

휴대용 소형 전자장비를 이용한 편리하고 경제적인 메카트로닉스 교육[§]

강 철 구^{*†}

* 건국대학교 기계공학부

Convenient and Economic Mechatronics Education Using Small Portable Electronic Devices

Chul-Goo Kang^{*†}

* School of Mechanical Engineering, Konkuk University,

(Received June 9, 2015 ; Revised December 11, 2015 ; Accepted February 3, 2016)

Key Words: Engineering Education(공학교육), Mechatronics(메카트로닉스), Portable Electronic Devices(휴대용 전자장비), Microcontroller(마이크로컨트롤러), Step Motor(스텝모터)

초록: 최근에 기계공학 교육에서 메카트로닉스 교육의 중요성은 많이 인식되고 있으나, 일반적으로 장비가 갖춰진 실험실에서만 실험실습교육이 이루어지고 있어, 학생들이 집에서 실습해 볼 수 없는 불편함이 있어왔다. 본 논문에서는 5V 소형전원, 브레드보드, 마이크로컨트롤러 및 각종 전자칩류, 스텝모터, 전기소자류, LED 등 소형 휴대용장비와 학생의 PC 를 활용하여, 디지털논리회로, 7-LED 구동, 사각파신호생성, 마이크로컨트롤러 어셈블리 및 C 프로그래밍, 타이머 인터럽트, 스텝모터 구동 등을 실험실습하는 교육에 대해 소개한다. 개발된 강좌에서는 내용강의와 더불어 실험실습을 병행하되, 학생들에게 편리하고 값싸게 실험실습을 수행할 수 있는 환경을 제공하여, 학생들이 집에서 실험실습을 연습 및 복습할 수 있게 하였다.

Abstract: Although mechatronics education in a mechanical engineering curriculum is recently recognized as important, its experimental education has been done generally in the laboratory equipped with all the apparatus and could not be done at home by students. This paper introduces experimental educations on mechatronics, e.g., digital logic circuits, 7-segment LED drive, square wave generation, microcontroller programming using assembly and C languages, timer interrupt, and step motor drive using a small 5 V power supply, a breadboard, various electronic and electric components, a microcontroller and its programmer, a step motor, and a student's PC. In the developed mechatronics course, experimental educations are scheduled in parallel with content's lectures together, and cheap and economic experimental environment is prepared for students in which students can easily practice experimental works in advance or later at home by themselves.

1. 서 론

최근에 기계공학 교육에서 메카트로닉스(mechatronics) 교육의 중요성은 많이 인식되고 있으나,^(1,2) 일반적으로 장비가 갖춰진 실험실에서만 실험실습교육이 이루어지고 있어, 학생들이 집에서 실습해 볼 수 없는 불편함이 있어 왔다. 기계공학에서 수행되는 메카트로닉스 교육은 주로 전기전자요소의 기능과 사용법, 마이크로컨트롤러(microcontroller)의 프로그래밍, 모터의 구동 등을 중요한 주제로 다루고 있다.⁽³⁻⁵⁾

§ 이 논문은 2015년도 대한기계학회 교육부문 춘계학술대회(2015. 6. 25.-26., 고려대) 발표논문임.

† Corresponding Author, cgkang@konkuk.ac.kr

© 2016 The Korean Society of Mechanical Engineers

따라서 실험실습 토픽과 장비를 잘 선정하면, 저렴하면서도 가지고 다니기에 가볍고 편리한 실험실습 환경을 구축할 수 있다. 이러한 실험실습 환경이 구축되면, 학생들은 가방에 늘 장비를 가지고 다니면서, 언제 어디서든 강의내용을 실험실습해 볼 수 있는 이점을 갖게 된다.

현재 국내에서 메카트로닉스 교육은 매우 다양한 형태로 이루어지고 있다⁽²⁾. 메카트로닉스 강좌를 개설하는 학년이 대학 2 학년에서부터 4 학년 사이에 다양하게 분포되어 있으며, 강좌에서 다루거나 강조 되는 토픽들도 매우 다르다. 하지만 기계공학에서 개설되는 메카트로닉스의 강좌내용은 일반적으로 위에서 언급한 전기전자요소의 기능과 사용법, 마이크로컨트롤러의 프로그래밍, 모터의 구동 등을 기본적으로 중요하게 다루고 있다. 메카트로닉스의 이해가 기계공학도에게 매우 중요함에도 불구하고 본 과에서는 커리큘럼 배분상 한 과목으로 밖에 넣을 수 없는 아쉬움이 있다.

공학교육에서 가장 중요한 것은 개념 습득(concept learning), 실천체험(hands-on experience), 그리고 배움의 즐거움(learning joy)이라고 생각한다⁽⁶⁻⁹⁾. 이러한 관점에서 지난 10 여년간 저자가 개발해온 메카트로닉스 강좌의 실험실습 교육에 대해 본 논문에서 논의하고자 한다. 개발된 메카트로닉스 강좌는 3 학년 1 학기 한학기 3 학점 과목으로 개설되며, 14 주의 강의와 실험실습, 그리고 중간고사와 기말고사로 구성되어 있다. 기초적인 내용부터 강의하기 때문에 선수과목은 지정되어 있지 않고, 필수과목인 기계공학실험 1 을 수강한 학생이면 누구나 들을 수 있다. 후수과목도 없다. 첫 4 주는 주당 3 시간의 강의로만 구성되며, 나머지 10 주는 주당 1.5 시간의 강의와 2 시간의 실험실습으로 구성되어 있다. 강의는 일반교실에서 수행되며, 실험실습은 실험실에서 조교의 도움과 함께 수행된다. 성적은 중간 및 기말고사 각 35%, 4 번의 숙제 10%, 5 번의 Lab 20%로 구성되어 있다. 중간 및 기말고사는 아날로그회로(analog circuit), 디지털회로(digital circuit), 마이크로컨트롤러 프로그래밍, 스텝모터 구동원리 등 이론적인 개념 이해에 초점을 두고 있다. 실험실의 수용인원 관계로 45 명으로 수강인원을 제한하고 있다.

2 절에서 본 강좌의 실험실습 과제에 대해 소개하고, 3 절에서 디지털논리 실습에 대해, 4 절에서 마이크로컨트롤러 프로그래밍 실습에 대해, 5 절에서 스텝모터 구동 실습에 대해 논의하고, 6 절에서 결론 정리를 한다.

2. 실험실습 과제

본 개발 메카트로닉스 강좌에서는 기계공학 전공 학생들에게 전기전자 및 컴퓨터 관련 지식을 습득하게 하기 위하여, 강의와 더불어 실험실습을 병행하도록 하였다. 졸업 후 산업현장 및 연구현장에서 활용도를 생각하여, 다음과 같은 실험실습 토픽을 선정하였다. 그리고 실험실습의 편의성을 위하여 학생들이 가방에 쉽게 가지고 다닐 수 있게, 작은 크기의 Power supply, 브레드보드(breadboard), 스텝모터(step motor) 등 휴대용 소형 전자장비와 전기 및 전자소자를 다음과 같이 마련하여 제공하고 있다.

Lab 1: 십진카운터를 이용한 7 segment LED 구동 실습 (준비물: Power supply, Breadboard, Color wires, Wire stripper, 7490 두개, 74HC4511N 두개, 7-LED 두개, 330Ω 저항 두개)

Lab 2: 7400 을 이용한 디바운싱(debouncing) 회로 실습 (7400 두개, 10 kΩ 저항 두개, Toggle 스위치 한개)

Lab 3: 74221 을 사용한 사각파(square wave) 생성 디지털논리회로 실습 (준비물: 74LS221 한개, 15 kΩ 저항 다섯개, LED 한개, 10 μF 커패시터 두개)

Lab 4: 쿼드러처(quadrature) 신호생성과 카운팅을 위한 디지털논리회로 실습 (준비물: 7474 두개, 7404 한개, 74192 두개)

Lab 5: 마이크로프로세서 프로그래밍과 스텝모터 구동 실습(준비물: PIC16F84 한 개, 4 MHz crystal oscillator 한 개, LED 5 개, 330 Ω 다섯개, 스텝모터, 트랜지스터 TIP31C 네개, 다이오드 네개, PRO ENGINE II Programmer 및 소프트웨어는 실험실에 마련)

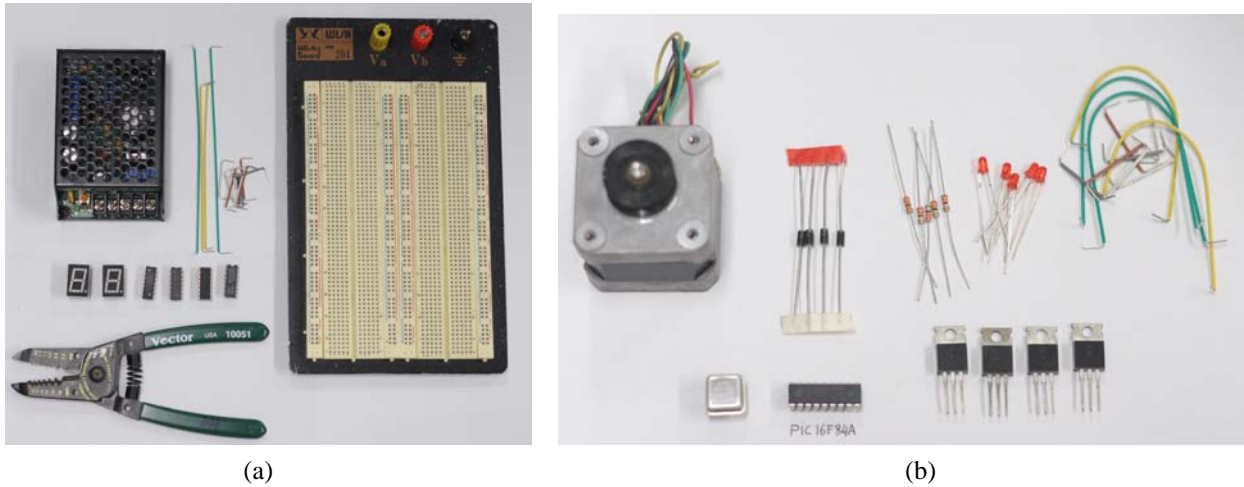


Fig. 1 Necessary devices and components for (a) Lab 1, and (b) Lab 5.

이전 Lab 의 준비물은 항상 다음 Lab 의 준비물로 사용된다. Lab 은 3 인 1 조로 수행된다. 본 강좌의 강의는 다음과 같은 내용을 다룬다.

- 메카트로닉스의 의미와 범위(0.5 주)
- 전기회로(1.5 주)
- 반도체소자(1 주)
- 연산증폭기회로(1 주)
- 디지털논리회로(3 주)
- 마이크로컨트롤러 구조 및 프로그래밍(4 주)
- 스텝모터 원리 및 구동(3 주)

처음 4 주 동안 메카트로닉스 의미와 범위, 전기회로, 반도체소자, 연산증폭기회로(operational amplifier circuit)를 공부한 후, 5 주차 디지털논리회로부터 강의와 실습을 병행하게 된다. 본 과목 수강생은 이미 기계공학실험 1 에서 전기회로 소자와 오피앰프(op amp; operational amplifier)를 실습한 학생들이다. 본 강좌는 외국인학생들이 있어서 영어로 진행된다. Fig. 2 와 3 은 실험실에서 진행되는 실습모습을 보여주고 있다.

실험실습에 관계된 다양한 정보, 즉, 마이크로컨트롤러 Data sheet, C 컴파일러(compiler), 어셈블러(assembler), 각종 기기 사용법, OrCAD 소프트웨어 등은 Fig. 4 와 같은 과목사이트를 통해 제공하고 있다. 편의성을 위해 휴대가능한 장비와 부품을 제공하지만, 학생들이 납땜을 원할 경우, 인두와 땀납 등을 한학기 임대할 수 있게 하고 있다. 웹사이트를 통해 납땜 방법을 알려준다.



Fig. 2 Teacher's guide for Lab practices in the laboratory room of Mechanical Engineering Department

학생들에게 기본적으로 제공되는 장비 및 부품 가격은 학기당 1인당 15만원 정도이며, 이 중 한번 구매로 여러 해 사용가능한 브레드보드, 5V Power supply, Wire stripper, 스텝모터를 제외하면, 1인당 일만원 정도 소요된다.



Fig. 3 Students' teamwork for Lab practice, in which each team is composed of three students

MECHATRONICS DESIGN (메카트로닉스 설계)

Course Syllabus [Spring 2015](#)

Announcements

2015. 4.22 - 5.17. 까지 포탈 공학인증의 중간실문조사를 수행해 주세요.

2015. 6.1 - 6.21. 까지 포탈에서 강의평가를 수행해 주세요 🌟

Instruction: Engineering Bldg A 303, Lab: Engineering Bldg B 170-1, [Team groups](#)

Soldering Instruction: [Be careful Procedure](#)

OrCAD Educational Version (freeware) [Program](#)

Assembler for PIC microcontrollers [Program Download\(zip\)](#) [MPASM User's Guide\(pdf\)](#) [MPASM Usage\(pdf\)](#)
 Assembly Code Templates [16F84template.asm](#) [16F84atemplate.asm](#) [16F877template.asm](#) [16c774template.asm](#) [p16F84.inc](#)
 C compiler for PIC16F84 and 16F877 (Hi-Tech PICC; freeware) [pic1684.h](#)
[Program Download\(.exe\)](#) [PICC-Lite User's Guide\(pdf\)](#) [PICC-Lite Usage\(pdf\)](#)
[PRO ENGINE II \(PIC microcontroller programmer\) Usage](#)
 PIC16F84 data sheet [Download\(pdf\)](#)
 Proteus VSM ISIS simulator [PROVSM ISIS Usage\(pdf\)](#)

I/O board Driver Program(메카트로닉스의 이론과 실험 교재) [Download USB강?](#)

[Textbook \(Introduction to Mechatronics and Measurement Systems\) website](#)

Assignments

- Homework 1:
- Homework 2:
- Homework 3:
- Lab 1 : Decade counter design [MC14511B Data sheet](#) [7-LED \(610\) Data sheet](#)
- Lab 2 : Debouncing circuit design
- Lab 3 : Sequential logic circuit design (Square wave generation using 74221)
- Lab 4 : Quadrature signal counter design using up/down counter [Quadrature Signal Generation](#) [Up/Down Counter circuit](#)
- Lab 5 : Step motor driving using a microcontroller (Capstone design)

Midterm Examination : April 22 (Wed), 2015, 3:00-5:00 pm, Basement Auditorium Hall, Engineering Bldg C

Final Examination : June 17 (Wed), 2014, 3:00-5:00 pm, Basement Auditorium Hall, Engineering Bldg C 🌟

Class Scores [Homework/Exam Scores](#) [Grade](#) 🌟

Fig. 4 Mechatronics course website in which all the course materials are posted during the semester

또한 대부분의 실험실습 결과는 집에서 LED 로 체크 가능하도록 하고 있지만, 필요할 경우 실험실에서 출력신호를 그림 5 와 같이 확인할 수 있도록 하고 있다. 참고로 본 강좌에서는 시간관계상 아날로그회로, A/D 컨버터(converter), D/A 컨버터 등은 강의로만 공부하고 실습은 없다.

3. 디지털논리 실습

Lab 1, 2, 3, 4 는 디지털논리(digital logic)회로 실습이라고 볼 수 있다. 각 Lab 에서는 Lab mission 이 Fig. 6 의 형태로 주어지고, 학생들은 이 미션을 수행하기 위한 설계 및 회로도를 완성하고, 작동이 성공적이면 검사를 맞게 된다.

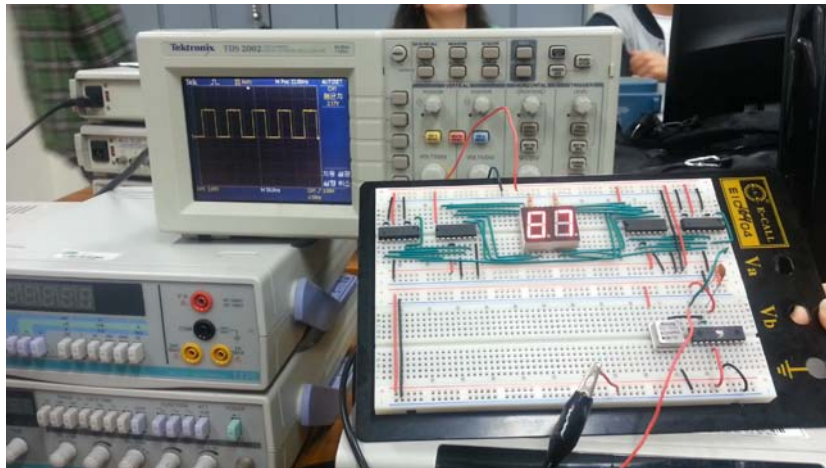


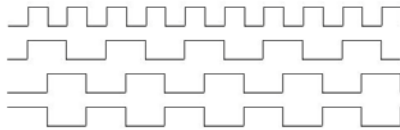
Fig. 5 Square wave generation using a microcontroller and output demonstration using a digital oscilloscope

Mechatronics Lab 4

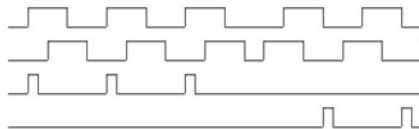
Copyright © 2015 by Chul-Goo Kang

Design of a Quadrature Signal Counter Using an Up/Down Counter Chip

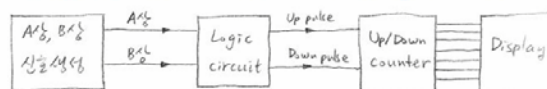
1. Design and implement a digital logic circuit to generate a quadrature signal with 90° phase shift using the Lab 3 circuit, 7474 D flip-flops, 7404 inverters.



2. Design and implement a digital logic circuit to convert the quadrature signal into Up pulse and Down pulse for 74192 Up/Down Counter using 7404 D flip-flops (or 74221 single shot, 7404 NOT gate, and 7400 NAND gate).



3. Implement 2 digit decade counter using two 74192 Decade Up/Down Counter.



Necessary devices and components

Power supply, Bread board, Lab 1 circuit, Lab 3 circuit, two 7474(D flip-flop), one 7404(inverter), two 74192(decade up/down counter)

Fig. 6 Handout of Lab 4 that shows Lab mission and necessary devices and components

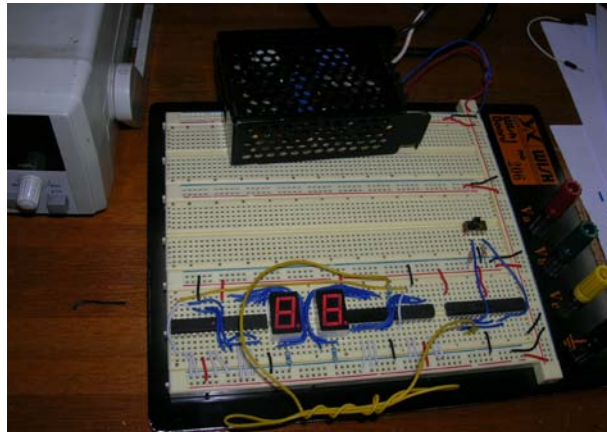


Fig. 7 Students' sample result for Lab 1, which demonstrates two digit counting using two 7-segment LEDs.

디지털논리회로 실습은 주로 TTL 칩을 이용하여 디바운싱, 사각파발생, 사각파로부터 퀴드러처(quadrature)신호 생성, 퀴드러처신호로부터 Up 펄스/Down 펄스 생성, Up/Dwon 카운팅 등을 실습한다. 주어진 미션에 대한 답을 바로 주지 않고, 학생들이 생각하여 논리회로를 설계 하도록 유도하고 있다. Fig. 7은 두 개의 7-LED 구동에 대한 학생들의 Lab 1 결과 샘플을 보여주고 있다.

외국인 교환학생은 팀당 한명 이하로 배정된다. 즉, 한국인 파트너학생을 정해주어 자연스럽게 한국 학생들의 글로벌교육이 되도록 하고, 또한 외국인 학생들의 한국생활 적응과 한국생활 만족도를 높이려고 하고 있다.

4. 마이크로컨트롤러 프로그래밍

본 강좌에서 가장 중요하게 생각하는 수업목표는 마이크로컨트롤러의 활용능력이다. 이를 위해 강의에서 마이크로컨트롤러의 구조와 기능에 대해 공부하고, 이를 바탕으로 어셈블리 프로그래밍과 C 프로그래밍을 실습한다. 특히, C 프로그램에서는 타이머 인터럽트(timer interrupt)의 이해와 활용능력을 습득하도록 한다.

Assembly code

```
:020000040000FA
:100000008316013081000030860083128101860151
:1000100000308D0062308C00811F0C2881018C0B18
:100020000C2862308C008D098D1F06108D1B061464
:020030000C289A
:0000001FF
```

C code

```
:10000000830100308A0034288C00030883019300A8
:10001000063081070B110F080E04031D102811284C
:1000200023280D18142815281C280610C8308E0007
:100030008F0101308D06232883120614C8308E00EC
:100040008F0101308D0683120F080E040319292831
:100050002A282E288E0803198F038E038312130873
:1000600083008C0E0C0E09000D3084000E304620EB
:10007000830103309200FE3091000E308400103076
:100080004A208301F42B04068001840A0406031D20
:1000900043280034900055208000840A040810068C
:1000A000031900344B2883129100921B5E2812081A
:1000B0008A001108910A0319920A82008313121808
:0C00C00083171108910A84000008080052
:1007E800061083168501860181128B168B17FC2B48
:0807F800FB2B3428C834003447
:0000001FF
```

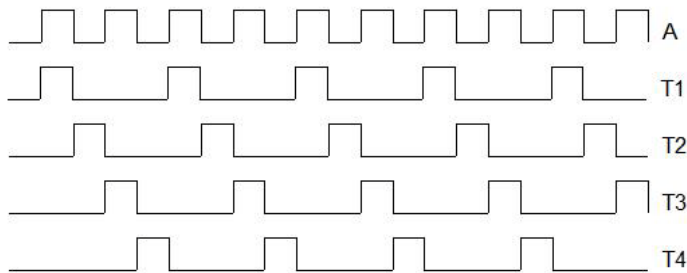
Fig. 8 Machine codes of assembly and C program for generating 10 Hz square wave showing the difference of code length.

Mechatronics Lab 5

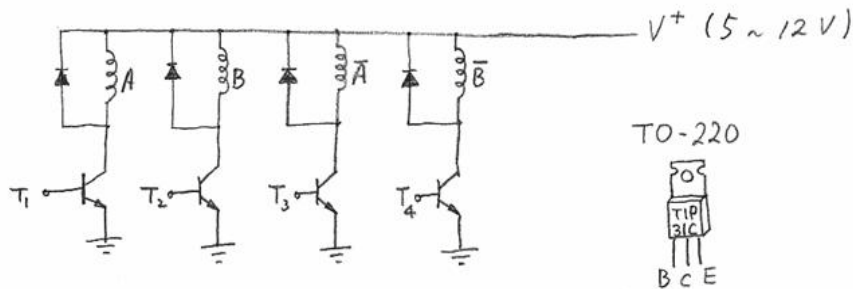
Copyright © 2015 by Chul-Goo Kang

Step Motor Driving Signal Generation & Practice using a Microcontroller

1. Generate a square wave A with 0.1s period, and step motor driving signals T1, T2, T3 and T4 by C code using PIC16F84 microcontroller.



2. Drive a step motor using amplified T1, T2, T3 and T4 signals using four TIP31C transistors as in the figure below. (Single-phase excitation, Unipolar driving)



Necessary devices and components

Power supply, Bread board, PRO ENGINE II Programmer, one PIC16F84, one 4 MHz crystal oscillator, five LEDs, five 330Ω resistors, PICC Lite C Compiler, Step motor, four TIP31C (npn transistor, package TO-220), four diodes

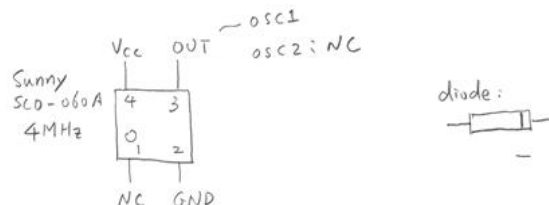


Fig. 9 Handout of Lab 5 to generate step motor drive signals and to drive an actual step motor

Lab 3 에서 TTL 칩인 74221 을 이용해 하드웨어적으로 사각파신호를 구현한 데 비해, Lab 5 에서는 더 편리하게 소프트웨어적인 프로그램으로 구현한다. 사각파신호 생성을 위한 어셈블리 및 C 프로그램을 라인별로 이해하도록 여러 번에 걸쳐 설명한 후 이를 응용하여 프로그래밍을 실습하게 한다.

동일한 10 Hz 의 사각파 신호생성을 어셈블리 언어와 C 언어로 프로그램 한 후 이를 어셈블링 (assembling) 및 컴파일링(compiling) 하면 Fig. 8 과 같은 기계어(편의상 이진수 대신 16 진수로 표현)로 번역되고 그 차이점을 분명하게 보게 한다. 즉, 어셈블리 프로그램이 짜기는 불편하지만 실행시간을 줄일

수 있는 이점이 있음을 이해하게 한다. 본 강좌에서는 Microchip 사의 PIC 마이크로컨트롤러를 사용하고, 마이크로컨트롤러용 크로스 어셈블러(cross assembler)는 Microchip 사의 MPASM, C 컴파일러는 Hi-Tech 사의 PICC Lite 를 사용한다. 이 어셈블러와 컴파일러는 작은 무료 프로그램이므로, 쉽게 학생 각자의 노트북 PC 에 설치하여 사용할 수 있다.

5. 스텝모터 실습

메카트로닉스의 마지막 실습과제는 스텝모터 구동이다. 스텝모터의 구조와 작동원리, 그리고 구동회로 기초에 대한 강의를 한 후, Lab 5 전반부에서 생성한 T1, T2, T3, T4 신호를 트랜지스터로 전류 증폭하여 스텝모터를 구동하게 한다. Unipolar drive 와 Bipolar drive, 1 상 여자 와 1.5 상 여자, 2 상 여자 방식, Freewheeling diode 의 역할과, 순환전류를 빨리 제거하여 빠른 구동이 이루어질 수 있음을 실습하게 한다.

구동원리 이해를 위한 실습과 병행하여 강의에서 스텝모터 구동칩을 이용한 일반구동 및 마이크로스텝핑(microstepping) 구동 방법을 이해하도록 한다.

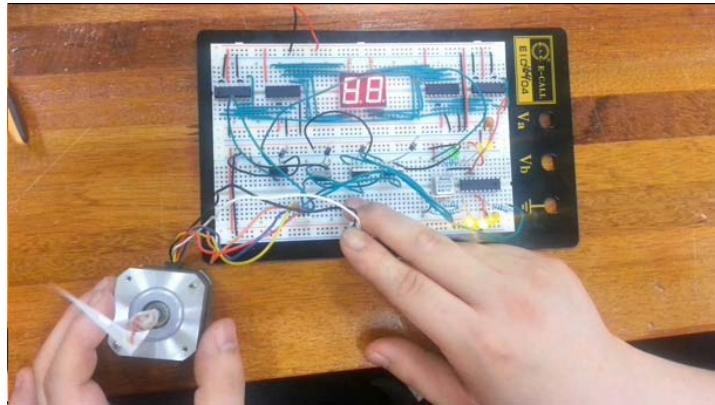


Fig. 10 Students' sample result for Lab 5, which demonstrates step motor driving



Fig. 11 A picture of enrolled class students and the author to memorize the mechatronics class in 2015.

6. 결 론

개발된 메카트로닉스 강좌는 학생들의 개념습득, 실전체험 및 배움의 즐거움을 실현하기 위하여, 신중히 선정된 Lab 과제와 강의를 지난 수년간 성공적으로 수행하였다. 특히 기계공학 전공 학생들에게 16주 한학기의 짧은 시간 동안 전기전자 및 컴퓨터 기본 지식을 습득하게 하고 활용능력을 배양하는데 본 강좌가 기여하고 있음을 강의평가 및 졸업생들의 응답으로 알 수 있었다.

특히 마이크로컨트롤러의 프로그래밍 능력과 스텝모터 활용능력을 키우는데 본 강좌가 성공적이었다.

Lab 과제 준비물을 소형 휴대용 기기와 부품으로 선정함으로써, 학생들이 가지고 다니며 언제 어디서나 220V 가정용 전원만 있으면 실습을 해볼 수 있는 환경을 만들어 주어 학습효과를 높이도록 하였다. 또한 저렴한 비용으로 메카트로닉스 실습교육을 수행할 수 있게 함으로써, 대학 운영자 측면에서 재정적 부담이 되지 않도록 하였다.

부수적 효과로서, 외국인 학생들과의 팀워크를 통해, 유럽학생들의 문제해결을 위한 집요한 노력이 우리 학생들에게 많은 자극이 되는 것을 볼 수 있었다.

본 강좌를 진행해 오면서 어려운 점은 영어 강의에 의한 일부 한국학생들의 이해도가 떨어지는 점이다. 그럼에도 불구하고 외국인 학생과의 수업은 잃는 것보다 얻는 것이 더 많아 보인다.

참고로 Fig. 11은 2015년 봄학기 기계공학부 메카트로닉스 강좌를 듣고 있는 학생들과 봄꽃이 만발한 4월 초에 추억을 위해 찍은 사진이다.

후 기

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2013R1A1A2062374)의 결과물임.

참고문헌(References)

- (1) International Engineering Alliance, Available at <http://www.washingtonaccord.org>, Accessed on May 1, 2013.
- (2) 한국공학교육인증원, Available at <http://www.abeeek.or.kr>, Accessed on May 1, 2013.
- (3) D. G. Alciatore, and M. B. Hystand, Introduction to Mechatronics and Measurement Systems, 4th ed., McGraw Hill, 2012.
- (4) 강철구의 공역, 메카트로닉스와 계측시스템, 4판, 교보문고, 2012.
- (5) W. Bolton, Mechatronics, 6th ed., Pearson Education, 2015.
- (6) 강철구, “외국인과의 팀워크를 통한 공학교육의 국제화,” 대한기계학회 교육부문 춘계학술대회 논문집, pp. 221-225, 2013.
- (7) 강철구, “MATLAB/Simulink를 활용한 로봇기구학 교육,” 한국공학교육학회 공학교육학술대회논문요약집, p. 94, 2012.
- (8) 강철구, “이러닝을 통한 유공압시스템 교육,” 유공압건설기계학회 추계학술대회논문집, pp. 93-97, 2012.
- (9) 강철구, “기계공학에서 유공압교육의 현황과 효과적인 교육방법,” 대한기계학회 교육부문 춘계학술대회논문집, pp. 153-159, 2012.