

디자인 교육에서 3D 모델링 학습동기 설계를 위한 마이크로 제조 사례 연구

Research through Design 기반 ACG×CL 모형과 에어소프트 커스텀 액세서리 7종(PLA·FDM/FFF) 아티팩트 분석

A Micro-Manufacturing Case Study for Motivational Design in 3D Modeling Education

A Research-through-Design Framework (ACG×CL) Based on Artifact Analysis of Seven PLA FDM/FFF Airsoft Accessories

주 저 자 : 이재호 (Lee, Jae Ho)

신한대학교 디자인예술대학 산업디자인학과 겸임교수
iconlava@gmail.com

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2026.2.375>

접수일 2026. 05. 06. / 심사완료일 2026. 06. 11. / 게재확정일 2026. 06. 15. / 게재일 2026. 06. 30.

Abstract

This study develops an RtD(Research through Design)-informed model showing how technical limitations in 3D printing can be reframed as strategic variables in a niche-market context, rather than reducing 3D modeling education to satisfaction or performance metrics. Conducted in a 15-week undergraduate 3D modeling course, the case boundary was the airsoft customization niche. Seven PLA-based FDM/FFF accessories (M1-M7) were treated as epistemic artifacts and analyzed through embedded artifact-level comparison using a chain of evidence (planning records, slicing UI captures, modeling data, and photographs). Using PMF-6R and interpreting it via Aesthetic Complexity Gating (ACG) and Configuration Labor (CL), the study proposes an ACG×CL hybrid model linking market expectations (color/finish, defect salience) with user experience (choose-swap-attach). Findings suggest monochrome-use norms can reduce the perceived “criticality” of FDM layer lines (ACG), while setup completion behaviors can amplify psychological ownership (CL); a prior SLA “valley of death” vignette also indicates time-dependent material stability as a boundary condition. The study argues for shifting educational goals from high-fidelity outputs to Strategic-fidelity—judging viable quality thresholds under market and risk constraints—and provides a 15-week module and an assessment rubric.

Keyword

Research through Design (디자인 실행 연구, RtD), Micro-manufacturing (마이크로 제조), Aesthetic Complexity Gating-Configuration Labor (미적 복잡도 게이팅-구성 노동, ACG×CL)

요약

본 연구는 3D 모델링 교육의 효과를 만족도나 성과 지표로 환원하지 않고, 기술적 한계가 니치 시장 맥락 속에서 전략 변수로 재구성되는 과정을 설명하는 RtD(디자인 실행 연구) 기반 모형 구축을 목적으로 한다. 연구는 15주 정규 학기 3D 모델링 수업 맥락에서 수행되었으며, 전문 취미 니치마켓인 에어소프트 커스터마이징을 사례 경계로 설정하였다. 연구자는 PLA 기반 FDM/FFF 방식으로 제작한 7종의 액세서리 아티팩트(M1~M7)를 ‘인식적 도구’로 규정하고, 제품 단위 내재 비교와 근거 사슬(기획 기록, 슬라이싱 UI 캡처, 모델링 데이터, 실물 사진 아카이브)을 통해 분석적 일반화를 시도하였다. 분석 프레임으로 PMF-6R을 제안하고, 이를 미적 복잡도 게이팅(ACG)과 구성 노동(CL)으로 재해석하여, 시장 기대 구조(색/마감 기대, 결함 가시성)와 사용자 경험 구조(선택-교체-장착)를 함께 설명하는 하이브리드 모형(ACG×CL)을 제시하였다. 분석 결과, 단색 중심 사용 규범이 강한 맥락에서는 FDM 표면 결이 ‘치명적 결함’으로 해석되는 강도가 완화되며, 이는 ACG의 조건부 임계값 변수로 설명될 수 있었다. 또한 사용자가 선택-교체-장착을 통해 세팅을 완성하는 과정은 심리적 소유감과 만족을 증폭시키는 CL 경로로 해석될 수 있었고, 과거 SLA 시도의 데스밸리 회고를 통해 시간 의존적 안정성(재료 경시 변화)이라는 경계조건도 함께 도출하였다. 본 연구는 교육 목표를 결과물의 고정밀화(High-fidelity) 자체로 두기보다, 시장 기대와 리스크를 고려해 적정 품질 임계값을 전략적으로 판단하는 Strategic-fidelity 역량으로 전환할 것을 제안하며, 15주 정규 학기 운영 안과 평가 루브릭을 제시한다.

목차

1. 서론

1-1. 연구 배경과 문제의식

1-2. 연구 질문·범위·기여

2. 이론적 배경

- 2-1. 학습동기·니치 가치구조의 기반
- 2-2. ACG×CL 하이브리드 모형

3. 연구 방법

- 3-1. 연구 설계·자료·윤리 범위
- 3-2. 분석 프레임과 절차
- 3-3. 신뢰도·한계 관리

4. 사례 기술

- 4-1. 프로젝트 맥락과 제작 워크플로
- 4-2. 아티팩트 포트폴리오와 문서화 전략
- 4-3. SLA 회고와 전환 리스크

5. 결과 및 논의

- 5-1. PMF-6R 결과와 ACG×CL 메커니즘
- 5-2. 성립 조건 모델(2×2 명명)과 대안 설명
- 5-3. 교육·실무 적용

6. 결론

- 6-1. 결론 요약과 기여
- 6-2. 한계와 후속 연구

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구 배경과 문제의식

3D 모델링 교육 관련 논문은 종종 “수업을 운영했더니 학생들이 즐거워했다”는 만족도 중심 서술로 귀결되며, 제조 전환의 현실적 제약이나 시장 맥락이 충분히 구조화되지 못하는 경우가 많다. 그러나 실제 교육 현장에서 모델링은 화면 안에서 끝나지 않는다. 학습자는 산출물을 물리로 번역하는 순간(슬라이싱/출력)부터 결함·리스크·시간·반복 개선이라는 현실적 제약을 만나며 “무엇이 가치이고 무엇이 결함인가”를 판단해야 한다. 따라서 모델링 교육에서 학습동기는 ‘재미’보다 가치로 연결되는 경로를 이해하는 능력(제조 리터러시)과 결합될 때 더 지속 가능해질 수 있다.

본 연구는 “모델링을 배우면 즉시 제조/사업화를 시도할 수 있다”는 메시지를 단순 홍보가 아니라 교육적으로 안전하고 정직한 방식으로 구성하려는 실천에서 출발한다. 핵심은 학습자에게 ‘완벽한 결과물’만 강요하는 것이 아니라, 기술의 한계(예: FDM 표면 결)를 인정한 상태에서 그 한계가 수용되는 시장의 가치 구조를 읽고 설계하는 전략적 사고를 학습시키는 것이다. 이를 위해 본 연구는 전문 취미 니치(에어소프트 컵스 팀)를 선택했다. 이 니치는 단색(블랙) 중심의 시각 규범이 강하고, 사용자가 세팅을 완성해가는 문화(교체·장착)가 뚜렷하여, 결함의 의미가 시장 기대치에 의해 재해석될 가능성이 존재한다. 이러한 문제의식은 “모델링 학습→제조 전환→시장·리스크 해석”으로 이어지는 학

습동기 설계 구조로 정리될 수 있으며, 그림 1은 이 연결을 개념적으로 요약한다.



[그림 1] 제조 리터러시 기반 학습동기 설계 개념도

1-2. 연구 질문·범위·기여

본 연구는 (1) FDM/FFF 출력물의 표면 결이 어떤 조건에서 ‘치명적 결함’이 아니라 ‘감내 가능한 결함’으로 처리될 가능성이 있는지, (2) 단색 중심 맥락과 독 특성 가치, 그리고 선택·교체·장착의 구성 경험이 결합할 때 상품성이 어떤 방식으로 강화될 수 있는지, (3) 이 분석을 디자인 교육의 수업 운영·평가 도구로 어떻게 번역할 수 있는지를 질문한다.

연구의 기여는 다음과 같다. 첫째, FDM 결함을 시장 기대치에 의해 통과/탈락이 결정될 수 있는 임계값 변수(ACG)로 개념화한다. 둘째, IKEA effect를 선택·교체·장착 중심의 구성 노동(CL)로 재해석하여 하드웨어 제조 영역으로 확장한다. 셋째, 설문/판매 데이터 부재를 “한계”로만 두지 않고 RtD 관점에서 아티팩트

를 인식적 도구로 규정하며 내재적 아티팩트 비교와 근거 사슬로 분석적 일반화를 수행한다. 넷째, 교육적으로는 고정밀 집착(High-fidelity)이 아니라 Strategic-fidelity(전략적 적정 품질 판단) 역량을 목표로 삼는 수업 설계와 평가 루브릭을 제안한다. 본 논문은 제작·장착·치수·세부 출력 파라미터 등 재현 지침을 제공하지 않으며, 교육 연구 목적의 가치 구조 및 평가 프레임 제안에 한정한다. 또한 본 연구의 기여는 교육 성과의 “측정”이 아니라, 기술 한계를 시장 맥락에서 전략 변수로 재구성할 수 있는 설명 모형(ACG×CL)과 이를 교육 도구로 번역하는 절차를 제시하는 데 있다.

2. 이론적 배경

2-1. 학습동기·니치 가치구조의 기반

자기결정성이론(Self-Determination Theory)은 자율성·유능감·관계성이 내재적 동기를 지지하며, 학습자가 “할 수 있다”는 감각과 “왜 하는지”의 의미를 함께 경험할 때 학습 지속성이 강화된다고 설명한다¹⁾. 모델링 교육에서 유능감은 가능 숙련만이 아니라, 산출물이 어떤 맥락에서 가치로 읽히는지(시장·사용)와 결합이 어떻게 평가되는지(기대치)를 이해할 때 강화될 수 있다. 제조 전환(슬라이싱/출력)은 바로 그 이해가 시작되는 지점이며, 프로젝트 기반 학습(PBL)의 반복 개선 구조와 결합할 때 학습동기는 “결과물 자랑”을 넘어 “설명 가능한 자신감”으로 전환될 수 있다²⁾.

니치마켓은 취향이 파편화되어 있고 커스터마이징 가치가 강하게 작동할 수 있다. 소비자 독특성 욕구 연구는 차별성 추구가 구매 동기로 작동할 수 있음을 제시한다³⁾. 본 사례 니치는 ‘기성품의 완결성’보다 ‘나만의 세팅 완성’이 가치 판단을 좌우할 가능성이 있으며, 이때 결합의 해석은 시장의 시각 규범(단색/전술 톤)과 결합하여 달라질 수 있다.

자기결정성이론의 유능감(competence)은 본 교육 모형에서 ‘출력 완결성’ 그 자체가 아니라, 제조 전환(슬라이싱/출력) 과정에서 발생하는 제약과 리스크를 인지하고 그 안에서 성립 가능한 품질 임계값을 판단하는 전략적 의사결정 역량으로 구체화된다. 즉 학습자는 고정밀화를 무조건 추구하는 것이 아니라, 시장 기대(미적 복잡도)와 실패 파급(기능·신뢰 리스크)을 함께 고려해 ‘가능한 품질’과 ‘필요한 품질’을 구분하는 Strategic-fidelity 역량을 통해 유능감과 자율성을 동시에 획득한다. 또한 소비자 독특성 욕구는 단순한 형태 차별 선호라기보다, 기성품이 충족하지 못하는 파편화된 기능적 접점(정렬·장착·세팅)의 공백을 메우려는 요구로 나타날 수 있다. 본 사례의 에어소프트 커스터마이징 맥락에서는 단색(전술 블랙) 규범이 미적 복잡도를 낮추어 FDM 표면 결의 치명도를 완화하는 조건(ACG)을 제공할 수 있으며, 사용자가 선택·교체·장착을 통해 세팅을 완성하는 과정은 심리적 소유감과 만족을 증폭시키는 구성 노동 경로(CL)로 설명될 수 있다.

2-2. ACG×CL 하이브리드 모형

디자인리서치 학회 맥락에서 왜 이것이 디자인 연구인가라는 질문에 본 연구는 디자인 실행 연구(Research through Design, RtD)로 답한다⁴⁾. RtD에서는 실천을 통해 산출된 결과물이 단순 산출물이 아니라, 개념을 만들고 검토하는 인식적 도구(epistemic artifacts)로 기능한다. 본 연구의 7종 아티팩트는 “판매용 제품”만이 아니라 ACG와 CL이라는 가설을 검토하기 위한 인식적 장치로 설계·기록되며, 이 점이 연구로서의 정당화를 제공한다.

ACG에서 말하는 ‘미적 복잡도’는 색 다양성 기대, 고급 마감/도장 기대, 결합 가시성 민감도가 결합된 시장 기대치다. 미적 복잡도가 높으면 FDM 표면 결은 치명적 결함으로 판정될 가능성이 커지고, 낮으면 동일 결함이 감내 가능한 결함으로 처리될 가능성이 생긴다. 따라서 ACG는 결합 자체의 존재를 부정하지 않고, 시장 기대치라는 필터에서 통과/탈락이 결정될 수 있는 임계값(threshold)으로 결함을 재정의한다.

다만 “단색이면 결함이 덜 보인다”는 물리적 단정은 위험할 수 있다. 본 연구가 말하는 ACG는 특정 니치에서 색/도장 다양성 요구가 낮게 형성될 때 평가의 무

- 1) 김아영, '자기결정성이론과 현장 적용 연구', 한국교육심리학회, 교육심리연구, Vol.24, No.3, 2010. 09. pp. 583-609.
- 2) 이미정, '창의성과 협업을 위한 PBL 포스터 디자인 교육의 효과 분석', 한국상품문화디자인학회, 상품문화디자인학회연구, Vol.83, 2025. 03. pp. 17-26.
- 3) 김완식·김영재, '소비자의 독특성 욕구와 소비행동: 구매목적과 상품유형과의 상호작용', 한국심리학회, 한국심리학회지: 소비자·광고, Vol.6, No.2, 2005. 11. pp. 79-101.

- 4) 배재율·박영우·석진민·권은경·남택진, '디자인 실무와 연구의 연계 촉진을 위한 디자인 연구 분류 체계 제안', 한국디자인학회, 디자인학회연구, Vol.25, No.2, 2012. 05. pp. 309-320.

게중심이 '도장/색'에서 '실루엣/아이디어/세팅 정체성'으로 이동할 가능성을 가설로 제시하는 것이다. 본 사례에서의 정성 관찰로는(예: 네이버 스마트스토어 '컴펜만드는크리' 판매 페이지(smartstore.naver.com/yosw1023))를 중심으로 2026년 3월 중순~4월 말 6주간 수차례 탐색·확인) 해당 스토어에 게시된 상품 이미지와 설명에서 단색(특히 블랙) 비중이 높게 나타나는 경향이 관찰되었고, 색/도장 다양성보다 형태적 차별, 장착 후 세팅의 일체감, 기능적 유용성이 상대적으로 더 강조되는 양상이 나타나는 경향이 있었다. 이 정성 관찰은 연구자가 프로젝트를 기획·진행하는 과정에서 공개 판매 페이지를 탐색하며 작성한 현장 메모에 기반하며, 정량 코딩을 수행한 결과가 아니라 '맥락적 가설'을 구성하기 위한 관찰 범위로 한정된다.

CL은 IKEA effect를 확장하여, 사용자가 선택·교체·장착을 통해 구성을 완성하는 과정 자체를 가치 형성의 노동으로 해석한다⁵⁾. 여기서 CL은 통과/탈락이 아니라, 통과 이후 가치 평가를 키울 수 있는 증폭 메커니즘에 가깝다. 즉 ACG가 최소 진입선을 제공할 가능성이 있다면, CL은 그 위에 '완성감/심리적 소유'를 덧입혀 평가를 강화할 가능성이 있다⁶⁾. 이때 '심리적 소유'는 참여(engagement) 및 지속 사용 의도와 연결되는 설명 변수로 다뤄질 수 있다⁷⁾. 단, 본 연구에서 CL은 사용자 반응을 측정할 확정 결과가 아니라, 아티팩트의 교체·장착 구조로부터 도출된 설명 가설임을 유지한다.

3. 연구 방법

3-1. 연구 설계·자료·윤리 범위

본 연구는 디자인 실행 연구(Research through Design, RtD)의 제작·기록 관점을 취하되, 분석 단계에서는 단일 프로젝트 내재적 사례연구(single-project

- 5) 김형식·김성훈, '이케아 제품과 공간에 적용된 사용자 경험디자인에 관한 연구', 한국디자인문화학회, 한국디자인문화학회지, Vol.20, No.4, 2014. 12. pp. 165~175.
- 6) 서문식·유재은·노태석, '고객참여: 반(半)제품 조립과정에서 지각된 즐거움과 제품가치 평가', 한국마케팅관리학회, 마케팅관리연구, Vol.20, No.1, 2015. 01. pp. 67~90.
- 7) 이민영·이재혁·김상현, '메타버스의 개인 공간에 대한 심리적 소유감 및 메타버스 참여(engagement) 의도 사이의 관계 규명', 충남대학교 경영경제연구소, 경영경제연구, Vol.45, No.3, 2023. 09. pp. 131~156.

embedded case study)로서 사례의 경계, 분석 단위, 자료 수집 및 분석 절차를 명시한다. 따라서 7종 산출물(M1~M7)은 단순 결과물이 아니라, 시장 맥락에서 기술적 한계가 어떻게 재해석되는지를 검토하기 위한 인식적 도구(epistemic artifacts)로 기능한다. 즉, 본 연구는 "만들고 끝"이 아니라 "만들고-기록하고-비교하고-설명 모형을 구축"하는 과정을 연구의 핵심으로 설정한다.

자료는 (1) 모델링 화면 캡처/렌더 및 수정 기록, (2) PLA 기반 FDM/FFF 출력물 사진 아카이브, (3) 슬라이싱 UI 캡처, (4) 분류 기준/가치 가설/수정 이유 등 설계 기록으로 구성된다. 본 사례의 경계는 15주 정규 학기 3D 모델링 수업 맥락과 에어소프트 커스터마이징 니치, 그리고 산출물 7종(M1~M7)으로 제한된다. 내재적 분석 단위(embedded units of analysis)는 개별 아티팩트(제품)이며, 해석의 중간 단위로 외형 중심/인터페이스-사용감/편의·보호 유형 분류를 사용한다. 자료 수집은 기획 기록, 슬라이싱 UI 캡처, 모델링 데이터(캡처/렌더), 실물 사진 아카이브의 네 축으로 구성되며, 서로 다른 자료원을 결합한 자료 삼각검증(triangulation) 방식으로 근거 사슬을 형성한다. 분석 절차는 PMF-6R 점수화-근거 키워드 부여-동일 배열의 시각 근거 결합-ACG×CL 매핑-교육 도구화(루브릭/운영안 전환)의 순서로 수행된다.

설문/판매 데이터는 없으나, 대신 표(앵커·점수-근거-그림(동일 배열 비교)-텍스트(해석)가 하나의 근거 사슬을 이루도록 설계한다. 윤리·안전 범위로서 본 논문은 제작·장착·치수·세부 출력 파라미터 등 재현 지침을 제공하지 않으며, 시장 기대와 경험 메커니즘을 분석하는 범위에 한정한다.

[표 1] 제작 환경

항목	내용
출력 방식	FDM/FFF
재료	PLA
슬라이싱/세팅	Bambu Studio
프린터	Bambu Lab P1S
산출물	외부 사용 액세서리/도구 7종(M1~M7)

3-2. 분석 프레임과 절차

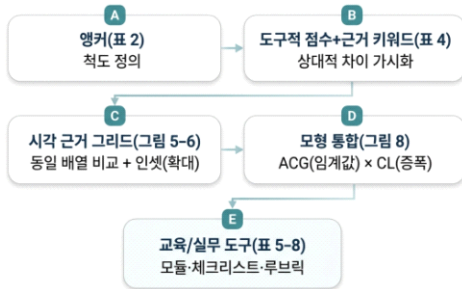
본 연구는 PMF-6R을 통해 니치 상품성의 성립 조건을 6축으로 구조화한다. 여기서 PMF는 제품·시장 적합성(Product-Market Fit)의 약자이며, 6R은 본 연

구가 설정한 여섯 조건 축(표 2)을 의미한다. PMF-6R은 완결된 표준 척도를 자처하기보다, 본 사례에서 반복적으로 등장한 ‘상품성 판단 단서’를 최소 축으로 압축한 RtD 기반 휴리스틱이며, 후속 연구에서 축의 추가 재구성 및 정의 조정이 가능하다.

PMF-6R 점수는 객관적 절대 점수라기보다, 제품 간 상대적 차이를 가시화하여 설명 모형(ACG×CL)의 메커니즘을 드러내기 위한 도구적 수치다. 점수의 차의 성을 줄이기 위해 축별 앵커(표 2), 근거 키워드(표 4), 동일 배열의 시각 근거(그림 5-6), 그리고 모형화(그림 8)를 결합한다. 또한 그림 1의 Stage 4(Strategic fidelity 판단)는 3-2절의 PMF-6R 프레임(그림 2)을 판단 도구로 삼아, 성립 가능한 품질 임계값을 근거 기반으로 도출하도록 설계되었다.



[그림 2] PMF-6R 프레임



[그림 3] 근거 사슬(Chain of Evidence) 흐름도

[표 2] PMF-6R 척도 앵커

축	1점	3점	5점
품질 민감도	결함 영향 낮음	일부 영향	결함이 가치 판단 지배
기능·신뢰 리스크	실패 영향 경미	중간	클레임/불만 가능성 큼
커스터마이징 강도	취향 분화 낮음	중간	매우 파편화

미적 복잡도(ACG)	단색/단순 기대	중간	고급 마감 기대 높음
독특성 가치	대체재 풍부	중간	차별이 핵심
호환·교체성(CL)	독립 단품	제한적	교체/확장이 핵심

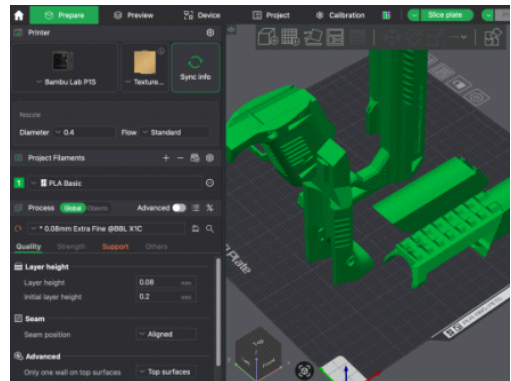
3-3. 신뢰도·한계 관리

PMF-6R 평정의 투명성을 높이기 위해, 본 연구는 각 제품에 대해 (1) 제작 기록(수정 로그), (2) 모델링 캡처, (3) 실물 사진을 상호 대조하는 방식으로 최소 3회 이상의 교차 검증을 수행하였다. 각 회차에서는 표 2의 앵커 정의에 따라 점수를 재확인하고, 점수 변경이 발생한 경우 그 사유를 근거 키워드로 기록하여 표 4에 반영하였다. 따라서 표 4의 수치는 절대적 정답이 아니라, 제품 간 상대적 차이를 재현 가능한 절차로 가시화한 도구적 수치이며, 점수 자체보다 점수와 근거(키워드·시각 근거)의 결합이 논증의 핵심이다.

4. 사례 기술

4-1. 프로젝트 맥락과 제작 워크플로

본 사례는 전문 취미 니치(에어소프트 커스텀)를 대상으로 7종 액세서리를 기획·모델링하고, 제조 전환(슬라이싱/출력)과 기록(아카이브)을 결합해 분석 가능한 형태로 구성한 RtD 기반 실천이다. 제작은 모델링 → 슬라이싱(제조 전환 게이트) → 출력 → 기록의 흐름으로 진행되었다.



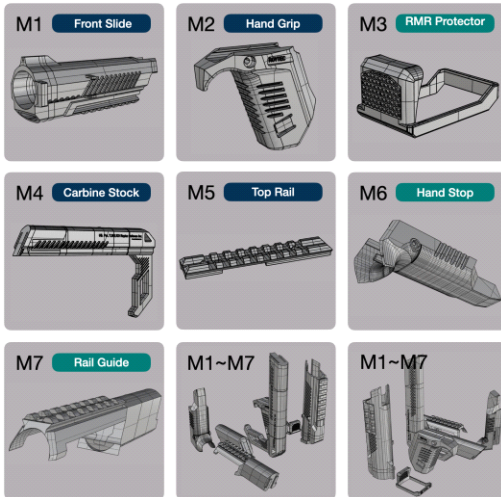
[그림 4] Bambu Studio 출력 준비 화면

4-2. 아티팩트 포트폴리오와 문서화 전략

산출물은 M1~M7의 7종이며, 외형 중심(M1~M2), 인터페이스·사용감(M3~M5), 편의·보호(M6~M7)로 분류된다. 문서화는 논증의 핵심 근거이므로, 조명·배경·거리·각도 등 촬영 조건을 가능한 한 통제하고, 모델링 그리드(그림 5)와 실물 그리드(그림 6)를 동일 순서로 배열했다. 또한 M1의 실루엣 차별과 M3의 접점/정렬 구조는 inset으로 확대하여 텍스트 주장과 시각 근거의 대응을 강화하였다.

[표 3] 제품 개요 및 분류(M1~M7)

번호	제품(요약)	유형	외부 노출	핵심 가치
M1	외형 디자인 보강	외형	높음	실루엣/정체성
M2	RMR 가드	외형	높음	보호+외관
M3	장착 레일	인터페이스	중~높음	확장/정렬 신뢰
M4	핸드그립	사용감	높음	조작성/촉각
M5	견착대	사용감	높음	안정/완성감
M6	BB탄 주입기	편의	중	효율
M7	가스게이지 보호캡	보호	중	보호



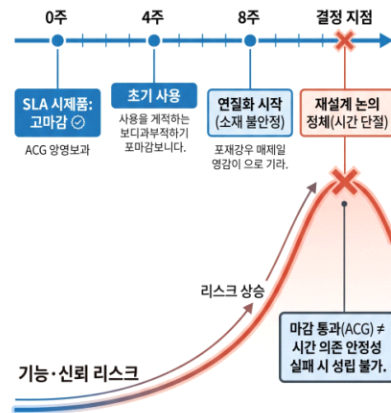
[그림 5] 3D 모델링 화면 그리드(M1~M7)



[그림 6] PLA 기반 FDM/FFF 실물 출력물

4-3. SLA 회고와 전환 리스크

SLA 기반 시도는 출력 직후 마감 품질이 높아 ACG 관점에서 “통과”에 가까웠으나, 약 2개월 이후 물성 변화가 인지되며 기능·신뢰 리스크가 상승했다⁸⁾. 즉 마감(ACG 통과)만으로는 시장 안착이 보장되지 않을 수 있으며, 시간 의존적 소재 안정성이 리스크 축에서 임계값을 넘을 경우 전환 구간(데스밸리)이 발생할 수 있다⁹⁾.



[그림 7] SLA 회고 타임라인

- 임도잔·배서준, 'SLA 3D 프린팅 소재의 후처리에 따른 표면특성 변화 연구', 한국화학공학회, Korean Chemical Engineering Research(화학공학), Vol.60, No.1, 2022. 02. pp. 132-138.
- 김홍화·김대진, '한·미 스타트업 죽음의 계곡(Death Valley) 극복 전략 비교 연구', 한국창업학회, 한국창업학회지, Vol.21, No.1, 2026. 02. pp. 139-164.

5. 결과 및 논의

5-1. PMF-6R 결과와 ACG×CL 메커니즘

표 4는 PMF-6R 점수와 근거 키워드를 함께 제시하여 점수의 자의성을 줄이고, 점수가 제품 간 상대적 차

이를 설명하기 위한 도구적 수치임을 전제로 한다. 본 사례에서는 미적 복잡도(ACG)가 전반적으로 낮게 나타나는 조건에서 제품별 호환·교체성(CL)이 분화되며(특히 M3), 이 분화가 구성 경험의 증폭 가능성을 설명하는 단서로 작동할 수 있음을 시사한다.

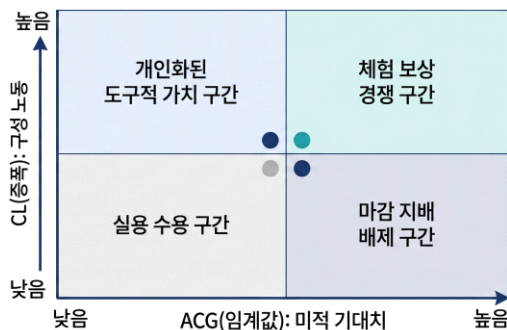
[표 4] PMF-6R 점수(도구적 수치) 및 근거 키워드

제품	품질 민감도	기능 신뢰	커스터마이징	미적 복잡도(ACG)	독특성	호환·교체성(CL)	근거 키워드
M1	5	2	5	2	5	3	단색 실루엣·정체성
M2	4	3	4	1	4	3	단색·보호·기대치
M3	4	3	4	1	3	5	확장/정렬·교체성
M4	4	3	4	1	4	3	사용감·취향 분화
M5	4	4	4	2	4	3	안정 완성감
M6	2	2	3	1	4	2	편의·효율
M7	3	3	3	1	3	2	보호·유지관리

ACG는 결함 패널티를 낮춰 진입을 허용할 수 있는 최소 임계값의 성격을 가지며, CL은 구성 경험을 통해 가치 평가를 추가로 증폭할 수 있는 보상 메커니즘의 성격을 가질 수 있다. 다만 CL은 사용자 반응을 측정해 확정한 결론이 아니라, 교체·장착 구조에서 도출된 설명 가설이다.

5-2. 성립 조건 모델(2×2)과 대안 설명

ACG×CL을 2×2로 정리하면, FDM/FFF 산출물이 성립하는 조건을 네 구간으로 구조화할 수 있다.



[그림 8] ACG×CL 2×2 성립 조건 모델

그림 8은 ACG(임계값)와 CL(증폭)의 조합에 따라 성립 가능성을 네 구간으로 구분하며, 구간별 설계 전략이 기대치 조정(ACG)과 경험 증폭(CL) 중 어디에

무게를 둘지 달라질 수 있음을 보여준다. 다만 기능 신뢰 리스크는 ACG와 CL이 의미 있게 작동하기 위한 전제 조건(경계조건)으로, 시간 의존적 안정성 문제가 임계값을 초과하는 경우에는 ACG×CL 조합과 무관하게 성립이 무력화될 수 있다.

저 ACG × 고 CL 구간에서는 단색/단순 기대치로 결함 패널티가 낮고, 교체·장착 경험이 강해 구성 노동이 가치를 증폭할 가능성이 있다. 저 ACG × 저 CL 구간에서는 결함 패널티는 낮으나 구성 경험은 약해 유용성/편의 중심 제품에서 조건부로 성립할 가능성이 있다. 고 ACG × 고 CL 구간에서는 마감 기대치가 높아 진입이 어렵지만 구성 경험이 강할 경우 일부 상쇄 가능성이 남는다. 고 ACG × 저 CL 구간에서는 마감 기대치가 높고 구성 경험도 약해 FDM/FFF에는 불리하다.

대안 설명도 함께 고려해야 한다. 본 연구는 판매/설문 데이터가 없으므로, 가격 요인, 커뮤니티 유행/희소성, 편의성 자체의 영향 등 다른 요인이 작동했을 가능성을 배제하지 않는다. 또한 SLA 반례는 “ACG 통과”만으로는 충분하지 않을 수 있고, 기능 신뢰 리스크가 시간 경과에 의해 임계값을 넘는 순간 데스밸리가 발생할 수 있음을 시사한다. 이를 그림 8의 2×2 관점에서 해석하면, SLA 사례는 ‘ACG를 통과한 것처럼 보이는 상태(초기)’에서도 시간 경과에 따른 기능 신뢰 리스크가 임계값을 넘으면 성립 가정이 무력화되어 사실상 배제 상태로 전이될 수 있음을 보여주는 상위 게이트(경계조건)로 이해할 수 있다. 다만 본 연구는 SLA

사례의 CL 수준을 측정하지 않았으므로 특정 사본면 “위치”는 단정하지 않고, 리스크 임계값의 효과를 강조한다.

5-3. 교육실무 적용

본 연구의 교육적 함의는 “고정밀(High-fidelity) 결과물을 만들도록 숙련도를 끌어올리는 것” 자체가 아니라, 기술의 한계와 시장 맥락을 함께 읽어 성립 가능한 품질 임계값을 전략적으로 판단하는 역량(Strategic-fidelity)을 학습 성과로 삼는 데 있다. 이러한 방향은 4차 산업혁명 맥락에서 논의되어 온 한국형 메이커 교육의 방향성과도 맥을 같이한다. 즉 학습자는 출력 품질을 무조건적으로 ‘높여야 할 정답’으로 취급하기보다, 특정 시장에서 요구되는 기대치(미적 복잡도)와 실패 시 파급(기능·신뢰 리스크), 그리고 사용 경험의 증폭 구조(구성 노동)를 종합해 “이 수준의 품질이면 성립 가능한가”를 근거와 함께 설명할 수 있어야 한다. 이러한 관점은 3D 모델링을 단순 기술 교육으로 축소하지 않고, 디자인 의사결정(가차·리스크·근거의 조합)으로 확장한다는 점에서 디자인 교육의 목표를 보다 실무적으로 재검열한다.

특히 본 연구에서 제시한 ACG×CL 모형은 학습자가 결함을 “무조건 제거해야 하는 문제”로만 다루지 않고, 결함이 치명적으로 작동하는 조건과 감내 가능한 조건을 구분해 설명 가능한 판단을 수행하도록 돕는다. ACG는 시장 기대치(예: 색/도장 다양성 요구, 고급 마감 기대, 결함 가시성 민감도)가 ‘필터’로 작동하여 동일한 결함이 다른 의미로 평가될 수 있음을 보여주는 임계값 변수다. 반면 CL은 사용자가 선택·교체·장착의 과정을 거쳐 세팅을 완성할 때 가치 평가가 강화될 수 있는 가능성을 제시하는 증폭 변수이며, 본 연구에서는 이를 사용자 데이터를 통해 확정한 결론이 아니라 교체·장착 구조에서 도출된 분석적 가설로 유지한다. 따라서 교육 현장에서 CL은 “이미 검증된 이론”처럼 가르치기보다, 학습자가 자신의 아티팩트 구조를 근거로 가설을 세우고 검증 계획을 제시하는 질문으로 다루는 것이 적절하다.

이와 관련해 그림 9. 구성 노동(CL) 메커니즘 도식(선택·교체·장착·완성감)은 제작 자체가 아니라 구성 과정에서 심리적 소유감이 강화될 수 있는 경로를 정리하며, CL이 ‘통과 조건’이 아니라 ‘통과 이후 가치 증폭의 설명 변수’로 기능할 수 있음을 직관적으로 전달한다. 즉 학습자는 “내가 출력했으니 좋다” 같은 단순 서술을 넘어, 선택·교체·장착의 구조가 어디에서

어떻게 발생하는지(예: 호환·교체성이 높은 구조에서 강화될 수 있음)를 자신의 제품 구조와 비교하며 설명하도록 유도된다.



[그림 9] 구성 노동(CL) 메커니즘 도식

본 연구는 이러한 목표를 단기 워크숍(6주) 형태가 아니라 정규 학기(15주) 운영으로 번역해, 설계·제조 전환·근거 생성·모형화·교육 도구화까지의 전 과정을 충분한 반복과 기록으로 수행하도록 구성한다. 3D 프린팅 기반 메이커 교육 프로그램이 사회문제 해결 맥락에서 설계·적용된 연구도 보고된 바 있다¹⁰⁾. 또한 3D 디자인 소프트웨어를 활용한 메이커 교육이 학습자의 공간 시각화 능력과 같은 인지적 성취와 연결될 수 있다는 결과도 제시된 바 있다¹¹⁾. 15주 모듈의 핵심은 “출력 결과”를 전시하는 것이 아니라, (1) 맥락 관찰(ACG 입력값), (2) 구성 경험 설계(CL 가설), (3) 제조 전환 게이트에서의 제약·선택 기록, (4) 동일 배열의 시각 근거 구축(이미지=데이터), (5) 도구적 점수(PMF-6R)와 모형(ACG×CL 2×2)으로 설명을 정리하는 순환을 학습자가 스스로 수행하게 하는 데 있다. 또한 SLA 회고(반례/경계조건)는 “마감이 좋아도 시간 의존 리스크가 임계값을 넘으면 성립이 중단될 수 있음”을 보여주는 사례로서, 학습자가 장기 안정성·프로

10) 문주영·현은령, ‘SDGs 관련 사회문제 해결을 위한 3D 프린팅 메이커 활용 넷지디자인 교육프로그램 개발 및 적용’, 한국디자인트렌드학회, 한국디자인포럼, Vol.28, No.4, 2023. 11. pp. 117-128.

11) 전재돈·박종석·안지훈·이순찬·이현동·이효령, ‘3D 디자인 소프트웨어를 활용한 메이커 교육이 영재학생들의 공간 시각화 능력에 미치는 영향’, 경북대학교 중등교육연구소, 교사교육연구, Vol.58, No.1, 2019. 03. pp. 81-98.

젝트 지속성(PM)을 품질 판단의 일부로 포함하도록 돕는다.

아래 표 5. 수업 운영(예시: 15주(1학기) 모듈)은 위 흐름을 주차별 산출물 중심으로 제시한다. 이 운영

안의 특징은 매주 산출물이 존재하되, 산출물의 목적이 '결과물 양산'이 아니라 근거 사실을 구성하는 조각(관찰→의사결정 로그→시각 근거→모형화→교육적 번역)을 누적하는 데 있다는 점이다.

[표 5] 수업 운영(예시: 15주 모듈)

주차	목표	산출물	핵심 포인트
1주	오리엔테이션/문제지식 정렬	수업 개요 1p + 니치 선정 메모	'효과평가'가 아니라 RtD 기반 모형 구축과 제조 리터러시를 목표로 설정
2주	니치 리서치(시장 맥락)	니치 관찰 로그 + 경쟁/레퍼런스 보드	단색 규범/기대치/구매 포인트를 정성 관찰로 기록(ACG 가설 입력값)
3주	ACG 적용(기대치 필터링)	ACG 맵 초안(텍스트/간단 도식)	결함이 언제 치명적인지/감내 가능한지 조건을 언어화(가설 톤 유지)
4주	CL 적용(구성 노동)	CL 시나리오(선택-교체-장착)	제작이 아닌 '구성 경험' 가치 지점을 설계(가설)
5주	제품 브리프/요구정의	제품 브리프 1p	제품 유형(외형/인터페이스/편의)과 핵심 논증 포인트 확정
6주	모델링 초안	모델링 v0 + 스크린샷	실루엣 vs 접점/정렬 중 무엇을 증명할지 선택
7주	접점/정렬 논리 강화	모델링 v1 + 접점 설명 메모	'장착 신뢰(해석상)'로 연결될 구조를 모델링에서 드러내기
8주	제조 전환 게이트 학습	슬라이싱 캡처 + 의사결정 로그	계약→선택 기록(근거 사실의 핵심 데이터)
9주	1차 테스트 출력/관찰	테스트 출력 사진 + 관찰 메모	표면 결/경계부를 ACG 관점으로 해석
10주	수정-재출력(반복)	모델링 v2 + 출력 v2 + 수정 로그	"왜 바꿨는가"를 기록해 검토 가능성 강화
11주	PMF-6R 평가(도구적 점수)	점수표 초안 + 근거 키워드	점수는 절대값이 아닌 상대 차이 가시화 도구임을 명시
12주	시각 근거 제작(그리드/인셋)	모델링 그리드 + 실물 그리드	동일 배열/인셋 확대 등 이미지=데이터 규칙 적용
13주	ACG×CL 2×2 모형화	2×2 매핑 + 구간 해석 문단	ACG(임계값)과 CL(중폭) 역할 분리 및 사분면 명명
14주	교육용 번역(도구화)	체크리스트/루브릭 적용 예시	Strategic-fidelity 판단을 학습성과로 연결
15주	최종 발표/리플렉션	최종 발표자료 + 반성적 기록 1p	"무엇을 만들었나"가 아니라 "왜 성립 가능한가"를 근거로 설명

평가와 피드백은 단순 완성도 중심 채점이 아니라, 설명 가능한 근거 구축 능력을 중심으로 수행하는 것이 적절하다. 이를 위해 본 연구는 표 6~표 8의 도구를 교육 현장에 직접 적용 가능한 형태로 제안한다. 먼저 표 6(제조 리터러시 체크리스트)는 학습자가 ACG/CL/리스크/독특성/지속성을 빠짐없이 점검하도록 돕는 최소 질문 세트이며, "좋아 보인다/안 좋아 보인다" 같은 미감 중심 평가를 "무엇이 임계값을 넘는가"라는 판단 중심 평가로 전환한다. 다음으로 표 7(평가 루브릭)은 학습자 산출물이 '설명 구조'를 갖추었는지(맥락 설명, 경험 설계, 리스크 인지, 근거 제시, 기록)를 기준으로 평가하도록 하여, 설명이 없는 상황에서도 교육 성과를 절차적으로 평가할 수 있도록 한다. 마지막으로 표 8(이미지 기록 체크리스트)는 이미지가 단순 첨부가 아니라 데이터로 기능하도록(동일 조명/구도/배열/인셋/비교 포인트) 통제하는 규칙을 제공하며, 디자인리서치 학회 맥락에서 도판의 권

위를 높이는 데 기여한다.

[표 6] 제조 리터러시 체크리스트

항목	점검 질문
ACG	시장의 색/마감 기대치가 높은가? 결함은 치명적인가?
CL	선택-교체-장착으로 완성감을 주는 지점이 있는가?
리스크	시간 경과/사용에서 가능 신뢰 리스크는 무엇인가?
독특성	대체 불가능한 차별성이 있는가?
지속	일정/역할/소통이 유지되는가?

[표 7] 평가 루브릭(Strategic-fidelity 중심)

항목	상(3)	중(2)	하(1)
맥락 설명	ACG로 기대치 설명	일부	없음
경험 설계	CL 지점 명확	일부	없음

리스크 인지	가능·실패 리스크 제시	일부	없음
근거 제시	표·그림 기반 설득	일부	나열
기록	수정/판단 로그	일부	없음

[표 8] 이미지 기록 체크리스트

항목	기준
조명/배경	동일 조건 유지
구도	거리·각도 동일
배열	동일 순서 그리드
Inset	M1·M3 확대
캡션 (비교 포인트)	비교 포인트 포함

종합하면, 15주 운영안은 학습자에게 “출력물의 완성성”만을 목표로 요구하지 않고, ACG×CL 모형을 통해 시장 기대치와 사용자 경험 구조를 근거로 ‘적정 품질’을 판단하는 능력을 체계적으로 훈련하도록 설계되어 있다. 이때 수업 성과는 “더 매끈한 출력”이 아니라, “왜 이 제품이 이 맥락에서 성립 가능한지(또는 불가능한지)”를 표·그림·로그로 구성된 근거 사슬로 설득력 있게 설명할 수 있는지에 의해 평가된다.

6. 결론

6.1 결론 요약과 기여

본 연구는 3D 모델링 교육을 만족도 중심 “수업 효과” 평가로 환원하기보다, 디자인 실행 연구(RtD) 관점에서 기술적 한계가 시장 맥락 속에서 어떻게 전략 변수로 재구성될 수 있는지 설명하는 모형을 구축하는데 목적을 두었다. 이를 위해 에어소프트 커스텀 니치 마켓을 대상으로 7종(M1~M7) 아티팩트를 기획·모델링·출력(PLA 기반 FDM/FFF)하고, 제작 로그·슬라이딩 캡처·시각 근거 그리드 등을 아카이빙하여 설문/판매 데이터가 없는 조건에서도 검토 가능한 논증을 구성하는 근거 사슬(Chain of Evidence) 방식으로 분석을 수행하였다.

첫째, 본 연구는 FDM/FFF 출력물의 표면 결을 “제거해야 할 결함”이 아니라 시장 기대치에 의해 통과/탈락이 달라질 수 있는 임계값 변수로 개념화하여 미적 복잡도 게이팅(ACG)으로 제시하였다. 단색 중심 맥락에서 색/도장 다양성 요구가 낮게 형성될 경우 평가의 무게중심이 ‘도장/색’에서 ‘실루엣/아이디어/세팅 정체성’으로 이동할 가능성을 맥락적 가설로 제안하고, 이를 정성 관찰과 아티팩트 비교(모델링·실물 그리드 및

인셋)로 근거화하였다. 둘째, IKEA effect를 “제작 프리미엄”으로 단순화하지 않고, 사용자가 선택·교체·장착으로 세팅을 완성하는 과정을 구성 노동(CL)로 재해석하여 가치 평가를 증폭할 가능성이 있는 경로로 제시하였다. 다만 CL은 사용자 반응을 측정한 확정 결론이 아니라 구조로부터 도출된 분석적 가설로 유지된다. 셋째, 단일 사례가 “사용기”로 축소되는 위험을 줄이기 위해 산출물을 인식적 도구로 규정하고, PMF-6R을 표준 척도 대신 RtD 기반 휴리스틱으로 선언함으로써 앵커·점수/키워드·시각 근거·모형화의 절차적 정합성을 강조하였다.

교육적으로는 고정밀 결과물(High-fidelity) 자체를 목표로 삼기보다, 시장 리스크 경험 변수를 고려해 성립 가능한 품질 임계값을 판단하는 Strategic-fidelity 역량을 학습 성과로 제안하였다. 이를 위해 15주(1학기) 운영안(표 5)과 체크리스트/루브릭/이미지 기록 규칙(표 6~8)을 제시하여, “무엇을 만들었는가”보다 “왜 이 맥락에서 성립 가능한가”를 근거로 설명하는 능력을 중심에 두었다. 또한 SLA 회고는 마감이 좋아도 시간 의존적 안정성 문제가 가능·실패 리스크를 임계 이상으로 끌어올리면 데스밸리가 발생할 수 있음을 보여주는 경계조건으로 작동한다.

6.2 한계와 후속 연구

본 연구는 설문/판매 데이터가 없는 단일 프로젝트 기반 연구이며, CL은 분석적 가설이므로 후속 검증이 필요하다. 또한 ACG의 정성 관찰은 정량 코딩이나 대표 표본을 확보한 결과가 아니라 현장 메모에 기반하므로, 후속 연구에서는 더 체계적인 내용 분석이나 표본 설계를 통해 가설의 강도를 높일 필요가 있다.

후속 연구는 (1) 사용자 인터뷰/설문/과업 기반 실험을 통해 CL의 작동 여부와 조건(교체성 수준, 선택 폭 등)을 분리 측정하고, (2) 판매 페이지·커뮤니티 담론 분석으로 “마감 기대치/단색 규범”이 어떻게 구성되는지 추적하며, (3) 장기 사용 관찰을 통해 시간 의존 리스크(변형·파손·연질화 등)를 리스크 축으로 체계화하는 방향이 적절하다. 또한 본 연구의 일반화는 통계적 일반화가 아니라 분석적 일반화로서, 단색/기능 중심 커스터마이징 니치나 모듈 교체 문화가 발달한 시장(예: 자전거 커스텀 파츠, 전문 장비 외부 장착 파츠 등)에 모형을 재적용하고 경계조건을 비교함으로써 범용성과 한계를 함께 정교화할 수 있다.

참고문헌

1. 김아영, '자기결정성이론과 현장 적용 연구', 한국교육심리학회, 교육심리연구, 2010.
2. 김완석·김영재, '소비자의 독특성 욕구와 소비행동: 구매목적과 상품유형과의 상호작용', 한국심리학회, 한국심리학회지: 소비자·광고, 2005.
3. 김형석·김성훈, '이케아 제품과 공간에 적용된 사용자 경험디자인에 관한 연구', 한국디자인문화학회, 한국디자인문화학회지, 2014.
4. 김흥화·김대건, '한·미 스타트업 죽음의 계곡(Death Valley) 극복 전략 비교 연구', 한국창업학회, 한국창업학회지, 2026.
5. 문주영·현은령, 'SDGs 관련 사회문제 해결을 위한 3D 프린팅 메이커 활용 네티지디자인 교육프로그램 개발 및 적용', 한국디자인트렌드학회, 한국디자인포럼, 2023.
6. 배재을·박영우·석진만·권은경·남택진, '디자인 실무와 연구의 연계 촉진을 위한 디자인 연구 분류 체계 제안', 한국디자인학회, 디자인학연구, 2012.
7. 변문경·최인수, '4차 산업혁명 시대 한국형 메이커 교육의 방향성 탐색', 한국공학교육학회, 공학교육연구, 2018.
8. 서문식·유제은·노태석, '고객참여: 반(半)제품 조립과정에서 지각된 즐거움과 제품가치 평가', 한국마케팅관리학회, 마케팅관리연구, 2015.
9. 이미정, '창의성과 협업을 위한 PBL 포스터 디자인 교육의 효과 분석', 한국상품문화디자인학회, 상품문화디자인학연구, 2025.
10. 임도진·배서준, 'SLA 3D 프린팅 소재의 후처리에 따른 표면특성 변화 연구', 한국화학공학회, Korean Chemical Engineering Research(화학공학), 2022.
11. 전재돈·박중석·안지훈·이순찬·이현동·이효녕, '3D 디자인 소프트웨어를 활용한 메이커 교육이 영재학생들의 공간 시각화 능력에 미치는 영향', 경북대학교 중등교육연구소, 교사교육연구,