

체계적인 공학설계교육시스템의 구축



심재진
 영남대학교 디스플레이화학공학부 교수
 jjshim@yu.ac.kr

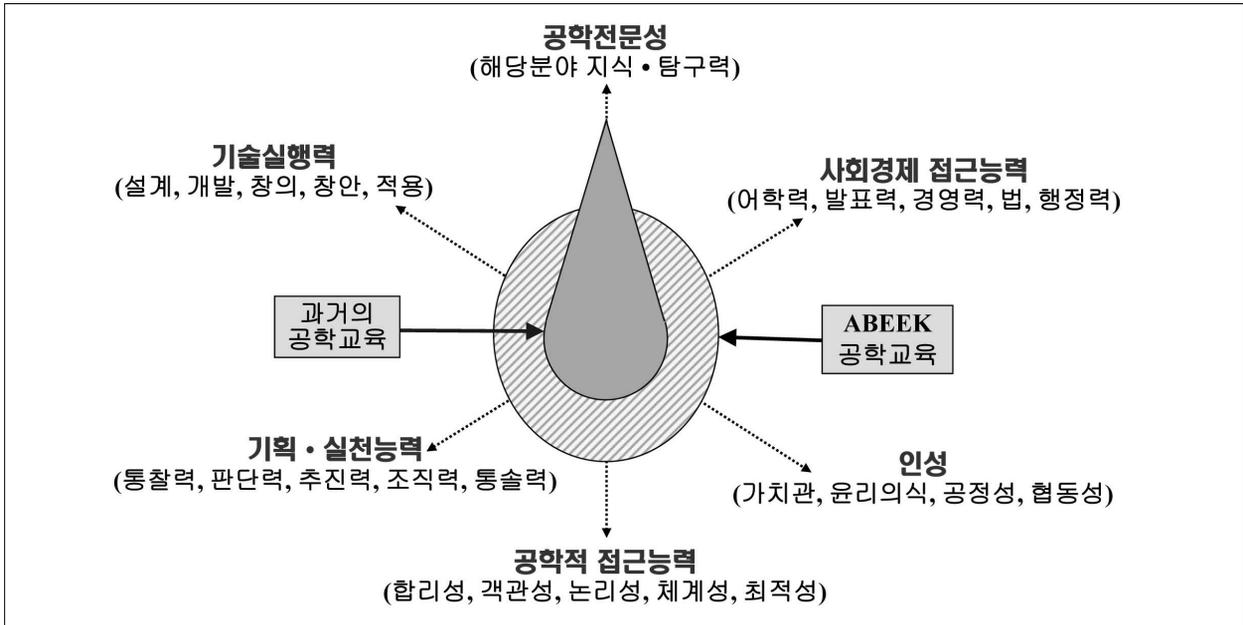
서울대학교 화학공학과 학사
 한국과학기술원 화학공학과 석사
 Univ. of Texas at Austin 화학공학과 박사
 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원
 (현) 한국청정기술학회 부회장, 편집장
 (현) 영남대학교 공학교육혁신센터 센터장

우리가 사용하는 모든 기계, 토목, 건축, 전기·전자 장치와 화학 및 생물공정은 모두 인류가 개발한 설계작품들이다. 예를 들면, 운송수단의 비약적인 발전을 이룬 바퀴의 발명, 산업생산력의 혁명적인 발전을 이룬 증기, 디젤, 가솔린엔진의 발명, 비약적인 기술보급과 문화 확산을 가능하게 한 금속활자와 종이의 발명, 인류가 사나운 짐승과 외적으로부터 자신을 보호받을 수 있도록 한 화약의 발명은 모두가 설계과정을 통하여 이루어진 것들이다. 한편, 인류는 늘 새롭고, 값싸고 질 높은 제품을 추구하고 있으므로 설계는 인류가 생존하는 한 계속적으로 발전할 것이 분명하다. 또한 옛날에는 한 두 사람이 작은 비행기나 배를 설계할 수 있었으나, 제품의 기능이 다양화되고 복잡해진 요즘에는 혼자서 제품을 설계하는 것이 거의 불가능하게 되었다. 예를 들면, 자동차의 부품 수는 2만 개가 되며 비행기의 부품 수는 30만 개나 된다고 하니 평생 일한다 해도 혼자서 차나 비행기 한 대를 만들어내는 것은 거의 불가능하다. 따라서 다양한 전문분야에 있는 많은 사람들이 팀을 구성하여 team project를 수행하여 창의적인 아이디어를 결집해야만 가장 훌륭한 결과를 낼 수 있으므로 팀워크와 창의성은 공학설계에서 가장 중요한 두 가지 요소라고 할 수 있다.

공학설계가 중요한 이유는 정답이 여러 개가 될 수 있는 개방형 문제(open-ended problem)나 잘 정의되지 않은 문제(ill-defined problem)의 해를 찾기 위해서 기존의

과학적 지식과 창의적인 사고를 종합하여 현실적인 제한 요건의 테두리 안에서 지역과 시대에 맞게 해결하기 때문이다. 따라서 이러한 답을 얻는 데에 고려해야 할 것들은 지리적, 사회적, 시대적, 그리고 경제적인 요건들이며, 이러한 특성 때문에 모든 설계문제는 개방형 문제라고 부르고 있다. 과거와 같이 단편적인 공학전문 지식만을 교육 받은 학생들은 이러한 개방형 문제를 해결할 수 없게 된다. 따라서 아래 그림 1과 같이 학생들이 공학전문성뿐만 아니라 기술실행력, 기획·실천능력, 공학적 접근능력, 사회경제적 접근능력과 인성 등의 여러 가지 면에서 충분한 능력을 확보해야만 한다. 이러한 능력은 ABEEK 공학교육에 의해서 획득되며, 이러한 여섯 가지 능력을 활용하여 얻어지는 결정체가 종합설계이다. 따라서 ABEEK교육을 통하여 산업체에서 필요로 하는 바람직한 공학도를 양성하는 데에는 설계교육이 단연 중추적인 역할을 담당하고 있다. 이렇듯 공학설계교육은 ABEEK교육의 마지막 장식하는 것으로서 그 중요성이 얼마나 큰지는 미루어 짐작할 수 있다.

우리나라의 공학교육은 2000년 이후로 크게 변하여 왔다. 특히 한국공학교육인증원을 중심으로 한 공학교육인증시스템이 발족하여 그 동안 우리나라에서 부족하였던 설계교육이 틀을 잡아가기 시작하고 있다. 설계는 전공에 따라서 그 중요성 및 가시성에서 차이가 있다. 즉, 기계공학, 토목공학, 건축공학, 전기·전자공학 등 물리를 기초로 하는 전공에서는 눈으로 확인할 수 있



▲ 그림 1 공학 전문성 위주의 과거의 공학교육과 현장실무능력 향상을 추구하는 ABEEK 공학교육의 차이점.

는 제품의 설계를 할 수 있으나, 화학공학, 섬유공학, 재료(금속)공학, 환경공학 등 화학과 생물을 기초로 하는 전공에서는 눈으로 확인하기 어려운 소재나 공정에 대한 설계가 많다. 전자는 기계장치나 물체 등 형태를 가지고 있는 것으로서 직접 만들거나 도면으로 그릴 수 있으나, 후자는 합성공정 등 형태가 없는 경우가 많은 만큼 이에 대한 설계는 다루기도 어렵고 교육방법을 찾기도 어렵다. 아직까지도 국내의 많은 대학에서 어떻게 하면 제대로 된 설계교육을 실시할 수 있는가에 대한 의문을 가지고 있는데 반해 이에 대한 해답을 제공하는 경우는 거의 없는 실정이다. 이에 본고에서는 미국 대학의 예를 살펴보고 영남대학교에서 수행하고 있는 입문설계-요소설계-종합설계의 단계별 공학설계교육 사례를 들어 이 궁금증에 대한 한 가지 해답을 제공함으로써 우리나라의 체계적인 설계교육 방법을 구축하는데 도움이 되도록 하고자 한다.

미국의 대학들에서는 물리 기반 전공들뿐만 아니라 화학과 생물 기반 전공들의 경우에도 특별한 설계교육을 시키지 않고도 공학교육인증시스템을 성공적으로 운영하고 있다. 필자가 수년 전에 방문하였던 ABET 인증대학인 Auburn University의 예를 들어보면 1학년 과정에는 공학입문설계 과목이 없고, 기초 및 교양과목

(MSC와 전문교양)도 순수과학 계통 및 인문계통의 학과에서 개설하는 과목들을 이수하도록 되어 있다. 화학 기반의 전공들에서는 2학년 이후의 전공과목 중 과목명에 'design'이 들어간 과목은 별로 눈에 띄지 않는다. 특히 화공과의 경우 1학년의 기초설계과목인 Introduction to Engineering과 2학년의 Principles of Chemical Engineering으로부터 시작하여 4학년의 종합설계(capstone design)과목인 Process Design Practice 과목에 이르기까지의 사이에는 'design'이란 단어가 들어간 과목이 하나도 없다. 대신 2학년의 Transport I과 Transport II는 open-ended problem들을 여러 개의 팀으로 나누어 상용 software를 사용하여 체계적으로 해결하는 등 설계경험을 쌓을 수 있도록 하고 있다. 또한 3학년 과목인 Chemical Engineering Separations와 Chemical Reaction Engineering에도 상당 부분의 설계가 포함되어 있다. 여기에서 학생들은 open-ended problems의 해결에 창의성을 발휘하여야 하며, 여러 가지 제약조건들과 대체방법들을 고려하는데 주의를 기울이도록 훈련받는다. 즉, 이 과목들에서 부과하는 숙제문제는 설계요소를 만족하면서 분리 및 반응계의 설계를 다루도록 되어 있다. 4학년 과목인 Process Economics, Process Engineering Safety Lab 및 Process Simulation, Synthesis and Design은 설계

관련 문제들의 폭과 깊이를 더해준다. Capstone design 과목인 Process Design Practice는 3~4명의 학생들로 구성된 팀에 광범위한 설계문제를 내주고, 학생들이 사전 지식에 따라 도면을 그린 후, 주어진 도구들을 사용하여 여러 가지 공정을 통합하도록 한다. 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.

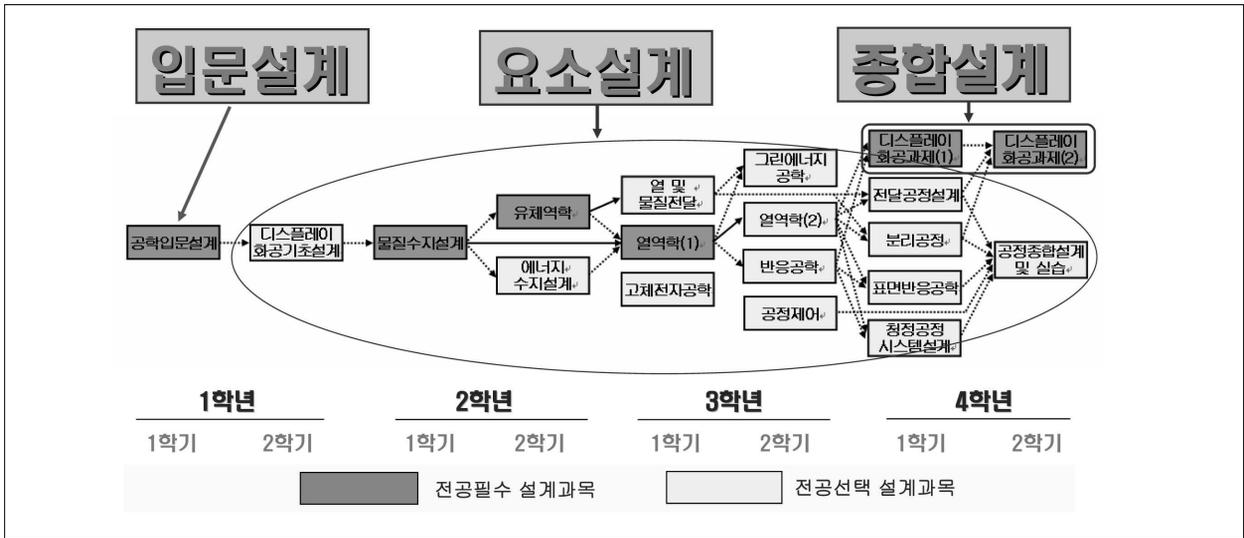
Auburn 대학의 학습성과 C항은 다음과 같이 정리되어 있다: “Our graduates will be able to **design a system, component, or process** to meet desired technical, economic, safety, and environmental criteria. They will be able to perform **design calculations from the conceptual stage to full-scale plant design**, and to conduct an economic evaluation of the process.” Auburn 대학 화공과의 경우 입문 설계에 해당하는 공학개론과 화공원론 등이 1학년에 개설되어 있고, 2학년에서 4학년 1학기에 걸쳐서 우리의 요소설계과목에 해당하는 교과목들을 수강하게 함으로써 설계경험을 증대시킨 후, 마지막 학기인 4학년 2학기에 종합설계과목을 이수하도록 되어 있다. 우리나라의 경우 KEC2005기준에서 설계18학점의 이수를 요구하고 있는데 이는, 뒤에서 언급하겠지만, 일반적으로 한국의 대학 입학생들의 설계경험이 미국학생들보다 뒤쳐지는 것과 Auburn 대학에서 약 12학점 정도에 해당하는 설계교육을 하는 것을 감안할 때 적절한 수준의 설계학점이라 할 수 있다.

우리나라의 대학들에서는 종합설계를 개설하는 4학년 1,2학기에 요소설계를 동시에 개설하는 경우가 대부분이다. 심지어는 종합설계를 3학년 2학기과 4학년 1학기에 개설함으로써 종합설계를 마친 후 4학년 2학기에 요소설계를 수강하는 설계교육이 이루어지는 경우가 꽤나 있기 때문에 공학교육인증원의 평가 때 평가자와 피평가자 사이에 마찰이 종종 일어나고 있다. 이렇게 최종 학기에 개설되어야 하는 종합설계를 한 학기씩 앞당겨서 개설하는 것은 많은 대학생들이 4학년 2학기 중간에 취업하여 필수과목인 종합설계를 제대로 이수하지 못하기 때문이다. 이 문제의 근저에는 국내의 기업들이 9~11월에 신입사원을 뽑고 그 즉시 데려다가 활용하는

사원채용 관행을 고수하고 있기 때문이다. 그러나 가을 학기 중간에 사원을 뽑더라도 학생들이 수업을 마치는 12월 중순 이후에 데려간다면 대학들이 종합설계과목을 4학년 1,2학기로 학기 조정을 하여 이 문제가 해결될 수 있으며, 기업에서도 충분히 훈련받은 학생을 받게 되어 기업, 학생, 대학 모두에게 유리한 해결책이 될 수 있다.

우리나라 학생들은 미국학생들과는 달리 고교를 졸업할 때까지 대부분 대학입시 준비에 매달려 개인적으로 학과공부를 하는데 시간을 모두 소진하고 있으므로 과학 관련 작품을 만들거나 팀별 활동을 할 수 있는 기회가 거의 없다. 그러므로 대학 1학년 때부터 여러 차례에 걸쳐 팀워크를 하고 공학작품을 만드는 활동을 하게 함으로써 미국대학생들과 유사한 정도의 팀워크와 설계능력을 갖추도록 하는 것이 Washington Accord 준수를 위해 필요하다. 이를 위하여 현재와 같이 공학입문설계 등 기초설계과목을 대학 1학년 과정에 개설하여 체계적으로 설계를 수행할 수 있는 훈련을 쌓게 하는 것은 우리나라 대학 신입생들에게 매우 적절한 방안이다. 고교를 갓 졸업한 학생들에게 흥미를 유발시키기 위해서는 이론 강의를 하고 이를 바로 실습하는 형태의 운영이 유리하다는 점에 유의해야 한다.

공학입문설계는 1, 8, 12번을 제외한 모든 학습성과와 관련되어 있다. 공학설계에서 필요로 하는 요소는 ①문제의 정의, ②계획의 수립, ③창의적인 아이디어 창출, ④수학적 모델의 개발, ⑤경제성 분석, ⑥타인과의 의사소통, ⑦학문적인 경험을 공학실습으로 변환이며, 이러한 요소들이 강의에 포함되어 있어야 한다. 창의적인 아이디어를 가지고 공학문제를 해결하는 과정은 다음과 같이 ①문제의 핵심을 간결한 문장으로 표현하는 문제 정의, ②Brainstorming을 통한 수많은 idea 창출, ③정제되지 않은 idea들을 실용적인 idea로 다듬은 후 가장 적합한 idea를 선택하는 idea 분석·평가, ④최종 선택된 idea실행, ⑤문제해결의 다섯 가지 단계로 되어 있다. 이러한 일련의 과정들은 팀활동을 통하여 이루어지며, 팀활동을 잘하기 위해서는 허만의 두뇌우성평가에 의해 팀을 구성하게 하는 것이 유리하다. 아울러 팀활동을 장려하고, 팀원 각자의 구두 및 보고서에 의한 의사소통 능력을 키우기 위해서 매주 팀활동 과제를 하나씩 부여하고, 모든 학생이 적어도 1회 이상 발표하게 하며, 중간



▲ 그림 2 영남대학교 디스플레이화학공학심화프로그램 설계과목 이수체계도.

고사 이후에는 팀 당 설계 term project 하나씩을 부여한다. 학생들의 설계수행능력은 팀활동 과제물과 설계 term project를 합쳐서 60%, 설계에 관한 이론 30%, 출석 10%의 비율로 평가한다. 설계term project는 중간보고서, 최종보고서, 최종구두발표 등을 이용하여 평가하며, 공정성을 기하기 위하여 여러 가지 항목으로 나눈다. 예를 들면 최종보고서는 과제목적의 이해, 정보 수집 및 활용, 논리적 판단, 독창성, 설계완성도, 보고서 완성도의 항목으로 나누어 평가한다. 대부분의 신입생들은 올바른 보고서 형식을 모르기 때문에 학생들에게 보고서 양식을 제공하고, 부록에 회의록을 첨부하도록 하여 과제 진행상황을 점검할 수 있도록 한다. 또한 신입생들은 팀워크를 해 본 경험이 없어서 팀활동에 비협조적인 경우가 많이 있으므로 학기말에 동료평가를 실시한다는 것을 미리 공표하여 모든 팀원이 협동심을 발휘하도록 한다. 의사소통능력의 증진을 위해서는 전문교양과목인 의사소통기술을 개설하여 수강하게 하는 것이 필요하다.

입문설계 수강 이후 종합설계까지는 요소설계 과목들을 매 학기 한 두 개씩 수강하게 함으로써 지속적인 설계훈련을 받도록 하여야 한다. 현재 영남대학교의 각 심화프로그램에서는 12~20설계학점에 해당하는 10~20개의 요소설계과목들을 2~4학년에 배치하여 놓고 있다. 요소설계과목 당 1~2설계학점을 배정하고, 설계학점 1

학점 당 5주의 설계교육을 실시하되, 설계교육 기간에 설계만 교육하는 것이 아니라 해당 과목과 관련된 설계 term project를 내 주고 진척도를 종종 점검하는 등 5주 이상 관리를 하면서 결과를 제출하도록 하는 것이다. 이때 공학입문설계에서 배운 설계기법은 학생들이 요소설계를 수행하는데 매우 유용하게 활용된다. 설계term project 운용방법은 다음과 같다. 먼저 학기 초에 허만의 두뇌우성평가에 따라 4~5명의 팀을 구성하며, 각 과목과 직접적으로 관련되는 요소설계문제 pool을 제시하여 각 팀에서 그 중에서 한 개를 선정하게 하며, 평가방법과 설계과제 운용방법에 대해서 설계기간 중 여러 차례에 걸쳐서 설명하고 진행상황을 점검한다. 설계과제 기간 중에 중간보고서(필요에 따라 중간발표를 포함)를 받고, 과제 종료시에 최종보고서를 받으며, ppt 발표자료를 준비시켜 최종구두발표를 하게 한다. 1설계학점의 경우 설계term project 평가점수를 20%로 하고, 시험문제에 설계 관련 문제 비중이 13~15%에 이르도록 함으로써 과목 내 설계 부분의 총합이 33% 이상이 되도록 한다. 2학점 설계과목의 경우에는 5주 이상의 설계과제 2개를 수행하도록 하거나 수준이 높은 설계term project 1개를 10주 이상 수행하게 하되, 설계term project의 평가점수를 40%로 하고, 시험문제를 포함한 설계부분의 총합이 67% 이상이 되게 한다.

미국의 대학들에서는 통상 10개 이하의 요소설계과

목들을 배치하고 있으나 개방형 문제들을 term project로 내주어 해결하도록 하는 것은 우리와 유사하다. 단지 우리는 입문설계와 종합설계 4~6학점을 포함하여 총 18설계학점을 필수적으로 이수하게 하는 점만이 다를 뿐이다. 영남대학교의 여러 심화프로그램 중에서 디스플레이화학공학심화프로그램의 설계과목 이수체계도는 그림 2와 같다. 1학년의 디스플레이화공기초설계는 입문설계 성격의 요소설계로 운영하고 있다. 또한 원칙적으로 종합설계는 요소설계를 모두 이수하고 나서야 이수해야 하지만, 대부분의 공학 전공에서는 교과과정의 구성 특성상 4학년에 요소설계 과목을 둘 수밖에 없으므로 두 종류의 설계를 병수하도록 하고 있다. 통상적으로 선택 요소설계과목들은 3학년 2학기~4학년 2학기에 많이 개설되어 있으며, 학생들은 이 중에서 6~7개 과목을 이수하면 된다. 앞에서 언급한 바와 같이 화학·기반 전공들에서는 물리 기반 전공에서와 같이 요소설계와 종합설계 중간 단계의 설계전용 과목을 개설하기가 쉽지가 않다. 따라서 화학공학 전공에서는 화공계산(또는 화공양론)을 물질수지설계와 에너지수지설계로 나누고 2학점 설계과목으로 강화함으로써 설계교육의 중간기지(2학년 1~2학기)로 활용하고 있다.

공학입문설계와 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 설계 전용의 종합설계과목을 이수하면 설계능력은 최대화된다. 미국 대학에서는 마지막 학기인 4학년 2학기에 capstone design과목을 개설하고 있지만 국내 대학에서는 학기 당 2~3학점의 OOOO(전공명)공학과제(1)과 (2) 또는 종합설계(1)과 (2)를 2개 학기 연속으로 개설하는데, 이는 여러 가지 여건으로 인하여 한 학기에 집중적으로 시간을 투자하기 힘든 대학생들의 사정을

감안한 결과이다. 영남대학교에서 개설한 종합설계(1)과 (2)는 2학점 다학제간 capstone design과목으로서, 설계과정을 진단하여 교정하여 주는 1학점 clinic과정인 종합설계운용(1)과(2)와 함께 학기 당 3학점으로 운영되거나 단독으로 운영되고 있다.

종합설계과목에서 각 팀은 과제지도교수가 지정한 과제를 수행하거나 자신들이 제안한 과제를 수행할 수 있다. 각 팀의 학생들은 매주 지도교수와 회의통하여 과제의 진척도를 점검받고 향후 추진할 내용을 검토하며, 학기말에는 자기 팀에서 제작한 작품을 발표장에 전시하고 이를 평가받는다. 실제로 만들 수 있는 작품을 만듦으로써 공학계열 학생들은 종합적인 설계과정을 경험하는 기회로 삼을 수 있다. 기타 구두발표, 보고서 평가, 동료평가 등은 입문설계 및 요소설계와 유사하게 진행한다. 단, 중간보고서/설계포트폴리오 50점, 최종보고서 150점, 최종구두발표 100점, 포스터발표 100점의 배점(총 400점)으로 평가하며, 팀 내 기여도를 지도교수와 팀원 스스로 평가하여 학점평점 산정에 활용한다. 담당 교수는 보고서 및 발표를 근거로 하여 창의성, 팀워크, 판단력, 성실성, 설계의 완성도, 발표력, 공학도구 사용능력 등을 종합적으로 평가한다.

이리하여 입문설계-요소설계-종합설계의 단계를 거치는 일련의 설계교육은 앞서 살펴 본 바와 같이 학생들의 공학전문성과 함께 5가지 능력(기술실행력, 기획실천능력, 공학적 접근능력, 인성, 사회경제적 접근능력)을 배양하는데 기여하게 된다. 따라서 종합설계과제의 최종보고서와 최종발표는 프로그램학습성과를 평가하는데 유용한 도구로 활용되고 있다. 이러한 영남대학교의 체계적인 공학설계교육 사례는 설계체계를 구축 중에 있는 전국의 많은 대학들이 체계적인 설계교육시스템을 만드는데 도움이 되길 바란다. 