

비전 기반의 FPC용 자동 펀칭시스템

이영춘*, 이성철#

Automatic Punching System for FPC using Machine Vision

Young-Choon Lee* and Seong-Cheol Lee#

ABSTRACT

This paper is about the development of Automatic FPC(flexible printed circuit) punching instrument for the improvement of working condition and cost saving. FPC is used to detect the contact position of keyboard and button like a cellular phone. Depending on the quality of the printed ink and position of reference punching point to the FPC, the resistance and current are varied to the malfunctioning values. The size of reference punching point is 2mm and the above. Because the punching operation is done manually, The punching accuracy is varied with operator's condition. Recently, The punching accuracy has deteriorated severely to the 2mm punching reference hall so that assembly of the K/B has hardly done. To improve this manual punching operation to the FPC, automatic FPC punching system is introduced. Precise mechanical parts like a 5-step stepping motor and ball screw mechanism are designed and tested and low cost PC camera is used for the sake of cost down instead of using high quality vision systems for the factory automation. Test algorithms and programs showed good results to the designed automatic punching system and led to the increasement of productivity and huge cost down to law material like FPC by avoiding bad quality.

Key Words : FPC (Flexible printed circuit), Step motor(스텝 모터), Web camera(웹 카메라), Lighting system(조명 시스템), Automatic punching system(자동펀칭기), Position control(위치제어)

1. 서론

현재 보급되어 있는 대부분의 컴퓨터, 금전출납기, 핸드폰 등의 키보드는 FPC(flexible printed circuit)의 특수한 필름식 접점 스위치가 삽입되어 있다. 즉, 사용자가 키보드를 누르면 키탑(key top) 하단부의 접촉점이 필름식 접점 스위치를 누르게 되어 PS/2 통신에 의한 데이터 전달이 이루어진

다. 따라서 FPC 필름은 데이터 전달에 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 FPC를 제작하는 과정은 쉬운 일이 아니며, 그 중에서도 가장 어려움을 겪고 있는 공정 중의 하나가 FPC의 상하 필름을 합체하는 공정으로, 이 합체공정 전에 기준점이 표시된 부분을 수동으로 펀칭하는 과정에서는 펀칭의 정확도와 제품의 균일성을 보장할 수 없다. 즉 수동펀칭 공정은 작업자의 경험에 의한 작업으로

접수일: 2005년 07월 27일; 게재승인일: 2005년 10월 7일

* 한국산업단지공단 군산클러스터추진단

교신저자: 전북대학교 기계공학과

E-mail : mcconlee@chonbuk.ac.kr Tel: (063) 270-2320

정밀도에서 크게 편차를 보이고 있기 때문에, 제품의 품질 향상에 많은 제한을 받고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 정도를 향상시키고 작업공정을 편리하게 하기 위해서 비전시스템¹⁴을 사용하고 편칭위치를 계산하고 제어하는 시스템을 개발하는데 목적이 있다. 비전을 이용한 FPC 자동편칭 시스템을 구성하기 위해서는 각각의 구동부별 모듈화가 필요하며, 기능별로 크게 구분하여 비전 시스템부, X-Y 위치 이동부, 그리고 편칭 동작부의 3부분으로 구성하였다. 비전 시스템부는 FPC의 편칭 위치를 확인하는 센서 역할을 하고, X-Y 위치 이동부는 비전에서 검출된 위치정보를 이용하여 가상 원점과의 보정 값만큼 X-Y축을 이동시키는 기능을 하고 있다. 그리고 위치 보정이 완료된 후에는 편칭 동작부에 의하여 편칭 작업이 진행된다.

요구되는 시스템 사양과 연구 내용은 비전 시스템부와 X-Y 이동부에 대한 정밀 설계, 인터페이스 회로 구성, 그리고 상호 연계하여 동작토록 제어하는 주 제어패널(main control panel)을 프로그래밍하는 알고리즘이다. 여기서, 편칭할 FPC 필름의 두께는 0.025~0.8mm 범위를 대상으로 하였으며, 이를 만족하도록 구동부와 위치보정 시스템을 설계하였다. 카메라는 일반적으로 많이 보급되어 있는 30만 화소급의 웹카메라(USB 1.0, 15frames/sec)를 사용함으로써 개발 제품의 원가절감을 추구하고, 카메라 구동용 프로그램은 Visual C++ 언어를 사용하였다.^{5,6} 화상 데이터의 저장과 위치 값 정보를 구하기 위하여 카메라 제작회사의 디바이스 드라이버 프로그램을 이용하였고, 카메라 자체의 화이트 밸런스 및 명암을 소프트웨어로 조절할 수 있도록 하였다.

한편, 카메라의 위치 정보를 스텝모터(오리엔탈 모터, SPL42T2-05, 0.72deg/step)에 전달하기 위해 9,600bps의 RS232C 통신방식을 채택하였으며, PC(펜티엄4, 2GHz)와 ATmega 128 AVR마이크로프로세서와의 통신으로 스텝모터를 제어하였다. 작업 속도를 높이기 위하여 스텝모터의 가감속 제어를 실시하였고, 최적의 운동특성을 구하였으며, 작업물의 하중을 견디기 위한 안전 설계를 실시하였다.

본 연구 결과로 개발된 머신비전을 이용한 자동 편칭 시스템을 실험적으로 현장에 적용해 본 결과, 목표로 하는 작업 시간 1.5초 이내를 만족하고 있었으며 수동에 의한 편칭 불량 발생을 근본적으로 제거할 수 있었고, 이에 따라 원가 절감 및 생산성

향상을 이룰 수 있음을 확인하였다.

2. 영상처리 알고리즘

공장자동화를 구성하는 대부분의 영상 시스템은 아날로그 카메라를 이용하고 있다. 아날로그 카메라는 속도가 빠르다는 장점과 입력된 영상 데이터를 프레임 그래버(frame grabber)인 A/D 변환보드를 통해 컴퓨터로 전송하여 각종의 유저가 원하는 프로그램으로 개발할 수 있도록 풍부한 DLL 및 Active X를 제공하고 있으나 가격이 고가라는 단점이 있다.

본 연구에서는 시스템의 원가 절감에 초점을 두었고, 따라서 주위에서 쉽게 구입할 수 있는 저가의 디지털 웹 카메라를 사용하여 Visual C++ 프로그램으로 영상처리 알고리즘을 구성하여 활용 가능성 타진에도 연구목적이 있다. 본 연구에서 적용한 영상처리 알고리즘은 다음과 같다.

2.1 Morphology 연산

Morphology(형태학적인 접근) 기법의 기본 아이디어는 미리 기하학적 형태를 알고 있는 대상 물체의 정보를 반영하여 영상 내에서 원하는 부분만을 추출하는 것이다. 일반 영상의 경우 영상 내에는 다양한 물체들이 혼합되어 있으며 우리가 관심을 가지는 나머지 물체들은 노이즈 성분이라 할 수 있다. 이때 원하는 물체만을 추출하기 위해서 morphology법을 사용하는데 이 기법에서는 마스크 기반 영상 처리에서의 마스크 역할을 수행하는 구조 요소(structuring element)를 사용하고 있으며, 구조요소의 형태를 미리 알고 있는 기하학적 형태로 구성하여 영상 처리한다. 이 기법을 구성하는 가장 기본적인 연산으로는 침식(erosion)연산과 팽창(dilation)연산이 있다.^{7,8}

2.1.1 침식(erosion) 연산

'0'과 '1'의 두 가지 상태를 가지는 2진 영상의 기본적인 연산에서, 영상 내에서 구조 요소의 모든 요소가 영역 내에 존재하면 현재 그 지점의 값을 1로 설정한다. 침식연산은 원 이미지 A와 구조요소 B에 의해 구현되며, B에 의한 A의 침식은 모든 $b \in B$ 에 대한 $c+b \in A$ 를 만족하는 c 집합으로 정의되는 수식으로 다음과 같이 표현할

수 있다.

$$A \ominus B = \{c \mid c + b \in a \text{ for every } b \in B\} \quad (1)$$

또는,

$$A \ominus B = \{c \mid c = a - b \text{ for every } b \in B\}$$

이다.

여기서, 각각의 집합은 $a = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $b = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 이다. 그리고 연산기호 \ominus 는 민코스키감산(Minkowsky subtraction)이다.

2.1.2 팽창(dilation) 연산

‘0’과 ‘1’의 두 가지 상태를 가지는 2진 영상의 기본적인 연산에서, 영상 내에서 구조 요소의 값 중 하나라도 영역 내에 존재하면 현재 그 지점 값을 ‘0’으로 설정한다. 침식연산은 원 이미지 A와 구조요소 B에 의해 구현되며, B에 의한 A의 팽창은 $c = a + b$ 를 만족하는 모든 c집합으로 정의되며 수식은 다음과 같다.

$$A \oplus B = \{c \mid c = a + b \text{ for some } a \in A \text{ and } b \in B\}$$

또는,
$$A \oplus B = \bigcup_{x \in B} A + x \quad (2)$$

이다.

여기서, 각각의 집합은 $a = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $b = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 이며, 연산기호 \oplus 는 민코스키가산(Minkowsky addition)이다.

2.2 곱셈(multiplication) 연산

이치화(binanzation)된 영상에 상수 값을 곱함으로써, 원하는 이미지를 부각시키는 방법으로 식 (3)과 같으며, 본 연구에서는 최종적으로 연산된 이미지에 스레쉬홀드(threshold) 값을 적용하여 조명 시스템의 특성을 맞추었다.

$$OutImg[x][y] = InImg[x][y] \times C \quad (3)$$

여기서, $InImg[x][y]$ 원본 영상, $OutImg[x][y]$ 는

출력 영상, C는 상수값(0-255)이고, x는 x-축 픽셀 수, y는 y-축 픽셀 수이다.

3. 원 중심을 계산하는 알고리즘

3.1 모멘트 법

라벨링된 임의의 영역에 대한 구성 픽셀의 세로와 가로 영상의 중심 좌표 (\bar{x}, \bar{y}) 는 다음과 같이 나타낸다.

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^N x_i}{N}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_i^N y_i}{N} \quad (4)$$

여기서, x_i 는 픽셀의 x좌표, y_i 는 픽셀의 y좌표, 그리고 N은 총 픽셀 수이다.

3.2 최소제곱법

일차 미분법을 통하여 구한 경계를 가지고 원의 반지름 r 및 중심 (x_0, y_0) 을 구하기 위하여 다음과 같은 원의 방정식을 가정한다.

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = r^2, \quad i=1, \dots, n \quad (5)$$

여기서, n은 경계를 구성하는 픽셀 수이고, (x_i, y_i) 는 경계픽셀의 (x, y) 좌표 값이다. 식 (5)의 우변을 좌변으로 넘기고 오차의 제곱을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} E &= \sum_{i=1}^n [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 - r^2]^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + x_0^2 + y_i^2 - 2y_i y_0 + y_0^2 - r^2)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + x_0^2 + y_0^2 - r^2)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, $z = x_0^2 + y_0^2 - r^2$ 이다. 식 (6)을 최소화하는 좌표 (x_0, y_0) 를 구하기 위해 편미분하면 식 (7)과 같이 되고 원의 반지름 r 및 중심좌표 (x_0, y_0) 을

구할 수가 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial x_0} &= \sum_{i=1}^n 2(x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) (-2x_i) = 0 \\ &= 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) (-2x_i) = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial y_0} &= \sum_{i=1}^n 2(x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) (-2y_i) = 0 \\ &= 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) (-2y_i) = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial z} &= \sum_{i=1}^n 2(x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) = 0 \\ &= 2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

위 식을 전개하면 다음과 같은 식 (8)이 되고

$$\begin{aligned} x_0 \sum_{i=1}^n 2x_i^2 + y_0 \sum_{i=1}^n 2x_i y_i - z \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n x_i^3 + \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 \\ x_0 \sum_{i=1}^n 2x_i y_i + y_0 \sum_{i=1}^n 2y_i^2 - z \sum_{i=1}^n y_i &= \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i + \sum_{i=1}^n y_i^3 \\ x_0 \sum_{i=1}^n 2x_i + y_0 \sum_{i=1}^n 2y_i - z &= \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에 Cramer's rule⁹⁾을 적용하면 원의 중심좌표 (x_0, y_0) 와 반경 r 을 구할 수 있다.

4. 비전 자동 펀칭기의 구성

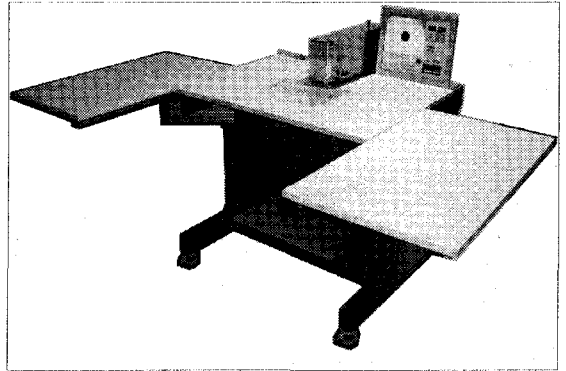
4.1 3차원 설계

비전 자동 펀칭기의 기구적인 구조 및 비전 시스템과 제어부의 포괄적이고 합리적인 설계를 위해 3차원 설계 프로그램인 Pro/Engineering CAD S/W를 사용하였다. Fig. 1은 비전 펀칭기의 3차원 설계도이다.

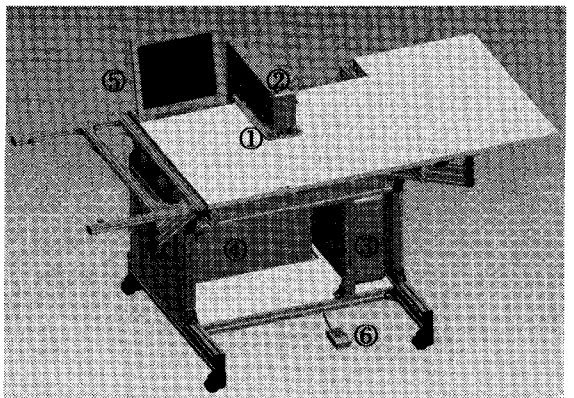
Fig. 1에서와 같이 자체 중량을 줄이기 위해 상판 및 발판은 경량의 목재를 사용하였다. 한편, 인쇄 후 가열로를 통과한 FPC를 펀칭 작업하기 위해 펀칭기의 양 옆에 적치용 상판을 추가로 설계하여 펀칭 작업이 효율적으로 이루어지게 함으로써, 작업자 위주의 설계를 도모하였으며, 펀칭부 구조의 강도 보강을 위해서 알루미늄 재질의 프레임틀을 사용하였다.

두께 범위가 0.025~0.8 mm인 FPC 필름을 펀칭할 수 있도록 최적의 공압 시스템으로 설계하였으며, Fig. 2는 이와 관련된 구동부와 위치 보정시스

템을 보여주는 비전 자동 펀칭기의 내부 설계 모습이다.



(a) Actual photo



(b) 3D model: ① punch & die, ② camera, ③ PC, ④ controller, ⑤ LCD monitor, ⑥ foot switch

Fig. 1 Automatic punching system

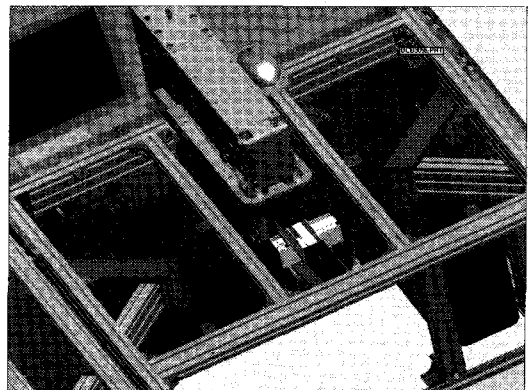


Fig. 2 Inside view of automatic punching system

4.2 시스템 개략도 및 작업 순서

Fig. 3은 비전 펀칭 시스템의 전체적인 제어흐름을 설명하는 개략도이다. 카메라에서 인식된 목표물의 위치와 X-Y 이송부에 의한 비교 값이 오차로 계산되어 마이크로프로세서 내의 제어 알고리즘에 의해 오차 보상을 하는 시스템이다. 오차 값이 일정한 범위 안에 안정이 되었을 경우에 펀칭 작업이 이루어진다.

한편, Table 1은 본 연구에 사용된 중요 부품들에 대한 사양이다.

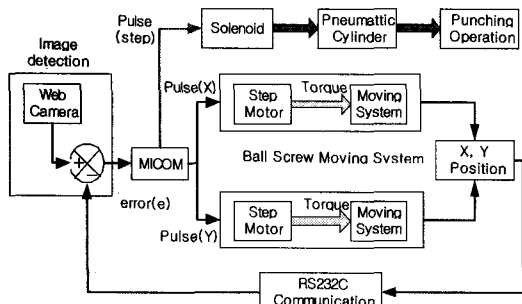


Fig. 3 Block diagram of automatic punching system

Table 1 Specifications of the automatic punching system

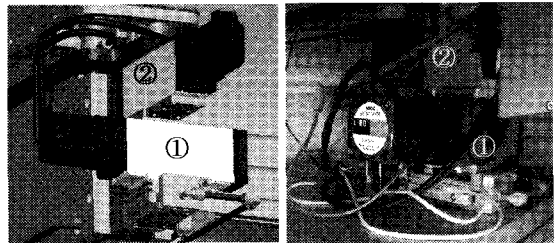
No	Part name	Specification
1	PC	-Pentium 4, 2GHz, OS/Win XP
2	Web camera for vision	-USB PC type -1/3" CMOS sensor -VGA : 15 f/sec -640×480 -F2.8, f=8.0mm
3	Microprocessor	-AVR ATmega128 -Clock speed: 16MHz
4	Light	-LED(5V): white
5	Translation moving slider	-SPL42 stepping type -Max. speed: 24mm/s -Max. load: 6kg -Resolution: 0.004mm -Lead: 2mm -Input power: 24V

펀칭 작업이 이루어지기 전에 작업자는 펀칭 하고자 하는 2mm, 3.5mm, 4mm의 펀칭 구멍의 직경을 선택한 후, FPC의 재질과 투명, 비투명과 줄무늬 형식의 종류를 선택한다. 한편, 선택된 재질

에 따른 펀칭 압력을 조절한 후, foot 스위치를 동작함에 따른 이미지 저장에 이루어진다. 이미지 저장은 주어진 영역 ROI(region of interest) 즉, 작업 영역 안에 있는가를 검사 판단하여 작업영역 안에 있을 경우에 다음 단계를 수행하도록 프로그램 되었다. 이렇게 함으로써, 작업속도를 개선시킬 수 있으며 작업자의 집중력을 높일 수 있다. 저장된 영상 데이터는 영상 2진화에 의해 컴퓨터 상에서 컴파일이 쉬운 형태로 변환되며, 목표 영상의 중심점의 위치를 계산한다. 계산된 위치는 기준점 (0, 0)과 비교하여 x, y축에 대한 오차 값들을 계산하고, 이 값들은 RS232C에 의하여 마이크로프로세서와 통신하여 오차 값을 전달한다. 전달되어진 오차 값들은 각 축에 대한 스텝핑 모터를 이송시키는 펄스의 수로 계산되며, 인터럽트 발생으로 신속한 위치제어가 이루지고, 다음 단계인 펀칭 작업을 실시하게 된다.

4.3 X-Y 위치 이동부

X-Y 위치 이동부는 영상 입력에 의한 펀칭위치 오차 값이 마이크로프로세서를 통하여 PC의 영상 프로그램과 데이터 통신하며, 여기서 보상된 펀칭값만큼 X-Y 각 축의 이송테이블을 이송시키도록 하였다. 이송 테이블의 목표 사양은 크게 2가지로 구분되는데, 첫째는 가능한 속도가 빨라야 하고, 다른 하나는 분해능이 좋아야 한다. 즉, 목표속도 20 mm/sec와 분해능 0.004mm 정도를 만족해야 목표로 하는 작업시간인 1.5초 내에서 완료될 수 있다.



(a) 3D view (b) Actual photo
Fig. 4 X-Y translation moving system: ① x-axis slider ② y-axis slider

Fig. 4는 X-Y축의 이송시스템을 보여주고 있다. 이 시스템에서 각 축의 이송에 필요한 스텝핑 모터를 구동하기 위한 동작펄스 수를 계산하는 식은

식 (9)로 주어지고, 운전펄스 속도는 식 (10)과 같이 주어진다.

$$\text{동작펄스수}(PULSE) = \frac{\text{이동량}(mm)}{\text{분해능}(mm/step)} \quad (9)$$

$$So(Hz) = \frac{\text{동작펄스수}(Pulse) - Ss(Hz) \times Ta(s)}{Tt(s) - Ta(s)} \quad (10)$$

여기서, S_o 는 운전펄스 속도, S_s 는 기동펄스 속도, T_a 는 가속 시간, T_t 는 위치결정 시간이다. 본 실험에서는 6kgf의 하중을 받고 있는 경우, 운전 펄스속도는 5kHz로 구성하여, 가감속 시간을 최대한 작게 하였다.

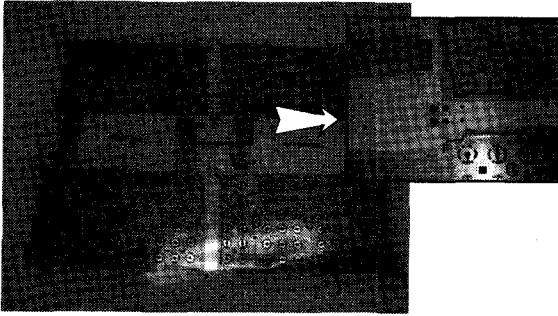
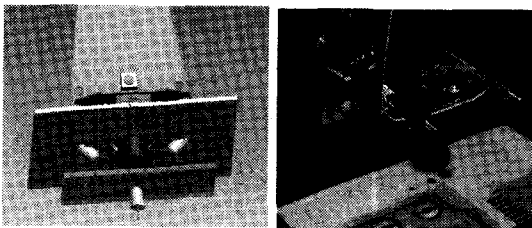


Fig. 5 A photo of flexible printed circuit with 60Key



(a) 3D view (b) actual photo

Fig. 6 FPC setting position to the camera and LED to calculate the center of circle

4.4 비전 시스템부

Fig. 5는 본 실험에 적용한 POS용 키보드의 FPC이다. 그림에서와 같이, 기준이 되는 펀칭 구멍 크기는 각각 2mm와 3.5mm이며 이 구멍들은 근접 프린트되어 있다.

Fig. 6은 Fig. 5의 FPC를 카메라 동작영역 위에

올려놓은 상태로 영상 화면을 얻기 위한 카메라 및 조명 시스템을 보이고 있다. 본 연구에서 사용된 저가의 웹 카메라와 자체 제작한 LED 조명 시스템을 이용하였다. 투명한 FPC의 경우에는 외부 빛의 영향을 받지 않도록 하기 위해 백라이트 방식으로 설계하였고, 비투명 FPC에 대하여는 상 방향에서 조명할 수 있도록 하였다.

4.5 펀칭부

FPC는 유연한 필름으로 이를 펀칭하는 펀칭부의 설계는 강성인 재질의 펀칭부에 비하여 많은 힘이 소요되지는 않으나, 유연한 필름 특성상 펀칭 후에 잘려나가는 필름이 정전기를 띠게 되어 펀칭부와 펀칭 다이 사이에 붙어 있는 문제가 발생한다. 즉 0.025mm의 두께를 갖는 보호 테이프를 함께 펀칭해야 하는 경우에 연성 재질인 FPC가 펀치와 함께 따라 오는 문제가 발생한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 펀치(punch) 및 다이(die) 외에 특수하게 설계된 펀칭 스트리퍼(stripper)가 필요하다. Fig. 7은 이러한 문제를 고려하여 설계된 본 연구의 내용이 되고 있는 펀칭부의 설계도 모델이다.

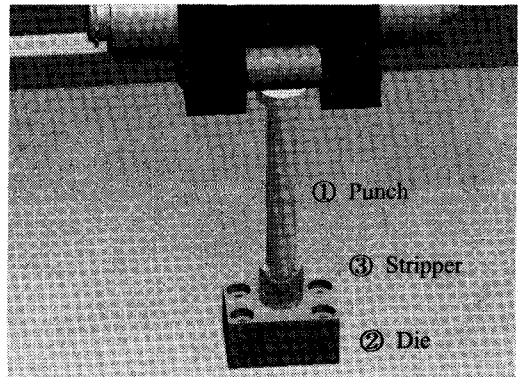


Fig. 7 3D view of punching parts

Fig. 8은 펀칭부를 구동하는 메커니즘으로 펀칭부의 상하 운동은 레버(1대 10: 레버면 기준)를 통하여 공압 실린더가 동작하며, 펀치 속도와 압력을 제어하기 위해 공기압 레귤레이터(pneumatic regulator)와 속도 조절밸브(speed controller)를 각각 부착하였다. 실린더의 직경은 50kgf의 힘을 갖도록 설계 하여, 레버에 의해 10배 증가된 500kgf의

편칭력을 갖게 하였다.

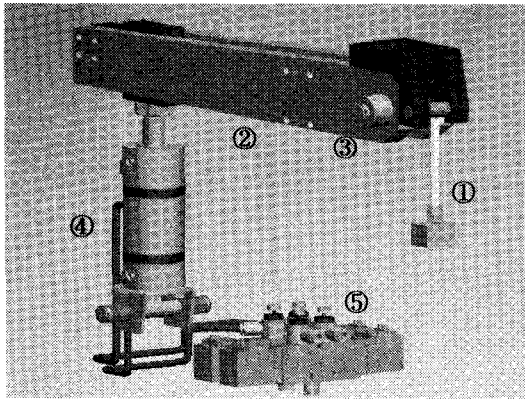


Fig. 8 3D view of punching mechanism : ① punching parts, ② lever, ③ lever pin, ④ pneumatic cylinder, ⑤ solenoid valve & speed controller

4.6 제어회로부

Fig. 9는 개발된 편칭시스템의 제어용 마이크로 프로세서 및 입출력 핀 배치상태이다. 각각에 대하여 입력과 출력을 각각 11점 씩 배치하여 전체 시스템을 제어하도록 설계하였다.

Fig. 10은 공압 제어용 솔레노이드 밸브와 센서들을 제어하는 회로도이며, 노이즈와 역전압에 대해 안정한 특성을 갖도록 설계하였으며, Fig. 11은 제어부에 대한 실제 배치 사진이다.

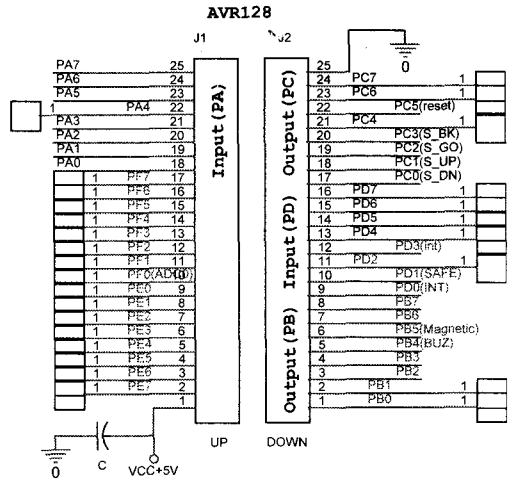


Fig. 9 Configuration of I/O and control signal ports of automatic punching system

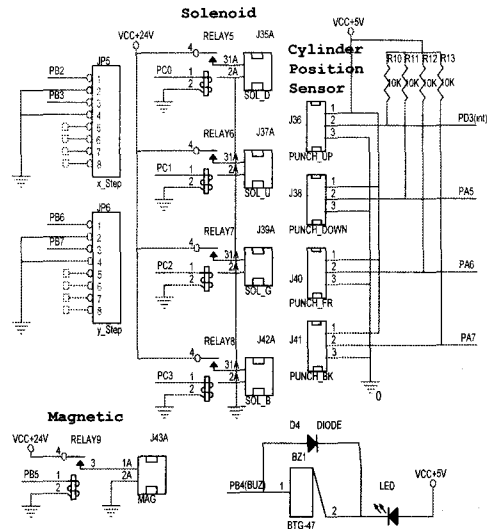


Fig. 10 Interface circuit of pneumatic system

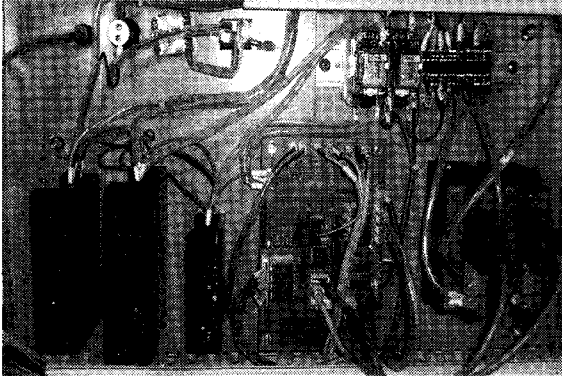


Fig. 11 Actual photo of punching system controller

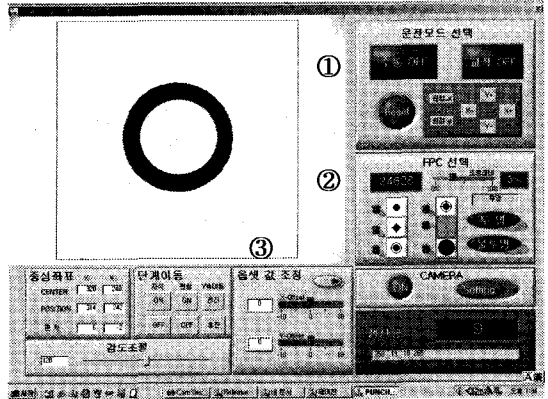


Fig. 12 Main control panel of punching system: ① operating mode selection, ② FPC selection, ③ offset value setting

5. 작업 프로그램 및 실험 결과

5.1 작업 프로그램

영상처리 프로그램은 Visual C++ 언어를 이용하여 프로그래밍하였고, 카메라의 장치관리자를 불러서 저장하는 단계는 MFC의 제공함수¹⁰를 이용하였다. 펀칭위치의 실시간 계산 및 통신을 위해 그래픽 처리를 단순화하였으며, 2장에서 설명한 영상처리 알고리즘을 구성하여 펀칭위치를 계산하였다.

Fig. 12는 개발된 주 제어패널로 정확히 2mm 크기로 펀칭된 영상을 캡처한 사진이다. 카메라 렌즈의 초점거리는 8mm로 선택하여 기존의 6mm 렌즈보다 다소 확대된 영상을 얻을 수 있도록 하였으며, 카메라와 기준펀칭 구멍과의 거리(working distance)는 13mm로 설정하였다. 검사화면은 640×480의 해상도로 설정하였으며, 실제 검사영역은 460×460의 범위 안에서 기준 구멍의 위치를 추적하고 계산할 수 있다. 작업은 수동모드와 자동모드로 구분되며, 프린트 되는 2mm의 원의 면적을 계산하여 오차가 ±3% 범위를 넘을 경우는 수동모드로 작업할 수 있게 하였다. 이는 프린트된 잉크의 번짐이나 불순물의 삽입으로 원 영상의 이미지가 변하였을 경우 펀칭할 중심점의 위치가 변경되어 목표물의 중심에 대한 펀칭이 이루어지지 않기 때문이다. 이러한 오차에 의한 펀칭 불량을 막기 위해 목표물에 대한 면적을 계산하는 프로그램(Fig. 12의 ②)을 추가 하였다. 한편, 별도의 오차 조정 레버도 추가하였으며, 범위는 ±1%에서 ±10%에서 작업자의 경험에 의해 설정할 수 있다.

Fig. 12의 ③오프셋 값 조정 패널은 펀치와 다이의 교체에 따른 기준 위치의 틀어짐이 발생할 때, Fig. 12의 ①작업 선택 창에서 교정운전 모드를 선택하고 기구부에 의한 오차 값을 자동으로 계산하여 저장하도록 하는 프로그램이다. 이렇게 계산된 오차 값은 데이터로 저장되어 프로그램을 on/off시에 자동 인식되어 펀칭 작업에 반영된다.¹¹

5.2 실험결과

Fig. 13은 원 영상에 대한 영상 전처리 과정으로, 외부의 빛을 불규칙하게 받고 있는 영상(a)에 대해 밝기를 y축으로 한 3차원 그래프(b, c)이다. 노이즈를 제거하여 뚜렷한 영상을 얻기 위해 2장에서 설명한 침식연산(d)과 팽창연산(e)을 적용하였으며, 마지막으로, 굵셈연산을 거쳐 스톱밴드 값(f)을 설정하여 이미지 필터링을 한 결과 깨끗한 영상 이미지를 획득하였다.

Fig. 14(a)는 펀칭할 영상에 대한 중심점이 십자모양으로 표시되는 것을 보이며, 자동모드 작업 시에 나타난다. 원의 중심을 구하는 알고리즘으로 모멘트법과 최소제곱법을 사용하였으며, 노이즈에 대해 강하며 계산 시간이 빠른 모멘트법이 본 실험에 적합하였다.

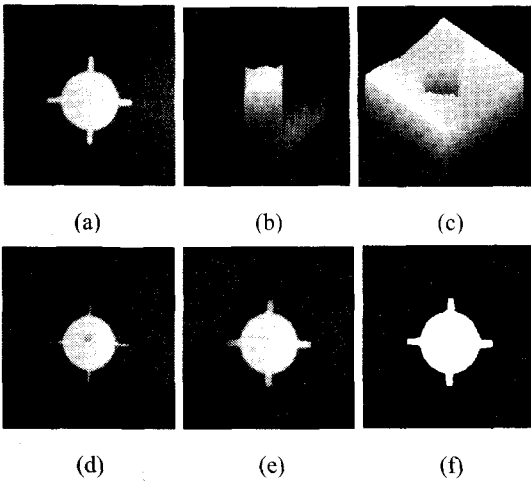


Fig. 13 Image processing procedure for removing the noise of captured image: (a) original image, (b) 3D view, (c) inverse 3D view, (d) erosion, (e) dilation calculation, and (f) multiplication and threshold

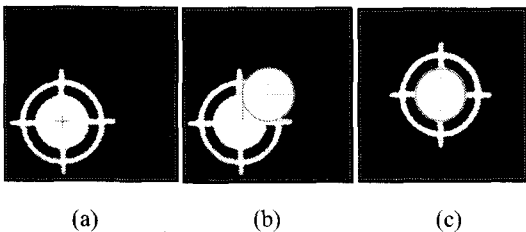
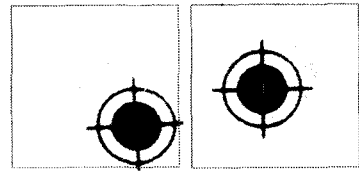


Fig. 14 Image of punched FPC : (a) calculated center position by moment method, (b) manual mode, (c) automatic mode

한편, Fig. 14(c)는 Fig. 14(a)의 자동 모드 상황에서의 펀칭된 영상으로 정확히 원의 중심에 구멍이 형성되어 있다. 이는 ROI상의 가상센터와 영상 중심점의 오차 값에 대한 보상이 X-Y축 이동부에 정확히 전달된 결과이다. 한편, Fig. 14(b)는 Fig. 14(a)에 대하여 수동 작업 모드로 펀칭한 결과이다. 즉, X-Y축 이동부에 오차 값 보상이 전혀 이루어 지지 않은 결과이다.



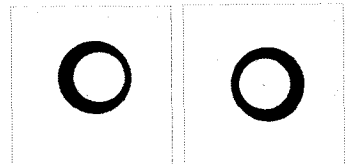
(a) out of ROI (b) inside ROI
Fig. 15 Image positions at automatic mode

Fig. 15는 자동 운전 모드에서 원 영상에 대한 중심점을 잡는 조건을 설명하고 있다. 영상의 왜곡에 따른 중심점의 위치 이동을 방지하기 위해 프로그램 상에 ROI 경계선을 설정하였고, 경계선에 닿을 경우 중심점이 계산되지 않는다. 이러한 상황에서 foot 스위치를 눌러 펀칭 작업을 할 경우에 펀칭 작업이 진행되지 않아, 작업 불량률을 사전에 막을 수 있다.

Fig. 16은 읍셋 값 조정에 따라 펀칭된 FPC의 영상들로서, 펀치와 다이의 교환에 따른 기구적인 읍셋 값 조정을 하기 전의 영상으로, 정확히 x-y 축의 중심에 일치하지 않음을 참고하기 바란다.

Fig. 16(a)와 Fig. 16(b)는 +x값(10픽셀)과 -x(10픽셀)값의 읍셋 값을 설정하였을 경우 펀칭 위치 변동을 보이며, Fig. 16(c)와 Fig. 16(d)는 +y와 -y값의 읍셋 값(10픽셀)을 주었을 경우이다. x-y 축에 읍셋 값(10픽셀)을 전부 주었을 경우 Fig. 16(e)와 Fig. 16(f)와 같이 반영 되어, 읍셋 값 변경에 따른 펀칭 위치 이동이 정확히 실행됨을 알 수 있다.

펀칭부의 기구적인 읍셋을 보상한 상태로 수동과 자동 운전 모드에서 각각 10,000회 씩 펀칭한 결과, 목표물에 대하여 오차 없이 펀칭하는 만족할 만한 결과를 얻었으며, 본 실험에서 개발한 펀칭 구조와 제어 시스템 및 컴퓨터 프로그램 간의 통신이 정확하게 이루어짐을 확인하였다. 펀칭 작업시간(tack time)도 기준 목표시간인 1.5초 이내로, 작업성과 함께 생산성 향상에도 기여하였다.



(a) +x offset (b) -x offset

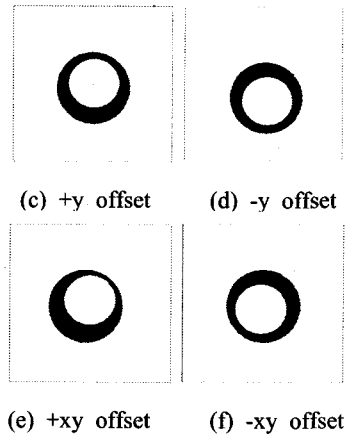


Fig. 16 Images of punched FPC having offset values without calibration of punching mechanism

6. 결론

비전시스템을 사용해 자동으로 위치를 인식하고 편칭하는 시스템을 개발키 위해, 비전 시스템 및 X-Y 이동부에 대한 설계와 인터페이스회로를 구성하고, 하드웨어를 제어키 위해 주 제어프로그램을 구성하였다. 개발된 제품을 현장에 적용해 사용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수작업에 의한 FPC 편칭은 정도 불량으로 키보드조립 과정 중 완성품에 대한 불량품이 다량 발생하였으나, 자동 편칭기에 의한 FPC 작업은 불량품이 현저히 감소하여, 생산성이 약 30% 정도 증가하였다.

2) 자동 편칭기에 의한 불량품 발생이 없어져, 수동편칭 시에 발생했던 불량품 폐기에 따른 제반 원가 손실이 줄었다.

3) 저가의 웹 카메라를 사용하면서 개발 목표인 작업시간 1.5초 이내를 충족함으로써, 자동화기기 제조 원가를 절감하였다.

4) 영상처리 프로그램과 스테핑모터와의 인터페이스를 담당할 ATmega 128 AVR 마이크로프로세서의 RS232C 통신방식이 비전 편칭시스템에 적합함을 확인하였다.

후 기

본 논문은 한국산업기술평가원 지원 전북대학

교 메카트로닉스연구센터 지원으로 이루어진 연구의 일부입니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, H. G. and Lee, M. K., "An Automated Machine-Vision-based Feeding System for Engine Mount Parts," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 5, pp. 177-185, 2001.
2. Lee, C. H. and Cho, T. D., "A Study on the End Mill Wear Detection by the Pattern Recognition Method in the Machine Vision," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 223-229, 2003.
3. Han, S. H., "Vision System Design for Automated Test and Repair of Steam Generator Holes in Nuclear Power Plants," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 15, No. 6, pp. 5-14, 1998.
4. Shin, S. W. and Ahn, D. S., "Transfer Deburring Skills to Robot using Vision System," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 15, No. 9, pp. 93-100, 1998.
5. Lee, S. Y., "Visual C++ Programming Bible," Ver. 6.x, YJ books, 1998.
6. Kim, S. H., "Windows Application Programming Interface API," Ganam, 1998.
7. Kim, H. S., "Pattern recognition-Pattern processing, Computer Vision, Neural Network," SN, 2002.
8. Kang, D. J. and Ha, J. E., "Digital Image Processing by Visual C++," SiTech Media, 2002.
9. Anton, H. and Busby, R. C., "Contemporary Linear Algebra," John Wiley & Sons, Inc. 2003.
10. John, E. Swanke, "VC++ MFC Extensions by Example," Group West, 1999.
11. Lee, Y. C., Lee, S. C. and Kim, S. M., "Design of Vision Based Punching Machine having Serial Communication," *Proc. of ICCAS*, pp. 2430-2434, June, 2005.