

아시아지역 제어공학 교육의 특징과 효과적인 제어공학 교육의 방법 연구

강철구

건국대학교 기계항공공학부

(2002. 11. 21. 접수)

A Study on the Characteristic of Control Education in Asia and the Method of Effective Control Education

Kang, Chul-Goo

School of Mechanical and Aerospace Engineering, Konkuk University

(received November 21, 2002)

국문요약

현재 공과대학의 여러 학부 또는 학과에서 제공되고 있는 제어공학 교육이 이론 교육에 치우쳐 실제 산업현장에서 적용과 응용능력에 문제점이 있다는 지적이 있어왔다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 동양문화권 배경하에서 성공적인 제어공학 교육을 수행하고 있는 몇 가지 사례를 살펴보고, 현대적인 제어공학 교과내용 및 효과적인 제어공학의 교육방법을 제시한다. 효과적인 제어공학 교육을 위해서는 이론교육과 더불어 컴퓨터 소프트웨어를 이용한 제어시스템 설계와 시뮬레이션, 그리고 실제 플랜트를 활용한 실험실습이 필수적이며, 미숙련 학생들을 위하여 튼튼하고 신뢰할 수 있는 견실한 하드웨어 시스템이 필요하다.

Abstract

Recently, there have been a number of voices from industry that control education at the university is too theoretical and so university graduates are lack of practical ability to apply the control idea to actual systems. In order to reflect these voices, this paper investigates a few examples of successful control education in Asian countries, and presents a modern curriculum of control education, and an effective methodology of control education. For effective control education, we need design and simulation practices of control system using computer software packages, and hands-on experiments

using physical hardware plants. The experimental setups should be rugged and reliable to prevent from the breakdown by the students who are non-experts in dealing with hardwares and softwares.

1. 서론

21세기는 과학과 기술이 인간의 생활방식과 문화 그리고 정신세계를 지배하는 새로운 패러다임의 사회가 될 것이다. 뿐만 아니라 과학과 기술의 발달정도가 바로 그 공동체 또는 그 국가의 힘의 척도가 될 것이다. 그럼에도 불구하고 현재 한국의 과학 기술계 경시 풍조는 우려할 만하다. 이러한 가운데에서도 미래를 위하여 다음 세대를 위하여 묵묵히 공학교육의 현장을 지키고 새로운 공학교육의 방법론을 개발할 필요가 있다고 본다.

현대의 첨단 과학기술문명을 지탱해주고 있는 한 기술분야로서 제어공학(control engineering)을 이해하고, 기본원리를 터득하는 것은 공학자나 엔지니어에게 중요하다.

최근에 많은 사람들이 공학교육의 문제점으로서, 이론교육에 너무 치우쳐 학생들의 실제적인 경험이 부족하다는 것과, 이로 인한 엔지니어링감이 부족하다는 것을 들고 있다(Yurkovich, 1989). 또, 산업현장에서는 대학 졸업자의 현장 적응능력 부족과 질을 문제삼고 있는 실정이다. 현재 미국 공학기술 인증원(ABET: Accreditation Board for Engineering and Technology)과 미국 과학재단(NSF: National Science Foundation)은 공학교육에서 추구해야 할 목표로 학생들의 실제 설계능력 향상에 초점을 두고 있다(Yurkovich, 1992).

공학교육 중 제어공학 교육에 대한 논의는 여러 번 있었다. IEEE Control Systems Magazine (Yurkovich, 1989; Klein, 1989), 1995 American Control Conference(Chrisman et al., 1995; Misawa et al., 1995), 2nd IFAC ACE (Advances in Control Education) Symposium (Boston, 1991), IEEE Control Systems Magazine in June 1992 (Yurkovich, 1992; Astro-

em et al., 1992), 3rd IFAC ACE Symposium (Tokyo, 1994), IEEE Control Systems Magazine in April 1996(Zhu, 1996; Ezzine et al., 1996), 4th IFAC ACE Symposium (Istanbul, 1997), 5th IFAC ACE Symposium (Gold Coast in Australia, 2000) 등에서 효과적인 제어공학 교육에 대하여 논의하였다.

서구와 다른 문화적 배경을 가진 아시아권에서의 제어교육을 논의하기 위하여, 1997년 Asian Control Conference (ASCC'97)에서 본 저자의 주관하에 특별세션을 가진바 있으며(AL-Sunni, 1997; Kang, 1997; Kwon 등, 1997; Hori, 1997; Yamakita 등, 1997; Yang 등, 1997), 2001년 제어·자동화·시스템공학회지 3월호(ICASE Magazine Vol.7/No.2)에서 본 저자가 Guest Editor로 참여하여 제어공학 교육을 특집으로 다루었다(강철구, 2001b). 또, 2001년 11월 본 학회의 공학교육학술대회에서 제어공학 교육문제를 논의하였다(강철구, 2001a). 아시아 지역은 서구의 합리성이 강조되는 사회와는 다른 문화적 배경, 즉, 인본주의적 문화적 배경으로 인하여 논리성과 합리성이 강조되는 제어공학 교육을 수행하는 데 있어서 서구와는 다른 접근방법이 효과적일 수 있다고 본다.

본 논문은 2001년 공학교육학술대회에서 본 저자에 의해 발표된 제어공학 교육의 발표내용(강철구, 2001a)을 수정 보완하여, 저자가 생각하는 효과적인 제어공학 교육의 방법론과 현대적인 제어공학 교육에서 다루어져야 할 교과내용을 연구한 것이다.

제어공학 교육이 대부분의 대학에서 이론 및 해석에 치우쳐 있는 경우가 많다. 그 원인으로서는 여러 가지가 있을 수 있겠으나, 교육 재정적인 측면이 가장 크다고 생각되고, 다음으로는 많은 학생들이 고장 없이 사용할 수 있는 튼튼하고 흥미

로운 제어 플랜트 개발이 용이하지 않다는데 있다고 생각된다. 그러나 대학에서 사회에서 필요로 하는 훌륭한 제어 공학자를 배출하기 위해서는 이론과 더불어 엔지니어링 감을 키울 수 있는 실습 및 설계교육이 필수적이다. 실습 및 설계 교육은 두 가지 측면에서 수행하는 것이 필요하다. 즉, 컴퓨터와 플랜트를 인터페이싱하고 A/D 및 D/A 컨버팅을 수행하는 하드웨어적인 측면과 CACS(D (Computer-Aided Control System Design) 등의 소프트웨어 측면을 함께 교육하여야 한다.

본 논문에서는 먼저, 위 Conference 및 제어·자동화·시스템 공학회지에서 발표된 성공적인 제어공학 교육의 사례에서 제공하는 제어공학 교육 프로그램의 특징과 핵심내용을 소개하고, 다음에는 저자가 생각하는 제어공학 교육에서 강조되어야 할 방법적인 것과 내용적인 것들을 제시하면서, 마지막으로 결론을 맺는다.

참고로, 본 논문에서 인용하고 있는 아시아지역 제어공학 교육 사례는 각자의 자발적인 참여의사나 본인의 요청에 의한 것이며, 결코 이들이 아시아 지역 제어공학 교육을 대표한다고는 보지 않는다. 본 논문에 인용되지는 않았으나, 훌륭하고 뛰어난 제어공학 교육을 수행하고 있는 교육기관이 많이 있을 것으로 생각한다. 단지, 본 논문이 대학에서 제어공학 교육을 수행하는데 일조하기를 기대할 뿐이다.

II. 아시아지역 대학의 제어공학 교육사례 분석

효과적인 제어공학 교육을 연구하기 위하여 우선 Asian Control Conference 및 제어·자동화·시스템 공학회지에서 발표된 성공적인 제어공학 교육의 사례로서 동경대학교(University of Tokyo)의 전기공학과(Hori, 2001; Hori, 1997), 동경공업대학의 시스템 및 제어공학과(Yamakita et al., 1997), 사우디아라비아 King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM)의 시스템공학과(AL-Sunni, 2001; AL-Sunni, 1997), 서울대학교의 전기공학부(권옥현 등, 2001; Kwon et al., 1997), 연세대학교의

기계공학과(양현석 등, 2001; Yang et al., 1997), 건국대학교의 기계항공공학부(강철구, 2001c; Kang, 1997)에서 제공하는 제어공학 교육 프로그램의 특징과 핵심내용을 살펴본다.

1. 동경대학교 전기공학과에서의 제어공학 교육 (Hori, 2001; Hori, 1997)

일본의 동경대학교 전기공학과(교수 40명, 부교수 20명)에서는 학부 3학년의 핵심 중요과목 중 하나로서 제어공학 1과 제어공학 2를 두 학기에 걸쳐 제공하고 있다. 제어공학 1에서는 동적시스템 모델링, 안정도, PID 제어, 근궤적, Nichols 차트 등을 주로 다루고 있고, 제어공학 2에서는 디지털제어, 비선형시스템 해석, 상태공간법, 고등제어 소개 및 응용 등을 다루고 있다. 이와 더불어, 3학년 두 학기 동안 일주일에 3일간씩 오후에 '실험'을 필수적으로 수강하게 하는데, 그 중에 제어관련 실험, 예를 들어 그림 1과 같은 DD 모터의 서보제어 등이 포함되어 있다.

또, 'Microprocessor Applications' 과목에서 그림 2와 같은 PC와 TMS320C50 DSP Starter Kit를 학생 한명당 1세트씩 지급하여 교육을 수행하고 있다. 일부 세트는 학생들에 의하여 구입되었으며, 일부는 Texas Instrument에서 기증을 받아 사용하고 있다. 실습과목으로 'CAD of Controller Design'에서 Celeron 400 MHz, Window NT

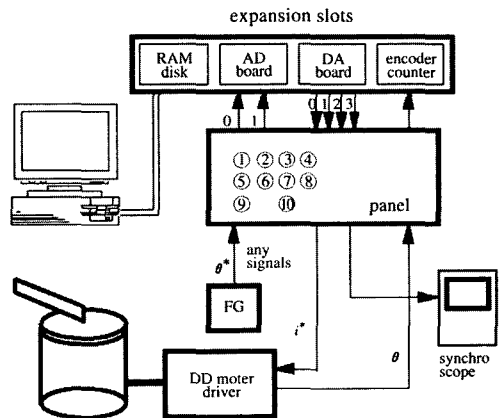


그림 1. 서보제어 실험장치 개략도

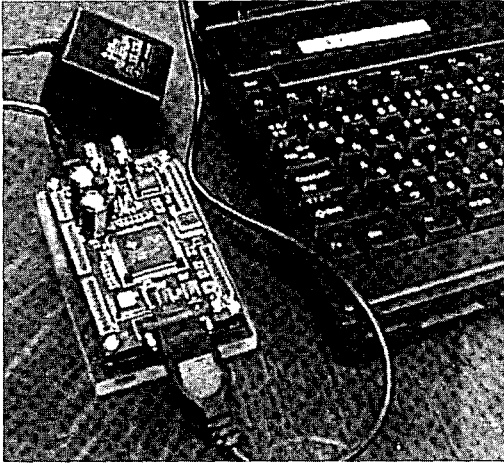


그림 2. RS232C Cable로 IBM Think Pad에 연결된 C50 DSP Starter Kit

〈표 1〉 동경대학교 전기공학과 3학년 제어공학 관련 과목들(2001년 기준)

		8:30-10:00	10:15-11:45	13:00-16:00
월	1학기	Control Engineering 1	Introd. Electric Machines	Experiment 1
	2학기	Control Engineering 2		Experiment 2
화	1학기	Microprocessor Applications		Experiment 1
	2학기			Exercise
수	1학기			
	2학기	System Math. Engin.		
목	1학기			Experiment 1
	2학기		Power System 1	Experiment 2
금	1학기			
	2학기	Power Electronics		

4.0. MATLAB/SIMU-LINK를 사용하여 제어기 설계를 실습하고 있다. 이를 위해 하루에 3시간씩 6일간 MATLAB/SIMULINK 사용법을 강의한 다음, Final project를 수행하게 한다. 참고로 학부 3학년과 4학년에서 제어공학 관련 강좌를 정리하면 표 1과 표 2와 같다.

그리고 동경대학교 전기공학과만의 특징은 매주 수요일 오후에 학기당 약 10회에 걸쳐서 3학년 학

〈표 2〉 동경대학교 전기공학과 4학년 제어공학 관련 과목들(2001년 기준)

		8:30-10:00	10:15-11:45	13:00-16:00
월	1학기			Graduation Research
	2학기	Graduation Research		
화	1학기			Graduation Research
	2학기	Graduation Research		
수	1학기			
	2학기	Graduation Research		
목	1학기	Applied Control	Power System 2	Graduation Research
	2학기	Graduation Research		
금	1학기	Electric Machine Contrl		
	2학기	Graduation Research		

〈표 3〉 동경대학교 전기공학과 대학원 제어공학 관련 시간표(2001년 기준)

		8:20 - 10:00	10:05 - 11:45	13:00 - 14:40	14:45 - 16:25	16:30 - 18:00
월	1학기			Advanced Control Syst	Electric Railway Syst	Traffic System 1
	2학기		Advanced Electric Machinery 2	Traffic System 2	Neural Network	
화	1학기	Artificial Intelligence		Advanced Electric Machinery 1	Pattern Recognition	
	2학기		Robotics			
수	1학기	Superconductor Appl.		Doctor Course Exercise		
	2학기			Doctor Course Exercise		
목	1학기	Master Course Experiments				
	2학기	Master Course Experiments				
금	1학기	Motion Control	Presentation Exercise			
	2학기	Thyristor Circuit				

생을 대상으로 동경 주위의 산업체로 Technical Visit을 전기공학과 주관으로 가고 있다. 대상 산업체로는 Fujitsu, NEC, Toshiba, Sumitomo Metal, JR East, TEPCO, NTT, Hitachi, Fuji Electric 등이 있다. 또, 봄방학과 여름방학

기간동안에 동경에서 멀리 떨어진 곳의 산업체를 방문하여 학생들의 공학에 대한 현장감을 얻게 하고 있다.

대학원에서는 ‘고등제어시스템’ 과목에서 현대 제어공학의 기초적 내용(가제어성, 가관측성, 안정도 등), 최적제어, 견실제어(H disturbance observer, TDOF 제어 등), 디지털제어(LTR, deadbeat 제어 등), State Estimation(observer, Kalman 필터 등)과 System Identification을 다루고 있다. 대학원에서 제공하는 제어공학 관련 강좌는 표 3과 같다.

2. 동경공업대학 시스템 및 제어공학과와의 제어공학 교육(Yamakita et al., 1997)

일본 동경공업대학의 시스템 및 제어공학과 (Dept. of Systems and Control; 교수 5명, 부교수 4명, 조교수 1명)에서는 도립진자(inverted pendulum) 시스템을 제어교육에 활용하여 좋은 교육효과를 얻고 있다. 과거 10년간은 단일 도립진자 시스템으로 교육을 수행해 왔으나, 최근에 그림 3과 같은 2중 도립진자 시스템과, 그림 4, 그림5와 같은 CCD 카메라를 이용한 2자유도 도립진자(SCARA 로봇)의 시각서보제어시스템을 학부의 제어교육에 활용하고 있다.

이 시스템은 다음과 같이 비선형성이 큰 머니플레이터 동특성을 가지고 있다.

$$M(\theta)''\theta + C(\theta, \dot{\theta}) + V'\theta + G(\theta) = \tau$$

여기서 θ 는 두 관절의 각위치와 각속도로 이루어진 4×1 벡터이고, τ 는 두 모터 입력과 두 개의 0으로 이루어진 4×1 벡터이다. 그리고, M 은 4×4 관성행렬, C 와 V 는 구심가속도 및 Coriolis 가속도에 기인한 항이고, G 는 중력에 관련된 항이다. 이 복잡한 비선형 동특성을 θ 와 θ' 이 작다는 가정하에서 선형화하여 제어하고 있다.

뿐만 아니라 이 시스템의 진자는 복잡한 동특성을 가지고 있는데, 이를 한 개의 CCD 카메라를 이용하여(θ 가 작다는 가정하에서) 2차원 위치를 비접촉식으로 측정할 후 시각서보로 해결하고 있다.

이 시스템은 학생들의 호기심을 충분히 유발하고 제어이론의 학습동기를 부여하며 많은 관심의 대상이 되고 있다고 한다.

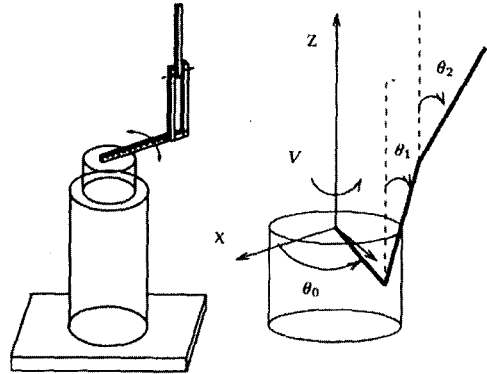


그림 3. 2중 도립진자 시스템

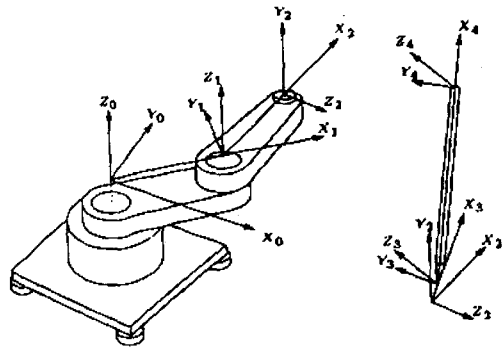


그림 4. 2자유도 도립진자의 시각서보제어시스템의 개념도

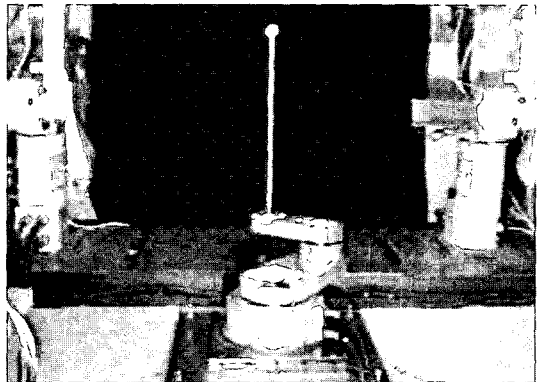


그림 5. 2자유도 도립진자의 시각서보제어시스템의 사진

3. KFUPM 시스템공학과에서의 제어공학 교육 (AL-Sunni, 2001; AL-Sunni, 1997)

King Fahd University of Petroleum and Minerals(KFUPM)는 1963년에 사우디아라비아의 동쪽 해안에 있는 석유산지 Dhahran에 설립된 사우디아라비아의 중요 대학 중 하나이다. 바로 옆에 있는 Jubail은 석유 및 석유화학 공업도시로 유명하며 우리나라 현대건설이 진출한 곳이기도 하다. KFUPM의 시스템공학과(Dept. of System Engineering; 교수 3명, 부교수 6명, 조교수 11명, 전임강사 8명)는 Industrial Engineering/Operations Research와 Automatic Control/Automation 과정 중 하나를 선택하게 하고 있다. 이곳의 제어공학 교육은 주로 석유생산 및 석유화학 공업과 관련하여 제공되고 있다. 일년은 1, 2학기과 여름학기로 구분되어 있고, 한 학기는 15주로 구성되어 있다.

Automatic Control/Automation을 선택할 경우, 이수해야 하는 과목으로는 Modelling and Simulation, Control Systems, Digital Logic, Instrumentation, Signals and Systems, Computer Control Systems, Microprocessor in Automation, Industrial Process Control이 있고, 이 외에 Introduction to Robust Control, Control Systems Design, Instrumentation for Process Control, Digital Signal Processing, Stochastic Processes, Special Topics in Control 중 3과목을 선택해서 이수해야 한다. 마지막 년도에 학생들은 현장실습을 해야하는데, 여름학기의 summer training과 1, 2학기의 cooperative program 중 하나를 선택하여 산업체 경험을 쌓아야 한다.

실험실습 교육을 위하여 아날로그컴퓨터, Two-tank control apparatus, PLC 등과 MATLAB을 활용하고 있다.

대학원에서는 Linear Control Theory, Optimal Control, Nonlinear Control, Adaptive Systems, Identification, Distributed Computer Control, Robust Control, Estimation and Detection, H-infinity Cont-

rol, Large Scale Systems 등 제어에 관련된 거의 모든 분야를 커버하고 있다.

KFUPM에서 시스템공학과 외에 기계공학과, 화학공학과, 전기공학과에서도 제어공학을 교육하고 있다. 중동지역은 석유화학 공업과 관련하여 제어공학 강좌가 개설되고 있는데 사우디아라비아 외의 아랍권에서 제어공학을 제공하고 있는 알려진 대학으로는 표 4와 같다.

〈표 4〉 아랍권에서 제어공학 교육을 담당하고 있는 대학들

Program	University	Country
Automatic Control and Industrial Electronics Engineering	Halab	Syria
Electrical and Control Engineering	Technology	Iraq
Systems Engineering	KFUPM	KSA
Control and Computer Engineering	AL-Mansoorah	Egypt

4. 서울대학교 전기공학부의 제어공학 교육 (권옥현 등, 2001; Kwon et al., 1997)

서울대학교 전기공학부(교수, 부교수, 조교수 총 52명)에서는 MATLAB/SIMULINK와 유사한 CEMTool/SIMTool을 개발하여 제어공학 교육에 활용하고 있다(권옥현, 1996). 특히 그림 6과 같이 두 대의 PC를 (i) A/D와 D/A, (ii) RS232, 또는 (iii) Ethernet으로 연결하고, 한 대는 제어기로, 한 대는 가상플랜트로 활용함으로써, 실제 하드웨어 플랜트가 가지는 여러 가지 번

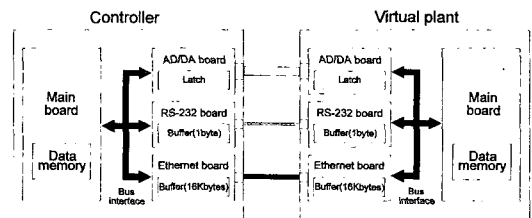


그림 6. 두 PC와 CEMTool/SIMTool을 활용한 실시간 제어 시뮬레이션 개념도

거로운 문제를 피하고, 제어기 자체의 설계에 몰두할 수 있게 하였다.

SIMTool을 이용하여 그림 7과 같이 한 PC에는 플랜트를, 다른 PC에는 제어기를 실시간 모듈로 구축한다. 그림 8과 같은 제어기 모듈을 모델링한 다음, 아날로그 입력 파라미터를 그림 9와

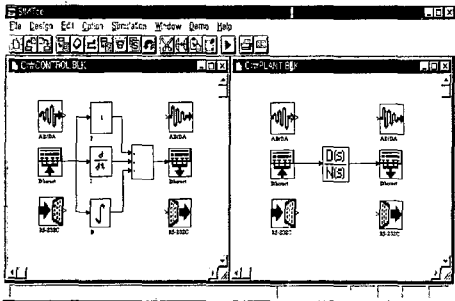


그림 7. SIMTool을 이용한 플랜트와 제어기의 실시간 모듈 구축

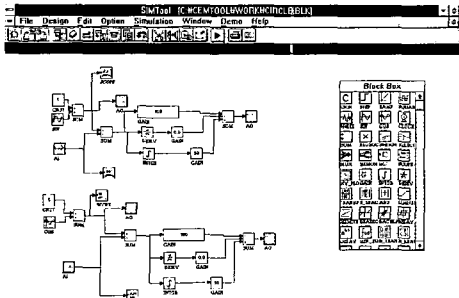


그림 8. SIMTool을 이용한 제어기 모델링

Function Name:	AI	OK
Type:	ADDA	Cancel
Block Name:		Document
Base_IO_Address:Ox	0x200	
Channel_Num	1	
Low_Input	1.0	
High_Input	5.0	

그림 9. 아날로그 입력 지정 화면

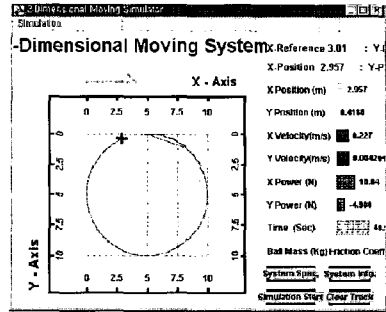


그림 10. 2자유도 위치제어의 결과 화면

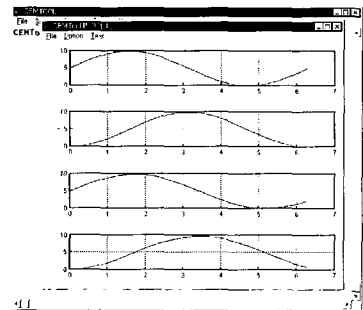


그림 11. 2자유도 위치제어의 결과 화면

같이 지정한다. 그런 다음 2자유도 위치제어를 수행하면 그 결과를 그림 10, 그림 11과 같이 얻을 수 있다.

5. 연세대학교 기계공학과와 제어공학 교육 (양현석 등, 2001, Yang et al., 1997)

연세대학교 기계공학과(교수, 부교수, 조교수 총 27명)에서는 4학년의 필수과목으로 제어공학을 제공해 왔는데, 1주당 3시간 강의와 Term project로 구성되어 있다. 강의를 주로 고전제어 이론을 포함하고 있으며, Term project는 3~4명이 한 팀이 되어 창의적인 운동제어시스템을 구현하도록 하고 있다. Term project는 학기가 시작하기 전 겨울방학부터 대학원생 TA들이 각 팀을 가이드하여 5월 둘째주 '자동제어전시회'에 교내외 인사들을 모시고 발표회를 갖는다. 이 전시회는 통상 수천명의 관객이 참석하고 있으며, 이 전시회의 후원업체로는 LG 전자, 삼성전자, 대우자동차, 기아자동차, 현대자동차 등이 있다.

Term project의 목적은 다음과 같이 정의하고

있다. 첫째, 아이디어를 실제로 구현하는 경험을 갖게 한다. 둘째, 이론 강의에서 배운 내용을 활용하여 제어를 설계해 보는 기회를 갖는다. 셋째, 기계공학도로서 필요한 전기전자적인 소자 다루는 법과 컴퓨터 인터페이싱 기법을 배운다. 넷째, 조원들이 협력하여 시스템을 구축하는 기회를 갖게 한다.

이러한 Term project가 학생들에게 많은 부담을 주고 있음에도 불구하고 학생들은 경쟁적으로 본 제어과목을 수강하려는 경향을 가지고 있다. 이는 바로 제어공학에 대한 호기심과 동기를 잘 부여한데서 원인을 찾을 수 있을 것이다.

본 전시회에 출품된 작품의 두 사례가 그림 12와 그림 13에 주어져 있다.

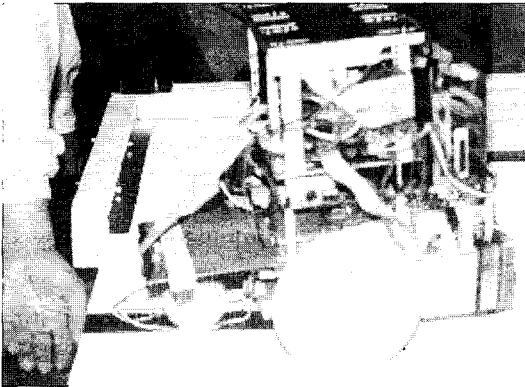


그림 12. 자동제어전시회에 출품된 한 작품

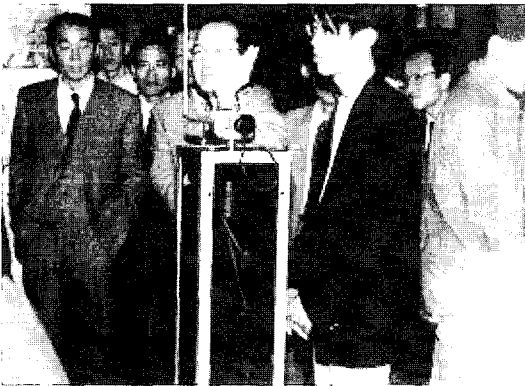


그림 13. 자동제어전시회에 출품된 한 작품

6. 건국대학교 기계항공공학부의 제어공학 교육(강철구, 2001c; Kang, 1997)

건국대학교 기계항공공학부(교수 9명, 부교수 7명, 조교수 3명)에서 제어공학은 3학년 학생을 대상으로 제공되고 있다. 제어공학을 이수한 학생은 3학년 2학기에 메카트로닉스 과목에서 op amp 회로, 디지털논리회로, 마이크로프로세서, 모터 등을 배운 다음 기말프로젝트로 창의적인 운동제어시스템을 팀별로 구현하도록 하고 있다. 프로젝트 비용 중 일부를 과예산에서 부담한다.

제어공학 과목에서 이론적인 제어교육과 더불어 제어에 대한 학생들의 공학적인 감과 흥미를 유도하기 위하여 두 가지 플랜트를 선정하여 제어교육을 수행하고 있다. 플랜트 선정 및 설계시 주안점으로 둔 것은 첫째 제어에 흥미를 유발시킬 수 있을 것, 둘째 미숙련자인 학생들이 거칠게 사용할 수 있기 때문에 잔 고장이 없는 튼튼한 플랜트일 것이었다.

이러한 관점에서 선정되어 설계된 첫 번째 플랜트가 그림 14와 같은 벨트-풀리 인덱싱시스템이고, 두 번째가 그림 15와 같은 수평 원궤도형 도

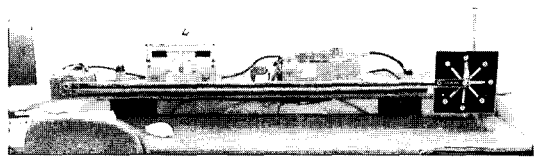


그림 14. 벨트-풀리 인덱싱시스템

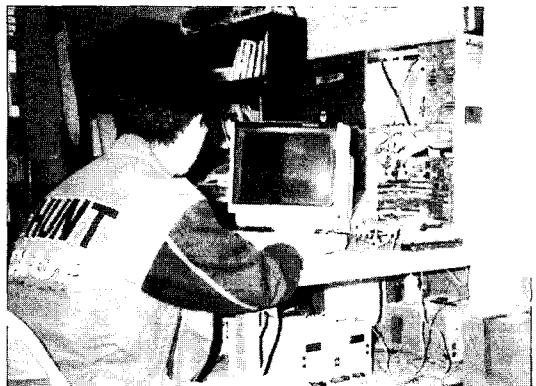


그림 15. 수평 원궤도형 독립진자시스템

립진자 시스템이다. 첫 번째 플랜트는 선형시스템 이어서 모든 선형제어이론이 성공적으로 구현될 수 있는 플랜트이고, 두 번째 플랜트는 비선형시스템으로서 좀 더 생각을 해야지 제어가 가능한 시스템이다. 이 두 시스템을 제어공학 교육에 활용함으로써 학생들의 제어이론 학습의 동기를 유발하고 흥미를 이끌어 내는 효과를 얻을 수 있었다. 특히, 많은 시행착오 후에 도입진자를 스스로 세웠을 때 학생들은 신기워워하고 성취감을 표현했다.

III. 제어공학 교육의 나아갈 방향

성공적인 제어공학 교육에 대한 위의 사례 연구로부터 저자가 생각하는 제어공학 교육에서 강조되고 나아가야 할 방향을 교과 내용적인 것과 방법적인 것으로 정리하면 다음과 같다.

1. 현대적인 제어공학 교육에서 포함되어야 할 교과내용

현재 제어공학 교재가 시중에 다양하게 나와 있고, 제어공학이 발전함에 따라 내용도 조금씩 바뀌어 가고 있다. 현재 전 세계적으로 가장 많이 활용되고 있는 제어공학의 기본교재는 저자가 가진 정보로는 Dorf 등이 쓴 Modern Control Systems, Ogata가 쓴 Modern Control Engineering, Franklin 등이 쓴 Feedback Control of Dynamic Systems, Kuo가 쓴 Automatic Control System 등이다. 이 외에도 좋은 교재가 많이 나와 있는데, 이들을 통틀어 교재의 내용이 변화되고 있는 추세는 디지털제어와 견실제어(robust control)의 내용이 추가되어 가고 있다는 점이다.

위의 성공적인 제어공학 교육의 사례들로부터, 또 저자의 경험과 지식으로부터, 학부 제어공학에서 기본적으로 포함되어야 할 내용은 대부분의 교재가 다루고 있는 고전적인 내용 외에 상태공간에서의 상태피드백제어(state feedback control)와 이를 구현하기 위한 관측기(observer) 설계, 또, 각종 제어로직을 마이크로프로세서로 구현하기 위

한 디지털제어를 포함하여야 한다. 이는 실제 산업현장에서의 제어방식이 대부분 디지털 로직 소자 또는 마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어로 바뀌어 가고 있고, 단순한 제어알고리즘으로부터 복잡한 비선형 제어로직을 포함한 제어기로 바뀌어가고 있기 때문이다.

이때 디지털제어의 이론적인 복잡한 해석은 대학원에서 다루고, 학부에서는 활용측면에서 접근하여야 할 것이다. 따라서 학부 제어공학에서는 적어도 다음의 내용이 포함되어야 한다고 생각한다.

- 동적시스템의 모델링과 선형화기법
- PID 제어
- 안정도
- 근계적법
- 주파수응답법(Bode 선도와 Nyquist 선도)
- 상태피드백제어와 관측기
- 위 제어로직을 마이크로프로세서로 구현하기 위한 디지털제어

대학원 수준에서는 현재 개발된 또는 개발되고 있는 다양한 제어로직, 예를 들면, 최적제어, 적응제어, H^∞ 등의 견실제어, Kalman 필터를 이용한 제어, 확정제어(deterministic control), 뉴로퍼지 제어 등을 과특성과 대상으로 하는 응용분야에 따라 제공할 수 있을 것이다.

이러한 교육과정을 통하여 과거에는 달성할 수 없었던 높은 제어성능을 달성할 수 있는 제어시스템을 구축할 수 있는 기본 소양을 갖추 수 있을 뿐만 아니라, 더 나은 제어시스템의 설계를 위한 연구를 계속할 수 있는 기틀을 갖추 수 있다고 기대한다.

2. 효과적인 제어공학 교육의 방법 제안

II절에서 성공적으로 제어공학 교육을 수행하고 있는 몇몇 대학의 제어교육 방법을 알아보았다. 이들 대학에서 성공적으로 제어 교육을 수행할 수 있는 요체를 3가지 정도로 정리해 볼 수 있는데, 각 대학들이 이들 셋을 다 수행하고 있는 경우도

있고, 이들 중 2가지 정도를 수행하고 있는 곳도 있다. 그 3가지 요체는 (i) 제어공학의 이론적인 수업과 더불어, (ii) 컴퓨터 소프트웨어 패키지를 활용한 제어기 설계의 실습과, (iii) 실제 플랜트를 활용한 제어기 설계와 구동 실험이다. 이 3가지를 같이 병행하여 제어공학 수업을 진행할 때 학생들의 호기심과 성취동기를 유발할 수 있고, 산업현장과 21세기 시대가 요구하는 훌륭한 제어 분야 엔지니어를 길러낼 수 있다고 생각한다.

위 3가지 중 이론적인 수업에서 다루어야 할 내용적인 면은 III절의 1번에서 언급하였고, 두 번째와 세 번째에 대하여 본 절에서 언급한다.

현재 제어기 설계에 활용할 수 있는 시뮬레이션 패키지로는 MATLAB/SIMULINK, CEMTool/SIMTool, ACSP, MATRIXx, CC, Simnon 등 다수가 있으나, 호환성, 범용성, 성능, 가격 측면에서 MATLAB/SIMULINK나 CEMTool/SIMTool을 추천하고 싶다. 이 두 소프트웨어는 다같이 PC에서 블록선도 형태로 제어시스템의 시뮬레이션이 가능하고, 선형시스템과 비선형시스템을 다같이 취급할 수 있으며, 가격도 적절하다. 또 시간영역과 주파수영역에서 다같이 제어시스템의 설계와 해석을 수행할 수 있다.

특히 CEMTool/SIMTool(권옥현, 1996)은 국내에서 다년간 개발해온 소프트웨어 패키지로 MATLAB/SIMULINK와 99.9% 호환이 가능하다. MATLAB/SIMULINK에 비해 가격이 저렴하기 때문에 한번 고려해 볼 만하다.

실제 제어시스템 실험을 위한 플랜트를 선정할 때는 두 가지 점을 중점적으로 고려하여야 할 것이다. 첫째는 학생들에게 제어에 대한 흥미를 유발시킬 수 있는 플랜트이어야 한다. 둘째는 미숙련자인 학생들의 거친 사용환경에서도 고장이 없는 튼튼한 플랜트이어야 한다. 이러한 조건을 만족하는 것으로서 적용분야에 맞는 플랜트를 선정하면 될 것이다. 플랜트는 운동제어분야인가, 공정제어분야인가 아니면 전기제어분야인가에 따라 달라질 것이다.

실제 플랜트가 선정되면, 학생들에게 동적모델링을 강의하면서 MATLAB/SIMULINK나

CEMTool/SIMTool로 플랜트 모델링을 하게 하고, 제어기 설계를 강의하면서 제어기를 설계하여 시뮬레이션을 수행하게 한다. 기말에 가서 조별로 실제 제어시스템을 구동실험 하면서 시뮬레이션 결과와 비교하게 하고 성능개선을 하게 한다. 이러한 입체적인 제어공학 교육은 학생들에게 제어에 관한 확실한 엔지니어링 감을 심어줄 것으로 생각된다.

IV. 결론

본 논문은 2001년 11월 공학교육학술대회에서 본 저자에 의해 발표된 제어공학교육 논문과 2001년 3월 본인(Guest Editor)에 의한 제어·자동화·시스템 공학회지 제어교육 특집호 내용, 또 1997년 Asian Control Conference에서 본인이 주관한 특별세션 Control Education in Asia의 토론내용을 바탕으로, 동양문화권에서의 제어공학 교육 현실과 현대적인 제어공학 교과내용 및 효과적인 제어공학의 교육방법론을 제시한 것이다.

학생들의 호기심과 흥미를 유발시키고, 사회의 요구에 부응하기 위한 제어공학교육을 효과적으로 수행하기 위해서는 (i)제어공학의 이론교육과 더불어, (ii) 컴퓨터 소프트웨어 패키지를 활용한 제어기 설계의 실습과, (iii) 실제 플랜트를 활용한 제어시스템 구동 실험이 포함되어야 한다.

제어기 설계를 실습하기 위한 소프트웨어 패키지로 MATLAB/SIMULINK와 CEMTool/SIMTool을 추천한다. 그리고 실제 제어시스템 실험을 위한 플랜트는 첫째, 학생들에게 제어에 대한 흥미를 유발시킬 수 있는 플랜트이어야 하고, 둘째, 미숙련자인 학생들의 거친 사용환경에서도 고장이 없는 튼튼한 플랜트이어야 한다. 이러한 조건에 맞는 플랜트 중 적용분야에 맞는 플랜트를 선정하여 입체적으로 제어공학 교육을 실행한다면 좋은 결과가 있을 것이다.

[인 용 문 헌]

[1] 강철구(2001a), 효과적인 제어공학 교육의 방

- 법과 내용. 공학교육학술대회논문집, 80-85.
- [2] 강철구(2001b), Control Education in Asia, 제어·자동화·시스템공학회지, 7(2), 8.
- [3] 강철구(2001c), Effective Control Education by Means of Motion Control Practice, 제어·자동화·시스템공학회지, 7(2), 27-31.
- [4] 권옥현(1996), CEMTool을 활용한 자동제어, 청문각.
- [5] 권옥현, 김기백(2001), Control System Design and Analysis with CEMTool for Control Education, 제어·자동화·시스템공학회지, 7(2), 22-26.
- [6] 양현석, 박영필(2001), A Method of Undergraduate Control Education Especially for Mechanical Engineering Students, 제어·자동화·시스템공학회지, 7(2), 18-21.
- [7] AL-Sunni, F. M. (2001), Control Education at KFUPM, 제어·자동화·시스템공학회지, 7(2), 15-17.
- [8] AL-Sunni, F. M. (1997), Control Education at KFUPM, Proc. of the 2nd Asian Control Conference, 2, 103-106.
- [9] Astroem, K. J. et al. (1992), IEEE Control Systems Magazine, 12(3), 22-50.
- [10] Chrisman, K.; Vagners, J. (1995), An Alternative Inverted Pendulum Apparatus for Education, Proc. of the American Control Conference, 554-558.
- [11] Ezzine, J. et al. (1996), IEEE Control Systems Magazine, 16(2), 11-101.
- [12] Hori, Y. (2001), Control Education via Experiments and Technical Visits, 제어·자동화·시스템공학회지, 7(2), 9-14.
- [13] Hori, Y. (1997), Control Education in Dept. of Electrical Engineering, The Univ. of Tokyo, Proc. of the 2nd Asian Control Conference, 2, 83-86.
- [14] Kang, Chul-Goo (1997), Control Education Using a Belt-and-Pulley and an Inverted Pendulum System, Proc. of the 2nd Asian Control Conference, 2, 99-102.
- [15] Klein, R. E. et al. (1989), IEEE Control Systems Magazine, 9, 4-24.
- [16] Kwon, Wook Hyun; Kim, K. B.; Choi, S.-G. (1997), Control System Design and Analysis with SIMTool & CEMTool for the Control Engineering Education, Proc. of the 2nd Asian Control Conference, 2, 87-90.
- [17] Misawa, E. A.; Arrington, M. S.; Ledgerwood, T. D. (1995), Rotational Inverted Pendulum: A New Control Experiment, Proc. of the American Control Conference, 29-33.
- [18] Yamakita, M.; Hoshino, T.; Furuta, K. (1997), Control Education via Controlling Pendulums, Proc. of the 2nd Asian Control Conference, 2, 91-94.
- [19] Yang, Hyun Seok; Park, Young-Pil (1997), A Method of Undergraduate Control Education Especially for Mechanical Engineering Students, Proc. of the 2nd Asian Control Conference, 2, 95-98.
- [20] Yurkovich, S. (1989), Control Education, IEEE Control Systems Magazine, 9, 3.
- [21] Yurkovich, S. (1992), Advances in Control Education, IEEE Control Systems Magazine, 12(3), 18-21.
- [22] Zhu, J. J. (1996), Control Education: A World Showcase, IEEE Control Systems Magazine, 16(2), 8-10.