



가스절연변전소(GIS)의 설계검증을 위한 해석기술

송기동*, 박경엽**, 신영준***

한국전력연구원 신전력기기연구그룹 선임연구원

1. 서론

2000년대의 사회는 정보화, 자동화, 쾌적한 환경 및 복지 후생의 시대로 변모해 갈 것이며, 이에 따라 우리 나라의 전기에너지 수요도 계속 증가하여 발전시설용량이 98년의 43GW에서 2010년에는 74GW로 증가될 전망이다. 이렇게 급격히 증가해 가는 전력수요에 대처하고, 또한 2000년 초로 예정된 우리 나라 최고 송전전압의 격상(345kV에서 765kV로)으로 인해 우리 나라의 발전설비, 송·변전설비 및 배전설비도 크게 증대될 것이다.

그러나, 우리 나라처럼 국토가 좁고 환경문제가 심각한 현 시점에서, 기존의 공기절연 변전소로는 변전소의 부지확보는 물론, 환경, 안정성, 신뢰성 측면에서 능동적으로 대처할 수 없다. 이러한 이유로, 중전기분야에서 경제성을 향상시키고 환경문제에 보다 능동적으로 대처하기 위해, 또한 변전소부지 확보와 지가상승에 대응하기 위해 가스절연 변전소(Gas Insulated Substation, 이하 GIS라 칭함)의 개발이 이미 오래 전에 시작되었다.

이제까지 우리 나라의 GIS 제조기술은 일본, 구미 등의 선진국으로부터의 도입기술을 바탕으로 성장해 왔고 GIS 성능해석 수법은 물론 설계변수에 대한 정확한 검증도 전무한 실정이었다. 그러나 1993년 초부터 한국전기연구소와 기업체가 공동으로 800kV급 GIS용 가스차단기(Gas Circuit Breaker, 이하 GCB라 칭함) 개발을 시점으로 GIS/GCB에 대한 성능검증 해석기술들이 개발되기 시작하였고, 현재는 일부분을 제외하고 상당히 정확한 해석기술을 보유하게 되었다[1][2].

GIS 구성기기들의 성능을 검증하는 데 필요한 해석기술들은 크게,

- i) 전계해석
- ii) 자계해석

- iii) 열(통전)해석
- iv) 차단부내의 냉가스 유동해석 및 열가스 유동해석
- v) 차단기의 차단성능을 파악하기 위한 차단성능해석
- vi) 차단기의 동작특성을 파악하기 위한 동작특성(스트로크)해석
- vii) 고속도의 재폐로 동작 및 높은 가스압에 견디기 위한 기계적 강도해석
- viii) 강한 지진에 견디기 위한 내진(진동) 해석 등으로 분류할 수 있다.

이상과 같이 GIS의 설계검증에는 전기분야뿐만 아니라, 열역학, 유체역학 및 구조역학 등과 관련된 복합적인 해석기술이 요구된다.

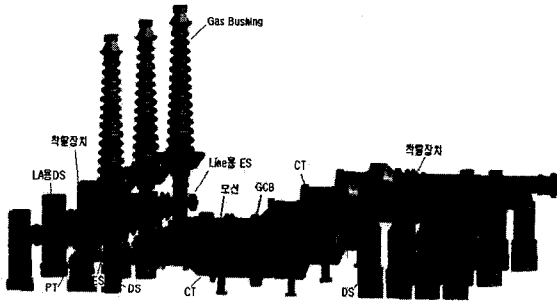
본 고에서는, GIS에 대한 개요와 구성기기들의 역할에 대해서 간략히 살펴보고, 구성기기의 개발에 필요한 해석기술들에 대해서 검토한다. 아래의 해석기법들은 지난 5여년 동안 GIS/GCB 개발과정에서 축적된 기술들을 설명한 것으로, 가장 중요한 전계해석과 가장 어려운 차단부내의 냉가스 및 열가스 유동해석을 중점적으로 살펴보기로 한다.

2. GIS의 개요

GIS는 변압기를 제외한 모든 전력기기를 동일한 금속용기내에 밀폐시켜 조합시킨 변전시스템이다. GIS는 SF₆ 가스의 우수한 절연 및 소호특성을 이용하므로 종래의 공기절연방식의 변전설비와 비교하여 안정성, 신뢰성, 무공해성, 축소성 및 경제성 등의 측면에서 가장 이상적인 변전시스템이라 할 수 있다. 특히, 기존의 공기절연변전소와 대비하여 소요부지가 약 25% 이하이며, 하나의 전력기기처럼 도심의 건물내부에 설치할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그림 1은 종래의 공기절연변전소와 가스절연변전소를 개괄적으로 비교하고 있다.



(a) 공기절연변전소



(b) 가스절연변전소(GIS)

*800kV급 변전소 기준으로 한 비교표

항 목	공기절연 변전소	GIS
축소성(p.u)	1.0	0.25이하
신뢰성(사고율)	50년 기준 50%이내	50년 기준 1%이내
환경성	무공해	전파 및 소음공해
기 타	-	건물내 설치가능

그림 1. 공기절연변전소와 가스절연변전소의 비교

그림 1에서 GCB는 GIS에서 가장 핵심적인 전력기기로 고도의 설계기술과 모든 중요기술들을 포함하고 있다. 따라서, GIS개발에 있어서 가스차단기의 개발이 최우선적으로 고려되고 있고 모든 해석기술들이 집중적으로 적용된다.

3. 전계해석의 적용

GIS와 같은 고전압기기에서 가장 중요한 문제는 고전압을 안전하게 유지하기 위한 절연설계이며, 전계해석은 절연설계에 있어서 대단히 중요한 역할을 한다. 전계해석에 있어서 특수한 경우를 제외하고는 주로 상용 프로그램이 이용되고 있고 정확도도 매우 높다. 그리고 전계해석은 절연물 및 도체의 형상을 최적화하기 위해 여러 번 반복해서 수행되는 것이 보통이다. 아래에 GIS 구성기기들에 대한 전계해석의 적용 예를 살펴본다.

GIS에는 너써어지, 단로기 써어지 등의 이상전압이 인가되므로 기기와 외부, 기기내부(상간, 극간, 대지간)의 절연문제를 명확하게 할 필요가 있다. 절연설계시에 특히 고려하여야 할 부분은 도체-절연물-가스가 동시에 공존하는 3중 접합부이다. 이 부분에서는 균일한 유전체로 산출한 전계값 E_0 에 대하여 최대 $E_{max} = E_0 * (\epsilon_2 / \epsilon_1)$ 인 전계를 가지게 된다. 예를 들어, 스페이서의 주재료인 에폭시(Epoxy)

수지의 비유전율을 5.6으로 한 경우에는 최대 5.6배의 전기적 스트레스를 받게 되고, 이것을 기점으로 낮은 전압에서도 연면접촉이 일어날 수 있다. 또한, GIS 및 기기의 소형화를 위해서는 각 부품 및 구성기기를 3상 일괄탱크에 수납하는 3상 일괄형이 필수적이지만, 1선 지락사고는 3상 단락사고로, 또한 상간단락은 지락으로 발전할 가능성이 있으므로 절연설계에 대하여 보다 세심한 주의가 필요하다.

차단부의 대지간 전계해석을 해보면, 스페이서의 중심도체부분과 모선이 연결되는 부분의 곡선부에서 최대 전계가 발생한다는 것을 알 수 있다. 표 1은 최대 전계 발생지점(그림 2의 A로 표시된 원)의 개선과정으로 스페이서 중심도체의 형상을 최적화 하는 과정을 나타낸다.

그림 3은 차단부 극간의 전계해석 결과를 나타낸다. 특히, 차단기 동작에 따른 고정 아크점접 선단의 전계강도는 다음에 설명하는 차단기 소전류 차단성능 평가에 매우 중요한 요소로 활용되므로, 정확한 형상 모델링과 해석조건이 요구된다.

그림 4는 3상 일괄형 스페이서의 3차원 전계해석 결과를 나타낸다. 3상 일괄형 스페이서는 3개의 도체와 접지탱크 사이의 절연성을 유지하면서 도체를 지지하고, GIS의 가스구획을 확보하기 위한 절연구조물이다. 현재 국내에서는 170kV급과 362kV급에 사용되고 있다. 이러한 절연구조물을 설계하는 경우에는 위에서 언급한 3중접 부분에서의 전계완화에 주의를 기울여야 한다.

표 1. 형상최적화 과정(그림 2의 A부분)

Case	E_{max} (kV/cm)	Max. E (kV/cm)	5기압에서	5기압에서
①	25.2	-8	30.5	23.33
②	14.8	+36		
③	18.1	+22		
④	17.0	+27		

case ① : 기존의 형상

case ② : 모선부의 도체경 증가

case ③ : 곡선부의 곡선반경을 증가

case ④ : 곡선부의 외부에 쉘드 취부

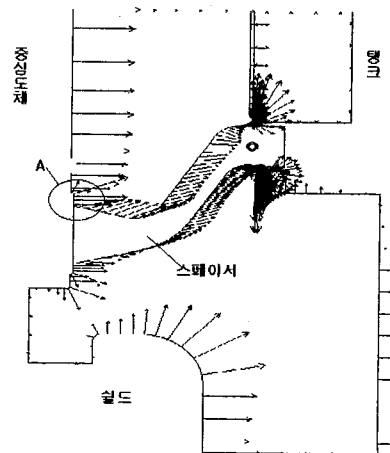


그림 2. 형상 최적화에 의한 최대 전계강도의 완화

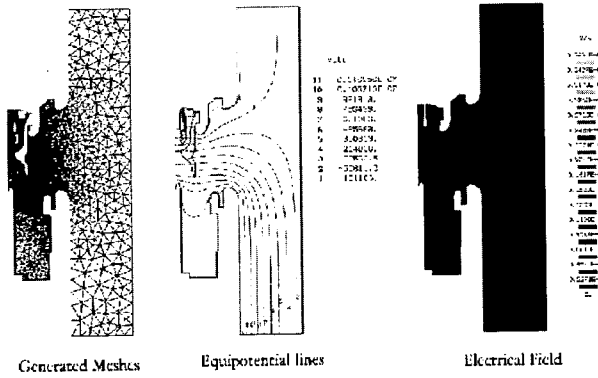
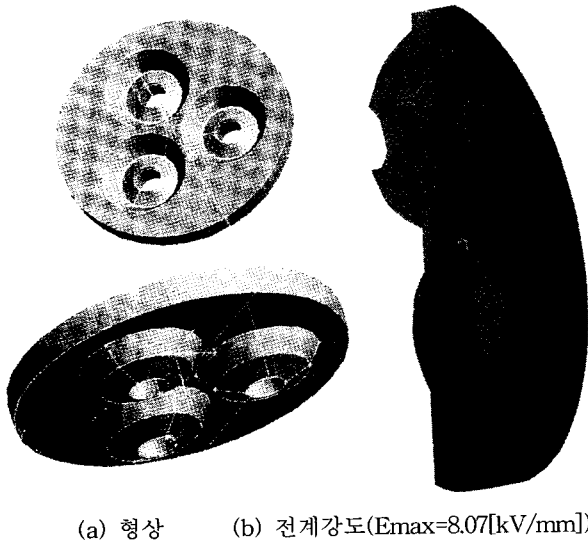


그림 3. 차단부 극간 전계해석



(a) 형상 (b) 전계강도($E_{max}=8.07[kV/mm]$)

그림 4. 3상일괄형 스페이스의 형상설계 및 전계분포도

4. GIS 차단부내의 유동해석

GIS에서 유동해석은 주로 가스차단기의 설계변수를 검증하는 데 사용된다. 가스차단기는 전력계통에 고장이 발생할 경우, 고장전류를 자동적으로 차단하여 계통과 다른 전력기기를 보호하는 역할을 한다. 따라서, 가스차단기는 GIS의 모든 기기중 가장 핵심적인 전력기이라 할 수 있다. 차단부내의 유동해석은 위에서 언급한 전계해석과 더불어 반드시 수행되어야 하는 과정이지만, 전기공학자의 입장에서 대단히 어려울 뿐만 아니라, 매우 복잡한 물리적인 지식과 고도의 수치해석 기법이 요구된다.

그림 5에 초고압 파퍼형 가스차단기의 차단원리를 간략히 설명하고 있다. 전력계통에 고장이 발생하면, 고장전류에 의해 여자된 트립(trip) 코일은 조작기의 스위치를 동작시키고, 조작기는 조작로드를 통해 그림 5의 빗금친 가동부

를 왼쪽으로 이동시킨다. 가동부가 이동함에 따라 파퍼실린더내의 SF₆가스는 피스톤에 의해 압축되고, 아크접점은 분리되며, 분리된 아크접점 사이에는 아크가 발생하게 된다. 파퍼실린더에서 압축된 가스는 노즐을 통해 아크로 분사되어 아크를 소호하게 되고, 아크가 소호된 직후 두 접점사이에는 과도회복전압(TRV)이 인가된다. 차단기가 이 전압에 견디기 위해서는 소호부(노즐과 가동 및 고정아크접점 부위)에 남아 있는 열가스를 신속히 배출시키고 냉각시켜 절연성을 회복해야 한다. 이러한 과정이 재점화(reignition) 없이 수행될 경우, 비로소 차단기는 고장전류를 차단하게 된다.

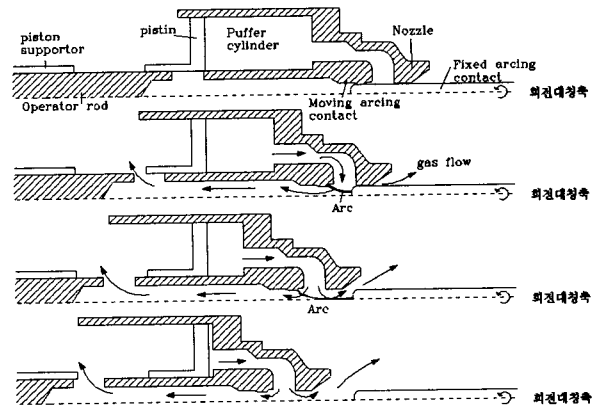


그림 5. 초고압 파퍼형 가스차단기의 동작원리

이러한 가스차단기의 차단성능을 검증하기 위해, 국내는 물론 국외에서도 경쟁적으로 차단부내의 유동해석에 대한 해석기법 및 프로그램 개발에 주력해 오고 있다. 차단부내의 유동해석은 무부하시의 냉가스 유동해석과 아크가 존재하는 유부하시의 열가스 유동해석으로 나뉘어진다. 냉가스 유동해석의 결과는 노즐형상, 아크접점의 형상, 개구속도 등을 결정하고, 최종적으로 진상소전류와 같은 차단부의 소전류 차단성능을 평가하는 데 활용된다. 열가스 유동해석의 결과는 열가스의 냉각, 배출 등을 고려하여 노즐형상 등 소호부의 형상을 결정하는 데 활용되며, 최종적으로 단자단락 고장(BTF, Bus Terminal Fault)과 근거리선로고장(SLF, Short Line Fault)시의 대전류 차단성능을 평가하는 데 활용된다.

국내의 경우, 차단부의 냉가스 유동해석기법 및 프로그램은 1993년부터 개발을 시작하여 현재 완성 단계에 이르고 있으며, 열가스 유동해석기법은 기본적인 적용단계에 있다. 지난 5년동안 개발된 냉가스 유동해석기법은 현재 초고압 가스차단기의 소전류 차단성능을 평가하는 데 적극적으로 활용되고 있고, 해석결과에 대한 정확도와 신뢰성을 확보하고 있다[1]. 하지만, 열가스 유동해석의 경우 소호부내의 아크현상이 대단히 복잡하여 아크현상에 대한 물리적인 이해, 프로그램 작성을 위한 수식화 또는 아크모델의 개발 등 많은 문제점들을 갖고 있다. 또한, 그 해석기법은 외국의 각 기관에서 차단기 설계의 핵심수단으로 보호되고 있기 때문에, 해석기법을 확보하기도 어려울 뿐만 아니라 해석기법을

완성한 연구기관도 거의 전무한 실정이다. 차단부내 유동해석에 있어서 해결하여야 할 문제점을 정리하면 대략 다음과 같이 나타낼 수 있다.

i) 가동부의 이동을 모의하는 문제 :

자체개발한 프로그램 또는 상용 CFD프로그램을 이용하여 차단부내의 유동해석을 하는 경우, 가장 기본적인 문제는 차단부의 이동을 모의하는 것이다. 계산상의 편리함을 위해 실제와는 다르게 가동부가 움직이는 것 대신에 고정부인 피스톤과 고정아크접점이 움직인다고 가정하더라도 계산격자의 이그리짐과 계산과정의 비수렴성(divergence)을 피하기 어렵다(그림 5 참조).

ii) 고정아크접점 곡률의 모델링 문제 :

고정아크접점의 선단부분은 가스밀도가 가장 급격히 변하고 전계강도가 크게 나타나므로, 차단기의 소전류 차단 성능을 파악하는 데 있어서 가장 중요한 부분이다[3]. 따라서, 고정아크접점 선단의 곡률부분에 대해 시간축에서 이동하면서 이그리짐없이 계산격자를 형성시켜야 한다.

iii) 아크방경, 아크에너지 등 아크변수를 표현할 수 있는 지배방정식(governing equation)의 결정과 아크에 의한 소호가스(SF₆가스) 특성치의 변화를 고려하는 문제 :

소호부내의 아크변수를 표현하는 아크모델의 개발이 필요하며, SF₆ 가스의 온도에 대한 물리적 특성치를 데이터베이스화 하여 아크와 소호가스 사이의 상호교류를 표현할 수 있어야 한다.

iv) 아크가 존재하는 경우, 유동변수의 불연속성 발생과 비선형 지배방정식의 수렴문제 :

아크가 존재하는 경우, 유동변수의 불연속이 발생하여 연속방정식을 만족시키기 어려우며, 아크모델을 접목시켜 진도, 대류, 방사와 같은 열전달 과정을 동시에 해결하는 것은 용이하지 않다. 또한, 아크에너지의 지배방정식의 비선형성 때문에 계산의 수렴이 어려우며, 아크전류 자체에 의한 전자기력도 고려하여야 한다.

v) 아크에 의한 아크접점의 용삭(melting)과 노즐의 용삭(ablation)의 모델링 :

차단부내 유동해석의 최종단계로 아크에 의한 아크접점의 용삭(melting)과 노즐의 용삭(ablation)을 고려하여야 하며, 특히 보다 정확한 해석결과를 얻기 위해서는 아크열에 의한 SF₆가스의 화학적 변화까지 고려하여야 한다.

vi) 해석결과의 검증 :

이상과 같이 아크를 포함한 열가스 유동해석을 성공적으로 수행한다 하더라도, 해석결과를 검증하기 위한 아크변수의 측정은 어려운 문제이다.

위 문제들중 국내의 경우, i)항과 ii)항은 참고문헌[4]에서 이미 대략적으로 해결하였으며, iii)항과 iv)항은 어느

정도 완성단계에 있다. 국외의 경우, v)항 또는 vi)항까지 진행된 결과가 발표되기도 하지만, 극히 몇 개의 기관으로 국한되어 있다.

4.1 차단부내 냉가스 유동해석의 적용

그림 6과 7에 차단부내 냉가스 유동해석의 결과의 하나로, 가동부의 이동에 따른 속도분포와 압력분포를 나타낸 것이다. 이 결과들로부터 스트로크가 50% 진행된 지점부터 가스속도는 초음속(supersonic)으로 변한다는 것을 알 수 있고, 노즐 하류장영역에서 충격파가 발생하고 있다. 각 그림에서 스트로크와 최대 압력상승 값은 기업의 비밀차원에서 공개될 수 없는 수치이므로 각각의 최대값을 기준으로 백분율 비[p.u]로 나타내었다. 총 300회의 계산구간(각 계산구간마다 100회의 반복계산)에서 5번째 구간마다 결과에 대한 파일을 작성하도록 프로그램을 작성했으며, 차단부의 이동에 따른 유동변수(압력, 속도, 밀도)의 변화를 세밀히 관찰할 수 있다.

그림 8에 계산된 파퍼실린더 및 노즐상류장에서의 압력상승을 실험치와 비교하고 있으며, 각각의 값들은 파퍼실린더 실험치의 최대값을 기준으로 백분율비(percentage unit)로 나타내었다. 그림 8에서 계산된 파퍼실린더의 압력상승치는 실험치와 거의 일치하고 있으며, 스트로크에 따른 압력분포도 유사하다는 것을 알 수 있다.

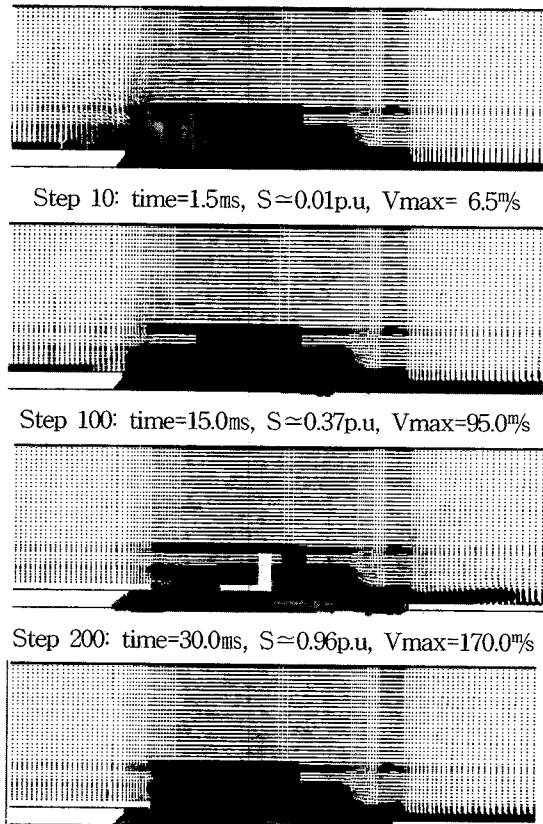
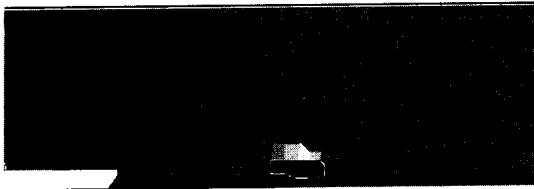
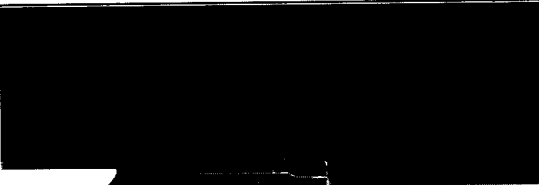


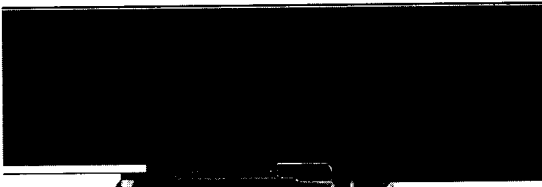
그림 6. 차단부 속도분포



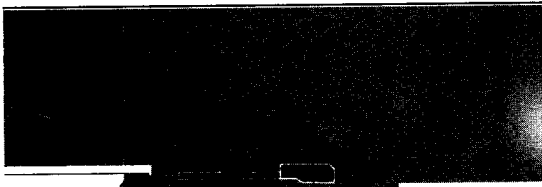
Step 10: time=1.5ms, S≈0.01p.u, Pmax≈0.45p.u



Step 110: time=16.5ms, S≈0.45p.u, Pmax≈0.67p.u



Step 210: time=31.5ms, S≈0.98p.u, Pmax≈0.91p.u



Step 250: time=37.5ms, S≈1.00p.u, Pmax≈0.50p.u

그림 7. 차단부 압력분포

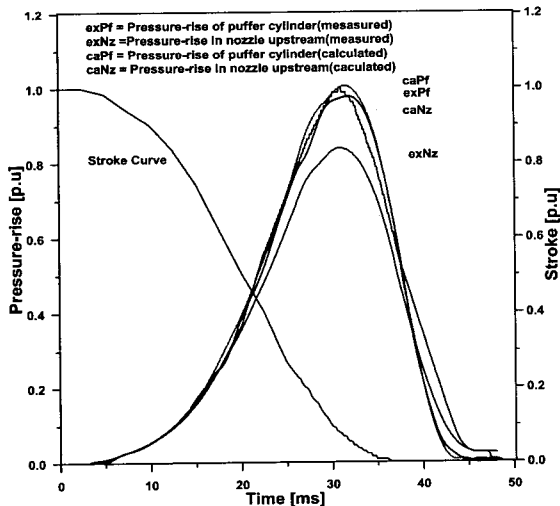


그림 8. 파퍼실린더 압력상승의 실험치와 비교

4.2 차단부내 열가스 유동해석의 적용

그림 9, 10은 열가스 유동해석의 결과로 온도분포와 속도 분포를 나타낸다. 간단한 소호부내의 열가스 유동해석을 위해 상용 CFD 프로그램인 "Phoenics"에 아크모델을 접목시

켰고, 비록 정상상태(가동부의 이동생략)로 아크를 해석하였지만, 전류 크기에 대한 아크반경, 아크온도, 아크에너지 등 열가스 유동해석에 필요한 대부분의 사항을 포함하고 있다[5].

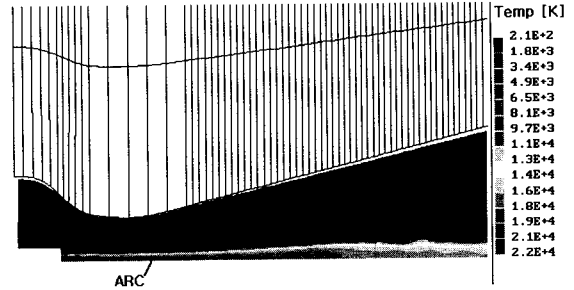


그림 9. 소호부내 온도분포 해석결과(I=0.6kA)

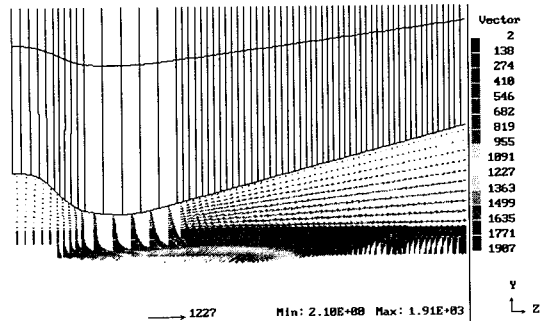


그림 10. 열가스의 속도분포

또한, 상온에서 30000[K]까지의 온도에 대한 SF₆가스의 특성치[6]를 데이터 베이스화 하여 전도(conduction), 대류(convection), 방사(radiation)의 열전달[7][8]을 포함하고 있으며, 아크 자체의 전류에 의한 전자력(Lorentz's force)도 고려하고 있다.

그림 11은 노즐목에서 노즐상류장의 압력에 따른 아크반경의 변화를 보이고 있다. 압력이 높아짐에 따라 아크를 반경방향으로 압축하는 힘이 증가하여 아크반경이 다소 줄어드는 것을 볼 수 있다.

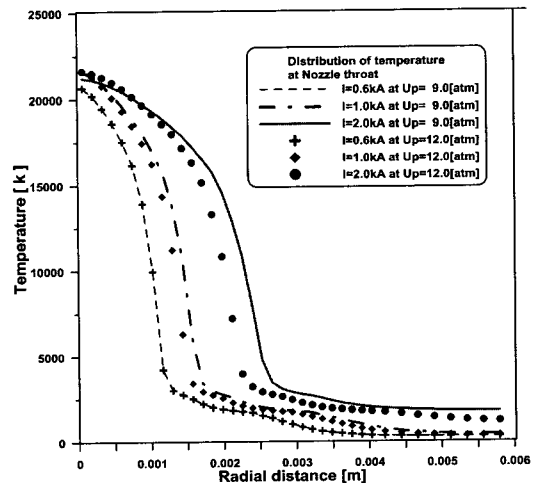


그림 11. 노즐목에서 유입조건에 따른 아크반경의 변화

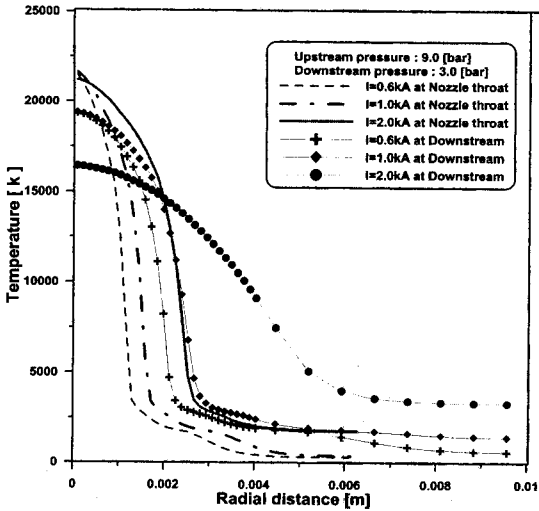


그림 12. 노즐목과 노즐하류장에서의 온도분포 비교

그림 12는 상류장의 압력이 동일한 경우, 노즐목과 노즐 하류장 영역에서의 온도분포를 비교하고 있다. 노즐목에서는 반경방향으로의 온도변화가 급격히 나타나고 있고, 노즐 하류장 쪽으로 갈수록 중심부의 최대온도는 낮아지고 온도 변화가 완만해짐을 알 수 있다. 특히, 전류크기가 2.0[kA] 이상이 되면서 고온영역이 넓게 분포하는 것을 알 수 있다.

현재 국내에서는 아크모델에 노즐용사를 고려하는 것을 연구중이며, 냉가스 유동해석에서 이미 개발된 차단부의 개극동작 모의기법[4]과 아크모델을 접목할 경우, 차단부내에서의 완전한 아크해석은 물론, 차단부의 소전류 차단성능과 아울러 대전류 차단성능도 미리 예측할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 가스차단기의 차단성능해석

차단기는 대전류 차단성능과 소전류 차단성능을 동시에 가질 수 있도록 차단설계를 하여야 한다. 초고압급 이상 차단기의 대전류 차단성능에는 BTF 차단성능과 SLF 차단성능이 있으며, 소전류 차단성능의 대표적인 예로 진상소전류 차단성능을 들 수 있다.

5.1 소전류 차단성능 해석

대부분의 차단기는 부하전류를 고장전류를 차단할 때, 첫 전류영점에서 차단하지 못하고 점점간격이 충분히 확보된 후에야 성공적으로 아크를 소호하지만, 진상소전류와 같이 극히 작은 전류는 점점이 개리한 뒤 곧 차단될 수 있다. 이 경우에는 극간에 충분한 이격거리가 확보되지 않은 상태에서 계통전압 최대치의 약 2배에 가까운 전압(차단후 0.5사이클이 경과한 시점에서)이 극간에 인가되어 재점화가 일어날 가능성이 증가하게 된다. 재점화가 일어난 후 전류를 차단하게 되면, 이론적으로 전압이 점차 상승하여 외부에서 섬락이 일어나거나 콘덴서가 파괴되는 일이 발생한다. 따라

서, 진상소전류 차단성능은 극간의 절연회복능력과 밀접한 관계가 있으며, 극간의 절연회복능력은 극간의 가스밀도와 전계강도에 의해 결정되는 식(1)의 섬락전압으로 평가할 수 있다[참고문헌 3].

$$V_{bd} = a \frac{\rho^b}{E} \quad (1)$$

여기서, a, b는 실험상수, ρ 는 가스밀도[kg/m³], E는 전계강도[pv/mm]를 나타낸다.

따라서, 차단기의 소전류 차단성능을 평가하기 위해서는 위에서 설명한 전계해석과 유동해석이 동시에 이루어져야 한다.

그림 13은 800kV 모델차단부에 대한 해석결과와 하나로, 고정아크점점 선단에서의 절연회복강도이다. 그림에서 개극 속도에 따라 절연회복특성이 크게 변한다는 것을 알 수 있다. 따라서, 경우에 따라서는 차단기의 동작특성 해석도 필요하다[1].

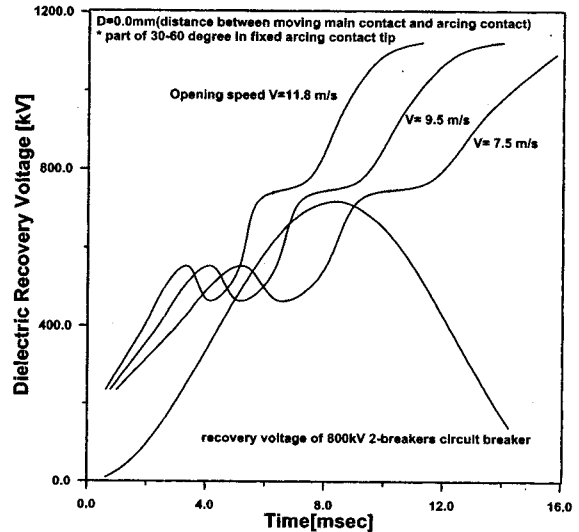


그림 13. 차단부 고정아크점점 선단에서의 절연회복특성의 예

5.2 대전류 차단성능 해석

차단기의 BTF와 SLF의 대전류 차단성능을 평가하기 위해서는 필수적으로 열가스 유동해석이 이루어져야 한다.

대전류 차단성능은 아크존재시에 소호부의 절연성능에 따라 결정된다. 즉, 아크에너지에 의해 SF6 가스가 가열되면, 가스밀도가 저하되고 열해리가 일어나 열가스 공간으로 되면서 내전압성능이 저하된다. 이 때, 아크로 분사되는 가스유속 및 가스유량을 높여 냉각능력을 향상시키고, 극간에 잔류하고 있는 열가스를 효율적으로 배출시키지 않는다면, 전류차단 후 극간에 걸리는 회복전압에 견딜 수 없을 것이다. 따라서, 전계해석과 더불어 아크존재시의 전류영점 부근에서의 밀도분포와 온도분포를 파악하는 것이 무엇보다 중요하다.

그림 14는 점 P에서의 아크 후 전류(post-arc current)와 온도분포를 시간에 대해서 나타낸 것이다. 만약, 절연 및 소호매질의 절연내력 회복율이 회복전압의 상승률을 초과

하지 못한다면 전류는 다시 증가하여 재점화가 일어나고 차단기는 차단에 실패하게 된다[9].

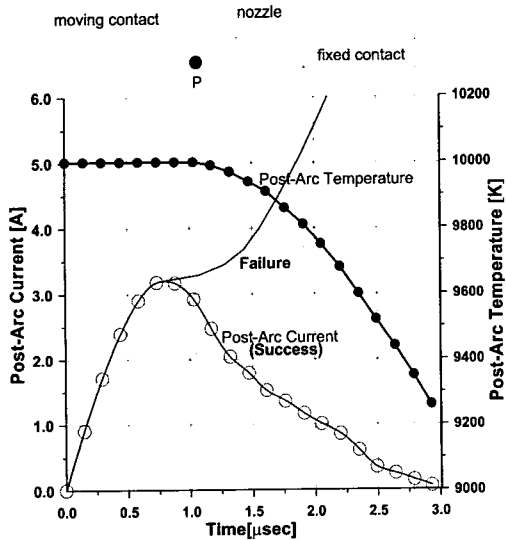


그림 14. 아크후 전류 및 온도특성(열가스 해석결과치)

6. 열(통전)해석 및 기계적 특성해석

6.1 열해석

도체에 전류가 흐르면 저항에 의한 열이 발생한다. 일반적으로 6000[A]이상의 대전류를 통전시키는 GIS의 경우에는 주 도체(Bus)의 크기, 탱크의 직경 및 두께 등 GIS의 치수를 결정할 때, 열적인 제한 요소가 절연설계에 따른 제한조건보다 더 크게 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 전류통전시 GIS 내부 및 용기의 온도상승을 정확히 예측하는 것은 GIS 모션 설계에 매우 중요하다.

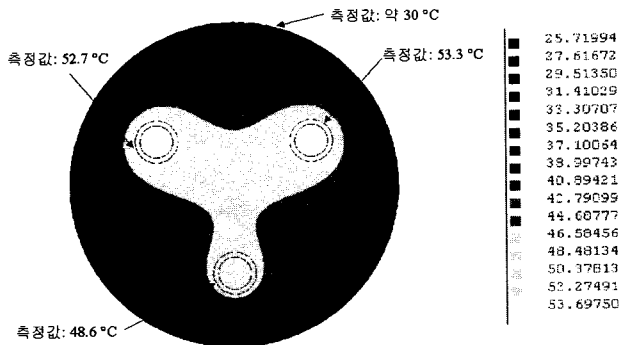
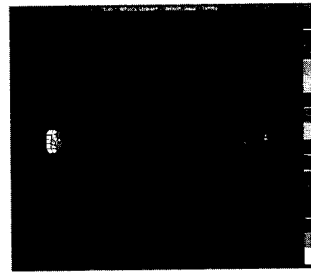


그림 15. 삼상모선의 온도분포도(10)

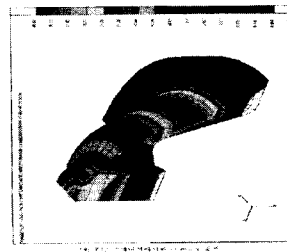
6.2 기계적 구조 및 응력해석

응력해석은 주로 조작부와 연결되는 링크부 또는 도체를

지지하고 GIS의 가스구획을 만들어 주는 스페이서를 설계할 경우에 주로 사용된다. 또한 구조해석(내진해석)은 일본의 경우와 같이 지진이 빈번한 지역에서 내진성을 가질 수 있는 구조를 검증하는 데 주로 사용되고 있다. 그림 16(a)는 차단기 조작용 절연로드(FRP재질)에 대해 조작력으로 잡아당길 때의 응력을 해석한 결과이고, 그림 (b)와 (c)는 절연스페이서의 기계적인 응력을 해석한 결과를 나타낸 것이다.



(a) FRP 절연조작로드



(b) 스페이서 3차원해석



(c) 스페이서의 2차원 해석

그림 16. 절연물의 변형/응력해석 결과(NATRAN사용)

6.3 동작특성(스트로크) 해석

동작특성해석의 경우 주로 차단기의 조작부 및 소호부의 개구속도를 파악할 때 사용되며, 상용 프로그램을 이용하거나 제작업체에서 자체 개발해서 사용하고 있다.

7. 결론

컴퓨터의 발달과 함께 수치해석기법도 나날이 발전하고 있다. 그와 동시에 모든 공학적 분야에서처럼 전력기기의 설계 및 성능검증에 있어서도 컴퓨터 시뮬레이션이 활발히 적용되고 있다. 몇 년까지만 해도 GIS의 성능검증을 위한 국내의 해석기술은 거의 불모지였다고 할 수 있다. 하지만, 다행히 800kV급 GIS용 차단부개발을 시점으로 다방면에서의 해석기술들이 축적되었고 현재는 선진외국과 거의 어깨를 나란히 할 수 있는 단계까지 와있다.

위와 같은 해석기술들을 보다 발전시키기 위해서는 실험적 수법을 채택하여 해석기술의 정밀성을 확인하는 것이 필요하며, 각종 설계변수들에 대한 검증결과들을 집대성(데이터 베이스화)하는 것도 또한 필요하다.

참고문헌

- [1],[2] 한국전기연구소, "765kV급 GIS용 차단부 설계 및 제조기술 개발"연구보고서, Vol. 3, Vol. 4., 1994, 1996.
- [3] 송기동, 박경엽 외, "소호부 형상 및 파퍼실린더 압력상승에 따른 소전류 차단성능", 대한전기학회 경남지부, 제3회 전력기기 symposium 논문집, pp19~23, 4.1999.
- [4] 송기동, 박경엽, 신영준 외, "상용 CFD CODE를 이용한 초고압 GCB 냉가스 유동해석", 1998년 전기기기연구회 춘계 학술발표회 논문집, pp131~136, 1998.
- [5] 송기동, 박경엽, 이병윤, "초고압 GCB 소호부내의 열가스 유동해석", 하계학술논문집 A, pp372~375, 1999.
- [6] L.S. Frost and R.W. Liebermann, "Properties of SF6 and their use in a simplified enthalpy flow model", Proc. IEEE, Vol. 59, pp474~485, 1971.
- [7] M.T.C. Fang et.al, "Current-zero behaviour of an SF6 gas-blast arc. 2. Turbulent flow", J. Phys. D, Vol. 27, pp74~,1994.
- [8] J.F. Zhang et.al, "Theoretical investigation of a 2kA DC nitrogen arc in a supersonic nozzle", J. Phys. D, Vol. 20, No. 3, pp368~, 1987.
- [9] Y.J.Shin, K.Y.Park, K.C.Chang, K.D.Song et.al, "Development of 800kV Model Interrupter for UHV Transmission System", pp424-427, GD95, Tokyo, 1995.9.
- [10] 김현훈, 김정철, 한성진, "GIS모선의 온도상승 예측을 위한 해석적 방법과 Flux2D의 결합", 1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A, pp376~378, 1999.

저 자 소개



송기동(宋基東)

1963년 7월 5일생. 1988년 인하대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 3월-현재 한국전기연구소 산업전기연구단 신전력기기연구그룹 선임연구원.



박경엽(朴敬燁)

1957년 1월 3일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영국 Liverpool 대학 전기공학과 졸업(공학). 1978년 12월-1981년 5월 효성중공업(주) 전장설계부. 1981년 6월~현재 한국전기연구소 산업전기연구단 신전력기기연구그룹 그룹장(책임연구원).



신영준(愼英俊)

1955년 7월 3일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 Union College at Schenectady 전기공학과 졸업(석사). 1987년 미국 RPI 전력공학과 졸업(공학). 현재 한국전기연구소 산업협력부 부장(책임연구원)