

## 저온용융로(CCM) 내부 용융유리 모사를 위한 컴퓨터 코드 개발

김천우, 박종길, 황태원, 정혜권\*, 하만영\*, 류봉기\*

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

\*부산대학교, 부산광역시 금정구 장전동 산30번지

cheonkim@khnp.co.kr

고주파 유도가열 열원을 사용하여 유리를 용융하는 저온용융로(Cold Crucible Melter: CCM)는 방사성폐기물 유리화용 용융로로 개발되어 물리화학적 품질이 우수한 유리고화체를 생산 하는데 사용되고 있다. CCM은 수명이 반영구적이며 유지 보수 측면에서 매우 용이하므로 상용 설비의 적용이 크게 기대되고 있다. CCM을 효율적으로 활용하고 CCM의 최적운전 조건 확립과 양질의 유리고화체 획득을 위해서는 CCM 내부 용융유리의 열유동 특성 파악에 관한 보다 정량적이고 가시적인 연구가 필요하다. CCM 내부 유체의 거동 및 온도장을 해석하기 위하여 본 연구에서는 상용 Maxwell 소프트웨어를 이용하였다. 고주파 영역을 상용 Fluent로 계산할 경우 아주 작은 시간간격(time step)을 요구하며 많은 시간과 비용이 소요된다. 그러나 Maxwell은 CCM 내부 용융유리 물성치 및 CCM 섹터 물성치가 결정되면 전기장, 자기장 등의 분포를 예측하는 유용한 소프트웨어이다. Maxwell을 이용할 경우 와전류의 분포를 구할 수 있으며, 유도코일에 주어지는 전류와 전압, 유도코일을 구성하는 금속의 물성치를 이용하여 유도코일 주변에 발생하는 전기장 및 유도 전류를 구할 수 있다. 이를 이용하여 CCM의 유도코일을 모델링, CCM 내부의 자기장 분포를 예측할 수 있으며, 이를 상용 e-Physics 및 Fluent로 전달하여 모사 코드를 완성할 수 있다.

Maxwell을 이용하여 CCM과 유사한 형상에 대해 모델링을 수행하였다. 본 모델링에 사용된 변수 및 물성치는 표 1과 같다.

표 1. CCM 내부 용융유리 모사 변수 및 물성치

변 수	물 성 치
HFG 출력 주파수(kHz)	272
전류(A)	608
비유전율	78/1,000
용융유리 전기전도도(S/cm)	0.125/10
유도코일 높이(mm)	250
CCM 높이(mm)	250/160

모델링 결과를 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)는 전기장의 분포 및 크기를 나타내며 0.01~2.5[V/m]의 범위를 나타내었다. 최대 전기장이 발생하는 지점은 그림 1(b)의 전류장 분포에서 전류장이 가장 큰 지점과 동일하게 나타났다. 전류장의 범위는 1~30[A/m<sup>2</sup>]로 나타났다. 그림 1(c)는 자기장의 분포 및 크기를 나타낸다. 자기장은 유도코일 근처에서 값이 가장 크고 CCM 중앙부로 갈수록 작아지는 것을 알 수 있었다. 유도코일 근처의 자기장의 크기가 가장 크므로 이 영향으로 인한 저항손실에 의한 열분포도를 예상할 수 있을 것으로 판단된다. 모델링 결과 자기장은 전기장, 전류장과 마찬가지로 중심축을 기준으로 대칭성을 가진다. 자기장의 범위는 1.0×10<sup>-5</sup>~2.5×10<sup>-4</sup>[T]를 나타내었다. 이때 유도코일에서의 전류방향은 그림 1(d)와 같다. CCM 내부 발생 유도전류는 그림 1(e)와 같이 반대 방향이 됨을 알 수 있었다. 용융유리의 높이를 160mm로

하고 비유전율과 용융유리의 전기전도도를 각각 1,000 및 10S/cm로 변화 시켰을 때 이에 따른 자기장 분포 및 Ohm-loss에 대한 결과는 그림 1(f), 그림 1(g)와 같음을 알 수 있었다. 두 그림에서 상부 즉 절반은 공기영역을 나타내고 있다. 본 모델링 결과 Maxwell 소프트웨어로 CCM에 대한 전자기장을 분석하는데 필요한 변수 및 결과의 타당성 등을 평가 할 수 있었으며 향후 Fluent에서 자기장 입력 시 결과를 정성적, 정량적으로 비교할 수 있는 중요한 입력 자료가 될 수 있음을 알 수 있었다. 본 모델링에서는 CCM 내부 용융유리의 전기전도도는 반영 하였으나 대류현상 및 CCM 수냉각 섹터의 구조는 일단 제외한 상태에서 수행하였다. Maxwell 소프트웨어를 이용한 모델링 해석결과를 살펴볼 때 실제 CCM 내부현상을 모사 가능할 것으로 평가할 수 있었으며 대체적으로 만족할 만한 결과를 얻었다. 따라서 Maxwell 프로그램에서 사용할 수 있는 정확한 자료를 수집, 정리하고 향후 이를 e-Physics 및 Fluent로 전달하여 CCM 내부 용융유리에서 일어나는 제반 현상들을 모사할 수 있는 코드를 완성할 예정이다.

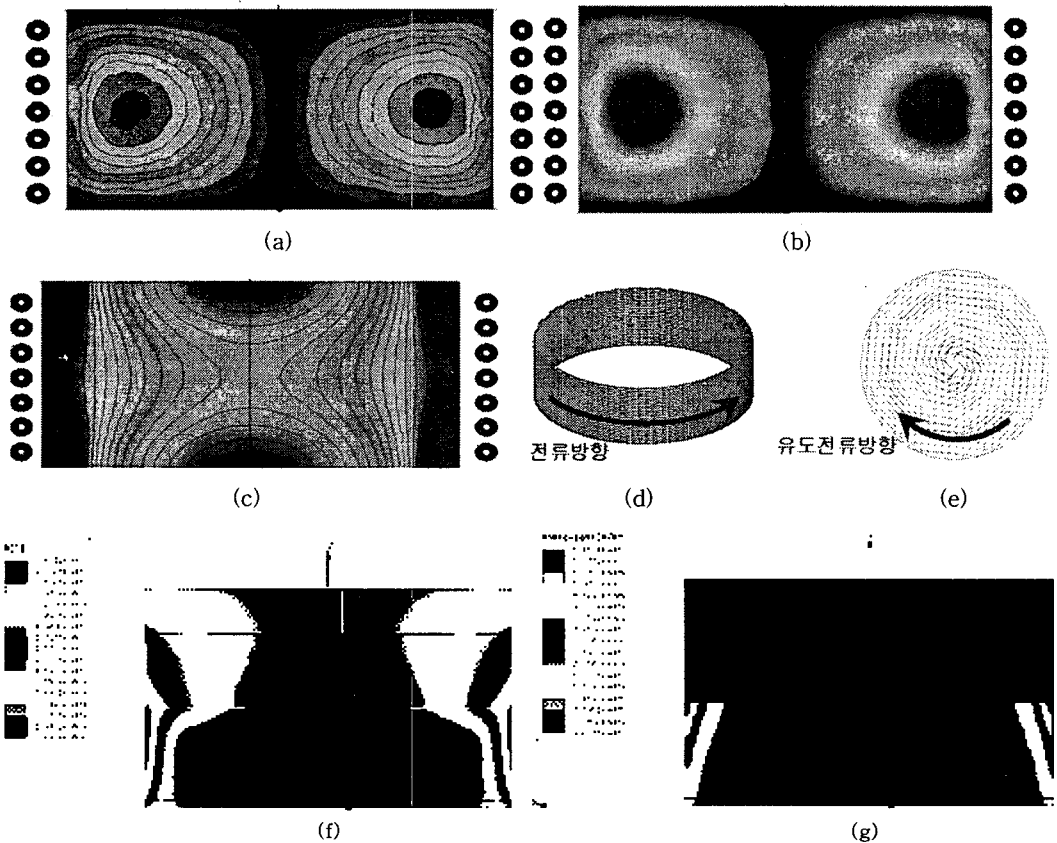


그림 1. CCM 내부 용융유리에 대한 Maxwell 모델링 결과