직류용 FRP 폴리머 장간애자의 전기적 특성에 관한 연구
Electric properties of FRP polymer stem insulator for DC power

강현일* 김윤식** 심재석*** 이기승†
Kang, Hyun-il Kim, Youn-sik Sim, Jae-suk Lee, Gi-seung

ABSTRACT

Fiber Reinforced Plastic (FRP) insulators for direct current (DC) were developed and their electrical characteristics were investigated. Electrical tests were carried out to measure withstanding and flashover voltages under common use frequency condition. Tensile and bending tests were performed for the mechanical characteristics. The test results showed that DC FRP insulators had superior voltage resistances and strengths to porcelain insulators.

1. 서론

FRP (Fiber Reinforced Plastic) 애자는 일반적으로 자기제 애자에 비해 발수성 및 내오손성 등이 뛰어나 국내 AC 25 kV 전기철도 지상부 및 지하부 전차선로에 사용되고 있다. 국내 직류 전기철도 분야에서는 에서는 FRP 애자의 개발이 진행되고 있는 상태이다. 폴리머 애자는 1980년대 들어서 EPR, silicone, EPDM 등의 절연재료를 사용한 성능이 개량된 폴리머 애자가 개발되었다. 또한, 최근들어 이들 제품에 대한 실험실적 시험 및 현장적용 시험을 통하여 실선로에서의 발생 문제점을 파악하고, 아울러 절연특성의 향상 등으로 품질향상을 이룩하게 되면서 사용량도 점차적으로 증가하게 되었다. 초기 폴리머 애자의 경우는, 개발되어진 후 일부 선로에 시범적으로 사용한 결과 포설후 수년 안에 외피재에서의 열화현상(트래킹, 침식, 크레이징 등)이 나타났으며, 제조공정 및 접합기술의 미흡으로 FRP rod와 외피재 사이의 계면부위에서 기밀성 저하로 수분침투 현상이 발생하였고, 금구 부분이 분리되는 현상도 나타났다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 폴리머재료의 처방기술, 금구의 접합기술 등을 점차 개선하여 현재와 같은 폴리머 애자를 개발하게 되었으며, 그 사용량도 급격히 증대되고 있는 실정이다.

† 책임저자 : 정회원, 서울메트로, 기술연구소, 부장
E-mail : lgisung@seoulmetro.co.kr
TEL : (02)6110-5881 FAX : (02)6110-5338
* 정회원, 서울메트로,기술연구소,전문위원
** 비회원, 서울메트로,기술연구소,과장
*** 비회원, 서울메트로,기술연구소,선임

본 연구에서는 정격전압 1,500V 용 FRP 폴리머 장간애자의 전기적 특성에 대하여 연구하였다. 상용주파 주수내전압, 상용주파건조 섬락전압, 급준파 충격전압 및 뇌충격 내전압 등의 전기적 특성을 측정하여 분석하였다. 각 측정 항목의 결과 값이 기준치를 만족하여 성능이 우수한 것으로 나타났다. 개발된 FRP 폴리머 장간애자는 열차의 안전운행에 직접적인 영향을 미치는 시설물이므로 현장에 직접 설치 후 발생되는 사항 등을 면밀히 검토되어야 한다. 향후 이에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2. 실험

폴리머 애자는 내부절연 및 기계적 응력을 담당하는 심재(core)로서 에폭시 또는 불포화 폴리에스테르계 수지에 glass fiber를 함침하여 인발 성형하여 제조하는 FRP rod, 심재를 보호하면서 외부환경에 의한 오손특성을 확보하기 위한 절연재료(silicone, EPDM, EVA, epoxy를 주로 사용)로 누설거리를 확보하는 기능을 지닌 외피재인 housing 및 shed, 철탑과 가공선로를 연결하기 위하여 절연부 양단에 취부되는 연결용 금구(end fitting)로 구성되어 있다. 전철용 폴리머 애자는 특히 기계적·전기적·열적 성능의 우수함을 요구하므로, FRP rod는 E type glass fiber를 보강재로 하여 내피로 특성 및 전단 특성이 우수한 에폭시 수지에 함침하여 인발 성형하는 것으로 제조공정에 상당한 기술을 요구한다. FRP는 제조공정 중 금형온도 및 인발속도 등의 문제로 crack이 발생되며, 또한 외피재료의 부식 및 여러 손상요인에 의하여 심재가 노출되면 외부 산성상태의 환경과 반응하여 E type glass가 부식되면서 취성파괴가 발생되기도 한다. 외피재는 내아크성, 내후성, 표면발수성 및 전기적 성능이 우수한 실리콘을 사용하며, 전체를 1회에 동시에 사출하는 one-piece molding 방법, 2-3회에 나누어 사출하는 multi-molding 방법, sheath 부분은 사출하고 shed 부분은 압축성형하여 접착하는 방법 등으로 제조한다. 연결용 금구는 기존 지지애자나 장간애자의 Fitting 금구 형상과 구조 치수를 동일하게 적용하여야 호환성이 있으므로 설계 적용시 기존 자지재 애자의 금구와 동일한 구조와 형상, 치수를 적용하는 것이 타당 할 것으로 판단하였다. FRP Rod와 금구의 조립방식은 압착방식을 이용하며, FRP rod 양단에 접속하고 압착다이스로 6방향 또는 8방향으로 압착하여 원형에 가깝게 압착되며 높은 인장하중을 얻는 압착식 접합법으로 실시하는 것이 일반적이다.

폴리머 애자의 일반적인 특징은 자기재 애자에 비해 월등한 발수성을 지니고 있어 우수한 내오손 및 내트래킹 특성을 지니는 점이다. 폴리머 애자의 외피재는 고무재질(Silicone을 주로 사용)로서 기계적 충격에 의해 잘 깨어지지 않고 높은 폭발강도를 지니므로, 전기적 대형사고 또는 외부에서 가해지는 물리적 요인에 의한 애자 파손의 위험이 적으며 파손시 자기재 애자처럼 비산이 되지 않음으로 인축에 대한 위험이 줄어드는 장점이 있으므로 안전한 전력공급

및 유지에 이바지한다. 또한 폴리머 애자는 그 무게에 있어서도 자기재 애자에 비해 1/3 이상으로 경량화가 가능하므로 건설 및 수송단가의 감소, 취급 및 수송시 손상 위험성 감소, 변압기 및 차단기 등의 전력기기의 중량감소에 큰 역할을 한다. 제조시 치수공차가 거의 없으며 성형성이 우수하여 같은 절연길이에서도 shed 직경 및 간격의 조절로 장구간의 누설거리를 확보할 수 있으므로 설계의 유연성이 높으며 필요시 소형화 제작이 가능해진다. 결론적으로 폴리머 애자는 소형·경량이면서도 고강도·고인장력을 지니므로 주변 설비의 소형화, 보관, 수송 및 설치인력, 보수 등의 면에서 현저한 성력화가 가능하다.

그림 1은 직류용 FRP 지지애자 및 장간애자의 설계도면이다. FRP 코아의 재질은 에폭시 수지와 Corrosion Resistance E type Glass Fiber의 합성물질이며, Housing 재질은 Silicone으로 누설거리를 증가시켜 내오손 특성을 향상시켰고, 고정금구는 구상 흑연주철을 사용하였다. 그림 2는 제작된 직류용 FRP 지지애자 및 장간애자이다. 실험은 애자의 전기적 특성 및 기계적 특성에 대하여 실시하였다.

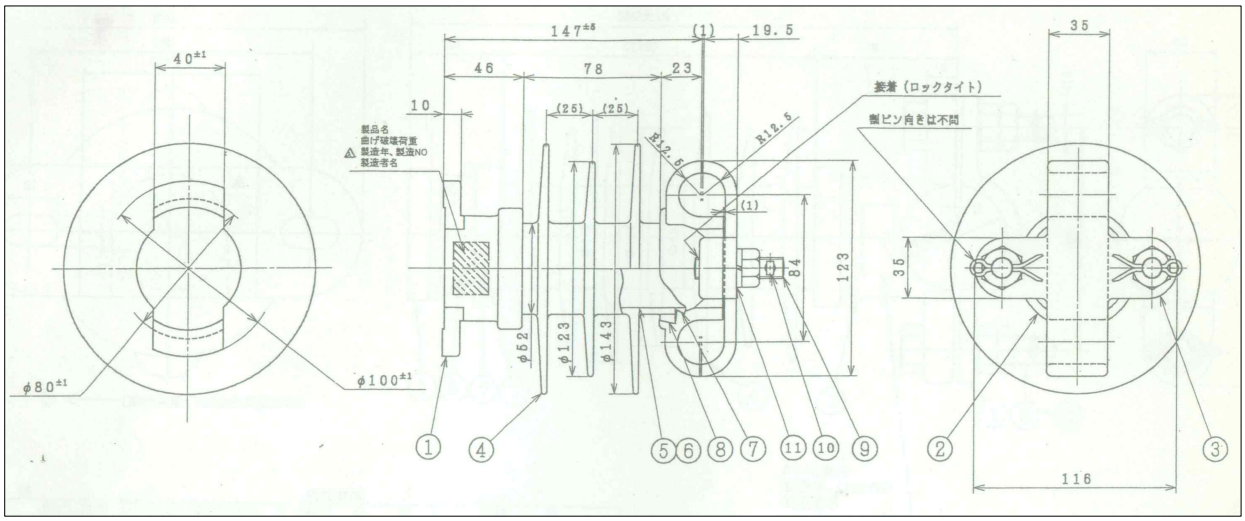

그림1. FRP 애자 설계도면

제작된 지지애자의 지지애자의 목표사양은 다음 표에 나타내었다.

표1. 지지애자의 목표사양

평가항목	단위	성능
Rated Voltage	kV	DC 1500V
상용주파건조섬락전압	kV	60 (KS C 3801 7.2)
상용주파주수섬락전압	kV	30 (KS C 3801 7.4)
50%충격섬락전압	kV	100 (KS C 3801 7.9)
뇌충격 내전압	kV	80

		(KS C 3801 7.8)
염색용액침투시험	-	이상이 없을 것 (CEA LWIWG-01 5.3)
수분확산시험	-	이상이 없을 것 (ANSI C29.11 7.4.2)
난연성	-	IEC 707 FV방법 FV 0에 적합할 것
표면누설거리	mm	290

실제 제작한 FRP지지애자를 그림 2에 나타내었다.

a. FRP 지지애자 구조 b. 실제 제작된 FRP 지지애자

그림 2. 제작된 FRP 애자

3. 결과 및 검토

표1에 보인 지지애자의 목표사양에 따라 실제 전기적 특성을 측정하였다. 다음 표2는 직류용 FRP 지지애자의 전기적 시험 측정 결과이다.

표2. 지지애자의 측정결과

측정 항목		지지애자	
		기준치	측정치
전기적 특성	상용주파주수내전압(kV)	22	견딤
	상용주파주수 섬락전압(kV)	30	37
	상용주파건조 내전압(kV)	55	견딤
	상용주파건조 섬락전압(kV)	60	80
	충격내전압 (kV)	80	견딤
	충격섬락전압 (kV)	100	134
기계적 특성	인장파괴하중 (kN)	10	22
	굽힘파괴하중 (kN)	5	6.5

시험은 KSC 3801을 기준으로 하였으며 모든 측정 항목의 결과 값이 기준치를 만족하였다.

4. 결 론

본 논문은 직류용 FRP 지지애자 및 장간애자의 특성을 분석하였다. 각 측정 항목의 결과 값이 기준치를 만족하여 성능이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 애자는 열차의 안전운행에 직접적인 영향을 미치는 시설물이므로 현장에 직접 설치 후 발생되는 사항 등을 면밀히 검토하여야 한다. 향후 이에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

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

Acknowledgement

This research was supported by a grant(07 Urban Transit Standardization A01) from "the 2nd phase of R&D on the urban transit standardization" funded by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

참고문헌

1. 김양수, 유해출(2008년), “전기철도구조물공학”, 동일출판사

2. 조호령, 이상식(2008년), “국가R&D과제 중간보고서”, (주)평일

3. 1] 김윤식, 2차년도 최종보고서, 서울메트로, p. 39 ~ 41, 2009