

중·저가 집약형 플렉소 인쇄기의 블랭킷 실린더 제어에 관한 연구

신종순, *강영립, **이상주

중부대학교 정보매체공학부, *중부대학교 신기술공학부, **유한정밀산업

A Study for Blanket Cylinder Control of Middle/Low Priced CI Type Flexo-Printing Machine

*Jong-Soon Shin, *Young-Reep Kang, **Sang-Ju Lee*

Department of Information Media Engineering, Joongbu University,

*Department of Advanced material Engineering, Joongbu University,

**UHAN Fine Industry

Abstract

In Flexo printing machine, it's operated with combination of blanket cylinder and cylinder. The blanket cylinder has some number of grooves to attach the blanket on surface. In case of operating the printing machine, it has generate mechanical noise when the two cylinders encounter with the grooves. So, in this study, we developed a mechanical noise control algorithm of printing in servo control system. Then we have reduced the mechanical noise with control of servo actuator.

1. 서 론

플렉소 그래픽 인쇄기의 종류는 크게 분류하여 스택형·드럼형·인라인형 등 3형식으로 나눌 수 있으며, 그 기본적인 도식은 그림 1과 같다. 스택형은 인쇄부를 쌓아올린 것으로 가장 일반적인 형식으로 거의 모든 피인쇄물에 적합하나 신축되기 쉬운 필름과 주름이 생기기 쉬운 금속박막 등에는 적합하지 않다. 드럼형은 큰 지름의 압통 주위에 4~6개의 인쇄부를 배치한 것으로 주름이 생기기 쉬운 필름과 신축되기 쉬운 필름의 인쇄에 적합

하며 피인쇄체는 압통에 감긴 상태로 인쇄되므로 각 인쇄부 사이에 신축이 없고 가는 정밀도가 좋으며 이러한 형태를 공통(共通)압통형 또는 CIC(common impression cylinder)형이라고 한다. 인라인형은 인쇄부를 가로로 배열한 것으로 두껍고 단단한 크라프트지, 판지(carton), 라이너(liner)지, 골판지 등의 인쇄에 적합하며 골판지일 때는 낱장 인쇄가 가능하다^{1,2,3)}.

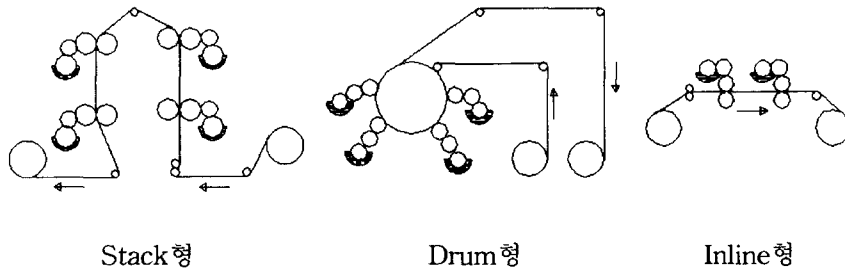


Fig. 1. Classification of printing method in flexography.

플렉소 인쇄의 활용도는 유럽이나 미국의 경우에는 연포장 분야가 80%, 밀크 카톤팩 분야가 95%까지 이르고 있다. 특히 플렉소 인쇄는 수성잉크를 사용하기 때문에 제판에서부터 인쇄할 때까지 폐수나 톨루엔의 발산으로 인한 환경오염을 유발하지 않을 뿐만 아니라 포장재를 저렴하면서도 쉽게 인쇄를 할 수 있기 때문에 유럽과 미국에서는 연포장과 밀크 카톤팩 분야는 거의 플렉소 인쇄를 하고 있다. 플렉소 인쇄기술은 유럽으로부터 발전과 보급이 시작되어 근년에 들어와서는 동남아에서도 빠르게 확산되고 있다. 현재 국내에서 제작되어 사용되고 있는 플렉소 인쇄기는 고품질의 인쇄성을 재현하는데 미흡한 문제점들이 대두되면서 다양한 인쇄분야의 요구에 부응하지 못한다는 인식 때문에 시장점유율이 크게 늘어나지 않고 있는 실정이다. 최근에 여러대의 고가품 플렉소 인쇄기가 수입되어 사용되고 있다. 어쨌든 플렉소 인쇄의 기본적 특성은 유연하고 탄력성을 가진 감광성 수지의 볼록판과 유동성이 높은 저점의 수성잉크 및 휘발성 속건성 잉크가 복합적으로 사용된다는 장점을 가지고 있으며, 아울러 플렉소 잉크는 공해대책이나 작업환경에 유용한 이점을 가지고 있다⁴⁾.

따라서 본 연구는, 결과 자료가 국내 및 동남아 시장에서 요구되는 중·저가이면서 고품질을 인쇄할 수 있는 플렉소 인쇄기의 개발 필요성에 대응하기 위하여 환경친화적인 집약형(CI type) 플렉소 인쇄기의 설계기술 개발에 필요한 기초 자료를 얻는데 그 목적을 두고 있다.

2. 실험 및 장치

2-1. 연속 잉크 공급장치

인쇄기가 공회전을 할 때 파운틴 롤러와 아닐록스 롤러가 회전을 하므로 아닐록스 롤러는 판통으로부터 분리되도록 되어있다.

판통은 웹으로부터 떨어져 있지 않으면, 판에 있던 잉크가 웹에 붙어 마르게 되므로 정지 모드에서는 판통을 웹에서 분리해 놓는다.

만일 인쇄기를 세우기 전에 잉크가 판에 붙어있다면 판을 깨끗하게 한 후 인쇄기를 재가동시키고 압을 제어한다. 그 다음 아닐록스 롤러를 판통에 접촉시키고 판통을 접촉시켜 인쇄를 다시 시작한다.

2-2. Servo actuator의 구성 및 개발사양

Servo actuator는 압축공기가 piston에 공급되어 직선운동을 할 때 피스톤 rod부에 장착된 볼 스크류가 회전운동을 하며, 볼 스크류축에 연결된 coupling에 의해 로타리 엔코더의 회전 신호를 controller의 CPU에 입력값으로 받아들이고 목표하는 위치에 도달했을 때, 공압솔레노이드밸브에 OFF신호와 electromagnetic brake에 ON 신호를 출력하여 위치를 제어하는 시스템으로 구성하였다. 원점위치는 피스톤에 장착된 전자석 band가 리미트 스위치에 도달했을 때 입력신호로 받아들이도록 설계제작 하고 control unit 회로를 구성하였다. 회로설계는 전면 panel에 indicator(위치, 동작 lamp)와 설정(디지털 스위치, 원점위치, 이송속도, 위치구분)으로, 내부에는 디지털 스위치와 감속위치, 뒷면에는 단자대, 제어출력(전자밸브, 전자브레이크), 위치신호입력(로타리엔코더, 근접스위치) 및 제어신호 (동작허가 입력, Start신호)로 회로를 구성하여 설계·제작하였다. 또한 작동 mode는 reset동작, 설정위치동작, step동작, cycle동작 및 외부설정동작으로 선정하였다.

2-3. 제어기 설계 및 구성

비선형 마찰의 영향 때문에 PID 제어기에 의해서 만족할 만한 결과를 얻지 못한다. 따라서, 마찰을 실시간에서 추정하고 보상하기 위해 PID 위치제어기와 신경망에 기초한 케환선형화 제어를 사용하였다. 공기압 서보 실린더 및 공기압 저마찰 실린더의 위치제어용 제어기로서 PID 제어기와 신경망 제어기를 사용한다. 선형화된 모델로서 구해진 PID 계인을 비선형 모델에 적용했을 경우 원하는 만큼의 출력을 얻을 수 없다. 이는 비선형 모델과 선형화된 모델간의 모델링 오차에 기인한 것으로 이를 보상하기 위하여 신경망 제어기를 부가적으로 사용하였다. 그리고 그림 2에 제어 시스템의 블록선도를 나타내었다.

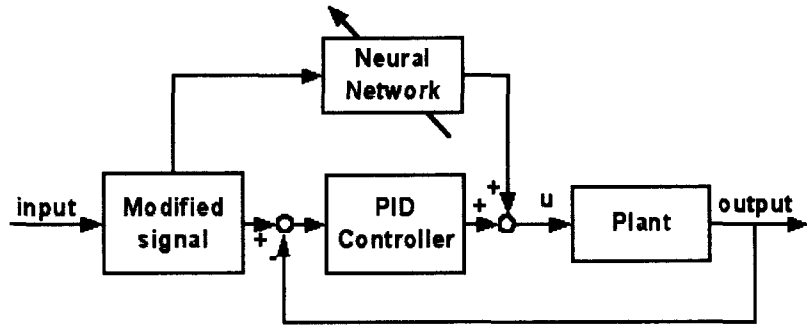


Fig. 2. Block diagram of control system.

2-4. 실험장치 구성

본 실험에 사용된 시스템은 그림 3과 같으며 시스템은 각기 다른 액추에이터로 구성되어져 있다. 사용된 액추에이터는 On/Off 밸브를 이용한 공압 서보 실린더 및 서보 밸브를 이용한 공압 저마찰 실린더를 사용하였다. 먼저, 공압 서보 액추에이터는 볼스크류에 의해서 직선 운동을 회전운동으로 변환하며 로터리 엔코더를 이용하여 실린더 변위를 측정한다. 그리고 실린더의 변위가 목표 값에 도달했을 때 밸브를 중립으로 놓음과 동시에 전자 브레이크를 이용하여 강제로 실린더를 정지시킨다. 사용된 서보밸브는 100 Hz의 대역폭과 0.3% 이하의 히스테리시스를 가지며 입력전압(0~10V)에 따라 스톱의 위치를 변화시켜 유량을 변화시키는 유량제어 밸브이다.

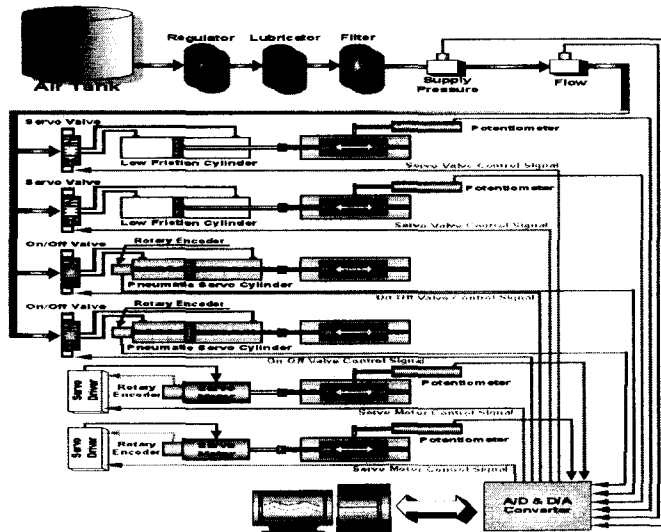


Fig. 3. Block diagram of G-axis position control system.

2-5. 신경망의 구성

본 실험에서 사용한 신경망(Neural network)은 입력인 구동기의 속도와 가속도로부터 마찰을 추정하여 출력으로 내보내고 이를 입력전압에 더해주어 실시간으로 추정된 마찰을 보상할 수 있게 한다. 그리고 신경망의 구성은 그림 4에 나타내었다.

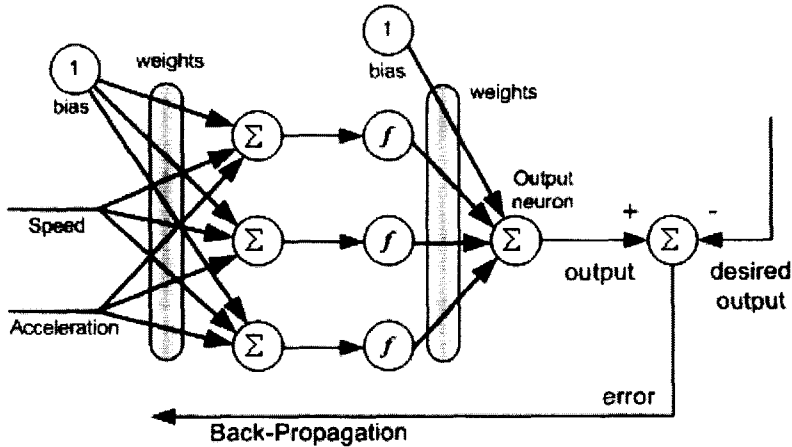


Fig. 4. Composition of neural network.

3. 결과 및 고찰

3-1. 시스템 비선형모델⁵⁻⁹⁾

3-1-1. 밸브 모델

밸브를 통과하여 흐르는 유체의 질량유량은 식(1)과 같이 표현된다.

$$\dot{m} = S\lambda_2 \sqrt{\frac{P_u}{RT}} f\left(\frac{P_d}{P_u}\right) \quad (1)$$

이 식에서 P_u , P_d 는 밸브의 유입측과 유출측 압력이고, R, T 는 각각 기체상수(공기의 경우 $29.2\text{m}^{\circ}\text{K}$), 및 절대 온도이다. S 는 밸브의 유효 단면적으로서 스펴의 위치 즉, 밸브의 입력전압에 비례하므로 전체 시스템의 입력으로 생각할 수 있다. 밸브 내 유량은 밸브의 유입측과 유출측의 압력비와 밸브의 유효단면적에 의해 달라진다. 이때, 압축성 유체의 흐름인 경우 압력비에 관련된 함수 f 는 식(2)과 같이 근사화 된다. λ_1, λ_2 는 무차원 상수이고, 임계압력 P_c 는 P_u 와 임계압력비인 r_c 의 곱으로 표현된다.

$$f\left(\frac{P_d}{P_u}\right) = \begin{cases} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \sqrt{\left(\frac{P_d}{P_u}\right)^{2/\nu} - \left(\frac{P_d}{P_u}\right)^{(\nu+1)/\nu}} & (P_d \leq P_c) \\ 1 & (P_d > P_c) \end{cases} \quad (2)$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{2\nu}{\nu-1}}, \lambda_2 = \sqrt{\nu \left(\frac{2}{\nu+1}\right)^{\frac{\nu+1}{\nu-1}}} \quad (3)$$

$$r_c = \left(\frac{2}{\nu+1}\right)^{\frac{\nu}{\nu-1}} \quad (4)$$

3-1-2. 실린더 모델

공기압 실린더 시스템은 앞서 언급했듯이 비선형성을 지니고 있는데 비선형 모델링을 위해 2가지 가정을 둔다. 첫째, 압축공기에 의한 등온과정이므로 작동유체는 이상기체로 가정한다. 둘째, 시스템의 유체 누출은 무시할 수 있다. 그러므로 식(5)로 주어진다.

$$P \left[\frac{V}{M} \right]^\nu = constant \quad (5)$$

식(5)는 미분에 의해 식(6)과 같이 표현된다.

$$\dot{P} \left[\frac{V}{M} \right]^\nu + P \nu \left[\frac{V}{M} \right]^{\nu-1} \left(\frac{\dot{V}}{M} - V \frac{1}{M^2} \dot{m} \right) = 0 \quad (6)$$

이 식(7)로 정리할 수 있다.

$$\dot{P}V + \nu P \dot{V} = \nu \dot{m} P V \frac{1}{M} \quad (7)$$

식(7)에 이상기체 상태방정식 ($PV = MRT$) 을 적용하면 실린더 내의 압력과 유입, 유출의 유량 관계를 식(8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{P}V + \nu P \dot{V} = \nu \dot{m} RT \quad (8)$$

따라서 실린더 내의 압력 변화 식은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\Delta \dot{p} = \dot{p}_a - \dot{p}_b = \frac{\nu \dot{m}_a RT}{V_a} - \frac{\nu \dot{m}_b RT}{V_b} + \frac{\nu p_a \dot{V}_a}{V_a} - \frac{\nu p_b \dot{V}_b}{V_b} \quad (9)$$

실린더의 운동 방정식은 식(10)으로 정리된다.

$$A \Delta p = A(p_a - p_b) = m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + f_c \quad (10)$$

여기서 $A, \Delta p, p_a, p_b$ 는 각각 실린더의 단면적, 실린더 내의 압력 차, a chamber의 압력, b chamber의 압력을 나타낸다.

3-2. 신경망⁵⁻¹²⁾

각각의 뉴런(neuron)은 비선형 전이함수로서 시그모이드(sigmoid) 함수를 사용하였으며, 식(11)과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (11)$$

신경망이 뉴런의 상호작용을 모델화한 것으로 서로 다른 신호 전달 효율을 고려하여 가중치를 둔다. 즉, 앞단에서 나오는 신호에 가중치를 고려하여 더한 후, 전이함수를 계산하여 다음 뉴런으로 계산된 값을 출력하는 과정을 가지고 있다.

식(11)은 다시 식(12) 및 식(13)으로 표현할 수 있다.

$$net_j^k = \sum_i w_{ij}^{k-1} O_i^{k-1} \quad (12)$$

$$O_j^k = f(net_j^k) = \frac{1}{1 + \exp(-net_j^k)} \quad (13)$$

여기서,

net_i^k : k 번째 층의 j 번째 노드의 입력

O_i^{k-1} : (k-1)번째 층의 i 번째 노드의 출력

$w_{ij}^{k-1,k}$: (k-1) 번째 층의 i 번째 노드와 k 번째 층의 j 번째 노드를 연결하는 결합계수가중치

w_{ij} 는 : 노드 i가 노드 j에 미칠 수 있는 영향력의 크기를 의미한다.

3-3. 학습 알고리즘⁵⁻¹²⁾

본 연구에서는 여러 가지 학습이론들 중에서 널리 알려진 구조중의 하나인 다층 신경망을 학습시키는데 유용한 역전파학습법(backpropagation)을 이용한다. 역전파학습법은 출력의 기대치와 실제 값의 오차를 감소시키는 방향으로 연결강도를 조절하고 상위층의 오차를 현재의 연결강도를 가중치로 하여 다음 하위층에 역전파하여 하위 층에서는 이를 근거로 하여 자기층의 결합계수를 조정해 간다. 여기서 학습율은 수정치의 크기를 조절한다.

$$w_{ij}^{k-1,k}(k+1) = w_{ij}^{k-1,k}(t) + \Delta w_{ij}^{k-1,k}(t) \quad (14)$$

$$\Delta w_{ij}^{k-1,k}(t+1) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{k-1,k}} \quad (15)$$

식 (14)에서 우변 첫 번째 항은 k 번째 학습단계에서의 연결 가중치이며, 두 번째 항은 수정 가중치이다.

3-4. 실험결과

각 액추에이터별 실험 결과는 그림 5~6과 같이 나타났다. 먼저 그림 5에 나타난 자료에 의하면 공기의 압축성에 의해 발생하는 과도상태에서의 비선형성은 제안된 궤환 선형화로 제거되어보다 좋은 성능을 가지게 됨을 한눈에 볼 수 있다. 보상을 하지 않은 경우를 점선으로 나타낸 PID 그래프는 구동 후 600msec정도까지는 그 변이가 약 130mm로 상승하였다가 다음 약 730msec정도에서 94mm정도로 떨어졌다가 1300msec까지 다시 상승과 하락을 반복하면서 어느 정도 안정되는 추세를 보이고 있지만, 그 오차는 구동 후 안정기에 대략적으로 최소 $\pm 1\text{mm}$ 이상 나타나는 것을 알 수 있다. 반면에 보상된 경우(굵은 실선)를 보면 구동된 후 시간의 흐름에 따라 변화하는 경향은 다소 비슷한 것으로 보여지고 있지만 그 기계적 편차에 대하여서는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 만약 임의로 구동 후 어느 정도 안정되는 시기를 1200msec로 잡아 상호 비교한다면 보상된 경우 보상되지 않은 경우에 비하여 구동하여 안정되기까지 그 시간도 짧음을 알 수 있으며, 그 기계적 편차도 구동 후 안정기에 대략적으로 $\pm 0.5\text{mm}$ 이하 인 것으로 나타난다. 그러므로 위치 정밀도 면에서 볼 때 On/Off 밸브를 이용한 공압 서보 실린더는 그 오차를 $\pm 0.5\text{mm}$ 이하로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

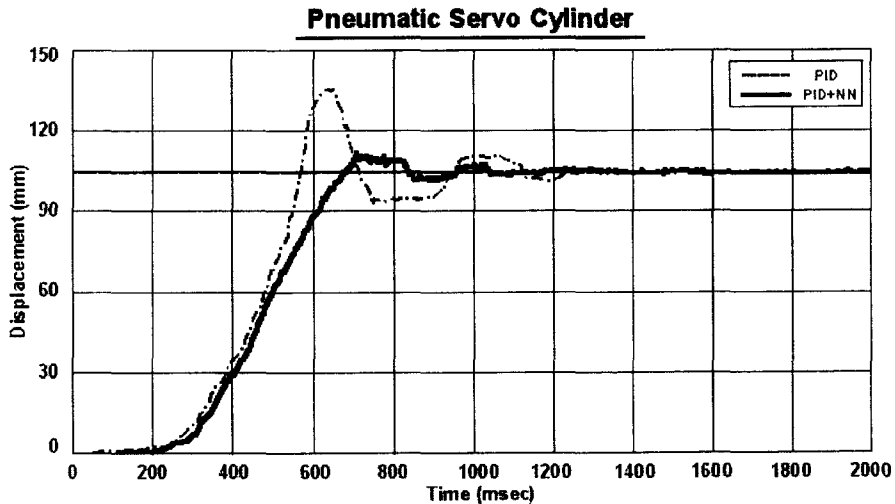


Fig. 5. Pneumatic servo cylinder and on/off valve.

한편, 서보 밸브를 이용한 공압 저마찰 실린더에 관한 자료를 수록한 그림 6을 보면 그

전반적인 성향은 그림 5와 유사하게 나타나고 있다. 이 자료에서도 보상을 하지 않은 경우 구동 후 안정기에서 대략적으로 최소 $\pm 1\text{mm}$ 이상 나타나는 것을 알 수 있다. 반면에 보상을 한 경우 구동 후 안정기에서 보다 우수하게 대략적으로 $\pm 0.1\text{mm}$ 오차이하로 나타난다. 그러므로 위치 정밀도 면에서 볼 때 서보 밸브를 이용한 공압 저마찰 실린더에 의하여 그 오차를 $\pm 0.1\text{mm}$ 이하로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

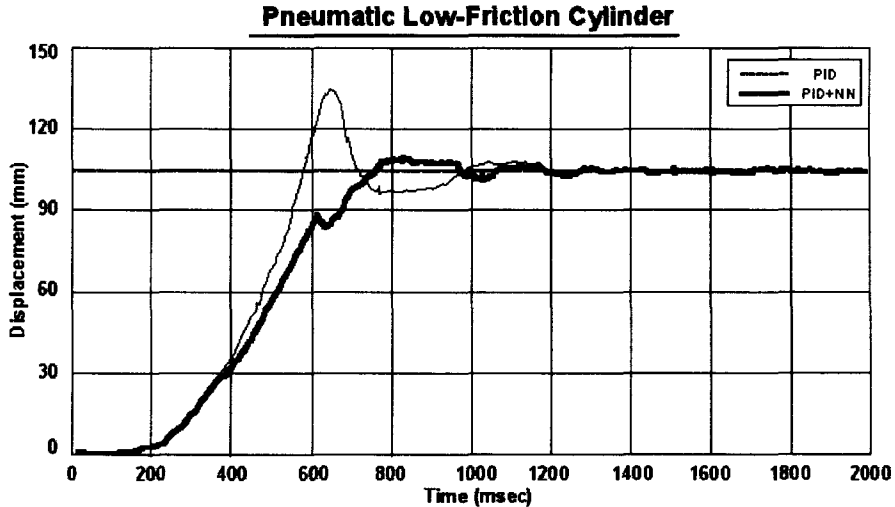


Fig. 6. Pneumatic low-friction cylinder and servo valve.

4. 결 론

1. On/Off 밸브를 이용한 공압 서보 실린더와 서보 밸브를 이용한 공압 저마찰 실린더로 서보액츄에이터를 구성하여 광전센서에 의해 고속으로 감지된 오목부 신호를 digital input으로 정의된 파형으로 analog output 신호를 서보밸브 제어기에 입력 할 수 있었다.
2. On/Off 밸브를 이용한 공압 서보 실린더와 서보 밸브를 이용한 공압 저마찰 실린더에 의해 기계적 편차를 현저히 저감시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 香田裕誌, 후렉소 印刷技術入門

- 2) DFTA & K,H, Meyer., Flexo Printing Technology, (2000).
- 3) F.N. Siconolfi., Flexography
- 4) 신중순, 최병오, 최찬호, 강영립, 플렉소 인쇄특론, 대한인쇄연구소, (2000).
- 5) Kohoku Seiko co., ltd. "Cup Pinting M/C Instruction Manual,".
- 6) 奈良 浩, "인쇄공장의 FA 화," 계측과 제어, Vol. 31, No. 10, (1992).
- 7) 松本 剛正, "인쇄기의 계측과 인쇄기 제어," Vol. 31, No. 10, (1992).
- 8) Kohoku Seiko co., ltd. "Cup Pinting M/C Instruction Manual,".
- 9) J. E. Shigleg and L. D. Mitchell, "Mechanical Engineering Design," McGraw Hill., (1983).
- 10) C. Philips, R. Harbor, "Feedback Control Systems", Prentice-Hall International, Inc.
- 11) B. Kuo, "Automatic Control Systems", Prentice-Hall International Inc.
- 12) G. Franklin, J. Powell, A. Emami-Naeimi, "Feedback Control of Dynamic Systems", Addison-Wesley Publishing Company