

절연지의 응용 현황

Application Status of Insulating Paper

김 귀 열

(Kim Gwi Yeol)

1. 서 론

현재 고도 산업사회에 있어서 전기, 전자 공업에 부과된 역할은 매우 중요하다.

이들은 전기에너지의 고품질화, 고속전파성과 전자회로의 고밀도성에 영향을 받는 전기통신, 정보, 제어부문과 이들 관련기기, 부품소자등을 구성하는 재료부문의 3분야로 구분된다.

절연재료는 그 기본적 요구로서 전기 절연성능(전기전도, 부품, 전기분극)이외에 그 적용환경에 따라, 열적성능, 장기열화성능, 기계적 성능, 그외에 많은 성능이 다각적으로 요구되어 이들에 따른 절연재료가 탐색되어, 필요에 따라 개발이 진행되었다.

유입변압기에 사용되고 있는 절연재료의 주된 성분은 일반적으로 광유계 절연유 및 절연지나 pressboard등의 cellulose계 재료가 있다.

절연지, pressboard등은 목재 pulp가 원료로 되고, 화학적으로는 cellulose, lignin, hemicellulose, 각종의 미량금속등의 물질로 이루어져 있으며, 이 중에서 cellulose가 주 성분이다.

전기기기에 사용되는 절연지는 보통 전기 절연용 kraft paper라 불린다.

한편 pressboard는 전압의 대용량화, 전력 수요의 증가에 수반하는 전력기기에서 중요한 부품이다. 그리고 기계적, 열적, 화학적, 전기적 특성이 뛰어나서 변압기, 차단기류에 사용되는 훌륭한 절연재료로서 평가받고 있을 뿐만 아니라 또한 유증기기의 절연과 회전기 코일의 절연물에 크게 기여한다.

Pressboard는 양질의 식물섬유에서 뽑은

습지를 겹쳐서 압력을 가해 제조한 것으로서 두께가 균등하고, 섬유질이 긴밀하며 또한 표면이 평평하고, 구부러진 자국, 흠 같은 결점이 없이, 화학적으로 중성이고, 절연유에 가용성의 색소, 기타 전기절연에 해로운 물질이 섞이지 않도록 만들어야 한다.

그리고, 이 pressboard는 현재까지 국산화가 전혀 되어 있지 않은 중요 절연재료로서 전량 수입에 의존하고 있으며, 국산화율은 전무한 상태이다.

따라서, 본 보고에서는 pressboard를 중심으로 절연지의 특징, 응용현황 및 전망에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 절연지의 응용 및 전망

2.1 절연지의 특징

양지(洋紙)는 목재로부터 채취한 pulp를 주원료로 하여 抄造되는데, 종류에 따라서는 목면, 마류(麻類)등도 원료로서 병용된다. 펄프에는 기계적으로 처리한 기계적 펄프와 화학적으로 처리한 화학 펄프가 있는데, 절연지에는 후자가 많이 사용된다. 화학 펄프에는 주로 광엽수(廣葉樹)를 가성소다, 소다탄 용액 등으로 처리한 소다펄프와 주로 (針葉樹)를 소다액 및 황산소다로 처리한 설페이트펄프(Kraft pulp라고도 함) 및 침엽수를 아황산으로 처리한 설파이드 펄프 등이 있는데, 절연지에는 크래프트 펄프가 가장 많이 사용된다. 펄프는 除塵, 선별, 재단 등의 과정을 거친 다음 비터(beater)로 처리하여 抄維機로 보내어져 적당한 모양으로 가공된다.

그 외에 삼지닥나무, 마닐라마를 주원료로 한 인장강도가 큰 절연박지(fish paper)

는 전선피복, 마이카지, 바니쉬페이퍼 등에 사용되고 미닐라마를 주 원료로 한 레드로프(red rope)지나 목면, 셀파이드 펄프를 주 원료로 한 티슈(tissue)지, 또는 목면, 화학적펄프를 주원료로한 익스프레스(express)지 등은 어느 것이나 다 평활하고, 강인하고, 또 기계적 강도가 크므로 회전기의 slot 절연 등에 사용된다. 목면이나 크래프트펄프를 원료로하여 만든 absorbent지는 밀도가 낮고 액체를 잘 흡수하므로 페놀수지 등의 합성수지 적층물의 기재로 사용된다.

이상의 절연지는 새로운 절연재료의 발달에 영향을 받지않고, 유침지의 내전압이 높고, 합침제 등에 대하여 화학적으로 안정하며, 저렴하게 대량으로 공급할 수 있다는 장점때문에 널리 사용되고 있다. 그러나 한편 결점으로 내열성이 부족하며, 흡습성이 크고, 유전정접이 비교적 크기 때문에 이를 개선하기 위한 내열처리 절연지가 출현하여 외국 업체에서 쓰이고 있다. 대표적인 미국 Westinghouse사의 Insuldur지, General Electric사의 Permallex지, Mitsubishi사의 HIL지 등이며, 종래의 무처리지에 비하여 20~30[℃]높은 온도에서 사용하여도 동등의 수명이 얻어지고 있다.

2.2 절연지의 응용

절연지는 주로 전력케이블, 유입콘덴서, 통신케이블 전선 및 전기기기의 절연등에 사용되지만, 종이는 원래 다공질이고 흡습성이 크며, 또 수분은 절연성능을 저하시키므로 감압건조해서 사용하며, 고압전계 중에서 사용하는 경우에는 절연유를 충전한다.

전력케이블로 사용할 때에는 내압이나 인장강도가 요구되므로 기밀도가 높은지가 요구된다. 따라서 마닐라마와 크래프트펄프를 원료로 하여 抄造한 다음 강하게 카렌더링(calendering)을 행한 0.1~0.5[mm]의 두께를 갖는 절연지가 사용된다. 밀도는 0.8~1.0[g/cm³]이다.

콘덴서의 절연재료에 대해서는 일반적으로 내압 절연저항, 유전손 등이 문제가 되므로, 균일하고 기밀도가 높은 종이가 요구된다.

고압용 콘덴서 지로는 크래프트펄프를 원료로 하여 비섬유성분을 최대한으로 제거한 두께 0.055~0.75[mm]의 치밀한 종이가 사용된다. 밀도는 0.8~1.0[g/cm³]이다.

저압콘덴서지로서는 비섬유성분을 제거한 크래프트펄프, 목면, 마(麻)등을 원료로하여 카렌더링을 강하게 행한 치밀하고, 얇은 (0.006~0.012[mm])종이가 사용된다. 밀도는 1.1~1.2[g/cm³]이다.

저압콘덴서에는 지면에 금속막을 스프터링으로 부착한 금속화지(metalized paper)가 많이 사용된다. 통신케이블에 사용되는 절연지의 원료로 종래에는 마닐라마가 사용되었으나, 최근에는 주로 크래프트지가 사용된다. 인장강도가 큰 것이 요구되었으므로 강인한 섬유가 사용된다. 또 비섬유성분이 적다는 것도 필요하며, 밀도는 일반적으로 낮다. (0.65~0.75[g/cm³]) 한편 표 1은 대표적인 절연지의 종류 및 그 용도에 대하여 나타내었다.

표 1 절연지의 종류

명칭	용도	원료 pulp	두께(μm)	밀도
전해 capacitor지	전해 capacitor	목재 pulp, K P Mylar	15~80	0.4~0.75
capacitor 박지	저압 capacitor	K P	7~17	0.7~1.2
절연박지	전선 Varnish paper	Mylar마	20~60	0.4~0.7
Coil절연지	coil 절연 전기기기	K P Mylar	50~500	0.63~1.2
Pressboard	변압기	식물, 섬유	130~6,400	0.85~1.30
고압 capacitor 지	고압 capacitor	K P	20~100	0.70~0.95
전력 cable용 절연지	전력 cable	K P	100~150	0.78~0.93
통신 cable용 절연지	통신 cable	K P	30~130	0.65~0.80
fish paper	전기기기	목면섬유 K P	100~800	0.95~1.30

2.3 절연지의 전망

Cellulose의 양질이 것으로 부터 만들어진 절연지는 유침상태에서 극히 안정하고, 우수한 절연물이다. turn간 절연지로서는 고내전압, 내열, 기계적 강도가 강한 것이 요구되고, Kraft지 혹은 마닐라지 등이 사용되고 있다. 또 절연지의 열열화 특성연구는 많이 개선되고 있지만 일반적으로 A종 절연지로서 사용되고 있다. 절연지로서의 최근 연구는 고내압화를 위해서 고기밀도화, amine 첨가지등의 고내열지화, 그것에 저유전율화를 시도한 film과의 적층사용등이 진행되고 있다.

Pressboard의 사용은 꽤 오래되었고, 고밀도 pressboard의 채용은 비교적 새로우며 중요한 역할이 부여되고 있을 뿐만아니라, 또 pressboard mold품의 정전 link등 적용에 의하여 권선단부의 내압향상을 시도하고 있다.

한편 표 2에 각종 절연재료의 기기별 응용을 나타내고 있다.

3. 변압기 절연의 현황

광유와 절연지의 복합절연 system은 변압기의 대표적인 절연방식으로서 언제나 변하지 않는다. 그러나 변압기의 고전압화, 대

표 2 각종 절연재료의 기기별 응용

	Gas	Liquid	Solid	Composite
Large rotating machine			Polyimide, (Mica Epoxy)	Mica + [Epoxy]
Power transfer	SF ₆ gas	Mineral oil, Perfluor carbon	Epoxy, (Mold insulation) PET, Polyimide	Oil impregnated cellulose, Oil impregnated paper, Press board
Power cable		Mineral oil, Synthetic oil	Cross-linked polyethylene, EPR, Cellulose paper	Oil impregnated paper, Oil impregnated polymer, Laminated paper
Power capacitor	SF ₆ gas	Mineral oil, Synthetic oil	Cellulose paper, Polypropylene	Oil impregnated paper, Oil impregnated Polypropylene
Gas insulated switchgear	SF ₆ gas		[Epoxy] Metal-oxide aneater	Epoxy +Alumina
Outdoor insulator, Bushing	Air		Powderlain, Glass, Polymer	
Electronics insulation			SiO ₂ , Polyimide [I, N film]	

용량화에 따라 절연의 compact화, 고 신뢰화가 필요하게 되고, 기술적으로 발전을 하고 있다. 그 주된 이유로서는 유나지의 절연 파괴특성, 복합절연 구조의 파괴특성 등 연구의 심도화가 부과되고 있으며 또한 전계 계산, 전위 진동 계산 등의 해석 기술의 진보, 품질관리 기술의 고도화 등이 있다. 한편 유입변압기에 사용되고 있는 주요 절연재료는 절연유와 cellulose계 재료인 절연지와 pressboard이다. 변압기에 사용되는 절연재료를 분류하면 다음과 같다.

1) 액체- 절연유- 광물유, 합성유 등

2) 고체- 절연지- kraft지

pressboard-판, mold품, 적층품

목재- 목재, 적층 목재

기타- glass 섬유품 resin 적층재

그리고 표 3에 변압기류에 사용되는 절연재료별 국산화율을 소개하고 있는데 표 3에서 보는바와 같이 pressboard는 전량 수입에 의존하고 있다.

3.1 절연유

변압기용 절연유로서 KS에 나타나 있는 것은 광유계 절연유, 광유계 절연유와 알킬벤젠을 혼합한 것 그리고 실리콘유 등이 있다. 변압기 절연에 사용되는 일반 광물유의 특성은 절연파괴 전압이 높고, 체적 저항율이 높은 것이 요구된다. 또 점도가 낮고 냉각성능이 우수하고 산화안정성, 열안정이 양호한 것도 조건으로 된다. 절연유는 종래부터 나프텐계유가 주로 사용되었으나 최근에는 파라핀계유의 검토가 진행되고 있다.

한편 변압기유로서 합성 절연유의 개발도 진행되었으며, 알킬벤젠은 유도점, 수소 gas 흡수성, 유전정접, 절연파괴 전압등에 있어서 광유에 비하여 우수한 특성을 가지고 있으며, 광유와 혼합하여도 많은 경우 그 특성은 개선되고 있다.

3.2 절연지, Pressboard

절연지의 주된 구성재료는 cellulose이고 이들의 원료는 주로 침엽수이며, 원료에서

절연지 까지의 제조순서는 다음과 같다.

첫째, 증해는 목재를 펄프화하는 것으로

서 통상 수산화 나트륨과 황화나트륨의 혼

합액으로 처리한다. 그리고 목재를 증해시킨

표 3 변압기류에 사용되는 절연재료별 국산화율

분 류	절 연 재 료 명	국산화율	비 고
섬유질 재료	1) tape 류	75%	·대용량의 변압기에는 일부 외산을 사용 ·품질은 외산과 동등
	2) 절연목 기타	0%	
포 관 절 연 재 료	1) press board 류	0%	·중요 절연재료로서 전량수입, 극히소량 2차가공하여 판매
	2) paper 류	0%	상 등
	3) tape 류	0%	·varnish glass tape등일부국내개발되어 현재 소·중용량 변압기에 국산 대체중. ·품질은 외산에 비해 다소 떨어짐.
	4) tube 및 cloth 류	9%	·silicone glass tube등 일부품목이 국내개발되어 현재 사용중 ·품질은 외산에 비해 다소뒤지는 편이고 대용량에는 외산을 많이 쓰고 있음
film 및 film 가공품	polyester film polypropylene film등	2%	·polyester film은 현재 국내 개발되어 국산 대체중 ·품질은 외산과 동등
epoxy 수지		33%	·현재 국내에서 대량생산되어 국산 대체중 ·품질은 우수한 편이나 전기적 특성에 대한 시험을 확인하지 않은 상태임
mica 복합품	silicone mica 적층판	10%	·2차 가공품으로 국내생산중
plastic복합품	FRP, bakelite등	100%	
절연 varnish	1) 각종 varnish	18%	·합침용 core용은 주로 수입, 끝마무리용 등은 국내생산
	2) 각종 glue	0%	·전량 수입
액체절연재료	OT	100%	·1호, 2호, 3호로써 2호가 대부분
기체절연재료	질 소 (窒素)	100%	

것을 kraft pulp라 한다. 목재에는 cellulose가 대략 50~60% 그 밖에 리그닌 hemi cellulose등이 포함되어 있다. 리그닌, hemi cellulose는 재료의 전기특성에 악영향이 미치지만 증해에 의해 리그닌은 대부분 제거된다.

둘째, 세정은 전향에서 얻어진 펄프에는 Na, k, Ca등의 금속 이온이 상당히 포함되어 있다. 따라서 전기적 성질이 뛰어난 재료를 얻으려면 pulp를 충분히 물로 세정해서 금속이온을 제거해야 한다.

셋째, 고해의 역할은 종이를 기계적성질, 전기적성질, 내습성등의 특성을 향상시키기 위한 공정이다.

넷째, 초지는 먼저 환망 또는 장망에서 습지를 만들고 다음과 그것을 탈수 건조시켜 시트상으로 만드는 것이다.

마지막으로 절연지의 밀도를 크게 할 목적으로 calender처리를 한다.

Pressboard는 목면과 pulp를 초조(抄造)한 종이를 여러겹 압착해서 건조한 다음 롤로 마무리 작업을 한 것이다.

목면을 사용한 것은 가소성이 풍부하나 kraft pulp가 들어가면 가소성은 감소한다. 흡습성은 크지만 가열 건조해서 유중에서 사용하면 절연성이 좋으므로 유입기기의 절연에 많이 사용된다. 이 경우 밀도는 $1.0 \sim 1.28[\text{g}/\text{cm}^3]$ 정도인 것이 좋은 것으로 생각된다. Pressboard는 회전기 코일의 절연물이나 간격편으로 사용되고 있다. 표 4에 pressboard의 종류 및 특징을 나타낸다. 그리고, 표 5와 표 6은 절연지의 기계적, 전기적 성질과 제조조건과의 관계를 보여주고 있다.

한편 Pressboard의 시험종류 및 검사는 시험방법인 KS C2313(전기 절연지 시험방법)에 의하여 행하며, 검사는 시험방법에 의해 다음 항목에 대하여 실시한다.

- 1) 치수시험
- 2) 밀도시험
- 3) 인장강도 및 신장률 시험
- 4) 수분시험
- 5) 회분시험
- 6) 수축률 시험
- 7) 내굴곡선 시험

표 4 Pressboard의 종류 및 특징

종 류	기 호	두께	밀도 g/cm ³	목면	
				섬유	Kraft pulp
1종	PB1	0.13~ 0.60	0.85 ~1.25	≥50	≤50
		0.80~ 2.40	0.90~ 1.25		
		>3.00	0.95~ 1.25		
2종	PB2	0.13~ 0.60 0.80~ 2.40 >3.00	0.95~ 1.30	-	100

8) 내유성 시험

9) 가열 열화를 시험

10) 절연파괴 강도 시험

3.3 변압기 절연의 구성

변압기는 크게 분류하여 내철형, 외철형이 있으며 또 권선의 종류도 원판권선, 원통권선등 다수가 존재한다. 그러나 유입변압기에서 절연의 기본적 방법은 거의 동일하다고 할 수 있다.

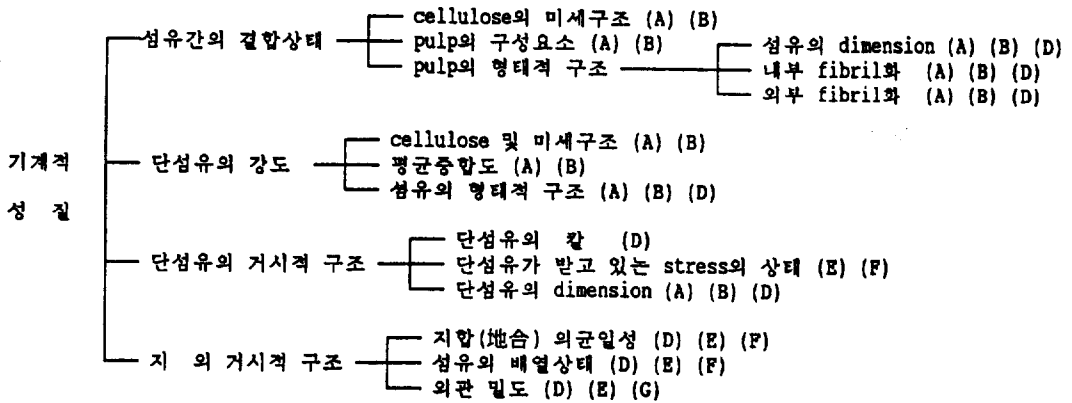
변압기의 절연은 오래전부터 개발 실적을 쌓고 있으나 설계부터 재료처리 분야까지 광범위한 기술의 발전과 더불어 진행되었다. 최근 변압기의 절연분야서 경향은 복잡한 형상부분으로 성형 절연물의 채용, 유간격부분의 고도한 전계완화 발생 stress를 보다 균일화 하며, 종래보다 한층 치밀한 전계 control를 행하여, 고전계화 구조로 하는 방향이다.

변압기 절연은 대표적인 주절연, 권선단부 절연, 권선내부 절연으로 이루어져 있다.

첫째, 주절연부는 고압권선의 종류에 따라 발생전압에 차가 있지만 거의 평등전계로 되는 것처럼, 통상 tank와 절연 barrier와의 교환배치 구조가 채용된다.

둘째, 권선단부는 전계집중이 크게 되기 쉬운 부분이며, 이 때문에 전계완화 shield나 권선 배치에 따라 전계 분포의 균일화가 계획된다.

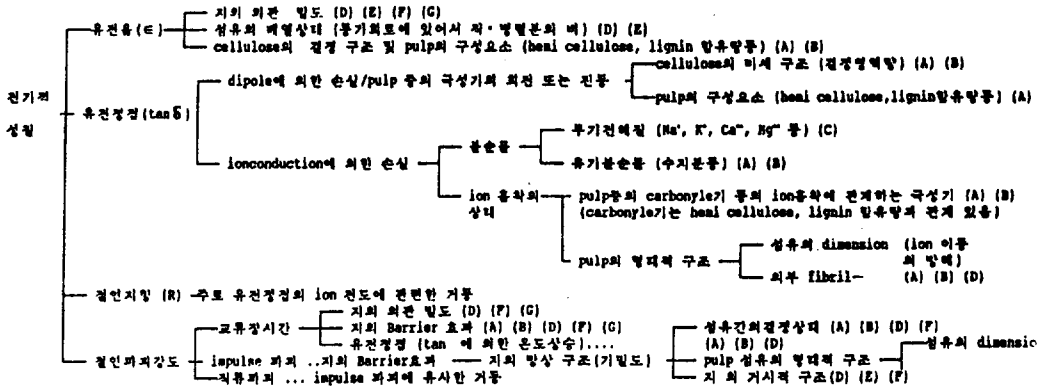
표 5 절연지의 기계적 성질과 제조조건과의 관계



제조조건과 기호

- A: 원목 (A)
 B: 중해조건 (B)
 C: 세정 (C)
 D: 고해 (D)
 E: 초지 (wet sheet 의 성형) (E)
 F: 초지 (press, 건조) (F)
 G: Calender (G)

표 6 절연지의 전기적 성질과 제조조건과의 관계



- 제조조건과 기호 -

- A: 원목 (A)
 B: 중해조건 (B)
 C: 세정 (C)
 D: 고해 (D)
 E: 초지 (wet sheet 의 성형) (E)
 F: 초지 (press, 건조) (F)
 G: Calender (G)

셋째, 권선단자간부는 권선표면의 내전압에 관계하는 부분이며, impulse나 surge 침입시의 연면 stress의 분포가 절연상 중요한

역할을 한다. 그리고 turn간부의 절연은 유침지가 주체이다.

4. 결 론

본 보고에서는 변압기 절연재료로 널리 사용되는 프레스보드 절연지를 중심으로 절연지의 특징, 응용 및 전망과 변압기 절연의 현황에 대하여 간략하게 살펴보았다.

국내의 절연지 개발은 국산화율이 아주 낮은 편이며 많은 부분이 수입에 의존하고 있는 형편이다.

따라서, 프레스보드를 중심으로 절연지의 국산화에 심혈을 기울일때, 전기기기에 사용되는 절연재료의 국산화를 향상에 기여할 뿐만 아니라, 기기의 원가절감과 수입대체 효과가 클 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. H.P.Moser et al, "Transformerboard II", pp. 93, 1987
2. K.Karsai D. Sc et al, "Large Power Transformers", pp. 295, 1987
3. 武祐一 穂 외, "전기 절연지" Corona사, pp. 203, 1969
4. 小林良生 외, "고기능지의 개발과 응용", pp. 173, 1988
5. 玉井佳一 외, "전기전자 절연재료" 전기신문, pp. 182, 1978
6. A.C Franklin, DP Franklin, "The J & P Transformer Book", p 398, 1983
7. H.Tsukioka et al, "Development of low dielectric constant pressboard" Precedings of the twenty-first symposium on electrical insulating materials, pp. 311, 1988
8. Y.Kamata et al, "Development of transformer insulation utilizing new low permittivity pressboards", pp.315, 1988
9. D.H.Shroff et al, "A review of paper aging in power transformers", IEE P-ceedings, pp. 312, 1985
10. D.T.Hollingsworth, "Paper insulation in the electrical industry", Proceedings The Institution of Electrical Engineers, pp. 89, 1966
11. 전기학회, "전기기기설계", pp.42, 1986
12. 木村久男, "변압기의 설계 공작법", 전기서원, pp. 48, 1967
13. 전기학회, "유전체 현상론" pp.259, 1973
14. R.Tamura et al, "The Diagnosis on the Aging Deterioration of Insulating Paper in Transformers by Gas Analysis", 전기학회 pp. 30, 1981
15. Y.Makino et al, "Absorption Phenomena of CO₂ and Co in Insulating Paper", 전기학회 학술대회, pp. 285, 1991
16. T.Yorozuya et al, "Diagnosis of Oil Immersed Transformers by Colorimetry of Insulating Papers," 전기학회지 pp. 415, 1992
17. Y.Kamata et al, "The new insulating technology for oil immersed large capacity transformers", 전기학회지 pp. 289, 1992
18. C.Kuan et al, "The hot-ageing property of electric insulating paper and pressboard of O-A kenaf bast fibre", Preceedings of the 3rd International Conference on properties and applications of Dielectric Materials, pp. 459, 1991
19. 한국전기연구소, "전기재료편람" pp 149, 1990

著者紹介



김기열

1959년 4월 20일생. 1982년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 광운대 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국전기연구소 전기재료 연구부 선임연구원.