

고성능 컴퓨팅 기반 디지털매뉴팩처링 교과목의 산·학·연 협력 운영에 관한 사례연구

서영성^{*}, 박문식¹, 이상민²

¹한남대학교 기계공학과, ²한국과학기술정보연구원

A Case Study on High-Performance-Computing-based Digital Manufacturing Course with Industry-University-Research Institute Collaboration

Yeong Sung Suh^{*}, Moon Shik Park¹, Sang Min Lee²

¹Department of Mechanical Engineering, Hannam University

²Korea Institute of Science and Technology Information

요약 제품 및 설비의 3차원 디지털 모델을 기반으로 제품 생산 시 이루어지는 모든 공정 및 제품을 구성하는 재료의 기계적 거동 등을 초기 설계 과정에서 미리 시뮬레이션 해봄으로써 저비용으로 보다 신속하고 신뢰성 있는 설계를 할 수 있도록 돕는 일련의 기술들을 디지털매뉴팩처링 기술이라 부른다. 그러나 이 기술들을 수행할 수 있는 전산적 인프라스트럭처의 가격이 매우 높을 뿐만 아니라, 특히 중소 제조 기업규모에서는 그러한 시뮬레이션 결과를 정확하고도 효율적으로 설계에 적용할 수 있는 전문 인력이 절대적으로 부족한 실정이다. 이러한 점을 고려하여 한국과학기술정보연구원(KISTI), H대학교 그리고 지역 중소기업체 등이 협력하여 고성능 컴퓨팅 기반 디지털 제조 전문 인력 양성을 위한 산학연 협동 디지털매뉴팩처링(DM) 트랙을 H대학교에 설치하여 운영 중이다. 본 논문에서는 이 과정을 이수하는 학생들이 졸업 후에 산업체에서 디지털매뉴팩처링 실무에 바로 투입되어 일할 수 있는 일련의 교육 과정 사례를 보여준다. 2013년부터 2년 간 진행했던 디지털매뉴팩처링 트랙 강의의 운영 사례를 수록하되, 설립 과정, 강의 내용, 실습 내용, 학생들의 평가 및 개선 방향 등을 정리하였다. 전반적으로 트랙 운영, 교과목 운영, 학생들의 학습 성취도 면에서는 성공적이었으며, 향후 보다 많은 학생들의 활발한 참여와 더불어 취업이나 인턴십 제공, 캡스톤디자인프로젝트의 협동 운영 등을 포함한 참여 기업의 보다 적극적인 관심을 촉진하여, 전국적인 디지털매뉴팩처링 인력 양성 네트워크로 확대해 나갈 수 있을 것으로 보인다.

Abstract Digital manufacturing (DM) technology helps engineers design products promptly and reliably at low production cost by simulating a manufacturing process and the material behavior of a product in use, based on three-dimensional digital modeling. The computing infrastructure for digital manufacturing, however, is usually expensive and, at present, the number of professional design engineers who can take advantage of this technology to a product design accurately is insufficient, particularly in small and medium manufacturing companies. Considering this, the Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI) and H University is operating a DM track in the form of Industry-University-Research Institute collaboration to train high-performance-computing-based DM professionals. In this paper, a series of courses to train students to work directly into DM practice in industry after graduation is reported. The operating cases of the DM track for two years since 2013 are presented by focusing on the progress in establishment, lecture and practice contents, evaluation of students, and course quality improvement. Overall, the track management, curriculum management, learning achievement of students have been successful. By expediting more active participation of the students in the track and providing more internship and job offers in the participating companies in addition to collaborative capstone design projects, the track can be expanded by fostering a nationwide training network.

Keywords : Digital manufacturing(DM). Digital prototyping(DP). Finite-element method. High performance computing(HPC). Industry-University-Research Institute collaboration.

본 논문은 2015년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Yeong Sung Suh(Hannam Univ.)

Tel: +82-42-629-7999 email: suhy@hnu.kr

Received November 11, 2015

Revised December 28, 2015

Accepted February 4, 2016

Published February 29, 2016

1. 서론

21세기에 들어서면서 국가의 지속적인 경제 성장을 위하여 우리나라 제조 관련 중소기업은 글로벌 경쟁력 확보를 위한 혁신이 계속 요구되고 있으나 대부분의 경우, 전문기술력, 인력, 자본 등의 부족으로 인하여 적절하게 대응하지 못하고 있는 실정이다. 참고로, 2011년 우리나라 제조업 1인당 생산성은 \$97,382로 일본이나 독일에 비해 상대적으로 높은 수준이나, 중소기업 생산성(9천9백만원)은 대기업(3억5천3백만원)의 28% 수준에 불과하다. 저성장의 위기와 경쟁의 심화 속에서 비용우위와 수익성 확보를 달성하기 위한 핵심 수단으로서 ‘생산성 제고’가 시급하다[1].

대기업에 비하여 중소기업의 낮은 생산성에 관련되어 있는 영역 중 하나가 3차원 CAD 모델링 및 시뮬레이션 소프트웨어를 연계하여 설계 프로세스를 혁신적으로 향상시킬 수 있는 디지털매뉴팩처링(digital manufacturing)[2-3] 분야이다. 우리나라의 중소기업은 대기업에 비해 3D CAD 사용비중이 매우 낮아, 완벽한 제품정의와 원활한 후속공정(downstream) 연계에 지장을 초래하고 있다. 특히 제품 및 설비의 3차원 디지털 모델을 기반으로 제품 생산 시 이루어지는 모든 공정 및 제품을 구성하는 재료의 기계적 거동 등을 초기 설계 과정에서 미리 시뮬레이션 해봄으로써 저비용으로 보다 신속하고 신뢰성 있는 설계를 할 수 있도록 돕는 디지털매뉴팩처링 기술에 있어서도 상용 소프트웨어의 가격이 매우 고가인 점, 시뮬레이션 결과를 정확하고도 효율적으로 설계에 적용할 수 있는 전문 인력의 수자가 절대적으로 부족한 점 등이 어려움을 가중시키고 있다. 한국과학기술정보연구원(KIST)은 2007년부터 2015년까지 약 400여 중소기업을 대상으로 고성능 컴퓨팅(슈퍼컴퓨팅) 활용 기반으로 3D 시뮬레이션 제품 설계에 대한 기술 지원을 수행하여 제품 생산에 따른 시간과 비용에 있어서 획기적인 경제적 효과를 거두고 있다[4]. 이러한 혁신적인 제품 설계 기술 (전문 공학해석 인력 포함)을 중소기업이 독립적으로 확보하게 된다면, 중소기업은 제품개발의 병목현상을 극복하고 생산성을 제고할 수 있는 핵심적 동력을 확보할 수 있을 것이다.

이러한 점을 고려하여 Fig. 1과 같은 프레임워크 하에 2013년도부터 한국과학기술정보연구원(KISTI)과 H대학교는 고성능 컴퓨팅 기반 디지털 제조 전문 인력 양성

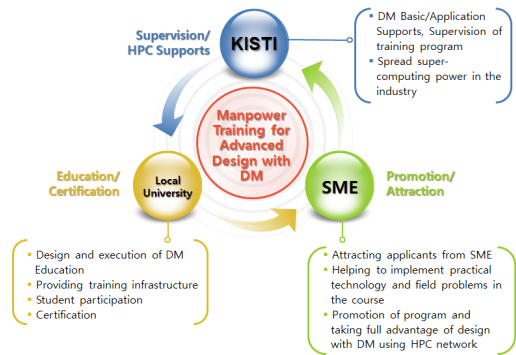


Fig. 1. A manpower training framework of supercomputing-based digital manufacturing

을 위한 산학연 협동 트랙형 교육과정(축약하여 디지털매뉴팩처링 트랙)을 H대학교에 신설하고, 학생들이 본 과정을 이수하고 나면, 트랙 참여 기업이나 다른 기업 등에서 바로 디지털매뉴팩처링을 활용한 제품 설계 전문 인력으로서 일할 수 있는 실무 능력을 갖추도록 교육하고 있다. 아직은 초기 단계이지만, 본 논문에서는 2013년부터 2년간 진행했던 디지털매뉴팩처링 트랙 강의의 운영 사례를 소개하되, 설립 과정, 강의 내용, 실습 내용, 학생들의 평가 및 개선 방향 등을 정리함으로써 향후 본 과정을 전국으로 확대하는데, 기초적인 자료로 제공하고 자 한다.

2. 디지털매뉴팩처링 트랙

2.1 개요 제목

고성능 컴퓨팅 기반 디지털 제조 전문 인력 양성을 위하여 산·학·연 협동으로 진행되는 디지털매뉴팩처링 트랙의 네 개 코어 과목은 주로 3차원 CAD 및 유한요소 해석을 다루며, 교과목 운영의 지속성 및 학생들의 학습 동기 제고를 위하여 정규 전공 선택 교과목으로 편성하고 각 분야의 기본 및 심화 과정을 여름 및 겨울 학기로 나누어서 진행하고 있다. 산학협력 교과목 개발을 적극 지원하는 취지에서 학사운영 지침 상 전공교과목 개설 상한선(90학점)에 본 네 교과목은 해당되지 않는다. 디지털매뉴팩처링 트랙의 추진 체계로서 H대학교는 교과목 설치 및 운영, 평가를, 한국과학기술정보연구원은 강의에 필요한 하드웨어 및 소프트웨어적 기반 지원, 산업체 연계를, S사(SOLIDWORKS[5])를 활용한 3차원 CAD

교육)와 D사(ANSYS[6]를 활용한 유한요소해석 교육)의 협력 기업은 교과목의 실무 강의를 맡을 수 있도록 하고, 네 개의 참여 기업은 졸업생들의 현장실습이나 인턴십, 취업의 기회 등을 제공하도록 구성하였다.

2.2 트랙 이수 조건

디지털매뉴팩처링(이하 DM) 트랙을 이수하려면, 코어과목인 디지털프로토타이핑 I, II(이하 DP1 및 DP2), 디지털매뉴팩처링 I, II(이하 DM1 및 DM2) 뿐만 아니라, H대학교 기계공학과의 전공 교과목 중 DM 관련 과목들을 필수 또는 선택으로 이수하도록 규정하였다.(Table 1)

Table 1. Required and recommended courses in the DM track

Yr.	Term	Required Course	Selective Course
1	1		
	2	Creative Engineering Design (212)	
2	1	Engineering Graphics (322)	
	2	Advanced Manufacturing Process and Design (330)	
3	1	Applied Mechanics of Materials (330)	
	S	Digital Prototyping I (212) Digital Manufacturing I (212)	
	2		Materials and Design (330) CAD/CAM(322)
	W	Digital Prototyping II (212) Digital Manufacturing II (212)	
4	1	Capstone Design Project (322)	
	S		Field Practice
	2		Field Internship I~IV (303 each) Production Management and Technology (330) FEM/CAE(330)
Track general			Engineering Economy (330) Engineering Ethics (330) Management of Technology (330) Introduction to Accounting (330)
Sum of Credit		22	

주: 1. The numbers in the parathesis indicate Credits - Lecture Hours - Practice Hours.
2. Customized topics requested by participating companies can be reflected in some courses.

2.3 수업 일정

DM 트랙의 코어 과목인 디지털프로토타이핑과 디지털매뉴팩처링 과목들은 여름 학기와 겨울 학기에 각각 2 학점-강의 1시간-실습 2시간의 분량으로 기초 및 심화 과정을 다루며 집중 실습을 포함하는 수업의 특성상 정규 학기 15주 과정의 내용을 통상 2주(45시간)에 집약하여 이론과 실습을 배우게 된다. 3장에 각 과목의 개요, 목표와 내용을 수록한다.

3. 트랙 코어 과목

3.1 디지털프로토타이핑 I

3.1.1 학습 개요

디지털 프로토타이핑(digital prototyping)은 제품 수명주기에 있어서 기존의 설계도 및 시제품 방식이 아닌 3차원 모델링 방식으로 디지털 정의하는 것을 말한다. 이를 위해 DP1에서는 형상 모델링의 기초와 피처(feature) 기반 파라메트릭(parametric) 모델링을 익힌다. 단품 수준의 디지털 프로토타이핑을 익힌 후에는 조립 및 장치 설계에 해당하는 관계 논리 모델링을 익힌다. 또한 디지털 자료의 교환형식에 대해서 배우게 된다.

3.1.2 학습 목표

DP1의 학습 목표는 Table 2에 나타내었다. 3차원 CAD 모델링의 기초를 습득할 것을 목표로 한다.

Table 2. Course objectives of DP1

	Course Objectives (Upon Completion of the course, the student...)
1	Can do a feature-based prototyping.
2	Can do a bottom-up assembly prototyping.
3	Can draw a production drawing by prototyping.
4	Can complete a manufacturing drawing by making out seat, template, BOM and table.

3.1.3 학습 내용

주요 학습 내용으로서는 SOLIDWORKS 기초 및 사용자 인터페이스, 스케치 및 기초 파트 모델링, 주조 모델링 및 회전 피쳐, 편집 설계 변경/설정, 도면 사용, 상향식(bottom-up) 어셈블리 모델링, 어셈블리 사용, 템플릿 등을 다루며, 매 주 강의와 함께 적절한 실습을 진행

한다. 첫째 주에는 3차원 CAD에 대한 기초적 이론을 배우며, 둘째 주의 사례 연구에서는 산업체 현장에서 적용되고 있는 디지털프로토타이핑 실무를 소개한다. DM 트랙에서는 슈퍼컴퓨터를 활용한 디지털매뉴팩처링 실무 인력을 양성하는 목적이 있으므로 셋째 주에는 슈퍼컴퓨팅 이론과 실무도 배우게 된다.

3.2 디지털프로토타이핑 II

3.2.1 학습 개요

DP2에서는 자유 곡면과 스타일링을 포함하는 형상 모델링을 익힌다. 또한 기구학 및 동역학 관계논리 모델링과 시뮬레이션 기법을 배운다. 머시닝 및 몰드 프로토타이핑 기술을 포함할 수 있다. 탑다운 방식의 조립체 정의 기법을 포함할 수 있다.

3.2.2 학습 목표

DP2의 학습 목표는 Table 3에 나타내었다. 표면 기반(surface-based), 하향식(top-down) 프로토타이핑 등, 3차원 CAD 모델링의 좀 더 진보된 내용을 습득할 것을 목표로 한다.

Table 3. Course objectives of DP2

	Course Objectives (Upon Completion of the course, the student...)
1	Can do a surface-based prototyping.
2	Can do a bottom-up skeleton and assembly prototyping.
3	Can do a modeling in connection with a simulation tool.
4	Can do a process-based prototyping for the design-for-manufacturing.

3.2.3 학습 내용

DP1과 마찬가지로 이론 및 사례 연구, 슈퍼컴퓨팅 이론 및 실무의 진보된 토픽을 다룬 후, 하향식 어셈블리 모델링, 멀티바디 솔리드, 스위프(sweep)와 로프트(loft), 곡면 이해와 개요, 솔리드-곡면 하이브리드 모델링, 판금 플랜지 방법, 용접구조물, 코어(core)와 구멍(cavity), 다중 분할 방향 등을 학습한다.

3.3 디지털매뉴팩처링 I

3.3.1 학습개요

디지털매뉴팩처링(DM)은 제품 및 장치의 3차원 디지털 프로토타입을 기반으로, 제품 생산시 이루어지는 제

조공정 및 작동과정을 모델링하고 시뮬레이션하여 분석해 봄으로서 설계 단계에서 성능 및 품질 정보를 확보하여, 보다 신뢰성 있는 설계를 신속하게 저비용으로 할 수 있도록 돕는 기술이다. DM1에서는 DM의 필수기술에 해당하는 3차원 형상모델링 및 유한요소해석의 기초를 배우고 실습을 통해 실무기술을 익힌다. 주로 단일 부품 수준의 실습을 진행하되, 유한요소해석에서는 선형 탄성 문제와 열 변형 해석에 국한한다.

3.3.2 학습 목표

DM1의 학습 목표는 Table 4에 나타내었다. 상용 유한요소 패키지인 ANSYS를 활용하여 주로 선형 해석을 수행하기 위한 기본 내용을 배우고 실무를 익히는 것을 목표로 한다.

Table 4. Course objectives of DM1

	Course Objectives (Upon Completion of the course, the student...)
1	Will get used to the user environment of ANSYS Design Modeler for generation and correction of a geometry in ANSYS Workbench.
2	Will acquire procedures and methods of generation and correction of finite-element model using ANSYS Design Modeler.
3	Will get used to the user environment of ANSYS Workbench for the mesh generation and correction.
4	Will get used to the user environment of ANSYS Workbench for geometry import, meshing, prescription of loading and support condition and postprocessing.
5	Will acquire procedures and methods to do FEA simulations for linear static, modal, and/or harmonic structural analyses.
6	Will acquire procedures and methods to do FEA simulations for nonlinear steady-state thermal analyses.

3.3.3 학습 내용

첫째 주의 DM1 이론에서는 유한요소해석 모델링 및 해석에 대한 기초적 이론을 배우며, 둘째 주의 사례 연구에서는 산업체 현장에서 적용되고 있는 디지털매뉴팩처링 실무를 소개한다. 유한요소해석은 3학년 1학기 응용재료역학 과목(전공선택)에서 기초 내용과 함께 VisualFEA라는 소프트웨어를 다루며 간단하게 실무 내용을 배우지만, 3학년 여름 학기까지는 아직도 모델링 및 해석에 대한 기본적인 학습능력이 충분히 개발되어 있지 않으므로, 학습자가 이해하기 어려운 과도한 수준의 내용은 제외하였다. 교과 과정을 운영하면서 실무적 흥미를 유발하여 학습동기를 제고할 수 있는 방안을 지

속적으로 모색할 필요가 있다. 주요 학습 내용으로 Workbench 와 DesignModeler의 개요, 모델링의 기초, 기하적 형상의 단순화 및 보수(repair), CAD 연계, 매개화(parameterization), 보와 셀 요소, 요소망 생성(meshing), 전처리 일반, 정적 구조 해석, 모델링 연계, 원격 경계 조건, 다단계 해석, 진동 해석, 열 해석, 결과 및 후처리, CAD 및 매개변수 등을 다루고, 마지막 주에 평가를 수행한다.

3.4 디지털매뉴팩처링 II

3.4.1 학습 개요

DM2에서는 DM의 실용 기술에 해당하는 조립체 형상 모델링을 이용한 비선형 유한요소해석의 응용 실무 기술을 익힌다. 유한요소해석에서는 재료 및 기하학적 비선형성, 운동학적 구속 및 접촉을 다룸으로서 실무 응용 능력을 키운다.

3.4.2 학습 목표

DM2의 학습 목표는 Table 5에 나타내었다. ANSYS를 활용하여 주로 비선형 구조 및 열 해석을 수행하기 위한 기본 내용을 배우고 실무를 익히는 것을 목표로 한다.

Table 5. Course objectives of DM1

	Course Objectives (Upon Completion of the course, the student...)
1	Will understand a concept of nonlinear analysis and acquire procedures and methods to perform a nonlinear analysis with ANSYS Workbench.
2	Will understand a concept of contact nonlinearity and can apply contact with ANSYS Workbench.
3	Will understand methods on the setup and application of a contact using ANSYS MAPDL

3.4.3 학습내용

첫째 주의 DM2 이론에서는 재료 비선형 등에 대한 보다 진보된 이론을 배우며, 둘째 주의 사례 연구에서는 DM1과 마찬가지로 산업체 현장에서 적용되고 있는 디지털매뉴팩처링 실무를 소개한다. 주요 학습 내용으로, 비선형 개요, 비선형 해석 과정 일반, 접촉 개요, 금속 소성, 안정화(stabilization), 비선형 진단, 인터페이스 처리, MAPDL을 이용하여 진보된 접촉 기능 접근, 등을 다루고 마지막 주에 평가를 수행한다.

4. 평가

4.1 디지털프로토타이핑 I

4.1.1 직접 평가

강의 및 실습을 마친 후 마지막 시간에 실습 평가를 수행하였다. 디지털매뉴팩처링 코어 과목들의 평가를 위한 시험 문제는 강사의 주관적인 판단에 따라 평가의 객관성을 잃지 않도록 가능한 한 정형적인 문제들로 출제하였다. Fig. 2에 2013년도 여름학기에 주어진 실습 시험 문제 중 한 개를 수록하였다. 성적은 출석(20)-중간시험(40)-최종시험(40)의 배분으로 평가하였으며, 평균 성적이 100점 만점에 79.9점으로 전체적으로 고른 성적분포를 보였으므로 수업 내용을 충분히 습득한 것으로 판단된다. 2014년도에는 출석(20)-과제(20)-시험(60)으로 평가(평가 내용은 전년도의 내용과 유사)하여 평균 성적이 100점 만점에 81.4점으로 역시 만족할 만한 학습 성과를 얻은 것으로 보인다.

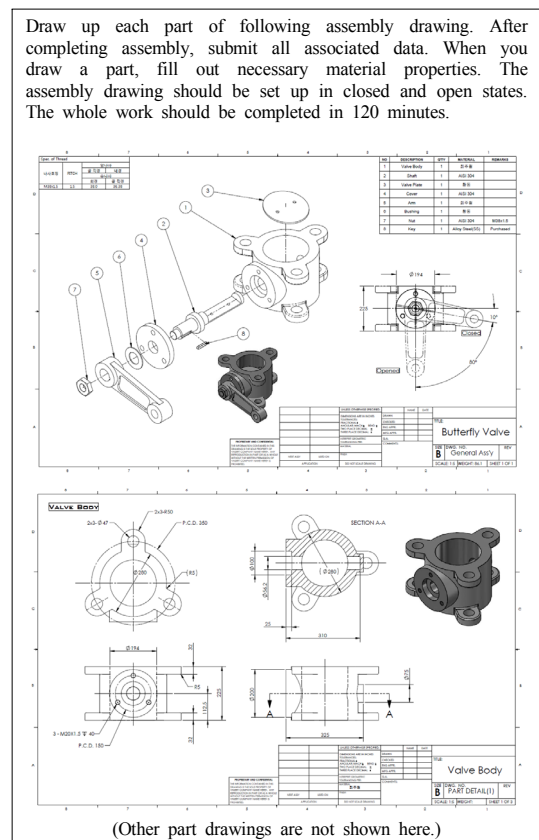


Fig. 2. Partial presentation of the final exam of DP1 in 2013

4.1.2 설문에 의한 평가

2013년도 주요 설문 평가에서는 Table 2의 학습 목표 내용 네 항목을 학습자가 성취하였는지 순서대로 (Q1~Q4) 질의하였다. 이에 대한 설문 응답 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 2013년과 2014년의 설문 문항은 동일 하였으며, 두 경우 모두 학습 성과 획득에 대한 긍정적인 응답이 80% 정도 되어 강의 및 실습 면에서 만족할 만한 성과를 거둔 것으로 보인다.

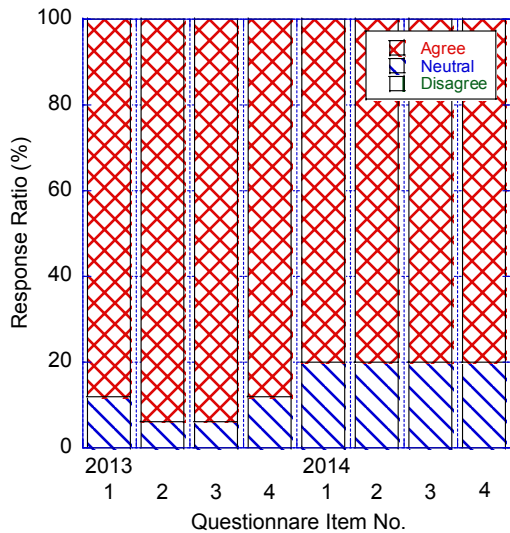


Fig. 3. Responses to the questionnaire on achieving learning outcomes from DP1 lecture in the year 2013 and 2014

4.2 디지털프로토타이핑 II

4.2.1 직접 평가

Fig. 4에 2013년도 겨울 학기에 주어진 실습 시험 문제 중 하나를 수록하였다. 출석(20)-과제(20)-시험(60)으로 평가하여 평균 성적이 100점 만점에 95.7점, 2014년도에는 평균 성적이 92.8점(73점을 받은 한 명의 학생을 제외하면 95.6점)으로 두 번의 강의에서 모두 만족할 만한 학습 성과에 대한 성취도를 보여주었다.

4.2.2 설문에 의한 평가

2013년도 DP2의 주요 설문 평가에서는 Table 3의 학습 목표 내용 네 항목을 학습자가 성취하였는지를 순서대로 (Q1~Q4) 질의하였다. 이에 대한 설문 응답 결과는 Fig. 5에 나타내었다. Q1, 2, 4의 설문 문항에서는 100%

의 긍정적 응답을 보였으며, Q3에서는 75%의 긍정도를 보였다. SOLIDWORKS는 전문적인 유한요소해석 지식이 없는 사용자가 사용할 수 있는 시뮬레이션 툴을 제공하는데, 아무래도 수치해석 및 유한요소해석에 대한 이해도가 낮은 학생의 경우, 시뮬레이션과 연계한 모델링에 자신감이 부족한 것으로 보인다. 2014년의 DP2에서는 설문조사를 누락하여 직접평가로만 수업 만족도를 확인하였다.

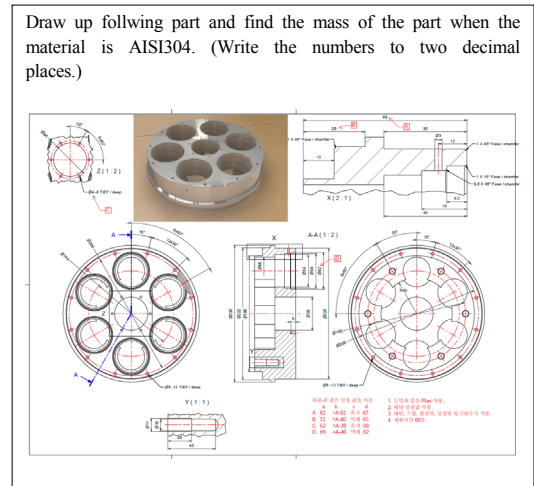


Fig. 4. A problem set selected from final evaluations of DP2 in 2013

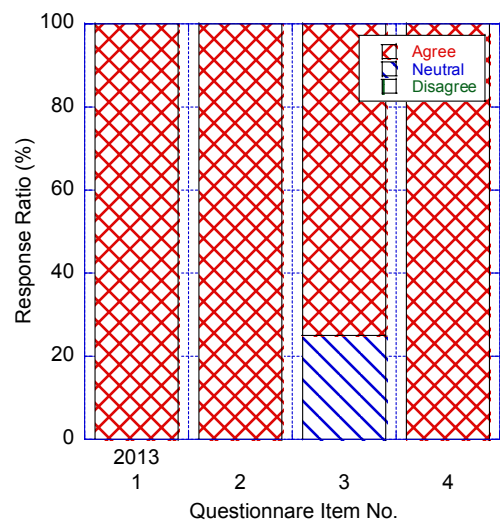


Fig. 5. Responses to the questionnaire on achieving learning outcomes from DP2 lecture in 2013

4.3 디지털매뉴팩처링 I

4.3.1 직접 평가

DMI에서는 주로 유한요소해석을 위한 모델링(Design Modeler)의 내용과 요소 생성(ANSYS Meshing)을 다루었다. 또한 ANSYS Mechanical에 대한 내용을 다룸으로써 해석에 대한 전반적인 내용과 흐름을 이해할 수 있도록 수업을 진행하였다. DMI도 DP1에서와 마찬가지로 강의 및 실습을 마친 후 마지막 시간에 실습 평가를 수행하였다. Fig. 6에 2013년도 여름학기에 주어진 실습 시험 문제 중 하나를 수록하였다. 수강한 학생들의 시험 평균 성적은 100점 만점에 36.2점, 최고 점수가 62.5점으로 DP1과는 달리 강사가 의도한 학습 수준에 학생들이 충분히 도달하지 못한 것으로 보인다. 이는 3학년 학생들이 아직 유한요소해석에 대한 충분한 기본 지식이 없이 강의에 참여하였기 때문인 것으로 보인다. 모델링 단계에서는 큰 어려움이 없었으나, 해석 결과를 판단하는 단계에서 요구되는 수준에 이르지 못한 것 같다. 2014년도에는 열 해석에서 비선형 부분을 제외하여 난이도를 낮추었으며, 전반적으로 학습 내용의 난이도를 낮추고 실습을 강화함으로써 시험 평균 성적은 100점 만점에 63.8점, 최고 점수가 85점으로 학습 성과에 대한 성취도가 대폭 향상되었다.

Perform structural analysis for the following pressure vessel and determine the maximum deformation and the maximum equivalent stress. (Modeling input file is provided.)

3-1 Simplify the above 3D model to 2D by using Design Modeler.

3-2. Fill out following values.
 Max. total deformation: _____
 Max. equivalent stress: _____

Fig. 6. A problem set selected from final evaluations of DM1 in 2013

4.3.2 설문에 의한 평가

2013년도 설문 평가 내용은 Table 4의 학습 성과를

좀 더 세분화하여 Table 6과 같이 재구성하였다. 이에 대한 설문 응답 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 직접 평가 및 설문 평가 결과를 통하여 Q6 항목에서 나타난 조화 구조(harmonic) 해석, 그리고 Q7 항목에서 나타난 비선형 정상(steady-state) 열 해석의 난이도가 높았던 것으로 판단되어 2014년도에는 조화 구조 해석을 제외하고, 또한 비선형을 제외한 선형(linear) 정상 열 해석을 다루도록 하였으며, 유한요소해석을 위한 모델링의 내용을 Design Modeler 실습 위주로 많은 학생들에게 많은 시간을 주면서 강의를 진행하였다. 또한 요소망 생성에 대한 내용은 기본적인 설정 방법과 개념 위주로 수업을 진행하였으며, ANSYS Mechanical에 대한 내용은 기본적인 내용이기 때문에 가장 많은 설명과 실습 시간을 할당하였다. 그리고 구조해석에서 가장 많이 다루는 열전달 해석, 모달 해석, 그리고 열-구조 연성 해석을 이해하고 실습을 하게 함으로써 실제 문제에 대한 내용과 흐름을 숙지할 수 있도록 수업을 진행하였다. Q2 항목 즉, 3차원 유한요소모델 생성 및 수정에 관한 방법 숙지 면에서는 오히려 2014년도에 성취도가 약간 떨어졌지만 우려할만한 수준은 아닌 것으로 판단된다. 2014년 직접 평가와 설문 조사 결과를 보면, 앞에서 언급한 수업 개선을 통하여 학생들의 학습 성취도가 전년도에 비하여 대체적으로 향상된 것을 관찰할 수 있다.

Table 6. Survey questions for student performed in DM1

	Course Objectives (After completing the course, I ...)
Q1	Am used to the user environment of ANSYS Design Modeler for generation and correction of a geometry in ANSYS Workbench.
Q2	Got to know procedures and methods of generation and correction of 3D finite-element model using ANSYS Design Modeler.
Q3	Got used to the user environment of ANSYS Workbench for the mesh generation and correction.
Q4	Got used to the user environment of ANSYS Workbench for geometry import, meshing, prescription of loading and support condition and postprocessing.
Q5	Got used to procedures and methods to do FEA simulations for linear static case.
Q6	Got used to procedures and methods to do FEA simulations for modal and harmonic structural analyses.
Q7	Got used to procedures and methods to do FEA simulations for nonlinear steady-state thermal analyses.

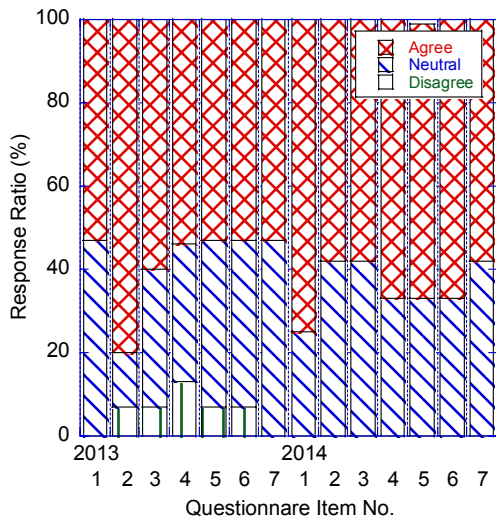


Fig. 7. Responses to the questionnaire on achieving learning outcomes from DM1 lecture in the year 2013 and 2014.

4.4 디지털매뉴팩처링 II

4.4.1 직접 평가

Fig. 8에 2013년도에 출제했던 평가 문항 중 하나를 예시하였다. 2013년에는 접촉이나 비선형 개념을 학부 수준에서 이해하기는 어렵다고 판단하여 개론적인 내용을 다루면서 실습 위주의 수업을 진행한 후 거의 균일한 절대 성적을 부여하였기 때문에 직접 평가에 대한 분석을 유보하였으나, 설문에 의한 간접 평가 및 강사의 판단으로 보았을 때, DM1에서 수강했던 학생(19명) 중에서 진보된 수업 목표에 대한 학습동기가 월등 강했던 학생들(11명)만 수강해서인지, 전체적으로 고른 학습 성과 성취도를 보였다. 2014년에는 2013년도의 학생 응답 및 강사의 수업 진행 경험을 고려하여 수업을 재설계하여 진행하였다. 그 결과 시험(100)-출석(20)-포트폴리오(10)로 평가하여 130점 만점에 평균 90.3(약 69.2%)을 기록하며, 비교적 만족할만한 학습 성과 성취도를 보였다.

4.4.2 설문에 의한 평가

DM2의 2013년도 설문 평가 내용은 Table 4의 학습 성과를 좀 더 세분화하여 Table 7과 같이 재구성하였다. 이에 대한 설문 응답 결과는 Fig. 9에 나타내었으며, 설문에 의한 간접 평가로만 본다면 전체적으로 학습 성과에 대한 만족도가 높은 편이었다. 이는 앞에서 언급하였듯이, DM2에서는 DM1에서 보다 수강생들의 학습에 대

한 동기가 더 강하고 DM1에서 배운 학습 내용이 바탕이 되었기 때문이기도 하다. 또한 DM1의 강의를 참조해서 DM2의 수업을 보다 학생들의 눈에 맞추어 설계하였기 때문인 것으로 보인다. 그러나 강사의 입장에서 관찰한 바에 의하면 DM2의 난이도가 DM1에 비해 훨씬 높아 30%정도의 학생들에게는 부담이 된 것으로 파악되었다. 이는 접촉, 재료 비선형 등, 학부 수준의 학생들로서는 이해가 수월치 않은 내용을 다루었기 때문이기도 하다. 학생들의 설문 응답 중에는 배운 내용에 대한 실무적 적용이 부족하다고 지적한 면도 있어, 차기 강의에는 재료 및 기하 비선형에 대한 사례를 좀 더 보여주고, 기본적인 접촉 정의를 통한 실무 적용을 추가로 포함시켰다. DM 트랙의 필수 과목인 응용재료역학에서는 소재의 항복(yield) 등 재료의 비선형에 대한 기초 내용도 포함하고 있으므로, 차후 학생들이 3학년 1학기에 설강되는 이 과목을 먼저 수강한 후 DM2를 수강하도록 적극 지도하는 것이 바람직하다. 또한 보다 수월하게 접촉 해석을 좀 더 수월하게 이해시키기 위하여 간단한 실무 소성가공 공정 및 충격해석 등을 포함하는 것도 고려해 볼지하다.

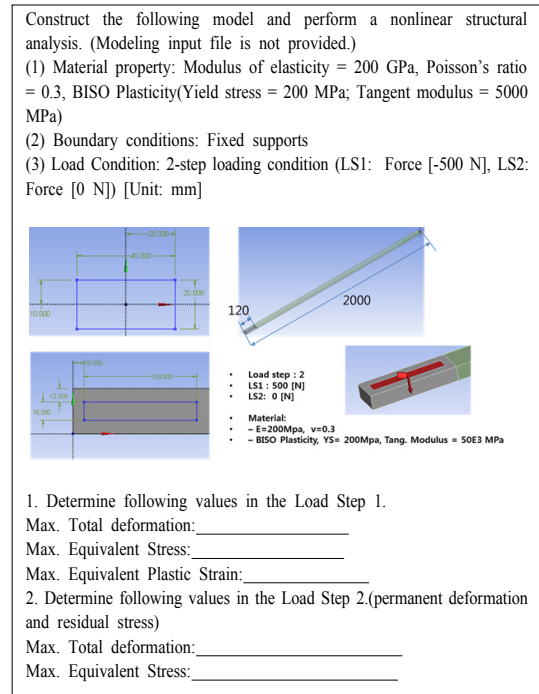


Fig. 8. A problem set selected from final evaluations of DM2 in 2013

Table 7. Survey questions for student performed in DM2

	Course Objectives (After completing the course, I ...)
Q1	Got used to the ANSYS user environment to carry out a non-linear analysis.
Q2	(The questions below are within the context of ANSYS Workbench) Understand the concept of the nonlinear analysis. Now I am familiar with procedures and methods to perform it.
Q3	Understand the concept of the geometric nonlinearity. I am now familiar with how to apply it.
Q4	Understand the concept of the contact nonlinearity. I am now familiar with how to apply it.
Q5	Understand the concept of the material nonlinearity. I am now familiar with how to apply it.
Q6	Understand more detailed method of setup and application of contact by using a nonlinear diagnosis function.
Q7	Understand the concept of the connection function. I am now familiar with how to apply it.

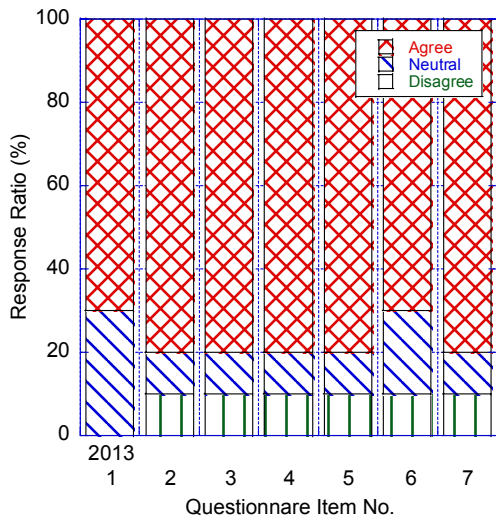


Fig. 9. Responses to the questionnaire on achieving learning outcomes from DM2 lecture in the year 2013

5. 결론

디지털매뉴팩처링을 활용한 중소 제조 기업에서의 설계 인력 양성 프로그램의 일환으로 2013년부터 2년간 KISTI와 H대학교가 함께 진행한 디지털매뉴팩처링 트랙의 운영 사례를 소개하였다. 이 기간 중 다음과 같은 점을 관찰하였다.

- (1) 전체적인 직, 간접 평가에 의하면 수업에 대한 학생들의 학습 성취도 및 만족도는 높은 것으로 보인다.
- (2) 2013년도 여름학기의 DP1 과목에는 20명의 학생이 수강하여 겨울학기의 DP2 과목 수강생이 12명으로

줄어들었는데, 이는 포기한 학생들이 겨울 방학 중 일정 선택의 우선순위에서 본 트랙 과목에 대한 이수를 고려하지 않은 것으로 보아 포기한 학생들의 트랙 참여에 대한 참여 동기가 높지는 않은 것으로 판단되었다. 그러나 겨울 학기의 좀 더 진보된 수업(DP2 및 DM2)까지 수강하는 학생들은 동기 의식과 학업 성취도가 매우 우수하였다. 2014년도에도 전년도와 유사한 경향을 보인 것으로 보아, 전반적으로 트랙을 이수하려는 학생들은 여름학기 기초 수업(DP1 및 DM1)을 통해 학습에 대한 높은 만족도와 흥미를 갖게 되고, 다음 단계의 수업에 대한 학업 의지를 확고히 하는 것으로 보인다.

- (3) 2013년 디지털매뉴팩처링 트랙의 코어 과목(DP1, DP2, DM1 및 DM2)을 모두 수강한 학생들 11명 중 디지털매뉴팩처링 트랙의 모든 요구 조건을 모두 만족한 학생들이 2015년도 초에 5명 졸업하였는데, 이 중 4명이 회사, 대학원에 진학하여 DM 관련 업무를 수행하고 있다. 이 밖에 트랙의 코어 과목인 DP, DM 과목들은 모두 수강하였으나, 다른 필수 과목을 수강하지 않아 트랙 이수증을 받지 못한 채 산업체에서 취업하여 디지털매뉴팩처링 관련 업무를 담당하고 있는 졸업생도 있다. 본 트랙의 목적을 보다 분명히 만족시키려면 참여 회사에 많은 학생들이 진출해야 했으나, 학생들이나 회사의 상호간 선호도가 일치하지 않는 경우가 많아, 1차 트랙 이수 학생들의 참여 회사로의 진출은 이루어지지 않았다. 이는 트랙 진행 중 참여 기업의 적극적 관심과 협력을 유도하고, 이렇게 함으로써 참여 기업에서의 인턴십 제공, 취업 등에 대한 기회를 제고할 수 있어야 함을 시사한다. 또한 본 트랙이 처음 시작될 때, 중소기업에서 디지털매뉴팩처링의 이해도가 높지 않아 연구원-학 교가 주도하였기 때문에 산업체의 적극적인 관심이 부족했던 것으로 판단된다. 또한 참여 기업을 선정할 때 학생들의 취업 선호도를 고려하는 것도 필요하다.
- (4) 본 DM 트랙은 4년제 대학의 기계공학 관련 교육과정으로의 도입 차원에서 두 가지 긍정적인 면을 시사해 주고 있다. 첫째는 DP2와 DM2의 일부 교육 내용은 대학원 수준의 이론 과목을 바탕으로 하기 때문에 학부생에게는 난이도가 높을 수 있으나 강의를 실무 위주로 진행하고 시뮬레이션 소프트웨어의 사용자 인터페이스가 매우 직관적이고 편리하여 학습

하는데 큰 무리가 없었다는 점이며, 둘째는 학사 운영 관련 규정 또는 지침 상, 추가 편성이 어려운 4개의 트랙 코어 과목들을 계절 학기를 이용한 트랙 형식으로 설강하여 운영의 효율성을 높인 점이다.

- (5) 전반적으로 트랙 및 교과목 운영, 학생들의 학습 성취도 면에서는 성공적이라 할 수 있으므로, 실무형 캡스톤디자인프로젝트의 협동 운영, 현장실습, 인턴십 및 취업 기회 제공, 등 참여 기업의 보다 적극적이고 다양한 참여를 촉진함으로써 현재는 파이로트 성격의 DM 트랙 운영을, KISTI에서 조성한 과학기술정보협의회 (ASTI) 및 지역 산업체, 그리고 지방거점 대학과 연계하여 Fig. 10에 나타난 바와 같은 초고성능 컴퓨팅 기반 디지털제조패키징 인력 양성 사업으로 확대할 수 있을 것으로 본다.

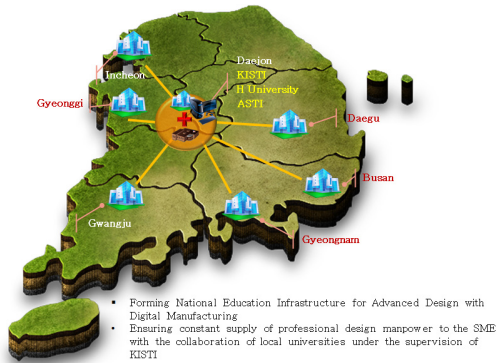


Fig. 10. HPC-based digital manufacturing manpower training network

References

- [1] Small and Medium Business Administration, "Productivity Improvement Scheme of Small and Medium Business to Realize a Creative Economy", Press Release, June 12, 2013.
- [2] G. Chrysosouris, D. Mavrikios, N. Papakostas, D. Mourtzis, G. Michalos, "Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 223 No. 5, pp. 451-462, May, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1243/09544054JEM1241>
- [3] Daily Industry, "A New Wave of Manufacturing: Digital Manufacturing", News Article, [cited 2015 March 30], Available from: <http://www.kidd.co.kr/news/179175>. (accessed December 24, 2015)
- [4] J. S. Kim, S. M. Lee, M. I. Kim, J. G. Jang, "Economic Value Analysis of Supercomputing Service for Small and Medium-sized Businesses", IE interfaces, Vol. 23, No. 4, pp. 319-326, December, 2010.

[5] Dassault Systèmes, SOLIDWORKS 2012, 2011.

[6] ANSYS, Inc., ANSYS Mechanical V14.5, 2012.

서 영 성(Yeong Sung Suh)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학사)
- 1990년 12월 : 미국 Rensselaer Polytechnic Institute 기계공학과 (공학석사(1987년 5월) 및 박사)
- 1991년 10월 ~ 1993년 3월 : 미국 Ohio 주립대 박사후연구원
- 1993년 8월 ~ 1997년 2월 : 시스템공학연구소 선임연구원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한남대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

전산고체역학, 소성역학, CAE

박 문 식(Moon Shik Park)

[정회원]



- 1989년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 1994년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 1994년 9월 ~ 1999년 2월 : 대우중공업 우주항공연구소 책임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한남대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

복합재료 멀티스케일 모델링, 변형률구배 소성이론, 고무 및 폴리머 전산역학

이 상 민(Sang Min Lee)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 자연과학대학 천문학과 (천문학 학사)
- 1993년 2월 : 서울대학교 대학원 천문학과 (천문학 석사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 대학원 천문학과(천체물리학 박사)
- 2002년 4월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 책임연구원

<관심분야>

고성능 컴퓨팅 응용 연구, 산업체 슈퍼컴퓨팅