

비대면 환경에서 제품자료관리 시스템 기반 협동제품개발 실습과제 운영 사례

도남철

경상국립대학교 산업시스템공학부 교수

Case of Collaborative Product Development Practice based on Product Data Management System in Non-face-to-face Environment

Do, Namchul

Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Gyeongsang National University, ERI

ABSTRACT

This study attempted non-face-to-face collaborative product development practice that can respond to the spread of COVID-19 by expanding existing product data management system-based product development practice. For the complete non-face-to-face product development practice, it utilized prototype development using a 3D paper model, an online class management system and social media for classes and meetings. As a result of applying the non-face-to-face method, product developments of 26 practice teams have been completed without any failures. Therefore, through this study, the author can confirm that it is possible to provide the complete non-face-to-face collaborative product development practice based on product data management systems.

Keywords: Non-face-to-face, Product development practice, Product Data Management, 3D Paper Model, COVID-19

1. 서 론

제품개발(Product Development)이란 기업이 제품을 출시하기까지 필요한 과정을 뜻한다. 제품개발은 제품 형상, 재료 그리고 기능을 정의하는 제품 설계(Product Design)를 포함하고, 제품 설계 이전에 상품기획과 시스템 설계, 제품 설계 이후로 생산과 고객지원 준비 단계를 포함한다. 공학기술(Engineering)이 수학, 과학 그리고 기술을 이용하여 문제를 해결하고 새로운 제품을 만들어 내는 능력이라는 관점에서 제품개발은 공학기술 교육에서 다루어야 할 주요 대상이다(도남철, 2021). 하지만 제품개발은 다양한 요소가 결합한 복잡한 과정이며 기업이 공개하기 어려운 핵심 자산이므로 효과적이고 수월한 교육이 어렵다. 그러므로 저자는 제품자료관리(Product Data Management: PDM) 시스템 기반 협동제품개발 실습과제를 통해 제품개발을 효과적으로 경험할 수 있는 체계를 제안하였다(도남철, 2018).

제품개발을 경험하기 위한 협동제품개발(Collaborative Product Development) 실습과제는 복수의 참가자가 팀을 이루어 제품 개발과정에 따라 필요한 개념, 도구 그리고 협동 방법을 익히고 적용하는 과정이다. 이 과정을 통하여 구성원들이 제품개발에 필요한 협동 작업을 경험한다. 하지만 전염병이나 지리적 거리 등의 이유로 비대면 환경에서 협동제품개발 과제를 진행해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 예로 국가 간 제품개발이나 항해 중이나 우주에서 부품 개발에 비대면 협동 제품개발이 필요하다.

본 연구는 전 세계적 코로나바이러스 감염증-19(코로나19) 확산으로 인하여 비대면으로 이루어진 공학 입문 수업의 제품 개발 실습과제 운영 사례를 통하여 PDM 시스템 기반의 완전 비대면 협동제품개발 실습이 가능함을 보여준다. 본 연구는 비대면 수업을 위해 협동제품 개발 실습에 관한 기존 연구(도남철, 2018)를 확장하였다. 본 연구의 결과는 비대면 환경에서 물리적 시제품 개발을 포함한 협동제품개발 실습이 가능하고, PDM 시스템 기반의 협동제품개발 실습이 비대면 상황에서도 효과적임을 보여준다.

본 논문은 2절에서 관련 연구와 기존 연구를 설명한다. 3절에서 비대면 환경에서 협동제품개발 실습 제약조건과 대응 방

Received October 19, 2021; Revised January 28, 2022

Accepted January 29, 2022

† Corresponding Author: dnc@gnu.ac.kr

©2022 Korean Society for Engineering Education. All rights reserved.

법을 서술한다. 4절에서 실제 비대면 상황에서 제안한 방법을 적용하는 과정과 그 결과를 설명한다. 마지막 5절에서 연구 결과를 정리하고 추후 과제를 제시한다.

II. 관련 연구

PDM과 제품개발 과정 중심의 제품개발 실습에 관한 학문적 연구와 기업의 요구가 꾸준히 제기되었다. Dankwork et al.(2004)은 컴퓨터 지원 설계 도구의 교육 적용에 관한 연구에서 설계 도구 간의 입출력 자료를 관리하는 PDM 교육의 필요성을 설명하였다. 김세연(2005)은 기업에서 PDM 교육을 소개하면서 CAD나 CAM 적용 기술을 가진 PDM 인력의 중요성을 주장하였다. Sanin & Mejia-Guterrez(2011)는 개발도상국의 미래산업 요구를 만족시키기 위하여 공학 수업에 PDM을 도입한 사례를 소개하였다. Kakehi et al.(2009)은 이터닝을 활용한 PDM 교육 체계에 관한 연구를 진행하였다. 저자는 Bill of Material(BOM) 중심의 제품개발 과정 교육 체계를 제안하였다. Gerhard와 Granger(2009)는 복잡한 제품과 다양한 소비자 요구를 만족시켜야 하는 현대 제품개발에 대응하기 위하여 PDM 기반 다학제 협동 제품개발 교육의 필요성을 주장하였다.

2006년부터 오스트리아 직업 대학(HTL) 간 PDM 기반 제품 설계 실습 교육에 관해 지속적인 연구가 진행되고 있다 (Gerhard & Granger, 2009; Ostad-Ahmad-Ghorabi et al., 2012; Probst & Gerhard, 2014; Probst et al., 2017). 이 연구는 오스트리아 5개 직업대학의 기계공학 전공에 PDM을 활용한 제품개발 실습체계를 다루고 있다.

도남철(2018)은 PDM 기반의 다양한 제품개발 실습 연구를 진행하였다. 관련 연구로 3D 프린팅을 이용한 시제품 개발과 PDM 시스템에 대한 제품자료 분석(도남철, 2019)을 시도하였다.

코로나19로 인한 공과대학 온라인 수업과 실습에 관한 연구로 정재원 외(2020)는 실험, 실습, 설계 등 면대면 과목을 가르쳐야 하는 공과대학 교수자의 코로나19로 인한 온라인 수업 전환의 어려움과 해결 방향을 연구하였다. 연구는 2020년 1학기 4명의 공과대학 교수자의 온라인 수업에 대한 심층 면담을 통해 진행되었다. 결과를 보면 첫째, 교수자와 학생 모두 이론 중심의 온라인 전환은 큰 문제가 없었으나 실험 수업의 온라인 전환에 낮은 만족도를 보였다. 둘째, 교수자는 온라인 수업 실행에서 비대면 수업으로 인해 학습자 중심 학습 활동을 적용하는 데 어려움을 느꼈다. 셋째, 교수자는 온라인 평가 중 학생들의 부정행위를 방지하기 위한 관리 감독에 한계를 느꼈다. 저자는 조사 결과를 바탕으로 해결방안을 제시하였으나 시사점

수준의 방향 제시에 그쳤다. 특히 온라인 실습에 대한 해결방안은 제시하지 못했다.

강소연(2021)은 한국공학교육학회와 한국공학한림원의 지원을 받아 2020년 1학기 코로나19로 인한 온라인 수업에 대한 공과대학 교수와 학생들의 인식을 조사하고 개선 방향을 제시하였다. 이 중 본 연구와 연관된 온라인 실험 수업에 대한 만족도는 만족하다가 23%(온라인 수업 만족도는 38%), 만족하지 않는다가 50%로 낮은 만족도를 보였다. 교수자는 실험 수업 운영에 서로 다른 실험 시간 배정, 실험 키트 배송 그리고 VR이나 Simulation 프로그램을 활용하였으나 소수의 수업에만 적용하였다. 저자는 실험 실습에 대한 학생들의 만족도가 가장 낮아 이에 대한 개선방안이 특별히 시급함을 언급하였다.

신희선(2021)은 2020년 1학기 공과대학 신입생에 대한 ZOOM을 이용한 비판적 사고와 토론 온라인 수업 사례를 학생들이 제출한 성찰일지와 교무처의 수업 평가의 주관식 답변 결과로 분석하였다. 저자는 개선된 온라인 수업을 위한 제언에서 비대면 인프라 구축, 새로운 온라인 교수전략, 유튜브 리터러시 교육, 셀프 피드백 및 동료평가 강화 그리고 휴먼터치 활용 등을 주장하였다. 저자는 온라인 토론과 발표 수업의 경험과 중요성을 언급하였지만, 공학 전공 실습에 관련된 내용을 다루지 못한 점에서 한계를 보인다.

Vielma와 Brey(2021)는 미국 Hispanic-serving institution의 2개 공학 전공 170명을 대상으로 코로나19 상황에서 온라인 수업 효과를 설문으로 조사하였다. 저자는 실습의 어려움이 온라인 수업의 가장 큰 문제 중 하나이며, 가정에서 3D 프린터 등이 필요한 실습이 불가능함을 언급하였다. 실습을 대체하기 위하여 비디오를 통한 실습, 분석을 위한 실습자료 제공, 실습 계획 연습 등을 시도하였으나 학생들이 제약사항을 인식하고 물리적 실습을 아쉬워했다고 보고했다. 저자는 국제화된 제품 개발을 위한 원격 협동 작업 능력을 배양할 수 있다는 이유로 학생들이 경험하는 온라인 협업을 온라인 수업 중 배울 수 있는 중요 기술로 인식하였다.

Asgari et al.(2021)은 미국 California State University, Long Beach(CSULB)의 공과대학 교수 110명과 학생 627명을 대상으로 2020년 코로나19 상황에서 당면한 문제점을 설문 조사하였다. 이 연구는 실습과 관련하여 가상환경 교육으로 부족한 실습을 계절학기 등을 통해 보충할 것을 제안하였다.

코로나19로 인한 공학교육 온라인 실습에 관한 연구는 주로 사례를 통한 현황과 문제점 파악에 그쳤으며 구체적인 해결책을 제시한 사례나 체계 연구는 발견할 수 없었다. 기존 연구와 비교한 본 연구의 특징은 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 코로나19에 대응하는 2020년 1-2학기 경험을 참고로 2021년 1학기

수업에 개선된 방법을 적용하였다. 둘째, 본 연구는 3차원 종이 모델을 이용한 물리적 시제품 공동개발을 포함한 완전 비대면 협동제품개발 실습 사례를 제공하였다. 이 사례는 Vielma & Brey(2021)가 언급한 기존 온라인 공학 수업의 가정에서 실습과 물리적 실습이 불가능한 문제를 해결하였다. 셋째, 본 연구는 온라인 정보 시스템인 PDM 시스템을 기반으로 대면 없는 온라인 실습 방안을 제시하고 실행하였다.

III. 비대면 환경의 협동제품개발 실습과제 제약조건

1. 대상 협동제품개발 실습과제의 특징

본 논문에서 다루는 협동제품개발 실습과제는 대학 1학년 공학 입문 수업의 일부로서 진행되며 교육 참가자들이 공학기술의 중요한 대상인 제품개발 과정을 경험하는 것이 목적이다. 제품개발 5단계로 이루어진 협동제품개발 실습과제는 다음과 같은 특성을 가진다.

첫째, 다수 참가자의 상호작용을 기반으로 하는 협동 기반 실습이다. 협동 기반 실습이란 참가자의 역할이 제품 설계 대상 부품, 제품개발 과정상의 단계 그리고 과제 활동에 따라 나누어지고 이들 상호 간 협동 작업에 의해 제품이 완성되는 개발과정이다.

둘째, 하나의 제품에 대하여 제품개발 5개 단계가 일괄 적용되는 과제 기반 실습이다. 참가자들은 제품 설계 및 생산과 고객지원 계획의 완성을 목표로 스스로 선택한 제품에 대해 상품 기획, 시스템 설계, 상세설계, 시제품 개발 그리고 생산과 고객지원 준비 단계를 적용하여 제품의 설계, 생산 그리고 고객지원 계획을 완성한다. 단, 실습 대상 과정은 신제품개발로 한정하고 설계변경 과정은 포함하지 않는다.

셋째, 제품개발 과정에서 발생하는 제품정보를 PDM 시스템을 통해 통합 관리하고 온라인 협동 작업을 지원하는 정보 시스템 기반 실습이다. 제품개발 과정 중 발생하는 제품자료를 통합 데이터베이스 응용 시스템인 PDM 시스템에 체계적으로 관리함으로써 참가자가 협동 제품개발에 필요한 제품자료를 공유할 수 있다. PDM 시스템은 비대면 환경에서도 참가자들에게 제품자료를 온라인으로 제공함으로써 협동 작업의 기반 역할을 한다.

2. 비대면 환경 협동제품개발 실습과제 제약조건

교수와 교육 참가자가 물리적으로 만날 수 없는 비대면 환경에서 협동제품개발 실습과제를 진행하는데 여러 제약조건이 발생한다. 이를 교수와 교육 참가자 그리고 실습팀 내 교육 참가자 간 제약조건으로 나누면 다음과 같다.

교수와 교육 참가자 간 제품개발과제 관련 제약조건으로 첫째, 제품개발 과정에 대한 이론과 제품개발 실습 방법에 대한 출석 수업이 불가능하다. 출석 수업은 미리 준비된 동영상이나 실시간 화상강의 시스템을 활용한 온라인 강의로 대체할 수 있다. 둘째, 제품개발 실습과제에 사용되는 물리적 기계나 도구에 대해 실습을 할 수 없다. 예로 비대면 환경에서 참가자의 3D 프린팅 실습 교육이 불가능하다.

실습팀 내 교육 참가자 간의 제약조건을 살펴보면 첫째, 협동 개발팀 간 대면 회의를 할 수 없다. 이는 실시간 화상회의 시스템을 비롯한 다양한 소셜 미디어(Social Media)를 통하여 대체할 수 있다. 둘째, 팀 참가자 간 물리적 공동 작업을 할 수 없다. 물리적 시제품을 제작하는 것은 제품개발 과정을 다양한 방식으로 경험하는 측면에서 효과가 있다. 예로 대면 가능 환경에서 참가자들은 부품을 3D 프린팅하고 조립하여 시제품을 제작하였다. 하지만 비대면 수업에서 참가자가 설비를 통해 시제품을 제작하기에 제약이 따른다.

제약조건 중 강의나 회의는 온라인 강의 시스템이나 소셜 미디어를 통해 대체할 수 있다. 온라인으로 대체 불가능한 물리적 도구 실습과 이를 사용한 시제품 제작을 위해 다음 방법들이 고려되었다.

첫째, 팀 내 참가자들이 컴퓨터 가상환경을 통해 부품을 정의하고 시제품을 조립한다. Computer-Aided Design(CAD) 시스템을 이용하여 각 참가자가 부품을 설계한 후, 이를 CAD 시스템에서 조립하여 가상의 시제품을 확인한다. 이 경우 참가자들이 3차원 부품을 모델링하고 조립할 수 있는 상당한 수준의 CAD 기술을 보유해야 한다.

둘째, 참가자가 지역에서 이용할 수 있는 제작 기계나 도구를 활용하여 부품을 제작 후, 택배 등을 통해 배송하여 시제품을 제작한다. 이 경우 참가자가 위치한 지역에 특정 제작 시설이나 서비스가 존재해야 하며 참가자는 제작 기계의 사용법을 습득해야 한다. 또한, 비교적 짧은 시간 내 택배 전송을 통한 수업 진행이 부담될 수 있다.

셋째, 참가자가 설계한 부품 정보를 원격의 제작 기계에 전송하여 시제품을 제작 및 조립할 수 있다. 이 방식은 부품을 설계하는 설계자가 부품 형상을 정의한 모델 파일을 전송하면, 조립자가 이를 제작 및 조립하여 시제품을 만드는 방법이다. 예로 다수의 참가자가 부품의 형상을 CAD 모델로 만들어 보내면 조립자가 3D 프린트로 부품을 출력하여 시제품을 조립하는 방식이다.

공학 입문 수업에 필요한 협동제품개발 실습과제의 특성을 고려할 때 비대면 환경에서 한 학기 수업 기간 3차원 CAD 모델링 방법이나 3D 프린팅 기술을 익히는 것은 참가자에 많은 부담을 준다. 또한 3D 프린팅이 가능한 시설 확보와 비대면 환

경에서 이를 이용한 부품 제작도 어려운 실정이다. 제안된 방법들을 검토한 결과, 만일 개인이 일상생활에서 쉽게 구할 수 있는 재료와 제작 도구 등을 이용한다면 이 문제를 해결할 수 있다는 것을 발견하였다. 참가자가 각자 비대면 환경에서 구성 부품을 설계하여 PDM 시스템에 저장하고, 조립자가 온라인으로 공유된 부품도면과 제작 방법을 이용하여 해당 부품을 가정에서 스스로 제작해서 시제품을 조립할 수 있다.

3. 3차원 종이 모델을 이용한 시제품 개발

“개인이 일상생활에서 쉽게 구할 수 있는 재료와 제작 도구”를 고려한 결과 종이와 가위 및 풀을 이용한 3차원 종이 모델링 방법을 선택하였다. 종이는 쉽게 구할 수 있는 재료이며, 도구인 가위와 풀도 역시 일상생활에서 쉽게 구할 수 있다. 또한 가위와 풀을 이용한 가공은 추가 교육이나 훈련이 필요 없는 보편화된 기술이다. 추가로 종이와 가위 및 풀은 안전하며 해로운 부산물이 발생하지 않는다.

3차원 종이 모델은 3차원을 구성하는 면을 2차원으로 전개한 전개도를 종이 위에 작성한 후 이를 자르고 접고 접착하여 3차원 형상을 만드는 방법을 뜻한다. 실제 제조 현장에서도 금속 판재 등을 자르고 접고 용접하여 3차원 형상의 부품을 대량으로 제작하는 판금 공법이 사용된다. 본 연구에서 사용하는 3차원 종이 모델은 각 참가자가 부품을 만들고 조립하는 과정을 구현하기 위하여 단품이 아닌 여러 부품으로 구성된 조립품으로 한정한다.

비대면 환경에서 3차원 종이 모델을 이용하여 참가자 간 시제품을 만드는 기본 과정은 Fig. 1과 같다. 첫째, 부품개발자 역할을 맡은 복수의 참가자는 각자 자신이 맡은 부품을 설계하여 3차원 종이 모델을 만들기 위한 전개도를 작성한다. 부품 설계자는 종이를 이용하여 개발한 부품을 제작하여 검증하고 전개도와 사진 등의 제작과정 설명 자료를 PDM 시스템을 이용하여 공유한다. 이때 각 부품 설계자는 다른 부품 설계자와 온라인으로 조립 제품에 대한 의견을 나눈다. 조립 역할을 맡은 참가자는 PDM 시스템을 통해 전개도 등의 부품자료를 공유한다. 조립자는 제품자료를 이용하여 구성 부품을 제작 및 조립하고 설계를 검증한다. 그러므로 부품 설계자와 조립 역할은 PDM 시스템과 3차원 종이 모델을 이용하여 비대면 환경에서 물리적 시제품을 제작할 수 있다.

3차원 종이 모델을 이용한 시제품 개발과 온라인 영상 및 소셜 미디어를 이용한 이론 강의와 팀 간 협동 작업을 통해 비대면 환경에서 물리적 시제품 개발을 포함한 협동제품개발 실습이 가능하다. 이때 협동 작업에 필요한 제품자료를 지원하는 PDM 시스템은 비대면 환경에서 제품자료를 안전하게 공유할 수 있게 한다.

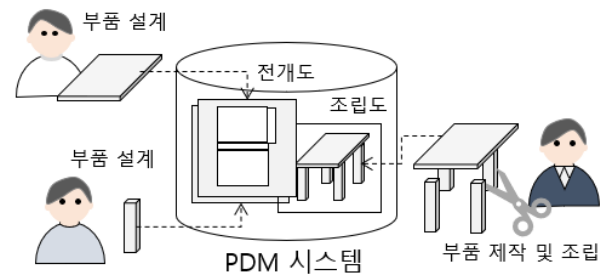


Fig. 1 Prototyping using 3D Paper Models

Table 1은 대면과 비대면 환경에서 협동제품개발 실습과제에 필요한 요소를 비교하였다. 기존의 이론 수업, 실습 강의, 온라인 강의가 가능한 사용법 그리고 팀원 간 회의는 출석 모임에서 온라인 환경으로 전환되었다. 협동 작업과 시제품 개발에서 PDM 시스템은 원래 비대면 환경을 제공하므로 그대로 사용할 수 있다. 특히 실습 평가는 참가자가 PDM에 단계적으로 생성하는 제품자료를 이용해 평가하므로 기존 실습과 비대면 실습의 평가 방법이 같다.

Table 1 Comparisons between existing practice and practice in non-face-to-face environment

대상	기존 실습	비대면 실습
이론 강의	출석 수업	온라인/동영상 강의
실습 강의	출석 수업	온라인/동영상 강의
기기 사용법	출석 수업	소프트웨어 온라인 실습
협동 작업	회의, PDM 시스템	소셜 미디어, 온라인 회의 시스템, PDM 시스템
시제품 제작	3D 프린팅, 조립 작업, PDM 시스템	3D 종이 모델기반 비대면 조립 작업, PDM시스템
실습 평가	PDM 시스템에 생성된 결과 평가	

IV. 협동제품개발 실습과제

1. 협동제품개발 실습과제 계획

가. 구성요소와 체계

제안된 제품개발 실습과제는 참가자들이 팀을 이루어 스스로 선택한 제품을 제품개발 전 단계에 걸쳐 완성하는 활동이다. 이 과정에서 팀 구성원의 상호 물리적 접촉이 없으며 온라인 도구만 사용한다.

실습과제는 Fig. 2와 같이 5개의 주요 요소로 구성되었다. 실습과제의 구성요소는 이전 연구(도남철, 2018)의 구성요소를 사용했으며 비대면 환경을 고려하여 구성요소의 내용을 변경하였다. 변경된 내용은 이 절 후반부의 Table 2에서 비교한다.

첫째 구성요소는 과제목표 및 과제평가 그리고 5개 제품개발

단계로 구성된 제품개발 실습 과정이다(Fig. 2의 ①). 이 과정은 일반적인 제품개발 과정인 상품기획, 시스템 설계, 상세설계, 시제품 개발 그리고 생산과 고객지원 준비 단계로 이루어졌다(도남철, 2018). 일반적인 제품개발 과정에 교육을 위한 과제목표와 과제평가 단계를 추가하여 제품개발 실습 과정을 구성하였다.

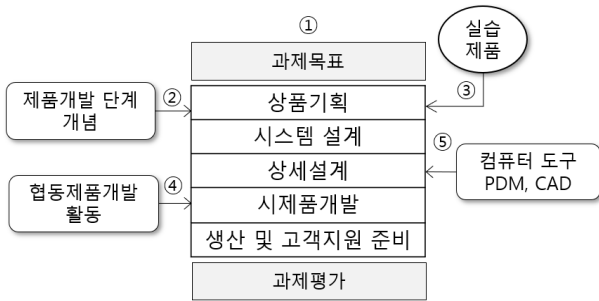


Fig. 2 Structure of the training class

둘째 요소는 각 제품개발 단계에 대한 개념으로 제품개발 5개 단계를 강의를 통해 전달한다(Fig. 2의 ②). 참가자들은 제품개발 각 단계를 실습하기 전에 관련 강의를 듣고 해당 단계에서 역할과 해야 할 활동을 이해하게 된다.

셋째 요소는 실습 과정을 통해 개발해야 할 실습 대상 제품이다(Fig. 2의 ③). 실습 대상 제품은 참가자의 경험과 기술 수준을 고려하여 구성 팀에서 자율적으로 결정한다.

넷째 요소는 협동제품개발 활동으로 PDM 시스템의 제품자료와 기술문서 등을 통해 제품자료를 공유하거나 메일과 소셜 미디어를 통해 의사를 교환하고 단계별 보고서를 제출하는 활동이다(Fig. 2의 ④).

마지막 요소는 컴퓨터 기반 제품개발 지원 도구이다(Fig. 2의 ⑤). 제품개발 실습 과정 전체를 통합적으로 지원하기 위한 PDM 시스템 외에 제품을 표현하기 위한 CAD 시스템 그리고 의사교환을 위한 다양한 소셜 미디어와 영상회의 시스템 등이 포함된다.

실습체계는 5개의 요소 중 제품개발 실습 과정이 중심이 되어 과정의 각 단계를 순차적으로 진행한다. 참가자는 제품개발 실습 각 단계를 진행하며 필요에 따라 주위 요소들을 활용한다(Fig. 2 참조).

나. 참가자 역할과 실습 과정

실습 참가 팀의 구성은 3인이 기준이며 개인별로 서로 다른 역할을 가진다. 각 역할 분담에서 고려한 사항은 부하의 균일화, 고른 제품개발 과정 경험, 정보 시스템 기능사용, 협동 작업에서 역할 그리고 원격 시제품 제작 가능성 등이다. 편의상

각 역할을 A, B 그리고 C라 칭하여 설명한다.

역할 A는 팀의 의견을 조정하고 최종 결정을 내리는 리더 역할을 맡는다. 역할 A는 상품기획을 주도하여 상품기획 보고서를 작성하고, 시스템 설계 단계에서 PDM 시스템에 제품구성(Product Configurations)을 위한 제품구조를 생성한다.

역할 B는 시제품 제작 기술자 역할을 맡는다. 시스템 설계 단계에서 결정된 제품구성 모듈(Product Configuration Module)의 물리적 부품 설계를 책임지며, 상세설계 단계에서 PDM 시스템에서 역할 A가 생성한 제품구성 모듈에 연결하여 부품 리스트와 제품구조, 전개도 그리고 부품 제작 방법을 포함한 기술문서를 생성한다. 역할 B는 시제품 개발 단계에서 자신과 역할 C가 설계한 부품에 대한 3차원 종이 모델을 제작하고 조립하여 시제품을 제작한다.

역할 C는 공정(Routing)을 생성하는 생산 기술자 역할을 한다. 상세설계 단계에서 역할 C는 역할 B와 제품구성 모듈을 나누어 부품을 설계하고 전개도와 제작 정보를 생성한다. 이 전개도와 제작 방법은 시제품 개발 단계에서 역할 B가 시제품 조립을 위해 사용된다. 역할 C는 생산과 고객지원 준비 단계에서 완성된 제품구조에 공정 객체를 추가하고 입력한 재료비와 공정비를 통해 제품 비용을 계산한다.

시제품 제작 단계에서 역할 B와 C가 협동 작업을 통해 시제품을 제작하는 과정은 Fig. 1에서 설명한 3D 종이 모델을 이용한 협동 작업 방법을 사용하였다. Fig. 1의 부품 설계자 역할을 역할 B와 C가 맡았고 역할 B가 부품 제작 및 조립자 역할을 추가로 실행한다.

다. 제품개발 실습 과정

실습체계의 뼈대 역할을 하는 제품개발 실습 과정은 기본적으로 기존 제품개발 실습 과정(도남철, 2018)을 사용한다. 실습 과정 각 단계에 대한 개념은 동영상 강의로 미리 제공된다. 제품개발을 종합 지원하는 정보 시스템 도구로는 PDM 시스템을 사용하며, 도구에 대한 실습과 훈련은 역시 동영상 강의를 통해 제공한다. 제품개발 과정에서 팀 참가자 간의 회의나 의사소통은 동영상 회의시스템이나 각 팀에서 선택한 소셜 미디어를 자유롭게 사용한다.

기존 실습 과정과 비교하여 비대면 환경에서는 시스템 설계, 상세설계 그리고 시제품 개발 단계가 비교적 많이 변경되었다. 시스템 설계단계에서 역할 A는 제품구성 모듈을 역할 B와 C에게 배분하고 제품구조 연계를 위해 PDM 상에서 해당 제품구성 모듈 객체를 공유한다. 상세설계에서 부품을 설계하는 역할 B와 C는 비대면으로 각자 맡은 부품의 전개도를 작성하고 제작하여 검증한다. 부품 설계과정 중 제품구성이나 다른 부품

과 상관관계는 PDM 시스템을 통해 제품정보를 공유하고 소셜 미디어를 통해 다른 팀원들과 소통한다. 시제품 개발 단계에서 역할 B가 자신이 개발한 부품과 역할 C가 개발한 부품을 제작하고 조립하여 시제품을 완성한다. 적용된 전체 제품개발 실습과정이 Table 2에 정리되어있다.

Table 2 Steps for collaborative product development practice

단계	과정 설명	결과물
상품기획 (A 역할)	제품 선택, 고객요구, 제품개념 주요 사양결정	상품기획서(1/6)
시스템설계 (A 역할)	제품구성과 모듈, 제품구성 조합 방법 결정	PDM 내 제품구성 모델(2/6)
상세설계 (B와C역할)	제품구조 생성, 전개도와 제작 문서 부품에 추가	PDM 내 조립구조, 기술문서(3/6)
시제품개발 (B 역할)	전개도 이용 부품 제작 및 조립하여 시제품 제작	3D 종이 모델 시제품(4/6)
생산준비 (C 역할)	제품구조에 공정 추가, 제품비용 계산	PDM 내 비용 테이블 (5/6)
제품혁신 (A 역할)	개발된 제품을 혁신하는 개선 안 도출	제품혁신 제안(6/6)

2. 적용 예

가. 협동제품개발 실습 개선 과정

3차원 종이 모델을 이용한 물리적 시제품 개발을 포함하는 비대면 협동제품개발 실습과제는 3학기에 걸쳐 개선되었다. 2020년 1학기는 예상하지 못한 전염병 확산으로 물리적 실습과 시제품 개발을 포기하였고 제품개발 과정에 대한 이론 수업만 온라인 수업으로 전환하였다. 2020년 2학기는 온라인 강의를 진행하며 개인별 3차원 종이 모델을 이용한 시제품 개발을 시도하였다. 2021년 1학기에 다수의 팀 참가자 간의 협동 작업을 통하여 3차원 종이 모델을 이용한 시제품 개발을 진행하였다. 본 연구는 2021년 1학기 진행된 협동제품개발 실습과제를 대상으로 한다.

나. 전체 진행 과정 소개

제안된 3차원 종이 모델을 이용한 협동제품개발 실습과제는 공과대학 신입생의 공학 입문 교육에 적용되었다. 15주로 이루어진 한 학기 동안 전체 비대면으로 진행된 수업에 3명으로 구성된 총 26개 팀이 참여하였다. 온라인 영상 수업은 웹 기반 학습관리 시스템을 사용하였고(Instructure, 2021) PDM 시스템으로 자체 개발한 TEE 시스템(TEE, 2021)을 사용하였다. 부품과 제품의 형상을 표현하는 전개도는 기본적으로 수기로 작성하였으나 참가 팀에 따라 CAD나 그래픽 소프트웨어도 사용하였다. PDM에 대한 교육과 훈련은 동영상과 따라 하기를

통해 온라인으로 제공하였으며, CAD나 그래픽 소프트웨어에 대한 교육과 훈련을 제공하지 않았다. 팀원 간의 의사소통은 비대면으로 이루어졌으며 주로 기존에 사용하던 소셜 미디어를 사용하였다. 수업 진행자와 팀원 간 활동은 동영상 회의 시스템(Zoom, 2021)에서 제공하는 소회의실 기능을 사용하기도 하였다.

학습관리 시스템을 통하여 동영상 파일로 제품개발 단계에 대한 강의를 진행하였으며, 연계된 동영상 회의시스템을 통하여 2주에 1회씩 온라인 강의를 진행하였다. 온라인 강의는 수업 소개, 과제 안내, 과제 결과에 대한 질의와 응답 그리고 팀간 토론 등으로 이루어졌다. 5개 과정을 거치면서 각 과정의 결과를 6개 보고서로 제출하도록 하였다. 그중 5개 보고서는 제품개발 과정이 끝날 때마다 제출하였으며, 마지막 보고서는 제품혁신에 관한 추가 보고서로 제출하였다(Table 2 참조). 보고서는 제품에 대한 과제 단계 보고서로서 앞 단계 작업이 정상적으로 완료되지 않으면 다음 단계는 진행하지 못하도록 구성되었다. 각 보고서는 정적인 문서로 제출하는 것이 아니라 해당 과정에서 생성해야 할 제품자료를 PDM 시스템의 부품, 제품구조 그리고 기술문서 객체로 생성하는 과제로 구성되어 있다. 제출된 자료는 PDM 시스템의 공유 기능을 통하여 평가자와 다른 참가자에게 공개되며, 평가자는 PDM 시스템에 접근하여 공개된 제품자료를 확인함으로써 각 단계 보고서를 평가하였다.

다. 시스템 설계, 상세설계 그리고 시제품 개발 예

예를 통해 비대면 환경에서 물리적 시제품 개발을 포함한 협동제품개발 실습과제를 진행한 내용을 설명한다. 전체 과제 과정 중에 비대면 환경에서 물리적 시제품 개발과 깊이 관계된 시스템 설계, 상세설계 그리고 시제품개발 예를 통해 실습과제를 설명한다. 나머지 과정은 비대면 강의를 위해 출석 수업을 온라인 수업으로 대체한 것 외에는 이전 연구(도남철, 2018)에서 소개한 내용과 같다.

Fig. 3의 시스템 설계 단계 예제는 간단한 탁자를 3D 종이 모델로 만드는 과제로서 A 역할이 과제를 표현하는 Pub 객체 아래 제품구조(Product Structure)를 이용하여 상판 색이 다른 두 개의 제품구성 객체(Fig. 3의 config01과 config02 객체)를 생성하였다. 이후 팀 참가자 간 협의를 통해 3개의 제품구성 모듈(Product Configuration Module)을 생성하였다. 3개의 모듈 중 m010 다리 모듈은 두 제품구성이 공유함으로써 제품구성의 대량 맞춤 생산 개념을 지원한다. 역할 B와 C는 상세설계 단계에서 개발할 모듈을 배분하고 부품과 제품구조를 모듈에 연결할 수 있도록 모듈 객체에 접근 권한을 부여한다(Fig. 3의 제품구성 모듈 공유).

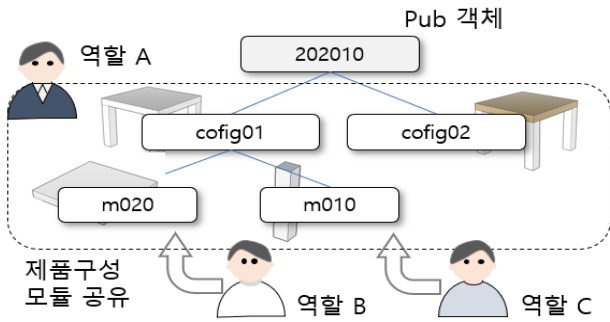


Fig. 3 Creating and sharing configuration modules during the system design phase

Fig. 4는 Fig. 3의 제품구성 객체들을 PDM 시스템에 구현한 화면으로 좌측 화면은 제품구성을 정의한 제품구조를 보여주고 우측 화면은 역할 A가 역할 B를 맡은 다른 참가자에게 특정 제품구성 모듈의 접근 권한을 부여하는 화면을 보여준다.

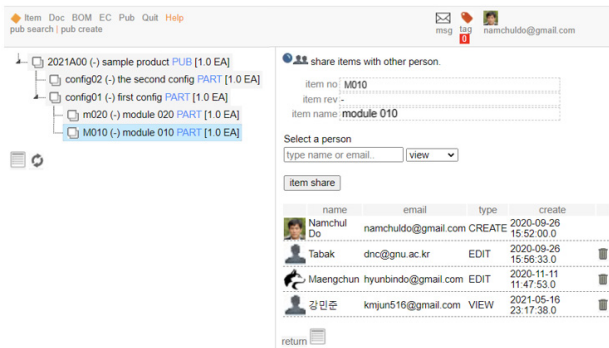


Fig. 4 Creating and sharing configuration modules in PDM

상세설계 단계 예로 Fig. 5는 상세설계 단계에서 역할 B와 C가 역할 A에 의하여 생성되고 공유된 모듈에 각각 부품 객체와 전개도와 제작 방법을 담은 기술문서를 추가하는 예를 보여준다. 예에서 보는 바와 같이 협동 작업을 위해 역할 A, B 그리고 C가 각각 생성된 부품들을 연결하여 상호 공유하고 참조

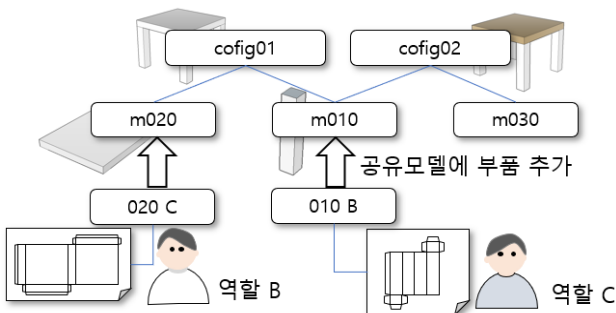


Fig. 5 Creating items and documents during the detail design phase

하는 것을 알 수 있다. 그러므로 PDM 시스템은 제품구조와 참가 부품 그리고 부품에 연계된 기술문서를 통합 관리하여 협동 작업에 필요한 일관된 제품자료를 각 역할에 제공한다.

Fig. 6은 Fig. 5의 상세설계 작업의 결과로 PDM 시스템에 정의된 특정 부품 객체에 기술문서 객체로 첨부된 전개도와 조립 방법 문서 파일을 보여준다.

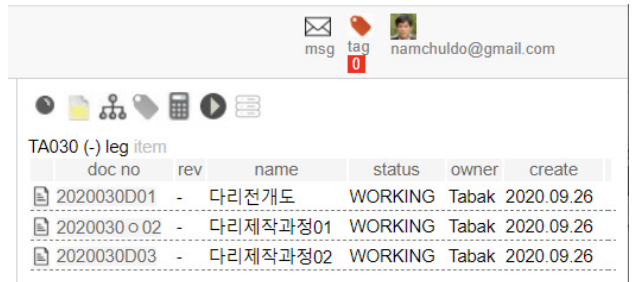


Fig. 6 A list of document objects for an item

시제품 개발 단계 예로 Fig. 7은 시제품 개발 단계에서 역할 B가 자신과 역할 C가 생성한 부품의 전개도와 제작 방법 기술문서를 이용하여 부품을 제작하고 시제품을 조립하는 과정을 보여준다. 역할 B는 PDM 시스템을 통하여 전개도와 조립 방법 자료를 공유하고 3차원 종이 모델을 이용하여 부품을 제작하고 시제품을 조립한다. 이 과정을 통해 비대면 환경에서 안전하게 시제품을 제작하여 제품 설계를 검증할 수 있다. 작성된 시제품 정보는 다시 PDM 시스템을 통해 다른 참가자들과 공유된다.

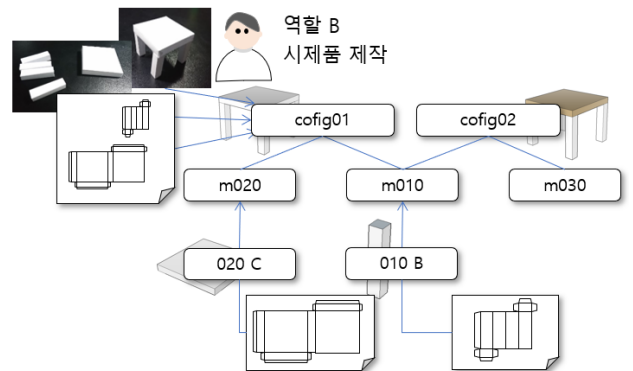


Fig. 7 Creating prototypes using shared product data

예에서 보는 바와 같이 비대면 환경에서 3차원 종이 모델과 PDM 시스템을 이용하여 물리적 시제품 개발을 포함한 협동제품개발 실습과제가 가능하다. 대면 환경에서 통합된 제품자료 공유를 지원했던 PDM 시스템은 비대면 환경에서도 물리적 시제품 개발을 위한 자료를 포함한 제품개발 전체에 걸친 일관된 자료를 온라인으로 제공하였다.

3. 실습 결과 분석

이 수업은 총 26개 팀이 참여하여 모두 시제품 개발을 포함한 제품개발 전 과정을 시간 내에 완성하였다. Fig. 8은 과제 중에 개발된 시제품, 제품구성 스케치 모델 그리고 PDM 시스템 내의 제품구조 출력 화면을 보여준다. 26개 팀의 제품개발 5단계 결과를 순서대로 정리한 최종 결과 보고서는 다음 실습자가 참고할 수 있도록 인터넷 공개 게시판(EDBLab, 2021)에 게시하였다.



Fig. 8 Some prototypes, configuration models and product structures developed during the projects

실습에 대한 정성적 결과 분석은 2021년 대학 교무처 공식 수업 평가의 주관식 답변 결과(무기명)와 게시판에 올린 팀별 최종보고서의 참가자별 소감(기명)을 분석하였다. 정성적 결과 분석을 위하여 다음 단계를 거쳐 참가자의 반응을 분석하였다.

- 대학 공식 수업 평가 주석의 내용 중 비대면 협동제품개발 실습과제에 관한 내용을 추출
- 내용을 긍정적, 부정적 의견으로 분류하고, 부정적 의견 중 비대면 수업으로 인해 불편함이 심각하거나 반복되는 의견이 있는지 확인

대학 교무처 수업 평가의 주관식 답변으로부터 총 22개의 협동제품개발 실습 관련 의견을 추출했으며 그중 9개 의견이 부정적이었다. 그중 6개의 의견이 비대면 실습에 부정적인 의견이었다. 부정적 의견은 구체적 불편함보다는 “조별 과제를 대면으로 했으면 하는 아쉬움이 납니다.” 같이 일반적인 아

쉬움과 불편함을 표시하는 의견이 주를 이루었다. 그 외는 발표 시간 부족, 개인 과제로 진행 그리고 조장 부담이 높은 점 등이 포함되었다.

최종보고서에서 59개의 협동제품개발 실습 관련 의견을 추출했으며, 그중 6개 의견이 부정적이었다. 그중 3개는 비대면이 불편하고 더 복잡했다고 서술했으며 2개는 어렵지만 잘 마무리되었다고 보고하였다. 나머지 의견은 3D 프린터를 미사용이 아쉽다는 의견이 2개, 플라스틱과 용수철 재료를 사용하지 못한 점에 대한 의견이 1개 있었다.

이와 같은 분석 결과 제안한 비대면 협동제품개발 실습으로 참가자들이 제품개발을 경험하는 데 큰 무리가 없었음을 알 수 있었다. 또한 비대면으로 진행된 협동 작업으로 인해 학생들이 치수나 조립 방법의 문제를 여러 번에 걸쳐 교정해야 했다는 보고가 있었다. 이 문제는 Vielma & Brey(2021)가 언급한 원격 협동제품 개발 능력 배양에 필요한 온라인 협동 제품개발 문제를 구체적으로 경험할 수 있다는 점에서 일종의 장점으로 볼 수 있다. 하지만 제안된 시제품 개발은 종이 재질의 특정 제품만 가능하다는 제약이 있다.

V. 결 론

저자는 본 연구를 통하여 기존의 제품자료관리(PDM) 시스템 기반 협동제품개발 실습을 확장하여 코로나19 확산에 대응할 수 있는 비대면 협동제품개발 실습을 시도하였다. 완전 비대면 협동제품개발 실습을 위하여 3차원 종이 모델을 이용한 조립 시제품 개발과 온라인 수업 관리 시스템과 소셜 미디어를 통한 비대면 수업과 회의 기능을 활용하였다.

온라인 제품자료관리 시스템과 제품개발 과정 중심의 기존 협동제품개발 실습 환경에 비대면 시제품 개발 방법과 온라인 매체 기술을 적용한 결과 26개 실습팀의 완전 비대면 제품개발 실습과제를 나오자 없이 완성할 수 있었다. 무기명 공식 수업 평가 의견과 기명 최종보고서 참가자별 소감을 통한 참가자 의견을 분석한 결과 실습 과정에서 구체적이고 반복적인 문제점을 발견할 수 없었다. 반면 비대면 협동제품 설계과정에서 참가자 간의 제품 치수나 조립 방법에 대한 오류가 명확히 나타나는 현상을 통해 참가자의 원격 협동 제품개발 경험을 강화하는 장점도 발견하였다.

그러므로 본 연구를 통하여 목표로 하였던 완전 비대면 제품자료관리 시스템 기반 협동제품개발 실습이 가능함을 확인할 수 있었다. 완전 비대면 협동제품개발 실습은 코로나19 문제가 해결되어도 최근의 공유대학이나 온라인 오프라인 하이브리드 강의 등의 요구를 만족시킬 수 있는 교육 체계로서 의미가 있

을 것으로 예측된다.

비록 본 연구를 통하여 완전 비대면 협동제품개발 실습이 가능함을 확인하였으나, 연구에서 활용한 3차원 종이 모델은 재료와 가공 방법에 한계가 있다. 그러므로 비대면 시제품 개발을 일반적인 재료와 가공 방법을 통해 진행할 수 있는 지역 3D Printer 출력소를 이용한 온라인 협동 제품개발을 추후 연구로 제안한다.

참고문헌

1. 강소연(2021). 2020년 1학기 공과대학 교수와 학생의 온라인 수업 인식 연구. *공학교육연구*, 24(2), 20-28.
2. 김세현(2005). 산업계에서 바라본 CAD 교육의 개선 방향. *한국 CAD/CAM 학회지*, 11(3), 53-57.
3. 도남철(2018). Product Data Management 소프트웨어와 3D 프린팅을 활용한 제품개발 수업 운영 사례. *공학교육연구*, 21(6), 90-98.
4. 도남철(2019). 협동 제품개발 실습에서 참가자 기여도 평가를 위한 Product Data Analytics 기반 정량적 평가 시스템 적용. *공학교육연구*, 22(4), 61-70.
5. 도남철(2021). *공학기술과 제품개발*. 서울: 퍼플.
6. 신희선(2021). 비대면 환경에서의 비판적 사고와 토론교육 - 공대 신입생 대상 온라인 수업 사례를 중심으로. *공학교육연구*, 24(1), 34-45.
7. 정재원·허정은·박효원(2020). 코로나19로 인한 공과대학 교수자의 온라인 수업 경험 탐색. *공학교육연구*, 23(6), 60-67.
8. Asgari, S. et al.(2021). An observational study of engineering online education during the COVID-19 pandemic. *PLoS ONE*, 16(4), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250041>.
9. Dankwort, C. W. et al.(2004). Engineers' CAx education—it's not only CAD. *Computer-Aided Design*, 36(14), 1439-1450.
10. EDBLAB(2021). Available at <https://cafe.naver.com/edblab>. EDBLab Cafe.
11. Gerhard, D. & Granger, M.(2009). *Integrative Engineering Design using Product Data Management Systems in Education*. International Conference on Engineering and Product Design Education, September 2009.
12. Instructure(2021). Available at <https://instructure.com>. Instructure CANVAS.
13. Kakehi, M. et al.(2009). PLM education in production design and engineering by e-Learning. *Int. J. Production Economics*, 122(1), 479-484.
14. Ostad-Aahmad-Ghorabi, H. et al.(2012). *Implementing Pdm Systems In Design Education To Enhance Design Collaboration*. Int. Conf. On Engineering And Product Design Education, 6 & 7 September 2012, Artesis University College, Antwerp, Belgium.
15. Probst, A. & Gerhard, D.(2014). *PDM supported Engineering Design Education*. 2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning, Dubai, United Arab Emirates, 3-6 Dec. 2014.
16. Probst, A. et al.(2017). *Enhancements in Engineering Design Education at Austrian HTL*. 21st International Conference on Engineering Design, 21-25 August 2017, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
17. Sanin, P. & Mejia-Gutierrez, R.(2011). *Use of an Open-Source PLM solution to improve teamwork performance in product design courses*. 2011 International conference on Innovative Methods in Product Design June 15-17, 2011, Venice, Italy.
18. TEE(2021). Available at <http://tee.gnu.ac.kr>. TEE PDM System.
19. Vielma, K. & Brey, EM.(2021). Using Evaluative Data to Assess Virtual Learning Experiences for Students During COVID-19. *Biomedical Engineering Education*, 1, 139-144.
20. ZOOM(2021). Available at <https://zoom.us>. ZOOM.



도남철 (Do, Namchul)

1991년: 포항공과대학교 산업공학과 졸업
 1993년: 동 대학원 산업공학 석사
 1996년: 동 대학원 산업공학 박사
 1996~1998년: 삼성중공업(주)
 1998~2000년: 불보건설기계 코리아(주)
 2000~2002년: 한국전자통신연구원
 2002년~현재: 경상국립대학교 산업시스템공학부 교수
 관심분야: BOM Databases, Product Life-cycle Management, 제품개발교육
 E-mail: dnc@gnu.ac.kr