

# 외국 대학의 캡스톤 디자인 (Capstone Design) 교육

■ 임 동 진 / 한양대학교 전자컴퓨터공학과 교수

### 머리말

몇 년 전부터 캡스톤 디자인은 공학 교육에 있어서 가장 중요한 주제 중의 하나가 되었다. 캡스톤 디자인은 기존의 전통적인 교과목과는 다른 형식을 가진 교육 형태로서, 학생들이 미리 준비된 교과 내용에 따라서 수동적으로 교육을 받는 대신 능동적인 형태로 교육 과정에 참여하여 교육을 받도록 하는 교육 형태이다. 공학 교육을 담당하는 국내의 많은 대학들이 캡스톤 디자인을 교과 과정에 도입하게 되었고, 여러 가지 형태의 캡스톤 디자인 과목들이 생겨나고 있다. 캡스톤 디자인이 도입되기 이전에도 졸업 논문 혹은 졸업 프로젝트와 같은 형태로 이와 유사한 형태의 교육 방법이 있었지만 정규 교과목의 형태로 거론되기 시작한 것은 비교적 최근의 경향이라고 할 수 있다.

특히, 많은 대학에서 공학 교육 인증(ABEEK)에 대한 관심을 가지기 시작한 이후로 캡스톤 디자인에 대한 관심은 더욱 커지고 있다. 공학 교육 인증에서 중요하게 여기는 것은 대학에서 무엇을 가르쳤는가 하는 것이 아니라, 대학을 졸업한 졸업생들이 무엇을 할 줄 아는가 이므로, 과거와 같은 수동적 형태의 교육 보다는 학생들의 능동적 참여가 요구되는 교육 형태가 필요하게 되었다. 또한, 학생들이 실제로 활용할 수 있는 지식을 배우기 위해서는 캡스톤 디자인과 같은 형태의 교육이 더욱 필요하게 되었다.

공학 인증과 관련하여 캡스톤 디자인에 관심을 갖게 되는 또 다른 이유로는 캡스톤 디자인이 공학 인증에 필요한 학습 성과(Outcome)의 측정 도구(Assessment Tool)로 사용될 수 있기 때문이다. 공학 인증의 학습

성과들 중에서 많은 것들이 기존 형태의 교과목으로도 달성하고 측정이 가능하기는 하지만, 그러나 그것들 만으로는 부족하다. 따라서 여러 가지의 학습 성과를 달성하고 측정하기 위해서는 기존의 교과목들과는 다른 형태의 교과목이 필요하게 되고, 캡스톤 디자인 형태의 교과목이 그러한 목적을 달성할 수 있는 좋은 도구로 사용될 수 있다. 따라서, 현재 많은 대학들에서 캡스톤 디자인을 공학 인증을 위한 학습 성과 달성과 측정을 위한 도구로서 채용하고 있는 추세이다.

그런데, 캡스톤 디자인이 이와 같이 공학 교육에서 중요한 자리를 차지하고 관심을 끌고 있지만, 캡스톤 디자인에 대한 정확한 정의나 갖추어야 할 요소, 필요 조건 등에 대해서는 아직 명확하게 정리되고 있지 않은 상황이다. 필자가 소속되어 있는 대학에서도 최근 캡스톤 디자인 과목을 운영하고 있기는 하지만 과거에 시행해 오던 졸업 논문이나 졸업 작품을 교과목의 틀에 집어넣었다는 사실 이외에는 특별한 점이 없는 것이 사실이다. 보다 체계적인 교육을 위해서는 캡스톤 디자인에 관한 심도 있는 연구와 다양한 형태의 시도가 필요할 것으로 사료되며 현재 많은 대학에서 이와 같은 시도를 하고 있는 것으로 알고 있다. 이 글에서는 이와 같은 시도에 다소나마 도움을 주기 위해서 외국 대학에서 시도되고 있는 캡스톤 디자인의 형태들에 대해서 소개를 해보기로 한다. 다만 아직 충분한 자료의 수집이 안된 이유로 인하여, 대부분 미국 대학에 대한 자료를 중심으로 소개를 한 점에 대해서는 독자의 양해를 구한다. 사실, 우리나라의 공학 인증이 미국의 공학 인증(ABET)의 모델을 많이 도입하고 있고, 공학 인증을 위하여 캡스톤 디자인을 도입하게 된 것도 미국 대학들의 움직임에 영향을 많이 받은 것이라고 할 수

있다. 따라서, 캡스톤 디자인에 관한 자료에 있어서도 미국 대학들의 자료가 입수가 수월한 것이 사실이다. 미국을 제외한 다른 나라의 경우에 대해서는 좀더 많은 자료가 수집된 후 다음 기회에 소개해 볼 계획이다.

### 캡스톤 디자인 교육 사례

미국 대학들에서 시행되고 있는 캡스톤 디자인 과목의 형태는 크게 나누어서 두 가지 형태가 있다. 첫 번째 형태는 현재 국내의 많은 대학에서 졸업 작품의 형태로 실행하고 있는 것과 유사한 형태로서 학생들이 몇 명씩 팀을 조직하고 지도 교수를 정한 후 주제를 각각 선정해서 실행하는 형태이다. 즉, 캡스톤 디자인을 수행하는 학생들이 서로 다른 주제로 수행한다. 두 번째 형태는 모든 학생들에게 같은 주제를 부여하여 수행하도록 하는 형태이다. 이 경우에는 같은 주제와 같은 목표를 주고, 종료 시에는 모든 학생들이 경쟁할 수 있는 경기 대회를 열어서 경기 결과에 따른 평가를 실시하기도 한다. 이 형태는 다시 두 가지 형태로 나눌 수 있는데, 그 중 한가지는 주제와 목적은 동일하게 주되 제작을 위한 플랫폼(platform)은 학생들이 자유롭게 선정하도록 하는 형태이다. 즉, 설계 도구이나 부품들에 대해서는 제약을 두지 않고 비교적 자유롭게 정하여 실시한다. 또 다른 형태는 주제, 목적 이외에 플랫폼(platform)까지 지정을 하여 실시하는 형태이다. 주로 경기 대회를 실시하여 평가하는 경우에는 학생들이 유사한 여건에서 경쟁하도록 하기 위하여 설계 도구 부품 등을 미리 결정해 주는 형태이다. 아래에서는 위에서 나열한 각각의 캡스톤 디자인을 채택한 대학들의 경험들을 소개하고 그 특징과 장단점들을 알아본다.

미국의 디트로이트 머시 대학(University of Detroit Mercy, Detroit)에서는 캡스톤 디자인 과목을 15년 이상 운영해 오고 있으며, 그 운영 형태를 5년 주기로 바꾸며 개선해온 경험을 참고 문헌 [1]에서 보고하고 있다. 이 대학에서는 캡스톤 디자인 도입의 처음 5년간은 학생들이 서로 다른 주제를 선정하여 수행하는 형태를 취하였다. 지도할 교수들에게 지도 가능한 주제 목록을 제시하도록 하고, 학생들은 팀을 구성하고 교수들에 의해서 제시된 주제를 이해하고 필요한 내용을 파악한 후 자신들이 가장 관심이 있고 적절한 주제를 선택하고 지도 교수를 선정 하였다. 그러면, 이후에 각

지도 교수의 지도에 따라서 학생들 팀은 과제를 수행해 나간다. 이와 같은 형태는 현재 국내에서도 가장 많은 대학이 채택하고 있는 형태라고 사료된다. 참고 문헌 [1]에서 소개된 이와 같은 형태의 장점과 단점을 아래에 나열해 보기로 한다. 먼저 단점들은 다음과 같다. 1) 프로젝트의 난이도가 서로 다르므로 학생들을 평가하는 방법에 있어서 공정한 방법을 찾기가 어렵다. 2) 교수들이 제시한 주제들에 대해서 학생들의 선호도에 차이가 있을 수 있다. 예를 들면 어떤 교수는 학생들이 채택하기를 꺼리는 지나치게 이론적인 주제를 주로 제시하기도 한다. 또한, 반대로 어떤 교수의 주제는 학생들의 선호도가 높아서 지나치게 많은 학생들이 선택하기도 한다. 3) 교수들의 지도 방법이 모두 다르므로 학생 지도의 품질에 많은 차이가 있을 수 있다. 4) 학생들을 지도하기 위한 정규 강의가 없으므로 학생들의 과제 진행 방법이나 설계 방법이 다소 조악해 질 가능성이 있다. 반면, 장점들은 다음과 같다. 1) 학생들이 자신들이 하고 싶은 주제를 선택하게 되므로 많은 노력을 자발적으로 하기 위한 동기 부여가 가능하며, 따라서 의외의 좋은 결과를 얻는 경우도 있다. 2) 창의적이고 흥미로운 새로운 주제의 발굴이 가능하다. 다음으로, 위에서 열거한 문제점 들을 개선하기 위해서 다음의 5년간은 모든 학생들이 한 개의 동일한 주제를 수행하도록 하였다. 먼저 가능한 주제 목록을 파악한 후, 최종 주제를 선정하기 위한 교수 회의를 통해서 가장 적합한 주제를 선정하도록 하였다. 이 과정에서 비현실적인 주제는 배제하였고 현실성을 제고하기 위하여 산업계의 의견을 반영하였다. 또한 각 지도 교수들의 지도 방법과 학생들과 모임 회수 등도 규정하여 지도 방법의 일관성을 유지하도록 하였다. 이와 같은 방법은 학생들이 동일한 주제를 채택하여 진행하므로 학생들간에 자연스럽게 서로 경쟁하는 분위기가 형성되기도 한다. 또한, 이 대학에서는 가장 최근의 5년간은 AGV(Autonomous Guided Vehicle) 형태의 주제를 선정하여 수행하고 있다. AGV는 전기, 전자, 컴퓨터에 관련된 기술이 복합적으로 적용이 되고 다양한 형태의 요구 사항을 만족하도록 제작이 가능하므로 캡스톤 디자인을 위한 공동 주제로서 비교적 적합하다. 컴퓨터 비전, 제어, 전력 전자, 마이크로프로세서 기술, 알고리즘 등 다양한 종류의 기술이 필요한 복합적인 주제이므로 학생들의 교육을 위한 캡스톤 디자인의 적절한 주제라고 할 수 있다.

## 국내외 전기공학교육

성공적인 캡스톤 디자인 교과목을 운영하는데 필요한 요소는 기술적인 요소만이 아니다. 기존 교과목에서는 강의를 담당한 교수가 미리 설계한 교육 내용을 학생들이 수동적으로 따라가면 되지만, 캡스톤 디자인 과목에서는 학생들이 스스로 운영해 나가는 요소가 많다. 따라서 성공적인 캡스톤 디자인 교과목의 수행을 위해서는 프로젝트 운영과 관리에 대한 기법을 체계적으로 교육하는 것도 중요하다. 미국의 텍사스 A&M 대학(Texas A&M University-Corpus Christi)에서는 캡스톤 디자인 과목과 연계하여 프로젝트 관리에 관한 교과목을 함께 운영하고 있다[2]. 캡스톤 디자인 교과목을 수행하기 전에, 학생들은 프로젝트 관리에 관한 교과목을 수강한다. 이 과목에서는 프로젝트에 관련하여 공학 경제, 관리 기법, 스케줄 기법 등의 일반적인 내용을 학습한 후, 캡스톤 디자인을 위한 주제 선정과 프로젝트 수행을 위한 각종 사전 작업들을 수행한다. 이 과목에서 준비 작업을 한 후, 캡스톤 디자인 과목에서 실제 프로젝트를 수행하게 된다. 공동 주제가 아닌 개별 주제로 캡스톤 디자인을 진행할 때에 발생할 수 있는 문제점들이 발생하지 않도록 하기 위하여, 주제 선정에서 시작하여 진행 과정에 관한 각종 규정들과 작성 문서들을 정하여 시행하고 있다. 비교적 기술적 내용에 치중한 국내 대학들의 캡스톤 디자인 교과목을 개선하기 위해서 참고할 만한 내용이라고 사료된다.

캡스톤 디자인을 위한 주제로서 AGV를 앞에서 언급한 바 있다. 이와 같은 종류의 주제는 자율 주행 로봇을 포함하여 대단히 다양한 형태로 캡스톤 디자인 주제로 채택이 가능하다. 자율 주행 로봇을 주제로 채택한 가장 유명한 교과목은 미국 매사추세츠 공과 대학(MIT)의 6.270 Autonomous Robot Design Competition 이다[3]. 1987년 처음 시도된 이래로 매년 로봇 관련 다른 주제를 채택하여 운영하고 있으며, 그 내용과 운영 방법은 많은 대학들의 벤치마킹 대상이 되고 있다. 이 과목에서는 학생들이 해결해야 하는 주제가 주어지며, 설계 제작을 위한 플랫폼이 비교적 구체적으로 제시되고 있다. 이와 같은 상황에서 학생들은 자신들이 제작한 로봇을 이용하여 경기에 참가하게 된다. 이 교과목의 홈페이지를 통하여 그 동안 실시해 온 내용들의 비교적 구체적인 내용들을 얻는 것이 가능하므로 이와 유사한 교과목을 설계할 경우 많은 참고가 될 수 있다. 이외에도 캡스톤 디자인의 주제로서

AGV 혹은 자율 이동 로봇의 유용성은 많은 참고 문헌에서 보고되고 있다. 예를 들면 소방 이동 로봇을 캡스톤 디자인 주제로 선정한 예에 대한 보고는 참고 문헌 [4]에서 볼 수 있다. 또한 우리나라에서도 시행되고 있는 로봇 축구 대회가 학부 학생들의 교육에 어떻게 적용될 수 있는지에 대한 보고도 참고 문헌 [5]에서 찾아볼 수 있다. 참고 문헌 [6]은 FPGA를 이용한 자율 이동 로봇을 주제로 선정한 예를 보여준다.

자율 이동 로봇과 같이 복합적인 기술이 필요한 주제 이외에도 특정 분야의 교육을 위한 캡스톤 디자인 교과목도 있을 수 있다. 미국의 워싱턴 대학(Washington University, St. Louis)에서는 컴퓨터 공학의 캡스톤 디자인 설계 과목을 운영하고 있다 [7]. 이 과목은 4학년 학생들을 대상으로 한 디지털 컴퓨터에 관한 교과목으로서 VHDL과 FPGA를 이용하여 8 비트 마이크로 프로세서를 설계하는 교과목이다. 3명이 학생들이 한 팀을 이루어 작업을 수행하며, 학생들이 만들어야 하는 마이크로프로세서의 규격이 주어진다. 교과목의 전반부에서는 VHDL에 대한 교육과 설계 방법에 대한 교육이 실시되며, 이 내용을 바탕으로 하여 학생들은 각 팀 별로 설계를 실시한다. 최종적으로 설계가 완성되면 마이크로프로세서로서 규격대로 동작하는지 확인하게 된다. 이와 같은 교과목은 자유 주제를 선정하여 수행하는 캡스톤 디자인의 형태는 아니지만, 학생들이 학습한 지식을 자신들의 설계 과정에 적용하는 훈련을 하게 된다는 점에서 캡스톤 디자인 교과목의 범주에 넣을 수 있다.

일반적으로 캡스톤 디자인은 고학년 학생들을 대상으로 실시하게 되지만, 저학년 학생들을 대상으로 캡스톤 디자인을 실시한 예도 있다. 미국 덴버 대학(University of Denver, Denver)에서는 2학년 학생들을 대상으로 자동 데이터 취득(Automatic Data Acquisition)을 주제로 하여 캡스톤 디자인 과목을 운영하고 있다 [8]. 이 과목은 전공에 관계 없이 공학을 전공하는 학생들을 대상으로 하고 있으며, 기초 회로, 기초 역학, 기초 프로그래밍 등의 지식을 종합적으로 활용할 수 있는 실험 과제들을 수행한다. 컴퓨터를 이용하여 자동 계측을 위한 프로그램을 작성하고 컴퓨터 프로그램을 이용한 데이터 분석 등의 실험과 스트레인 게이지와 온도 센서 등을 이용한 각종 실습을 수행한다. 따라서, 위에서 언급된 캡스톤 디자인 과목들에 비해서는 전통적인 실습 교과목의 성격이 강한 과목이지

만, 이전에 습득한 지식들을 종합적으로 활용하여 실습을 수행한다는 면에서는 캡스톤 디자인의 범주에 포함된다고 할 수 있다. 또한 저학년 학생들을 대상으로 이와 같은 교과목을 설계할 경우에는, 활용 가능한 학생들의 지식이 제한적이므로 이와 같은 형태의 교과목이 합리적인 형태라고 할 수 있다.

### 맺는말

이상에서 살펴본 캡스톤 디자인의 과목들을 보면, 앞에서 언급한 대로 주제 선정 방법에 따라서 두 가지 형태로 볼 수 있다. 즉, 학생들이 팀 별로 서로 다른 주제를 선정하는 개별 주제에 의한 운영 방법과, 모든 학생들이 지정된 주제를 수행하는 운영 방법의 두 가지이다. 이 각각의 방법들에 대한 장단점을 요약해 보면 표 1과 같다. 현재 국내 대학들에서 통용되는 캡스톤 디자인의 개념은 대체로 개별 주제에 의한 운영 방법에 치우쳐 있다고 볼 수 있다. 현재 필자가 소속된 대학에서도 그렇게 운영하고 있으며, 또한 전국 규모로 운영되는 캡스톤 디자인 경진 대회 등의 평가 내용에서도 학생들의 창의성에 무게를 두어 기발한 아이디어를 이용한 작품들이 좋은 성적을 받도록 되어있다. 또한 대학들에게는 이와 같은 경진 대회의 입상 성적의 학교의 홍보에 좋은 효과를 내게 되므로, 캡스톤 디자인의 운영에 있어서도 가급적 창의적이고 독창적인 내용을 강조하는 방향으로 운영되고 있다. 그러나, 교육적인 측면에서 본다면 그러한 방향이 반드시 바람직하다고 볼 수는 없다. 위에서 살펴본 미국 대학들의 시행 착오를 거치며 개선한 예에서 볼 수 있듯이, 자유 주제를 대상으로 하기 보다는, 면밀히 검토하고 검증된 공동 주제를 가지고 비교적 짜인 틀 내에서 운영하는 것이 교육적으로 효과가 더 있을 수 있는 것이다.

앞으로 국내 대학들의 과제는 국내 산업계의 실정과 국내 대학들의 실정 등을 고려하여 한국적 실정에 맞

표 1 캡스톤 디자인 주제 선정 방법에 따른 장단점

구분	개별 주제(자유 주제)	공동 주제(지정 주제)
장점	· 창의적 주제 발굴 가능 · 학생들 선호도 반영	· 난이도 조절 용이 · 교육 내용 조절 가능 · 관리 일관성 유지
단점	· 주제별 난이도 조절 어려움 · 교육 내용 조절 어려움 · 관리 어려움	· 다양성 부족

는 캡스톤 디자인 교육의 바람직한 형태를 개발해 나가는 것이다. 이를 위하여 선진국 대학들의 유사한 교육 방법들을 벤치마킹하고 국내 대학들의 성공 사례들을 교환하여 우수한 사례들을 발굴해 나가야 할 것이다. 물론 국내 대학들의 현재 상황들을 보면 쉽지 않은 상황이다. 위에서 예를 든 미국 메사추세츠 공과 대학의 6,270 과목의 운영을 보면 담당 교수 이외에 전문 스태프들이 보조를 하며 또한 기업체들의 지원을 받는 것을 알 수 있다. 이에 비하여 국내 대학들은 거의 모든 운영의 책임을 담당 교수가 책임을 지게 되므로 교수의 부담이 가중되어 품질 높은 관리를 기대하기가 어려운 현실이다. 따라서, 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 교육을 담당하고 있는 교수들의 노력뿐 아니라 대학 당국과 산업계의 지원도 필수적인 요소로 필요할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] Paulik, M.J.; Krishnan, M., "A competition-motivated capstone design course: the result of a fifteen-year evolution," IEEE Trans. Educ., vol. 44, no. 1, pp. 67-75, Feb. 2001.
- [2] Bachnak, R., "An Approach for Successful Capstone Design Project," Proc. of 35th ASEE/IEEE Frontiers of Education Conference, Oct. 2005, pp. 18-22.
- [3] <http://web.mit.edu/6.270/>
- [4] Pack, D.J.; Avanzato, R.; Ahlgren, D.J.; Verner, I.M., "Fire-fighting mobile robotics and interdisciplinary design-comparative perspectives," IEEE Trans. Educ., vol. 47, no. 3, pp. 369-376, Aug. 2004.
- [5] Archibald, J.K.; Beard R.W., "Robot Soccer for Undergraduate Students," IEEE Robotics & Automation Magazine, March 2004, pp.70-75.
- [6] Jackson, D.J.; Ricks, K.G., "FPGA-based autonomous vehicle competitions in a capstone design course," Proc. of 2005 IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education, June 2005, pp. 9 - 10
- [7] Richard, W.D.; Taylor, D.E.; Zar, D.M., "A capstone computer engineering design course," IEEE Trans. Educ., vol. 42, no. 4, pp. 288-294, Nov. 1999.
- [8] DeLyser, R.R.; Quine, R.W.; Rullkoetter, P.J.; Armentrout, D.L., "A sophomore capstone course in measurement and automated data acquisition," IEEE Trans. Educ., vol. 47, no. 4, pp. 453-458, Nov. 2004.