

디지털 트윈을 활용한 스마트 팩토리 에너지 효율화 모델링 및 플랫폼 개발

Development of Energy Efficiency Modeling and Platform
for Smart Factories Using Digital Twin

캡스톤 디자인 I 계획발표

팀명 : EcoNOVA

팀원 : 구남석, 박선아, 서지윤

지도교수 : 이상금

발표자: 서지윤

발표일: 2025.03.12

#Digital Twin

#Smart Factory

#Optimization

#Artificial Intelligence

#Big Data

#Web

#Real-Time Monitoring



CONTENTS

01 연구 배경

02 문제인식 및 해결전략

03 목표 및 기대효과

04 추진 계획

Research Background 연구 배경



2025년 현재 지구온난화의 심각성

기온 상승

2025년 1월, 전 지구 평균기온은 산업화 이전 대비 **1.75°C** 상승(C3S¹⁾.

기온 상승 속도 증가

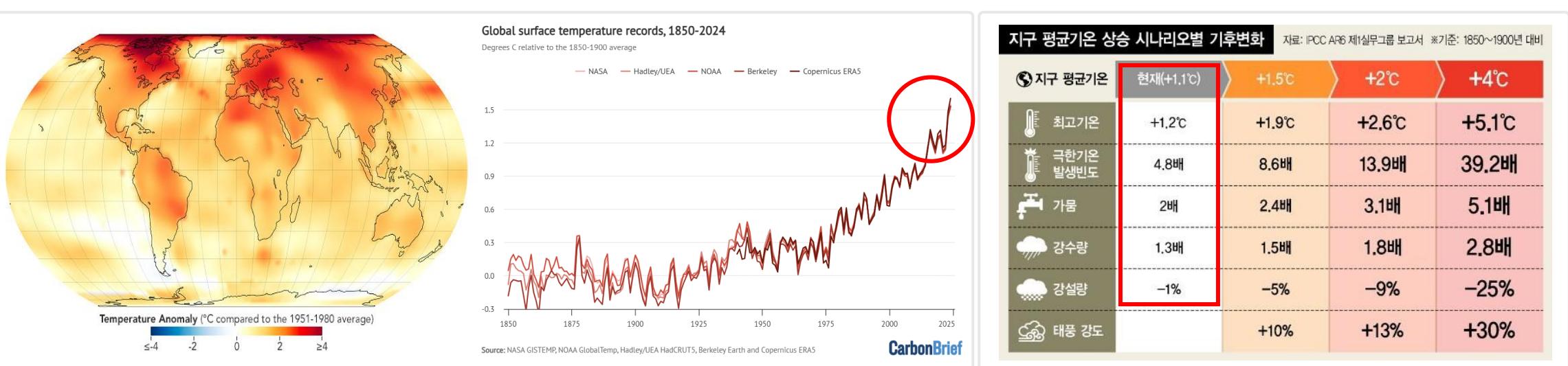
2011~2020년, 관측 사상 가장 높은 **0.31°C/10년** 상승률 기록(WMO²⁾.

한국의 기후 변화

최근 10년간 평균기온 **0.5°C** 상승, 일교차 감소, 집중호우 증가.

국제 대응 목표

파리협정에 따라 2030년까지 탄소배출량 **45%** 감축 필요.



출처 : CarbonBrief

출처 : IPCC AR6

1) C3S (Copernicus Climate Change Service): 유럽연합의 기후 변화 데이터 및 분석 서비스.

2) WMO (World Meteorological Organization): UN 산하 세계 기상·기후 협력 기구.

제지 산업의 에너지 효율화 필요성

자본·에너지 다소비 산업

철강, 석유, 요업과 함께 **6대 다소비 업종** 중 하나.

빠른 성장, 기술 개발 부족

연평균 10% 이상 생산 증가, 하지만 대형 장비를 해외에서 Turn-key 방식¹⁾으로 도입.
→ 국내 실정에 맞는 에너지 절약 기술 개발 미흡.

탄소 감축 목표와 연계

산업계 탄소 배출량 **11.4%** 감축 목표 달성을 위해 에너지 효율화 필요.

온실가스 감축목표 조정 내용 (단위: t) *괄호 안은 2018년 대비 감축률

	합계	전환	산업	건물	수송	농축수산	폐기물	수소	탈루 등
기존 NDC	4억3660만 (40.0%)	1억4990만 (44.4%)	2억2260만 (14.5%)	3500만 (32.8%)	6100만 (37.8%)	1800만 (27.1%)	910만 (46.8%)	760만	390만
수정 NDC		1억4590만 (45.9%)	2억3070만 (11.4%)					840만	

출처 : 산업통상자원부

1) Turn-Key 방식: 설비나 시스템을 주문자가 별도 개입할 필요 없이 공급자가 설계, 제작, 설치까지 완료한 후 바로 운영할 수 있도록 제공하는 방식.

제지 공정의 이해



1. 조성공정

종이의 주 원료인 **펄프**를 해리¹⁾ 및 고해²⁾ 하는 과정.

2. 초지공정

자료를 탈수 건조하여 지필을 형성하는 과정.

3. 코팅공정

종이 표면에 **코팅제**를 도포하여 인쇄성과 내구성을 향상하는 과정.

4. 완정공정

종이를 절단, 권취³⁾, 포장하여 **최종 제품**으로 완성하는 과정.

1) 해리(解離): 단단하게 뭉쳐 있는 펄프를 물에 풀어서 개별 섬유로 분리하는 과정.

2) 고해(叩解): 해리된 펄프를 기계적으로 더 세밀하게 풀어줘서 섬유를 정돈하고 결합력을 높이는 과정.

3) 권취(捲取): 긴 종이를 돌돌 말아서 롤 형태로 감는 과정.

Problem Recognition & Solution Strategy

문제인식 및 해결전략

2

데이터 설명

데이터 기간

2022년 1월 1일 ~ 12월 31일 (1년간)

1분 단위로 수집된 시계열 데이터

데이터 크기

481,311개 행

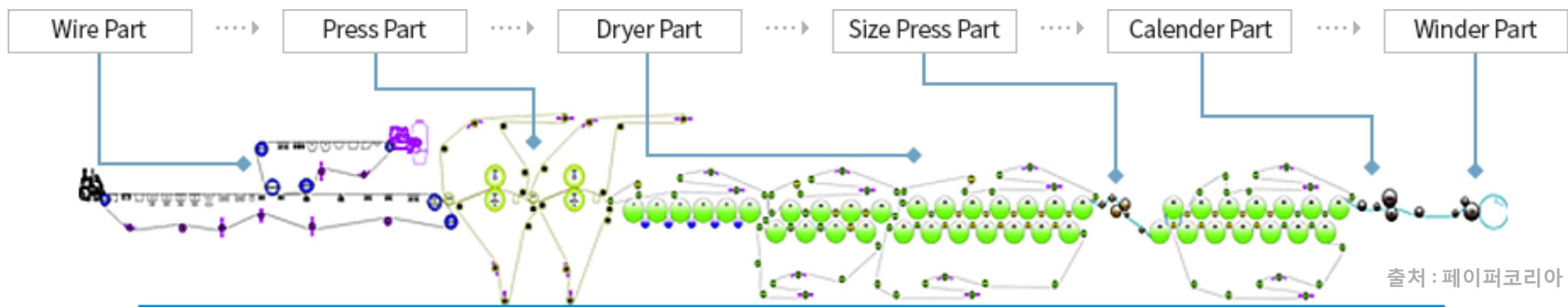
2061개 열

주요 태그

장비 센서 데이터

에너지 관련 데이터 → **출처 불분명**

※ 본 데이터는 기업의 실증 데이터로서, 보안 및 기밀 유지 정책에 따라 정확한 변수명을 공개할 수 없는 점 양해 부탁드립니다.

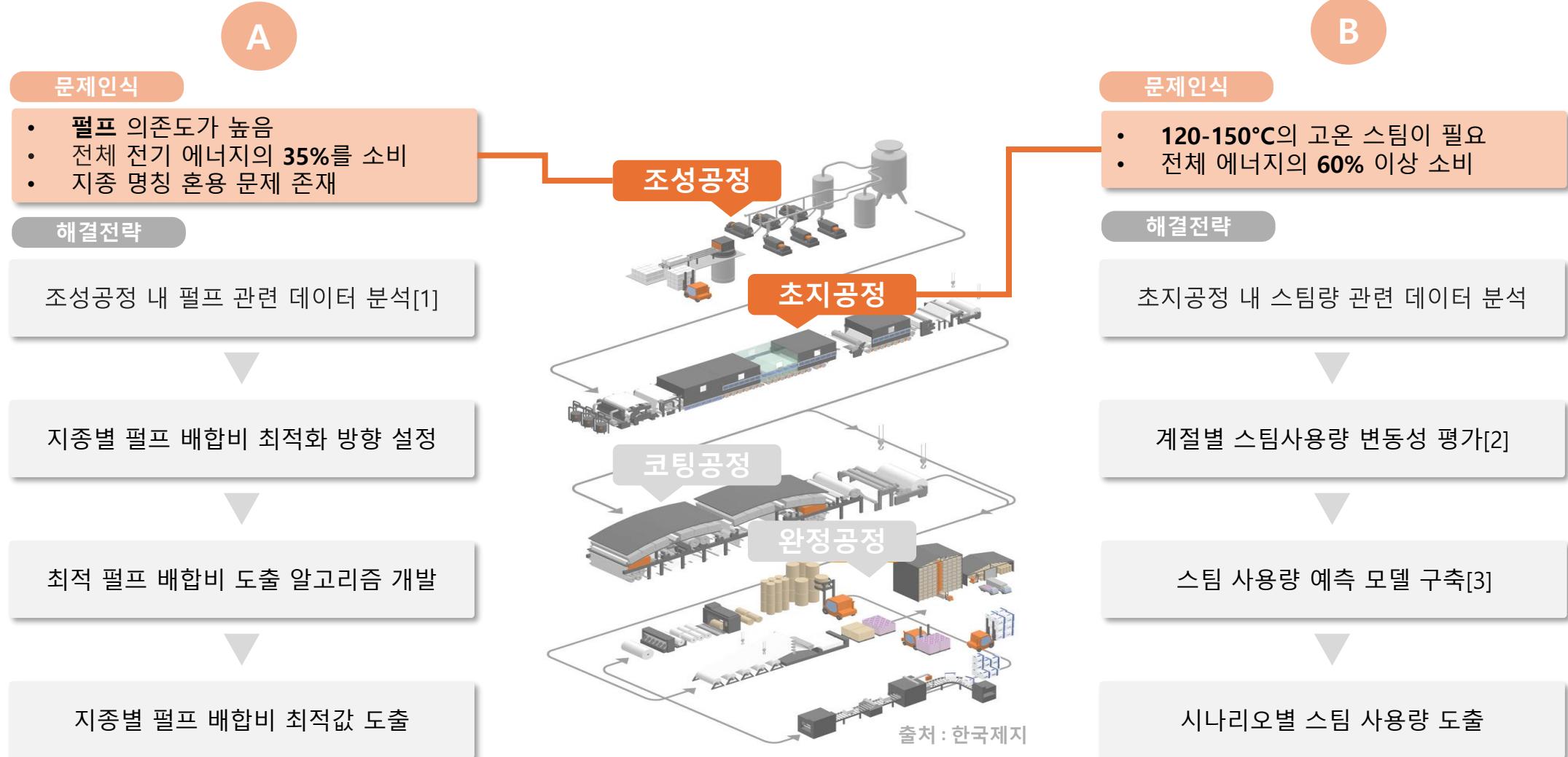


문제인식 및 해결전략

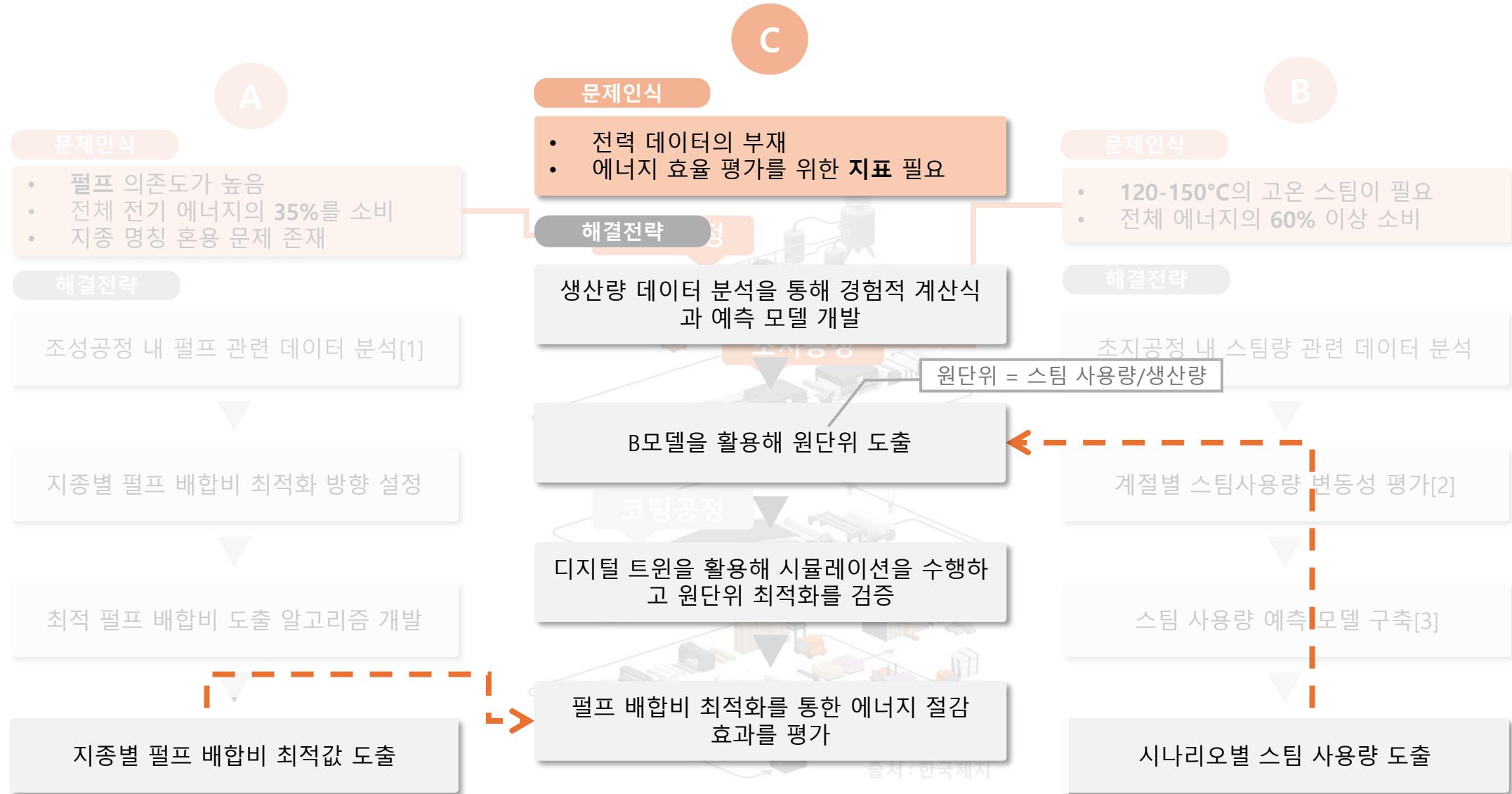
[1] G. Luquet, "Production stability on paper machines and pulp and white water circuits," TAPPI Journal, vol. 78, no. 10, pp. 256-258, Oct. 1995.

[2] 박선아, 도윤미, & 최진영. (2024). 통계적 기법을 활용한 계절 기반 제지공정 분석. 한국통신학회 인공지능 학술대회 논문집, 127-128.

[3] Lee, S., Nengroo, S. H., Jung, Y., Kim, S., Kwon, S., Shin, Y., ... & Har, D. (2023, June). Factory Energy Management by Steam Energy Cluster Modeling in Paper-Making. In 2023 11th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid) (pp. 1-5). IEEE.



문제인식 및 해결전략



Objectives & Expected Effects 목표 및 기대효과

3

목표

- [4] Yang, M., Xu, X., Cheng, H., Zhan, Z., Xu, Z., Tong, L., ... & Ahmed, A. M. (2023). Industrial steam consumption analysis and prediction based on multi-source sensing data for sustainable energy development. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1187201.
- [5] 박규태, 임성주, 강용신, 노상도, 양석곤, 강용태, ... & 최수영. (2018). 염색가공 공장의 에너지 효율 향상을 위한 디지털트윈 구성 및 활용. 한국 CDE 학회 논문집, 23(4), 329-341.
- [6] Zhou, H., Yang, C., & Sun, Y. (2020). A collaborative optimization strategy for energy reduction in ironmaking digital twin. *IEEE Access*, 8, 177570-177579.

A

지종별 펄프 배합비 최적값 도출

- 펄프 배합 비율 및 수분함량 변화 분석
- 공정 변수 균형을 고려한 다목적 **최적화** 알고리즘 설계
- 배합 및 품질 예측 정확도 **90% 이상** 달성

B

스팀 사용량 예측 및 계절별 변동성 분석[4]

- 스팀 사용량 및 계절별 변동성 분석
- 변동성을 반영한 스팀 사용량 예측 모델 개발**
- 모델 예측 정확도 **90% 이상** 달성

C

생산량 계산 및 예측

- 데이터 기반 **경험적 방정식¹⁾** 도출
- 생산량 예측 모델** 개발[5]
- 위 두모델을 결합한 연합모델²⁾ 정확도 **90% 이상** 달성

디지털 트윈³⁾ 적용[6]

- 개발한 A, B, C 모델을 디지털 트윈에 적용하여 **개별 모델의 성능 검증**
- 시뮬레이션을 통해 각 모델이 공정 최적화에 미치는 영향 분석
- 최적화된 모델을 **통합 적용**하여 스마트 팩토리의 에너지 효율 향상을 시뮬레이션



플랫폼 개발

- 모델 적용 전·후의 **에너지 효율 변화를 시각화하는 플랫폼** 개발
- 디지털 트윈 기반으로 시뮬레이션 결과를 분석하여 최적화 효과 검증
- 플랫폼을 통해 에너지 절감 효과를 직관적으로 제시하여 **모델의 실효성 입증**

1) 경험적 방정식: 실험이나 관찰을 통해 얻은 데이터 기반으로 도출된 수식.

2) 연합 모델: 여러 개의 개별 모델을 결합하여 더 정밀한 예측이나 분석을 수행하는 모델.

3) 디지털 트윈: 현실의 물리적 시스템을 가상 공간에 동일하게 구현하여 실시간 모니터링과 시뮬레이션을 수행하는 기술.

기대효과

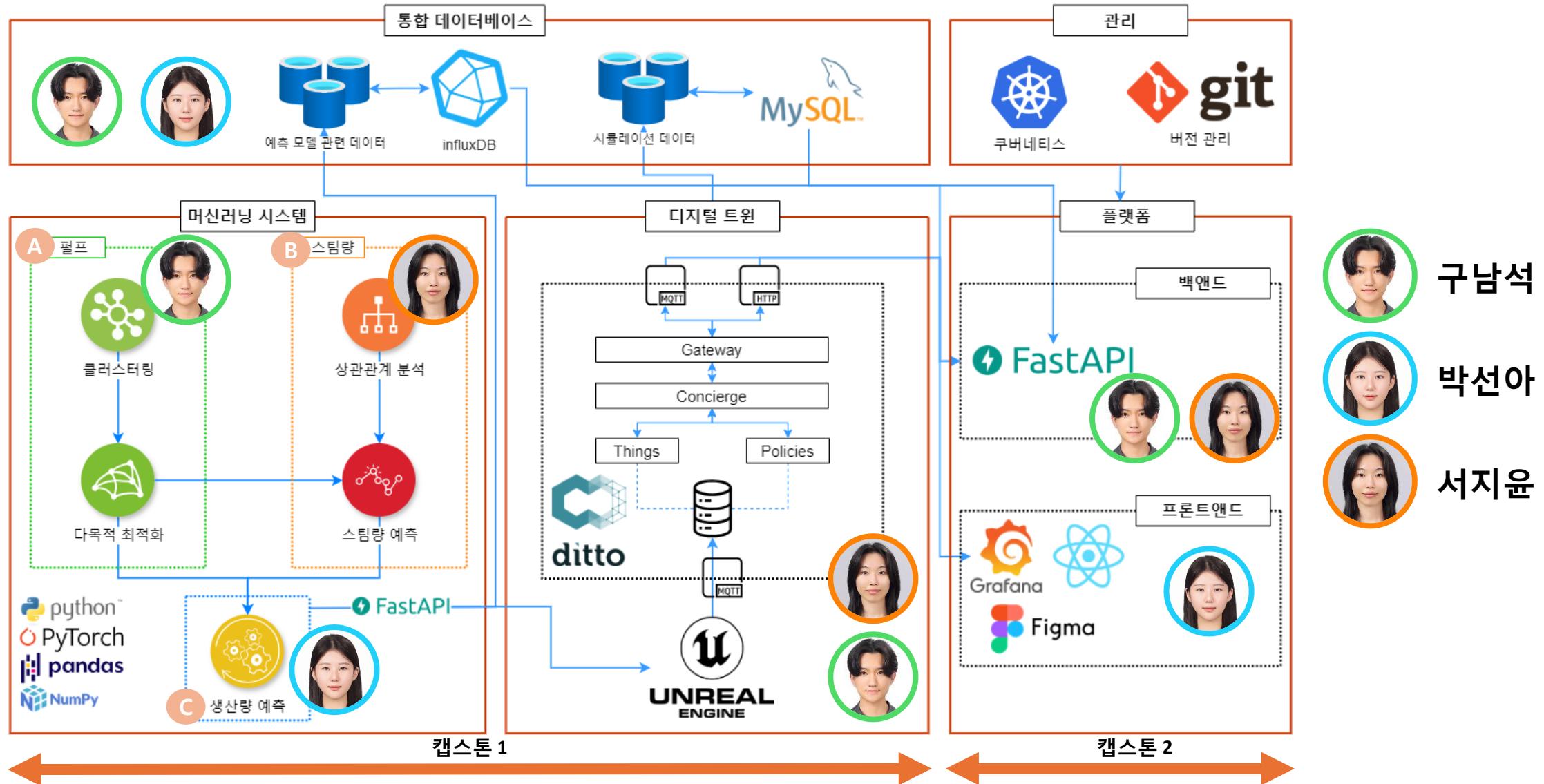


1) ESG 경영: 환경(Environment), 사회(Social), 지배구조(Governance)를 고려하여 지속 가능성과 기업의 장기적인 가치를 높이는 경영 방식

Implementation Plan 추진 계획

4

구조도



세부 일정

세부 작업 구분	캡스톤 I						캡스톤 II					
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
기획 및 계획 수립												
에너지 효율화 모델링												
디지털 트윈 구축												
데이터베이스 설계 및 구현												
플랫폼 UI/UX 개발												

Q

&

A

캡스톤 디자인 I 계획발표

감사합니다

팀명 : EcoNOVA

팀원 : 구남석, 박선아, 서지윤

지도교수 : 이상금

발표자: 서지윤

발표일: 2025.03.12

 국립한밭대학교