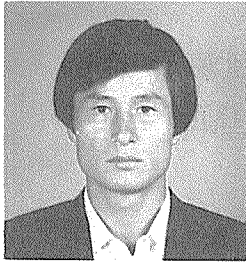


# 국내외 초고압 GCB/GIS의 연구개발 동향



한국전기연구소  
연구원 박경엽

## 1. 서론

우리나라도 생활수준의 향상과 고도정보화 사회로의 이행이 가속화됨에 따라 양질의 에너지인 전력수요가 급증하여 최근 5년간('87-'91) 최대전력수요가 연평균 14.0%의 높은 증가율을 나타내고 있다[1]. 또한 우리나라에서는 전력수요가 대부분 대도시지역이나 공업지역에 집중되고 있고, 전원과 부하의 심한 편재현상 때문에 지역간의 전력수급을 원활히 하고 경제적이고 안정적인 전력수송을 위한 전력계통의 환상망이 확대되는 경향이 있으므로 차단기에 요구되는 차단용량이 점점 증가할 것으로 판단된다. 그리고 도시지역에서는 변전소부지의 확보가 어렵고 설치공간에 제약이 많으므로 GCB/GIS의 소형화가 필연적으로 요구될 것이며, 이를 위해서는 GCB의 1점 절당의 고전압·대용량화, 조작기구부에 대한 구동에너지의 최소화, 차단부의 3상일괄탱크화 등이 진행될 것으로 전망된다. 본 논문에서는 GCB/GIS 중에서 주로 170kV급 이상에 대해서 국내외의 연구개발 동향에 대해 논하고 배전급에 대해서는 추후에 논하고자 한다.

## 2. 국외의 연구개발 동향

21 GCB/GIS의 개발역사

현재 사용중인 거의 대부분의 GCB(Gas Circuit Breaker)는 소호매질로서 SF<sub>6</sub>가스를 사용하고 있으며, Lingal 등[2]에 의해서 1950년대 초에 이미 AC 전류를 차단하는데 있어서 SF<sub>6</sub> 가스의 탁월한 성능이 알려졌다. 1959년에 미국 Westing House사에 의해 SF<sub>6</sub> 가스를 이용한 상용 GCB가 개발되었으며[3], 이어서 유럽 및 일본에서도 SF<sub>6</sub> 가스를 이용한 GCB의 개발에 성공하게 되었다[4]. 이 당시의 GCB는 소위 복압형 구조로 되어 있어서 전류를 차단하기 위해서는 미리 충전된 고압탱크로부터 고압의 SF<sub>6</sub> 가스를 아크에 분사하면서 저압탱크로 흘리는 방식이었다. 그러나 복압형은 소요되는 부품수가 많을 뿐만 아니라 고압으로 압축된 SF<sub>6</sub> 가스가 액화되기 때문에 사용온도에 제약이 따르는 등의 단점이 있었다.

최초의 상업용 SF<sub>6</sub> 파퍼형 GCB(또는 단압형 GCB)는 1961년에 역시 미국 Westing House사에 의해 개발되었으며[5], 이 형태의 GCB는 상시 일정압력으로 유지하고 있는 가스탱크내에서 개극동작시에는 피스톤과 압축실린더에 의해 SF<sub>6</sub> 가스를 고압으로

압축시켜서 아크에 분사시켜 소호한다. 이 방식은 부품수도 적고 상시고압가스를 필요로 하지 않으며 GIS에 용이하게 채용될 수 있으므로 대대적으로 보급되어 현재에는 GCB의 대부분이 파퍼형이다. 파퍼형 GCB는 초기에는 단일유동형(Single Flow)으로 비교적 소용량의 GCB에 적용되었으나, 이중유동형과 대출력의 조작기구가 개발됨으로써 대용량 GCB에도 사용되었다. 현재에는 아크의 열에너지를 적극적으로 이용한 효율이 높은 하이브리드형 소호실이 개발되어 여러 기종의 차단기에 널리 채용되고 있다.

대용량 GCB에는 공기조작기가 한 때 주도적으로 사용되었으나 콤프레서 등에 대한 일상의 보수점검의 불편함때문에 현재에는 보수점검이 불필요한 유압조작기가 많이 사용되고 있다. 또한 배전급 차단기에 주로 사용되고 있는 전동스프링조작기는 차단기의 소호실이 보다 작고 가벼워짐에 따라 72/84kV급 까지에는 채용되었으며 가까운 장래에 84kV급 이상에도 적용될 것으로 전망된다. 그림 1에 일본 Toshiba사의 GCB 개발추이를 나타낸다[4].

전압	년	70		80		90	
		소호방식	조작기구	소호방식	조작기구	소호방식	조작기구
72 / 84 KV	소호방식	파 퍼(single flow)		파 퍼(double flow)		하이브리드 파퍼	
	조작기구	공 기		유 압		전 동 스프 링	
120/168/204	소호소호	복 압 식		파 퍼 (1 점 절)			
	조작기구	가 스		공 기		유 압	
240/300	소호방식	복 압 식		파 퍼 (2 점 절)		하이브리드 파퍼	
	조작기구	가 스		공 기		유 압	
550	소호방식			파 퍼 (4 점 절)		파 퍼 (2 점 절)	
	조작기구			공 기		유 압	

그림 1. 일본 Toshiba사의 GCB 개발추이

2.2 아크의 소호과정

파퍼차단기의 소호실에서 전류통전중에 접점이 개리되면 접점간에 아크플라즈마가 발생한다. 상용주파의 전류0점에서 보통 아크플라즈마는 소호되고 접점간에 절연회복이 생긴다. 이 경우 전류차단시에 발생하는 전압진동현상인 과도회복전압과 그 후의 상용

주파회복전압에 접점간의 절연이 견디면 차단이 완료된다. 따라서 차단이 성공하기 위해서는, 전류0점에서 아크플라즈마가 소멸한 후에 생기는 접점간의 절연회복이 외부회로에 의해 인가되는 과도회복전압보다 높아야 한다.

전류가 전류0점에 가까워지면 아크가 냉각되고 아

크의 직경이 감소한다. 전류0점후의 잔류플라즈마는 하전입자의 밀도가 높고 아직 전기전도성이 있으므로, 인가된 과도회복전압에 의해서 고저항의 잔류플라즈마 내부를 통해 전류가 흘러서 잔류플라즈마를 가열하게 된다. 고저항을 통해서 전류가 흐르기 때문에 과도회복전압은 순간적으로 0은 되지 않고 파형은 조금 찌그러지게 된다. 이 때 가열효과가 냉각효과보다 크면 아크는 지속되며, 차단실패에 도달하게 된다. 반대로 냉각효과가 가열효과보다 크면 아크플라즈마의 절연성능은 점차 회복되어 (이 현상은 전기전도성을 가진 고온의 플라즈마가 회복되는 과정이므로 열적회복이라고 부른다), 외부에서 인가되는 과도회복전압을 견딜 수 있게 된다. 차단기의 열적회복성능은 차단기로부터 사고점까지의 선로의 과도진동에 의해 과도회복전압의 초기부분에서 전압이 급격히 상승하는 SLF 차단시험시에 주로 문제가 되는 현상이다.

한편, 전류0점 직후에 아크플라즈마의 냉각효과가 가열효과보다 크게 되면 잔류플라즈마내에 존재하는 하전입자들이 재결합 등으로 인하여 감소해서 전기전도성을 점차로 잃게 되고 절연이 회복되게 된다. 이 과정은 시간적으로 열적회복 이후에 일어나므로 유전적회복 (또는 단순히 절연회복)이라고 부른다. 그러나 이 절연회복기간에도 잔류플라즈마 중에는 하전입자가 존재하고 아크에 의해 가열된 고온의 열가스가 전극사이에 존재하고 있으므로, 과도한 과도회복전압이 인가되면 절연파괴가 생기고 과도회복전압은 순시에 0으로 떨어지게 된다. 대전류차단 후에 높은 과도회복전압이 인가되는 BTF 시험시에 주로 문제가 되는 현상이다.

소전류차단시의 절연회복은 유전적회복의 일종이지만, 전류가 작기 때문에 잔류플라즈마의 영향은 거의 없고, 전극의 개리거리에 의해 결정되는 전계 및 가스류에 대한 의존성이 높다. 차단후에 전극간에  $1 - \cos\omega t$ 의 과도회복전압이 인가되는 무부하 송전선로의 충전전류차단에 주로 관계가 되는 절연회복특성이다. 여기서  $\omega$ 는 상용주파수에 해당하는 각속도이며,  $t$ 는 시간이다.

### 2.3 차단현상 연구

차단현상에 대한 연구의 기원은 전류차단 및 절연

회복의 개념이 제창된 1900년대의 초까지 거슬러 올라간다. 최초로 이 개념의 정량화에 성공한 사람은 Cassie/Mayr로 [6, 7], 아크플라즈마를 도전율의 변화를 포함한 수식으로 표현되는 모델로 아크의 동특성을 나타내었으며, 이것으로서 전류차단을 전기회로현상으로 취급하는 것이 가능하게 되었다. 그 후에 공기차단기가 개발되고 공기분사 아크의 특성연구가 진행되어 1950년대에는 Frind 등에 [8]의해서 아크플라즈마의 물리적 특성이 해명되고, 차단현상을 물리적 모델로 검토하게 되었다.

SF<sub>6</sub> 가스의 우수한 소호성능이 알려진 1960년대부터 SF<sub>6</sub> 가스를 이용한 개폐기가 보급되고 SF<sub>6</sub> 가스 중에서의 차단현상에 대한 연구가 활발하게 수행되기 시작했다. 최초는 SF<sub>6</sub> 가스의 아크플라즈마에 대한 기초적인 특성을 조사하는 연구가 주된 연구였으며, 아크플라즈마의 특성을 실측하는 연구, 또는 여러가지 물리적 아크모델의 연구에 관한 보고가 많이 발표되었다[9, 10].

1970년대 이후에는 GIS의 보급에 수반하여 실용적인 연구가 많이 수행되었다. GCB의 절연회복특성을 해석하고 차단성능을 향상시키기 위해서, 대전류차단시의 전류파이크치 부근 및 전류0점부근의 아크특성, 소전류차단시의 가스류특성 및 계통의 특수한 차단조건에서의 현상규명도 수행되었다. 전류0점부근에 대해서는 전류차단후에 잔류하는 플라즈마를 통해 흐르는 잔류전류에 대한 실험적 연구를 통해서 차단특성과 분사가스특성과의 관계가 조사되었으며, 0점부근의 아크현상을 규명하기 위해, 정상 및 과도(Steady State and Transient) 아크해석모델도 개발되었다. 따라서, 아크플라즈마의 냉각이 파파형 소호실의 형상에 의존하는 특성, 즉 소호실형상과 열적회복특성과의 관계가 파악되었다. 그리고 소전류차단에서는 아크의 영향이 적어지고 오히려 가스류 자체의 특성에 의해 성능이 좌우되며, 파파실내의 압력이 증가하면 가스류가 초음속으로 되어 극단적인 경우에는 노즐내부에 충격파가 발생하고 밀도의 급격한 변화가 생기므로, 이 현상을 파악하기 위해 가스류의 압력, 밀도변화 등이 측정되었다.

### 2.4 GCB/GIS의 개발과정

차단기의 개발과정은 크게 3가지로 나누어 볼 수

있다. 즉 Simulation, 설계 및 제작, 그리고 성능시험이다.

☐ SIMULATION

Simulation 과정에서는 주로 전계해석, 유동해석 및 아크해석 등을 수행하며 기존의 상용 프로그램들을 사용하거나 목적에 적합한 특수한 프로그램을 자체개발해서 사용할 수도 있다.

전계해석방법에는 크게 영역분할법과 경계분할법이 있으며, 세분하면 영역분할법에는 차분법과 유한요소법으로, 경계분할법에는 전하중첩법과 표면전하법으로 구분할 수 있다. 각각 장단점을 가지고 있지만, 3차원해석이나 계산결과에 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, MAX WELL, FLUX 2D, FLUX 3D, IMAS 등)이 있으며 주로 유한요소법을 채용하고 있다. 이 분야의 국내수준도 국제적으로 손색이 없을 정도로 활발하고 높은 경지에 도달해 있는 것으로 보여지며, 특히 서울대를 중심으로 한 그룹은 자체에서 개발한 우수한 프로그램을 사용하여 많은 좋은 결과를 얻고 있다[11].

GCB인 경우 소호실내의 전계해석, 특히 콘덴서설치의 영향, 주접점과 아크접점의 형상 및 Stroke 곡선에 따른 영향 등이 많이 연구되며, GIS인 경우에는 절연 스페이스의 개발과 모선의 배치, 탱크설계 등에 많이 이용된다. 전계해석은 GCB 및 GIS가 고압·대용량화되고 소형화됨에 따라 더욱 중요성이 높아지고 있다. 그림 2 및 그림 3에 소호부와 절연 스페이스에 대한 전계해석 결과의 예를 나타낸다[12, 13].

유동해석중 아크가 존재하지 않는 냉가스해석은 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 사용하며, FEM CODE로는

FIDAP, FLOTRAN, NEKTOM, 3D-FLUID 등이 있고, FVM CODE로는 FLUENT, PHOENICS, FLOW3D, STAR-CD등이 있다. 상용 프로그램은 입·출력기능이 편리하게 되어 있으며 계산결과에 대한 신뢰성이

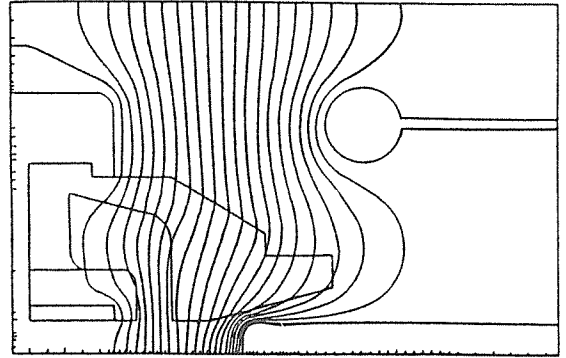


그림 2 소호부의 전계해석 예

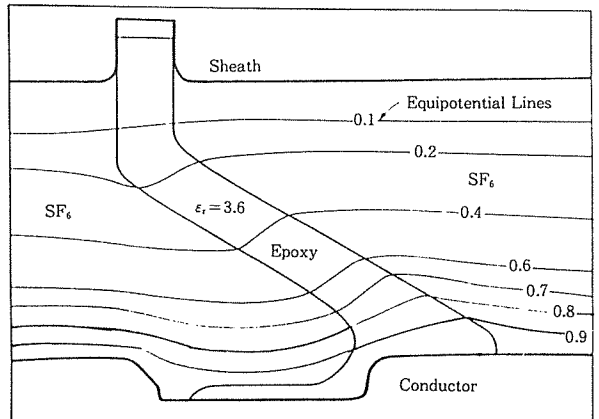


그림 3. 절연 스페이스의 전계해석 예

좋다. 그러나 프로그램이 범용이어서 소요되는 Memory 용량이 커야 하며, CPU Time이 많이 소요되며 속

달되는데 상당한 기간이 요구되는 단점이 있다.

냉가스해석은 소호부내의 가스밀도, 압력분포, 속도분포를 주로 계산하여 소호부의 노즐, 주접점, 아크접점 등에 대한 최적형상을 구하는데 이용되며, 특히 진상소전류나 BTF의 차단특성을 개선하기 위해 널리 사용되고 있다(그림 4 참조). 그림 4와 같은 계산결과를 이용하면 주어진 형상의 소호부에 대하여 값비싼 단락시험에 의하지 않고도 취약한 부분을 찾아내어 수정을 함으로써 설계 및 제작상의 효율을 높일 수 있다.

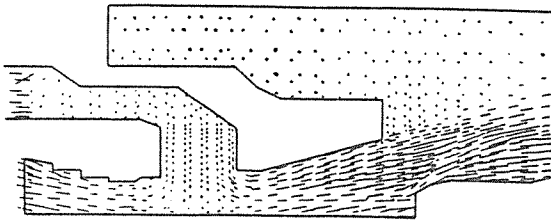


그림 4. 냉가스해석의 예(속도)

아크가 존재하는 경우의 소호부내의 유동해석(아크해석 또는 열가스해석이라고도 부른다)은 냉가스

해석보다 훨씬 어렵다. 아크가 존재하게 되면 우선 아크접점이 고온의 아크전류에 의해 용손이 되며, 이 현상은 수식화하기가 거의 불가능하다. 그리고 전류가 커지면 아크의 직경이 커져서 종래에는 노즐목부분을 막아 버리는 노즐폐색현상이 일어나기도 하며, 또한 고온의 아크플라즈마로부터 방출되는 방사현상(Radiation)에 대한 모델링도 아직은 어려운 상태이며, 또 이방사된 에너지가 노즐 내벽에 도달하면 현재 주로 노즐의 재질로 사용되고 있는 PTFE인 경우는 용삭(Ablation)이 일어난다. 이런 모든 현상들을 아크모델에 정확하게 고려하는 것은 현재로서는 불가능한 실정이다. 따라서 한정된 특수한 상태에서 계산을 하는 방법(예, Differential Method와 같이 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 하고 있는 실정이다. 열가스해석에 의해 노즐내의 압력, 전계, 밀도, 속도 등의 분포가 계산될 수 있으며, 전류차단후의 열적회복특성이나 절연회복특성까지도 정성적인 분석은 가능하다(그림 5 참조).

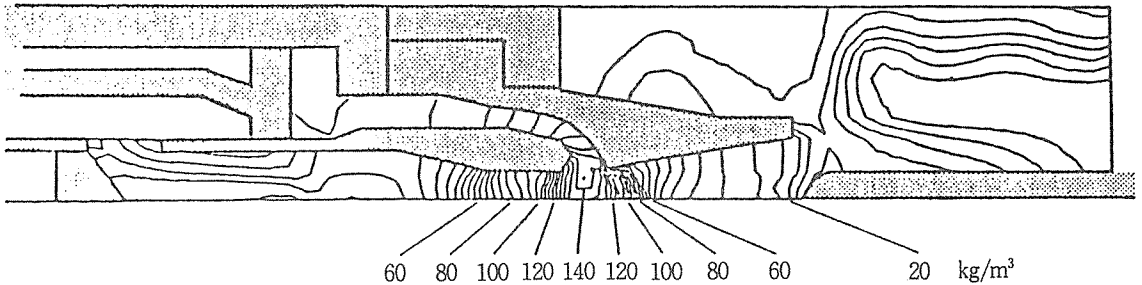


그림 5. 아크해석의 예(밀도)

■ 설계 및 제작

파괴형 GCB는 실린더와 피스톤으로 구성되는 파괴실이라 불려지는 압축실을 가지고 있다. 전극의 개리에 수반하여 실린더와 피스톤은 상대운동을 하면서 가스를 압축하며, 이 압축된 고압가스를 전극사이에 존재하는 아크에 분사해서 그것을 냉각시킨다.

현재까지 수행된 연구개발의 결과분석에 의하면

다음과 같이 파괴형 GCB의 절연회복특성에 영향을 미치는 주요한 요소들이 확인되고 있다. 즉, SLF 차단에 의해 아크플라즈마의 냉각에 필요한 분사압력인 파괴압력을, BTF 차단에 의해 아크에 의한 노즐폐색을 방지하고 열가스를 충분히 배출하기 위해 필요한 노즐목직경을, 진상소전류차단에 의해 필요한 전극의 개리거리를 얻기 위한 개극속도를, 뇌임펄스내전압에 의해 개극상태에서의 전극의 개리거리를 얻기 위해 필요한 스트로크길이를 각각 구하는 것이

가능하다. 이들 제원에 의해 필요한 파퍼실 가스압을 얻기 위한 압축단면적이 정해지고 파퍼실린더 직경이 정해진다. 그리고 설계과정에서는 전개해석에 의한 접점(또는 전극)형상의 최적화 및 탱크직경에 의

해 영향을 받는 전극의 전개변화들도 고려하여야 한다. 그림 6은 GCB의 차단부를 설계하기 위한 흐름도를 나타낸다.

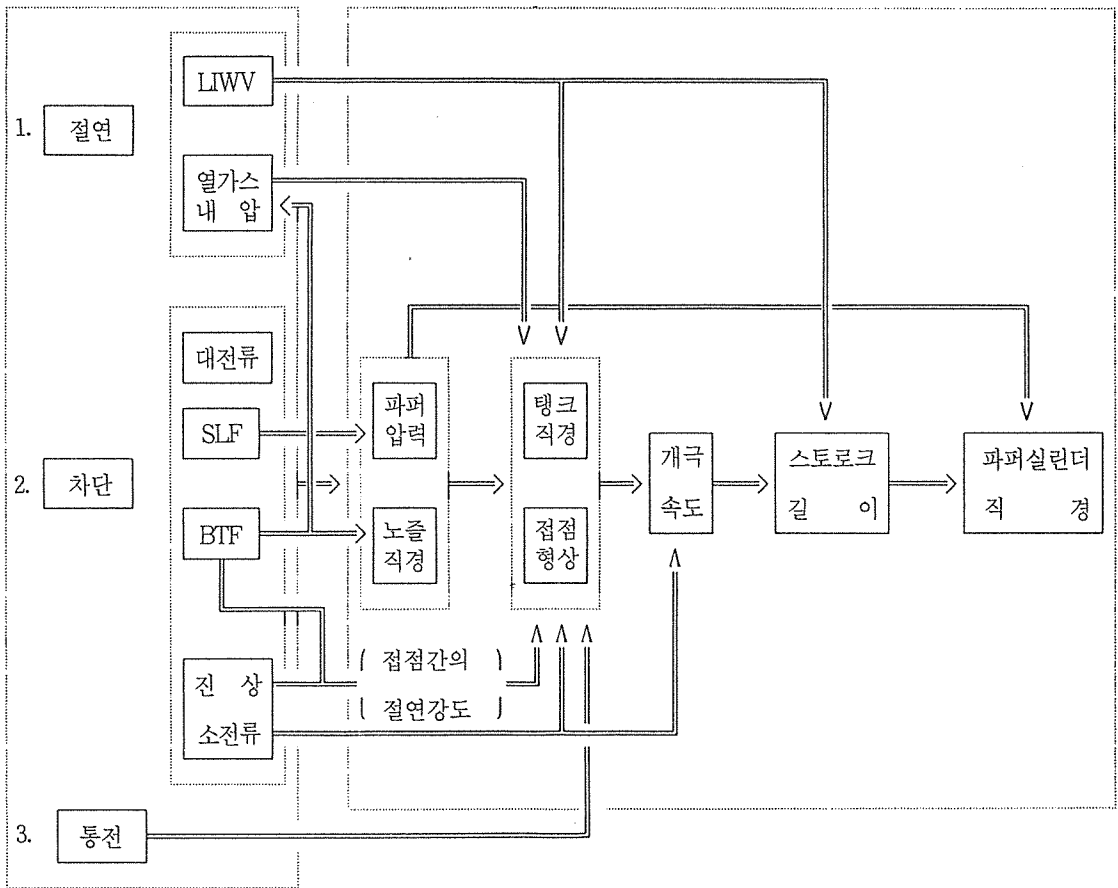


그림 6. GCB의 차단부설계 흐름도

◆ 성능시험

GCB의 1점절당의 차단용량이 증대됨에 따라 단락 발전기만을 이용하는 직접시험으로서는 차단기의 차단용량을 맞추기 수가 없게 되었다. 따라서 여러가지 등가시험법이 발표되었지만 현재까지는 1950년대에 개발된 합성시험법인 Weil-Dobke법이 가장 널리 사용되고 있다. Weil-Dobke법은 전류는 단락발전기로부터 공급하고 파도회복전압은 콘덴서로부터 공급하므로 시험가능한 차단기의 차단용량을 획기적으로증가시켰다. 1980년대에는 다점절탱크형 GCB의 전 점

절시험, 3상일괄탱크형 GCB의 3상시험, 진상소전류 차단 등가시험, 단로기 및 접지개폐기의 시험 등을 위한 시험방법들이 개발되었다.

GCB 개발시에는 통상 제작된 시작품에 대해 SLF 시험, BTF 시험, 그리고 진상소전류시험을 참고시험으로 주로 행하고, 개발이 완료되면 관련 규격에 따른 개발시험을 실시한다.

2.5 최근의 GCB/GS 개발동향과 추후전망

GCB/GIS 개발의 최종목표는 경제성과 신뢰성의 확보이다. 경제성의 확보를 위해서는 기기의 소형화

논단 I

및 조작력의 감소가 필수적이며 아울러 유지보수성도 고려하여야 한다. 기기의 소형화를 위해서는 그림 7에서 알 수 있듯이 1점절당의 고압·대용량화, 3상 일괄형화 등이 효과적이며, 조작력의 감소를 위해서는 최적 조작기구를 도입함은 물론 아크의 열에너지

를 이용하는 자력소호원리의 활용도 효과적이다. 신뢰성향상을 위해서는 검사기능을 고도화하고 사람의 실수를 줄이는 연구가 필요하다(그림 7 참조).

개폐기기는 전력기기중에서 기술혁신이 가장 빠른 편이다. SF<sub>6</sub>가스는 1960년대에 파퍼형이 아닌 이중압

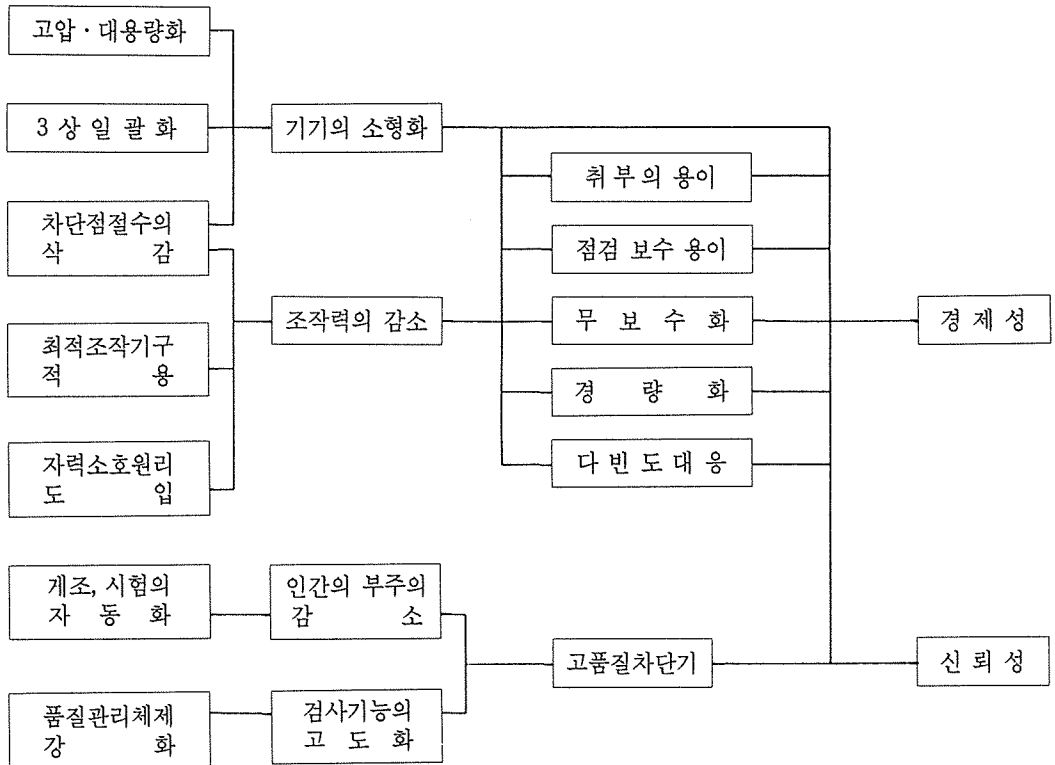


그림 7. GCB의 개발기술과 효과

력형 차단기에 많이 이용되었다. 그러나, 1970년대에 들어서 파퍼형이 아닌 이중압력형 차단기에 많이 이용되었다. 그러나, 1970년대에 들어서 파퍼형 SF<sub>6</sub> 가스차단기에 대한 연구개발이 활발하게 진행되어, 300kV 2점절, 550kV 4점절 차단기가 70년대 중반에 개발되고, GIS용의 DS, ES 등도 거의 70년대에 개발되었다. 1980년대 이후에는 소호실형상의 최적화, 신방식의 소호실 개발, 신방식의 구동부 개발등에 의해 1점절당의 고압·대용량화가 더욱 현저하게 되었다(그림 8 참조).

소호실형상의 최적화는 노즐형상의 최적화에 주력하였으며, 아크의 축방향길이의 반이상을 점하는 노

즐목이 하류장에서의 가스흐름의 변화를 최소화하기 위한 연구가 수행되었다. 70년대에는 가스류가 등엔트로피로 변화하고, 충격파의 발생은 없다고 생각했으며, 노즐형상은 DeLaval노즐을 채용하였다. 그 후에 고전압 1점절의 확대에 의해 전극의 개리거리가 길어지고, 노즐목의 하류장이 길어졌다. 노즐형상에 대한 연구를 통해 노즐벽면으로부터의 유동분리 현상이 적어지고, 노즐의 보다 하류장부분까지 일정한 가스류가 유지되도록 하는 것이 가능해졌다.

한편, 소호실방식으로서 SF<sub>6</sub> 가스를 고정점점 및 가동점점의 양방향으로 효율적으로 분사하는 유사 이중유동형이 채용되었으며, 가스압축을 보다 효율적

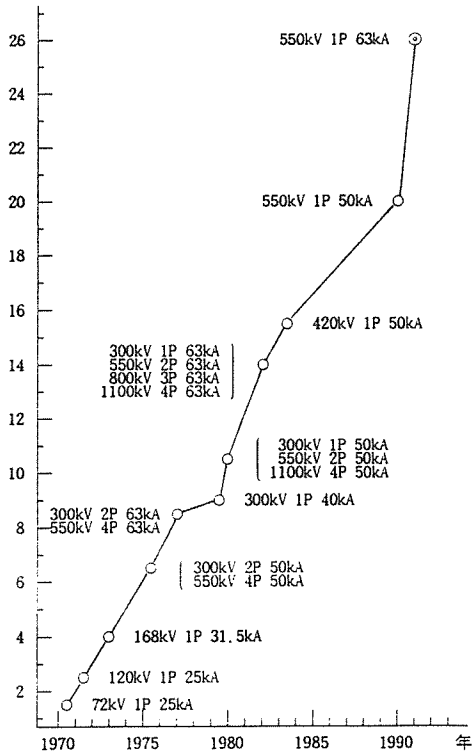


그림 8. GCB 1점절당의 차단용량의 변화

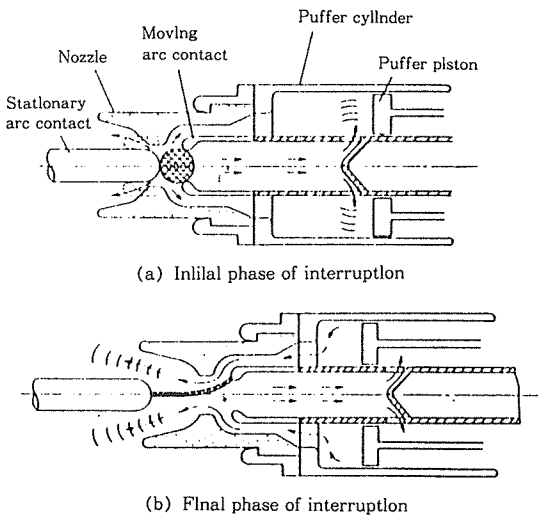


그림 9. 하이브리드 파퍼방식 소호부

드 파퍼방식이 개발되었다(그림 9 참조). 이 하이브리드방식은 일본에서는 이미 72kV-550kV급 차단기에 대해 널리 채용되고 있다.

또한, 전극의 구동방식으로는 파퍼실축의 가동점 접만을 구동하는 Single motion이 일반적이었으나, 일본 Toshiba에서는 550kV 1점절의 개발을 위해, 전극의 개리속도를 증대시키기 위해서 서로 반대방향으로 전극을 동시에 구동하는 Dual motion 방식을 개발하였다. 그리고 차단기 이외의 DS, ES 등에 대해서도 새로운 방식을 개발하고 있다. 차단전류가 작고 차단조건이 가혹하지 않으므로 파퍼는 필요하지 않지만, 병렬방식은 문제가 있어서 자기구동형, 흡입형 등을 개발해서 채용하고 있다.

■ 차단성능 향상을 위한 기초연구 ■

차단현상의 연구는 아크플라즈마의 특성해석이 주가 되어왔다. 따라서 아크플라즈마를 구성하는 이온 및 중성입자 등에 대한 기초연구, 플라즈마로서의 제 특성연구 및 전기적 특성연구를 하고 있다. 전기적 특성연구에는 아크전압 및 아크전류의 측정에 의해서 아크플라즈마의 전압 및 전류특성을 해석한다. 측정된 전류와 전압으로부터 아크저항 또는 그 역수인 전기전도도가 얻어진다. 전기적 특성은 비교적 용이하게 측정이 가능하지만, 전기회로와 아크플라즈마의 상호작용을 검토하기 위해서는 중요한 특성이다.

플라즈마의 특성에 대한 연구는 분광측정과 같은 광학적 측정을 이용해서 아크플라즈마의 온도, 전자 밀도, 가스류의 속도 등의 물리량을 해석한다. 측정이 복잡하고 어렵지만 아크플라즈마의 특성을 직접 얻을 수 있으므로 장점이 있다. 최근에는 컴퓨터를 이용한 플라즈마 해석기술이 고도화되고 있으며 측정기술의 발달과 함께 아크플라즈마의 특성해석에 크게 기여하고 있다.

아크플라즈마를 구성하는 입자에 대한 연구는 아크플라즈마의 특성을 결정하는 입자구성을 해명한다. 입자의 여기, 전리에너지 등의 입자레벨의 물리량을 이용하고 있으므로 기초적인 연구가 더 필요하다.

차단현상의 연구에는 이들 연구를 통해서 간접적으로 새로운 방식의 개발에 기여한다. 또, 시험의 등가성을 논하는 데는 차단현상에 관한 지식이 필요하다. 차단현상의 연구는 차단기술의 기본이 된다.

으로 하기 위해서 아크에너지를 이용하는 하이브리



■ 차단기의 연구개발에 대한 장래전망 ■

금후의 차단기의 연구개발의 주된 방향은 아크플라즈마현상에 대한 기초연구, 가스류에 대한 해석 및 계통의 특수한 현상을 고려한 아크해석 등이 될 것이다.

아크플라즈마현상에 대한 연구는 여러가지의 가정하에 성립하는 유체방정식을 이용해서 하고 있다. 아크현상의 물리적인 원리를 보다 더 잘 파악하기 위해서는, 입자자체의 특성을 모의해서 임의적인 거동을 Monte Carlo법으로 모의하는 직접적인 해석기법을 개발하는 것이 바람직하다. 그리고, 전극의 증발에 수반되는 금속증기의 혼입을 고려한 입자구성의 해석도 기대가 된다. 이들의 연구에 의해서 열적회복특성 및 절연회복특성에 대한 현상구명을 함으로써 대전류차단성능을 크게 증가시킬 것으로 믿어진다.

가스현상에 대한 연구로 충격파의 발생기구를 분석하면 소전류차단성능의 향상을 기할 수 있을 것이다. 또한, 열가스류의 해석에는 열가스류의 절연과괴 특성의 실험적인 분석에 의해서 열가스류의 해석의 정확도를 향상시키는 것이 가능할 것이다. 그러면 탱크내부의 지락 및 3상일괄 탱크내의 상간단락을 방지할 수 있는 합리적인 설계가 가능할 것이다.

새로운 방식에 의한 차단기개발을 위해서 다음과 같은 방법들이 고려되고 있다. 즉, Dual motion 방식, 자력소호방식, 혼합가스방식, 저 차단씨지방식 등이다. Dual motion 방식은 구동에너지의 절감에 효과적이며 점절당의 차단전류의 증대를 위해 사용되고 있지만, 현재 일본에서 550kV 1점절에 적용하고 있는 정도이며, 300kV급 이하인 경우에는 구동기구의 복잡화와, 적용에 의해 얻어지는 효과를 잘 비교해 볼 필요가 있다. 자력소호방식에서는 하이브리드 파괴방식에서 얻은, 아크에너지의 효과적인 이용결과를 더욱 진전시키는 방법이 고려되고 있다. 또한, 자력소호방식에서는 소전류차단특성을 개선하기 위해서 자계에 의한 소호방식을 아크구동방식과 병용해서 사용하는 것이 고려되고 있다. SF<sub>6</sub> 가스의 액화를 방지하면서 고가스압화가 가능한 혼합가스에 의한 소형화가 고려되고 있으며, 진상소전류차단시에 문제로 대두되는 충격파의 발생을 방지할 수 있는 가스, 또는 난류효과에 의한 열전도율이 커서 SLF 차단성능에 우수한 가스 등에 대한 연구가 기대된다. 마지막

으로, GIS의 축소화를 위해서 씨지의 저감대책이 필요한데, 이를 위해 저항차단방식의 개발, 조상용 리액터의 차단에 이용되고 있는 개극위상제어방식의 적용 등이 고려되고 있다.

3. 국내의 GCB/GIS의 연구개발 동향

■ 개발현황 ■

1970년대말부터 1980년대초 사이에 외국기술의 도입에 의해 GCB 및 GIS의 개발생산이 시작되었으며 1978년에 170kV-31.5kV GCB, 1979년에 362kV-40KA (2점절) GCB, 1980년에는 170kV 및 362kV GIS가 처음으로 국내에서 생산이 되었다. 그러나 이 당시의 기술수준은 미약하여 제작도면 및 주요부품을 수입하여 국내에서 제작하는 정도였다. 1980년 10월에 한국전기연구소의 단락시험설비가 완공됨에 따라 GCB/GIS의 부품의 국산화가 활발하게 진행되어, 1987년에는 170kV-31.5kA GCB 및 GIS가 SF<sub>6</sub> 가스 및 붓싱을 제외하고는 모든 부품이 국산화 되었다.

1990년대 초부터 GCB의 소형화, 고전압화, 대용량화가 진행되기 시작하여, 1991년에 3상일괄형 170kV-31.5kA GCB, 이어서 1992년에는 3상일괄형 170kV-50kA GCB가 개발되었으며, 1993년에는 362kV-40kA 1점절의 참고시험이 성공적으로 끝났다. 한편, 한국전력의 생산기반기술에 대한 적극지원에 힘입어 현재 800kV-40kA 2점절 GCB가 개발중에 있으며 362kV-63kA 2점절 GCB의 개발이 곧 착수될 전망이다.

■ 향후전망 및 문제점 ■

차단기분야의 개발수요는 한국전력의 송변전계통의 변화에 좌우된다. 2000년대에는 765kV로의 송전전압의 격상이 확실히 되고 있고 도시지역의 과밀화에 따른 변전소 부지확보의 문제때문에 GCB/GIS의 소형화를 위한 고전압화, 대용량화, 3상일괄 탱크화, 구동에너지의 최소화 등이 가속화 되리라고 판단된다. 그리고 최근들어서 차단기업계, 학계 및 연구소의 유기적인 협력체계가 공고해짐에 따라 우리나라 차단기업계의 고질적인 취약부분이던 GCB/GIS 설계기술의 국산화가 가까운 장래에 이루어질 전망이다.

그러나 선진외국의 기술은, 특히 차단기분야는 나날이 발전해 가고 있으므로 단지 선진국 기술의 도입 또는 모방에 의한 개발은 장래에도 우리나라의 차단기관련기술을 선진국기술에 종속시키는 결과만을 초래할 것이므로 배전의 노력이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

차단기개발에는 아직도 기술혁신이 계속되고 있으며, 특히 최근 10년간의 기술발전은 눈부실 정도이며, 금후에도 이 경향은 계속될 것으로 예상된다. 차단기의 대용량화, 소형화, 저 구동에너지화 및 저 써지화를 달성하기 위해서는, 차단기술의 기초로 되는 차단현상의 연구로서 아크플라즈마현상, 가스류해석, 계통의 특수현상에 대한 연구가 필수적이며, 제품의 신뢰성을 검증하는 차단시험을 위해서는 새로운 시험법의 개발, 측정의 고도화 및 자동화를 실시할 필요가 있다. 아울러, 새로운 차단방식의 개발을 위해서는 Dual motion 방식, 자력소호방식, 혼합가스방식, 또는 저 차단써지방식 등에 대한 연구 개발이 필요하다.

그리고, 우리나라도 차단기분야의 기술선진국이 되기 위해서는, 우수한 전문인력의 양성과 저변확대는 물론, 지속적인 연구개발비의 투입을 통해 하루빨리 선진국과의 기술격차를 줄이고 자체의 연구개발능력을 향상시켜서 새로운 유망 수출산업으로 급부상하고 있는 이 분야를 중점육성하는 것이 절대적으로 중요하다.

#### 참고문헌

1. 제31회 전력그룹협력회 워크샵, “電力供給 信賴度 向上 對策”, 한국전기연구소 주관, 1993. 11
2. H. J. Lingal, A.P.Strom and T.E.Browne, “An investigation of the arc quenching behaviour of sulphur hexafluoride”, AIEE Trans, Vol. PAS-72, Part 3, 1953, pp. 242-246.
3. R. E. Friedrich and R. N. Yeckley, “A new concept in power circuit breaker design utilizing SF<sub>6</sub>”, AIEE Trans, Vol. PAS-78, Part 3-a, 1959, pp. 695-706.
4. 柳父 吾 및 横田 岳志, “最近의 超高壓가스遮斷機에 關한 技術動向”, T.IEE Japan, Vol. 113-B, No. 4, '93
5. G.J.Easley and J.M.Telford, “A new design 34.5 to 69kV intermediate capacity SF<sub>6</sub> circuit breakers”, IEEE Trans, Vol. PAS-83, 1964, pp. 1172-1177
6. A.M.Cassie, “Arc rupture and circuit severity: a new theory”, CIGRE, Rep. 102, 1939
7. O. Mayr, “Contribution to the theory of static and dynamic arcs”, Arch. Elect., Vol. 37, 1943
8. G. Frind, Zeitschrift fur Angewandte Physik, 12, 1960
9. W. Hermann, U.Kogelschatz, K. Ragaller and E. Schade, “Investigation of a cylindrical, axially blown, high-pressure arc”, J. Phys. D: Appl. Phys., 1974
10. J. F. Zhang and M. T. C. Fang, “Theoretical investigation of a 2kA DC nitrogen arc in a supersonic nozzle”, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 20, 1978
11. “전자장수치해석 기법현황”, 전자장수치해석기법 조사전문위원회, 1992, 대한전기학회
12. N. Kunic, “Switching Phenomena in High-Voltage Circuit Breakers”, Marcel Dekker, Inc., 1991
13. T. E. Browne, “Circuit Interruption”, Marcel Dekker, Inc., 1984.

세계시장 높다 말고 품질로서 뛰어넘자