

병렬운전 송풍기 구동시스템의 효율 개선

박민호\*  
\* 서울대

유홍우\*\*  
\*\* 서울대

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF PARRAREL OPERATION  
FAN DRIVE SYSTEM

Min H. Park  
Seoul Natn'l Univ.

Hong W. RHEW  
Seoul Natn'l Univ.

1. 서론

전동기 구동시스템의 효율향상 기술은 단위설비의 효율향상 방안과 전시스템의 효율향상 방안을 포함한다.

단위설비의 효율향상 방안으로는 전동기나 송풍기 등의 제작 및 설계기술의 개선과 고품질의 재료 등을 사용하는 방안이 있으며 시스템 효율향상은 전시스템의 운용을 최적화 함으로써 이루어진다.

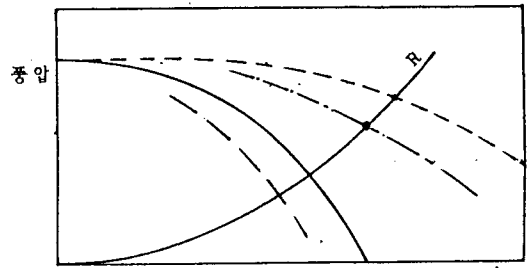
송풍기나 펌프 구동용 전동기에는 대부분 농형 유도전동기가 사용되고 있으며 이때 유량이나 유압의 제어는 일부 유체계수(Hydraulic Coupling) 사용을 제외 하고는 최근까지도 구동속도를 일정히 하고 벨브, 덤퍼, 배인 등의 개도를 조절함으로써 제어하여 왔으나 이들 장치는 부하율이 낮을 경우 발생하는 손실을 피할 수 없었다.

최근에 전력전자 기술의 발달로 유도전동기의 속도 가변속이 실용화 됨으로써 구동전동기의 속도제어에 응용되고 있다. 이에 따라 벨브나 덤퍼 등에서 발생하는 손실을 없앨 수 있어 펌프, 송풍기, 공기 압축기 등의 분야에서 이의 응용기술이 연구되어 왔으나 이들은 주로 단위기에 대한 속도제어와 동일방법의 병렬제어에 한정되어 왔고, 일부 펌프에 대하여서는 정속 및 가변속 장치의 혼용이 보고되고 있다.

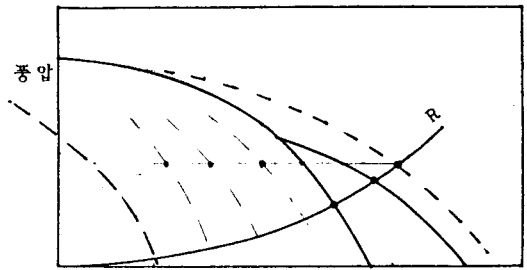
실제 계통적응에 있어서는 장치의 구매에 경제적 측면을 고려하여야 하는데 아직까지도 구매가격이 고가로서 이의 이용에 장애요소가 되고 있다.

본연구에서는 동일목적에 사용되는 부하설비에 대하여 복수대 이상의 송풍기를 병렬운전할 경우 적용할 수 있는 제어방법과 시스템효율 향상방안을 제시하고 이를 실산업계에 적용함으로써 그·유용성을 입증하였다.

이 검토과정에서 복수대 송풍기에 대한 전 가변속제어와 배인 및 속도 제어의 혼용 그리고 전 대수 배인제어에 대한 입력을 계산 하였고 배인제어와 속도제어혼용에 대하여는 설계부적응을 통하여



(a),(b) 동일복성팬병렬운전



(c) 특성이상이한팬의 병렬운전

그림1 송풍기 운전특성

입력변화 상태가 사전검토 결과와 유사하다는 것을 실증 하였다.

2. 송풍기 운전특성 및 효율

송풍기는 펌프와 같이 2승저감 토오크부하로서 작용하고 풍압은 풍량의 2승에, 입력은 3승에 비례하여 변화 한다. 송풍기의 특성곡선은 단독운전의 경우, 동일복성의 송풍기를 직병렬운전하는 경우 그리고 서로 다른 특성을 가진 송풍기를 직병렬 운전하는 경우로 구분 할 수 있으나 그림1은 병렬운전에 대한 특성만을 보인다.

그림2는 본연구 실험 대상이었던 라디알 팬의 배인제어와 속도제어시의 편효율곡선을 보인다. 이들에 대하여 배인제어나 속도제어를 행할 경우 그림1에 보이는 저항곡선(R)을 따라 동일개도 또는 동일속도에서 운전되지만 배인제어와 속도제어를 혼용할 경우 병렬 운전할 수 있는 배인개도와 속도의 조합은 동일 풍압에서 대단히 많아진다. 이때 편은 그림1-(C)와 같이 서로다른 특성을 가진 것으로 표현 할 수 있다. 그리고 속도제어용 편은 운전풍압에따른 최소 운전속도가 결정되게 되므로 이보다 낮은 속도에서 운전하게되면 역류 현상이 발생한다. 이와같이 일정풍압 아래에서 배인제어와 속도제어의 병렬운전은 운전조합조건에따라 각편의 분담풍량이 변화하므로 입력은 식(1) 및 (2)와 같다.

배인제어

$$P_m = K \cdot \frac{\text{풍 량}}{\text{편효율} \cdot \text{전동기효율}} \quad \text{---(1)}$$

속도제어

$$P_s = K \cdot \frac{\text{풍 량}}{\text{편효율} \cdot \text{전동기효율} \cdot \text{인버터효율}} \quad \text{---(2)}$$

이들을 일정방법으로 병렬운전 할 경우 그림1은 2배가 되지만 배인과 속도제어를 혼용 할 때는 각 운전조합으로 결정되는 입력의 합으로 나타난다.

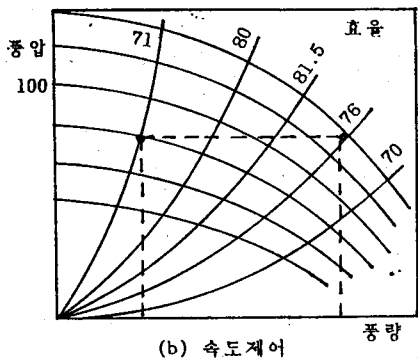
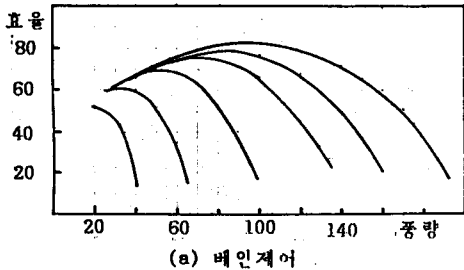


그림2 라디알팬의 효율곡선

3. 사전모의 시험

사전모의 시험을 통하여 실제용 적용시 얻을 수 있는 값을 검토하였다. 이를 위하여 송풍기에 대한 배인개도별 풍량과 효율, 풍량과 풍압특성 그리고 전동기와 가변속장치의 부하율별 효율 특성자료를 이용하여 분석용 프로그램을 작성하였으며 그 흐름도는 그림3과 같다.

해석은 병렬운전시 배인개도를 그림2에서와 같이 6개의개도별 효율 - 풍량곡선을 기준하여 이와 조합은전될 속도제어전동기의 속도와 입력을 계산하고 그결과를 최소자승법(Least Squares Method)에 적용하여 식(3),(4)의 상수를 계산하므로써 각 입력을 풍량의 함수로 표현 할 수 있다. 이때 총풍량은 풍압의 변동이 없으므로 식(5)로 나타낼 수 있다.

배인제어용 입력

$$P_v = A1+b1*Q_v+C1*Q_v^2 \quad \text{---(3)}$$

속도제어용 입력

$$P_s = A2+B2*Q_s+C2*Q_s^2 \quad \text{---(4)}$$

총풍량

$$Q_t = Q_v+Q_s \quad \text{---(5)}$$

여기서 각제어별 부하분담은 주어진 제약조건인 풍량평형의 등식제약과 송풍기 상태별 부등식제약을 만족하면서 총입력 Pt를 최소화 할때 구동시스템의 효율을 최고로 할 수 있다. 즉

최소화  $P_t = \sum P_i(Q_i) \quad i \in R \quad \text{---(6)}$

제약  $Q_t = \sum Q_i \quad i \in R \quad \text{---(7)}$

$Q_{imin} \leq Q_i \leq Q_{imax} \quad i \in R \quad \text{---(8)}$

따라서 Lagrange Multiplier P를 도입하여 입력을 최소화 하는 조건은 다음과 같다.

$F = P_t + p(Q_t - Q_v - Q_s) \quad \text{---(9)}$

$\frac{dF}{dQ_i} - p = 0 \quad \text{---(10)}$

이과정에서 Local Minimum이 2씩 나타나는 경우가 저풍압에서 발생하여 이때는 Global Minimum 주위 값을 이용하여 상수를 결정하였다.

4. 실험결과 및 검토

실험대상은 기설보일러의 강압송풍기 구동시스템으로 부록에 있는바와 같다. 모의시험결과와 실제용 적용시험결과와는 표1,2,3과 같다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 모의시험

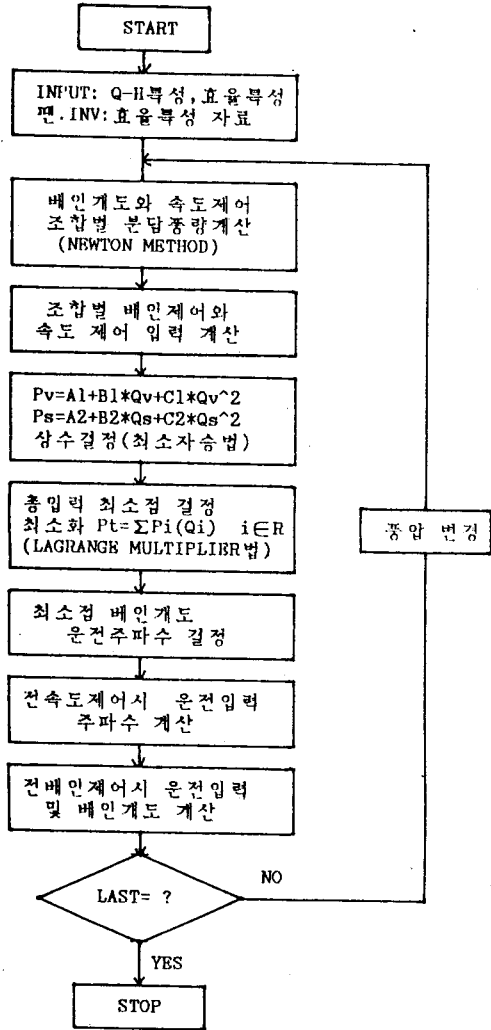


그림3 프로그램 흐름도

결과와 실험결과가 거의 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 표3에서 경향은 실험결과와 일치하고 있지만 배인계도는 상당한 오차를 가지고 있다는 것을 알 수 있었다. 이는 실계용운전시 종량의 측정장비가 설치되어 있지 않았고 배인의 계도 또한 장기운전의 기설정치로 특성곡선치와 정확히 일치하지 않는 것으로 생각된다.

이자료에서 알 수 있는바와 같이 설비의 부하율에 따라 속도제어만을 채용한다 하더라도 입력전압은 혼용시 1대분의 2배보다 낮다는 것을 알 수 있고 이편차는 부하율이 낮아질수록 더욱 증대되고 있다. 이러한 자료를 이용하여 설비운전 부하율에 따른 경제성을 고려한 가변속장치의 구배와 시스템효율 향상을 도모할 수 있을 것이다.

표-1 운전상태별 최소입력

종압 mmWG	총 입 력				
	모의시험		실계용시험		
	배인	혼용	속도	배인	혼용
250	505	436	386	520	428
226	485	408	348	***	***
200	466	378	312	***	***
188	456	361	294	470	350

\*\*\* : 실험 미 실시

표-2 최소입력시 배인계도와 주파수

종압 mmWG	모의 시험		실계용 시험	
	배인계도	주파수	배인계도	주파수
250	77 %	45.9Hz	75 %	43.8Hz
185	53 %	39.7 %	40 %	38.0Hz

표-3 종압변화에 따른 입력변화

종압 mmWG	배인제어		속도제어		입 력 계	시 험 값
	계도	입력	주파수	입력		
250	100	361	43	94	455	440
	73	313	45	127	440	430
	62	284	47	155	439	451
	47	232	50	218	450	488
	33	201	54	297	498	***
185	100	328	37	46	374	390
	73	302	39	70	372	360
	62	287	40	94	381	350
	47	220	43	136	356	365
	33	206	46	183	389	***
27	158	50	243	401	401	

5. 결론

본연구에서 제안된 배인과 속도제어의 병렬은 전방식을 산업계에 적용하여 실증함으로써 그효과가 입증되었고 경제성을 고려한 시스템의 효율향상에 기여 할 것으로 생각된다.

그리고 이시스템에 프로세스를 이용하여 계산값을 초기치로하는 점에서부터 시행착오법으로 입력최소점을 찾아서 배인계도와 운전주파수를 결정하는 실시간 제어를 행할 경우 실계용에서 특성변화에 대응시킬 수 있을뿐아니라 항상 최적점에서 운전되도록 할 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

[1] Min H. Park, Seung Ki Sul "Microprocessor-based optimal efficiency drive of an induction motor" IBBE trans., Vol.IE-31, no.1,1984

[2] 설승기, "적응추적제어법에 의한 가변속 유도 전동기의 운전효율 개선", 공학박사 학위논문, 서울대학교, 1986.

[3] Donald E. Kirk, "Optimal control theory an introduction", Prntice-Hall Inc., P161-177, 1970

[4] R. Belmans, D. Vermeulen, A. Vandemput, and W. Geysen, "Economy of the introduction of adjustable speed drives for pumps, fans and compressors", IERE, IA. part1, 1986

[5] 森勲, "電動機と回転制御(F)", 省エネルギー-センタ- 7.77, 昭和59.2.1

[6] "送風機 圧縮機 計劃設計 デ-タ集", 送風機 圧縮機 計劃設計 デ-タ集 編集委員会 編, 日刊工業新聞社, P. 116-117, P. 137-140, 昭和39.8

부록

적용 실험대상 기기

[1] 송풍기  
Radial Fan, 설계풍량: 47.2 [cu.M/sec],  
정격풍량: 38.9 [cu.M/sec], 설계지속동력 : 310 [KW], 정격속동력 : 231 [KW]  
설계효율: 82 [%], 정격효율: 63 [%]  
정격속도 : 1160 [RPM], 설계풍압 : 549.5 mmWG, 정격풍압 : 383.7 [KW]

[2] 전동기  
정격 : 3상 6,000 [V] 60 [Hz] 42 [A]  
역율 : .87                      출력 : 350 [KW]  
효율 : 92 [%]                  정격속도 : 1180 [RPM]

[3] 교류가변속 장치 (Inverter)  
입력 : 3상 440 [V] 60 Hz, 6펄스  
출력 : 3상 500 [KVA], 400 [V] 60 [Hz]  
전압범위 : 40 - 400 [V]  
주파수 범위 : 6 - 60 [Hz], 12펄스  
입출력변압기부. 총합효율 : 90 [%]

