

工場電氣의 最新技術

電氣設備의 에너지節約 (1)

産業界에서는 에너지節約對策이 進展되어 에너지原單位는 상당히 低減되고 있으나 電力原單位는 변동이 없거나 增加傾向에 있다. 電氣設備의 에너지節約이 강력히 요청되는 이유가 여기에 있다고 하겠다. 따라서 몇회에 걸쳐 最近의 電氣設備의 에너지節約對策에 대하여 설명 하기로 한다.

1. 電氣機器의 에너지節約

여기서는 電氣機器의 에너지節約對策(주로 效率向上對策)에 대하여 설명한다. 電氣機器뿐만 아니라 각종 기기에는 그 機器 特有의 에너지 變換方式이 있으며 變換에는 반드시 損失이 수반된다.

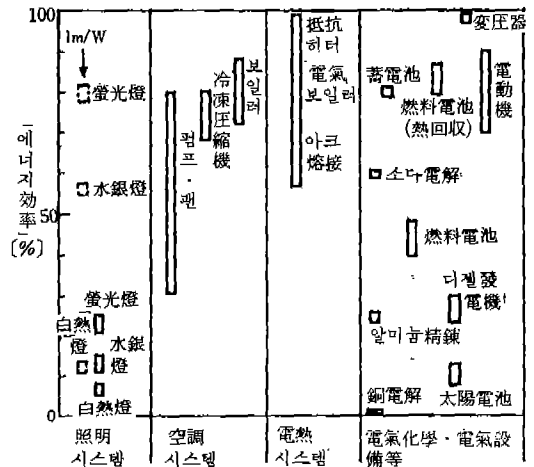
電氣機器의 에너지節約對策은 이 손실을 극력 적게 하는 것이다. 損失의 비율(損失에너지 / 入力 에너지)은 負荷率과 함께 變動한다. 따라서 機器의 設計時에는 定格效率과 部分負荷時 效率의 양쪽에 주목해야 된다.

그림 1은 각종 시스템機器의 定格效率의 개략범위를 든 것이다. 照明시스템에서는 可視光域의 에너지效率과 光束基準의 效率[Im/W]이 표시되어 있다. 電氣機器는 照明을 별도로 하고 效率은 일반적으로 높으며 效率向上은 상당한 노력을 필요로 한다는 것을 전제로 다음의 설명을 하기로 한다.

(1) 變壓器

變壓器의 손실에는 그림 2와 같이 負荷損, 補機損이 있다. 規約效率은 다음 式으로 표시되며 補機損은 포함되지 않는다.

$$\text{規約效率} = \frac{\sqrt{2} V_2 I_2 \cos \theta}{\sqrt{3} V_2 I_2 \cos \theta + W_t + W_c} \times 100(\%)$$



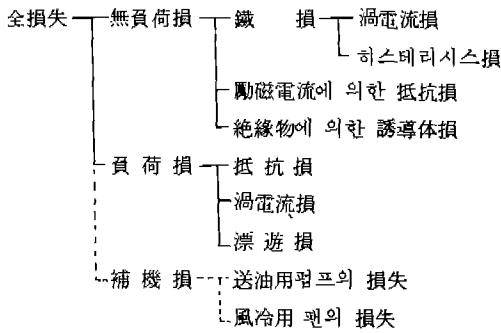
〈그림-1〉 各種시스템機器의 에너지變換效率

단, V_2 : 2次電壓[KV], I_2 : 2次電流[A]
 $\cos \theta$: 2次力率, W_t : 無負荷損[KW],
 W_c : 負荷損[KW]

특별히 指定이 없는 때에는 變壓器의 規約效率은 力率 100%, 全負荷時로 표시한다.

(2) 에너지節約對策

變壓器의 에너지節約對策은 變壓器 자체(補機 포함)의 損失의 경감과 사용하는 側에서의 負荷實態를 고려한 高效率 運轉의 양쪽에서 실시해야 되는



〈그림-2〉 變壓器의 損失

〈표-1〉 變壓器의 損失輕減對策

無負荷損 의 輕減	低損失鋼板의 사용	<ul style="list-style-type: none"> • 方向性 矽素鋼板의 사용 • 아몰파스鐵心(장차) • 최고급方向性 矽素鋼板
	鐵心構造의 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 3相捲鐵心 • 3相絶緣鐵心 • 기타의 接合部 구조의 개량
	鐵心占積率의 向上	
負荷損의 輕減	코일占積率의 向上	<ul style="list-style-type: none"> • 絶緣構造의 개량 • 冷却改善
	捲線의 漂遊損輕減	<ul style="list-style-type: none"> • 코일導體의 改良 • 捲線構造의 개량
	탱크, 구조물의 漂遊損 輕減	<ul style="list-style-type: none"> • 磁氣차레 구조의 개량
補機損의 輕減	冷却器의 低損失化	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지節約形 冷却器 • 高効率冷却扇
	冷却器의 運轉制御	<ul style="list-style-type: none"> • 펌프, 팬의 可變速運轉 • 冷却器의 負荷制御 • 冷却器의 溫度制御
	電力節約形 冷却方式	<ul style="list-style-type: none"> • 프론冷却器 • 蓄熱槽式水冷
기 타	高効率度變壓器	<ul style="list-style-type: none"> • 몰드形 變壓器

데 여기서는 前者에 대하여 설명한다.

표1은 變壓器의 損失輕減對策을 든 것이며 大容量變壓器를 중심으로 표시하고 있다. 配電用 中小容量變壓器에 대해서는 經濟性의 観点에서 오직 ●표의 대책이 채용되고 있다.

無負荷損의 輕減: 無負荷損의 대부분은 鐵損(渦電流損과 히스테리시스損)이다. 따라서 에너지節約對策

으로서 鐵損이 적은 鐵心材料를 사용할 것과 磁路의 磁氣抵抗을 적게 하여 磁束이 용이하게 통과할 수 있도록 하는 것이다.

配電用 變壓器에 대해서는 종래에는 가격이 저렴하고 입수가 용이한 無方向性 矽素鋼板을 채용하고 있었는데 低損失形 變壓器에서는 方向性 矽素鋼板을 채용하게 되었다. 矽素鋼板의 鐵損特性의 일례를 표2에 들었다. 大容量變壓器에서는 方向性 矽素鋼板 중에서도 GH클래스의 高配向性 矽素鋼板이 사용되고 있다.

〈표-2〉 矽素鋼板의 特性比較

材 質	두께 [mm]	鐵損 [W/kg]
無 方 向 性	S-14	0.35
	G-13	0.35
方 向 性	G-12	0.35
	G-11	0.35
高 配 向 性	G-611	0.3

鐵損은 周波數50Hz, 最大磁束密度 1.5T의 鐵損을 표시한다.

〈표-3〉 變壓器의 特性比較

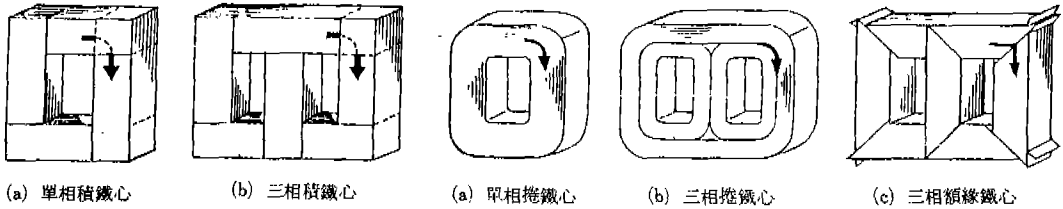
시 방	아몰파스鐵心	方向性矽素鋼(G-6H) 鐵心
	특 성	49
無負荷損 [W]	0.5	5.0
無負荷電流 [%]	980	954
負, 荷 損 [W]	97.14	96.71
効 率 [%]		

矽素鋼板에 대해서는 더욱 低損失을 목표로 메이커에서의 연구, 개발이 추진되고 있으며 레이저照射 矽素鋼板도 그 예이다.

高性能 鐵心材料로서 주목되는 아몰파스합금은 方向性 矽素鋼板의 약 1/3의 鐵損特性이 있으며 이것을 사용한 變壓器의 試作이나 壽命테스트 등이 다수의 연구자나 메이커에 의하여 실시되고 있다. 표3은 矽素鋼 鐵心變壓器와 아몰파스鐵心變壓器의 비교를 든 것이다.

여기서 아몰파스합금에 대하여 설명한다. 아몰파스(amorphous)란 원래 형태가 정해져 있지 않다는 뜻으로 현재는 結晶構造를 갖지 않는 固体를 말한다.

아몰파스합금을 만드는 방법은 여러가지가 있는데 液相에서 急冷하여 만드는 液体急冷法이 일반적



〈그림-3〉 短冊形積鐵心構造의 일례

〈그림-4〉 低損失形鐵心構造의 일례

이다. 합금에는 Fe-Si-B, Fe-Si-B-C 합금 등이 있다. 아몰파스합금에는 高強硬度, 耐蝕性, 低鐵損 등 많은 우수한 특성을 가지고 있으며 그 應用에 대하여 여러 가지로 연구가 되고 있다.

다음에 鐵心構造의 개선에 대하여 설명한다. 無方向性 硅素鋼板 채용의 變壓器는 그림 3 과 같이 短冊形 積鐵心構造가 채용되고 있었다. 그러나 方向性 硅素鋼板을 채용함에 있어서는 磁束의 方向과 硅素鋼板의 壓延方向을 완전히 일치시켜야 되며 그림 4 와 같은 捲鐵心構造나 額緣鐵心構造가 채용되게 되었다. 이것은 原理的으로는 既知의 사실이며 單相捲鐵心은 柱上變壓器에 옛날부터 채용되고 있는데 제조기술과 코스트面에서 문제가 있고 3相用에 채용되게 된것은 최근의 일이다. 大容量變壓器에서는 捲鐵心으로는 안 되며 아무래도 이음새가 생긴다. 에어갭의 발생은 磁氣抵抗의 증대로 연결되며 損失이 증가한다. 가급적 에어갭을 적게 하기 위해 여러 가지의 改良이 加해지고 있다.

負荷損의 輕減: 負荷損은 捲線의 抵抗損이 대부분이다. 捲線의 抵抗은 코일斷面積을 크게 하면 작아지는데 渦電流損이나 導體의 사용량이 증가하므로 전체적인 코스트評價가 필요하다. 기타의 損失로서 코일 내 渦電流損, 循環電流損, 탱크, 구조물의 漂遊損 등이 있다. 이에 대하여 컴퓨터를 사용한 磁界, 漂遊損 解析이 실시되고 있으며 이에 의거하여 구조상의 여러가지가 개선이 되고 있다.

補機損의 輕減: 自冷式에서는 補機는 없는데 風冷式에서는 冷却팬을, 送油式에서는 送油펌프를 사용한다. 이들 補機의 高効率化和 함께 冷却 팬이나 送油펌프의 回轉數를 인버터에 의하여 負荷率 또는 油溫에 따라 변화시켜 補機動力의 節減이 시도되고 있다.

몰드 變壓器: 몰드 變壓器는 에폭시樹脂를 몰드注型한 것으로 高壓捲線이 모두 에폭시樹脂로 완전히 싸여 있다. 특징은 다음과 같다.

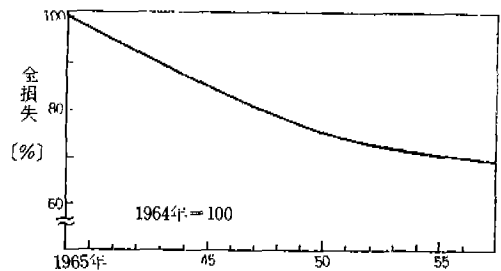
- ① 難燃性
- ② 低電力損失
- ③ 小形, 輕量
- ④ 耐濕性

기타: 發生損失을 有効하게 活用함으로써 效率를 向上시키는 方法이 考안되어 發生損失을 回收하여 난방, 給湯에 이용하는 예가 있다.

(3) 效率向上의 例

표 4 는 配電用 變壓器의 特性比較例이다. 종래의 油入自冷形에 비하여 油入에너지節約形은 效率에서 0.4~0.6포인트, 몰드形은 0.5~0.8포인트의 效率向上되고 있다. 또한 容積比도 大폭적으로 低減되고 있다.

그림 5 는 大容量變壓器의 예이다. 1965年製의 損失을 100으로 하면 1982年製의 그것은 약 70이다.



〈그림-5〉 大容量變壓器 全損失의 低減

(2) 電力用 콘덴서

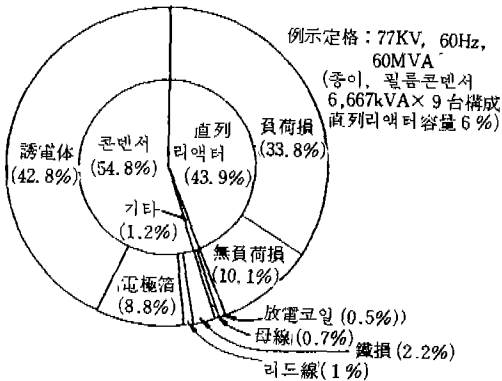
(1) 電力用 콘덴서의 損失

콘덴서設備은 大別하여 直列리액터와 콘덴서로 구성된다. 그 損失構成比는 그림 6 과 같다.

〈丑-4〉 変圧器の 特性比較例

相数	容量 (kVA)	絶縁種類	全損失 (kW)	効率 [%]	勵磁電流 [%]	電圧変動率 [%]	임피던스 [%]	容積 (m³)	重量 (kg)	容積比
3	100	물 드	1.8	98.2	3.5	1.43	4.0	0.315	600	54
		乾式	3.1	96.99	6.2	2.2	4.6	0.707	600	120
		油入	2.67	97.4	6.5	1.5	2.7	0.587	610	100
		에너지節約形	2.04	98.0	5.5	1.8	3.0	0.46	550	76
3	300	물 드	4.3	98.60	2.6	1.1	4.2	0.756	1400	48
		乾式	6.5	97.88	4.4	1.6	5.0	1.12	1270	71
		油入	6.44	97.9	5.5	1.6	3.3	1.58	1450	100
		에너지節約形	5.03	98.35	5.0	1.6	3.5	1.13	1150	72
3	500	물 드	5.7	98.87	2.4	0.8	4.2	1.09	2050	51
		乾式	8.9	98.25	4.0	1.3	5.0	1.55	1930	72
		油入	9.68	98.1	5.0	1.5	3.8	2.15	2150	100
		에너지節約形	7.92	98.44	4.5	1.5	4.0	1.61	1780	—
3	750	물 드	7.7	98.98	2.5	0.7	—	1.49	2880	30
		油入	12.2	98.4	4.0	1.27	—	5.00	3280	100
		에너지節約形	9.88	98.7	4.0	1.4	5.5	2.56	2500	51

(注) 1. 에너지節約은 油入이다.
 2. 効率は 全負荷, 力率100%時의 効率이다.
 3. 3.3, 6.6/0.4, 0.2kV, 50Hz의 경우



〈그림-6〉 電力用콘덴서設備의 損失

(2) 에너지節約對策

直列리액터의 구조는 본질적으로 變壓器와 같으며 그 에너지節約對策도 變壓器와 같다.

方向性 硅素鋼板의 채용이나 絶緣의 합리적인 설계에 의하여 그 손실은 1965年代를 100으로 하면 1980年代는 60 정도로 감소되고 있다.

콘덴서 자체의 손실은 다른 電氣機器에 비하여 매우 작고 1W/KVA 이하이다(가형 變壓器의 경우 10W/KVA~30W/KVA)

콘덴서의 損失은 다음과 같이 大別할 수가 있다.

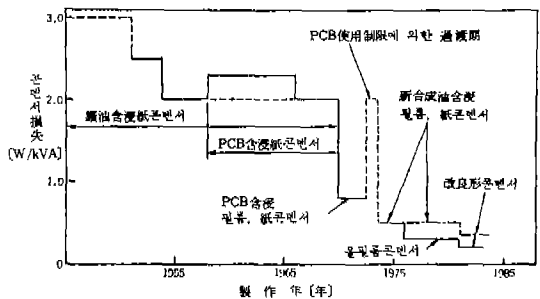
- ① 誘電체 損失
- ② 放電抵抗의 손실
- ③ 電極箱內의 抵抗損
- ④ 接續部分의 抵抗損

이 중에서 誘電체 損失이 가장 크고 올필름콘덴서로 전체의 70~80%를 占한다. 따라서 電力用 콘덴서의 에너지節約 對策은 오직 誘電체 損失의 抵減을 중심으로 추진되었다. 誘電체로서는 종래에는 油浸紙가 사용되었고 材料面에서 損失輕減의 노력을 해왔다. 결과적으로 콘덴서 損失은 3W/KVA에서 2W/KVA로 경감되었으나 限界에 도달하여 그 후 誘電체의 개발은 플라스틱필름을 중심으로 추진되었다.

그 결과 폴리프로필렌 필름이 가장 적합하다고 하여 현재는 電力用 콘덴서의 대부분이 이 필름을 사용하고 있다. 誘電체 損失은 誘電체와 絶緣油의 채용으로 손실은 대폭적으로 低減되고 있다.

(3) 效率向上의 例

그림 7은 콘덴서의 誘電체와 損失의 推移를 든 것이다. *



〈그림-7〉 콘덴서의 誘電체와 損失의 推移