

에너지節約機器와 磁氣特性

電力을 유효하게 이용하기 위해서는發電된 電力은 제철, 1개월, 1일을 통하여 평균적으로 이용하여 使用電力에 피크가 없어야 한다. 그러나 人間の 노동시간에는 제약이 있으므로 製造메이커는 大別하면 24시간 가동과 약 9시간 가동이 있으며 후자 때문에 야간에 잉여전력이 발생한다. 또한 생산 설비 등의 機器에서의 運轉時的 使用電力은 일반적으로 일정하지 않고 어떤 負荷率의 범위에서 사용되고 있다. 따라서 이들을 감안하여 機器를 低損失로 운전하는 것이 요구된다. 일반적으로 高效率의 機器로 하기 위해서는 그 機器는 高價로 되는데 반면에 低損失 때문에 使用電力料는 저감되므로 使用電力料를 포함한 코스트퍼포먼스가 機器의 평가 기준으로 되어 있다.

다른 한편 機器의 損失 중의 抵抗損은 電流의 2乘에 비례하며 交流機器의 入力力率은 100%가 아니기 때문에 低壓側에서 力率改善을 하여 電流를 감소시켜 抵抗損을 감소시키고 또한 이에 의하여 機器를 거의 定格電壓으로 운전하여 高效率運轉을 하는 방법이 채용되고 있다.

여기서는 이상의 視點에서 에너지節約機器의 特性과의 관계 및 機器의 에너지節約運轉을 하는데 필요한 사항에 대하여 설명하기로 한다.

1. 效率과 損失

電力機器의 손실에는 無負荷損(固定損), 負荷損 및 補機損 등이 있으며 規約效率의 계산에는 補機損은 제외되며 다음식이 사용된다. 즉

$$\text{效率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \times 100[\%] = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \times 100[\%]$$

(變壓器, 發電機 등) (1)

$$= \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100[\%]$$

(回轉機 등) (2)

(1), (2)式 모두가 電氣量으로 測定할 수 있도록 배려되고 있다.

여기서 定格出力을 $P_n[\text{VA}]$, 負荷力率을 $\cos\psi$, 無負荷損을 $P_i[\text{W}]$, 定格負荷時的 負荷損을 $P_{cn}[\text{W}]$, 損失比를 $r_i (= P_{cn}/P_i)$ 라하면

(1)式에서의 定格負荷時的 效率 η_n 은

$$\begin{aligned} \eta_n &= \frac{P_n \cos\psi}{P_n \cos\psi + P_i + P_{cn}} \times 100 \\ &= \frac{1}{1 + \frac{P_i}{P_n \cos\psi} (1 + r_i)} \times 100[\%] \end{aligned} \quad (3)$$

最大力率 η_m 은 負荷率 $r_m = 1/\sqrt{r_i}$ 인 때이므로

$$\begin{aligned} \eta_m &= \frac{P_n/\sqrt{r_i} \cos\psi}{P_n/\sqrt{r_i} \cos\psi + 2P_i} \times 100 \\ &= \frac{1}{1 + \frac{2P_i}{P_n \cos\psi} \sqrt{r_i}} \times 100[\%] \end{aligned}$$

定格負荷時的 效率과 같은 效率이 되는 負荷率을 r_n 라 하면

$$\eta_n = \frac{r_n P_n \cos\psi}{r_n P_n \cos\psi + P_i + r_n^2 P_{cn}} \times 100 \quad (5)$$

(3), (5)式에서

$$r_i r_n^2 - (1 + r_i) r_n + 1 = 0 \quad (6)$$

(6)式을 풀면

$$r_n = 1/r_i \quad (7)$$

따라서 r_n 에서 全負荷까지의 負荷範圍가 高效率運轉範圍로 되며 負荷範圍가 넓은 機器일수록 r_i 을 크게 해야 된다.

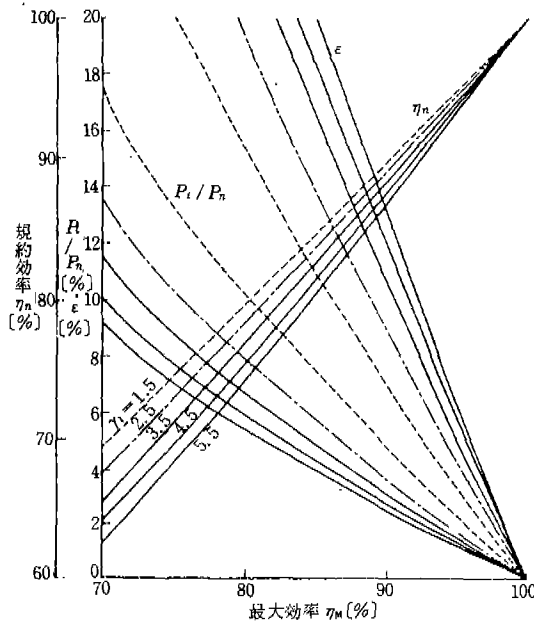
変圧器, 發電機 등에서는 에너지節約對策으로서 負荷力率は 개선되고 $\cos \psi = 1$ 로 보면 되므로 (4) 式에서 所要의 η_M 로 하는 無負荷損은

$$\frac{P_i}{P_n} = \frac{1}{2\sqrt{r_i}} \cdot \left(\frac{100}{\eta_M} - 1 \right) \quad (8)$$

즉 η_M 및 r_i 를 크게 하려면 定格出力當의 無負荷損을 작게 해야 된다는 것을 알 수 있다. 이 경우 (3), (8)式에서

$$\eta_n = \frac{100}{\frac{1+r_i}{2\sqrt{r_i}} \cdot \frac{100}{\eta_M} - \left(\frac{1+r_i}{2\sqrt{r_i}} \right)} \quad (\%) \quad (9)$$

가 되므로 所冀의 η_M 에 대하여 η_n 와 r_i 와의 중복이 발생하여 필요 이상으로 r_i 을 크게 하는 것도 문제가 있다. 이 관계를 그림 1 및 그림 2에 들었다.



(그림-1) 損失比와 効率

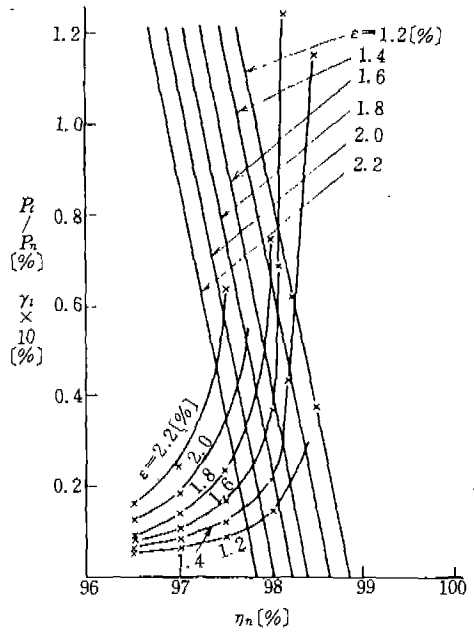
2. 變壓器

(1) 運轉時間과 r_i , η_M

變壓器의 電壓變動率 ϵ 는 $\cos \psi = 1$ 인 때 $\epsilon / 100 = rI_n / V_n = rI_n^3 / V_n I_n$

$$= \frac{P_{cn}}{P_n} = r_i \frac{P_i}{P_n} \quad (10)$$

$$\frac{\epsilon}{100} = \frac{\sqrt{r_i}}{2} \left(\frac{100}{\eta_M} - 1 \right) \quad (11)$$



(그림-2) 負荷率과 効率

즉 오는 r_i 과 P_i/P_n 의 積에 비례하며 η_M 가 클수록 ϵ (銅損)를 작게 해야 된다(그림 1, 그림 2에 병기)

여기서 r_i 에 대하여 다음에 검토하기로 한다. 配電用 이상의 용량의 변압기에서는 負荷에 관계없이 1次側은 通電되어 있기 때문에 全日効率 η_a 가 높아야 된다. 1日 중 T時間間 全負荷로 운전할 때

$$\begin{aligned} \eta_a &= \frac{TP_n}{TP_n + 24P_i + TP_{cn}} \times 100 \\ &= \frac{P_n}{P_n + \frac{24}{T}P_i + P_{cn}} \times 100 \end{aligned} \quad (12)$$

最大全日効率 η_{am} 은

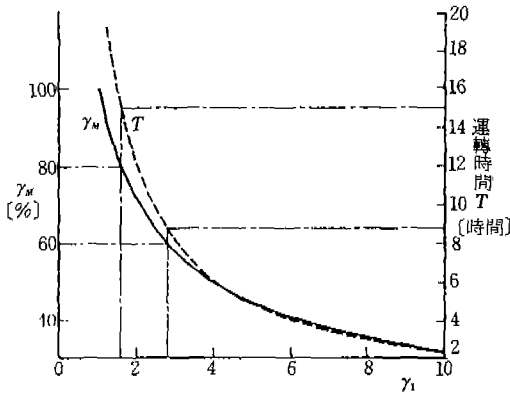
$$r_i = \frac{P_{cn}}{P_n} = \frac{24}{T} = \frac{1}{r_M^2} \quad (13)$$

인 때 구할 수 있으며 (12), (13)式에서

$$\eta_{am} = \frac{1}{1 + \frac{48}{T} \cdot \frac{P_i}{P_n}} \times 100 \quad (\%) \quad (14)$$

가 된다. (13) 式의 관계를 그림 3에 들었다.

그림 3과 같이 가령 하루 가동시간이 평균 9시간의 配電用 變壓器에서는 損失比가 약 2.8, 最大効率이 되는 負荷率이 60%가 되며 平均 15시간의 電力用 變壓器에서는 損失比가 약 1.6, 최고효율이



〈그림-3〉 損失比와 負荷率

되는 負荷率이 80%가 된다.

이같은 경우 최고효율을 각각 98% 및 99%로 하려면 (8) 式에서 定格出力當의 無負荷損을 각각 0.61 및 0.4% 이하로 해야 된다는 것을 알 수 있다.

〔注〕 高効率 運轉範圍의 일례

定格時의 効率 η_n 과 같은 效率의 負荷率을 $r_n = 1/r_i$ 이라 할 때 負荷率 r_n 및 1.0의 범위를 高効率 運轉範圍로 보고 同一負荷損 ($P_{cn}/P_n = 0.00$)에서 負荷率 r_i 과 效率과의 관계를 구하면 다음과 같다.

(a) $r_i = 4$, $\eta_m = 99(\%)$ 의 경우

$$\begin{aligned} \frac{P_i}{P_n} &= \frac{1}{2\sqrt{r_i}} \left(\frac{100}{\eta_m} - 1 \right) \\ &= \frac{1}{2\sqrt{4}} \left(\frac{100}{99} - 1 \right) \approx 0.0025 \\ \frac{P_{cn}}{P_n} &= \frac{\sqrt{r_i}}{2} \left(\frac{100}{\eta_m} - 1 \right) \\ &= \frac{\sqrt{4}}{2} \left(\frac{100}{99} - 1 \right) \approx 0.01 \end{aligned}$$

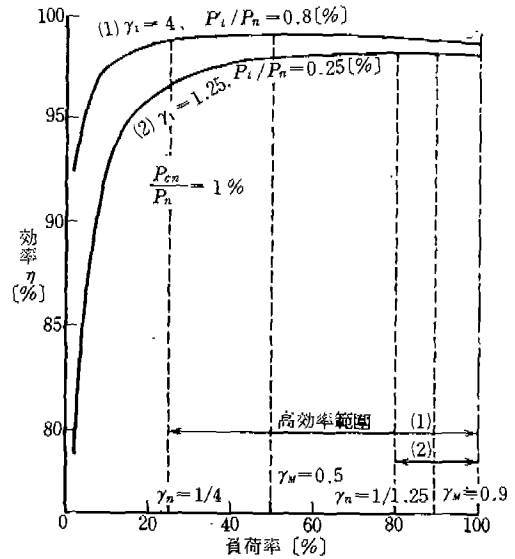
이 되며 負荷特性曲線은 그림 4 (1)과 같이 된다.

(b) $r_i' = 1.25$ 의 경우

$$\begin{aligned} \frac{P_i'}{P_n} &= \frac{P_{cn}}{P_n} \cdot \frac{1}{r_i} = \frac{0.01}{1.25} = 0.0081 \\ \eta_m' &= \frac{1}{1 + 2 \frac{P_i'}{P_n} \sqrt{r_i}} \times 100 \\ &= \frac{100}{1 + 2 \times 0.0081 \times \sqrt{1.25}} = 98.2(\%) \end{aligned}$$

가 되며 負荷特性曲線은 그림 4 (2)와 같이 된다.

(c) b는 종래의 機器의 效率이며 低鐵損의 鐵心을 사용하여 에너지節約機器로 하면 同一한 負荷損의 경우에도 曲線의 (1)과 같이 高效率의 機器가 되

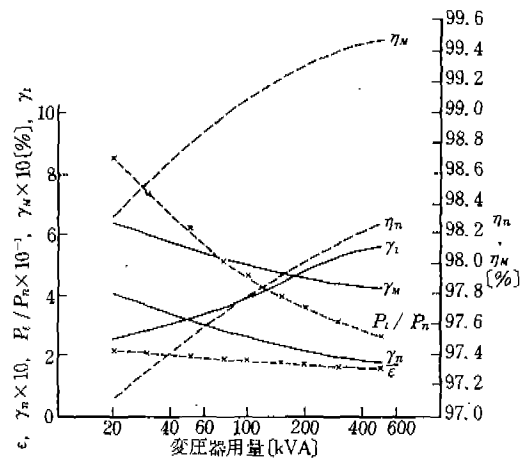


〈그림-4〉 同一鐵損에서의 損失比와 效率, 高効率範圍

며 또한 高効率範圍도 비약적으로 확대된다. 이 경우 $P_i/P_i' \approx 1/3.25$ 이며 電磁銅板의 改善 목표치가 파악된다. 아몰파스磁心材料는 $P_i/P_i' = 1/4$ 로 되어 있으며 개발이 촉구되고 있다.

(2) 數直例

配電用 3相變壓器의 현상으로서 規格值를 위 式에 따라 계산하면 그림 5와 같이 된다. 電氣鐵板의 低損失化, 生産技術의 향상에 의한 BF의 低減, 冷却方式의 改善에 의한 小形, 輕量 등에 의하여 이



〈그림-5〉 變壓器容量과 諸特性

들의 값은 더욱 개선이 기대되는데 에너지節約을 고려할 때 高効率化에 관계되는 諸因子를 어떤 관계로 하는 것이 좋은지 設計上의 制限계를 포함하여 앞으로의 연구에 기대하는 바가 크다.

(3) 實効值 볼트암페어

勵磁電流에 의거한 高調波 및 勵磁突入電流의 低減 등에 관해서는 鐵心の 磁化特性이 고려된다. 정상운전시의 여자전류를 파악하기 위해 實効值 볼트암페어가 사용된다. 單相內 鐵型變壓器를 예로 하여 磁路의 단면적을 A, 平均磁路의 길이를 l, 占積率을 K_i , 1次捲線의 捲數를 N, 最大動作 磁束密度를 B_m , B_m 에서의 磁界의 강도를 H_a (實効值), 電氣鐵板의 밀도를 D라 하고 1次電壓을 V_1 , V_1 에서의 勵磁電流를 I_0 라 하면 V_1 이 正弦波인 때

$$V_1 = \sqrt{2} \pi f N K_i A B_m \quad (15)$$

$$I_0 = H_e l / N \quad (16)$$

(15), (16) 式에서

$$V_1 I_0 = \sqrt{2} \pi f A l K_i B_m H_e \quad (17)$$

따라서 單位質量當의 皮相電力은

$$\begin{aligned} \text{實効值 볼트암페어} &= \frac{V_1 I_0}{K_i A l D} \\ &= \frac{\sqrt{2} \pi f}{D} B_m H_e \quad (18) \end{aligned}$$

즉 實効值 볼트암페어는 $B_m - H_e$ 特性에 대응되며 勵磁電流는

$$I_0 = (\text{實効值 볼트암페어}) \times \frac{\text{鐵心の質量}}{\text{定格電壓}} [A] \quad (19)$$

(19) 式을 사용하여 직접 계산된다. 따라서 定格電流 I_n 에 대한 I_0 의 百分率을 α [%]라 하면

$$\frac{\alpha}{100} \geq \frac{I_0}{I_n} \frac{\text{鐵心の質量}}{\text{定格容量}} \times (\text{實効值 볼트암페어})$$

따라서

實効值 볼트암페어

$$\leq \frac{\text{定格容量}}{\text{鐵心の質量}} \times \frac{\alpha}{100} [VA/Kg] \quad (20)$$

위 式을 충족시킬 材質이 요구된다.

(18), (19) 式과 같이 勵磁電流 I_0 는 平坦度가 좋은 電氣鐵板을 사용하여 K_i 을 향상시켜 B_m 에서의 H_e 가 작은 材質로써 低減시킬 수가 있다.

3. 回轉機

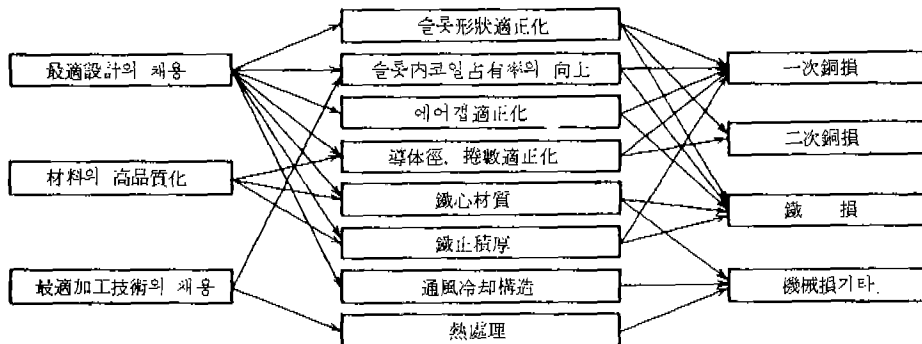
(1) 回轉機의 效率

回轉機에서는 負荷의 변화에 관계가 없는 것으로 간주되는 損失을 固定損 (不變損, 無負荷損) 이라고 하며 負荷와 함께 변화하는 損失을 負荷損이라고 한다. 固定損에는 無負荷鐵損, 軸발이마찰손, 브러시마찰손, 風損 등의 機械損 및 勵磁捲線의 抵抗損 등이 포함되며 負荷의 증가에 따라 다소 증가되는 경향에 있으며 前述한 無負荷損 P_2 이 이에 상당한다.

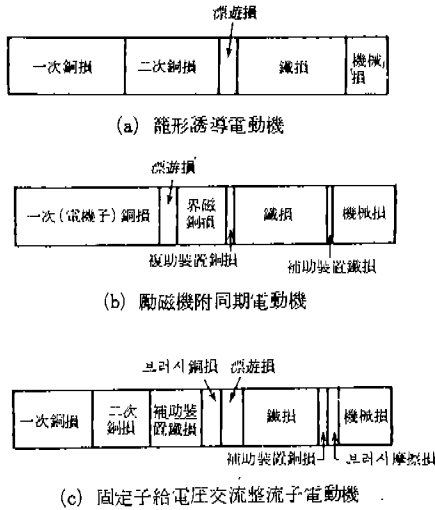
負荷損에는 電機子捲線 및 이와 직렬로 접속되어 있는 界磁捲線 및 補償捲線의 抵抗損, 負荷에 의하여 증감되는 鐵損, 回轉電機子形의 브러시電氣損 등이 있으며 負荷電流의 약 2乘에 비례하며 1의 P_{cm} 이 그대로 적용된다. 이들 손실의 비율의 일례를 그림 6에 들었고 損失의 低減對策을 그림 7에 들었다. 그림을 참조하여 1과의 대응을 생각할 수가 있다.

(2) 勵磁起磁力

回轉機의 토크는 갭의 磁束과 電機子電流와의 積에 비례하며 이 磁束을 발생시키는데 1極分에 필요한 起磁力 AT_r 는 다음과 같이 구할 수 있다. 界磁를 구성하는 磁路는 각 부를 나타내는 添字를 ()



<그림 - 7> 損失低減對策



〈그림 - 6〉 電動機의 損失의 比率

로 명기하면 磁極鐵心(l), 갭(g), 電機子齒(t), 電機子鐵心(a), 繼鐵(y)로 구성되어 있으며 갭에 필요한 1m 당의 起磁力 at_g 는

$$at_g = H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = \frac{B_g}{4\pi \times 10^{-7}} = 8 \times 10^3 B_g [A/m] \quad (21)$$

이므로 커터係數를 K_c 라 하고 갭의 길이를 δ 라 하면

$$AT_g = K_c \delta at_g [A] \quad (22)$$

回轉子鐵心の 冷却用 덕트도 커터係數에 관계되므로 鐵損을 작게 하여 덕트數를 감소시키도록 한다. 각 부의 磁束密度, 이 자속밀도와 材質에서 결정되는 磁界의 강도 at , 磁路의 길이 l 에서

$$AT_r = K_c \delta at_g + at_l l_c + at_a l_a + at_r l_r + at_y l_y \quad (23)$$

따라서 所要의 磁束을 발생하는데 필요한 AT_g 에 대하여 勵磁起磁力으로서 AT_r 를 加하게 되며 에너지節約의 見地에서는 AT_r/AT_g 의 일례를 표 1에 들었다. 1極當의 界磁捲線의 捲數를 N_f , 捲線係數를 K_w 라 하면 勵磁電流 I_f 는 突極機의 경우

$$I_f = AT_r / N_f [A] \quad (24)$$

円筒形 磁極에 分布되어 감긴 勵磁捲線에 3相勵磁電流를 通할 경우

$$I_f = 1.16 \times AT_r / 2 K_w N_f [A] \quad (25)$$

따라서 勵磁電流는 갭의 길이 및 각부의 磁性材料의 動作磁束密度에서의 磁界의 強度 at 가 작을수록 작아진다.

(3) 力率의 改善

回轉機는 갭이 存在하기 때문에 交流電動機의 入力力率이 나쁘다. 따라서 前述한 바와 같이 無効電力은 콘덴서를 電動機와 병렬로 삽입하여 力率改善을 한다.

電動機의 出力을 $P_n [KW]$, 効率을 η , 入力力率을 $\cos \phi$ 라 하면 入力 $P_1 [KW]$ 의 皮相電力 P_{1kVA} 는

$$P_{1kVA} = P_n / \eta \cos \phi = \sqrt{3} V_1 I_1 \quad (26)$$

入力の 無効電力 P_{1kvar} 는

$$P_{1kvar} = P_{1kVA} \sin \phi = P_n \tan \phi / \eta = \sqrt{3} V_1 I_1 \sin \phi \quad (27)$$

따라서 力率改善을 하여 電動機와 콘덴서를 포함한 入力電流 I_1' 에서의 入力力率을 $\cos \phi'$ 라 하면 無効電力 $P_{1'kvar}$ 는

$$P_{1'kvar} = P_n \tan \phi' / \eta = \sqrt{3} V_1 I_1' \sin \phi' \quad (28)$$

入力力率을 $\cos \phi$ 에서 $\cos \phi'$ 로 개선하는데 필요한 콘덴서容量 P_c 는

〈표 - 1〉 AT_r / AT_g 의 일례

機 種	定 格	AT_g	AT_r	AT_r/AT_g	備 考
直 流 發 電 機	500kW, 600V 833A, 720rpm 平複捲	5,528	8,073	1.46	全負荷時 $\eta = 92.63 [\%]$
水 車 發 電 機	7,500kVA 6,600V, 三相 60Hz, 360rpm	8,900	10,035	1.13	無負荷時 $\eta_{pf=1.0} = 97.55 [\%]$ $\eta_{pf=0.8} = 96.65 [\%]$
誘 導 電 動 機	110kW 3,000V, 三相 50Hz, 750rpm	543	688	1.27	$\eta = 90.8 [\%]$ $\cos \phi = 90.5 [\%]$

(104페이지로 계속)

회가 있을 때마다 安全을 확보한 作業, 위험에 대한 인식을 환기시켜 결코 安全을 가볍게 생각하는 作業方法을 택하지 않도록 自他가 항상 경계해야 된다.

다음에 活線作業에 대하여 그 의미를 作業者는 충분히 이해해야 된다. 가령 低壓의 作業이라도 條件만 갖추어진다면 간단하게 감전이 된다. 원래는 停電作業을 해야 되는 것이 사정이 허락하지 않으면 活線作業을 하게 되는데 이 때에는 충분한 保護具 및 防護具를 장착해야 된다.

끝으로 設備面에 대해서인데 前述한 바와 같이 사업장의 蒸着裝置의 케이블配置를 정비할 것, 또한 充電 노출부분을 극력 적게 하기 위해 절연 커버를 부착할 것 등을 들 수 있는데 일반적으로 末端·負荷設備는 配線의 케이블이나 電線이 혼잡한 것이 실정이다. 장치의 점검, 정비작업을 안전하고 원활하게 할 수 있는 연구도 필요할 것이며 또한 이로써 感電災害뿐만 아니라 電氣火災의 미연방지도도 연결이 될 것이다.

5. 맺는 말

보안교육의 내용의 하나로 「安全管理은 자기의 관리가 필요하다」는 말을 많이 듣게 된다. 이 自己管理라는 것은 다음과 같은 것이라고 이해하면 될 것으로 본다.

- ① 기술의 향상과 지식의 습득
- ② 실무의 축적으로 위험에 대한 豫知와 신속한 대응
- ③ 직장내에서의 용화와 협조
- ④ 가정내 및 직장 내에서의 불화 등으로 작업에 支障을 미치는 일이 없도록 하기 위한 자기의 精神의 管理

電氣設備는 모든 곳에 여러가지의 危險要素가 잠재해 있다고 할 수 있으므로 여기서 자기자신을 지키기 위해 항상 安全에 대한 자기의 관리에 노력해야 될 것이다. *

(95페이지에서 계속)

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_{1\text{avar}} - P_1' \text{avar} \\
 &= P_n (\tan \psi - \tan \psi') / \eta \\
 &= \frac{P_n}{\eta} \left\{ \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \psi} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \psi'} - 1} \right\} \quad (29)
 \end{aligned}$$

1次電流 I_1 은 勵磁電流 I_f 와 1次負荷電流 와의 벡터합이므로 작은 용량의 P_c 로 하기 위해서도 I_f 를 작게하는 磁化特性의 磁性材料를 사용할 것이 요구된다.

이상 대표적인 機器로서 變壓器와 回轉機에 대하여 에너지節約의 視點에서 機器特性和 磁氣特性和의 관계를 명확히 하고 운전조건에서 高效率로 하고 또한 入力力率을 개선할 경우의 구체적인 數值를 계산할 수 있도록 했다.

즉

(1) 高效率의 사용범위를 넓게 하기 위해 損失比는 4 정도 이상이 좋고 (8)식에 의하여 所要의 最

大效率의 無負荷損(固定損), 따라서 負荷損도 결정된다.

(2) 勵磁電流와 定格電流와의 비를 어떤 값 이하로 함으로써 (20)식에 의하여 實効值 볼트암페어가 결정된다.

(3) 따라서 (1), (2)를 충족시키는 鐵心の 材質, 形狀 등이 결정된다.

(4) 回轉機의 1極分에 필요한 起磁力은 (21), (23)式으로 구할 수가 있고 이 起磁力을 극력 작게 하기 위해 轂의 길이를 최소로 억제하여 回轉子의 鐵損을 작게하고 커터係數를 작은 값으로 하여 各磁路의 길이 및 磁界의 강도를 어떤 값 이하로 하는 鐵心이 사용된다. 일정한 界磁束인 때에는 磁極에 永久磁石이 사용된다.

(5) 電動機의 入力力率을 개선하기 위한 콘덴서는 (28)식에 의하여 구할 수가 있으며 작은 콘덴서容量으로 하기 위해서도 轂의 길이를 작게해야 된다. *