

유리섬유가 충전된 PTFE 절연재를 채용한 이상용 절연구분장치 개발

조호령* 주종민*,
(주)평일 기술연구소*

Development of Enhanced Insulator for Section Insulator

Ho-Ryung Cho*, Jong-Min Joo*
R&D Department of Pyungil Co., Ltd.*

Abstract - At the moment, the section insulators for different phases used for over head contact wire system has been all imported since its first application. However, because the section insulators need frequent maintenance and replacement due to the wear by the friction with pantograph and the contamination, which causes its life shorter than as expected, it is required to develop the insulation material with better wear-resistance characteristics and contamination-resistance characteristics. In this thesis, the author developed the section insulator which adopts Teflon tube insulation material which is composed of the Teflon material with the excellent electrical characteristics and wear-resistance characteristics for a longer expected life than that made of conventional FRP.

1. 서 론

AC 이상용 구분 및 AC/DC 연결구간에서 사용하고 있는 절연구분장치(Section Insulator)는 전량 수입품을 사용하고 있는 실정이다. 절연구분장치용 절연재는 유리섬유 Fabric에 열경화성 실리콘수지를 함침시킨 FRP (Fiberglass Reinforced Plastics) 재료로써 팬티그래프(Pantograph)에 의한 마모와 오염으로 잦은 점검 및 보수가 수행되고 있으며 사용수명이 짧은 문제점이 있어 마모특성 및 오염특성을 개선한 절연재의 개발이 요구되고 있다. 본 논문은 전기절연특성 및 미끄럼 특성이 우수한 테프론재료에 유리섬유를 충전하여 내마모성을 개선한 테프론 튜브 절연재를 AC/DC 절연구분장치에 채용함으로써 기존 유리섬유강화플라스틱(FRP)계 절연재를 채용한 절연구분장치보다 장시간의 수명을 갖게 한 것에 관한 것이다.

2. 본 론

2.1 기존제품의 분석

2.1.1 절연구분장치의 구조 및 특성

기존 FRP계 절연구분장치는 다음 그림 1과 같이 2.0m의 FRP 절연재를 연결금구로 연결하는 구조로 되어 있고, 양단부는 절연재와 전차선을 연결할 수 있는 전차선 연결금구로 구성되어 있으며, 절연구분장치의 설치는 FRP절연재를 연결금구와 양단부의 전차선 연결금구로 연결하여 조립한 다음, 각 연결금구를 상부의 조가선에 매달아 설치하도록 되어있다.

〈그림 1〉 기존 FRP계 절연구분장치 설치사진 및 절연재 마모 사진



FRP절연재는 유리섬유로 직조된 Fabric에 열경화성 Silicone 수지를 코팅한 재료를 Rolling 공법으로 Rolling한 다음, 고온으로 가열된 금형에 투입하고 압축성형(Compression Molding)방법으로 성형한 제품으로 내열성(Max 180℃- 2hr 경과 후 내부 Crack) 및 전기절연특성이 우수하고 강도가 높은 장점이 있다.

〈표 1〉 FRP계 절연구분장치 특성

평가항목	단위	성능	참고시험 결과	
절연구분장치	인장내하중	kgf / 5min	2,000 (Cu 100mm ²) / 3,000 (Cu 170mm ²)	
	절연저항	MΩ	2,000 이상 / DC 1,000 V	
	내전압	kV/5min	100 이상	
	누설전류	mA	1 이하	
절연체	굽힘강도	kgf/mm ²	13 이상	21
	인장강도	kgf/mm ²	10 이상	14
	절연저항	MΩ	5.5 × 10 ⁵ 이상	2.0×10 ⁷ MΩ
	내전압	kV/mm	3.0 이상	4.2
	비중	-	1.6 ~ 2.1	2.05
흡수율	%	2 이하	0.035	

2.2 내마모성 및 절연특성이 개선된 절연재 개발

2.2.1 해외사례 조사

최근 해외에서는 전기절연성과 내마모특성, 내후성이 우수한 테프론(PTFE)에 유리섬유를 충전시켜 내마모특성을 개선한 재료로 튜브를 만들고, 내부에 FRP(Epoxy)로드를 삽입하여 만든 절연재를 적용한 절연구분장치가 개발되어 사용되고 있다.

〈그림 2〉 PTFE 절연재를 적용한 절연구분장치



〈표 2〉 PTFE 절연재를 적용한 절연구분장치의 특성

No.	Properties	Insulator Rod	Neutral Section Insulator
1	상용주파권조내전압	600 kV 이상	500 kV 이상
2	상용주파주수내전압	395 kV 이상	300 kV 이상
3	충격내전압	950 kV 이상	800 kV 이상
4	누설거리	2500 mm	2500 mm
5	절연저항	1.2 GΩ	1.2 GΩ
6	누설전류	120 μA 이하	120 μA 이하
7	내아크 특성	-	10 kA / 0.15 s
8	인장파괴하중	80 kN 이상	120 kN 이상
9	굽힘강도	350 Nm	-

2.2.2 재료특성 검토

다음 표 3은 유리섬유가 충전되지 않은 PTFE와 유리섬유가 충전된

PTFE 원재료에 대한 특성을 나타내고 있다.

〈표 3〉 PTFE 재료 특성 (EPM, Inc.사 자료)

Test Method	Property	PTFE (unfilled)	PTFE (25% glass filled)
D792	Density (lb/in ³) / (g/cm ³)	0.079 /2.2	0.081 /2.24
D570	Water Absorption, 24 hrs (%)	< 0.01	0.02
D638	Tensile Strength (psi)	6,000	2,700
D638	Tensile Modulus (psi)	80,000	-
D638	Tensile Elongation at Break (%)	300	270
D790	Flexural Strength (psi)	No break	1,800
D790	Flexural Modulus (psi)	27,000	19,000
D695	Compressive Strength (psi)	3,500	1,500
D695	Compressive Modulus (psi)	70,000	110,000
D785	Hardness, Shore D	D50-65	D54
D256	IZOD Notched Impact (ft-lb/in)	3.5	2.0

2.2.3 내마모특성 시험평가

마모특성에 대한 비교평가시험은 실제로 사용하는 조건, 즉 팬터그래프 집전판이 습동하는 상황을 그대로 모의한 왕복식 마모시험기를 이용하여 수행하였으며, 마찰마모 시험결과, 다음 표 4에서와 같이 FRP제의 내마모특성이 낮음을 확인할 수 있었고 유리섬유 강화 PTFE제의 경우, 유리섬유 함량 15%의 국내개발 PTFE제가 내마모특성이 우수함을 확인할 수 있었다.^[5]

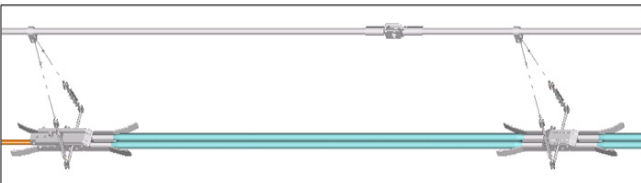
〈표 4〉 절연체별 왕복식 마모시험 후 치수변화

No	절연체 구분	절연체 치수변화(mm)			집전판 치수변화(mm)		
		시험전	시험후	변화량	시험전	시험후	변화량
1	FRP제	35.49	34.98	-0.51	9.91	9.28	-0.63
2	A사 PTFE제 (GF : 25%)	Φ 24.09	23.80	-0.29	9.93	9.62	-0.31
4	국내개발 PTFE -2 (GF : 15%)	Φ 24.10	23.80	-0.30	10.00	9.60	-0.40

2.2.4 이상용 절연구분장치 시작품 제작

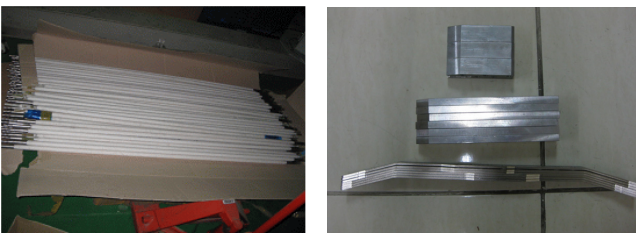
본 연구에서는 위에서와 같이 PTFE원재료에 15%의 유리섬유를 충전하여 만든 튜브 내부에 FRP(Epoxy)로드를 삽입하여 절연체를 제작하고 양 끝에 단말금구를 압착하는 방식으로 절연체를 제작하고, 각 절연체를 연결금구를 사용하여 소요 길이로 연결하고 양 끝단부는 전차선과 연결할 수 있는 구조로 제작하였다. 다음의 그림 3은 이상용 절연구분장치를 전차선에 설치된 그림을 나타내고 있다.

〈그림 3〉 이상용 절연구분장치 설치상태도

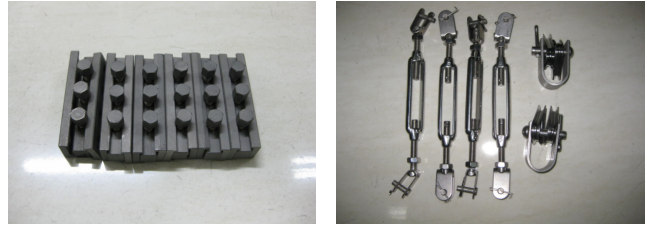


아래의 그림 4, 그림 5의 사진들은 절연체와 연결금구, 조립용 금구 등 시작품 제작에 대한 사진, 그림 6은 완제품을 조립한 사진을 차례대로 보여주고 있다.

〈그림 4〉 절연체 및 연결금구 제작 사진



〈그림 5〉 전차선 금구 및 조립용 부품 제작 사진



〈그림 6〉 이상용 절연구분장치 시작품 조립 연결 시공모의 사진



3. 결 론

본 논문은 앞에서 살펴본 바와 같이 전기절연특성 및 자기유활특성이 우수한 테프론(PTFE)재료에 유리섬유를 충전하여 내마모성을 증가시킨 재료로 튜브를 만들고, 내부에 FRP Rod (Epoxy Resin)를 삽입하고 FRP Rod 양단에 단말금구를 압착하여 절연체를 만든 다음, 이들 절연체를 필요 길이로 연결할 수 있는 연결금구로 연결하고, 양 끝단부에는 전차선을 연결할 수 있도록 한 이상용 절연구분장치에 대한 것이다.

향후에는 개발된 이상용 절연구분장치에 대한 검증시험을 통하여 신뢰성을 검증할 것이고, 신뢰성 평가가 완료되면 실제 선로에 적용하여 운용평가를 할 계획이며, 신뢰성 평가가 성공적으로 완료되면, 기존 제품에서 나타났던 파형마모현상을 최소화하고 팬터그래프 집전판과의 습동에 따른 오염을 방지할 수 있어 보다 오랜 수명을 가지고 안전한 전철운영에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최규형, “전기철도 교/직 절연구분장치의 절연열화현상”, 전기학회논문지, 제52B권 제1호, 2003.
- [2] 김인철, “전기철도 절연구분장치와 팬터그래프 인터페이스 최적화에 관한 연구”, 서울산업대 석사학위논문, 2003.
- [3] 한국철도공사 영등포전기사무소, “절연구분장치 (교류/교류) FRP 마모 원인분석 및 대책”, 전차선 최고기술팀 연구보고서 No3, 2000.
- [4] (주) 평일, “직류용 FRP제 지지예자, 장간예자 및 교류/직류용 절연구분장치 개발”, 제3차년도 협동과제 최종보고서, 2010. 7.
- [5] 조호령 외 “내마모성을 개선한 절연구분장치용 절연체 개발”2010년10월 한국철도학회 추계학술대회논문