

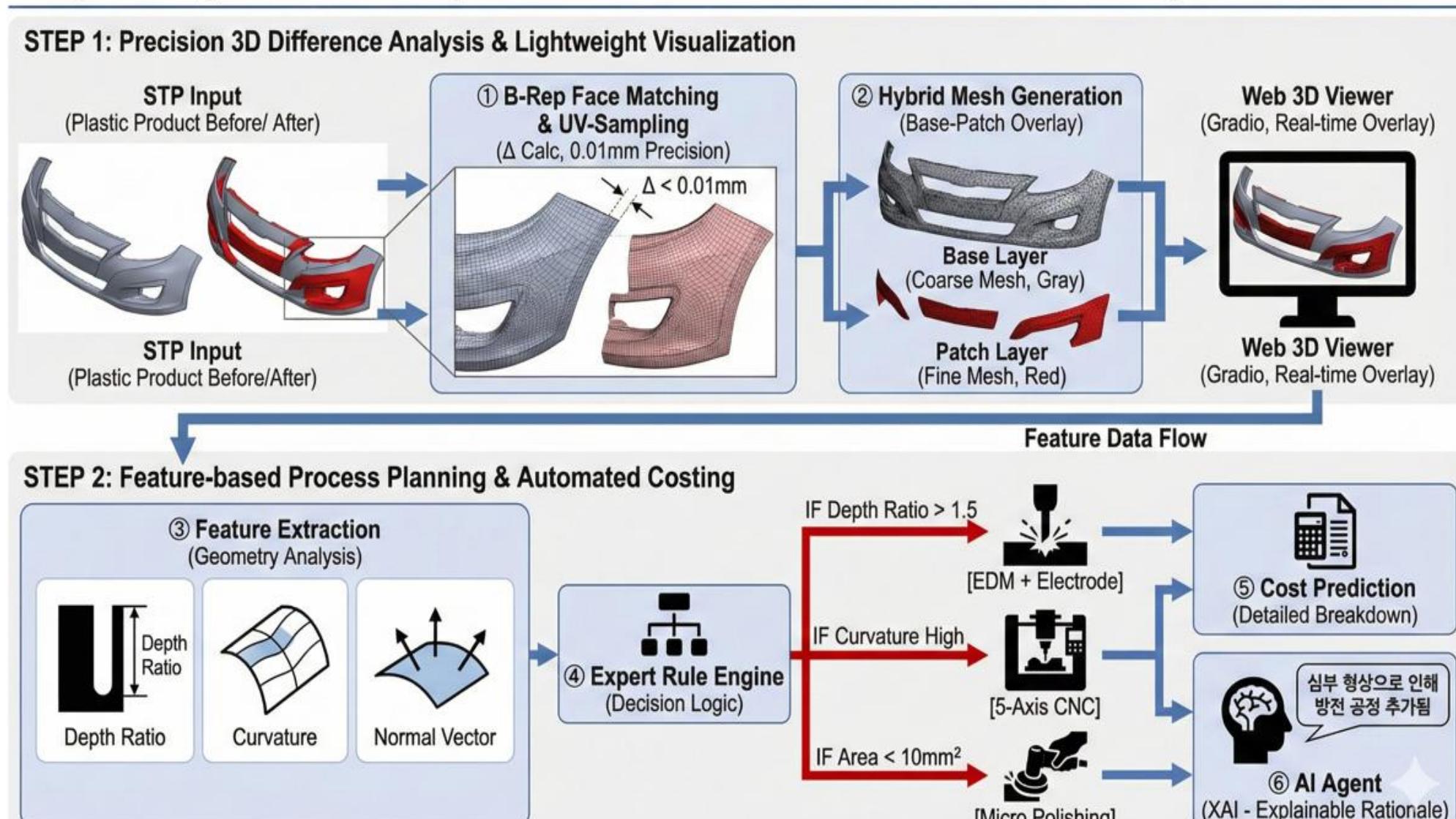
Intelligent Agent for Automated Process Planning and Cost Estimation in 3D CAD Design Changes of Plastic Products

연구 주제

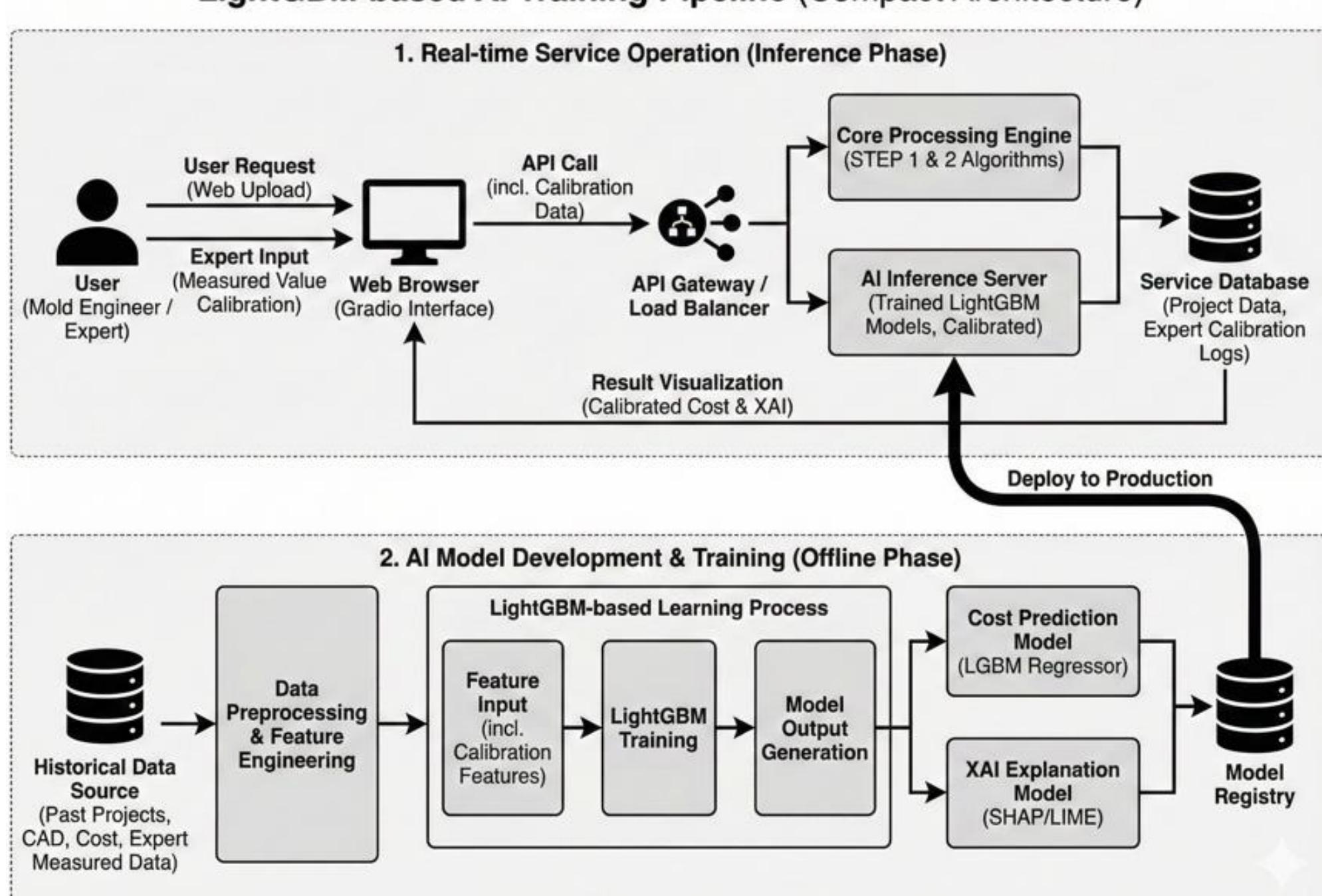
- 3D CAD 설계 변경 시 형상 특징 기반 자동 공정 판별 및 상세 원가 산출을 통한 제조 지능화 기술 개발
- 플라스틱 제품 설계 변경 대응을 위한 초경량 3D 시각화 · 설명 가능한 AI 기반 공정 최적화 및 견적 자동화 에이전트 구축

연구 목표 및 연구내용

Proposed Algorithm for Intelligent Plastic Product Modification Process Planning & Cost Estimation



Integrated Intelligent Plastic Product Modification System & LightGBM-based AI Training Pipeline (Compact Architecture)



주요 성과

- 확보 기술**
 - 3D CAD 설계 변경 자동 분석·공정 라벨링·원가 산출 에이전트 기술 확보
 - 초경량 3D 시각화 및 설명 가능한(XAI) 견적 예측 기술 구현
- 주요 성과**

구분	성과 내용
공정 설계 자동화	수작업 분석(평균 4시간) → 3분 이내 처리 (약 98% 시간 단축)
공정 판별 정확도	형상 특징 기반 NC vs EDM 판별 정확도 90% 이상 확보
데이터 경량화	STEP 150MB → GLB 5MB 변환 (압축률 96%) 웹 로딩 속도 2분 미만
견적 산출 정밀도	7대 세부 공정(설계 · NC · 방전 · 전극 · 사상 · 용접 · 기타)별 상세 내역 자동 산출

연구 목표

- 초정밀 변경 감지:** B-Rep 면 단위 분석으로 0.01mm 금 형상 변화 추출
- 공정 자동 라벨링:** 깊이·곡률·면적 분석으로 CNC, EDM 등 공정 자동 할당
- 초경량 시각화:** 대용량 3D 데이터 Patch Overlay로 웹 실시간 확인
- 설명 가능한 견적(XAI):** LLM 기반 공정·비용 산출 근거 설명 에이전트 구축

연구 내용

- B-Rep 기반 형상 차이 정밀 추출 (Precision Difference Extraction)**
 - Face Matching 알고리즘**
STEP 위상 정보 유지 → B-Rep Face 자동 매칭 (인접 관계·파라메트릭 활용)
 - UV-Sampling Diff 기법**
매칭된 Face의 UV 공간에서 격자 샘플링 → 편차 $\Delta(u,v)$ 직접 계산
 - Patch Extraction**
 $\Delta \geq 0.01\text{mm}$ 영역 추출 → 노이즈 제거된 변경 영역 확보
- 웹 기반 초경량 3D 시각화 (Super-Lightweight Visualization)**
 - 경량화 알고리즘**
Mesh Simplification + Transparency Rendering
용량 90% 이상 감축, STEP(100MB 이상) → 5MB 미만 GLB 변환
 - Base-Patch Overlay Architecture 개발**
전체 형상 저해상도 (Coarse Mesh) + 변경 부위 고해상도(Fine Mesh)
- 형상 특징 기반 공정 자동 라벨링 (Feature-based Process Labeling)**
 - Rule-Engine 알고리즘**
 - Depth Ratio 계산: 깊이/폭 비율 $\geq 1.5 \rightarrow$ EDM + Electrode 자동 할당
 - Normal Vector 분석: 언더컷 감지 시 5축 CNC 또는 슬라이드 구조 분류
 - Area Threshold 적용: 면적 $< 10\text{mm}^2 \rightarrow$ Polishing 및 미세 공구 할증
 - 자동 라벨링 로직**
기하학적 특징(깊이·곡률·면적·범선)을 기반으로 **공정별 라벨링** 수행

활용 및 향후 계획

연구결과 활용분야

- 플라스틱 제품 설계·제조 현장: 설계 변경 시 즉각적인 공정 난이도·비용 예측
- 제조업 견적·영업 지원: 발주처-공급사 간 비용 투명성 확보 및 협상 효율화
- DFM 지원: 설계 단계에서 비용 효율적 설계안 도출 가능
- 엔지니어링 지식 자산화: 숙련 전문가의 경험을 AI 시스템으로 보존·재활용

향후 추가 연구 내용 및 목표

- 정밀도 고도화:** 마이크로 단위 형상 변화 검출 알고리즘 개발
- 공정 라벨링 확장:** 프레스, 주조 공정까지 자동 판별 범위 확대
- AI 모델 고도화:** 예측 정확도 95% 이상 달성을 위한 학습 데이터셋 확충
- 실시간 협업 기능:** 클라우드 기반 다자간 동시 견적 검토·수정 시스템 구축