

Development of an Educational System and Real Time Nonlinear Control (II)

朴 省 昱*
(Seong-Wook Park)

Abstract - This paper is to develop jumping ring system with three sensor arrays and to control levitated ring using dynamic neural mode. Placing an aluminum ring on the core and switching on an AC source causes the ring to jump in the air due to induced currents. The educational system is composed of 40th optical sensor array, encode circuit, 89C51 microprocessor and control board. The control board consists of power IC, and phase controller. Real time process is present to obtain a height of levitated ring for three different sensor arrays. Based on the educational system and the proposed dynamic neural mode, the height of levitation of the ring is controlled by reference signals. This paper focuses on real system controls using the dynamic neural mode with on-line learning algorithm.

Key Words : Educational System, Dynamic Neural Unit Controller, Three sensor arrays, Microprocessor

1. 서 론

점핑링 시스템은 밑부분에 코일을 감은 규소철심을, 봉 위에는 알루미늄을 사용한 링을 놓은 상태에서 전압이 인가되면 링과 코일 사이의 상호 유도작용에 의해 생긴 전자기력(electromagnetic force)이 링을 점핑시키는 장치이다[1]. 이 시스템은 인가전압과 링에 작용하는 중력에 따라 원하는 위치만큼 부상시킬 수 있는 제어 시스템으로 부상된 링의 위치를 실시간으로 제어할 수 있는 연산처리 기능을 가지고 있으며 전자유도 작용에 의한 전자기력은 점핑링에 인가된 교류전류, 부상된 링의 높이 변화에 따른 인덕턴스의 변화로 표현되는 비선형 특성을 갖는다[2,3]. 1999년 Barry에 의해서 발표된 점핑링 장치는 띄우는 높이보다 시스템의 모형과 해석에 중점을 두어 전달함수로 시스템을 해석하였고 점핑링의 부상높이는 2[cm]미만으로 제어하였다[4]. 본 연구에서는 점핑링 시스템의 링의 위치를 정확하게 검출하기 위해 120° 간격의 광센서 배열을 사용하여 각 센서의 위치를 인코드 회로로 검출하고 그 신호를 통신으로 마이크로프로세서에 받아 높이에 대한 값을 계산한 후 추 전산기의 비선형 제어기의 입력신호로 사용한다. 원하는 높이로 실시간 추종하는 제어기 설계와 시스템의 인가전압 제어보드를 제작하여 제어기 신호로부터 제어 높이에 해당하는 교류전압을 인가한다.

2. 점핑링 시스템과 신호처리

점핑링 시스템은 알루미늄 재질의 링과 자속을 발생시키기 위한 코일로 구성되어 있다. 단상 교류전원을 코일에 인가하면, 규소강판으로 구성된 막대모양의 봉에 놓여있는 알루미늄 링이 부상한다[5]. 그림 1은 점핑링 실험장치의 구성도이다. 인가되는 교류전압에 따라 부상되는 링의 높이를 제어할 수 있으므로 교류 전압을 위상제어하면 원하는 높이에 링을 부상시킬 수 있다. 코일에 전류가 흐르면 주변에 발생하는 자속밀도에 의해 알루미늄 링에 와전류가 발생하며, 플레밍의 왼손법칙에 의해 그림과 같이 위쪽으로 반발력이 작용하여 링이 부상하게 된다[4].

코일단은 1.2[mm] 코일을 1400회 감아 바깥지름 22[cm], 높이 5[cm], 폭 5[cm]의 원형 모양을 가지고 있고 인가전압 220[V], 60[Hz]에 저항률 2.86[Ω], 인덕턴스 0.13[H], 임피던스 49[Ω]을 가지도록 제작하였다. 코어는 원형 막대 모양의 지름 2.5[cm], 높이 27[cm]의 규소봉 주위를 3[%]성층 규소강판을 사용하여 바깥지름 2.4[cm]로 감싸서 PVC관 안에 삽입하였다. 제작된 링은 지름 21.61[cm], 안지름 8[cm], 두께 1.2[mm], 무게 92[g]의 알루미늄 재질의 원판 모양을 가지고 있다. 광센서 배열은 투과광 방식의 포토 인터럽터를 40개를 한 열로 배치하여 120°간격으로 세 개의 열을 사용하여 측정된 높이를 평균하였다. 광센서의 출력을 인코드 회로에 입력시켜 높이에 따른 출력 전압값을 단계적으로 출력할 수 있도록 설계하였고 이 출력 전압값을 마이크로프로세서에서 읽어와 연산과정을 통해 링의 높이를 디지털 값으로 PC에 입력된다. 그림 1은 제작된 점핑링 실험장치와 인코드 회로 그리고 높이를 연산하는 마이크로프로세서를 나타낸다. 점핑링 시스템의 신호처리에 대한 블록 선도를 그림 2에 나타내었다. 코일에 인가된 전원 전압에 의해 발생한 자속에

* 正 會 員 : 龜尾大學 컴퓨터응용전기전공 副教授 · 工博
接受日字 : 2002年 10月 21日
最終完了 : 2002年 11月 4日

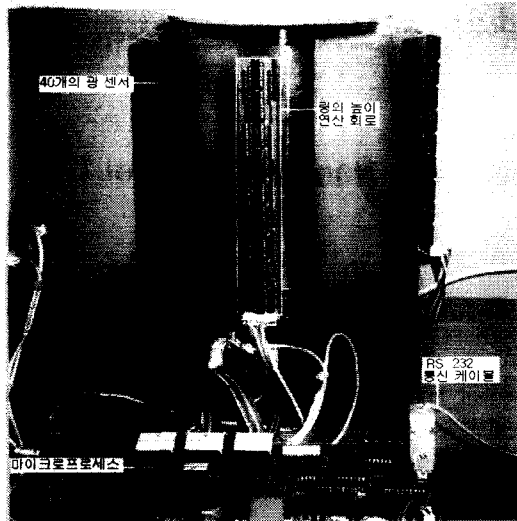


그림 1 제작된 점핑링 실험장치
Fig. 1 Constructed jumping ring apparatus

의해 링이 부상하게 되며, 부상된 링의 위치는 전력전자 회로부의 전압에 의해 제어된다. 부상된 링의 위치에 대한 정보는 광센서배열에서 링의 높이를 감지하고 이 높이정보를 통신포트를 통해 마이크로프로세서(89C51,89C52)에 입력되고 제어용 PC에 화면으로 표시된다. 제어용 PC에서 이 높이정보를 분석하여 이를 그래프로 나타내고 실시간 제어를 사용하여 목표위치에 해당하는 제어신호를 D/A 변환기를 통하여 디지털 정보를 출력한다. 제어기는 전력전자 회로부에서 전압을 조절하여 링의 위치를 제어한다. 그리고, 제어된 링의 위치 정보는 다시 광센서를 통하여 감지된다. 이와 같은 일련의 동작으로 제작된 시스템은 실시간으로 제어된다.

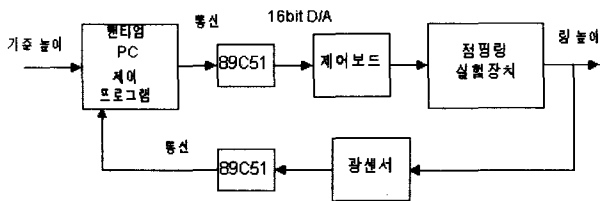


그림 2 점핑링 시스템의 신호처리 블록선도
Fig. 2 Block diagram for signal processing of jumping ring system

링의 높이를 제어하기 위한 점호각 발생은 위상 제어방식을 이용하였다. 점핑링 시스템에 인가되는 교류 파형은 Triac (TG25C60) 소자의 위상에 따라 전압 제어된다. 트라이액 소자는 위상제어 소자 IC785의 크기가 제어신호보다 높은 전압에서 게이트 점호각 신호에 의해 시스템에 AC 220[V] 교류전압을 인가된다. 교류 파형이 점핑링에 인가되면 링은 부상하게 되고 광센서의 배열에 의해 위치가 감지된다. 그림 3은 점핑링 시스템을 제어하기 위하여 제작된 제어 회로부를 나타낸 것이다.



그림 3 제어보드
Fig. 3 Control board

3. 점핑링 시스템의 모형화

그림 1에 교류전압을 인가하면 점핑링 시스템의 반발력에 의해 링이 부상하는 힘은 플레밍의 왼손의 법칙에 의해 다음과 같이 표현된다[3][5].

$$f = B_r i_r l \quad (1)$$

여기서, B_r 은 링에 작용하는 자속밀도, i_r 은 링에 흐르는 전류, l 은 링의 주변의 길이를 나타낸다. 자속밀도는 링의 높이에 따라 자속이 변화하므로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$B_r = \frac{1}{l} \frac{\partial \psi_c}{\partial z} \quad (2)$$

$$i_r = \frac{v_r}{|Z_r|} = \frac{MwI_c}{|Z_r|} \cos(\omega t - \theta_r) \quad (3)$$

여기서, ψ_c 는 코일에 흐르는 전류에 의해 생긴 자속, v_r 은 링에 유도된 전압, Z_r 은 링의 임피던스, M 은 코아와 링사이의 상호 인덕턴스 및 θ_r 은 링의 전압과 전류의 위상각이다. 링에 유겨된 전압은 다음과 같다.

$$v_r = \frac{d\lambda_r}{dt} = - \frac{d(Mi_c)}{dt} = MwI_c \cos \omega t \quad (4)$$

여기서, λ_r 는 링에 의한 쇄교 자속수를 나타낸다. 코일에 전류가 흐르면 코어를 중심으로 자속이 생기고 이 자속은 상호 유도결합된 링에 영향을 주어, 링에도 자속이 생기고 이 자속의 변화분이 링에 가해진 유겨전압이다. 이 전압에 의해 전류가 흐르고 이 전류와 링의 방사선 모양의 자속밀도의 변화분에 의해 위쪽으로 부상하는 힘이 작용한다. 그림 4는 상호 유도 결합된 코일과 링을 등가회로이다. 코일에 의해 생긴 자속(ψ_c)은 일부 누설자속(ψ_l)을 제외하면 링으로 지나간다. 이 자속은 코일에 흐르는 전류에 의해 링에 쇄교된 자속으로 $\lambda_r = Mi_c$ 의 크기를 가지고 있다. 코일에

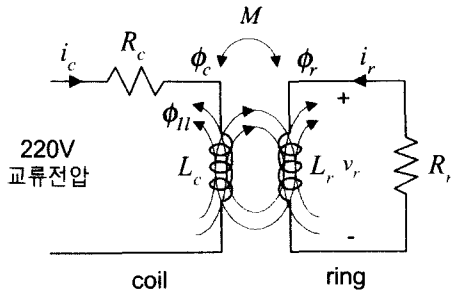


그림 4 점핑링 시스템의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of jumping ring system

의해 발생한 자속중에 링의 높이에 영향을 주는 자속은 다음 식으로 표현된다.

$$\frac{\partial \psi_c}{\partial z} = \frac{\partial (\psi_{11} + \psi_{12})}{\partial z} = \frac{\partial \psi_{12}}{\partial z} = \frac{\partial M i_c}{\partial z} \quad (5)$$

식 (5)를 식(2)에 대입하여 나온 결과를 식(1)에 적용하면 위쪽으로 작용하는 힘은 식 (6)과 같이 위쪽으로 작용하는 힘은 식 (6)과 같다.

$$f = \frac{\partial \psi_c}{\partial z} i_r = i_c i_r \frac{\partial M}{\partial z} \quad (6)$$

인가한 전압에 의해 코일에 흐르는 전류와 링에 흐르는 전류 그리고 부상 높이에 따른 상호 인덕턴스의 변화로 표현된다. 이에 따라 컴퓨터 프로그램으로 발생된 D/A 제어신호를 전류신호로 보고 상호 인덕턴스의 변화를 부상된 높이의 변화로 보면 다음과 같이 모형화할 수 있다.

$$\hat{f} = a u(k)^2 \times [b + (y(k) - y(k-1))] \quad (7)$$

여기서, $u(k)$ 는 링의 높이를 제어하는 신호 $y(k)$ 와 $y(k-1)$ 는 현재와 과거의 링의 높이이다. 식 (7)로부터 링의 초기높이 (b)와 비례상수 (a)를 변수로 하여 점핑링 실험장치를 모형화할 수 있다. 이때 제어신호에 대한 높이의 변화를 오프라인으로 데이터를 저장하여 비선형 회귀방정식(nonlinear recursive equation)으로 구하면 초기높이와 비례상수가 얻어진다. 그림 5와 같이 컴퓨터 D/A제어신호를 입력으로 인

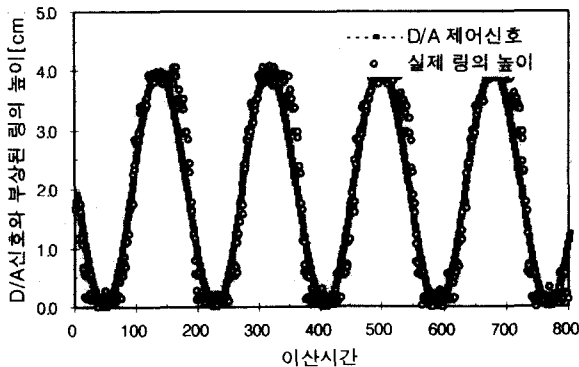


그림 5 컴퓨터 제어신호와 링의 높이
Fig. 5 Control signal from computer and height of ring

가하여 얻은 링의 높이를 출력으로 해서 800개의 입출력 데이터를 가지고 오프라인으로 식(7)에 적용하여 비선형 회귀방정식의 계수 $a=0.419$, $b=1.445$ 를 구하였다. 14단계의 센서 배열을 사용하여 얻은 모형식은 점핑링 시스템을 어느 정도 근사함을 알 수 있었다. 그러나 실제 온라인 제어시 링의 온도에 따라 계수 값의 변동과 사전 계수조정 및 모형화 오차가 수반되므로 본 연구에서는 외부 환경 변화와 실시간 연산을 위해 동적 신경 모형을 사용한 제어기에 의해 제어신호를 생성하여 링의 무게와 자속밀도의 변화를 고려할 수 있는 동적 신경기를 제안하고자 한다.

4. 동적 신경 제어기 설계

본 논문에서 제안한 동적 신경 모형은 기존의 시냅스(synapse) 기능과 소마(soma)기능에 동적 인자 프로세서를 부가시킨 신경의 내부 동력학을 반영한 모형이다. 생물학적 관점과 같은 기능이 되도록 역치 (θ)를 비선형 함수의 변수에 포함시켜 동적 인자 프로세서($v_1(k)$)가 역치보다 큰 경우에 비선형 변환된다. 그림 7은 시냅스, 동적 인자 프로세서 그리고 소마이득으로 구성된 제안된 동적 신경 모형이다 [6]. 이 구조는 2차 동적 요소를 포함하므로 식 (8), 식 (9)와 같이 상태 방정식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} s_1(k+1) \\ s_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1(k) \\ s_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} x(k) \quad (8)$$

$$v_1(k) = [c_1 \ c_2] \begin{bmatrix} s_1(k) \\ s_2(k) \end{bmatrix} + d_0 x(k) \quad (9)$$

$$y(k) = \Psi(g \cdot v_1(k) - \theta) \quad (10)$$

여기서, $x(k) = \sum w_i I_i(k)$ 은 외부 동적 신경으로부터의 입력, $v_1(k) \in R^1$ 은 동적 신경의 내부 포텐셜로 입력신호의 총 합 및 $y(k)$ 는 동적 신경의 출력이다. 시간 연산자를 사용하면 입력신호와 동적 인자 프로세서간의 전달함수는 식 (11)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\frac{v_1(k)}{x(k)} = \frac{d_0 + (b_1 c_1 + b_2 c_2 - d_0 K_1)q^{-1} + (K_3 + d_0 K_2)q^{-2}}{1 - K_1 q^{-1} + K_2 q^{-2}} \quad (11)$$

여기서, $K_1 = a_{11} + a_{22}$, $K_2 = a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}$, $K_3 = a_{12} b_2 c_1 + a_{21} b_1 c_2 - a_{22} b_1 c_1 - a_{22} b_2 c_2$ 이다. 제안한 동적 신경 모형은 계수행렬의 고유치가 1보다 적게 유지하기 위해 임의의 양의 한정 행렬 Q 에 대해 리아푸노프(Lyapunov) 식이 만족하도록 동적 인자 프로세서의 계수 행렬식을 식 (13)과 같이 구성하였다[7].

$$P - A^T P A = Q \quad (12)$$

$$A = \begin{bmatrix} r \cos \phi & r \sin \phi \\ -r \sin \phi & r \cos \phi \end{bmatrix} \quad (13)$$

만일 r 이 1보다 적다면 식 (12)를 만족하는 양의 한정 P 행

렬을 구할 수 있다. 동적 인자 프로세서의 인자는 학습과 적응과정을 통해 $|r| < 1$ 이 되는 조건을 만족하도록 함으로써 동적 신경의 내부 동특성을 안정화시킬 수 있다[6]. 제안한 동적 인자 프로세서의 내부 구조를 그림 6에 나타내었다.

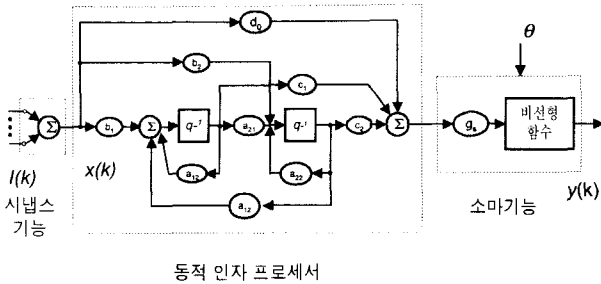


그림 6 동적 신경 모형
Fig. 6 Dynamic neural unit model

본 논문에서는 기존의 동적 신경 모형을 내부 동적 인자 프로세서의 입력변화에 따른 출력 변화를 최소화하는 구조와 안정하게 학습계수를 갱신하기 위해 새로운 구조를 제안하였다[6]. 제안한 동적 인자 프로세서의 입력과 출력의 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{v_1(k)}{x(k)} = \frac{d_0 + K_4 q^{-1} + K_5 q^{-2}}{1 + 2g_1 q^{-1} + (g_1^2 + g_2^2) q^{-2}} \quad (14)$$

여기서, $K_4 = 2(g_3 g_4 + d_0 g_1)$, $K_5 = 2g_1 g_3 g_4 + g_2(g_3^2 - g_4^2) + d_0(g_1^2 + g_2^2)$, $g_1 = -a_{11} = -a_{22}$, $g_2 = -a_{12} = a_{21}$, $g_3 = b_1 = c_2$, $g_4 = b_2 = c_1$ 이다. 활성화 함수는 양과 음의 값을 가진 tanh 함수를 사용하였고 함수의 기울기는 전체 학습에 영향을 주므로 학습계수에 포함시켜 학습과 적응법칙에 따라 갱신하였다. 학습할 인자를 모아 벡터 $\Omega(\theta, g_1, g_2, g_3, g_4, d_0, g_1, g_2, g_3, g_4)$ 로 표시하여 오차함수의 비용을 최소화시키는 델타 법칙(Delta rule)을 적용하면 학습계수는 아래와 같이 학습된다[8].

$$J = \frac{1}{2} E[(y_d(k) - y(k))^2] = \frac{1}{2} E[e(k)^2] \quad (15)$$

$$\Omega(k+1) = \Omega(k) + \text{diag}[\mu] E[e(k) \frac{\partial v_1(k)}{\partial \Omega(k)}] \quad (16)$$

$$\frac{\partial y(k)}{\partial \Omega(k)} = \frac{\partial y(k)}{\partial v(k)} \frac{g_s \partial v_1(k)}{\partial v(k)} = g_s \Phi' \frac{\partial v_1(k)}{\partial v(k)} \quad (17)$$

그림 7은 동적 신경 모형의 직렬 연결하여 동적 신경망을 구성한 경우로 첫 번째 동적 신경기의 변수를 학습하는 과정을 보여준다.

5. 사례연구와 검토

본 연구에서는 제안된 동적 신경 모형을 사용하여 점핑링 시스템을 기준모형의 출력에 따라 높이를 제어하고자 한다. 사례연구에서는 정현파, 삼각파, 위치 제어에 대한 제어기의 성능을 분석하였다. 통신속도를 변화시키고 센서배열도 한 개, 세 개의 평균을 사용하여 실험하였다.

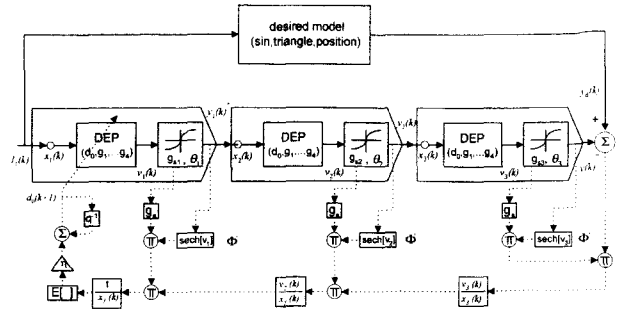


그림 7 동적 신경망 구성과 동적 인자 d0 학습정차
Fig. 7 Dynamic neural network and learning scheme for the coefficient d0

그림 8은 온 라인으로 점핑링 시스템을 제어하는 구조이다. 동적 신경 제어기의 출력은 통신으로 마이크로프로세서에 전달된다. 이 신호는 16비트 D/A 변환기를 통해 그림 9와 같이 아날로그 전압 $u(t)$ 으로 변환되어 TCA785소자와 비교되어 PWM 위상각 제어신호가 결정되고 이 신호에 의해 교류 220[V] 전압파형이 제어된다. 동적 신경 제어기는 실시간으로 연산해야 하므로 본 연구에서는 동적 신경모형 한 개만을 사용하였다. 실험 조건을 달리하기 위해 3개의 마이크로프로세서가 사용되었다[9].

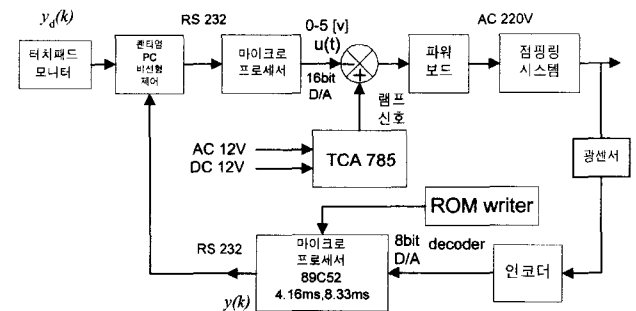


그림 8 점핑링 시스템 온라인 제어
Fig. 8 Control scheme of jumping ring system on-line

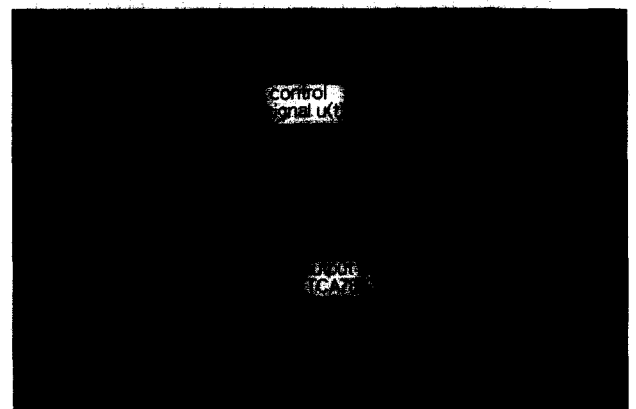


그림 9 제어신호와 TCA 785 신호(통신속도 8.33ms)
Fig. 9 Control signal and ramp signal of TCA 785

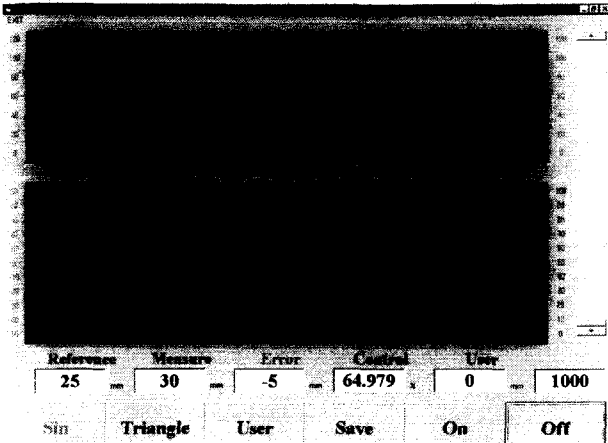


그림 10 계단 사인파형에 대한 제어화면 (3개의 센서평균)
Fig. 10 Control monitor of step sine wave

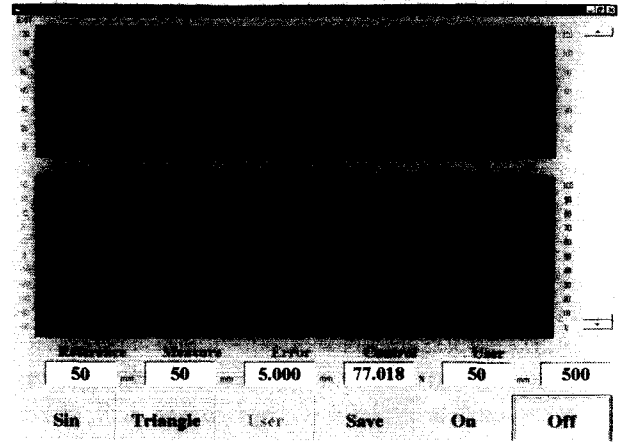


그림 12 고정 높이에 대한 제어화면 (1개의 센서)
Fig. 12 Control monitor of fixed height of the ring

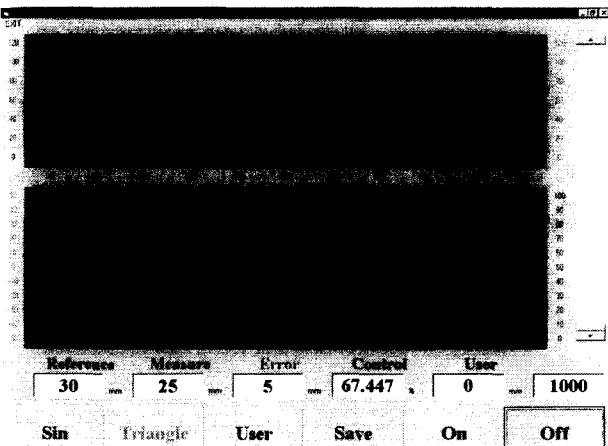


그림 11 계단 삼각파형에 대한 제어화면 (3개의 센서평균)
Fig. 11 Control monitor of step triangle wave

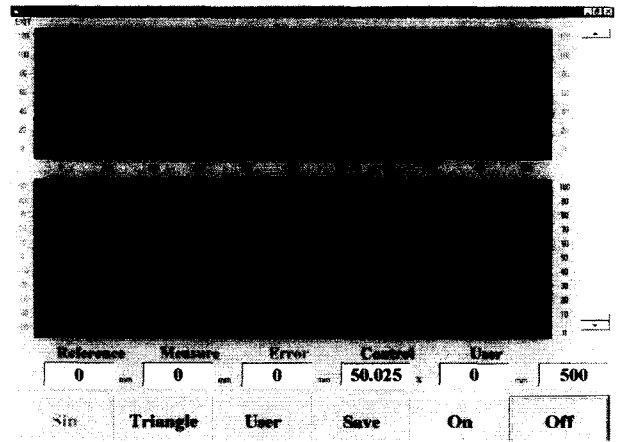


그림 13 계단 사인파형에 대한 제어화면 (3개의 센서평균)
Fig. 13 Control monitor of step sine wave

그림 10, 그림 11은 광센서 세 개 배열을 평균하여 링의 높이를 측정하였고, 실시간으로 계단 정현파와 삼각파를 추종한 결과이다. 그림 10, 그림 11에서는 기준 높이와 실제 링의 높이를 같은 축으로 해서 위쪽에 나타내었고 기준치와 실제 링의 위치 오차와 제어기의 출력을 y축의 값을 달리하여 아래쪽에 도시하였다. 제어기의 출력은 최대 출력을 100[%]로 하여 어느 정도 제어기 필요한 지를 나타내었다. 한 개의 센서배열을 사용한 경우, 센서 한 개의 감지 폭이 5[mm]인 관계로 링에 부착된 접촉 포인트가 2[mm] 정도라 링의 위치를 감지하지 못하는 경우도 있었다. 반면에 세 개의 센서를 사용하여 일정 높이에 링을 부상시키는 경우에 약간의 흔들림이 있음을 알 수 있었다. 그림 12는 광센서 한 개의 배열을 사용하여 위치 제어한 파형으로 원하는 높이를 200[이산시간]에서 일정하게 유지함을 알 수 있었다. 그림 10-그림 12는 통신속도를 8.33[ms]로 하여 실험한 결과이고 x축을 1000[이산간격]으로 사례연구 하였다. 그림 13과 14는 통신속도를 4.55[ms]로 하고 x축을 600[이산간격]으로 하여 결과를 보다 정확하게 나타낸 결과 그림이다. 본

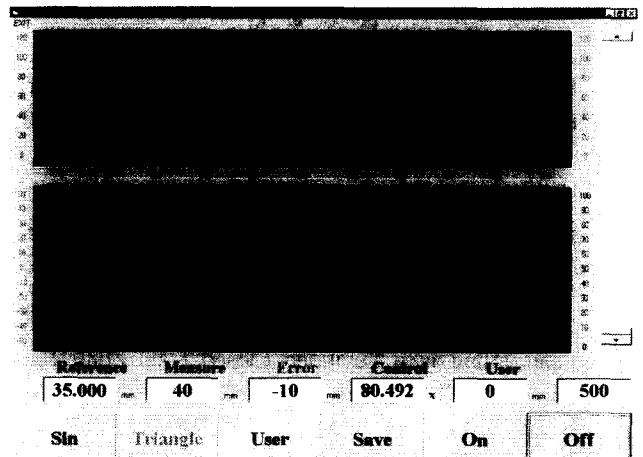


그림 14 계단 삼각파형에 대한 제어화면 (3개의 센서평균)
Fig. 14 Control monitor of step triangle wave

연구에서는 터치 스크린을 사용하여 사용자가 화면상에서

기준 높이 파형을 선택할 수 있도록 하였고 결과를 화면상에서 볼 수 있도록 하였다. 터치 스크린 입력으로 기준 높이가 정해지면 동적 신경 제어기에 의해 시간에 따라 변화는 함수를 잘 추종함을 사례연구로부터 알 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 점핑링 시스템을 교육용 시스템을 개발하고자 동적 신경기를 이용하여 시스템을 실시간으로 제어하면서 터치 스크린을 통해 제어하고 그 결과를 확인할 수 있도록 하였다. 점핑링의 높이를 감지하기 위하여 3개의 광센서 배열을 사용하였고, 점핑링 시스템의 인가전압을 제어하기 위해 제어보드를 제작하였다. 센서 신호와 동적 신경 제어기의 출력을 통신으로 마이크로프로세서와 주고받으면서 데이터 신호 처리하였다. 비주얼 베이직 프로그램으로 터치 스크린을 제어하였고 신경 제어기를 프로그램을 작성하여 사용자가 화면상에서 시스템을 운용하게 하였다. 터치 스크린 화면을 통해 원하는 기준 파형을 선택하여 점핑링의 높이가 기준 파형을 추종할 수 있도록 제어하였고, 제어 결과와 실제 링의 높이 정보를 화면에 도시하였다.

제안한 동적 신경기를 사용하여 점핑링 시스템에 적용하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 제안된 동적 신경기를 실제 시스템에 적용하여 신경 모형의 효용성을 입증하였다. 둘째, 온 라인 신호를 처리할 수 있는 시스템을 구성하여 실시간 신경 제어기를 구현하였다. 셋째로, 제어기 변수에 대한 점핑링 시스템을 모형화하여 시스템의 동작과정을 살펴보았다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 지역대학 우수과학자연구(2000-1-30200-0201)지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] E.R.Laithwaite, "Electromagnetic levitation theory," Proc. Inst. Electr. Eng., vol. 112, no. 12, pp. 2361-2375, Dec. 1965.
- [2] C. West and B.V. Jayawant, "A New Oscilating Motor," IEE Paper No.39405, pp.292-300, 1962.
- [3] 山田一, 리니어 모터와 응용기술, 實數出版, pp. 84-85, 1972.
- [4] Noel Barry and Richard Casey, "Elihu Thomson's Jumping Ring in a Levitated Closed-Loop Control Experiment," IEEE Trans. on Education Vol. 42. no. 1, pp.72-80, February 1999.
- [5] Paul J.H Tjossem and Victor Cornejo, "Measurement and mechanism of Tomson's jumping ring," Am.J, P hys. 68(3), pp 238-244, March 2000.
- [6] 박성욱외 2인, "동적 신경망의 층의 분열과 합성에 의

한 비선형 시스템 제어," 대한전기학회 논문지, 48권, 4호, pp.419-427, 1999.

- [7] Chi-tsong Chen, linear system, Saunders college, 1970.
- [8] A. Cichochi and R. Unbehauen, Neural Networks for Optimization and Signal Processing, pp. 38-85, John-Wiley,1993.
- [9] 박성욱, 교육용 시스템 개발과 실시간 제어기 설계, 과학재단 지역대학 우수과학자 지원 연구 결과보고서, 2001.

저 자 소 개



박 성 욱 (朴 省 昱)

1964년 11월 16일생. 1987년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 구미1대학 컴퓨터 응용 전기전공 부교수

Tel : 054-440-1203

Fax : 054-440-1209

E-mail : swpark@kumi.ac.kr