

가변 주파수 전류 제어에 의한 다이어프램의 압력제어

林根頤*, 李東熙†

Air-pressure Control of Diaphragm using Variable Frequency Current Control

Geun-Min Lim, and Dong-Hee Lee

요 약

본 논문은 다이어프램의 공기압력을 제어하기 위한 가변 주파수 전류 제어를 제안한다. 제안된 제어기는 기존의 다이어프램의 공기압력을 제어하는 방법과는 달리 단상 인버터를 이용하여 상 전류와 주파수를 제어한다. 한 상의 전류는 다이어프램의 지령 공기 압력을 추종하도록 조절되고, 전류 주파수는 기계적인 진동을 줄이기 위해 변화한다. 일정한 공기압력으로 부드럽게 변화하기 위해서 전류 주파수는 전류 제어기에서 제어전압에 따라 제어되며, 이 때의 상전류가 일정한 공기압력에 만족하게 되면 전류주파수는 다이어프램의 진동을 줄이기 위해 증가된다. 제어 전압에 의한 상 전류가 지령값보다 높게 되면 전류 주파수는 공기압력을 추종하기 위해 감소된다. 제안된 제어 방식은 상용 다이어프램을 이용한 실험을 통해 확인하였다.

ABSTRACT

This paper presents a variable frequency current control scheme for the air-pressure control of diaphragm. Differ from the conventional air-pressure control of diaphragm, the proposed method uses a single-phase inverter to control the phase current and frequency. The phase current is adjusted to keep the reference air-pressure of the diaphragm. And the current frequency is changed to reduce the mechanical vibration. In order to smooth change of the operation with a constant air-pressure, the frequency is changed according to the voltage reference from the current controller. When the phase current is satisfied to the constant air-pressure, the current frequency is increased to reduce the vibration of the diaphragm. When the reference voltage to keep the phase current is over than the set value, the current frequency is decreased to keep the air-pressure. The proposed control scheme is verified by the experimental test of a commercial diaphragm.

Key Words : Variable Frequency Current Control, Air-pressure control, Diaphragm, Reduce the vibration, Air-pump, Fuel Cell System

1. 서 론

다이어프램은 유연성이 있는 고무 또는 진동판에 연결된 축이 선형으로 운동하면서, 진동판에 의해 공기를 압축하여 토출하는 구조를 가진다.^[1,2] 다이어프램은

전동기에 비하여 기계적인 구조가 매우 단순하여, 회전형 블로워가 적용되기 어려운 소형 공기압축기 또는 공기조절기에 사용되고 있으며, 최근에는 연료전지의 공기압 조절장치로 적용되고 있다. 특히, 소형 다이어프램의 경우에는 일본에서 1[kW]급의 연료전지 발전 시스템에서 공기압 및 수소압 제어 장치의 표준으로 적용되고 있다.^[3,4]

다이어프램의 추력발생 원리는 기본적으로 리니어 전동기와 동일하지만, 단상 구동형으로 리니어 전동기에 비하여 간단한 자기회로를 가지고 있으며, 설계 방

†교신저자 : 정회원, 경성대 메카트로닉스공학과 조교수

E-mail : leedh@ks.ac.kr

*학생회원, 경성대 메카트로닉스공학과 석사과정

접수일자 : 2010. 12. 13 1차 심사 : 2011. 1. 31

심사완료 : 2011. 3. 11

식에 따라 축방향 이외의 방사방향의 힘도 비교적 크게 발생한다. 또한 단순한 전후 운동을 통하여 진동판을 압축하는 방식을 사용하게 되므로, 별도의 위치 센서를 사용하지 않고 오픈루프구동하게 된다.

다이어프램의 축방향 운동의 주기는 다이어프램에 인가된 주파수에 의존적이며, 추력은 전류의 크기에 의존적이다. 일반적으로 다이어프램은 일정한 주파수의 상용 전원을 인가하여 공기압을 생성시키고, 공기압 조절밸브를 통하여 압력을 조절하게 된다. 공기압 조절밸브에 의한 압력조절은 연속적인 압력 조절이 어려운 단점이 있고, 다이어프램의 동특성은 기계적인 구조에 의존적이다. 다이어프램은 기계 구조상 자기회로의 여자에 따라 전후 운동을 하는 추력으로 진동판을 움직여서 흡입공기를 압축하는 동작을 수행하게 되므로, 진동판의 압축에 따른 소음 및 진동이 발생하게 된다. 이러한 다이어프램의 소음 및 진동은 자기회로의 설계에 매우 의존적이지만, 동일한 자기구조에서 진동 및 소음은 운전 주파수에 의존적으로 된다. 다이어프램의 양축은 기계적인 진동에 의해 압축하는 구조로, 주파수의 증가에 따라 이동자는 높은 뎀핑계수로 인하여 동일한 추력에서 이동자의 이동 거리가 감소하게 된다. 이는 운전주파수가 감소하게 되면, 진동판의 전후 운동거리가 상대적으로 증가하게 되고, 이러한 저주파의 운동거리의 증가가 소음 및 진동을 증가시키는 원인이 된다.

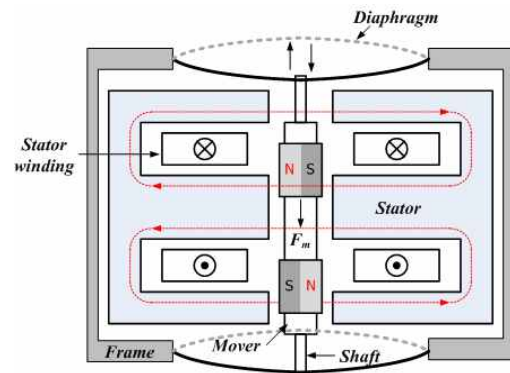
본 논문에서는 연속적인 다이어프램의 공기압 제어를 위하여 단상 인버터 구동방식을 도입하고, 부하 변동에 대해서 연속적인 토출압력을 제어하는 압력제어 방식을 제안한다. 또한, 토출압력의 제어에서 최대한의 소음 및 진동을 억제하기 위해 가변주파수 전류 제어 방식을 적용함으로써, 동일한 토출압력에서 최소의 소음 및 진동이 발생하는 제어기법을 제안한다.

제안된 방식은 다이어프램의 공기토출 압력을 제어하기 위하여 다이어프램에 인가되는 상전류를 제어하고, 상전류의 주파수는 소음 및 진동을 억제하기 위한 가변 주파수로 동작하는 방식이다. 다이어프램의 공기압은 주파수와 전류에 따라서 가변적이므로, 전류를 선행제어하고, 운전 주파수는 전류를 제어하기 위한 제어전압의 범위에 따라 가변함으로써, 일정한 토출압력을 유지하며 소음 및 진동을 억제할 수 있다.

제안된 방식을 검증하기 위하여, 상용으로 설계된 다이어프램을 적용하여 연속적인 공기 토출압력 제어 시스템을 구현하였으며 제안된 가변 주파 전류 제어방식에서의 진동 및 소음 특성을 측정하였다.



(a) Diaphragm structure



(b) Operating principle

그림 1 다이어프램의 구조 및 동작원리
Fig. 1 Diaphragm structure and operating principle

2. 다이어프램의 구조 및 특성

2.1 다이어프램의 구조

그림 1은 다이어프램의 구조 및 동작원리를 나타내고 있다. 그림 1에서 다이어프램의 고정자는 E-코어와 고정자 권선을 가지고 있으며, 이동자는 영구자석으로 구성된다.

이동자의 축 끝단에는 유동성이 있는 진동판을 가지고 있고, 이동자의 전후 운동에 의해 진동판이 공기를 압축하여 토출구로 배출하는 동작을 하게 된다. 이동자의 전후 운동은 고정자 권선의 전류 방향에 따라 이동자의 영구자석에 의한 자속과의 상호 작용에 의해 발생하게 되며, 추력의 크기는 고정자 권선의 전류에 의존적이다

이러한 다이어프램의 동작원리는 기본적으로 리니어 전동기와 동일하지만, 단상 구동형으로 단부효과가 매우 크고, 진동판의 압축부하에 따라 비선형적인 부하가 연속적으로 가해지게 되며, 단순한 전후 운동을 하게 되므로, 별도의 위치센서 없이 교류전류에 의해 이동자를 동작하게 된다.

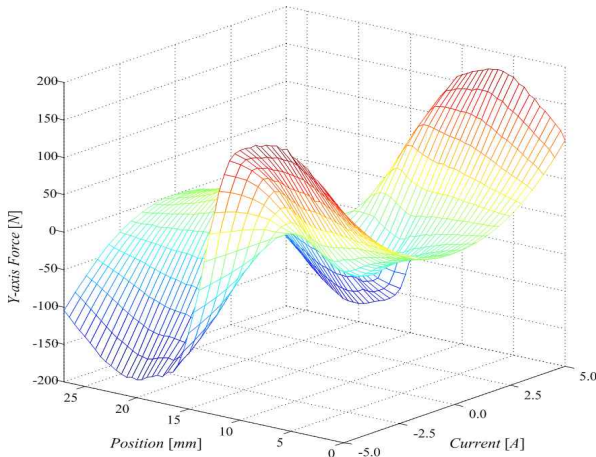


그림 2 전류와 위치에 따른 다이어프램의 추력특성
Fig. 2 Force of diaphragm according to the current and position

그림 2는 본 논문에서 적용한 상용 다이어프램의 추력의 FEM(Finite Element Analysis) 특성 해석 결과를 나타내고 있다. 그림 2에서 다이어프램의 추력은 전류의 크기와 다이어프램의 이동자에 대한 고정자의 위치에 따라 정현적인 특성을 가지고 있으며, 이상적으로 이동자의 위치제어를 수행하는 경우 일정한 추력을 발생시킬 수 있다.

이동자의 위치를 회전각도로 환산하는 경우 이동자의 추력은 리니어 전동기와 같이 전류의 크기와 위치에 따라 다음과 같이 표현할 수 있다^[5].

$$F_m = k_f \cdot i_{qs} = k_f \cdot i_m \cdot \cos(\theta_m) \quad (1)$$

단, k_f 는 추력계수 [N/A]를 의미하며, 추력계수는 다이어프램의 자속의 세기와 공극의 크기에 따라 결정된다. 또한, i_m 은 고정자 권선의 전류를 나타내며, θ_m 은 고정자 전류와 이동자 자속의 각도를 나타낸다.

또한, 이동자의 운동 방정식은 추력에 대하여 진동판의 댐핑 및 단부효과에 의한 디텐트력을 고려하여 다음과 같이 표현된다.

$$F_m = M_m \cdot \frac{dv_m}{dt} + D_m \cdot v_m + F_l + F_c \quad (2)$$

단, v_m 은 이동자의 속도이고, F_l 은 부하 추력을 의미하며, F_c 는 단부효과에 의한 디텐트력을 나타내고 있다. 또한, M_m 과 D_m 은 다이어프램 이동자의 무게와 댐핑계수를 나타내고 있다.

다이어프램의 이동자의 자속 방향을 d축으로 나타내고 운동방향을 q축으로 정의하면, 다이어프램의 전압 방정식은 리니어 전동기와 동일하게 d-q축으로 환산하여 다음과 같이 표현할 수 있다

$$v_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + L_s \cdot \frac{di_{qs}}{dt} + k_e \cdot v_m \cdot (L_s \cdot i_{ds} + \lambda_{\max}) \quad (3)$$

$$v_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + L_s \cdot \frac{di_{ds}}{dt} - k_e \cdot v_m \cdot L_s \cdot i_{qs} \quad (4)$$

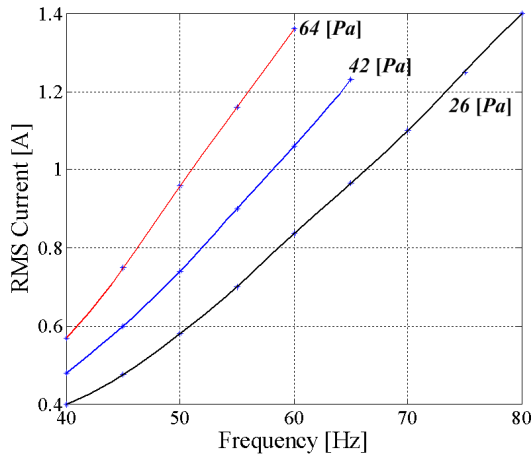
이때, k_e 는 역기전력 상수를 나타내며, 각 $k_e \cdot v_m \cdot \lambda_{\max}$ 와 $-k_e \cdot v_m \cdot L_s \cdot i_{qs}$ 는 qs 축과 ds 축의 역기전력 성분을 나타내고 있다.

2.2 다이어프램의 운전 특성

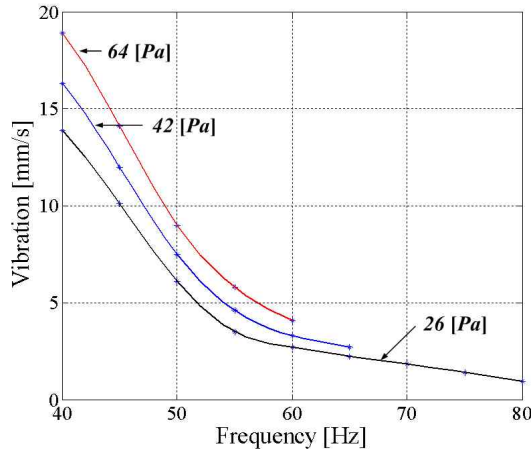
다이어프램의 동작원리는 기본적으로 리니어 전동기와 동일하지만, 단상 구조로 단부효과가 매우 크고, 단순한 직선운동을 위해 별도의 위치센서 없이 교류 전류에 의해 진동판을 동작시킨다. 또한 기본적인 진동판의 부하는 이동자의 이동과 토출 공기의 부하압력에 따라 매우 비선형적으로 가변되는 특성을 가지고 있다.

다이어프램의 공기토출 압력은 이동자의 진동판 운동에 따른 공기 압축에 의해 유지되고, 이동자의 진동판 운동은 고정자 전류의 교변 주파수와 전류 크기에 따라 발생하는 이동거리 및 추력의 크기에 매우 의존적이다. 또한, 진동판이 압축공기를 형성할 때, 원형의 진동판에 가해지는 불균일한 압축공기의 부하에 의해 이동자의 축 뒤틀림이 매우 크게 발생하고 이에 따른 소음 및 진동이 매우 크게 나타나는 특징이 있다. 이러한 진동판의 공기압력 불균형과 진동판의 운동에 따른 소음과 진동은 진동판의 전후 운동 거리 및 운동속도에 매우 의존적이다.

그림 3은 실험에 사용된 다이어프램의 운전 주파수에 따른 전류와 진동 특성을 나타내고 있다. 그림 3에서 요구 공기압이 증가할 수록 다이어프램의 전류는 상승하고, 진동이 증가하게 된다. 또한 그림 3(b)에서 다이어프램의 진동은 운전 주파수가 증가할 수록 급격하게 감소하고 있음을 보이고 있다. 즉, 다이어프램의 진동을 억제하기 위해서는 운전주파수를 상승시키고, 이에 따른 출력을 발생하는 전류의 인가가 필요함을 의미한다.



(a) 주파수에 따른 전류 특성



(b) 주파수에 따른 진동 특성

그림 3 다이어프램의 운전 주파수에 따른 특성
Fig. 3 Operating characteristics of diaphragm according to the frequency

3. 제안된 공기압 제어 방식

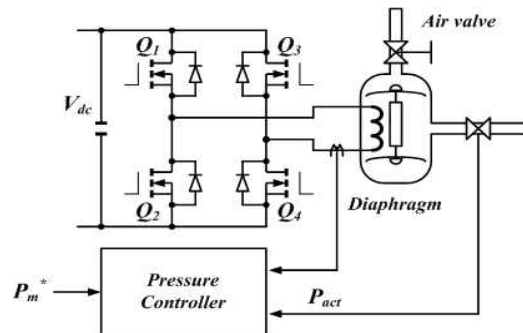
3.1 PI 제어형 압력 제어기

일반적으로 다이어프램은 고정된 상용전원으로 진동자의 왕복운동에 의해 압축된 공기를 토출하도록 동작시키고 있으며, 토출 압력은 공기의 입력측 밸브 또는 출력단의 밸브 조절에 의해 압력을 조절하도록 사용되고 있다. 이러한 방식은 공기압의 미세한 조절이 매우 어려우며, 자동 조절 밸브를 적용하는 경우에도 공기압 조절의 응답성이 매우 낮은 특성을 가진다. 또한, 다이어프램의 진동판은 진동 주파수에 따라, 운동방향의 축으로 강한 진동을 일으키게 되고 이러한 진동은 시스템의 진동 및 소음을 크게 증가시키는 원인이 되고 있다.

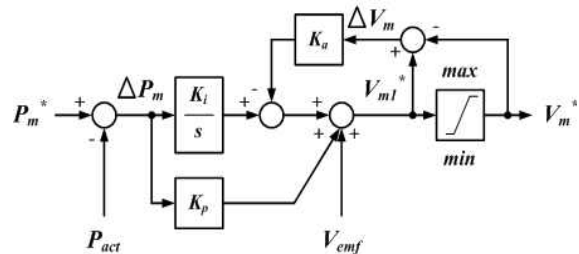
특히, 운전 주파수가 낮은 경우에는 진동판의 이동 거리가 길어지게 되어 공기압은 증가하지만, 진동이 크게 증가하게 된다. 진동판의 운전주파수를 증가하는 경우에는 그림 3과 같은 운전주파수에 따른 진동특성과 같이 진동이 크게 감소하게 된다. 하지만, 운전 주파수를 증가하는 경우에는 진동판의 이동거리가 짧아지게 되므로, 같은 전류에 대해서 공기압이 감소하는 문제가 발생한다.

다이어프램의 이동자에는 이동 거리를 측정하기 위한 별도의 위치센서를 부착하기가 매우 어려우므로, 매우 정밀한 위치제어를 구현하기가 어렵다. 또한, 진동판의 기계적인 진동에 의해 부하추력을 추정하는 관측기의 설계가 매우 복잡하고 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 다이어프램의 진동을 억제하는 공기 토출 압력의 제어를 가변주파수 방식의 전류제어기를 제안하였다. 제안된 방식은 지령 공기압을 만족하는 최대 주파수의 운전을 통하여 다이어프램의 진동을 억제하는 방식이다. 외부 부하의 증가에 따라 공기 토출 압력이 전류제어로 만족하지 못하는 경우에는 운전주파수를 감소시켜 토출압력이 지령치를 추종하는 주파수에서 운전을 수행하게 된다.



(a) 인버터 구동형 다이어프램의 구조



(b) 안티-와인더업 PI압력 제어기

그림 4 가변 주파수의 제어를 위한 인버터형 다이어프램과 압력제어기

Fig. 4 Inverter fed diaphragm and PI controller for the variable frequency control

그림 4는 인버터의 전압 및 전류 제어를 통한 압력 제어를 수행하는 인버터형 다이어프램의 구조를 나타내고 있다. 기존의 상용 전원을 사용하는 경우에는 공기압의 조절은 흡입구의 공기 조절 밸브를 통하여 수동으로 조절하거나, 자동 조절 밸브를 사용하여 기계적으로 조절하도록 구성되지만, 인버터형 다이어프램의 경우에는 인버터의 출력전압의 제어로 다이어프램의 전류 및 주파수를 제어할 수 있도록 구성된다.

본 논문에서 다이어프램의 공기압 제어는 H-bridge형 인버터의 전류 제어에 의해 이동자의 추력을 가변하는 방식으로 그림 4와 같이 간단한 인버터로 다이어프램을 구동하게 되고, 흡입구의 공기조절 밸브는 조절하지 않고 고정식으로 사용하게 된다. 공기압 제어를 위해서는 직접 전류 제어를 수행하는 것이 가장 효과적이거나, 다이어프램에서 위치각을 추정하기가 매우 어려우므로, 본 논문에서는 역기전력 보상항을 가지는 PI 제어기를 통하여 토출 압력을 제어하도록 설계하였다. PI 제어기에서 토출 압력을 조절하기 위한 전압 지령은 다음과 같이 계산된다.

$$V_m^* = V_{con} + V_{cmf} \quad (5)$$

이때, V_{con} 는 다이어프램의 토출 공기압을 제어하기 위한 PI 제어기의 출력으로 안티 와인드업 (Anti-windup) 구조를 가지도록 설계하였으며, 지령 공기압을 P_m^* 으로 하고 피이드백 되는 실제 공기압 P_{act} 라고 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta P_m = P_m^* - P_{act} \quad (6)$$

$$V_{m1}^* = K_p \cdot \Delta P_m + K_i \cdot \int (\Delta P_m - K_a \cdot \Delta V_m) \cdot dt \quad (7)$$

이때, K_p , K_i 및 K_a 는 비례 및 적분이득과 안티 와인드업의 피이드백 이득을 나타내고 있으며, 그림 4(b)의 V_m^* 은 제어기의 출력 V_{m1}^* 이 인버터의 출력제한에 의해 제한되는 지령 전압을 나타내고 있다. 식(6)과 (7)에서 공기압력 P_{act} 는 제어부위에 부착된 압력센서를 통하여 제어기로 입력된다.

식(5)에서 V_{cmf} 는 역기전력 성분을 보상하기 위한 것으로, 운전주파수에 따라 이동자의 속도가 일정하게 동작한다고 가정하면, 지령주파수에 비례한 크기로 표현될 수 있다. 제안된 방식에서 다이어프램은 정확한 순간속도를 검출하기 위한 별도의 센서를 부착하지 않

고 일정한 공기압을 제어하기 위해 사용되고 있으므로, 본 논문에서는 지령 운전 주파수에 비례하는 크기로 연산을 수행하였다.

$$V_{cmf} = K_{fr} \cdot f_m^* \quad (8)$$

단, K_{fr} 은 운전주파수와 역기전력의 비례계수 [V/Hz]이다.

3.2 가변 주파수 제어기

본 논문에서 제안된 공기압 제어기에서 다이어프램의 전류 주파수는 다이어프램의 진동판에서 발생하는 진동을 억제하기 위해서 최대 주파수 운전을 수행하는 방식이다. 토출 압력은 외부 부하에 따라 가변적이므로, 운전 주파수에서 외부 부하에 대응하기 위한 상전류의 크기는 가변적이다. 또한, 운전 주파수 변동하게 되면, 운전 주파수에 따른 역기전력의 크기가 변동하게 되므로 이에 따라 전류의 크기가 변동하게 되고 토출 공기압의 변화가 발생하게 된다.

또한, 운전 주파수의 증가에 따라, 이동자가 주행하는 거리가 감소하게 되고 이에 따라 동일한 공기압을 유지하기 위한 전류의 크기도 상승하게 된다. 따라서 본 논문에서는 진동을 억제하기 위한 최대 주파수의 운전에서 주파수의 변동에 대응하는 보상항을 통하여 주파수의 변동에 대해서도 일정한 공기압이 유지될 수 있도록 가변 주파수 제어기를 설계하였다.

그림 5는 본 논문에서 적용한 가변 주파수의 제어 방식을 도식적으로 나타내고 있다. 그림 5에서 V_m^* 은 토출 공기압을 추종하기 위한 인버터의 전압 지령값을 나타낸다. 그림 5에서, 인버터의 전압 지령은 가변 주

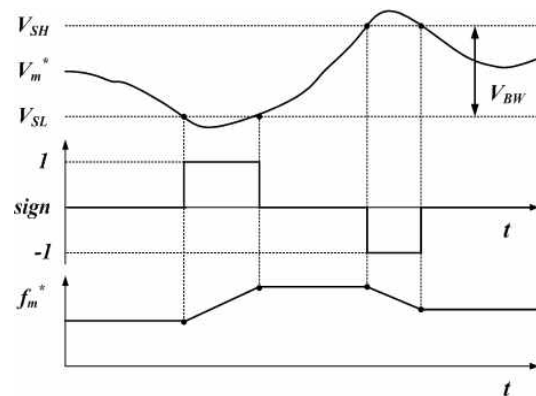


그림 5 운전 주파수의 제어 방식
Fig. 5 Operating frequency control scheme

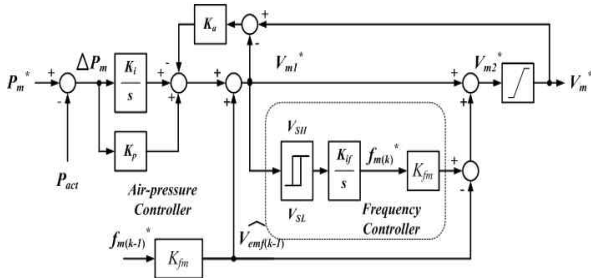


그림 6 제안된 다이어프램 공기압 제어 블록도
Fig. 6 Proposed air-pressure control block of the diaphragm

파수 제어기에서 설정한 최대 전압 V_{SH} 와 최소 전압 V_{SL} 의 대역에서 전압 대역을 벗어나는 경우에 전압 대역의 부호와 설정된 적분이득을 곱하여 주파수를 변동하도록 설계하였다. 주파수 가변 제어기에서 설정된 주파수 대역 V_{BW} 가 좁은 경우에는 급격한 주파수의 변동이 발생하여, 토출압력을 제어하는 PI 제어기의 응답이 추종하지 못하는 경우가 발생할 수 있고, 대역 폭이 넓은 경우에는 진동의 억제 효과가 낮은 주파수에서의 운전 될 수도 있다. 본 논문에서 최대 전압과 최소전압은 인버터가 발생할 수 있는 전압의 92[%]와 87[%]로 설정하여, 대역내에서는 주파수가 변동하지 않도록 설계하였다.

그림 6은 본 논문에서 제안하는 가변 주파수 전류 제어에 의한 다이어프램의 공기압 제어 블록도를 나타내고 있다. 그림 6에서 전체 제어 블록도는 공기압을 제어하는 PI 제어기와 가변 주파수 제어기 및 주파수 변동에 따른 오차를 보상하기 위한 보상항으로 구성되어 있다.

제안된 제어 블록도에서 먼저 공기압력의 제어를 위해 인버터의 전압 및 전류를 제어하는 그림 4(b)의 PI 제어기 출력과 이전 지령주파수에 의한 역기전력 성분의 계산을 통해, 다이어프램의 전압 지령 V_{m1}^* 이 다음과 같이 계산된다. 식(10)에서 K_{fm} 은 운전 주파수에 따른 역기전력을 보상하기 위한 계수로, 역기전력 상수 K_{fr} 및 전류의 변화분을 포함하도록 하는 함수로 구성된다.

$$V_{m1}^* = V_{con} + \widehat{V_{cmf(k-1)}} = V_{con} + f_{m(k-1)}^* \cdot K_{fm}(f_m) \quad (9)$$

$$K_{fm}(f_m) = K_{fr} + K_c(f_m) \quad (10)$$

다이어프램의 전압지령 V_{m1}^* 으로 지령 주파수 $f_m^*(k)$

는 그림 5와 같이 최대전압 V_{SH} 와 최소전압 V_{SL} 대역에서 히스테리시스 방식으로 제어된다. 전압지령이 최대전압 V_{SH} 을 넘어서는 경우에, 지령 주파수를 감소시키고, 최소전압 V_{SL} 이하로 감소하는 경우에는 지령 주파수를 상승시킨다. 이때, 전압지령이 전압 대역을 벗어나는 경우에 변동하는 주파수의 응답성은 그림 6에서 보이는 바와 같이 주파수 제어이득 K_{if} 로 결정되며, 이에 따른 역기전력 보상항은 다음과 같다.

$$\widehat{V_{cmf(k)}} = f_{m(k)}^* \cdot K_{fm}(f_m) \quad (11)$$

이전 상태의 제어 주파수와 현재 상태의 제어주파수가 다른 경우에는 역기전력의 차이에 의해, 전류 제어 특성이 변동하게 되므로, 변동되는 제어 주파수에 따른 역기전력의 오차 성분은 다음과 같이 계산된다.

$$V_{m2}^* = V_{m1}^* + \widehat{V_{cmf(k)}} - \widehat{V_{cmf(k-1)}} \quad (12)$$

4. 실험결과

제안된 방식의 검증을 위해서 상용으로 설계된 다이어프램을 적용하여 실험을 수행하였다. 그림 7은 실험 환경을 나타내고 있다.

그림 7에서 단상 인버터는 FET로 구성된 H-bridge 형태로 설계되었고, 전류를 검출하기 위한 전류센서가 적용되었다. 고정자 권선의 상전류와 토출 공기압은 제어기의 12비트 AD 컨버터를 통하여 입력되고, 내부에서 연산을 통해 제어에 반영된다. 본 논문에서 공기

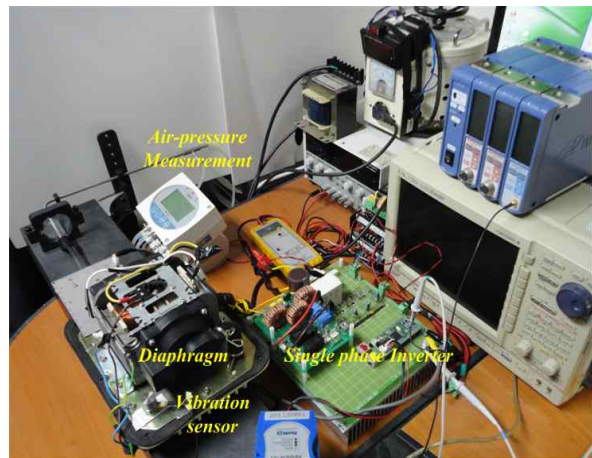


그림 7 실험환경
Fig. 7 Experimental configurations

압은 풍압측정장치인 CP300의 평균압력 출력을 사용하여 제어기로 피드백 하도록 설계하였다

그림 8은 60[Hz]의 동일한 주파수에서 토출 공기압의 지령을 가변 하였을 경우에 대한 실제 공기압과 운전 주파수 및 상전류와 다이어프램의 진동을 나타내고 있다. 또한, 그림 9는 동일한 토출압력에 대한 주파수의 변동에 따른 진동 특성을 나타내고 있다. 그림 8에서 동일한 주파수에서 다이어프램의 진동은 공기압이 감소할수록 진동이 서서히 감소하는 것을 보이고 있다. 하지만, 그 크기는 그림 3(b)에서 제시된 것과 같이 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

그림 9의 실험결과에서 다이어프램의 진동은 동일한

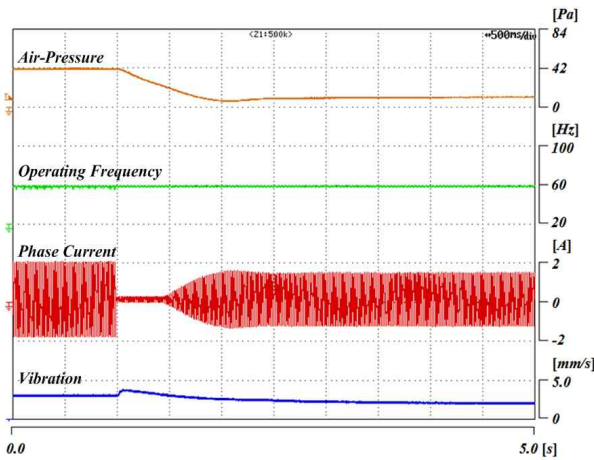


그림 8 동일한 주파수에서 공기압 가변 상태에서의 실험결과(60[Hz])

Fig. 8 Experimental result according to air-pressure variation at a constant frequency(60[Hz])

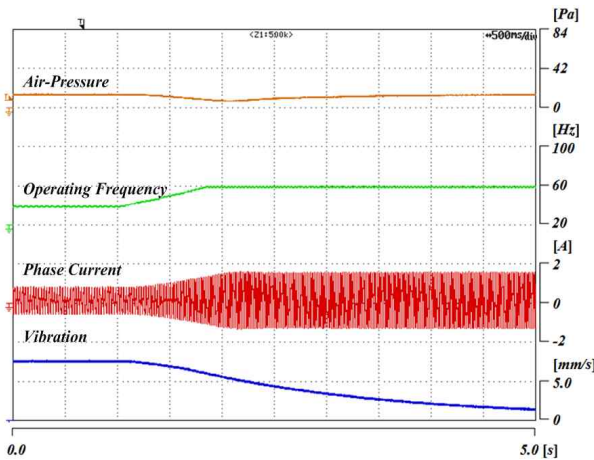


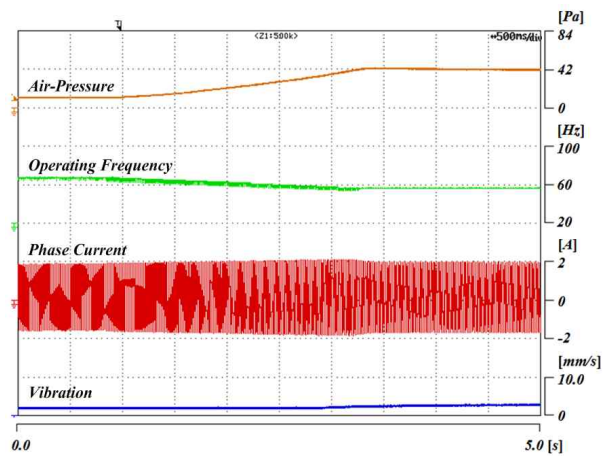
그림 9 주파수 가변에 따른 진동 특성 실험결과(60[Hz])

Fig. 9 Experimental result according to variable frequency(60[Hz])

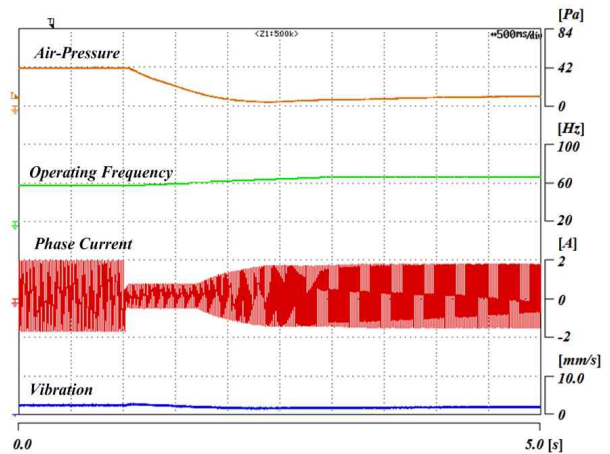
차이가 남을 보이고 있다. 즉, 동일한 공기압을 유지공기압을 유지한 상태로 주파수의 변동에 따라 크게 하면서 제어 주파수를 상승시킴으로써, 다이어프램의 진동을 크게 억제 시킬 수 있음을 보이고 있다. 실험결과에서 공기압력의 응답성이 비교적 낮은 것은 공기압력의 피드백을 위한 센서의 응답성이 수 Hz이하로 매우 낮기 때문이다.

그림 10은 제안된 방식의 공기압 제어 방식에 의한 실험 결과를 보이고 있다. 지령 압력을 10에서 42[Pa]로 변동하였을 경우에, 운전 주파수와 상전류는 공기압을 추종하기 위해 가변하게 되며, 지령된 공기압을 유지하는 주파수에서 동작하고 있음을 보이고 있다.

이때, 다이어프램의 진동은 공기압의 변동에 따라 증가 또는 감소하지만, 압력을 유지하는 최대 주파수



(a) Air-pressure variation 10 to 42[Pa]



(b) Air-pressure variation 42 to 10[Pa]

그림 10 제안된 방식에서의 실험결과

Fig. 10 Experimental result of the proposed control scheme

에서 동작하므로 낮은 진동으로 억제되고 있음을 보이고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 다이어프램의 공기압을 낮은 진동으로 제어하기 위해 가변주파수 방식의 전류제어에 의한 공기압력 제어방식을 제안하였다. 다이어프램은 이동자의 압축방식으로 공기압력을 유지하도록 설계되어 있으므로, 낮은 주파수에 의해 이동자의 주행거리에 따라 높은 진동이 발생하게 된다. 제안된 제어방식은 지령된 공기압력을 추종하는 최대 운전 주파수로 일정한 압력을 유지하도록 다이어프램에 인가되는 전류의 크기와 주파수를 제어하는 방식으로, 주파수의 변동에 따른 공기압력의 변동을 최대한 억제하기 위한 전압제어 대역과 주파수 변동에 따른 보상항을 적용하여 안정적으로 공기압력이 유지될 수 있도록 제어한다.

제안된 방식은 상용의 다이어프램에 대한 설계된 인버터와 제어를 적용하여 실제 실험을 수행하였고, 지령된 공기압력을 유지하기 위해 낮은 진동으로 일정한 공기압의 제어가 가능함을 검증하였으며, 주파수의 변동에 대해서도 일정한 공기압력이 유지될 수 있음을 실험적으로 검증하였다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] M. U. Robbins, "Power Electronics," Wiley
- [2] H. M. W. Kitchen, "The Diaphragm and Its Function," BiblioBazaar
- [3] 정동화, "전력전자 및 전동기 제어," Interscience
- [4] 권병일, 김술, "리니어 모터의 제어기술," *대한전기학회 논문지*, Vol. 48, No. 2, pp. 16~20, 1994.
- [5] 배동관, 김광현, "리니어모터의 제어시스템과 구동회로," *전력전자학회 논문지*, Vol. 7, No. 6, pp. 12~62, 2002.
- [6] 김규식, "리니어 컴프레서를 위한 센서리스 제어," *전력전자학회 논문지*, Vol. 10, No. 5, pp. 421~525, 2005.
- [7] 서현석, 김태안, 김윤제, "소형 다이어프램 펌프의 성능 특성에 관한 실험적 연구," *대한기계학회 2007년도 춘계 학술대회B* 2007.
- [8] 이동희, "적응형 노치 필터에 의한 PMSM을 이용한 선형 피드 시스템의 진동억제," *전력전자학회 논문지*, Vol. 11, No. 3, pp. 274~283, 2006.
- [9] 이성백, 이종규, 정구철, "전압형 인버터를 위한 디지털 PWM제어기 설계," *조명·전기설비학회논문지*, Vol. 7, No. 3, pp. 27~33, 1993.
- [10] 정상섭, 장석명, "질량/스프링계를 고려한 리니어 왕복 액추에이터 시스템의 등가 임피던스 모델링과 주파수 특성해석," *대한전기학회 논문지*, Vol. 51, No. 7, pp. 370~378, 2002.
- [11] 이정훈, 김진호, 이재용, 정상현, 한방우, "리니어 펌프 구동용 하이브리드 전자기 리니어 액추에이터 해석 및 설계," *대한자기학회 논문지*, Vol. 20, No. 1, pp. 28~33.

저 자 소 개

임근민(林根顯)

1985년 9월 28일생. 2010년 경성대 공대 메카트로닉스 공학과 졸업. 2010년~현재 동 대학원 메카트로닉스 공학과 재학.



이동희(李東熙)

1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년~2005년 OTIS-LG 선임연구원. 2005년~현재 경성대 메카트로닉스 공학과 조교수. 당 학회 국문지 편집위원.

