
재료공학 실험실습 교육과정 개발

김은경*, 정운룡**, 박철민**, 배동현**, 민동준**, 이우영**
연세대학교 교육연구소*, 연세대학교 금속시스템공학과**

Curriculum Development of Instructional Laboratories in Materials Science and Engineering

Eun Kyung Kim*, Unyong Jeoung**, Cheolmin Park**,
Dong Hyun Bae** and Dong Jun Min**, Wooyoung Lee**
Institute for Educational Research, Yonsei University*,
Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University**

국문요약

공학교육의 패러다임은 학습내용, 학습결과 중심의 패러다임에서 학습자, 학습과정 중심의 패러다임으로 변화하고 있고, 이러한 패러다임의 전환에서 실험 교과목은 학습자 중심의 교육을 실현하기에 가장 적합한 교과목이다. 본 연구에서는 학부 2, 3, 4학년 전 과정에 걸친 실험 교과목의 교육과정 개발의 맥락 속에서 2학년 실험 교과목을 전공기초 지식 습득 및 기초실험 능력 배양을 목표로 학습자 중심 교과목으로 교육과정을 개발하고 적용하고자 하였다. 교육과정 개발을 위하여 국내외 우수대학 재료공학과의 실험 교과목을 비교 분석하였고 학생 설문 조사를 실시하여 학생들의 요구를 반영하였다. 개편된 기초실험을 위한 교육과정은 학생들의 요구를 반영한 교육내용으로 학생들의 참여를 독려함으로써 학생들로부터 비교적 긍정적인 피드백을 받고 있는 것으로 나타났다.

Abstract

The paradigm of engineering education has evolved from subject-centered learning to student-centered learning. In particular, instructional laboratories can be an essential part of student-centered learning. The curriculum of instructional laboratories in the departments of materials science and engineering, Yonsei University has been investigated. Student surveys on the curriculum were also carried out. The curriculum was found to develop after reforming it on the basis of student-centered learning. Student feedback reflects that the new curriculum promoted student's active learning and that student's needs of instructional laboratories were considered in the curriculum.

주제어: 재료공학, 실험교과목, 학습자 중심 교육

Keywords: Materials science and engineering, Instructional laboratories, Student-centered learning

I. 연구의 필요성 및 목적

사회가 급격히 변화하면서 미래의 우수한 인재를 양성하기 위하여 대학교육의 패러다임은 크게 변화하고 있고 이러한 변화는 공학교육에서도 나타나고 있다. 학생들이 무엇을 배워야 하는가, 어떤 지식과 기술이 창의적인 공학인을 양성하기 위하여 필요한가, 보다 개선된 교육을 위하여 어떤 교육방법을 도입해야 하는가 하는 것은 시대에 따라 변천해 왔고, 최근 공학교육 패러다임은 학습 내용, 학습결과 중심의 교육 패러다임에서 학습자, 학습과정 중심의 패러다임으로 변화하고 있다(Rompelman, 2000).

1950년대 전까지 공학교육은 지식과 기술을 습득하고, 구조화된 방법으로 이를 구현하도록 하는 것으로 충분하였다. 따라서 교수방법은 교수자 중심으로 지식을 전수하는데 초점을 두었고, 학생들은 이를 개별적으로 암기하고 적용하면서 학습하였다. 평가는 학습 과정보다는 결과에 중점을 두어 얼마나 많은 지식과 기술을 습득하였는가의 여부를 평가하였다. 그러나 1990년대 이후 과학 기술이 복잡해지고, 빠른 속도로 변화하면서 공학교육의 교육목표는 지식과 정보를 습득하고 새롭게 창출하는 능력을 배양하는 것으로 변화되었다. 새로운 패러다임에서 공학인은 특정한 지식과 기술의 전문가라기보다는 보다 다양한 능력을 갖춘 인재가 되어야 함을 요구받고 있다. 지식과 기술의 원리를 이해하고, 공학적 문제를 분별하고 해결하는 능력, 다른 사람들과 효과적으로 의사소통하는 능력, 공학적 문제해결과 관련된 사회적 영향력에 대한 이해력, 공학적 기술을 실제로 활용하는 능력 등을 길러야 하는 것이다. 이를 위하여 특정영역에 국한된 지식과 기술보다는 다양한 영역에 적용될 수 있는 일반적인 지식과 기술을 교육내용으로 선정하고 학습자 중심의 교수·학습 방법을 통해 실제에 구현하도록 하도록 하며 이러한 학습이 이루어지는 과정을 종합적으로 평가하는 교육과정으로의 변화가 필요하다고 할 수 있다.

우리나라보다 앞선 선진국의 경우에 공학교육의 질을 높이기 위한 지속적인 개선 노력이 이루어지고 있는데, 선진국에서는 이러한 패러다임의 변화를 반영하여 1990년대 후반부터 교육과정 개발에 주력해 왔으며, European Higher Education Area(EHEA)에서는 1999년에 볼로냐 선언을 통해 2010년까지 Bologna Process라는 대규모 프로젝트를 통해 유럽의 45개 나라가 협력하여 유럽의 공학교육 기준을 단일화하고 발전시키고자 새로운 교육과정을 개발하고 있다(Heitmann, 2005). 또한 미국에서는 공학교육의 인증을 통해 공학교육의 질을 높이고자 노력해 왔다. 미국에서는 이미 70년의 역사를 가진 공학 교육 인증 시스템인 ABET(Accreditation Board for Engineering and Technology; 공학·기술교육인증협의회)에서 공학교육인증을 수행하고 있는데, 미국의 공학교육 인증 기준은 세계 각국의 공학교육 프로그램을 개발하는데 그 지침이 되고 있다.

우리나라에서는 근래에 한국 공학교육 인증원(ABEEK: Accreditation for Engineering Education in Korea)이 설립되었다. ABEEK이란 미국의 공학교육 인증 기준을 근거로 하여 공학 교육 과정

의 전반적인 내용을 평가하여 그것이 일정 기준에 도달하면, 대학의 공학 교육 프로그램을 인증하여 공학교육의 질을 한 단계 상승시키고 외국 공과대학과의 학위 및 교과 과정을 상호 인정해 주기 위한 목적을 가지고 있다. 본 학과는 2004년에 4년간의 ABEEK 인증을 받았으며 현재 학부 2, 3학년 대부분은 ABEEK 인증 프로그램에 속해 있다. ABEEK 프로그램의 특징은 전체적인 전공 교과목의 강화, 특히 공학적 실무능력과 창의력을 증진시키기 위한 설계 및 실험실습 과목의 강화를 들 수 있다.

이러한 세계적인 수준에서 진행되고 있는 공학교육의 패러다임 전환에서 실험 교과목은 학습자 중심의 교육을 실현하기에 가장 적합한 교과목이라고 할 수 있다. Slavin(1989)는 학생들이 수업 내용과 관련된 조직적이고 도전적인 과제들에 적극적으로 참여할 때 진정한 학습이 일어난다고 할 수 있다고 주장하였고, Dale(1997)은 학습의 원뿔 모형(Cone of Learning)에서 사람들은 듣는 것에서 20%, 보는 것에서 30%, 보고 듣는 것에서 50%, 말해보는 것에서 70%를 배우며, 직접 경험하고 실습해보는 것을 통해서 90%를 학습한다고 하면서 학생들이 직접 참여하는 것이 학습에 매우 중요함을 역설하였다. 대부분의 강의와 달리 학생들이 적극적으로 참여할 기회가 주어지는 실험 교과목은 공학교육이 시작된 이래로 중요한 역할을 담당해 왔다. 실험 교과목은 이론과 실습을 연계하거나 이론적인 상황을 실제상황에서 체험하도록 하는 것을 주요 목적으로 하고 있으며(Johnson, Luyben, & Talheim, 1995; Bisantz & Paquet, 2002), 학생들에게 특정한 또는 전반적인 공학 분야에 대한 학습동기를 유발하도록 하는 목적을 가진다(Bidanda & Billo, 1995; Carson, Schoch, Kalsher & Racicot, 1997).

이와 같은 실험 교과목의 중요성에도 불구하고 지금까지 공학교육에서의 교육적 관심은 전공 교과목의 교육과정과 교수방법에 치중하여 왔고 실험 교과목은 학습자 중심의 교육 패러다임을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 재료공학 전공의 창의적 고급 산업인력 양성을 위해 설계 및 실험 실습 교육과정을 개발하고 적용하는 것을 목적으로 한다. 연세대학교 금속시스템공학과에서는 3년에 걸쳐 2, 3, 4학년의 실험 교과목을 체계적으로 개선하고 있으며, 본 연구는 1차년도 연구를 통하여 2학년 기초 실험 교과목인 “재료 설계 및 평가 1,2”의 교육 과정을 학습자 중심의 교과목으로 개발하고 적용한 것이다.

연구목적 달성을 위하여 국내외 우수대학 재료공학과의 실험 교과목을 벤치마킹하여 비교분석하였고 현 실험 교과목에 대한 학생 설문조사를 실시하여 문제점을 도출하였다. 이러한 결과들을 기초로 하여 새로운 실험 교과목 교육과정 개편 방향을 수립하고 교육과정을 구성하였다. 개선된 교육과정은 2006학년도 2학기에 적용되었으며 학생 설문조사를 통하여 개선된 교육과정에 대한 학생들의 의견을 수렴하였다.

Ⅱ. 실험교과목 현황 및 분석

1. 재료공학 실험 교과목 교육과정

연세대학교 공과대학 금속시스템공학전공 기본이수 학점 구조는 <표 1> 과 같다.

<표 1> 금속시스템공학 전공의 기본이수 학점 구조표

대학	학과	구분	기본소양 (교양)	전공기반 (계열기초)	전공(공학주제)		일반 소양	졸업 학점
					필수	선택		
공과	금속시스템 공학전공	공학인증	22	33	15	39	23	132
		복수전공			54			

졸업 최저 이수 학점은 132학점이며, 단일 전공의 경우 기본적으로 15학점을 전공필수로 이수하도록 하고 있는 점이 금속시스템공학 전공 프로그램의 특징이다. 본 프로그램을 이수하기 위해서는 기본소양(교양) 필수 22학점과 전공기반 33학점, 전공필수 15학점과 전공선택 39학점을 취득하여야 한다. 연세대학교 공과대학 금속시스템공학과는 2004년도에 ABEEK 인증 프로그램을 실시하면서 전공과목의 개편뿐 아니라 실험 교과목의 체계를 개편하여 실험 교육과정은 설계를 위한 체계적인 훈련과정과 종합적인 설계경험을 제공하고자 하였다. <표 2>에서 제시되는 것과 같이 금속시스템공학과와 실험 교과목은 재료 설계 및 평가 1,2,3,4, 재료시스템 설계, 졸업논문의 6개의 실험 교과목이 전공 선택 교과목으로 개설되어 있다.

<표 2> 실험교과목 현황

학기	2학년 1학기	2학년 2학기	3학년 1학기	3학년 2학기	4학년 1학기	4학년 2학기
과목명	재료설계 및 평가 1	재료설계 및 평가 2	재료설계 및 평가 3	재료설계 및 평가 4	재료시스템설계 (창의연구)	졸업논문

“재료설계 및 평가 1, 2”는 학생들이 전문지식을 수용하기 전 단계인 2학년 1학기 과정보다 제공되는 과목으로서, 기초실험 능력 배양하는데 목적을 두었다. “재료설계 및 평가 3, 4”는 학생들이 본 프로그램에서 제공하는 전문지식을 토대로 나름대로 실험을 설계, 수행 및 분석하는 능력을 배양하는데 초점이 맞추어져 있다. 재료 시스템 설계는 팀워크를 이루어서 산업체에서 발생할 수 있는 다양한 문제점들을 아이디어 도출에서부터 아이디어 평가, 설계, 제작 및 시험 과정을 거치면서 공학설계의 일반적인 절차와 방법을 터득하게 하였으며, 졸업논문에서는 학부기간동안 배웠던 모든 전공지식을 기반으로 본인이 원하는 연구주제를 개별적으로 정하고 실험설계, 실험, 분석, 자료 정리 및 발표에 이르는 기본적인 연구 과정들을 직접 수행하게 된다.

그러나 이러한 취지로 개설된 실험 교과목들이 전체적으로 유기적으로 관련되지 못하고, 교과목별 특성을 제대로 살리지 못하고 있는 실정이다. 예를 들어, 실험 교과목 중에서 가장 기초적인 “재료 설계 및 평가 1,2” 교과목은 6명의 전임 교수 연구실 (환경생체재료, 정보표시재료, 나노구조재료, 나노재료상변태, 정보광통신재료, 나노소자연구실)에서 운영하였는데, 2학년에게 필수적인 기초적인 실험을 선정하고 실험과 2학년 전공지식과의 연계들에 대한 논의가 부족한 채로 매 학기 재료설계 및 평가 1,2의 수강학생들을 실험 참여 희망 연구실을 지원받아 6개의 실험그룹으로 나누고 각 그룹 당 한 명의 지도교수(연구실)를 배정하였다. 지난 2년간 각 연구실에 배정된 평균 학생수는 약 10 명이었고, 학생들은 배정된 연구실에서 한 학기 동안 (16 주) 연구실 소속 대학원생의 도움을 받아 지정된 연구를 진행하도록 하였으므로, 각 학생들은 1년간 두개의 연구실에서 실

험 교육을 받았다. 각 연구실은 담당교수가 실험 50%, 발표 50%로 점수화하고 이를 바탕으로 상대평가를 하였다.

현재의 실험교과목은 2004년 ABEEK의 취지에 맞게 그 체계를 개편하였으나, 내용적인 측면에서 학습자 중심의 교육 패러다임을 반영하지 못하고 있으며, 전 학년에 걸쳐 유기적인 관련성을 가지고 있지 못하고 있어서 개선해야 할 필요가 있었다.

2. 실험교과목에 대한 학생 설문조사 분석

본 연구에서는 현재 교육과정의 실태와 문제점을 파악하고 학습자의 요구를 파악하기 위하여 학생들을 대상으로 설문조사를 실시하여 새로운 교육과정 개발 방향을 도출하고자 하였다.

가. 설문조사방법

조사대상은 그동안 “재료설계 및 평가 1, 2” 실험 교과목을 한 번 이상 수강한 금속시스템공학과 학생 150명이다. 2005년도 2학기의 실험 교과목 수업의 마지막 시간에 실험 교과목 개선을 위한 설문지를 실시하였으며, 모든 문항에 성실하게 응답한 65명의 자료를 분석대상으로 하였다. 조사 응답자의 분포는 <표 3>과 같다.

<표 3> 조사 응답자 분포

구분		빈도(명)	백분율(%)
성별	남	61	93.8
	여	4	6.2
	계	65	100.0
학년	2학년	27	41.5
	3학년	24	36.9
	4학년	14	21.5
	계	65	100.0
성적	상	16	24.6
	중	24	36.9
	하	25	38.5
	계	65	100.0

본 연구에서는 실험 교과목을 평가할 수 있는 강좌 평가지를 개발하여 사용하였다. 강좌평가에 대한 선행연구와 다른 대학의 강좌평가지에 기초하여 실험 교과목과 관련한 잠정적 평가영역과 문항을 설정하였고, 탐색적 요인분석(Exploratory Factor Analysis: EFA), 고유값(Eigen Value)과 스크리 도표(Scree Plot), 상관행렬, 신뢰도 분석 등의 도구개발 절차를 통하여 전반적 평가, 실험 교과목 내용과 조직, 실험교과목 진행방법, 학생평가방법, 학생자신에 대한 평가, 실험 환경의 6가지 영역, 23개 문항의 최종 설문지를 확정하였다. 23개 문항은 일반적인 강좌평가 문항들과 실험/실습의 과목 특성상 필요한 문항들로 구성되었다. 강좌평가 문항들은 5점 척도(1=전혀 그렇지 않다, 2=그렇지 않다, 3=보통이다, 4=그렇다, 5=매우 그렇다)로 평정을 하였다.

영역별로 문항의 내용들을 살펴보면, 전반적 평가 요인은 실험 교과목 강의에 대한 전반적인 이해와 도움 등을 평가하는 문항들로 구성되었다. 실험교과목 내용과 조직은 실험내용의 수준, 과제물의 내용과 실험과의 연계 등 학습목표가 의도하는 학습이 이루어졌는가를 평가할 수 있다. 실험 교과목 진행방법은 교수, 조교, 학생들 간의 상호작용과 학생들의 적극적 참여가 이루어졌는가를 파악하는 문항들이 포함된다. 학생 평가방법에서는 평가방식에 대한 만족도를 평가한다. 학생 자신에 대한 평가는 학생 자신이 수업에 얼마나 적극 참여하고 학습하였는가를 스스로 점검하도록 하는 문항들이 포함된다. 실험환경은 실험이 원활히 이루어지도록 하기 위해 적절한 인원과 기자재의 배치 등 학습 여건에 대한 평가 문항으로 구성된다. 일반적으로 대학에서 교수에게 강좌에 대한 평가 결과를 환류할 때는 학생 자신에 대한 평가 영역의 문항들을 제외하고 총점을 산출하며, 교수가 학생들의 적극적인 참여를 유도했는가를 스스로 평가하도록 하는 참조 자료로서만 제공한다. 따라서 본 설문조사에서도 총점으로 결과를 분석할 때는 학생 자신에 대한 평가 영역의 문항들을 제외하고 분석하였다.

나. 설문조사 결과

학생들을 대상으로 한 설문조사 결과 몇 가지 개선점이 제기되었다. 첫째, 학년별 실험 교과목 목표와 내용선정이 필요하다. <표 4>의 학년별 강좌평가 결과의 차이검증 결과에 따르면, 전반적

<표 4> 학년별 강좌평가 차이검증

항목	학년	N	평균	표준편차	F-통계량 (p-value)	다중비교 (scheffe)
전반적 평가	2학년	27	3.659	0.692	10.46 (0.000)	3학년>2학년 3학년>4학년
	3학년	24	4.467	0.440		
	4학년	14	3.914	0.791		
실험 교과목 내용과 조직	2학년	27	3.685	0.699	4.589 (0.014)	3학년>2학년
	3학년	24	4.219	0.468		
	4학년	14	3.821	0.769		
실험 교과목 진행방법	2학년	27	4.044	0.763	1.315 (0.276)	
	3학년	24	4.383	0.575		
	4학년	14	4.114	1.028		
학생 평가방법	2학년	27	3.864	0.747	0.126 (0.882)	
	3학년	24	3.972	0.754		
	4학년	14	3.881	0.966		
학생자신에 대한 평가	2학년	27	4.185	0.681	0.731 (0.486)	
	3학년	24	4.347	0.347		
	4학년	14	4.381	0.678		
실험환경	2학년	27	3.815	0.718	0.787 (0.460)	
	3학년	24	3.931	0.667		
	4학년	14	3.619	0.885		
총점	2학년	27	3.815	0.573	3.893 (0.026)	3학년>2학년
	3학년	24	4.242	0.389		
	4학년	14	3.896	0.768		

평가, 실험교과목 내용과 조직, 총점에서의 강좌평가 결과가 2, 4학년보다 3학년에 가장 높은 평균 점수를 나타내어 통계적으로 유의미한 학년별 차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 현재의 실험 내용이 전공 지식이 부족한 2학년에게는 다소 어렵고, 4학년에게는 다소 쉬운 수준으로 3학년 정도의 전공지식을 기반으로 하여 이루어지고 있는 것으로 설명될 수 있다. 현재의 실험 교과목은 “재료설계 및 평가 1,2,3,4”의 이름으로, 2, 3학년에 걸쳐 매 학기마다 다른 실험을 하도록 실험 내용이 설정되어 있었다. 이러한 방법은 매학기 실험 주제는 바뀌지만, 수준별 난이도를 고려하여 실험 계획을 선정하지 못하고 있다고 볼 수 있다. 또한, 실험 교과목이 전공 선택과목으로 제공되고 있으므로, 모든 실험 교과목 수업에 2,3,4학년이 골고루 섞여 실험을 진행하게 되는 상황이다. 따라서 실험의 난이도를 조절하여, 각 학년에 적합한 실험주제를 선정하고, 학생들이 자신의 전공 지식과 관심에 따라 과목을 선택하는 것이 필요하다. 2학년 실험 교과목에서는 재료공학 전공자에게 공통적으로 요구되는 부분에 대한 기초 실험실습 과정을 보완하고, 3, 4학년에게는 수준에 맞는 독창적인 실험실습이 편성되도록 2, 3, 4학년에 맞는 교육목표와 내용의 선정이 체계적으로 구성되어야 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

둘째, 실험 진행 방법과 평가방법, 실험환경에서의 개선이 필요하다. <표 5>의 성적별 강좌평가 결과의 차이검증에서 실험교과목 진행방법, 학생평가방법, 실험 환경에서 성적이 낮은 학생들이 성적이 높은 학생들보다 강좌에 대한 점수가 높았다. 한 학기동안 한 연구실에서 한 주제에 관련된

<표 5> 성적별 강좌평가 차이검증

항목	성적	N	평균	표준편차	F-통계량 (p-value)	다중비교 (scheffe)
전반적 평가	상	16	3.938	0.550	0.111 (0.895)	
	중	23	4.044	0.800		
	하	25	4.032	0.785		
실험 교과목 내용과 조직	상	16	3.813	0.581	0.784 (0.461)	
	중	23	3.848	0.702		
	하	25	4.050	0.718		
실험 교과목 진행방법	상	16	4.125	0.342	3.301 (0.044)	하>중
	중	23	3.928	1.041		
	하	25	4.472	0.602		
학생 평가방법	상	16	3.646	0.755	3.680 (0.031)	하>상
	중	23	3.739	0.858		
	하	25	4.227	0.672		
학생자신에 대한 평가	상	16	4.333	0.544	0.164 (0.849)	
	중	23	4.232	0.639		
	하	25	4.307	0.569		
실험환경	상	16	3.521	0.677	3.937 (0.025)	하>상
	중	23	3.725	0.770		
	하	25	4.120	0.652		
총점	상	16	3.853	0.379	2.309 (0.108)	
	중	23	3.880	0.721		
	하	25	4.188	0.538		

실험을 하는 현재의 실험 교과목은 성적이 우수한 학생들이 만족할 만한 다양한 실험을 하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 또한, 한 연구실 당 10여명의 학생들이 실험을 하는 상황에서 상대 평가 제도에 의한 학생평가 방법은 불합리하며, 실험 환경에서도 불만족스러운 것으로 판단되므로 이에 대한 개선이 필요한 것으로 나타났다. 분석에 사용된 성적은 학생들이 현재까지의 자신의 성적을 5점 척도(1=A, 2=A-, B+, 3=B 4=B-, C+, 5=C이하)로 평정을 하였고, 이를 학생수를 고려하여 3점 척도(상=A, A-, B+, 중=B, 하=B-, C+, C이하)로 재분류하여 분석하였다.

셋째, 다양한 실험에 대한 요구가 주관형 문항에서 나타나고 있다. 현재 실험 교과목은 수강학생들을 참여 교수(6명) 수만큼의 그룹으로 나누고 각 그룹 당 한명의 지도교수를 배정하였다. 학생들은 지도교수와 상의하여 한 학기동안 수행할 연구 테마를 정하고 계획을 작성한 후 연구실 소속 대학원생의 도움을 받아 연구를 진행하는 방식이었다. 2, 3학년 정도의 전공지식을 가지고 할 수 있는 다양한 주제의 실험에 참여해 볼 수 있도록 실험 주제와 실험 진행 방법에서의 개선이 필요한 것으로 사료된다.

넷째, 실험 교과목에 대한 6가지 평가 준거 중에서 실험 환경에 대한 평가 결과가 가장 낮았다. 주관형 문항에서도 실험 기자재가 부족하다는 의견이 많이 있었다. 이는 학생 교육을 위한 실험 장비의 배치의 고려나, 기자재가 충분하지 않았음을 알 수 있다.

Ⅲ. 국내외 재료공학 실험교과목 교육과정

실험 교과목의 교육과정 개선을 위하여 국내외의 우수대학에서 어떻게 재료공학 실험 교과목을 운영하고 있는지에 대하여 분석하는 것은 필수적이다. 국내의 대학은 2005년 교육부 대학평가 순위에서 최상위권인 포항공대와 카이스트, 그리고 국외의 대학은 미국 10위권 이내의 대학 중 실험 교육 과정이 외부에 공개되어 있는 미국의 Cornell University, University of Illinois, Urbana-champaign(UIUC), MIT 등을 중심으로 진행되었다.

국내의 우수대학들은 각 대학의 상황에 따라 2년, 3년간의 실험 교육과정을 개설하고 있다. 대부분 2, 3학년에는 기초 지식 습득을 교육목표로 하여 필수 교과목으로 지정하고 있으며, 4학년은 최신기술과 재료의 설계 및 제작을 교육목표로 하여 선택과목으로 운영하고 있다. 대부분의 대학에서 팀별 실험을 진행하고 있었고, Cornell 대학과 MIT에서는 수준별·학년별 교육목표와 내용을 모두 갖추고 문제 중심 학습(problem based learning)도 시행하고 있었다. <표 6>은 국내외 우수대학들의 실험 교과목에서 핵심이 되는 공통요소들을 요약한 것이다. 모든 국내외 우수대학들에서 2, 3학년의 공통적인 교육내용으로 전공기초 필수과목으로 기계적 특성 측정(stress, strain, 파괴, 피로, creep, 충격강도), 전기적 특성 측정(전기전도도, Hall effect), 열역학적 특성 측정(DSC), 장비사용법(SEM, TEM, XRD, FT-IR) 등을 포함한다.

교육내용에서 학년별 및 수준별 실험과 팀별 실험 여부, PBL(problem based learning) 운영 여부 등을 고려하면 MIT가 모든 면에서 가장 우수한 것으로 분석되었다. 반면 본 학과의 실험 교과목의 내용 및 운영은 국내외 우수대학과 비교하여 팀별 실험을 진행하고 있는 것을 제외하고는 상대적으로 교육내용과 교육지원의 측면에서 개선의 여지가 있음을 확인하였다.

<표 6> 국내외 우수대학 재료공학과의 교육내용 및 교육지원 현황

	2,3학년	4학년
교육내용	<p>전공기초 필수과목(모든 학교에서 시행 중)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 기계적 특성 측정 (stress, strain, 파괴, 피로, creep, 충격강도) ■ 전기적 특성 측정(전기전도도, Hall effect) ■ 열역학적 특성 측정(DSC) ■ 장비사용법(SEM, TEM, XRD, FT-IR) <p>전공기초 중요과목(대부분의 학교에서 시행 중)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 상변태(물질확산, 질서-무질서 상전이, 상 다이어그램) ■ 박막성장 ■ 결정구조 	<p>전공 심화 중요 과목(수업과 실험의 배분)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 고분자 실험(합성, 분석, 장비사용) ■ 전자재료 실험(박막증착, 결정성장) ■ 프로젝트 기반 실험 (교수당 1주제, 각 실험실 장비 사용) ■ 재료설계 및 제작 ■ 연구참여 및 졸업논문
교육지원	<ul style="list-style-type: none"> ■ 별도의 실험실 운영 ■ 1~2명의 전담 교수체제 ■ 실험 조교 배정 ■ 실험재료 및 예산학과 지원 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수업병행 실험과목: 별도의 실험실 운영 ■ 프로젝트 기반 실험: 각 주제 담당 교수의 연구실에서 실험 진행 ■ 재료 설계 및 제작: 학과에서 예산지원

IV. 교육과정 개발

1. 교육과정 개발방향

실험 교과목 교육 과정을 개발하기 위해서는 실험 교육 과정 개편의 방향을 설정 하는 작업이 선행되어야 한다. 학생 설문 조사 결과 및 국내외 우수대학 벤치마킹 분석 결과를 바탕으로 교수들의 의견을 수렴하고 학년별 실험 교과목 교육과정의 개편방향을 수립하였다. 2학년은 기초적인 전공 교과목의 내용과 수준에 부합하는 기초실험을 통하여 직업 기초능력을 배양하는 것을 목표로

<표 7> 학년별 교육과정 개발 방향

학 년	교육 목표	교육 내용 및 진행방법	교육평가
2학년	기초실험 및 직업기초능력 배양	<ul style="list-style-type: none"> ■ 재료공학 기초 전공과목과 연계된 실험을 팀별로 운영하며 직접 실험에 참여하는 기회를 많이 부여함 	절대평가 퀴즈(20%) 실험(40%) 발표(40%)
3학년	문제중심의 재료실험 및 설계	<ul style="list-style-type: none"> ■ 실제 사례를 중심으로 형성된 문제를 통한 수업 진행 ■ 학생중심의 학습, 학생들이 학습목표를 스스로 도출 ■ 수업방법은 토의와 학생간의 협동적 작업 	절대평가 과제물(50%) 발표(50%)
4학년	설계 중심의 종합적 실험	<ul style="list-style-type: none"> ■ 창의설계 과정을 통한 설계/제작품의 전시 ■ 졸업논문을 통한 결과 정리, 분석능력, 발표능력 배향 	절대평가 과제물(50%) 발표(50%)

하고, 3학년은 문제 중심 학습 (problem based learning)을 도입하여 실제 사례를 중심으로 형성된 문제를 통해 2학년과는 차별화된 실험이 이루어지도록 한다. 4학년은 2,3학년에서의 이론과 실습 교육을 통해 얻은 지식을 체계화하고 정리할 수 있는 종합적 설계/ 실험 실습이 이루어지도록 한다. 학년별 교육과정 개편방향은 <표 7>와 같다.

2. 2학년 실험교과목 구성

설정된 교육과정 개편 방향을 기초로 하여 2학년을 위한 “재료 설계 및 평가 1, 2”의 실험 주제를 재료의 기계적 성질, 전기적 성질, 전기화학적 성질, 광학적 성질, 미세구조의 관찰 및 열적 성질, 박막재료의 성질 등 가장 기본적인 재료의 특성에 관하여 이해할 수 있도록 구성하였다. 각 실험 주제의 마지막은 각 실험의 응용사례를 학생들에게 보여 줌으로써 학습동기를 유발하여 실험에 더욱 흥미를 가질 수 있도록 하였다. 학생 1인당 한 학기 3가지 실험 주제를 선택하고 4주마다 1주제에 대하여 실험하여 1년 동안 6개의 전공 기초실험에 참여 하도록 운영한다. 모든 실험이 팀별로 운영되도록 하여 학생들 간의 상호작용을 촉진하고 팀워크 기를 수 있는 실험이 되도록 하였다.

<표 8> 개편된 “재료설계 및 평가 1,2” 실험 교과목의 구성

실험주제	실험목표	실험내용
재료의 기계적 성질	다양한 결정구조를 가지는 금속재료의 기본적인 기계적 성질을 알아보기 위해 경도시험과 인장, 압축시험 수행 및 이해	<ul style="list-style-type: none"> • Rockwell 경도 측정 • Vickers 경도 측정 • 각 합금의 인장강도 및 항복강도 측정을 통한 인장 시험 • 각 합금의 압축강도 및 항복강도 측정을 통한 압축 시험
재료의 전기적 성질	옴의 법칙과 Hall 효과의 이해 및 실습	<ul style="list-style-type: none"> • I-V 측정 회로도 및 옴의 법칙 이해 • 포토리소그래피를 이용한 소자 제작 실험 • Van der Pauw 법을 이용한 Hall 효과 측정
재료의 전기화학적 성질	재료의 전기화학적 성질을 이용한 에칭 원리 및 부식 현상의 이해 및 실습	<ul style="list-style-type: none"> • 부식의 속도 측정 및 방식의 원리 이해 • 갈바니 부식 실험을 통한 전류 밀도 계산 • 에칭 실험을 통한 미세 조직 관찰 • 전기도금 실험 및 전기도금의 효율 측정
재료의 광학적 성질	간섭과 회절 현상 이해 및 간섭과 회절 현상을 이용한 재료의 특성분석 응용	<ul style="list-style-type: none"> • 박막/기판의 투과도 측정 • 수막의 두께 계산 • 박막샘플의 X선 회절 실험 • 회절 면지수 분석
재료의 미세구조 및 열적 성질	재료의 미세 구조 관찰 및 재료의 열적 특성 이해	<ul style="list-style-type: none"> • 폴리싱과 에칭 • 조직관찰 및 상분율 측정 • SEM 을 이용한 미세조직 관찰 및 EDS 조성분석 • DSC를 이용한 열분석실험 및 열적 거동 관찰
박막재료의 성질	박막재료의 제조공정의 기본 원리 이해	<ul style="list-style-type: none"> • CVD를 이용한 박막 증착 및 평가 • 스퍼터를 이용한 박막 증착 및 평가 • 저항열을 이용한 박막 증착 및 평가 • 전자빔을 이용한 박막 증착 및 평가

각 주마다 실험한 결과의 분석은 실험 리포트를 작성하고 담당교수가 실험 40%, 발표 40%, 퀴즈 20%로 정량화하여 절대 평가하도록 하였다. <표 8>은 개편된 설계 및 평가 1,2 실험 교과목의 구성을 개괄적으로 제시하였으며, <표 9>에서는 전기적 성질에 대한 주별 실험 계획을 보여 준다.

<표 9> 개편된 “재료설계 및 평가 1,2” 실험 교과목의 주별 실험 계획(예: 전기적 성질)

시 간	목 표	내 용	착안점
1 주	선형적 I-V 관찰 • 저항 계산 • 비저항 계산	• I-V 측정 회로도의 이해 • 옴의 법칙 이해 • 금속-반도체간 옴 접촉 형성	• 옴 접촉의 형성에 의한 선형 I-V 측정
2 주	금속의 Hall 측정 • 전자 농도 계산 • 전자 이동도 계산 • 자유행정거리 계산	• Hall 효과의 메커니즘 이해 • Van der Pauw 법 적용 • 스핀터링법을 사용한 금속 박막의 형성 • 전자석을 이용한 외부자장 형성	• 옴의 Hall 전압 • 기울기 • 작은 Hall 전압 기울기
3 주	n 형 반도체의 Hall 측정 • 전자 농도 계산 • 전자 이동도 계산 • 자유행정거리 계산	• Hall 효과의 메커니즘 이해 • Van der Pauw 법 적용 • 포토리소그래피 공정 도입 • 작은 일함수를 가진 외부전극 형성 • 전자석을 이용한 외부자장 형성	• 옴의 Hall 전압 기울기 • 큰 Hall 전압 기울기
4 주	p 형 반도체의 Hall 측정 • 전자 농도 계산 • 전자 이동도 계산 • 자유행정거리 계산	• Hall 효과의 메커니즘 이해 • Van der Pauw 법 적용 • 포토리소그래피 공정 도입 • 큰 일함수를 가진 외부전극 형성 • 전자석을 이용한 외부자장 형성	• 양의 Hall 전압 기울기 • 큰 Hall 전압 기울기

V. 학생 피드백

교육과정 개선은 일회적인 것이 아니며, 지속적으로 점검하고 개선해나가는 과정이므로, 개선된 교육과정에 대한 학생들의 피드백을 바탕으로 향후 수정해 나아가야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 개선된 교육과정을 한 학기 시행한 후 강좌평가를 시행하였고, 이를 지속적인 개선을 위한 학생 피드백 자료로서 활용하고자 한다.

개선된 “재료 설계 및 평가 1,2” 실험 교과목은 1년 동안 6개 실험 주제를 모두 다루는 것을 계획하였고, 2학년 학생들의 전문지식을 바탕으로 하는 실험을 한 학기에 각 3개의 연구실에서 진행하는 것이므로 같은 과목이지만 1학기 와 2학기에 이루어지는 실험이 전혀 다르다. 따라서, 강좌평가 결과는 1학기 와 2학기의 결과가 다르게 나타날 수 있으므로 최소한 1년 이상의 시행 후 개선된 교육과정의 평가를 실시하는 것이 바람직할 것이다. 본 연구에서는 학생들의 피드백을 분석하기 위하여, 재료설계 및 평가 1을 2006년 1학기에 수강했던 학생들을 대상으로 교육과정 개선 전 강좌평가를 시행하였고, 개선 후 강좌평가는 재료설계 및 평가 2를 2006년 2학기에 수강한 학생들을 대상으로 실시하였다.

전반적으로 실험교과목에 대한 강좌평가는 개선 전과 개선 후 비슷한 수준을 나타내고 있어서, 개선된 교육과정 시행 후 한 학기 만에 괄목할 만한 변화는 보이지 않았다. 그러나, 교육과정이 바람직한 방향으로 개선되고 있다는 학생들의 의견을 살펴볼 수 있는데, 첫째, 학생자신에 대한 평가에 해당하는 3가지 항목에서 강좌평가 점수가 높아졌다. 재료 설계 및 평가 1,2 실험 교과목은 학습자 중심의 교육을 구현하고자 의도하였고, 학생들의 실험에 대한 학습 동기 유발과 학생들 간의 상호작용을 촉진하고자 하였다. <표 10>에서 제시한 개선 전과 개선 후의 평균 변화가 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았으나, 학생 자신에 대한 평가에서 학생들의 수업참여도, 과제 수행, 학생들과의 의견 교환이 개선전보다 활발해졌다는 것은 보다 적극적인 참여를 독려했다는 점에서 바람직한 방향으로 교육과정이 개선되고 있음을 시사하고 있다고 볼 수 있다.

<표 10> 교육과정 개편 전과 후의 학생자신에 대한 강좌 평가문항 비교

평가준거	문항	2006-1(개선전)		2006-2(개선후)	
		평균	표준편차	평균	표준편차
학생자신에 대한 평가	18. 본 실험교과목에 나의 수업참여도는 높았다	4.17	.696	4.27	.868
	19. 나는 이 교과목에서 요구하는 과제를 성실히 수행하였다	4.13	.749	4.25	.843
	20. 실험에 대하여 다른 학생들과 의견교환을 하였다	3.86	.938	4.10	.923

둘째, 학생들의 수준에 따라 기초적이면서도 다양한 실험이 진행될 수 있도록 개선되었다. 강좌평가의 모든 영역에서 성적에 관계없이 비슷한 강좌평가 평균 점수를 보이고 있다. <표11>에서 제시한 성적별 강좌평가의 차이검정 결과, 교육과정 개선을 위한 의견수렴에서 나타났던 실험 교과목 진행방법, 학생 평가 방법, 실험 환경에 대한 수준별 강좌평가 결과의 차이가 개선 후에는 나타나지 않았으며, 또한, 주관식문항에서도 다양한 실험에 대한 요구와 진행방법에 대한 부정적인 피드백은 교육과정 개선 후에 언급되지 않고 있다.

교육과정 개선 전에는 학생들이 한 학기 동안 한 연구실에서 실험을 수행하였고, 개선 후에는 학생들이 한 학기동안 3개의 연구실에서 3개의 실험을 하도록 하였다. 따라서 2학년 학생들에게 적합한 보다 기초적이고 다양한 실험 주제들을 제공하면서도 각 실험의 마지막 단계에는 각 실험의 응용 사례를 보여줌으로써 3,4학년의 실험 실험교과목에서는 특정한 주제의 실험에 더욱 흥미를 가지고 실험에 임할 수 있도록 하였다. 또한 학생 평가 방법을 절대평가로 개선하여, 소규모의 실험에서 불필요한 경쟁의식을 형성하지 않도록 하며, 팀워크를 조성하여 모든 학생들이 기초적인 실험을 성공적으로 해내도록 하는데 초점을 두었다. 성적이 낮은 학생들은 기초적인 실험들을 다른 학생들과 협조하면서 기초적인 실험들을 수행하도록 개선되었으며, 성적이 높은 학생들은 다양한 기초실험을 충분히 이해하는 것은 물론, 3,4학년에서 추가적인 심화 실험에 관심을 가질 수 있도록 학습동기를 유발하도록 하고 있다.

한편, 더욱 개선되어야 할 점도 함께 지적되고 있다. 개선된 교육과정에서는 실험을 팀별로 운영하여 다양한 기초 실험을 습득하고 폭넓은 실험이 가능하도록 하고, 직접 실험에 참여하는 기회를 더 많은 기회를 제공하였다. 다양한 실험을 가능하도록 하기 위해 한 학기에 3개의 실험실을 선택

<표 11> 교육과정 개편 후 성적별 강좌평가 차이검증

항목	성적	N	평균	표준편차	F-통계량 (p-value)
전반적 평가	상	23	3.8348	0.67056	0.217 (0.806)
	중	21	3.9048	0.67118	
	하	15	3.9733	0.53381	
실험 교과목 내용과 조직	상	23	3.7065	0.71371	0.468 (0.629)
	중	21	3.7857	0.76765	
	하	15	3.9333	0.60109	
실험 교과목 진행방법	상	23	4.1913	0.78735	0.185 (0.832)
	중	21	4.3048	0.71727	
	하	15	4.1733	0.67132	
학생 평가방법	상	23	3.4928	0.85203	2.104 (0.132)
	중	21	3.9524	0.74748	
	하	15	3.8889	0.77323	
학생자신에 대한 평가	상	23	4.3188	0.61528	0.399 (0.673)
	중	21	4.1587	0.91055	
	하	15	4.1111	0.77323	
실험환경	상	23	3.7246	0.67159	0.265 (0.768)
	중	21	3.6190	0.89620	
	하	15	3.5333	0.86189	
총점	상	23	3.8304	0.61676	0.246 (0.782)
	중	21	3.9452	0.59601	
	하	15	3.9367	0.55596	

하고, 한 실험실 당 4개씩의 중요 실험을 시행하도록 하였다. 이는 학생들이 더욱 적극적으로 실험에 참여하도록 하는 자극이 되기도 하지만, 학생들에게 과제나 리포트에서 학업적 부담을 주고 있는 것으로 주관형 문항에서 언급되고 있다. 한 학기 동안에 2개의 실험실을 선택하도록 하거나 한 실험실 당 실험 주제를 축소하여 전체적인 실험수를 조정해야 할 필요가 있을 것으로 고려된다. 또한 수강하는 학생의 수가 많아서 실험 인원을 조정하여 좀 더 실험 환경을 개선해야 할 필요가 있다.

VI. 결 론

본 연구는 국내의 우수대학의 실험 교과목에서 이루어지고 있는 팀별 실험 운영 방법과 교육목표 및 내용을 분석하고, 학생 설문조사를 통해 학생들의 요구를 반영함으로써 연세대학교 금속시스템공학과 2, 3, 4학년 전 과정에 걸친 실험 교과목 교육과정 개발 방향을 설정하였고, 2학년 실험 교과목 교육과정을 개발하였다.

학습자 중심의 교육을 실험교과목에서 구현하기 위해서는 학부 전 과정의 교육과정에서 이러한

교육 패러다임을 고려한 체계적인 개선이 요구된다. 따라서 2학년 실험 교과목의 교육과정 개편만으로는 어떤 교육과정 개편의 효과가 있을 것인가를 논하기는 어려우며, 이는 학부 전 학년의 교육과정 개발의 맥락 속에서 이해되고 평가되어야 한다. 본 연구의 2학년 실험 교과목은 학부 전 학년의 실험 교과목과의 관련성을 고려하여 개편되었고, 교육과정 개발 과정에서부터 설문조사를 통해 학생들의 참여가 이루어지도록 했으며, 개선된 교육과정 시행 과정에서 강좌평가 결과를 통해 계속적인 학생 피드백을 반영하고 있다는 점에서 매우 주목할 만하다. 또한, 학습자 중심의 실험 교과목에서 체계적으로 조직된 교육과정은 학습자가 주체가 되어 학습을 하기 위한 필수적인 요건이라고 할 수 있다. 학습자의 학년과 수준에 따라 다양하게 제공되는 실험 주제들은 학생들이 실험에 더 적극적으로 참여하도록 하며, 학습동기를 유발하도록 하는 역할을 하게 된다.

개선된 실험 교과목은 지속적인 모니터링과 수정 및 보완을 통해 새로운 교육과정이 성공적으로 정착되도록 할 것이며, 2학년 실험 교과목의 연장선상에서 3, 4학년을 위한 새로운 실험 교과목의 교육과정 개발이 지속적으로 이루어질 것이다. 이와 같은 체계적인 교육과정 개선은 사회가 필요로 하는 지식들을 교육내용으로 포괄하면서, 학생들이 능동적으로 학습에 참여할 수 있도록 독려하는 것을 가능하게 한다. 학생 스스로 문제를 해결하고 의사 결정하는 능력을 배양하는 것을 지향하는 실험 교과목 교육과정 개선은 창의성과 공학적 실무능력을 갖춘 재료공학인 양성에 크게 기여하게 될 것으로 기대된다.

교신저자: 이우영

[감사의 글]

본 연구는 2006년도 한국학술진흥재단 이공계교육과정개발연구지원사업 (KRF-2005-083-D00003)으로 수행되었음

[참고 문헌]

- Bidanda, B., & Billo, R.(1995). On the use of students for developing engineering laboratoroes, *Journal of Engineering Education*, 84(2), 205-213.
- Bisantz, A. M., & Paquet, V. L.(2002). Implementation and evaluation of a multi-course case study for framing laboratory experiments, *Journal of Engineering Education*, 91(3), 299-307.
- Carlson, B., Schoch, P., Kalsher, K., & Racicot, B.(1997). A motivational first-year electronics lab course, *Journal of Engineering Education*, 86(4), 357-362.
- Dale, E. (1997). *Audio-Visual Methods in Teaching*, 3rd Edition. Holt, Richart and Wiston.

- Heitmann, G.(2005). Challenges of engineering education and curriculum development in the context of the Bologna process. *European Journal of Engineering Education*, 30(4), 447-458.
- Johnson, S. H., Luyben, W. L., & Talheim, D. L.(1995). Undergraduate interdisciplinary controls laboratory, *Journal of Engineering Education*, 84(2), 133-136.
- Rompelman(2000). Assessment of student learning: evolution of objectives in engineering education and the consequences for assessment. *European Journal of Engineering Education*, 25(4), 339-350.
- Slavin, R. E., N. L. Karweit, & N. A. Madden (1989). *Effective programs for students at risk*, Allyn and Bacon, Boston.