

# 運轉改善으로 達成할 수 있는 에너지 節減

16

### 3·2·2 力率改善用 콘덴서

變壓器의 정격용량을  $P_0$  [kVA]라 하고 二次側端子에 접속된 부하 [kVA]의 정격용량에 대한 비율 즉 부하율을  $x$ , 그 力率을  $\cos \theta$ 라 하면 부하의 유효분  $P$  [kW]는  $P = xP_0 \cos \theta$ 의 관계가 있다. 무부하손을  $W_F$ , 정격시의 부하손을  $W_A$ 라 하면 효율은 다음과 같이 표시된다.

$$\eta = \frac{xP_0 \cos \theta}{xP_0 \cos \theta + W_F + xW_A} \times 100 [\%]$$

위 식의 분자를 분모에 비하면 부하율이 100%일 때 최고이다. 에너지 使用 合理化를 위하여 變壓器의 효율을 높일 수 있는 한 높여서 운전하려고 하면 力率을 100% 가까이 하는 것이 중요한 요소이다. 그 때문에 負荷力率이 낮을 때는 變壓器의 三次捲線이나 母線, 線路에 進相 콘덴서를 설치하여 力率을 개선하고 효율을 높이고 있다.

다른 방법으로 표현하면 負荷의 力率을 개선하고, 無效電力을 줄여 負荷電流을 줄임으로써 負荷電流의 2乘이 거의 비례하는 銅損을 줄일 수 있다는 것이다.

또 力率을 개선하여 無效電力을 줄인다는 것은 그만큼 負荷를 늘일 수 있다는 것이다. 그림 3·17에 力率改善에 의하여 증가할 수 있는 負荷容量을 표시한 것이나 負荷의 증가를 進相 콘덴서의 설치로 가능케 함으로써 變壓器의 증설을 하지 않고도 負荷를 늘일 수 있기 때문에 設備費의 저감과도 연관된다.

負荷의 力率改善에 필요한 콘덴서 용량은 運力率  $\cos \theta_0$ 의 부하를 力率  $\cos \theta$ 로 개선하였을 때 콘덴서의 손실을 무시하면 다음 식으로 결정된다 (그림 3·18).

$$\begin{aligned} Q_c &= EI_c \\ &= EI' (\tan \theta_0 - \tan \theta) \\ &= P (\tan \theta_0 - \tan \theta) \end{aligned}$$

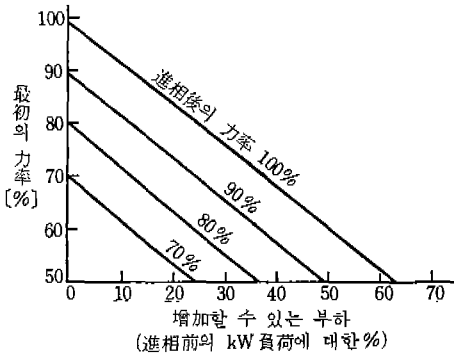
$Q_c$  : 力率改善에 필요한 콘덴서 容量 [kVA]

$E$  : 母線電壓

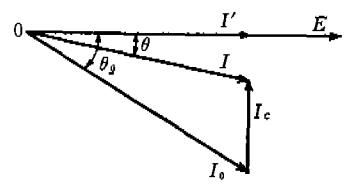
$I_c$  : 콘덴서 電流 [A]

$P$  : 負荷容量 [kVA]

비용절감은 다음과 같이 된다. 수용가의 요금을  $A \times kVA + B \times kWh$  [원]이라 한다. 負荷의 용량의 감소에 따른 비용절감은  $PA(1/\cos \theta_0 -$



〈그림 3·17〉 進相에 의하여 증가할 수 있는 부하용량



E : 母線電壓  
 I<sub>0</sub> : 力率改善前의 線路電流  
 I : 力率改善後의 線路電流  
 I<sub>c</sub> : 콘덴서 電流

〈그림 3·18〉 콘덴서에 의한 力率改善

1/cos θ)가 된다. 力率改善을 위해 필요한 콘덴서 용량은 P(tan θ<sub>0</sub> - tan θ)이기 때문에 순비용 절감 S [원]은

$$S = \left\{ PA \frac{1}{\cos \theta_0} - \frac{1}{\cos \theta} \right\} - CP(\tan \theta_0 - \tan \theta) \quad \text{[원]}$$

이 된다. 그 최대치는 (ds/dθ) = 0, 즉 sin θ = C/A에 의하여 구해진다.

또 그 손실의 저감은 이렇게 된다. 콘덴서의 설치에 의하여 力率이 cos θ<sub>0</sub>에서 cos θ로 개선 되면 그림 3·18에서 명백하듯이 線路電流가 I<sub>0</sub>에서 I로 변화한다. 線路의 抵抗分을 R이라 하면 전력손실은 I<sub>0</sub><sup>2</sup>R에서 I<sup>2</sup>R이 되어 이 차이만큼 電力損失이 감소한다. 따라서 손실경감율 α는

$$\alpha = \frac{I_0^2 R - I^2 R}{I_0^2 R} = 1 - \frac{I^2 R}{I_0^2 R} = 1 - \left( \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta} \right)^2$$

이 된다. 실제의 力率調整에서는 負荷群(변동하는) 것으로 進相 콘덴서를 數群으로 분할하여 負荷變動에 따라 자동적으로 순차개폐하는 自動制御方式이 실시되고 있다.

自動制御의 方式으로서는

- (1) 無效電力에 의한 方式
- (2) 電壓에 의한 方式
- (3) 時間(타임스위치)에 의한 方式 등이 있다.

이와 같이 進相 콘덴서의 群分割의 구체적인 예를 표시한다.

最大使用電力 (P <sub>max</sub> )	6,000kW
最大使用時力率 (cos θ)	85%
輕負荷時電力 (P <sub>min</sub> )	800kW
輕負荷時力率 (cos θ <sub>0</sub> )	80%
平均電力 (P <sub>ave</sub> )	5,000kW
目標力率 (cos θ <sub>0</sub> )	98%

上記의 조건으로 分割群數, 콘덴서 容量을 구한다.

필요한 콘덴서의 總容量을 Q<sub>c</sub> [kVA]라 하면

$$P_{max} \sqrt{\frac{1}{\cos \theta_1} - \frac{1}{\cos \theta_3}} \leq Q_c \leq P_{max} \sqrt{\frac{1}{\cos \theta^2 \theta_1} - 1}$$

에서

$$6,000 \sqrt{\frac{1}{0.85^2} - \frac{1}{0.98^2}} \leq Q_c \leq 6,000 \sqrt{\frac{1}{0.85^2} - 1}$$

$$3,513 \text{ [kVA]} \leq Q_c \leq 3,718 \text{ [kVA]}$$

가 된다. 이 콘덴서 중에서 고정적으로 삽입하는 콘덴서의 용량 Q<sub>s</sub> [kVA]는 輕負荷 電力에서

$$Q_s \leq P_{min} \sqrt{\frac{1}{\cos \theta^2} - 1} = 800 \sqrt{\frac{1}{0.8^2} - 1} = 600 \text{ [kVA]}$$

調整用 콘덴서의 一群의 용량 Q<sub>0</sub> [kVA]는

$$\frac{P_{ave}}{\sqrt{P_{ave}^2 + Q_0^2}} = \cos \theta_3 = \frac{5000}{\sqrt{5000^2 + Q_0^2}} = 0.98$$

에서

$$Q_0 = 1,000 \text{ [kVA]}$$

가 된다. 따라서

콘덴서 총용량 3,600kVA

固定分 콘덴서 容量 600kVA

調整分 콘덴서 容量 1,000kVA × 3 群

으로 하면 目標力率在 확보된다.

이상 變壓器의 효율을 올리고 銅損을 저감하기 위해 負荷力率 개선에 의한 효과 및 그 수단으로서 進相 콘덴서를 설치하는 것을 기술하였다. 進相 콘덴서의 설치장소는 負荷에 이르는 全線路의 電流가 저감되어 손실이 저감되고 또 開閉器를 끊어 개개의 器機를 정지하였을 때 콘덴서도 동시에 끊어져 전체 力率을 일정하게 유지된다는 이유에 의하여 개개의 機器에 근접하게 하는 것이 바람직하다. 設備 코스트 등의 문제 때문에 수전장소 등에 집중설치할 때는 負荷變動에 따라 進相 콘덴서를 開閉할 수 있게 設備하여야 한다.

또 電力會社에서는 수용가의 負荷力率에 대하여 基本料金の 力率割引制度를 실시하고 있다. 이는 負荷力率의 向上으로 電力會社의 發電 및 配電設備中的 손실이 저감되기 때문에 電力會社가 각 수용가에 力率改善을 권장하고 있는 제도로 進相 콘덴서를 설치하여 力率을 개선하면 電力料금이 절감된다.

### 3·2·3 鐵心材料改善에 의한 에너지使用 合理化

變壓器의 손실은 負荷損과 無負荷損의 합이고 負荷損은 電流나 捲線이나 리드線에 흘러 발생하는 손실로 크기는 대략 負荷電流의 2 乘에 비례한다. 無負荷損은 鐵心中의 磁束變化에 의하여 생기는 손실로 철손이라 부르고 負荷가 안걸려도 電壓이 印加되기만 하면 생긴다.

鐵損을 저감하려면 變壓器를 몇 대나 並列運轉하여 負荷가 가벼울 때 운전대수를 制御하여 운전대수를 줄이는 것도 하나의 방법이나 鐵心材料를 개량하여 低損失의 우수한 재료를 사용

함으로써 큰 효과를 올릴 수 있다.

현재 變壓器의 鐵心材料에는 方向性 珪素鋼板이 쓰여지고 있다. 이 方向性珪素鋼板은 鐵損을 줄이기 위하여 結晶의 方位를 어느 특정한 방향으로 정리한 鋼板이다.

鐵에 실리콘(Si)을 첨가하면 透磁率이 증가하여 鐵損이 감소한다. 그러나 添加量이 늘어나면 재료가 단단하고 약해져 壓延이 곤란하고 또 二次再結晶도 곤란해지기 때문에 통상 약 3% 정도 첨가된다. 高透磁率材料를 쓰면 히스테리시스損이 적어지고 板두께가 얇은 재료를 쓰면 渦電流損을 적게 할 수 있다.

이와 같이 최근에는 매우 鐵損이 적은 鋼板이 變壓器의 磁氣材料로 쓰여지고 있어 에너지使用合理化形變壓器로서 電力損失 완화에 크게 공헌하고 있다. 그러나 石油, 電力事業에 의하여 에너지使用合理化가 장려되어 보다 한층 損失低減이 필요하게 된 현재 材料의 개선이나 設計의 개량 등이 많이 진행되고 있다. 그속에서 최근 갑자기 주목을 끌게 된 것은 아몰퍼스이다.

아몰퍼스 強磁性合金은 일반적으로는  $H_c$ (保持力)가 적고  $\mu$ (透磁率)가 매우 크다. 우수한 軟磁性材料이다. 그 결과 動的磁化過程에서의 히스테리시스損이 통상의 變壓器用鐵心の 方向性珪素鋼板에 비하여 매우 적어지고 또 非晶質狀態이기 때문에 장거리질서가 없고 電氣抵抗은 통상의 強磁性金屬에 비하여 약 10배 정도 크기 때문에 薄帶(리본)로서 (두께  $\approx 50\mu\text{m}$ ) 쓰였을 때 渦電流損도 매우 적어진다.

方向性珪素鋼板에 대신하는 變壓器鐵心材料로서 주목되고 있는 아몰퍼스合金이나 실제로 變壓器의 鐵心으로서 사용할 때는 아래와 같은 改良點·欠點이 있다.

- (1) 室溫에서의 磁束密度가 적다.
- (2) 리본의 形狀(幅을 넓히고 두껍게 할 수 없다)
- (3) 熱에 不安定하다.

그러나 위의 사항도 오늘날 수많이 研究·改良되고 있어 아몰퍼스가 變壓器의 鐵心材料로서

사용될 날도 가까워지리라 생각된다.

### 3.3 負荷 밸런스(에너지 밸런스) 개선에 의한 에너지 節減

負荷 밸런스에 의한 에너지 使用合理化는 이를 廣義로 해석하여 보기로 한다.

우선 에너지 損失의 絶對的인 排除이다. 生産 코스트에서 占有하는 電力費의 上昇에 따라 에너지 使用合理化施策도 電力節減에 主眼을 두고 있다. 그러나 주목할 일은 에너지의 總消費 밸런스로서 그 밸런스의 一部에 電力이 있다.

따라서 全設備의 에너지 밸런스를 재검토하여 어디에 손실이 있는가를 파악하여야 한다. 爐設備, 送風設備, 揚排水設備는 그 諸元을 잡기 쉬우나 機械驅動設備는 一應 그 定格에서의 電動機의 入力과 정격용량으로 비교하여 본다. 또 현재는 여러가지 사정으로 꼭 풀로 가동하여 生産하지 않을 때도 있으므로 그 상태에서의 손실을 구하여 본다.

이 결과로 에너지 損失이 큰 것부터 대처하여야 하며 개개의 하드뿐 아니고 시스템 전체로서도 검토하여야 하며 낡은 설비로 뜻밖의 손실이 큰 것은 최근의 같은 設備와 비교하여 볼 필요가 있어 과감하게 更新하지 않으면 매일 큰 損失을 반복하게 된다. 특히 爐設備에서의 斷熱의 二重化, 物件의 出入口 斷熱커튼, 爐뚜껑의 關閉 2段化 등으로 그다지 비용을 많이 안들이고 효과를 올릴 수 있는 것이 있다. 또 아무리해도 電氣加熱이 아니면 안되는지 에너지의 有效利用面에서 고려할 것도 있다고 본다.

機械驅動系, 配電系統도 당연히 이와 같은 손실이 잠재한다는 것을 생각할 수 있다. 容量으로 보아 出力이 적은 것, 앞서 기술한 바와 같이 生産狀況의 변화에도 불구하고 최고 生産규모의 것이 그대로 사용되고 있는 예도 볼 수 있다.

또 配電系統 變壓器의 容量 過多 또는 旧形變壓器 사용으로 인한 鐵損의 差는 年代가 지날수록 현재의 것과 차이가 크다. 일례를 들면 30 MVA로 1950年代의 것과 최신의 저손실 鐵心으

로 만든 것을 비교하면 철손이 33kW에서 20kW로 60%나 감소하고 있다.

回轉機는 變壓器에 비하여 용량이 큰 것이 輕負荷로 쓰여졌을 경우 鐵損보다 銅損이 크므로 손실은 그다지 크지 않으나 펌프, 송풍기가 量의 加減을 위하여 조여져서 사용되고 있을 때는 큰 손실이 된다. 이때는 最近의 回轉數 制御方式이 좋으나 대개의 경우 負荷側에서 요구하는 패턴이 전범위의 조절을 그다지 요구치 않은 것이 대부분이고 80%정도 量의 조절이면 넘퍼 제어로도 그다지 손실의 증대는 없고 2~3 段階이면 極數變換이 손쉽다.

生産狀況에 대한 대응으로서 容量이 적고 極數가 많은 것으로 교체하고 푸리에 의한 減速 등도 고려될 수 있다.

또 複數臺의 운전으로 소요량을 충족시키는 시스템의 경우는 운전대수로서의 패턴 제어와 그 효율차에 의한 선택으로 에너지 使用合理化를 하는 것도 가능하다. 또 生産 라인의 低操業狀況에서는 어느 라인에의 集中生産을 함으로써 큰 에너지 절감효과를 얻을 수 있다.

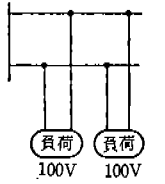
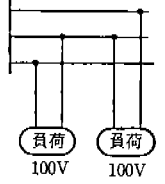
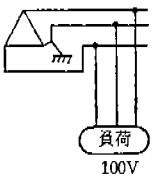
이상은 에너지의 밸런스상 손실을 줄이는 것이나 더욱 적극적으로 회수할 수 있는 방책이 있다. 앞서 기술한 에너지 밸런스를 보면 排熱, 排壓 등을 회수하는데 投資가 필요하나 앞서의 에너지 사정을 고려하여 앞으로 年率 10% 정도의 電力料金 上昇을 생각하면 상당한 투자는 가능하다. 一例로서 排熱의 利用으로 보일러를 설치하든가 레큐프레이터에 의한 燃廢空氣의 加熱, 加熱物의 顯熱回收로서 加熱加工後의 余勢로 裝入冷材의 余熱, 低温排熱의 이용으로 프론터빈 등이 고려된다. 排壓의 이용으로 팽창 터빈, 최근의 試用으로 高架水槽의 降下水壓用으로서 에너지 회수 계획 등이 있다.

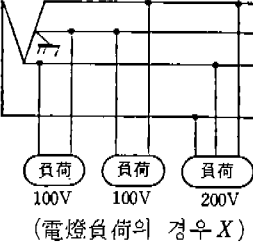
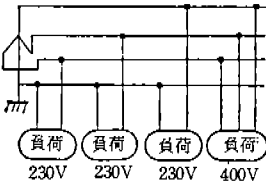
다음에 에너지 傳送經路의 손실도 무시할 수 없는 요소로 앞서 기술한 變壓器의 鐵損도 그에 이나 전국의 發變電用變壓器를 低損失鐵心으로 교체하면 상당한 電源確保가 된다. 그 정도는 아니더라도 設備中에서의 傳送路에 의외의 손실

이 발생하는 때가 있다. 圧空, 기타의 流体輸送에서 配管損失은 生産設備의 증강 비율로는 증강이 안되나 너무나 供給源을 증강시켰을 때 流速이 과대해져서 손실이 증가될 때가 있다.

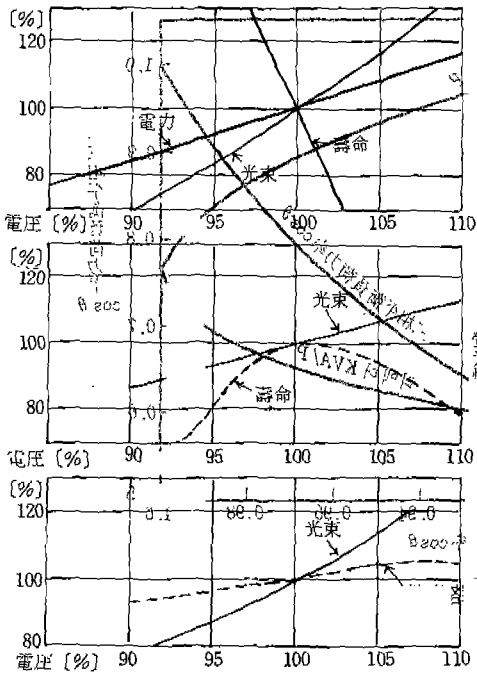
電線路도 그 하나이어서 적정 사이즈인가, 또

單相負荷인 경우 不平衡이 생기지 않나 체크할 필요가 있다. 그림 3·19에 各種配電方式의 比較를 표시하나 에너지 손실의 견지에서 3相 4線式配電도 평가되고 있어 이 때문에 機器의 電壓定格도 메이커에서 대응하여야 하겠다. 참고로 각

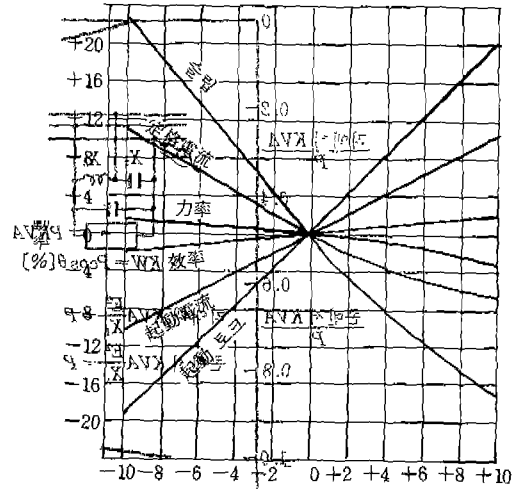
	單相 2線式 100V		單相 3線式 100/200V		三相 3線式 200V	
結 線 圖						
所 要 銅 量 (電線사이즈 S, 亘長 L)	2 SL	1.0	3 SL	1.5	3 SL	1.5
電流容量에서 본 供給力 (電流 I)	100 I	1.0	200 I	2.0	$200\sqrt{3} I$	3.5
電 壓 降 下 率 (單位長當 抵抗 R)	$\frac{2 I R L}{100}$	1.0	$\frac{2 I R L}{200}$	0.5	$\frac{\sqrt{3} I R L}{200}$	0.4
損 失 率	$\frac{2 I^2 R L}{100 I}$	1.0	$\frac{2 I^2 R L}{200 I}$	0.5	$\frac{3 I^2 R L}{200\sqrt{3} I}$	0.4

	V 結線 三相 4線式 100/200V		Y 結線 三相 4線式 220/400V		
結 線 圖					
所 要 銅 量 (電線사이즈 S, 亘長 L)	4 SL		2.0	4 SL	2.0
電流容量에서 본 供給力 (電流 I)	$200 I X + 200\sqrt{3} I (I - X)$		2.0 ~ 3.5	$400\sqrt{3} I$	6.9
電 壓 降 下 率 (單位長當 抵抗 R)	$\frac{2 I R L}{200}$		0.5	$\frac{\sqrt{3} I R L}{400}$	0.2
損 失 率	$\frac{2 I^2 X^2 R L + 3 I^2 (1 - X)^2 R L}{200 I X + 200\sqrt{3} I (I - X)}$		0.4 0.5	$\frac{3 I^2 R L}{400\sqrt{3} I}$	0.2

〈그림 3·19〉 配電方式의 比較



〈그림 3·20〉各種照明具의 電壓特性



〈그림 3·21〉誘導電動機의 電壓特性

중 照明과 誘導電動機의 電壓特性을 그림 3·20, 3·21에 표시한다.

電力 문제에서 다른 에너지 傳送에 없는 특수한 것으로 無效電力이 있다. 특히 최근에 다이리스터의 대폭적인 이용과 加熱源으로서의 誘導爐, 誘導加熱裝置 등 또한 아크爐 등의 大形化는 無效電力의 변동을 증가하고 있어 無效電力調整, 3相平衡의 개선 등에 대해 중전보다도 관심을 가질 것이 요구된다. 공급설비의 유효 이용을 저해하는 요인으로서 이제까지 이상의 개선에 노력하여야 할 것이다. 그림 3·22에 單相負荷의 밸런서의 平衡條件을 표시한다.

이는 自社內에서의 電壓變動에도 영향을 미치는 것으로 이를 개선함으로써 末端에서의 電壓變動도 개선된다.

無效電力의 보상책으로서 옛날에는

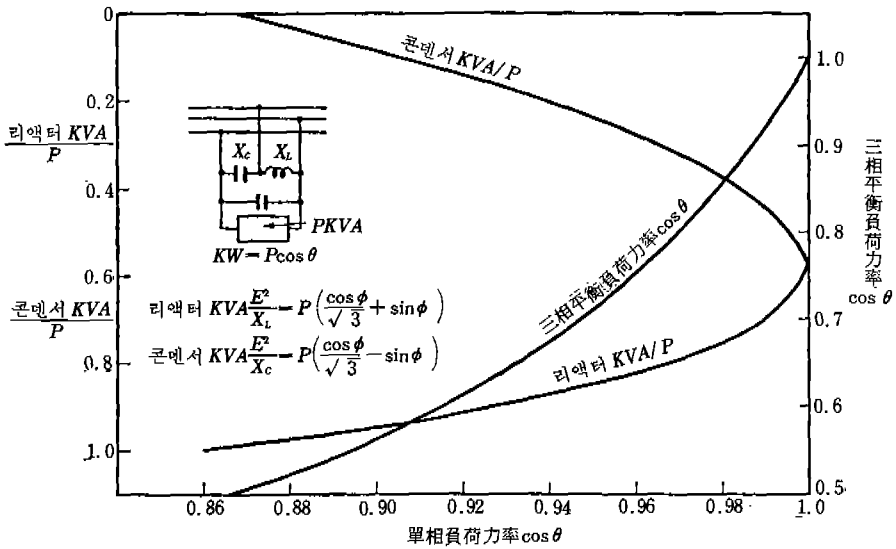
- (1) 同期調相機
- (2) 콘덴서의 群制御를 眞空 스위치로 하는 방법

- (3) 眞空 스위치 대신 다이리스터에 의한 방법
- (4) 콘덴서를 일정하게 하극과 연결하여 2차 電壓을 낮추는 방법

가 있는데, 이 중에서 2차 電壓을 낮추는 방법은 효과가 크지 않다. 그러나 2차 電壓을 낮추는 방법은 효과가 크지 않다.

한편 電氣機器의 壽命을 늘리는 것은 使用壽命化의 대응을 보면 에너지 使用 合理化 機器에 대해서도 마찬가지로 말하면 2차 電壓을 낮추는 방법은 효과가 크지 않다. 그러나 2차 電壓을 낮추는 방법은 효과가 크지 않다. 다시 大形 直流 電動機는 冷却 損失의 減少를 포함하여 1~2%로, 가격은 15% 이상 상승하고 수명에는 2년 질리는 예가 있다.

이러한 생각은 설비 도체의 굵기, 開閉器類의 접촉저항에 대하여도 고려하여야 하며, 2차 電壓은 資源節約에 反하고 또 初期投資를 增加하게 되나 앞서 기술한 바와 같이 에너지 2차 電壓을 낮추는 방법의 감소에 노력하여야 할 것이다. 따라서 중전의 經濟設計 방식을 도입



〈그림 3-22〉 三相平衡回路條件

검토할 필요가 있다.

그러나 위에 기술한 바와 같은 수명이 긴 設備에의 고려는 라이프사이클 코스트 미니멈에 대해 적합하지만 원칙적으로 資源節約, 즉 에너지 절감으로서 앞으로는 에너지코스트에 입각한 물건의 가격, 가치도 정하여 질 것이며 現時點에서도 그 설비의 回收年限을 잘 고려한 후에 에너지 使用合理化 投資를 하여야 하고 적극적으로 進전시킴과 동시에 조건 등을 잘 고려하여 적용하지 않으면 효과가 나지 않는다. 적절한 예는 아니나 一例로서 한때 사용되었던 家庭用的 太陽熱溫水器는 그 물건을 만들기 위한 에너지 소비를 회수할 만큼 物件이 견디지 못한 일이었다(최근의 것은 改良되었다 하나 상세한 것은 알 수 없다).

일반적인 구조물에 대하여도 그 사용 재료에 대하여 에너지 原單位를 배려하여야 할 시대가 도래하였다고 생각된다. 一例로서 최근의 鐵道車輛을 스테인레스로 제작함으로써 청소의 人力 節減뿐 아니라 부식, 방청을 위한 塗裝材料가 필요없게 된 것, 100m 굵의 굴뚝은 鋼板製보다 콘크리트製로 대체하는 등, 工期에 不利한 점은

있으나 保全과 에너지적으로는 有利하다.

이상 주어진 負荷 밸런스에 의한 에너지 使用 合理化를 다른 例를 들어 정리하였으나 電氣技術者는 널리 에너지의 쓰이는 방법에 대하여 관심을 가져야 하며 단지 電力設備의 절감이라는 하드적인 면만 기술적인 흥미를 가져서는 큰 것을 빠뜨리게 된다.

또 電力의 디멘드에 대하여는言及을 하지 않았으나 負荷調整에서 오프피크 移行하여도 확실히 피크時的 增分發電分은 도움을 받으나 생산이 감소하지 않는 한 에너지 總量은 변하지 않고 특히 사용자측의 시간의 취업 등에는 적합한 利點이 되지 않는다면 특정한 곳 이외는 대응하기가 어렵다.

또 夏節의 冷房負荷 피크에 대한 휴일교대 또는 휴가도 서서히 실행되고 있으나 歐美의 습관이 정착하려면 아직 요원하고 더욱이 本質적으로는 규정된 온도를 지키지 않는 業務用的 電力을 삭감하여야 한다. 나아가서 보다 적극적인 에너지 使用合理化對策을 세워 그 施策을 과감하게 밀고 나가야 할 것이다.

(다음 호에 계속)