중전기 산업의 기반기술 구축

- GIS 변전소 건설 및 국산화 -

노 철 용*

(*효성중공업(주) 상무이사, 창원공장 공장장)

1. 서 론

최근 변전소는 종래 공기절연형에서 가스절연형으로 크게 바뀌어가고 있으며, 가스절연형 변전소에서는 SF_6 가스로 절연을 실시하는 가스절연개폐장치 (GIS ; Gas Insulated Switchgear)가 주류를 이루고 있다. 가스절연개폐장치는 변전소내에서 주변압기만을 제외하고, 차단기, 단로기, 접지개폐기, 부싱, 피뢰기, 변류기, 계기용 변압기등이 모두 가스절연용기내에 내장되어 이루어진 복합개폐시스템이라고 할 수 있다.

현재까지 적용되고 있는 170kV, 362kV급 GIS는 일부 공기 절연형을 혼합해서 사용하고 있으나, 향후 765kV 변전소에 적용할 362kV 63kA GIS와 800kV GIS는 T/L측 부싱 끝단만을 제외하고는 모두 가스절연모선으로 연결된 Full Type 가스절연변전소(GIS)로 구성될 예정이다.

그림1은 현재 효성중공업(주)이 생산하고 있는 대표기종 중 170kV 50kA GIS의 외형도이다. 국내에서는 1978년에 SF_6 가스를 사용한 GCB가 개발 되었으며, 1980년에 최초 170kV 31.5kA GIS가 개발되어 변전소에 실 적용되어 왔다. 본고에서는 GIS변전소건설의 특징, GIS 변전소에 적용되는 설계기술과 우리나라에서의 GIS국산화현황을 설명하고자 한다.

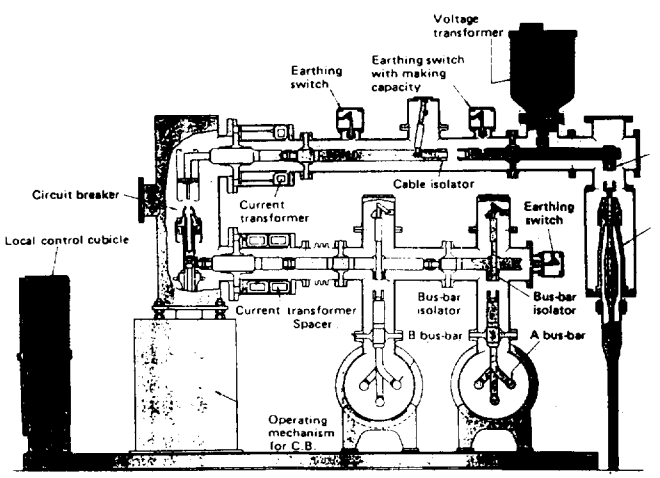

그림 1. 170kV 50kA GIS 내부구조도

2. GIS 변전소 건설

세계 최초의 EHV급 metal-clad형 변전소는 1932년에 NEI(Reyrolle)가 스코트랜드에 세운 132kV이지만 이때 절연매질은 SF_6 가스가 아니고 Oil이었다. 1960년대 SF_6 가스가 소호 및 절연매질로 사용되기 시작한후 변전소의 GIS화에 크게 영향을 주었다. 그림2는 1965년에서 1981년 사이에 일본 Mistubishi사가 건설시공한 GIS변전소의 수인데,국내에서는 효성중공업이 1970년대말부터 공급한 GIS가 약 4000bay가까이된다. 영국에서의 300kV GIS는 처음 1984년에 건설되어 현재까지 아무 이상없이 잘 운전되고 있으며 현재는 420kV급까지 GIS가 운전중에 있다. 세계 각국에는 매우 다양한 설계기술에 따라 제작된 GIS가 66kV부터 765kV급까지 설치되어 운전중에 있다.

GIS 변전소 건설의 가장 중요한 장점은 기존 공기 절연형 변전소의 규모를 대폭 축소할수 있다는 것이다. 이것은 특히 인구가 밀집되어 있고 토지 가격이 비싼 도심지에 변전소를 건설할 때 절대적으로 유리하며, 특히 지하 옥내변전소 등을 운영할 때에는 GIS변전소로 건설하지 않으면 안된다.

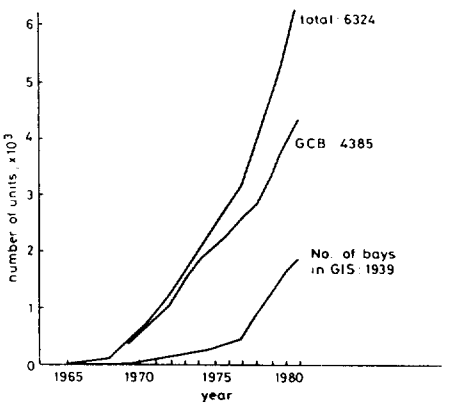

그림 2. 일본 Mitsubishi사의 GIS건설대수

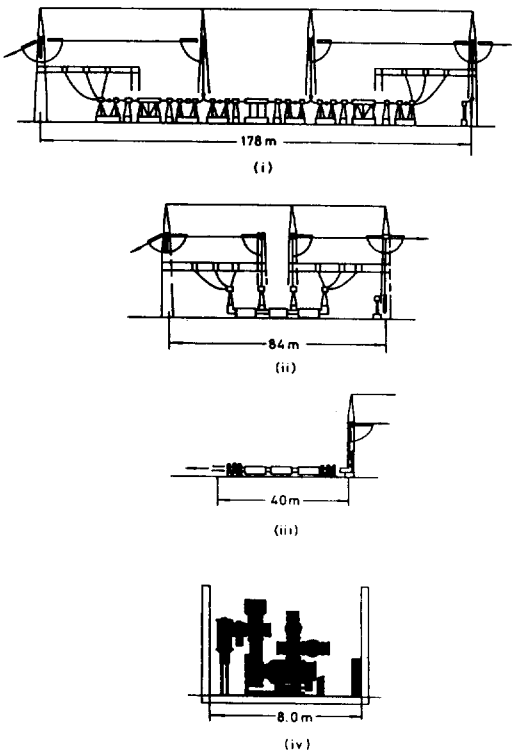

그림 3. 변전소 형태별 규모비교

그림3은 420kV급 변전소에서 기존 공기 절연형 변전소와 축소형 GIS의 규모를 비교한 것인데, Hybrid GIS(그림 3. i)의 경우는 기존 완전개방형 공기절연형 변전소(그림 3.ii)에 비해 면적이 25%로 축소될 수 있으며, 완전가스절연형 개폐장치(그림 3.iii)를 적용하는 경우에는 기존 완전개방형에 비해 7%로 축소될 수 있어 GIS 사용에 따른 변전소 용지 확보문제는 경제적으로 대단히 용이하게 되었으며, 작은 규모로도 대용량 변전소 건설이 가능하게 되었다. 그림 3.iv는 전형적인 옥내변전소에 사용되는 3상일괄형 GIS이다. GIS변전소는 건설용지 면적이 작아 대단히 경제적이며 밀폐용기내에 진 기기가 내장되어 있어 매우 안정된 기기운영이 가능한데, 이하에 변전소 건설시 유의사항에 대해서 기술한다.

GIS변전소 건설시에는

- 연계기능과 종합신뢰성의 확보
- 운전의 자동화, 보수의 성력화 추진
- 신뢰성, 경제성을 전제로한 설비구성및 축소화등을 고려하여야 한다.

이에따라 적절한 모선방식(2중모선, 1-1/2CB방식 모선)을 선정하여야 하며, 설비배치시에는 다음과 같은 내용을 기본으로 한다.

(1) 설비기능·운전보수성을 충분히 배려하면서 설치공간을 축소화한다.

(2) 신증설·사고시 대응을 위한 작업공간과 구내 도로는 최대한 공유할수 있도록 한다.

(3) 기기배치는 최종 설비를 고려하며 실시하되 설비를 단계적으로 증설하는 경우에는 종합, 경제성, 효율화를 충분히 배려한다.

GIS 변전소 건설시에는 내진성능을 충분히 확보할수 있도록 설계해야하며, 특히 지반, 지질특성을 파악하고 지표면의 발생지진력을 고려해서 그 수준에 맞는 기초·기기강도를 확보하여야 한다. 또 GIS 변전소 건설은 각 UNIT별로 수송, 현지 조립으로 이루어지는데 대형기기가 주류이므로 변전소에서의 현지 작업 대응방침을 충분히 세워야 한다.

3. GIS 변전소의 설계기술

근래들어 깨끗하고 쾌적한 에너지원으로서 전기에너지는 더욱 중요한 위치를 차지하고 있으며, 이를 위해서 변전소에 설치되는 각 기기의 신뢰성향상과 이를 위한 기초기술 개발등이 매우 중요하다. 이러한 변전기기에 요구되는 특성으로는 첫째, 고도정보화 사회진전에 따라 전력공급의 안전성, 신뢰성향상 등을 위한 전기품질면에서의 요구, 둘째 방재대책으로서의 불연화, 내진화, 셋째 환경변화대책으로서 구조변경 등의 소재면, 구조면에서의 과제이다. 이에따라 절연 및 소호특성이 매우 우수하고, 화학적으로도 대단히 안정적인 6불화유황(SF_6)가스를 적용한 각종 변전기기가 개발·제공되고 있다. GIS 변전소설계에 필요한 주요기술로서는 절연성능기술, 차단성능기술, 구조해석기술, 예측보전기술이 있으며 그 상세내용은 그림 4와 같다.

주요 설계기술	세 부 내 용
1. 절연성능기술	- 절연설계,검증기술 - 3중점해석 - 파티클 거동해석 - 단로기 써지해석 - 중간전극과 부분방전해석
2. 차단성능기술	- SF_6 가스열역학 특성 - 열유체해석 - 아크모델링해석 - 가스밀도,유속의측정 - 3상 검증시험
3. 구조해석기술	- 기계적 응력, 열응력해석기술 - 내진설계 - 조작기구의 동작측정
4. 예측보전기술	- 개폐동작 특성이상 검출 - 부분방전 검출 - 가스밀도변화 검출 - 국부 온도상승 검출 - 사고점 표정

그림 4. GIS 변전소에 필요한 기초기술과제

3.1 GIS 변전소의 가스절연기술

GIS 변전소는 SF_6 가스를 주절연매질로 사용하지만 그 내부에는 고체절연물도 혼용하고 있어, 고체절연물과 가스의 복합 절연물 구조위에서 절연설계를 해야만 한다. 특히 가스-고체절연물-도체가 만나는 삼중점에서의 국부전계가 절연성능에 크게 영향을 주기 때문에 이 부분에 대한 충분한 검토가 필요하며, 나아가서는 동작중 발생할 수 있는 파티클(도전성)에 대한 대책배려가 충분해야한다. 표 1은 GIS 변전소의 가스절연설계시 고려사항이다. 그림 5는 파티클이 고체절연물 연면에 부착되어도, 충분히 내압할 수 있도록 설계개선한 주름살이 있는 절연물의 대표적인 실례이다.

표 1. GIS 변전소의 가스절연설계시 기본 고려사항

항 목	설계방침	비 고
1. 절연설계 기준	① 설계방법 : 수치전계해석 ② 기준전계 : 기준뇌충격내전압 ③ 기준압력 : 최저보증가스압력	· 최대전계치 에 따라 수치해석 설계
2. 3중점	① 구조 : 3중접합부의 집중 전계를 완화하는 구조 ② 설계 : 스트리머 이동에 따라 연면 F.O. 발생하지 않도록 설계	
3. 고체절연물 연면설계	① 기준 : 전계 연면방향성분을 파괴 전계치의 50% 이하로 억제 ② 파티클 대책수립	· 연면방향 전계를 적극완화 시킬 것
4. 도전성 이물	① 탱크내면 : 내면전계를 완화 시켜 파티클이 기립할 수 없게한다.	
5. 절연협조	① 기기내부 절연협조 상간>극간>대지간>LIWL	

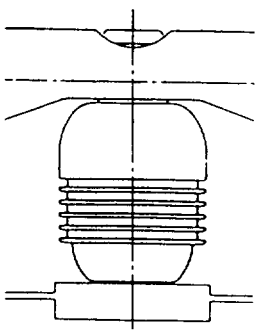

그림 5. 주름살붙인 Post-Insulator 외형

3.2 GIS 변전소의 차단성능기술

차단기 (GCB)는 GIS 변전소에서 가장 중요한 기기로서 신뢰성향상, 축소화등에도 크게 영향을 주고 있다.

표 2는 GIS 변전소에서의 차단성능설계기술의 주요내용이다.

표 2. GIS 변전소의 차단성능 설계개요

항 목	평가포인트	설계기술	평가기술
1. 진상 소전류	재점호 없을것	① 무부하기류해석 ② 전계해석	무부하 극간절연 회복특성
2. 지상 소전류	재단, 발호 써지가 낮을것	① 무부하기류해석 ② 써지해석	써지 재단레벨과 써지레벨의 차
3. BTF	3상시험	① 과부하 열유체 해석 대전류차단	
4. SLF	열 파괴가 없을것	① 아크모델링 연구	

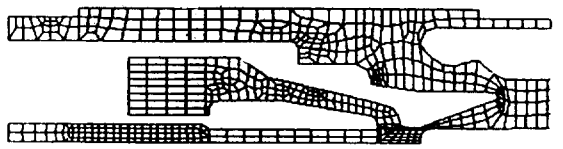

그림 6. 기류해석시 요소의 변화도

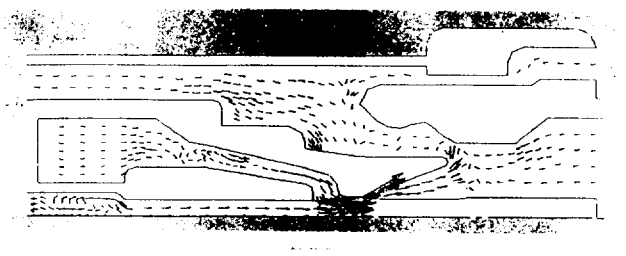

그림 7. 무부하차단시 기류해석결과 (내부 유속도)

3.3 GIS 변전소의 고체절연기술

GIS 변전소에서는 도체를 지지하기 위한 절연물로서 고체절연물을 사용하고 있으며 에폭시수지계 고체절연물이 주로 이용되고 있다. GIS용 고체절연물에 사용되는 에폭시 수지의 주요구성은 (1) 주제(에폭시 수지), (2) 경화제, (3) 충진제(알루미나)로 되어있다. 에폭시 수지계 고체절연물은 GIS 부품중에서 GIS 신뢰성을 결정하는 가장 중요한 부품이기 때문에, 고체절연물의 신뢰성 평가기술은 매우 중요하다. (표 3. 참조) 그림8은 현재 개발중인 800kV GIS용 에폭시 수지계 스페이서 이다.

표 3. 에폭시수지계 고체절연물의 신뢰성 평가내용

평가항목	평가내용
수지단품	1) 일반초기특성 : 전기,기계,물리적 특성 2) 장기안정성 : 과전수명, 크리프, 피로, 열열화, 내분해가스, 내크랙
전기적 성능	1) 부분방전 2) 내전압 및 파괴전압(AC, Imp., TOV) 3) 이물부착시 내전압 및 파괴전압 4) 상기성능과 설계전계 비교
기계적 성능	1) 압력파괴강도 2) 굽힘, 인장강도
열응력 성능	1) 열응력 시험에 따라 내크랙 성능확인 2) 열응력 시험전후의 전기, 기계적 성능확인

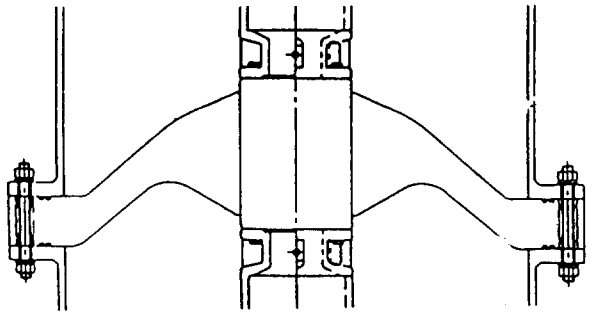

그림 8. 800kV GIS용 에폭시수지 스페이서형상

3.4 GIS 변전소의 구조해석기술

가스절연개폐장치인 GIS 구조설계는 기초설계자료 및 신 해석기술을 이용하여 고성능, 고신뢰성 GIS를 개발할 수 있게 되었다.

표 4에 GIS에 적용한 구조해석기술을 보이는데, GIS의 전체구조는 일반 3차원이기 때문에 3차원 모델로 내진해석을 실시하며, 탱크, 가대, 부싱 등의 내진강도를 검토하고 있다. 그림 9는 800kV GIS용 부싱의 내진해석 결과이다.

표 4. 구조해석기술의 적용례

기기구성부위	주요해석 적용례	구조해석기술
탱크, 가대, 부싱	· 탱크형GCB 내진강도 해석 · GIS의 내진강도 해석 · 용기의 최적형상 설계	진동해석 응력해석
차단부, 도체부	· 차단부의 최적형상 설계 · 도체의 전자력에 대한 강도설계	응력해석
3상일괄스페이서 지지애자	· 3상일괄 스페이서의 강도해석 · 절연물의 열응력해석 · 지지절연물의굽힘 강도해석	응력해석
조작장치부 (링크, 캠)	· 링크, 캠, 지지부 강도해석 · 링크, 캠 부위 동작해석 · 고속촬영에 의한 기구해석	응력해석 기구해석

3.5 GIS 변전소의 예측보전기술

가스절연개폐장치(GIS)는 무보수, 무점검을 지향한 완전 밀봉형 SF_6가스 봉입 전기기기이기 때문에 운전중에는 내부상태를 감시하기가 대단히 어렵다. 이 때문에 중대사고로 연결되는 기기의 이상을 조기에 검출하여 처치하거나, 만일 사고시에 기기의 이상장소를 파악함으로써 조기복구, 보수점검의 에너지절약을 도모할 수 있는 외부진단기술이 크게 연구되고 있다. 표 5는 현재 GIS에 실적용되고 있는 감시장치개요를 보인다.

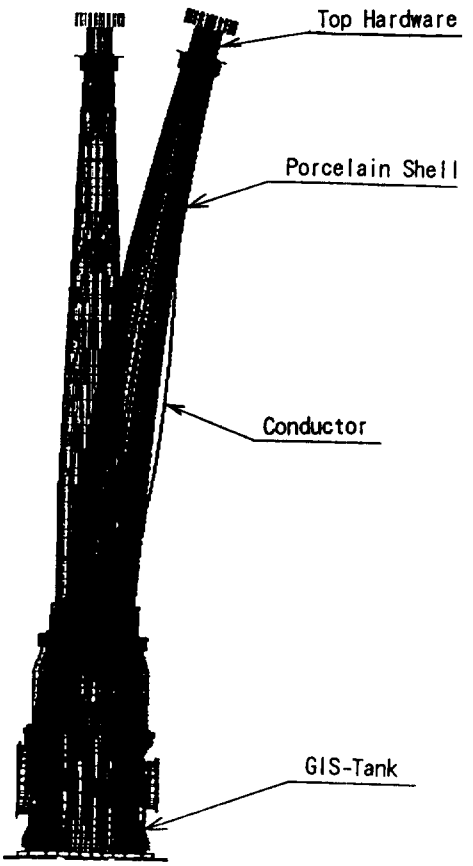

그림 9. 800kV GIS용 부싱의 내진해석결과

표 5. GIS용 감시장치의 개요

감시장치	감시항목	센 서	감시내용
GCB개폐 동작시험	• 개로, 폐로용 코일 단선검출 • 개·폐로 특성(시간,속도) • 제어코일전류	• 코일단선 검출기 • 광파이버 광 스위치	• 코일단선감시 • 조작기구의 동작 시간, 속도를 감시
부분방전 감시	• GIS 부분방전	• 고주파CT	• 2개의 고주파CT 로 노이즈 제거 • 설정치 이상의 고주파 전류의 수를 감시
가스압력 (밀도)감시	• 가스압력 • 탱크벽온도 • 20℃ 환산 가스압력	• 압력센서 • 온도센서	• SF6 가스압력 측정
통전과열 감시	• 국부도체가열	• 적외선 카메라	• 설정치온도 이상 의 국부과열 상태를 감시
피뢰기 감시	• 산화아연소자의 누설전류	• 누설전류 센서용CT	• 누설전류측정 • 누설전류증대를 감시

4. GIS 변전소의 국산화 동향

4.1 GIS 변전소 기기별 국산화 동향

GIS 변전소는 차단기(GCB), 단로기, 접지개폐기, 변류기, 계기용변압기, 피뢰기, 부싱, 모선등으로 구성되어 있는데

표 6에는 현시점에서 각 기기의 국산화유무와 중요요소 부품을 보여주고 있다.

표 6. GIS 변전소의 주요기기 국산화 동향

(170kV 이상)

기 기 명	국산화유무	비 교
1. GCB	○	세라믹 콘덴서, 저항등은 수입
2. 단로기	○	조작용 절연로드는 수입
3. 접지개폐기	○	
4. 변류기	○	
5. 계기용 변압기	국산화진행중	일본, 독일
6. 피뢰기	국산화진행중	일본, 스위스
7. 부싱 (애관)	-	일본

4.2 GIS 국산화 개발동향

국내 가스절연 개폐장치산업은 1970년대말부터 시작되었으며, 1980년대 초에 국내중전기 산업의 일원화에 따라 효성중공업이 독점 생산하는 체재로 되었으나, 1982년에 일원화는 해지되어 현재는 현대중고업, LG 산전 등도 참여하고 있다.일원화시기인 1978년에

170kV 31.5kA GCB 개발이 완료되었고, 1979년에 362kV 40kA GCB를 1980년에 170kV 50kA GCB를 개발완료하였다. 효성중공업에서의 본격적인 GIS 개발은 1980년에 170kV 31.5kA GIS로 시작되어, 1983년에 362kV 40kA GIS, 1984년에 170kV 50kA GIS 개발이 진행되었으며, 1989년에는 수출시장용 145kV 40kA GCB를 자체 기술력으로 제작하여 한국전기연구소에서 차단시험을 실시, 성공하였다. 1990년대에 들어와서는 한국전력의 차단기관련 규격의 현실화에 따라 전기종을 재개발하였으며, 이 때에는 각 부품류들의 국산화, 콤팩트화 등이 크게 진행되었으며, 국내기술의 반영도 크게되어 국내 GIS 변전소기술의 중흥기라고도 할 수 있다. 이 때에는 과거에 있던 기종을 재개발하는 형식이었는데 효성중공업이 개발한 주요기종으로는 1992년에 170kV 31.5kA 3상일괄형 GIS, 1993년에는 25.8kV GIS 개발, 170kV 50kA GIS개발, 1996년에 145kV 40kA GIS 개발, 1996년에 170kV 50kA 3상일괄형 GIS 개발에 성공하였다.

표 7은 효성중공업이 현재까지 개발한 GIS 국산화 개발내용이다.

또 국내에서 개발진행중인 GIS로는 362kV 63kA 8000A GIS와 800kV 50kA 8000A GIS가 있으며, 효성중공업이 현재 362kV 63kA GIS를 한전입회하에 개발시험 진행중이며, 800kV GIS는 개발피시품 제작중에 있다.

표 7. GCB, GIS 국산화 개발연혁 (효성중공업)

년도	기종	정 격 사 항
1978	GCB	170kV 31.5kA 1200/2000A
1979		362kV 40kA 2000/4000A
1980		170kV 50kA 2000/4000A
1989		145kV 40kA 2000A
1980	GIS	170kV 31.5kA 1200/2000A
1983		362kV 40kA 2000/4000A
1984		170kV 50kA 2000/4000A
1992		170kV 31.5kA 1200/2000A
1992		72.5kV 25kA
1992		170kV 31.5kA 2000A(3상일괄형)
1993		145kV 25/31.5kA
1993		25.8kV 25kA 600/2000A
1993		362kV 40kA 4000A
1993		170kV 50kA 1200/2000A
1994		170kV 50kA 4000A
1996		145kV 40kA
1996		170kV 50kA 3상일광 유압조작형

5. 결 론

전력계통의 신뢰도를 높이고, 안정된 전력을 공급하기위해서 GIS 변전소는 매우 유용한 설비이나, 그에 요구되는 기술도 매우 높은 수준이기 때문에 많은 기술축적과 주변산업의 발달이 크게 요구되고 있다. 우리나라의 GIS 기술은 1970년대 후반, 1980년대 초반부터 시작하여 20여년의 짧은 역사를 가지고 있으나, 생산대수나 생산, 설계, 개발기술의 수준으로 볼 때 일본, 유럽에이어 매우 경쟁력있는 높은수준에 와 있다고 볼 수 있다.

현재 국내 시장뿐만 아니라, 중동지역, 동남아시아지역 등에 수출도 활발하게 이루어지고 있다.

현재 국내 GIS는 초고압 분야에서 효성중공업을 비롯하여 현대중공업과 LG산전이 개발 및 생산분야에 크게 노력하고있으며, 최근 한국전기연구소에도 개폐장치연구팀이 발족되어 국내의 뒤떨어진 기초해석기술, 시험기술 등의 발전을위하여 노력하고있어, 향후 업체간의 긍정적인 경쟁과 정부출연기관과 업체와의 긴밀한 유대관계를 통하여 고품질,

고신뢰성의 GIS가 국내 순수 기술로 개발될 수 있는 때가 오리라 예상된다.

참 고 문 헌

[1] 전기연감 제3편 전기공업-차단기 대한전기학회, 1995년판
[2] 전기공업정보 1996년 11월호
[3] MEIDEN사 명전시보 1993, No. 5
[4] 日立평론 1994, 12
[5] Development history in HVCB 효성중공업 자료

저 자 소 개

노철웅(盧哲雄)
1944년 8월 10일생. 1970년 서울대 전기공학과 졸업. 1969년 효성중공업 입사. 현재 효성중공업 상무이사, 창원공장장, IEEE 정회원, ASME 정회원. 1997년 대한전기학회 경남지부장