

전철용 고분자 장간애자에 대한 양산관점에서의
제조와 품질관리에 관한 연구
A Study on the Mass Productive Manufacture and Quality
of Composite Long Rod Insulator for the Railway

홍진영*, 김영성**, 박완기***
Hong, Jin-Young, Kim, Young-Seong, Park, Wan-Ki

ABSTRACT

We developed the composite long rod insulator for railway, and the developed insulators were applied to commercial lines, KNR through a series of preparations such as establishment of specification, diverse tests and evaluation of reliability, and improvement of manufacturing system, etc.

This paper presents some considerations for mass production of the composite insulators in view of steady quality especially. I believe that our tries, though it is incomplete in view of low cost, is effective in good performance of the insulators in service and these in-service experience is enough to be a basis of more progress in field of insulation technique.

1. 서 론

가공선로에서의 전기 절연용 애자는 무기재료인 세라믹을 재료로하는 자기재 애자 (Porcelain Insulator)가 주로 사용되어져 왔으나 최근들어 유기재료의 합성 및 배합 기술의 급격한 발달과 고분자 재료의 성형기술의 발달로 유기재료를 이용한 고분자 애자의 개발 및 적용이 활발히 진행되고 있다. 고분자 애자는 자기재 애자에 비해 상대적으로 경량이며, 내오손특성이 우수하여 설치 및 유지 보수 비용절감 등에 장점을 지니고 있고 20여 년 이상의 현장 경험을 통해 내후성 측면에서도 신뢰성이 입증되면서 선진국을 중심으로 고분자 애자로의 대체 비율이 급격히 증가되고 있는 추세이다.[1]

이에 본 연구팀에서는 이러한 세계적인 추세에 따라 고분자 애자의 국산화 개발을 위해 노력하였고 생산기반기술 사업으로 3년간의 연구를 통해 95년 전철용 고분자 장간애자의 개발을 완료하였으며 개발된 고분자 애자의 실선로 적용을 위한 일련의 준비 과정들을 전개해 나갔다. 우선 KT 마크, 국산신기술제품 인증의 획득을 통해 개발된 고분자애자의 기술 및 품질을 인정받았고, 최초의 국산 고분자애자의 신뢰성 확보를 위해 구로역 차량 기지에서의 실증시험 및 평가시험을 거쳐 실선로 적용 단계에 이르게 되었다.[2][3]

* LG전선 전력연구소 주임연구원
** LG전선 전력연구소 주임연구원
*** LG전선 전력연구소 부소장

본 논문에서는 고분자 장간애자의 실선로 적용을 위한 일량한 품질 확보 측면에서의 양산 제조 과정과 품질 평가시 고려했던 사항에 대한 경험을 소개하고자 한다.

2. 전철용 고분자 장간애자의 개요

2.1 전철용 장간애자의 역할

국내 전철선로에는 장간애자, 현수애자 등이 사용되고 있으며 장간애자는 그림 1과 같이 전철차량에 전력을 공급하는 급전선을 기계적으로 지지하는 가동 브래킷부를 절연하기 위해 사용되는 애자이다.

2.2 고분자 장간애자의 구조 및 특성

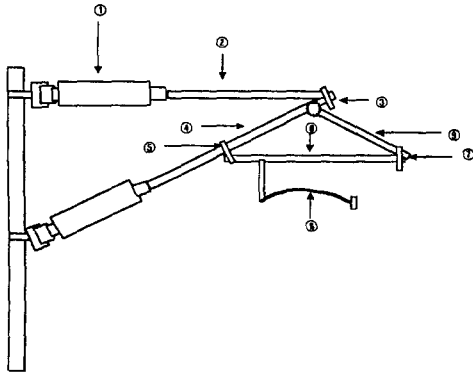
고분자애자는 일반적으로 FRP 심재 (Core), 외피부 (Shed), 단말금구 (Metal Fitting)로 구성된다. FRP Core는 구조체로서의 골격을 유지하면서 내부절연과 기계적 응력을 감당하고, 외피부는 FRP Core의 보호와 표면누설거리를 길게하여 오손, 습윤시의 절연특성을 확보하는 역할을 하며, 단말금구는 전주에 연결하고, Core의 담당하중을 전선이나 전주에 전달하는 역할을 한다. 그림 2는 고분자애자의 구조를 나타낸 것이다. 개발된 고분자 장간애자는 외피재로서 발수성 및 내오손 특성이 우수한 실리콘 Comp'd를 사용하였으며 외피절연부의 형상은 교대각 형태로서 누설거리를 충분히 확보함으로써 우수한 내오손 특성을 갖도록 설계되었다. 또한 FRP Core와 금구부의 접합은 전철선로와 같은 기계적 진동이 많은 사용환경을 감안하여 테이퍼 접착법을 사용하였다. 표 1은 개발된 고분자 장간애자의 규격을 나타내었다.

표 1 고분자 장간애자의 제품 규격

특 성		정 격
명 칭	전철용 고분자 장간애자	Type-m
치 수	표면누설거리	A-B : 1,400 mm C-D : 310 mm
기계적 성 능	구부림 파괴하중	350 kg.m
	인장 내하중	6,000 kg - 1min
전기적 성 능	건조섬락전압	A-B : 230 kV C-D : 70 kV
	주수섬락전압	A-B : 180 kV C-D : 50 kV
	50%내충격 전압	A-B : 380 kV C-D : 100 kV

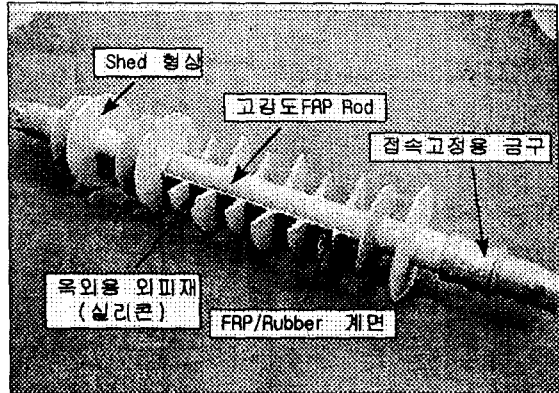
3. 고분자 장간애자의 제조

고분자 장간애자의 제조를 위한 전체 공정의 개략도는 그림 3과 같다.

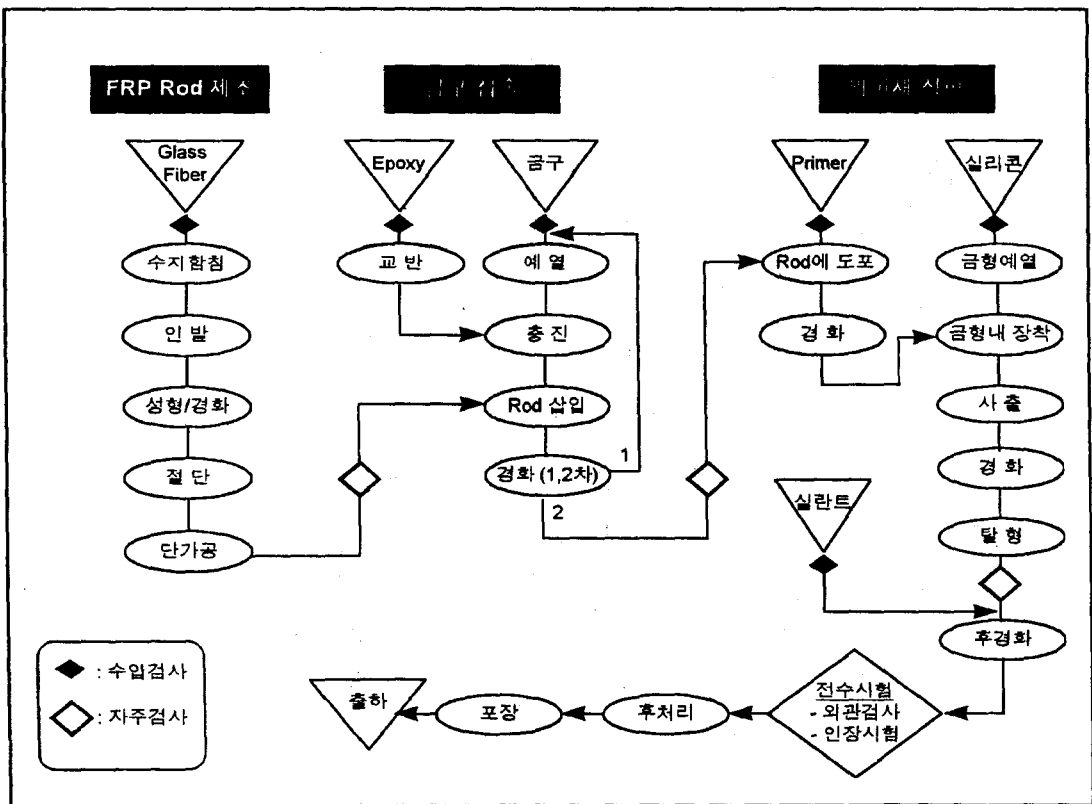


- ① 장간애자, ② 절연상부 파이프 ③ hook
- ④ 절연 주 파이프 ⑤ 진동감쇄 파이프 취부금구
- ⑥ 진동 감쇄 파이프 ⑦ 드로퍼 취부금구
- ⑧ 곡선 당김 금구 ⑨ 드로퍼

<그림 1> 장간애자의 사용 시스템 예



<그림 2> 고분자애자의 구조



<그림 3> 고분자 장간애자의 제조 공정

3.1 FRP Rod 제조

고분자 애자의 심재로 사용되는 FRP Rod는 단면형상이 일정하고, 길이방향에 대한 높은 인장강도, 전기절연성을 요구하는 제품으로 특성의 균일화와 연속 대량생산을 위해 인발성형 방식으로 제작한다. 성형공정은 강화유리섬유를 수지에 함침시킨후 가열된 금형내부로 연속 인발하고, 금형 내부에서 경화하여 성형된 연속 rod를 제품 크기로 절단하는 공정에 이어 양단 금구 접속부위에 접착제와의 결속력을 강화해 주기 위해 단가공을 하게 된다. 한편, 인발성형 제조방식은 기계적 특성 향상을 위해 일방향으로 배열된 유리섬유의 길이방향으로 수분침투 가능성이 있는 약점을 지니고 있기 때문에 유리섬유와 수지사이의 개면결합특성에 대한 특별한 관리가 필요하며 이를 위해 성형된 rod에 대해 샘플을 채취하여 염료침투시험 및 수분확산시험과 더불어 기계적 특성시험으로서 굽곡, 인장, 압축시험 등의 자주검사가 시행된다.

3.2 금구접속공정

접속공정은 애자의 인장하중에 절대적으로 영향을 미치는 중요한 공정이므로 세심한 관리가 필요하다. 본 고분자 장간애자의 금구접속은 전철선로 등의 진동이 많은 운전환경에 적합한 테이퍼접착법에 의해 행해진다.

이액형 고온경화 Epoxy계 접착제를 온도조건에 맞춰 충분히 교반시킨후 예열된 금구내부에 충전하고 FRP rod를 삽입하여 경화되도록 한다. 이때 rod와의 평행상태 및 양쪽 금구의 접속 방향에 주의해야하며 이를 위해 특별히 제작된 접속용 경화 오븐이 사용된다. 한편 이때 사용되는 취부금구에 대한 도금상태 및 구조, 치수에 대한 검사가 선행되며, 경화시에는 접착제에 대한 Lot별 Tg를 측정하여 접착제에 대한 경화도를 검사한다.

3.3 외피 절연부 성형공정

외피 절연부 성형을 위한 사출공정에 앞서 Rod 표면에 Primer를 도포함으로써 외피 절연재료인 실리콘 고무와 FRP Rod 계면이 화학적으로 결합되도록 한다.

사출성형 공정은 외피재료의 Feeding, 사출, 경화, 탈형의 과정이 작업표준에 의해 정확히 수행되어야 한다. 특히 사출시 가해지는 압력이 적절하지 않거나 압력의 균형이 맞지 않는 경우 외피재의 미충진이나 Rod가 휘는 현상이 발생될 수 때문에 최적의 금형제작과 사출조건 선정에 세심한 주의가 필요하다. 본 연구에서는 사출금형설계 및 작업조건 설정의 최적화를 위하여 사출 Simulation 기법을 적용하여 대량 생산시 양품의 수율 향상과 일정한 품질을 갖출 수 있도록 하였다. 또한 air vent를 금형 parting line 부와 insert block측면에 설치함으로써 별도의 진공장치 없이 작업이 가능하도록 하였으며 스프링 장치에 의한 ejector를 설치하여 탈형시 제품의 취출이 용이하도록 하였다. 또한 사출후 잔류물은 다음 사출제품에 불량 요인이 되기 때문에 금형 내부 청소에 주의를 기울여야 하는데 이를 위해 금형 내부를 테프론으로 코팅함으로써 외피재와의 이형성 향상과 더불어 금형의 청소시간을 단축시킬 수 있었다.

사출성형 이후 공정으로는 금구 끝단과 외피절연부 사이의 기밀성 확보를 위한 실링제 도포 공정과 1차 경화이후 내부에 잔존하는 미반응 경화제 및 반응 부산물을 제거하기 위한 후경화 공정, 그리고 외관 및 인장내하중에 대한 전수검사, 마름질, 포장 과장을 거쳐 출하된다.

4. 시험 및 평가

고분자 애자는 사용재질이 유기 합성체이기 때문에 옥외 환경하에서의 여러 가지 열화요인 (태양광, 온도변화, 대기오염, 염분 등)에 장기 노출될 경우에 나타나는 현상들에 대하여 적절한 시험평가가 이루어져야 한다. 이에 따라 고분자애자의 시험 평가방법들은 전세계 우수 연구기관에서 연구되고 있으며 80년대 중반이후 IEC, IEEE, ANSI, CEA등에서 고분자 애자에 대한 시험 및 적용 규격을 제정하였고, 일반적으로 이를 토대로 시험평가가 이루어지고 있다. 따라서 본 전철용

고분자 장간애자에 대한 시험 및 평가를 위해서는 우선 기존의 자기재 애자가 갖는 기본 특성을 만족하는지에 대한 평가와 더불어 장간애자의 운전환경을 고려하여 재료의 변화에 따라 행해져야 할 평가 항목을 추가하여 전철용 고분자 장간애자의 시험평가 규격을 제정하였다.

시험 및 평가는 형식시험 (Type Tests)과 검수시험 (Sampling & Routine Tests)으로 나누어 진행된다.

형식시험은 설계, 재료 및 제조공정의 적합성과 더불어 고분자 애자 완제품의 기본특성을 평가하기 위한 시험으로서 최초 개발시 인정시험으로 행해지며 형태나 재료가 바뀌지 않는한 1회의 시험을 실시한다. 형식시험 항목으로는 기존의 자기재애자의 시험에도 통상적으로 실시되는 전기적 특성시험, 기계적 특성시험 등이 공히 적용되며 재질에 대한 원소분석과 경도시험 등의 기본 특성 시험과 더불어 고분자 애자의 운전환경에 따른 특성변화를 평가하기 위한 내후성시험, 표면의 트래킹 저항성을 평가하기 위한 내트래킹 시험, 염수분무시험, 심재와 외피재의 접착력을 평가하기 위한 접착력시험, 보이드 및 이물질 존재, 계면상태를 파악하기 위한 X-선 투과시험, 계면간의 기밀특성을 평가하기 위한 수분침투시험 등으로 구성된다.

검수시험은 고분자 애자중 제조상의 결함이 있는 제품을 찾아 없애기 위한 시험으로서, 제조된 모든 애자 혹은 규정된 수량의 Sample을 발췌하여 시행되는 시험이다.

표 2는 본 고분자 장간애자의 시험규격을 요약한 것이다.

표 2. 전철용 고분자 장간애자의 시험규격

시험항목	근거 spec.	시험구분	시료수	
			형식시험	검수시험
외관검사	KSC 3801	검수	-	전수량
치수검사	KSC 3801	검수	-	납품 lot 혹은 1000개당 5
구조검사	KSC 3801	검수	-	납품 lot 혹은 1000개당 5
접착력 검사	배전애자구매시방	형식	3	-
X-ray 투과시험	배전애자구매시방	형식, 검수	3	납품 lot 혹은 1000개당 5
구부림 파괴하중	KSC 3801	형식	3	-
인장내하중	KSC 3801	형식, 검수	3	전수량
경년변화시험	IEC 1109	형식	2	-
건조섬락전압시험	KSC 3801	형식	5	-
주수섬락전압시험	KSC 3801	형식	5	-
50%충격섬락전압시험	KSC 3801	형식	5	-
전파장해전압시험	KSC 3801	형식	5	-
실리콘 원소분석시험	EDS 분석	형식	3	-
실리콘 경도 시험	KSM 6518	형식	3	-
아연도금시험	KSD 0201	형식	3	-
염수분무시험	IEC 1109	형식	2	-
내트래킹 시험	CEA LWIWG	형식	4	-
난연성 시험	IEC 707	형식	3	-
내후성 시험	CEA LWIWG	형식	3	-
수분침투시험	IEC 1109	형식	3	-

본 고분자 장간애자는 제정된 전시험항목에 대하여 시험구분없이 한국전자부품 종합기술연구소 (KETI) 인증시험을 실시하여 모든 항목에 대하여 규정치 이상의 양호한 특성을 확인하여 국내에서는 최초로 상용선로에 적용하게 되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 전철선로에서 사용되고 있는 자기재 장간애자를 대체하기 위하여 개발된 고분자 장간애자에 대한 양산개념에서의 생산기술과 품질관리, 시험평가에 대한 경험을 소개하였다.

고분자 애자의 생산공정 측면에서는 대량 생산되는 제품 제조의 견지에서 일정한 품질수준 확보를 위한 작업표준을 제정하였으며 불량요인 많은 공정 다음에는 자주검사를 통해 불량요소를 최대한 배제하여 양품 수율을 향상시킬 수 있도록 제조공정 flow를 정립하였다. 또한 제품의 검사 및 시험에 있어서는 애자의 사용환경과 고분자 애자의 재질에 따른 특성을 충분히 반영하여 적절한 시험평가규격을 제정하여 제품의 신뢰성을 높이는데 주안점을 두었다.

국내에서는 양산개념의 고분자 제조 경험이 전무할 뿐 아니라 최초의 국산제품의 상용선로 적용인 만큼 선로환경에서 요구되는 특성을 충분히 만족시킬 수 있는 일량한 품질의 제품관리 측면에 중점을 두었고 이에 반해 대량생산 체계에 의한 제조 원가 절감 개념에서는 개선해야 할 여지가 많이 남아 있다. 하지만 이러한 제조경험과 상용선로 적용 경험은 향후 국내 고분자 절연물 관련업체의 신제품 개발의지와 제조기술향상을 촉진시킬 수 있는 계기가 될 것이며 나아가 사업화를 위한 품질관리 기준을 정립하는 근간이 되어 기술안정화 및 관련시장의 조기 성숙화에 공헌할 수 있을 것으로 믿는다.

감사의 글

본 연구를 수행하는데 있어서 개발 당시부터 많은 도움을 주신 철도청 관계자 여러분들께 진심으로 감사 드립니다

참고문헌

1. Brian Porarier, "Experiance and Applications with Non-Ceramic Insulators at Powerline Queensland", Symposium on Non-Ceramic Insulator Technology, 1996
2. 김동욱, 김영성, "전철용 고분자 장간애자 개발", 고전압 방전학회 춘계학술대회, 1995
3. 홍진영, 김영성, 백주흠, 박완기, "전철용 고분자 장간애자의 실증 시험을 통한 신뢰성 평가", 전기전자재료학회 추계학술대회, 1996