

핀홀형 LED 디스플레이 보드 펀칭 시스템 개발

Development of a Punching System for Pin-hole Type LED Display Board

최형식^{1,✉}, 강진일², 허재관², 한종석³
Hyeung Sik Choi^{1,✉}, Jin il Kang², Jae Gwan Her² and Jong Suk Han³

¹ 한국해양대학교 기계정보공학부(Division of Mechanical and Information Engineering, Korea maritime Univ.)

² 한국해양대학교 기계공학과 대학원 (Department of Mechanical Engineering, Korea maritime Univ.)

³ 피코시스템 (Picosystem)

✉ Corresponding author: hchoi@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4297

Manuscript received: 2009.12.29 / Revised: 2010.3.23 / Accepted: 2010.5.2

We developed a new punching system that generates pinholes expressing texts or images on a plastic plate. The pin-holed plate is used as a new glamorous display board reflecting colorful lights from the light emitting diode (LED) installed on the edge side of the plate. The four degree-of-freedom punching system was designed to make same multiple holes on four plastic plates simultaneously. For this motion, we designed a structure for a simultaneous motion of the system. For even reflection of the lights from texts or images on the board and fast production of the pin-holed boards, fast motion including precise position control is very important. We also built a PC-based integrated control system including a GUI program to help users easily design luminous texts or images on the plastic plate. Also, we conducted a performance test of the system to verify the punching speed and position control of the pin holes on the plate.

Key Words: Punching System (펀칭 시스템), LED (발광다이오드), Display Board (디스플레이 보드)

1. 서론

옥내의 선전에 많이 사용되는 네온사인, 형광등, 전구 및 LED 등을 이용한 다양한 디스플레이 장치들이 고유가로 인하여 비용이 증가하고 있다. 특히, 컬러 연출이 가능하여 상대적으로 디스플레이 효과가 좋은 네온사인은 고 전력 소모로 유지비가 증가하여 저전력 소모형 및 저가형 디스플레이 장치로 대체되고 있다. 대체 장치로 저가인 형광등이나 다양한 컬러 전구를 이용하지만 네온사인에 비해 수명이 짧고 외관이 상대적으로 미려하지 못한 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 반영구적이며 에너지 효율이 높은 LED 를 이용한 디스플레이 장치

들의 수요가 증가하며 이를 이용한 디스플레이 및 조명 장치들의 개발이 급증하고 있으나^{1,4} 디스플레이 효과를 위해 다수의 LED 를 사용하므로 가격 상승과 LED 의 외부 노출로 인하여 장치의 미관이 떨어져서 중소형 디스플레이 장치에 제한적으로 사용되고 있는 실정이다. 이러한 단점을 보완하기 위해 LED 빛의 반사효과를 이용하여 사용되는 LED 의 수를 줄여 전력소모가 적고 디스플레이 효과가 큰 Carving 형 디스플레이 장치를 개발하고 이를 생산하는 장치에 대한 연구를 하였다.⁵ 하지만, 이 장치는 다양한 컬러의 연출이 불가능하고 빛이 고르게 표현되지 못하는 단점이 있다. 최근 이러한 단점을 개선하여 전력 소모가 적고 저가이며 다양한 컬러의 연출이 가능한 차세대 디스플레이

이 장치의 구성방법이 개발되어 이를 이용한 제품화가 진행되고 있다. 이 장치의 디스플레이 방법은 유연한 플라스틱 평판에 원하는 텍스트나 이미지를 약 45° 경사진 다수의 핀홀로 구성하여 플라스틱 평판 옆면에 설치된 컬러 LED 의 빛을 반사하여 발광하는 텍스트나 이미지를 표현하는 것이다. 이러한 다양한 컬러 디스플레이 효과를 내기 위하여 플라스틱 평판 패널에 다수의 핀홀을 구성하는 장치가 필수적이다. 특히, 새로운 개념의 핀홀형 디스플레이 보드의 상품화를 위해서 이들을 자동으로 대량생산할 수 있는 새로운 시스템의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 새로운 개념의 핀홀형 디스플레이 보드를 위한 유연한 플라스틱 평판에 고속으로 정밀한 펀칭을 하여 LED 빛을 잘 반사할 수 있도록 핀홀을 구성할 수 있는 새로운 구조의 4 자유도 펀칭시스템을 개발하였다. 개발한 펀칭시스템의 기구부 구성 및 동작 특성과 제어시스템 구성에 대해 설명하였다. 또한 원하는 색깔의 형상이나 글자를 설계하고 이를 시물레이션 할 수 있으며, 설계 결과를 펀칭기계에 전송하여 펀칭작업을 용이하게 할 수 있도록 개발한 GUI 환경의 설계 및 시물레이션 프로그램에 대하여 설명하였다.

2. 펀칭시스템 기구부

2.1 펀칭시스템 기구부 개요

홀은 작업대 위의 플라스틱 평판에 직접 개발한 설계 및 시물레이션 프로그램에 의해 펀칭기계에 입력된 좌표 데이터에 따라 각각의 펀처에 달려있는 강철 핀에 의해 생성된다. 핀홀은 약 5mm 두께의 플라스틱 평판을 관통하지 않고 0.7mm 가량의 깊이로 경사진 홈의 형태가 되고, Fig. 1 과 같이 생성된 홈의 면에 LED 의 빛이 반사되어 원하는 형상대로 디스플레이 된다. 디스플레이 보드의 생산량을 늘리기 위해 Fig. 2 와 같이 플라스틱 평판에 핀홀을 생성하는 펀처를 전후 2 개씩 총 4 개를 부착하고 동기화하여 한번에 4 개의 보드를 제작할 수 있는 펀칭장치를 Fig. 3 과 같이 제작하였다.

구동 기구의 자유도는 작업대의 좌측모서리를 원점으로 두고 펀처를 테이블 평면(X-Y) 위의 임의의 점으로 이동시키는 X, Y 축과 펀처 헤드의 회전각을 조절하는 R 축, 그리고 핀홀 깊이를 생성하는 Z 축의 총 4 자유도로 구성된다. X 축과 Y 축의

작업범위는 250mm x 500mm 이고 디스플레이 보드를 4 개를 동시에 제작할 수 있다. 시스템의 구조를 보다 자세히 나타내는 도면을 부록에 첨부하였다.

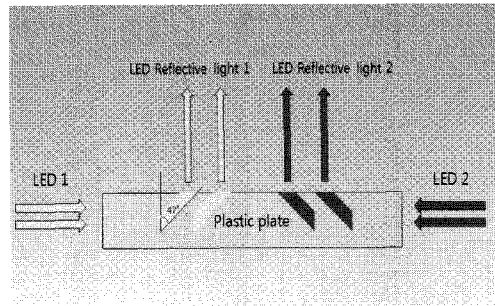


Fig. 1 Method of reflecting LED light

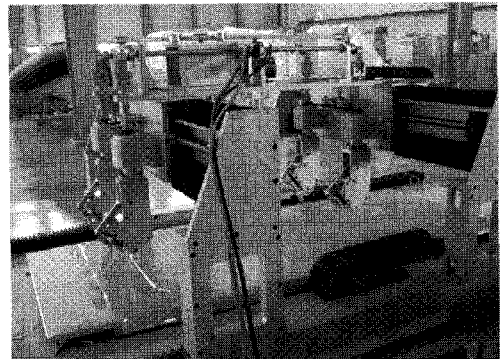


Fig. 2 Mechanism of 4 pin-hole punchers

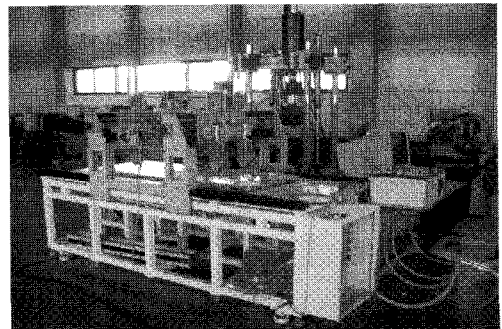


Fig. 3 Appearance of the punching system

2.2 평면(X-Y) 구동용 기구부 구성

Fig. 4 는 좌우(X) 구동축의 구성을 나타낸다. 볼스크류가 부착된 스테핑모터에 1:1 의 폴리비로 타이밍벨트가 체결되어, 펀처헤드의 좌우 구동이 가능하도록 제작하였다.

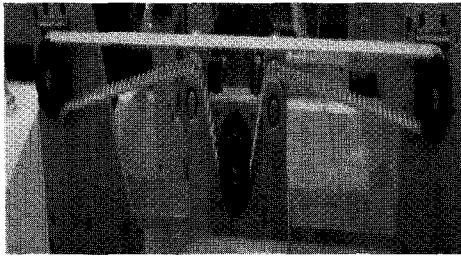


Fig. 4 External appearance of X axis

전후(Y) 구동축의 구성은 아래 Fig. 5 와 같다. X 축과 같이 1:1 폴리비로 타이밍 벨트를 체결하여 구동하도록 하였다. LM 가이드와 볼스크류를 사용하여 X 축 구동부를 포함한 전체 펀칭축을 전후로 이송하므로 정밀도를 위해 타이밍벨트로 직결하는 구조를 채택하였다.

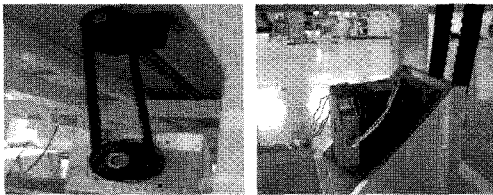


Fig. 5 External appearance of Y Axis

2.3 펀치헤드 기구부 구성

펀치헤드는 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 크랭크 축 운동을 상하 운동으로 바꾸어 펀칭작업을 수행하게 된다. LED 빛을 최적으로 반사하는 약 45° 경사진 편흔을 생성하기 위하여 헤드와 작업대의 각도가 약 45° 로 기울어져 있어서 보드의 모서리 부근에서 각 방향에 따라 들어오는 LED 의 빛을 보드 전면으로 반사하게 한다.

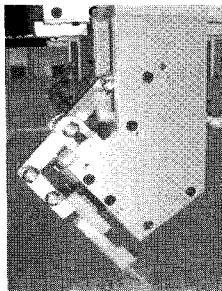


Fig. 6 Picture of the puncher head

펀치구동용 기구부는 동시에 4 개의 펀치헤드의 회전각과 편흔의 깊이 생성 작업이 수행 되도록

구성되었다. Fig. 7 과 같이 타이밍벨트로 연결된 4 개의 펀치헤드가 회전각을 조절할 수 있는 메커니즘과 플라스틱 평판에 편흔을 생성하는 메커니즘으로 구성하였다. 펀치 및 구동축에 사용된 구동 모터의 사양은 Table 1 에 나타내었다.

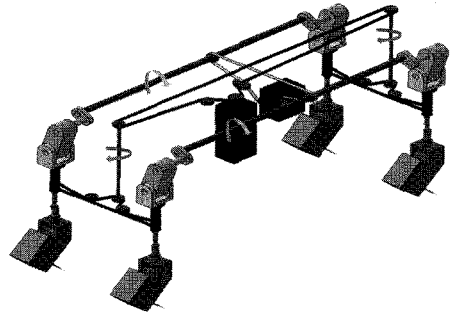


Fig. 7 Structure of actuating mechanism

Table 1 Specification of the Actuating motors

Motor	Specification	Axis
Tamagawa Stepping Motor	Step degree: 1.8 Deg. Rated voltage: 1.8~2.6 V/Phase Rated current: 3.2~6.4 A/Phase Holding torque: 2.45~3.43 Nm	X, Y, R
Mitsubishi AC servo Motor	Rated power: 200W Rated RPM: 3000rpm Resolution: 131072 pulse/rev	Z

2.4 진공 펌프부

45° 경사진 펀칭작업 시 플라스틱 보드의 미끌림이 발생하므로 이를 방지하기 위해 Fig. 8 과 같이 진공펌프와 진공판을 이용하여 공압으로 보드를 고정하였다. 플라스틱 보드를 고정하기 위한 공압은 Fig. 9 와 같은 구조로 진공판의 압축공기가 여러 개의 노즐이 설치된 확대판을 통과하게 되면 상대적으로 압력이 낮아진 진공 상태를 만들게 된다.

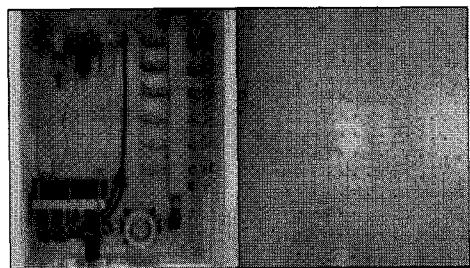


Fig. 8 Vacuum pump and vacuum plate

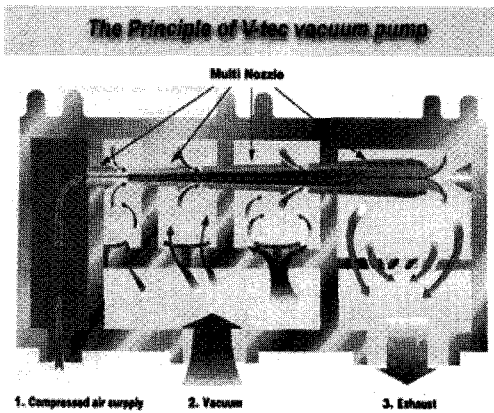


Fig. 9 Structure of vacuum plate

3. 제어시스템 구성

3.1 PC 기반의 제어시스템

본 연구에서는 PC 의 PCI 슬롯에 장착하여 사용 가능한 Fig. 10 과 같이 AJIN EXTEK 사의 SMC-2V03 모듈을 사용하였다.⁷ 이 모듈은 직선 가감속, Quasi-S 자, 속도/위치량 override 등의 속도 프로파일 을 가지는 위치제어에 필요한 알고리즘을 모터 제어 전용 ASIC 칩으로 구현하여 단순한 command 설정만으로 고속 정밀 위치 제어용 프로그램을 쉽고 간단하게 구현할 수 있다.

SMC-2V03 은 Fig. 11 과 같이 PLD 부, 모션 제어를 위한 CAMC-IP 부, 펄스 출력과 접점 신호의 입출력부로 구성된다. PLD 부는 모듈 캐리어보드와 연결된 각종 버스 와 제어신호를 이용하여 CAMC-IP 를 인터페이스 하는 부분과 잔여펄스 삭제 신호 발생 기능 등의 여러 가지 부가 기능 및 인터럽트 처리부분으로 구성되어 있다.

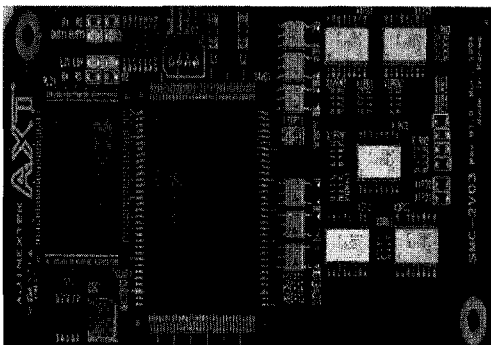


Fig. 10 SMC-2V03

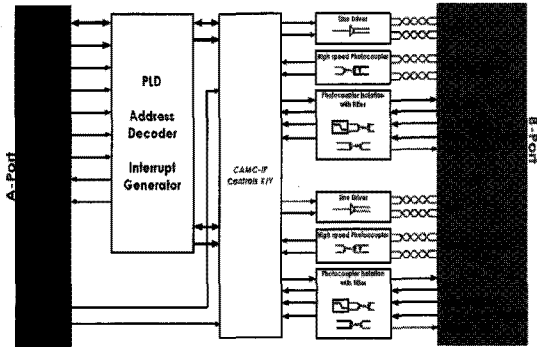


Fig. 11 SMC-2V03 block diagram

3.2 컨트롤 시스템 구성

PC 에서 나오는 컨트롤보드의 신호는 T-68-PR 단자대를 통하여 각각의 모터드라이버와 연결된다. 모터드라이버와 단자대를 연결하고 각종 I/O 신호를 연결하기 위하여 Fig. 12 와 같이 컨트롤박스를 제작하였다. 컨트롤박스 내부에는 Mitsubishi 사의 AC 서보 모터드라이버(MR-J2S-20A) 1 개와 PAIX 사의 스테핑모터 드라이버(PMD524BA) 3 개, 5V/12V 파워서플라이와 방열을 위한 쿨러 2 개 등을 배치하였다.

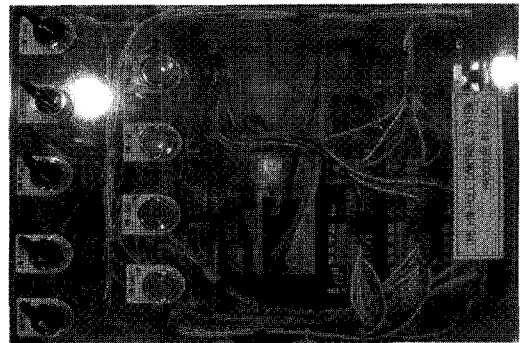


Fig. 12 Control box

3.3 펀칭 작업 시 제어 알고리즘 구성

고속의 제작 장치를 제어하기 위해서는 좌표간의 이동간 속도 및 가/감속도가 중요하다. 가/감속도는 빠를수록 고속 동작이 가능하나 모터의 토크 한계와 기구적인 한계가 있어서 이를 극복하기 위해 이론적인 계산과 실험을 수행하여 Table 2 와 같이 적합한 파라미터를 도출하였다. 각 구간의 실제 거리는 매우 짧기 때문에 속도보다는 가속도를 높게 책정하였다.

Table 2 Actuating motor parameter

Axis	Velocity (mm/s)	Acceleration (mm/s ²)	Deleration (mm/s ²)
X	60	300	300
Y	60	300	300
R (rotation)	10	20	20
Z	200	200	200

고속의 펀칭 작업은 고속의 X-Y 이동과 함께 일어남으로 펀칭 작업 시에 핀이 플라스틱 평판에 박혀있는 동안 X-Y 축으로 이동하면 핀이 부러지거나 핀홀이 일그러지는 현상이 발생한다. 따라서 플라스틱 평판에 핀이 박혀있는 구간의 엔코더 신호 값을 측정하여 이송하는 알고리즘을 구성하였다. Fig. 13 은 이 작업 알고리즘의 순서도이다.

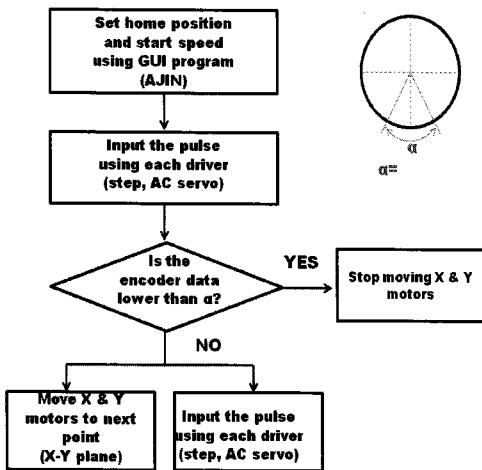


Fig. 13 Motion diagram of the punching

3.4 전체 공정 제어시스템 구성

전체 공정의 제어시스템은 아래 Fig. 14 와 같다. 작업자가 설정한 좌표 데이터와 각 모터들의 파라미터를 통합 제어 프로그램 상에서 설정하고 작업을 시작하게 되면, 제어보드(2V-03)에 데이터들이 전달되고 이는 컨트롤박스 내의 모터드라이버와 진공펌프 제어기에 제어신호로 전달된다. 제어신호에 따라 작업대 위 진공펌프에 의한 플라스틱 평판의 고정과 함께 펀치는 시작위치로 이동하고, 좌표 데이터와 방향에 따라 작업을 실시하게 된다.

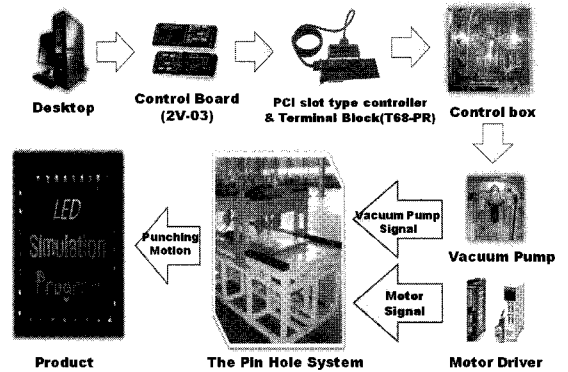


Fig. 14 Process for overall control system

4. PC 기반의 GUI 프로그램 개발

문자나 그림형태의 핀홀을 용이하게 구성하기 위해서 이미지를 용이하게 불러와서 선명하고 색깔 별로 발광할 수 있도록 펀칭 좌표를 생성하는 GUI 프로그램이 필요하다. 따라서 기본적인 이미지 프로세싱 기법(이미지 확대, 축소, 밝기조절, 경계선 추출)을 적용 가능한 GUI 환경의 프로그램을 MFC 를 이용하여 작성하였다.⁸ 개발한 프로그램은 BMP, JPEG, GIF, PNG, TIFF 등의 그림파일뿐만 아니라 Fig. 15 와 같이 원하는 글자와 글자체를 작성하고 윤곽선을 추출할 수 있다. 각 좌표의 방향 설정은 프로그램 상에서 마우스로 영역을 지정하고 해당영역을 4 가지 방향(UP, RIGHT, DOWN, LEFT)으로 각각 설정할 수 있다. 또한 사용자의 편의를 위해 방향이 정해진 좌표들은 방향에 따른 색상으로 표현되어 프로그램상에서 시각적으로 구별된다.

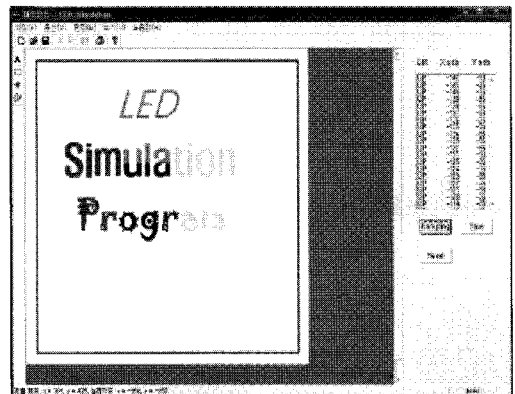


Fig. 15 GUI program in bitmap format

최종적으로 추출된 좌표는 텍스트 파일로 저장한 뒤 Fig. 16 에 보이는 제어 프로그램에 넘겨주어 실제로 모니터 화면과 1:1 매칭되어 같은 그림으로 펀칭 작업을 수행할 수 있다. 제어 프로그램은 각각의 모터의 Servo on/off 및 좌표 값에 따른 구동과 모터의 속도 조절 및 진공 펌프의 진공/파기 밸브 제어를 PC 환경에서 컨트롤 할 수 있도록 구성 하였다. Fig. 17 은 Fig.16 에서 추출한 좌표를 제어 프로그램에 넘겨주어 실제 제작한 플라스틱 평판에 4 방향의 LED 불빛을 반사시켜 디스플레이한 사진이다.

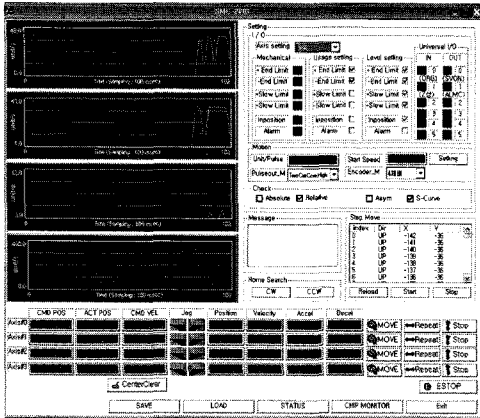


Fig. 16 Program for four-axis motor control and input/output control



Fig. 17 Developed luminous display board

5. 펀칭시스템 성능 시험

성능시험은 크게 펀칭 속도, X-Y 평면 위치정도를 시험하였다. 디스플레이 보드에 구성되는 펀홀 개수는 많게는 1000 개 이상으로 구성되어 펀칭 속도는 제품의 생산속도와 직결된다. 또한 X-Y 평

면 위치 정도에 따라 더욱 세밀하며 고른 광량의 형상을 표현할 수 있다.

5.1 펀칭 속도 성능시험

펀칭축 구동 모터의 사양은 200W 에 3000RPM 의 정격회전속도를 갖추고 있다. 실제 작업시 펀칭축의 속도는 지정된 위치(좌표)에 펀치 헤드가 도달 즉시, 펀칭 작업을 수행하므로, 펀홀의 개수, 모양, 시작점의 위치 등의 영향에 따라 펀칭 속도는 달라질 수 있다.

본 실험에서는 펀홀의 개수 및 모양 시작점은 동일하게 적용하여 펀칭 속도를 측정하였다. Z 축의 펀칭 속도를 측정하기 위하여 Mitsubishi 사에서 제공하는 AC servo 전용 프로그램을 사용하여 성능시험한 결과 Fig. 19 와 같이 최대 1200RPM 의 펀칭 속도가 측정되었다. 펀이 평판에 박혀 있는 구간은 225° ~315° 이므로 실제 1 회 펀칭 소요시간은 다음과 같다.

$$\frac{1}{1200} \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{4} \times 1000 = 12.5 \text{ ms}$$

따라서 1 회전에 걸리는 시간 50ms 중 실제 펀칭소요시간 12.5ms 와 내부 처리시간 10ms 를 제외한 27.5ms 내에 펀치를 이송하면, 딜레이 없이 다음 펀홀을 생성할 수 있다. 이를 확인하기 위해 Fig. 20 과 같은 사다리꼴 프로파일을 시스템에 적용하고 생성되는 펀홀 간 거리를 1mm 로 정하여 펀치 이송시간을 나타내면 다음과 같다.

$$2 \times t^1 \times 60 \text{ mm/s} \times \frac{1}{2} + t^2 \times 60 \text{ mm/s} = 1 \text{ mm} \quad (1)$$

$$2t^1 = t^2 \quad (2)$$

여기서 t^1 은 가감속구간에 소요되는 시간이고, t^2 는 등속도구간에 소요된 시간이다. 펀치이송 시간은 다음과 같다.

$$t_h = 2t^1 + t^2 = 2 \times \frac{1}{180} \text{ s} + \frac{1}{90} \text{ s} = \frac{1}{45} \text{ s} = 22.2 \text{ ms} \quad (3)$$

이를 통해 1200RPM 의 편칭 속도로 초당 20 개 의 편홀을 생성 가능한 시스템임을 검증하였다.

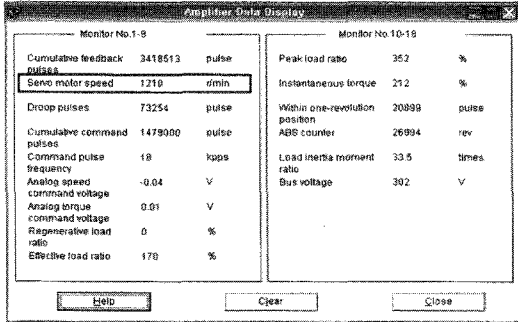


Fig. 18 Setting of motor control parameter

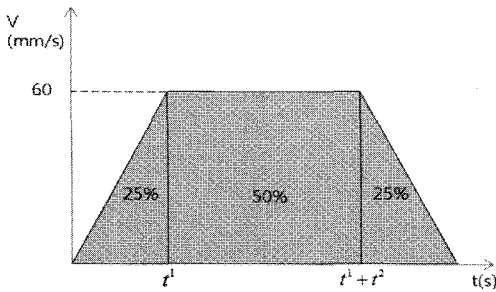


Fig. 19 Velocity profile

5.2 편칭 위치제어 성능 시험

플라스틱 평판 위에 가로 세로 1mm 의 간격으로 편칭 작업을 수행하여 생성된 홀을 주사 전자현미경(SEM-JSM5410)의 35 배율로 Fig. 20 과 같이

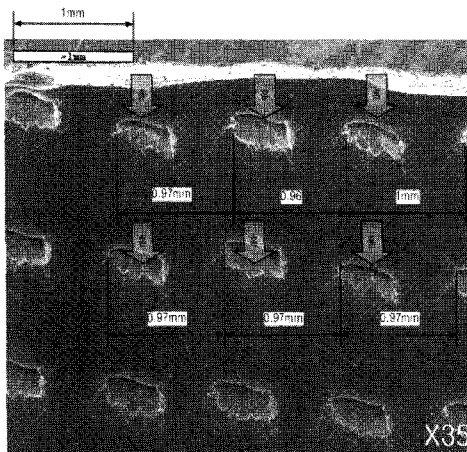


Fig. 20 Measurement of distance between pin holes-electron microscope

검사하였다. 그림 상부의 1mm 길이의 막대바를 기준으로 비율적으로 픽셀단위로 환산하여 각 홀의 시작점부터 다음 홀까지의 길이를 비교해 본 결과 각 홀 당 0.96~1mm 의 간격으로 생성되어 평균적으로 0.027mm 의 정도의 오차를 가지는 것을 확인하였다. 여러 번의 실험을 통하여 편홀 간의 오차가 약 0.08(mm) 내에 들면 글자의 선명도에서 별 차이가 없음을 확인하였다. 따라서 본 시스템의 오차는 발광하는 글자나 이미지의 선이 매우 일정하게 보이기에 충분한 정도이고 제작한 디스플레이 보드를 통해 이를 확인할 수 있었다.

6. 결론

LED 소자를 이용하여 다양한 컬러 연출이 가능한 새로운 편홀형 LED 디스플레이 보드를 자동으로 제작할 수 있는 새로운 시스템을 개발하고 개별내용에 대하여 기술하였다. 총 4 자유도를 갖는 편홀 생성 시스템은 동시에 4 개의 디스플레이 보드를 생산할 수 있는 기구부로 구성되었다. 개발 시스템의 제어를 위하여 PC 기반의 통합 제어 시스템을 구성하여 PC 상에서 그림이나 문자를 입력하여 제작할 발광 디스플레이보드의 그림이나 문자 형상을 실제 시스템의 디스플레이와 유사하게 시뮬레이션하는 기능을 개발하였다. 시뮬레이션 후에 편칭 데이터는 편홀 장치로 보내어져 자동으로 플라스틱 보드에 같은 편홀을 형성할 수 있는 GUI 프로그램을 개발하였다.

디스플레이 보드의 고속 생산속도와 발광조도의 균질성을 위한 편홀들의 위치 제어는 매우 중요하여 개발 시스템의 성능 평가를 실시하였다. 편칭 속도는 초당 20 개의 고속임에도 유연한 플라스틱 평판 위의 편홀의 평면 위치정도는 0.027mm 이내로 발광하는 글자나 이미지의 선명도가 높은 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-C1090-1021-0015).

참고문헌

1. Choi, M. S., "LED technology for lighting, market trend and application," Next Generation Lighting

(LED/LD/OLED/CNT) Seminar on Market Analysis and Examples of Development, pp. 34-41, 2006.

2. Hwang, M. K., "LED/new lighting device technology trend and technology project example," Seminar on Strategy/technology for Enforcement of Worldwide LED Capability, pp. 5-25, 2008.
3. Ross Webster., "PAR30-Style LED Bulb Uses 9 Watts To Replace 50 to 75-Watt Halogens," LED Journal, p. 17, 2009.
4. Eartheasy, http://www.eartheasy.com/live_energyeff_lighting.htm
5. Shin, H. S., Kim, C. B., Lee, K. J., Park, C. H., Keon, Y. C. and Kim, J. H., "3D Face Carving Machine System: Aikolai System," Proc. of Korean Society of Machine Tool Engineering Spring Conference, pp. 361-364, 2001.
6. Shin, H. C. and Park, K. J., "Luminous Decorative Device," US Patent, No. US6002079, 1999,
7. AJINEXTEK, <http://www.ajinnextek.com>
8. Prosize, J., "Programming Windows with MFC, 2nd Edition," Microsoft Press, 1999.

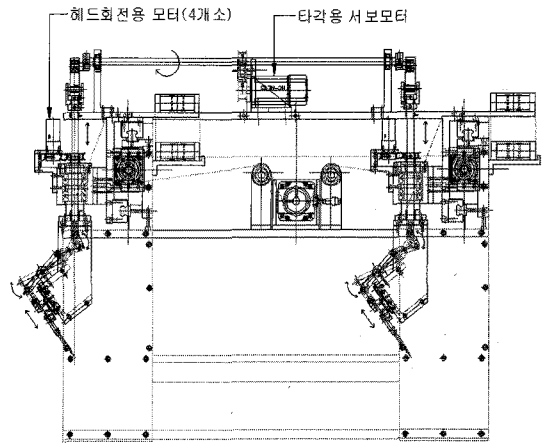


Fig. A2 Front figure of the punching machine

부 록

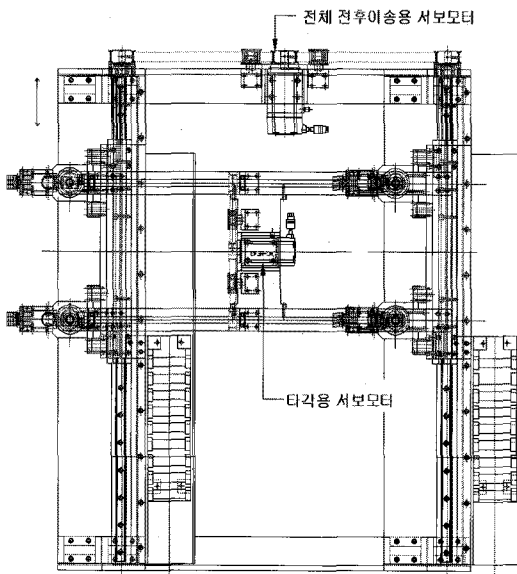


Fig. A1 Plane figure of the punching machine