

V/F제어를 이용한 송풍기의 일정한 공기압제어

정종호*, 문제연**, 윤서진*, 이은웅*
 충남대*, 한국담배인삼공사**

A Constant Air Volume Rate Control of Blower Using V/F Control

Jong-Ho Jeong*, Je-Yeon Mun**, Seo-Jin Yun*, Eun-Woong Lee*
 Chungnam National University*, Korea Tabaco & Ginsang**

Abstract - This paper presents technique to control blower at constant air volume rate using V/F control. Especially, this control method have not pressure sensors to measure because of using torque-speed relation based on the fan laws. Therefore, this technique is very simple and practical.

제어법 보다 제어 정도면에서 다소 떨어지지만 시스템이 간단하고 설치비용이 저렴하여 고정도를 요구하지 않는 산업현장에 적용하기에 적합하다.

1. 서 론

2. 일정한 공기압 제어의 원리

연초 제조장의 설비중에는 일정한 유체량을 주입하는 공정이 있고, 이 공정 설비에는 송풍기를 구동하는 전동기가 운전되고 있으며 이 전동기는 일정한 공기압을 유지하는 제어가 요구된다. 본 연구에서는 이와같은 송풍기의 일정한 공기압 유지를 위한 제어방법을 제안하려 한다. 송풍기에서 실린더와 같이 일정한 용적중에 흡입된 기체의 용적을 회전날개 또는 피스톤으로 점차 혹은 급격히 감소시키는 방법을 용적형이라 한다. 이러한 용적형은 연초 제조장에서 원료있담배가 실린더를 통과하는 동안 가향료를 분무, 침투하는 가향기에 주로 사용되고 있다. 그러나, 현재 사용되고 있는 대부분의 송풍기는 뎀퍼에 의해 압력을 조절하는 것이 일반적이나 뎀퍼를 이용할 경우 정확한 공기압을 조절하기 어려울 뿐만 아니라 에너지 효율을 저하시키는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 인버터를 채용하여 유도전동기를 가변속제어 하므로써 에너지 효율을 개선하는 데 관심이 모아지고 있다.

유도전동기에 의해 송풍기가 구동 될때, 전동기의 토크와 부하조건에서 공기압을 유지하는 부하 토포크가 같다면 송풍기의 속도는 팬법칙으로 부터 유도할 수 있다.[2]

$$\frac{T_1}{\omega_1} = \frac{T_2}{\omega_2} \quad (1)$$

T_1 는 현재 운전점에서 회전속도의 토크이고, T_2 는 새로운 운전점에서 회전속도의 토크이다.

그러므로 공기압을 제어하고 측정하는 데 압력센서를 사용하는 대신, 식(1)을 제어원리로 사용하고 유도전동기의 토크-속도비를 일정하게 유지하여 송풍기에서 일정한 공기압을 유지할 수 있도록 한다.

이 제어법은 그림1의 3상 유도전동기의 상당 등가회로로 부터 유도할 수 있다. 전동기는 포화되지 않는 것으로 가정하고, V/F형 인버터로 전동기에 전원을 인가할 때 전동기의 고정자 유효전압과 여자 주파수의 관계는 식(2)와 같이 된다.

$$E = K_s \omega_s \sqrt{\omega_s} \quad (2)$$

E 는 전동기의 상전압과 저항전압 강하의 차이이며, K_s 는 정격주파수에서 고정자에 유효된 전압의 정격전압을 선택하기 위한 상수이다.

이때 전동기의 토크 T 와 고정자 전류 I_s 는 그림1의 3상 유도전동기의 등가회로로 부터 유도할 수 있다.

송풍기의 일정한 공기압제어는 부하의 변화와 상관없이 일정한 공기압을 유지할 수 있도록 송풍기와 연결된 덕트내에 압력센서를 부착하고 그 압력센서로 감지되고 있는 공기압을 피드백하여 유도전동기를 가변속제어하는 것이 일반적이나, 이 방법은 덕트내에 압력센서를 부착하는 비용이 증가하고 덕트내의 센서 부착에 따른 작동기능 과 수명에 대한 신뢰도가 감소하여 실용적이지 못하다.

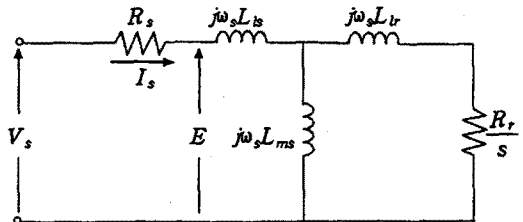


그림1 3상 유도전동기의 1상당 등가회로

그래서 최근 들어 공기압제어에서 압력센서를 사용하지 않고, 유도전동기의 토크-속도 관계를 팬법칙을 기반으로 한 원리를 이용하여 제어 방법을 훨씬 간단하고, 저렴한 비용으로 실용화 하는 쪽으로 관심이 쏠리고 있다.[1]

본 연구에서도 원료있담배의 가향기에 이러한 원리를 도입한 시스템을 설계하기 위해 유도전동기의 평균전류를 제어하는 V/F제어법 채용하였다. V/F제어법은 벡터

$$T = 3 \left(\frac{p}{2} \right) \frac{s\omega_s R_r \left(\frac{L_{ms}}{L_s} \right)^2}{(s\omega_s)^2 (\sigma L_r)^2 + R_r^2} K_v^2 \omega_s \quad (3)$$

$$I_s = \frac{s\omega_s \sqrt{\left(\frac{R_r L_{ms}^2}{L_s} \right)^2 + \left(\frac{R_r^2}{s\omega_s} + s\omega_s \sigma L_r^2 \right)^2}}{[(s\omega_s)^2 (\sigma L_r)^2 + R_r^2] L_s} K_v \sqrt{\omega_s} \quad (4)$$

단, $\sigma = 1 - \frac{L_{ms}^2}{L_r L_s}$, $L_s = L_k + L_{ms}$, $L_r = L_{lr} + L_{ms}$

식(3)에서 슬립주파수가 일정하게 유지되고 운전하는 동안 전동기의 파라미터가 변하지 않는다면 전동기에서 발생하는 토크는 여자 주파수 (ω_s)에 비례한다는 것으로 슬립주파수가 일정하게 유지되면 전동기의 토크는 전동기 속도에 비례한다. 또한, 식(4)에서 고정자 전류를 여자주파수의 제곱근에 비례하도록 제어한다면 슬립주파수를 일정하게 유지할 수 있다는 것을 알 수 있다.

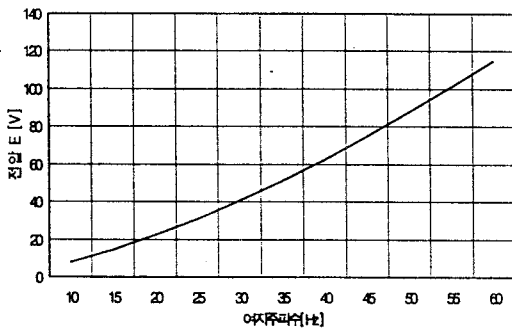


그림2 전압E와 여자주파수 ω_s 와의 관계

3. 제시된 일정공기압 제어원리에 따른 제어특성

일반적인 V/F제어법은 전동기 전압과 주파수를 제어하여 전동기의 전류를 부하에 따르도록 하지만 팬법칙에 유도한 원리를 이용할 경우 전압주파수와 전류주파수만을 이용하여 전동기의 운전전압, 전류, 주파수를 부하에 의해 결정되어진다.

그림3은 전동기 유기전압E에 따른 여자주파수 (ω_s)와 전류 (I_s)의 관계를 나타낸다. 그리고 그림4는 공기압 800cfm, 1000cfm, 1200cfm에 대한 여자주파수 (ω_s)와 전류 (I_s)의 관계를 나타낸다.

그림5는 유기전압E에서 토크-속도특성곡선이며, 그림6은 800cfm, 1000cfm, 1200cfm의 공기압으로 제어 할 때의 토크-속도특성곡선이다.

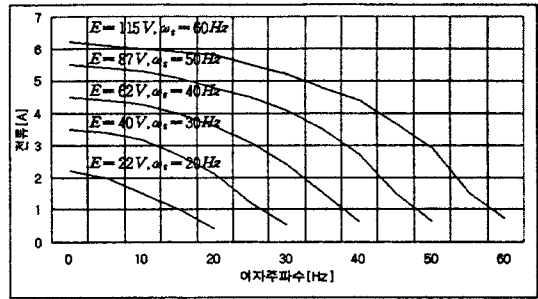


그림3 유기전압E에 따른 여자주파수 ω_s 와 전류 I_s 의 관계

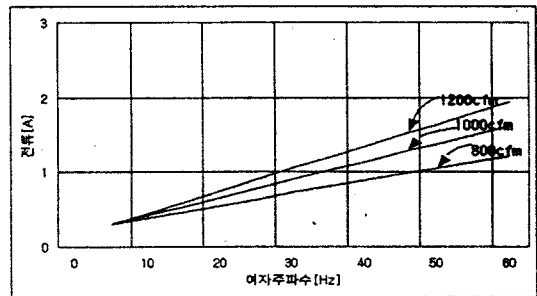


그림4 여자주파수 ω_s 와 전류 I_s 에 대한 공기압(800cfm, 1000cfm, 1200cfm)의 변화

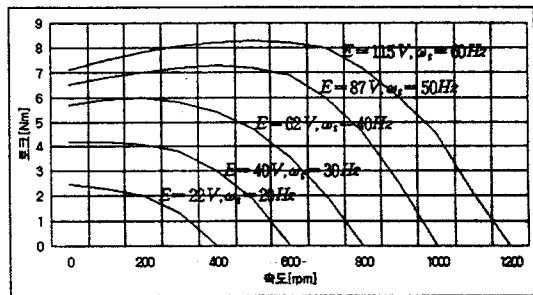


그림5 유기전압 E에 따른 토크-속도 특성곡선

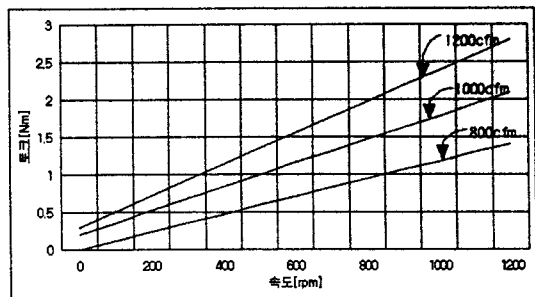


그림6 공기압 800cfm, 1000cfm, 1200cfm에 대한 토크-속도특성곡선

이 제어법은 낮은 공기압을 조절할 경우 제어할 수 있는 공기압의 한계가 있다. 그 원인은 전동기의 토크성

분 전류 I_s 가 매우 작아져서 전동기의 회전자 전기가 속도가 여자주파수에 가까워짐으로써 전동기의 토크제어 효과가 작아지기 때문이다.

표 1 전동기 파라미터

용량(hp)	2	고정자 저항 R_s	0.89Ω
상수(ϕ)	3	회전자 저항 R_r	0.73Ω
회전수 (rpm)	1740	고정자 및 회전자 인덕턴스 L	0.065H
		고정자 및 회전자 상호인덕턴스 L	0.062H

3. 결 론

송풍기를 이용하여 공기압을 일정하게 하기 위해 송풍기 구동을 유도전동기를 V/F제어법을 제안하였다. 특히, 공기압에 대한 피드백 없이 팬법칙에서 유도한 식을 이용하여 공기압을 제어하므로써 덕트내에 압력센서를 부착하지 않아도 되고 그렇기때문에 시스템의 신뢰도가 높아지고 제어구조가 간단하여 실제구현에 있어서 경제적이고 실용적이다.

이러한 제어 방식을 사용한다면 뎀퍼를 이용한 공기압 제어방식에 비해 제어성능은 크게 증가하는 반면에 소요되는 경비가 크지 않기 때문에 고정도가 요구되지 않는 공기압제어에 이용하면 크게 유리하다.

(참 고 문 헌)

[1] Sheng-Ming Yang,, "A Constant Air flow rate control of blower for residential applications", IA, Vol. 34, No. 2, 263-267, 1998

[2] "HVAC systems and equipment", ASHRAE Handbook, ASHRAE, ATLANTA, GA, chap. 19, 1992