부터는 정상적인 粒子擴散流가 있으므로 boot-strap 전류는 정상적으로 흐른다. 理論的豫測에 의하면 핵연소를 일으키게 하는 고온 plasma에서 boot-strap 전류는 상당히 커지며, 逆으로 plasma 전류가 너무 흐르지 않도록 제어할 필요가 있다고 말하고 있다.

그러나, 최근 ISX-B(미국 Oak Ridge 연구소), JFT-2(일본원자력연구소) 등의 TOKAMAK에서 이 전류를 檢知할 수 있는 plasma 조건에 도달했으나 boot-strap 전류는 전혀 검지되지 않았기 때문에 boot-strap 전류에 대한 이론

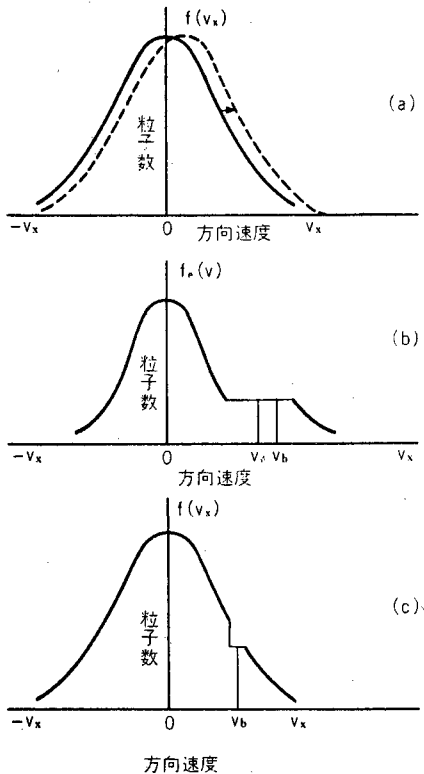


그림 2 plasma 電流에 의한 電子速度分布函数의 非对称性

- (a) 變压器原理에 의한 경우
- (b) 電流方向加速의 경우
- (c) 電流와 直角方向加速의 경우

면에서 부터의 재검토가 최근 행해지고 있다.

한편 TOKAMAK 방식의 磁氣容器內 입자의 특수한 입자운동을 이용해서 적극적으로 입자를 바깥方向으로 잡아당겨 boot-strap 전류를 강조하는 방법도 제안되고 있다. 이것은 Enhanced Boot Strap Current라 불리는데 아직은 idea 영역을 벗어나지 못하고 있으나 흥미있는 電流勵起法으로 주목받고 있다.

(2) 中性粒子 入射加熱時的 플라즈마電流

TOKAMAK方式에서 炉의 点火조건을 달성하기 위해서는 강력한 가열수단이 필요하다. INTOR에서는 70MW가 전망되고 있다. 이 가열의 최우력후보는 中性粒子 入射法이다. 즉, 고속으로 가속된 수소의 中性가스를 plasma 속 에 주입하는 것이다. 이때, gas beam을 円環에 따라서 接線방향으로 打込시키면 중성가스의 운동이 특정조건일 경우에 방향성이 있는 운동, 즉 플라즈마전류로 변환되는 것이 이론적으로 예측되고 있다. 특정 경우란 수소 plasma 중 에 불순물(산소나 탄소)이 존재하는 경우이며 이와같은 不純物의 量에 비례해서 큰 전류가 발생한다.

핵융합조건에서 다량의 불순물 存在는 바람직하지 아니므로 이 방법은 炉의 start 에, 즉 아직 불순물이 혼입되어 있는 時点에서만 유효하다고 생각되고 있다. 실험에 있어서는 DITE(영국) TOKAMAK에서 1980년에 처음으로 35kA/700kW의 plasma 전류가 검출되었다. 그러나, 유사한 조건에서의 ISX-B, JFT-2 TOKAMAK에서는 이 방법에 의한 plasma 電流驅動이 관측되고 있지 않다. 즉, 電流驅動의 再現性を 확보함에 있어서 plasma 취급 요령을 아직 습득하고 있지 못한 상황이라고 말 할수 있다.

(3) 高周波에 의한 電流驅動

plasma속에서는 ion이나 電子의 운동 自由度가 다른 물질에 비해 높으며 또 粒子間的 相互作用力은 電場이나 磁場이며, 이들은 重力場에 비

해 비교적 먼곳까지 作用力을 미치는 특징을 가진다. 따라서 이 범위내에 존재하는 粒子群은 집단운동을 일으키기 쉽다. 집단운동은 波動이 되어 plasma속을 伝搬한다. 파동의 종류는 周波數로 大別해서 네종류로 분류된다.

Krystron의 空胴共振器에 상당하는 것으로, 이 plasma속의 집단운동을 置換시켜 外部로 부터 同期하는 高周波를 가해서 전자를 加速, 가열하는 것이 가능하다.

① 磁氣音波周波數帶(1~10 MHz)

plasma중에도 공기중과 유사한 音波가 존재한다. 그 周波數帶는 1~10MHz이다. 이 周波數帶를 이용해서 電流驅動을 행하는 것은 원리적으로 가능하나 외부로 부터 이 고주파를 加하려면 공기중에서의 波長은 數십m 이상의 波長이된다. 한편, 현시점에서 TOKAMAK의 플라즈마 직경은 1~2m 이므로 이와같이 상대적으로 작은 플라즈마에 波의 方向性を 잃어버리지 않고 긴 波長의 高周波를 加하는 기술의 곤란성은 크다. 또, plasma속에서는 波의 電流方向속도가 느리므로 電波를 전류와 직각방향으로 고속 입자에 결합시키기 위해서는 특수한 연구가 필요하다. 이와같은 문제때문에 현재의 TOKAMAK에서는 거의 실험이 행해져 있지 않다. 일본의 名古屋大学plasma 연구소 실험으로 3 MHz, 75kW의 入力으로 25A, 電流勵起率 0.003A/W가 얻어지고 있다.

② ion·cyclotron周波數帶(20~100MHz)

ion이 磁力線의 돌레를 회전할때에 固有의 진동수가 존재한다. 이 고유진동에 共鳴하는 파동을 이용해서 電流勵起를 행한다. 이 周波數帶에서 전류방향으로 電子를 加速시킬 경우는 ①과 같은 상황이다.

최근, 이 주파수대를 사용한 새로운 電流驅動法이 제안되었다. 이것은 HD, DT 등 두가지 成分 plasma로 ion·cyclotron 주파수가열에 의해서 한쪽의 입자를 선택적으로 가열하는데 최근 성공한 것에서 啓發된 發案이라 할 수 있다. 즉, 波를 한 방향으로 伝播시켜 그 방향으로 달리는 ion磁場과 직각방향으로 가속, 가열시킨다.

가열된 입자는 다른 입자와 충돌하기 어렵게 되므로 波의 진행방향과 反진행방향에서 ion 충돌의 불균형이 생겨 이에 의해서 toroidal 방향의 ion 흐름이 발생한다. 이 ion의 흐름이 두가지成分 plasma 속에 있을 때에는 中性粒子 接線入射의 경우와 같은 원리로 電子의 방향속도가 발생한다. 이 방법은 炉條件의 plasma에 적용가능하다.

최근 두가지成分 plasma의 선택ion가열이 미국의 PLT TOKAMAK에서 현저한 성과를 올리고 있으므로 장래 유망한 電流驅動法 이라고 생각되고 있다. 실험에 의한 實証이 기대되고 있다.

③ 低域混成波 (Lower hybrid wave, 1,000~2,000MHz)

ion cyclotron운동과 電子의 電場과 磁場에 의해서 생기는 drift운동의 同期가 취해질 수 있는 混成共鳴條件에서 低域混成波라고 하는 파동이 plasma속에 존재한다. 주파수는 TOKAMAK의 磁場·粒子密度的 函數로 定해지나 대체로 1,000~2,000MHz가 되어 공기중에서 電波의 波長은 20~40cm정도가 된다. 현재의 TOKAMAK에 既存의 導波管기술을 사용하여 進行波를 入射시키는데 가장 적합한 周波數帶이다. 高周波 發振源은 UHF帶 TV·信用 Kryston을 轉用 하므로써 100~500kW급 실험을 비교적 용이하게 할 수 있다. 이 방법의 電流驅動은 현재의 TOKAMAK연구개발에서 가장 앞서고 있다.

1980년에 JFT-2 TOKAMAK에서 750MHz의 주파수를 사용해서 25~35kA/150kW, 즉 약 0.2A/W를 실현시키므로써 이 방법이 세계적으로 주목받게 되었다. 電流驅動의 원리는 그림2(b)의 원리를 사용하는 전형적인 것이다. 즉, 波의 位相速度를 고속전자에 맞추어서 전자를 전류방향으로 직접 가속시키는 것이다. 이때 JFT-2에서 實測된 전자의 速度分布函數의 예를 그림3에 표시하였다.

그 후 PLT, Versator II (미국MIT), WT-2 (일본京都大学), JIPP-T-II (일본名古屋大学플라즈마研究所) 등의 TOKAMAK에서 추가 실험

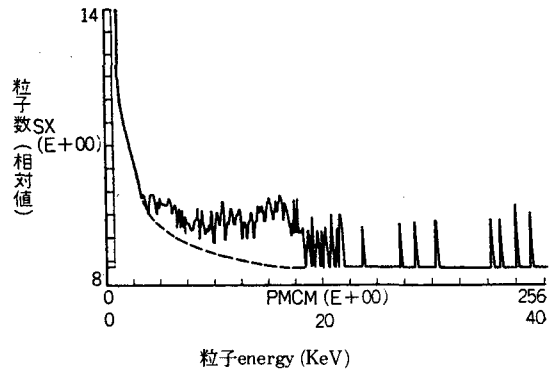


그림 3 低域混成波에 의한 plasma電流驅動時의 電子速度分布函數實測值 (軟X線波高分辨에 의한) (破線은 電流驅動前의 狀態를 표시)

이 행해졌고 유사한 결과가 얻어졌다. 특히 PLT에서는 波의 位相速度를 올려, 보다 고속의 전자를 가속시키므로써 850MHz의 주파수를 사용해서 100kA/90kW, 즉 電流勵起率 1A/W 이상이 달성되었다. 더욱이 종래의 실험이 변압기 원리에 의해서 출발한 plasma 전류를 완전히 高周波에 의해서, 또 고주파가 계속되는 한 유지 시킴에 성공했다. 이것은 새로운 개념의 TOKAMAK 운전방식 확립을 뜻하는 것으로 TOKAMAK研究史上 특기할만한 성과라 할 수 있다.

이 방법에 의한 전류구동의 제한조건은 현재 전류구동을 할 수 있는 plasma 밀도범위가 좁고 또 値도 낮다는 것이다. 즉, $3 \sim 5 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 의 밀도범위에서만 양호한 전류구동이 얻어지고 있다. 이 원인究明, 나아가서는 炉조건에 匹敵하는 10^{14}cm^{-3} 정도의 입자밀도에서의 전류구동 연구가 각국에서 적극적으로 행해지고 있다.

Alcator C (미국 MIT)에서는 $3 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 의 입자밀도에서 나름대로의 전류구동에 성공했다는 報告가 있다. 이들 物理現象의 해명을 위해 몇가지의 고찰도 발표되고 있으나 입자밀도가 높은 영역에서의 전류구동은 적당한 연구에 의해 가능하다고 하는 의견이 많다.

④ 電子cyclotron 周波數帶 (50~100GHz)

電子가 磁力線 주위를 周回하는 固有振動數는, TOKAMAK장치에서는 50~100GHz의 波帶가

된다. 이 周波數帶를 사용해서 電流驅動을 행하는 원리는 그림 2 (c) 에 상당한다. 즉, 波는 특정방향으로 나가는 電子를 磁場과 직각방향으로 가열하므로서 等価的으로 그림 2 (c)와 같은 Maxwell分布函數가 형성되어 波와 逆방향의 電子흐름이 형성된다. 이 방법의 현저한 특징은 원리상 가열과 전류구동이 동시에 발생하는데 있다. 低域混成波의 경우, 즉 그림 (b)의 원리에서는 가열을 강조하면 전류구동효과는 낮아지며 또, 逆도 발생한다.

이 周波數帶의 發振器로 최근 “gyrotron” 이라는 高出力 微波發振管이 소련, 미국에서 개발되어 이 방법이 갑자기 주목받게 되었다. JFT-2 에 28GHz/200kW의 gyrotron을 사용한 실험에서 4kA/80kW의 전류구동결과를 얻었다. Tosca, Levitron (영국) 장치에서는 300A/100kW 정도의 値가 28GHz帶에서 얻어지고 있다. 고온 plasma에서의 이론적예측에서는 0.2A/W 정도가 예측되고 있으므로 효율의 관점에서도 최저치는 충족할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 무엇보다도, 이 방법의 특징은 가열과 전류구동이 동시에 발생하므로 大電力下에서 大電流를 구동할 때 飽和現象이 없고 相似則의 직선적인 外插이 가능하다는 것이다. 그러므로 炬조건에서 이온cyclotron 周波數帶와 함께 가장 유력한 방법이 될 수 있다. 이 방식의 경우 고주파전력의 가격이 비교적 비싸지는 것을 일부에서 우려하고 있다. 60GHz, 140GHz帶의 gyrotron이 각국에서 개발되고 있으나 사실, 그 개발코스트는 상당히 高價의 것이다.

그러나 기술의 진보에 의해 개발후의 제작코스트는 통상의 微波管과 같은 정도가 될 것이 확실하다. 기술개발과 코스트다운의 경과에 앞으로 충분히 留意할 것이 중요할 것이다.

3. 電流驅動法의 TOKAMAK에로의 應用

TOKAMAK 장치를 변압기이외의 방법을 가해서 운전할 경우의 方式 導出에 있어서는 그

판단기준을 어디에 두는가에 따라 몇개의 다른 결과에 도달한다.

첫번째로 중요한 판단기준으로, 炬의 start時와 点火후의 plasma전류구동에 있어서는 그 배경이 되는 plasma조건이 대폭적으로 달라질때가 있다. 현재 실적의 延長에서 가장 실현성이 높은 TOKAMAK의 정상화방식은 변압기의 원리를 사용해서 炬를 start시키고 低域混成波帶의 고주파로 plasma 전류 유지를 도모하는 방법이다.

이 방법은 低密度條件이라고는 하나 현실적으로 中規模 TOKAMAK에서 실현되고 있다. 다만, 이와같은 TOKAMAK의 정상화에서는 1章에서 기술한 문제점중 ⑤항의 조건을 극복할 수 있다. 왜냐하면, 炬의 start時에 磁束변화가 압도적으로 크며 이 磁束변화의 영향을 超電導 코일이 받기 때문이다.

다음에 생각되는 방법은, 中性粒子 入射法으로 start하여 고주파로 전류를 유지하는 것이다. 이 방법에서는 변압기를 TOKAMAK에서 완전히 빼어버린다. 그러나, 中性粒子入射에 의한 plasma전류 start는 실적면에서 미해결이다.

高周波, 특히 低域混成波法에 의한 plasma 전류구동은 그 성질상 plasma의 온도가 오르면 오를수록 그 효율이 높아지므로 본질적으로는 炬의 start보다는 정상상태유지에 적합하다. 그러나, 다음과 같은 현실적인 準定常炬化를 생각하는 것도 중요하다. 즉, 고주파에 의한 plasma전류의 立上, 立下를 행하고, 정상plasma 전류 유지를 변압기로 행하는 것이다. 이것은 표준적인 TOKAMAK 정상화의 개념에 逆行하는 組合이라 할 수 있다. 이 경우에 예상되는 전류 지속시간은 최대 1,000초가 限度라고 보여진다. 이와같은 pulse운전을 고주파전류구동에 의한 炬의 원활한 立上, 立下로 이어가면 炬의 출력은 pulse의이기는 하나, 炬壁의 熱負荷라는 점에서는 고주파 印加時에 그것이 벽에 도달하므로 거의 정상이라 볼 수 있다. 1章 ②와 ⑤에서 언급된 문제점에 대해 완전하지는 않으나 평균적으로 상당한 개선을 도모하는 것이 가능하다.

게 된다. 또, 이 방식의 利点으로서 새로운 기술인 고주파전류구동법에 대한 期待度 (경제성을 유지하는데 있어서의 電流勵起率등)도 그다지 무거워지지는 않는다.

최근 PLT에서의 연구에서는 低域混成波法에 의해서 plasma電流를 200kA에서 230kA까지 100 kA/sec의 비율로 변화시키는데 성공했다. 이때, net入力 370kW중 100kW (27%)가 inductance에 저장되는 전력으로 변환되고 155kW가 열로 소비되고 있다. 이 결과는 상당히 좋은 효율로 전류의 立下, 立下가 가능함을 나타내고 있다. 앞으로의 연구에서 전류0의 상태에서 고주파에 의해서 전류를 만드는 것이 가능해지면 이 타협적인 準定常化 TOKAMAK 방식은 定常炉 기술개발에서 현실적으로 중요한 한 단계가 될 것이 확실하다. 또한, 高周波發振器의 制御性이 좋은 특징을 이용해서 plasma전류의 느린 立上, 立下 또는 disruption 制御에 의한 응용이 달성되면 이에 의해서 TOKAMAK 本体의 전기절연성이나 기계적강도를 대폭적으로 완화시키는 등 단순한 TOKAMAK 定常化 이상의 수확을 기대하는 것이 가능해진다.

중래의 변압기원리를 사용한 TOKAMAK의 전자속도분포함수는 그림 2 (a)와 같은 形狀을 취한다. 한편, 고주파수 특히 低域混成波에 의할 때는 그림 2 (b)와 같다. 이와같은 차이 때문에 低域混成波에 의한 plasma전류를 사용하는 TOKAMAK에서는 電子의 밀폐특성이 현저하게 개선될 가능성이 높다는 것이 JFT-2, PLT에서 報告되고 있다. 고주파에 의한 플라즈마전류구동은 최근 1~2년 사이에 시작된 연구이며 아직 그 밀폐특성을 정확히 파악하지는 못했으나 중래의 TOKAMAK와 다르다는 것이 확실하다.

과거 1~2년 동안의 低域混成波에 의한 plasma전류구동의 실험성과를 계기로 해서 TOKAMAK의 定常炉化의 연구과제가 대두되어 왔다. 앞으로의 과제는 입자밀도가 높은 영역으로 전류구동조건을 확대, plasma 전류의 start를 고주파로 행하는 것을 중심으로 TOKAMAK 시스템 전체로의 파급효과를 파악하는 것이다.

핵융합연구는 고온플라즈마의 거동을 평가하기 위한 物理에서도 未知要素를 포함한 長期프로젝트연구개발이라 할 수 있다.

제 4 회 한일원자력세미나 참가단 모집

당 회의와 일본원자력산업회회가 공동으로 주최하는 제 4 회 한일원자력세미나가 오는 12월 6일부터 약 1주간(산업시찰 포함) 일본 동경에서 개최될 예정입니다.

이 세미나는 의욕적인 원자력발전개발 계획을 갖고있는 한일양국이 안전하고 경제적인 원자력발전소의 건설과 운전을 위해서 여러가지 연구결과를 발표하고 경험한 문제점에 대한 해결

방안을 토의하는 유익한 자리로서 이미 25기, 1734.5만kWe의 원전을 보유, 가동하고 있는 일본의 전력회사, 기기제조회사, 기타 관련기관으로부터 많은 정보와 지식을 얻을 수 있는 기회가 될 것으로 확신하며, 이 세미나에의 참가희망자를 모집하오니 82. 11. 5 (금요일) 까지 신청하여주시기 바랍니다.

신청처 및 문의처 : 당 회의 사무국 (28-0163)