

# 리니어 컴프레서를 위한 센서리스 제어

金奎植<sup>†</sup>

## Sensorless Control for Linear Compressors

Gyu-Sik Kim

### 요약

리니어 컴프레서를 위한 페루우프 센서리스 스트로크 제어시스템이 구성되었다. 피스톤 위치를 정확히 알아내기 위해 모터 매개변수를 피스톤 위치와 모터 전류의 함수로 추정하였다. 이 매개변수 데이터는 ROM 테이블에 저장한 뒤 차 후 피스톤 위치를 정확히 알아내는데 사용된다. 또한, 추정된 모터 매개변수의 데이터 크기를 줄이기 위해 2차원 곡면 함수로 근사화 하는 작업을 수행하였다. 실험을 통해 본 제어 방식이 리니어 컴프레서에 유용하게 사용될 수 있음을 보였다.

### ABSTRACT

A closed-loop sensorless stroke control system for a linear compressor has been designed. The motor parameters are identified as a function of the piston position and the motor current. They are stored in ROM table and used later for the accurate estimation of piston position. Also it was attempted to approximate the identified motor parameters to the 2nd-order surface functions. Some experimental results are given in order to show the feasibility of the proposed control schemes for linear compressors.

**Key Words** : sensorless stroke control, linear compressor, piston position, identified motor parameters

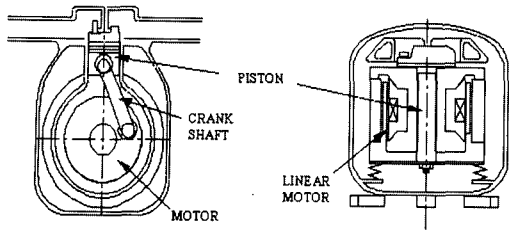
## 1. 서론

최근 많은 국가들이 환경보호 및 에너지 절감에 대한 많은 관심을 보이면서, 가정용 전기기기의 에너지 절감을 유도하기 위한 에너지 규제 프로그램을 시행하는 나라들이 점차 늘고 있다. 일반 가정에서 냉장고의 전력소비는 전체 소비 전력의 약 1/3가량을 차지하고 있으며 냉매를 순환시키고 열 교환을 수행키 위한 동력을 제공하는 컴프레서는 냉장고에서 소비되는 전기 에너지의 대부분을 차지한다. 가정용 냉장고의 에너지 절감을 위해 고효율 컴프레서의 개발에 대한 많은 연

구가 있어 왔다<sup>[1-8]</sup>.

그림 1과 같이 기존의 왕복동식 컴프레서에서는 회전하는 로터리 모터의 운동을 크랭크 축에 의해 직선으로 바꾸어 주는 반면, 리니어 컴프레서는 피스톤이 리니어모터에 의해 직접 구동되는 피스톤 타입 컴프레서이다. 리니어 컴프레서에서는 모든 구동 힘이 직선 운동방향으로 가해지기 때문에 피스톤에 의해 측면방향의 미는 힘이 발생하지 않는다. 이에 따라, 기존의 왕복동식 컴프레서에 비해 마찰손실이 작고 운전 중에 소음이 작다<sup>[1]</sup>. 또한, 회전운동을 직선운동으로 바꿀 필요가 없으며 마찰손실이 작고 리니어 컴프레서는 기존의 왕복동식에 비해 에너지 효율이 현격히 향상되어 레저용 소형 냉장고에서부터 가정용 냉장고, 그리고 에어컨에 이르기까지 그 응용범위를 넓혀 가고 있다<sup>[7,8]</sup>.

<sup>†</sup>교신저자 : 정희원, 서울시립대 전기전기컴퓨터공학부 교수  
E-mail : gskim318@uos.ac.kr  
접수일자 : 2005. 2. 11                      1차 심사 : 2005. 3. 22  
2차 심사 : 2005. 7. 26                      심사완료 : 2005. 8. 8



(a) 왕복동식 컴프레서 (b) 리니어 컴프레서  
 (a) reciprocating compressor (b) linear compressor

그림 1 기존의 왕복동식 컴프레서와 리니어 컴프레서  
 Fig. 1 A conventional reciprocating compressor and a linear compressor

본 논문에서는 리니어 컴프레서를 위한 페루우프 센서리스 스트로크 제어시스템이 구성되었다. 피스톤 위치를 정확히 알아내기 위해 모터 매개변수를 피스톤 위치와 모터 전류의 함수로 추정하였다. 이 매개변수 데이터는 ROM 테이블에 저장한 뒤 차 후 피스톤 위치를 정확히 알아내는데 사용된다. 또한, 추정된 진동기 매개변수의 데이터 크기를 줄이기 위해 2차원 곡면 함수로 근사화 하는 작업을 수행하였다. 실험을 통해 본 제어 방식이 리니어 컴프레서에 유용하게 사용될 수 있음을 보였다.

## 2. 센서리스 스트로크 제어

그림 1의 (a)에서 볼 수 있듯이 기존의 왕복동식 컴프레서는 모터의 회전운동을 직선운동으로 바꾸어 주기 위해 크랭크축을 이용한다. 이로 인해 에너지효율은 떨어지지만 피스톤은 크랭크축에 의해 구속되어 구조적으로 설계된 실린더의 상단과 하단을 벗어남이 없이 안전한 동작을 유지한다. 그러나, 그림 1의 (b)와 같은 리니어 컴프레서에서는 기구적으로 구속되어 있지 않기 때문에 피스톤이 일정한 영역 내에서 안전하게 진동하고 실린더헤드를 때리지 않도록 피스톤의 스트로크를 제어할 필요가 있다. 또한, 냉각을 위한 냉매의 유출을 조절을 위해서도 피스톤의 스트로크 제어가 필요하다. 이를 위해서는 정확한 피스톤의 위치 정보가 필요하다. 정확한 위치를 추정하기 위해 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)와 같은 위치추정 자기센서 들을 이용할 수도 있지만 이러한 센서들은 가격이 싸지 않을 뿐만 아니라 장착이 쉽지 않고 컴프레서 용기 밖으로 몇 가닥의 선이 나와야 하는 불편함도 있다. 따라서, 피스톤의 위치를 간접적으로 추정할 수 있는 효율적인 방법이 요구된다.

다음은 피스톤의 위치를 간접적으로 추정할 수 있는 한 가지 방법을 보여준다.

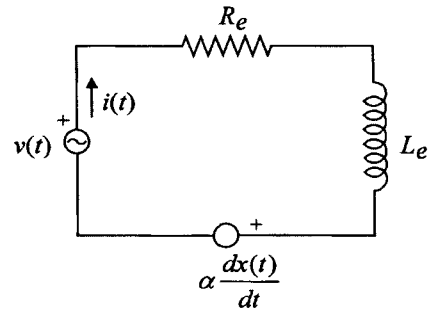


그림 2 리니어 모터의 전기회로 등가모델  
 Fig. 2 Equivalent electrical circuit model of linear motors

리니어 컴프레서 내에 있는 리니어 모터는 그림 2와 같은 전기회로 등가모델로 나타낼 수 있으며, 회로 방정식은 다음의 식 (1)처럼 선형 미분방정식으로 나타낼 수 있다. 리니어 모터의 추력  $F_e$ 도 식 (2)처럼 선형식으로 표시할 수 있다.

$$\alpha \frac{dx(t)}{dt} + L_e \frac{di(t)}{dt} + R_e i(t) = v(t) \quad (1)$$

$$F_e(t) = \alpha i(t) \quad (2)$$

식 (1) 과 (2) 에서  $\alpha$  는 리니어 모터의 추력과 전류사이의 관계를 나타내는 상수로서 자속밀도  $B_e$  와 유효권선길이  $l_e$  의 곱과 같다.  $L_e$  는 유효인덕턴스,  $R_e$  는 유효저항,  $v(t)$  는 전원전압을,  $i(t)$  는 권선에 흐르는 전류를, 그리고  $\alpha \frac{dx(t)}{dt}$  는 리니어 모터의 운동에 의해 권선에 발생하는 역기전력을 의미한다. 식 (1)을  $x(t)$  에 관해 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{1}{\alpha} \left( v(t) - L_e \frac{di(t)}{dt} - R_e i(t) \right) \quad (3)$$

식 (3)을 적분한 피스톤 위치의 추정값  $\hat{x}(t)$  는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{x}(t) &= \int_0^t \left( \frac{dx}{d\tau} \right) d\tau \\ &= \frac{1}{\alpha} \int_0^t [v(\tau) - R_e i(\tau)] d\tau - \frac{L_e}{\alpha} i(t) \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)를 디지털 방식으로 연산된 피스톤의 위치 추정값  $\hat{x}$  의 n번째 값은 다음 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{x}(n) = \frac{T}{\alpha} \sum_{k=1}^n \left( \frac{v(k-1) + v(k)}{2} \right) - \frac{TR_e}{\alpha} \sum_{k=1}^n \left( \frac{i(k-1) + i(k)}{2} \right) - \frac{L_e}{\alpha} i(n)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

여기서  $T$  는 샘플링 주기이다. 그림 3은 리니어 컴프레서에서 피스톤의 센서리스 스트로크 제어를 위한 폐루프 제어 블록선도를 보여준다. 리니어 컴프레서에 걸리는 전압 값은 리니어 컴프레서의 양단 전압을 측정하고, 전류 값은 리니어 컴프레서의 입구에 센싱 저항을 달아 측정하여 각각 A/D 변환기로 샘플링한 뒤 DSP 프로세서로 입력한다. 이렇게 측정한 리니어 모터의 전압과 전류는 모터상수와 더불어 식 (5)에 의해 리니어 모터에 연결된 피스톤의 위치를 추정하는데 이용된다. 부하에 따라 스트로크의 명령치가 다르게 입력되고 추정된 피스톤의 위치로부터 얻은 스트로크가 비교되어 PD 제어를 거쳐 리니어 모터에 입력되는 전압의 진폭이 결정된다. 여기서, PD 제어를 사용한 이유는 소프트스타트(soft start)와 빠른 응답특성을 얻을 수 있기 때문이고, 실제로 PID 제어를 사용한다 하더라도 전체 제어성능에는 큰 영향이 없음을 실험을 통해 확인하였다. 전압의 주파수는 리니어 모터의 설계 사양에 맞는 주파수로 결정되어 입력된다. 일반적으로 트라이액 스위칭 소자나 인버터를 채용하여 가해준 교류의 평균전압을 조절하여 줌으로써 피스톤의 위치인 스트로크를 제어한다. 이때, 피스톤의 속도나 위치를 정확히 알아야 한다. 이 속도와 위치가 냉매의 유출율 (flow rate)을 결정짓기 때문이다. 그러나, 이를 직접 측정하기가 쉽지 않고 비용도 비싸게 든다. 따라서, 이를 간접적으로 추정할 수 있는 효율적인 방법이 필요하다. 식 (4)를 이용하여 피스톤의 위치를 간접적으로 추정하고자 하는데 식 (4)에서 모터 매개변수인  $\alpha$  와  $L_e$  가 피스톤의 위치나 모터전류에 따라 크게 변한다. 따라서, 이들 모터 매개변수인  $\alpha$  와  $L_e$ 를 일정한 상수로 가정하고 식 (4)를 이용하여 피스톤의 위치를 추정한다면 위치오차가 커지게 될 것은 분명해진다.

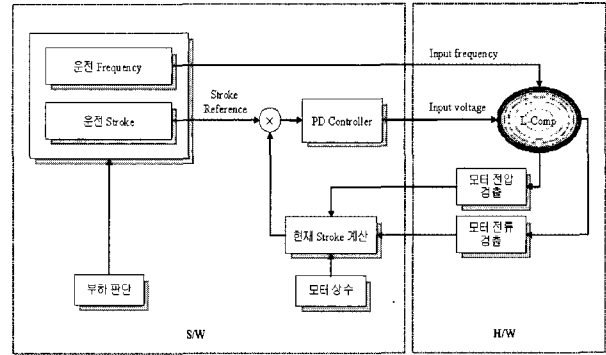


그림 3 리니어 컴프레서의 센서리스 스트로크 제어  
Fig. 3 Sensorless stroke control for linear compressors

식 (4)에서 모터 매개변수는 일정한 상수가 아니기 때문에 일정한 상수라고 가정하고 식 (4)에서 피스톤의 위치를 추정한다면 추정오차가 커져 시스템의 피스톤 위치 제어성능에 영향을 적지 않게 미친다. 따라서, 가장 영향을 미치는  $\alpha$  와  $L_e$  를 피스톤 위치  $x(t)$  와 모터 전류  $i(t)$  에 따른 함수로 추정하여 데이터베이스화 함으로써 피스톤의 위치추정오차를 줄이고자 한다. 식 (3)으로부터 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$\hat{\alpha} x(t) + \mathcal{L}_e i(t) = \int_0^t [v(\tau) - R_e i(\tau)] d\tau \quad (6)$$

식 (6)에 있는  $x(t)$ ,  $i(t)$ ,  $v(t)$ 는 각각 LVDT 와 같은 위치센서, 전류센서, 전압센서를 이용하여 직접 측정된 값이다.  $\hat{\alpha}$  와  $\mathcal{L}_e$  는 각각  $\alpha$  와  $L_e$  의 추정값이다. 리니어 컴프레서를 최초로 개발한 후 리니어 모터의 매개변수를 식 (6)으로 추정하기 위해서는 위치, 전류, 전압 등은 직접 측정해야 한다. 한편, 피스톤이 좌우로 직선운동을 할 때 정상상태에서 한 주기를  $t_n$  이라 하고 이를  $n$  등분하여 각각의 시각을  $0, t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n$  이라 하자. 그러면 다음과 같은  $n$  개의 방정식을 얻을 수 있다.

$$\hat{\alpha} x(t_1) + \mathcal{L}_e i(t_1) = \int_0^{t_1} [v(\tau) - R_e i(\tau)] d\tau$$

$$\hat{\alpha} x(t_2) + \mathcal{L}_e i(t_2) = \int_0^{t_2} [v(\tau) - R_e i(\tau)] d\tau$$

$$\dots$$

$$\hat{\alpha} x(t_n) + \mathcal{L}_e i(t_n) = \int_0^{t_n} [v(\tau) - R_e i(\tau)] d\tau \quad (7)$$

식 (7)을 정리하면 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$A \begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \mathcal{L}_e \end{bmatrix} = b \quad (8)$$

여기서,  $n \times 2$  매트릭스  $A$  와  $n \times 1$  벡터  $b$  는 다음과 같이 주어진다.

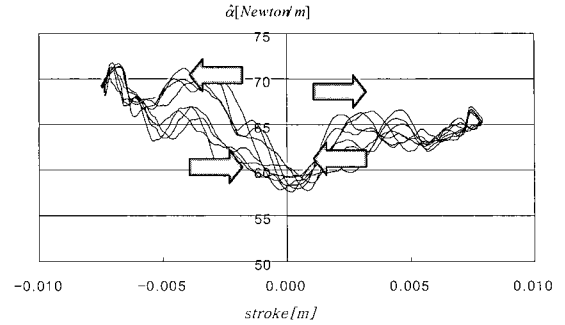
$$A = \begin{bmatrix} x(t_1) & i(t_1) \\ x(t_2) & i(t_2) \\ \vdots & \vdots \\ x(t_n) & i(t_n) \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} \int_0^{t_1} [v(\tau) - R_e i(\tau)] d\tau \\ \int_0^{t_2} [v(\tau) - R_e i(\tau)] d\tau \\ \vdots \\ \int_0^{t_n} [v(\tau) - R_e i(\tau)] d\tau \end{bmatrix} \quad (9)$$

pseudo inverse를 이용하여 식 (8)은 다음 식 (10)과 같이 정리될 수 있다.

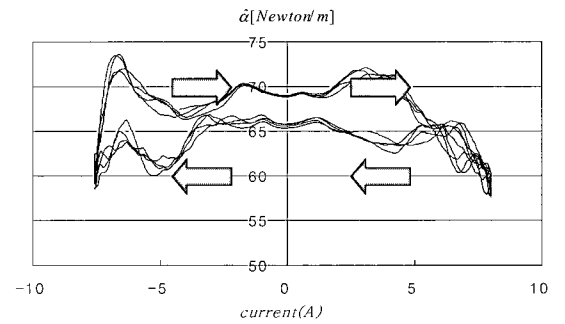
$$\begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \mathcal{L}_e \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (10)$$

### 3. 실험 및 검토

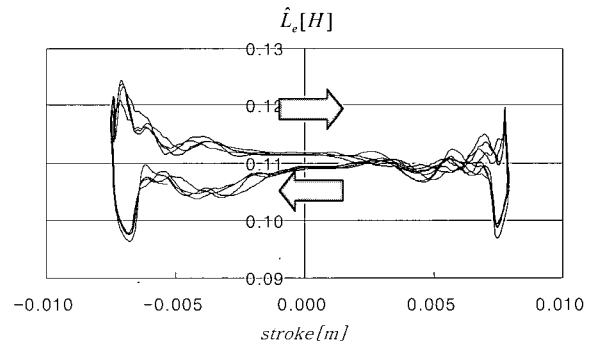
리니어 컴프레서용 센서리스 제어를 실현하기 위한 cpu로는 TMS320C2000을 사용하였다. 리니어 컴프레서는 에어컨 용도로까지 사용할 수 있도록 개발된 2.2kW 급의 리니어 모터를 내장하고 있다. 정격 입력 전압은 220V이며 최초 실험을 위한 스트로크 명령치는 16mm로 하였다. 모터전압의 주파수는 항상 60Hz로 설정하였다. 초기 기동상태를 지나 정상상태 상황에서 식 (10)에 의해 추정된 리니어 모터의 매개변수  $\hat{\alpha}$  과  $\mathcal{L}_e$  이 그림 4에 있다. 스트로크나 전류의 변화에 따라 추정된 매개변수  $\hat{\alpha}$  과  $\mathcal{L}_e$  가 심하게 변한다. 인덕턴스는 자속을 전류로 나눈 값이며 스트로크에 따라 인덕턴스가 바뀌는 것은 마그네트 때문이다. 마그네트가 중심에서 멀어질수록 마그네트 자속이 증가하고 여기에 전류에 의한 자속이 더해져 코어의 자속밀도가 달라지게 된다. 또한, 전류 증가시 코어가 포화되면 자속은 증가하지 않아서 전류 값이 어느 이상 증가하면 인덕턴스는 감소한다.



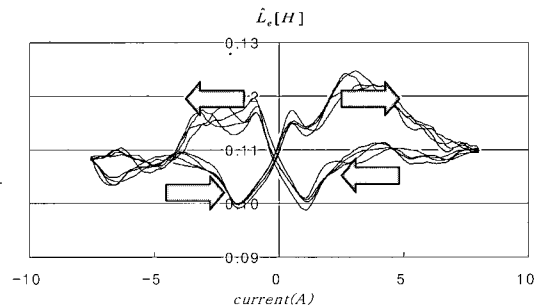
(a) 스트로크에 따라 변하는 추정치  $\hat{\alpha}$



(b) 전류에 따라 변하는 추정치  $\hat{\alpha}$



(c) 스트로크에 따라 변하는 추정치  $\mathcal{L}_e$



(d) 전류에 따라 변하는 추정치  $\mathcal{L}_e$

그림 4 추정치  $\hat{\alpha}$  과  $\mathcal{L}_e$  에 대한 실험 결과  
Fig. 4 Experimental results for  $\hat{\alpha}$  and  $\mathcal{L}_e$

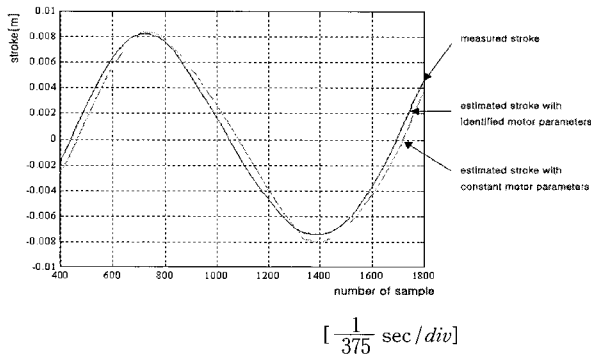
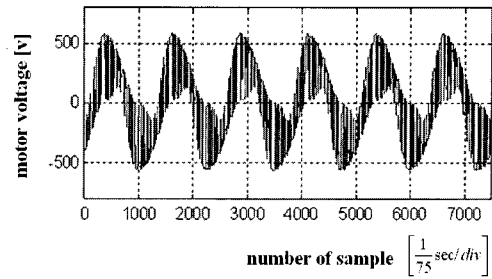


그림 5 측정치와 추정치, 상수항의 매개변수로 각각 제어된 스트로크의 파형

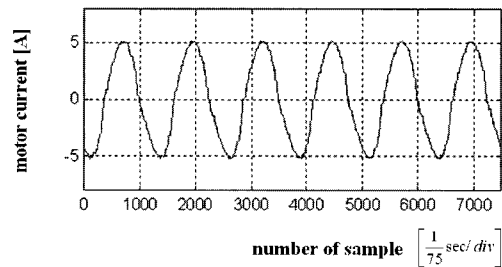
Fig. 5 Waveforms of the stroke controlled with measured, estimated, and constant parameters, respectively

가속도계와 같은 측정기구를 이용하여 스트로크를 측정할 경우, 그림 4와 같은 추정된 매개변수 데이터를 롬테이블에 저장한 뒤 이를 이용한 경우, 마지막으로 매개변수를 상수로 일정하게 가정한 경우에 대한 각각의 스트로크 제어결과가 그림 5에 보여준다. 여기서, 가로축은 데이터 샘플 수이고 1/60초인 한 주기 동안 1250개의 샘플을 추출하므로 가로축의 한 칸은 1/375초에 해당한다. 가속도계와 같은 측정기구를 이용하여 스트로크를 측정할 경우를 기준으로 할 때, 추정된 매개변수 데이터를 롬테이블에 저장한 뒤 이를 이용한 경우는 거의 오차가 눈에 보이지 않을 정도로 작은 반면, 매개변수를 상수로 일정하게 가정한 경우는 적지 않은 스트로크 제어오차를 보여주었다. 한편, 측정치로 제어되는 경우의 모터 전압과 전류에 대한 파형이 그림 6에 있다.

스트로크를 측정하기 위해서 피스톤 위치센서를 설치하는 것은 쉽지 않고 가격상승의 원인이 된다. 또한, 일정한 모터 매개변수로 가정하여 추정된 스트로크는 작지 않은 오차를 유발하였다. 반면, 추정된 모터 매개변수를 이용하여 계산된 스트로크 추정치는 상당히 작은 오차를 발생시켰다. 그러나, 이 방법은 추정된 모터 매개변수를 저장하기 위한 커다란 메모리를 필요로 하는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위한 한 가지 방안을 제시한다. 그림 7은 추정치  $\mathcal{L}_e$ 에 대한 곡면도를 보여준다. 이 곡면은 말안장의 형태를 보여준다. 추정된 인덕턴스의 데이터 수를 줄이기 위해, 그림 7의 추정치  $\mathcal{L}_e$ 은 다음과 같은 2차 곡면으로 근사화 시킨다.



(a) 모터 전압 파형



(b) 모터 전류 파형

그림 6 측정치로 제어되는 경우의 모터 전압과 전류 파형  
Fig. 6 Waveforms of motor voltage and current in case of being controlled with measured parameters

$$S(i, x, L) : L = c_0 i^2 + c_1 x^2 + c_2 i x + c_3 i + c_4 x + c_5 \quad (11)$$

여기서,  $i$ 는 전류변수이고  $x$ 는 스트로크변수이며  $L$ 은 2차 곡면으로 근사화 시킨 추정된 인덕턴스 함수를 나타낸다.

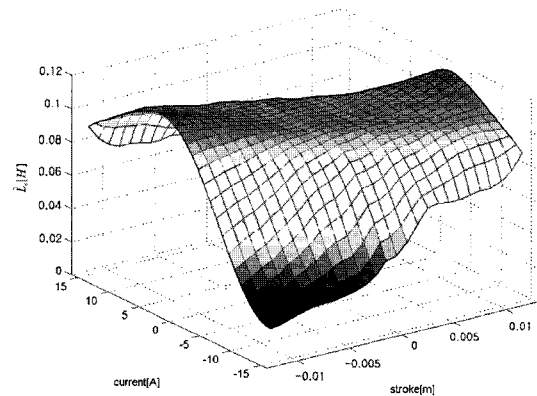


그림 7 추정된 인덕턴스  $\mathcal{L}_e$ 의 곡면도  
Fig. 7 Plot of identified inductance  $\mathcal{L}_e$

식 (11)의  $c_i$   $i = 0, 1, \dots, 5$ 를 구하기 위해 추정된 인덕턴스의  $n$  개 데이터 세트를  $\{(i_0, x_0, L_0), (i_1, x_1, L_1), \dots, (i_{n-1}, x_{n-1}, L_{n-1})\}$  라 하면 다음 식 (12)를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} L_0 \\ L_1 \\ \vdots \\ L_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_0^2 & x_0^2 & i_0 x_0 & i_0 & x_0 & 1 \\ i_1^2 & x_1^2 & i_1 x_1 & i_1 & x_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{n-1}^2 & x_{n-1}^2 & i_{n-1} x_{n-1} & i_{n-1} & x_{n-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{bmatrix} \quad (12)$$

식 (12)로부터 식 (13)을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{bmatrix} = \begin{matrix} \text{pseudo} \\ \text{inverse} \\ \text{of} \end{matrix} \begin{bmatrix} i_0^2 & x_0^2 & i_0 x_0 & i_0 & x_0 & 1 \\ i_1^2 & x_1^2 & i_1 x_1 & i_1 & x_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{n-1}^2 & x_{n-1}^2 & i_{n-1} x_{n-1} & i_{n-1} & x_{n-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_0 \\ L_1 \\ \vdots \\ L_{n-1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Matlab을 이용하여 그림 7과 같은 실제 데이터를 가지고 풀어보면 그림 8과 같은 2차 곡면으로 근사화시킨 추정된 인덕턴스 함수  $L$  을 얻을 수 있다.

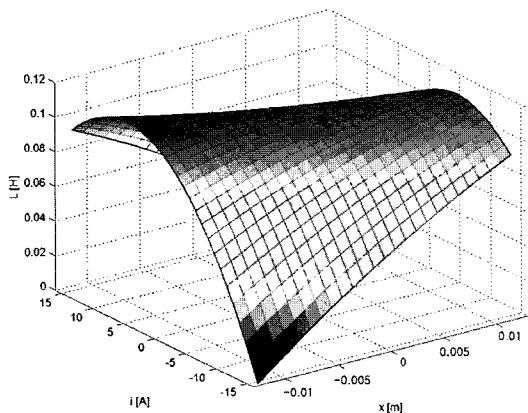


그림 8 근사화된 추정 인덕턴스  $L$  의 곡면도  
Fig. 8 Plot of approximated identified inductance  $L$

그림 8과 같이 근사화된 추정 인덕턴스를 사용하면 메모리 공간이 크게 줄어든다. 표 1에는 여러 조건에서 근사화된 추정 인덕턴스를 사용하였을 경우의 스트로크 추정 오차를 산출하였다. 상대적인 오차 비교를 위해 일정 모터 상수를 채용하였을 때의 스트로크 추정도 구하였다. 리니어 모터에 가해지는 전압과 전류에 따라 추정오차가 들쭉날쭉하지만 일정 모터 상수를 채용하였을 경우에는 5.83%의 평균오차를 발생하지만 근사화된 추정 인덕턴스를 사용하여 스트로크를 추정하였을 경우는 2.68%의 평균오차를 발생하였다.

표 1 상수항 매개변수와 근사화된 추정 인덕턴스를 사용하였을 경우의 스트로크 제어 정도

Table 1 Stroke control accuracy in case of constant motor parameters and approximated identified inductance

| 전압 [V] | 전류 [A] | 스트로크 [mm] (가속도 계로 측정) | 스트로크 [mm] (일정모터 상수) | 스트로크 [mm] (근사화된 추정 인덕턴스) | 에러율 (%) (일정 모터 상수) | 에러율 (%) (근사화된 추정 인덕턴스) |
|--------|--------|-----------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|
| 148    | 2.383  | 7.033                 | 7.236               | 7.443                    | 2.89               | 5.83                   |
| 155    | 2.241  | 8.943                 | 9.570               | 9.081                    | 7.01               | 1.54                   |
| 165    | 3.130  | 10.338                | 10.914              | 10.812                   | 5.57               | 4.59                   |
| 170    | 3.907  | 11.472                | 12.383              | 11.791                   | 7.94               | 2.78                   |
| 175    | 5.035  | 12.993                | 13.878              | 13.163                   | 6.81               | 1.31                   |
| 179    | 3.349  | 13.488                | 14.477              | 13.612                   | 7.33               | 0.92                   |
| 180    | 4.399  | 13.969                | 14.994              | 14.218                   | 7.34               | 1.78                   |
| 181    | 4.591  | 14.157                | 15.215              | 14.102                   | 7.47               | 0.39                   |
| 185    | 5.885  | 15.678                | 16.442              | 15.640                   | 4.87               | 0.24                   |
| 190    | 4.419  | 14.811                | 15.364              | 15.522                   | 3.73               | 4.80                   |
| 195    | 5.182  | 15.673                | 16.439              | 16.348                   | 4.89               | 4.31                   |
| 200    | 5.819  | 16.349                | 17.027              | 16.954                   | 4.15               | 3.70                   |
| 평균     |        |                       |                     |                          | 5.83               | 2.68                   |

#### 4. 결 론

본 논문에서는 리니어 컴프레서를 위한 페루우프 센서리스 스트로크 제어시스템을 구성하였으며, 피스톤 위치를 정확히 알아내기 위해 모터 매개변수를 피스톤 위치와 모터 전류의 함수로 추정하였다. 이 매개변수 데이터는 ROM 테이블에 저장한 뒤 차 후 피스톤 위치를 정확히 알아내는데 사용되었다. 또한, 추정된 모터 매개변수의 데이터 크기를 줄이기 위해 2차원

곡면 함수로 근사화 하는 작업을 수행하였다. 실험을 통해 데이터 크기는 줄지만 추정 오차는 약간 커짐을 확인하였고, 향 후 데이터 크기를 줄이면서 추정오차가 커지지 않는 제어 방식에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구는 2003년도 서울시립대학교 해외연구교수 지원에 의하여 연구되었음

### 참 고 문 헌

- [1] Reuven Unger, "Linear compressors for non-CFC refrigeration," Proceedings International Appliance Technical Conference, May 13-15, 1996, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- [2] Robert Redlich, Reuven Unger, Nicholas van der Walt, "Linear compressors : motor configuration, modulation and systems," Proceedings International Compressor Engineering Conference, July 23-26, 1996, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- [3] Reuven Unger, "Linear compressors for clean and specialty gases," Proceedings International Compressor Engineering Conference, July 14-17, 1998, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- [4] Reuven Unger, "Development and testing of a linear compressor sized for the european market," Proceedings International Appliance Technical Conference, May 10-12, 1999, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- [5] Masayuki Sanada, Shigeo Morimoto, and Yoji Takeda, "Analyses for sensorless linear compressor using linear pulse motor," Proceedings Industry Applications Conference, pp. 2298-2304, Oct., 3-7, 1999.
- [6] Yee-Pien Yang and Wei-Ting Chen, "Dual stroke and phase control and system identification of linear compressor of a split-stirling cryocooler," Proceedings Decision and Control, pp. 5120-5124, Dec. 7-10, 1999.
- [7] Gye-young Song, Hyeong-kook Lee, Jae-yoo Yoo, Jin-koo Park, and Young-ho Sung, "Development of the linear compressor for a household refrigerator," Proceedings Appliance Manufacturer Conference & Expo, September 11-13, 2000, Cincinnati, Ohio, USA.
- [8] 유재유, 이철웅, 이재훈, 황민규, 김정철, "리니어 컴프레서용 LOA의 스트로크 센서 없는 제어 방법" 전력전자 학술대회 논문집, pp.650-656, 2001.
- [9] Cadman, R. V.(1967), "A Technique for the Design of Electrodynamic Oscillating Compressors," Ph.D.Thesis, Purdue Univ.
- [10] 김규식, 김춘환, "유도 전동기의 매개변수 측정 및 동정," 전력전자학회 논문지, 제6권 3호, pp.282-290, 2001.
- [11] 박규현, 김이훈, 원충연, 김규식, 최세완, 함년근, "TMS320F240을 이용한 PWM 인버터 유도전동기 추동 시스템의 전도노이즈 저감을 위한 스위칭 기법" 전력전자학회 논문지, 제8권 1호, pp.89-97, 2003.

### 저 자 소 개



#### 김규식(金奎植)

1958년 8월 25일생. 1981년 서울대 공대 전자공학과 졸업. 1983년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사). 1988년~1992년 대우중공업 중앙연구소 선임연구원. 1993년~현재 서울시립대 전자전기컴퓨터공학부 교수. 2003년~2005년 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수(Visiting Scholar). 당 학회 재무이사.