



## THEME 02

# 캡스톤디자인을 활용한 학습성과 평가

김 정 역 | 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과 조교수 | e-mail : jyk76@seoultech.ac.kr  
 김 성 동 | 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과 부교수 | e-mail : sdkim@seoultech.ac.kr  
 이 희 원 | 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과 교수 | e-mail : fireroot@seoultech.ac.kr

공학교육인증에서 필수 교육요소인 캡스톤디자인은 학생들의 전공교육을 마무리하는 종합설계 교과목이다. 이 글에서는 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과에서 수행하고 있는 캡스톤디자인 교육과 이를 활용한 프로그램 학습성과 평가에 대해서 간략히 소개한다.

### 캡스톤디자인의 특징

1) 캡스톤디자인은 필수교과목이다.

캡스톤디자인은 4학년 1학기과 2학기에 Capstone Design(1)과 CapstoneDesign(2)로 개설되어 있는 교과목이다. 각각 3학점씩 총 6학점의 교과목이며 졸업작품의 진행 및 평가와 연계되어 있다. 졸업작품은 졸업시험을 대신하므로 캡스톤디자인 교과목을 정상적으로 이수하지 못하면 졸업할 수 없다. 교과목의 성적은 설계 수행과정, 결과물, 발표, 보고서, 출석, 전시회 성과 등을 종합적으로 평가하여 부여되며 지도교수뿐만 아니라 학과 교수진과 산업체 인사가 평가에 참여한다.

2) 캡스톤디자인은 졸업작품이다.

캡스톤디자인은 이론뿐만 아니라 실무에도 능한 인력을 양성하기 위한 과정으로 학부 4학년 학생들이 졸업 전에 자기 스스로 작품을 기획, 설계, 제작, 시험하는 일련의 설계 과정을 체험하면서 졸업작품을 완성하게 된다. 이러한 종합설계 교육과정을 통해 학생들에게 강한 자신감을 부여하고 창의적 엔지니어를 양성하는 특성화된 교육 프로그램이다.

3) 캡스톤디자인은 1년 과정의 프로젝트이다.

하나의 팀이 일관된 주제로 졸업작품을 수행해야 하기 때문에 CapstoneDesign(1)과 CapstoneDesign(2)는 원칙적으로 연속된 학기에 이수하여야 한다. 대다수 학생들은 많은 시간을 요하는 제작, 실험 등의 작업을 사실상 여름방학 기간 중에 수행하고 있다. 또한 학생들은 스스로 제작한 프로젝트 결과물 즉 졸업작품을 매년 10월 말에 내부/외부 전시회에 출품하여 '완성의 경험'을 얻는다.

4) 캡스톤디자인은 팀활동이다.

산업계에서 엔지니어의 실무는 팀을 기반으로 하며, 캡스톤디자인은 이를 위한 예비 경험이다. 졸업작품은 팀 활동의 결과물이며 학생 개인은 팀의 일원으로서 필요한 자료를 조사하고, 아이디어를 도출하며 의사를 소통하여 최적의 결정을 이끌어내고, 할당된 업무를 수행한다. 팀원간의 부조화를 해결하고 상충되는 의견을 조정하면서 자신의 견해와 다른 팀원의 의견을 조정하고 최선안을 도출하는 과정도 캡스톤디자인의 한 부분이다. 전형적인 팀원 수는 3~4명이다.



5) 캡스톤디자인은 종합설계과정이다.

설계교육은 정답이 없는 문제(open-ended problem)의 최적해결, 환경적/경제적/윤리적 제약조건의 고려, 의사소통을 통한 팀 활동 등을 포함한다. 캡스톤디자인은 설계교육의 최고 정점에 위치한 종합설계로서 저학년에서 배운 과학 및 전공지식과 이미 경험한 기초설계 및 전공 설계 노하우를 모두 발휘하여 기계를 만들어가는 과정이다. 주어진 문제를 해결하기 위해 습득한 전공지식과 필요에 의해 수집한 정보에 창의력을 더하여 최적의 방향으로 의사를 결정하는 과정이다.

6) 캡스톤디자인은 프로그램 학습성과 평가도구이다.

본 학과는 공학교육인증제에서 요구되는 프로그램 학습성과 평가를 위해 캡스톤디자인, 졸업예정자 설문조사, 산업체 평가, 출구조사, 에세이 평가, 공인성적 등 6개의 평가도구를 사용하고 있다. 13개의 프로그램 학습성과에 대해 26개의 평가가 이루어지는데, 이중 11개의 평가(42.34% 해당)가 캡스톤디자인 교과목 운영과정에서 직접적으로 이루어진다. 또한 매년 실시되는 캡스톤디자인 작품전시회에서 실시되는 졸업예정자 설문조사와 산업체 평가를 통해 8개의 프로그램 학습성과 평가(30.8% 해당)가 간접적으로 이루어진다. 결과적으로 전체 프로그램 학습성과 평가 중 73%에 해당하는 평가가 직간접적으로 캡스톤디자인 운영과정에서 이루어지게 된다.

### 캡스톤디자인 교과 운영 개요

본 학과는 실용연구에 기초한 엔지니어의 양성이라는 특성화 목표를 가지고 있다. 이를 위해 캡스톤디자인 교과목의 목표는 (i) 학생들이 직접 작품의 아이디어를 발상해내고 (ii) 설계, 제작/조립 및 구동까지 수행함으로써 (iii) 제품의 개발단계부터 생산까지의 모

든 과정을 이해하는 것으로, 다음과 같은 구체적인 성과를 추구하고 있다.

- \* 개방형 문제의 이해 및 아이디어 발상력 배양
- \* 실전 문제에 대한 종합설계 경험 습득
- \* 프로젝트의 기획, 운영, 결과 보고 능력 습득
- \* 팀워크 및 의사소통능력 배양
- \* 문제해결을 위한 공학적 도구 연습
- \* 특히, 표준 및 규격의 이해와 활용

캡스톤디자인 팀은 기본적으로 3~4명의 학생들로 구성되며, 학과의 전임 교수 대부분이 참여하고, 교수 일인당 2~4팀을 지도한다. 설계 주제는 지능형 로봇 및 메카트로닉스 시스템 관련 주제로 다음과 같은 6가지 형태로 분류된다.

- \* 산학 협력 주제
- \* 교수 아이디어 주제
- \* 학생 아이디어 주제
- \* 학부 동아리 주제
- \* 국제/국내 경진대회 주제
- \* 연구 논문 주제

교과내용에는 6가지 설계 구성요소(목표설정, 합성, 분석, 제작, 시험, 평가)와 원가, 안정성, 신뢰성, 미학, 윤리성, 사회적 영향 등의 여러 제한 조건들이 포함되며, 캡스톤디자인을 수행하기 위한 설계 교육은 정기 특강과 지도교수와의 정규 미팅을 통하여 이루어진다. 진행 일정에 대해 살펴보면, 겨울방학(12월~2월) 중에 팀 구성 및 과제선정이 미리 수행되며, 3, 4월에 각각 개념 설계와 구체화 설계가 진행된다. 5, 6월에 상세설계와 소요 부품 및 예산 산출이 수행되며 7, 8월에 작품 제작이 수행된다. 9, 10월에 작품 동작 심사 및 개선을 통하여 합격된 작품들이 내부/외부 전시회에 출품되고, 이후, 11월에 최종보고서 제출이 이루어진다. 이 밖에도 학과 조교들의 지원과 학생들의 졸업 작품전 준비위원회가 구성되어 재료비 처리, 연락 업무, 전시회 보조 등을 맡는다.

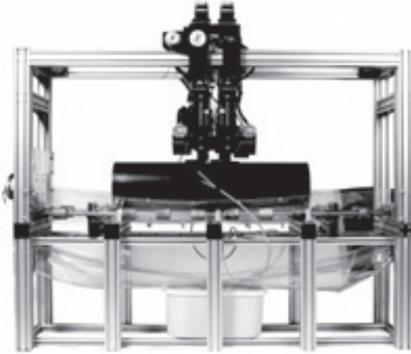
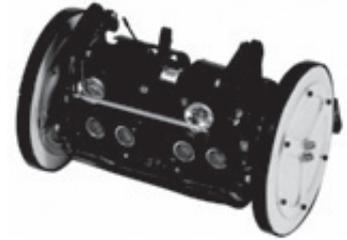


그림 1 초음파 강관검사장치(산학협력)



와이어클리닝로봇(학생아이디어)



소형안전로봇(경진대회)

캡스톤디자인의 공정하고 객관적인 성적평가를 위해 총 5가지 평가 방법이 준비되어 있다. 첫 번째로 학기당 2회의 발표평가가 있는데, 1학기 중에는 설계심사가 진행되며 2학기 중에는 제작심사가 진행된다. 특히, 학기 마지막 발표평가에는 산업체 인사로 구성된 외부 심사위원들이 참여하여 더욱 객관적인 평가가 이루어진다. 두 번째로, 지도교수는 한 달에 두 번씩 정기 면담을 통하여 상시 평가를 시행하는데 이때 개인별 평가가 이루어진다. 세 번째로 지도교수는 학기 말에 중간보고서와 최종보고서를 평가한다. 네 번째로 교내 전시회 기간 중에 출품작에 대해서 동작상태, 전시 태도, 호응도 등을 기준으로 모든 지도교수들이 함께 특별 평가를 한다. 마지막으로, 발표평가 또는 특강시간에 출석 평가를 시행한다. 참고로, 그림 1은 캡스톤디자인으로 제작된 작품을 예로 보여준다.

### 최근캡스톤디자인 내역 및 학부의 정책

최근 2008년부터 2011년까지의 캡스톤디자인의 수행 규모, 팀의 구성, 주요 성과를 정리하면 아래 그림과 같다.매년 140~150명의 학생들로 40개 내외의 캡스톤디자인 팀이 구성되며, 다양한 주제의 작품이 제작된다. 각종 설계 경진대회 입상건수는 매년 10~20건을 유지하고 있고, 10건 내외의 특허출원, 논

문게재 등의 실적을 올리고 있어 대외적으로 작품의 수준과 효용성 등을 인정받고 있다. 특히, 산학 연계 작품이 꾸준히 10건 내외로 유지되고 있어, 캡스톤디자인이 산학 협력에도 중요한 역할을 하고 있다고 할 수 있다.

캡스톤디자인 주제에 대한 현재의 학부 방침은 다음으로 요약될 수 있다.

#### 1) 우량기업과의 산학과제를 가능한 확대한다

지속적으로 새로운 과제가 공급되고, 현실적 문제와 만나게 해주며, 산업체 교류가 확대되는 등 긍정적 영향이 크고 산학협력 기반의 학부 발전 전략과 맥을 같이 하기 때문이다.

#### 2) 경진대회 작품 비율은 일정하게 유지한다

완성도가 높고 학생의 참여동기 유발이 강하며 학교 지명도 향상에 긍정적이다. 하지만 공학적 지식을 적용하고 창의력을 폭넓게 발휘하는 측면에서 제한점이 있다. 전체 작품수의 20~30% 정도로 비율을 유지한다.

### 캡스톤디자인을 이용한 프로그램 학습성과 평가의 효용성

프로그램 학습성과 평가의 효율성은 평가가 얼마나



그림 2 최근 4년 간 캡스톤디자인 수행 내역

적은 비용으로 수월하게 이루어지는가 하는 관점에서 생각될 수 있다. 우선 캡스톤디자인 교과목을 통한 프로그램 학습성과 평가는 구성원 모두에게 참여 동기를 제공한다. 4학년 1, 2학기에 걸쳐 각각 3학점씩 6학점의 적지 않은 학점을 부여 받게 되며 특히 졸업 자격 시험을 대체하는 성격을 가지고 있으므로 이 교과목에 상당한 비중을 느끼고 있다. 1994년 이후부터 꾸준히 지속되는 교과목이고 매년 전시회에 참여해온 전력을 알고 있는 학생들은 캡스톤디자인 교과목의 이수과정을 학부의 문화이자 졸업의 당연한 절차로 여기고 있으며, 이에서 얻을 수 있는 엔지니어로서의 예비 경험이 취업과 사회생활에 도움을 준다고 생각하고 있다. 따라서 학생들은 여름방학 기간 중에 진행되는 제작심사 일정에도 기꺼이 참여하며, 좋은 작품을 만들어 전시회에 출품함으로써 완성의 보람을 얻고자 하는 적극적 동기를 가지고 있다. 이러한 자기주도 학습에의 참여 경험은 학과 내에 진행되는 다른 어떤 활

동에서 보다 소중한 것으로 생각되고 있다.

두 번째로 캡스톤디자인 교과목을 통한 프로그램 학습성과 평가는 교과목의 성적 평가 작업을 진행하는 과정에서 이루어지므로 구성원 모두에게 익숙하며 따라서 추가의 노력이 크게 요구되지 않는다는 면에서 효율적이다. 캡스톤디자인 교과목의 성적 평가 방식은 표준화된 심사항목으로 구성된 심사서식에 의해 이뤄지고 모든 심사항목은 프로그램 학습성과와 연관되어 있다. 즉, 평가 교수가 교과목에 대한 평가를 수행하면 이것이 자동으로 프로그램 학습성과의 평가결과에 반영된다. 교수나 학생의 입장에서는 매우 익숙한 과정이며 추가의 시간이나 노력을 요구하지 않는다.

세 번째로 캡스톤디자인 교과목을 통한 프로그램 학습성과 평가는 소프트스킬에 관한 적절한 평가도구를 손쉽게 제공해 준다는 면에서 효율적이다. 소프트스킬은 전문교양 교과목을 통해 함양되는 부분이 적

지 않으나 대부분의 교양교과목은 프로그램 외부의 교수들에 의해 진행되고 저학년이 집중되어 있으므로 소프트스킬 관련 프로그램 학습성과의 배양과 평가가 쉽지 않은 것이 현실이다. 캡스톤디자인 교과목은 폭넓은 팀활동을 요구하므로 이를 배양하고 평가하는 기회를 제공해 준다. 4회에 걸쳐 실시되는 발표평가는 구두 발표와 작품 설명을 포함하고 있고 지도교수와 의 면담지도를 통해서도 의사소통 능력의 배양과 평가 진행된다. 또 소프트스킬 관련 프로그램 학습성과의 평가를 위해 작성되는 에세이, 보고서, 출구조사는 캡스톤디자인 교과목을 통해 수월하게 진행될 수 있다.

이상과 같이 구성원에게 참여 동기를 부여하고 있고 익숙한 교과평가의 과정에 포함되어 있으며 소프트스킬에 대한 평가 기회를 제공해 준다는 점에서 캡스톤디자인 교과목을 통한 프로그램 학습성과 평가는 충분히 효율성을 가지고 있다.

## 캡스톤디자인의 지속가능성

캡스톤디자인의 지속 가능한 조건으로 다음 6가지 요건을 꼽을 수 있다.

- \* 엔지니어링 과정의 강화
- \* 시설지원 및 인력의 투자
- \* 공학교육인증제와의 연계
- \* 산업체의 참여
- \* 학생중심의 운영
- \* 교수의 참여를 이끌어낼 수 있는 리더십

본 학과의 경우, 오랜 기간의 캡스톤디자인 교과목 운영경험을 통해 위의 6개 항목과 관련된 기반이 어느 정도 갖추어져 있고 해를 거듭하며 산업체 과제의 확대, 해외교류 확대, 평가 시스템 정비 등의 개선을 이루어가고 있다. 향후 보다 지속 가능한 체제로 발전하려면 엔지니어링 과정을 더욱 강화하고 스튜디오 강의실과 실습실 등의 시설과 지원 인력의 보강이 필요하다.



### 기계용어해설

#### 탭 볼트(Tap Bolt)

죄려고 하는 부분이 두껍거나, 또는 관통 볼트의 머리가 숨겨져서 죄기 곤란할 때 상대방에 직접 암나사를 깎아 너트 없이 죄서 체결하는 볼트.

#### 심(Seam)

열간압연에서 재료 표면에 기재의 흠이 있거나 재료의 변형능이 나쁠 경우에 발생하는 나뭇잎모양, 지느러미모양, 주름모양의 흠집.

#### 심 용접(Seam Welding)

용접부를 겹치거나 맞대어 붙인 후, 전극을 이루는 한 쌍의 롤러 사이에 삽입하고 롤러의 회전으로 접합선에 따라서 연속적으로 용접하는 방법.

#### 심 용접기(Seam Welder)

롤러 전극에 의하여 용접물을 그 사이에 끼운 채로 연속적으로 용접하는 것으로, 심 용접에 쓰이는 용접기.

#### 자연균열(Season Crack)

주물의 구조변형, 상온가공에 의한 변형, 열처리에 의한 내부변형 등으로 인하여 시일이 경과함에 따라 균열이 생기는 것.

#### 시컨트 계수(Secant Modulus)

응력-변형 선도에서 응력과 변형이 직선관계에 있지 않는 경우, 즉 후의 법칙이 성립하지 않는 경우에도 공학적 실용상의 관점에서  $E_1 = \sigma_1 / \epsilon_1 = QP / OQ = \tan \alpha$ 로 놓을 때,  $E_1$ 을 P점에서의 시컨트 계수라고 함.