



폐콘크리트 슬러지를 이용한 콘크리트 강도 예측

권준우, 이재혁, 이종세, 전성민, 임도현, 박준호
 서울시립대학교 토목공학과 23-2학기 SOC "슬러지들"

개발 과제의 개요 및 요약

폐콘크리트의 순환골재 가공 중에 발생하는 슬러지를 콘크리트 시멘트에 치환
 해당 과정을 통해 슬러지를 재활용하여 경제적, 사회적, 친환경적인 슬러지 처리방안 강구를 위해 해당 개발 과제 수행
 해당 콘크리트설계 압축 강도 21MPa에 해당하는 배합 설계를 기준으로 변수(W/B, 시멘트 치환율)를 달리하여 압축 강도를 실제 측정 실시
 강도를 기준으로 DNN, Random Forest, XGBoost, 유전 알고리즘을 사용하여 강도 발현에 유리한 배합 찾기

설계 배합 설정

- 비공기 연행 콘크리트 골재 치수 25mm 표준배합표를 참조했다. 실험 시 사용하는 콘크리트 질량은 12kg이다. 표준배합표를 12kg 기준으로 변환했다. 사용할 변수는 시멘트 치환율(C), 물-시멘트비(W/C)이다.([표 1], [표 2] 참조.)
- 시멘트의 치환율은 0%~50%로 설정했다. 물-시멘트비의 범위는 45%~60%로 설정했다. 다른 선행하는 연구에서 시멘트의 치환율의 범위가 0%~30%가 적절하다고 나타냈다. 본 실험에서는 데이터 확보와 물-시멘트비에 변화를 주기에 시멘트 치환율의 범위를 늘려 조정했다.

[표 1. 비공기 연행 콘크리트 골재치수 25mm기준 표준배합표(1000kg 기준)]

W/C(%)	S/a(%)	C(kg)	W(kg)	S(kg)	G(kg)
42	39.12	161	67	302	470

[표 2. 실험에 사용한 배합표]

Sludge(%) W/B(%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
45	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
50	NO.12	NO.13	NO.14	NO.15	NO.16	NO.17	NO.18	NO.19	NO.20	NO.21	NO.22
55	NO.23	NO.24	NO.25	NO.26	NO.27	NO.28	NO.29	NO.30	NO.31	NO.32	NO.33
60	No.34	No.35	No.36	No.37	No.38	No.39	No.40	No.41	No.42	No.43	No.44

공시체 제작 및 압축강도 측정 과정

[그림3. 공시체 제작 과정 및 압축강도 측정(UTM 이용)]

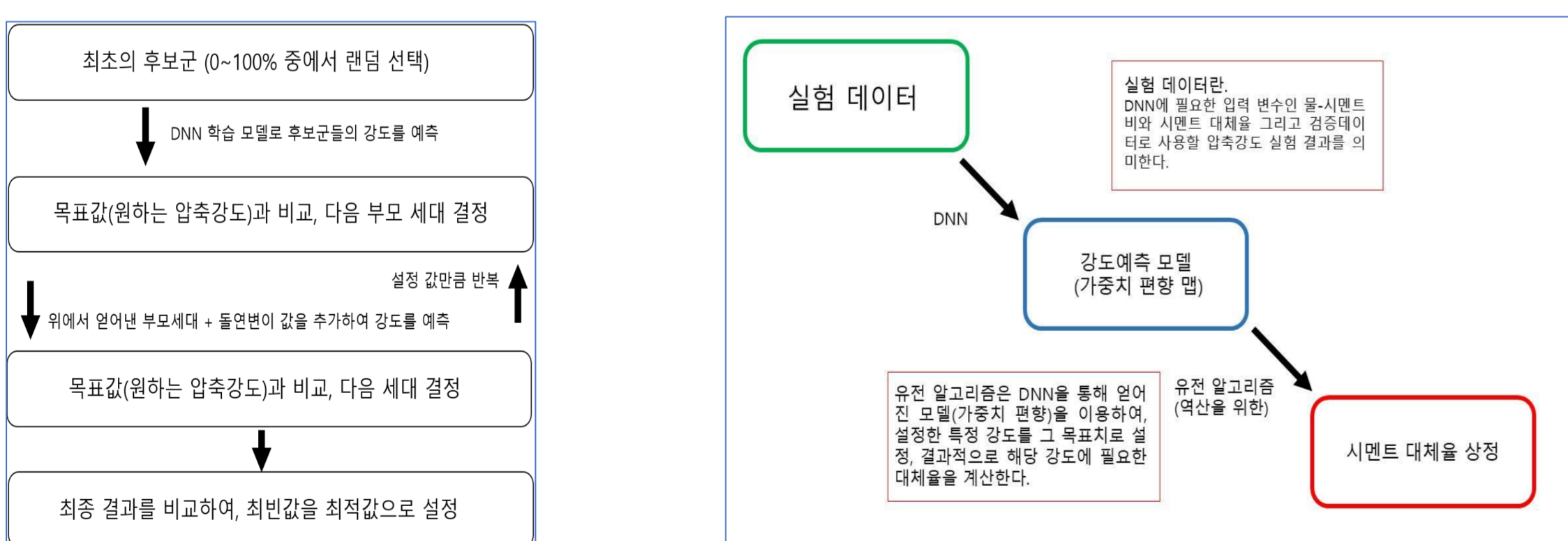
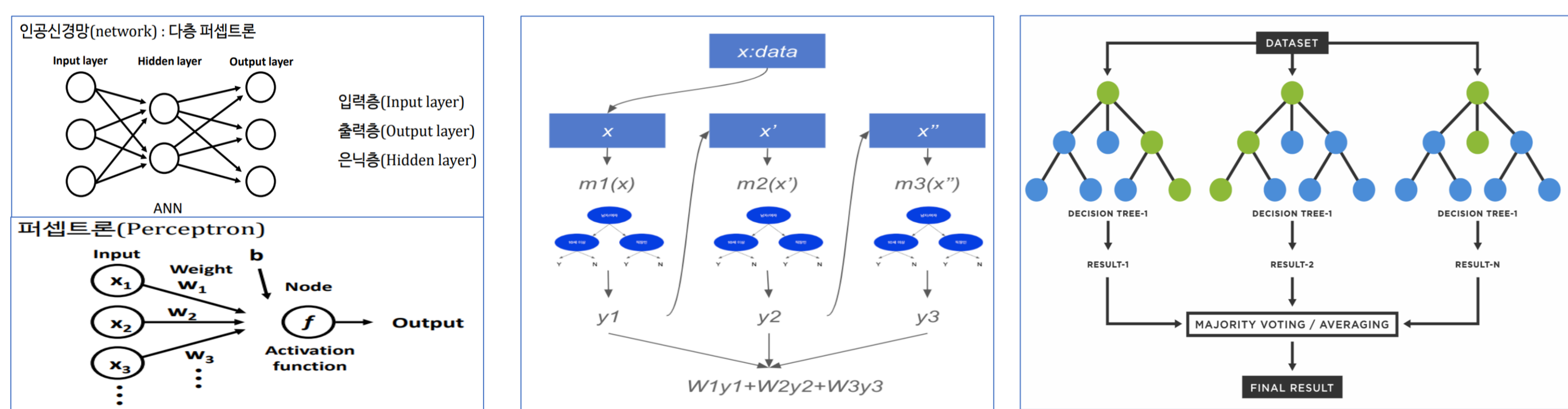


- 실험은 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)에 의하며, 공시체의 제작은 KS F 2403(콘크리트 압축강도용 공시체 제작방법)에 의하여 실시하였다.
- 공시체의 표준규격(Ø100)을 사용하였기에, 강도 보정계수 0.97을 곱하여 압축 강도를 보정하였다.(보정계수 산정은 KS F 규정집을 참고)
- 해당 실험은 시간적 제약으로 인해 14일 양생을 진행하였다. 이에 대한 공식적으로 적용하는 계산식이 없기에, 국내 소개식(콘크리트학회)을 사용하였다. ($f_{28} = x + 8\sqrt{x}$), $x = 14$ 일 제령강도

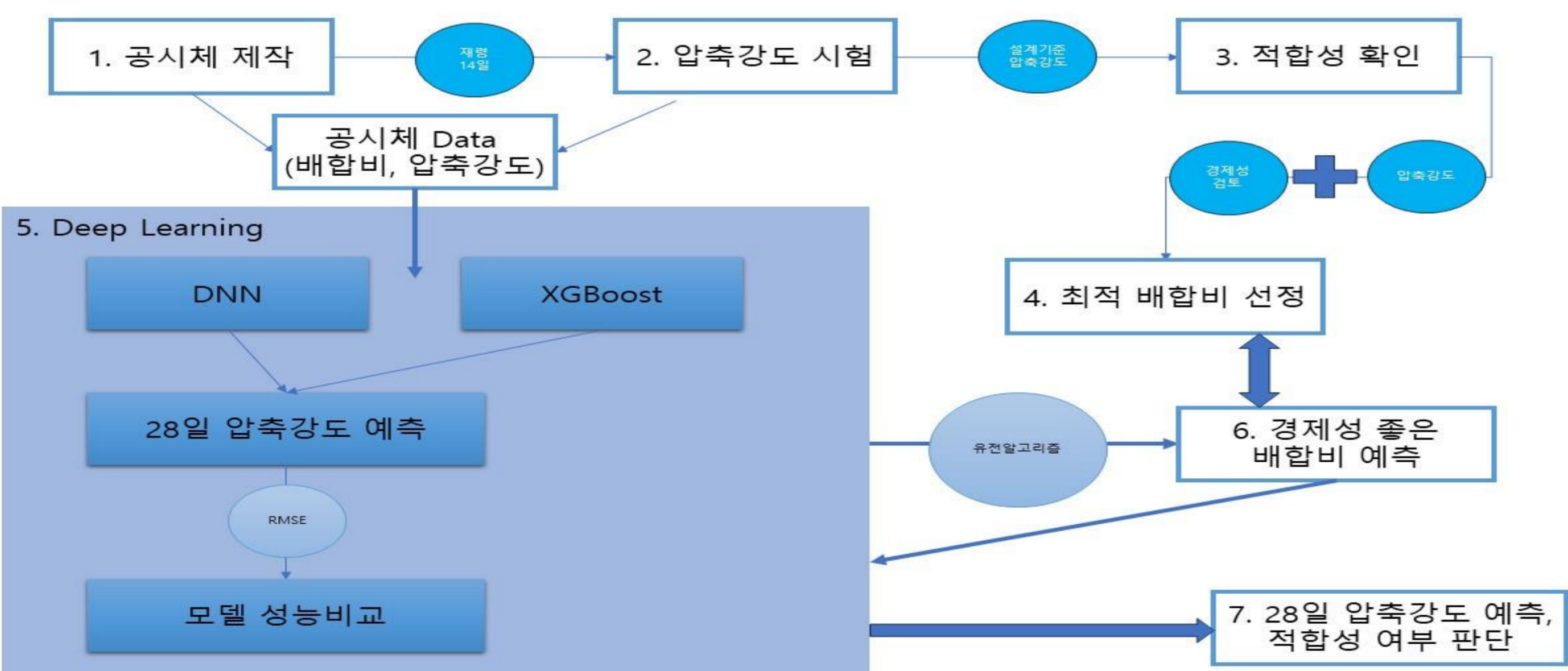
강도 예측 과정 (DNN, RandomForest+XGBoost, 유전 알고리즘)

- DNN은 입력층과 출력층 사이에 여러 개의 은닉층 들로 이뤄진 인공신경망으로서 복잡한 비선형 관계 모델링 가능
- XGBoost는 Extreme Gradient Boosting의 약자이다. 분류, 회귀 문제에 모두 사용 가능한 모델이며 강력한 병렬 처리 성능, 빠른 속도의 장점이 있다. 또한 과적합 규제 가능한 이점과 자체 교차 검증 알고리즘 기능이 있다.
- 하지만 XGBoost압축강도는 예측 가능, 반대는 불가능하다. 이는 유전 알고리즘을 사용이 가능하다.
- 유전 알고리즘은 자연세계의 진화과정에 기초한 계산 모델 최적화 문제를 해결하는 기법이며 특정한 목표값을 얻어내는 용도로는 탁월하다.

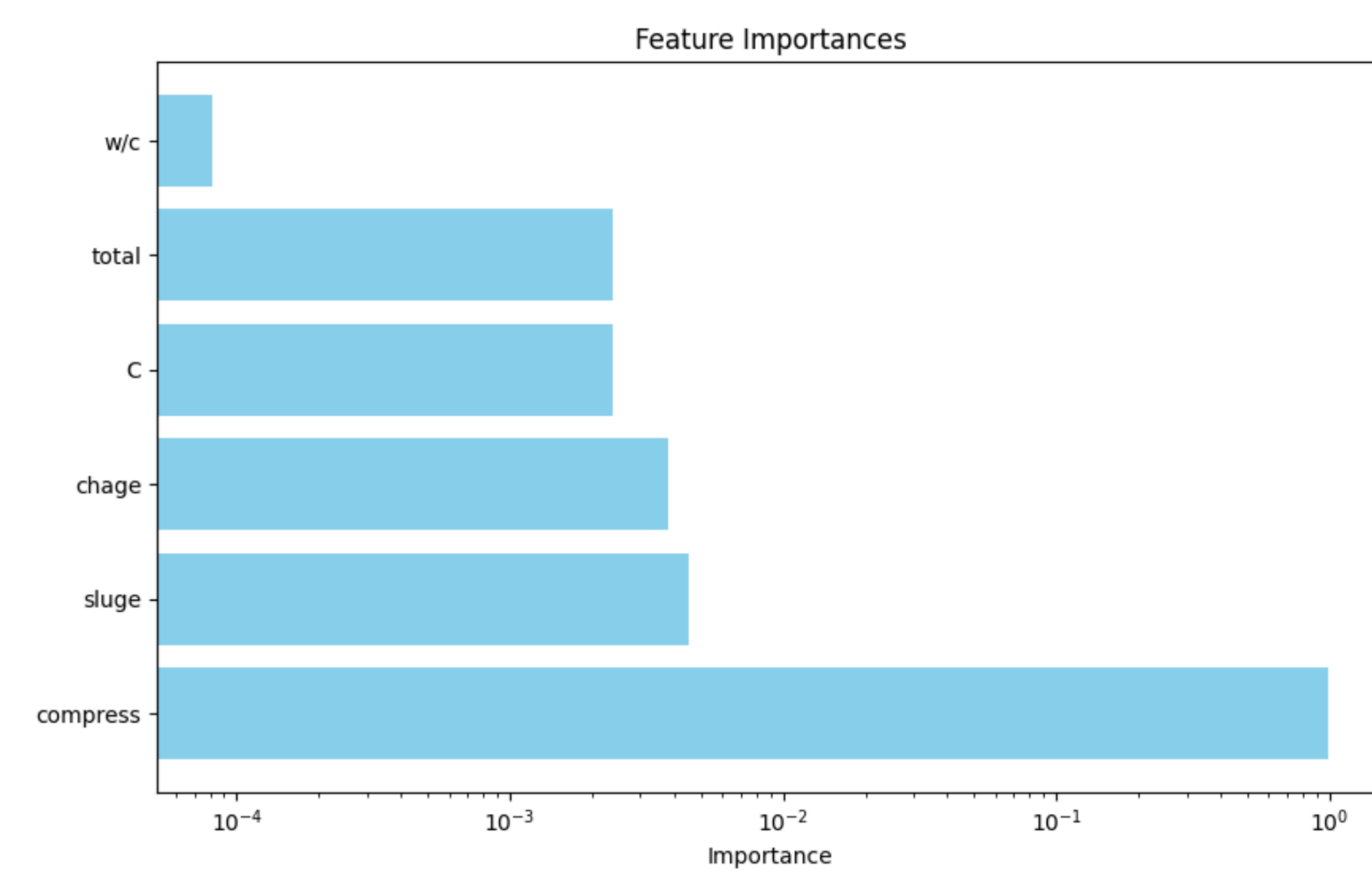
[그림1. DNN(왼쪽 위), XGBoost(가운데 위), RandomForest(오른쪽 위), 유전 알고리즘(아래)]



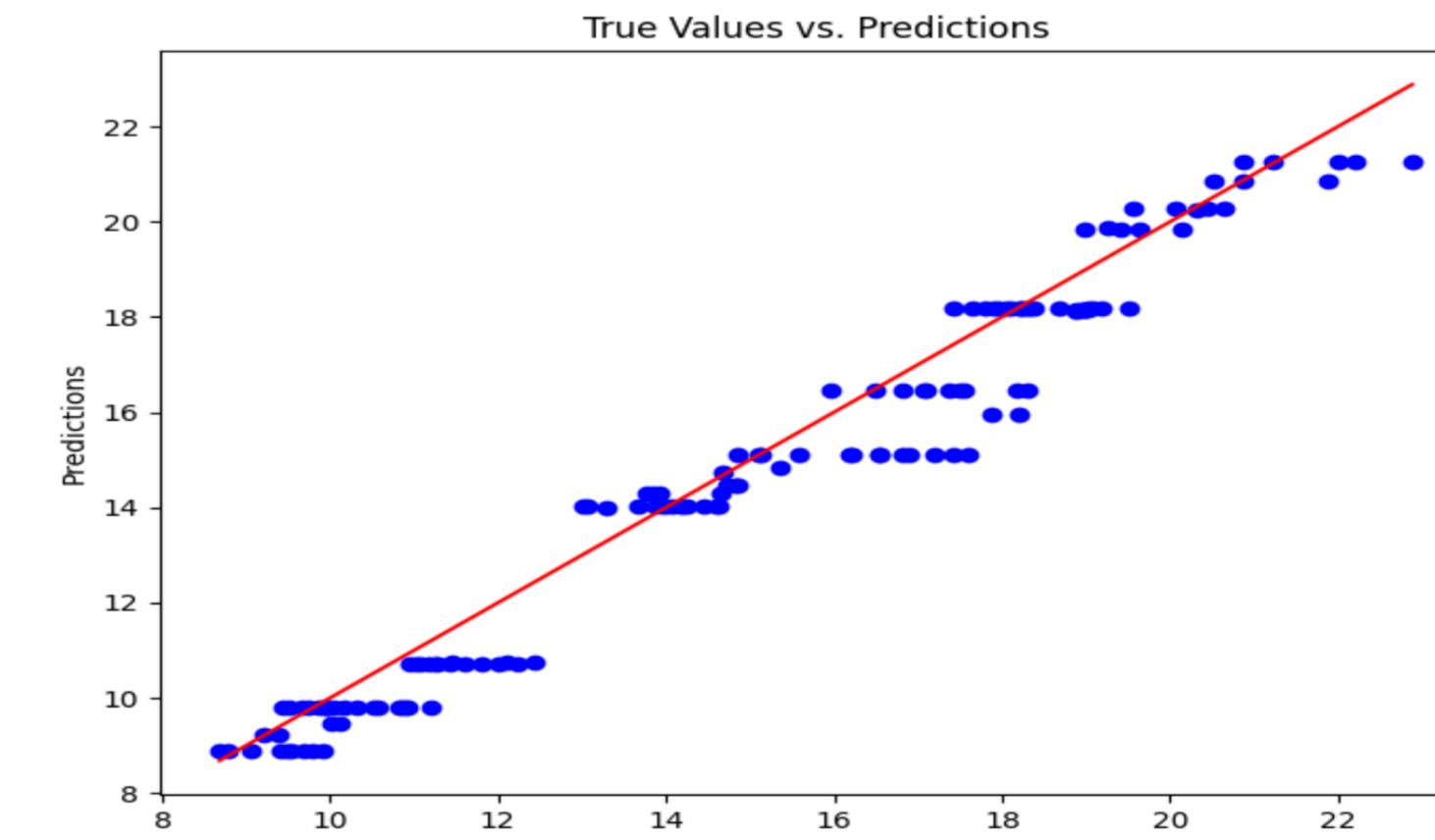
[그림2. 전체 알고리즘 구조]



알고리즘 예측 결과 & 결론

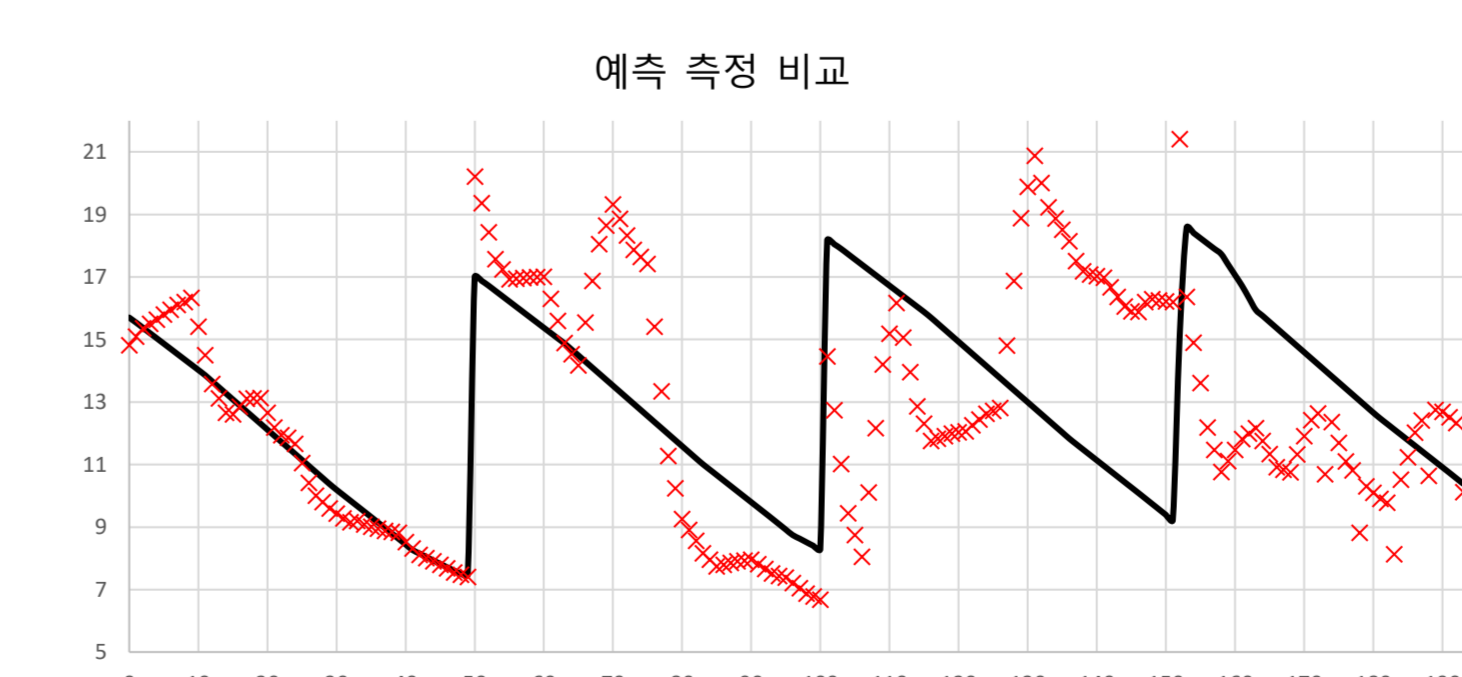
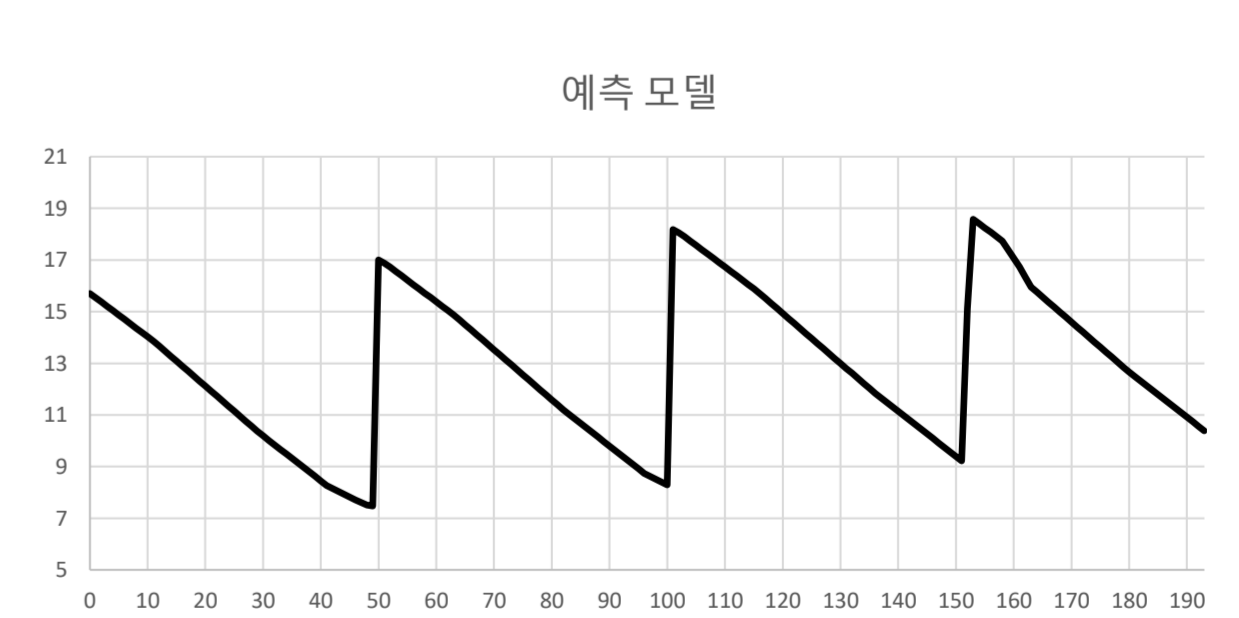
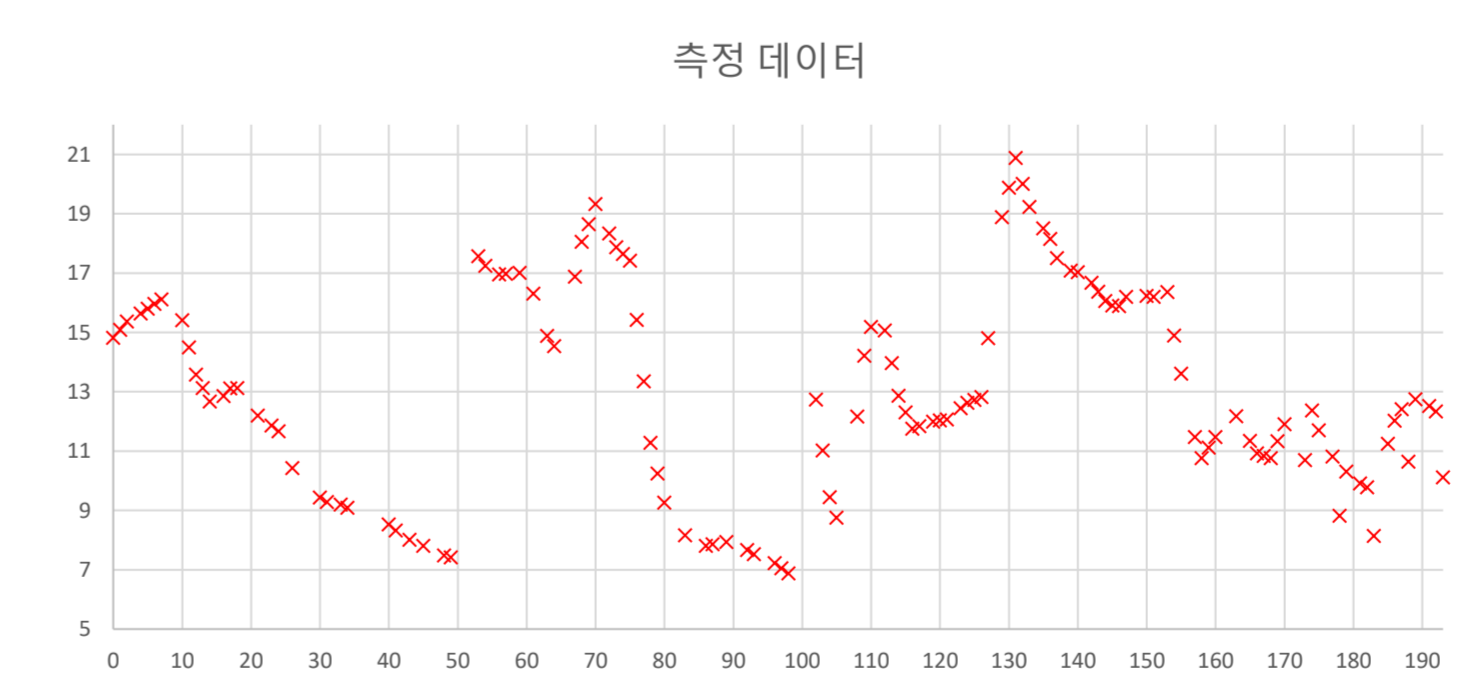


Random forest를 통해 구한 변수중요도 이다. 압축강도가 가장 중요함을 알 수 있다.



XGboost를 통해 실험값으로 압축강도를 예측
 Y=X그래프 주변에 점이 분포되어 있다. 즉 학습데이터를 통해 예측을 올바르게 했다고 할 수 있습니다.

학습데이터는 압축강도를 제외한 나머지 변수를 사용했습니다.



치환율 W/C범위 45%~60%, 치환율 범위 0%~35% 에서 강도를 예측하는 모델

epoch 3000 활성화 함수는 relu, 최적화 함수는 Adam, 손실함수 MAE를 사용해 얻어졌다.

총 180개의데이터 측정 중 실제 학습에 사용된 데이터는 152개로, 제한된 범위 내에서 일정이상 벗어난 값을 제외하고 사용했다.

기대효과

- 해당 콘크리트 제작을 통해 순환골재 사용량을 증가시켜 건설폐기물 재사용 증대, 처리 비용 절감을 통해 건설 현장 혹은 관련 산업에서 경제적 효과 발생
- 건설폐기물 재사용, 순환골재 사용으로 인한 천연골재 사용량의 감소로 환경 보호에 기여
- 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 제1조(목적) [이 법은 건설공사 등에서 나온 건설폐기물을 친환경적으로 적절하게 처리하고 그 재활용을 촉진하여 국가 자원을 효율적으로 이용하며, 국민경제의 발전과 공공복리 증진의 이바지함을 목적으로 한다] 및 지자체 조례 등에 부합하는 정책적 효과 발생