

순환 골재 콘크리트의 최저가 배합비를 역설계하는 AI 모델 개발

Optimization of Recycled Aggregate Concrete Mixes : An Inverse AI Model for Minimum Material Expenditure

전우영 · 김재경 · 문경준 · 박효준 · 장민석 · 장준빈 | 2026 SOC 종합설계



1. 연구 개요

1. 연구 배경

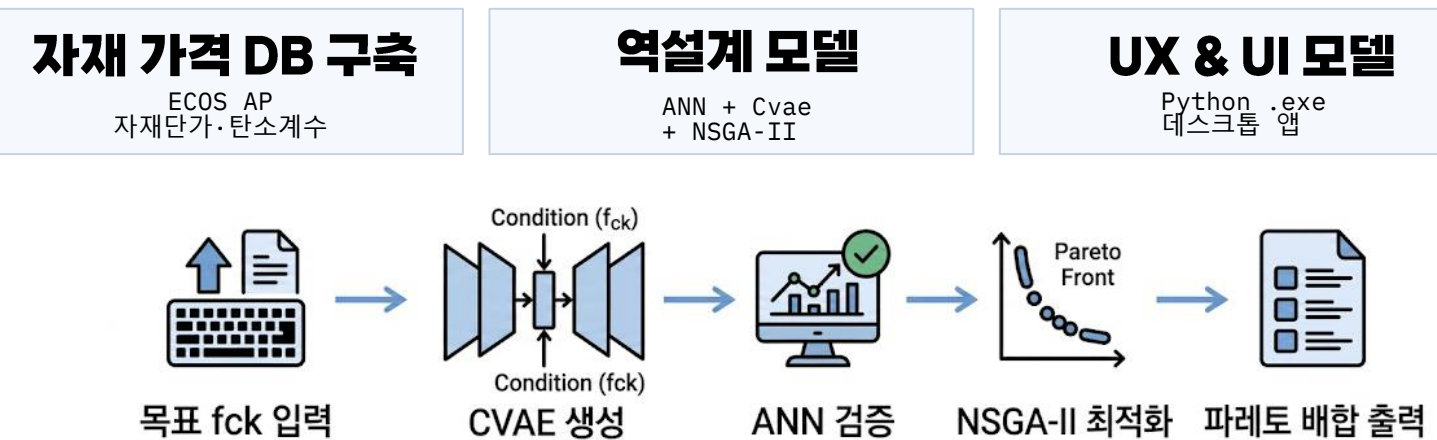
천연 골재 자원 고갈 심화 및 환경 규제
도로포장재로 콘크리트 수요 증가
기존 배합설계 시행착오 반복으로 고비용
순환 골재는 경제성이 높지만 품질 변동성
으로 인해 목표 강도 확보에 대한 신뢰가 낮음

순환 골재 콘크리트의
적정강도, 비용을 만족하는
역설계 모델로 순환골재의
품질 변동성을 극복

2. 연구 목표

- 배합시험 반복 횟수 및 소요 비용 절감
- 재료비, 탄소 배출량 최소화 목적 함수를 통해 경제적, 친환경 배합 탐색

3. 개념설계



2. 연구 내용

1. 데이터 및 전처리

Data & Preprocessing

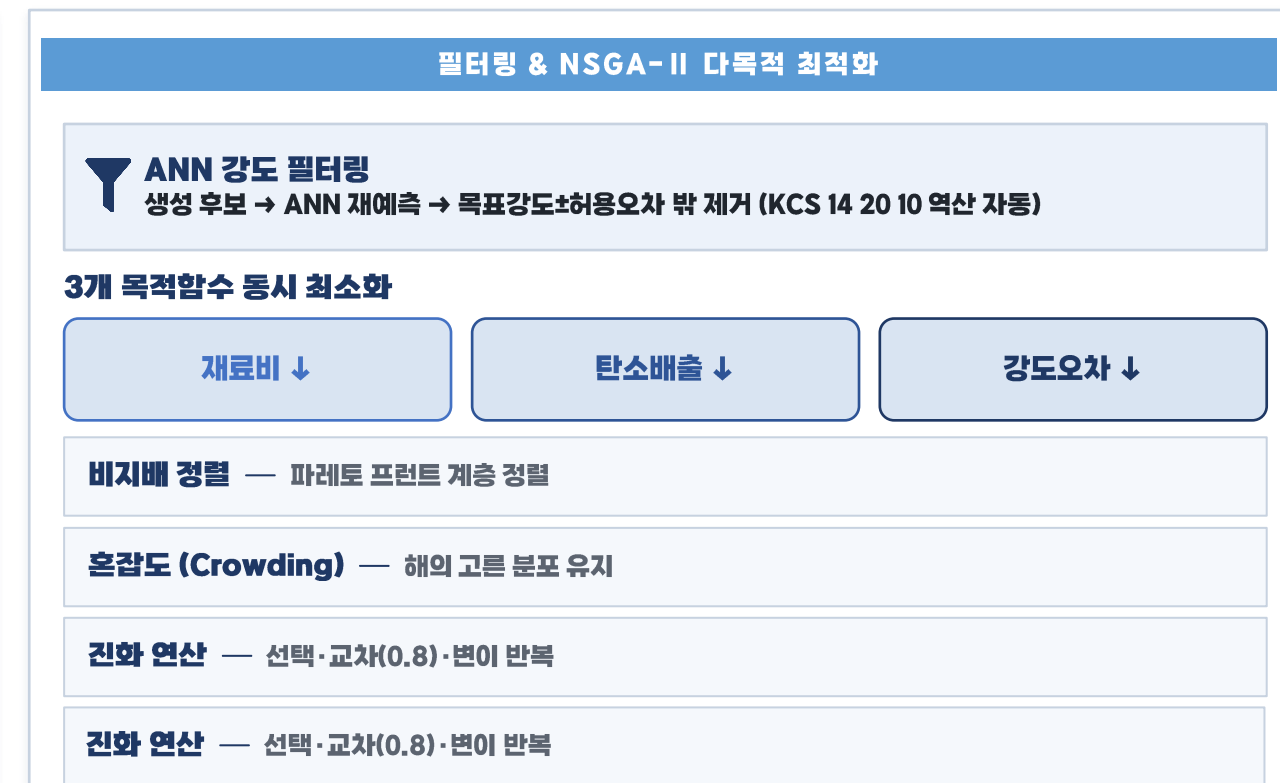
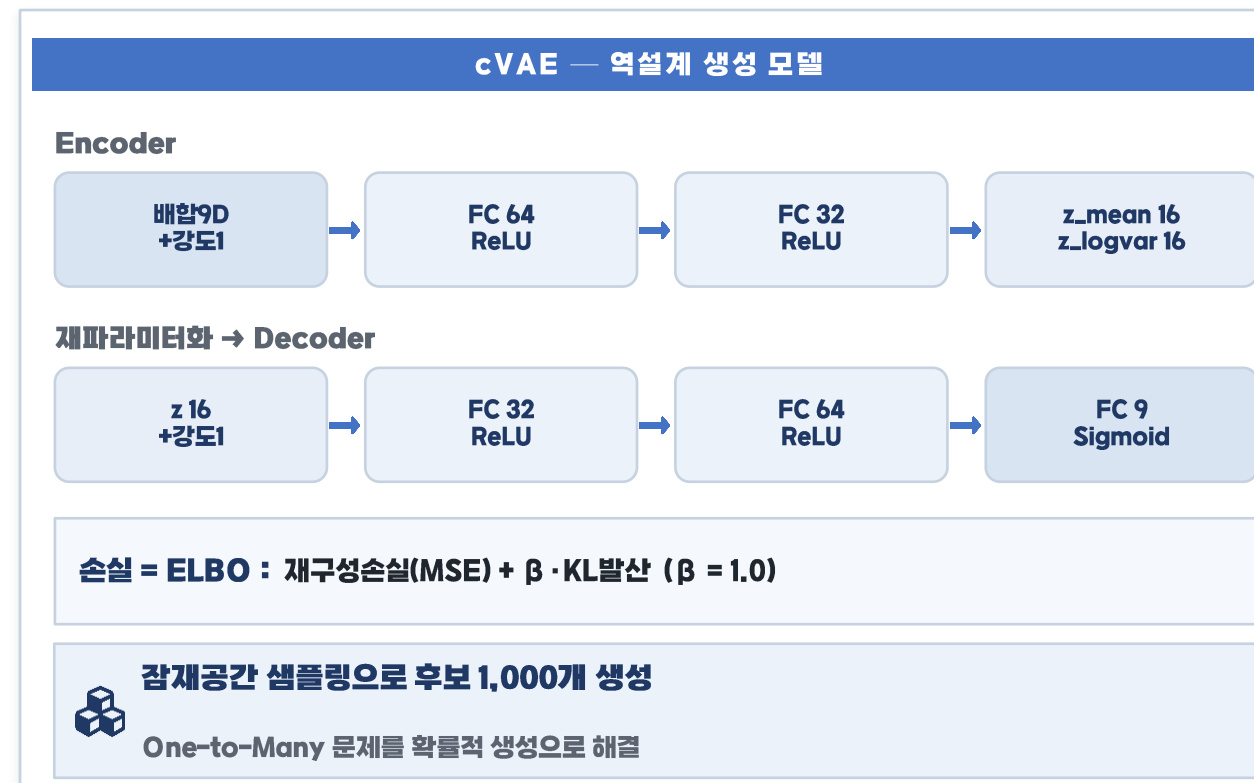
데이터셋 · DATASET	
수집 국가	실험 문헌
24개국	76편
배합 그룹	학습 샘플
1,674개	808개
아르헨티나·오주·브라질·캐나다·중국·인도·이탈리아·한국 등 24개국	
재령 28일 기준 · 원주형 공시체 형상 보정계수 적용	
실험 문헌 76편에서 추출한 1,674개 배합 그룹 → 학습 808개	



2. 시모델 파이프라인

Model Pipeline

ANN — 순방향 강도 예측				
네트워크 구조 (BO 자동 결정)				
입력	은닉1	은닉2	은닉3	출력
9D	ReLU	ReLU	ReLU	강도
학습 기법				
ReLU	Adam	Early Stopping	학습률 감쇄	Bayesian Opt.
5-Fold 교차검증 결과				
평균 R ²	최종 R ²			
≈ 0.72	0.7814			
RMSE	K-Fold R ²			
7.35 MPa	0.65-0.80			



3. 앱 개발

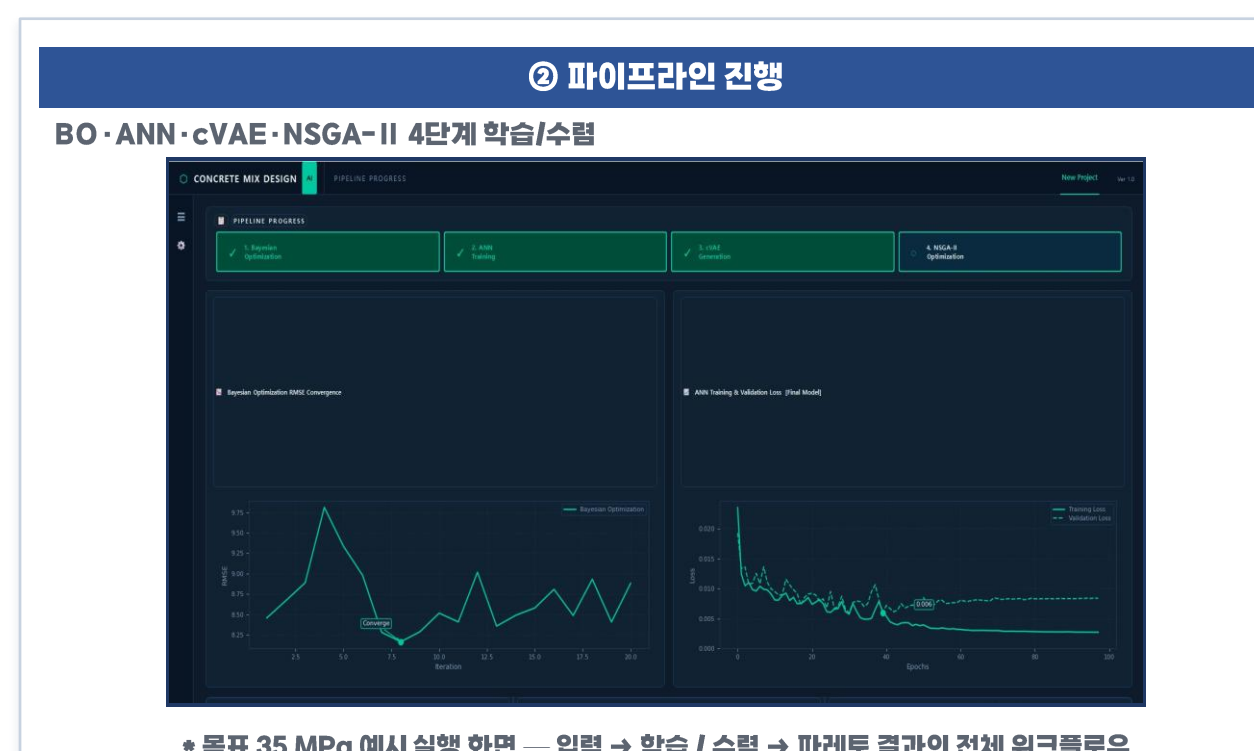
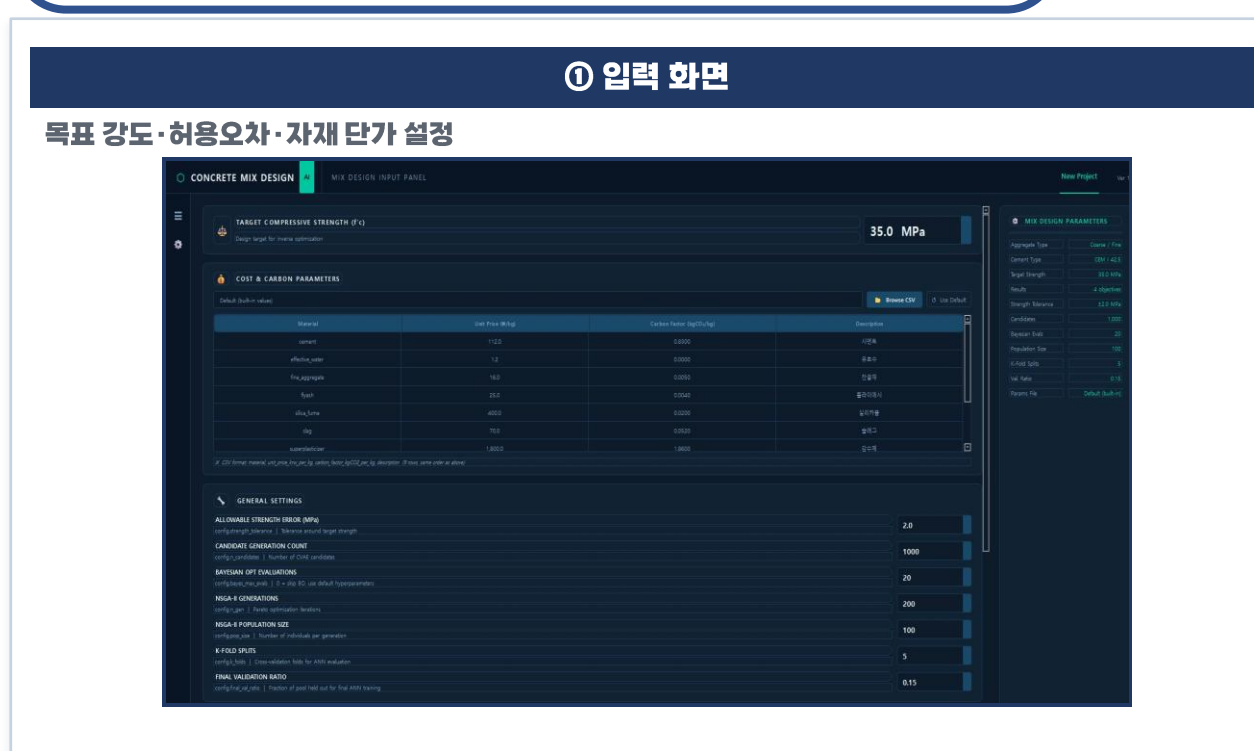
Application Development

개발 스택 · TECH STACK	
AI 모델 — MATLAB Deep Learning Toolbox Global Optimization Toolbox Statistics & ML Toolbox main.m → train_ann → train_cVAE → run_nsga2	UI 앱 — Python Python 3.11 · TensorFlow (h5py) matplotlib / contourpy Pyinstaller → .exe 패키징 ConcreteMixDesignAI.exe

출력 결과물 · OUTPUT FILES	
pareto_3d.png	3D 파레토 산점도 (탄소 × 비용 × 강도오차)
mix_comparison.png	4가지 대표 해 재료 비교 차트
mix_detail*.png	배합별 수평 바차트 + 성능 지표
pareto_all.csv	전체 파레토 최적해 데이터 저장

4. 앱 구동화면

Application UI Flow



3. 실험 및 검증



배합 구분	하중 (KGF)	실험강도 (MPa)	예측강도 (MPa)	목표 오차 (MPa)	예측-실험 오차	판정
30강도 (1)	11170	14.79	30	15.21	+15.21	NG
30강도 (2)	9855	13.05	30	16.95	+16.95	NG
30강도 (3)	11143	14.75	30	15.25	+15.25	NG
30비용 (1)	14070	18.63	27.83	11.37	+9.20	NG
30비용 (2)	15780	20.89	27.83	9.11	+6.94	NG
30비용 (3)	13800	18.27	27.83	11.73	+9.56	NG
30탄소 (1)	20950	27.74	27.18	2.26	-0.56	OK
30탄소 (2)	17845	23.63	27.18	6.37	+3.55	OK
30탄소 (3)	16525	21.88	27.18	8.12	+5.30	OK

배합 구분	하중 (KGF)	실험강도 (MPa)	예측강도 (MPa)	목표 오차 (MPa)	예측-실험 오차	판정
35강도 (1)	20186	26.73	35	8.27	+8.27	OK
35강도 (2)	21175	28.04	35	6.96	+6.96	OK
35강도 (3)	20655	27.35	35	7.65	+7.65	OK
35비용 (1)	21715	28.75	32.13	6.25	+3.38	OK
35비용 (2)	16170	21.41	32.13	13.59	+10.72	NG
35비용 (3)	16100	21.32	32.13	13.68	+10.81	NG
35탄소 (1)	18785	24.87	32.05	10.13	+7.18	NG
35탄소 (2)	18175	24.06	32.05	10.94	+7.99	NG
35탄소 (3)	21745	28.79	32.05	6.21	+3.26	OK

4. 기대효과 및 한계

- 경제적 효과**
 - 노무비, 품질 시험비를 고려하지 않은 배합설계 시험 횟수 1회 줄일수록 40일의 시간과 1,944,410원 절감 [국도교통부 고시, 2026년 건설공사 품질시험 수수료 및 처리기간]
 - 제시된 순환 골재 콘크리트 배합은 표준 배합 대비 재료비 20% 감소
- 환경적 효과**
 - 건설 폐기를 자원 순환 체계 확립 및 환경 파괴 유발 천연 골재 대체
 - 탄소 최우선 배합안의 경우, 연간 168만 톤 이상의 CO₂ 저감
- 사회적 효과**
 - 순환 골재 인식 개선과 배합 다양화로 한정된 예산으로 전략적 판단 가능
- 한계**
 - 28MPa 이하의 저강도 구간 데이터의 부족으로 해당 구간 신뢰도 저하 → 데이터 증강 기법, 앙상블 접근
 - 슬럼프, 공기량 변수가 제거되어 적당성, 내구성 문제 발생 가능 → 슬럼프, 공기량 포함 데이터 수집 및 ANN에 슬럼프 브랜치 추가
 - 현재 사용하는 자재 단가 API에서 혼화재,혼화재 가격이 제공되지 않아 2024년 기준 → 추정치 사용, 정확한 가격은 한국물가협회, 건설물가정보에서 수동 업데이트