

Epoxy Type 가스부하 개폐기(LBS) 개발

유한상 · 이석원 · 박정주 <LG 산전(주)>

1 서 론

지부하개폐기는 특고압의 부하를 안전하게 개폐하여 주는 기기이다.

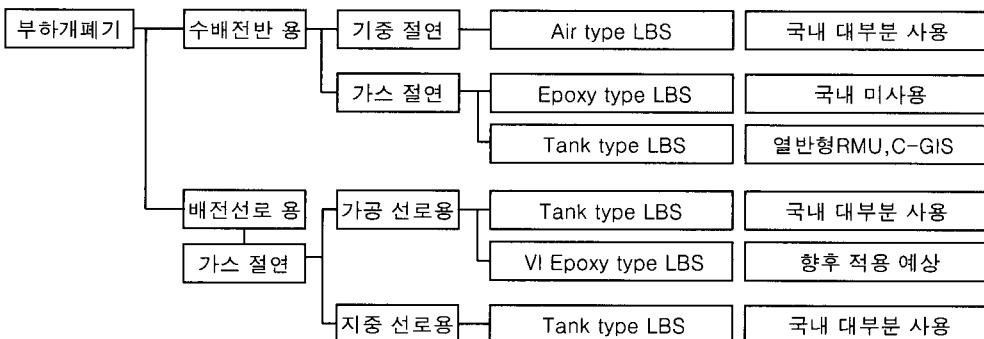
사용 용도에 따라 기종이 분류 되는데, 배전선로의 분기 및 구분을 하기위해 사용되는 부하개폐기는 가공선로용 부하개폐기와 지중선로용 다회로 부하개폐기가 있으며, 설치 조건 상 Compact화가 요구됨에 따라 주로 SF₆가스로 절연을 시켜 제품size를 소형화한 가스 부하개폐기가 사용되고 있다. 또한 향후에는 교체절연VI(Vacuum Interrupter)type 부하개폐기도 사용될 것으로 예상되고 있다.

수배전반용으로 사용되는 부하개폐기로 국내에서는 기중 LBS를 적용하여 사용하고 있어 배전반의 폭

이 최소 1200(mm)이상을 차지 한다. 그러나 유럽 선진국들은 도시 집중화 및 고밀도화로 건물 이용률을 최대화 하기위해 배전반의 설치 면적을 최소화 하기 위해 Epoxy type LBS를 적용한 초소형 배전반을 일반적으로 사용하고 있으며 최소 반목이 350-500(mm) 수준이다. 또한 인도네시아, 베트남, 중국 등의 개발도상국도 수요가 증가 추세이다.

국내에서도 Compact하고 성능이 향상된 배전반이 적용될 수 있도록 하기 위해서 무엇보다도 가장 공간을 많이 차지 하는 LBS(부하개폐기)를 소형화 하는 것이 우선적으로 필요함에 따라 기중 개폐기 보다 Compact하고 성능이 향상된 Epoxy type LBS를 개발하게 되었다. 이에 대해 Epoxy type LBS의 개발과정과 적용사례에 대해 설명을 하고자 한다.

표 1. 용도에 따른 부하개폐기 분류



Note) 가스절연 매체는 절연 성능이 뛰어난 SF₆가스가 주로 사용되고 있다.

2. Epoxy type LBS의 특징

Epoxy type LBS을 기중 절연 LBS와 Tank type LBS에 대해 일반적인 특징을 비교 해보았다.

표 2. Air LBS와 Tank type LBS와의 비교

구 분	Epoxy type LBS	Air type LBS	Tank type LBS
외형도			
절연방식	Epoxy housing으로 밀폐 및 도체를 지지하고 SF ₆ 가스로 절연 및 Arc소호를 함	기중 상태에서 Air 절연 및 Arc소호를 함	Tank로 밀폐되어 있고 SF ₆ 가스로 절연 및 Arc소호를 함
상간거리	210mm	300mm	120mm
단품Size (WxDxH)	330x940x383	920x660x535	450x730x1000
반내설치시 Size	500x1000x2000	1200x2300x2500	450x730x1735
Arc 소호방식	R,S,T각 상별로 고정접점은 Housing 내 고정되어 있고 가동자는 일체형 Rotator에 고정되어 있으며 부하 open시 소호실의 SF ₆ 가스를 노즐로 압축 분사하여 Arc를 소호한다	고정접점은 절연지지에자에 고정되고 가동자는 각각의 회전축에 연결되었으며 Arc를 유도하는 Blade와 가동 접점으로 분리되어 open시 아크노즐에서 분사되는 Air에 의해 Arc가 소호된다	Tank내에 소호부가 내장되어 있으며 소호부는 외부로 단자를 연결해주는 붓싱과 연결되어 있는 구조로 되어있다. 소호부는 회전축에 가동자가 연결되어 있으며 open동작시 내부 piston역할에 의해 SF ₆ 가스를 압축 분사시켜 Arc를 소호한다
부하개폐수명	E2급	E1급	E3급
단시간 용량	20kA/3S	20kA/1S	16kA/1s
투입능력	52kA/3회	52kA/2회	42kA/5회
특징	1.부하개폐시 Arc가 외부로 발생되지 않음 2.ON/OFF/Earth로 열림상태에서만 접지가능 3.기기간 연결은 Busbar 사용	1.부하개폐시 Arc가 외부로 발생되어 주의가 요구됨 2.ON/OFF만 가능 3.기기간 연결은 Busbar 사용	1.부하개폐시 Arc가 외부로 발생되지 않음 2.ON/OFF/Earth로 열림 상태에서만 접지가능 3.기기간 연결은 실리콘 절연 Bus-bar사용

그리고 Epoxy type LBS와 Tank type LBS의 구조상 차이점을 비교해보면 Epoxy housing은 Tank와 붓싱의 기능을 동시에 수행하면서 동시에 Housing 자체로 소호실 기능을 하며 가동자 또한 자체로 노즐기능을 갖고 있으므로 별도의 소호부가 필요로 하지 않으므로 기존 Tank type보다 구조가 단순하고 소형 경량화 할 수 있는 장점을 갖고 있다.

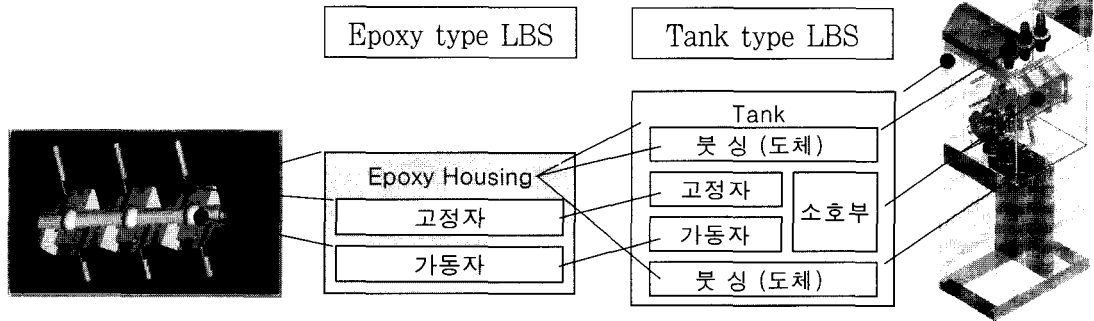
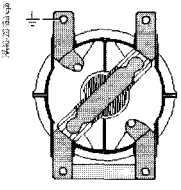
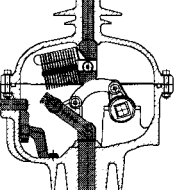
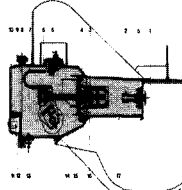
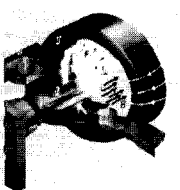


그림 1. Epoxy type LBS와 Tank type LBS의 구조 비교

다음은 소호 방식에 따라 Epoxy type LBS를 분류해 보았는데 가장 일반적인 소호 방식은 SF₆가스를 압축 분사하여 Arc를 소호는 Blast방식과 Puffer 방식을 많이 적용하고 있으며 최근에 Coil 방식과 Grid 방식이 적용되어 신제품으로 출시 되고 있다.

표 3. Arc소호 방식에 따른 분류

A	B	C	D
			
Blast 방식	Grid 방식	Puffer 방식	자기회전 방식
가동자가 회전시 발생하는 Arc를 가동자를 고정하고 있는 plate가 소호실의 SF ₆ 가스를 압축하면서 노즐 사이로 가스를 방출하여 Arc를 소호시킨다	고정자에 open방향으로 Grid를 부착시켜 가동자가 open시 발생하는 Arc를 Grid로 유도하여 Arc를 약화시켜 소호시킨다	가동자가 open시 피스톤에 의해 압력용기내의 SF ₆ 가스가 압축되면서방출되므로써 open시 발생하는 Arc를 소호 시킨다	고정자 주위에 coil을 설치하여 전자력에 의해 Arc를 분산,약화 시켜 Arc를 소호 시킨다
housing자체를 이용하여 가스를 압축분사시키는 구조로 일반적으로 적용 된다	저압차단기의 Grid를 응용하여 고압기기에 적용한 기술이다	Piston 동작에 의해 SF ₆ 가스를 압축분사시켜 Arc를 소호하는 방식으로 가장 일반적인 방식이다	Coil의 전자력을 이용하여 Arc를 회전시켜 소호방식으로 조작성이 적게 든다

3. Epoxy type LBS 개발

선진사들이 보유하고 있는 기종에는 소호방식에 따라 표 3에서 처럼 종류가 다양하게 출시되어 있다. 이에 대해 기술적 접근이나 성능을 표 4와 같이 비교하여 Blast방식을 채택하여 개발을 하게 되었다. Epoxy type LBS에 요구되는 주요 성능은 부하개폐능력과 단시간, 단락투입능력이 요구되며, LBS와 고압 한류 퓨즈를 조합하여 차단기의 기능을 수행하는 Fuse 조합형으로 사용 시는 선로결상 방식을 위해 절환 전류 차단기능이 요구된다.

표 4. 개발 방향 설정

구 분	SIZE	Housing type	가동 접점 동작 방법	고정 접점	Arc 소호
A사	24%	Epoxy one molding	Hinge	ON/OFF/Earth 3-Position	Gas Grid
B사	24%	Epoxy one molding	Rotator	ON/OFF 2-Position	Gas Blast
기종LBS	100%	기종 노출	Hinge	ON/OFF 2-Position	Air Puffer

3.1 구성 요소별 요구 기술 분석

Epoxy type LBS를 구상하면서 소호 방식을 Blast방식으로 채택한 후 구성 요소별로 기능과 요구기술을 표 5와 같이 분석 되었으며 이 모델을 구현하는 데 있어서 Arc소호 성능을 확보하는 것이 가장 큰 bottle neck이 었다. 대부분의 제품이 기술제휴를 통해 기술을 이전 받아 개발됨으로써 핵심 기술이 확보되지 않은 상태에서 처음으로 순수하게 자체기술로 요구 성능을 구현 해야 됨에 따라 초기 많은 시행 착오와 실험을 하게 되었다.

표 5. 요구 기술 분류

구성 요소	기 능	요구 기술
1 Epoxy Housing	<ol style="list-style-type: none"> 1. 삼상 고정접점을 지지 2. 절연 유지를 해주며 3. Housing 내에 SF6가스 밀폐 4. 가동자의 회전을 지지 	<ol style="list-style-type: none"> 1. One Body Epoxy 성형과 삼상 고정접점 지지 2. 표면 절연거리 확보 3. 가스 Sealing 4. 사고 시 내ARC에 의한 압력 방출
2 일체형 가동자	<ol style="list-style-type: none"> 1. 삼상 가동접점을 지지 2. 회전하여 통전, 절체 및 접지 3. SF6가스를 압축 분사 가능 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 삼상 가동접점 지지/상간 절연 2. OFF시 가스 압축 방출 구조 3. 기계적 고강도 구조
3 Mechanism과 Arc소호	<ol style="list-style-type: none"> 1. 차단 속도를 최소 2m/s이상 확보 2. Fuse trip에 의한 Trip기능 3. Shunt trip에 의한 Trip기능 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Open시 가스압축 극대화 2. Arc열에 대한 내열성 확보 3. 차단 속도 2m/s이상 구현
4 투입 / 단시간 고 용량화	<ol style="list-style-type: none"> 1. 사고 전류 견딜 수 있는 성능 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 접점의 최적 형상 구현 2. 내 ARC 및 저 저항 접점 구현 3. 투입력 극대화

3.2 Epoxy Housing 설계

Epoxy Housing은 자체가 가스 소호실 기능을 하며 고정접점을 지지해주는 동시에 절연을 유지할 수 있도록 표면거리를 600[mm] 이상 확보 하였으며 접점과 Epoxy의 접착 표면으로 가스 Leak가 발생되지 않도록 고정접점의 면을 Sanding처리하였으며 내Arc 방출 기능을 갖도록 하였다. 또한, 그림 2와 같이 전계해석을 통해 극간 최소 50[mm], 외부는 210[mm]이상 유지하여 내압 50[kV], Impulse 125[kV] BIL의 절연 성능을 확보하였다.

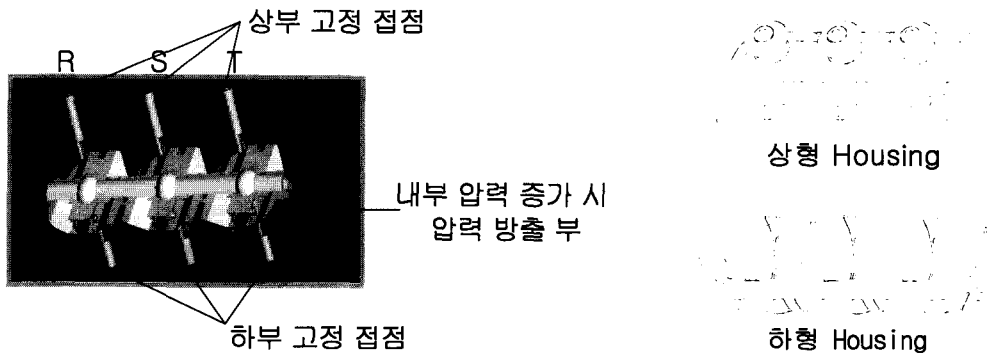


그림 2. One body Epoxy Housing 구조

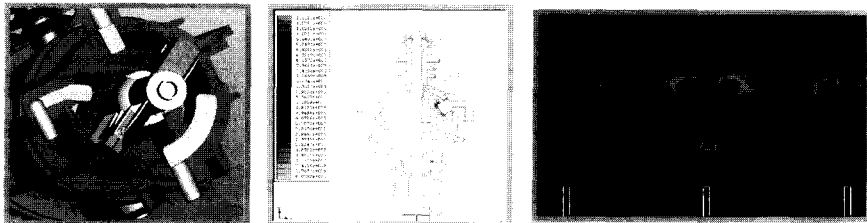


그림 3. 고정접점 고정 및 전계 해석

3.3 일체형 가동자

가동자는 삼상의 가동 접점을 지지하며 Housing내 고정되어 On/Off/접지의 각 위치로 회전하여 통전, 절체 및 접지를 할 수 있도록 해주며 절체 시 발생하는 Arc를 소호하는 기능을 갖고 있는 매우 중요한 핵심 부품이다.

우선, 삼상 가동 접점을 지지해주고 상간 절연을 유지하기 위해 성형성이 좋고 기계적 강도가 뛰어난 Engineering plastic을 사용하였으며, 3D로 모델링 한 후 그림 4같이 Mold flow해석 및 유한요소 해석을 통해 최대의 강도를 갖는 구조를 구현하였으며, 특히 투입상태에서 열림 동작이 진행시 가스를 접점 부위로 집중시켜 가스 압축 및 분사효과를 최대화 하기 위해 그림 6과 같이 안쪽으로 모이도록 형상을 만들었다. 그러나 Engineering Plastic은 Arc에 탄화가 되므로 노즐 부위는 테프론으로 보강하여 Arc로 인한 탄화를 방지하도록 하였다.



그림 4. 유한 요소 해석 및 Mold flow 해석

3.4 Mechanism과 Arc소호

Mechanism은 소호부를 on/off해주는 동작력을 제공해주며 Fuse장착형 LBS에서는 Fuse용단 시 Fuse striker에 의한 기구적 Trip이 될 수 있는 기능을 갖고 있다. 또한 1축을 이용하여 on/off동작 외에 접지 동작까지 할 수 있도록 되어 있으며 Pad lock을 장착하여 임의의 조작을 방지 할 수 있도록 하였으며 on상대에서는 접지 조작을 할 수 없는 구조로 되어 있다.

Mechanism의 투입/open력은 LBS의 주요 기능인 부하개폐 성능 구현과 밀접한 관계를 갖고 있다. 즉 open시 차단 속도가 2[m/s]이상이 되어야 Arc time을 최소화할 수 있고 부하전류의 2-3cycle 내에서 차단을 해야되고 투입시는 4-5[ms] 후 Peak치에 도달하는 Making력을 견디고 안정적으로 투입이 되어야 하기 때문이다. 본 성능을 구현하기 위해 메카니즘 구성 후 그림 5과 같이 ADAMS 동특성 해석을 통해 Link 및 Spring력을 최적화를 할 수 있게 되었다.

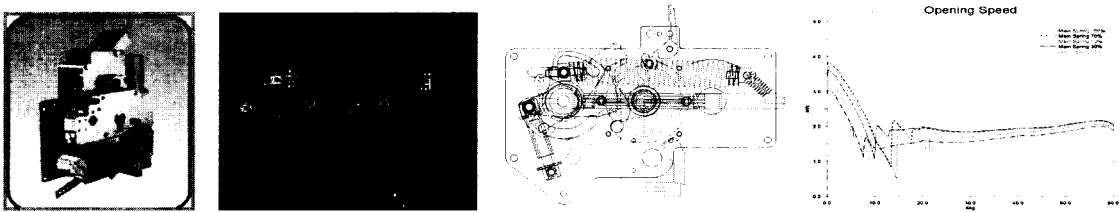


그림 5. ADAMS 동특성 해석

다음은 LBS의 Arc소호 원리에 대해 간단히 설명을 하고자 한다.

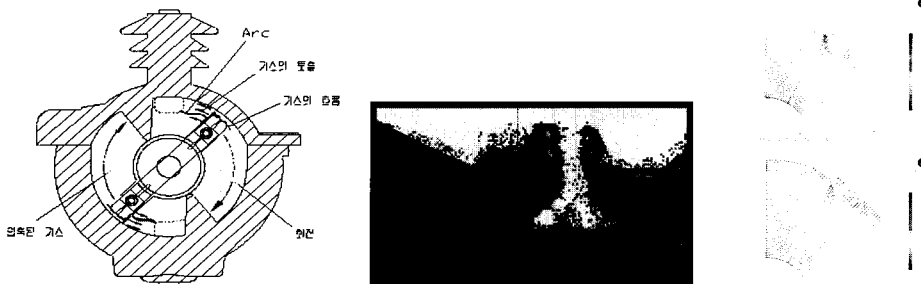


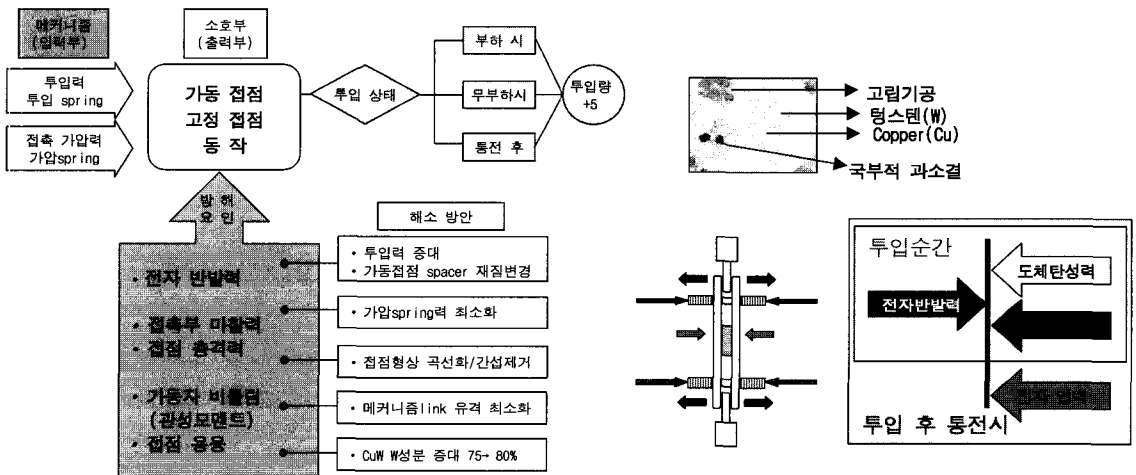
그림 6. Open시 LBS내의 가스 유동 경로와 해석

Open동작 시 고정접점과 가동접점이 떨어지는 순간에 그림 6의 "A"부는 저압 상태가 되고 반대쪽은 가스가 압축이 되면서 가동접점의 노즐부로 가스가 분사되면서 Arc를 소호 시켜 주게 된다. 가스의 압축과 분사속도에 따라 차단 능력이 좌우 됨으로 가스 유동 해석을 통해 노즐부 형상을 최적화 하였고 가동자가 회전시 노즐부 외에 다른 부위로 가스가 새는 것을 막아 압축 및 분사 효과를 최대화 하여 Arc소호 기능을 확보 함으로써 630[A]의 부하개폐와 절환 전류 차단 능력을 1700[A]/12[kV] 까지 확보하게 되었다.

3.5 단락 투입/단시간 고용량 화

투입 및 단시간 용량에 대해 선진사들은 고 용량화하여 후발 업체를 견제하는 요인으로 활용하고 있으므로 경쟁력을 확보하기 위해서는 고용량화가 요구되고 있다. 이에 대해 고용량화에 영향을 끼치는 인자를 표 6과 같이 분석하여 접점과 투입력 그리고 접촉가압력의 상관 관계에 따라 그 성능이 좌우 됨을 알게 되었다. 우선 접점 형상에 따라 투입상태에 영향을 주는 것을 실험적으로 분석하여 고정접점은 투입시 가이드 역할을 하고 충격력을 최소화 할 수 있도록 완만하게 Round화 하였으며 가동접점은 사각 대비 Round형상으로 적용하여 마찰 하중을 50%이상 감소시켰다. 또한 전기적 특성이 우수하고 특히 내 ARC성이 좋은 접점을 적용하여 단락 투입능력 52[kA]/24[kV], 단시간 20[kA]/3S를 구현하였다.

표 6. 인자간 상관 관계 분석



4. Epoxy type LBS를 적용한 Medium Voltage Switchgear 소개

24[kV]이하의 수배전반은 인입 LBS반, MOF반, PT반, Main CB반, Feeder반(Fuse LBS반, CB반)으로 구성되며 Feeder반은 변압기 용량에 따라 12500[kVA]까지는 Fuse LBS반을 적용하고 3000[kVA]까지는 CB반을 사용하고 있다. 그림 7은 Epoxy type LBS를 적용하여 각 Panel을 구성한 예를 보여주고 있으며 CB반은 이 Panel구조 전용으로 사용 되는 Side mounting VCB가 장착되어 Size를 축소할 수 있도록 되어 있다. 표 7은 다양하게 구성되는 Panel의 종류와 소요되는 기기들을 분류해놓은 것이다.

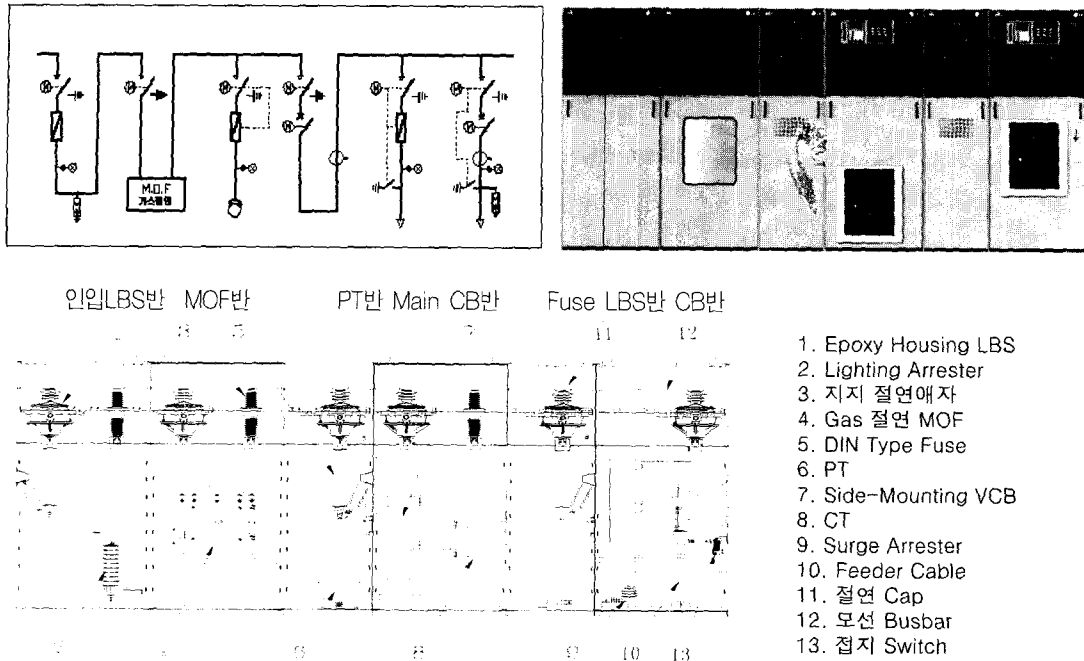


그림 7. Epoxy type LBS를 적용한 MVSG 외형도와 내부 상세도

표 7. Panel별 주요 적용기기 및 부품

		LBS반	MOF반	PT반	Main CB반	보호용 Fuse부 LBS반	보호용 CB반
		TLS/3	TME/1A	TME/2A	TVB/1	TLF/1A	TVB/2B
모선실	모선 Busbar	○	○	○	○	○	○
	절연 Cap	○	○	○	○	○	○
	차지절연 애자	○	○		○		○
EH LBS		○	○	○	○	○	○
LV실	Spring Charge Mechanism	○	○	○	○	○	○
	Position Indicator	○	○	○	○	○	○
	Capacity Voltage Indicator	△		△		△	△
	Interlocking	○	○	○	○	○	○
	LV	○	○	○	○	○	○
	계전기(GIPAM 또는 OCR)				△		△
Cable실	Lighting Arrester	△					
	Gas 절연 MOF		○				
	DIN Type Fuse	○		○		○	
	PT			○			
	Side-Mounting VCB				○		○
	CT				○		○
	Surge Arrester						○
	접지 Switch					○	○

5. 결 론

본 개발제품은 LBS의 전기적 기본특성 즉, 폐로(closed)상태에서 부하전류는 물론 고장전류에 대해서도 열적이나 기계적으로 견딜수 있는 통전성능, 개로(open)상태에서 안정된 절연성능을 유지하여 대기간 및 동상극간의 전압에 견딜수 있는 절연성능(basic impulse level), 폐로상태의 임의의 시점에서 정격차단전류까지의 고장전류를 과도한 이상전압을 발생시키지 않고 가능한 한 단시간에 차단할 수 있는 차단성능(breaking capacity), 개로상태의 임의의 시점에서 단락상태인 회로를 점점의 용착등을 발생시키지 않고 단시간에 안전하게 투입할 수 있는 투입성능(making capacity) 등을 향상시킨 Epoxy type LBS를 국내시장에 처음으로 선보이게 됨에 따라 국내에서도 특고압 수전설비를 초소형 큐비클식화 할 수 있는 기반을 갖추게 되었다고 본다.

Epoxy type LBS를 적용하여 배전반을 구성하므로써 판넬을 표준화 할 수 있고 사용조건에 따라 기기들을 다양하게 배치할 수 있으며 기존의 배전반과 비교하여 size를 1/5로 줄일 수 있어 설치면적도 줄일 수 있고 설치 및 운반도 용이하다. 또한 전기적 성능 측면에서도 단시간 용량이나 부하개폐 용량이 기존의 E1급에서 E2급으로 향상 되었다. 향후 국내에서도 Epoxy type LBS를 적용한 MVSG (Medium Voltage Switchgear)를 채택하여 사용하면 보다 경제적이고 안정적으로 전기를 사용 할 수 있을 것으로 생각된다.

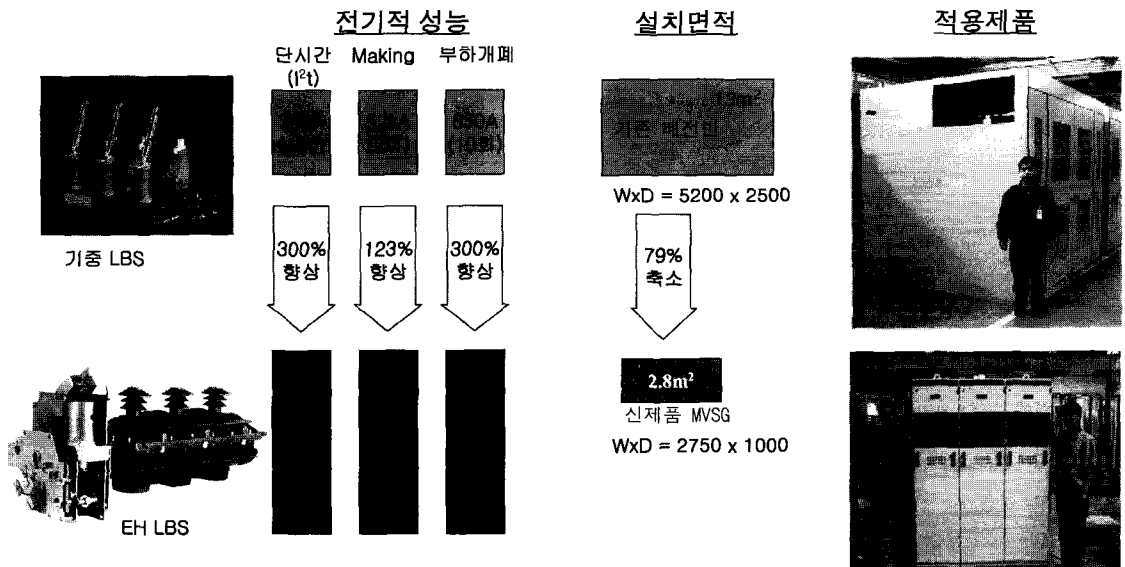


그림 8. 기존 배전반과 비교

◇ 저 자 소 개 ◇



유 한 상(劉漢相)

1989년 금성계전 입사. 1989년 - 현재, LG 산전 전력기기 사업부 고압설계팀/차장. 관심분야: 배전설비 기기 개발. Tel : 043-261-6355. E-mail :

hsyu@lgis.com



이 석 원(李錫遠)

1992년 금성계전입사. 1994년 - 현재, LG산전 전력연구소 전력기기연구팀 선임연구원. 관심분야 : SF₆ 가스 내 절연 특성 및 소호구조모델링, Switch-gear 개폐기구, Ring Main Units 제품연구개발.



박 정 주(朴正柱)

1996년 LG산전 입사. 1996년 - 현재 LG산전 전력기기 사업부 고압설계팀/대리. 관심분야 : SF₆ 가스 내 절연 특성 및 소호구조모델링.