

토카막 장치 공학설계를 위한 전자기력 해석기술 개발

지난 9월, 포르투갈에서 열린 제26차 핵융합기술심포지엄(SOFT2010)학회에서 국가핵융합연구소 ITER한국사업단 연구원들의 논문이 Topic G분야 'Best Poster Award'를 수상하였다.



◎● 토카막 장치에서 전자기력 해석기술의 중요성

토카막과 같이 자기장으로 플라즈마를 가두는 장치를 설계할 때 전자기력은 반드시 고려해야 할 설계인자이다. 교량이나 고층건물을 설계하는데 바람의 영향이 절대적이듯, 장치의 안전성이라는 측면에서 전자기력은 매우 중요하다. 핵융합 장치는 자기장으로 엄청난 플라즈마 전류를 가두고 있는데, 플라즈마는 아쉽게도 안정적이지 않아서 항상 붕괴할 가능성이 있고 붕괴 시 순간적으로 주변 장치에 막대한 전류가 유도된다. 이로 인해 플라즈마를 감싸는 주변 장치들은 엄청난 전자기력을 받아 망가질 수도 있다. 이런 이유로 전자기력 계산은 토카막 공학설계에 필수적인 과정이다.

◎● 토카막 전자기력 해석의 어려움

전자기력 해석의 중요성에도 불구하고 우리나라는 믿을만한 해석기술을 확보하지 못한 실정이었다. 토카막 장치에서 전자기력 해석은 플라즈마 붕괴에 대한 물리적 이해를 바탕으로 한 공학적 전자기력 해석기술의 구현이라는 두 분야의 지식이 필요하기 때문이다. 또한 토카막 장치를 설계한 경험의 부족도 한 원인이라고 생각된다.

◎● ITER를 통한 토카막 전자기력 해석 기술 개발

이런 와중에 ITER 참여는 전자기력 해석기술을 개발할 좋은 기회가 되었다. 연구원들은 전자기력 해석기술이 중요하다는 인식하에 소속팀도 전공도 서로 다르지만 자발적 연구모임을 결성하였다. 어려운 외부환경에도 불구하고 참여 연구원들의 지적 욕구와 열정으로, 연구모임은 느리지만 시너지 효과를 내며 바퀴가 굴러가기 시작했다. 토카막 기초, 플라즈마 붕괴 및 그로 인한 전자기력해석의 이해, 체계적인 해석 방안 확립, 플라즈마 형상 및 전류 데이터 처리, 해석 기법의 검증 등 많은 이슈들을 상호간의 협력을 통해 해결해 나감으로써 기초적인 해석기술을 확립하였다.

드디어 실제 장치 설계에 적용할 기회가 왔다. ITER 국제기구가 착수한 전자기력 해석결과 검증을 위한 Benchmark Task였다. 해석 대상은 ITER 블랭킷이었고 우리나라를 포함한 EU, 미국, 일본, 러시아, 중국이 참여하였다. 이 과정에서 우리는 지금까지 확립한 전자기력 해석기술을 비교 검증하였고, 형상 모델링과

유한요소 생성에 대한 많은 노하우를 축적하였다. 결론적으로 우리의 해석기술을 신뢰할 수 있는 계기가 되었다.

우리는 한발 더 나아가 새로운 해석 모델링 기법(Element Splitting Method)을 개발하였다. 토카막 장치는 형상이 매우 복잡해서 해석 모델 생성이 아주 어렵다. 실제 형상을 그대로 적용할 경우 유한요소가 너무 많아져 해석이 불가능하므로 모델을 단순화하는 것이 일반적인 접근방법이었다. Element Splitting Method는 비교적 쉽게 실제 형상에 가까운 해석 모델을 생성하면서도 유한요소를 줄일 수 있는 기법이다. 구현하기 까다로운 기법이었지만 지속적으로 끈질긴 연구를 통해 제한적이거나 실제 적용 가능한 수준까지 개발을 완료하였다.

지금까지는 플라즈마 전류 감소로 인한 Eddy Current에 의한 전자기력 해석에 치중했었고, 다음 단계는 Halo Current에 의한 전자기력 해석에 대한 도전이었다. 여기도 마찬가지로의 과정이 진행되었다. Halo Current에 대한 물리적 이해, DINA에서의 구현 방법 이해, Voltage Source와 Current Source에 대한 이해, 상용 코드에서의 해석 방안 수립, 간단한 Toy 모델을 활용한 기초 해석기술 검증 등을 연구원들 상호간의 토론과 협의를 통해 순차적으로 풀어나갔다.

그리고 또 하나의 기회가 왔다. 우리가 개발한 Eddy Current뿐만 아니라 Halo Current에 의한 전자기력 해석과 Element Splitting Method를 ITER 진단 포트플러그에 적용하였던 것이다. ITER 진단 포트플러그의 상세설계검증(Preliminary Design Review)을 위해 전자기력 해석이 요구되었다. 우리나라를 비롯한 미국, 일본, 러시아는 각자 해석을 수행하였고 결과를 상호 비교하였다. 다시 한번 우리의 해석기법을 검증하고 결과의 신뢰성을 확보하는 기회였다. 이때 수행한 내용을 바탕으로 제26회 SOFT 학회에 발표하였으며, Best Poster Award를 수상하는 것으로 작지만 지금까지 참여한 연구원들의 노력에 대한 소중한 보상을 받았다. **NFRl**

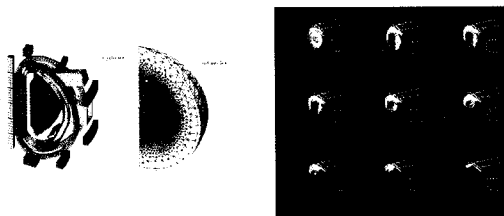


그림 1. 전자기력 해석 모델 및 플라즈마 붕괴 시 형상 및 전류 변화 시뮬레이션

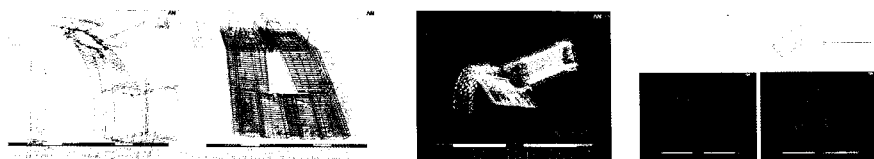


그림 2. Eddy & Halo Current에 의한 유도 전류(Element Splitting Method 기법 적용)

• Element Splitting Method

• Eddy Current

• Halo Current

• Voltage Source

• Current Source



향후 연구 활동 계획

우리가 확립한 토카막 전자기력 해석기술은 이제 세계적 수준에 와 있다고 생각한다. 그럼에도 불구하고 여전히 추가적인 연구가 필요한 분야가 남아있다. 우선 우리가 독자적으로 개발한 Element Splitting Method에 대한 논문을 투고할 계획이다. 또한 ITER TBM(Test Blanket Module)과 같이 자성체가 있을 경우에 대한 해석기법 개발에 착수하였으며, ITER 장치에 대한 전자기 하중에 대한 전반적인 분석을 위해 초전도자석, 진공용기, 블랭킷, 다이버터, 포트플러그 모두를 포함하는 20도 모델에 대한 전자기력 해석을 수행 중에 있다.