

負荷管理의 合理化方案

Rationalization Planing
of Load Control

李 載 仁

漢陽大 工大 教授

I. 머릿말

우리는 에너지 高價時代에 살고 있으므로 조금이라도 에너지를 절약할 수 있는 방법이 있으면 이 방법을 택하여야 되겠다.

이에 負荷管理라는 방법으로 생각하여 보려고 한다. 負荷機器의 效率은 全体入力에 대한 有効出力의 비이며 機器를 운전할 때는 원하는 出力을 내기 위한 에너지의 入力이 필요하고 운전중의 에너지 손실량은 效率에 反比例하므로 이 문제를 중요하게 보고 있다. 또 1, 2次 에너지에 대하여 變換損失이나 送配電損失로 인하여 2, 3次 에너지의 消費端에서 利用電力量은 30[%]에 지나지 않는다.

따라서 力率의 改善, 負荷率의 改善 및 負荷設備利用의 改善과 容量의 적정화를 고찰하는 것은 의의있는 일이라 하겠다.

II. 力率改善의 效果

力率改善에 의한 여러가지 效果중 電氣의인 메리트는 負荷電流의 減少가 으뜸이 되며, 경제적으로는 1979년 이전에는 電氣供給 規定에서 91~95 [%]의 力率을 유지하였을 경우는 電氣料金の 輕減제도가 있었으나 1979년 이후 이 제도를 폐지함에 따라 力率은 負荷側에서 90[%] 이상 改善되지 못하고 있는 형편이다. 이상의 것들을 구체적으로 열거하면 다음과 같다.

- ① 電壓降下の 減少
- ② 電壓變動率의 減少
- ③ 送配電線 및 構內, 屋內配線에서의 電力損失 減少
- ④ 送配電設備의 出力增加 效果
- ⑤ 生産性的 向上

이상의 항목에 대하여 간단히 설명하겠으며, 力率改善 후의 電壓은 變化하지 않으며 進相 콘덴서에서의 損失은 생략하는 것으로 한다.

[1] 電壓降下の 減少

일정한 負荷에 力率을 改善하면 電流의 관계는 다음과 같다. 여기서 I_1 , $\cos \theta_1$ 은 改善전의 電流 및 力率, I_2 , $\cos \theta_2$ 는 改善후의 電流 및 力率이다.

$$I_2 = I_1 \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2}$$

으로 減少되며 線路에서의 改善 전후의 電壓降下를 e_1 , e_2 라면 電壓降下の 比는

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{R + X \tan \theta_2}{R + X \tan \theta_1}$$

로 되므로 위 식은 1보다 적어지며 電壓降下는 減少하게 된다.

[2] 電力損失의 輕減

電力損失은 負荷電流의 2乘에 比例하며, 3相電力의 力率改善 전후의 損失電力을 L_1 , L_2 라면 損失輕減電力 L 은

$$L = L_1 - L_2 = \frac{3P^2}{V^2} R \left(\frac{1}{\cos \theta_1} - \frac{1}{\cos \theta_2} \right)$$

로 되며 L_2 를 더욱 적게 하면 損失電力은 더욱 減少하게 된다. 여기서 L_1 은 콘덴서의 설치장소로부터 電源側에서 발생하는 損失電力이다.

[3] 受電用, 變壓器의 損失輕減

變壓器의 損失중 銅損은 高低壓 卷線에서 I^2R 이므로 變壓器의 2次側에 力率을 改善하면 當연히 銅損이 감소하게 된다.

變壓器에서 鐵損과 銅損의 比를 1:2로 가정하면 銅損 L_c [kW]는 다음과 같이 된다. 여기서 T 는 變壓器 容量 [kVA], η 는 負荷가 100[%]인 경우 效率 [%]이다.

$$L_c = \frac{2}{3} T \left[\frac{100}{\eta} - 1 \right]$$

負荷가 W_1 [kVA]에서 W_2 [kVA]로 변화했다고 하면 銅損輕減 電力 L_t [kW]는

$$L_t = \frac{2}{3} T \left(\frac{100}{\eta} - 1 \right) \left(\frac{W_1}{T} \right)^2 \left\{ 1 - \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right\}^2$$

으로 되므로 $\cos \theta_1 / \cos \theta_2 < 1$ 면 L_t 는 증가하게 된다.

[4] 設備에 여유가 발생

變壓器, 電線 등의 容量은 電流에 의하여 결정되므로 力率改善으로 電流가 減少하게 되면 當연히 余裕容量이 생기게 된다. 力率改善 前에 대한 余裕容量의 比率은

$$\frac{W_1 - W_2}{W_1} = \frac{\cos \theta_2}{\cos \theta_1} - 1$$

과 같이 되며 余裕容量의 發生率은 力率을 改善후

의 力率으로 한 것으로 생각하고 있다.

[5] 生産性的의 向上

이상과 같이 力率改善에 의한 效果는 電壓降下の 감소, 電力損失의 輕減 및 設備余力이 발생하는 등 산업체에서의 生産에 기여할 수 있는 영향력에는 다소의 논란이 있지만 손해가 되는 效果는 거의 없겠다.

生産性的의 향상에 기여하는 效果는 다음과 같은 것을 들 수 있겠다.

① 定負荷 連續運轉 상태에서 電壓降下가 감소하므로 作業의 능률이 현저하게 향상된다.

② 電壓變動을 허용하지 않는 作業, 예를들면 製紙, 精密作業에 있어서 電壓變動率의 감소로 製品의 品質이 향상될 수 있겠다.

③ 熔接作業에 있어서는 아아크가 安定된다.

[6] 高低壓 콘덴서의 比較

力率改善用 콘덴서를 高壓側에 설치하느냐, 低壓側에 설치하느냐는 그 效果와 現場의 실정을 검토하여야 한다.

高壓側의 力率을 改善하는 경우는 단지 料金の 輕減정도에 지나지 않으나 設備費가 비교적 싸게 된다.

그러나 低壓側에 콘덴서를 설치하면 變壓器와 配線에서의 電力損失이 輕減되어 設備의 余力이 생기는 등 效果가 있지만 設備費가 증가하기 때문에 경제성은 한마디로 논할 수가 없다. 그래서 예를 들어 설명하겠다.

<計算例>

어느 需用家の 契約電力 300[kW], 變壓器 3300/220[V], 200[kVA] 2台, 全負荷能率 98[%], 負荷容量 350[kVA], 配線 60[mm²] 4回線, 平均線路 互長 200[m]이며, 力率은 高壓側에서 75[%]를 90[%]로 改善한다.

(1) 高壓콘덴서의 경우

콘덴서 容量 Q [kVA]는

$$Q = 350 \times 0.75 \left(\sqrt{\frac{1}{0.75^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{0.9^2} - 1} \right) \\ = 104.37 \text{ [kVA]}$$

高壓콘덴서의 價格을 1[kVA]당 3440원으로 하면

콘덴서費 = 104.37 × 3440 = 359,032 원
 力率改善 후의 需用料金の 輕減分은 매월

$$(350-300) \times 2,999 \times \frac{90-76}{100} = 22,492 \text{ 원}$$

여기서 需用料金 1 [kW]당 2,999 원으로 하면,
 따라서 償却은

$$359,032 \div 22,492 = 15.9 \approx 16 \text{ (月)}$$

즉 약 16個月에 償却이 되고 다음 부터는 매월
 22,492원의 이익이 된다.

(2) 低壓 콘덴서를 설치한 경우

콘덴서 容量

$$Q = 104.37 \text{ [kVA]} = 104.37 \times 80 = 8,350 \text{ (\mu F)}$$

$$1 \text{ [kVA]} \approx 80 \text{ (\mu F)}$$

低壓 콘덴서의 값을 1 [μF]당 120원으로 하면
 設備費 = 8,350 × 120 = 1,002,000 원

이나, 變壓器 및 配線에서의 損失을 輕減할 수 있
 다. 즉 配線에서의 損失輕減分은

$$L_i = \frac{3 \times (350 \times 0.75 \times 10^3)^2 \times 0.3037}{(3300)^2}$$

$$\left(\frac{1}{0.75^2} - \frac{1}{0.90^2} \right) \times 0.2 \times 4$$

$$= 2.5 \text{ [kW]}$$

여기서 線路抵抗은 0.3037 [Ω/km], 變壓器에서의
 損失輕減分은

$$L_i = \frac{2}{3} \times 400 \times \left(\frac{100}{98} - 1 \right) \left(\frac{350}{400} \right)^2 \left\{ 1 - \frac{0.75}{0.9} \right\}^2$$

$$= 1.3 \text{ [kW]}$$

1월에 250시간을 가동한다면

$$\text{全損失輕減電力量} = (2.5 + 1.3) \times 250$$

$$= 950 \text{ [kWh]}$$

電力量 料金の 減少額은

$$950 \times 80 = 76,000 \text{ [원/月]}$$

電力量 料金を 1 [kWh]당 80원으로 봄, 그러면
 償却年月은

$$1,002,000 \div (22,492 + 76,000) = 10.2 \text{ 個月}$$

그러므로 약 11個月로 償却이 끝나고 다음 부터
 는 매월 98,492원의 이익이 되며 高壓의 경우 보
 다 유리하게 된다. 또한 負荷增加에도 設備가 어느
 정도까지는 적용될 수 있다.

Ⅲ. 負荷率의 改善

負荷의 변동이 심하지 않게 조정하여 負荷率을

合理的으로 하면 다음과 같은 이점들이 있다.

① 受配電設備 및 電氣負荷設備의 容量을 증가
 시키지 않으며 設備의 利用率을 높일 수가 있다.

② 電力損失이 輕減되고 電壓變動率도 저하된다.

③ 工程作業을 원활하게 하면 負荷率의 改善을
 도모할 수 있다.

負荷率은 產業體의 규모 및 업종, 작업시간 등에
 따라서 큰 차이가 있는 것을 통계자료에서 볼 수
 있다.

이런 차이점을 개선하기 위해서 그 실태를 조사
 하여 負荷曲線을 그려 볼 필요가 있겠다.

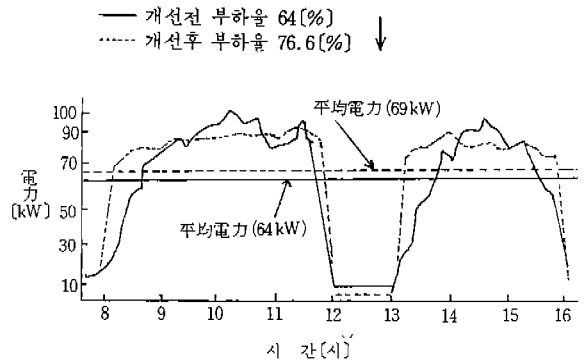
負荷曲線은 產業體에서 負荷設備의 가동상태를
 명시하고 있으므로 標準作業時에 曲線을 파악하여
 두면 각 부에 있는 設備의 가동상황이 推定되며 負
 荷率의 향상을 기할 수 있는 기초자료가 되겠다.

負荷曲線을 작성하는데 記錄電力計 등 自動記錄
 計器를 사용하면 좀더 세밀한 내용의 것을 얻을 수
 가 있으나 電力計 및 電流計 등 指示計器의 지시
 를 一定한 시간 간격으로 기록하여 그래프를 그리
 면 간단히 그릴 수도 있다.

이 負荷曲線을 기초로 하여 負荷率의 향상을 기
 하기 위하여는 다음과 같은 항목들을 검토하여야
 되겠다.

(1) 最大電力의 억제

最大電力을 가능한 억제하게 되면 負荷率을 향상
 시킬 수가 있다. 이것은 負荷를 동시에 운전하는
 것을 피하고 時差運轉 또는 交代運轉 등을 하여야
 되지만 특히 大容量의 電氣爐, 工作機械 또는 試驗
 設備 등은 휴식시간 또는 輕負荷時를 利用하여



(그림-1) 어느 기계공장의 負荷曲線 改善例

運轉하는 것도 効果的인 방법이 되겠다.

〔2〕設備의 保守

設備가 運轉중에 고장이나 사고 등으로 정지된다는 것은 그 자체가 生産의 損失을 가져오는 것이지만 이와 같이 정지가 負荷率에 미치는 영향도 실로 큰 것이다.

고로 負荷의 保守管理의 조직 및 운영을 充實化하여 點檢保守의 이행으로 設備의 劣化를 방지하는 것과 동시에 돌발사고를 미연에 방지하도록 노력하여야 한다.

〔3〕作業管理 및 勞務管理

각 부분의 작업에 하자가 있거나 工程간의 연락이 불충분하면 負荷曲線의 구배가 내려오거나 弧曲이 생기기도 한다. 작업은 시종 능률적이고, 항상 設備가 유효하게 가동될 수 있도록 作業 또는 勞務面의 管理를 시행시켜야 한다.

그림 1은 어떤 機械工場의 負荷曲線을 改善한 예이지만 일부의 作業工程을 변경, 작업내용의 개선연구가 負荷率의 改善에 이바지할 수 있으며 生産能率을 향상시킬 수 있다는 것을 명시하고 있다.

IV. 設備利用率의 改善

電氣設備의 利用率을 향상시킨다는 것은 投資에 대한 수익을 증대시킨다는 것이 되므로 經營合理化라는 견지에서 큰 비중을 차지하고 있다.

電氣設備중 가장 큰 比重을 점하고 있는 것이 電動機이며 보통 高低壓用을 합치면 設備容量 또는 使用電力量으로 보아도 70[%] 이상을 차지하고 있으면서 표준작업월에 있어서 單價設備容量當의 使用電力量 즉 1個月중 가동시간을 조사하여 보면 대개 高壓電動機는 179시간이 되나 低壓電動機는 86시간 정도이다.

업종별로 보면 機械器具製造 분야에서 이런 경향이 현저하며 겨우 가동시간이 20시간 내외를 보이고 있다.

熔接機의 設備容量은 전체의 9[%] 정도이나 使用電力量에서도 1.5[%], 가동시간도 20시간 정도이다. 이것은 熔接機 자체의 특성도 있으나 작업의 전후에 준비 또는 취급하는데 상당한 시간이 소요되므로 가동시간이 적다는 것을 엿볼 수가 있다.

電氣設備는 가동시간을 증가시켜서 使用의 合理化를 기하는 것이 利用率을 높이는 것이 되지만 使用面에 있어서도 高能率機器의 이용을 고려하여 利用率의 改善을 기하는 것이 더욱 바람직하다. 이를 위한 방법에는 다음과 같은 사항등을 들 수 있다.

- ① 設備稼働의 실태를 조사하여 작업이나 工程의 개선을 도모한다.
- ② 設備의 高能率化를 도모한다.
- ③ 保守管理를 추진한다.

〔1〕設備稼働의 실태를 조사분석하여 作業工程의 改善를 도모한다

利用率이 낮은 機器는 그 가동의 실태를 조사분석하여 애로점을 발견하고 그 대책을 강구하여야 한다.

예를 들면 아아크熔接機의 가동시간 조사와 개선을 하기 위하여 熔接機에 아머크測定器를 설치하여 가동시간을 測定하였더니 稼働率이 평균 14[%]였다고 하자. 이것을 기초로 하여 作業 및 工程의 改善方案을 검토하여 稼働率의 향상대책을 강구하고 無負荷時間중 消費電力(55[W])을 輕減하고 다음에 力率改善을 하였다. 이와 같은 조사를 크레인 工作機械, 콤프레서 등 여러가지 작업기계에 대해서 한 결과 工程別 가동실태가 수량적으로 명확하게 되면서 負荷率의 향상과 工程別 생산계획과의 對比檢討를 하고 대책을 강구하였더니 負荷曲線을 改善할 수가 있었다.

〔2〕設備의 高能率化

設備의 高能率化라는 것은 新銳機器로 대처하는 것도 하나의 방법이 되겠지만 그러나 간단한 改善으로 뜻하지 않은 效果를 올리는 것이다.

예를 들면 鋼板燒鈍爐에서 鋼板의 각 부분이 설정된 온도에 도달할 때까지 爐 내의 온도를 일정히 유지하여야 되며 작업시간은 16시간을 요한다. 이 온도 유지시간의 단축을 위하여 爐內의 溫度分布差를 검토한 결과 爐內의 온도분포를 對流增加方法으로 해결하기 위하여 爐床에 흙을 시설하였더니 燒鈍時間이 5시간 단축되었다. 따라서 原單位 電力費를 30[%] 輕減할 수 있었다.

〔3〕保守管理의 推進

負荷率 改善에서도 설명한 것처럼 設備의 고장이

나 사고로 인하여 가동이 중단되는 일이 있어서는 아무리 우수한 施設이라 하여도 좋은 效果를 얻을 수가 없다.

設備의 利用率을 향상시키는데는 그 전제조건으로서 고장을 미연에 방지하여 安全作業이 진행되도록 設備保守에 중점을 두어야 한다. 이를 위하여 設備의 點檢, 保守를 하기 위한 人員과 조직을 확립하여 點檢業務, 保守, 修理業務 및 이런 것의 管理를 원활하게 운영하는 제제를 필요로 하며, 한편 點檢基準을 制定하여 點檢責任의 한계를 명확하게 하여야 된다.

예를 들면 製紙工場에서의 保守, 이 工場은 設備가 구식인 것이 많고 1일에 약 45,000[m³]의 많은 물을 사용하고 있으며 電動機의 燒損 등 電氣로 인한 사고가 많았다. 특히 연속조업 공정이 태반을 차지하고 있으므로 일부분의 사고로 인한 정지가 生産 전반에 크나큰 영향을 주기 때문에 生産 및 品質管理에서도 공정중에 保守管理를 진행시킬 필요가 있어서 管理의 기준을 검토 설정하여 전체 設備에 대하여 設備保守管理를 실시하였다.

(1) 改善의 개요를 보면 과거에는 設備保守基準이 마련되어 있지 않았으므로 적당히 관리를 실시하여 왔으나 다음과 같은 基準을 제정하였다.

a. 點檢의 合理化 :

① 點檢基準을 제정 ② 點檢責任을 명확화 ③ 點檢機器의 중요도를 決定

b. 豫防保守管理의 실시 :

① 豫防保守(定期檢查를 포함)를 계획화 ② 檢查

基準의 제정 ③ 외부업자의 이용방안

c. 設備改善의 계획화

이상의 항목에 따라 保守管理를 하고 그 活用に 대하여 다음과 같이 改善을 하였다.

① 檢查결과와 점수에 따라 표시하는 방법을 採用 ② 記錄 및 統計整理

(2) 改善의 效果

a. 抄紙機의 정지시간의 감소: 製紙工場에서의 가장 중요한 設備인 抄紙機가 電氣的인 고장으로 정지된 전체시간을 保守管理前을 100으로 하여 比較하면 保守管理 후에는 약 20[%] 정도로 감소하였다. 이것은 生産量의 증가에 그치지 않고 品質의 向上 및 均一化 등의 면에서 크게 작용했다.

b. 電動機사고의 減少: 保守管理 전에는 電動機가 570台 電力 12,000[kW]였던 것이 그후 780台 電力 14,500[kW]로 증가되었으나 保守管理를 함으로써 燒損事故는 1/6로 감소되었다.

V. 맺는 말

負荷管理를 合理化시키기 위하여 力率을 改善함으로써 電壓降下가 減少되며 電壓變動率 및 構內, 屋內配線에서의 電力損失이 減少, 따라서 設備의 出力도 增加시킬 수 있는 效果와 生産性이 向上될 수 있으며 負荷率을 改善함으로써 最大電力을 억제할 수 있고 生産能率을 向上시킬 수 있다.

또 設備의 利用率을 改善함으로써 經營의 合理化까지도 영향을 줄 수 있는 效果가 있다고 하겠다.

