

TRANSFORMER용 주요 자재

김 정 호 <티앤비트로닉스(주) 연구소 차장>

1. 자심(CORE)

자심재료는 여러 금속업체에서 각종성분의 것이 여러가지 상품명으로 제조, 판매되고 있다. 현재 Inductor 및 Transformer의 자심으로 사용하는 재료를 크게 분류하면 금속자심(합금자심), 산화물자심(페라이트 자심), 압분자심(더스트 자심)으로 구분할 수 있다.

1.1 금속자심

금속재료는 도전성이 좋기 때문에 와전류 손실이 크므로 저주파에만 사용된다.

금속자심의 종류는 Silicon-Steel(규소강), Permalloy(니켈-철), Perminber(코발트-니켈-철), Permendur(코발트-철)등이 있으나 일반적으로 규소강과 퍼어멀로이를 많이 사용하므로 이 두가지에 대해 간략하게 설명하면 다음과 같다.

규소강은 철에 2-5%의 규소를 혼입하여 열처리 한것으로서 고자장에 대한 손실이 적기 때문에 변압기, 전동기, 발전기등의 자심에 널리 사용된다. 규소강은 다음의 용도에 적합하다.

- (1) 큰 자속변화를 이용할때.
- (2) 낮은 주파수에서 사용할때.

(3) 비교적 큰 직류자장을 중첩할때.

철·니켈 자성합금은 1915년 Westing House사의 연구소에서 철·니켈합금에 적당한 열처리를 하면 약자장에서 투자율이 매우 높은 자성합금을 얻을 수 있는것이 발견되었다. 이후 여러 학자에 의해 연구되어 여러 종류의 철·니켈합금이 발표되었다. 크게 분류하면 니켈 함유량이 70-80%인 고투자율재와 40-50%인 고자장재가 있다. 여기에 몰리부덴 및 코발트등을 소량 첨가하면 자기적 성질이 더욱 개선된다. 이러한 철-니켈합금은 투자율이 높고 보자력이 적기 때문에 저자장에서 사용하기에 유리하지만 자속밀도가 금속자성체에 비해 낮고 가격이 비싼것이 흠이다. 니켈의 함유량을 45%로 하면 투자율, 보자력등의 자기특성은 열화하지만 자기포화 특성은 개선되어 높은자장에 사용할 수 있다. 일반적으로 철-니켈 자성합금은 기계적 압력에 의해 자기특성이 열화하므로 고투자율 트로이달 자심은 플라스틱 Case등에 넣어 권선 작업을 하므로 자심에 압력이 가해지지 않도록 한다.

1.2 산화물 자심

페라이트는 MFe_2O_4 로 표시되고 M은 2가 금속산화물로서 산화망간, 산화니켈, 산화아연 등이다. 실질

적으로 페라이트 자심은 이러한 화합물이 복합된 다결정의 소결체이다.

페라이트 자심은 크게 Mn-Zn계 자심, Ni-Zn계 자심, Cu-Zn계 자심으로 구분되고 현재 가장 많이 사용되고 있는것은 Mn-Zn계와 Ni-Zn계이다. 페라이트의 특징은 고유저항이 금속자심에 비해 매우 높다. 실용되고 있는 페라이트의 고유저항은 $10-10^7[\Omega-Cm]$ 이므로 와전류 효과는 무시할 수가 있어 높은 주파수에서 금속자심재보다 높은 투자율을 유지한다. 이것이 페라이트가 고주파용 자심으로 이용되는 최대의 이유이다. 또한 페라이트는 금속자심 압분자심과 달리 도자기 제조기술로 생산하기 때문에 여러가지 모양을 쉽게 만들 수 있다 (E-Core, U-Core, POT-Core 등). 그러나 페라이트는 금속자심 재료에 비해 직류 투자율과 자기포화가 낮고 또한 자성변태점인 큐리온도가 낮고 경시변화가 있다. 일반적으로 투자율이 높은 자심재일수록 이러한 현상이 두드러진다.

① Mn-Zn페라이트

Mn-Zn페라이트는 Mn페라이트와 Zn페라이트의 복합 페라이트이다. 이 페라이트는 고유저항이 10수백 $\Omega-Cm$ 정도의 도전성이 있다. 따라서 고주파에서의 와전류손을 무시할 수 없기 때문에 저손실의 자심으로는 수백[kHz]가 사용의 한계이며 자성변태점이 낮다. 그러나 다른 페라이트계보다는 높은 투자율의 자심이 만들어진다.

② Ni-Zn페라이트

Ni-Zn페라이트는 고유저항이 $10^5[\Omega-Cm]$ 이상으로 매우 높아 와전류손실은 무시할 수 있어 수백 [MHz]대 까지 사용할 수 있다. 또한 자성변태점이 높다. 그러나 투자율이 높은 자심을 만들 수가 없고 Mn-Zn계 보다 가격이 비싸다. 지금까지 금속자심과 페라이트 자심에 대해 개략적으로 설명하였는데 지금까지의 설명을 요약하여 두 자심재간의 기능을 비교하여 보면 표 1과 같다.

표 1. 금속재와 산화물재의 기능 비교

특 성	자심재 페라이트	금 속	
		퍼어멀로이	규 소 강
고 주 파 손 실	○	△	×
투 자 율	○	○	×
각 형 성	×	○	×
포 화 자 속 밀 도	×	○	○
온 도 의 존 성	△	○	○
가 공 성	○	○	○
가 격	○	△	○

○ : 좋다.
 × : 안좋다.
 △ : 보통이다.

1.3 압분자심

압분자심은 와전류손에 의한 손실을 줄이기 위하여 금속을 분체화 하여 절연하고 가압 성형한것으로 비교적 투자율이 낮은 반면 강자계 중에서도 사용할 수 있는 특징이 있다. 압분자심을 크게 분류하면 카보닐철 더스트 자심과 몰리부덴-퍼어멀로이 더스트 자심으로 구분할 수 있다.

① 카보닐계 더스트 자심

카보닐-철을 가열 분해하여 얻어지는 순철에 가까운 구상의 미립자를 이용한 자심재이다. 직경 수미크론의 입자가 쉽게 얻어지기 때문에 와전류손을 극소화 할 수 있다. 순철의 비투자율이 500정도이므로 높은 투자율의 자심은 만들수가 없어 비투자율은 60정도이다. 투자율을 더 낮게한 것은 100[MHz]이상에서도 저손실이다. 가하는 자계에 의한 투자율의 변화가 적고 온도계수가 적은 특징이 있다.

② 몰리부덴-퍼어멀로이 더스트 자심

몰리부덴-퍼어멀로이 더스트 자심은 몰리부덴, 철, 니켈의 합금을 잘게 분해하여 만든것으로 수백[kHz]까지 저손실 자심재이다. 히스테리시스손이 적기때문에 낮은 주파수 범위에서 사용하는 경우 손실을 많이 줄일 수 있고 온도특성도 매우 좋다. 비투자율은 150 정도로서 투자율이 습도의 영향을 받는 성질이 있다.

1.4 자심재의 주파수 특성

자심재의 투자율은 주파수 특성이 있고 투자율 변화는 Inductance의 변화를 의미하기 때문에 매우 중요하다.

투자율은 어떤 주파수 이하에서는 일정하고 그 이상에서는 저하한다. 이 만곡점의 주파수는 자심의 손실이 급증하는 주파수와 대강 일치한다. 그림 1에 Mn-Zn계 페라이트의 주파수 특성을 개념적으로 나타내었다.

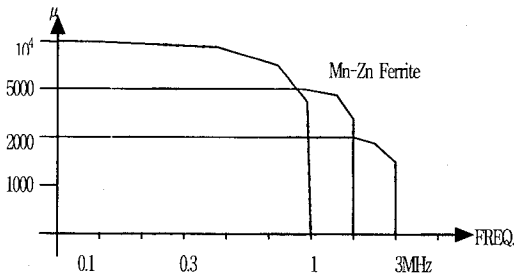


그림 1. 페라이트의 주파수 특성

그림에서도 알 수 있듯이 비투자율이 낮은 재질이 높은 주파수까지 투자율이 일정하다. 중요 자심재를

손실을 고려하여 각 재질에 적합한 주파수와 투자율을 도식화 하면 그림 2와 같다.

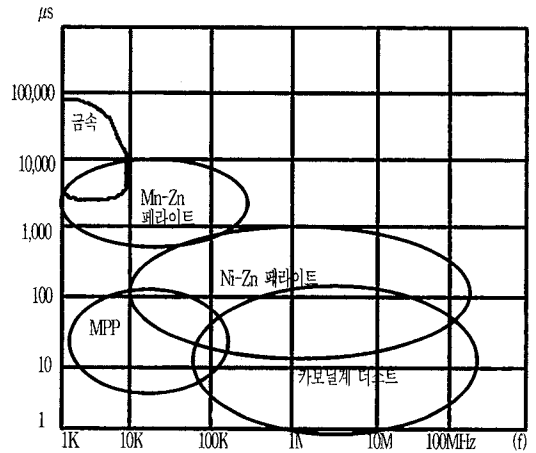


그림 2. 재질에 따른 주파수와 투자율

그림에서 알 수 있듯이 수십kHz이상의 고주파에서는 Mn-Zn페라이트, Ni-Zn페라이트, 카보닐철 더스트의 세가지 재질이 자심재료로 적합하다는것을 알 수 있다. 주파수 대역은 카보닐계 철 더스트, Ni-Zn, Mn-Zn 순이고 투자율은 그 역순으로 된다.

1.5 자심재의 요구 특성

설명을 표로 정리하면 표 2, 3과 같다.

표 2. 자심재의 종류 및 특성표

분류	자심재 종류	주요 원자재	자심재의 질					특징	
			초기투자율 μ_i	포화자속밀도 KG/AUSS	규리온도 $^{\circ}C$	교류저항 ohm-Cm	$di \times Q$ at 1KHz		사용 주파수
금속 자심	퍼멀로이	니켈 철합금	1,200-100,000	8 - 11	450	55×10^{-6}	8,000-12,000	1KHz-75KHz	(초)고 투자율
	규소강(UN-ORIENTED)	철, 규소	500	20	740	50×10^{-6}		60Hz-1KHz	고자속밀도 가격이 싸다
산화물 자심	Mn-Zn계 페라이트	망간 아연	750-15,000	3 - 5	100-300	10-100	100,000-50,000	10KHz-2MHz	고투자율, 저손실, 저주파
	Ni-Zn계 페라이트	니켈 아연	10-1,500	3 - 5	150-450	106	30,000	200KHz-100MHz	고주파에서 저손실, 투자율이 낮다
압분 자심	카보닐철 더스트	철	5 - 80	10	770	104	2,000-30,000	100KHz-100MHz	고자속밀도 고주파에서 저손실, 투자율 일정
	몰리브덴 퍼멀로이	몰리브덴 니켈철	14 - 500	3	450	1	10,000	10KHz-200KHz	투자율 일정 온도보상이 쉽다

표 3. 자성부품에 요구되는 자심 특성

항 목	자성부품	NOISE FILTER		SWITCHING- TRANS	POWER FILTER (INDUCTOR)
		NORMAL MODE	COMMON MODE		
투 자 율		●	●	⊗	●
포화 자속 밀도		●	⊗	●	●
저 손 실		●	●	●	●
요구 자기 특성		고 자속밀도	고 투자율	20KHz이상:저손실 20KHz이하: 고자속밀도	고 자속밀도
사 용 재		*MPP CORE(압분) *IRON-PODER CORE(압분) *GAPPED CORE	*FRRITE TROIDS *FERRITE SHAPES (UN-GAPPED) *Mn-Zn계 FERRITE (고 투자율재)	*FERRITE SHAPES Mn-Zn FERRITE (고 자속밀도재)	*MPP CORE(압분) *GAPPED -FERRITES *IRON-PODER CORE(압분) *규소 강판

2. 동선(MAGNET WIRE)

동선은 변성기(Transformer) 및 회전기의 권선에 이용하는 것이 주목적이며 도체에 비교적 얇은 절연 피막을 입힌 전선이다. 자심, 절연Tape와 함께 Trans의 중요한 구성재료로서 기기의 성능, 중량치수 수명에 크게 관계한다.

2차대전 이전에 사용된 동선은 주로 면권선, 권권선 등과 같이 도체에 실을 감아 절연한 선을 사용 하였다. 전후에 우수한 합성수지가 많이 개발되어 이것을 도포한 여러가지의 Magnet Wire가 만들어 졌다. 지금은 Magnet Wire의 선택의 적절함이 Trans의 가격, 성능에 영향을 주는 상황이다.

2.1 도 체

동선의 도체는 다음과 같은 특성이 요구된다.

- (1) 도전재료로서 도전율(Conductivity)이 높고 온도가 높을수록 적어야 한다.
- (2) 선으로 가공할 때 적절한 인장강도와 신장율이 있고 가공성이 있을 것.
- (3) 권선이 쉽도록 유연성이 있어야 하고 Base와

분리하더라도 형태가 허물어지지 않아야 한다.

(4) 화학적으로 내부식성이어야 하고 표면이 산화 및 다른 오손에 의해 절연처리를 저해하지 않아야 한다.

이러한 조건에 적합한 것이 동이다. 그러나 중량을 경감할 목적으로 알루미늄이 이용되기도 하지만 알루미늄은 납땜성에서 특히 동에 미치지 못한다. 동은 일반적으로 연질의 전기동을 사용한다. 용도에 따라 반경질동, 경동이 사용된다. 연질전기동의 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 4. 연질전기동의 물리적 성질

화학기호	Cu	선팽창 온도계수 (10C당)	17*10-6
원자번호	29	비중	8.89
원 자 량	63.57	인장강도(Kg/mm2)	20-28
용융점(OC)	1,083	고유저항(u-ohm)	1.7241
비열(200C)	0.0951	저항온도계수 (200C기준)	0.00393

2.2 동선이 구비해야 하는 조건

동선이 전향에서 기술한 조건을 대체적으로 만족하고 절연피막처리를 한 경우

- (1) 피막의 두께가 균일하고 핀 홀이 적을것.
 - (2) 피막이 내마모성, 내구부림성, 내비틀림성 등의 기계적 강도가 풍부하고 피막과 도체가 잘 접착 되어 있어야 한다.
 - (3) 화학적으로 안정되어 있어야 하고 처리용 바니쉬 및 공기중에 포함된 수분이 침투하지 않아야 한다.
 - (4) 절연저항, 절연내력, 손실각 등이 필요조건을 만족하여야 하고 모든 부분에서 특성이 균일하여야 한다.
 - (5) 내열충격성이 있어야 한다.
- 등의 조건이 필요하다.

실제에는 사용온도 및 기타 주위조건, 권선속도, 장력, 권선의 굵기, 절연처리재료의 화학적 성분을 고려하여 적당한 종류를 선택하여야 한다.

2.3 피막 두께 및 외경

지를 도포한 소위 에나멜선은 피막의 두께에 의해 0종, 1종, 2종으로 분류된다.

표 5에 피막두께에 대한 분류를 나타내었다. 2종은 0종, 1종과 도체의 치수공차의 규격도 다르다.

표 5. 동선의 분류

종류	피막두께	용도
0종	두껍다	전기기계기구용
1종	보통	"
2종	얇다	전기통신기계기구 및 전기기계기구용

KS 및 JIS규격에서는 최소의 피막 두께를 규정하고 있고 도체경과 피막두께의 비율은 다르다. 도체의 직경이 가늘수록 비율은 커진다. 즉 가는선일수록 정미의 도체 점유율은 적어진다. 0종과 1종의 경우에는 1종의 최대 피막 두께는 0종의 최소 피막 두께와 같다.

2.4 각종 MAGNET WIRE의 종류

현재 많이 사용되는 각종 에나멜선을 간단히 소개하면 다음과 같다.

① 유성 에나멜선(Oleoresinous Enamlded Wire)
가장 오래전부터 공업화 된 에나멜 선으로 현재도 에나멜 선이라 하면 유성 에나멜 선을 의미하는 경우가 많다. 유성 에나멜은 페놀 수지, 아마인유, 테레빈유 등을 배합한 것이다. 각종 에나멜 선중 가장 가격이 싸므로 현재에도 많이 이용되는데 피막의 강도가 약하고 내열충격성, 내유성, 내용제성에 결점이 있어 컴파운드 충전 및 유입의 트랜스에는 사용할 수 없다. 또 굵은 선에 대해서는 적당하지 않다.

② 포말 선(Polyvinyl Formal Wire)
1939년에 미국의 GE사에 의해 Formex라는 상품명으로 발매되었다. 포말선은 가동성, 내열성, 내용제성, 내마모성등의 점에서 에나멜 선보다 우수하다. 현재 각종 상품명으로 다량 생산된다.

③ 폴리우레탄 선(Polyuretana Enameled Wire)
독일의 Bayer사에 의해 개발 되어졌다. 내약품성, 내수, 내유성, 내후성의 점에서 우수하다. 포말선과 비교하여 내마모성이 나쁘다. 이 선의 특징은 열가소성이 있어 피막을 벗기지 않고 납땀할 수 있는 것이다.

④ 폴리에스테르 선(Polyester Enameled Wire)
포리에스테르 수지를 주성분으로 한 합성수지를 이용한 것이다. 이 선의 특징은 내열성이 우수한것이고 B종(1300C), F종(1500C)에 사용할 수 있다. 내마모성, 가동성, 내알카리성 등에서는 포말 선보다 뒤떨어진다.

⑤ 그 외 나이론 에나멜 선(Nylon Enameled Wire), 에폭시 에나멜 선(Epoxy Enameled Wire)등이 있다.

2.5 특수 용도의 MAGNET WIRE

최근 트랜스는 H종(1800°C)절연을 하여 높은 온도에서 사용하는 경우가 많다. 고온에 견디는 Magnet Wire가 몇종류 개발되어 있다. 테프론은 내열성이 우수하면서 가동성이 풍부하기 때문에 고온용 Magnet Wire의 절연피막으로 우수하다. 그러나 압력이 높은 곳에서는 열연화를 이르기 때문에 일반적으로 실리콘등과 병용하여 2000°C까지 견디고 2000°C를 넘는곳에 사용할 경우는 동선이 산화를 일으키기 쉬우므로 니켈 도금 동선이 사용되어진다. 더 높은 온도에서 사용할 경우는 세라믹을 유기질의 바인더를 이용하여 도체에 도포한 테프론을 외피로 하여 사용한것과 산화알루미늄 소위 알루미늄을 도체표면에 형성시킨것이 있다. 후자는 5000°C까지 사용할 수 있다.

그 외 H종 절연용의 Magnet Wire로서 Glass섬유를 도체에 감아 붙인 실리콘수지로서 처리한 Glass 권선선이 있다.

자기융착 에나멜 선(Self Bonding Wire)은 열처리에 의해 권선을 경화성형하는경우에 좋다. 이것은 이중 도장되어 있고 외층피막이 내층피막 보다 연화점, 융점이 낮기때문에 소정의 온도에서 권선을 서로 융착시킬 수 있다. 또 권선이 미끄러지는것을 막기 위해 무기질을 피막에 혼입하여 표면을 까칠까칠하게 한 그립 에나멜선(Grip Enameled Wire)은 허니컴(Honey Comb) 코일 권선등에 유리하다. 또 바이파일러 권선같이 두선을 병렬로 권선할때 편리하도록 두선의 에나멜 선을 융착하고 두가지 색으로 착색한 폴리에스테르 동선,폴리우레탄 동선등이 있다. 또 최근에는 3층절연전선(TIW)이 개발되어 베리어가 없는 트랜스를 만들 수 있게 되었다.

2.6 Litz Wire

표피효과에 의한 도체표면의 고주파전류의 집중을 억제하고 겉보기 저항을줄이기 위하여 리츠선이 사

용된다. 리츠 선은 절연피막된 가는 선을 끈것으로 각 가는선이 도체의 중심부에서 외연으로, 외연에서 중심부로 통하게 된다. 더 굵은 도체가 필요할 때는 끈 선을 몇개 꼬아서 사용한다.

리츠 선은 절연피막과 공격에 의해 점유율이 저하하고 꼬므로 해서 선의 정미의 길이가 길어지기 때문에 같은 외경의 단선보다 직류저항이 높아진다. 그러나 높은 주파수에서는 전류가 그 외연부만이 아니고 전단면적을 흐르기 때문에 실효저항은 감소한다. 주파수가 너무 높아지면 절연한 가는 선간의 분포용량을 통하여 전류가 흐르게 되어 끈선의 효과가 감소하기 때문에 리츠선은 유효한 사용 주파수범위가 있다. 또 권선하는 경우 끈 선이기 때문에 Inductance의 증가를 고려할 필요가 있다.

2.7 에나멜 동선표

0종과 1종에 대하여 트랜스를 설계할 때 유효하게 사용하도록 에나멜 동선표가 있다. 최대외경은 권선 폭에 몇회 감을수 있는가를 계산할 수 있고 전류밀도에 따른 선정결정을 할 수 있도록 각 전류 밀도에 따른 허용 실효전류를 계산하여 두었다.

2.8 동선의 저항법에 의한 트랜스의 온도상승 측정

트랜스의 온도상승은 권선은 저항법에 의해서 자심 또는 Case등 도출부 표면은 온도계법에 의해 측정 한다. 저항법은 다음식에 의해 권선의 온도상승을 산출한다.

$$\theta = \theta_2 - \theta_a = R_2/R_1(235 + \theta_1) - 235 - \theta_a$$

여기서 θ : 온도상승치

θ_2 : 시험종료시의 권선의 온도

θ_a : 시험종료시의 주위온도

θ_1 : 시험개시시의 주위온도

R_1 : 온도 θ_1 에서의 권선저항

R2 :온도 θ 에서의 권선저항

위와 같은 계산식으로 산출하는것은 복잡하므로 표 3-7에 저항치 측정에 의한 온도 상승표를 게재하였다.

예를 들어 1차권선 초기저항이 $2[\Omega]$ 이고 정격 동작상태에서 연속 동작 시킨후 저항이 $2.5[\Omega]$ 이면 % 증가율이 25%이고 주위온도가 200°C 라 하면 온도상승은 63.750°C 가 된다.

3. 절연재료

3.1 절연재료의 특성

절연재료(Insulation Materials)는 두 도체간에 전류가 흐르는것을 차단하기 위한 재료이다.

전기저항이 매우 크기때문에 절연재료를 흐르는 전류는 무시할 정도로 적다.

절연재료는 전기의 양도체와 대조를 이루고 있는데 절연체와 양도체사이에 엄밀한 정의에 의한 구분은 없고 양자의 중간에 위치하는 반도체라는데 있어 개략적으로 분류되어 있다.

절연재료(절연체), 반도체, 양도체를 체적 고유저항에 의해 표 6과 같이 구분한다.

표 6. 전기재료에 따른 고유저항

전기재료의 분류	체적고유저항(ohm-cm)
도체	10-6-100
반도체	100-106
절연재료	106-1020

절연재료는 그 용도에 따라 절연저항, 유전율 역을, 절연내력등의 제특성을 알 필요가 있다.

3.2 절연저항(Insulation Resistance)

절연재료은 그 종류에 따라 다른 유한의 저항 즉

절연저항이 있다. 절연저항은 고체절연물에 전압을 가했을때 그 내부를 관류하는 전류와 표면에 부착해 있는 습기 및 불순물을 통하여 흐르는 전류를 합성한것에 대한 저항으로 표시한다. 절연저항은 절연내력과 반드시 직접적인 관련이 있다고 할 수는 없지만 저항의 급격한 변화는 표면의 오염 및 화학적 물리적인 변화에 의해 절연내력이 저하하고 있는것을 나타내는 기준이 된다. 절연저항은 온도,습도 및 재료의 흡습도에 의해 영향을 받고 더욱이 표면의 청정도, 인가전압의 크기와 인가시간에 따라서 달라진다. 따라서 절연재료의 좋고 나쁨을 나타내는 기준으로 절연저항을 이용하는 경우 습도, 온도와의 관련에 주목할 필요가 있다. 절연저항은 일반적으로 $500[\text{V}]-1,000[\text{V}]$ 의 직류로 측정한다.

3.3 유전율(Dielectric Constant)

절연물은 공기(진공)에 비해 유전율이 매우 크다. 유전율이 다른 두 종류의 절연재료를 겹쳐 사용하면 전위경도(단위길이당 전압)에 큰 영향을 준다. 식 1에서 식 4는 유전율이 K_1, K_2 이고 두께가 D_1, D_2 인 절연재료의 양단에 전압 V 를 인가하였을때의 전위경도를 나타내었다.

$$V + E_1d_1 + E_2d_2 \dots\dots\dots 1$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{K_1}{K_2} \dots\dots\dots 2$$

$$E_1 = \frac{K_2V}{d_1K_2 + d_2K_1} \dots\dots\dots 3$$

$$E_2 = \frac{K_1V}{d_1K_2 + d_2K_1} \dots\dots\dots 4$$

여기서 E_1 =유전율 K_1 , 두께 d_1 인 재료의 전위경도[V/mm] E_2 =유전율 K_2 , 두께 d_2 인 재료의 전위경도[V/mm]

이 관계는 그림 4와 같이 도시된다. 즉 절연재료

의 두께가 같은 두종류의 절연재료를 겹쳐 사용하면 유전율이 낮은 재료가 큰 전압을 부담하게 된다. 따라서 각 절연체가 절연내력의 반을 부담할것으로 생각하여 설계하면 절연파괴의 위험이 있다.

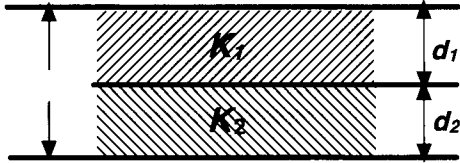


그림 4.

3.4 역률(Power Factor)

절연물과 같은 유전체에 교류를 흘리면 그 절연저항에서 추정되는 값보다 훨씬 큰 전력손실이 생긴다. 이것은 유전체 흡수 현상 및 누설현상에 의해 생기는데 이것을 유전체 손실이라 한다.

절연재료의 역률은 유전체 손실의 대소를 나타내기 때문에 교류전압을 인가하였을때의 볼트암페어(Volt.Ampere)에 대한 절연재료내의 전력손실의 비로 나타낸다. 유전체 손실은 열로 되어 절연재료를 가열하기 때문에 그 정도가 심해지면 절연재료를 파괴하게 된다. 따라서 고전압 또는 고주파에서 사용하는 절연재료는 유전체 손실이 적은것을 사용하여야 한다.

유전체 손실 P를 입력 볼트암페어 EI에 대해

$$P = EI \sin \delta$$

로 표시하고 δ 를 손실각이라 한다. $\tan \delta$ 는 절연재료의 유전정접이라 부른다.

3.5 절연내력(Dielectric Strength)

절연재료에 전압을 인가하여 전압을 상승시켜 어떤 값에 도달하면 절연물의 내부를 관통하던지 혹은 그 표면을 따라 절연이 파괴된다. 이때의 전압을 절연파괴전압이라 한다.

절연재료의 절연내력은 일반적으로 절연파괴전압

을 재료의 두께로 나눈 값으로 나타내는데 절연재료가 절연내력을 잃지않고 사용할 수 있는 지정전압을 나타낸다. 절연내력은 단순히 절연재료의 종류에 의해 달라지는것이 아니고 인가전압의 상승속도, 인가 시간, 교류.직류의 종별, 주파수, 온도, 습도, 재료의 두께, 시험전극의 형상에 의해서도 영향을 받기 때문에 절연내력에 대한 측정을 할때는 이러한 제조건을 일정하게 두어야 한다.

3.6 절연재료에 대한 코로나(Corona) 영향

기체중의 도체에 높은 전압을 인가하면 그 전압치가 매질기체의 임계전압을 넘었을때 도체 주위의 기체가 부분적인 절연파괴가 생겨 도체 표면에서 미광이 발생하면서 일종의 소음이 들리게 된다. 이 현상을 코로나 방전(Corona Discharge)이라 한다. 코로나는 고체절연물과 기체가 공존할때도 발생하는데 인가전압이 절연재료의 절연내력 보다 낮으면 절연파괴를 일으킬 위험은 없다. 코로나 방전에 의해 기체의 이온화가 진행되면 기체층에 걸리는 전압이 저하하므로 이로 인해 전 인가전압이 절연재료에 가해지게 된다. 코로나 그 자체는 절연재료에 악영향을 주지 않지만 코로나에 의해 발생한 오존등의 산화제 작용에 의해유기절연물의 산화를 촉진하여 절연열화를 이끄는 2차적인 작용이 있다.

3.7 절연재료에 미치는 수분의 영향

수분 또는 습도가 절연물에 영향을 주는 이유는 다음의 두가지이다. 그 하나는 절연물의 새공(작은 구멍)으로 수분이 흡수되어 절연저항이 저하하는 경우이고 또 하나는 표면이 수분에 의해 적셔져 물막막이 전면에 걸쳐 부착되어 도전성을 띄는 경우이다. 절연물의 내부에 확산된 수분은 재료의 정전용량과 역율을 증가시켜 체적고유저항이 감소한다.

흡수된 수분에 의해 재료가 받는 영향의 정도는 주위공기의 상대습도와 측정 주파수에 의해 달라진다.

절연재료의 표면에 형성한 물의 박막이 절연에 미치는 영향은 그 표면이 물에 적셔지기 쉬운가 아닌가에 의해 결정된다. 예를 들어 물방울이 부착하여도 박막을 이루지 않고 미소한 물방울의 상태로 상호 연결되지 않으면 도전로가 형성되지 않기 때문에 표면의 절연저항은 그다지 저하하지 않는다. 일반적으로 흡수성이 높은 다공질의 재질은 물에 적셔지기 쉬운 성질이 있다. 반면 미끈한 표면은 적셔지기 어렵기 때문에 다공질의 재질에 왁스, 바니쉬등을 도포하면 물에 적셔지기 어렵기 때문에 습도가 높은 장소에 사용할 수 있다. 절연재 표면의 오염도는 절연상태에 영향을 주어 절연저항이 열화한다.

3.8 절연재료와 온도

비교적 높은 전압을 취급하는 변성기의 수명은 변성기에 사용하는 절연재료에 의해 가장 영향을 많이 받는다. 따라서 절연재료의 수명에 관계하는 온도의 영향에 대해 많은 연구가 행해지고 있다.

그 연구결론을 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 절연재료는 급격히 절연과괴를 일으키는 일정한 온도가 있는것은 아니지만 높은 온도에서 사용하고 있는 사이에 서서히 변질되어 기계적으로 열화하여 파괴된다.

(2) 즉 절연물의 수명은 기계적 강도에 대한 열화의 비율을 나타낸다. 물론 절연물의 절연저항과 기계적 강도와는 직접적인 관련은 없고, 더욱이 기계적 열화의 과정에서 절연저항이 높아지는것도 있을 수 있다. 절연물의 기계적 수명이 다하면 약간의 충격, 진동, 팽창등의 외부 힘에 의해 기계적으로 붕괴하여 절연과괴된다.

(3) 경험적으로 유기절연물의 수명은 사용온도가 5-100C 높아짐에 따라 반감한다.

특히 화학반응을 촉진하는 온도상승은 현재 가장 많이 쓰는 유기질 절연재료의 화학구조의 열화속도를 증가시켜 절연을 열화시키는 중요한 요인이다.

절연재료의 내열성에 의한 분류등은 Transformer의 온도와 수명에서 상세히 기술한다.

3.9 대표적 절연재료의 특성

변성기(Transformer)의 층간절연 및 권선간 절연재료에 사용되는 대표적인 절연재료의 특성에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다.

(1) 종이, 포를 기본재료로 한 절연재료

종이, 포등 식물성섬유를 주체로 한 절연재료를 셀로즈(Cellulose)계 절연재료라고 한다.

이것은 적당한 기계적 강도와 더불어 유연성이 있고 가격이 싸기때문에 전기기기에 많이 이용되고 있다. 다공질이라 흡수성이 큰 결점이 있다. 이 결점을 제거하기 위하여 바니쉬등의 액체절연물에 충분히 함침하여 사용하는 경우가 많다.

만약 미처리한 상태로 사용할 경우는 반드시 충분한 건조와 후처리를 하여야 한다.

일반적으로 높은 절연강도가 요구되는 경우는 포보다는 종이가 적합하지만 기계적 강도가 중요할 때는 포가 사용된다.

섬유성 절연물은 높은 온도에서의 특성이 불안정하기 때문에 사용온도의 제한이 있다.

대체적으로 절연종별 Y종(900C) 절연재에 속한다.

(2) 폴리에틸렌 테레프타레이트(Polyethylene Terephthalate, PTE)

전후 많은 합성수지가 등장하였는데 폴리에틸렌 테레프타레이트는 불소수지와 함께 대표적인 필름 절연재이다. PTE는 마이라(Myler: 미국 듀폰사 상품명), 메리넥스(Melinex)등의 상품명으로 판매되고 있는 폴리에스텔 수지 필름이다. 이것은 셀로즈계 절연재료에 비해 기계적 강도가 좋고 내습성, 내화학약품성등이 우수하다. 절연과괴 전압은 15[kV]/0.1[mm] 정도의 매우 높은 특성이 있으나 열가소성으로서 코로나에 약한 결점이 있다.

(3) 유리섬유(Glass Fiber)

유리는 우수한 전기절연체이다. 1930년대 말 유리를 가는 섬유상으로 만드는 것이 공업화 되어 이것을 이용한 실과 포를 사용한 절연재료가 널리 사용되어져 왔다.

이 재료는 내열성이 우수한 H종 절연재료로 사용할 수 있고 화학적으로도 안정적이다.

(4) 4불화 수지(Fluorinated Hydro Carbon)

불소수지에는 4불화 에틸렌과 3불화 에틸렌이 있는데 모두 내열성이 우수하여 H종 절연재료로 사용할 수 있다. 또 내약품성도 풍부하다. 테프론은 4불화 에틸렌의 상품명이다.

(5) 합성 섬유

면이나 견과 같은 천연섬유에 의한 포외에 나이론 및 테트론 같은 합성수지를 바니쉬로서 처리한 절연용 포가 시판되고 있다. 이러한 합성수지는 기계적인 강도 및 내열성에서 천연섬유에 비해 우수하다. 지금까지 여러 가지 절연재료의 특성에 대해 간략하게 기술하였는데 현재 Trans 제조업체에서 가장 많이 사용하는 절연 Tape는 열가소성 합성수지 필름 Tape이다. 열가소성이란 고온이 되면 고분자 사이에 흐름이 생겨 유동을 일으키게 되고 다시 온도를 내리면 고체가 되는 성질을 의미한다. 열가소성 재료는 이러한 결점도 있지만 성형, 가공이 용이하여 필름, 섬유 및 성형품을 만드는데 실용적으로 이용된다.

3.10 절연재료의 선택기준

절연재료는 다종다양하여 권선의 층간절연에 사용하는 재료에 한해서도 포, 종이 합성수지 필름 등 많은 종류가 있다. 절연재료는 전기기기의 수명에 가장 밀접한 관계가 있기 때문에 적절한 선택이 필요하다. 절연재료선택의 기준은 다음과 같다.

(1) 온도

온도는 절연수명에 가장 큰 영향을 준다. 기계가 동작하는 주변온도와 변성기(Transformer)의 온도상승으로부터 최고점 온도를 구하여 절연종별을 결정 한 후 적합한 재료를 사용하여야 한다.

(2) 습도

습도는 절연내력을 현저하게 열화시키므로 습도가 높은 장소에 사용될 때는 바니쉬등으로 처리하여 내습성을 높일 필요가 있다.

(3) 화학적 안정성

유입 변성기의 경우는 절연물의 내유성이 필요한 조건이 된다. 또 처리(바니쉬 함침)를 할 때는 바니쉬 중의 용제에 대한 내성이 필요하다. 또 약산 및 알칼리에 대한 내력이 커야 한다.

(4) 기계적 강도

절연물에는 권선 작업중에 구부린다, 팽팽히 당긴다 등의 기계적인 힘이 작용하는데 이와 같은 기계적인 힘을 받아도 절연성능이 요구를 만족하여야 한다. 또 동작중의 진동, 충격, 팽창에 의한 인장력등에 대해서도 고려하여야 한다.

(5) 내 코로나성

높은 장소에서 사용되는 변성기 및 고전압을 발행하는 변성기의 절연상태에 대해서는 특히 내 코로나성이 필요하다.

(6) 사용주파수

절연재료의 유전체 손실은 주파수가 높아짐에 따라 증대하기 때문에 높은 주파수에 사용하는 경우에는 특히 고려하여야 한다. Trans를 설계할 경우 이상의 조건을 하나하나 음미하여 중점을 두어야 할 조건과 적당히 적합한 조건을 고려하여 가장 어울리는 재료를 선택하여야 한다.

절연재료의 절연내력은 트랜스에 가해지는 최종의 내전압시험지의 2배 이상의 값을 갖는 것을 절연설계

의 기준으로 하는것이 좋다. 절연재료의 개략적인 설명을 하였는데 지금까지의 내용을 참고하여 절연재료 제조업체의 카다로그를 참조하면 절연설계의 도

움이 될것으로 사료된다.

표 7에 절연기본소재별로 분류한 대표적인 절연재료의 특성을 나타내었다.

표 7. 절연재료 특성

材 料 名		두 께 [mm]	密 度 [g/cm ³]	引 張 強 度 [kg/mm ²]		絶 緣 耐 力 [kV/mm]	誘 電 率	比 熱 容 率	體 積 固 有 抵 抗 [ohm-cm]
				縱	橫				
絶緣用紙	Kraft 紙	0.13	0.7	68	22	6	0.002		
	콘택스지	0.012	1.1-1.25	<6	6	44			
	프레스 보드	24	1.0-1.2	45-8	2.0-3.5	6-8			
절연용포	마니쉬 Cloth	0.13		>90	>60	35-55		45-65 44-66	>1.0*10 ¹²
	왁스 실크	0.10		>45	>45	40-50			
	마니쉬 에폭시 Cloth	0.10		>60	>45	40-55			
	마니쉬 글라스 Cloth	0.13		>10	>7	40-55			
프라스틱	폴리에틸렌 필름	0.07					0.0017(1KHz)	3.2 2.0	1019
	비닐리드 필름	0.025	1.2	11.3	10.8	160			
	에폭시 필름	0.025	2.1-2.3						