

가스절연송전선로(GIL) 국산화 개발을 위한 설계기술 분석

장태인*, 김진*, 강지원*, 배주호*, 남석현**
한국전력공사*, LS전선(주)**

Analysis on Design Technologies for the Development of GIL Localization

Tae-In Jang*, Jin Kim*, Ji-Won Kang*, Ju-Ho Bae*, Seok-Hyun Nam**
KEPCO*, LS Cable(Ltd.)**

Abstract - 최근에 전력설비에 대한 시각적 효과, 전자계 등 민원으로 인하여 대용량 가공송전 선로를 지중화할 수 있는 가스절연 지중송전선에 대한 관심이 고조되어 이에 대한 국산화 개발이 진행되고 있다. 본 논문은 국산화 개발로 추진 중인 GIL시스템의 개발을 위한 주요 기술사항을 분석한 것으로 GIL 시스템의 효율적 설계를 위한 내용을 다룬다. 이 결과들은 향후 GIL시스템의 국산화 개발 실시설계에 적극 반영될 예정이다.

1. 서 론

최근 국내에서 대도시 확장에 따른 기존 345kV급 대용량 가공송전선로 경과지에 들어서는 신규 택지개발 지구의 빈발, 가공송전선로에 기인한 대도시 민원발생 개소에의 적용을 위한 친환경 지중송전선로의 건설이 절실히 요구되어 현존하는 기술로 적용 가능한 GIL에 대한 관심이 대두되어 최근에 정부과제로 GIL 국산화 개발 과제가 시작되었으며, 이에 발맞추어 한국전력공사에서 GIL 시범설치 사업이 계획되어 있다. 이 논문은 이와 관련된 연구의 일환으로 GIL 시스템의 국산화 개발시 필요한 설계관련 요소기술들을 분석한 것이다. 첫 번째로 현재의 GIL 개발을 위해 요구되는 기본사항을 다루고, 이를 바탕으로 설계시 고려해야 할 요소기술들을 세부적으로 분석하였다.

2. 본 론

2.1 GIL 개발 사항

2.1.1 개발 요구사항

현재 국내에서 개발하고자 하는 GIL은 345kV 4번들 도체 구성을 가지는 대용량 가공송전선로를 일대일로 대체하여 지중송전이 가능하게 하는 사양으로 정격전압은 362kV이고 정격전류는 4,000A이다. 그 주요 사양을 요약하면 다음 표 1과 같다.

〈표 1〉 개발 GIL의 요구사항

항 목	규 격
송전용량	회선당 2.4 GVA
운전 전압	345 kV, 60 Hz
정격 전류	4,000 A
절연 가스	SF6 : N2 = 2 : 8
최대 외경	520 mm
내전압 시험	AC 450kV/1 분
	뇌임펄스 ±1175kV/15회 스위칭 임펄스 ±950kV/15회
외함 운전 온도	최대 70°C (전력구)
모니터링 시스템	부분방전, 가스, 아크 감지 등

2.1.2 구성품

GIL은 다음과 같이 도체, 외함, 절연부품, 혼합절연가스 및 모니터링 시스템으로 구성된다.

○ GIL 내부 구성품

- 도 체 : 알루미늄 재질의 파이프 형태임
- 외 함 : 알루미늄 합금
 - : 단위 길이 12m unit를 자동용접으로 연결
- 지지대 : Epoxy 재질의 절연 및 도체 지지 기능
- 스페이서 : Epoxy 재질의 절연체로서 가스 구획을 구분
- Particle Trap : 이물을 가두어 절연성능을 증가시킴
- 도체연결부 : 도체의 양 끝단에 설치하며 도체끼리 연결
- 절연가스 : SF6, N2 혼합 절연 가스로 내부를 충전함

○ GIL 외부 길이 방향 구분

- 직선부 : 곡률반경 400m 이상의 직선 전력구에 적용됨
 - : 외함은 자동용접방식으로 연결됨
 - : 도체는 sliding contact로 연결
- 벨로우즈 : 외함의 열신축을 흡수할 수 있도록 주름관으로 제작, 플랜지 연결 적용가능
- 가스차단부 : 절연가스를 인접부와 차단하여 사고시 복구를 용이하게 함, 부분방전 센서, 가스누설 센서 및 아크 센서

가 부착됨, 플랜지 연결적용 가능

- 곡각부 : 곡률반경 400m 이내의 각도 전력구에 적용됨. 각도 4 ~ 90° 까지 적용 가능하여야 함, 플랜지 연결 가능

○ GIL 모니터링시스템

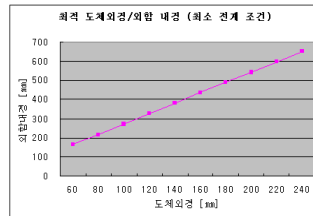
- PD 검출 : UHF PD 센서를 적용한 PD 검출
- 가스 누설 : SF6 가스 센서 혹은 광섬유 센서 적용
- 아크 검출 : GIL 양단에 UHF 안테나 설치
 - : 지락 및 Arc 발생 위치 검출
- 기타 항목 : 광섬유 분포온도 센서 적용, 표면온도감시
- 통신 장비 : 센서로부터 취득한 데이터를 주국으로 송부
- 주 국 : 센서로부터 취득한 데이터를 토대로 위험 판단, 위치추정, 경보발생 등 중앙 처리 장치

2.2 설계시 주요 검토사항

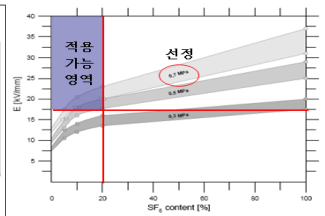
2.2.1 도체 및 외함 크기 설계

동심원 형태의 초고압 지중선로의 절연체에서의 전계는 일반적으로 내부 도체표면에서 가장 큰 값을 보이는 특성을 가지며, 이 전계를 최소화하는 내부 도체의 외경과 금속 시스의 외경은 그 비가 자연대수 e일 때, 최소값을 갖는다. 그림 1에 이러한 관계를 갖는 GIL 내부도체 외경과 외함의 내경 사이의 관계를 나타내었다. 이후, 본 연구에서의 외함/도체 비율은 그림 1의 조건을 따라 해석되었다.

한편, SF6, N2 혼합절연가스에서의 파괴전계는 상용주파내전압 특성보다 뇌임펄스 내전압 특성이 임계적인 모습을 나타내며, 이 값은 그림 2와 같이 SF6 함유량이 클수록, 가해지는 가스압력이 클수록 높은 내전압 특성을 갖는다. 그림 2에서 살펴보면 SF6 100% 3bar에서의 뇌임펄스 절연내력과 동일한 특성이 SF6 20% 5bar에서 보이나, 본 연구에서는 안전율을 고려하여 절연가스의 특성으로 SF6 20%, 7bar를 설계값으로 적용하였다.



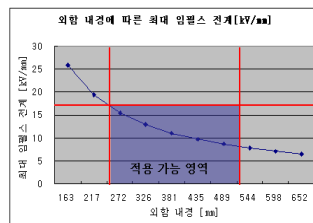
〈그림 1〉 최적 외함/도체 비율



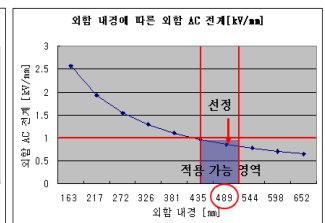
〈그림 2〉 혼합절연가스의 뇌 임펄스 파괴전계 특성

한편, 그림 2의 임계전계를 건디는 외함의 내경을 그림 3에 나타내었다. 한편 GIL의 외함에는 도체 sliding 연결부나 절연부품의 sliding 등으로 인하여 이물이 분포할 수 있으며, 내부 도체에 초고압 및 대전류가 인가되면 이러한 이물들이 hoping하면서 이동하는 등의 현상으로 인하여 절연파괴가 이루어질 수 있다.

이러한 이물을 가두어 절연성능을 높이는 장치가 particle trap이며, 이 곳에 가두어진 이물은 전계가 크면 다시 particle trap을 빠져나올 수 있다. 그림 4에 particle trap에 가두어진 이물이 활동할 수 없는 최소전계 범위에서의 외함내경에 대하여 나타내었다.



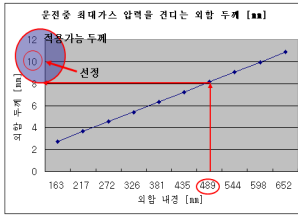
〈그림 3〉 외함 내경에 따른 뇌임펄스 파괴 전계



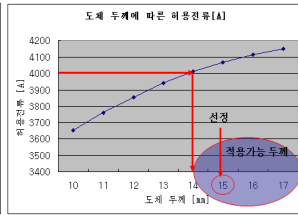
〈그림 4〉 이물의 거동을 막는 외함의 전계

한편, 7bar의 압력을 견디는 외함의 hoop stress를 견디는 두께를 그림 5에 나타냈다. 안전율을 고려하여 외함의 두께는 10mm로 선정하였다.

또한, 도체 두께에 따른 허용전류는 도체 재질에 의하여 변동되나, 안전율을 고려하여 도체두께를 15mm로 선정하였다. 그림 5와 6에 각각 외함 두께와 도체 두께 선정과정을 나타내었다.



<그림 5> 외함의 두께 선정

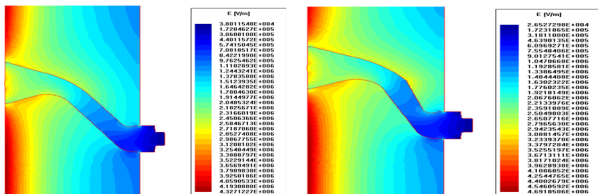


<그림 6> 도체의 두께 선정

2.2.2 절연 부품 설계

가스절연 전력기기에서 대부분의 절연과피는 절연부품의 표면을 타고 일어나는 연면방전이며, 특히 도체와 절연부품 및 절연가스가 서로 만나는 삼중점에서의 전계분포는 해석 및 구현 시 절연특성이 까다로우며 주의를 요한다.

그림 7에 가스차단용 절연부품으로 적용되는 콘 형태의 스페이서에 대한 전계해석 결과를 나타내었으며, 이러한 해석을 바탕으로 스페이서 내부 전계 및 연면 전계가 설계기준 이하가 되도록 설계되었다.

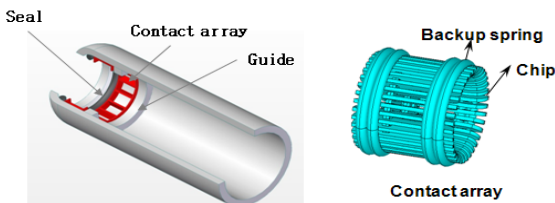


(a) 스페이서부의 도체경 140mm (b) 스페이서부의 도체경 180mm

<그림 7> 스페이서의 절연설계

2.2.3 도체 슬라이딩 콘택트 및 벨로우즈 설계

도체 sliding contact은 부하전류의 변동에 따른 도체의 열신축을 sliding하며 보상할 뿐 아니라, 현장포설 시 plug-in 형태로 조립되어 시공을 간편하게 한다. 일반적으로 초고압 제품에서는 크게 contact chip을 조립한 형태와 contact band를 적용하고 있으나, 본 연구에서는 시공성을 고려하여 contact chip 형태를 적용하였다. 일반적으로 도체 contact 부위는 접촉저항으로 인하여 발열이 가장 큰 부분이며, 특히 sliding contact은 접촉저항이 일반 contact에 비하여 크므로 열적으로 가장 취약한 부위가 될 수 있다. 또한 sliding 시 발생하는 미세한 금속 particle 등이 GIL 절연가스 부분으로 떨어져 나오면, 부유하면서 절연특성에 상당히 악영향을 준다. 본 연구에서는 sliding contact의 접촉저항을 증가시키며, plug-in 조립 시 가이드 역할을 동시에 수행하는 가이드를 두어 접촉저항에 의한 온도 상승을 억제하였으며, 입구에 seal을 배치하여 금속이물이 도체 밖으로 나오지 못하도록 막는 구조를 적용하였다. 그림 8에 도체 sliding contact 및 contact array를 나타냈다.



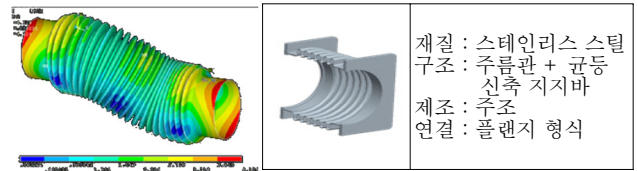
<그림 8> 도체 sliding contact 및 contact array 구조

한편, 외함의 열신축은 벨로우즈를 적용하여 해결될 수 있으며, 표 2에 GIL에 적용될 수 있는 외함 재질별 열 신축량을 나타내었다.

<표 2> 적용 가능한 외함 재질별 열신축량

Material	전기 저항율 (Ωmm ² /m)	열팽창 계수 ×10 ⁻⁶ /°C	열신축량 (12 m당)	
			도체 (-10~90°C)	외함 (-10~70°C)
5005	0.033	23.75	2.85 cm	2.28 cm
5657	0.0315	23.75	2.85 cm	2.28 cm
6063 T6	0.033	23.4	2.81 cm	2.24 cm
6101 T64	0.028	23.4	2.81 cm	2.24 cm

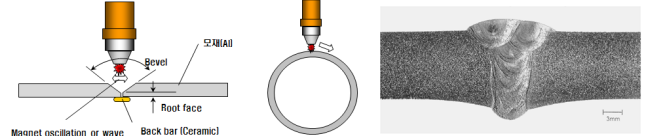
벨로우즈는 기계적으로 수축과 팽창을 지속하기 때문에, 고신뢰성 달성을 위하여서는 기계적 항복 강도 및 피로에 대한 해석이 필수이다. 그림 9에 벨로우즈의 기계적 해석 결과를 나타냈다.



<그림 9> 벨로우즈의 기계적 해석

2.2.4 자동용접기

대부분의 GIL 외함은 전력구내 폭의 제한으로 인하여 수동 용접이 불가능하며, 자동용접기를 적용하여 연결된다. 그림 10에 자동용접기의 개략도 및 용접 단면을 나타냈다.



<그림 10> 자동용접기 개요 및 용접 단면

<표 3> TIG 용접과 MIG 용접의 비교

구분	TIG 용접	MIG 용접
개요	-비소모성인 텅스텐 전극과 모재 사이에 아크열에 의해 모재를 용접 -보호가스: 텅스텐 전극 주위로 아르곤이나 헬륨가스 사용	-전극 와이어를 일정한 속도로 torch에 송급하여 와이어와 모재 사이에 arc를 발생시켜 용접 -보호가스: 헬륨, 아르곤, 이산화탄소, 질소
용접특성	-용접부의 기계적 특성 및 내식성이 좋음. -용접부의 변형이 적음 -용접속도가 느림	-TIG에 비해 넓은 용접면을 가짐으로 기계적 특성 저하 및 변형 가능. -용접 속도가 빠름
용접장비	-비소모성의 텅스텐 전극을 사용(별도의 filler 없이 모재를 녹여서도 가능)	-Filler를 전극으로 사용하기 때문에 작업이 능률적이며 용접 재료의 손실이 적음. -용접기 size에 제약

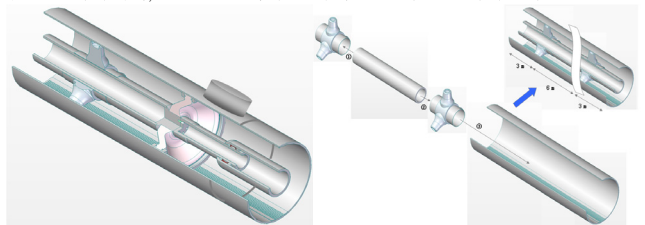
알루미늄 합금의 용접은 가스용접이 많이 쓰이며, 크게 TIG 용접과 (Tungsten Inert Gas Welding)과 MIG 용접 (Metal Inert Gas Welding)이 적용될 수 있다.

표 3에 TIG 용접과 MIG 용접의 장단점에 대하여 비교하였다. 본 연구에서는 비록 작업성이 느리지만, 용접 특성이 좋은 TIG 용접을 적용하여 자동용접기를 구성하였다.

2.3 GIL 설계 사항

2.3.1 설계된 외관

개발을 위해 설계된 GIL의 외관은 다음과 같다. 그림 1(a)는 전체 조립도를 나타내며, 1(b)는 도체의 슬라이딩 콘택트를 나타낸다.



(a) 전체조립도 (b) sliding contact

<그림 11> 설계된 GIL 외관

2.3.2 개발 규격

현재 도체, 지지재, 스페이서, 벨로우즈, PD/Arc 센서, PD/Arc 위치 추적 모듈, 가스누설탐지장치, 데이터수집 및 통신모듈 등을 설계하거나 사양을 결정하였으며, 분포온도감시, 출입자 감시 등 전력구 일반감시, Arc 경보, 가스누설경보, PD판단 등의 사고판단 알고리즘 등의 적용을 검토중이다.

3. 결 론

지금까지 국산화 개발로 진행중인 345kV GIL시스템의 성공적 개발을 위한 설계 요소기술 및 방법에 대하여 알아보았다. 향후 이 결과는 GIL 시스템의 설계 및 제작에 직접 반영되어 적용되어질 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사, “345kV GIL 구매 규격”, 2007
 [2] CIGRE Brochure 218, “Gas Insulated Transmission Lines”, 2002
 [3] J. Alter, M. Ammann, et al., “N2/SF6 Gas-Insulated Line of a New GIL Generation in Service”, No. 21-204 of CIGRE Session 2002