

# A Proposal for a Product Design Curriculum Focused on Reverse Engineering

Woong Choi\*

Department of Design, Seoul National University, Seoul, Korea

---

## Abstract

**Background** The reverse engineering methodology is widely used in the engineering field for discovering the problems of existing objects and inducing improvements through analyzing the systems, attributes, and structures of the objects. The purpose of this study is to develop a product design curriculum by taking advantage of reverse engineering and to verify its effectiveness through a case study.

**Methods** Through literature review, reverse engineering methods, the reverse design model, and the product F-B-S framework were examined (Gero and Kannengiesser, 2004). Previous curricula for reverse engineering at an engineering college were analyzed to adapt its process into a product design curriculum. The proposed curriculum was applied to the actual design class for 16 weeks, and design outputs were analyzed. At the end of the class, a survey of the participants and expert interviews were conducted to evaluate the results.

**Results** The curriculum consists of five stages: the object selection, structure analysis, behavior analysis, function analysis, and F-B-S reconstructing, which include key activities for carrying out tasks focused on reverse engineering. The results of the case analysis show that the proposed curriculum seems to be beneficial for students to understand the selected products domain of F-B-S in a relatively short time. Moreover, it is considered helpful for students to identify the problems of existing products to generate novel design alternatives at an adaptive design level, which the curriculum intends. Finally, the curriculum was revised after taking into consideration the participants and the expert interviews.

**Conclusions** This study implies that the framework and design curriculum focused on reverse engineering were discussed theoretically, and the feasibility of its application was verified empirically through cases.

**Keywords** Reverse Engineering, Product Design, Design Curriculum, The FBS Framework, Design Education

---

\*Corresponding author: Woong Choi (eorini1@snu.ac.kr)

*Citation:* Choi, W. (2018). A Proposal for a Product Design Curriculum Focused on Reverse Engineering. *Archives of Design Research*, 31(3), 89-107.

<http://dx.doi.org/10.15187/adr.2018.08.31.3.89>

**Received :** Apr. 13. 2018 ; **Reviewed :** July. 19. 2018 ; **Accepted :** July. 22. 2018

**pISSN** 1226-8046 **eISSN** 2288-2987

**Copyright :** This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

### 1. 1. 연구의 배경 및 목적

오토와 우즈(Otto & Wood, 1998)에 의하면 역설계(Reverse Engineering)는 완성품을 분해하는 과정을 통해서 제품의 시스템(system), 속성(attribute), 요소(entity)들의 특성 및 관계를 구조적으로 분석하는 일련의 절차 및 방법을 의미한다. 기업에서는 경쟁사의 제품을 모방하기 위해서 제품의 작동 원리 및 구조를 파악하여 설계 데이터를 획득하기 위한 탐색 목적으로 역설계를 활용한다. 제품 설계 단계에서 역설계를 적용하는 가장 중요한 목적 중 하나는 기존 제품이 가진 구조적 문제를 발견하고 개선점을 유도하여 성능 및 품질을 최적화하는 것이다. 이를 위해서 엔지니어는 제품을 분해하고 3D 스캐닝(scanning) 기술을 활용하여 삼차원 데이터를 획득한다. 획득된 데이터는 공학적 유한 요소 분석(Finite Element Analysis: FEA)을 통해서 스트레스, 열 교환, 자기장 분포 영역, 유체 유동 등의 문제점이 도출되고, 제품의 변형, 수명 단축의 원인, 구조적 결함, 조립 등 설계상의 결함이 개선될 수 있다(Zhang & Yu, 2016). 이에 역설계 방법은 제품 개발을 위한 자료 습득 및 분석을 위한 효과적인 도구로 인식되고, 특히 공학(engineering) 영역에서 널리 활용되고 있다. 반면, 디자인 영역에서 역설계 원리가 활용되는 분야는 상대적으로 제한적일 수 있다. 일부 디자이너들은 리서치 단계에서 역설계 원리를 적용하여 제품을 분해하고 작동 원리, 구조를 확인하지만, 일반적으로 시간에 쫓기면 제품 외관 분석에 그치기 쉽다. 벤치마킹(benchmarking)도 제품의 특정한 기능, 성능, 가격 등의 비교에 초점을 맞추는 경향이 높다. 디자이너들에게 공학적 역설계 방법은 기존 제품 시스템의 분석 작업에는 유용하지만 신제품 개발을 위한 디자인 과정에는 상대적으로 적합하지 않다는 인식이 존재한다(Graziosi et al., 2014; Kim, 2015).

하지만 역설계 방법이 실무적인 설계 영역 뿐 아니라 디자인 교육, 특히 제품디자인을 배우는 학생에게 효율적인 도구로 작용할 수 있다는 점에는 많은 연구자들이 동의하고 있다(Otto & Wood, 2001; Sokovic & Kopac, 2006; Anwer & Mathieu, 2016). 공학적 역설계를 통해서 제품을 체계적으로 분석하는 활동을 통해서 학생들이 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다. 메이시(Macy, 2015)에 의하면 학생들은 실제로 제품을 분해하고 분석하는 실습을 통해서 제품의 물리적 형태, 구조, 재료, 조립 순서 및 생산 공정 등의 지식을 쌓을 수 있다고 하였다. 이는 기존의 제품 디자인 스튜디오 수업에서 학생들이 디자인 개념에 몰두하여 제품 설계에 필요한 생산 및 구현 지식을 습득하는 것을 등한시 하는 현상을 극복하는 대안으로 작용할 수 있다. 또한 이에 외의 연구자(Ye et al., 2008)들은 학생들이 역설계 제품 분석을 통해서 문제점을 발견하고 이를 개선하는 디자인 콘셉트(concept) 개발 능력을 기를 수 있다고 하였다. 다시 말해서, 제품 디자인을 처음 접하는 학생도 스스로 역설계 대상을 선정하는 행위에서 출발하여 제품을 실제로 만져보면서 기능적, 구조적 문제점을 발견하는 ‘체험적 지식 습득’이 가능하고, 이를 통해서 자연스럽게 문제 해결 능력을 높일 수 있다는 것이다. 그러나 역설계 방법에 활용되는 도구들은 공학 분야에서 태동, 발전되었기에 공학적 지식이 부족한 디자인학과 학생들이 이해하고 적용하기에 현실적으로 어려울 수 있다(Lee & Park, 2014; Zhang & Yu, 2016)는 지적이 있다. 실제로 국내의 제품 디자인 교육에서 역설계 방법이 적용되는 사례는 상대적으로 적다고 볼 수 있다. 이에 본 연구는 제품 디자인 과정에 공학적 역설계 방법을 접목하여 학습 효과를 높이는 것을 목적으로 교육 과정(curriculum)을 설계하고, 이를 실제 수업에 적용하여 시사점을 도출하고자 한다.

### 1. 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 역설계 방법의 이론적 고찰, 제품 역설계 디자인 교육 과정(curriculum) 설계와 사례 분석을 포함한다. 이를 위해서 다음과 같은 절차에 의거하여 연구를 진행하였다. 첫째, 역설계 방법의 프로세스, 역설계 디자인 모델 및 제품 역설계 체계/framework를 도출하기 위해서 문헌을 고찰하였다. 둘째, 국내외 제품 디자인 수업과 역설계 기반 공학대학의 수업 사례를 조사하여 연구 목적을 달성 할 수 있는 ‘제품 역설계 디자인 교육 과정’을 설계하였다. 셋째, 제안하는 커리큘럼을 실제 디자인 수업에 적용하고 수업에서 산출된 디자인 결과물을 분석하였다. 넷째, 수업에 참여하였던 학생들의 수업 경험에 관한 설문을 진행하고, 전문가 인터뷰를 수행하여 수업과정의 장단점 및 개선해야 할 요소를 도출하였다. 마지막으로 연구 결과에서 얻어진 시사점을 논의하고 연구를 요약하여 결론을 맺는다. 앞서 소개한 연구의 내용과 절차 및 방법을 도식화하면 Figure 1과 같다.

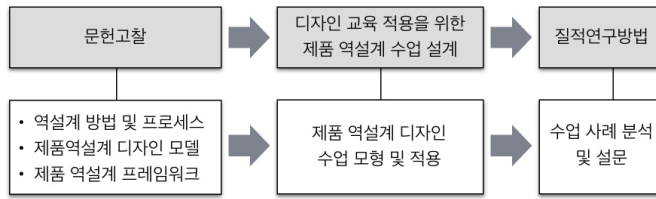


Figure 1 The process & methods for the research

## 2. 역설계 방법의 이론적 고찰

### 2. 1. 역설계의 개념 및 프로세스

치코프스키와 크로스 (Chikofsky & Cross, 1990)는 역설계(逆設計, Reverse Engineering)의 개념을 '특정한 시스템 구성 요소와 그 관계를 식별하여 더 높은 형태 및 추상화 수준으로 시스템을 표현하기 위한 시스템 분석 프로세스'로 정의하였다. 다스(Das, 2004)에 따르면 기계공학에서는 역설계를 특정 대상(object)의 구조를 분석하여 장치 또는 시스템(system)의 기술적인 원리(principle), 설계 개념과 적용 기술을 파악하는 '역으로 대상을 재현하는 설계 과정 및 기술'로 정의한다. 이는 일반적인 순공학(順工學, Forward Engineering)이 기존에 존재하지 않는 제품이나 시스템을 개발하는데 초점을 맞추는 것에 대하여 제시된 개념으로서, 실제적 대상을 분석하여 설계를 진행하는 과정으로 볼 수 있다 (Lee & Park, 2014). 제품 개발을 위해서 행해지는 역설계는 이미 완성된 제품을 관찰, 분해, 분석, 테스트하고 그것의 기능성, 형태, 물리적 원리, 생산 과정, 재료, 성능, 조립성 등을 문서화하는 활동이 포함된다. 오토와 우즈(Otto & Wood, 1998)에 따르면 역설계의 가장 핵심적인 과정 중 하나는 분해 분석(Tear down analysis)이다. 이는 물리적으로 제품을 분해하여 시스템의 위계적 구조를 확인하고, 최초 설계 되었던 하드웨어를 추적하여 수치화하고 그것의 사양명세서를 생성하는 과정이다 (Graziosi et al., 2014). 이러한 활동에는 재료명세서(BOM), 조립 분해도, 매개 변수 목록, 작동 순서 다이어그램, 시스템 구조도가 작성이 포함된다 (Anggoro, Bawono & Sujatmiko, 2015).

### 2. 2. 역설계 리디자인 모델

역설계 방법을 적용한 디자인 모델로는 대표적으로 오토와 우즈 (Otto & Wood, 2001)가 제안했던 '리버스 엔지니어링 리디자인 모델(Reverse Engineering and Redesign Model)'이 있다. 그들은 제품 개발을 위한 역설계의 수준을 패러메트릭 디자인(parametric design), 어댑티브 디자인(adaptive design), 오리지널 디자인(original design)의 세 가지 차원으로 정의하였다. 패러메트릭 디자인은 제품의 외관 형상 및 부품의 치수 변경 정도의 디자인 개선으로 제품 성능의 최적화, 기존의 모델과 달라 보이기 위한 부분적인 형상 변형이 이에 해당한다. 어댑티브 디자인은 기존의 제품을 기능적으로 개선하기 위해서 새로운 기술이나 생산 공정을 적용하여 제품의 형태 및 구조를 변화시키는 디자인 접근이다. 오리지널 디자인은 기존 제품의 범주(category)를 벗어나는 새로운 개념의 디자인 혹은 서비스가 접목된 제품의 개발을 의미한다. 이러한 역설계 기반 세 가지 디자인 수준을 디자인 교육에 적용하는 것은 교육 목표에 따라 달라질 수 있다. 패러메트릭 디자인 수준은 제품의 내부 구조, 부품들 간의 관계, 결합 구조, 생산방법 및 재료 분석을 통해서 제품의 설계의 최적화를 목표로 하는 엔지니어링 중심 교육 과정에 효과적일 수 있다 (Anwer & Mathieu, 2016). 어댑티브 디자인 수준은 기존 제품의 기능 및 구조적 문제를 분석하여 제품을 개선하거나, 문제를 근본적으로 해결하는 새로운 제품을 개발하는 과정을 체험하는 목표에 부합한다 (Ye et al., 2008). 오리지널 디자인 수준에서는 역설계 분석을 기반으로 디자인 영역을 확장하여 제품과 서비스를 융합하는 콘셉트 도출 능력 함양에 효과적일 수 있다 (Kim, 2015). 부연하면 디자인 목표에 따라서 세 가지 디자인 수준의 적용 효과가 달라질 수 있다고 판단한다.

### 2. 3. 제품 역설계를 위한 디자인 체계

제품 디자이너가 디자인 콘셉트 도출 과정에서 요구되는 기능을 구현하기 위해서 다양한 디자인 요소를 물리적으로 어떻게 구조화하는지 설명하는 개념적 모델로 상황적 기능-행위-구조 체계(The situated F-B-S framework: Gero & Kannengiesser, 2004)가 있다. 게로와 카네기셔 (Gero & Kannengiesser, 2004)는 제품 디자인 과정을 세 가지 영역인 기능(function), 행위(behaviour), 구조(structure) 영역(domain)을 파악하고 각각의 영역에 포함되는 요소의 관계를 재조정하는 과정으로 설명한다 (Figure 2).

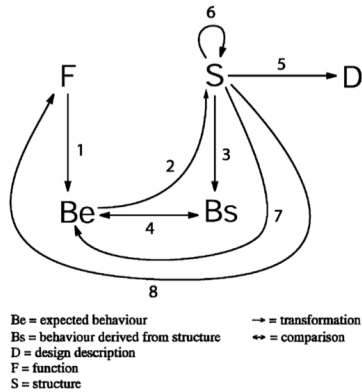


Figure 2 The situated F-B-S Framework from Gero & Kannengiesser (2004)

여기서 기능은 디자인의 목적론(teleology)으로서 사용자가 제품을 통해 얻고자 하는 요구사항(requirements), 행위는 제품이 실제로 작동한 결과(result)와 속성(attribute), 구조는 기능을 구현하기 위한 물리적 구성요소(entity) 및 위계 구조(hierarchy)를 의미한다 (Christophe, Bernard & Coatanéa, 2010). 스포츠카를 예로 들면 사용자가 원하는 ‘멋진 운송수단’이라는 니즈(needs)를 기능으로, 기능이 구현된 자동차의 속력, 혹은 사용성(usability)이 행위로, 기능을 구현하기 위한 자동차의 형태 및 부품 조립 관계를 구조로 볼 수 있다. 디자이너는 기존 제품의 기능, 행위 구조적 요소 및 관계를 파악하는 것에서 출발하여 사용자, 사용 맥락, 사용자 니즈에서 요구되는 기능 및 행위를 만족시키기 위해서 새롭게 제품의 물리적 구조를 구축한다. 기능-행위-구조 체계에서는 디자인 과정의 핵심은 이상적인 기능을 만족하기 위해서 현재 제품의 행위 속성(behavior derived from structure)과 기대되는 제품 행위 속성(expected behavior)을 비교하고, 둘 간의 간극을 좁히기 위해서 제품의 구조를 새롭게 정의하는 것이고, 이러한 과정은 반복되고 순환된다 (Gero & Kannengiesser, 2004; Galle, 2009).

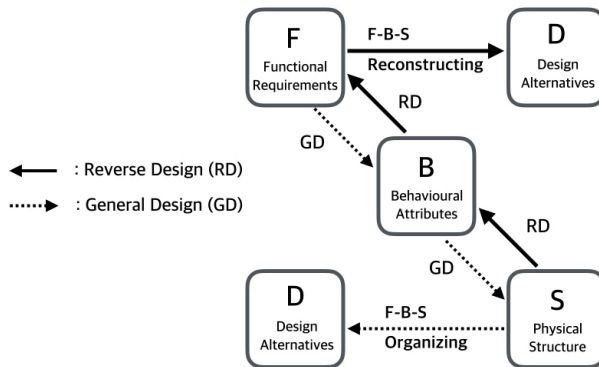


Figure 3 General design & Reverse Design Process based on the F-B-S framework

제품의 기능-행위-구조 관계를 정의하여 디자인 대안을 생성하는 절차는 일반 디자인 과정과 역설계 디자인 과정에서 다를 수 있다.

일반 디자인 과정(General Design Process)은 앞서 언급한 순공학적 접근으로, 대표적으로 인간 중심 디자인(Human Centered Design: ISO 13407)을 예로 들 수 있다. 맥규어(Maguire, 2001)에 의하면 인간 중심 디자인 프로세스는 사용자 및 사용 맥락 분석(Context of User Analysis), 사용자 요구사항 파악(User Requirement Analysis), 디자인 발전(Design and Development), 사용자 평가(User Evaluation)의 네 단계로 구성된다. 이러한 절차를 따르는 디자인 프로젝트에서는 일반적으로 현재 혹은 잠재 사용자를 관찰, 인터뷰하는 ‘사용자 조사’로부터 제품의 기능 및 행위를 고찰하여 콘셉트를 정의하고 이후 제품의 형태 및 구조를 체계화 한다(Martin & Hanington, 2013). 반면, 역설계 디자인 과정은 Figure 3과 같이 제품 자체의 구조를 분석하는 것에서 출발하여 제품의 행위 및 기능 영역에서 디자인 이슈(design issues)를 도출하고, 이를 개선하기 위해서 제품의 구조 영역을 재구축(reconstructing)한다는 차이점을 보인다.

#### 2. 4. 역설계의 제품 디자인 프로세스 적용 방향 및 범위

제품 디자인 프로세스에 역설계 방법을 적용하는 것은 디자인하고자 하는 대상 제품의 기능-행위-구조의 체계를 실험을 통해 이해하는 것에서 출발한다. 레코프(Rekoff, 1985)에 따르면 역설계가 본래 의미하는 바는 “복잡한 하드웨어 시스템을 정의하는 문서를 작성하기 위하여 실제 시료(specimens)를 조사하는 단계적 실험 절차”로 정의된다. 바하트나거(Bhatnagar, 2015)에 의하면 기계 공학에서는 이러한 역설계의 실험적 방법으로 제품의 시스템을 구성하는 부품 및 조립을 위한 기하학적 특성에 관한 지식을 축적하고, 제품의 형태적 다양성을 모델링하고, 제품 개발 단계에서 의사 결정을 가능하게 하는 추론이 가능하다고 하였다. 치코프스키와 크로스(Chilofsky & Cross, 1990)는 역설계의 핵심 활동인 분해 분석에서 도출되는 매개 변수(parameter)와 시스템 모델은 신제품 개발을 위한 경험적 토대를 형성할 수 있다고 하였다. 이러한 관점에서 역설계를 제품 디자인 프로세스에 적용하는 것은 디자인하고자 하는 제품 및 시스템 자체에 초점을 맞추어 자료를 수집하고 실험하는 ‘귀납을 통한 발견’이라는 역전된 접근이라고 볼 수 있다(Dym et al., 2015; Anwer & Mathieu, 2016). 역설계를 디자인 초기에 적용하는 것은 실험 및 관찰을 통해서 자료를 수집하고 분석한다는 점에서 귀납적 접근에서 시작하지만 발견된 문제를 해결하거나 개선 사항을 적용하기 위해서는 디자이너가 새롭게 제품의 기능-행위-구조를 목적에 맞게 변형하는 것이 요구된다.

역설계를 위해서는 시작 단계에서 디자인하고자 하는 제품 혹은 제품의 범주가 구체적으로 정해져야 한다. 역설계 디자인 프로세스에서 관찰 및 분석 대상을 정하는 것은 디자이너를 둘러싸는 환경적 요인(예: 특정 지역의 사회 문화적 요구)과 개인적 경험(예: 특정 제품 사용경험)이 복합적으로 작용할 수 있지만, 분명한 것은 기존 제품이나 시스템이 만족스럽지 못하여 개선의 필요성을 느낄 때 디자인 동기가 성립된다는 점이다. 디자인 대상의 선택이라는 관점에서 보자면 일반적 디자인 프로세스나 역설계 디자인 프로세스나 기존의 대상이나 현상에서 발생하는 문제를 인식해야 한다는 공통점을 가진다. 그러나 디자인 대상의 구체성이나 디자인 범위에는 두 가지 접근은 크게 다를 수 있다. 정의철과 김은정(Jung & Kim, 2014)에 의하면 통상적으로 일반적 디자인 프로세스는 통합적인 관점에서 사용 맥락을 탐색하여 사용자 요구사항 및 사용자 니즈를 도출하는 것에서 출발한다. 이때 기존의 제품이나 시스템이 사용자의 요구를 만족하지 못하는 경우 원래 범주를 벗어나는 제품 및 서비스의 결합이 요구된다. 이러한 이유로 종종 인간 중심 디자인 프로세스에서는 디자인 대상 및 범위가 디자인 초기 단계에서 구체적으로 정해지지 않거나 특정한 기능을 수행하기 위한 잠정적 매체의 성격을 가지기 쉽다. 예를 들어서 사용자가 원하는 것이 “즐겁게 운동하는 것”이라면 디자인 대상 및 범위는 스포츠용품에서 웨어러블 디바이스(wearable devices), 피트니스 서비스를 결합한 모바일 애플리케이션(mobile APP) 서비스 등으로 전개 가능하다. 반면, 역설계 기반의 디자인 프로세스에서는 시작 단계에서 물리적으로 존재하는 분석 대상을 선정하는 작업이 선행되어야 한다. 예를 들어서 기존의 웨어러블 디바이스와 같은 특정 제품을 선정하여 관찰, 실험, 분해 분석을 진행할 수 있다. 역설계를 디자인 프로세스 초기에 적용함으로써 제품 및 시스템의 이해도를 높이고 구체적이고 실질적인 문제를 발견 할 수 있지만, 반대로 디자인 전개 범위가 분석 대상의 범주 및 속성을 벗어나기 어려울 수도 있다.



### 3. 제품 역설계 디자인 수업 설계

#### 3. 1. 역설계 방법의 수업 적용 사례 조사

본 절에서는 공학대학의 역설계 기반 수업의 사례와 함께 기존 제품 디자인 스튜디오 수업을 비교하고, 어떻게 역설계 방법을 제품 디자인 수업에 현실적으로 적용 할 수 있을지 논의한다.

먼저 국내의 제품 디자인 교육 과정을 살펴보면 각 대학별로 정도의 차이는 있으나 일반적으로 프로젝트 중심 교육(Project Based Learning: PBL)으로 스튜디오 과목과 디자인 이론 및 스킬을 습득하기 위한 교과목들이 운영되고 있다. 이 중에서 프로젝트 중심의 제품 디자인 수업을 조사하기 위해서 2018년 기준 6개 대학(서울대학교, 건국대학교, 국민대학교, 성신여자대학교, 세종대학교, 제주대학교)의 11개의 강의 계획서를 인터넷으로 조사하고 관련 분야의 교수 및 강사 3명을 대상으로 인터뷰를 진행하였다. 조사된 자료를 종합하면 국내 디자인 스튜디오 수업의 프로세스는 부분적으로 차이는 있겠으나 사용자 및 인간 중심 프로세스를 기반으로 1) 디자인 주제 및 아이템 선정, 2) 디자인 리서치, 3) 디자인 콘셉트 정의, 4) 3D 모델링, 렌더링 및 목업 제작, 5) 디자인 패널 제작 및 발표의 다섯 단계로 진행되고 있었다. 부분적인 차이는 주제 및 아이템의 선정 범위, 디자인 조사 기간의 차이, 그리고 프로토타이핑(prototyping)의 형식 및 목업(mock-up)의 제작 여부, 그리고 활용하는 디자인 도구의 차이로 볼 수 있다. 11개 수업 중 7개 수업은 전체 15주에서 디자인 주제 및 리서치에 5주 이상의 시간을 할애하였다. 디자인 리서치에서 디자인 콘셉트를 선정하는 데는 평균적으로 7주 이상이 소요되는 것으로 파악되었다. 인터뷰 내용 중 특이할 만한 사항은 학생별로 디자인 주제 선정 및 콘셉트 도출, 프로젝트 진행 상황에 편차가 발생하기 때문에 수업을 정해진 계획에 의해서 운영하기가 쉽지 않다는 점이다. 이러한 이유로 인터뷰 참여자 A는 디자인 프로젝트 기반 수업은 “학생들이 개별적으로 조사하고 도출한 디자인 콘셉트를 교수가 일대일로 컨펌(confirm)하는 방식으로 이루어진다.”고 답변하였다. 인터뷰 대상자 B는 콘셉트의 확정이 늦어지는 경우 형태를 3D 모델링으로 표현하는 데 필요한 시간이 상대적으로 짧아질 수 있다고 지적하였다. C와의 인터뷰에서는 학생들이 디자인 콘셉트 자체에 신경을 쓰는 반면 기능을 구현하기 위한 제품 및 시스템의 구조, 형태, 생산 가능성을 염두에 두지 않고, 현실과는 동떨어진 디자인 결과물을 내놓는다고 지적하였다. 조사 결과 제품 디자인 스튜디오 수업 과정에서 디자인 조사 및 콘셉트의 도출의 중요성에 대한 인식이 비해서 디자인 대상의 기능, 구조, 형태, 재료 및 생산 방법을 이해하는 활동의 중요성에 대한 인식이 상대적으로 낮을 수 있다는 점이 파악되었다

해외 공학대학의 역설계 수업의 사례를 조사하기 위해서 인터넷을 통해서 수집한 강의 계획서 10개를 조사하였다. 역설계를 적용한 수업은 지난 25년 동안 스탠포드(Stanford) 대학과 북미 대학을 중심으로 발전하였고, 학교별로 개정되어 전 세계적으로 여러 공학대학 교과목으로 채택되었다. 대표적으로 스탠포드 대학에서 개발되었던 “기계적 해부 Mechanical Dissection (ME99)” 코스는 공과대학의 1학년과 2학년을 대상으로 학생들이 1) 기계 부품이 포함되는 사물을 직접 분해하는 활동을 통해서 기계 시스템 및 용어에 친숙해지고; 2) 기존의 사물을 기능적으로 개선하는 디자인 경험을 통해서 디자인 프로세스에 대한 인식을 넓히고; 3) 학생들이 제품을 설명하고, 묘사하고, 비판하는 작업을 공유하면서 커뮤니케이션의 중요성을 인식하고; 4) 삼차원의 물리적 사물의 기능의 추론을 통해서 문제를 해결하는 능력을 발전하는 것을 목표로 한다. 코스에서 다루는 분석 대상은 지정되어 있는 제품 그룹(프린터, 낚시대 릴, 자전거, 움직이는 장난감, 전동 드릴), 혹은 학생이 스스로 선택할 수 있다. 이러한 커리큘럼은 이후 미국의 펜실베이니아 주립대학(Penn State University)과 인도의 우타 프라데시 대학(University in Uttar Pradesh University)에서 계승, 개정되어 엔지니어링 입문 수업에 적용되었다. 비슷하게 미네소타 대학과 워싱턴 대학(Minesota University & University of Washington)에서 세부적인 차이는 있으나 비슷한 방식으로 수업에 적용되는 것으로 파악되었다. 앞서 언급했던 해외 공학대학의 역설계 수업의 대상 학생, 수업 목표, 주요 활동 및 팀 구성을 요약하면 Table 1과 같다.

Table 1 Summary of the reverse engineering curriculum

Course	Institution and Level	Objectives	Activity Outcomes	Team
Product Dissection (ME99)	Stanford University (미국); Engineering students(freshmen or sophomore)	시스템 및 용어 지식 / 디자인 프로세스 체험/ 커뮤니케이션 능력 / 물리적 기능의 추론 및 문제 해결 능력 향상	프린터, 낚시대 릴, 자전거, 움직이는 장난감, 전동 드릴, 혹은 학생 스스로 선택한 제품을 분해 분석하고 문제를 발견하여 디자인 대안 탐색	2명
Reverse Engineering	Philadelphia University(미국); Engineering Students (Year 4)	역설계 지식 습득/ 제품 분해 분석을 통한 시스템 및 기능 분석 / 프로토타이핑 도구 활용 능력 향상	전자제품의 분해 분석/ 시스템 구조 및 PCB 회로 서킷의 기능 원리 파악/ 소프트웨어 역설계 방법 및 도구 실습 및 테스트 중심 수업	개인
Product Dissection (ME240)	Penn State University (미국); Student (Year 1 & 2)	생산 방법, 기본적인 기계 작동원리, 시스템 및 컴포넌트 속성, 친환경디자인과 인간공학에 관한 이해력 향상	학생들은 그룹을 지어서 세 번의 분해 분석을 진행한다. 1st: 중고 자전거 2nd: 생활 가전용품(엔진, 핸드드릴, 믹서, 전화기, 스타플러) 중에서 선택 3rd: 내연기관 엔진	그룹
How Things work	University in Uttar Pradesh(인도); Engineering Students (Year 1)	역설계 도구에 친숙해 지기/ 실험을 통해서 이론적 지식을 체득 /제품의 기능적 추론	그룹별로 믹서, 자전거, 문 손잡이, 전동 핸드드릴, 번기 배수 시스템 중 두 가지를 선정하여 분해하고, 물리적 원리, 재료, 조립, 작동 원리를 추론하고 주어진 문제에 대한 해결책을 탐색	4명
Reverse Engineering (REIN03_61)	Slovak University of Technology in Bratislava(슬로베니아); Master in Machining and Forming Technology	사물을 3D 디지털라이징, 스캐닝하고 3D CAD 기술을 적용하여 재현을 통해서 역설계 방법을 적용하기 위한 도구를 다루는 지식을 습득하고 적용	각자 선택한 제품에 대해서 다양한 CAD 도구 및 소프트웨어를 활용하여 역설계로 재현 / 지식 습득을 위한 강의와 실습을 위한 세미나 활동	개인
Reverse Engineering and Rapid Prototyping (47502)	Free University of Bozen-Bolzano (이탈리아); Master in Industrial Mechanical Engineering	3D CAD 및 3D 프린팅 기술 활용한 역설계 지원 설계 프로세스, 방법, 기술의 습득	각자 선택한 대상에 대해서 역설계를 진행하고 개선을 위한 래피드 프로토타이핑(Rapid Prototyping) 도구를 활용하여 목업을 제안	개인
Introduction to Reverse Engineering	Polytechnic University of Catalonia(이탈리아); 기계공학 공학과 학부생	유체 역학의 기본 원리를 이해하고 공학적 문제를 해결하기 위한 도구를 다루는 지식 습득 및 생산 시스템, 프로세스, 품질 관리의 이해	수업에서 제공하는 기계 시스템을 분해하고 재료의 강도, 작동 원리 등의 공학적 속성을 테스트하고 문제를 발견하여 시스템의 성능을 올릴 수 있는 개선안을 제안	그룹 & 개인

엔워와 마티에우 (Anwer & Mathieu, 2016)는 역설계 수업을 통해서 학생들은 첫째, 문제를 해결하기 위해서 다른 사람(엔지니어와 디자이너)이 내놓은 해결책이 어떻게 작동하는지 이해할 수 있고, 둘째, 발견된 문제를 자신만의 방식을 적용하여 해결하는 과정을 체험할 수 있다고 하였다. 비슷한 관점에서 바하트나거 (Bhatnagar, 2015)는 공학 수업에서 역설계 방법을 적용하여 학생들이 제품의 시스템 구조, 형태의 원리, 재료 및 생산 지식을 직접 제품을 만지고, 분해하고, 토론하는 활동을 통해서 자연스럽게 체득할 수 있다고 하였다. 제품 디자인 교육에도 이러한 경험적 지식의 체득 과정이 중요할 수 있는데, 제품 디자이너는 개념트를 물리적인 도구 및 대상으로 구현하기 위한 지식 및 방법에 지식을 갖추고 있어야 하기 때문이다. 학생들이 디자인 기초 교육에서 제품의 구조 및 작동 원리에 관한 지식을 획득한다면 다른 제품 디자인 수업에도 긍정적으로 작용할 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 앞서 조사한 공학대학의 커리큘럼을 국내의 디자인학과 수업에 수정 없이 적용하기는 여러 가지 이유에서 어려움이 따를 수 있다. 먼저 수업에서 다루는 과제의 성격이 디자인 교육의 목적에 부합하지 않을 수 있다. 일부 공학 수업에서는 역설계 대상으로 자전거, 내연기관 엔진 등의 복잡한 사물을 분해 분석하는데(예: Penn State University), 이는 기계적 작동원리 및 시스템의 구성원리를 습득하는데 효과적인 수 있으나 디자인학과 학생들이 다루기에는 디자인 범위가 한정적이기에 적합하지 않을 수 있다. 또한 전자제품의 PCB 부품 위주의 프로그래밍 역설계 수업(예: Philadelphia University)도 물리적 형태 및 구조를 다루는 제품 디자인 수업에 적합하지 않다. 또한 수업에서 활용하는 도구적인 측면에서 3D 스캐너 및 디지털라이징 장비를 다루는 수업은 이러

한 장비를 갖추지 않은 학교들이 적용하기 어렵고, 기술의 적용 분야도 제품의 서페이스 품질 개선, 유체 역학, 스트레스 분석 등으로 엔지니어링에 초점을 맞추고 있기에 디자인 수업 적용에 한계가 있다 (예: Polytechnic University of Catalonia & Free University of Bozen-Bolzano). 마지막으로 공학 수업에서는 역설계로 분석된 이슈의 공학적 해결책 도출을 목표로 하지만, 디자인 수업에서는 발견된 문제를 디자인적으로 해결하기 위한 디자인 콘셉트의 표현이 중요하기에 이러한 영역의 균형을 맞추는 커리큘럼이 필요하다. 이에 앞서 살펴본 역설계 커리큘럼 중에서 스탠포드와 우타 프레데시 대학의 커리큘럼이 수업의 목표와 난이도 면에서 디자인 교육에 적용 가능성이 높다고 판단하지만, 과제의 선정, 세부 활동, 활용 도구들을 디자인 교육 목표에 맞추어서 개정할 필요성이 있다.

### 3. 2. 역설계 중심 제품 디자인 수업 목표 및 범위

역설계를 제품 디자인 수업에 적용하기 위해서 디자인 범위 및 디자인 목표를 정의하였다. 제안하는 수업의 목표는 기존의 사물 및 제품의 관찰 및 분석을 통한 ‘귀납적 발견’에서 출발하여 기능-행위-구조를 재구축하여 디자인 개선안을 제안하는 것을 목표로 한다. 이러한 관점에서 수업에서 의도하는 디자인 결과물은 점진적 혁신의 범주에 위치할 수 있다. 노만과 베르간티(Norman & Verganti, 2014)가 주장하는 점진적 혁신(incremental innovation)의 개념은 기존에 존재하는 시스템 및 프레임 내에서의 개선을 위한 솔루션이고, 이와 대응하는 급진적 혁신(radical innovation)은 이전에 존재하지 않았던 솔루션, 혹은 새로운 프레임의 변화를 의미한다. 두 개념의 가장 큰 차이점은 해결안이 기존의 것의 지속적인 개선인지, 아니면 완전히 새롭고 불연속적인 해결안을 추구하는 것인가의 차이이다. 급진적 혁신이 사회, 경제적 파급력이 더 크기에 많은 디자인 연구들이 급진적인 혁신 차원의 디자인(예를 들어서 2008년 아이폰)에 중점을 두고 있는 현상이 발생한다 (Norman & Verganti, 2014). 그러나 너스바움(Nussbaum, 2012)에 의하면 급진적 혁신 디자인이 시장에서 성공할 확률은 실제로 4% 이하로 희귀하고, 매우 드물게 발생한다. 이 세상의 모든 도구, 사물, 해결안 등이 기존에 존재하는 것들을 기반으로 개선되고 조합되어 발전된다는 측면에서 본다면 점진적 혁신이 급진적 혁신을 낳다고 볼 수도 있다. 대부분의 성공적인 제품은 점진적으로 사용성을 개선하고, 기능을 향상하고, 비용을 낮추고, 조형적 심미성을 높이는 것으로 달성될 수 있기 때문이다. 점진적 혁신 디자인은 앞 장에서 고찰한 ‘어댑티브(adaptive) 디자인’ 수준과도 비슷하다고 볼 수 있다 (Otto & Wood, 2001). 이러한 디자인 수준은 기존 제품 분석을 통해서 문제점을 발견하고 이를 개선하기 위한 신제품 개발의 목표와 공통분모가 많다. 반면 ‘패러메트릭 디자인’은 제품의 매개 변수, 치수, 형태의 조정 등에 의한 설계 최적화 및 부분적 형상 변화를 목표로 하기에 신제품 개발이라는 목표를 충족하지 못할 가능성이 높다. 급진적 혁신과 비슷한 개념인 ‘오리지널 디자인’은 역설계 대상의 범주를 넘어서는 새로운 개념의 제품 및 서비스 개발이라는 측면에서 자칫 추상적인 디자인 콘셉트로 이어질 수 있고, 역설계의 핵심인 기능-행위-구조의 재구축의 프로세스를 경험하기 어려울 수 있다. 이에 디자인 입문자로서 저학년 학부생을 대상으로 하는 수업에서는 어댑티브 디자인 수준을 목표로 하는 것이 학습 효과가 상대적으로 크다고 판단한다. 이상의 논의를 바탕으로 역설계 중심의 디자인 교육 과정을 다음 절에서 설계하였다.

### 3. 3. 역설계 중심 제품 디자인 수업 설계

본 절에서는 제안하는 역설계 중심 제품 디자인 수업의 대상 학생, 수업 프로세스, 주요 활동 및 과제에 대해서 설명한다. 제안하는 수업의 대상은 디자인학과 학부 2학년 학생들로 설정하였다. 이는 제품 디자인의 기초 단계에 있는 저학년 학생들이 제품의 기능-행위-구조, 시스템의 작동 원리를 이해하는 것이 필요하고, 향후 다른 제품 디자인 스튜디오 수업에 긍정적으로 작용할 것이라 판단하였기 때문이다.

교육 프로세스는 <분석 대상 선정>, <구조 분석>, <행위 분석>, <기능 분석>, <기능-행위-구조의 재구축>의 다섯 단계로 구성된다. Table 2는 교육 과정의 단계별 목표를 충족하기 위한 16주 동안의 주차별 활동 및 과제를 포함하는 수업 계획을 나타낸다. 수업의 단계 및 활동은 앞 장에서 고찰하였던 기능-행위-구조 체계(Gero & Kannengiesser, 2004)와 공학의 역설계 기반 수업 커리큘럼(Stanford, Penn State & Uttar Pradesh University)을 참고하여 본 연구의 목표 및 범위에 맞게 조정하였다.



Table 2 The proposed product reverse design curriculum

Phases	Weeks	Activities	Results
대상 선정	1	강의 개요 및 분석 대상 선정	대상 제품 후보 리스트
구조(S) 분석	2	외관 분석 및 데스크 리서치	제품 조사 리포트
	3-4	분해 분석 및 시스템 구조 분석	분석 리포트, 부품명세서, 시스템 구조도
	5-6	탑-다운 디지털 모델링 재현	3D 도면, 분해조립도
행위(B) 분석	7	제품 속성 및 작업흐름 분석	작업 흐름도
	8	제품 구조와 행위 관계 추론	행위, 구조 관계 매트릭스
기능(F) 분석	9	사용자 관찰 및 이슈 도출	사용성 테스트 리포트
	10	그룹 토의 및 개선 가능성 도출	롤플레이 토론 결과 제품 평가 다이어그램
F-B-S 재구축 (디자인 제안)	11	디자인 콘셉트 정의 및 아이디어션	디자인 브리프 어피니티 다이어그램
	12	디자인 콘셉트를 만족하는 형태, 구조 탐색 / 디자인 구체화	스케치, 이미지보드
	13-14	CAD 활용 디지털 모델링	시스템 구조도 3D 프로토타입, 분해조립도
	15	디자인 사양 확정	디자인 사양서, 렌더링
	16	디자인 제안 및 평가	디자인 판넬, 완료 보고서

(1) 대상 선정(Object Selection)

역설계 프로세스 및 방법에 대한 오리엔테이션을 진행한다. 수업은 학생들이 각자 선정한 대상에 대하여 개인 프로젝트 형식으로 진행된다. 대상 선정을 위한 가이드라인으로 ‘사용자와 물리적으로 상호 작용하는 제품으로 주요 부품(component)의 개수가 15개에서 20개 정도의 제품’을 제시한다. 이는 제품 시스템의 복잡성의 차원, 조립 및 분해 가능성, 제품의 크기 및 무게를 종합적으로 고려하여 적절한 분석 대상을 선정하기 위함이다. 예를 들어서 자동차와 같이 강의실에서 분해 분석이 어려운 복잡한 시스템, 스마트폰과 같이 기능-행위-구조 관계를 파악하기 어려운 전자부품 블랙박스(Black Box) 시스템은 배제된다.

(2) 분석 대상의 구조 분석(Structure Analysis)

이 단계에서는 역설계를 위한 구조 분석이 실행되는데, 학생들은 각자 선정한 대상의 카테고리, 시장 조사를 포함하는 데스크리서치와 함께 대상을 관찰하여 외관 분석을 수행한다. 이때 제품의 시스템 및 부품의 위계 구조를 정의하고, 각 부품, 재료, 속성에 대한 어휘(glossary)에 대한 조사가 이루어진다. 분해 분석을 통해서 부품의 치수를 측정하고, 제품을 구성하는 부품들의 형태, 레이아웃, 조립 관계, 재료, 생산 공정에 대한 분석이 수행되고, 재료 명세서(Bill of Materials; BOM), 시스템 구조 다이어그램이 작성된다. 수집된 자료를 기반으로 3D CAD 소프트웨어를 활용하여 제품을 디지털 데이터로 재현하고 분해조립도를 작성한다. 3D 모델링을 위해서 수업시간에 적용한 CAD 소프트웨어는 퓨전 360(Fusion 360, Autodesk)이다. 페리매트릭 모델링 도구인 퓨전 360은 치수 변경이 자동적으로 모델에 반영되어 디자인 의도에 맞는 디자인 수정이 용의하고, 부품의 관계 구조를 탑다운(Top-down) 방식으로 구현할 수 있어서 역설계 모델링에 적합하다는 장점이 있다.

(3) 분석 대상의 행위 분석(Behaviour Analysis)

이전 단계의 분석을 기반으로 제품의 속성을 파악하고, 제품이 작동하는 과정을 시스템 관점에서 추론한다. 세부적으로 제품의 작동 순서를 시간적 순서로 다이어그램으로 나타내는 작업 흐름도(work flow chart)를 작성한다(예: 버튼을 누름으로써 제품이 어떻게 작동되는지). 또한, 제품의 구조-행위의 관계를 분석하여 제품이 가진 구조적 이슈를 발견 가능하다(예: 버튼의 형태, 위치, 크기가 사용성에 끼치는 영향 평가). 이 단계에서는 제품의 형태, 치수에 관련하는 인간공학 요소(human factors) 관점에서 개선 요소들이 도출 될 수 있다(예: 사용성을 저해하는 버튼의 형태 및 구조).

#### (4) 분석 대상의 기능 분석(Function Analysis)

사용자가 제품을 사용하는 상황을 관찰하고 제품 사용 경험, 불편점 등에 대한 이슈를 도출한다. 수업 시간에는 제품을 바라보는 시야를 넓히고 객관적으로 평가하기 위해서 집단 토의를 진행한다. 각자 선정한 제품에 대해서 3-4 명이 그룹을 지어서 설계자, 비판적 사용자, 중재자의 역할을 수행하는 롤플레이(roleplay) 형식의 토의를 유도한다. 이를 통해서 설계자 관점에서 제품의 기능 구현을 위한 설계 의도를 추론할 수 있는 동시에, 사용자 관점에서 사용 이슈 및 디자인 평가가 가능하다. 이때 질문의 내용을 예를 들면, “디자이너가 이렇게 디자인할 수 밖에 없는 이유는?”, “제품의 형태는 사용 목적에 부합하는가?” 등이다. 사용 상황 관찰과 집단 토의를 거쳐서 나온 의견을 종합하여 제품을 기능성, 사용성, 경제성, 심미성, 생산성의 다섯 가지 범주로 평가하고, 범주별 디자인 이슈 및 개선 가능성을 적은 제품 평가 다이어그램을 작성한다.

#### (5) F-B-S 재구축을 통한 디자인 제안(Design Proposal based on Function-Behaviour-Structure Reconstructing)

이 단계는 분석을 통해서 도출된 디자인 이슈를 개선하는 것을 목표로 제품의 ‘기능-행위-구조’를 재구축한다. 먼저 디자인 목표와 범위, 조건을 포함하는 디자인 브리프(brief)를 작성하고 디자인 콘셉트 및 목표 사용자를 설정한다. 예를 들어서 제품의 중량이 무거워서 사용하는데 어렵다는 점이 문제로 지적된다면, 제품의 소형화 및 경량화 아이디어 및 디자인 콘셉트가 도출될 수 있고, 사용자로는 여성이나 노인을 설정할 수 있다. 이후 디자인 콘셉트에 맞는 아이디어를 발전하고 구체화하기 위한 디자인 방법 및 시각화 도구가 활용된다(어피니티 다이어그램(affinity diagram), 퍼소나(personas), 이미지보드(image board, 스케치). 이후 제품의 기능 및 행위를 만족하는 디자인 의도에 최적화된 형태를 탐색하여 디지털 프로토타입(digital prototype)을 제작한다. 이때 구조 분석 단계에서 재현한 3D 도면을 활용하여 부품의 위치, 크기, 구조를 참고할 수 있다. 또한, 제품의 형태, 부품 개수, 조립 구조, 재질, 생산 방법 등을 정의하는 디자인 사양서(specification)를 작성하고, 마지막으로 기존 제품과 디자인 개선안의 결과를 비교하여 평가한다.

---

## 4. 사례 분석

본 장에서는 앞서 제안된 제품 역설계 디자인 수업 모형을 실제로 수업에 적용하여 사례 분석한다. 수업은 서울 소재 4년제 대학의 디자인학부 2학년 학생들 10명을 대상으로 2017년 2학기 9월부터 12월까지 16주 동안 진행되었다.

### 4. 1. 분석 방법

수업 과정의 효율성을 평가하고 시사점을 도출하기 위해서 수업에 참여한 학생들의 디자인 결과물을 분석하고, 학기말 설문 조사를 통해서 수집된 자료를 질적 분석하였다. 크로스웰 (Cresswell, 1998)에 의하면 질적 분석 방법은 어떠한 현상을 수반한 경험들의 본질을 밝히려는 의도를 가진 연구에서 어떤 현상 뒤에 놓인 거의 알려지지 않은 것들을 밝히고 이해하거나, 이미 상당히 알려진 것들에 대해서도 새로운 시각을 얻을 수 있는데 효과적이라고 한다. 특히 연구 참여자가 10명 정도의 연구에서는 사례들의 독특성, 맥락 안에서 발생하는 현상으로서 참여자들의 경험의 의미를 탐구하는 것이 효과적이다 (Yoon, 2013). 수업 결과물 사례 분석은 수업에 참여하였던 학생 세 명의 결과물들을 대표 사례로써 선정하여 중점적으로 분석하고자 한다.

학생 대상 설문은 15주차 수업시간에 학생들에게 Table 3과 같이 여섯 가지 범주의 12가지 질문에 대한 각자의 생각들을 편하게 적어서 다음 시간까지 제출하도록 하였다. 원래는 학생들을 연구 참여자로 가정하여 일대일 인터뷰하려고 했지만, 교수자 입장에서 질문하는 것이 학생들에게 부담으로 작용할 수 있기에 학생들의 솔직한 답변을 유도하기 위해서 답변은 무기명으로 작성하도록 하였다 (Boeije, 2009). 설문은 수업의 평가와는 완전히 독립적으로 수행되었기에 비교적 학생들의 생생한 목소리가 녹아 있을 것이라 판단한다. 그러나 2학년 학부생들이 다른 제품 디자인 수업을 충분히 경험하지 않았을 가능성이 많기에 다른 제품 디자인 수업과 비교하여 제안했던 수업의 효율성을 평가하는 목적으로는 인터뷰 자료가 충분하지 않다는 한계를 가진다. 이에 설문 자

료는 수업에서 학생들이 무엇을 배웠고, 수업 과정 중 어떠한 어려움에 직면했는지 ‘배움의 경험’ 중심으로 분석하였다.

Table 3 The question examples and categories on the questionnaire

Category	Question Example
역설계 방법의 사전 인지 정도	수강하기 전 ‘제품 역설계’라는 개념에 대해서 어느 정도 알고 있었습니까?
수업 과정 및 방법의 이해도	본 수업에서 활용한 디자인 프로세스는 이해하기 어려웠나요? 이유는? 역설계 과정과 리디자인 과정의 차이점은 무엇이라고 생각하십니까?
수업 과정의 효율적 측면	역설계 방법으로 제품을 분석하는 것이 어떻게 도움이 되었다고 생각하십니까? 역설계를 기반으로 리-디자인하는 과정이 어떻게 도움이 되었다고 생각하십니까?
방법의 향후 활용 가능성	본 수업에서 활용한 방법 중에서 활용 할 가치가 높은 방법은?
수업 경험 긍정/부정 측면	수업에서 가장 좋았던 경험은 무엇입니까? 수업에서 가장 아쉬웠거나 개선해야 할 사항은 무엇입니까?

수업 종료 이후 전문가를 대상으로 제안했던 커리큘럼 및 수업 결과에 대한 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰 대상자는 공업 디자인 교육 경험 10년 이상이면서 프로젝트 중심 스튜디오 수업을 운영하고 있는 교수 3명으로 선정하였다. 이들은 다년간의 디자인 교육 경험에 비추어 수업의 장점 및 단점, 효율성을 수업에 참여하였던 학생에 비해서 객관적으로 평가할 수 있어서 연구자가 미처 발견하지 못한 점을 일깨워 줄 수 있다고 판단한다.

#### 4. 2. 수업 결과물 분석

학생 A는 브라운(Braun)사의 핸드 믹서(hand mixer)를 선정하여 Figure 4와 같이 제품 외관 및 구조 분석을 실행하였다. 분석을 통해서 도출된 제품의 구조적 문제점으로 ‘한 손으로 잡고 사용 시 손목이 뒤로 꺾이는 문제점’이 해결해야 할 우선순위로 도출되었다. 그룹 토의에서는 제품의 가격을 고려하면 외관 디자인이 상대적으로 나쁘지 않다는 평가도 있었지만, 사용자 관점에서 제품의 세부적 형태, 색상, 재질의 고급감을 높일 필요가 있는 것으로 지적되었다. 분해 분석을 통해서 부품의 조립 구조 및 부품 시스템 관계를 파악한 결과 기능적 필요사항을 충족하면서 제품의 크기 및 형태를 개선할 수 있는 레이아웃(layout)이 도출되었다.

학생 B는 듀플렉스(Duplux)사의 소형 전기 블렌더(blender)를 선정하여 프로젝트를 진행하였다. 제품 분해 분석을 통해서 부품 레이아웃 및 시스템 구조도를 작성하고 부품 별 3D 도면을 작성하였다(Figure 5). 제품의 행위 및 구조 관계 분석을 수행하여 제품의 구조적 이슈로서 용기의 투입구가 좁아서 음식 재료를 투입하기 불편한 점과 날의 회전 속도를 조절 할 수 있는 기능이 부재하다는 이슈가 도출되었다. 집단 토의를 통해서 사용성 관점에서 제품 하단의 면적이 좁고 세로로 길쭉한 형태가 불안정하고, 심미적으로 만족감을 주지 못한다는 이슈가 도출되었다.

제품 외관 분석: 제품의 기능과 사용성 분석

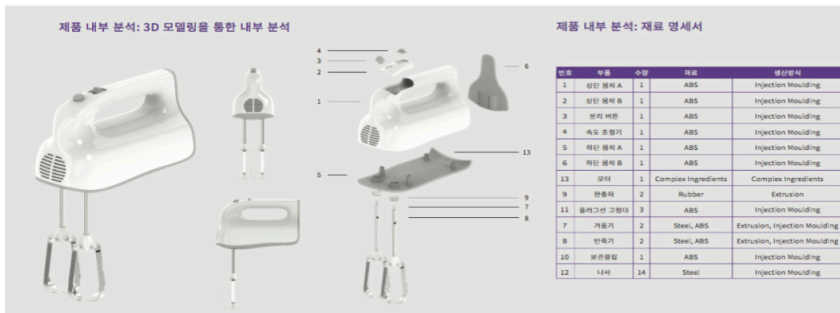
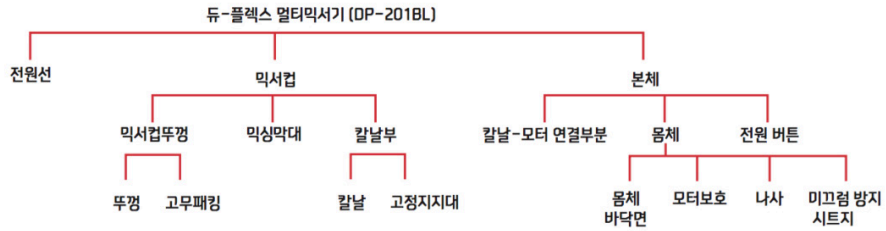


Figure 4 Results of the class(Student A): workflow diagram, tear down analysis, Bill of materials(BOM)



component

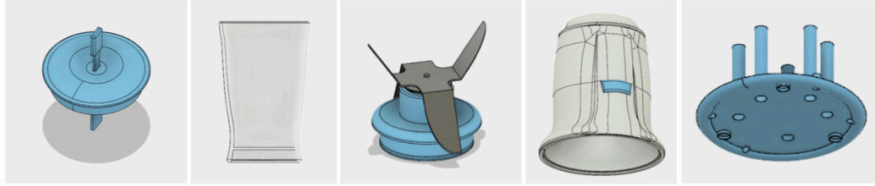


Figure 5 Results of the class(Student B): system class diagram, 3D drawings for parts

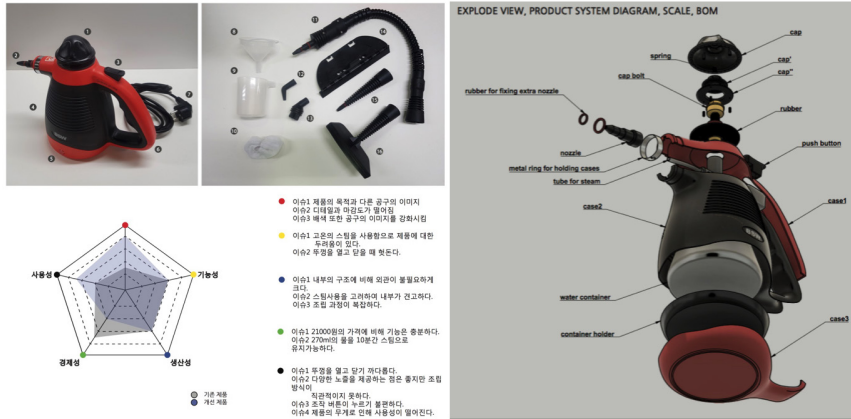


Figure 6 Results of the class(Student C): 3D exploded view, product evaluation diagram

학생 C는 BSW사의 스팀 청소기를 대상으로 역설계를 진행하였다. 제품을 분해하고 부품들의 치수를 측정하고, Figure 6과 같이 부품 명칭, 부품의 관계 및 조립 순서를 표현하는 3D 분해도(exploded view drawing)를 작성하였다. 또한, 기능, 행위, 구조 분석과 그룹 토의를 종합하여 다음과 같은 이슈를 도출하였다. 첫째, 심미적인 관점에서 가정용 기기로서 어울리지 않는 형태, 색상, 재질의 조합으로 ‘산업용 공구’의 이미지가 강하고, 둘째, 내부의 구조에 비해서 불필요하게 외관이 큰 점, 셋째, 용기 뚜껑을 돌리기 힘들다는 이슈, 마지막으로 스팀 노즐의 각도가 하단으로 향하는 사용성 문제점이 도출되었다. 이러한 분석을 기반으로 제품의 개선 방향을 사용성, 경제성, 생산성, 기능성, 심미성의 관점에서 평가한 다이어그램이 작성되었다.

학생들은 10주차부터 역설계 분석 자료를 바탕으로 신제품 개발을 목표로 기능-행위-구조의 관계를 재구축하였다. 앞서 언급했듯이 교수자는 학생들에게 어댑티브 디자인 수준을 목표로 기존의 제품을 기능적, 구조적으로 개선하기 위한 아이디어 및 콘셉트 도출을 유도하였다. 수업 방식은 학생들의 아이디어 발산을 도모하기 위해서 수업 시간에 그룹 토의를 진행하는 동시에 학생과 디자인 방향에 대해서 일대일로 면담하는 수업 방식이 병행되었다.





Figure 7 Final design proposals based on F-B-S reconstructing: student A, B, and C (from left to right)

3D CAD 프로토타이핑을 통해서 세 학생이 제안하였던 어댑티브 수준의 최종 디자인 결과물은 Figure 7과 같다. 결과적으로, 학생 A는 기존 제품의 구조적 문제를 개선하기 위한 해결책으로 사용상 손목에 부담이 적은 인체공학적 손잡이 형태, 기존 제품 대비 30% 이상 움직임을 줄인 형태 및 구조 디자인, 실버 메탈과 매트 블랙 컬러의 CMF(Color, Material, Finishing)를 조합하여 세련미 있는 제품을 개발하고자 하였다.

학생 B는 제품의 기능-행위-구조 분석을 통해서 기존 제품의 부품 구조 자체를 변경하는 디자인을 전개하였는데, 블렌딩 후 믹서 컵 자체를 뒤집어 컵으로 활용할 수 있는 구조, 사용시 안정감을 높일 수 있는 원뿔 형태, 조작부의 가독성을 높이는 패널 GUI, 행동유도성(affordance)을 지원하는 다이얼 방식의 조작 버튼을 제품에 반영하였다. 학생 C는 분석 대상이 가정용 소형 가전제품임에도 불구하고 산업용 공구의 이미지가 강하다는 그룹토의 결과를 반영하면서, 기능-구조-행위 분석에서 도출되었던 사용상의 불편함, 구조적 문제점을 해소하기 위한 아이디어를 발전시켰다. 디자인 개선안은 남은 물의 양을 직관적으로 확인할 수 있도록 용기에 반투명한 재질을 적용하였고, 높은 위치에 걸린 옷들을 말릴 시에도 손목이 편안하도록 손잡이의 형태 및 위치를 개선한 인체공학적 디자인이 제안되었다.

### 4. 3. 학생 설문 및 전문가 인터뷰 분석

#### (1) 학생 수업 경험 분석

수업에 참여한 학생 10명 중에서 9명이 제출 하였던 설문 자료를 분석하여 발견되었던 의미 있는 내용은 다음과 같다(괄호 안의 내용은 이해를 돕기 위해서 연구자가 맥락에 맞게 추가한 주석이다).

수업에 참여한 학생들의 반응은 긍정적이면서 수업 초기 설정하였던 목표를 일정 수준 이상 만족하는 것으로 파악되었다. 수업 이전 대부분의 참여자(8/9명)들이 제품을 의도적으로 분해한 적이 없다고 응답하였다. 참여자들은 역설계에 대해서 처음 들어보거나(6/9명), “역설계의 의미에 대해서는 알고 있었지만, 디자인 프로세스에서 어떻게 사용되는지 잘 몰랐다(학생 B).”고 대답하였다. 모든 참여자들이 역설계 방법을 처음 접함에도 불구하고 수업 과정을 이해하는데 큰 어려움이 없었다는 긍정적인 답변을 하였다(9/9명). 예를 들어서 학생 D는 “제품을 뜯어보고 분석하는 과정이 재미있었고, 그러면서 제품이 어떤 식으로 작동 되는지 파악할 수 있었다.”고 하였다. 학생 A는 “단순히 제품을 분해하는 것이 아니라 그 속의 제품이 어떤 방식으로 작동되는지 파악할 수 있었다. 다른 디자이너의 의도를 해석해서 다시 디자인하는 것이 좋았다.”고 답변하였다. 비슷한 의견으로 “그동안 몰랐던 부품 용어, (디자인) 의도에서 설계, 생산으로 이어지는 과정에 대한 높은 이해를 할 수 있었다(학생 E)”고 하였다. 이를 통해서 수업 참여자들이 제품의 기능이 구현되기 위해서 어떻게 부품이 연결되어 시스템을 구성하는지 파악할 수 있었다고 볼 수 있다. 그리고 의도했던 기능을 구현하기 위해서 다른 디자이너가 어떤 해결책을 도출했는지 탐색하는 과정이 그들에게는 새로운 배움의 경험이었다고 해석할 수 있다.

역설계 방법이 제품 개발을 위한 문제점 발견 및 디자인 콘셉트 도출에 효과적이라는 데에 여러 학생들이 동의하였다. 예를 들어서 학생 F는 “이전에는 감각적으로 (대상이) 좋다, 싫다를 이야기했다면, 이 수업을 통해 (대상을) 분석하여 객관적으로 제품의 부족한 점을 말할 수 있게 되었다.”고 답변하였고, 학생 H는 “제품을 분해하고 관찰하는 과정에서 한 번도 생각하지 못한 부분을 짚어볼 수 있어서 매우 유용했다.”고 답변하였다. 학생 B



는 “제품 분석 후 나온 문제점을 (기반으로 제품을) 디자인함으로써 한 단계 더 나아가간 듯하다. (분해 분석단계 이후) 목표가 확실히 세워지니 과정도 확실하게 계획되어 훨씬 수월했다. 흔들리지 않게 콘셉트를 잡아두어 실제 구현 과정이 명료했다.”고 하였다. 이를 통해서 학생들이 실제로 제품을 분해하고 만져보는 실험 과정을 통해서 이전까지는 직감에 의존하거나 막연하게 추론했던 방식에서 벗어나 실험을 통해서 관찰하고 분석한 내용을 기반으로 문제점을 발견할 수 있었다고 해석한다. 또한 역설계 방법이 학생들 스스로 디자인 대상의 물리적인 구조 및 생산 가공 방법 등의 지식을 단시간에 습득하는데도 유용함을 확인할 수 있었다. 학생 C의 “역설계 방법이 가장 빨리 제품 디자인에 대해서 배울 수 있는 방법으로 도움이 되었다.”는 답변이 이를 뒷받침한다.

수업 시간에 진행하였던 롤플레이(role-play) 형식의 집단 토의가 제품의 개선 아이디어를 발산하고 대상을 바라보는 시야를 확장하는데 도움이 되었다는 의견이 많았다. 4명의 학생이 제품을 분석한 내용을 공유하고 문제점 및 개선점을 토의하는 시간이 즐겁고, 디자인 아이디어 생성에 도움이 되었다는 반응을 보였다. 학생 G는 “다른 사람들과 제품의 문제점에 대해서 토의하는 수업이 재미있었다. 왜냐하면 내가 미처 알지 못했던 부분 혹은 지식을 배울 수 있었다.” 라고 답변하였고, 학생 D도 “매번 과제를 함께 보며 결과를 공유하며 서로의 디자인 아이디어를 공유한 것이 가장 좋았다. 함께 공유하는 방식에서 디자인 시야가 넓어졌다.”라는 반응을 보였다. 이를 통해서 학생들 각자 분석을 통해서 배웠던 지식을 공유하는 동시에 서로가 설계자, 사용자의 입장에서 의견을 교환하는 실천적 교육 방식이 협업디자인(co-design)의 관점에서도 도움이 되었다고 해석할 수 있다.

그러나 수업 과정에 대한 부정적인 측면과 개선해야 할 점도 참여자들의 설문 자료에서 도출되었다. 먼저 수업 과정의 시간 배분이 아쉽다는 의견들이 있었다. 예를 들어서 학생 A는 “제품 분석 단계에 비해서 리디자인이 좀 갑작스럽게 진행된 것 같다.”고 하였고, 학생 D는 “제품 분석에 할애하는 시간보다 실제로 디자인하는 시간을 늘렸으면 좋겠다.”고 답변하였다. 비슷한 의견으로 학생 C는 “디자인 프로세스를 한 번 밖에 못해서 아쉬웠다.”고 하였다. 이러한 답변은 커리큘럼에서 대상 분석과 개선안 도출 단계의 시간 배분이 학생들의 수준에서 적절하게 균형을 이루지 못했다는 것을 드러낸다. 수업과정에서 다루었던 패러메트릭 모델링 도구에 대한 평가는 상반되었다. 패러메트릭 모델링의 장점인 매개변수 조작을 통한 수정의 용이성을 장점으로 언급하는 학생도 있었지만(2명), 새로운 도구를 배우는 것 자체에 부담을 느끼는 학생도 있었다(4명). 학생 F는 “디자인 프로세스, CAD 등 (수업) 시간에 비해 엄청난 양을 다룬다... 익숙하지 않은 CAD 모델링을 과제를 통해서 배우면서 해야 하기에 뭐랄까, 러시아 문화 관련 리포트를 쓰기 위해 러시아어도 마스터해야 되는 것처럼...” 이라는 흥미로운 답변을 하였다. 이러한 답변이 나오는 배경에는 커리큘럼에서 활용한 모델링 도구를 학생들이 모두 처음 접했고, 시간적 제약으로 도구를 다루는 방법을 수업 시간에 충분히 다루지 못했던 데 원인이 있을 수 있다. 부연하면 CAD에 익숙하지 않은 학생에게는 역설계 제품 재현 및 디자인 개선안의 디지털 프로토타이핑이 부담이 될 수 있다.

## (2) 전문가 평가 및 의견

커리큘럼에 대한 전문가의 반응은 대체적으로 긍정적이었다. 세 명의 응답자 모두 정도의 차이는 있지만 제품 디자인을 전공하는 학생들에게 제안하는 커리큘럼이 실질적인 디자인 지식을 습득하는데 효과가 있을 것이라고 답변하였다. 전문가 A는 “학생들이 디자인 콘셉트를 생각할 때 기존에 없는 새로운 아이디어에 집착하는 경향이 있다. 제품 디자인은 어찌 되었든 인간이 사용하는 도구를 통해서 사용자를 만족시키거나 문제를 해결해야 한다. 사물이나 제품에 대한 이해를 높인다는 점에서 수업이 의미를 가진다.”고 답변하였다. 전문가 B는 “학생들이 실제로 제품을 분해하고 만지면서 형태 및 디테일의 중요성을 알아야 한다. 디자인의 시작은 남들이 어떻게 디자인했는지 보는 것이 큰 도움이 될 수 있다.” 라고 하였고, 전문가 C는 “공학적 역설계라는 방법이 디자인 프로세스에 적용되면 얻어지는 장점이 많은 것 같다. 특히 디자인 콘셉트를 물리적으로 구현하기 위한 엔지니어링 지식과 같은...”이라고 답변하였다.

그러나 제안하는 커리큘럼이 기존의 제품 디자인 수업 방식을 대체하는 것에는 무리가 있다는 지적이 있었다. 예를 들어서 전문가 B는 “디자인은 사용자 니즈를 발견한다는 관점에서 사용자 경험 중심으로 변화하고 있는데 커리큘럼이 새로운 사용 경험, 사용자 니즈를 파악하기에 어려울 수 있다.”고 답변하였다. 수업의 디자인 범위가 학생들의 창의성에 제약을 주는 것 아니냐는 우려를 표명하는 반응이 있었다. 전문가 A는 “수업 결과만 본다면 많이 새로워 보이지 않는다. 디자인 범위를 굳이 제한 할 필요는 없을 것 같은데, 발견된 문제가 같아도 디자

인 결과물은 좀 더 새롭게 표현 가능할 수 있을 것 같다.”고 답변하였다. 이는 연구자가 충분히 예상 가능한 답변이었다. 수업의 원래 의도가 제품 분석 중심의 현실에서 구현 가능한 해결 및 디자인 개선안을 도출하는 것을 목표로 하였기 때문이다. 창의성에 대한 논의는 본 연구의 범위를 벗어나지만, 수업과정에서 학생들이 역설계에서 발견한 문제로부터 리디자인을 시작하는 단계 전환의 시점에서 아이디어에 발산에 효과적인 디자인 방법 및 도구가 소개되어야 할 필요성이 도출되었다. 마지막으로 전문가 C는 수업의 방향에 대해서 3D CAD 수업과 역설계 수업을 통합할 수도 있을 것 같다는 의견을 주었다. 그는 기존의 3D 모델링 수업이 단순히 툴을 배우기 위함이라면 학생이 직접 사물을 분해하고 이를 CAD로 재현하는 것이 동기 부여를 높일 수 있을 것이라는 피드백을 주었다. 제안했던 커리큘럼과 독립적으로 역설계 방법을 적용한 3D 모델링 수업이 가능하거나 수업에서 다루었던 패러메트릭 모델링 도구를 학과 차원에서 지원하는 것이 효과적일 수 있다고 판단한다.

#### 4. 4. 토의 및 시사점

본 연구에서 제안했던 공학적 역설계 방법을 적용한 제품 디자인 수업 과정은 학생들에게 물리적 대상을 직접 분해하고, 시스템 및 기능, 행위, 구조를 분석하여 문서로 작성하고, 발견된 문제를 개선하는 디자인 프로세스를 체험하도록 유도하였다. 본 연구에서 제안하는 제품 역설계 수업 모형의 장점을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 디자인과 학생들에게 역설계 분석이 제품 및 시스템의 구조, 생산 공정, 부품, 재료 등의 엔지니어링 지식의 축적에 효과적일 수 있다. 둘째, 역설계 분석을 통해서 디자인 하고자 하는 제품 영역의 기능-행위-구조를 이해하고 재구축할 수 있다. 셋째, 분석에서 발견한 제품의 문제점 및 개선점은 어댑티브 디자인 수준의 콘셉트 도출을 위한 중요한 기반 자료로 활용할 수 있다. 넷째, 학생들에게 설계자 관점과 사용자 관점으로 나누어서 제품의 디자인 의도, 사용 이슈, 구조적 문제 등을 토의하게 유도하여 다양한 아이디어 교환, 시야 확장, 개선점 도출에 도움이 되었다.

제안했던 커리큘럼이 기존의 디자인 스튜디오 수업과 대비하여 가장 다른 점들 중 하나는 디자인 시작 단계에 실험적 교육(experiential learning)을 접목했다는 점이다. 셰퍼드 (Sheppard, 1992)에 따르면 역설계를 적용한 실험적 교육은 엔지니어링 입문 학생들에게 “다른 사람들의 해결안이 어떻게 작동하는가?”의 설계 의도를 추론하는 데 효과적일 수 있다. 디자인학과 학생들도 직접 손으로 하드웨어를 분해하고, 만져보고, 관찰을 통해서 시스템의 구조, 형태, 재료, 제품의 기능을 구현하기 위한 물리적 작동 원리를 추론할 수 있다. 그러나 제안하는 수업 과정에서는 기존의 인간 중심 디자인(HCD) 및 사용자 경험(UX) 디자인 프로세스에서 중요하게 다루는 사용자 및 사용 맥락에 대한 조사 및 분석을 깊이 있게 다루지 못 할 수 있다. 이에 제안하였던 커리큘럼은 기존의 제품 디자인 스튜디오 수업을 대체하기 보다는 보조하는 가교의 역할을 할 수 있을 것으로 기대한다. 저학년 학생들이 역설계 중심의 수업을 통해서 사물 및 시스템에 관한 지식을 체득한 이후 인간 중심 프로세스 중심의 디자인 과제를 수행한다면 선행 지식과 사용자, 사용 맥락의 정보가 시너지를 발휘할 수 있을 것이다.

학생들의 설문과 전문가 인터뷰를 통해서 한 학기 진행하였던 수업의 한계 및 개선해야 할 사항들이 다음과 같이 드러났다. 첫째, 한 학기 16주 수업(64시간)에 맞추기 위해서는 수업의 커리큘럼이 재조정 되어질 필요성을 발견하였다. 역설계 이론과 실험 실습, 리디자인 과정을 한 학기에 소화하는 것이 쉽지 않다는 점이 학생들의 설문에서 도출되었고, 교수자도 수업을 진행하면서 단계별 시간 배분에 지속적인 개정이 필요하다고 판단하였다. 둘째, 제안하는 수업을 원활하게 진행하기 위해서는 학생들에게 패러메트릭 모델링 도구를 숙련되게 다룰 수 있도록 충분한 연습 시간이 필요하다. 이를 위해서 역설계 수업에 활용되는 CAD 소프트웨어를 학생들이 사전에 익히도록 권장하거나, 수업 과정에서 학생들이 충분히 이해할 수 있도록 튜토리얼(tutorial) 시간을 추가할 필요성이 있다. 셋째, 제안했던 수업의 효과를 평가하기 위한 기준 및 방법이 부족하였다. 학기말 수업에 참여했던 학생을 대상으로 설문을 진행했지만, 학생들은 2학년으로 디자인 경험이 많지 않은 상황에서 다른 수업과 객관적으로 비교할 수 있는 기준이 정립되지 않았을 가능성이 크다. 이에 후속하는 연구에서는 수업의 효과성을 판단하기 위한 평가 방법의 개발 및 수업 중간 단계별 전문가 평가가 보완되어야 할 것이다.

앞서 언급했던 내용과 디자인 전문가들의 의견을 수렴하여 수업 과정에 즉시 반영 가능한 점들을 보완한 커리큘럼을 Table 4로 제안하고자 한다. 보완점으로는 1) 역설계 분석 단계와 개선안 도출 단계의 시간 배분, 2) 수업 과정 중간 패러메트릭 모델링 튜토리얼 시간 추가, 3) 디자인 개선안의 도출에 효과적인 아이디어 발상 도구를 포함한다.

Table 4 The revised product reverse design curriculum

Phases	Weeks	Activities	Results
대상 선정	1	강의 개요 및 분석 대상 선정	대상 제품 후보 리스트
구조(S) 분석	2	외관 분석 및 데스크 리서치	제품 조사 리포트
	3	제품 분해 분석 패러메트릭 모델링 튜토리얼 1	분해 분석 리포트, 부품명세서
	4	시스템 구조 및 부품 관계 분석 패러메트릭 모델링 튜토리얼 2	시스템 구조도
	5	탑-다운 디지털 모델링 재현 패러메트릭 모델링 튜토리얼 3	3D 도면, 분해조립도
행위(B) 분석	6	제품 속성 및 작업흐름 분석	작업 흐름도
	7	제품 구조와 행위 관계 추론	행위, 구조 관계 매트릭스
기능(F) 분석	8	사용자 관찰 및 이슈 도출	사용성 테스트 리포트
	9	그룹 토의 및 개선 가능성 도출	롤플레이 토론 결과 제품 평가 다이어그램
F-B-S 재구축 (디자인 제안)	10	디자인 아이디어 발상 방법 소개 아이디어 탐색 및 발전	브레인스토밍 어피니티 다이어그램
	11	디자인 콘셉트 도출 및 기능 정의 패러메트릭 모델링 튜토리얼 4	디자인 브리프, 스케치
	12	기능을 만족하는 형태, 구조 탐색 패러메트릭 모델링 튜토리얼	시스템 구조도, 이미지보드
	13	CAD 활용 디지털 모델링 1	3D 프로토타입
	14	CAD 활용 디지털 모델링 2	3D 프로토타입, 분해조립도
	15	디자인 사양 확정	디자인 사양서, 렌더링
	16	디자인 제안 및 평가	디자인 판넬, 완료 보고서

## 5. 결론 및 제언

본 연구는 제품 디자인 과정에 공학적 역설계 방법을 접목하여 학습 효과를 높이는 것을 목적으로 수업과정(curriculum)을 개발하고자 하였다. 이를 위해서 이론적으로 역설계 프로세스, 역설계 디자인 모델(Otto & Wood, 2001), 제품의 기능-행위-구조 체계(Gero & Kannengiesser, 2014)를 중점적으로 고찰하였다. 또한 국내의 디자인 대학의 제품 디자인 수업과 공학대학의 역설계 수업을 조사하여 수업의 목표 및 범위를 논의하였다. 제안된 ‘역설계 중심 제품 디자인 수업’은 <대상 선택>, <구조 분석>, <행위 분석>, <기능 분석>, <기능-행위-구조 재구축>의 다섯 단계로 구성되고, 각 단계별 핵심 활동 및 방법을 포함한다. 사례 분석 결과 제안했던 수업 과정은 역설계 분석을 기반으로 학생들이 제품의 기능-행위-구조를 파악하는데 도움이 되었다. 수업에서 학생들은 분해 분석을 통해서 제품의 물리적 형태, 조립 구조, 작동 원리, 생산 방법, 재료, 인간공학적 요소를 파악할 수 있었다. 결과적으로 수업은 기존 제품의 기능적, 구조적 문제를 개선하는 어댑티브 디자인 수준의 교육 및 제품 개발에 효과적임을 확인할 수 있었다. 마지막으로 학생들의 설문 및 디자인 전문가의 의견을 반영하여 역설계 분석, 3D CAD 모델링, 디자인 개선안 도출 단계의 시간 배분을 조정한 커리큘럼을 최종적으로 제안하였다.

본 연구는 역설계 중심의 제품 디자인 교육을 효과적으로 적용하기 위한 프레임워크 및 교육 과정을 이론적으로 고찰하고, 그 적용 가능성을 수업 사례를 통해서 실증적으로 논의했다는 점에 의의가 있다. 향후 연구에서는 연구 결과를 반영하여 수업 모형을 다듬는 동시에 수업의 효과성을 판단하기 위한 평가 도구의 개발이 보완되어야 할 것이다.

## References

1. Adams, R., Daly, S., Mann, L., & Dall'Alba, G. (2011). Being a professional: Three lenses into design thinking, acting, and being. *Design Studies*, 32(6), 588–607.
2. Anggoro, P., Bawono, B., & Sujatmiko, I. (2015). Reverse Engineering Technology in Redesign Process Ceramics: Application for CNN Plate. *Procedia Manufacturing*, 4, 521–527.
3. Anwer, N., & Mathieu, L. (2016). From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. *CIRP Annals*, 65(1), 165–168.
4. Nussbaum, B., Berner, R., & Brady, D. (2005). Get Creative: How to Build Effective Companies. *Bloomberg Business Week*. Retrieved June 1, 2018, from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2005-07-31/get-creative>.
5. Bhatnagar, A. (2015). Product Dissection: A Method for Hands on Engineering Education. *Journal Of Engineering Education Transformations*, 99–104.
6. Boeije, H. (2009). *Analysis in qualitative research*. LA: Sage publications.
7. Cascini, G., Fantoni, G., & Montagna, F. (2013). Situating needs and requirements in the FBS framework. *Design Studies*, 34(5), 636–662.
8. Chikofsky E. J., & Cross, J. H. (1990). Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy. *IEEE Software*, 7(1), 13–17.
9. Cresswell, J. W. (1998). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five traditions*. CA: Sage Publications, Inc.
10. Christophe, F., Bernard, A., & Coatanéa, É. (2010). RFBS: A model for knowledge representation of conceptual design. *CIRP Annals*, 59(1), 155–158.
11. Das, A. K. (2004). Integrated product design using rapid prototyping technology and rapid tooling in concurrent engineering approach. In *Materials Science Forum* (Vol. 471, pp. 672–676). Trans Tech Publications.
12. Galle, P. (2009). The ontology of Gero's FBS model of designing. *Design Studies*, 30(4), 321–339.
13. Gero, J., & Kannengiesser, U. (2004). The situated function-behaviour-structure framework. *Design Studies*, 25(4), 373–391.
14. Graziosi, S., Ferrise, F., Phillips Furtado, G., & Bordegoni, M. (2014). Reverse engineering of interactive mechanical interfaces for product experience design. *Virtual and Physical Prototyping*, 9(2), 65–79.
15. Hybs, I., & Gero, J. (1992). An evolutionary process model of design. *Design Studies*, 13(3), 273–290.
16. Jung, E., & Kim, E. (2014). Development of Creative Design Process Based on Integrated Scenario/Prototyping Model. *Journal of Korea Design Forum*, 44, 417–430.
17. Kim, S. J. (2015). A Study on Reverse Engineering Methodology for Product Design Application. *The Treatise on The Plastic Media*, 18(3), 21–28.
18. Lee, S., & Park, G. (2014). A novel method of reverse engineering using axiomatic design. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(2), 595–604.
19. Macy, B. (2015). Reverse Engineering for Additive Manufacturing. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer, London.
20. Maguire, M. (2001). Methods to support human-centred design. *International journal of human-computer studies*, 55(4), 587–634.
21. Martin, B., & Hanington, B. (2013). *Universal methods of design*. Seoul: Koryomunhwas Publications, Inc.
22. Brereton, M., Sheppard, S., & Leifer, L. (1995). How students connect engineering fundamentals to hardware design: observations and implications for the design of curriculum and assessment methods. In *Proceedings of the 10th International Conference on Engineering Design, Prague, August* (pp. 22–24).
23. Norman, D., & Verganti, R. (2014). Incremental and Radical Innovation: Design Research vs. Technology and Meaning Change. *Design Issues*, 30(1), 78–96. doi: 10.1162/desi\_a\_00250
24. Otto, K., & Wood, K. (1998). *Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology*.

- Research in Engineering Design*, 10(4), 226–243.
25. Rekoff, M. (1985) On Reverse Engineering. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics* 3(4), 244–252.
  26. Sheppard, S. (1992). Mechanical Dissection: An Experience in How Things Work. *Proceedings of the Engineering: Curriculum Innovation & Integration*, 6–10.
  27. Sokovic, M., & Kopac, J. (2006). RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1–3), 398–403.
  28. Wood, K., Jensen, D., Bezdek, J., & Otto, K. (2001). Reverse Engineering and Redesign: Courses to Incrementally and Systematically Teach Design. *Journal of Engineering Education*, 90(3), 363–374.
  29. Ye, X., Liu, H., Chen, L., Chen, Z., Pan, X., & Zhang, S. (2008). Reverse innovative design – an integrated product design methodology. *Computer-Aided Design*, 40(7), 812–827.
  30. Yoon, G. S. (2013). A Meaning of Experience in the Process of Qualitative Research: With an Exemplary Case of Grounded Theory Method. *Korean Policy Sciences Review*, 17(2), 163–200.
  31. Zhang, J., & Yu, Z. (2016). Overview of 3D printing technologies for reverse engineering product design. *Automatic Control and Computer Sciences*, 50(2), 91–97.



# 역설계 중심의 제품 디자인 교육 과정의 제안

최웅\*

서울대학교 디자인학부, 서울, 대한민국

---

## 초록

**연구배경** 역설계(reverse engineering) 방법론은 이미 존재하는 대상의 시스템, 특성, 구조 분석을 통해서 대상이 가진 문제점을 발견하고 개선점을 유도하는 방법으로 공학 분야에서 널리 활용되고 있다. 본 연구의 목적은 제품 디자인 과정에 기존의 공학적 역설계 방법의 장점을 적용하는 디자인 교육 과정을 제안하는 것이다.

**연구방법** 문헌 고찰을 통해 역설계 방법, 역설계 디자인 모델, 제품의 기능-행위-구조 체계를 리뷰하고, 역설계 수업 사례 조사를 기반으로 제품 역설계 디자인 수업을 설계하였다. 제안하는 제품 역설계 디자인 수업의 범위는 기능적, 구조적 개선에 초점을 맞추는 어댑티브 디자인 수준을 목표로 하였고, 프로세스는 게로와 카넨기서(Gero & Kannengiesser, 2014)가 제안했던 상황적 기능-행위-구조 체계를 참고하였다. 이후 제안하는 교육 과정을 실제 수업에 적용한 사례 분석을 실행하였다. 마지막으로 수업의 결과물을 분석하고, 수업 참여 학생들 대상으로 설문 및 전문가 인터뷰를 수행하여 결과를 평가하였다.

**연구결과** 제안된 제품 역설계 교육 과정은 <대상 선택>, <구조 분석>, <행위 분석>, <기능 분석>, <기능-행위-구조의 재구축>의 다섯 단계로 구성되고, 각 단계별 핵심 활동 및 방법을 포함한다. 사례 분석 결과 제안했던 수업 모형을 통해서 참여자들이 단시간에 제품의 기능, 행위, 구조 영역을 파악하는데 도움이 되었다. 제안했던 수업 과정은 학생들이 기존 제품이 가진 문제점을 발견하는 동시에 과제 범위로 설정되었던 어댑티브 디자인 수준의 개선안을 도출하는데 효과적이라고 판단한다. 마지막으로 참여자 설문과 전문가 인터뷰를 반영하여 수업 과정을 보완하였다.

**결론** 본 연구는 역설계 중심의 제품 디자인 교육을 효과적으로 적용하기 위한 프레임워크 및 교육 과정을 이론적으로 설계하고, 적용 가능성을 수업 사례를 통해서 실증적으로 논의했다는 점에 의의가 있다.

**주제어** 역설계, 제품 디자인, 디자인 교육 과정, 기능-행위-구조 체계

---

\*교신저자 : 최웅 (eorini1@snu.ac.kr)