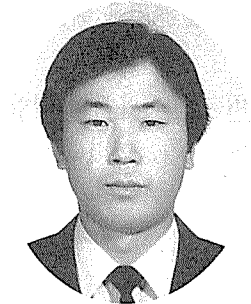


고분자 피뢰기의 구조 및 기밀기술



(株)建華商社 부설기술연구소
책임연구원 황명근

1. 서론

본 연구개발의 목적은 국내 전력계통이 복잡 다양하게 됨에 따라 각종 선로에서 발생하는 Transient Voltage Surge에 대한 억제 대책의 중요성에 일반전력 수용가에 고전압이 침입하여 전기·전자기기의 파괴 및 수명 단축과 같은 과전압 피해를 방지하고 또한 산업의 대규모화와 도시 과밀화로 매연과 분진에 의한 오손이 증가하고 있으며 특히 우리나라와 같이 삼면이 바다로된 염해가 있는 해안 지역의 절연물에 의한 오손 사고로 막대한 경제적 피해를 가져오고 있어 이에 대한 대책으로 Porcelain이 아닌 절연성이 우수한 고분자(Polymer) 재질로 Arrester 하우징에 관한 애관 개발에서의 FRP cylindrical container의 제품을 통하여 기밀 처리에 대한 개선된 전극 구조로 나타내어 이에 대한 입증을 보였다. 또한 단자 부분을 SUS Cap과 AL전극간에 완벽한 기밀 구조로

채용함에 따라 흡습에 의한 열화 사고를 방지함으로써 전력계통의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 본다.

2. 접착제의 이론과 접착기술

중전기기 제품은 대부분 고체와 절연체가 상존해야 하므로 이종 재질간의 접착을 필요로 하며 고전계가 걸리기 때문에 계면 defect는 기계적, 전기적 사고의 직접적인 원인이 되기도 한다. 접착의 불량에 대한 개선을 도모하고자 할 때, 우선 접착 시스템의 파괴 장소를 잘 조사할 필요가 있다. 접합부의 파괴에서 응집 파괴되면 접착제의 파괴를 바꾸거나 개선해야 하고 피착재 파괴이면 피착재의 두께나 형상을 검토해야 하고 파괴가 일어난다면 피착재의 표면처리상태, 접착제의 종류, primer처리 등에서 개선 방법을 찾아야 한다.

2-1 계면의 접착력

이종 재질간의 접착 강도는 포개지는 면적이 증가함에 따라 어느 정도 증가하나 일정길이 이상에서의 접착 전단 강도는 level off되는 특성을 가지고 있으며 탄성계수가 낮은 접착제인 경우 포개지는 길이가 증가할수록 전단 응력을 지탱하는 능력이 커지게 된다. 복합재료의 접합 계면이 온도 사이클이 있는 환경에 놓이면 이종 재질간의 열팽창 계수가 다르므로 열 응력이 발생하고 접착제와 피접착제간의 열팽창 계수의 차이가 크면 추가적인 인장응력(tensile stress), 전단응력(shear stress), 개열응력(cleavage stress), 박리응력(peel stress) 등의 응력이 걸린다. 이러한 외력은 작용하는 시간이나 시간적 변화에 따라서 충격응력, 반복응력, 일정응력으로 나누기도 한다. 접착 결합에서 creep는 사용온도, 시간, 접착 계면의 형상, 응력 정도, 접착제의 종류 등에 따라 크게 다르며 취성이 큰 접착제가 연성 접착제 보다 creep가 적으며 사용 온도나 응력 중의 하나를 30%만 감소시켜도 creep 내구성은 수백배 증가한다. 어떤 이종접합 구조물이 설계 제작되어 사용 환경에서 내구성을 갖고 기능을 유지하려면 접착제의 형태(film, 희석액체, 복합계), 처리계면 defect, 가격, 제품의 사용환경 등의 경제성 검토가 되어야 할 것이다. 복합재료 구조물의 접착 결합에 사용되는 접착제는 대부분 열경화성 수지인데 폴리에스터, 에폭시, 페놀, 폴리아미드, 실리콘 등의 수지가 주종을 이루며 접착한 접합부에는 작용하는 외력의 방향에 따라서 계면의 접착력은 피 접착제의 표면 처리상태, 접착제의 종류(접착제의 자체강도, 피착제와의 결합력, 팽창 완충성), 접착제 처리방법 등에 따라 다르며 팽창계수 차이에 따른 기계적

stress와 전기 및 화학적 열화에 기인한 계면 접착력의 저하는 제품의 장기 신뢰성과 직결되므로 대단히 중요하다.

3. FRP와 금속 CAP의 접착

본 연구에서는 서로 다른 성질을 가진 금속과 고분자 복합 재료간의 접착력의 증가를 가져오고 금속과 고분자 사이에 열 충격에 대한 완충 역할을 담당시키고자 epoxy 접착제를 사용하고자 한다. epoxy 접착제는 epoxy 수지, 경화제, 첨가제, 충전제로 이루어져 있다. 여기에서 epoxy 수지와 경화제는 접착을 이루는 가장 중요한 성분으로서 여러 종류가 있으며 그 특성도 매우 다양하다. 첨가제는 산화방지 또는 내후성 등의 증가를 위하여 소량 첨가하는 성분이며, 충전제(filler)는 특수한 목적을 위하여 epoxy 수지에 첨가하는 무기질 계통의 물질이다. 그리고 epoxy 수지에 희석제(diluent)를 혼합하여 수지의 점도를 감소시켜 가공성 증대를 가져오기도 한다.

3-1 Epoxy 수지의 종류 및 일반 특성

접착제로서 가장 많이 사용되는 epoxy 수지로는 bisphenol-A계 epoxy(BPA)와 Novolac계 epoxy, 그리고 특수한 목적으로 쓰이는 고성능 에폭시가 있다.

3-1-1 BPA epoxy(bisphenol-A type epoxy)

BPA epoxy는 가장 많이 사용되고 있는 일반 epoxy로서 이는 epoxy분자의 양끝에 epoxide기가 두 개 있다. 일반 시중에서 판매되고 있는 대표적인 BPA epoxy는 외국제품인 경우 DER 331

(Dow), Epon 828(Shell), Araldite 6010(Ciba-Geigy), EpiRez 510(Interrez), Epotuf 371410(Reichhold) 등이 있고 국내 제품의 경우 국도화학, 제일합섬, LG화학 등에서 제품을 생산하고 있다.

3-1-2 Epoxy수지의 반응성 폴리머 블렌드

Bisphenol형 epoxy수지는 저 분자량이고, 또한 저 분자량의 경화제를 사용하기 때문에 초기 접착력이 낮고 접착 시에 장시간의 압착이 요구된다. 또 내충격성, 굴곡성에 약하다. 이들 결점을 개선하기 위하여 epoxy수지와 반응할 수 있는 관능기를 갖는 폴리머와 경화시키는 방법이 취하여 진다. 나일론 폴리아미드, 아크릴 수지, 페놀수지, NBR, 폴리소시아네이트, 폴리술퍼드, 크실렌 수지, 멜라민 수지, 이닐린 수지를 경화제로 반응시키는 일이 있다. 이 경우는 epoxy 당량의 허용량 폭이 넓다. 구조 접착제로서의 epoxy수지의 폴리머 블렌드의 성능을 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 구조 접착제로서의 epoxy 수지의 폴리머 블렌드의 성능

Adhesive	Tensile shear stress(psi)	Peel stress (psi)
Epoxy-나일론	6500	90
Epoxy-Phenol	3200	4
Epoxy-Polyamide	4000	12
Epoxy-Polysulfide	3000	20
Epoxy-폴리소시아네이트	5200	90

3-2 희석제(diluents)

Epoxy 자체의 점도가 높거나 또는 적당한 점도

를 갖는다 해도 충전제를 혼합시 epoxy의 점도를 낮출 필요가 있는 경우 희석제를 사용하며 반응성(reactive) 희석제와 비반응성(non-reactive) 희석제로 구분되며 반응성 희석제는 점도가 작은 mono나 di-functional epoxy 재료이다. 반면 비반응성 희석제는 물성을 저하시키며 접착제 표면으로 스며 나오는 특성이 있기 때문에 일반적으로는 사용하지 않으나 반응성 희석제에 비하여 경제적이다.

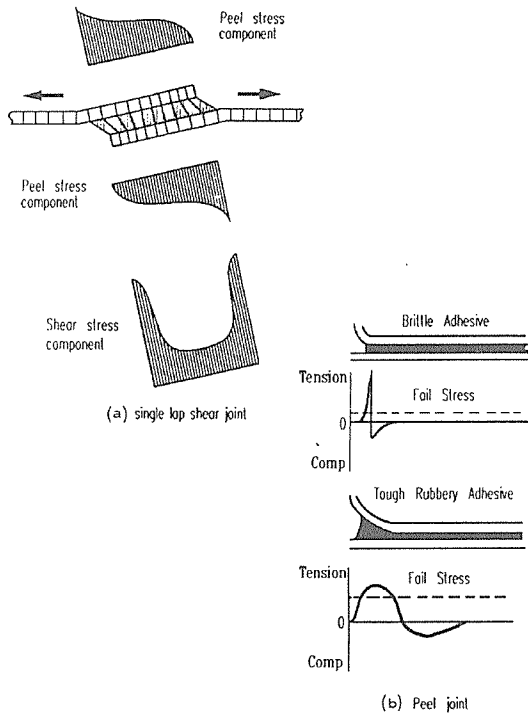
3-3 충전제(fillers)

충전제는 우리가 원하는 특성을 갖고자 할 때 또는 가격상의 이점 때문에 사용하는데, 충전제의 종류와 함량은 각 상황에 맞도록 결정되고 특히 함량은 입자크기, 형상, 밀도 또는 Oil absorption 특성에 좌우된다. Porous, high-oil-absorption 충전제는 소량 첨가해도 점도 저하가 크며, powdered aluminum and alumina 같은 oil absorption, granular 충전제는 200part까지 첨가가 가능하고 aluminum oxide, silica, calcium carbonates와 같은 nonporous, lower oil absorbent 충전제는 700~800part까지 첨가할 수 있다. 그리고 충전제 사용할 때 계면결합을 증진시키기 위하여 organotitanates, zircon-aluminate 또는 silane 계면결합제를 사용한다.

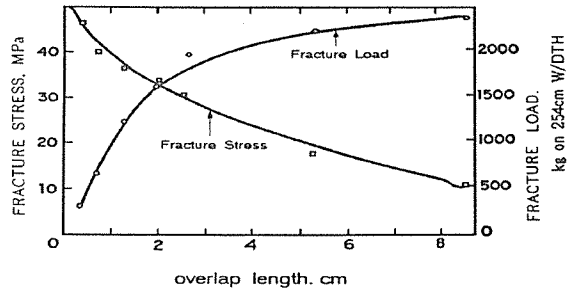
본 연구에서는 epoxy수지에 충전제를 첨가하여 epoxy수지의 경화시 수축을 방지하고 금속과 FRP의 중간 정도의 경도와 열팽창 계수의 값이 되도록 하고자 한다. 또한 충전제의 첨가에 따른 접착강도의 추이를 측정하여 최대의 결합력을 가지도록 충전제의 영향을 검토하고자 하였다.

4. 접착강도의 평가

서로 다른 재료의 접착력을 시험하는 방법으로는 lap shear test(ASTM D 1002), peel test (ASTM D 1781, D 1876), cantilever beam test, blister test 등이 있다. 이들중 실제 사용 환경 하에 놓였을 때 시료에 가해지는 힘의 종류가 전단 응력이므로 lap shear test를 주된 시험 방법으로 선택하였다. 접착면에 응력을 가하는 lap shear test나 peel test에서는 응력이 접합면을 따라 균일하게 존재하지 않으며, adherend의 끝부분에서의 서로 다른 변형과 굴곡 때문에 overlap end에 응력이 집중하게 되며 이를 (그림 1)에 나타내었다. 그리고 접착면의 길이가 늘어나면 측정되는 파괴강도가 증가하나 단위 면적당 파괴응력은 감소하는 것으로 보고되어 있으며 이를 (그림 2)에 나타내었다.



(그림 1) 접착면의 서로다른 형태에서의 응력분포



(그림 2) 파괴시에 접착면 길이의 결과

소하는 것으로 보고되어 있으며 이를 (그림 2)에 나타내었다.

환경에 따른 주기적인 온도를 경험해야 하는 서로 다른 재료의 접착의 경우 계면에서의 열적 변형에 의하여 epoxy 접착제는 취성을 보이므로 접착강도의 저하가 심한 경우 접착면의 균열과 파괴를 가져올 수 있으므로 적절한 인성의 부여가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 dignifiedly ether bisphenol A type(DGEBA YD-128)의 epoxy 접착제에 인성을 부여하기 위해 rubber modified epoxy R-1309(DGEBA modified by NBR)를 섞어 기본수지로 하였다. 일반적으로 rubber modified epoxy의 첨가에 의하여 전단응력(shear stress)은 감소하고, 박리응력(peel stress)은 증가하는 것으로 알려져 있다. 경화제로는 KBH-1085(nadicmethyl anhydride)를, 촉진제로는 KBH-1086(benzylidimethyl amine)을 사용하였으며, 무기 충전재로는 평균입도가 $14\mu\text{m}$ 인 SiO_2 를 사용하였다. <표 2>는 실험에 사용된 접착제의 기본 혼합 조성을 나타내었다.

〈표 2〉 실험에 사용된 접착제의 기본 혼합 조성

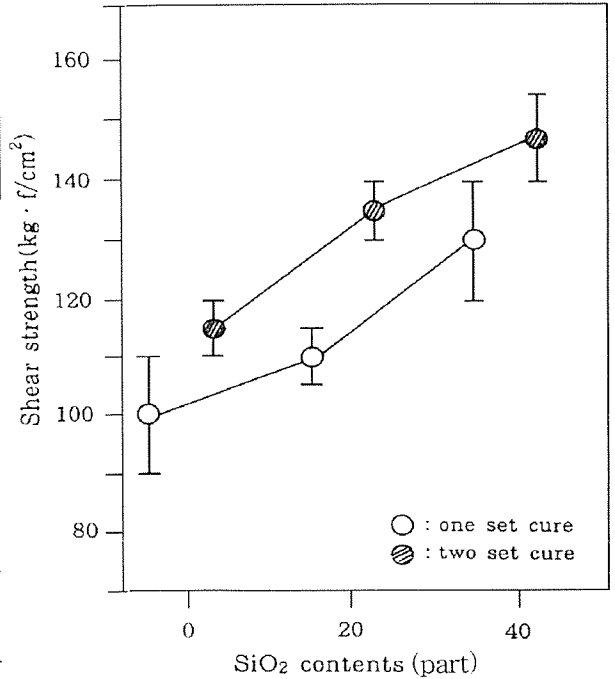
Row materials	Compositions
YH-128	67part
R-1309	33part
KBH-1085	85part
KBH-1086	2.5part
SiO ₂	0~40part

접착강도의 시험은 lap shear test(ASTM D 1002)에 따라 접착면의 길이가 1.1cm, 접착면의 폭 2.5cm 시료를 제조하여 아세톤으로 접착면을 깨끗이 씻어 낸 후 접착제를 도포하였다. 또한 lap shear test용 시료의 가장자리에 응력이 집중되어 결과의 왜곡을 가져올 수 있으므로 시료의 가장자리에 접착제가 도포 되지 않도록 주의하였다.

Epoxy 수지와 경화제 및 충전재를 혼합하여 충분히 교반한 후 도포 하였으며 epoxy 접착제의 경화는 hot press(Carver Laboratory)를 사용하였다. 시료에 가해진 압력은 약 0.1kgf/cm²이며 150℃의 온도에서 25분간 가교 시켰으며 170℃에서의 2차 경화에 의한 접착강도의 변화도 측정하였다. 사용한 인장기는 일본의 Shimadzu사에서 생산된 AGS 1000D이며 cross head speed는 5mm/min로 상온에서 최대 접착강도를 측정하였다.

충전재는 epoxy수지의 경화시 수축을 방지하고 금속과 FRP의 중간 정도의 경도를 가지도록 하는 보강제로서의 역할을 한다. 즉 사용중 주위의 온도변화에 따른 접착면의 변형과 접착강도의 감소를 막고 AL과 FRP의 열팽창 계수와 접착제의 열팽창 계수가 거의 같은 값을 나타내도록 하기 위해 충전한다. 기본수지와 경화제를 〈표 2〉의 조성으로 혼합하여 150℃에서 25분 동안 경화시킬 때, 충전재의 함량은 0~40part로 변화시키는 경

우 접착강도의 변화를 (그림 3)에 나타내었다.



- a) one step cure : 25min at 150℃
- b) two step cure : 25min at 150℃
→ 25min at 170℃

(그림3) 견본의 접착강도

(그림 3)에서 충전재를 포함하지 않은 시료는 접착강도가 약 90~100kgf/cm²이며, 40part까지 충전재의 첨가에 따라 120~140kgf/cm²로 접착강도의 증가를 볼 수 있다. 그리고, 2차경화에 의하여 접착강도가 약 16% 정도의 증가함을 알 수 있다.

이상의 결과를 바탕으로 실제 arrester에 사용되는 FRP cylinder와 금속 cap과의 접착강도를

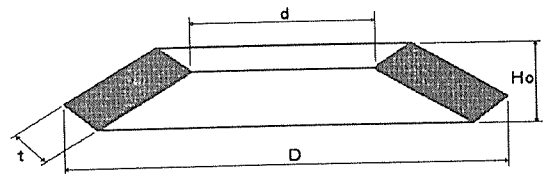
측정하고자 하였으나 FRP cylinder의 수평 절단이 용이하지 않아 cap을 부착한 후 하중이 가해질 때 한쪽으로 하중이 집중되어 정확한 접촉강도를 측정하기 어려웠다. 그러나 실험결과 요구되는 하중이 만족되므로 cap과 cylinder의 수평 접촉이 잘 이루어지면 측정된 값보다 높은 값을 얻을 수 있다고 생각된다.

나 FRP cylinder의 수축, 팽창에 견디는 일정한 내하중을 유지해야 하기 때문에 polymer arrester에서는 대단히 중요한 구성 요소 중에 하나이다.

본 연구개발에 사용한 disk spring의 형상은 (그림 4)와 같으며, (그림 5)는 disk spring의 특성 곡선이며, 또한 사양 및 재종은 각각 <표 3>과 <표 4>와 같다.

5. 접시 스프링(disk spring)

Polymer arrester는 filament winding한 FRP cylinder 1세트로 이루어지며 이 FRP cylinder에서 AL electrode(소자와 전극 사이의 집전극)는 disk spring(접시 스프링)과 접촉하고 disk spring은 소자와 면접촉 연결된다. Disk spring은 FRP cylinder가 열팽창에 의하여 팽창, 수축될 때 소자와 전극 사이의 접촉저항을 낮추며, 소자 사이의 비접촉 상태를두지 않기 위하여 사용되며, 도전을 향상시키기 위하여 은(Ag)도금을 하였다. 또한 disk spring은 소자 및 전극의 온도 변화



(그림 4) 접시 스프링의 구조

<표 3> 접시 스프링의 특징

Spec NO	내 경 (D)		외 경 (D)		두께 (t)		높이 (H ₀)		시험 하중 (kg)	처 짐 량 (δmm)			
	기준치	허용치	기준치	허용치	기준치	허용치	기준치	허용치		δ≒0.5h		δ≒0.75h	
										하중	최대응력	하중	최대응력
14	14.2	+0.2 0	28.0	0 -0.25	1.0	±0.04	1.8	±0.15	115	85	79kg/mm ²	115	113kg/mm ²

● 재질 : 스프링강(SK-5) ● 경도 : H_RC 40~50 ● 표면처리 : Ag도금

(표 4)

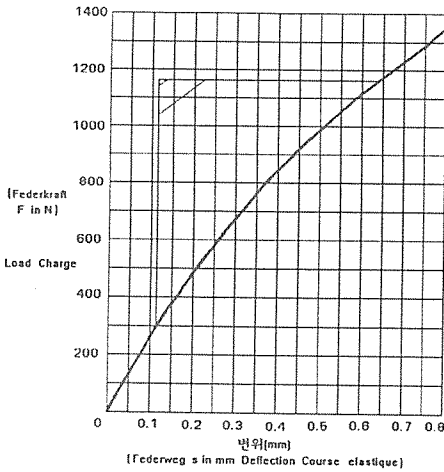
접시 스프링의 금속원소 합금 구성

종류	기호	화 학 성 분 (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
1 종	SK 1	1.3~1.5							
2 종	SK 2	1.1~1.3							
3 종	SK 3	1.0~1.1							
4 종	SK 4	0.9~1.0	0.35이하	0.50이하	0.03이하	0.03이하	0.30이하	0.25이하	0.20이하
5 종	SK 5	0.8~0.9							
6 종	SK 6	0.7~0.8							
7 종	SK 7	0.6~0.7							

● KS D 3751-84, JIS G 4401-1972

6. AL 전극(Electrode)

AL 전극(Electrode)은 polymer arrester의 FRP cylinder내부에 있는 disk spring(접시 스프링)과 면접촉하고 있는 concave disk를 접촉하여 polymer arrester의 양쪽에 위치하며 polymer arrester내부의 소자와 전극 사이의 집전극 역할을 하므로 전기 도전율 및 열전도율이 우수하여야 하며 소정의 강도를 요한다. Aluminum은 규소(Si) 다음가는 지구상에 다량으로 존재하는 원소로 비중은 약 2.7이며 현재 산업용 금속중 Mg에 다음가는 가벼운 금속이며 주조가 용이하고 다른 금속과 잘 합금되며, 상온 및 고온가공이 용이하다. 또한 대기중에 내식성이 강하고 전기 및 열의 양도체이다. Aluminum의 기계적 성질은 불순물의 함유량 및 열처리에 따라 변화하지만 Aluminum은 상온에서 판, 선으로 압연 가공하면 경도와 인장강도가 증가하고 연율이 감소한다. Aluminum은 공기중에 산화막이 생겨 그 이상 산화하지 않아 내식성을 갖으며, 산화에 의하여 생

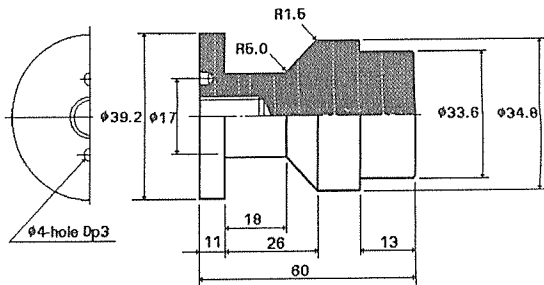


변위(mm)

(Federweg s in mm Deflection Course elastique)

(그림 5) 접시 스프링의 특성 곡선

기는 막은 물에 녹지않고 금속 표면에 단단하게 밀착되어 있으므로 계속적인 부식 작용이 일어나지 않는다. 따라서 표면의 피막이 용해되지 않는 환경 속에서는 매우 안정성이 있다. 이러한 장점을 이용하여 본 연구개발에서는 전기도전율을 주된 선정 요인으로 하여 A1050R로 1차적으로 시험하였고, AL 전극(Electrode)의 형상 및 치수는 <그림 6>과 같으며 기계적 성질 및 재종은 각각은 <표 5>와 <표 6>과 같다.



(그림 6) 폴리머 피뢰기의 AL 전극

<표 5> 알루미늄의 기계적 특성

항 목	합 금 기 호			
	A1050R	A2024R	A5052R	A6061R
인장강도(kg/mm ²)	6~15	22~45	18~31	15~30
내력(kg/mm ²)	7.5~8.5	8~13	6.5~21	8.5~25
신 장 (%)	5이상	12이상	12이상	15이상
도전률 (%)	60이상	38이상	38이상	38이상

● KS D 6761-82, JIS G 4000-1982

7. 오목 디스크(Concave disk) 및 볼록 디스크(Convex disk)

Concave Disk 및 Convex Disk는 FRP cylinder의 수축, 팽창 및 FRP cylinder 내부에서의 소자 및 전극의 온도 변화에 대한 ZnO(MOV disk block)소자 사이의 비접촉 상태를 두지 않기 위하여 사용되고, 또 disk spring을 보호하며, 이 disk spring의 탄성작용(disk spring 내부의 인장과 압축작용)에 의한 AL 전극 및 ZnO 소자의 표면을 보호하기 위하여 사용된다. 이들 두 부품은 전기 도전율, 내부식성 및 기타 외력에 견디는 일정한 내하중을 유지해야 하기 때문에 본 연구개발에 사용된 Concave Disk 및 Convex Disk는 각각 A1050R 및 SUS316을 사용하였다.

본 부품에 사용된 A1050R 및 SUS316은 앞장

<표 6> 알루미늄의 금속원소 합금 구성

종 류	합 금 기 호				
	A1050R	A2024R	A5052R	A6061R	
항 목					
화 학 성 분 (%)	Si	0.25이하	0.50이하	0.25이하	0.4~0.8
	Fe	0.40이하	0.50이하	0.40이하	0.7이하
	Cu	0.05이하	3.8~4.9	0.10이하	0.15~0.40
	Mn	0.05이하	0.30~0.9	0.10이하	0.15이하
	Mg	0.05이하	1.2~1.8	2.2~2.8	0.8~1.2
	Cr	-	0.10이하	0.15~0.35	0.04~0.35
	Zn	0.05이하	0.25이하	0.10이하	0.25이하
	Zr+Ti	-	0.20이하	-	-
	Ti	0.03이하	0.15이하	-	0.15이하
	AL	99.50이상	잔 부	잔 부	잔 부

● KS D 6761-82, JIS G 4000-1982

에서 설명한 <표 5>와 <표 6>의 A1050R을 참조하며, SUS316은 고 Cr-Ni계 stainless steel (Austenite stainless steel, 18Cr-8Ni계)로써 상온 가공성이 용의하고, 보통 일반 강재보다 약 2~3배의 인장강도 및 내마모성을 가지고 있으며 또한 해수를 비롯하여 각종 모질에 우수한 내식성이 있다. 본 연구에 사용한 Concave Disk 및 Convex Disk의 형상 및 치수는 (그림 7) 및 (그림 8)과 같으며, 이에따른 재종 및 기계적 성질은 각각 <표 7>과 <표 8>과 같다.

<표 7> 스테인레스 스틸의 금속원소 합금 구성

종류 함유량 기호	SUS 304	SUS 316	SUS 316L
C	0.08%이하	0.08%이하	0.030%이하
Si	1.00%이하	1.00%이하	1.00%이하
Mn	2.00%이하	2.00%이하	2.00%이하
P	0.045%이하	0.045%이하	0.045%이하
S	0.030%이하	0.030%이하	0.030%이하
Ni	8.00~10.50	10.00~14.00	12.00~15.00
Cr	18.00~20.00	16.00~18.00	16.00~18.00
Mo	-	2.00~3.00	2.00~3.00
비고	Cu, N, 기타 공용		

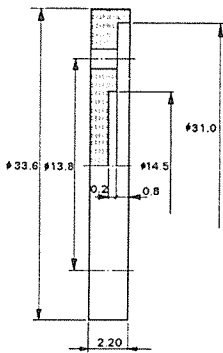
● KS D 3706-82

<표 8>

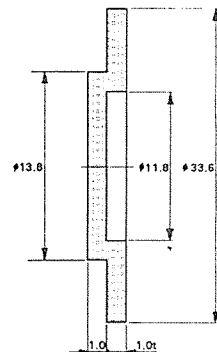
스테인레스 스틸의 기계적 특성

시험항목 종류	인 장 시 험				경 도 시 험		
	내 력 (kg/mm ²)	인장강도 (kg/mm ²)	신 장 (%)	단면수축 (%)	H _B	H _{RB}	H _v
SUS304	21이상	53이상	40이상	60이상	187이하	90이하	200이하
SUS316	21이상	53이상	40이상	60이상	187이하	90이하	200이하
SUS316L	18이상	49이상	40이상	60이상	187이하	90이하	200이하

● KS D 3706-82



(그림 7) 오목 디스크의 구조



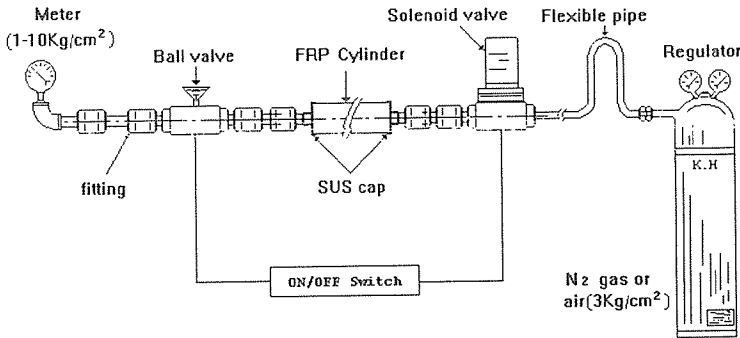
(그림 8) 볼록 디스크의 구조

8. 기밀 시험

기존의 피뢰기에서는 상·하부 단자와 애관 사이의 불완전한 Sealing구조로 흡습과 더불어 피뢰기 소자의 열화와 AL전극 등의 부식을 일으키게 되어 피뢰기의 기능이 저하되었다. 피뢰기의 기밀 시험은 FRP Cylinder 내부에 질소가스를 3KG/cm²의 압력으로 충전시켜 가스누출의 유무를 확인하였다. (그림 9)는 시험장치의 개략도를 나타내었다.

Tape wrapping한 FRP Cylinder를 기밀 시험한 결과 전극주변의 seaming 구조에서 가스 누설은 확인되지 않았다. 옥외의 가혹한 환경에 노출되는 피뢰기는 눈, 비 또는 밤, 낮과 계절의 온도 차이에 의해 열팽창, 열 수축이 반복되므로 견고한 seaming구조를 유지해야만 하고 각 재료의 열팽창 계수는 <표 9>와 같다.

기밀 구조가 유지되었다 하더라도 온도변화에 기인된 열팽창률을 감안하지 않을 경우 SUS cap



(그림 9) FRP 실린더의 기밀 시험

<표 9>

열팽창 계수

번호	재 질	열팽창 계수 (mm/deg)	번호	재 질	열팽창 계수 (mm/deg)
1	AL 주물	22.2×10^{-6}	7	목 재	$8.0 \text{ to } 5.0 \times 10^{-6}$
2	AL 판	20.7×10^{-6}	8	Porcelain*	4.5×10^{-6}
3	Ag	18.8×10^{-6}	9	Silicone resin*	$50 \text{ to } 58 \times 10^{-6}$
4	Cu	16.7×10^{-6}	10	PP*	111×10^{-6}
5	Au	13.9×10^{-6}	11	Glass	8.8×10^{-6}
6	Ni	12.8×10^{-6}	12	Rubber	77.0×10^{-6}

(KS 도표 편람, *한국사전연구사 화학공학 참조)

과 FRP cylinder의 seaming 부위에 균열이나 탈리현상이 생길 수 있다. FRP cylinder의 양단에 gas 주입이 가능한 SUS cap을 연결하여 상부전극 부분에 압력계를 하부전극 부분은 solenoid valve를 연결하여 3kg/cm²의 압력으로 질소가스를 충전시킨 후 valve를 닫고 20°C에서 90°C까지 10°C/min로 승온시킨후 90°C에서 1시간 유지시켰다. 이와같은 FRP cylinder의 기밀시험 결과 가스의 감소는 없었다. 따라서 cylinder와 cap의 접착은 온도 cycle로 인해 기밀유지가 확실한 knuckle 구조로 filament winding하는 것이 타당하다고 생각된다.

8-1 FRP cylinder

피뢰기의 상·하부전극 및 disk spring의 처리 공정은 FRP cylinder의 제조방법에 다음과 같이 설계 제작하였다. Terminal cap과 FRP cylinder의 결합은 접착제를 사용하였고, 건조 섬락거리 (flashover distance)는 AL 전극을 삽입하여 약 300mm 정도로 설계하였고 또한 disk spring을 사용하여 FRP cylinder의 수축·팽창으로 인한 문제점을 해결하였다.

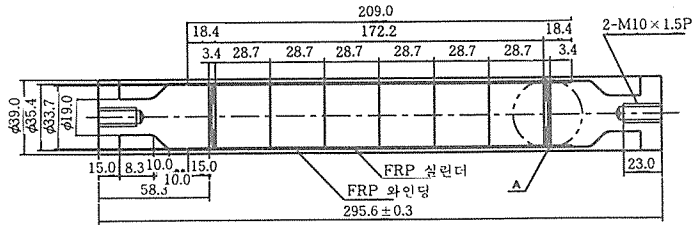
8-2 FRP winding cylinder

Wrapping으로 제조한 FRP cylinder와는 달리 Knuckle구조로 전극과 cylinder를 연결하였으며 disk spring을 사용하였으며 피뢰기는 상·하부전극과 AL전극, Concave, disk spring, convex, ZnO(MOV disk block)소자, AL전극 등으로 구성되어 피뢰기가 이루어진다. 폴리머 피뢰기 (Polymer arrester)의 FRP cylinder는 filament

winding법으로 제조된 것과 tape wrapping법으로 제조한 FRP cylinder를 사용하였다. FRP cylinder의 경우는 방습을 위한 sealing구조와 접시 스프링(disk spring)의 하중을 감안하여 설계 및 제작을 하여야 하기 때문에 knuckle구조로 arrester 단자와 FRP cylinder가 연결될 때 방습 및 기밀특성(airtight properties)이 상당히 좋을 뿐만 아니라 fiber의 winding각도에 따라 방압특성도 양호하여 피뢰기가 폭발 및 파괴시 비산하지 않는 장점을 보유하고 있는바 tape wrapping법으로 제작된 FRP cylinder에 내부 전기적 특성을 발휘하는 ZnO 소자를 비롯하여 concave disk, 접시 스프링(disk spring), convex disk 등을 삽입후 knuckle구조의 FRP winding을 하여 절연 필름으로 1차 wrapping하는 것 보다 제조의 용이성 및 취급의 용이성을 향상시켰으며 방압특성이 FRP cylinder를 단독으로 사용하였을 때 보다 향상되었다.

ZnO소자를 적층한 18kV용으로 1개의 tape wrapping법으로 제작된 FRP cylinder 1세트의 단일화를 이루었으며 설계된 피뢰기의 내부는 (그림 10)에 나타내었다.

Polymer arrester의 ZnO소자와 concave disk, 접시 스프링(disk spring), convex disk 및 AL 전극을 포함하며 FRP cylinder의 내부 직경은 33.6mm, 외부 직경은 34.8mm로 cylinder의 2차 FRP의 knuckle구조 winding후의 치수는 36mm로 하여, 최종 두께는 기계적 강도와 방압특성을 고려한 1.2mm로 설계, 제작하였다. AL 전극의 winding하는 부위는 knurling(m=0.5)과 각도 45°로 하여 glassfiber의 선회시에 glassfiber의 국부적 손상과 slip을 방지하였고, knurling 부위에는 glassfiber를 helical 및 hoop winding을 하



(그림 10) 폴리머 피뢰기의 FRP 실린더

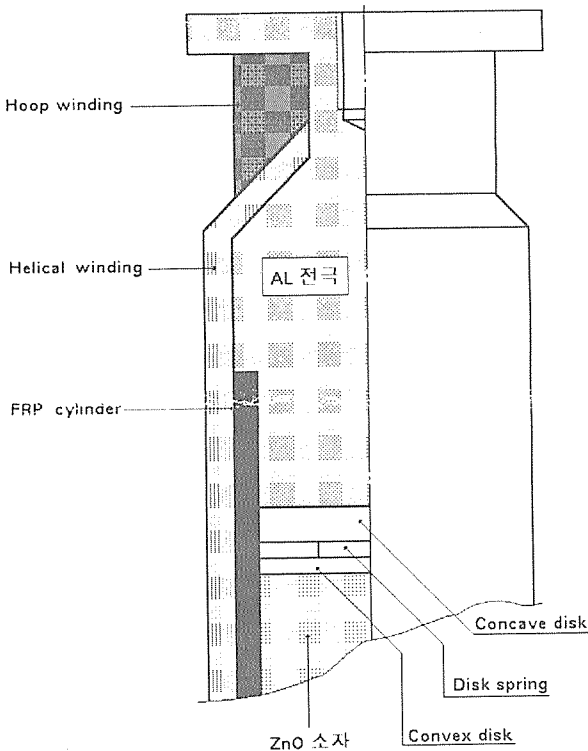
여 AL 전극의 외력에 의한 유동을 방지하였다.

Winding시의 knuckle각도는 31.9°를 유지하여, helical winding 2.5회, hoop winding 1.5회를 하여 기계적 강도와 방압특성을 높여 온도변화에 따른 FRP cylinder의 변화를 최소로 하였으며, AL 전극의 knurling된 neck부위에 hoop winding을 8회하여 FRP cylinder를 마무리 처리

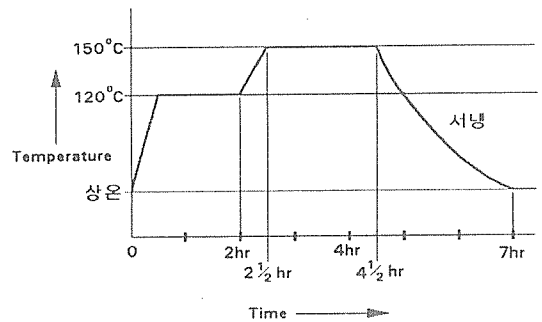
하였다.

(그림 11)은 knuckle구조를 나타낸 것이며, winding작업에 사용한 fiberglass와 수지 경화제 등은 다음과 같으며, winding후 경화로에서 수지를 경화시키는데 이때의 경화 사이클은 (그림 12)와 같다.

- 유리섬유 : E-glassfiber(AB 60엔드)
- 수 지 : Epoxy(LY-564, Ciba-Geigy社)
- 경 화 제 : Araldite 960(Ciba-Geigy社)



(그림 11) FRP 실린더의 너클 구조



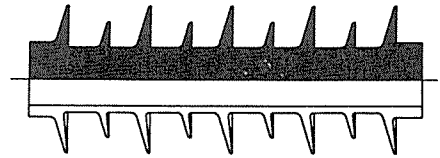
(그림 12) FRP 와인딩의 경화곡선

9. Cap 단자의 기밀(sealing)유지 설계

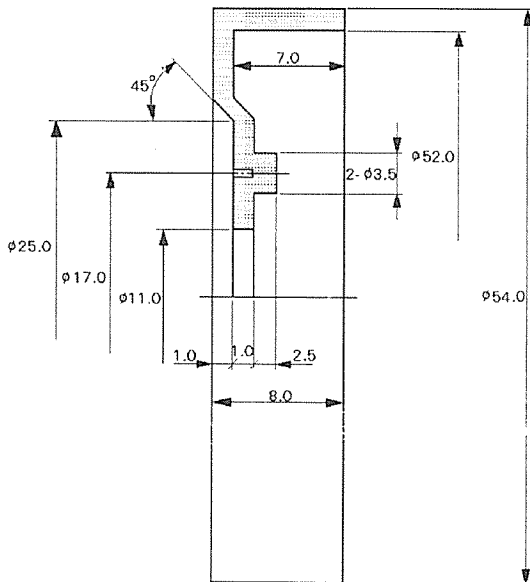
직렬 연결된 피뢰기의 전극 양단에는 cap단자를 이용하여 배전선로와 피뢰기가 연결되면서 FRP cylinder내부로 습기가 유입되지 않도록 견고하게 sealing되어 있다. 피뢰기를 사용할 때에는 옥외의 가혹한 환경에 직접 노출되므로 내화학성 및 내부 식성이 우수한 stainless steel을 사용하였다. Cap 단자의 설계는 stainless steel(SUS 316)을 사용하여 (그림 13)과 같은 상부, 하부 cap단자를 만들었으며, cap단자의 내경은 polymer arrester의 사출 후 외경(약 52mm)의 크기를 기준으로 하였다. 도면의 nut hole($\phi 11\text{mm}$)은 bolt에 의해 AL 전극과 연결되어 배전선로와 단로기(disconnector)로 연결되며 polymer arrester와 cap단자의 결합 깊이는

6mm이고 접합면적은 약 910mm^2 로 설계하였으며, AL 전극과의 접촉면적은 약 $1,997\text{mm}^2$ 로 설계하였다. 또한 도면의 $2-\phi 3.5\text{mm}$ 는 AL 전극의 hole에 삽입되어 전극단자 bolt 및 bracket bolt의 체결시에 cap단자가 외력에 의해 움직이는 것을 방지하였다.

배전급 Polymer 피뢰기의 상·하부의 단자 접속은 기밀 특성을 유지하기 위해 knuckle구조로 설계하여 hoop winding을 하여 설계 제작된하우징(housing)은 (그림 14)에 나타냈고 또한 완성된 Polymer 피뢰기의 세트는 (그림 15)에 나타내었다.



(그림 14) 폴리머 피뢰기 애관



(그림 13) 앤드 캡의 설계

10. 결론

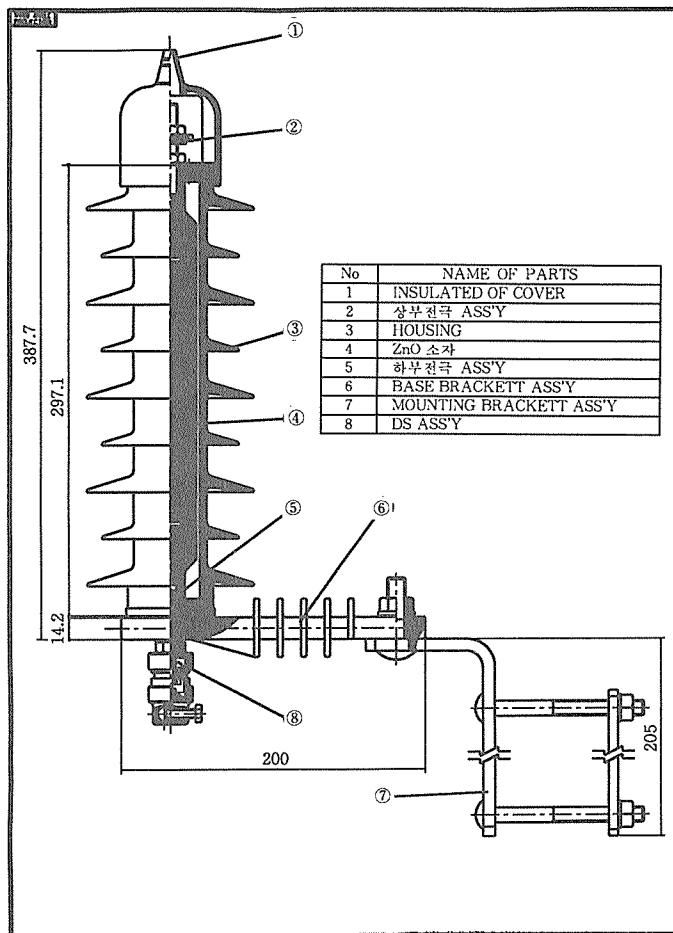
피뢰기 사고의 대부분이 수분 침투로 이상전압에 의한 사고와 뇌에 의한 원인 때문에 기밀 처리에 대한 성능보호에 많은 연구가 뒤늦게나마 진행되어 Porcelain에서 발생하는 문제점을 보호하기 위해 Polymer 피뢰기의 필요성이 대두되었다.

FRP cylinder내의 corned disk의 수축과 팽창을 고려하여 피뢰기를 설계 제작하였으며 상·하부의 단자 접속은 기밀 특성을 유지하기 위해 knuckle 구조로 설계하여 hoop winding을 하였다. 낙뢰로부터의 차단기능의 성능자체도 중요하지만 낙뢰의 침입경로의 정확한 분석과 적용기술 그리고 이에

대한 평가기술을 개발하는 것이 핵심 요소 기술이라 할 수 있다.

우리 나라의 Polymer 피뢰기의 시험규격이 외국에 의존하는 실정이어서 시장개방에 대비한 기술개발과 연구가 필요하다고 보며 앞으로 배전급에서 탈피해 송·변전에 사용되는 Polymer 피뢰

기의 연구개발이 필요할 것으로 본다. Polymer 피뢰기의 우수한 성능이 입증되므로 인해 사용이 증대될 것으로 예상되며 본 논문에서의 제시한 전극설계 및 절연설계등에서의 Sealing 처리 기술 등으로 앞으로의 연구개발에 응용이 가능할 것으로 본다.



(그림 15) 배전급 깁레스형 폴리머 피뢰기