

해상풍력발전 캡스톤 디자인 사례 연구

우진호 · 나원배[†]

(부경대학교)

A Capstone Design Case Study for Offshore Wind Power

Jinho WOO · Won-Bae NA[†]

(Pukyong National University)

Abstract

A capstone design is regarded as one of cap courses in undergraduate engineering education because it requires most prerequisites and makes students experience real engineering design processes. There have been case studies to show how this subject should be organized, practiced, and optimized. This study shows one of the case studies by focusing offshore wind power, one of newly recognized renewable energy resources, especially targeting for the design of wind turbine foundation and submarine power cable protectors mainly because of current energy and global warming crisis. To pinpoint engineering design, the students' activities during the project and design procedures are monitored, evaluated, and recommended; hence, core factors are addressed to develop successful aim, theory, practice, and other necessities. These factors include creative problem solving abilities; recognition of engineering curriculum; selection of project theme based on significance, ripple effect, and education purpose; team organization by the full brain model; systematization of project process; realization of engineering design; and synthesis of evaluation. In the end, the aftermath and future works are discussed.

Key words : Capstone design, Offshore wind power, Creative thinking, Engineering design

I. 서론

현재 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지 개발은 교토의정서에 참여한 191개 국가 에너지 정책의 주요 뼈대가 되고 있다. 교토의정서가 이산화탄소 배출량을 감소해야 한다는 국가 간의 동의와 협력을 표현한다면 주요 생산국의 정치, 외교적인 갈등과 자원패권주의는 국가 에너지 정책의 변화를 요구한다. 즉, 안전하고 지속가능한 에너지원을 확보할 수 있는 국가 정책이 필요하며, 이를 뒷받침하는 기술적, 외교적 지원이 필요

하다.

이와 같은 관점에서 신재생에너지의 개발이 시급하며 우리나라와 같이 화석연료를 수입에 전적으로 의존하는 국가는 대체에너지원의 개발이 더욱 절실한 실정이다. 따라서 해양자원 및 공간 개발에 종사할 인재를 양성하는 '해양공학과'의 교과 내용도 해양에너지의 개발 또는 이용에 초점을 맞추고 있다.

공학교육 과정에서 '캡스톤 디자인(capstone design)'의 중요성이 날로 강조되고 있다. 캡스톤 디자인은 머릿돌, 갯돌을 의미하는 캡스톤과 디

[†] Corresponding author : 051-629-6588, wna@pknu.ac.kr

자인의 합성어로서 대학교육 과정을 마무리하는 종합 설계 과정을 의미한다(박수홍 등, 2008; 이재열 등, 2005). 현재 다양한 캡스톤 디자인의 개념 및 사례가 소개되고 있는데(박수홍 등, 2008; Carmen, 2012; Gruenther et al., 2009; Thompson & Consi, 2007; Thompson, 2010), 기본적으로 이들 사례는 창의적 문제해결과 공학설계 접근법에 근거를 두고 있다(김은길 등, 2011; 김두규·박수홍, 2012; Agboola et al., 2012; Flores et al., 2012). 여기서 주목할 것은 ‘캡스톤 디자인’이 공과대학의 기계, 전기, 전자공학 관련 학과에 특히 치중되어 있다는 것이다. 이는 이들 학과들이 공학인증제를 시행하고 있고 비교적 산학협력을 통한 설계 및 제작 교육이 용이하기 때문일 것이다.

캡스톤 디자인에서 다양한 교수설계모형이 제시될 수 있다. 교수설계모형이란 교수가 설계 활동의 이해를 촉진시키면서 학생들의 설계활동을 보다 체계적으로 수행할 수 있도록 하는 지침 또는 수단으로 간략히 정의될 수 있다(박수홍 등, 2008; Dondlinger & Wilson, 2012). 달리 말하면 캡스톤 디자인은 실행을 통한 학습(learning by doing) 교육방법으로써 문제중심학습, 프로젝트 기반학습, 창의적문제해결, 목적중심 행위학습과 함께 창의적이고 자기주도적이며 개방된 인재양성의 도구로 사용된다. 따라서 교수설계모형을 개발하기 위해서는 선행연구의 분석, 일반적인 상식, 실제적인 경험(자기 반성 및 성찰), 이론가의 직관이 사용될 수 있다(박수홍 등, 2008).

본 논문은 부경대학교 해양공학과 4학년 과목으로 처음 개설된 ‘캡스톤 디자인’ 과목의 구성과 프로젝트, 그리고 이들 프로젝트를 수행하는 단계에서 발생한 다양한 기술적인 문제점을 거론하고 이를 해결하는 방법을 제안하고 있다. 특히, 기존에 제시된 교수설계모형을 근간으로 구성된 캡스톤 디자인 모형을 현장에서 적용하고 이를 통해 획득한 경험적 사례를 제시하고 있다. 여기서 주목할 것은 캡스톤 디자인의 주제는 앞서 기

술한 해양에너지의 개발 또는 이용에 국한하였다는 것이다. 이와 같은 제한성은 학생들의 문제정의 훈련기회를 좁히는 단점이 있는 반면에 제한된 주제와 관련된 의도된 교육적 효과를 극대화할 수 있다는 장점이 있다. 이와 같은 학생들의 자율성을 제한함으로써 발생할 수 있는 ‘흥미 및 주도성 결여’는 선정된 주제의 ‘시급성’을 ‘총체적’으로 설명함으로써 극복될 수 있을 것이다. 여기서 ‘시급성’과 ‘총체적’의 의미는 사회, 경제, 경영, 정책 등을 총괄하는 시급성을 의미한다. 즉, 주제의 사회, 경제, 경영, 정책적 중요성을 강조함으로써 학생들의 흥미를 유발하는 것이다. 이와 같은 방법은 기술 훈련만이 문제 해결의 방법이라는 오류를 사전에 방지한다(김유신 등, 2012). 따라서 본 논문에서는 앞서 설명한 신재생 해양에너지의 개발의 시급성과 요소 기술들을 먼저 발췌하여 나타내었다. 다음으로, 캡스톤 디자인의 과목구성, 주제선정, 강의내용을 소개하고, 팀 구성, 프로젝트 수행, 공학설계, 프로젝트 평가로 이어지는 팀 프로젝트 수행방법을 제안하였다. 마지막으로, 문제점 및 해결방안을 제시하였다.

II. 해상풍력발전

1. 글로벌 현황 및 추세

2012년 7월 24일 기준으로 화석연료인 석유, 석탄, 천연가스가 세계에너지 생산에 차지하는 비중은 각각 32.2%, 30.6%, 23.7%로서 세계에너지생산의 86.5%를 차지한다. 나머지 13.5%는 수력발전(6.4%), 원자력발전(5.1%), 풍력발전(1.2%) 등으로 구성된다. 원자력발전이 비재생에너지라는 점을 고려하면 비재생에너지가 에너지생산에 차지하는 비중은 91.6%로서 여전히 재생에너지의 비중이 미비함을 알 수 있다(Oil Price, 2012). 물론 전력생산만을 고려하면 원자력과 수력 발전량의 비중은 상대적으로 높아지고, REN21(2011) 보고서처럼 재생에너지가 에너지 생산에 차지하는

비중(16%)이 다소 상이한 통계자료도 존재한다.

국가별 세계에너지 소비는 중국(20.3%), 미국(19.0%), 러시아(5.8%), 인도(4.4%), 일본(4.2%) 등의 순서이며, 이산화탄소 배출은 중국(25.2%), 미국(18.5%), 인도(5.1%), 러시아(5.0%), 일본(3.9%) 등의 순서이다(Oil Price, 2012). 여기서 주목할 것은 중국과 인도의 경우 에너지 소비에 비해 이산화탄소 배출이 상대적으로 크고 미국과 러시아, 일본은 상대적으로 작다는 것이다. 이것은 국가별 에너지원의 차이 때문에 발생하는 것으로, 미국 등이 중국 등에 비해 화석연료가 에너지원에 차지하는 비중이 작다는 것을 의미한다. 예를 들면 이산화탄소를 거의 발생시키지 않는 원자력 발전이 미국 전체 전력생산의 19.3%를 차지하는데 비해 중국은 1.9%를 차지한다. 참고로 전력 1GWh를 생산하는데 발생하는 이산화탄소는 석탄이 964톤, 석유는 726톤, 천연가스는 484톤, 원자력발전은 8톤이다(Business Insights, 2008).

원유 1배럴당 월 평균최대가격을 인플레이션을 고려한 2012년 5월 가격으로 환산해보면 1979년 12월은 \$113.86, 2008년 6월은 \$132.68이다(Inflation Data, 2012). 2008년 이후 원유가격은 완화될 기미가 보이지 않아 세계경제에 큰 부담이 되고 있어, 현재 원유생산지를 확보하기 위한 국가 간의 경쟁은 치열하며 “자원전쟁”이라 불리고 있다.

지구온난화의 규제 및 방지를 위한 “기후변화에 관한 국제연합 규약의 교토의정서”는 온실효과를 나타내는 이산화탄소를 비롯한 총 6종류의 온실가스 배출 감소목표를 지정하고 있다(United Nations, 1998). Annex A에 의하면 6종의 온실가스는 이산화탄소(CO₂), 메테인(CH₄), 아산화질소(N₂O), 과불화탄소(PFCs), 수소화불화탄소(HFCs), 육불화황(SF₆)이다. 교토의정서 제3조에는 2008년부터 2012년까지 선진국 전체의 온실가스 배출량을 1990년 수준보다 적어도 5% 이상으로 감축할 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 Annex B는 Annex I에 포함된 39개 국가의 이산화탄소 방출

량 또는 감축량을 1990년을 기준으로 명시하고 있다. 예를 들면 일본 92%(-8%), 미국 93%(-7%), 등이다. 일본은 유일하게 아시아 국가 중 Annex I 회원국이다.

이와 같이 글로벌사회는 원유가격의 상승에 의한 경기 침체의 완화, 온실가스의 저감이라는 두 가지 목적을 달성하기 위한 총체적 노력을 기울이고 있다. 이런 노력은 상대적으로 이산화탄소 배출량이 작은 원자력발전의 확대, 신재생에너지의 개발로 대별될 수 있다(Bachtold, 2003).

국제원자력기구의 보고서에 따르면 원자력 발전에 의한 전력 최대생산국은 2011년 101,465MW를 생산한 미국이며 이어서 프랑스, 일본, 러시아, 대한민국 등의 순서이다(IAEA, 2012). 여기서 주목할 것은 프랑스는 자국 내 전력의 77.7%를 원자력발전으로 생산하고 있으며, 중국은 현재 가동 중인 16개의 원자로에 26개의 원자로를 건설하여 수년 내 원자력발전 주요 국가로 성장할 전망이다. 참고로 현재 건설 중인 원자로는 중국의 뒤를 이어 러시아와 인도가 각각 10기와 7기를 건설하고 있다(IAEA, 2012). 국제원자력기구는 2011년을 기준으로 2030년에 세계인구가 0.9% 증가하고, 전체생산에너지는 최대 3.2%, 원자력에너지가 차지하는 비중은 최대 4.5% 증가를 예측하고 있다. 따라서 향후 에너지원으로서의 원자력발전 역할은 증가될 추세이다.

REN21(2011)의 보고서에 따르면 재생에너지가 에너지원에 차지하는 비중은 약 16%이며 이들 재생에너지원은 풍력, 태양열, 태양광, 파력, 조력, 수력에너지, 등으로 분류될 수 있다. 수력에너지발전은 성장속도가 더디지만 전체 16% 중에 약 3.4%를 차지하고 있으며 전통적인 시골지역에서 요리나 난방 목적으로 사용된 바이오매스는 약 10%를 차지하고 있다. 비교적 신재생에너지에 속하는 에너지원인 풍력발전은 여전히 그 역할이 미비하다. 하지만 여기서 주목할 것은 성장속도이다. 예를 들면, 풍력발전의 경우 2010년에서 2011년 1년간 약 39GW 성장하였다. 이 성장률은

신재생에너지원 중에서 최대치로서 해당연도에 중국은 18.9GW, 미국은 5.1GW의 풍력발전을 추가로 확보하였다. 이러한 풍력발전 성장의 주된 원인은 해상풍력발전의 잠재적 가치에 있다. 즉, 육상풍력발전이 공간의 부족, 환경요인, 수송 및 설치에 어려움이 많은 반면 해상풍력발전은 비교적 균질한 풍황(wind climate), 풍부한 공간, 완만한 환경요인으로 인해 초대형 블레이드를 갖춘 해상풍력단지를 운영할 수 있기 때문이다. 물론 상대적으로 해상풍력발전은 육상풍력발전에 비해 설치 및 시공비용이 더 들긴 하지만 대규모 단지로 대량의 전력을 생산할 수 있다는 장점이 있다. 이와 같은 잠재력으로 인해 IEA(2010)는 2050년에 해상풍력발전이 전체풍력발전의 32%까지 잠식할 것으로 예측하고 있다.

이와 같은 예측을 뒷받침하는 대표적인 국가정책을 미국에서 추진하고 있다. 미국 에너지국은 2030년까지 해상풍력발전으로 54GW를 확보하는 계획을 2008년 7월에 발표하였다(NREL, 2010). 2011년 미국이 원자력발전으로 생산하는 전력이 약 101GW이며 이는 미국 전력생산의 19.3%를 차지한다. 따라서 해상풍력발전 54GW는 미국 전력생산의 약 10.3%를 차지하는 전력량임을 알 수 있다. 이와 같은 정책은 미국이 상대적으로 해상풍력발전 입지조건이 유리함에도 불구하고 해당 기술은 유럽국가에 비해 뒤쳐진다는 인식으로 시작되었다. 즉, 영국이나 덴마크에 비해 기술수준이 못 미친다는 것이다. 이와 같은 장려 정책은 2010년 미국 오바마 대통령의 연설에서 더욱 강조되었는데 그는 풍력발전이 깨끗하고 미국에서 생산 가능한 에너지원이라는 것을 강조하였다(NREL, 2010).

2. 국내 현황 및 추세

대한민국은 화석연료의 대부분을 수입에 의존하고 있다. 2011년 기준으로 대한민국은 석유의 경우 세계 6위 수입국이며, 석탄은 세계 3위, 액

화천연가스는 세계 2위 수입국이다. 이와 같은 수입의존도는 다음의 관점에서 국내 에너지 확보 정책에 영향을 미친다. (1) 국외로 연결되는 파이프라인이 존재하지 않는다. 따라서 수입의 100%를 유조선 등의 선박에 의존한다. (2) 걸프 만에 위치한 국가(사우디아라비아, UAE, 쿠웨이트, 카타르, 이란, 이라크 등)로부터 약 75%의 원유를 수입하고 있다(U.S. Energy Information Administration, 2011). (3) 원유를 수송하는 선박은 말라카 해협(Strait of Malacca)을 통과한다. 이와 같은 특정 지역 및 해역 의존도는 해당지역의 국제적 정세의 경직과 맞물릴 때 국내 에너지 건전성에 위협 요소로 작용하고 있다. 일례로 최근 이란의 핵개발로 인한 미국의 견제정책은 국내 원유확보에 영향을 미친바 있다.

따라서 화석연료에 의존하고 있는 국내 에너지 소비 체질을 개선시키고 특정 지역에 한정된 에너지 수입을 다양화 할 필요성이 제기된다. 이를 위해 정부는 전력생산에서 화석연료 비중을 줄이기 위해서 2024년까지 원자력발전으로 인한 전력 생산을 50%로 확대할 예정이며, 1%에 국한된 재생에너지의 비중을 점차적으로 확대할 계획이다(에너지 관리공단, 2010). 여기서 에너지원별 국내 전력 생산을 2009년도 기준으로 살펴보면, 국내 전력생산의 65%는 화석연료, 34%는 원자력발전, 1%는 재생에너지에 의존하고 있다.

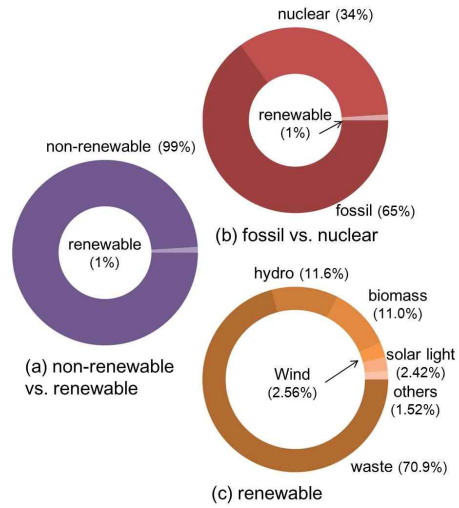
대한민국은 2002년 11월에 대한민국 국회가 교토의정서를 비준하였으나 개발도상국으로 분류되어 온실가스 감축의무는 없으며, 대신 공통의무인 온실가스 국가통계 작성 및 보고의무는 부담한다. OECD 국가들 중 한국과 멕시코는 기후변화협약 상 Non-Annex I에 포함되어 교토의정서 Annex B에 따른 감축의무를 부담하고 있지 않다. 하지만 2012년 기준으로 독일에 이어 온실가스 배출량이 7위를 차지하고 있어(Oil Price, 2012), 교토의정서 공약기간(2008~2012) 후의 포스트-교토체제에서는 Annex I 국가로 분류되어 감축의무를 부담하게 될 가능성이 매우 높다. 따

라서 앞서 설명된 화석연료의 해외의존도를 줄이고 온실가스 감소를 목표로 하는 국가정책 수립과 기술개발이 절실하다.

2010년 국내 재생에너지 생산은 폐기물(70.9%), 수력(11.6%), 바이오(11.0%), 풍력(2.56%), 태양광(2.42%) 등으로 구성된다(에너지관리공단, 2010). 재생에너지가 전체에너지의 1% 정도임을 감안할 때 전반적인 재생에너지의 기여도는 매우 낮음을 알 수 있다. 따라서 정부는 재생에너지 개발을 위한 총력을 기울이고 있다. 일례로 최근 지식경제부는 전라도 부안-영광 지역에 총 2.5GW의 해상풍력발전단지들을 조성하는 계획을 발표하였다. 이 프로젝트는 총 3단계로 구성되는데 1단계는 시험단계로 2014년까지 100MW, 2단계는 실증단계로 2016년까지 400MW, 3단계는 상용화 단계로 2019년까지 2GW 규모의 전력을 생산하는 것을 골자로 하고 있다. [그림 1]은 국내 에너지 생산 현황을 요약하고 있다.

일반적으로 해상풍력발전 비용은 터빈시스템 제작 50%, 기초 및 설치 28%, 케이블 설치 7%, 전력수송 13% 등으로 구성된다. 현재 국내 해상풍력발전 기술은 선진국 대비 약 68% 수준이라는 점을 감안하면, 터빈시스템의 설계, 제작에 기술력을 집적할 필요가 있다. 따라서 현대중공업, 효성중공업, 두산중공업 등이 풍력터빈 설계 및 제작을 추진하고 있다. 하지만 아직까지 개념 및 시험단계에 머물러 있고, 유럽 선진국이 보유하고 있는 특허권으로 인해 개발에 어려움이 있다. 그리고 기초 및 설치기술은 구조-유체-지반의 상호작용이라는 관점에서 상대적으로 어려운 기술 분야에 속한다. 선진국에서도 해상풍력발전 기초의 설계, 제작, 설치에 관련된 다양한 연구가 진행 중이다. 일례로 미국은 메인주 모히건섬의 전력공급을 위해 부유식 해상풍력발전을 추진하고 있다. 그 밖에 해상풍력발전에 중요한 기술은 구조물의 진수, 전력케이블 설치, 시공, 운영 및 관리에 관한 것인데 해양구조물의 제작에 경험이 많은 국내 중공업체의 기술력이 활용될 수 있다

고 판단된다.



[그림 1] 국내 에너지 생산 현황

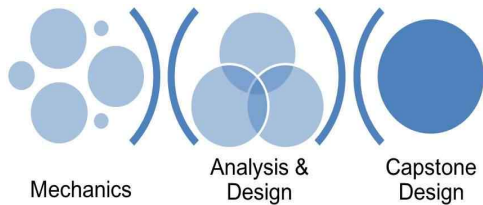
요약하면, 국내의 해상풍력발전단지를 조성하는데 있어 프로젝트의 완성도 중요하지만 국내 기술력 확보에 더욱 치중할 필요가 있다. 또한 점차적인 전문 인력 양성으로 부안-영광 프로젝트에 국내 인력 및 기술이 적극 활용되어야 할 것이다. 이를 위해 대학 교육과정에 해상풍력발전을 소개하고 저학년에 배운 역학, 해석, 설계 기술을 총합하여 해상풍력발전을 계획하고 설계하는 종합적인 설계과목으로 캡스톤 디자인이 개발되었다.

III. 캡스톤 디자인

1. 과목 구성

캡스톤 디자인은 창의성을 바탕으로 하는 문제 해결 능력을 배양하기 위한 설계 교육의 최고 정점에 있는 교육과정으로 정의된다. 기존의 설계 과목과의 차별성은 교수가 학생들에게 설계의 제한요소만을 제공하며, 학생들은 제한요소를 바탕으로 창의적인 설계 결과물을 제공해야 한다는데

있다. 따라서 학생들이 다양한 아이디어를 제공하는 것이 가능하며 시작품이 가지는 완성도와 더불어 문제정의 및 창의적인 문제해결 능력의 배양을 교육목표로 한다. 창의공학설계가 학부 1학년을 대상으로 창의적인 사고와 문제해결 능력, 팀 활동, 발표 등 기초소양 배양에 목적을 두고 있다면 캡스톤 디자인은 4학년을 대상으로 창의공학설계의 내용은 물론 대학에서 배운 역학, 해석, 설계 지식을 총동원하여 설계 작품을 제작하는 과목이다. 예를 들면 [그림 2]는 해양공학과 의 캡스톤 디자인 과목을 위한 선수 과목 특성을 개념적으로 서술한 것이다. 즉 교육과정에서 저학년(1 또는 2학년) 학생은 고체역학, 유체역학과 같은 역학과목을, 3학년은 역학지식을 기초로 한 구조물의 해석 및 설계과목을, 4학년은 캡스톤 디자인과 같은 종합적인 설계과목을 수강하게 된다.



[그림 2] 캡스톤 디자인의 선수과목 특성

현재 부경대학교는 산학협력 선도대학 육성사업(A⁺ LINC 사업)의 일환으로 캡스톤 디자인을 4학년 과목으로 권장하고 있으며 이를 통해 (1) 특성화 분야에서 종합설계 능력과 창의적 문제해결 능력을 갖춘 인재양성, (2) 현장맞춤형 인재양성, (3) 재학생들의 창업의욕 및 산업체 현장 경험을 고취시키고자 한다. 따라서 캡스톤 디자인을 수강하는 학생들은 팀을 구성하고, 자유과제에 응모하여 재료비, 시작품 제작비를 지원받고 있다. 이 때 팀은 재학생, 대학원생, 지도교수, 산업체 멘토로 구성하게 되는데 결과보고서 및 최종결과물(시작품, 졸업논문 등)은 평가되고 우수작품으로 선발된 팀은 각종 전시회 또는 경진대

회에 참여할 기회를 제공받는다.

2. 주제 선정

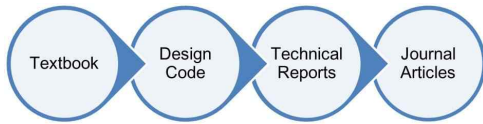
해상풍력발전을 캡스톤 디자인의 주제로 결정한 것은 앞서 설명한 해상풍력발전의 중요성과 파급성, 그리고 교육적 효과 때문이다. 해상풍력발전 시스템의 구성요소 중 터빈시스템은 기계공학 또는 유사 전공에 적합한 대상이라 판단하고, 해양공학과 가장 밀접한 해상풍력발전시스템을 지탱하는 기초의 설계 및 생산된 전력을 수송하는 해저전력케이블 보호공의 설계에 초점을 맞추었다. 이와 같은 제한은 선정된 주제가 전공에 적합하고 학생들이 학부과정 동안 습득한 전공지식을 가장 잘 접목할 수 있다는 것에 기인한다. 또한 1학년을 대상으로 하는 ‘창의공학 설계’에서 운영된 ‘학생 주도 주제 선정법’의 역효과(공학설계의 부재)를 방지할 수 있다(Thompson & Consi, 2007).

결과물은 시작품과 리포트로 제출하는 것으로 결정하였으며, 교내 경진대회에 참여하는 것을 원칙으로 하였다. 평가는 시작품 30%, 개별면담 30%, 중간고사 20%, 과제물 20%로 구성되었다. 여기서 시작품은 팀별로 평가를 받고, 개별면담, 중간고사, 과제물은 개인별로 평가를 받도록 하였다. 개별면담은 구두시험으로 개인이 팀에 기여한 정도, 프로젝트의 이해도를 평가하도록 구성하였다. 중간고사는 전반기에 강의한 해상풍력발전 설계에 관한 기술적인 숙지를 점검하기 위해 구성하였으며, 과제물은 해상풍력발전 기술에 관한 문헌조사, 개념적 설명, 설계 예제 풀이, 도면작성 등을 평가하도록 구성되었다.

3. 강의 내용

강의 내용은 전반부 7주 동안에 캡스톤 디자인 개론, 프로젝트 팀 구성, 신재생에너지 및 풍력발전 현황, 해상풍력발전, 해상풍차 기초 설계, 해상풍차 기초 시공 및 유지로 구성되었다. 전반부

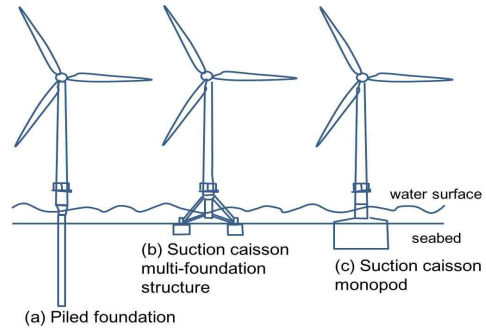
가 끝나면 8주에 중간고사로 중간점검을 실시하고 이어 후반부(9주부터 13주)는 프로젝트 준비, 발표, 요약, 의견수렴으로 구성되었다. 14주는 기말구두면접을 15주는 프로젝트 최종발표로 강의가 마무리 된다. 교재는 연안개발기술연구센터(2011)의 “해상풍력발전 기술 매뉴얼”을, 참고도서는 노르웨이선급(DNV, 2010)에서 제작한 해상풍차 설계 코드인 “Design of Offshore Wind Turbine Structures”를 채택하였다. 아울러 참고자료로서 에너지관리공단(2010)의 “신재생 에너지 보급통계”, 미국 국립재생에너지연구소(NREL, 2010)의 “Large-Scale Offshore Wind Power in the United States”, Marine Technology Society Journal의 논문집(MTS, 2010) “Marine Technology for Offshore Wind Power”를 소개하였다. 이들 구성을 요약하여 [그림 3]에 나타내었다.



[그림 3] 교재 및 참고도서 구성

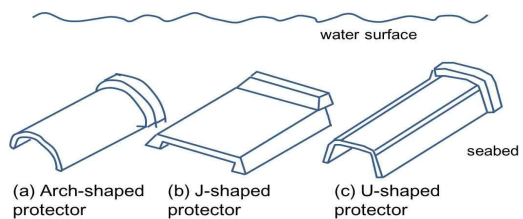
주제별 강의 내용은 해상풍차 기초의 설계와 해저전력케이블 보호공의 설계로 대별된다. 해상풍차 기초는 일반적으로 [그림 4]와 같은 형태를 갖는다. 즉, 파일기초, 석션(또는 흡입식) 케이슨 멀티기초, 석션 케이슨 단일기초의 형태이다. 따라서 (1) 기초 양식의 장단점, (2) 지반의 지지력(bearing force) 계산, (3) 노르웨이 및 일본 설계코드, (4) 설계에서의 활용 및 적용에 관한 내용을 해상풍차 기초설계에서 다룬다.

해저전력케이블 보호공은 전력케이블을 외부적인 위협으로부터 보호하는 구조물로 정의되며, 해저 지반에 도랑을 파고 매설하는 방법, 외부 보호구조물로 덮는 방법, 이들을 복합적으로 사용하는 방법으로 분류될 수 있다. 이런 보호공법은 어구·어법, 항행선박의 앵커 및 해양환경특성류 및 태풍 등)과 같은 외력으로부터 해저전력케



[그림 4] 일반적인 해상풍차 기초

이블을 보호하는 기능을 한다. 하지만 국내에서는 2006년 제주와 해남을 연결하는 전력케이블이 파손되어 제주도 전역에 정전이 발생하는 사고가 발생하였으며, 2010년 중국에는 상하이와 쑹시섬을 연결하는 전력선이 파손되어 4일 동안 섬 전체에 정전이 발생하였다(Jie & Yao-Tian, 2012). 이들 사고는 해저전력케이블에 보호공이 설치되어 있었음에도 불구하고 선박 앵커에 의해 손상이 발생했다는 점에서 보호공 안전성의 중요성을 강조한다. 해상풍력발전의 경우에도 해저전력케이블이 풍차에서 생산된 전력을 변환기로 또 육지의 기지로 수송한다는 점에서 해저전력케이블의 보호가 대단히 중요하다. 더욱이 점차적으로 외해에 해상풍력단지가 조성됨에 따라 케이블의 길이도 점점 길어지고 수송하는 전력량도 증대됨으로 보다 안전한 보호공의 설계가 절실하다. 이런 관점에서 해저전력케이블 보호공의 설계를 두 번째 소주제로 선택하였다. [그림 5]는 해저전력케이블을 덮는 외부구조물(보호공)의 종류를 나타낸다.



[그림 5] 해저케이블 보호공

IV. 팀 프로젝트

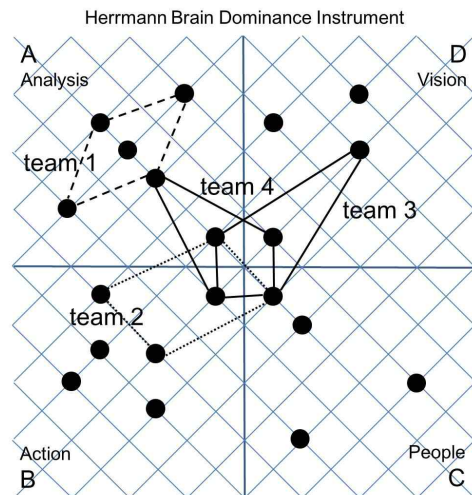
1. 팀 구성

팀(team)은 상호 보완적인 기능을 가진 소수의 사람들이 공동의 목표를 위해 상호 책임을 공유하고 문제해결을 위해 공동의 접근 방법을 사용하는 조직단위이다(Smith, 2000). 현대 조직 사회에서 팀은 기존의 부서의 개념에서 벗어나 프로젝트 단위로 구성되며, 효과적인 팀워크를 발휘하기 위해서 부서간의 경계를 허물고 팀원을 조직한다. 물론 프로젝트 성공을 위해서는 팀 내의 장애를 무너뜨리는 순기능 팀을 조직해야 한다. 장애로서는 의사소통과 중재의 부재, 서열과 명령에 지배되는 의식구조, 지식과 정보 공유를 막는 정서적 장벽 등이 있다. 이와 같은 장벽은 대부분의 팀에 존재하며 이를 극복하지 못할 때 역기능 팀이 되고 자연히 프로젝트에 실패하게 될 확률이 높다.

캡스톤 디자인도 팀별로 프로젝트를 수행하게 된다. 처음 대두되는 현안은 팀장의 선출과 팀원의 구성이다. 자발적으로 팀장으로 활동하고자 하는 학생들은 대체적으로 4학년 학생이다. 이들은 대체적으로 리더십이 있으나 팀장이기 때문에 유리한 평가를 받으려는 욕구를 가지고 있으며, 다소 팀원의 의견을 무시하는 독선적인 행동을 수행할 때가 있다. 따라서 팀장의 역할을 사전에 숙지시킬 필요가 있다. 일단 팀장이 선출되면, 팀원 선발은 크게 2가지 방법으로 이루어진다. 첫 번째 방법은 팀장이 팀원을 모집하거나 팀원이 자신이 원하는 팀장을 선택하는 것이다. 이 방법은 다소 자연스럽게 쉬운 방법이지만 친분 등으로 팀을 구성하게 되면 지식 및 정보가 획일화될 수 있어 프로젝트 수행에 악영향을 미치게 된다.

두 번째는 수강생의 특성이 사전에 파악되었을 때 유효한 방법이다. 즉, 지도교수가 학생들의 특성에 맞춰 팀을 구성하는 것이다. 이 때 [그림 6]

과 같은 헤르만의 전뇌모델(full brain model)을 기초로 한 전뇌적인 팀 구성을 계획할 필요가 있다. 즉 물질적, 학구적, 권위적 성질 A(2사분면); 조직적, 연속적, 계획적, 보수적, 구조적 성질 B(3사분면); 감각적, 감성적, 상징적, 사람 중심적 성질 C(4사분면); 시각적, 총체적, 창의적, 직관적 성질 D(1사분면)을 두루 갖춘 팀원을 팀으로 구성하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 수강생이 20명이고 이들의 성질을 헤르만의 두뇌우성모델에 준하여 [그림 6]과 같이 점으로 표시한 후 5명으로 이루어진 팀을 구성하였다고 하자. 이때 팀1은 구성원 모두 A에 속하기에 좋은 팀 구성이라 할 수 없고, 팀2는 비교적 고른 구성이나 D에 속한 팀원이 부재한다. 반면에 팀3과 팀4는 모든 성질의 팀원으로 조직된 전뇌적인 팀이라고 볼 수 있다. 여기서 팀3은 D성질의 팀원이 2명, 팀4는 A성질의 팀원이 2명이라는 것이 주된 차이점이다. 따라서 프로젝트 수행에 필요한 다양한 팀원의 성질을 발휘할 수 있는 장점이 있다. 이 방법은 때때로 팀원 간의 친밀도를 향상시키기에 시간이 걸리지만 전반적으로 팀의 프로젝트의 성공을 유도하는 방법으로 알려져 있다(Lumsdaine et al., 2005).



[그림 6] 전뇌적 팀구성

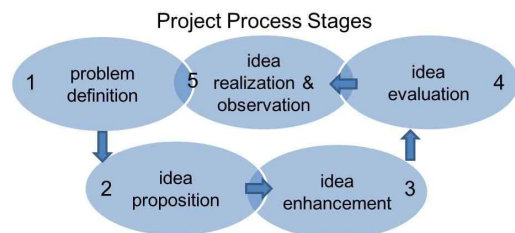
일단 팀 구성이 끝나면 팀장의 주도하에 기록자, 촉진자, 과정관찰자와 같은 역할을 팀원들이 수행하게 한다. 또한 팀 활동규칙, 프로젝트 주제 선택, 계획표, 회의록 작성법 등을 팀에서 결정하게 한다. 지도교수는 팀이 제출하는 회의록 등을 기준으로 팀의 성공도, 팀원의 공헌도를 평가할 필요가 있다. 본 캡스톤 디자인에서는 회의록, 프로젝트 추진 과정표, 최종발표, 리포트, 시작품을 통해서 팀의 성공도를 평가하고, 과제 및 기말면담을 통해서 팀원의 공헌도를 평가하도록 구성되었다.

2. 프로젝트 수행

프로젝트는 문제 정의, 아이디어 제안, 아이디어 개선, 아이디어 평가, 아이디어 실행 및 관찰 순서로 수행되게 된다. 앞서 설명한 바와 같이 본 캡스톤 디자인의 주제는 해상풍력발전이며, 소주제는 하부 기초 설계와 해저전력케이블의 보호공 설계이다. 따라서 이들 소주제를 학생들에게 설명할 때 현재 해상풍력발전이 가지고 있는 문제점을 충분히 설명할 필요가 있다. 이를 통해 팀들은 문제 정의로부터 시작하여 프로젝트 수행 동안 제시되고 평가된 아이디어를 실행하고 관찰하는 것으로 프로젝트를 종결하게 된다.

‘문제 정의’는 서로 다른 임무를 수행하는 팀원의 성질을 모두 사용하여 실질적 문제를 찾는 것이다. 이때 탐험가적인 특징인 미래 예측 및 경향 관찰, 문제 탐구 기술, 전후 관계의 문제 해결 등을 수행하고, 탐정가적인 특징인 근본적 원인 파악 기술, 자료의 평가, 브리핑, 문제 서술, 계획수립 등을 수행하게 된다. ‘아이디어 제안’은 문제 해결을 위해 팀원들이 브레인스토밍 등을 사용하여 아이디어를 제안하는 것이다. 이때 예술가적인 특징인 괴상하고, 야성적이고, 불가사의하고, 미친, 엉뚱한, 틀에서 뛰쳐나온 아이디어를 환영한다. 발산적인 사고방법이 필요하며 가능한 많은 해결책을 만들고, 터무니없는 아이디어도

환영하며, 비판은 허용되지 않는다. 즉 판정은 나중에 연기한다. ‘아이디어 개선’은 체계화를 통해 고품질, 혁신적, 최적화된 개념 또는 해결책을 개발하는 것이다. 이때 공학자처럼 양질의 팬츠는 아이디어를 찾고, 엉뚱한 아이디어를 보다 실제적으로 만들고, 좀 더 완벽하고 최적화된 해결책을 얻기 위해 아이디어들을 종합하고, 긍정적인 태도를 유지한다. 즉 비판은 계속 연기한다. ‘아이디어 평가’는 실행을 위한 가장 좋은 해결책을 찾는 것이다. 판사처럼 타당한 기준과 적합한 평가 기술을 통해 여러 가지 선택의 순위를 결정하고, 분석적 절차와 직관을 기반으로 최종 결정을 내린다. ‘아이디어 실행 및 관찰’은 아이디어를 실천하는 단계이다. 이때 생산자의 역할은 아이디어의 전파, 기술적 작업 계획 수립, 실행과정 관찰로 구성된다. 기술적 작업계획을 수립하기 위해, 모방(copycat), 5-W법, 흐름도, 프로그램 평가와 복습의 기법, 시간·과제 분석도표, 예산기획, 위험분석 등을 이용한다. 실행과정 관찰은 아이디어 실행에서 발생하는 현상을 관찰하는 것으로서 수행평가로 이어진다. 수행평가는 프로젝트의 성공여부를 평가하는 것과 더불어 프로젝트 수행이 학생들의 지적 성장, 성취도, 의사소통 및 팀워크, 취업 및 창업 등 미래설계에 미친 영향을 파악하는 것이다. 이들 프로젝트 수행단계를 [그림 7]에 개념적으로 나타내었다.



[그림 7] 프로젝트 수행단계

3. 공학설계

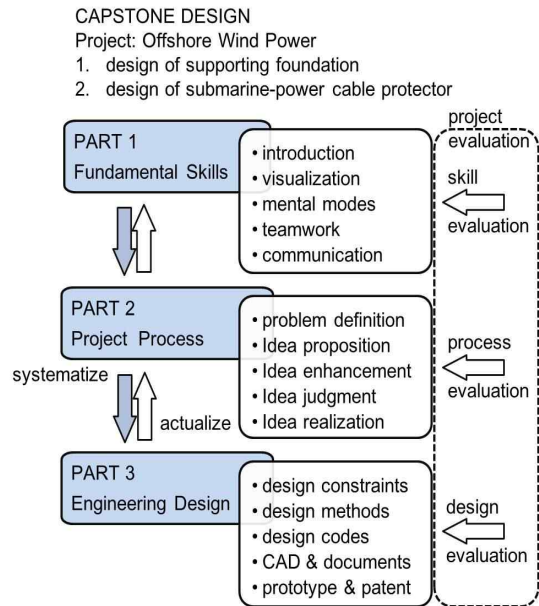
공학설계를 위해서는 설계의 기본 단계인 해석

이 필요하며 해석을 위해서는 역학이, 역학을 위해서는 물리학과 수학적 지식이 필요하다. 이와 같은 연관성은 학부과정에서 배우는 전공과목의 이수 순서로 설명될 수 있다. 예를 들면 부경대학교 해양공학과 학부생의 전공과목은 5단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 공학수학, 프로그래밍, CAD, 해양공학개론, 창의공학설계와 같은 공학 기초 과목이다. 두 번째 단계는 정역학, 동역학, 재료역학, 구조역학과 같은 고체역학 계열 과목, 유체역학, 수리학, 파랑역학, 해양환경역학, 연안해양학과 같은 유체역학 계열 과목, 그리고 토질역학 등으로 구성된다. 세 번째 단계는 시스템의 거동을 좀 더 상세하게 예측하는 전산구조해석, 수치유체해석, 해양구조물해석, 해안수리학과 같은 해석과목으로 구성된다. 네 번째는 강구조공학, 철근콘크리트공학, 프리스트레스 콘크리트공학, 해안공학, 기초공학, 해양구조물설계와 같은 설계과목으로 구성되며, 여기서 시스템을 설계하는 방법을 배우게 된다. 다섯 번째 단계는 건설시공학, 해양에너지자원공학, 해양환경 및 방재공학, 항만시스템공학, 캡스톤 디자인과 같은 응용 및 종합설계과목으로 구성된다. 따라서 캡스톤 디자인은 학부 교육의 최고 정점에 있는 교육과정으로 정의 될 수 있다.

본 캡스톤 디자인의 소주제인 해상풍차의 하부 기초 설계와 해저전력케이블 보호공의 설계를 위해서 학생들이 주목해야 공학적 설계 제약조건은 다음과 같다. 첫째, 해상풍차의 규모가 점차적으로 커지고 있다. 즉 블레이드의 직경, 터빈의 발전규모, 설치되는 해역의 수심이 점차적으로 증대하고 있다. 둘째, 기존의 해양구조물과 비교할 때 상대적으로 해상풍차의 외력환경조건은 다소 상이하다. 특히, 파력, 풍력, 조류력을 고려한 수평력과 이로 인해 발생하는 하부 기초에 작용하는 모멘트 비의 변동이 크고, 수직력은 기존의 해양구조물에 비해 월등히 작다. 셋째, 해상풍력 발전이 주변 해양생태환경에 미치는 영향을 다각적으로 고려할 필요가 있다. 이는 육상풍력발전

에 비해 해상풍력발전으로 인한 환경영향평가 자료가 상대적으로 부족하기 때문이다. 넷째, 해상풍차를 지지하는 프레임 및 기초는 강철 또는 강철과 콘크리트 구조물의 복합 형태로 제작된다. 따라서 강철 비용이 전체 비용의 10%를 차지한다. 반면에 해저전력케이블의 보호공은 일반적으로 콘크리트 또는 철근콘크리트로 제작된다. 다섯째, 프로젝트 수행 중에 제안된 아이디어를 실현하기 위해서는 강구조공학, 해양구조물설계, 철근콘크리트공학, 기초공학에서 학습한 설계기법이 적용된다. 이때 설계코드는 노르웨이선급(DNV, 2010) 코드를 기준으로 한다. 마지막으로 새로이 제안된 설계는 도면, 시작품으로 표현하고 사전에 국내외 특허를 조사하여 설계안이 중복되지 않게 한다.

2절에서 소개한 프로젝트 수행단계와 3절에서 설명한 공학설계를 조합하면 [그림 8]과 같이 요약될 수 있다. 즉, 공학설계는 앞서 소개한 수행단계를 통해서 체계화되고 프로젝트 수행단계는 공학설계를 통해서 실현화된다.



[그림 8] 프로젝트의 체계화 및 실현화

4. 프로젝트 평가

문서작업, 발표, 시작품 제작이 마무리되면 프로젝트를 종합적으로 평가하게 된다. 본 캡스톤 디자인에서 종합평가는 [그림 8]에서와 같이 3단계로 구성되었다. 1단계는 학생의 기본적인 소양 및 역량에 관한 것으로 표현(시각화), 참여도, 팀워크, 의사소통을 평가한다. 2단계는 프로젝트 수행단계를 평가하는 것으로 문제정의, 아이디어 제안, 개선, 평가, 실현화 과정을 평가한다. 3단계는 설계를 평가하는 것으로 제약조건 고려도, 설계기법, 설계코드 활용, 문서 및 도면, 시작품, 특허를 평가하도록 구성되었다. 이들 평가는 본 과목의 평가지표(과제 20%, 중간고사 20%, 기말면담 30%, 발표 및 시작품 30%)에 준해서 수행되도록 과제, 중간고사, 기말면담, 프로젝트 발표회가 계획되었다. 이때 과제, 중간고사, 기말면담은 지도교수가 평가하고, 최종 발표는 지도교수와 산업체 멘토가 평가함으로써 산업체 의견을 수렴하도록 구성되었다.

V. 연구 결과

1. 프로젝트 결과

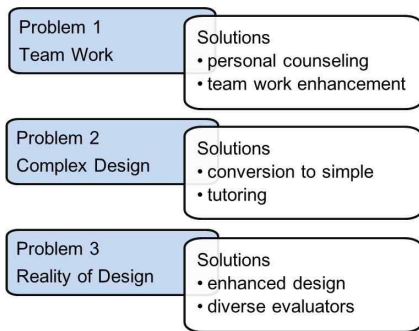
캡스톤디자인의 수강학생은 10명으로서 5명을 1조로 하여 총 2개의 조(NICE, 5OE)가 편성되어 프로젝트를 수행하였다. 팀은 적게는 1년 많게는 3년 동안 학생 개개인을 관찰해 온 지도교수가 각 학생의 역량과 특성을 기초로 구성하였다. 각 조는 프로젝트 수행을 위한 문제 정의, 아이디어 제안, 아이디어 평가, 실행 및 관찰을 마무리하였고, 시작품 제작과 결과보고서를 완료하였다. 수행된 프로젝트를 소개하면, NICE는 해상풍차 기초를 보강할 수 있는 복합재료(탄소보강섬유, 고무 등)를 제안하여 이들 보강재의 시공성과 내구성을 증진시켰다. 5OE는 해저전력케이블 보호구조물을 개발하였다. 즉, 기존의 철근콘크리트(RC)형식이 아닌 충격과 끌림에 보다 높은 내구성을

갖는 프리스트레스콘크리트(PSC) 구조형식을 제안하였다. 부경대학교 A⁺ LINC 사업단은 이들 프로젝트의 시작품 제작을 위해 팀별로 150만원을 지원하였으며, 학생들은 매주 정기적인 회의를 통해 시작품을 제작하는데 지원비를 사용하였다. 제작된 시작품은 동남권 8개 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업단이 주관한 통합 캡스톤 디자인 경진대회(2012년 11월 27일, 28일)에 출시되었다. 현재, 제안된 제품의 특허출원을 준비 중에 있다. 이와 같은 특허출원은 생각과 아이디어의 과학적인 제시, 지식재산권의 가치 인식, 공학윤리 교육이라는 관점에서 중요한 교육가치가 있다고 판단된다.

2. 문제점, 개선방안, 성과

프로젝트가 완료된 현재, 강의시간 그리고 학생들과의 면담을 통해서 파악된 문제점은 다음과 같다. (1) 일부 학생의 팀 프로젝트 기여도가 다소 낮다. 이는 팀을 구성할때부터 예견된 것으로써 앞서 설명한 학생들의 역량과 특성으로 구성된 팀의 단점이기도 하다. 즉, 본인이 원하지 않는 팀에서의 활동에 소극적인 것이다. 이를 개선하기 위해서 수업시간에 팀장이 아닌 팀원에게 발표를 시키고, 질문을 던지기도 했지만 여전히 개선의 여지가 남아 있다. 따라서 개별면담 등을 통한 다각적인 개선책이 필요하다. (2) 프로젝트 수행에 필요한 역학, 해석, 설계 지식이 학부교육 과정의 범주를 넘는 경우가 있다. 따라서 컴퓨터를 이용한 유한요소 모델링, 해석이 필요한데 이 또한 4학년 2학기 과목인 '전산구조해석'의 교과내용 범주를 넘는 복잡한 물리계인 경우가 많다(나원배, 이선민, 2012). 학생들은 이것이 프로젝트를 수행하고 실현화 시키는데 가장 어려운 부분으로 지적하였다. 이를 해결하기 방안으로 복잡한 물리계 또는 시스템을 단순화하는 능력을 고양시킬 필요가 있다. 즉, 수준에 맞는 문제로 단순화하여 이를 해결하는 것이다. 또한, 대학원

의 튜터링(tutoring)을 적극 활용하는 것도 유용하다. 실질적으로 5OE는 해저전력케이블 보호공의 충돌해석을 대학원생의 지원으로 직접 수행하여 팀이 제시한 보호구조물의 성능을 공학적으로 증명하였다. (3) 통합 캡스톤 디자인 경진대회에 출사된 작품은 사회기반구조물인 해상풍차 기초의 보강 및 해저전력 케이블 보호공이다. 따라서 시작품은 이들 구조물을 축소한 것으로 기계, 전기, 전자 분야의 시작품에 비해 다소 현실감이 떨어진다. 자연히 시작품은 기계, 전기, 전자산업 종사자로 구성된 심사위원들의 관심을 받는데 실패하였고, 경진대회에서 입상하지 못하여 참석한 학생들의 사기가 저하되었다. 하지만 경진대회 참가를 준비하면서 프로젝트를 가속화하고 팀 활동을 증진시켰다는데 일차적인 교육적 가치가 있고, 참석하여 학생들이 듣고 보고 배운 것이 프로젝트를 마무리하는데 실질적인 도움을 주었다. 따라서 경진대회에 참석하는 것은 반드시 필요하다고 판단되며 향후 입상을 위해 보다 현실적이고 세분화된 프로젝트를 수행하고 해양산업 분야의 심사자를 추천할 필요가 있다. 이상의 문제점 및 개선방안은 [그림 9]와 같이 요약된다.



[그림 9] 문제점 및 개선책

캡스톤 디자인을 수강한 4학년은 졸업을 앞두고 있다. 이들 학생들의 캡스톤 디자인 수강 후 소감은 다음과 같다. (1) 캡스톤 경진대회에서 입상하지 못해서 아쉽다. (2) 캡스톤 디자인을 통해서 실질적인 공학 문제 해결 체계를 습득할 수

있었다. 후배들에게 추천해주고 싶다. (3) 저학년이 수강하기에 어려움이 많다. 설계과목을 많이 수강하라고 추천하고 싶다. (4) 프로젝트를 수행하는 것이 쉽지 않다. 많은 노력이 필요하다. 특히, 팀원들의 참여를 독려하고 함께하는 팀 활동이 쉽지 않다. (5) 재미있다. 전공과 일치한 업무를 하고 싶다. 여기서 가장 고무적인 성과는 “전공과 일치한 업무를 하고 싶다”로 판단된다. 현재 이공계 출신 취업자들이 자신과 전공과 일치하지 않는 업무를 원하고 있으며 이공계의 교육 투자 효율성이 떨어지고 있다는 연구사례가 있기 때문이다(강승희, 2010; 김안국, 2006). 따라서 본 캡스톤 디자인을 통해 졸업 예비생들이 전공분야에 취업하고 싶다는 의지를 가진 것이 가장 근본적인 성과라고 판단된다. 아울러, 캡스톤 디자인을 통해서 실질적인 공학 문제 해결 체계를 습득할 수 있었다는데 의의가 있다. 앞서 기술한 것과 같이 팀 활동의 어려움은 해결해야 할 숙제로 남아있다.

VI. 요약 및 결론

본 논문에서는 해양계열 학과(해양공학과)의 캡스톤디자인 과목의 배경, 과목구성, 강의내용, 주제(해상풍력발전), 세부주제(기초설계 및 해저케이블 보호구조물 설계), 팀 프로젝트를 소개하였다. 본 논문이 제안한 캡스톤디자인의 핵심요소들을 정리하면 다음과 같다. (1) 캡스톤디자인의 ‘목적’이 특성화 분야에서의 종합설계 및 창의적인 문제해결 능력임을 학생들에게 명확하게 인식시킨다. (2) ‘선수과목 체계’를 명확하게 학생들에게 제시하여 캡스톤디자인에 이용될 수 있는 공학적 지식을 체계적으로 학생들에게 제시한다. (3) ‘주제 및 소주제’는 특정 산업의 중요성과 파급성, 교육적 효과를 고려하여 선정한다. 이때 주제의 국내외 현황 및 추세를 소개함으로써 학생들의 흥미를 유발시킨다. (4) ‘헤르만의 전뇌모델’

을 기초로 전뇌적인 팀을 구성함으로써 팀의 역량을 배가시킨다. (5) '문제정의, 아이디어 제안, 개선, 평가, 실행 및 관찰' 체계로 학생들이 프로젝트를 수행하도록 교육함으로써 학생들이 창의적인 문제해결 능력을 배양토록 한다. (6) '공학설계'를 위해서 주제에 최적인 설계코드를 제공한다. 제안된 아이디어는 설계코드를 활용하여 설계도면, 시작품으로 실현되고 국내외 특허 조사를 통해 설계안이 중복되지 않도록 유도한다. (7) '프로젝트 평가'는 3단계로 진행한다. 먼저, 학생의 기본적인 소양 및 역량은 표현(시각화), 참여도, 팀워크, 의사소통으로 평가한다. 둘째, 프로젝트 수행 정도는 문제정의, 아이디어 제안, 개선, 평가, 실현화 과정으로 평가한다. 셋째, 공학설계는 제약조건 고려도, 설계기법, 설계코드 활용, 문서 및 도면, 시작품, 특허로 평가한다. (8) '프로젝트 진행상황'을 면밀히 관찰하여 문제점을 파악하고 이를 해결할 수 있는 방안을 다각적으로 모색한다.

본 사례 연구에서는 학생들이 성공적으로 캡스톤 디자인을 수행하기 위해 필요한 요소들을 분석하고 제안하였다. 향후 지속적인 캡스톤 디자인 개선을 통해서 보다 효과적인 과목구성, 프로젝트 수행이 필요할 것으로 판단된다. 아울러 프로젝트 수행 중에 발견된 '팀원 참여 결여', '복잡한 물리적 해석의 어려움', '경진대회 성과부족으로 인한 사기저하' 문제를 해결하기 위해 (1) 개별 면담을 통한 격려, (2) 문제의 단순화와 튜터링, (3) 현실적이고 세분화 된 프로젝트 수행이 필요하다.

후 기

본 논문은 2012년 국토해양부의 재원으로 한국 해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(천해역 해저케이블 보호설비 안전성 평가지침 기술개발)이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 강승희(2010). 공학전공 대학생의 전공학과 만족도와 진로결정 효능감 및 진로태도 성숙간의 관계, 수산해양교육연구 22(2), 151~164.
- 김두규·박수홍(2012). 현장체험에 의한 u-PBL 교수지원시스템의 핵심가치 및 설계전략 연구, 수산해양교육연구 24(2), 180~202.
- 김안국(2006). 이공계 대졸 청년층의 직장이동과 전공직종일치 분석, 노동경제논집 29(1), 153~184.
- 김유신·윤상근·안호영(2012). 공학소양과 인문교육의 통섭, 수산해양교육연구 24(2), 346~354.
- 김은길·현동림·김종훈(2011). 창의적 문제해결 능력 신장을 위한 알고리즘 기반 학습 콘텐츠 개발, 수산해양교육연구 23(1), 105-115.
- 나원배·이선민(2012). 전산구조해석을 위한 기하학적 비선형 유한요소해석 예제 개발, 수산해양교육연구 24(5), 699~711.
- 박수홍·정주영·류영호(2008). 창의적 공학교육을 위한 캡스톤 디자인(Capstone Design) 교수활동지원모형 개발, 수산해양교육연구 20(2), 184~200.
- 연안개발기술연구센터(2011), 해상풍력발전 기술 매뉴얼, 한국해양연구원.
- 에너지관리공단(2010). 신·재생에너지 보급통계, 에너지관리공단 신·재생에너지센터.
- 이재열·이주영·김재필(2005). 서울대학교 시니어 캡스톤 프로그램 연구보고서, 서울대학교.
- Agboola, O. P., Hashemipour, M., Egeliouglu, F., Atikol, U., and Hacisevki, H.(2012). Assessing a Decade Old Capstone Senior Projects through ABET Accreditation Program Outcomes, Procedia Social and Behavior Sciences, 47, 120~125.
- Bachtold, D.(2003). Britain to Cut CO2 Without Relying on Nuclear Power, Science, 299, 1291.
- Business Insights(2008). The Future of Global Offshore Wind Power: The Technology, Economics and Impact of Wind Power Generation, Business Insights.
- Carmen, C.(2012). Integration of a NASA Faculty Fellowship Project within an Undergraduate Engineering Capstone Design Class, Acta Astronautica, 80, 141~153.
- DNV(2010). Design of Offshore Wind Turbine Structures, Det Norske Veritas, Offshore

- Standard DNV-OS-J101.
- Dondlinger, M. J. and Wilson, D. A.(2012). Creating an Alternate Reality: Critical, Creative, and Empathic Thinking Generated in the Global Village Playground Capstone Experience, *Thinking Skills and Creativity*, 7, 153~164.
- Flores, J. A., Salcedo, O. H., Pineda, R., and Nava, P.(2012). Senior Project Design Success and Quality: A Systems Engineering Approach, *Procedia Computer Science*, 8, 452~460.
- Gruenther, K., Bailey, R., Wilson, J., Plucker, C., and Hashmi, H.(2009). The Influence of Prior Industry Experience and Multidisciplinary Teamwork on Student Design Learning in a Capstone Design Course, *Design Studies*, 30(6), 721~736.
- Inflation Data(2012). Historical Oil Prices Chart: Oil Rebounds in Inflation Adjusted Terms, [Online] (updated 14 June, 2012), available at <http://www.inflationdata.com> [accessed August 2012].
- IAEA(2012). Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IEA(2010). Wind Road-Map Fold-Out. International Energy Agency IEA-2010.
- Jie, W., Yao-Tian, F.(2012). Study on Safety Monitoring System for Submarine Power Cable on the Basis of AIS and Radar Technology. *Physics Procedia*, 24, 961~965.
- Lumsdaine, E., Lumsdaine, M., Shelnut, W., and Dieter, G. E.(2005). *Creative Problem Solving and Engineering Design*, McGraw-Hill.
- MTS(2010). *Marine Technology for Offshore Wind Power*, Marine Technology Society Journal, 44(1).
- NREL(2010). Large-Scale Offshore Wind Power in the United States: Assessment of Opportunities and Barriers, National Renewable Energy Laboratory.
- Oil Price(2012). Energy Widget, [Online] (updated 24 July 2012), available at <http://oilprice.com/free-widgets> [assessed July 2012].
- REN 21(2011). Renewables 2011 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.
- Smith, K. A.(2000). *Project Management and Teamwork*, McGraw-Hill.
- Thompson, M. K. and Consi, T. R.(2007). Engineering Outreach through College Pre-Orientation Programs: MIT Discover Engineering, *Journal of STEM Education*, 8(3&4), 75~82.
- Thompson, M. K.(2010). Green Design in Cornerstone Courses at KAIST: Theory and Practice, *International Journal of Engineering Education*, 26(2), 359~365.
- United Nations.(1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations.
- U.S. Energy Information Administration(2011). Country Analysis Brief: South Korea, [Online] (updated 11 October, 2011), available at <http://www.eia.gov> [accessed August 2012].
-
- 논문접수일 : 2012년 12월 13일
 - 심사완료일 : 1차 - 2013년 01월 19일
 - 게재확정일 : 2013년 01월 21일