

에너지사용합리화를 위한 전동력설비의 재검토

— 전동력설비의 점검리스트 —

역/대한전기기사협회 기술실

머리말

석유과동 이후 에너지의 유효이용은 전세계의 중요한 과제이고 그 효과적인 실용화가 주목되고 있다. 전동력설비의 에너지사용합리화는 펌프, 블로어를 중심으로 효과가 큰 설비는 이미 대책이 다 세워져 있다 하여도 과언은 아닐 것이다.

현재는 다시 한걸음 나아가 복잡한 설비속에 감추어져 있는 손실을 찾아내는 일과 에너지절약화, 자동화, 제품 품질향상 등에 유효한 부가가치를 부여하는 시스템으로의 전개가 이루어지고 있다. 여기서는 에너지사용합리화의 실시레벨을 중심으로 에너지절감의 효과적인 실현에 대하여 기술기로 한다.

1. 에너지사용합리화의 계획과 레벨

에너지사용합리화의 대상은 천차만별로 간단하게 논의하는 것은 어려운 일이다. 예를 들어 같은 전동기라 하여도 사용되는 플랜트에 따라 그 적용은 대폭적으로 다르다. 1대의 전동기를 보아도 단지 축출력을 필요로 하는 전동기를 선정할 경우에는 가장 효율이 좋은 전동기를 선정하는 것은 쉬운 일이다. 그러나 유량이나 압력을 제어하는 구동기의 경우는 응답성, 정도(精度), 빈도(頻度) 등의 제약을 받는다. 다시 플랜트안에는 다른 설비, 다른 구동기와의

협조, 속응성(速應性), 사고시의 안전 등은 물론, 구동기의 특성, 전원인버터의 용량에도 충분한 검토가 필요하게 된다.

이들의 에너지사용합리화 계획은 각기의 설비 고유의 최적화법이 있으니 개별적으로 검토하여야 하나 계획의 초기에는 전체적인 면을 고려하여야 하기 때문에 일반적으로 고찰하는 것이 알기 쉽다.

표 1은 에너지사용합리화 계획의 레벨을 점검하는

<표 1> 전동력설비의 에너지사용합리화계획의 레벨점검

에너지사용 합리화 레벨	내 용
① 단 체	<ul style="list-style-type: none"> 전동기의 단체로서의 효율 대표 예 부하율, 역률, 시동토크, 변동 등이 계획의 요점 고효율전동기, 적정용량의 전동기의 선정이 기초
② 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 단일기능의 설비, 펌프, 블로어로 대표됨 일반적으로 꼭 에너지절감이 된다. VVVF와 계장컨트롤의 적용을 고려한다.
③ 플랜트	<ul style="list-style-type: none"> 시스템의 복잡제, 보일러, 콜링타워장치 등으로 대표됨. 큰 에너지절감과 자동화, 생력화 품질 개선 등의 부가가치가 실현된다. 타설비와의 연동이 있어 응답성 혹은 사고시의 대응이 중요

기본을 표시한다. 에너지사용합리화는 앞서 기술한 바와 같이 고려되는 대상물과 검토의 방안에 의하여 여러가지의 레벨이 존재하여 다른 레벨에서의 의논은 잘못되기 쉬우므로 단계, 시스템, 플랜트의 각 레벨로 분리하여 고찰하면 된다.

그후에 각기의 레벨에서의 검토방안을 전개한다. 또 전동기의 가변속장치로서는 가장 대표적인 1차전압주파수제어(VVVF)방식이 있다.

2. 전동기 단계로서의 에너지사용합리화

가장 널리 사용되고 있는 유도전동기를 대상으로 에너지사용합리화의 점검포인트에 대하여 생각해 보기로 한다.

전동력설비의 에너지사용합리화를 위해서는 전동기의 점검은 물론, 동시에 부하측의 에너지절감의 가능성에 대하여 충분한 검토를 할 필요가 있다.

전동기에 유입하는 전력은 부하측이 요구하는 토크와, 회전속도로 정하여지는 기계동력으로 변환되어 소비된다. 그러니까 에너지절감을 위한 검토는 부하측의 기계동력 사용상태의 검토에서 부터 순차로 에너지의 흐름을 거슬러 올라가며 표 2의 순서로 점검을 진행시켜야 한다.

<표 2> 전동기의 에너지사용합리화 점검포인트

	검 토 대 상	체 크 항 목
1	부 하	① 부하토크를 줄일 수 없나. ② 회전속도를 줄일 수 없나. ③ 운전방법의 개선이 안되나.
2	결 합 방 식	① 증감속기어의 손실을 없앨 수 없나. ② Slip Loss를 없앨 수 없나.
3	전 동 기	① 부하율을 적정하게 할 수 없나. ② 효율의 개선이 안되나. ③ 역률의 개선이 안되나.

(1) 부 하

(a) 부하토크를 줄일 수 없나?

부하의 소비전력은 식(1)에 표시하는 바와 같이

부하토크와 회전속도의 곱이다.

$$P = T \cdot N / 973 \text{ [kW]} \dots\dots\dots(1)$$

단 T : 토크 [kg·m]

N : 회전수 [r.p.m]

따라서 에너지절감은 이 토크 T 와 회전수 N 을 줄이는데 있다. 특히 부하토크가 회전속도의 2승에 비례하는 특성이 있는 블로어, 펌프 등의 부하에서는 압력, 유량이 실제로 필요한 값에 대하여 여유를 두고 쓰는 경우가 많다. 그러니까 이들이 실제로 필요한 값만을 갖도록 점검하여 본다. 의외로 이러한 곳에 에너지를 낭비하고 있는 것이 발견될 것이다.

예를 들면 바이패스밸브 등에 의한 유량의 손실, 혹은 댐퍼, 밸브 등에 의한 압력손실 등을 줄일 수 있으면 토크 T 가 감소되어 곧바로 에너지절감이 된다.

(b) 회전속도는 줄일 수 없는가?

유량, 압력 등에 여유가 있을 때는 단지 댐퍼, 밸브 등으로 조정만 하여도 에너지는 절감되나 앞서 기술한 바와 같이 블로어, 펌프 등의 속도-토크특성이 2승특성인 것에 주목하여 이를 회전속도로 조정하면 축동력은 3승으로 변화하니까 많은 에너지절감효과를 얻을 수 있다.

(c) 운전방법의 개선을 할 수 없나?

그림 1에 표시하는 바와 같이 부하의 패턴은 여러가지 경우가 있다. 부하가 걸리는 방법을 조사함으로써 각기에 대응한 에너지절감대책이 필요하게 된다.

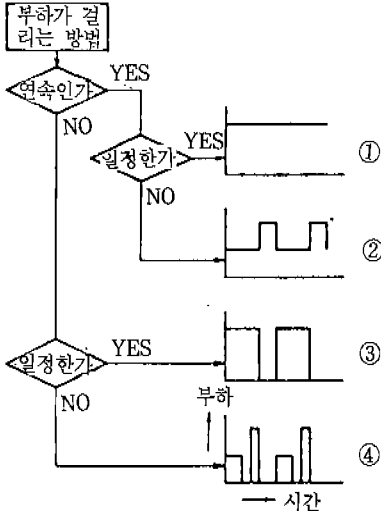
연속운전-일정부하 ①에서는 효율이 좋은 전동기의 채택을 검토한다.

연속운전변동부하인 ②에서는 극수변환전동기 또는 가변속전동기의 적용을 검토한다.

간헐(間歇)운전-정부하(定負荷) ③에서는 무부하시의 손실을 없애기 위하여 타이머에 의한 자동운전, 정지의 제어를 검토한다.

간헐운전 변동부하인 ④에서는 자동운전, 정지의 제어 혹은 가변속전동기의 적용을 검토한다.

이상이 일반적인 경우이나 부하의 패턴은 운전, 정지의 가부 및 빈도 등의 조건에 따라 다시 복잡한 경우가 고려되니까 실제로는 개개의 조건에 따른 최적의 에너지사용합리화방법을 고려할 필요가 있다.



<그림 1> 부하의 패턴

(2) 결합방법

부하에 대하여 검토를 하면 다음에 부하기계와 전동기의 결합방식에 대하여 검토한다.

통상적으로는 플렉시블, 또는 리저트커플링에 의한 직결방식이 많고 이 경우는 손실이 없다. 그러나 중간에 증, 감속기어, 혹은 유체커플링, 과전류커플링 등을 사용할 때는 손실이 발생하기까 이 손실을 줄이는 방법을 검토할 필요가 있다.

증감속기어에 대하여는 가변속전동기를 채택한 직접구동방식(기어레스방식)이 고려된다.

또 유체커플링, 과전류커플링이 있을 때는 (3)식에 표시되는 바와 같이 Slip에 비례하여 손실이 증대되므로 큰 손실이 발생된다.

$$P_L = (1-s)P_0 \dots\dots\dots(2)$$

$$L = sP_0 \dots\dots\dots(3)$$

단 P_L : 부하동력 P_0 : 전동기 출력

L : 손실, s : Slip

따라서 변속운전의 패턴을 조사하여 high Slip에서의 운전시간이 길 때는 Slip이 없는 가변속전동기의 적용을 검토한다. 또 과전류커플링의 설비는 그대로 두고 구동전동기만을 VVVV인버터로 가변속화

하는 방법도 고려된다.

(3) 전동기

(a) 부하율을 적정하게 할 수 없나?

일반적으로 전동기의 부하율은 장치를 계획할 때 기계측 및 전동기 각기에 대하여 설계상 여유를 충분히 주는데 실제의 운전부하는 경부하인때가 많고 부하율이 50% 이하인 때도 있다.

그런데 전동기의 부하율에 대한 효율은 75~100%로 최고가 되도록 설계되어 있으므로 너무 경부하인 경우이면 좋은 사용방법이 아니다.

이런 경우는 적정용량의 전동기와의 교환을 검토할 필요가 있다. 또 전동기를 교환할때는 시동토크, 최대토크 및 시동빈도에 대하여 부하의 요구와 전동기의 허용치를 충분히 조사하여야 한다.

(b) 효율의 개선이 안되나?

전동기의 효율이란 유효출력과 유효입력의 비율을 말하고 (4)식으로 표시된다.

$$\eta_M = P_0/P_1 \times 100 = P_0/(P_0 + L) \times 100 [\%] \dots\dots(4)$$

단 η_M : 효율, P_0 : 출력, P_1 : 입력

L : 손실

손실로서는 고정손(철손, 풍손, 마찰손)과 부하손(동손, 표유손)이 있다.

이미 설치되어 있는 전동기의 효율을 개선하는 것은 어려우므로 일반적으로는 고효율전동기와 교환을 한다. 또 신설하는 전동기의 경우는 당연히 효율이 좋은 전동기를 사용하는 것이 좋다.

(c) 역률의 개선은 안되나?

전동기의 역률이란 유효전력과 피상전력의 비율을 말하고 (5)식으로 표시된다.

$$\cos\phi = P_W/P_1 = \sqrt{3}EI\cos\phi_M/\sqrt{3}EI \dots\dots\dots(5)$$

단 $\cos\phi_M$: 역률, P_W : 유효전력,

P_1 : 피상전력(유효전력·무효전력)

E : 선전압, I : 선전류

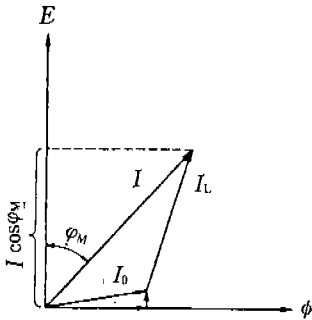
전동기의 전류는 그림 2에 표시하는 바와 같이 여자전류 I_0 와 부하전류 I_L 의 벡터계의 전류 I 가 되어 부하전류의 크기에 따라 원호(圓弧)의 궤적(軌跡)을 그린다. 유도전동기는 여자전류가 1차측에서 공급되고 있기 때문에 부하율이 떨어지면 역률은 급격하

게 나빠지는 경향이 있다. 따라서 너무 경부하로 사용하는 것은 배전계통으로서 바람직하지 못하다.

이미 설비되어 있는 전동기의 역률을 개선하려면 역률개선용 콘덴서를 설치하여야 하나 신설하는 전동기의 경우는 역률이 좋은 전동기를 사용토록 한다. 그러나 극수가 많을수록 여자전류가 증가하고 역률이 나빠지기 때문에 될 수 있으면 극수가 적은 것으로 쓰도록 하는 것이 바람직하다.

역률개선의 효과로서는

- (i) 전류를 감소시킴으로써 여러 설비용량이나 계약수전용량을 줄일 수 있다.
- (ii) 배전선 손실이 감소한다.
- (iii) 전원에서 부하점까지의 전압강하량이 감소한다.
- (iv) 역률요금제도로 인하여 전력요금이 싸진다.



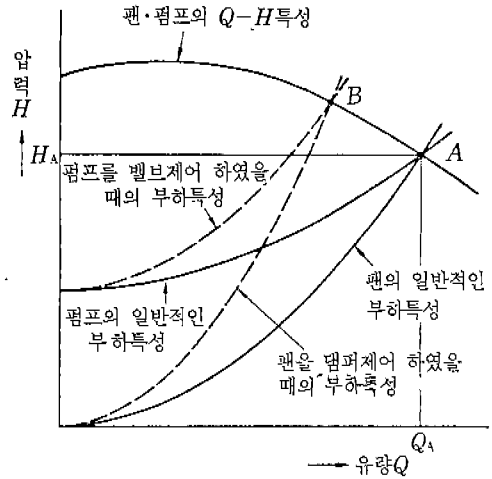
<그림 2> 유도전동기의 1차전류벡터

3. 시스템으로서의 에너지사용합리화

앞서 기술한 전동기 단체로서의 고려할 점을 설명하였으나 실제의 설비에서는 우선 전동기의 부하가 되는 기계축의 운전에 대하여 계획을 하고 그에 맞추어 전동기의 운전을 고려하여야 한다. 그리하여 가장 수가 많고 비교적 쉽게 큰 효과를 얻을 수 있는 팬, 펌프설비를 가변속화시켜 에너지절감을 할 수 있는 경우를 예를 들어 설명한다.

(1) 팬·펌프의 특성

팬·펌프의 유량-압력특성(Q-H곡선)을 그림 3에 표시한다.



<그림 3> 팬·펌프의 유량-압력특성

운전점은 이 Q-H곡선과 부하곡선(일반적으로는 $H=aQ^2+b$ 로 표시된다. 단 a, b는 관로조건에 의하여 정하여지는 정수)의 교점 A가 된다. 이때의 축동력 P는

$$P=Q \times H / \eta$$

η : 팬·펌프의 효율

즉 효율 η 가 거의 일정하면 축동력은 원점 Q_A, A, H_A 로 둘러싸이는 장방형의 면적이 된다.

중전의 댐퍼 또는 밸브에 의한 제어(이하 밸브제어라 칭한다)에서는 관로저항을 바꾸어 유량을 제어한다. 즉 부하특성인 a를 변경시킴으로써 부하곡선이 그림 3의 점선과 같이 변화하고 운전점이 A에서 B로 이동되어 유량이 제어된다. 그림에서 알 수 있듯이 관로손실의 감소에 비하여 조금밖에 줄지않는다.

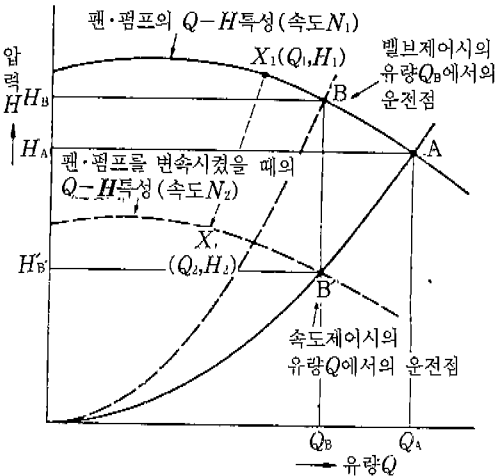
한편 가변속제어의 경우는 Q-H곡선은 그림 4에 표시하는 바와 같이 변화한다. 이때의 회전수를 N

이라 하면

유량 $Q \propto N$ (7)

압력 $H \propto N^2$ (8)

의 관계가 있다.



<그림 4> 팬·펌프의 가변속제어 특성

따라서 회전수를 N_1 에서 N_2 로 바꾸었을때 N_1 에서의 $Q-H$ 곡선상의 1점 $X_1(Q_1, H_1)$ 에 대응하는 N_2 에서의 점 $X_2(Q_2, H_2)$ 는 다음과 같이 구하여 진다.

$Q_2 = Q_1(N_2/N_1)$ (9)

$H_2 = H_1 \times (N_2/N_1)^2$ (10)

또 (6), (7), (8)식에서 축동력 P 와 회전수 N 의 관계는

$P \propto N^3$ (11)

이 되어 있는 같은 유량까지 밸브제어하였을 때의 그것에 비하여 극히 적은 것이 된 것을 표시하고 있다.

(2) 전력절감의 요소

전항에서 설명한 바와 같이 팬·펌프설비가 소비하는 에너지, 즉 전력량 W 는 운전시간을 T 라 하면

$W = Q \times H \times T / \eta$ (12)

로 표시된다. 설비효율 η 는 유량 또는 압력의 제어방법에 따라 거의 결정되나 전력절감을 고려할때 우선 검토하여야 할 요소는 다음의 세가지가 된다.

- (i) 유량
- (ii) 압력
- (iii) 시간(운전시간)

이들의 요소에 대하여 실제로 필요로 하는 양에 대한 낭비를 조사하는 것이 에너지절감의 첫걸음이고 설비를 운전하는 측으로서의 가장 중요한 포인트이다.

(3) 낭비되는 곳을 찾기위한 점검리스트

전항에서 기술한 낭비되는 곳을 찾기 위하여는 표 3과 같은 각시점에서 고려하는 것이 유효하다.

<표 3>

<p>설비의 에너지절감(낭비되는 에너지)의 점검</p> <p>I. 설비의 현재 상태를 파악하여</p> <p>① 팬·펌프의 계획특성(프랜트 요구특성)과 현재의 운전특성이 일치하고 있는가?</p> <p>② 팬·펌프의 출력경로(배관·밸브 등)의 저항은 가장 낮도록 되어 있는가?</p> <p>③ 기계·부하의 경년변화의 검토가 되어 있는가?</p> <p>II. 유량의 제어상태를 파악하여</p> <p>① 프랜트의 운전조건(부하조건)과 팬·펌프의 부하는 일치하고 있는가? 시간, 유체온도, 유량, 압력의 재확인.</p> <p>② 유량의 최적제어가 되고 있는가? (a) 밸브, 밸브의 열림은 100%에 가까운가? (b) 부하에 따라 자동제어되고 있는가?</p> <p>③ 바이패스밸브 등에서 손실이 발생되고 있지는 않나?</p>
--

또 이 표는 가장 대표적인 팬·펌프설비를 상정한 것으로 비교적 간단하나 통상적으로는 복합시스템이 되니까 그 상호간의 영향에도 충분한 주의를 할 필요가 있다. 다시 이런 종류의 점검 대상이 되는 설비의 제어시스템 혹은 가변속장치 적용시에 요구되는 제어시스템은 계장을 중심으로 하게 되므로 검출기, 조정장치의 적응성에 대하여도 검토가 필요하다.

(4) 에너지사용합리화계획에 필요한 데이터

전항의 점검리스트에 의한 평가에서 에너지절감의

가능성이 있다고 판단한 설비에 대하여 구체적인 방안을 검토하여 정상적인 평가를 하려면 다음과 같은 여러가지 데이터가 필요하다.

- (a) 팬·펌프의 제어특성
 - (i) 종류(팬의 경우이면 터보, 레이디얼 등)
 - (ii) $Q-H$ 곡선(정격속도인 것으로 된다)
 - (iii) 축동력곡선(정격속도인 것으로 된다)
 - (iv) 효율곡선(변속시의 값이면 더욱 좋다)
- (b) 현재의 운전상황
 - (i) 운전패턴(유량-운전시간 곡선)
 - (ii) 유량제어방식(델퍼제어 등)
- (c) 에너지사용합리화 후의 운전계획
 - (i) 계획 최대유량과 그때의 압력
 - (ii) 계획 최소유량과 그때의 압력
 - (iii) 유량과 압력의 시간적 변화
 - (iv) 운전상의 제약조건

현재의 운전상황의 유량은 건설시의 계획치보다 현재의 실측치로 판단, 적용하는 것이 바람직하다. 이는 일반적으로 팬·펌프설비는 상당한 여유가 있을 때가 많고 따라서 실측치가 있으면 보다 큰 효과가 예상되어 계획을 추진하기 쉽기 때문이다.

또 에너지사용합리화후의 운전계획을 하는데 운전상의 제약조건은 시스템 전체로 검토하여야 할 내용이 많다. 시동토크와 가감속시간에 대하여는 특히 주의가 필요하다.

(i) 시동토크

Slip축반이인 것으로 전동기 정격용량에 비하여 적은 용량의 VVVF(가변전압 가변주파수)인버터를 적용할때 동에는 시동토크가 부족하여 문제가 될때도 있다. 비교적 큰 시동토크가 요구될 것으로 생각될 때는 조건으로서 덧붙이도록 한다.

(ii) 가감속시간

일반적으로 팬은 관성모멘트(GD^2)가 크나 한편 반도체장치는 과부하에 약하고 따라서 장치의 허용내량 이내에서 가감속하게 되니까 일반적으로 상용 운전시보다 가감속시간이 길어진다. 따라서 가감속시간이 문제가 될때에는 조건에 덧붙이고 GD^2 치를 조사하여 두어야 한다.

4. 프랜트로서의 에너지사용합리화

이상으로 에너지사용합리화를 하는데 있어서의 단체, 시스템에 대하여 설명하였다. 그러나 일반적인 설비는 거의 단체, 시스템의 복합체이다. 즉 플랜트설비이고 다시 한층 높은 효율과 기능의 증대가 요구되고 있다. 바꾸어 말하면 에너지사용합리화의 계획·운용은 단일적인 기능추구가 아닌 표 4에 표시하는 바와 같이 높은 부가가치가 요구된다.

<표 4> 프랜트 에너지사용합리화의 부가가치

1. 제품의 원단위의 저하 에너지절감이나 당연히 원단위는 내려가나 부가가치가 떨어지는 다른 에너지나 보수의 가치에 대하여도 파악한다.
2. 품질의 향상 종전 정속으로 운전하고 있던 설비를 최적운전함으로써 고품질이 확보된다. 특히 타품종을 동일설비에서 제조할 때는 큰 효용이 있다.
3. 자동화 최적운전의 속도와 스케줄을 실현한다. 또 타품종으로 전환할 때의 오조작을 방지한다. 특히 지금까지 수동으로 설정되어 있던 설비에서는 계장을 포함한 적용으로 큰 효과가 있다.
4. 생략화 나쁜 환경아래에서의 조작, 보수 등을 원격제어화하여 숙련공의 숙달된 운전이 아니고 누구나 쉽게 운전이 될 수 있도록 한다. 숙련노동자나 단순작업에서의 해방이 기대된다.

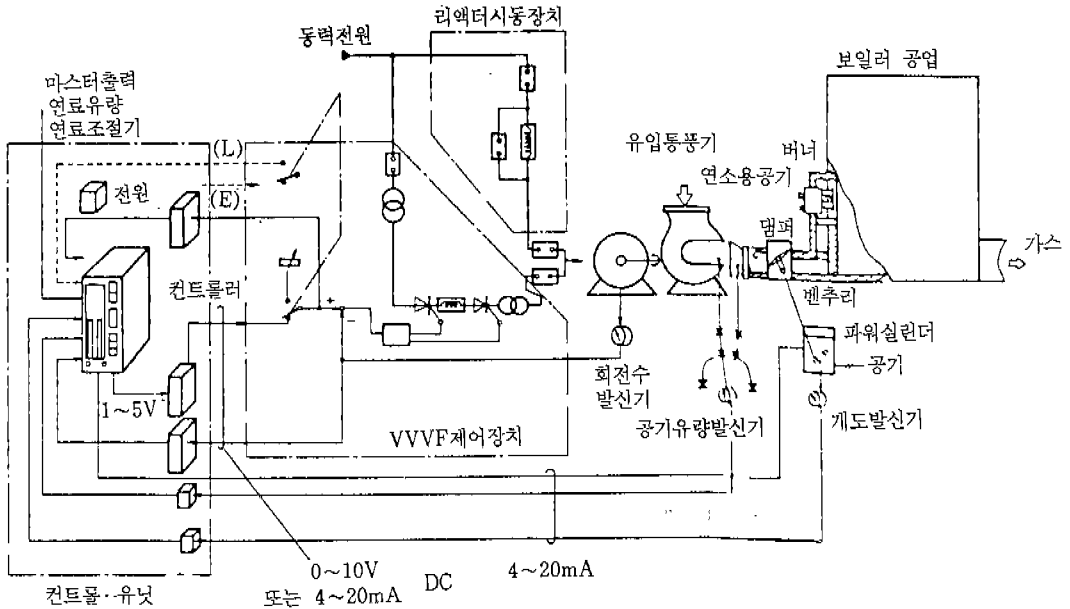
프랜트의 에너지사용합리화는 기대되는 효과도 크나 그러지 못할 때의 영향도 크다. 적용하는 데는 충분한 검토가 필요하다. 다시 타설비와의 협조, 응답성, 안정성도 중요하다. 또 프랜트에 적용하여 실시하여야 한다.

여기서는 예로서 보일러의 공기유량 컨트롤을 그림 5에 표시한다.

이 시스템은 연소의 최적화를 실현한 것으로 VVVF장치와 조절기로 제어되고 있어 많이 쓰이는 설비이다.

또 보일러 설비는 용량별, 용도별로 그 기능과 제

전동력 설비의 재검토



<그림 5> 연소설비의 공기유량컨트롤

어성이 다르다. 또 현재의 일반적인 보일러설비의 에너지절감상황은 대략 다음과 같다.

(1) 유인팬은 이미 기술문제는 해결되고 여유가 있는 전동기는 거의 VVVF가 설치되어 있다.

(2) 압입팬은 보일러의 운전속도와와의 관련과 사고시의 대응으로 유인팬보다 늦어지고 있으나 일반적으로 여유가 있는 설비가 많으므로 여러곳에서 계획되어 이미 다수가 실현되고 있다.

(3) 급수펌프는 압력제어이므로 그다지 여유가 없으니까 일반적으로 에너지절감의 효과는 적어 투자에 대한 상각에 시간이 걸린다. 앞으로는 이 급수펌프의 최적화가 보일러기술자와 전기·계장의 기술자간에서 급속히 연구되리라 생각된다.

(4) O₂제어는 종전에는 대용량보일러에 한해 효과가 있다고 하였으나 최근에는 중소형 보일러에도

충분히 효과가 발휘되고 있다.

맺음말

에너지사용합리화는 숨겨진 손실을 어떻게 잘 찾아내어 이를 제거시키느냐에 있다고 본다. 이 손실을 발견하는 것은 그 설비를 취급하고 있는 담당자들의 노력여하에 있다고 본다. 나아가 생각하면 문제점이 없는 에너지사용합리화의 계획은 없을 것이라 생각된다. 두가지 이상이 해결책을 찾아내어 비교검토하여 최적의 시스템설계가 필요하다고 본다.

에너지사용합리화는 인류의 테마이다. 다시한번 사용하고 있는 에너지의 모든 것을 점검하여 많은 에너지절감을 하는 시스템이 이루어지기를 기대한다