한국기계가공학회지, 제14권, 제3호, pp.21～26(2015.6) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.14 No.3, pp.21~26(2015.6) ISSN 2288-0771(Online)

http://dx/doi.org/10.14775/ksmpe.2015.14.3.021

◆특집◆ 3D 프린팅 기술 동향과 응용

기계공학 교과과정에서 3D 프린팅 교육의 설계와 운영

이인환*,#, 신정민**, 조해용*
*충북대학교 기계공학부, **이화여자대학교 교육학과

Design and Operation of 3D Printing Education Curriculum in Mechanical Engineering

In Hwan Lee*,#, Jung Min Shin** and Hae-Yong Cho
*School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, **Department of Education, Ewha Womans University.

(Received 11 June 2015; received in revised form 16 June 2015; accepted 17 June 2015)

ABSTRACT

Many 3D printing technologies are being used in various industries, and their demands for well-educated engineers are increasing. Moreover, novel technologies are being developed to overcome the limits of existing 3D printing technologies. In this regard, adequate education and a related curriculum especially in the Mechanical Engineering field, which is the basis of the industry, is essential. In this paper, the development of the 3D printing curriculum and its assessment in Mechanical Engineering education are proposed. The education program consisted of lectures and practice. It consisted of major 3D printing technologies, such as SLA, FDM, SLS, LOM, and Polyjet. Moreover, post-processing, room temperature vulcanizing (RTV), and coloring were also taught. The effectiveness of the proposed education program was assessed by the questionnaire survey, and the results were analyzed. Areas of improvement were deduced from the survey results.

Key Words : 3D Printing(3차원 프린팅), Mechanical Engineering Education(기계공학 교육), Instructional Design(교수설계), Learning Outcomes(학습 성과)

1. 서 론

3차원 프린팅(3D printing)은 3D CAD로 설계된 제품의 형상정보를 바탕으로 단면정보를 추출하고 이를 이용하여 각 단면을 순차적으로 성형하는 기술로서 부가가공 (additive manufacturing) 이라고도 불린다. 이 기술은 1988년 처음으로 상용화 3차원 프린팅 장비[1]가 개발된 이후 현재까지 다양한 종류의 3차원 프린팅 기술이 개발되어 상용화 되어 왔으며, 사용되는 재료들의 형태를 기반으로 구분하는 것이 일반적이다[2]. 한편 이미 개발된 3차원 프린팅 기술에서 벗어나 다양한 형태의 새로운 3차원 프린팅 기술 개발이 활발히 진행되고 있다[3-4]. 최근에는 개방형 소스(open source)들이 개발됨에 따라서 기존의 고가의 산업용 3차원 프린터뿐만 아니라 저가의 개인용 3차원 프린터의 개발이 가속화

Corresponding Author : anxanx@chungbuk.ac.kr
Tel: +82-43-261-3161, Fax: +82-43-263-2441

되고 있다[5-7].

이와 같이 다양한 3차원 프린팅 기술들이 산업에서 사용됨에 따라 점차 그 수요도 증가하고 있다. 또한 기존의 3차원 프린팅기술의 한계를 극복하기 위한 새로운 기술들이 지속적으로 개발되고 있다. 따라서 이런 수요에 부응하기 위해서는 실질적이고 전문적인 교육을 통해 3차원 프린팅과 관련된 역량 있는 인재양성이 요구된다. 특히, 산업의 근간이 되는 기계공학을 기반으로 하는 공학교육에서 체계적으로 3차원 프린팅 관련 교육과정을 개발 및 보급하는 것이 시급하다.

한편, 최근 들어 저가의 개인용 3차원 프린팅을 이용한 공학교육이 대학에서 일부 이루어지고 있다[6, 8-10]. 하지만, 이는 공학교육에서 3차원 프린팅을 활용하는 교과과정의 개발에 대한 것이 대부분이며 3차원 프린팅 기술 자체에 대한 교육은 여전히 미비하다. 이에 본 연구에서는 기계공학 기반의 3차원 프린팅 교육이 보다 실질적이고 체계적으로 이루어질 수 있도록 새로운 교육설계에 따른 학습 효과 및 교육 만족도를 분석한다.

2. 3차원 프린팅 교육과정 구성

2.1 전공교과 체계

충북대학교 기계공학부에서는 2007년부터 쾌속생산시스템 교과목이 정규 교과목으로 편성되어 3차원 프린팅기술에 대한 전문교육이 실시되고 있다. 한편, 3차원 프린팅 기술은 기계공학의 응용학문분야로 분류될 수 있다. 따라서 이 교과목은 3학년 2학기에 배치되어 있어 학생들이 저학년 과정에서 기계공학의 기초 학문분야를 우선 이수 한 후 수강할 수 있도록 설계되어 있다.

Fig. 1은 2015학년도 기준 충북대학교 기계공학부의 전공 교과목 중 3차원 프린팅과 관련한 주요 교과목을 정리한 이수체계도이다. 한편 3차원 프린팅이라는 용어는 최근 들어 널리 사용되기 시작하였으며, 이전에는 이를 부가가공(Additive Manufacturing), 쾌속생산(Rapid Prototyping) 또는 쾌속조형(Rapid Forming)등의 명칭으로 불려 왔다. 본 이수체계도의 교과목명은 2007년부터 정규 교과과

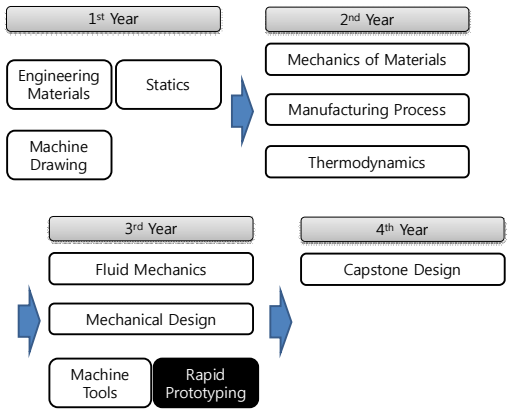

Fig. 1 Curriculum flowchart for major subjects

정에 편성되어 있어 이전에 통용되던 명칭인 쾌속생산시스템으로 되어 있다. 이는 향후 적절한 명칭으로 개정될 예정이다.

Fig. 1에서 알 수 있듯이 3차원 프린팅 교과목은 1~3학년 과정에서 기계공학의 중요 교과목들인 재료역학, 열역학, 유체역학, 기계설계, 기계공작법 등을 이수 한 후 수강 할 수 있도록 교과과정이 설계되어 있다. 또한 3차원 프린팅에서 필수적으로 요구되는 기계제도 및 컴퓨터응용설계 교과목 또한 저학년에서 이수하게 된다. 따라서 충분한 전공지식을 바탕으로 한 3차원 프린팅 교육이 가능하다. 한편, 3차원 프린팅은 학생들의 창의적인 아이디어를 구현하는데 매우 용이한 도구이다[8-10]. 따라서 4학년 과정의 캡스톤 디자인에 적극적으로 활용 될 수 있다. 한편 이 교과목은 전공 선택 교과목으로 3학점이 부여되며, 여기에는 공학교육인증에서 요구되는 설계교과목 1학점이 포함된다.

2.2 교과목의 구성

수강신청 이전에 학생들에게 공개되는 강의계획서에 3차원 프린팅 교과목의 강의 개요 및 교과목 학습목표는 다음과 같이 되어 있다.

강의 개요

제품개발과정에서 필수적인 시제품 제작 등에 이용되는 쾌속조형기술에 대하여 다룬다. 각 쾌속조형기술들의 특징, 적용분야 등에 대하여 심도 있는 이해를 하며, 각 분야의 적용 예와 최근 연구동향

을 살펴본다.

학습목표

다양한 쾌속조형 기술들의 종류 및 각 기술들의 특징을 이해한다.

설정된 학습목표를 충실히 달성하기 위해서는 적절한 이론 및 실습이 병행된 교육과정의 설계가 필수적이다. 이에 Table 1과 같이 주차별 세부 교육내용을 설정하였다. 한편, 현재 상업적으로 구입이 가능한 3차원 프린팅 장비들은 다양한 기술들을 통해서 구현되어 있으며, 이는 일반적으로 사용되는 재료의 형태에 따라서 구분된다[1,2,11]. 따라서 이론 강의는 사용되는 재료의 형태에 따른 3차원 프린팅 기술의 분류에 따라 구성되었다. 한편, 현재 국내에는 다양한 3차원 프린팅 기술들에 대한 적절한 분류체계가 이루어져 있지 않다. 따라서 일반적으로 많이 사용되는 사용 재료에 따른 구분에 의한 강의가 이루어졌다. 하지만 3차원 프린팅기술의 분류에 대한 ASTM 규격(ASTM F2792-12a)이 있으며, 따라서 향후에는 이에 맞는 강의 구성이 이루어져야 할 것이다.

Table 1 Details of the educational contents for 3D printing subject

Week	Contents	Remarks
1	Introduction	Lecture
2	Process and applications of 3D Printing	
3	Rapid tooling	
4	Liquid and power based systems	
5	Solid and sheet based systems	
6	Modeling, post-processing and commercial systems	
7	Mid-term examination	
8	FDM system practice	Lab.
9	RTV practice	
10	Coloring practice	
11	Term project idea presentation	
12-14	Production of work	
15	Term project evaluation	

실습은 저가의 개인용 3차원 프린터(Finebot, TPC Mechatronics Co., Korea)를 주로 사용하였으며, 산업용 3차원 프린터인 Eden-250 (Stratasys Co. USA) 및 Dimension-sst-1200es (Stratasys Co. USA)의 조작방법에 대한 교육도 이루어졌다. 또한 실리콘 주형을 이용한 복제품 제작 (RTV, room temperature vulcanizing)이 3차원 프린팅의 응용분야로 널리 사용되기 때문에 이에 대한 이론 및 실습 강의가 포함되었다. 그리고 각 3차원 프린터를 이용해 제작된 제품의 후처리 및 도색 작업에 대한 이론 및 실습 강의도 함께 이루어졌다.

이론 및 기초 실습이 수행된 후, 학생들은 창의적인 아이디어를 도출하여 학기말 과제를 수행하였다. 즉, 각 팀별로 설계한 제품에 대한 3차원 모델링, 3차원 프린터를 이용한 제작, 서포트 제거 및 후처리, 그리고 도색 등의 작업을 수행하였다.

3. 3차원 프린팅을 이용한 제작

실험실습 교수법은 새로운 사실의 발견, 가설 검증 등을 통하여 이론적으로 학습한 내용을 실제로 실행해보는 차원과, 역으로 실험에서 비의도적으로 발견된 내용을 이론적으로 구조화 하는 등 학생들의 자기 주도적 학습능력과 문제해결능력을 향상시키는 우수한 교수법으로 알려져 있다[12]. 따라서 학생들이 실습을 통하여 직접 3차원 프린터를 이용한 제작 및 후처리 작업을 수행하게 함으로써 학습의 효과를 높일 수 있도록 교육내용을 설계하였다.

실습은 기초실습과 학기말 과제 제작의 두 부분으로 구성된다. 기초실습은 미리 만들어진 단순한 CAD 모델을 3차원 프린터를 이용한 제작, 후처리, RTV 및 도색을 통해 기초적인 제작방법을 습득하도록 구성되어 있다. 학생들은 미리 설계된 두 종류의 단순한 CAD 모델들(Fig. 2) 중 하나를 선택하여 기초실습을 수행하였다. 한편, 원활한 실습을 위해서 사전에 실습 매뉴얼을 제작하여 배포하였다. 실습 매뉴얼에는 (1) 3차원 프린터의 조작, (2) 후처리, (3) 진공주형(RTV), 및 (4) 도색작업에 대한 설명이 수록되어 있어 학생들의 이해를 높이도록 하였다. Fig. 3은 기초실습 각 과정들의 사진이다.

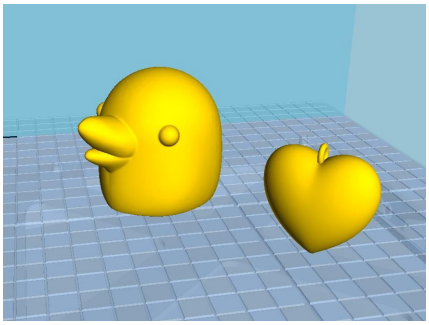

Fig. 2 Two CAD models for practice

Fig. 3 Photographs of practice; post-processing, sending, RTV and painting.

학기말 과제는 창의적인 아이디어를 도출할 수 있도록 특정한 주제 없이 각 팀별로 자유롭게 작품을 설계하고 제작하도록 하였다. 팀 구성원이 모두 참여하여 상호 피드백을 통해 효과적으로 실습할 수 있도록 최대 3명 이내로 팀을 구성하도록 하였다, 또한 토론을 통한 아이디어 도출, 설계, CAD 모델링, 제작, 후처리 및 도색 작업을 직접 수행하였다.

수업이 종료될 즈음에는 학기말 과제의 평가를 위해서 각 팀은 포스터 형식으로 발표를 하였으며, 이때 제작한 작품도 함께 전시하였다. 평가는 공정성과 능동성을 고려하여 학생 전원이 참여하는 동료평가를 병행하였다. 이러한 형태의 평가는 학습자가 평가의 과정에 참여함으로써 자신과 공동체의 학습에 대해 책임감을 가지고 동료 및 교수자와 협

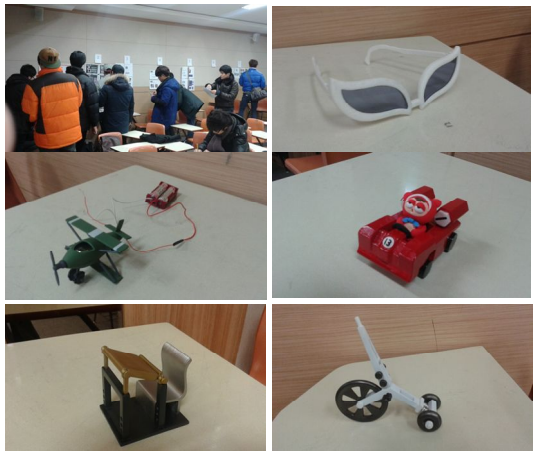

Fig. 4 Photographs of term project evaluation and selected student's works.

력하는 등 자기주도적 학습태도에 긍정적인 효과를 가진다.[13] 평가 항목은 작품의 독창성, 완성도, 포스터의 적절성의 세 가지로 구분하였다. Fig. 4는 학기말 과제의 발표장면 및 학생들이 제작한 작품 중 일부의 사진이다.

4. 설문을 통한 학습효과의 분석

본 논문은 기계공학 기반의 3차원 프린팅 교육 방안을 도출하기 위한 수업사례에 대한 것이다. 따라서 학습목표에 따라 선정된 교육내용을 통해서 제시된 학습목표가 적절히 달성되었는가를 분석하기 위해서 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 학기말 과제 평가가 종료된 후 실시하였으며, 전체 수강인원 45명 중 41명이 응답하였다. 다음은 설문지에 수록된 설문 문항으로서, 크게 (1) 학습의 효과성 1 (강의식 수업), (2) 학습의 효과성 2 (설계실습 수업) 그리고 (3) 교육만족도로 구분하여 전체 9개의 문항으로 구성되어 있다.

학습의 효과성 I (강의식 수업)

1. 나는 이 수업(강의 및 실습)을 통해서 쾌속조형 기술들의 종류 및 특징에 대한 이해도를 높일 수 있었다.

2. 다음 각 강의내용들에 대한 본인의 이해 정도를 표시하시오 : RP의 적용과 활용, 액체재료 공정, 분말재료 공정, 고체재료 공정, 판재재료 공정, 모델링 및 후처리.

학습의 효과성 II (설계실습 수업)

3. 기초실습인 '주어진 제품에 대한 제작, 후처리, RTV를 이용한 복제 및 도색'에 대한 과정은 이후 설계 작품 제작에 도움이 되었다.
4. 나는 설계실습이 창의적 사고(새로운 제품 디자인 제작 등)에 도움이 되었다고 생각한다.
5. 나는 설계실습을 통해 쾌속조형기술을 이용한 제품의 제작과정에 대한 이해를 높일 수 있었다.
6. 나는 설계실습을 통해 쾌속조형기술을 실제로 적용한 제품을 제작하고자 하는 자신감과 의욕이 생겼다.

교육만족도

7. 교육내용 및 구성과 관련하여 이론 강의와 실험실습 교육과정의 연계는 적절하였는가?
8. 중간고사 전 담당교수가 강의하는 수업시간의 분량(8주)은 적절하였는가?
9. 중간고사 이후 시행된 실습시간의 분량(7주)은 적절하였는가?

설문 결과 학생들은 강의식 수업을 통해서 3차원 프린팅 기술의 종류 및 특징에 대해서 이해도를 높일 수 있었다(문항1)라고 긍정적으로 응답한 경우가 압도적으로 많았다(그렇다 20, 매우 그렇다 21). Fig. 5는 강의식 수업에 대한 학습의 효과성 중 세부 수업 내용에 대한 이해도(문항 2)에 대한 응답 결과이다. 대부분의 학생들은 수업 전반에 대해서 높은 이해를 보이고 있으며, 특히 모델링 및 후처리에 대한 이해가 매우 높았다. 한편, 판재재료공정에 대해서는 상대적으로 낮은 이해도를 보여 향후 교육방법 등의 개선이 필요할 것으로 보인다.

설계실습에 대한 학습의 효과성 설문 결과 문항 3~문항 6의 응답 결과는 모두 동일하였으며, 매우 긍정적인 답변(그렇다 20, 매우 그렇다 21)이 대부분이다. 이는 실험실습을 통해 강의식 수업에서 습득한 지식을 직접 경험 해 봄으로써 학생들이 3차원 프린팅에 대한 이해를 높일 수 있었던 결과로 판단된다. 하지만 모든 설문에서 동일한 응답이 나온 것은 설문 문항이 좀 더 구체적이지 못한 것에 기인한 것으로 판단되며, 이는 향후 개선되어야 할 것으로 보인다.

Fig. 6은 교육만족도 항목(문항 7 ~ 문항 9)에 대한 설문 결과이다. 이론 강의와 실험실습 교육과정의 연계성에 대한 질문에는 적절하거나 높다고 응답한 경우가 많았다. 하지만 매우 높다고 응답한 경우는 상대적으로 낮았으며, 이는 이론 강의에서 학습한 다양한 3차원 프린팅 기술을 실습에서 모두 다루지 못한 것에 기인한다. 하지만 개인용 장비를 제외한 3차원 프린팅 장비는 매우 고가이기 때문에 학부 실습 교육에 모두 다루기에는 어려움이 있다. 따라서 강의식 교육에서 보다 다양한 동영상이나 사진 등을 활용한 개선이 필요하다. 한편 Fig. 6의 결과에서 보면에서 강의식 수업과 실험실습수업의 시간 배분은 적절한 것으로 판단된다.

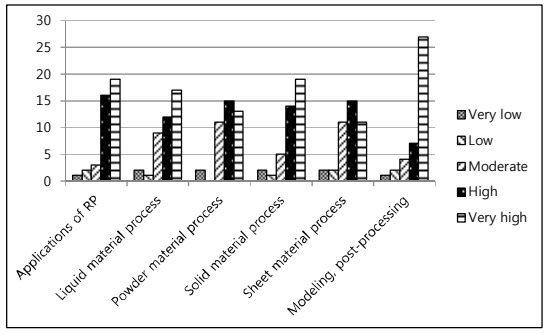

Fig. 5 Questionnaire result of learning effect 1 ; lecture course

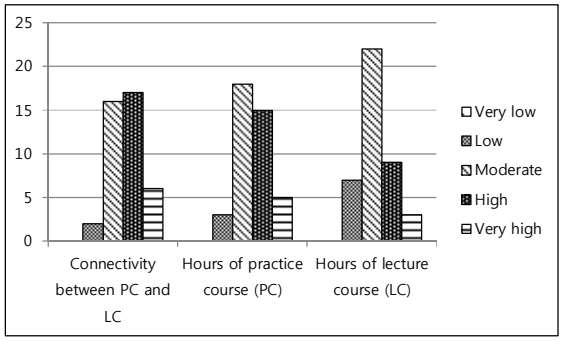

Fig. 6 Questionnaire result of educational satisfaction

본 설문은 모든 수업이 종료 된 후인 학기말에 이루어졌다. 향후에는 학기 초와 학기말에 각각 사전·사후 검사를 실시하여 사전-사후 차이 검증을 통해 보다 구체적으로 기계공학 기반의 3차원 프린팅 교육의 효과성 검증을 밝힐 필요가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 실습이 강화된 교수 설계로 기계공학 기반의 3차원 프린팅 교육과정을 개발·운영하고 학습성과를 분석하였다. 강의식 수업에서는 3차원 프린팅 기술 전반에 대해서 다루었으며, 실습수업에서는 개인용 3차원 프린터를 이용한 설계, 제작, 및 후처리에 대한 실습을 수행하였다. 강의식 수업과 실습수업을 병행한 교육방법은 학생들에게 3차원 프린팅의 이해를 높일 수 있는 효과적인 방법이다. 한편, 표준화된 분류법(ASTM F2792-12a)에 따른 교육내용의 개선 및 시청각 교육매체의 활용 등 추가적인 교육설계가 필요하다. 좀 더 명확한 학습효과의 분석을 위해서는 학습의 중요도와 난이도에 대한 문항을 강화하는 등 설문 조사 문항에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Chua, C. K., Leong, K. F., and Lim, C. S., “Rapid Prototyping - Principles and Applications,“ 3-rd Edition, World Scientific Publishing, pp.7-8, 2010.
2. Groover, M. P., “Introduction to Manufacturing Process,“ Korean Translation Edition, Hantee Media, pp.752-760, 2012.
3. Ko, H. J., Kim, H. C, Yoon, H. R., and Lee, I. H, “Prototyping for MID Cruise Control Switch,” Proceeding of the KSMPE Spring Conference, pp.108, 2013.
4. Woo, S. G, Lee, I. H, Kim, H. C., Lee, K. C., and Cho, H. Y, “Development of a Photopolymer-based Flexible Tactile Sensor using Layered Fabrication and Direct Writing,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.13 No.2, pp.8-14, 2014.
5. Wohlers, T. T., “Wohlers Report 2013: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report,” 2013.
6. Park, K., “Applications of 3D CAD and 3D Printing in Engineering Design Education,” Journal of Korean Precision Engineering, Vol.31, No.12, pp.1085-1091, 2014.
7. Pearce, J. M., Blair, C. M., Laciak, K. J., Andrews, R., Nosrat, A., and Zelenika-Zovko, I., “3-D Printing of Open Source Appropriate Technologies for Self-Directed Sustainable Development,” Journal of Sustainable Development, Vol.3, No.4, pp.17-29, 2010.
8. Park, K. and Lee, H. J., “Applications of 3D printing in CAD Course for Mechanical Engineers,” Proc. Soc. CAD/CAM Conf., pp. 838-843, 2014.
9. Lee, H. W., Kim, S. H., Park, K., and Kim, J. Y.,“Experience of Senior Capstone Design Course of School of Mechanical Design and Automation Engineering at Seoul National University of Technology,” Proc. ASME Asia-Pacific Eng. Education Congress, 2009.
10. Park, K. and Lee, H. J., “Applications of 3D Printing in Engineering Design Education,” Proc. Global 3D Tech. Forum Conf., pp. 48-49, 2013.
11. Choi, S. G., Designers for Rapid Prototyping User Guide, Hyejiwon, pp.92-96, 2010.
12. Kim, S. Y., “Research on the College Students’ Recognition about Learning Outcomes with Effective Instructional Methods,” Journal of Lifelong Learning Society, Vol.10, No.11, pp.59-82, 2014.
13. Kim, M. J., “Peer assessment as a learning method : The effects of assessor and assessee's roles on metacognition, performance, and motivation,” Journal of Educational Technology, Vol.21 No.4, pp.1-28, 2005.