

037 대전류 아크플라즈마 해석기술

신전력기연구센터 | 오연호

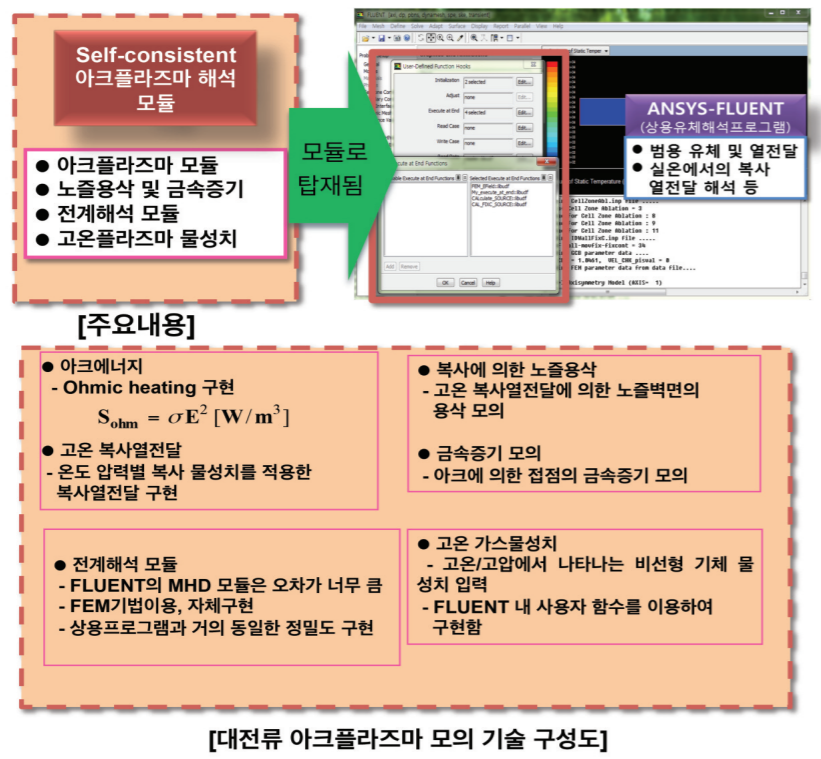
○ 본 기술은 대전류에 의해 발생하는 아크플라즈마의 물리적 현상을 컴퓨터로 모의하는 기술로서, 상용유체해석 프로그램인 ANSYS-FLUENT에 모듈로 탑재되어 아크에너지, 고온 복사열전달, 노즐용삭, 금속증기, 고온 열역학/수송계수 현상을 고려하여 해석을 수행함. 해석결과물로서 압력상승, 아크전압, 열가스 거동, 유체유동, 온도분포, 아크컨덕턴스, Post-arc current 및 열가스 하에서의 절연내력 결과를 출력하며, Self-consistent 한 해석으로서 해석결과와 신뢰성과 안정성을 제공함. 적용가능한 절연가스는 기존 SF₆ 가스 외에 최근 대두되고 있는 친환경 절연가스인 CO₂ 혼합 가스와 Dry-Air 등임.

기술개념 및 구성

기술개념

▶ 본 기술은 전력기기 내 대전류에 의해 발생하는 아크플라즈마의 물리적 현상인 고온 열역학/수송계수 물성치, 전자천이에 의한 복사열전달, 복사에 의한 절연물 용삭, 금속 증기, 아크에너지를 구현하고, 아크컨덕턴스와 압력, 온도 분포를 출력하는 기술임.

기술의 구성도



[대전류 아크플라즈마 모의 기술 구성도]

1. 기술 개요

기술개발의 필요성

- ▶ 전력기기 내 대전류에 의한 아크플라즈마는 고온의 열가스를 발생시키며, 해리와 이온화를 동반함으로써 물리적 현상을 모의하기가 매우 힘들어 지금까지 대부분 간략화된 수식이나 경험식에 의존하여 물리적 현상을 모의하였음.
- ▶ 특히 아크플라즈마에 의한 고온의 가스는 내부의 절연물을 용삭시키고 금속을 증기화함으로써 아크플라즈마의 물리적 특성을 변화시키고, 전력기기의 성능에 큰 영향을 미침.
- ▶ 따라서 아크플라즈마를 고정도로 모의할 수 있는 기술이 필요하며, 특히 고온에서 열전달 비중이 가장 높은 복사열전달과 이로 인한 절연물의 용삭, 금속 증기를 모의하고, 기기의 설계에 반드시 필요한 아크컨덕턴스와 열가스 거동, 열가스 하에서의 절연내력을 계산할 수 있는 기술이 필요함.

2. 기술 내용

기술의 특징

- ▶ 기술의 특징점
 - 검증된 상용 프로그램인 ANSYS-FLUENT 내 아크플라즈마 모듈을 탑재함으로써 해석결과와 신뢰성을 제공하며, 3차원 해석으로 확장이 용이함
 - 고정도의 아크에너지와 고온에서 전자천이에 따른 복사열전달 계산, 복사에 의한 절연물의 용삭을 모의할 수 있음
 - 열가스 하에서의 절연내력을 계산할 수 있는 Critical E-Field 계산과 높은 정밀도의 전계계산 프로그램인 FEM 모듈을 탑재함
 - 기존 SF₆ 절연가스 외에 최근 대두되고 있는 CO₂ 혼합가스와 Dry-Air, N₂, g³ (green gas for grid) 등의 친환경 가스와 신규 개발될 절연가스의 적용도 가능함

기술의 상세 규격

- 아크 플라즈마 해석 모듈: 아크에너지 계산, 고온 복사열전달
- 용삭해석 모듈: 복사에 의한 노즐용삭 및 금속증기 계산
- 전계해석 모듈: Finite Element Method (FEM)로 구현
- 고온/고압에 따른 물성치 모듈: 절연가스의 온도 압력별 물성치 적용 온도: 300~35,000K, 적용 압력: 0.1 ~ 10.0 Mpa

경쟁기술과 차별성

▶ 국내외 유사·경쟁 기술 현황

구분	기술명	기술 내용
국내	기술명	Fluid in Cell Analysis
	기술 내용	• Fluid in Cell 기법을 이용하여 아크플라즈마 해석 • 간략화된 수식과 경험식을 바탕으로 계산속도가 빠름
국외	기술명	Self consistent 해석기술
	기술 내용	• 상용 또는 자체제작한 FVM(Finite Volume Method) 유동해석 기법에 아크플라즈마 모듈 탑재 • 아크에너지 계산 시 FVM 기법을 이용함으로써 정확도가 떨어짐
	기술명	1-D 프로그램
기술 내용	• 1차원 해석기법을 이용하여 유체 및 전계를 계산하여 아크플라즈마를 모의함 • 빠른 속도로 압력 및 온도분포를 확인할 수 있으나 정확도는 떨어짐	

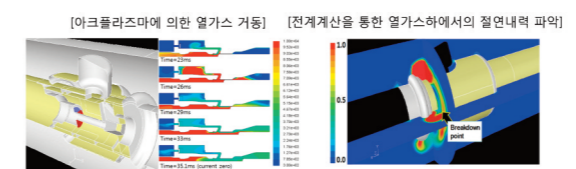
경쟁 기술 대비 우수성

경쟁기술	본 기술의 우수성
Self consistent 해석기술	• 아크에너지 계산 시 FVM이 아닌 FEM(Finite Element Method) 방식을 사용하여 높은 정확도를 유지 • 고온 복사열전달 계산 시 주파수 밴드의 최적화를 통해 적은 수의 밴드로 높은 정확도의 계산결과 산출 • 스위치기어 성능예측에 필수적인 Arc conductance와 Post-arc current 계산 및 열가스하 절연내력 예측

3. 기술의 시장성

기술 응용분야 및 제품

- 초고압 가스차단기의 근거리선로고장 차단성능 예측
- 초고압 가스차단기의 소전류 차단성능 예측
- 열가스 하에서의 절연내력 예측
- 전력기기 내 Internal arc 에 의한 압력상승 및 온도분포 예측

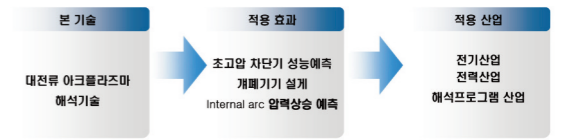


시장이슈

- 최근 지구온난화로 인한 친환경 절연가스의 개발과 이를 적용한 스위치기어의 수요가 증가하고 있음
- 친환경 절연가스의 최대 단점인 미흡한 근거리선로고장 차단성능을 설계하기 위해 반드시 아크플라즈마의 해석 기술 필요
- 정확한 아크플라즈마 모의기술과 차단성능을 예측할 수 있는 Arc conductance & Post-arc current 계산기법 필요

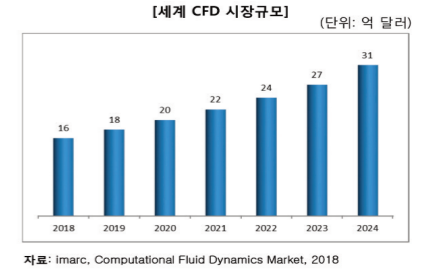
Supply chain

- 본 기술은 대전류에 의한 아크플라즈마의 물리적 현상을 컴퓨터로 모의할 수 있는 기술로서 초고압 차단기의 성능예측, 개폐기기의 설계, Internal arc 에 의한 압력상승 예측에 적용할 수 있음



수요전망

• 세계 전산유체역학(CFD) 시장은 2018년 16억 달러에서 연평균성장률 11%로 증가해서 2024년 31억 달러에 이를 것으로 예상됨



4. 주요 연구성과

특허 출원 및 등록 현황

구분	특허명	국가	번호	년도
등록	복사에너지 연동 노즐용삭 계산 프로그램	한국	제C-2016-017189호	2016
등록	이산화탄소(CO2)가스의 아크플라즈마 해석 프로그램	한국	제C-2017-018413호	2017
등록	g3 가스의 고온플라즈마 해석 프로그램	한국	제C-2018-020627호	2018

기술의 완성도

- ▶ TRL 6 수준의 기술완성도 단계: Full-Scale 시제품 개발
- ▶ 개발 기술 범위: 친환경 절연가스의 아크플라즈마 해석
 - CO₂/O₂ 혼합가스의 아크플라즈마 해석
 - g³ 가스의 고온플라즈마 해석
 - 신규 절연가스의 아크플라즈마 해석
 - 스위치기어의 대전류 및 소전류 차단성능 예측
- ▶ 기술개발 완료 시기
 - 2018년 12월: 친환경 절연가스의 아크플라즈마 해석 및 스위치기어 차단성능 예측기술

5. 기대 효과

기술 도입 효과

- ▶ 경제적인 효과
 - SF₆ 및 CO₂ 혼합가스 전력기기의 성능예측을 통한 제작비/시험료 절감 및 제작기간 단축
 - 친환경 절연가스의 아크플라즈마를 이용한 친환경 전력기기의 설계 및 개발을 통해 지구온실가스 감축에 일조
 - 전력기기의 성능예측 및 설계반영을 통해 친환경 소형화 가능, 시장경쟁력 강화

기술·산업적 파급 효과

- ▶ 기술적 파급 효과
 - 전력기기 내 대전류 아크플라즈마의 물리적 현상을 파악하여 설계에 반영
 - SF₆ 대체 신규 절연가스를 적용한 전력기기 개발에 적용 가능
 - 친환경 초고압 및 배전급 개폐기기의 개발을 위한 기반 마련