

PIC Controller를 이용한 키패드 검사 시스템 개발

최광훈*, 이영춘**, 권대규***, 이성철#

Development of Keypad Test System using PIC Controller

Kwang-Hoon Choi*, Young-Choon Lee**, Tae-Kyu Kwon***
and Seong-Cheol Lee#

ABSTRACT

This paper presents the development of a keypad test system for the improvement of working environment and productivity using PIC16F877 microprocessor. In order to detect the fault of keypad products, hardware and software design is performed in this system. Keypad fault detection system is controlled by the 8 bit one chip PIC microcontroller for the exactness and speed. Developed panel of the keypad test system is comprised of the sub-panel for selecting in the inspected keypad types and the main panel for displaying the working order and fault position. Furthermore, all data from keypad inspection are stored in main memory of personal computer for the database. All these functions lead to the improvement of working speed and environment.

Key Words : Keypad test system(키보드 검사시스템), PIC microcontroller (PIC 마이크로컨트롤러), Flexible printed circuit board(유연 인쇄회로기판), Working environment(작업 환경)

1. 서론

데스크 탑 컴퓨터, 노트북 컴퓨터, 자동판매기, 현금인출기 등의 입력장치로 사용되고 있는 키패드(keypad) 제작에 있어서 각 키의 기능이 정상적으로 작동되는가를 검사하는 과정이 필수적이다. 오늘날 현장의 여러 곳에서 사용되고 있는 키패드 검사기는 생산성이 떨어지고, 기능이 단조로워서 제품의 오류를 찾거나 검사 데이터를 관리하기에 기능이 부족하고 수동적이어서 많은 시간을 필요로 하고 있다. 이러한 검사는 주로 오래 전에 개발된 외국제품으로 아날로그방법으로 구조가 복잡하고, 제

어와 검사 과정들을 하드웨어적인 방식으로만 의존하여 수행하도록 설계되어 있어서 차후에 생산되는 더 많은 개수의 키를 가지는 다양한 제품을 검사할 수 없거나, 사용자가 제품의 검사정보를 인식하는데 불편한 단점들을 가지고 있고 또한 가격 면에서도 고가인 실정이다. 특히, 검사자가 작업하는데 있어서 검사과정이나 결과 등을 청각에만 의존하면서 검사하도록 설계되어 있어 소음이 많은 작업장에서는 정확한 검사를 하기 어려운 비효율적인 시스템으로 되어 있다.

이는 곧 생산성 저하로 이어지고 불량 제품에 서 여러 위치를 정확히 파악하지 못하므로 제품 개

접수일: 2004년 2월 23일, 게재승인일: 2004년 8월 13일
* 전북대학교 대학원 기계공학과, 석사과정
** (주)한국SMK, 연구원
*** 전북대학교 생체정보공학부, 조교수
교신저자: 전북대학교 기계공학부, 교수
E-mail meconlee@moak.chonbuk.ac.kr Tel.(063)270-2320

개선과 효율향상을 위한 작업자 위주의 편리한 키패드 검사장치의 필요성이 대두되게 되었다. 한편, 최근 마이크로프로세서의 기술발전은 터치스크린을 부착한 CRT를 가진 고급 승용차, 키보드를 컨트롤 패널로 쓰는 전자레인지, 그래픽 태블릿(Graphic tablet)을 가진 복사기 등과 같은 상용제품의 제어에 사용되고 있어 제품설계에 있어 키보드와 컴퓨터 입력장치의 영향이 가까운 미래에 신속히 증가할 것으로 기대되고 있다^{1,4}.

본 연구는 컴퓨터 키보드를 비롯한 일반 단말기 장치의 제작에서 키패드의 에러 유무를 판단하고 인식하는 키패드 검사시스템을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 시스템에 사용된 핵심 하드웨어는 8비트 CMOS one-chip microcontroller인 PIC를 이용하여 모든 제어를 할 수 있도록 하였으며, 또한 운영 프로그램은 컴퓨터를 이용하여 작업자에게 작업 과정과 작업결과 그리고 불량 위치 등을 모니터링 할 수 있고 작업결과 등에 대한 database를 구축함으로써 생산성 향상과 작업자의 작업환경 개선을 위한 디지털 방식의 키패드 검사시스템을 개발하고 그 실현성과 상업성을 확인하였다.

2. 키패드의 구성 및 검사 항목

2.1 키패드의 구성

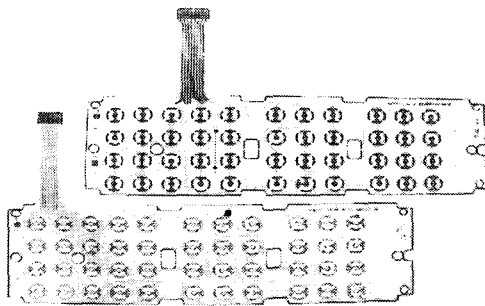


Fig. 1 Photos of flexible PCB keypad

Fig. 1은 두 개의 유연 인쇄회로판(flexible printed circuit : FPC)을 분리해 놓은 모양의 키패드 사진이다. 여러 종류 중에서 Fig. 1은 윗 쪽의 8핀을 가지고 있는 FPC A면과 아래의 6핀을 가지고 있는 FPC B면은 서로 맞붙어 있다. 각각의 핀들은 서로 접촉하지 않고, 핀과 원형 모양의 부분들은 각각 연결되어 있으며, 일정한 간격으로 FPC A면과 FPC B

면의 원형 모양의 부분들이 서로 미세한 간격을 유지하며 떨어져 있다.

2.2 검사 항목

키패드 검사시스템에서 이루어지고 있는 검사 항목의 구성과 검사 진행 절차는 Fig. 2와 같다. 모든 검사 항목에는 제품검사에 통과해야 하는 기준들이 있고, 이 검사 기준을 만족하여야 한다. 그렇지 않은 제품은 검사 후 불량 제품으로 판정받게 된다. 따라서 본 연구에서 개발되는 키패드 검사시스템은 이러한 각각의 검사 항목의 기준에 따라 검사되도록 구성되었다.

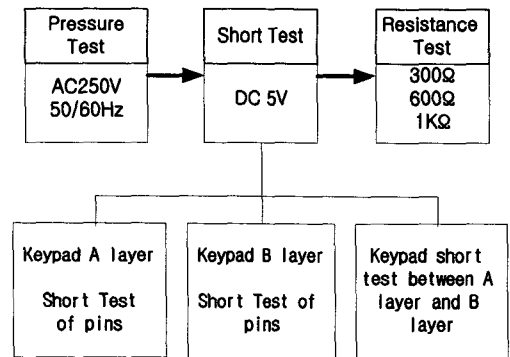


Fig. 2 Block diagram of the test items

기본적인 검사항목으로는 절연저항 검사(쇼트 검사), 접촉저항 검사(저항검사), 내진압 검사로 총 3가지의 검사과정을 거치며, 이 중 쇼트검사는 FPC 내의 연결 도선들 사이의 절연상태를 검사하는 FPC A면 pin들 사이의 검사와 FPC B면 pin들 사이의 검사로 나누어지며, 아울러 FPC A면과 FPC B면 사이의 미세한 일정 간격을 유지하여 단락상태로 생산되어 있는지를 검사하는 부분으로 세분화되어 있다. 저항검사는 두 개의 FPC가 겹쳐져 있는 상태에서 원형 모양의 부분들을 누를 경우 서로 접하게 되고, 이 부분에서 미소의 저항 값을 발생하며, 제품에 따라 제한된 범위의 저항 값을 유지하고 있는가를 검사하게 된다.

3. 하드웨어 구성

Fig. 3은 키보드 검사시스템의 하드웨어 부분 설계에 대한 블록선도를 표시하고 있다. 작업자가 키

패드의 키를 하나씩 누를 경우 눌려진 키의 위치정보를 알고, 그 키의 전기적, 기계적 결함을 쉽게 찾아낼 수 있는 기능이 표시되도록 키패드 검사기의 하드웨어를 구성하였다. 즉, 검사시스템은 하드웨어 회로에 5V 직류전압을 공급하는 전원부, 시스템의 모든 제어를 담당하고 프로그램을 실행하는 PIC16F877 마이크로컨트롤러, 하드웨어와 컴퓨터와의 인터페이스를 위한 RS232C 통신부, 저항검사시 눌려진 키의 위치에서 저항 값을 선택하고 표시하는 analog MUX 회로로 구성되어 있다.

PIC 마이크로컨트롤러의 입출력 포트는 검사항목에 따라 입력 또는 출력으로 사용되고 있으며, 키패드와의 입출력으로 사용되는 포트(Port B, C, D)들은 모두 풀업(pull-up)저항을 연결하여 초기값을 정확하게 부여하며, 플로팅(floating)을 방지하여 확실한 신호가 얻어지도록 하였다. 그리고 검사 시작 스위치와 검사 후의 오류 및 검사통과 신호를 작업자에게 전달 및 표시하도록 시각용으로 LED소자, 청각용으로 압전 부저를 병행하여 사용하였다.

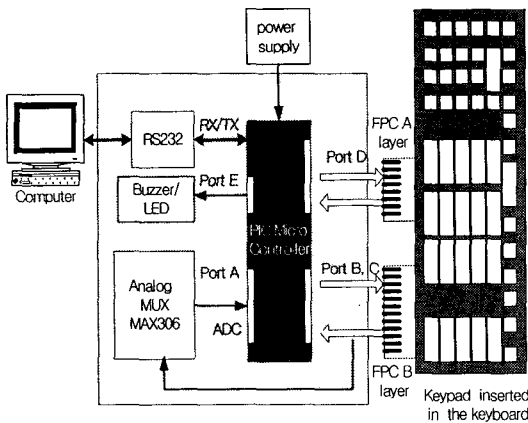


Fig. 3 Block diagram of the hardware system

3.1 PIC 마이크로컨트롤러

본 연구에서 사용한 마이크로컨트롤러 칩은 범용으로 많이 쓰이고 있는 Microchip Technology Inc.사의 PIC16F877-20을 사용하였으며 제어 프로그램은 C언어를 기반으로 작성하였다⁵. PIC 마이크로컨트롤러는 키패드검사 전체 시스템의 제어부를 담당하고 있으며 데이터의 입출력제어, 주변 IC의 선택

과 제어, 데이터의 통신제어 등을 담당하고, 작성된 프로그램에 따라 동작하고 있다.

PIC16F877은 8K 워드의 플래쉬 프로그램 메모리, 368바이트의 데이터 메모리, 256 바이트의 EEPROM을 가지고 있어서 프로그램 수정 및 추가 기능이 가능할 뿐만 아니라 33개의 많은 포트의 입출력 방향을 자유롭게 바꿀 수 있고, 또한 A/D 변환 기능이 내장되어 있으므로 본 키패드 검사 시에 얻어진 저항 값을 직접 아날로그 값에서 디지털 값으로 변환하여 연산, 비교할 수 있었다. 따라서, 이와 같은 기능을 가진 PIC16F877 마이크로컨트롤러 칩을 선택함으로써 기존의 복잡하였던 주변회로들을 상당히 간소화할 수 있었고, 전체적으로 시스템을 간편하게 설계하는 것이 가능하였다.

3.2 데이터 통신

통신은 하드웨어와 컴퓨터간의 데이터 전송으로 시리얼통신 프로토콜을 사용하였다.

Table 1 Interface protocol for the software

Command	Protocol value	Transfer-receiver confirmed (0) /unconfirmed (1)
Key value	1-199	0/1
Transfer start	200	0/1
Transfer end	201	0/1
Start of keypad test	202	0/1
End of keypad test	203	0/1
Start of short test	204	0/1
End of short test	205	0/1
Start of resistance test	206	0/1
End of resistance test	207	0/1
Number of Keypad X	208	0/1
Number of Keypad Y	209	0/1
Key number of No test	210	0/1
Type of keypad products	211-255	0/1

PIC16F877 마이크로컨트롤러는 UART(universal asynchronous receive transmitter)가 내장되어 있어 RS232C를 이용하여 컴퓨터와 통신한다. 컴퓨터는 PIC 마이크로컨트롤러와 데이터 및 제어 명령을 주고 받으며 하드웨어의 검사과정 및 결과를 시각 및 청각적으로 검사자에게 전달하게 된다.

하드웨어와의 통신을 위해 Table 1과 같이 프로토콜을 정의하여 사용하였다. 즉, 1-199까지는 키패드의 하드웨어로부터의 키 값을 수용하고 200-

256까지는 제어신호를 나타내도록 설계하였다. 컴퓨터와 키패드 검사기 사이의 통신에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 컴퓨터에서 송신한 제어신호에 대하여 검사기의 응답신호와 제어신호를 수신하고 확인함으로써 신뢰성 있는 송수신이 되었는지를 판단하고 실행하도록 알고리즘에 적용하였다.

4. 소프트웨어 구성

키패드 검사시스템의 전반적인 제어 흐름은 Fig. 4와 같다. 검사절차는 초기 화면을 실행한 후 키패드의 대표 기종을 선택하고, 다음으로 제품 기종을 선택하면 검사를 위한 메인 화면이 실행된다. 메인 화면이 실행되면 하드웨어 검사를 시작하게 된다. 마이크로컨트롤러의 작동은 C언어로 프로그래밍 하였으며, PIC 전용 컴파일러를 사용하고 내부 플래쉬 메모리에 다운로드(downloading) 하였다. 먼저 초기화를 실행하고 이어서 쇼트검사 스위치를 동작 시키면, 외부 에지(edge) 인터럽트를 통해서 쇼트검사가 실행된다. 쇼트검사가 끝나면 바로 저항검사 시작상태가 되며, 모든 키패드의 검사에서 오류가 발생하면 검사 루프에서 빠져 나와 오류 프로그램을 실행하게 된다.

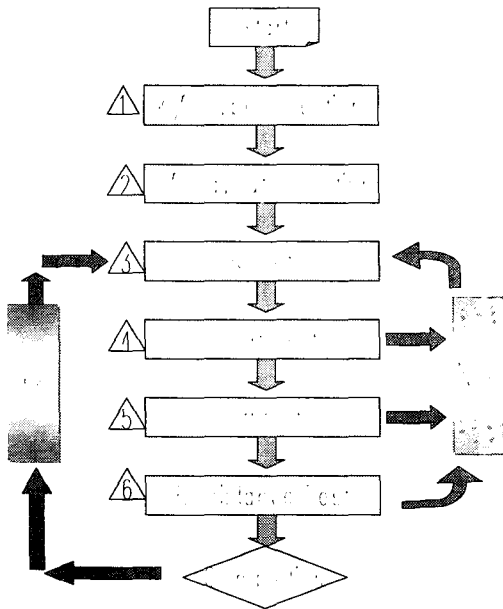


Fig. 4 Flow chart for the keypad test program

본 프로그램의 동작은 키패드의 에러 유무를 판단하는 소프트웨어로 풀다운 메뉴 방식이며 여러 형식의 키보드를 점검할 수 있도록 하였다. 우선, 윈도우용으로 Visual Basic으로 작성하였고, 윈도우용으로 작성될 경우에 윈도우가 작동될 수 있는 최소한의 시스템 사양(Window 2000 NT, 기타 등 OS의 시스템 사양)으로 인하여 저 사양의 컴퓨터에서 운용하기 힘들어지기 때문에 필요 여하에 따라 DOS용으로 작성될 수 있는데, 이는 프로그램의 요구 시스템 사양을 먼저 고려하여 결정하였다. 개발된 프로그램은 여러 설계 변경을 수용하기 위해서 GUI를 제공하는 Visual Basic으로 작성되었다. 즉 여러 종류의 키패드 형태에 대하여 검사가 가능하도록 마이크로소프트(주)의 액세스 데이터베이스를 사용하였다.

데이터베이스는 여러 개의 블록으로 구성되어 있는데 누르지 않는 키보드를 수용하기 위하여 키보드 LAYOUT 테이블은 X, Y 좌표 필드와 키패드가 상하좌우 어느 쪽 키패드와 결합되는지의 여부를 결정하기 위한 필드를 가지고 있다.

여러 종류의 키패드 키 값들을 컴퓨터로 확인하기 위한 KEYBOARD_MAP 테이블을 따로 두어 검사 시에 검사하고 있는 키를 실시간으로 컴퓨터 화면상에 검사자가 확인할 수 있도록 나타내 주고 있다. 또한, 작업자가 순서적으로 체크하기 위하여 정해진 작업순서를 정의하는 CHECK_KEY BOARD 테이블로 구성하고 있다.

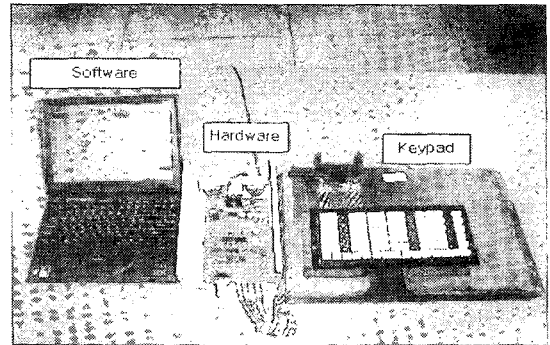


Fig. 5 Photo of the keypad test system

5. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 설계된 하드웨어와 실험에 사용된 키패

드와 인터페이스 된 검사시스템 사진이다. 개발된 검사기의 실험은 여러 종류의 키패드 중 가장 많이 사용되고 있는 44 키와 90 키를 갖는 키패드를 사용하였다. 실험에서는 개발된 키패드 검사시스템에 적용한 알고리즘이 각각의 검사 항목에 대한 기준 조건들을 만족하고 있는지, 또는 만족하지 않은 범위의 값일 경우에 오류를 제대로 판정하고 있는지를 반복적으로 실측하여 검증하였다.

Fig. 6 ~ Fig. 7 은 실제로 적용된 키패드와 컴퓨터 사이에 통신 프로토콜이며 송수신되고 있는 상태를 표시하고 있다. 즉, 하드웨어와 컴퓨터 프로그램 사이의 통신 프로토콜은 하드웨어의 모든 상태를 컴퓨터에게 전달하고 또한 컴퓨터의 상태를 하드웨어에 전달하는 알고리즘이다. 컴퓨터와의 통신은 RS232C 시리얼통신을 이용하였다.

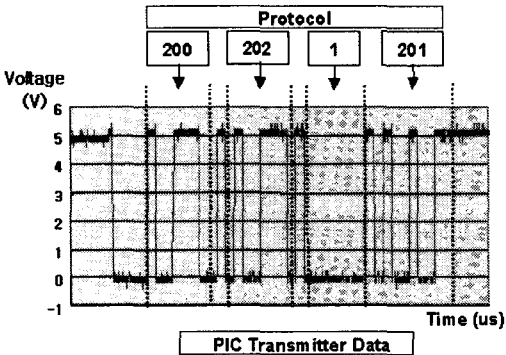


Fig. 6 Transmitter data from the keypad tester

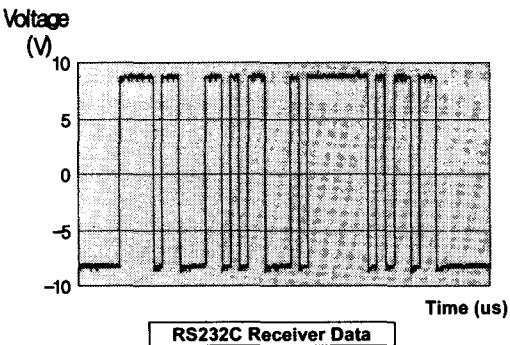


Fig. 7 Receiver data from the computer

전송 데이터는 Table 1 통신 프로토콜에서 보는 바와 같이 전송시작(200), 검사시작(202), 송신확인

(1), 전송 끝(201)을 나타내고 있으며, 컴퓨터에서의 수신 데이터를 검사하여 같은 데이터를 전송함으로써 검사시스템이 올바르게 통신하고 있음을 확인할 수 있다.

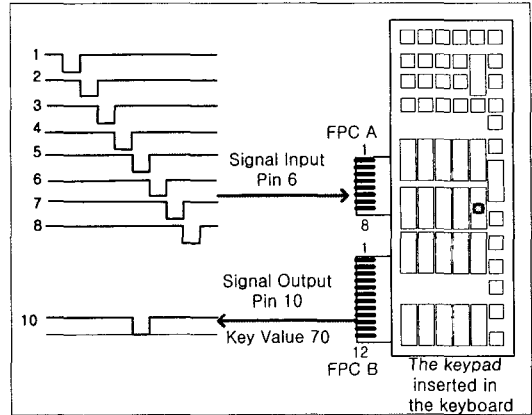


Fig. 8 Block diagram of the short test algorithm

Fig. 8은 본 시스템의 쇼트검사에 관한 알고리즘을 표시하고 있다. 쇼트검사는 전기적인 쇼트상태 여부를 체크하기 위한 검사과정으로 두 가지 검사 과정을 실행한다. 첫째는 FPC A 면과 FPC B 면 각각의 핀들 사이의 쇼트상태 여부를 체크한다. 각 핀들에 대한 도선들이 서로 단락상태가 되어야 하지만 FPC 제조 과정의 불량으로 도선들이 쇼트상태로 생산될 수 있으며, 이러한 FPC로 만들어진 키보드는 하나의 키가 눌려진 상태에서 여러 개의 키가 동시에 눌려진 것과 같은 결과를 가져올 수 있다.

따라서 각 핀들에 대한 쇼트검사가 이루어져야 하며 검사 알고리즘은 FPC A 면의 모든 핀들을 풀업시킨 상태에서 그 중 하나의 핀에 LOW 값을 보내고 나머지 핀들을 검사하여 LOW 값이 나타나는지를 검사하는 방법이며, FPC B 면도 동일한 방법으로 검사하였다. 쇼트검사 기준은 DC 5V에서 저항이 100MΩ 이하일 경우에 쇼트상태로 판정되며, 이는 회사에서 제공한 기준이 되고 있다.

둘째로 FPC A 면과 FPC B 면 사이의 쇼트여부를 검사한다. 두 FPC 사이는 얇은 공기층을 형성하고 있기 때문에 서로 떨어져 있는 상태이다. 하지만 제조과정에서 잘못 만들어졌을 경우 부분적으로 쇼트상태가 나타날 수 있다. 이러한 쇼트상태에서

는 키를 누르지 않아도 한 개, 또는 여러 개의 키가 눌러져있는 결과로 나타날 수 있다. 따라서 검사 알고리즘은 FPC B 면을 풀업시킨 상태에서 FPC A 면의 각 핀을 차례로 LOW 상태로 만들고 FPC B 면의 각 핀들을 검사하여 LOW 상태가 발생하는지를 체크하여 쇼트검사를 할 수 있었다.

Fig. 9는 실제로 적용한 소프트웨어 동작상에서 검출된 에러의 키패드 위치정보를 표시하고 있다. 쇼트검사를 위해 쇼트검사 스위치를 눌러서 쇼트검사가 통과되면 메시지 창이 나타난다. 잠시 후, 저항검사 준비상태가 되나 쇼트검사 오류가 발생하면 오류에 대한 메시지 창에 A면 쇼트 에러, B면 쇼트 에러, 또는 AB면 쇼트 에러를 검출할 있고, AB면 쇼트 오류의 경우에는 쇼트 위치가 적색으로 표시되어 검사자에게 어떤 위치의 키가 쇼트 되고 있는가를 알려주고 있다.

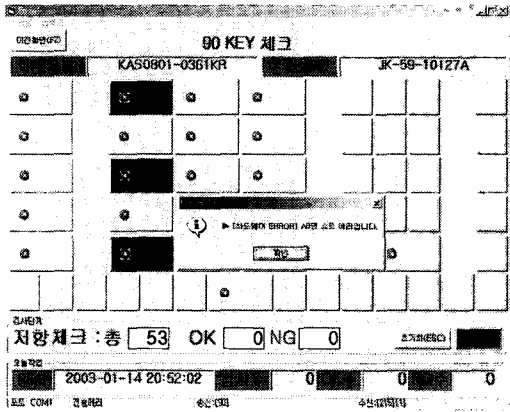


Fig. 9 Short test screen of the keypad system

쇼트실험 결과의 검증은 각 핀들에 대하여 10회 이상 반복하여 실험하였고, 이 때 핀들이 모두 쇼트상태를 제대로 나타내고 있었다. 따라서 쇼트검사가 성공적으로 실행되고 있음을 실험으로 검증할 수 있었다.

Fig. 10은 본 시스템의 저항검사에 관한 알고리즘을 표시하고 있다. 저항검사는 FPC A면과 FPC B 면과의 접촉상태에서 발생하는 저항 값을 측정하는 검사항목이며, 제품 종류에 따라 각각의 기준 조건이 다르게 설정된다. 즉 제품에 따라 300Ω, 600Ω, 1KΩ 으로 설정되며, 키를 눌렀을 때 저항 값이 기준조건 설정값 이하의 값을 가지는 제품을 정상제품으로 판정한다. 따라서 저항 값을 측정하는 대신

에 전압값을 측정하여 PIC 마이크로컨트롤러의 10 비트 A/D 변환기를 사용하여 얻어진 2진 데이터를 미리 측정하여 프로그램에서 설정을 해놓은 기준값과 비교함으로써 저항검사를 할 수 있었다. 따라서 저항검사에 사용되는 풀업 저항은 정확해야 하므로 본 시스템에서는 트리머(trimmer) 저항을 사용하였다.

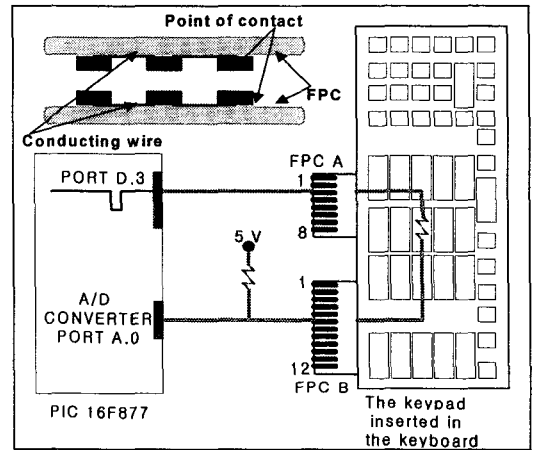


Fig. 10 Block diagram of the resistor test algorithm

하드웨어적인 검사 알고리즘은 FPC B 면을 풀업시킨 상태에서 FPC A 면의 각 핀을 차례로 LOW 상태를 만들고 FPC B 면의 각 핀들을 검사하여 LOW 상태가 발생하는가를 검토하였으며, 키 값을 얻는 알고리즘은 소프트웨어적인 방법을 사용하였다. 또한, 저항검사 과정을 컴퓨터상에 모니터링하기 위해 모든 키에 각각 고유 키 값을 가지게 하여 눌렀을 때 컴퓨터에 눌려진 키 값과 하드웨어에서 이루어진 저항검사의 결과를 전송하여 키의 위치를 파악하고 검사된 키와 검사되지 않은 키, 그리고 저항검사의 합격여부를 알려주어 모든 키를 검사할 수 있도록 하였다.

각 키를 짧은 시간에 연속적으로 10회 반복하여 검사하는 실험에서는 저항 값을 제대로 계산하지 못하고 있는 문제점을 발견할 수 있었으며, 이는 키 위치정보 검출과정에서 키 위치검출 시간과 저항 값을 측정하는 시간과의 차이가 발생하고 있음을 발견할 수 있었다. 따라서 저항 값을 측정하는 시간에 50 ms 정도의 시간을 지연시킴으로써 이 문제를 해결할 수 있었다.

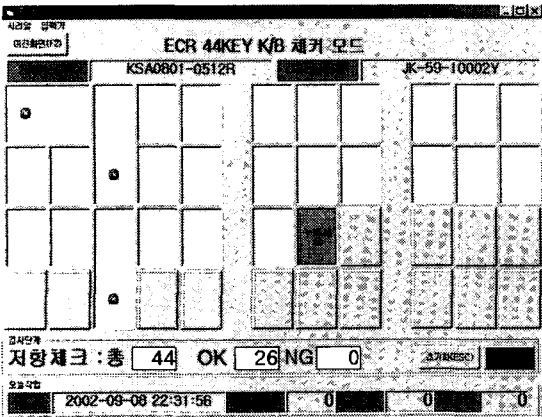


Fig. 11 Resistance tester screen of the computer program

기본설계에 의해서 작성된 키패드 검사시스템의 저항검사 화면은 Fig. 11과 같다. 모든 검사는 이 화면에서 이루어지며 키패드 종류에 따라 검사 메인 화면의 키 배열이 다르게 되고 하드웨어의 작동에 따라 제어명령과 데이터를 송수신하면서 검사 수행 과정과 검사 결과를 나타내며, 검사 완료 후에는 검사한 키패드의 숫자와 OK숫자, 또는 NG숫자가 하나씩 증가하게 되어 검사한 제품의 수량 및 합격 제품의 수량, 불량 제품의 수량 등을 데이터베이스 파일에 저장되며, 일일 작업결과 및 월별 작업결과 등을 언제든지 출력하여 확인할 수 있도록 하였다.

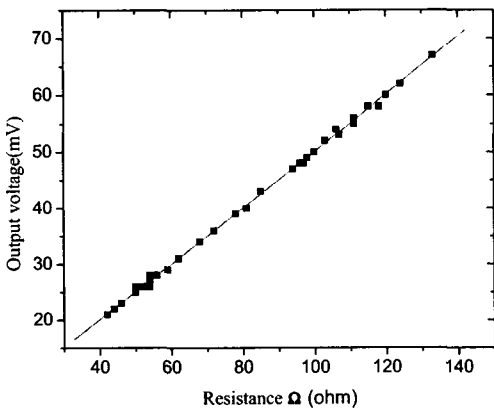


Fig. 12 Relationship between resistance and the output voltage of the test keypad

Fig. 12는 실험용 키패드로부터 얻어지고 있는 저항(R, ohm) 값과 출력전압(V, mV) 값과의 관계를 표시하고 있다. 실험에 쓰인 44개의 키를 갖는 키패드의 경우에 최대 허용기준 저항 값이 300Ω이며, 이것은 키를 눌렀을 때 저항 값이 300Ω 이하의 값을 가지는 제품이 정상으로 판정되고 있음을 의미한다. 그래프에서 보는 바와 같이 각 키의 저항 값에 대한 전압값을 측정된 결과 매우 선형적인 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었으며, 이를 curve fitting 한 결과는 식(1)과 같이 주어지고 있다.

$$V(mV) = 0.505R(ohm) \quad (1)$$

따라서, 저항 값을 직접 측정하는 대신에 전압 값을 측정하여 PIC 마이크로컨트롤러의 10 비트 A/D 변환기를 사용하여 얻어진 2진 데이터를 미리 측정하여 프로그램에서 설정을 해놓은 기준 값과 비교함으로써 저항검사를 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과로 개발된 키패드 검사시스템의 시작품이 제작되고 (주)한국SMK 회사의 생산 현장에 설치하고 작업자들이 직접 사용함으로써 기존의 검사시스템에 비하여 작업 효율성이 크게 향상되고 관리 기능과 편의성에서 대폭 개선되었음을 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구는 개인용 노트북 및 컴퓨터, 자판기 등의 키패드(keypad) 검사시스템을 개발하고 시작품을 제작하여 산업현장에 적용함으로써 작업효율과 관리기능이 크게 향상된 점을 확인하였다. 검사시스템은 PIC 마이크로컨트롤러와 통신부, 입출력 확장부와 주변 회로들로 구성되었으며, 컴퓨터를 사용하여 하드웨어와의 통신으로 검사 진행과정과 결과를 시각적으로 알 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 검사과정은 설계된 시스템으로 반복적인 실험으로 검증되었고, 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 개발된 키패드 검사시스템을 (주)한국SMK 회사의 생산현장에서 사용함으로써 숙달된 기능인이 아닌 일반인들도 짧은 시간에 사용법을 익힐 수 있었다. 또한 작업량을 비롯한 데이터 정리도 편리하게 관리할 수 있게 되어 전체적으로 생산성을 향상시킬 수 있었다.

후 기

본 논문은 한국과학재단지정 전라북도지원 전북대학교 메카트로닉스연구센터(MRC)의 산업체 애로기술 지원 프로그램으로 이루어진 연구의 일부입니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Choi, Kwang-Hoon, Kwon, Tae-Kyu, Chon, Kyu-Cheol and Lee, Seong-Cheol, "Development of the keypad test system using PIC controller," Proceedings of the KSPE 2002 Autumn Conference, pp.459-462, 2002.
2. Kang, Chul-Ung and Lim, Jong-Hwan, "Compact robotic arm to assist with eating using a closed link mechanism," J. of the KSPE, Vol.20, No.3, pp.202-209, March 2003.
3. Lindgaard, Gitte and Caple, David, "A case study in iterative keyboard design using participatory design techniques," Applied ergonomics, Vol.32, pp.71-80, 2001.
4. Kelaher, Dan, Nay, Todd, Lawrence, Brad, Carolyn, Sabrina Lamar and Sommerich, M. "An investigation of the effects of touch-pad location within a notebook computer," Applied ergonomics, Vol.32, pp.101-110, 2001.
5. Microchip Technology Inc., PIC16F87X1. Data Sheet 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Micro-controllers.
6. Kim, Sang-Woo, Park, Jung-Il, Lee, Ki-Dong, Lee, Suk-Gyu and Jung, Jae-Han, "Implementation of Brushless Linear Motor Drive using DSP," J. of the KSPE, Vol.19, No.8, pp.155-160, August 2002.