

논문 2021-1-12 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2021.06.12>

# 마이크로프로세서 교육을 위한 가상실험용 마이크로컨트롤러 모델링

기장근\*†, 권기영\*

## Microcontroller Modeling for Virtual Experiment in Microprocessor Education

Jang-Geun Ki\*†, Kee-Young Kwon\*

### 요 약

최근 COVID-19 등의 영향으로 온라인 교육에 대한 요구가 급증하고 있다. 공학계열의 온라인 교육에 있어 가장 큰 어려움 중의 하나는 실험관련 교과목을 어떻게 효율적으로 온라인상에서 수행할 수 있는가이다. 본 연구에서는 전기전자정보통신 분야 교육에서 필수적으로 요구되는 마이크로컨트롤러 응용 학습을 위해 사용할 수 있는 가상실험 시스템 구축을 위해 반드시 필요한 마이크로컨트롤러 기능 모델링에 대해 기술하고, 자바언어로 구현하여 가상 실험에 적용함으로써 그 유용성을 검증하였다.

### Abstract

The demand for online education has rapidly increased due to the influence of COVID-19. One of the biggest challenges in engineering education is how to efficiently conduct experiments online. In this paper, for the virtual experimental system for microcontroller application that is essential for education in the field of electrical, electronic, and control engineering, we described the microcontroller functional modeling and implementation with Java language. The usefulness of the developed microcontroller module has been verified through educational field application.

**한글키워드 :** 가상실험, 마이크로컨트롤러, 모델링, 공학교육, 시뮬레이션

**keywords :** virtual experiment, microcontroller, modeling, engineering education, simulation

### 1. 서 론

최근 COVID-19 영향으로 인해 사회 전반적으로 많은 변화가 야기되고 있으며, 교육 현장 역

\* 공주대학교 전기전자제어공학부

† 교신저자: 기장근(email: kjpg@kongju.ac.kr)

접수일자: 2021.05.10. 심사완료: 2021.06.18

게재확정: 2021.06.20

시 전통적인 대면 수업 방식으로부터 비대면 온라인 교육 방식으로의 전환이 급격히 이루어지고 있다. 이러한 온라인 교육 방식은 대면 방식에 비해 여러 가지 장단점을 가지고 있으나, 특히 대학에서 실습 위주로 진행되어야 하는 공학 분야 교육에서 많은 어려움을 낳고 있다. 그나마 다행스럽게도 컴퓨터와 이동단말 및 통신망 관련

기술의 급속한 발전으로 인해 온라인 교육을 위한 인프라 환경은 어느 정도 잘 갖추어져 있는 상황이다. 하지만 이러한 온라인 통신망 환경을 잘 활용할 수 있는 교육 콘텐츠가 부족한 실정이다. 특히 실제 교육에 필요한 실시간 양방향 통신이 가능한 컨텐츠 및 교육 효과를 높일 수 있는 운영 방식에 대한 연구가 필요하다.

대학에서 공학 관련 교육의 경우 실험 실습 위주로 이루어지는 경우가 많은데 비대면 수업의 경우 이러한 실험 실습 진행이 어려워 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

본 논문에서는 전자공학 분야에서 필수적으로 활용되고 있는 마이크로프로세서 관련 교육을 위해 컴퓨터상에서 가상적으로 마이크로컨트롤러를 이용한 실험 실습이 가능하도록 가상실험용 마이크로컨트롤러를 모델링하고 이를 프로그램화하여 기능을 검증하였다.

개발된 가상실험용 마이크로컨트롤러 프로그램은 실제 하드웨어로 구현하는 것에 비해 경제적, 시간적, 공간적 장점을 가지면서도 실제 실험과 동일한 교육효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에 이어 2장에서는 본 논문에서 개발하고자 하는 마이크로컨트롤러의 기능 및 모델링에 관해 상세히 기술하고 또한 기존의 시뮬레이터 프로그램과의 차별성을 언급하며, 3장에서는 개발된 모델의 프로그래밍 및 기능 검증에 대해 기술하고, 4장에서 결론 및 기대효과를 기술한다.

## 2. 마이크로컨트롤러 모델링

최근 산업 전반적으로 융복합 학문의 중요성이 증대되고 있으며, 전자공학을 중심으로 거의 모든 산업 분야와의 융복합 과정에서 필요한 임

베디드 시스템의 두뇌역할로 사용되는 마이크로컨트롤러에 관련된 산업 시장은 Market Reports World사의 보고서[1]에 의하면 2020-2024년 기간 동안에 연평균 6%의 성장률을 지속할 것으로 예측되고 있으며, 주요 개발 업체로는 Microchip Technology[2], Renesas Electronics [3], NXP Semiconductor[4], STMicroelectronics [5], Texas Instrument[6] 등 많은 회사들이 있다. 이들 중 국내 대학에서 교육용으로 많이 사용되고 있는 대표적인 마이크로컨트롤러의 종류로는 마이크로칩(Microchip)사의 PIC 계열과 AVR 계열, Texas Instruments사의 MSP430 계열, 인텔 8051 계열, ARM 계열 등이 있다.

이러한 마이크로프로세서들에 대해 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 통해 실험실습을 진행할 수 있는 소수의 상업용 또는 무료로 제공되는 소프트웨어 들이 일부 있다. 그러나 다양한 종류의 프로세서를 지원하는 상업용의 경우 고가의 비용이 요구되고, 무료로 제공되는 소프트웨어의 경우 원하는 프로세서를 지원하지 않거나 원하는 기능이 부족한 경우가 대부분이다[7-10].

본 논문에서는 마이크로칩사의 PIC 계열중 8비트 마이크로프로세서인 PIC16F690 칩을 모델로 하여 가상 실험을 위한 시뮬레이터를 설계 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 마이크로프로세서 뿐만 아니라 주변회로를 구성하는 스위치, LED, 74시리즈 TTL, PLA, 7-segment, buzzer, motor, sensor, logic tracer 등의 다양한 소자 들을 지원한다.

PIC16F690 칩은 20핀, Flash 기반의 8비트 CMOS 마이크로컨트롤러이며, 35개의 명령어를 지원하고 프로그램 메모리와 데이터 메모리가 별도로 구성된 하바드(Harvard) 구조를 가지며 명령어 인출 및 실행의 2단계 파이프라인 구조를 갖는 RISC 프로세서이다.

그림 1에 개발된 가상 실험 시뮬레이터의 PIC

```

class PIC16F690 extends Symbol
{
    PICwinFramePIC16F690 PICwin; // PIC 윈도우(레지스터 및 메모리 내용 보여줌)

    String ROM[][] = new String[4096][14]; // 프로그램 메모리
    String RAM[][][] = new String[4][128][8]; // 데이터 메모리

    String W = new String();
    String PCSTACK[] = new String[8]; // pc stack

    String IR1 = new String(); // instruction register 1
    String IR2 = new String(); // instruction register 2 for pipeline

    PIC16F690() { }

    public void setup(String subpara)
    {
        makegatesymbol("PIC16F690", ...);
        initialize ROM/RAM/W/IR1/IR2;
        PICwin = new PICwinFramePIC16F690(this); // PIC 윈도우 생성
    }

    public void calcfunc(InPin inpin)
    {
        if (MCLR_reset)
            initialize ROM/RAM/W/IR1/IR2;
        else
        {
            if (clock_changed)
            {
                for (int i=0; i<Fscale; i++)
                    picclockin(); // clock in
            }
            if (RC or RB or RA input changed)
                update PORTC or PORTB or PORTA state;
            if (RA2/INT input changed)
                set INTCON<INTF>;
            if (RA or RB input changed)
                set INTCON<RABIF>;
            update TMRO;
            process A/D conversion;
            perform the interrupt cycle if required;
        }
    }
    void picclockin()
    {
        execute instruction and save result according to the pipeline stage;
    }
}

```

그림 1. PIC16F690 소자의 pseudo code  
 Fig. 1. Pseudo code for PIC16F690 symbol

소자 모델링 프로그램의 pseudo code를 간략히 나타내었다.

그림 2에는 본 논문에서 개발된 가상실험 시물

레이터를 사용하여 마이크로컨트롤러 응용회로를 설계하고 시뮬레이션하는 과정의 흐름도를 나타내었다.

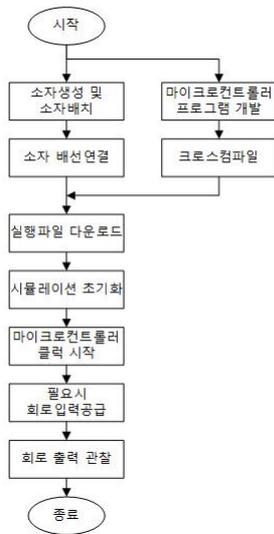


그림 2. 가상실험 절차

Fig. 2. Procedure for Virtual Experiment

그림 2에서 가상실험 시뮬레이터를 사용하기 위해 먼저 시뮬레이터의 소자생성 버튼을 클릭하여 설계하고자 하는 회로에 사용되는 소자들을 생성하고 마우스로 드래그하여 원하는 위치에 배치한 후, 선 연결 버튼을 클릭하여 소자들의 핀들을 적절히 연결해 회로도를 완성한다.

회로설계 절차와 병행해서 회로에 사용된 마이크로컨트롤러에서 실행될 프로그램을 작성하고 크로스 컴파일을 통해 실행파일을 생성하게 되는데, 이 과정은 Microchip사에서 제공하는 MPLAB X IDE 툴을 사용하여 이루어지게 된다. 크로스 컴파일을 통해 최종 생성된 실행파일(확장자 .hex 파일)은 가상실험 시뮬레이터에서 생성한 마이크로컨트롤러 소자의 속성 메뉴에 있는 download 버튼을 이용해 마이크로컨트롤러 프로그램 메모리에 집어넣게 된다.

다운로드된 프로그램을 마이크로컨트롤러가 실행하도록 하기 위해 먼저 시뮬레이션 초기화 버튼을 눌러 준 후 마이크로컨트롤러에 연결된 클럭을 동작시켜주면 마이크로컨트롤러에 다운

로드된 프로그램 명령어들이 차례로 실행되게 된다. 이때 프로그램 내용에 따라 필요한 경우 외부 입력소자(예로 스위치나 각종 센서 등)들을 동작시켜 프로그램에 적절히 입력을 인가해 주면서 회로의 출력소자(예로 LED, 7세그먼트, 부저 등) 값들의 변화를 관찰함으로써 원하는 기능이 정상적으로 동작하는지 확인한다.

### 3. 실험 및 기능 검증

본 절에서는 개발된 마이크로컨트롤러 시뮬레이터의 기능 검증을 위해 수행된 실험에 관해 기술하였다.

표 1에 개발된 PIC16F690 시뮬레이터의 다양한 기능을 검증하기 위해 가상 실험을 통해 확인한 기능 항목들을 나타내었다.

표 1. PIC16F690 시뮬레이터 기능  
Table 1. PIC16F690 Simulator Functions

항 목	기 능
I/O 기능	A포트 6핀, B포트 4핀, C포트 8핀의 디지털 신호 입출력 기능
타이머 기능	TMR0의 카운터 기능
	TMR0의 타이머 기능
인터럽트 기능	외부 인터럽트(INT) 기능
	타이머(TMR0) 인터럽트 기능
	RAB 변화 인터럽트
A/D 기능	A/D(Analog/Digital) 변환 기능

표에서 I/O(Input/Output) 기능은 PIC 칩의 18개 핀(A포트 6개 핀 RA0~RA5, B포트 4개 핀 RB4~RB7, C포트 8개 핀 RC0~RC7)을 이용해 디지털 신호를 입출력 하는 기능을 의미하며, 18개

핀에 스위치와 LED 또는 7세그먼트를 연결한 다양한 회로를 구성하고 스위치의 상태를 입력으로 받아들여 이에 따른 LED나 7세그먼트의 점등을 변화시키는 프로그램을 작성하고 실행시켜 I/O 기능을 검증하였다. 그림 3은 RA0 핀에 연결된 스위치의 상태에 따라 포트 C의 RC0 핀에 연결된 LED의 on/off 상태가 변화하는 회로를 보여주고 있다. PIC칩에 다운로드되는 프로그램에 따라 스위치와 LED의 연동 동작은 다양하게 달라질 수 있으며, 예를 들어 스위치가 눌리면 8개의 LED가 모두 켜지고, 스위치가 떼어지면 8개의 LED가 모두 꺼지는 동작도 가능하고, 스위치의 상태에 따라 적절한 시간마다 LED가 하나씩 돌아가면서 켜지는 동작 등 다양한 형태로 프로그램을 작성해 기능을 확인해 볼 수 있다.

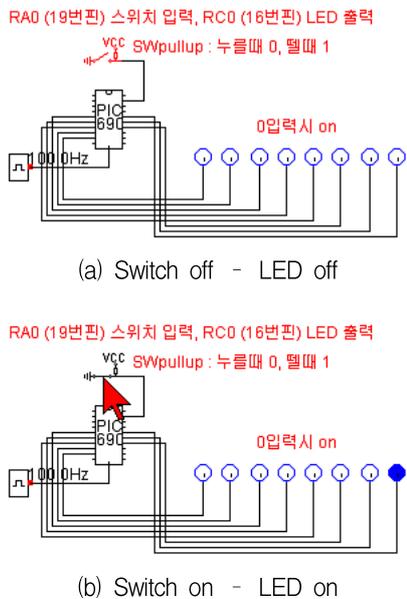


그림 3. RA0 스위치 상태에 따른 RC0~RC7 LED 점등 변화 회로  
 Fig. 3. RC0~RC7 LED on/off according to the RA0 switch status

타이머 기능은 PIC칩에 내장된 TMR0 타이머

모듈을 외부에서 인가되는 펄스 개수를 세는 카운터로 사용하거나 또는 내부 클럭발생회로를 이용해 시간을 측정하는 타이머로 사용하는 기능을 시험하는 항목으로 카운터의 기능은 RA2/INT 핀에 스위치를 연결하고 C포트에 7세그먼트를 연결하여 스위치 눌린 회수를 세는 회로를 이용해 기능을 검증하였고, 타이머 기능은 C포트에 연결된 8개의 LED가 정해진 시간마다 돌아가면서 자동으로 하나씩 켜지는 프로그램을 작성해 정상 동작 여부를 확인하였다.

인터럽트 기능은 외부 인터럽트(INT) 기능, 타이머(TMR0) 인터럽트 기능, RAB 포트 변화 인터럽트 기능 등을 시험하였으며, 모두 정상적으로 인터럽트 처리가 이루어짐을 확인하였다. 외부 인터럽트(INT) 기능은 RA2/INT 17번 핀에 스위치를 연결하고 이 스위치를 누를 때마다 인터럽트가 발생토록 하여 인터럽트 처리루틴에서 눌린 회수를 세는 변수 값을 1씩 증가시키도록 하였고, 메인 루틴에서는 무한 루프를 돌면서 변수 값을 C포트에 연결된 7세그먼트에 값을 표시하도록 프로그램을 작성해 실험하여 정상동작 여부를 검증하였다. 타이머(TMR0) 인터럽트 기능은 타이머와 프리스케일러를 이용해 최대 약 65.5ms 마다 타이머 인터럽트가 발생토록 설정하고, 인터럽트 루틴에서 인터럽트 발생 회수를 세어 원하는 회수에 도달할 때마다 포트 C에 연결된 LED 점등 상태를 변화시키거나 7세그먼트의 값을 변화시키는 형태로 실험을 수행하였다. RAB 포트 변화 인터럽트 기능은 A 포트나 B 포트에 스위치를 연결하고 이 스위치의 변화를 감지하면 C 포트에 연결된 LED의 점등 상태가 변하도록 프로그램을 작성하여 실험하였다.

A/D 변환 기능은 PIC칩의 18개 입출력 핀들 중 아날로그 입력 기능을 지원하는 12개 핀에 대해 임의로 선택된 핀에 아날로그 전압을 입력하고, 디지털로 변환된 값을 출력하여 결과를 확인

하였다. 아날로그 입력 소자를 모델링하기 위해 개발된 시뮬레이터는 그림 4에 나타낸 것과 같이 슬라이드 바를 마우스로 드래그하여 값을 지정해 주거나 또는 전압 값을 직접 타이핑으로 입력해 주는 형태를 지원하는 아날로그 소자를 지원하고 있다. 그림에서 아날로그 신호를 발생하는 소자 (~로 표시되어 있는 소자)는 3번 핀(RA4/AN3)에 연결되어 있으며, 아날로그 출력 전압을 각각 1.0V, 2.5V, 4.0V로 설정한 상태이다. 예를 들어 1.0V로 설정한 경우, 8비트로 0~5V 사이의 전압을 표현한다고 할 때 1V는 256을 5로 나눈 약 51 정도의 값이 되며 이를 16진수로 표현하면 33 (2진수로로는 00110011)으로 표현되며, C포트에 연결된 그림의 DISplay소자 값이 33을 나타내고, LED의 점등 상태를 보면 0은 off, 1은 on으로 표시되어 이진수 00110011을 표현하고 있음을 확인할 수 있다. 나머지 경우도 같은 방법으로 변환해 보면 A/D 변환이 정확히 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

컴퓨터 및 스마트폰과 같은 개인 휴대용 단말기의 급속한 성능 향상 및 인터넷을 비롯한 유무선 통신망 전송속도의 급속한 증가로 인해 온라인 비대면 교육을 위한 하드웨어적 인프라는 어느 정도 갖추어져 있다고 볼 수 있으나 교육 효과를 높일 수 있는 실시간 양방향 교육 콘텐츠는 매우 부족한 실정이고, 특히 실험 실습을 위한 온라인 가상실험 콘텐츠는 거의 없는 실정이다.

특히 융복합 학문의 중요성이 날로 강조되고 있는 최근에는, 전자공학을 중심으로 거의 모든 융합산업 분야에서 두뇌역할을 하는 임베디드 시스템의 마이크로컨트롤러에 관련된 효율적인 온라인 교육방안이 절실하다.

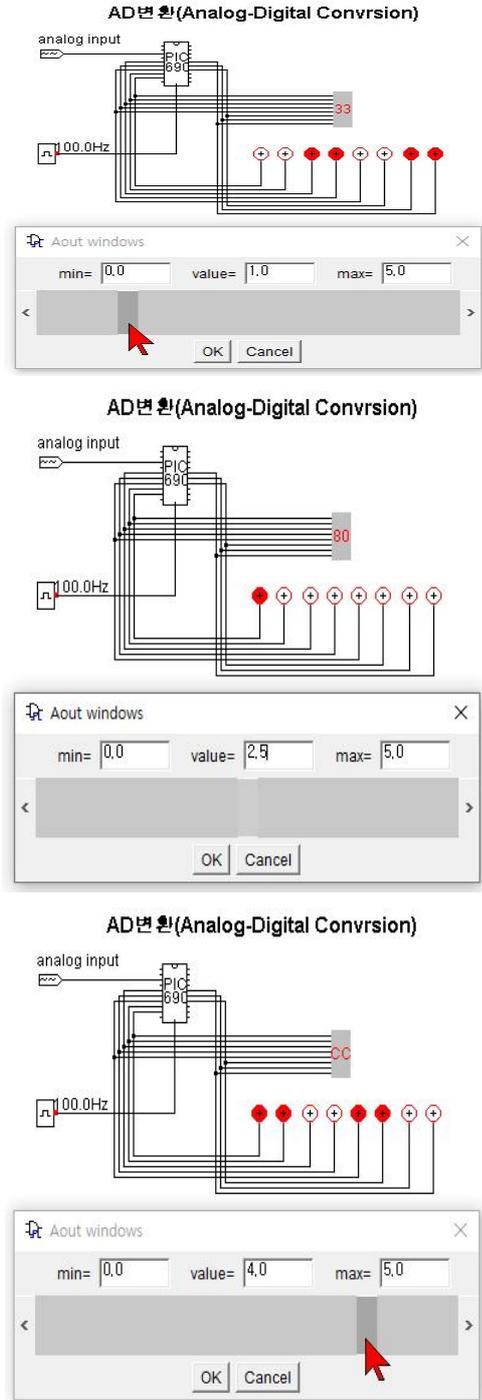


그림 4. 아날로그/디지털 변환  
Fig. 4. Analog/Digital conversion

본 논문에서는 우리 주변의 거의 모든 전기전자 관련 기기에서 활용되고 있는 마이크로프로세서 관련 교과목의 비대면 교육을 위해 가상실험용 마이크로컨트롤러를 모델링하고 이를 프로그래밍하여 직접 실험 실습을 하지 않고도 마이크로컨트롤러를 사용해 볼 수 있는 환경을 구축하고 가상실험을 통해 개발된 소프트웨어의 기능을 검증하였다.

본 논문에서 개발된 마이크로프로세서 온라인 교육을 위한 가상실험 시뮬레이터는 마이크로프로세서 생산업체에서 제공하는 기본적인 시뮬레이터에서는 지원하지 않는 다양한 시각적, 청각적 소자들을 지원하고, 고가의 시뮬레이션 전문 상용 소프트웨어에 비해 원하는 소자들을 자유롭게 사용자가 수정, 추가, 확장할 수 있는 개방형 체계를 갖추고 있다.

앞으로 개발된 가상실험용 마이크로컨트롤러 프로그램을 활용한 교육을 통해 실제 실험과 동일한 교육 효과를 추구함과 동시에, 언제 어디서나 실험 내용을 학습할 수 있는 시간적, 공간적 장점뿐만 아니라 실제 실험에서 요구되는 비용의 절감을 통한 경제적 장점을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

[1] Market Reports World, "Global Microcontroller Market 2020-2024", <https://www.marketreportsworld.com/global-microcontroller-market-16445717>

[2] Microchip Technology Inc., <https://www.microchip.com/>

[3] Renesas Electronics Corporation, <https://www.renesas.com/in/en>

[4] NXP Semiconductor, <https://www.nxp.com/>

[5] STMicroelectronics, [https://www.st.com/content/st\\_com/en.html](https://www.st.com/content/st_com/en.html)

[6] Texas Instrument, <https://www.ti.com/>

[7] Proteus, <https://www.labcenter.com/>, 2021.

[8] Autodesk, Inc., <https://www.tinkercad.com/>, 2021.

[9] Intel, <https://fpgasoftware.intel.com/>, 2021.

[10] Xilinx, <https://www.xilinx.com/>, 2021.

### 저 자 소 개



기장근(Jang-Geun Ki)

1986.2 고려대학교 전자공학과 졸업  
 1988.2 고려대학교 전자공학과 석사  
 1992.2 고려대학교 전자공학과 박사  
 2002.6-2003.6, 2010.6-2011.8, 2016.8-2017.8  
 Univ. of Arizona 방문교수  
 1992.3-현재 : 공주대학교 공과대학 전기전자 제어공학부 교수  
 <주관심분야> 통신프로토콜, 이동통신시스템



권기영(Kee-Young Kwon)

1981.2. 고려대 전자공학과 졸업  
 1983.2. KAIST 전기및전자공학과 석사  
 1988.2. KAIST 전기및전자공학과 박사  
 1988.3.-1991.2 (주)삼성전자 기흥 반도체연구소 선임연구원  
 1991.3.-현재 공주대학교 공과대학 전기전자 제어공학부 교수  
 2000.3.-2001.2. Southern Methodist University 방문교수  
 <주관심분야> 반도체, 광통신