

## 최근 Transformer의 技術動向

Transformer의 小形化 역사는 構成材料가 進歩해온 역사라 해도 과언이 아니다. 물론 加工에 있어서의 生産技術의 진보도 보아넘길 수는 없으나 이것은 오히려 激烈한 Cost down 경쟁에 견디어 내기 위한 方案이라 아니할 수 없다.

여기서 말하는 Transformer란 卷線으로 어느 정도의 電力을 傳送하는 것을 목적으로 하여 Impedance 變換 또는 絶緣作用을 수반하는 것으로, 小形化에 대한 制約條件이 가장 엄격한 부품이라 할 수 있다.

### 1. 構成材料

Transformer를 구성하는 재료로서는 대충 아래와 같이 大分類 할 수가 있다.

(1) 導電材料 外部接續을 위한 lead 등도 포함되지만 容積의 대부분을 차지하는 것은 卷線이며 이에 magnet wire라 불리우는 絶緣被膜이 붙은 電線이 사용되는 것이 보통이다.

(2) 磁性材料 Shield材로서도 사용되지만 Transformer 가운데서 鉄芯이 차지하는 容積이 대단히 크다.

(3) 絶緣材料 Sheet狀으로 加工된 것, 含浸·注型으로 사용하는 것, 成形加工하는 것 등 Transformer를 구성하는 재료 가운데는 다른 분야의 기술개발 영향으로 가장 개량이 진전되고 있다.

#### 1) 導電材料

Magnet Wire의 導電材料로서는 극히 일부에서 銀, 알루미늄 등이 사용되는 예는 있지만 일반적으로는 銅 이외의 것이 사용되는 것은 없

다. 卷線部分에서 발생하는 損失은 銅損이라 불리우나 導電率이 높은 즉, 直流抵抗이 낮을수록 적어진다는 것은 말할 것도 없다. 그러나 小形化를 목적으로 하여 이 점이 개량되었다는 예는 없고 겨우 絶緣被膜이 材質의 개량과 燒付技術의 향상으로 얇어 졌고 占積率이 개선되었으며 또는 耐熱性의 향상으로 Transformer의 溫度上昇을 크게 할 수 있게 된 것 등을 들 정도이다.

電子機器用 Transformer의 Magnet Wire는 한 때 油性 Enamel線이 대세를 차지했으나 현재는 Polyurethane線 및 Polyester線이 主流를 이루고 있다. 특히 小形의 것은 대부분 Polyurethane線이 사용되고 있으며 이의 改良種族도 풍부하다. 이 결과 크레징特性, 耐熱性 등이 비약적으로 향상되어 小形化에 대해 側面的인 효과를 얻을 수 있게 됐다.

表1은 Transformer用으로서 현재 많이 사용되고 있는 Polyurethane 電線의 특징을 나타낸 것이다.

#### 2) 磁性材料

Transformer用의 磁性材料로서는 硅素鋼, 니켈合金(Permalloy) 酸化鉄(Ferrite) 등이 주류를 이루고 있으며, 薄板을 積層하든지 粉末을 成形한 형태로 사용하는 것이 보통이다.

최근 각광을 받고 있는 Amorphous Core는 低歪率이라는 특징을 살려서 音聲系의 Transformer에 사용되는 일이 많으며 또 低損失이기 때문에 大電力變壓器에 활용하는 문제가 검토되고 있지만 비교적 急峻한 特性을 갖고 있기 때문에 磁性密度를 너무 높게 設定할 수가 없으

며 현재로서는 小形化에 대해서는 그다지 효과가 없다.

Transformer의 基本式은

$$E = \alpha \cdot f \cdot B_m \cdot N \cdot AC \times 10^{-8} \text{ (V)}$$

로 나타내고 있다. 다만 E: 電圧,  $\alpha$ : 定数, f: 周波数,  $B_m$ : 最大磁束密度, N: 卷数, AC: Core의 有効断面積이다.

즉 周波数 f를 일정하게 하면  $B_m$ 를 크게 할수록 卷線 또는 断面積을 적게 할 수가 있다.

〈표-1〉 Polyurethane 전선의 특성

	Polyurethane			Polyester
	一般用	高耐熱性	高耐摩耗性	
耐熱區分	E	B	E	B
3%伸張 Pin hole性 (DC24V, 水中20cm)	多数	0	0	0
耐熱Pin hole性(3%伸張) (170°C 6hr)	多数	0	0	0
耐熱電圧性 (180°C 168hr)	3,480	6,050V	5,850V	5,840V
耐電圧殘存率 <sup>1)</sup>	58%	96%	90%	99%

(註)<sup>1)</sup>  $\frac{\text{加熱後의 破壞電圧(V)}}{\text{常溫時의 破壞電圧(V)}} \times 100$

商用周波수로 작동하는 電源Transformer의 경우 0.35~0.5mm 두께의 硅素鋼板을 사용하지만 熱間圧延鋼板 全盛時代로부터 冷間圧延鋼板으로 이행하는 단계에서 많은 생산기술이 개발되어 각종 Grade의 것을 선택할 수 있게 되었다. 熱間圧延硅素鋼板의 경우 最大磁束密度의 設定은 10kg이상으로 설정할 수가 있으며 鐵芯의 重量이 절반 가까이 까지 輕減되어 버린다.

일반적으로 이와 같이 Grade가 높은 鐵芯은 勵磁特性이 急峻하여 損失이 대단히 낮음에도 불구하고 너무 限度에 가득 차게 설정할 수는 없다. 최근에는 거꾸로 어느 정도 損失을 희생하여 完滿한 特性으로 하여 磁束密度를 높게 설정할 수 있는 것이 제작되고 있으며 小容量의 電源 Transformer와 Level變動이 큰 系路에 挿入되는 Coil類에 이용되도록 되어 있다. 이와 같은 Core는 Semi Process Core라 부르며 그 이름이 나타내는 바와 같이 圧延~熱處理의 과정에서 어느 工程을 省略하여 얻어지는 것으로서 가격이 싸다는 이점이 있다.

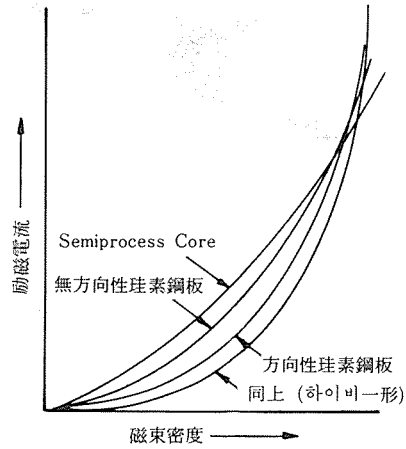


圖 1

〈表-2〉 最大磁束密度의 設定例

(單位: KG)

	Semiprocess Core	無方向性 硅素鋼板	方向性 硅素鋼板	
			A	B
5 VA未滿	16~18	14~16	15~17	16~18
5~15VA	15~17	13~15	14.5~16.5	15.5~17.5
15~50VA	14~16	12.5~14	14~16	15~17
50~150VA	13~15	12~13	13.5~15.5	14.5~16.5
150VA以上	12~14	11~12	13~15	14~16

圖 1은 이들의 特性差를 약간 誇張하여 나타낸 것이며 表 2는 電源Transformer의 最大磁束密度值의 設定例이다. 여기에서 方向性 硅素鋼板의 例가 2종류 나타나고 있는데 A는 예를 들면 EI Core와 같이 부분적으로 材質이 갖는 方向性이 살려지지 않을 경우이며 B는 卷鉄芯과 같이 方向性을 100% 살렸을 경우의 예이다.

### 3) 絶緣材料

Transformer에 사용되는 絶緣材料의 형태로서는

- 1) Sheet, Film 또는 tape 모양인 것
- 2) 成形部品
- 3) 含浸注型劑

로 大別할 수가 있다.

Sheet類의 것은 小型Transformer에 대해서는 대부분 粘着劑가 붙은 것이 사용되고 있으며 成形部品の 補助的인 역할을 가지는 경우가 많다. 材質로서는 Polyester Film이 가장 많이 사용되는데 耐熱性이 요구되는 경우에는 Polyamid Nylon Sheet 또는 두께를 요구할 경우에는 Acetate Cross Sheet 등이 사용되고 있다. Polyester Film의

경우 가장 얇은 것이 두께 0.02mm짜리가 사용되고 있으나 이보다도 얇은 것은 抗張力, 抗壓力 등 機械的인 強度面에서 문제가 있으며 絶緣用으로서는 한계가 있다.

成形材料는 대단히 많은 종류가 개발되어 Transformer의 小形化에 대해 큰 역할을 하고 있다. 특히 耐絶緣性的 면에서 Phenol 등 熱硬化性 樹脂에 필적하는 熱可塑性 樹脂가 개발됨으로서 Bobbin의 구조 등에 대한 自由度가 커져 Space Factor가 대폭 개선된 효과는 크다.

含浸充填劑의 변화는 成形材料에 비하면 적지만 溶劑Type로부터 Polyester 등 無溶劑Type로 移行하여 耐熱特性이 향상되는 동시에 熱傳導도도 커졌다. 더우기 熱傳導도가 큰 微粒劑를 混入함으로써 이를 개선하는 방법이 고안되어 容積的으로 15~20%를 줄일 수가 있게 되었다.

이상과 같이 材料의 개선은 個個的으로는 대단히 僅少한 것이지만 相乘效果는 대단히 크다고 할 수 있다. 또 어떤 경우에도 후에 말하는 規格對策 또는 生産기술상의 문제해결 및 機器에 대한 대응 등 材料가 효과적으로 개선됨으로서 Transformer가 大形化하는 것을 방지할 수 있었다고 해도 과언이 아니다.

## 2. 制約條件

Transformer를 小形化 하려는 경우 내적 요인, 또는 외적 요인에 의한 여러 制約이 존재하지만 部品으로서 어느 정도의 電壓과 電力을 供給하는 이상 피할 수 없는 것으로 技術的으로 이를 여러모로 극복하고 있다는 것이 현실이다.

### 1) 溫度上昇

銅損 및 鐵損에 의해 발생하는 것으로 設計上 小形化하면 할수록 이들의 가치가 커진다. 그러나 絶緣材料의 개선으로 耐熱區分이 올라가서 이른바 무리한 설계가 가능해지고 있다. 예를 들면 Y種 또는 A種의 絶緣材가 주류를 이루었을 때에는 온도상승을 섭씨 40도 이하로 억제할 필요가 있기 때문에 電流密度(電線의 單位斷面當 통과시킬 수 있는 電流值)는 2.5A/mm<sup>2</sup> 이하로 설정하는 것이 보통이지만 E種 또

는 B種의 絶緣材가 용이하게 선택가능해진 현재 대부분의 것이 3.5A/mm<sup>2</sup> 이상으로 설정되도록 되어 있다.

온도 상승에 의한 문제점으로서의 이와 같은 내부에 대한 것 이외에 외면에 대한 영향도 커서 엄격한 制約條件이 되는 경우가 많다.

### 2) 絶緣性能

小形化를 추진하기 위해 絶緣機能을 가지는 支持部分 예를 들면 Bobbin의 Flange 등을 얇게 하는 필요가 있으나 이것도 絶緣性能의 저하를 초래하는 요인이 되기 때문에 스스로 한계가 있다. 이러한 점에 있어서도 成形材料를 포함하는 絶緣材料의 改良으로 대단히 얇은 것을 제작, 가능하지만 Transformer 제조시에는 여러가지 Stress가 가해지기 때문에 機械的인 強度를 보장할 수 있는 범위에서 그칠 필요가 있다. 특히 溫度上昇時에 있어서 規定의 絶緣性能을 만족시키지 않으면 안되기 때문에 그 한도범위는 상당히 좁은 것이다.

### 3) 安定規格

小形化를 거부하는 엄격한 조건의 하나로 安全規格이 있다. 안전규격은 주로 火災, 感電의 위험을 피하기 위해 絶緣材料의 材質, 두께 또는 構造的인 空間거리를 정한 것으로 제조시의 규격이 맞지 않을 것을 고려하여 상당히 여유 있는 수치가 설정되고 있다.

材料의 可燃性, 自己消火性 등에 대해서는 미국의 UL規格이 가장 계통적으로 연구된 것으로 각국의 규격도 이를 참고로 하든지 또는 그대로 허용한다는 예가 많다. 특히 成形材料에 대해 두께마다 이들의 특성과 機械的인 강도를 Check하여 認可한다는 System은 UL이외의 규격에는 없는 것이다.

다만 小形化에 대해 엄격한 규제를 하는 것은 공간거리에 관한 것으로서 運用的으로 이것이 완화되는 일은 없으며 작은 Transformer의 내부에서도 이를 만족시킬 필요가 있다. 두께에 대해서는 각각의 재료가 갖고 있는 絶緣性能에 따라 완화되는 것이 보통이지만 거리를 좁혀도 된다고 할 수가 없다.

圖 2는 IEC Publ. 65(家庭用電子 機器의 規格)에서 요구되고 있는 空間距離의 수치이다. 일본의 電氣用品團束法도 國際規格인 IEC에 맞

추어지는 작업이 추진되고 있으며 대부분 같은 수치가 요구되고 있다.

이와 같은 規格이 制定될 경우 材料의 進歩와 生産技術이 향상된다고는 생각할 수 있으나 安全性에 관한 한 당장 추종할 수 없다는 것이 實情이다. 앞선 IEC Publ. 65에서도 제4版(1976年)보다 25%삭감되었으나 그후 이 수치에 대해서는 검토되지 않은 것 같다.

### 3. 生産技術

電氣的인 특성으로 銅量과 鐵量이 결정된다면 안전규격이 허용하는 한 내부의 絶緣材料와 空間이 차지하는 부분을 줄여서 Space Factor를 개선할 필요가 있다.

#### 1) 構造設計

Transformer의 구조로서는 이른바 EI形의 Core를 사용한 것이 가장 표준적인 형태이며 현재에도 주류를 이루고 있다. 이외에도 Cut Core, Toroidal Core(環狀鐵芯) 등이 있으나 特性改善을 목적으로 한 것은 아니다.

최근 Core 形狀을 바꿈으로서 Space Factor를 개선한 것이 몇가지 볼 수가 있었으나 이와 맞추어 Bobbin 構造에도 손을 가하고 있는 것이 많다.

Core 構造의 改良形의 하나로서 卷鐵芯과 I形을 짝지는 이른바 OI形이라 불리는 形狀이

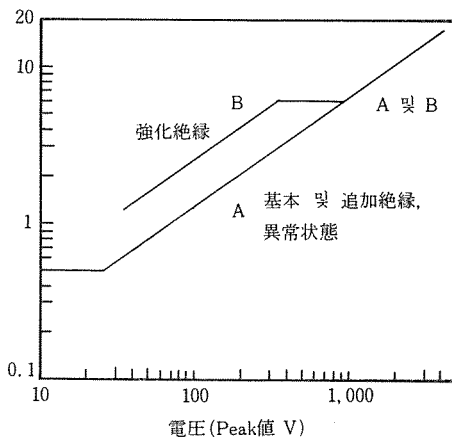


圖 2

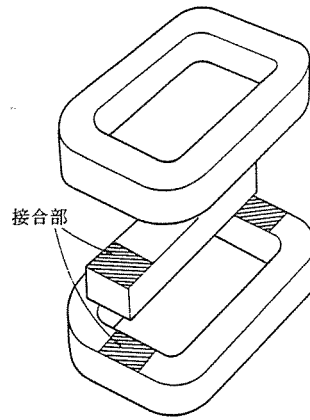


圖 3

있다. (圖 3) 이것은 종래의 EI形과 비교하여 얽게 하기 쉽다는 특징을 가지고 있는 것으로 Coil의 突出部가 없고 Space Factor는 상당히 양호하다. 나아가서 磁氣抵抗이 가장 커지기 쉬운 Core 接合部の 接觸面積을 임의로 크게 할 수가 있기 때문에 特性的으로는 Cut Core 보다 좋은 것을 얻을 수 있으나 Cost가 높은 卷鐵芯을 2개 사용할 필요가 있기 때문에 극히 薄形으로 특성적으로 엄격한 조건에서만 사용되고 있는 실정이다.

卷線部分을 円形으로 함으로서 Space Factor를 개선하는 방법이 있다. 이것은 종전의 EI形 또는 EE形의 改良形으로 Transformer를 立方体에 가깝게 하여 容積을 줄이는 효과가 크다. 이 방법에 의하면 卷線의 길이도 짧아지기 때문에 銅損도 아울러 低減시킬 수가 있다. 이 形을 製品化한 것으로서 TDK 및 東北金屬의 PQ形이 있으며 小形機器의 Transformer用으로서 뛰어난 것이다.

#### 2) 卷線技術

종전의 Magnet Wire를 卷線하는 방법은 合理化의 추구라는 형태로는 큰 진전을 보았으나 小形化로서는 거의 불 만한 것이 없다.

새로운 방식으로서 극복되고 있는 것에 Print Coil이라 불리는 것이 있다. 이것은 Film모양의 얇은 基板에 銅箔을 소용돌이형으로 Etching에 의해 形成하여 이를 겹쳐서 直列로 接續한 것을 Coil로 만든 것으로 대단히 薄形의 것을 만

들 수 있다. 현재로는 導體箔의 두께와 絶緣基板의 두께의 比에 한도가 있고, Print에 의한 卷數를 크게 할 수 없게 되는 등에 의해 특정한 使用範圍에 한정될 수 밖에 없으나 生産技術적으로도 機械化가 용이하며 全自動化의 가능성도 있기 때문에 안정된 제품을 얻을 수 있으며 가까운 장래 Space Factor가 대단히 좋은 것이 만들어질 것으로 기대된다.

Transformer 자체를 小形化하는 것은 지금까지 기술한 바와 같이 상당히 엄격한 한계가 있다. 그러나 Transformer를 부품으로서 사용하는 機器의 輕薄短小化에 대한 요구는 한없이 진행되고 있는 실정이며 回路技術에 의해 또는 다른 部品과의 組合에 의한 Spacefactor의 개선으로 이에 따르고 있는 것이다. 따라서 Transformer에 대해서도 基本原理에 의거한 대책 외에 이와 같은 機器의 요구에 부응하는 형태로 갖가지 변화를 볼 수 있게 되었다.

#### 1) 回路技術에의 對應

최근 가장 輕薄短小化에 큰 역할을 하고 있는 기술은 電源部分을 Switching Regulator에 의해 高周波化한 것이다. 이 결과 Transformer의 容積은 總電의 10% 이하가 되어 앞으로 뛰어난 素子 개발이 진전되면 더욱 高周波化가 가능해지기 때문에 Transformer의 小形化도 촉진된다.

이 경우 Transformer 자체의 高周波 대책도 중요한 특성요소가 되어 卷線間의 絶緣材料는 가급적 얇은 것으로 더우기 靜電容量 등의 不均衡을 억제하기 위해 卷線方式도 반드시 並列卷으로 하지 않으면 안되는 등 주의가 요구되

고 있다.

#### 2) 構造上의 要求

機器의 輕薄短小化에 따라 다른 部品과의 接續方法에 있어서도 여분의 機構部品을 사용하는 것이 기피되고 있어 이른바 Pin Tape의 構造를 가지는 것이 주류를 이루고 있다. 이 구조는 구조상의 합리화에도 통하기 때문에 급속히 보급되고 있으나 Pin을 지탱하는 Bobbin의 材質이 Key Point가 될 것임은 두말할 것이 없다.

최근에는 PBT, FRP와 같은 뛰어난 成形材가 개발되어 機器側의 요구에도 합당한 것이 얻어지고 있다.

이상과 같이 Transformer에 관해서는 기본적인 기술개혁은 거의 없고 앞으로 당분간 출현하지 않을 것으로 생각되나 각각의 改良部分의 相乘效果에 따라 輕薄短小化의 요구에 추종하고 있는 셈이다. 특히 Digital 機器의 출현이래 Switching方式에 의한 電源의 보급이 두드러지며 Transformer의 크기는 20분의 1, 또는 그 이하가 되어 있는 것으로 생각된다.

앞으로의 과제로서는 卷線部分의 Space Factor를 개선하는 것이 남겨진 가능성의 하나가 될 것이다. 아직 이 부분은 50%를 넘는 것이 거의 없다고 할 수 있을 정도이며 電線의 모양을 포함하여 이 부분을 生産技術적으로 개량할 수 있는 余地가 있다.

물론 絶緣을 하는 이상 100%는 불가능하지만 안전규격 등과 같은 制約條件을 극복하여 80% 정도의 수치는 달성 가능할 것으로 보고 있다.

### P. 46에서 계속

서 鉛비스아스酸 발륨 등이 검토되고 있다. 低雜音化를 피하기 위해 低溫度動作이 필요하기 때문에 材料開發 외에 低溫技術도 중요하다.

#### ○光·電子IC, 光IC

新材料, 素子構造, 素子·回路設計技術, 半導體結晶成長技術, 微細加工技術, 製造프로세스技術 등이 앞으로의 課題로 되고 있다. 光IC의 경우 이외에 光導波路에 관한 技術이 앞으로의 課題로 등장하고 있다.

#### ○光交換機

이 분야의 연구는 이제 시작되어 아직 시스템 概念도 확립되어 있지 않기 때문에 당분간은 光 Switch라든지 光 Memory 등과 같은 Key device의 개발, 高集積化가 중요과제로 되어 있다.

#### ○光 Computer

이제 연구되기 시작한 것으로 光技術의 適用이라는 觀點에서 光演算處理 Architecture 光論理素子, 光 Memory, 光配線用 光技術의 실현이 break through가 된다고 생각된다.