

협동 제품개발 실습에서 참가자 기여도 평가를 위한 Product Data Analytics 기반 정량적 평가 시스템 적용

도남철

경상대학교 산업시스템공학부, 공학연구원

Applying a Product Data Analytics-based Quantitative Contribution Evaluation System for Participants to Collaborative Projects in Product Development Practices

Do, Namchul

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

ABSTRACT

As product development process becomes complex, it becomes more important for engineering students to experience collaborative product development. Especially the collaboration experience based on Product Data Management (PDM) systems is useful, since participants are likely to use the same environment for their professional product development. However, instructors have difficulties to evaluate contribution of each participant to their projects during the practices, since it is hard to trace personal activities for collaborative design processes. To solve this problem, this study suggests a data-driven objective method that analyses product data accumulated in PDM databases to evaluate numerically calculated contributions of participants to their class projects. As a result, the quantitative measures provided by the data-driven analysis with qualitative measures for project results can improve the fairness and quality of evaluation of contributions of participants to collaborative projects. This study implemented the proposed evaluation method with an information system and discussed the result of the application of the system to product development practices.

Keywords: Collaborative product development projects, Product development practice, Product data management (PDM), Quantitative contribution evaluation

1. 서 론

공학교육의 주요 목표는 교육 참가자들이 수학, 과학 그리고 기술을 활용하여 새로운 제품을 고안하고 생산할 수 있는 능력을 기르는 것이다. 공학교육은 이 목표를 이루기 위하여 제품 개발 실습을 활용한다. '제품개발 실습'은 실습 참가자가 이론에서 배운 지식과 기술을 활용하여 독립적인 제품을 설계하고 개발하는 과제 중심의 과정이다. 특히 여러 실습 참가자가 팀을 이루어 제품을 개발하는 '협동 제품개발 실습'은 제품개발에 필요한 참가자 간 협동 작업을 경험 할 수 있어 유용하다. 나아가 정보화 된 협동 제품개발 환경을 지원하는 Product Data Management (PDM) 시스템을 활용한 '정보 시스템 기

반 협동 제품개발 실습'이 제안 되고 있다(도남철, 2018a).

협동 제품개발 실습의 효과에도 불구하고, 기존의 협동 제품 개발 실습 참가자에 대한 기여도 평가는 팀별, 결과 중심 그리고 정성적 평가에 치우쳐있다. Fig. 1은 현재 협동 제품개발 실습 참가자 기여도 평가의 특성과 본 논문에서 제안하는 방법의 특성이 표시되어 있다.

Fig. 1의 왼쪽에 현재 협동 제품개발 실습 기여도 평가의 특성 세 가지가 나열되어 있다. 첫째, 현재 평가는 팀 전체 단위로 기여도를 평가한다(Group Evaluation). 이 방식은 참가자의 기여도를 개인별로 평가하기 어렵기 때문에 팀 전체를 한 단위로 평가한다. 개인별 평가의 대안으로 참가자 상호 평가가 가능하나 객관성에 문제가 있을 수 있다. 둘째, 실습 과정 중의 기여도 평가(In-Progress Evaluation)보다 과정이 끝난 후 실습 결과로 기여도를 평가한다(Result-Oriented Evaluation). 과정 중 기여도 평가는 각 참가자의 협동 작업을 관찰하고

Received March 20, 2019; Revised June 2, 2019

Accepted July 1, 2019

† Corresponding Author: dnc@gnu.ac.kr

©2019 Korean Society for Engineering Education. All rights reserved.

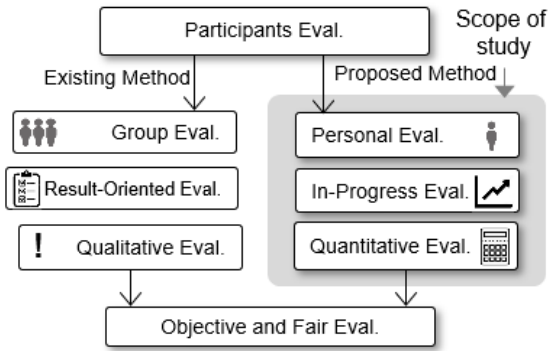


Fig. 1 Participants' Contribution Evaluation Problem

조정할 수 있다. 과정 중 제품개발 평가의 필요성은 기업의 제품 개발 성능 평가에서도 지적되고 있다(Tatikonda, 2007). 셋째, 기존 기여도 평가는 주로 정성적 평가(Qualitative Evaluation)에 의존하나, 이에 대한 객관적인 자료를 확보하기 어렵다.

본 연구는 자료 기반 분석(Data-Driven Analysis) 기법인 Product Data Analytics 방법을 활용하여 개인별, 과정 중심 그리고 정량적(Quantitative) 참가자 기여도 평가를 가능하게 한다(Scope of study). 이는 앞에서 언급한 기존의 팀별, 결과 중심 그리고 정성적 기여도 평가를 보완하여 객관적이고 공평한 협동 제품개발 참가자 기여도 평가(Objective and Fair Evaluation)가 가능하게 한다.

본 연구는 협동 제품개발 실습 과정에서 축적된 PDM 데이터베이스에 자료기반 분석 기법을 적용하여 참가자의 정량적 기여도를 평가한다. 제안된 평가 방법을 개발하기 위하여 PDM 데이터베이스 구조를 분석하고, 데이터베이스의 자료 객체를 고려한 평가 지표를 선택하고, 마지막으로 지표를 구현하고 적용하는 단계를 거친다. 본 논문은 구현된 시스템을 활용한 협동 제품개발 실습에서 참가자 기여도 평가 예와 결과에 대한 토론을 제공한다.

논문의 2 절은 관련 연구를 소개한다. 3 절은 기여도 평가 시스템을 개발하기 위해 사용한 자료 기반 제품자료 분석 방법인 Product Data Analytics를 설명한다. 4 절은 기여도 평가를 위한 PDM 데이터베이스 분석, 평가지표 선택 그리고 구현 방법을 설명한다. 5 절은 기여도 평가 시스템을 적용한 예를 설명하고 결과에 대하여 토론한다. 6 절은 결론을 도출하고 추후 연구 과제를 서술한다.

II. 관련 연구

기존의 협동 제품개발 참가자의 정량적 기여도 평가 연구는 Fig. 2와 같이 4가지 종류로 분류할 수 있다. 관련 연구의 기본

요소는 제품개발 과정(Fig. 2의 Product Development Process 참조)과 기여도 평가 대상인 참가자(Participants)로 구성된다. 참가자는 소셜 미디어나 기술문서를 포함한 결과물(Participants' Output)을 생성하여 제품개발에 기여한다. 실습 평가자(Evaluator)나 평가 시스템(Evaluation System)은 제품 설계에 구현된 실습 참가자의 결과물을 통하여 제품개발에 대한 기여도를 평가한다.

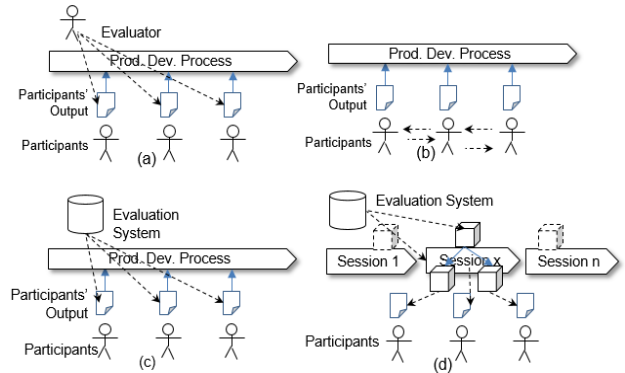


Fig. 2 Comparison of Contribution Evaluation Approach

첫째 접근 방법은 Fig. 2a와 같이 평가자(Evaluator)가 각 참가자의 결과물을 평가함으로써 참가자의 기여도를 평가한다. 이는 평가자가 참가자의 모든 결과물을 평가해야하는 부담이 있다. 그러므로 일반적으로 결과물이 반영된 최종 제품설계를 평가한다. 상용 공개 제품개발 시스템인 Quirky(Quirky, 2019)는 참가자의 결과물을 이용하여 참가자의 정량적 기여도를 평가한다. 이 시스템은 참가자가 제공한 다양한 소셜 미디어를 과제의 소유자가 정량적으로 평가함으로써 각 참가자의 기여도를 계산하고, 추후 기여에 대한 대가를 지불한다. Local Motors(Local Motors, 2019)는 소셜 미디어 기반의 공개 제품개발 플랫폼인 Launch Forth를 통해 아이디어를 생성하거나 협동설계를 진행하며, 이 과정에서 온라인 투표나 심사위원 평가를 통해 참가자의 결과를 평가한다.

둘째 접근 방법은 Fig. 2b와 같이 참가자 상호 간 평가를 통하여 기여도를 평가하는 방법이다. 상호평가는 정성적인 평가의 일종이지만 이를 정량적인 값으로 변환할 수 있다. Parung와 Bititci(Parung & Bititci, 2008)는 서로 다른 조직의 제품개발 협동 작업을 평가하기 위하여 협동 네트워크(Collaborative Networks)에서 참가자의 기여도(Contribution), 참여도(Involvement) 그리고 산출물(Output)을 측정하는 방법을 제안하였다. 이 중 기여도 평가를 위하여 다차원 의사결정 방법인 Analytical Hierarchy Planning(AHP)을 사용하였다. AHP를 통하여 참가자 간 정성적 평가 결과를 체계적으로 정량화할 수

있지만, 복잡한 비교 과정을 거쳐야 하므로, 자동화가 어렵고 평가자에게 부담이 될 수 있다.

셋째 접근 방법은 Fig. 2c와 같이 참가자가 제공한 디지털 결과물을 정량적으로 평가하는 시스템을 통하여 기여도를 평가한다. 이 접근 방법은 사람의 평가를 배제하고 정보 시스템에 축적된 디지털 운영 자료만을 활용하여 기여도를 평가한다는 점에서 첫째와 둘째 접근 방법과 구별된다. 저자가 현재까지 조사한 바로는 PDM 데이터베이스와 같은 통합 설계 자료를 활용한 참가자 기여도 평가 시스템을 발견할 수 없었다. 반면 교육 부분의 공동 글쓰기 연구 등에서 유사한 접근을 확인할 수 있었다.

Trentin(Trentin, 2009)은 인터넷 기반 협동 글쓰기 도구인 wiki(Wikipedia, 2019)를 활용하여 참가자 기여도를 평가하였다. 이 연구에서 글쓰기 과정은 글 구조 결정과 작업 분담, 하이퍼텍스트 분화를 통한 글쓰기, 다른 작업자 결과와 링크 연결 그리고 상호 검토 및 변경 제안의 순서로 구성되었다. 이 연구는 공동 글쓰기 결과에 대한 평가와 함께 참가자 개인의 기여도를 평가하였다. 기여도를 평가하기 위하여 글의 전체 구조 결정 시 게시판에 올린 글의 수, 작성 글자와 링크 수 그리고 상대 글에 대한 변경 제안 수를 계산하고, 이를 정규화 한 후 가중치를 고려하여 기여도를 평가하였다. 이 연구는 기여도 계산을 위하여 wiki의 링크나 게시물을 수작업으로 계산하는 제약이 있다.

Caballé 등(Caballé et al., 2010)은 Social Network Analysis와 인지적 분석(Cognitive Analysis)을 이용한 참가자 기여도 평가 방법을 연구하였다. 인지적 분석 방법은 동료 평가 시 감정(즐거움이나 화남 등)이나 인식(잘함이나 못함) 등을 등급으로 평가하였다.

Bhadra와 Chatterjee(Bhadra & Chatterjee, 2017)는 정보통신기술 기반 공동 작업에서 유전적 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 개인의 참여도 평가 방법을 제안하였다. 하지만 이 연구의 대상인 논문작성 과정에 어떤 정보통신 기반 기술이 적용되었는지 명확히 설명하지 않고 있다. 또한 단순한 변수와 가중치가 적용되었으며, 적용된 유전적 알고리즘에 대한 설명도 부족하다.

마지막 접근 방법은 본 연구에서 제안한 방법으로써 Fig. 2d와 같이 참가자의 결과물(아이템, BOM[Bill Of Material], 기술문서, 소셜 미디어 등)을 이용하여 기여도를 평가하며, 결과물 평가 시 연결된 제품모델과 제품개발 단계를 같이 고려하는 방법이다. 이 방법은 참가자가 제공하는 디지털 미디어를 통해 평가하는 점에서는 첫째와 셋째 방법과 유사하며, 평가 시스템을 활용하여 자동으로 기여도를 평가하는 점에서는 셋째 방법

과 유사하다.

제안된 방법의 특징은 첫째, 현실 제품을 가상화한 제품 모델에 추가된 매체를 통하여 참가자의 지식이나 의견을 평가할 수 있다. 제품 모델 사용은 기여도 평가에 모델속성에 표현된 제품의 가치(예상 가격, 공유횟수, 접근 횟수 등)를 적용할 수 있게 한다. 반면 기존 방법은 기여 대상(제품이나 공동 작업 문서)을 표현하는 모델을 고려하지 않는다. 또한 부품, 도면, BOM 등 제품 모델을 활용한 평가는 제품개발을 위한 기술적 기여도 평가를 가능하게 한다.

둘째, 제안된 방법은 제품개발 과정(Product Development Process)을 상세 세션(Session)으로 나누어 그 가치 차이를 기여도 평가에 적용할 수 있다(Fig. 2d의 Session 1, Session n 참조). 반면 기존 연구에서는 과정에 대한 구별을 고려하지 않았다.

셋째, 제안된 방법은 정보 시스템을 통한 연속적인 자동 평가가 가능하다. 협동 제품개발 실습에서 기여도 평가는 한시적 과정 기간 안에 제한된 자원을 활용하여 평가를 완료해야한다. 그러므로 추가적 자료나 인력 투입이 없는 자동화된 평가 방법이 필요하다. 제안된 방법은 PDM 데이터베이스 기반 응용 소프트웨어를 통해 기여도를 자동으로 계산할 수 있다.

III. Product Data Analytics

본 연구에서 실습 참가자 기여도 평가 시스템의 개발과 적용은 제품 자료기반 분석 방법인 Product Data Analytics 개념을 사용하였다(Do et al., 2015). Product Data Analytics의 목적은 복잡하고 비정형적인 현실의 제품개발 과정을 컴퓨터를 활용한 자료기반 분석 방법을 사용하여 이해하는 것이다. 자료기반 분석(Data-Driven Analysis)이란 방대한 디지털 자료 분석에 적합한 방법으로써 기존 분석에서 중요한 샘플링이나 인과관계 보다는 전수 분석과 상관관계 분석에 중심을 둔 접근 방법이다(Mayer-Schonberger & Cukier, 2013). Fig. 3은 Product Data Analytics의 개념을 보여준다.

일반적으로 현실의 제품개발 과정은 복잡하고 비정형적이므로 이를 구체적으로 이해하는 것은 어려운 작업이다(Fig. 3의 Design Process in Real World 참조). 하지만 현대 제품개발은 다양한 컴퓨터 지원 소프트웨어 시스템을 사용하므로 이들 시스템에 축적된 자료를 이용하면 제품개발 과정의 특정 부분이나 관점을 이해할 수 있다.

특히 제품개발 과정에서 생성되는 자료를 통합적으로 관리하는 PDM 시스템에 제품개발 전 기간에 걸쳐 종합적이고 통합된 제품 자료들이 입력된다(Input Product Data with PDM Client).

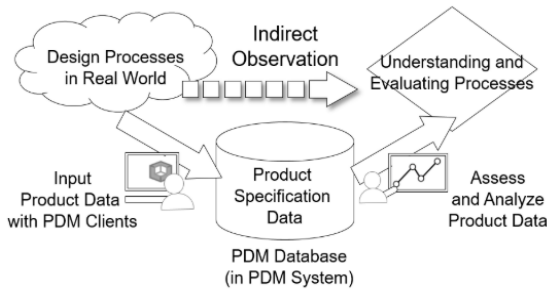


Fig. 3 Concept of Product Data Analytics

제품개발 전 기간에 걸쳐 입력된 제품자료는 PDM 데이터베이스에 축적되며, 이는 자료를 공유하고 개발과정을 관리하는 운영 자료(Operational Data)로써 사용된다. 축적된 운영 자료는 자료전환을 거쳐 제품개발 과정을 분석하기 위한 분석 자료 (Analytical Data)로 사용된다.

분석 자료는 분석 목적에 맞는 적절한 자료기반 분석방법을 통해 분석된다(Assess and Analyze Product Data). 이 분석을 통해 제품개발 과정을 간접적으로 이해할 수 있게 된다. 결과적으로 Product Data Analytics 방법론은 운영 자료 관리를 위해 사용되는 PDM 데이터베이스를 자료 분석 용도로 전환한 방법으로 볼 수 있다.

본 논문의 참가자 기여도 평가는 협동 제품개발 실습 중 PDM 데이터베이스에 축적된 제품 설계 자료를 자료기반 분석 기법을 이용하여 분석하여 참가자들의 기여도를 평가한다. 이는 제품개발 과정 중에 참가자 기여도 평가 부분을 이해하기 위하여 PDM에 축적된 제품자료를 분석하는 Product Data Analytics의 일종으로 이해 할 수 있다.

Product Data Analytics의 구성요소는 PDM 데이터베이스, 평가지표(Performance Measure) 그리고 분석 방법(Data Analysis Method)이다. 그러므로 협동 제품개발에서 기여도 평가 시스템 개발 순서는 첫째, PDM 데이터베이스를 분석하여 지표에 연계된 주요 자료 객체를 선정하고, 둘째, 기존 제품개발성능 평가 지표를 기반으로 기여도 평가지표를 선정하며, 셋째, 적용 분석 모델과 방법에 따라 평가지표 계산 방법을 설계하고 구현한다. 이 논문의 IV. 데이터베이스 구조, 평가지표 그리고 분석 방법에서는 Product Data Analytics 방법론에 따라 각각 기여도 평가를 위한 데이터베이스 구조 분석, 평가지표 결정 그리고 구현 방법을 설명한다.

IV. 데이터베이스 구조, 평가지표 그리고 분석 방법

1. PDM 데이터베이스와 주요 객체

제안된 기여도 평가 방법은 PDM 데이터베이스에 축적된 설

계 자료를 바탕으로 기여도를 계산한다. 또한 여기에서 다룰 평가지표는 PDM 데이터베이스의 자료 객체를 이용하므로 평가지표 계산을 위한 PDM 데이터베이스 구조 분석이 필요하다.

PDM 시스템은 1980년대 이후 제조 기업에 광범위하게 사용되었으며, 현재는 제품 설계뿐만 아니라 제조와 고객 서비스까지 지원하는 Product Life-cycle Management(PLM) 시스템의 핵심 역할을 하고 있다(도남철, 2018b). PDM 데이터베이스의 자료 구조는 ISO STEP(PDM Implementor Forum, 2002)과 같은 표준 제품 자료 구조를 공유하고 있으므로 주요 구성 자료와 그 관계는 Fig. 4와 같이 일반화할 수 있다.

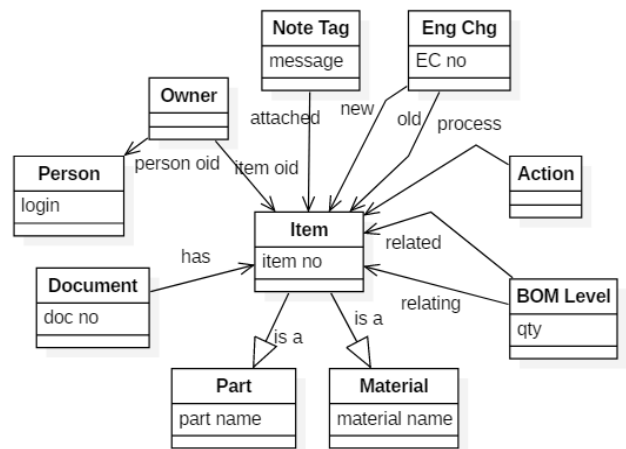


Fig. 4 Database Schema for PDM Systems

Fig. 4의 Item 객체는 부품(Part)과 재료(Material)를 일반화한 객체이다. Document 객체는 아이템에 연결된 CAD 파일을 포함한 기술문서를 나타낸다. Note Tag 객체도 Item 객체에 연관된 객체로서 관련 부품에 대한 의견이나 지식을 단문 메시지 형태로 교환하는데 사용한다. Person 객체는 실습 참가자를 나타내며, 연결 객체인 Owner 객체를 이용하여 Item 객체에 대한 접근 권한을 표현한다.

BOM Level은 두 Item 객체 간의 조립을 표현하는 구성 관계를 표현하며, 구성 관계가 연결되어 제품의 BOM 구조를 이룬다. 제품의 BOM 구조는 과제 결과인 최종 제품과 부품이나 재료로 참여하는 Item 객체들을 네트워크 구조로 연결하며, 이 네트워크 구조에 참여한 Item 객체와 연관 Document 및 Note Tag 객체를 과제에 기여한 자료로 식별할 수 있다. Eng Chg 객체는 설계변경(Engineering Change)을 표현하며, 변경 이전과 이후 Item을 연결하여 변화를 표현한다. Action 객체는 제품개발 단위 단계를 나타낸다.

제품개발 정보와 과정을 지원하는 운영 자료로써 PDM 데이터베이스는 분석을 위한 자료인 데이터 큐브(Data Cube)로 변

환이 가능하다. 본 연구는 다차원 자료 분석을 위하여 PDM 데이터베이스를 데이터 큐브 역할을 하는 마이크로소프트 엑셀 (Microsoft, 2019)로 전환한다.

2. 평가지표를 위한 자료 객체 선정

본 논문에서 제안하는 협동 제품개발 실습 참가자의 정량적 기여도는 PDM 데이터베이스에 축적된 설계 자료와 가중치를 이용하여 계산된다. 그러므로 이 절에서 제안하는 평가지표는 PDM 데이터베이스에서 추출 가능하고, 정량적이며, 자동 계산이 가능한 지표로 한정된다.

복수의 참가자로 구성된 협동 제품개발 실습 과정의 각 과제는 PDM 시스템에 최종 제품 설계 자료를 입력함으로써 완성된다. 협동 과제에서 각 참가자의 정량적 기여도는 각 참가자가 PDM 데이터베이스에 생성한 최종 제품설계에 연결된 자료 객체를 수량화하여 평가한다.

평가지표로 사용될 자료 객체를 선정하기 위하여 제품개발 성능평가(Product Development Performance Evaluation) 문헌 조사를 통한 지표 수집, 지표 종류에 따른 분류 그리고 구현을 고려한 지표 선정 단계를 거친다. 첫째, 관련 문헌 조사 (Tatikonda,2007; Alemanni,2008; Oh,2010; Siemens PLM SW Inc.,2009)를 통하여 100여 개의 제품개발 성능평가 지표를 조사하였다. 둘째, 수집된 지표들은 Table 1과 같이 3중 6가지 체계에 따라 분류하고, 이 중 협동 제품개발 실습 평가에 적합한 내부(Internal), 운영(Operational) 그리고 과정(Processing) 소분류에 속하는 지표들을 선택하였다.

Table 1 Classification of Product Development Performance Indicators

Classes	Detailed	Description
Internal VS. External	Internal	Inside of organization (e.g. Time for item development)
	External	Outside of organization (e.g. Comparisons with competitors' market delivery time)
Strategic VS. Operational	Strategic	For enterprise management (e.g. Market share)
	Operational	For operational efficiency (e.g. Carry-over components percentage)
Result-Oriented VS. In-Progress	Result-Oriented	After completion of projects (e.g. Amount of product sales)
	In-Progress	In-Progress (e.g. Number of approved engineering changes)

셋째, 이 중 협동 제품개발 실습 기여도 평가와 과정 중 생성되는 PDM 데이터베이스의 자료 객체를 고려하여 최종 평가지표와 관련 자료 객체를 선정하였다. 결과로 제품 설계 자료를 구성하는 아이템(부품), 기술문서(CAD문서 포함), 단문 메시지 (Note Tag) 그리고 설계변경 자료 객체에 관련된 지표들이 고려 대상으로 선택되었다.

아이템 관련 지표는 아이템 생성 수량, 아이템 재사용 비율, 승인 아이템 수량 그리고 아이템 생성 시간 등이 포함되었다. 그러나 실습에서는 기존 아이템을 재사용하는 경우가 없고, 승인은 최종 설계 결과 제출 시 승인된 것으로 평가하여 아이템 수량만이 평가 지표로 선택되었다. 아이템 수량은 참가자가 만든 아이템 중 최종 제품구조에 연결된 아이템만 고려하였다.

기술문서 지표는 생성 수량, 승인 문서 그리고 생성 시간 등이 있으나, 아이템과 동일하게 승인과 생성 시간을 고려하여 기간 내에 완성된 문서 수량만을 평가 지표로 사용하였다. 설계변경은 종류, 제안 수량, 시간 그리고 승인 수량 관련 지표가 조사되었다. 그러나 이들 지표는 다수의 반복적이고 축적된 설계변경이 있을 경우에 유의미한 지표이고, 실습에서는 과제 당 일회 정도의 설계변경 밖에 가능하지 않으므로 실습 평가를 위한 지표로 고려하지 않았다.

실습에 사용한 PDM 시스템은 단문 메시지 형태인 소셜 미디어를 제공하였고, 본 연구는 소셜 미디어 생성 수량을 평가 지표로 추가하였다. Action 객체는 제품개발 과정 중 특정 세션에 생성된 아이템의 가중치를 계산하는데 사용되었다. 또한 본 연구는 실습 특성을 고려하여 특정 아이템, 기술문서 그리고 소셜 미디어에 대한 접근도 참여도 평가지표에 추가하였다. Table 2에 지표와 관련된 자료 객체가 정리되어 있다.

Table 2 PDM Objects and Associated Measures for Contribution Evaluation

Objects	Measures	Weighting
Items	Number of created items	Weight of items from attributes, BOM, access numbers or action objects
	Number of item access	
Documents	Number of created document	
	Number of document access	
Note Tags	Number of created Note tags	
	Number of Note tag access	

3. 평가 지표 구현 방법

앞에서 조사한 바와 같이, 참가자의 정량적 기여도는 각 참가자가 PDM 시스템을 통해 생성한 최종 제품설계 자료에 포함된 Item, Document 그리고 Note Tag 객체를 수량화하여

평가한다. 또한 협동 제품개발 실습의 특성을 고려하여 다른 참가자가 생성한 객체라도 얼마나 많이 참조했는지를 참여도로 평가한다. 그러므로 협동 제품개발 실습의 정량적 기여도 평가는 다음 기준에 의하여 계산한다.

- 참가자 정량적 기여도 = (생성 자료 수 + 접근 횟수) * 대상 아이템 가중치
- 생성 자료 수 = 생성 아이템, 문서, 단문 메시지 객체 수
- 접근 횟수 = 아이템, 문서, 단문 메시지 접근 횟수
- 대상 아이템 가중치 = 연계 아이템 객체의 가중치

참가자의 정량적 기여도는 참가자가 생성한 Item, Document 그리고 Note Tag 객체의 수량에 아이템의 가중치를 곱하여 계산한다. Document와 Note Tag는 연결된 Item의 가중치를 사용한다. 아이템의 가중치는 아이템의 특정 속성 값(예로 가격 속성)을 이용하거나 설계 자료의 특성(예 BOM 구조 상 공유가 많은 부품)을 이용하여 계산 할 수 있다. 또한 제품개발 단계를 나눈 Action 객체의 가중치를 사용하여 기술문서나 단문메시지가 추가된 단계에 따라 가중치를 부여한다. 참여도에서 측정되는 접근 횟수도 연계된 아이템의 가중치로 계산된다.

본 연구는 온라인 평가 시스템의 평가지표 가시화를 위하여 제품 자료를 추가 처리하였다. 첫째, 온라인 시스템에서 지표에 대한 가중치를 대화식으로 입력할 수 있도록 하였다. 평가자는 아이템, 문서, 메시지 그리고 접근 별로 다른 가중치를 부여하여 기여도를 실시간으로 다시 계산할 수 있다. 둘째, 자료 객체별 시간에 따른 누적 생성량을 실시간으로 가시화 한다. 셋째, 한 과제 팀원의 전체 기여도를 기준으로 각 팀원의 상대적 크기를 계산하여 가시화 하였다.

V. 적용 예

1. 실습 과정과 PDM 시스템

본 논문에서 제안한 기여도 평가 방법은 공과대학 설계 입문 과정 중의 협동 제품개발 실습과정에 적용되었다. 대상 과정의 교육 목표는 교육과정 참가자가 제품개발 과정을 경험함으로써 각 과정에서 필요한 제품자료와 처리 방법 그리고 상호 관계를 이해하는 것이다(도남철, 2018a).

과정은 제품개발 5단계를 기준으로 15주 동안 편성된 강의와 이에 대응하는 실습으로 구성되어 있다. 제품개발 5단계는 일반적인 제품개발 과정으로 알려진 상품기획, 시스템설계, 상세설계, 시제품개발 그리고 생산준비 단계로 구성되었다(도남철, 2018b). 과정 단계별 수업과 팀별 실습 내용을 요약하면 Table 3과 같다.

Table 3 Course and Practical Training Schedule

Class(weeks)	Lecture	Training
준비단계(1)	제품개발과 PDM 소개	팀과 역할 결정
상품기획(2)	상품기획 소개	팀별 목표 제품 결정
시스템설계(3)	대량맞춤 생산, 제품구성, 모듈러 BOM 소개	목표 제품에 대한 모듈러 BOM 생성
상세설계(3)	CAD, 부품리스트, BOM 관리 소개	CAD Model, 설계 BOM 작성
시제품개발(2)	시제품 개발과 시험	시제품 3D 프린팅
생산준비(3)	생산준비, 공정계획, 제품비용 계산 소개	공정 BOM 생성 및 비용 계산
정리단계(1)	정리 및 의견 수렴	최종보고서 작성

실습은 대상 제품을 선택하는 상품기획에서부터 공정을 추가하는 생산준비 단계까지 참가자가 실제 제품개발과 유사한 경험을 하도록 준비되었다. 또한 제품개발 각 단계에 걸쳐 제품 자료를 체계적으로 통합 관리할 수 있도록 PDM 기반 제품개발 실습을 진행하였다. Table 4에 실습 중 PDM 시스템을 통해 생성되는 자료가 정리되어 있다.

Table 4 Output in PDM System during Training

Class	Output in PDM System
상품기획	과제 아이템과 제품사양 기술문서
시스템설계	제품구성과 모듈이 포함된 모듈러 BOM
상세설계	부품리스트, 부품별 CAD 모델, BOM, Note Tag
시제품개발	3D 프린팅 모델파일
생산준비	공정 아이템이 추가된 공정 BOM

생성되는 자료는 부품을 표현하는 아이템 리스트, 3D CAD 와 3D 프린팅 파일을 포함한 기술문서 그리고 제품 구성을 표현하는 BOM으로 이루어져있다. BOM은 제품개발 5단계가 진행되면서 점차적으로 완성된다. 상품기획과 시스템 설계 단계에서 모듈러 BOM, 상세설계와 시제품 개발 단계에서 설계 BOM 그리고 생산준비 단계에서 공정 BOM이 순차적으로 완성된다.

수업에 사용한 PDM 시스템인 TEE는 웹 기반 공개 시스템으로써 Fig. 4에 소개된 자료구조를 가진 데이터베이스를 가지고 있다(TEE,2019). TEE는 아이템, 문서, BOM 그리고 설계 변경을 관리하는 제품 자료 관리 기능과 생성자료 공유, Note Tag 교환, Action을 통한 검토 등 협동작업 기능을 제공한다.

기여도 평가 대상이 된 협동제품개발 실습은 각각 약 40명으로 구성된 2개의 반으로 진행되었으며, 두 개 반에 걸쳐 총 17개의 실습 팀이 구성되었다. 팀당 4-5명으로 구성된 참가자들은 자체적으로 실습 대상 제품을 결정하였다. 실습 참가자는

PDM 시스템을 이용하여 제품개발 5단계에 걸쳐 대상 제품에 대한 설계 자료를 생성하고, 3D 프린팅을 통해 시제품을 제작하였다. 참가한 팀은 모두 요구한 제품설계 자료를 완성하였으며, 이들의 설계과정 자료는 PDM 데이터베이스에 기록되었다.

실습 참가자들이 PDM 데이터베이스에 축적한 제품자료는 실습 참가자 기여도 평가를 위한 Product Data Analytics의 분석 자료로 사용되었다. 평가 활동이 실습에 주는 부작용을 막기 위하여, 실습 참가자들에게 기여도 평가를 위한 특별한 활동이나 추가적 자료 입력을 요구하지 않고 실습 목표에 따라 과정에 집중하도록 하였다. Product Data Analytics 분석을 위하여 PDM 시스템과 데이터베이스에 설계 자료와 사용자 로그 정보 관리를 강화하였으며, 이를 바탕으로 기여도 평가를 위한 웹 응용 시스템을 개발하였다.

2. 실시간 기여도 평가 시스템 구현과 적용

Fig. 5는 기여도 평가 시스템을 구성하는 PDM 시스템(PDM Database, PDM Server 그리고 PDM Client 참조), 기여도 평가 웹 응용 시스템(Evaluation Web Application) 그리고 다차원 자료 분석 체계(Analysis Client와 Data Cube)를 보여준다. 과정 참가자(Participants)는 웹 브라우저 기반 PDM 클라이언트를 통해 PDM 데이터베이스에 제품 설계 자료를 저장한다. 평가자(Evaluators)는 기여도 평가 웹 응용 프로그램과 엑셀 기반 다차원 자료 분석 체계를 이용하여 참가자의 기여도를 평가하고 분석한다. 그림과 같이 기여도 평가 웹 응용 시스템은 데이터베이스 뷰(Database View)를 통해 PDM 데이터베이스의 자료를 실시간으로 반영한 결과를 보여준다.

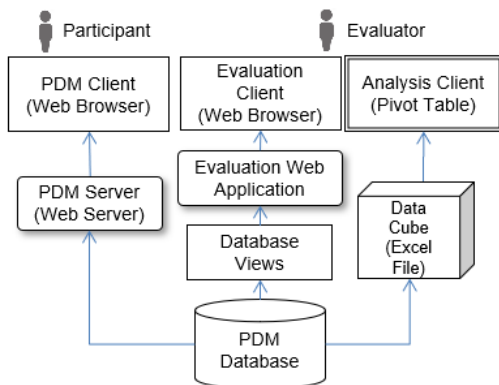


Fig. 5 Architecture for Product Data Analytics System

Fig. 6은 기여도 평가 응용 시스템의 주요 화면을 보여준다. 왼쪽 창에 과정에 참여하는 17개 팀 목록이 출력되며, 이 목록에서 팀 번호를 클릭하면 오른쪽 창에 해당 팀의 아이템, 기술

문서 그리고 Note Tag의 시간별 누적 생성량 그래프가 출력된다. 그래프의 하단에는 해당 팀에서 생성한 모든 아이템 정보가 출력되며, 각 아이템 별 연계 기술문서와 Note Tag 수 그리고 접근 횟수가 출력된다. 마지막 Parents 속성은 해당 아이템이 다른 아이템으로부터 공유된 횟수를 나타내며, 이는 해당 아이템이 다른 아이템의 부품으로 얼마나 사용되었는지를 나타낸다. 일반적으로 공유가 많이 될수록 부품의 역할이 중요해지므로 이 값을 아이템의 가치치로 사용한다. 평가자는 이 화면을 통해 과제 진행 중 팀 전체의 자료의 생성 추세를 확인함으로써 과제 진행 상황을 실시간으로 관찰할 수 있다.

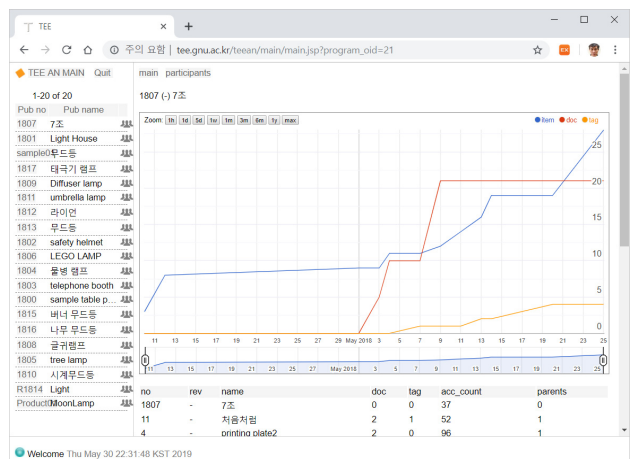


Fig. 6 Windows of Contribution Evaluation System

Fig. 7은 특정 팀 내 각 참가자별 자료 생성과 접근 횟수를 보여준다. 각 참가자의 현재까지 아이템, 기술문서 그리고 Note Tag의 생성 수량과 아이템 및 Note Tag 접근 횟수가 출력된다. 이 자료를 통해 참가자의 기여도 계산에 사용된 원시 자료를 확인할 수 있다.

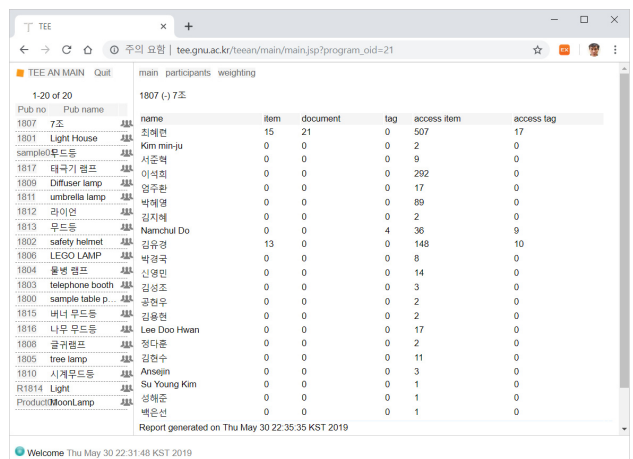


Fig. 7 Status of Participants

Fig. 8은 각 자료 개체와 접근 횟수에 사용자 정의 가중치를 실시간 적용하여 참가자의 기여도를 계산한 화면이다. 가시화된 파이 그래프는 소속 팀 전체 기여도에서 각 참가자 개인의 기여도가 차지하는 비율을 표시한다. 이 그래프를 통해 특정 참가자가 해당 과제에 기여한 정도를 전체 기여도 관점에서 확인하고, 비교 할 수 있다.

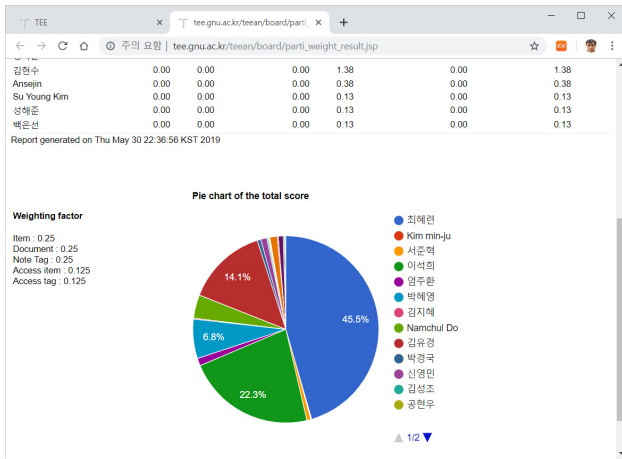


Fig. 8 Visualization of Contribution of Participants

다차원자료 분석 체계는 PDM 데이터베이스에 연결된 피벗 테이블(Pivot Table)을 이용하여 기여도에 연관된 다양한 자료를 분석할 수 있게 한다.

3. 결과와 토론

실습에 기여도 평가 시스템을 적용한 결과 제안된 평가 방법은 상대적으로 기여도가 높은 실습 참가자를 구별할 수 있었으며, 각 팀의 과제 진행 상황을 실시간으로 파악할 수 있게 하였다. 그러므로 제안된 기여도 평가 방법을 정성적 평가 체계와 함께 사용할 경우 객관적이고 공정한 평가가 가능하며, 정보 시스템을 통해 진행 중의 과제의 실시간 평가가 가능하여 효과적 실습 진행과 정확한 기여도 평가를 기대할 수 있었다.

그러나 제안된 방법에 대하여 다음과 같은 개선해야 할 사항을 발견했으며, 이 문제점을 개선한다면 보다 구체적이고 정확한 기여도 평가가 가능할 것으로 예측된다. 첫째, 기여도 평가에 참가자의 팀 내 역할에 따른 PDM 시스템 사용 차이를 고려해야 한다. 예로 팀 내에서 시제품 개발 역할을 맡은 참가자는 PDM 시스템에서 상대적으로 적은 자료를 생성한다. 또한 참가자가 설계를 맡은 부품의 특성에 따라 제품 자료 생성에 차이가 날 수 있었다.

이를 해결하기 위하여 제한된 개발 조건을 적용하거나 상황

에 따라 적용 그룹을 나누는 방법을 고려할 수 있다. 개발조건을 제약하는 예로 모든 참가자들이 PDM을 사용하는 제한을 두면 보다 공정한 평가가 가능하다. 적용 그룹을 분류하는 예는 PDM 시스템을 이용하는 방식에 따라 그룹을 나누어 평가하는 방법을 사용할 수 있다.

둘째, 기여도 평가 응용 시스템의 가중치 적용과 관리에서 균형을 찾기가 어려웠다. 응용 시스템에서 사용자 정의 가중치를 줄 때, 기준이 제공되지 않아 체계적인 가중치 부여가 어려웠다. 또한 아이템 가중치 계산에 공유 횟수, 자료 종류와 접근 별 가중치 등 중첩된 적용으로 전체 기여도 평가에 각 가중치가 미치는 영향을 파악하기 어려웠다.

이를 해결하기 위하여 장기적으로 PDM 데이터베이스의 자료에서 가중치를 자동으로 계산하는 체계가 필요하다. 예로 문서나 메시지의 내용을 인식하여 자동으로 가중치를 계산하는 방법이 개발될 수 있다. 단기적인 방법으로는 가중치 영향을 예측할 수 있도록 가시적이고 단순한 가중치 부여 체계가 고려될 수 있다.

셋째, 기업의 제품개발 성능평가지표를 기반으로 실습과정 평가지표를 개발하면서 현장과 다른 실습 환경의 다양한 제약 사항이 발견되었다. 예로 설계 재사용이나 부품 승인, 설계 변경의 전달과 반복성 등은 제품개발 성능평가에 중요한 지표지만, 일회성 제품개발 과제인 실습 과제에는 적용하기 어려운 지표로 밝혀졌다. 그러므로 기업 과제 평가에 쓰였던 많은 지표들을 실습 기여도 평가 지표에 그대로 사용할 수 없었다.

이를 해결하기 위하여 일회성 제품개발 과제인 제품개발 실습을 고려한 기여도 평가 지표가 개발되어야 한다. 아울러 기존 제품개발 성능 평가지표와 독립적인 실습 과정 고유의 평가 지표도 개발해야 한다.

문제점 외에 다음과 같은 가능성도 발견할 수 있었다. 첫째, 다른 팀원에 비하여 상대적으로 높은 기여도 수치를 보이는 일부 참가자를 구별할 수 있었다. 과제 종료 후, 5점 척도로 상호 평가가 진행되었으나, 상호평가 시 서로 좋은 점수를 주려는 경향이 강해 17개 팀 중 6개 팀에서만 기여도가 가장 높은 참가자를 구별할 수 있었다. 이들 높은 점수를 받은 6명의 참가자는 모두 제안된 정량적 기여도 평가에 의한 기여도 점수가 팀 내에서 가장 높았다.

둘째, 실시간 기여도 평가 시스템을 통하여 평가자가 장소와 시간에 관계없이 각 팀의 과제 진행 현황을 관찰할 수 있었다. 정보 시스템을 통한 제품개발 실습은 실습 공간과 시간에 제약 없이 진행되므로 참가자들의 활동을 쉽게 관찰할 수 없다. 그러나 실시간 기여도 평가 시스템을 사용할 경우, 온라인으로 과제 진행을 쉽게 파악할 수 있었다. 예로 평가 시스템을 통하

여 과제 진행이 특이하게 늦는 경우와 최종 단계에서 무리하게 진행되는 현상을 파악할 수 있었다. 그러므로 평가자는 현장 관찰이나 참가자 면담을 통하지 않고 과제 진행 현황을 실시간으로 파악할 수 있었다.

VI. 결 론

본 연구는 정보 시스템 기반 협동 제품개발 실습에서 참가자의 정량적 기여도 평가를 위하여, 평가 지표와 시스템을 개발하고 이를 실제 수업에 적용하였다. 참가자 기여도 평가 방법 개발은 Product Data Analytics 방법론에 의하여 PDM 데이터베이스 분석, 평가지표 선정 그리고 분석 방법 구현의 순서로 진행하였다. 평가 지표를 개발하기 위하여 실습에 사용된 PDM 데이터베이스와 기존 제품개발성능 평가지표를 조사하여 기여도 평가를 위한 자료와 지표를 선정하였다.

제안된 지표와 계산 방법은 PDM 데이터베이스를 실시간 공유하는 웹 응용 시스템으로 구현되었으며, 자유로운 분석을 위하여 엑셀 기반의 다차원 자료 분석 체계로도 구축되었다. 구현된 시스템과 지표는 한 학기 동안 PDM 시스템 기반 협동 제품개발 실습에 적용되었다.

적용 결과 정량적 기여도 평가는 정성적 평가를 보완하여 보다 공평한 기여도 평가를 가능하게 할 것으로 예측되었다. 과정에 적용 결과 제안된 방법에 몇 가지 문제가 있으며, 이를 해결하기 위하여 제약조건 적용, 합리적 가중치 설정 그리고 실습을 고려한 지표 개발 등이 필요하다.

제약 사항에도 불구하고 본 연구는 그동안 평가가 어려웠던 협동 제품개발 실습에서 참가자 기여도에 대한 객관적이고 수치적인 평가 방법을 제공하였다는 점에서 그 의미가 있다. 특히 기계학습이나 인공지능 등 자료기반 분석 기술과 빅 데이터 처리 등의 컴퓨팅 성능이 발전하면서, 추후 본 연구에서 시도했던 방법이 개선된 결과를 도출할 수 있을 것으로 예측된다. 관련된 추후 연구 주제로 기여도 평가를 위한 단문 메시지 내용 분석 방법을 준비하고 있다.

이 논문은 2019년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1A2B4006819).

참고문헌

1. 도남철(2018a). Product Data Management 소프트웨어와 3D 프린팅을 활용한 제품개발 수업 운영 사례. *공학교육연구*,

21(6): 90-98.
 2. 도남철(2018b). *PLM 이해와 응용 [개정3판]*. 퍼플, 서울.
 3. Alemanni, M. et al.(2008). Key performance indicators for PLM benefits evaluation: the Alcatel Alenia space case study. *Computers in Industry*, 59: 833-841.
 4. Bhadra, T., & Chatterjee, R.(2017). *Participation measurement of individual member in an ICT-based collaborative work*. in Proceedings of the International Conference on Computational Science and Engineering (ICCSE2016), Beliaghata, Kolkata, India, 4-6 October.
 5. Caballé, S. et al.(2010). Providing effective feedback, monitoring and evaluation to on-line collaborative learning discussions. *Computers in Human Behavior*, 27(4): 1372-1381.
 6. Do, N., Bae, S., & Park, C.(2015). Interactive Analysis of Product Development Experiments using Online Analytical Mining. *Computers in Industry*, 66: 52-62.
 7. Local Motors(2019). Available at <https://localmotors.com>. About Local Motors.
 8. Microsoft(2019). Available at <https://microsoft.com/excl>. Microsoft Excel.
 9. Mayer-Schonberger, V., & Cukier, K.(2013). *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*. John Murray Publishers, London.
 10. Oh, J., & Yang, J.(2010). A case study of implementation of a BSC performance evaluation system in manufacturing industry based on product data management. *IE Interfaces*, 23(4): 275-285.
 11. Parung, J., & Bititci, J.(2008). A Metric for Collaborative Networks. *Business Process Management Journal*, 14(5): 654-674.
 12. PDM Implementor Forum(2002). Available at https://www.prostep.org/fileadmin/downloads/ProSTEP-iViP_Implementation-Guideline_PDM-Schema_4.3.pdf. Usage Guide for the STEP PDM Schema V1.2.
 13. Quirky(2019). Available at <https://quirky.com/about/>. How we do what we do.
 14. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.(2009). *Establishing Effective Metrics for New Product Development Success*. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., Plano, TX.
 15. Tatikonda, M.V.(2007). Product development performance measurement. *The Handbook of New Product Development*. Elsevier Publishers, London, United Kingdom.
 16. TEE(2019). Available at <http://tee.gnu.ac.kr>. TEE PDM System.
 17. Trentin, G.(2009). Using a wiki to evaluate individual

contribution to a collaborative learning project. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(1): 43-55.

18. Wikipedia(2019). Available at <https://en.wikipedia.org/wiki/Wiki>. Wiki.



도남철 (Do, Namchul)

1991년: 포항공과대학 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: 경상대학교 산업시스템공학부 교수

관심분야: BOM Databases, Product Lifecycle Management, 제품개발교육

E-mail: dnc@gnu.ac.kr