

# 화학공학 교과목이수체제와 설계교육제도



**심재진**

영남대학교 화학공학부 교수  
jjshim@yu.ac.kr

서울대학교 화학공학 학사  
한국과학기술원 화학공학 석사  
University of Texas at Austin 화학공학 박사  
영남대학교 공과대학 교무담당부학장  
영남대학교 화학공학심화프로그램PD  
영남대학교 공학교육혁신센터 센터장  
(현) 영남대학교 화학공학부 교수  
관심분야: 청정기술, 공학설계교육, 교과목 이수체제

## 1. 서언

한국공학교육인증원(ABEEK)이 1999년에 설립되면서 여러 차례의 우여곡절을 거치면서 국내 공학교육의 방향에 큰 변화가 있어왔다. 그 중에서 가장 대표적인 것이 수요자중심교육, 공학교육성과를 확인하는 학습성과평가체제의 정립, 창의성과 팀워크를 위주로 하는 설계교육제도의 운영, 그리고 교과목이수체제의 확립이다. 설계교육과 교과목이수체제는 ABEEK제도를 운영하지 않는 대학에서도 참고하여 도입할 만한 사항들로서 본고에서는 이에 관하여 논하고자 한다.

1990년대 중반 국내 대학졸업생들의 공학지식과 현장 적응력이 부족하여 채용 후 바로 현장에 투입할 수 없기 때문에 신입사원을 2-3년간 자체적으로 교육시켜야만 한다는 불만이 산업계로부터 터져 나왔다. 물론 대학과 협력하여 교육의 일부를 담당하고 있는 선진국의 산업체와는 달리 국내의 산업체에서는 교육에 거의 참여하지 않고 있다는 문제점이 있지만, 국내의 공학교육계에서는 대학교육제도 자체에서도 문제점이 있다는 점을 인정하고 이를 개선하기 위해 미국 공학교육인증원(ABET)을 벤치마킹하여 1999년에 ABEEK을 설립하고 미국의 공학교육제도를 국내에 처음으로 도입하기 시작하였다. 아울러 국내의 공학교육을 세계표준에 맞추

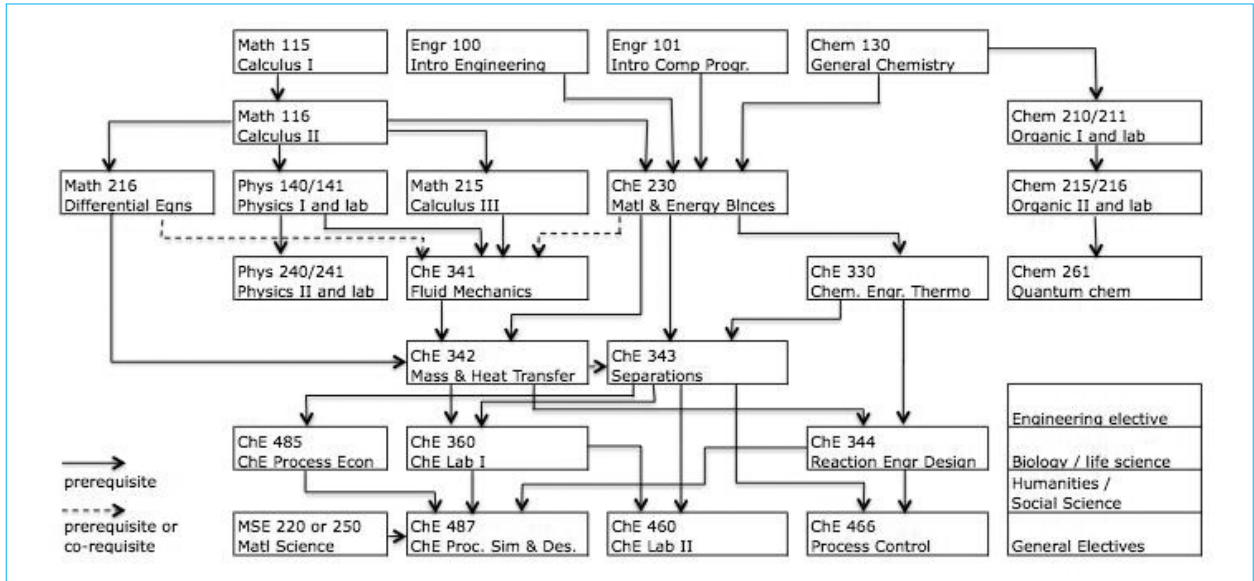
으로써 2007년에 Washington Accord에 가입하고 국제적으로 공학교육의 등가성을 인정받게 되었다.

## 2. 교과목이수체제

우리의 화학공학교육제도는 1960년대부터 주로 미국의 제도를 따르고 있다. 1학년 때 수학, 물리, 화학 등 공학기초과목과 2학년 때 공업수학, 물리화학, 유기화학을 이수한 후, 4학년까지 화공 5대 과목인 열역학, 화공계산(화공양론), 단위조작(전달현상), 반응공학, 공정제어를 비롯한 분리공정, 공장설계 등의 응용과목들을 이수하도록 되어 있었다. 학생들은 저학년 과목의 이수에 실패하거나 낮은 학점을 받은 경우라도 재수강하면 B보다 높은 등급의 학점을 받을 수 없도록 되어 있었으므로, 웬만하면 재수강하지 않고 이수체제를 따랐다. 그러나 1980년대 후반 학생운동이 최고조에 달할 때 학생들은 대학에 이러한 최고학점의 제한을 없앨 것을 요구하였고, 불행하게도 이것이 관철되게 되었다. 신입생이 대학에 입학하면 고등학교 때 놓지 못하였던 것까지 한꺼번에 놓고 학업을 등한시하여 많은 과목에서 F나 D를 받고는 1학년 말에 군대에 갔다 온 후 3,4학년에 1학년 과목들을 재수강함으로써 1학년 학생들이 A학점을 받기 어렵게 만들어 쉽게 과목이수를 포기하고 3,4학년에

\* 참고문헌

심재진, "체계적인 공학설계교육시스템의 구축," 공학교육, 17권 1호, 25 (2010).



▲ 그림 1. 미시간대학교의 필수과목에 대한 선후수과목표 (prerequisite는 필수선수과목).

가서 재수강하게 하는 악순환을 만들어냈다. 이리하여 세계에서 유례가 없는 학점인플레이션이 생겨나서 졸업생의 성적 평균 평점이 3.4~3.5(예전에는 상에 속하는 평점으로서 3.7만 되어도 과top이 되는 경우가 많았고 평균 평점이 2.9~3.0이었음)에 이르게 되었다. 이러한 기형적인 성적분포는 학생, 대학, 국가에 해가 되어 돌아왔다. 좋은 성적이라고 생각하고 졸업생을 채용하였으나 실제와 다름을 깨달은 기업에서는 대학교육을 불신하게 되었고, 한국학생들의 실력이 학점과 다름이 판명됨에 따라 국가적 신뢰에도 금이 가게 되었다. 또한 원하는 사람은 모두 대학에 갈 수 있는 정책을 20여 년 전에 정부가 추진하여 고교 졸업생의 85%가 대학에 입학하게 되면서 중고교 교육만으로도 충분한 직종에 대학 졸업생들이 대거 취업하는 등 국가적인 낭비가 따르게 되었다. 이러한 흐름은 결국 1990년대 중후반의 공학교육개혁 요구로 이어지게 되었다.

미국 대학들은 대부분 이수단계별로 교과목들을 구분해 놓고 있어서 학생들이 이수체계를 잘 지킬 수 있도록 되어 있다. 즉, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 level courses로 나누어 놓고 있는데, 100~400은 1학년에서 4학년까지 학년별 과목들을 나타내며, 500은 4학년과 대학원생 공통과목, 600-900은 석·박사과정 대

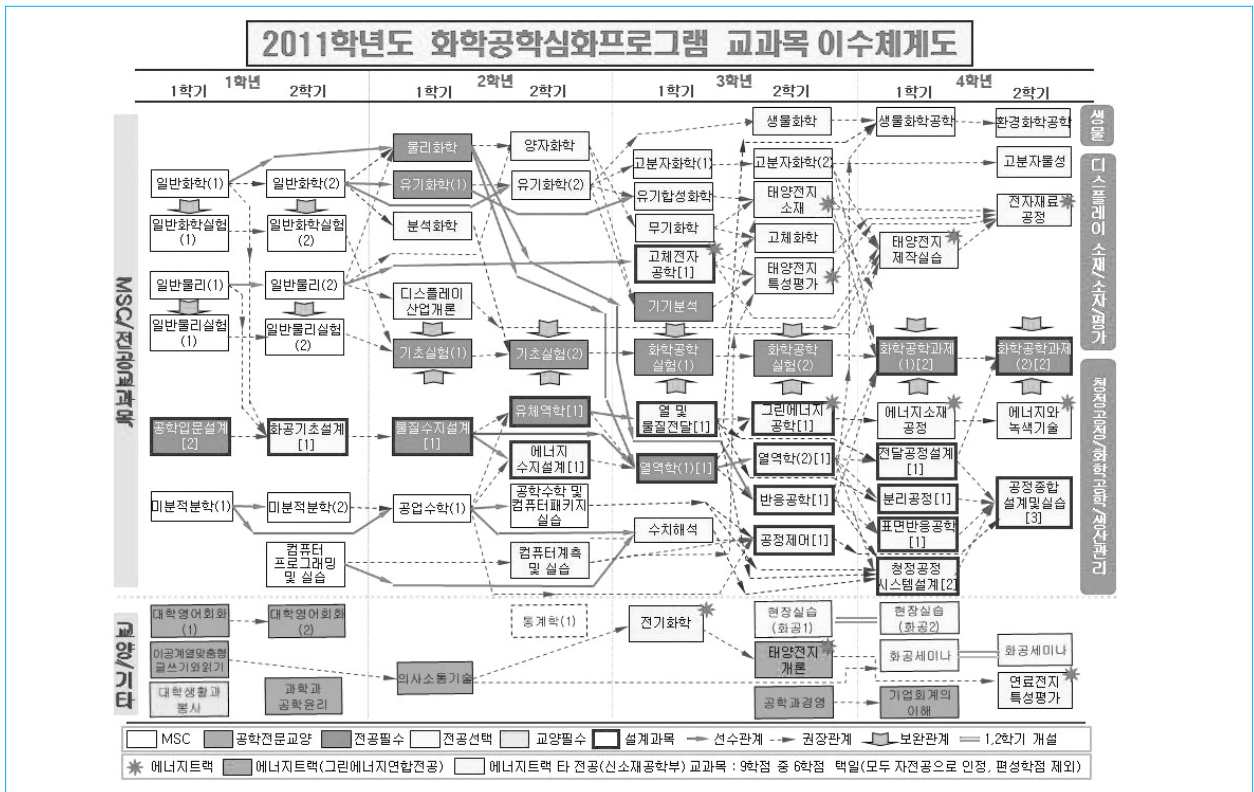
학원 과목들을 나타낸다. 필수과목들에 대해서는 1~4개의 선수과목들이 지정되어 있으며, 선수과목들을 이수하지 않은 상태로 후수과목에 대한 수강신청을 못하도록 제도적으로 막아 놓고 있다(그림 1). 후수과목을 이수하는데 필요한 기본지식을 선수과목에서 습득하여야 후수과목을 이수하는데 지장이 없으므로 이러한 제도를 시행함으로써 학생들은 공학전문지식을 좀 더 쉽고 효율적으로 습득할 수 있게 된다.

우리나라의 대학생들이 고학년에서 저학년 과목을 재수강하는 것은 위에서 지적한 폐단뿐만 아니라 3,4학년 때 기초과목을 이수하거나 성적 세탁을 하는데 많은 시간을 보냄으로써 사회에서 필요로 하는 중요한 전공과목들을 수강하지 못하여 학생 본인들과 기업체, 국가에 모두 손해를 끼치고 있으므로 이수체계를 잘 지킬 수 있도록 교육제도가 개선되어야 한다. 즉, 미국의 선후수과목 제도를 도입하여, 선수과목을 이수하지 않고는 후수과목을 이수하지 못하게 함으로써 정상적인 교과목 이수체계를 이끌어내야 한다. 이러한 과정에서 교과목 이수 실패한 학생들을 위해 대학에서는 다음 학기나 계절학기에 동일과목을 개설하여 교과과정 이수 지장이 없도록 제도를 보완해야 한다.

영남대학교 화학공학부에서는 17개의 선후수 연결고리를 만들었으며, 하계 및 동계 계절학기에 정규학기에 개설된 선수과목을 다시 개설함으로써 학생들이 후수과목을 수강하는데 지장이 없도록 하는 제도를 만들어 시행하고 있다(그림 2 참조). 반면, 대부분의 미국 대학에서는 다음 학기에 선후수과목들을 동시에 개설함으로써 선수과목 이수에 실패한 학생들이 6개월의 시차를 두고 따라올 수 있도록 하고 있다. 아울러 미국 대학에서는 대부분의 필수과목들에 대하여 선수과목을 지정하고 있으나, 우리나라에서 이를 당장 시행하면 수많은 학생들이 졸업에 지장을 받을 수 있으므로 그 충격을 줄여 주교자 일부과목만 제한적으로 필수선수과목으로 지정하였고, 나머지 과목들은 권장선수과목으로만 지정하였다. 2006년에 시작된 이러한 이수체계는 갑자기 제도가 바뀌어 과도기 학생들이 혼란을 겪거나 피해를 보지 않도록 경과규정을 만들어 운영하면서 3-4년간의 시행착오를 거처서 현재는 거의 정착단계에 이르고 있다.

### 3. 설계교육제도

산업혁명의 원동력인 증기, 디젤, 가솔린엔진의 발명, 기술보급과 문화확산의 매개체인 금속활자와 종이의 발명을 비롯하여 우리가 사용하는 수많은 기계, 토목, 건축, 전기전자 장치와 화학 및 생물공정의 발명은 모두 설계과정을 통하여 이루어진 것들이다. 옛날에는 한 두 사람이 비행기나 배를 설계할 수 있었으나, 제품의 기능이 다양화되고 매우 복잡해진 요즘에는 혼자서 제품 전체를 설계하는 것이 거의 불가능하므로 다양한 분야의 전문가들이 팀을 구성하여 team project로 수행해야 한다. 팀 내에서 개방형 문제(open-ended problem)나 잘 정의되지 않은 문제(ill-defined problem)에 대한 창의적인 아이디어를 도출하고 최적의 결론을 이끌어내야만 최선의 결과를 낼 수 있으므로 팀워크와 창의성은 공학 설계에서 가장 중요한 두 가지 요소라고 할 수 있다. 즉, 과거와 같이 단편적인 공학전문지식만을 교육 받은 학생들은 이러한 개방형 문제를 해결하기 어렵게 되었



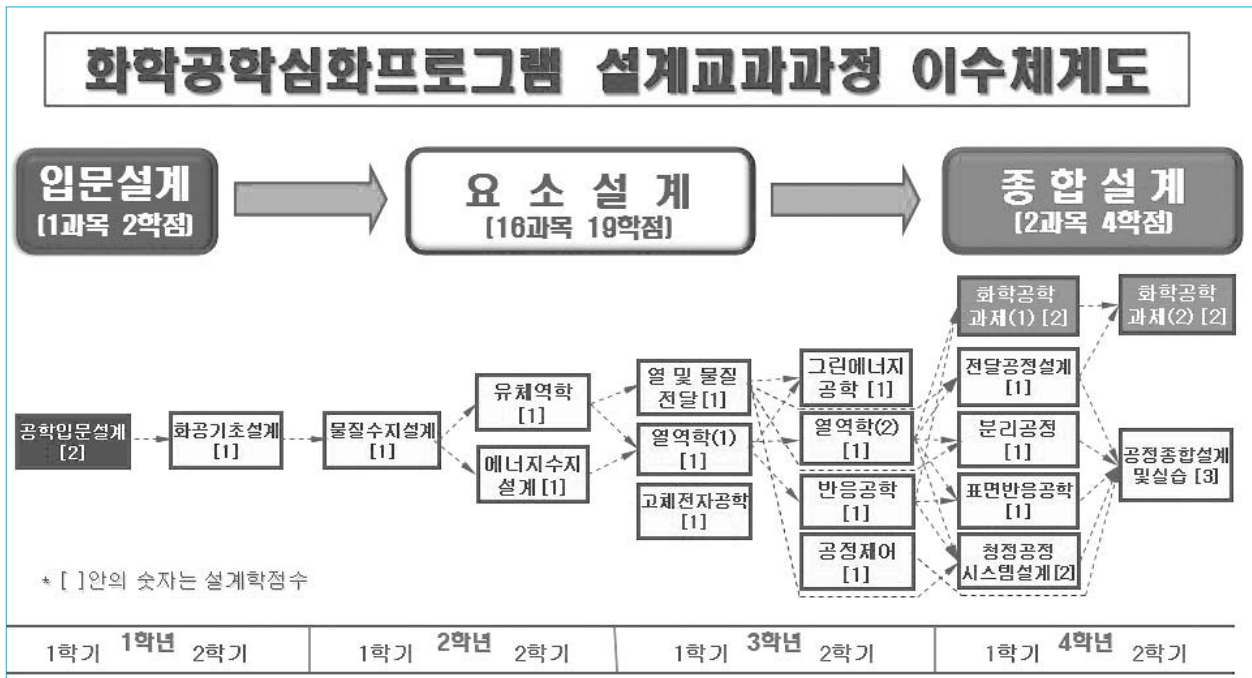
▲ 그림 2. 영남대학교 화학공학심화프로그램의 교과목 이수체계도(2011):  
 굵은 실선이 필수선수, 가는 점선이 권장선수 연결고리를 나타낸다.

므로 공학전문성뿐만 아니라 기술실행력, 기획·실천 능력, 공학적 접근능력, 사회경제적 접근능력과 인성 등의 여러 가지 면에서 충분한 능력을 확보해야만 하게 되었다. 이러한 능력은 ABEEK교육에 의해서 획득될 수 있으며, 이러한 여섯 가지 능력을 모두 활용하여 얻어지는 결정체가 종합설계이다. 따라서 ABEEK교육을 통하여 산업체에서 필요로 하는 바람직한 공학도를 양성하는 데에는 설계교육이 단연 중추적인 역할을 담당하게 된다.

우리나라에서는 공학교육인증원의 발족과 함께 공학 교육방법 및 철학에서 많은 개선이 있었으며 설계교육의 틀도 잡히기 시작하였다. 그러나 기계공학, 토목공학, 건축공학, 전기(전자)공학 등 물리를 기초로 하는 전공에서는 형체가 있는 기계장치나 물체 등의 설계하거나 만들 수 있는 반면에, 화학공학, 섬유공학, 재료(금속)공학, 환경공학 등 화학과 생물을 기초로 하는 전공에서는 눈으로 확인하기 어려운 소재나 공정을 주로 다루므로 설계교육을 하기가 어렵다는 것을 알게 되었다. 아직까지도 국내의 많은 대학에서는 어떻게 하면 설계교육을 잘 할 수 있는가에 대한 의문을 가지고 있는데

반해, 이에 대한 해답을 제공하는 경우는 거의 없는 실정이다. 영남대학교 화학공학부에서는 그 동안 시행한 설계교육방법을 정리하여 이에 대한 해답을 제시하고자 한다.

KEC2005기준에서는 설계18학점의 이수를 요구하고 있다. 일반적으로 우리나라 대학 입학생들의 팀워크 경험은 미국학생들보다 많이 뒤처지므로, 미국 대학에서 약 10-12 설계학점 정도에 해당하는 설계교육을 하는 것을 감안할 때 우리나라에서는 적어도 18설계학점은 이수해야 한다고 생각된다. 우리나라 학생들은 고교를 졸업할 때까지 대부분 대학입시 준비에 매달리므로 과학 관련 작품을 만들거나 팀별 활동을 할 수 있는 기회가 거의 없다. 따라서 대학 입학 후 팀워크 및 공학작품을 설계하는 활동을 수없이 반복하게 함으로써 미국 대학생들과 유사한 정도의 팀워크와 설계능력을 갖추도록 하는 것이 국제적인 교육의 등가성(Washington Accord)을 보장하기 위해서도 필요하다. 즉, 공학입문설계 등 기초설계과목을 대학 1학년 과정에 개설하여 체계적인 설계훈련을 쌓게 하고, 많은 요소설계과목들을 2,3학년에 배치하여 설계경험을 확충한 후, 4학년에



▲ 그림 3. 영남대학교 화학공학심화프로그램 설계교과과정 이수체계도.



종합설계를 마무리하게 하여야 한다. 그러나 KEC-2015에서 설계학점을 12학점 정도로 줄일 것으로 예상되므로 우리 졸업생들의 국제적인 동등성을 보장하는데 문제가 없을지 걱정이 된다.

현재 영남대학교 화학공학심화프로그램에서는 19설계학점에 해당하는 16개의 요소설계과목들을 2~4학년에 배치하여 놓고 있다. 요소설계과목 당 1~2설계학점을 배정하고, 해당 과목에서 다루는 이론을 실제에 응용해볼 수 있는 주제의 설계 term project를 내 주고 5주 이상 관리를 하면서 결과를 제출하도록 하고 있다. 예를 들면, 유체역학의 설계과제로서 “울산에서 서울까지의 중유 수송관을 20년 뒤까지 사용할 수 있도록 설계하라”는 문제를 내 주면 학생들은 유체역학시간에 배운 유체의 이송뿐만 아니라 20년 뒤의 중유수요량을 예측하고, 지형을 검토하며, 경제적인 면을 고려하여 송유관을 설계하게 된다. 공학입문설계와 함께 6~7개의 요소설계과목을 3학년 2학기까지 이수하면(설계학점수 약 10~12학점) 학생들의 설계에 관한 안목과 능력이 상당히 향상되므로, 4학년 1,2학기에 2~3개의 요소설계과목과 함께 2개 학기 과정의 종합설계과목을 이수하면 설계능력은 최대화된다. 미국 대학에서는 마지막 학기인 4학년 2학기에 capstone design과목을 개설하고 있지만 국내 대학에서는 학기 당 2학점의 화학공학과제(1)과(2)를 2개 학기 연속으로 개설하고 있는데, 이는 여러 가지 여건으로 인하여 한 학기에 집중적으로 시간을 투자하기 힘든 대학생들의 사정을 감안한 결과이다. 종합설계과목에서 각 팀은 지도교수의 지도하에 종합설계과제를 1년간 수행하게 되며, 매 학기말에 자기 팀에서 제작한 작품을 발표장에 전시하고 이를 평가받는다. 가급적 실제로 만들 수 있는 작품을 만듦으로써 공학계열 학생들은 이를 종합설계를 경험하는 기회로 삼을 수 있다. 기타 구두발표, 보고서평가, 동료평가 등은 입문설계 및 요소설계와 유사하게 진행하도록 한다. 종합설계과목 담당교수는 보고서 및 발표를 근거로 하여 창의성, 팀워크, 판단력, 성실성, 설계의 완성도, 발표력, 공학도구 사용능력 등을 종합적으로 평가한다.

요즈음 설계학점 문제로 ABEEK제도가 비판을 많이 받고 있다. 그러나 위에서 말한 바와 같이 우리나라 학생들의 팀워크, 발표력, 창의성 등에 대한 교육기회가

거의 없어서 국제적으로 등가성을 인정받기가 어렵기 때문에 이를 보완하는 차원에서 설계교육을 강화하는 것이 필요하다. 미국 Auburn 대학교의 화학공학과 1학년 과정에는 기초설계과목인 “Introduction to Engineering”과 2학년의 “Principles of Chemical Engineering”으로부터 시작하여 4학년의 종합설계(capstone design)과목인 “Process Design Practice” 과목에 이르기까지의 사이에는 ‘design’이 들어간 과목이 하나도 없는 대신에 2학년의 “Transport I”과 “Transport II”는 open-ended problem들을 상용 software를 사용하여 체계적으로 해결하는 등 여러 개의 팀으로 나누어 설계경험을 쌓을 수 있도록 하고 있다. 또한 3학년 과목인 “Chemical Engineering Separations”와 “Chemical Reaction Engineering”에서 학생들은 개방형 문제의 해결에 창의성을 발휘하고 여러 가지 제약조건들과 대체방법들을 고려하여 설계요소를 만족하면서 분리 및 반응 관련 설계문제를 해결하도록 하고 있다. 4학년 과목인 “Process Economics, Process Engineering Safety Lab” 및 “Process Simulation, Synthesis and Design”은 설계 관련 문제들의 폭과 깊이를 더해 주며, 종합설계과목인 “Process Design Practice”는 3~4명의 학생들의 팀에 광범위한 설계문제를 내주고 학생들이 도면을 그린 후 주어진 도구들을 사용하여 여러 가지 공정을 통합하도록 하고 있다. 미국의 다른 대학들에서도 설계과정을 크게 강조하고 있지 않은 것으로 보이지만 ABET의 ‘인증기준 3 학습성과’의 C항에 설계가 명시되어 있으므로 분명히 Auburn 대학과 유사한 설계과정을 가지고 있다고 생각된다(심재진, “체계적인 공학설계교육시스템의 구축”, 공학교육, 17권 1호, p.25 (2010). 참조).

이리하여 입문설계-요소설계-종합설계의 단계를 거치는 일련의 설계교육과정은 학생들의 전공능력과 함께 기술실행력, 기획실천능력, 공학적 접근능력, 인성, 사회경제적 접근능력을 배양하는데 기여하게 될 것이므로, 대학 4년간의 착실한 설계교육은 우리 학생들에게 부족한 팀워크, 창의력, 발표력, 설계능력 등을 보충하여 국제적으로 인정받는데 이상이 없도록 만들 것이다. 학생들이 설계교육을 받으면서 힘이 드는 것이 아니라 사회에 나가서 잘 일할 수 있도록 경험을 쌓는 교육과정이라는 점을 간과하지 말아야 하겠다. 설계교육

제도에 대한 좀 더 상세한 내용은 “공학교육” 17권 1호에 실린 저자의 공학설계교육에 관한 글이 도움이 될 것이다.

#### 4. 결론

위에서 살펴본 바와 같이 현재 화학공학 교육에서 가장 중요한 요소인 이수체계와 설계교육제도는 우리나라의 많은 화학공학과에서 공통적으로 가지고 있는 난점들이다. 영남대학교에서는 미국 대학들의 ABET제도를 참고 삼아 선후수과목을 많이 포함시킨 이수체계를 만들었으며, 국내 공학교육 실정을 반영한 설계교육제도를 만들어서 다년간 시행하여 왔다. 특히 요소설계과목들에 대한 설계교육 운영 시 시행착오를 거치면서 쌓은 설계교육방법 know-how를 공개하고 설계교육에 대한 가이드라인을 제시하였다. 이러한 선행주자의 경험이 많은 다른 대학들의 공학교육제도 개선에 도움이 되길 기대한다.

설계학점 이수나 이수체계 준수는 학생들에게 유익하지만 힘들고 귀찮게 느껴질 것이다. 이러한 교육의 결과 학생들의 능력이 얼마나 향상될까? 구체적으로 측정해보지는 않았으나 이전 학생들에 비해 약 10~30% 여러 가지 능력이 향상되었다고 생각된다. 특히 발표력과 팀워크는 매우 크게 향상되었다. 이 정도의 향상을 과연 학생들은 느낄 수 있을까? 많은 학생들이 취업에 눈에 띄게 유리해지지 않는다고 불만이지만 산업계에서는 분명 학생들의 교과 외적인 능력이 향상되었음을 느낄

것이다. 몸에 좋은 약은 쓰다. 학생들이 쓴 약이 싫다고 한다 하여 양약을 먹지 않게 하는 우를 범할까 걱정된다. 학생들이 싫어한다거나 취업에 도움이 별로 안 된다고 하여 좋은 제도를 무력화 또는 약화시키려는 시도가 교수 사회에서 눈에 띄고 있다. 그러나 분명한 것은 한번 쓰러뜨린 제도는 다시 일으켜 세우는데 몇 배의 노력을 요구하며, 싫다고 하여도 쓴 약을 먹일 수 있는 사람만이 병을 고칠 수 있다는 것이다.

10여년 전에 학생들이 아무 필요도 없는 과목들을 이수하는 것을 보고 답답하여 왜 그렇게 했느냐고 물으니까 선배가 학점을 쉽게 딸 수 있다고 하여 선택하게 되었다고 실토하는 것이었다. 많은 학생들이 장래에 도움이 되지 않는 과목 이수에 시간을 낭비하는 것을 보고 교수들이 직접 수강지도를 하도록 해야 하겠다는 생각이 들어 2003년도에 전국에서 처음으로 선수강지도를 공과대학에 시행하였다. 처음에는 많은 교수들이 매우 귀찮게 생각하였고, 심지어 일부 학과 교수들은 수강지도를 하지 않고도 했다고 거짓 보고서를 낸 적도 있었다, 군대에 가 있는 휴학생까지 모두 수강지도를 한 것으로 표시하여 들통났지만.... 이렇게 어렵게 시작한 선수강지도 제도가 이제 전국의 표준이 되었다. 공과대학의 교육을 맡고 있는 사람들로서 우리는 학생들을 옳은 길로 안내하고 좀 더 나은 교육을 위해 힘을 쏟아야 한다. ABEEK 제도를 시행하는 목적이 결국은 “학생 교육을 잘 시키자”는 것이기 때문이다. 