

## 초고압 GIS 기술 동향

여운동, 이창환, 배상진, 김재우  
한국과학기술정보연구원

### Technology Trends in Extra High-Voltage GIS

Woon Dong Yeo, Chang Hoan Lee, Sang Jin Bae, Jae Woo Kim  
Korea Institute of Science and Technology Information

**Abstract** - 초고압 GIS(Gas Insulated Substation, 가스 절연변전소)는 변압기와 더불어 송변전기기 중에서 가장 중요한 2가지 품목 중의 하나이며, 도시의 과밀화, 디지털 경제사회로 이행함에 따른 고품질 전기수요로 인한 전력공급의 신뢰도 향상의 필요성, 도시미관 개선 및 친환경적인 설비요구 등의 요인에 의해 그 중요성은 더욱 커질 전망이다. 또한 가까운 장래에 도래할 것으로 전망되는 전력산업의 IT화 시대와 미주 및 유럽 지역에서의 송변전 설비의 낙후 및 교체시기 등을 고려해 볼 때 GIS 분야의 중요성은 더욱 부각되고 있다. 본 논문에서는 초고압 GIS 관련 기술 국내의 연구개발동향을 분석해보고자 한다.

#### 1. 서 론

세계적으로 초고압 GIS 산업은 유럽의 ABB, Siemens, Alstom, Va Tech 등 거대기업들과 일본의 Japan AE Power Systems Corp. 및 TM T&D 등이 기술개발을 선도하고 있으며, 이들 세계적 거대기업들은 기업간 핵심역량 위주로 사업을 전문화하는 등 전략적 제휴를 활발히 진행하고 있으며, 저가 범용제품에 대해서는 동남아, 중남미 지역에 현지공장을 설립하고 생산 거점을 확보하여 현지시장 점유율을 높이는 등 현지경영을 확산시키고 있다. 또한 "기술개발은 자국에서, 생산은 현지에서"의 생산과 기술개발의 분리정책으로 기술유출을 방지하고 있고 후발국에 기술이전을 기피하고 있다. 그리고 해외 선진업체들은 초고압 및 대용량화, Low Cost화, 고신뢰도화 등의 기술개발 정책을 도입하여 새로운 제품들을 개발하여 시장선점 및 기술경쟁력을 강화할 뿐만 아니라, IT기술, 전력전자기술, 디지털기술, 광기술, 센서기술 등과 기존 전력기기 기술을 접목한 고부가가치의 융합형 전력기기 제품들을 개발하기 위해 지속적인 연구개발 투자를 하고 있다. 이들 선진국들은 후발국들의 시장잠식을 견제하기 위해 안전성 및 신뢰성에 관한 국제적 기술규격 및 시험기준을 강화하고, 첨단제품 및 핵심부품의 기술이전을 회피하며, 기술제휴의 대가로 고가의 기술료를 요구하고, 국제규제기구를 창설하여 활동을 강화하며, 선진국간 상호인정 추진 등 선진국간의 결속을 강화하고 있으며 또한 에너지 및 환경 라운드에 대비하여 필요한 전력기기 기술과 실용화 기기 개발에 집중투자하고 있다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 국내 연구개발 동향

국내에서는 도시의 과밀화에 따른 부지선정 문제로 인해 25.8kV급 이상에서는 GIS화가 강력히 추진될 전망이며, 경제적인 요인으로 GCB 자체에 대한 소형화, 경량화, 저조작력화 등은 물론 GIS에 대한 Compact화도 중요한 변수로 부각되고 있다. 그리고 GCB에 대한 소형,

경량화 및 저조작력화는 아크의 열팽창 에너지를 파퍼실런더의 압력상승에 효과적으로 이용하는 방법, 노즐 및 접점의 형상 개선, 노즐재질의 개선, 역류의 효과적인 이용, 양방향 조작방식의 채용 등에 의해 지속적으로 이루어지고 있다.

차단기의 조작장치로는 현재까지 국내에서는 초고압용으로는 공압 또는 유압조작기가, 그리고 배전급에는 전동스프링 조작기가 주로 사용되었다. 그러나 최근 들어서 세계적으로 초고압급에서의 유압조작기 사용이 다소 주춤하고 있는 반면에 스프링 조작기의 채용이 점차 확대되고 있는 추세이며 이미 일부 선진업체에서는 245kV급까지 스프링 조작기를 채용하고 있다. 현재 국내에서도 복합소호방식을 채용한 초고압 차단기용으로 스프링 조작기 개발이 활발하여 가까운 시일 내에 72/84kV급 및 145/170/245kV급까지 채용될 전망이다. 그러나 스프링 조작기에 대해서는 아직 소재기술, 복잡한 메커니즘에 대한 3차원 기계구조 해석기술(동작해석, 동하중해석, 강도해석 등)의 부족이 아쉬운 상태이다. 그리고 현재 배전급 차단기 및 개폐기용으로는 magnetic actuator를 많이 채용하고 있는 추세이며, 이에 대한 연구개발 및 초고압용에도 적용 가능한 magnetic actuator의 개발에 주력하고 있다.

특기할 사항은 LG산전에 의해 2002년 4월에 개발이 완료된 362kV 63kA 8,000A 1절점 GIS와 (주)효성 및 현대중공업에 의해 개발된 800kV 50kA 8,000A GIS는 현재 세계 최고 수준의 초고압 대용량 GIS로 전 세계적으로도 상기 모델들을 개발한 실적이 있는 업체는 몇 개 되지 않는다. 더구나 기술도입이 아니고 해외 협력업체들로부터 도움을 약간 받은 부분이 있긴 하지만 국내 기술에 의해 개발되었다는 사실은 초고압 GIS분야의 역사적인 쾌거임에는 틀림이 없다. 현재에는 초고압 GIS의 해외진출을 위한 기종 다양화와 최적설계를 통한 원가절감에 주력하고 있으며 대표적인 기종이 245kV 40kA, 420kV 50kA 및 550kV 50kA 등의 수출용 GCB/GIS이다.

그러나 아직도 우리나라의 차단기, GIS 기술은 선진국 수준에 비해 상당히 뒤떨어져 있으며, 특히 최근 들어 선진외국 업체들의 신기술 적용에 의한 이 분야 제품들에 대한 원가절감 및 신제품 개발이 매우 활발하므로 이 분야의 국제경쟁력 확보를 위해서는 기초설계기술의 자립이 절실히 요청되며, 이를 위해서는 기술개발을 위한 업계의 인식전환이 필수적이다. 즉, 실질적인 연구개발투자(연구비, 인력, 연구설비 등)가 지속적으로 추진되어야 하며, 개방화되고 있는 국제시장에 적극 진출하여 수출 시장을 확보할 수 있는 경쟁력을 키워야 한다.

근래의 국제 시장 여건은 차단기 또는 GIS 단품 위주의 공급체계에서 변전소 또는 지역 단위의 시스템 공급 체계로 이행 중에 있으며(디지털 기술을 활용한 변전시스템 또는 변전 자동화 시스템 개발 등이 대표적인 예임), 선진 업체에서는 이러한 시스템 개발을 통해 더 많

은 기업 이윤 및 경쟁력을 확보하고 있다. 이러한 견지에서 국내의 차단기 관련 업체도 단품 위주의 개발 환경에서 벗어나 시스템 단위의 개발을 염두에 둔 연구개발이 필요하다.

세계 시장에서 국내 업체의 입지를 더욱 좁히는 또 한 가지 계기는 해외의 선진업체들이 M&A를 통한 대형화 및 계열화를 완료함에 따라 선진업체들의 효율적인 R&D 역량이 더욱 커지고, 따라서 신제품 개발이 가속화되어 국제 시장에서의 경쟁은 더욱 더 치열해지고 따라서 가격 경쟁은 매우 심화될 전망이다. 결국 국내업체는 외국 업체의 심한 견제와 국제 시장에서의 치열한 경쟁을 극복하기 위해서는 독자적인 기술개발이 더욱 절실하다.

## 2.2 해외 연구개발 동향

### 2.2.1 일반현황

초고압 GIS 기술은 1900년대에 개발되기 시작하여 1970년대까지는 유럽과 미국이 기술개발과 세계시장을 주도하였고, 1980년대부터 현재까지는 유럽과 일본이 기술개발을 선도하고 있으며, 1990년대에 들어서서 일본이 정격전압 1,000kV 교류용 전력기기와 ±500kV 직류용 전력기기를 개발함으로써 세계에서 기술적으로 가장 앞선 국가가 되었다.

초고압 차단기 및 GIS의 경우 1970년대부터 파퍼(Puffer)방식에 대한 본격적인 연구로 발전하기 시작하여 1990년대에는 고전압화 연구로 1점절당 최고 정격전압이 550kV, 대전류화 연구로 차단전류가 63kA까지 개발되었으며, 소호방식으로 하이브리드 파퍼(Hybrid Puffer)방식이 개발되어 차단용량이 급속히 증가하였다. 조작방식으로 가스, 공압, 유압 조작기의 순서로 개발되었고 조작에너지의 저감화 및 조작속도의 고속화를 달성하여 245kV 급까지 전동스프링 방식을 적용하고 있다. 한편 300kV 급 차단기와 550kV급 GIS 모선의 3상일괄화 및 차단점 절수의 저감으로 기기의 소형화도 달성하였다.

초고압 차단기 및 GIS의 대용량화, 고전압화, 저조작력화, 고속화, 3상일괄화, 소형화 등을 위해 각종 해석기술과 차단현상에 대한 해석기술이 개발되었으며, 새로운 성능평가기술도 개발되었다. 해석기술로는 냉가스유동, 온도분포, 아크, 전계, 자계, 응력, 운동 등을 해석할 수 있는 프로그램을 개발하여 설계에 적용하였으며, 차단현상을 물리수학적 모델로 정량화하여 해석하는 기술도 개발하였다.

초고압 피뢰기의 경우 산화아연 소자를 개선하여 이용한 고성능피뢰기를 개발하였으며, 피뢰기의 경량화와 소손시 비산을 방지할 목적으로 폴리머(Polymer) 소재를 사용한 피뢰기애관 개발이 활발히 수행되고 있다. 그리고 변압기, 개폐기 등의 과전압에 대한 보호용으로 기기 내부에 내장할 수 있는 피뢰기도 개발되었다.

초고압 CT 및 PT의 경우 송전전압의 UHV(Ultra High Voltage, 초초고압)화에 따라 UHV급이 개발되었으며, 소형화 및 경량화와 철심포화에 의한 오차를 개선하고 정밀도를 향상시키기 위한 광용용 CT/PT의 개발도 완료되었다. 초고압 DS 및 ES의 경우 개폐시의 저저지화를 위해 DS는 자계방식에서 저항취부방식으로 연구 개발되었으며, ES는 흡입형에서 고속도형으로 연구개발되고 있다.

### 2.2.2 세부기술 개발동향

#### 1) 차단부

##### 가) 파퍼형 차단부의 개선

최근 초고압 GCB 차단부는 파퍼형 이중유동방식(Double Flow)을 기본 차단부 구조로 하고 있으며, 각국의 제조업체들은 이 기본방식에 각자 독특한 기술을

접목시켜 나름대로의 고유 차단부 모델을 제작하고 있다. 일본 히다찌 경우는 가동부, 고정부 가스배기시간을 일치시켜 가스압축후 배기에 의한 아크소호 효율을 극대화하는 방식을 사용하고 있다. 일본 도시바 경우에는 한번 배출된 압축가스를 파파실린더 내부로 다시 유입시켜 가스사용 효율을 극대화하고, 소전류-대전류 차단능력에 각각 효율이 높은 하이브리드 방식 차단부를 이용하고 있다. 한편 유럽 SIEMENS 경우에는 양측 접촉자를 모두 고정시키고 외부 실린더 가스만을 압축시켜 이중유동방식으로 아크를 소호하는 차단방식을 채용하고 있다. 상기와 같은 차단방식은 가장 오래 응용되어 온 각 업체의 기본 차단방식으로서 800kV 및 1100kV급, 80kA까지 응용되고 있다.

#### 나) 신차단방식의 연구

신차단방식의 차단부로는 파퍼형을 더욱 개선시켜 아크의 열에너지를 이용하는 복합소호형 차단부가 널리 활용되고 있다. 복합소호형에는 배전급에 이용되는 로타리아크 소호방식과 72/84kV급 이상에서 활용되는 열파파형 차단부가 개발되고 있다. Siemens에서는 조작력을 획기적으로 감소시킨 Dynamic Self-compression type의 245kV 50kA 차단기를 이 방식으로 이미 개발하였다. 그리고 고전압, 대용량 차단부로서 흡입식 차단부가 개발된 사례도 있으나 실제제품에는 응용되지 않고 있으며, 이 차단부는 특히 차단시간이 짧은 1사이클 차단부를 개발할 때 검토된 방식이다. 한편 대전류 차단방식에서는 조작력을 감소시키고, 고장전류의 전자력을 활용하기 위해 코일을 삽입한 방식을 사용하고 있다.

최근에는 차단기를 원하는 시점에 투입 또는 차단함으로써 개폐시 또는 차단시의 썩어지를 줄이고 아크에너지에 의한 점접, 노즐의 손상을 최소화 시킬 수 있는 개폐 제어 또는 동기차단 기술의 개발이 활발하며 일부 기종에서는 이미 상업화가 이루어졌다.

#### 다) 신 소호매질의 연구

SF6 가스는 가장 좋은 절연, 소호매질로 인정되고 있으나 가격이 비싸고 환경문제도 거론되고 있어, 그 대체 소호매질에 대한 연구가 활발히 연구되고 있다. 그러나 현재로서는 실용화된 것은 없고 단지 SF6 가스의 사용량을 줄이기 위해 질소가스 또는 공기와 혼합하여 사용하는 혼합가스에 대한 절연, 소호특성을 많이 연구하고 있다.

#### 라) 고전압, 대용량 차단부 개발

고전압 차단부 개발은 신뢰성향상과 콤팩트화를 위해서 차단점절수를 줄여서 구조를 간단히 하고 부품수를 줄이는 것이 목적이며, 대용량 차단부 개발은 전력계통의 고장전류의 증가에 대처하기 위한 것이다. 현재 차단점절당 차단용량은 일본에서 개발한 550kV 63kA 1점절 GCB의 경우가 26GVA로서 가장 크며, 1100kV 50kA 2점절 차단기가 약 22.7GVA로 2번째이다. 고전압 차단부에는 계통의 썩어지 여해를 위해 차단 및 투입저항을 사용하고 있는데, 이 저항이 차단부에서 차지하는 용적비중이나, 신뢰성 저하에 미치는 영향이 크기 때문에 열용량이 큰 콤팩트한 저항을 개발, 사용하여 차단부 전체를 소형화하려는 움직임도 있다. 대용량 차단부에서는 대전류 차단시 차단부 극간에 걸리는 과도회복전압의 상승률을 낮추기 위해 병렬로 콘덴서를 취부하여 사용하고 있는데, 이 콘덴서도 차단부 신뢰성을 감소시키는 역효과가 있기 때문에 차단성능을 향상시켜 콘덴서를 사용하지 않는 대용량 차단부를 개발하고 있으며 일부 기종에서는 이미 상업화가 이루어졌다.

#### 2) 조작기

차단기 조작방식은 그 자체로서 차단성능에 크게 영향을 주기 때문에 조작방식의 선택은 매우 중요하다. 현재

널리 사용되는 조작방식은 압축공기 방식, 전동스프링 방식, 유압조작 방식이 있다. 고전압, 대용량에는 압축공기와 유압이 주로 사용되며, 소용량에 전동스프링 방식이 주로 활용되고 있다. 그러나 최근에는 초고압, 대용량 차단기까지도 복합소호방식 등의 채용에 의해 소용 조작력을 대폭 감소시켜 유지보수에 장점이 있는 전동스프링 조작방식을 적용하고 있다. 일본의 경우 데드탱크형에서는 170kV급까지 코일형 스프링 조작기를 이용하여 개발을 완료하였으며, 유럽의 경우 애자형 차단기 경우 S&E사가 420kV 63kA 2점절까지 태엽형 스프링을 이용한 전동스프링방식을 채용하여 개발하였다.

유압 조작방식에서는 여러 가지 에너지 축적방식이 응용되고 있는데, 일반적으로는 질소가스를 봉입한 축적기를 사용하고 있으나, ABB 차단기의 경우에는 축적기로서 대형 스프링을 사용하기도 한다. 공기조작기나 전동스프링 조작기에서는 조작기와 별도로 외부에 오일 대시포트를 설치하여 완충장치로 활용하고 있으나, 최근 대용량 유압조작기에서는 조작피스톤 형상을 효과적으로 설계하여, 조작실린더 내부에 완충장치를 설치하는 내장형 오일 대시포트방식을 채택하고 있다. 이 방식을 사용하면 부품수 저감에 따른 조작기의 신뢰성 제고가 가능하며 대시포트조정의 불편이 없고, 오조정에 따른 성능저하도 방지할 수 있다.

최근에 ABB는 모터 구동방식의 조작장치를 개발하여 145kV 40kA 차단기에 장착한 것을 선 보였다. 모터 구동방식의 조작장치는 부품수를 획기적으로 줄일 수 있고 외부환경 또는 차단조건에 따른 조작특성의 제어가 가능해져 향후 경쟁력이 클 것으로 전망된다.

### 3) DS/ES (단로기/접지개폐기)

DS의 주요 책무에는 충전전류차단과 모선부프전류 차단책무가 있는데, GIS 정격전류가 대용량화 되어 가면서 DS 모선부프전류 차단성능도 대용량화 되어가고 있다. 2000A급까지의 DS 소호부 구조는 일반 병렬형으로서 가동자, 고정자가 단순 배치되어 가동자의 속도, 접점부의 형상(전계) 등에 의해 성능이 좌우되는 단순형상이 대부분이다. 그러나 전류가 약 4000A 정도로 커지면 흡입형을 택하며, 8000A 또는 12000A까지 대용량화 되면 차단기와 같은 정도의 소호성능이 요구되어 열과파 방식을 채택하고 있다.

DS의 조작방식은 압축공기와 전동스프링 방식이 있다. 최근에는 차단기 조작방식이 압축공기에서 전동스프링이나 유압조작방식으로 바뀌고 있기 때문에 DS 조작방식도 압축공기 방식에서 전동스프링 방식으로 변화되고 있다.

ES의 주요 책무에는 전자유도전류 차단과 고장전류 투입성능이 있으며 정격 전자유도전류, 정격전압이 낮은 경우에는 DS와 같이 병렬형이 사용되며, 고전압으로 갈수록 흡입형이 사용되고 있다. 투입성능은 점점 이동속도에 크게 영향을 받기 때문에 고속방식이 사용되며, 저항을 설치하여 그 성능을 향상시키는 방식도 있다.

### 4) 모선

GIS에 사용되는 모선에는 절연설계 방식에 따라 2가지 형태가 있다. 3상이 1개의 탱크 내에 함께 설치되는 3상일괄형과 각 상이 각각의 탱크 내에 설치되는 상분리형이 그것이다. 일본의 경우 550kV급까지 3상일괄형이 개발, 운용되고 있으며, 1100kV급의 경우에는 상분리형으로 개발되어 있다. 그리고 유럽의 ABB, Siemens 경우에는 400kV급까지 3상일괄형 모선이 개발되어 있다.

최근 GIS의 정격전류가 커짐에 따라 전류크기가 모선의 구조 및 재질을 결정하는 경향이 있다. 6000A - 12000A급의 경우에는 탱크재질로 알루미늄을 주로 사용하고 있으며, 그 이하에서는 SS(일반구조용 압연강재)나 STS(스테인레스 강재) 재질을 혼용해서 사용하고 있다. 알루미늄 탱크를 사용한 모선의 경우에는 설치방식에 따라 현

지 용접형과 플랜지 접속방식이 있는데, 최근에는 가격은 비싸지만 신뢰성이 높은 플랜지 접속방식을 주로 사용하고 있다. 모선의 경우에는 파티클(금속입자)에 대한 절연성능 확보가 필수적이어서 파티클 트랩이나 파티클이 발생하지 않는 구조를 채용하고 있다. 그리고 파티클이 발생하더라도 잘 부상하지 않도록 탱크내부를 특수코팅으로 처리하는 기술을 적용하는 경우가 있다.

### 5) 붓싱

기(Porcelain)붓싱은 오래전부터 사용되어 왔으므로 기술개발은 거의 완료된 상태이고 사용에 따른 사고의 원인, 대책 등에 따른 부분적인 연구만 이루어지고 있다. 자기붓싱 제조를 위한 설비 및 기술에 대한 기반은 확고하지만 자기 자체의 성능이 실리콘고무에 비하여 떨어지므로 실리콘고무 붓싱의 제조 및 시험을 중심으로 하여 활발한 기술개발이 이루어지고 있다.

최근 들어 실리콘고무 붓싱의 장기적인 성능이 매우 우수한 것으로 밝혀짐에 따라서 기존에 사용 중이던 자기붓싱이 급격하게 실리콘고무 붓싱으로 대체되어 가고 있다. 예를 들면 북미의 옥외용 애자의 신규 물량 중에서 실리콘고무 애자의 비중은 배전급은 90%이상, 송전급은 50%이상을 차지할 정도로 크게 증가하였다. 이에 따라 기존의 세계적인 붓싱 및 애자 제작업체가 실리콘고무 애자/붓싱 개발에 박차를 가하고 있으며 유럽 및 미국을 중심으로 선진업체들이 345kV까지 상용화를 하였으며 500kV 이상에 대해서도 시사용 중이다.

### 6) 해석기술

#### 가) 전계해석

전계해석 방법에는 크게 영역분할법과 경계분할법이 있으며, 세분하면 영역분할법에는 차분법과 유한요소법으로, 경계분할법에는 전하중첩법과 표면전하법으로 구분할 수 있다. 각각 장단점을 가지고 있지만, 3차원해석이나 계산결과와 정확도에 있어서는 전하중첩법이 우수하며 경계형상이 복잡한 경우에는 유한요소법이 보다 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 전하중첩법은 사용시에 상당한 경험과 숙달이 요구되며 복잡한 경계면 처리에 불리하며, 유한요소법은 정확도와 3차원처리에 있어서 다소 불리하다.

현재 전계해석을 위해서는 다양한 상용 프로그램들(예, MAXWELL, FLUX, ELF, Vector Field, MagNet 등)이 있으며 주로 유한요소법을 채용하고 있다. 이 분야의 국내수준도 국제적으로 손색이 없을 정도로 높은 경지에 도달해 있으며, 특히 서울대를 중심으로 한 그룹은 자체에서 개발한 우수한 프로그램을 사용하여 많은 좋은 결과를 얻고 있다.

전계해석은 GCB 및 GIS가 고압대용량화 되고 소형화 됨에 따라 더욱 중요성이 높아지고 있으며, GCB인 경우 소호실내의 전계해석, 특히 콘덴서설치의 영향, 주접점과 아크점점의 형상 및 스트로크(Stroke) 곡선에 따른 영향 등이 많이 연구되며, GIS인 경우에는 절연 스페이스의 개발과 모선의 배치, 탱크설계 등에 많이 이용되고 있다. 현재 초고압 GIS 분야에서 전계해석기술의 최대 관건은 업체에서 실제 설계시에 적용할 최대전계강도 허용치 또는 기준치 설정이다. 즉 주어진 형상에 대한 전계해석은 거의(일부 특수한 3차원 케이스 제외) 문제가 없으나 실제 제작업체에서 절실하게 필요로 하는 설계허용치 또는 기준치는 전압, 차단부 형상, 소호방식, 재질 등에 따라 크게 영향을 받기 때문에 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 이것은 다양한 모델기에 대한 수많은 전계해석과 실증시험을 통해서만 결과확보가 가능한 매우 방대하고 어려운 작업이다.

#### 나) 냉가스 유동해석

냉가스해석은 아크가 존재하지 않는 경우에 대한 유동 해석이며 기존 범용의 상용 CFD(Computational Fluid Dynamics) 프로그램이 주로 이용되며, 일본의 경우는 FLIC (Fluid In Cell) 방법을 이용한 전용 프로그램을 개발하여 많이 사용하고 있다. 냉가스해석용 상용 프로그램은 FEM (Finite Element Method)이나 FVM(Finite Volume Method)을 주로 사용해 왔다. 그러나 최근 들어서는 FVM CODE가 대체를 이루고 있으며 FEM CODE로는 현재 ANSYS만이 겨우 명맥을 유지하고 있는 실정이다. 현재 FVM CODE로는 FLUENT, PHOENICS, CFX, STAR-CD 등이 많이 사용되고 있다.

초고압 가스차단부의 냉가스 해석이 가능한 다양한 상용 프로그램들이 있다. 그러나 차단기의 가동부를 효과적으로 모의하여 신뢰성이 있는 해석결과를 제시하고 있는 경우는 드문 편이다. 현재 국내외 연구자들은 대부분 PHOENICS를 사용하여 좋은 결과를 얻고 있다. 상용 프로그램은 입출력기능이 편리하게 되어 있으며 계산결과에 대한 신뢰성은 좋으나 프로그램이 범용이어서 소요되는 메모리 용량이 커야 하며, 계산시간이 많이 소요되며 속달되는데 상당한 기간이 요구되는 단점이 있다.

냉가스해석은 소호부내의 가스밀도, 압력분포, 속도분포를 주로 계산하여 소호부의 노즐, 주접점, 아크접점 등에 대한 최적형상을 구하는데 이용되며, 특히 진상소전류 차단성능을 개선하기 위해 널리 사용되고 있다. 전체 해석 및 냉가스해석을 결합시키면 소전류차단성능의 예측이 가능하며 이 경우 주어진 형상의 소호부에 대하여 값비싼 단락시험에 의하지 않고도 취약한 부분을 찾아내어 수정을 함으로써 설계 및 제작상의 효율을 높일 수 있다.

#### 다) 열가스 유동해석

아크가 존재하는 경우의 소호부내의 유동해석을 아크 해석 또는 열가스해석이라고 하며 냉가스해석에 비해 해석상에 어려운 점이 많다. 열가스해석에 의해 노즐내의 압력, 전계, 밀도, 속도 등의 분포를 계산할 수 있으며, 전류차단후의 열회복특성이나 절연회복특성까지도 정성적인 분석은 가능하다. 아크가 존재하게 되면 우선 아크접점이 고온의 아크전류에 의해 용손이 되며, 이 현상은 수직화 하기가 거의 불가능하다. 전류가 커지면 아크의 직경이 커져서 결국에는 노즐목 부분을 막아 버리는 노즐폐색현상이 일어나기도 한다. 그리고 고온의 아크 플라즈마로부터 방출되는 방사현상 (Radiation)에 대한 정확한 모델링도 아직은 어려운 상태이다. 또한 이 방사된 에너지가 노즐내벽에 도달하면 현재 주로 노즐의 재질로 사용하고 있는 테플론(PTFE)인 경우는 용삭(Ablation)이 많이 일어난다. 이런 모든 현상들을 아크모델에 정확하게 고려하는 것은 현재로서는 거의 불가능한 실정이다. 따라서 한정된 특수한 상태에서 계산을 하는 방법(예, 짧은 기간 동안에 일정한 DC 전류로부터 전류를 감소시켜서 0점에 이르게 하는 방법 등), 실험결과에서 어떤 변수를 얻어서 계산을 하는 이론과 실험을 병용하는 방법(예, Integral Method) 등에 의해서 정성적인 아크해석을 하는 것이 주된 흐름이었다.

최근 들어 일본을 중심으로 FLIC(Fluid In Cell)법을 이용하여 초고압 GCB의 차단부에 대한 열가스해석을 활발히 하고 있으며 그 결과를 GCB 설계에 적용하여 상당한 효과를 보고 있다. 그러나 이들은 아크직경을 경험에 근거한 추정치를 사용하고 있어 정확도에 있어 아직 한계가 있다. 현재 영국의 Liverpool 대학, 독일의 Aachen 대학, 그리고 일본의 주요 전력기기 제조업체들에서는 차단기의 가동부의 이동에 대한 모의가 용이하고 User-coding이 가능한 상용 CFD 프로그램인 PHOENICS를 이용하여 열가스해석을 하고 있으나 해석결과에 결정적으로 영향을 미치는 아크에 대한 모의방법은 서로 다르다. 영국의 Liverpool 대학은 PHOENICS에 그들이 보유하고 있는 아크모델을 접합시키는 데 성공하

였으며 245kV 40kA 복합소호형 GCB 차단부에 대한 열가스해석을 수행하여 아주 좋은 결과를 얻었다.

후후 열가스해석 결과의 정확도가 보다 더 향상되면 초고압 GCB 차단부 설계에 획기적인 도움이 될 것으로 보이며 해외 중전기 선진업체들은 이 분야의 기술개발에 심혈을 기울이고 있다. 열가스해석 다음 단계는 차단시의 아크접점의 용손에 의한 Cu 및 W의 금속증기 혼입의 영향을 고려한 차단성능해석이 주요 과제로 대두될 전망이다.

#### 라) 차단성능해석

차단부에 대한 해석기술들의 궁극적인 목표는 단락시험에 의하지 않고도 설계된 차단부의 차단성능 여부를 예측/판단하는 것이므로 차단성능해석의 중요성은 점차 증가하고 있다. 현재 소전류차단성능 해석은 상당한 수준까지 도달하였으나 대전류차단성능 해석은 아크모델을 이용한 정성적인 해석은 다소 실시된 바가 있으나 아직은 초기단계이다. 최근 들어 영국 Liverpool 대학에서는 상용 CFD 프로그램과 아크모델을 결합시켜 대전류차단성능 해석을 하여 좋은 결과를 얻었다. 그러나 위에서 언급한 궁극적인 목표를 달성하는 데에는 아크접점의 용손, 테플론 노즐의 용삭, 노즐폐색 등까지 포함한 차단성능 해석기술의 개발이 필요하다.

### 3. 결 론

지금까지 국내의 초고압 GIS 업계는 전 세계시장을 대상으로 할 수 있을 정도로 대부분의 기종을 국산화 개발을 완료하였으며 현재는 품질과 가격 경쟁력 제고를 위한 신뢰도 향상 기술, Compact화 기술, 시스템화 기술 등의 개발에 주력하고 있다.

향후 세계시장에서의 초고압 GIS 분야도 전력산업의 IT화 추세에 따라 새로운 전기를 맞이할 것으로 전망되며 개별 전력기기, 정보통신, 전력전자 등의 분야에서의 국내기술의 강점을 충분히 활용하여 이 분야를 선도해 나갈 필요가 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] SEFETY INSTRUCTION No 33, Rev. 1, June 1999
- [2] ANSI for Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60Hertz), 1995
- [3] 산업기술 주요통계요람 2003, 한국산업기술진흥협회 2003
- [4] 전기공업통계, 한국전기공업진흥회, 각 년도
- [5] 광공업통계조사보고서, 통계청 2003
- [6] 조합원명부, 한국전기공업협동조합 2003
- [7] International Trade statistics Yearbook, UN, 1997-2001
- [8] 관련기업 web site
- [9] 국내 해당업체별 문의(2003. 6월)
- [10] The World Market for Transformers, Goulden Report 20 01
- [11] The World Market for High Voltage Switchgear, Goulden Report 2001
- [12] The world Market for Low Voltage Protection components, Goulden Report 2001
- [13] BOSMA, A., Franz-Josef Koerber, Roberto Cameroni, and Richard Thomas, Motor Drive with Electronic Control for HVAC Circuit-Breakers, CIGRE session 2002, 13-203
- [14] BOSMA, A. and SCHREURS, E., Cost optimization versus function and reliability of HVAC circuit-breakers, CIGRE session 2000, 13-102
- [15] CIGER Technical brochure 83: final report of the second international enquiry on high-voltage circuit-breaker failures and defects in service, June 1994
- [16] IEC 60694, 1995 : Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards
- [17] IEC 60255 : Electrical relays (in applicable parts)