



COCO :

개인, 중소기업과 같은 소규모 사용자들이 탄소 배출량을 금전적 비용과 미래 영향으로 환산해 직관적으로 체감하고, 절감 방안 시뮬레이션을 제시하여 개선되도록 돋는 탄소 관리 서비스

트랙	산학
팀 번호	28
팀명	PlanIT
멤버	2376259 정서윤 2376194 이미소 2285100 조민주
팀 지도교수님	반효경 교수님

목차

1. 프로젝트 요약

1.1 프로젝트 개요 및 목적

1.2. 프로젝트 배경 및 문제 정의

1.3. 주요 기능

1.4. 비즈니스 모델 및 보상 시스템

1.5. 시스템 환경 및 개발 도구

1.6. 전체 시스템 구성

1.7. 화면 구성

1.8. 기대 효과

1.9. 결론

2. 팀원별 역할 분담

3. 핵심 기술 요소

3.1. 탄소 배출량 계산 및 금전 환산

3.2. 시계열 기반 탄소배출량 예측

3.3. 절감 시나리오 생성 및 PDF 자동 보고서 생성

4. Further Work

[부록1] 팀 지도교수님 최종 코멘트

[부록2] Project Repository README.MD

[부록3] 본 문서에 대한 AI Improvement Details

[부록4] 기술블로그

[부록5] 프로젝트 팀 회고

1. 프로젝트 요약

1.1. 프로젝트 개요 및 목적

1.1.1 프로젝트 개요

기후변화와 탄소관리의 중요성은 개인, 기업을 막론하고 중요한 과제로 대두되고 있으나, 현재 시중의 탄소 관리 서비스는 대부분 대기업을 대상으로 설계된 고비용, 고복잡도 컨설팅 기반 구조를 가진다. 이로 인해 개인 또는 중소규모 조직은 탄소 배출량을 체계적으로 관리하거나 분석하기 어렵고, 탄소 배출량이 'kgCO₂e'와 같은 추상적 단위로 제시되어 실제 생활이나 운영에서 어떤 의미를 가지는지 체감하기 어렵다.

본 프로젝트는 이러한 한계를 해결하기 위해 소규모 사용자도 쉽게 활용할 수 있는 경량 SaaS 기반 탄소 관리 플랫폼을 개발하는 것을 목표로 한다. 개인 사용자와 중소기업을 대상으로, 탄소가 배출되는 활동 데이터를 입력하면 탄소 배출량을 산정하고, 이를 금전적 가치로 환산해 직관적으로 탄소 발자국을 체감할 수 있다. 이후 AI를 기반으로 한 시계열 예측과 전략 추천 기능을 통해 앞으로의 탄소배출량을 절감 방안을 제시해, 데이터 기반의 미래 지향적 의사결정을 하도록 돕는다.

1.1.2 프로젝트 목적

본 프로젝트의 목적은 소규모 사용자(개인·중소기업)가 탄소 관리의 중요성을 정확히 이해하고, 데이터 기반으로 절감 행동을 실천할 수 있도록 지원하는 실질적 도구를 제공하는 것이다. 이를 위해 다음과 같은 구체적 목적을 설정하였다.

1. 사용자가 입력하는 일상 또는 운영 데이터를 기반으로 탄소 배출량을 자동 산정하고 금전적 비용으로 환산함으로써, 기존의 추상적 지표 중심 탄소 정보 제공 방식을 개선하고 "탄소=돈"이라는 인식을 심어 탄소 관리에 대한 이해도와 직관성을 높이고자 한다.
2. AI 기반 시계열 예측 모델을 통해 향후 배출량 변화를 전망하고, 이 예측 정보를 제공함으로써 데이터 기반의 의사결정을 가능하게 한다.
3. 사용자의 생활 패턴 또는 기업의 운영 데이터를 반영한 절감 전략을 LLM 기반으로 생성하여 구체적이고 실천 가능한 개선 방향을 제시하고, 사용자의 행동 변화 및 지속적 참여를 유도한다.
4. 중소기업 사용자에게는 자동 보고서 생성 기능을 제공하여 관리 인력·시간·비용 부담을 경감하고 컨설팅 없이도 독립적으로 국제 ESG 표준 기반의 보고서를 작성하고 보고 할 수 있는 체계를 구축할 수 있도록 지원한다.

1.2. 프로젝트 배경 및 문제 정의

1.2.1 고객 유형별 문제점 분석

(1) 개인 사용자 (대학생 등)

개인 사용자는 자신의 일상적 행동이 탄소 배출에 어떤 영향을 미치는지 직관적으로 이해하기 어렵다. 'kgCO₂e'와 같이 추상적인 단위로 제시되는 탄소 배출은 자신의 작은 실생활 행동이 기후 대응에 큰 영향을 주지 못한다고 생각하게 하며, 영향의 정도에 대해서도 체감하게 어렵게 한다. 이러한 행동 변화의 결과가 어떤 변화를 만들어내는지 직관적으로 확인할 수 없으므로, 동기부여도 낮다.

(2) 중소기업

중소기업의 경우, 오래 전부터 ESG의 중요성과 이러한 변화에 대응할 필요성이 증가하고 있음에도 불구하고 전담 인력과 전문 지식이 부족한 경우가 많고, Excel 기반 수작업으로 이루어져 오류와 시간 소모도 크다. 대기업 제출용 ESG 보고서나 인증 대응을 위해 외부 컨설팅이 존재하지만, 이를 이용하면 수천만 원 이상의 비용이 발생하며, 실시간 배출량 모니터링 기술도 부재한 경우가 많다. 또한 Scope1·2·3 배출량산정과 같은 전문 영역에 대한 접근성이 낮아 자체적인 ESG 관리 체계 구축에 어려움을 겪고 있다.

1.2.2 고객 문제의 공통 구조적 한계 분석

개인 사용자와 중소기업은 서로 다른 환경과 목적을 가지고 탄소 관리 활동을 수행하고 있으나, 실제 탄소 배출량을 측정·관리·활용하는 과정에서는 유사한 구조적 한계를 공통적으로 경험하고 있다.

첫째, 탄소 배출량이 주로 kgCO₂와 같은 추상적인 단위로 제시됨에 따라, 개인과 기업 모두 배출 결과를 직관적으로 이해하기 어렵다. 이로 인해 자신의 행동이나 의사결정이 어떤 경제적·환경적 영향을 미치는지 체감하기 어렵고, 실질적인 행동 변화로 이어지지 않는 문제가 발생한다.

둘째, 탄소 배출량 산정 과정이 복잡하고 불투명하게 인식된다는 점이다. 개인 사용자는 계산 방식과 기준을 이해하기 어려워 결과에 대한 신뢰도가 낮아질 수 있으며, 중소기업 역시 Scope 1·2·3과 같은 전문적인 산정 기준에 대한 접근성이 낮아 자체적인 관리 체계 구축에 어려움을 겪고 있다.

셋째, 현재의 탄소 관리 방식은 단순한 결과 수치 제공에 머물러 있어, 장기적인 변화 추이 분석이나 미래 배출량 예측, 이상치 탐지와 같은 데이터 기반 인사이트를 제공하지 못한다. 이로 인해 개인은 자신의 실천이 누적적으로 어떤 변화를 만드는지 확인하기 어렵고, 중소기업은 전략적 의사결정에 탄소 데이터를 활용하기 힘든 상황이다.

넷째, 실시간 데이터 수집 및 관리 기능의 부재로 인해 탄소 배출 관리가 일회성 기록에 그치는 경우가 많다. 이는 개인에게는 지속적인 실천 동기 저하로, 중소기업에게는 장기적인 ESG 관리 효율 저하로 이어진다.

이러한 공통적인 구조적 한계는 고객 유형과 관계없이 탄소 관리 활동의 실효성을 떨어뜨리는 핵심 요인으로 작용하고 있으며, 보다 직관적이고 신뢰도 높은 산정 방식과 데이터 기반 분석·예측 기능을 갖춘 통합적인 관리 시스템의 필요성을 시사한다.

1.2.3. 고객 유형별 요구사항 정리

(1) 개인 사용자 요구사항

개인 사용자는 탄소 배출량을 직관적으로 금전적 비용으로 환산한 양, 행동 변화의 누적 효과를 확인할 수 있는 대시보드, 실천 가능한 절감 시나리오를 필요로 한다. 또한 복잡한 데이터 입력 없이 간단한 활동 정보만으로 탄소 데이터를 산출해주는 시스템을 요구한다.

이 과정에서 사용자는 전력 사용량, 교통 이동거리 데이터를 시간이나 교통 수단 등의 비교적 간단한 데이터만 입력해도 탄소배출량이 환산되도록 한다. 사용자 수가 증가 하더라도 서버 성능에 문제가 없도록 관리하는 것도 필요하다.

(2) 중소기업 요구사항

중소기업은 해당 기업에서 발생하는 생산, 물류, 전력 데이터를 업로드하여 자동으로 탄소 배출량을 계산할 수 있는 기능, ESG 보고서 생성 기능, 절감 방안 실천 시 비용, 편의 분석 기능을 필요로 한다. 특히 외부 컨설팅 없이도 신뢰도 높은 ESG 대응이 가능한 서비스를 필요로 한다. 중소기업의 데이터가 유출되면 안되기 때문에, 이 데이터가 안전하게 저장, 전송될 수 있도록 HTTPS 암호화, 비밀번호 해싱 등 기본적인 데이터 보호 체계가 요구된다.

1.2.4. 공통 문제점(Pain Point)

개인과 중소기업은 서로 다른 목적을 가지고 탄소 관리 활동을 수행하지만, 활용 과정에서는 몇 가지 공통적인 문제점이 나타난다. 첫째, 탄소 배출량 데이터가 단순 수치 제공에 머물러 있어 예측, 이상치 탐지, 패턴 분석과 같은 데이터 기반 인사이트를 얻기 어렵다. 둘째, 배출량이 추상적인 단위로 제시되어 행동 변화로 이어질 수 있는 동기가 부족하다. 셋째, 탄소 산정 방식이 복잡하고 불투명하게 느껴져 사용자 신뢰가 낮아질 위험이 있으며, 넷째, 실시간 데이터 수집 및 관리 기능이 부재해 장기적 관리의 효율성이 떨어진다. 마지막으로, 결과를 시각적으로 정리해 주는 직관적인 보고 체계가 부족하여 실시간 관리와 장기적인 활용 효율성이 떨어진다.

이러한 공통 Pain Point를 기반으로 본 프로젝트는 "정확한 산정 + 금전적 환산 + AI

기반 예측 및 분석 + 절감 시뮬레이션 + 자동 보고서 생성"이라는 일관된 서비스 방향성을 도출하였다.

1.3. 주요 기능

1.3.1 사용자 유형별 기능

1.3.1.1 개인 사용자 기능

개인 사용자는 전력 사용량(핸드폰 사용량), 이동 데이터, 소비 및 식습관(배달) 등 생활 기반 데이터를 입력하면 즉시 탄소 배출량을 확인할 수 있다. 이 과정에서 입력값은 사전에 정의된 가이드라인을 기준으로 검증되며, 음수값이나 비현실적인 수치는 이상치로 판단되어 사용자에게 확인을 요청한다. 검증된 입력값을 바탕으로 배출량은 전력·교통·소비재 부문의 공식 배출계수를 적용해 계산되며, 모든 산출값은 금전적 비용으로 환산된다. 이를 통해 사용자는 자신의 생활 습관이 환경에 미치는 영향뿐만 아니라, 실제 경제적 비용과 어떻게 연결되는지를 직관적으로 이해할 수 있다.

또한 대중교통 이용 비중 증가, 에너지 절약 습관 적용과 같은 절감 시나리오 기반 행동 가이드를 제공받으며, 포인트 시스템과 시각화 대시보드를 통해 자신의 실천 결과를 지속적으로 확인할 수 있다. 이러한 피드백 구조는 단기적 실천을 장기적인 행동 변화로 이어지도록 설계되었다.

1.3.1.2 중소기업 기능

중소기업 사용자는 생산·물류·전력·연료 사용 등 실무 데이터를 API 또는 Excel 업로드 방식으로 시스템에 등록할 수 있다. 등록된 데이터는 Scope 1·2·3 구조에 따라 탄소 배출량으로 자동 산정되며, 이상치 탐지 기능을 통해 비정상적 에너지 소비나 입력 오류를 즉시 확인할 수 있다. 또한 시계열 분석 기반 배출량 예측 기능을 통해 향후 배출 추세를 파악할 수 있으며, 이를 바탕으로 최근 사용 패턴을 반영한 현실적인 감축 목표를 자동 설정함으로써 단계적인 탄소 관리가 가능하도록 지원한다.

아울러 시스템은 절감 전략을 단순히 나열하는 방식이 아니라, 예상 절감량, 실행 난이도, 비용 부담, 기업 특성을 종합적으로 고려한 우선순위 기반 추천 기능을 제공하여, 중소기업이 제한된 자원 내에서 가장 효과적인 감축 전략부터 선택할 수 있도록 돕는다. 국제 ESG 기준(GRI, K-ESG)을 반영한 월간·연간 ESG 보고서는 PDF 형태로 자동 생성되며, 배출량 산정 근거, 예측 결과, 절감 전략 및 목표 달성을 함께 포함하여 납품처, 투자자, 규제기관 제출 등 다양한 실무 목적에 활용할 수 있도록 구성된다.

1.3.2 공통 기능

사용자 유형과 관계없이 모든 사용자는 동일한 기본 기능을 제공받는다. 이 공통 기능들은 시스템의 핵심 역할을 수행하며, 탄소 배출량 분석·비용 환산·성과 모니터링을 위한 통합된 사용자 경험을 제공한다.

1.3.2.1 탄소 배출량 산정 후 금전적 환산

사용자가 입력한 활동 데이터를 기반으로 환경부 온실가스 배출계수 DB 및 국제 표준 배출계수를 적용하여 배출량을 자동 산정한다. 탄소 배출 계산 과정은 백엔드에서 처리되며, 사용자는 별도의 전문 지식이나 계산 과정 없이 즉시 결과를 확인할 수 있다. 산출된 탄소 배출량은 국내·국제 탄소가격(배출권 거래제 시세, 사회적 탄소 비용 등)을 기준으로 금전적 비용으로 환산된다. 이는 “배출량 → 환경 영향 → 경제적 손실”의 흐름을 직관적으로 보여줌으로써 사용자에게 행동 변화를 강화할 수 있는 중요한 요소로 작용한다.

1.3.2.2. 데이터 관리 및 시각화 대시보드

사용자의 입력 기록과 산출 결과는 RDS(MySQL)에 저장되며, 향후 예측 분석·보고서 생성·절감 효과 평가 등에 활용된다. 실시간 정보(포인트, 실천 상태 등)는 AWS S3를 통해 관리된다. 저장되어 있는 전력·교통·자원 등 부문별 배출량과 금전 환산값은 대시보드 형태로 시각화된다. 월별 변화 추세, 절감 전후 비교, 사용자 평균 대비 그래프 등의 시각적 자료는 사용자가 자신의 탄소 배출 패턴을 이해하고 목표를 설정하는 데 도움을 준다. 사용자는 원하는 시점에 PDF 형태의 리포트를 요청하여 다운로드할 수 있으며, 개인·기업 구분에 따라 포함되는 정보는 자동으로 조정된다.

1.3.3 AI 기반 기능

본 시스템은 AI 분석을 기반으로 단순 배출량 계산을 넘어 예측·진단·절감 전략 제안 기능을 제공한다. 이는 본 프로젝트의 차별화된 핵심 요소이며, 사용자에게 ‘데이터 기반 탄소 관리 의사결정’을 가능하게 한다.

1.3.3.1 시계열 예측

과거 활동 데이터의 추세를 분석하여 향후 탄소 배출량 변화를 예측함으로써, 배출 증가 가능성을 사전에 인지하고 절감 목표 설정에 활용할 수 있도록 한다. 본 프로젝트에서는 교통 부문을 중심으로 월 단위 탄소 배출량의 시계열 데이터를 구성하고, ARIMA를 비롯한 시계열 분석 모델을 적용하여 단기·중기 예측 가능성을 실험적으로 검증하였다.

이를 통해 AI 기반 시계열 예측 기능이 탄소 관리 서비스에 적용될 수 있는 실용성을 확인하였으며, 현재 단계에서는 비교적 적은 데이터 환경에서 안정적으로 동작하는 전통적 시계열 모델의 효율성이 높음을 확인하였다. 향후 서비스 고도화 단계에서는 실제 사용자 데이터 누적을 기반으로 머신러닝 및 딥러닝 모델을 추가 적용하고, 전처리 및 이상치 탐지 기법을 결합하여 예측 정확도를 점진적으로 향상시킬 계획이다.

1.3.3.2 절감 전략 추천 (LLM 기반)

OpenAI GPT 모델을 활용하여 사용자별 행동 패턴을 분석하고 자연어 형태의 절감 전략을 제공한다. 이는 단순 계산기가 아닌 개인화된 탄소 관리 코치로서의 역할을 수행하는 기능이다. 예를 들어, "월 통근거리의 20%를 대중교통으로 전환할 경우 약 n kgCO₂e 절감 가능합니다.", "에어컨 설정온도를 1°C 조정하면 전기요금이 월 n 원 절약됩니다."처럼 자연어 기반의 행동 가이드를 제공해준다.

장기적으로는 기업 데이터를 기반으로 강화학습 모델을 적용하여, 여러 절감 전략의 조합 중 비용 대비 효과가 가장 높은 최적의 절감 전략 세트를 자동으로 제안하는 기능을 도입할 계획이다.

1.4. 비즈니스 모델 및 보상 시스템

본 장에서는 COCO 서비스가 실제로 지속 운영 가능한 구조를 갖추기 위해 설계한 비즈니스 모델과, 개인 사용자의 탄소 감축 행동을 유도하기 위한 보상 시스템을 제시한다. 본 프로젝트는 단순 정보 제공형 서비스에 머무르지 않고, “탄소 데이터를 의사결정과 경제적 인센티브로 연결”하는 구조를 통해 시장성과 실사용 가능성을 확보하는 것을 목표로 한다.

COCO는 고객을 개인(B2C), 중소기업(B2B), 기업 주도 개인 확장(B2B2C)의 세 유형으로 구분하며, 각 고객군이 얻는 가치와 지불 방식이 서로 다른 형태로 설계된다. 특히 B2B2C 모델은 기업이 구독료를 지불해 ‘보상 재원 풀(Reward Pool)’을 조성하고, 개인 사용자가 탄소 감축 행동을 수행하면 포인트 혜택을 제공하는 구조로, 기업과 개인 모두에게 실질적인 유인과 효과를 동시에 제공한다.

1.4.1 비즈니스 모델 개요

COCO의 비즈니스 모델은 “탄소 배출 데이터의 측정–환산–예측–절감–보고”로 이어지는 서비스 흐름을 기반으로 한다. 사용자는 일상 또는 운영 데이터를 입력하거나 업로드 함으로써 탄소 배출량과 금전 환산 결과를 얻고, AI 기반 분석(예측/이상치 탐지/절감 시나리오)을 통해 향후 리스크를 사전에 파악하거나 감축 전략을 선택할 수 있다. 기업 사용자는 ESG 보고서 자동 생성 기능을 통해 행정 비용을 절감하고, 개인 사용자는 절감 행동을 통해 경제적 보상을 획득함으로써 서비스 이용의 지속성을 강화한다.

수익 구조는 크게 (1) 구독 기반(SaaS Subscription), (2) 프리미엄 분석/보고 기능(Advanced Analytics & Report), (3) B2B2C 리워드 연동형 파트너십(Reward Partnership)으로 구성된다. 즉, COCO는 데이터 기반 탄소 관리 기능을 핵심 가치로 제공하면서도, 보상 구조를 통해 개인 참여를 확대하고 이를 기업의 ESG 실적 및 친환경 고객 확보와 연결한다.

1.4.2 B2C: 개인 사용자 대상 모델

개인 사용자 대상(B2C) 모델은 탄소 배출량을 금전적 비용으로 체감하게 만들고, 절감 행동의 결과를 즉시 피드백하는 데 초점을 둔다. 개인 사용자는 전력 사용량, 교통 이동 거리 등 비교적 간단한 활동 데이터를 입력하여 월별 배출량과 금전 환산 결과를 확인하고, 절감 시나리오 추천을 통해 실천 가능한 행동을 선택할 수 있다.

개인 사용자 과금/운영 방식은 다음과 같이 설계한다.

- **기본 무료(Free Tier):** 탄소 배출량 산정, 금전 환산, 기본 대시보드 제공
- **프리미엄 구독(Premium Tier):** 고도화된 예측(기간 확장), 맞춤형 절감 시나리오

(세분화), 리포트 다운로드(PDF), 목표 관리 기능 제공

이를 통해 개인 사용자는 “탄소 관리 = 생활비/혜택과 연결된 실질적 활동”이라는 인식을 갖게 되며, 장기적으로는 대시보드 기반 습관 형성과 행동 변화가 가능하도록 설계한다.

1.4.3 B2B: 중소기업 대상 모델

중소기업 대상(B2B) 모델은 ESG 대응과 운영 효율화를 동시에 지원하는 경량 SaaS 솔루션을 제공하는 것을 목표로 한다. 중소기업은 전담 인력 및 전문 지식 부족으로 인해 Scope 1·2·3 산정, 데이터 정합성 검증, 보고서 작성 등에 높은 부담을 겪는다. COCO는 기업의 전력·연료·물류·생산 데이터를 업로드/API 연동 형태로 수집하고, 자동 산정 및 이상치 탐지를 통해 데이터 신뢰도를 높이며, 국제 ESG 기준을 반영한 보고서를 자동 생성한다.

중소기업 과금/운영 방식은 다음과 같이 설계한다.

- **구독형 요금제(월/연 단위)**: 데이터 업로드/저장, Scope별 산정, 대시보드 제공
- **보고서 생성 요금(Report Add-on)**: 월간/연간 ESG 보고서 자동 생성 기능을 애드온 형태로 제공
- **고급 분석 요금(Aalytics Add-on)**: 이상치 탐지 민감도 조정, 예측 기간 확장, 비용-편의 기반 절감 전략 우선순위 추천 기능 제공

기업은 이를 통해 외부 컨설팅 비용을 절감하고, 납품처/투자자/규제 대응을 위한 보고체계를 확보할 수 있다. 또한 운영 데이터 기반의 이상 패턴 탐지 및 예측 기능은 에너지 비용 절감과 같은 실질적 경영 효율 개선으로 연결될 수 있다.

1.4.4 B2B2C: 기업 구독 기반 리워드 풀 모델

B2B2C 모델은 COCO의 핵심 확장 전략으로, 기업이 구독료를 지불함으로써 보상 재원풀이 생성되고, 개인 사용자는 탄소 감축 행동을 수행하면 포인트 형태로 혜택을 획득하는 구조이다. 이 모델은 기업에게는 브랜드 이미지 강화 및 마케팅, 개인에게는 실질적 혜택이라는 명확한 가치를 제공한다.

- **기업 관점의 가치**
 1. 친환경 실천 고객 확보 및 브랜드 이미지 강화
 2. 고객 참여형 ESG 실적(캠페인 참여율, 감축량 등) 지표 확보
 2. 리워드 제공 비용을 “마케팅 + ESG 성과”로 통합 운영 가능

- 개인 관점의 가치

1. 환경을 위한 행동이 실질적 혜택(포인트/할인/마일리지)으로 환원
2. 감축 행동의 결과(탄소 ↓, 비용 ↓, 포인트 ↑)를 한 화면에서 확인
3. 보상 기반의 지속 참여 동기 강화

즉, B2B2C는 “기업의 ESG/마케팅 예산 → 개인의 행동 변화 → 데이터 기반 감축 성과”로 이어지는 선순환 구조를 형성한다.

1.4.5 이해관계자별 기대 효과 요약

COCO의 비즈니스 모델은 개인과 기업의 참여를 동시에 확장할 수 있는 구조를 가진다. 개인은 환경 행동이 실제 혜택으로 연결되는 경험을 통해 참여 동기를 확보하고, 기업은 친환경 고객 확보 + ESG 실적 지표화를 통해 비용 대비 효과가 명확한 참여형 ESG 체계를 구축할 수 있다. 결과적으로 COCO는 탄소 관리 서비스를 측정 도구에서 보상 기반 의사결정/참여 플랫폼으로 확장함으로써 실제 시장 적용 가능성과 지속 운영 가능성을 높인다.

1.5. 시스템 환경 및 개발 도구

1.5.1 소프트웨어 요구사항

본 프로젝트를 실행하기 위해 필요한 주요 소프트웨어 및 라이브러리는 다음과 같다.

Java Development Kit (JDK) 17 이상 : Spring Boot 기반 백엔드 API 서버 개발 및 실행

Python 3.10 이상: 시계열 예측, 데이터 분석, 절감 시나리오 생성 등 AI 엔진 실행

Node.js 18 이상 : React 기반 프론트엔드 개발 및 빌드 환경

MySQL Server 8.0 이상 : 사용자·배출량·절감 기록을 저장하기 위한 관계형 데이터베이스

MySQL Connector/J (8.0+) : Spring Boot–MySQL 연동을 위한 JDBC 드라이버

Docker (선택사항) : 배포·실행 환경 통일 및 컨테이너 기반 운영

AWS 계정 : EC2, S3, RDS 활용 시 필요

1.5.2 사용된 개발 도구 및 패키지 (Tools Used)

프로젝트에서 사용된 개발 도구와 소프트웨어 패키지를 카테고리별로 정리하면 다음과 같다.

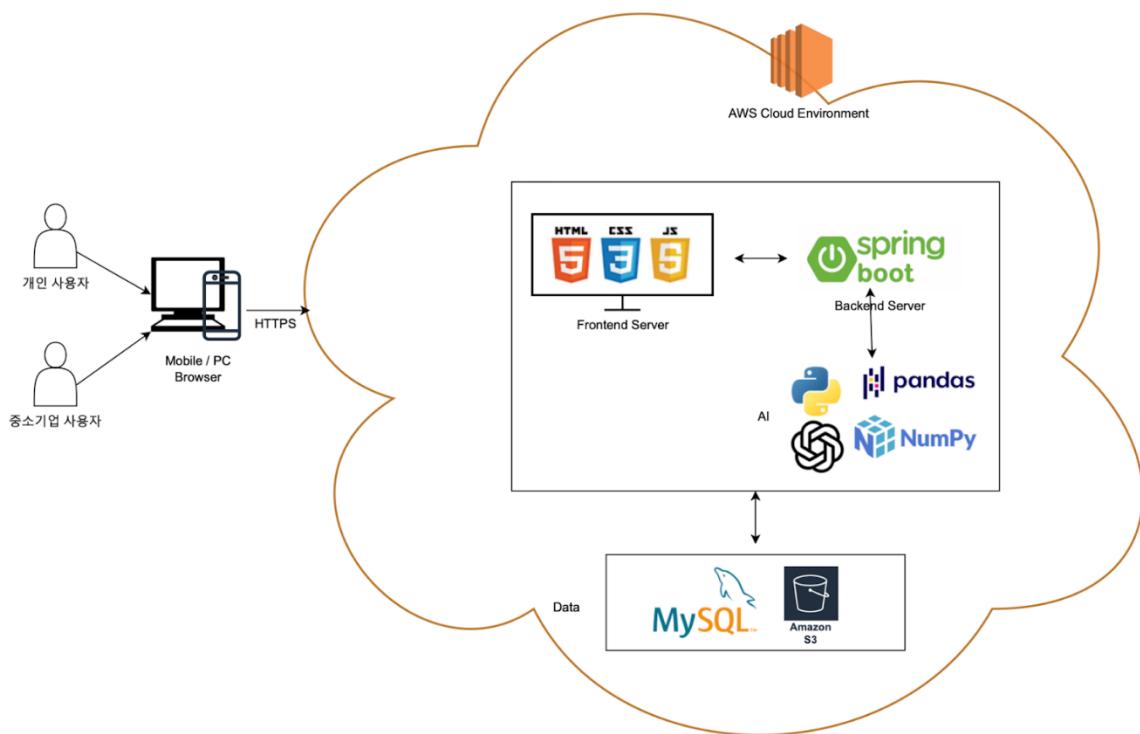
카테고리	도구 / 패키지	용도 (Purpose)
IDE / 개발 환경	VS Code, IntelliJ IDEA	프론트엔드·백엔드 개발
프론트엔드	React, TypeScript	사용자 인터페이스 구축
API 통신	React Query, Axios	API 통신 및 서버 데이터 캐싱
스타일링	Tailwind CSS	대시보드 및 UI 스타일 구성
데이터 시각화	Recharts	배출량·예측·절감 효과 그래프 시각화
백엔드 프레임워크	Spring Boot	REST API 서버, 배출량 계산 로직 운영
데이터베이스	MySQL (AWS RDS), Firebase	사용자 및 배출 데이터 저장

	Realtime DB	
AI / 머신러닝 — 시계열 예측	statsmodels (ARIMA)	월별 배출량 예측 (1~3개월)
AI / 머신러닝 — 이상치 탐지	scikit-learn	비정상 소비 패턴 자동 감지
AI / LLM 기반 분석	OpenAI GPT API	절감 전략 생성, 자연어 기반 분석
데이터 처리	pandas, numpy	데이터 전처리·통계 계산
샘플 ESG 데이터셋	pycarbon	테스트용 탄소·ESG 데이터 활용
클라우드 인프라	AWS EC2, S3	서버 운영 및 보고서 저장
배포 / 운영	Docker	서비스 배포 환경 구성
버전 관리	GitHub	소스 코드 버전 관리, 팀 협업

1.6. 전체 시스템 구성

본 시스템은 웹 기반 서비스로서, 프론트엔드(사용자 인터페이스)-백엔드(API 서버)-AI 엔진(데이터 분석)-데이터베이스 및 스토리지로 구성된 계층형 아키텍처를 가진다. 각 모듈은 독립적으로 동작하지만 API를 통해 연동되며 사용자 데이터 입력 → 탄소 산정 → AI 분석 → 보고서 생성까지의 전체 흐름을 지원한다.

1.6.1 시스템 구성 요소



1.6.2 시스템 구성의 흐름

(1) 개인 사용자 흐름

1. 개인 사용자는 서비스 화면을 통해 전력 사용량, 교통 이동거리, 종이 사용량 등 일상·운영 기반 활동 데이터를 입력한다.
2. 시스템은 입력된 데이터의 범위와 형식을 확인하고, 이상값이나 누락 값이 있는 경우 사전 정의된 기준에 따라 보정하거나 사용자에게 재확인을 요청한다.
3. 검증된 활동 데이터에 대해 공공기관에서 제공하는 표준 배출계수를 적용하여 활동별 탄소 배출량을 산정하고, 이를 금전적 비용으로 환산한다.
4. 필요 시 시스템은 인공지능 분석 모듈을 활용하여 배출량 변화 추세 예측, 비정상적 사용 패턴 감지, 행동 기반 탄소 절감 시나리오 생성을 수행한다.

5. 분석 결과는 월별 변화 추세, 절감 전·후 비교, 목표 달성을 등의 형태로 시각화되어 사용자에게 제공된다.
6. 사용자가 리포트 생성을 요청하는 경우, 시스템은 배출량 산정 결과, 금전 환산 값, 예측 결과, 절감 시나리오를 포함한 PDF 리포트를 자동 생성하여 다운로드할 수 있도록 제공한다.

(2) 중소기업 사용자 흐름

1. 중소기업 사용자는 전력, 연료, 물류, 생산 관련 데이터를 직접 입력하거나 파일 업로드 방식으로 시스템에 등록한다.
2. 시스템은 입력된 데이터의 형식과 기간, 단위의 일관성을 확인하고, 누락 또는 비정상 값에 대해 검증 절차를 수행한다.
3. 검증된 데이터는 Scope 1·2·3 기준에 따라 분류되며, 표준 탄소 산정 로직을 적용해 부문별 탄소 배출량과 비용이 계산된다.
4. 시스템은 필요에 따라 배출량 예측, 이상치 탐지, 비용-편의 관점의 절감 전략 분석을 수행하며, 최근 배출 추세를 기준으로 자동 감축 목표를 설정하고 중장기적인 ESG 의사결정을 지원한다.
5. 산출된 결과는 기간별·부문별 배출량 비교, 추세 분석, 이상 패턴 알림과 함께 절감량·난이도·비용 등을 종합해 우선순위가 부여된 추천 전략의 형태로 제공되어 기업이 배출 현황을 직관적으로 파악할 수 있도록 한다.
6. 기업이 ESG 보고서 생성을 요청할 경우, 시스템은 배출량 요약, Scope별 분석, 예측 결과, 절감 권고 내용을 포함한 공식 보고서 형태의 PDF를 자동 생성하여 제공한다.

1.7. 화면 구성

본 장에서는 플랫폼의 앞서 제시한 핵심 기능과 시스템 구조를 바탕으로 사용자가 실제로 서비스 사용 과정에서 마주하게 되는 화면 구조를 요약하여 제시한다. 개인 사용자와 중소기업 사용자의 목적과 활용 맥락이 다르다는 점을 고려하여 공통적인 기본 구조를 유지하되 입력 방식과 대시보드, 분석 화면을 사용자 유형별로 차별화하여 설계하였다. 이를 통해 직관적으로 서비스를 이해할 수 있으면서 사용성과 데이터 기반 의사결정을 동시에 지원한다.

1.7.1 개인 사용자 화면

- 활동 데이터 입력 화면(전력·교통·소비 등)
- 월별 탄소 배출량 대시보드
- 금전 환산 그래프 및 누적 절약액 표시 화면
- 절감 시나리오 추천 화면
- 포인트·레벨 시스템 화면

1.7.2 중소기업 화면

- 생산·물류 데이터 업로드 화면(API/Excel)
- Scope 1·2·3 배출량 대시보드
- 시계열 예측 그래프
- 절감 전략 및 비용·편익 분석 화면
- ESG 보고서(PDF) 자동 생성 화면

1.8. 기대효과

1.8..1 개인 사용자 관점의 기대효과

본 프로젝트는 개인 사용자가 탄소 배출 데이터를 직관적으로 이해하고, 이를 실제 행동 변화로 연결할 수 있도록 돕는 것을 핵심 목표로 한다. 기존의 추상적인 'kgCO₂e' 중심 정보를 넘어 전력·교통·자원 사용에 따른 배출량을 금전적 비용과 직접 연결된 형태로 제공한다. 플랫폼 내에서 제공되는 금전적 환산·보상 구조는 환경 보호 행동을 일상적인 습관으로 자리잡게 만든다. 이로써 환경 보호에 대한 관심도가 낮은 사용자도 생활비 절감이라는 현실적인 동기를 통해 자연스럽게 탄소 감축을 실천하게 된다. 또한 AI 기반 시계열 예측 및 절감 시나리오 기능은 사용자가 자신의 행동 패턴을 이해하고 더 효과적인 절감 행동을 선택하는 데 도움을 준다. 이는 단기적 실천을 넘어 장기적인 행동 변화와 습관 형성을 유도한다.

1.8..2 중소기업 관점의 기대효과

중소기업은 본 프로젝트를 통해 전문 인력과 예산 부족이라는 고질적인 제약을 극복하고 ESG 경영 체계를 효율적으로 도입할 수 있다. 생산·물류·전력 데이터의 API 연동 및 자동 수집을 통해 탄소 배출량 산정의 복잡성을 제거하였으며, GRI, K-ESG 등 국제 표준에 부합하는 보고서 자동 생성 기능은 수출 및 납품 요건 충족에 필요한 시간과 비용을 획기적으로 절감해준다. 더불어 AI를 활용한 이상치 탐지와 비용-편익 분석은 단순한 규제 대응을 넘어, 기업 스스로 에너지 비효율을 진단하고 운영 비용을 최적화하여 비즈니스 경쟁력을 강화하는 실질적인 효과를 창출한다.

1.8..3 사회적 기대효과

본 프로젝트는 개인과 중소기업을 모두 아우르는 구조를 통해 탄소 관리의 대중화를 촉진하고, 사회 전반의 지속 가능한 행동 문화를 형성하는 데 기여할 것으로 기대된다. 특히, 플랫폼 참여자가 증가할수록 데이터가 누적되어 AI 모델의 정확도가 향상되고, 절감 솔루션의 효율이 극대화되는 '데이터 기반의 규모의 경제'를 실현할 수 있다. 개별적으로는 미미할 수 있는 소규모 사용자의 감축 노력이 플랫폼 내에서 결집되어 거대한 사회적 감축 성과로 이어지는 구조이다. 또한 금전적 환산, 절감 시나리오, AI 기반 예측을 중심으로 구축되는 피드백 루프는 사용자의 반복적인 행동 변화를 유도한다. 이는 장기적으로 환경 보호 행동을 '특별한 활동'이 아닌 '생활 속의 선택'으로 전환시키며, 축적된 데이터는 지역별 배출 특성 분석 및 정책 수립의 정교한 기초 자료로 활용되어 사회적 의사결정 비용을 낮추는 데에도 기여할 것이다.

1.9. 결론

본 프로젝트는 대기업 중심으로 운영되던 고비용 탄소 관리 시스템을 경량화하여, 소규모 사용자도 쉽게 접근 가능한 클라우드 기반 플랫폼을 구현하는 것을 목표로 시작되었다. 이에 본 프로젝트는 탄소 배출량을 활동 단위로 자동 산정하고, 이를 금전적 가치로 환산해 직관적으로 제공하는 기능을 중심으로 설계되었다. 더불어 AI 기반 시계열 예측, 이상치 탐지, 절감 전략 추천 기능 등을 통해 사용자가 자신에게 적합한 행동 변화를 선택할 수 있도록 지원하며, PDF 기반 자동 보고서 생성을 통해 데이터 활용성과 접근성을 높인다. 이러한 기능들은 단순한 계산 도구를 넘어 사용자 중심의 의사결정 지원 시스템으로 발전하기 위한 핵심 요소이다.

결과적으로 개인에게는 생활비 절감과 행동 피드백을 기반으로 하는 실질적 동기 제공, 중소기업에는 저비용 ESG 관리 체계 구축이라는 구체적인 가치가 제공된다. 무엇보다 본 플랫폼은 사용자가 늘어날수록 데이터의 가치가 높아지고 솔루션이 고도화되는 선순환 구조를 갖추고 있다. 이러한 확장성은 초기 구축 비용 대비 기하급수적인 탄소 감축 효과를 창출하여, 장기적으로 지속 가능한 사회로의 전환 비용을 획기적으로 낮추는 데 기여할 것이다.

향후에는 공공데이터 API 연동 확대, 강화학습 기반 절감 전략 고도화, 중소기업 대상 맞춤형 ESG 모듈 확장 등을 통해 플랫폼의 완성도를 지속적으로 높일 계획이다. 본 프로젝트가 제안하는 접근 방식은 탄소 관리의 진입 장벽을 낮추고, 사용자가 스스로 지속 가능한 행동을 실천할 수 있는 기반을 제공한다는 점에서 의의가 있으며, 실제 구현과 고도화를 통해 환경·경제·사회적 전반에 걸친 다양한 파급효과를 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

2 팀원별 역할 분담 및 세부 기여 내용

2.1 팀 구성 및 역할 분담

본 프로젝트는 총 세 명의 팀원으로 구성된 산학 협력 프로젝트 트랙으로 진행되었으며, 반효경 교수님의 지도 아래 수행되었다. 프로젝트 초기 단계에서는 서비스 기획과 전체 시스템 아키텍처 설계를 팀원 전원이 공동으로 논의·수행하였다. 이후 탄소 산정 로직 개발, AI 기반 분석 기능 구현, UI/UX 설계, 자동 보고서 생성 기능 등을 중심으로 역할을 분담하여 개발을 진행하였다.

각 팀원은 담당 영역의 핵심 기능을 중심으로 실제 코드 구현과 기능 검증을 수행하였으며, 개인별 세부 기여 내용은 다음과 같다.

2.2 개인별 세부 기여 내용

정서윤 (AI·데이터 모델링 및 ML 엔진 구축)

탄소 배출 이력 데이터를 기반으로 시계열 예측 모델을 설계하고 구현하였다. 데이터 전처리 방식과 모델 구성 구조를 정의하였으며, 월 단위 탄소 배출량의 변화 추이를 반영한 예측 결과를 생성하였다. 해당 결과는 절감 시나리오 분석 및 서비스 전반의 분석 기능에 활용될 수 있도록 데이터 구조를 설계하여 제공하였다.

이미소 (백엔드 서버 개발 및 데이터 관리 시스템 설계)

탄소 배출 데이터와 AI 예측 결과를 통합 관리하는 백엔드 서버 구조를 설계·구현하였다. 절감 시나리오 적용 전·후의 배출량 변화를 계산하는 로직을 개발하였으며, 분석 결과를 정리하여 자동으로 출력하는 보고서 생성 기능을 구현하였다.

조민주 (프론트엔드 개발 및 사용자 경험 설계)

사용자 입력 정보를 기반으로 탄소 배출량을 계산하고, 이를 금전적 비용으로 환산하는 기능을 구현하였다.

계산 결과와 분석 정보를 사용자가 직관적으로 이해할 수 있도록 화면 구성과 정보 시각화 방식을 설계하였다.

3. 고유 핵심 기술 요소

3.1. 탄소 배출량 계산 및 금전 환산

탄소배출 계산 및 금전 환산 엔진은 사용자 활동 데이터를 API를 통해 입력받아, 공식 배출계수 기준으로 탄소배출량을 산출하고 이를 카테고리별로 집계한 뒤 금전적 비용으로 환산하는 기능을 수행한다.

3.1.1 사용 기술 및 URL

본 기술 요소는 다음의 기술 및 기반 소프트웨어를 활용하여 구현되었다.

- **FastAPI** (Python Web Framework) <https://fastapi.tiangolo.com/>
- **Pydantic** (입력 데이터 검증 및 스키마 관리) <https://docs.pydantic.dev/>
- **REST API** (HTTP 기반 입력·출력 인터페이스)
- **CSV 기반 배출계수 관리 파일**

FastAPI를 활용하여 탄소배출 계산 로직을 API 형태로 제공하며, 외부 시스템은 HTTP 요청을 통해 계산 결과를 전달받는다. FastAPI를 기반으로 API 서버를 구성함으로써, 계산 로직을 특정 UI나 실행 환경에 종속시키지 않고 독립적인 계산 서비스 형태로 구현하였다.

3.1.2 시스템 설계 및 동작 시나리오

본 시스템은 다음과 같은 흐름으로 동작한다.

1. 외부 시스템(프론트엔드 또는 테스트 클라이언트)이 사용자 활동 데이터를 API로 전송
2. API 서버가 입력 데이터를 검증
3. 공식 배출계수를 적용하여 활동별 탄소배출량 계산
4. 카테고리별 배출량 합계 산출
5. 전체 배출량을 금전적 비용으로 환산
6. 계산 결과 및 로그를 시스템 내부에 기록
7. 계산 결과를 JSON 형태로 반환

3.1.3 배출계수 기준 및 적용 방식

배출계수는 CSV 파일로 관리되며, 각 항목은 다음 정보를 포함한다.

- 활동 카테고리(category)
- 세부 항목(subcategory)
- 계산 단위(unit)
- 단위당 배출량(kgCO₂e)
- 배출계수 출처(source)

계산 시 API는 입력된 활동의 category/subcategory에 대응되는 배출계수를 조회하여 배출량을 산출하며, 계산 결과에는 적용된 배출계수와 출처 정보가 함께 포함된다.

3.1.4 API Call 활용 시나리오

본 시스템은 외부 시스템(프론트엔드, 테스트 클라이언트 등)으로부터 사용자 활동 데이터를 API 호출 방식으로 입력받아 탄소배출량을 계산한다. API 호출 시, 요청에는 사용자 식별자(user_id), 사용자 유형(user_type), 적용할 탄소 가격 방식(pricing_mode), 그리고 사용자의 활동 내역(activities)이 포함된다.

활동 내역은 전기 사용, 교통 이동, 배달 이용 등 여러 활동을 하나의 요청에 포함할 수 있도록 구성되어 있으며, 각 활동은 카테고리(category)와 세부 항목(subcategory), 그리고 해당 활동의 사용량 정보를 포함한다. 예를 들어, 전기 사용의 경우 사용량(kWh)이 전달되며, 교통 활동의 경우 이동 거리(km)가 전달된다. 배달 활동은 주문 횟수와 평균 이동 거리를 입력받아, 시스템 내부에서 총 이동 거리로 변환된 후 계산에 사용된다.

API 서버는 요청을 수신한 뒤, 입력된 활동 데이터를 순차적으로 처리한다. 먼저 각 활동에 대해 대응되는 배출계수를 CSV 기반 배출계수 테이블에서 조회한다. 이후 활동별 배출량을 산출하고, 동일 카테고리에 속한 활동들을 묶어 카테고리별 배출량 합계를 계산한다. 마지막으로 모든 카테고리의 배출량을 합산하여 총 탄소배출량을 산출하고, 이를 사전에 정의된 탄소 가격 기준에 따라 금전적 비용으로 환산한다.

계산이 완료되면 시스템은 활동별·카테고리별 배출량, 총 배출량, 금전 환산 결과를 JSON 형태로 반환하며, 동시에 해당 계산 결과를 시스템 내부 로그로 기록한다. 이 과정을 통해 외부 시스템은 단일 API 호출만으로 사용자의 탄소배출 영향에 대한 종합적인 결과를 확인할 수 있다.

3.1.5 입력 데이터 처리 시나리오

- 전기 사용량은 kWh 단위로 입력되어 직접 계산에 사용된다.
- 교통 활동은 km 단위로 입력되어 이동 거리 기반으로 계산된다.
- 배달 활동은 주문 횟수와 평균 이동 거리를 입력받아 내부적으로 km 단위로 변

환된 후 계산된다.

모든 활동은 내부적으로 표준 단위(kWh, km)로 정규화된 뒤 배출량 계산이 수행된다.

출력 결과에는 활동별·카테고리별 배출량, 전체 배출량, 금전 환산 결과가 포함된다.

3.1.6 입력값 오류 처리 시나리오

API 요청 수신 후 시스템은 입력된 수치 데이터의 유효성을 먼저 검증한다. 전기 사용량, 이동 거리, 배달 횟수 등에서 음수 값과 같이 물리적으로 의미 없는 입력이 감지될 경우, 시스템은 계산을 수행하지 않고 즉시 오류를 반환한다. 이때 해당 요청은 계산 결과 및 로그로 저장되지 않으며, 오류 메시지를 통해 입력값 수정이 필요함을 외부 시스템에 전달한다. 이를 통해 잘못된 입력 데이터가 탄소배출량 계산 결과에 반영되는 것을 방지한다.

3.1.7 기술 검증 결과

본 기술 요소는 다음 항목을 충족하였다.

- API 기반 탄소배출 계산 기능 정상 동작
- 공식 배출계수 기준 적용
- 활동 유형별 입력 처리 및 정규화
- 카테고리별 및 전체 배출량 집계
- 금전적 환산 결과 제공
- 입력값 오류 발생 시 계산 중단

7.1.4 시연 영상 링크

<https://youtu.be/mFVGAX7Vbac>

3.2. 시계열 기반 탄소배출량 예측

7.2.1 기술 개요

사용자의 활동 중 교통 부문의 탄소배출량을 중심으로 시계열 기반 예측 모델을 실험적으로 검증하는 것을 목표로 한다. 탄소 배출량을 구성하는 활동(전력 사용, 음식 소비, 생활폐기물, 교통 등) 중 교통 활동은 일상적이고 데이터 패턴이 명확한 특성을 가지므로, 초기 시계열 예측 실험의 대상으로 적합하다고 생각했다. 탄소 배출교통 활동(통학 거리 및 이동 수단)"을 기반으로 매월 탄소 배출량을 산정하고, 향후 배출량을 예측하는 시계열 분석 기술을 적용하였다. 추후 서비스에서는 가상 데이터 대신 사용자가 직접 입력한 다양한 부문의 데이터에 대해 탄소배출량을 계산할 예정이다.

- (1) 사용자 이동 데이터를 기반으로 탄소 배출량 산정 로직이 정상적으로 작동하는지 검증,
 - (2) 단기·중기 교통 배출량을 예측할 수 있는 모델의 실용성을 확인
 - (3) 전통 시계열 모델 vs 딥러닝 모델의 필요성 비교
- 의 세가지 목적을 가지고 검증을 실행했다.

따라서, 먼저 12개월 단일 시계열로 ARIMA 예측을 수행하는 실험을 진행한 뒤, 데이터를 36개월로 확장하고 train/test로 분리하여 ARIMA·Prophet·LSTM 모델의 성능을 비교하는 심화 버전 코드를 작성했다.

7.2.2. 데이터 생성

1. 실제 탄소배출 계산 방식과 유사하게, 다음 요소를 기반으로 데이터를 생성했다:
사용자 통학 거리: 1회 왕복 20km
월 통학일수: 17~23일 사이에서 무작위 생성
통학 수단 변화 시나리오: Taxi 사용 -> Bus 사용 -> Metro + Walk 혼합 사용
2. 탄소배출량 산정 공식 (활동데이터 × 배출계수)

$$\text{Emission} = \text{Monthly_Distance} \times \text{Emission_Factor}$$

7.2.3. 예측 모델 기술

초기 12개월 가상 데이터를 생성해 ARIMA 모델만 사용한 후, 보다 현실적인 예측 실험을 위해 데이터를 36개월로 확장했다. 탄소배출량이 "교통수단 변화에 따라 점진적으로 감소"하는 구조이기 때문에, 이를 학습할 수 있는 시계열 분석 모델을 적용해 비교했다.

1. ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average)

statsmodels 패키지를 통해 구현할 수 있는 전통적인 통계 기반의 시계열 모델이다.

$(p,d,q) = (1,1,1)$ 로 구성하여 AR(1): 과거 1-step 의존, I(1): 1차 차분으로 추세 제거, MA(1): 오차 항 고려하는 코드로 구성했다.

2. Prophet

Prophet 패키지를 통해 구현하는 모델로, 계절성을 자동으로 학습하고, 월 단위 데이터에서도 안정적인 모델이다.

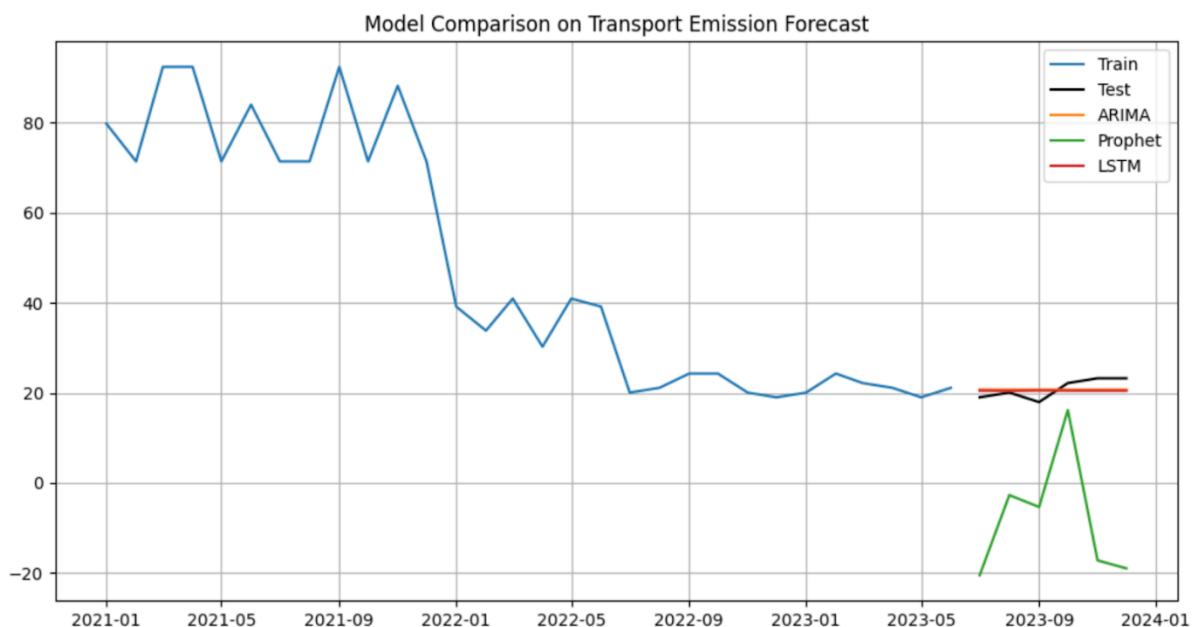
3. LSTM (Recurrent Neural Network 기반)

PyTorch 패키지로 딥러닝 모델인 LSTM 모델 또한 적용해보았다. 최근 3개월 데이터를 기반으로 다음 1개월을 예측하도록 구성해 200 epoch을 학습했다

LSTM은 비선형 패턴, 장기 의존성(LTD)에 강하기 때문에 많은 데이터가 있을수록 우월해지는 모델인데, 이번 데이터는 다음과 같은 이유로 큰 차이가 안 나는 것을 발견했다.

7.2.4. 모델 비교 및 성능 평가

MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Squared Error)로 성능을 평가한 결과, ARIMA는 단기 시계열(월 36개)에서 매우 안정적으로 작동하는 것을 발견했고, LSTM의 성능이 ARIMA와 매우 비슷했다. 현재는 ARIMA의 효율성이 가장 높지만, 그러나 이는 가상 데이터를 이용했기 때문이므로, 앞으로 사용자의 데이터가 누적되면 딥러닝 모델의 효율성이 커질 것으로 예상된다.



본 기술 요소 검증을 통해 사용자 행동 기반 탄소배출 예측 서비스 구현이 기술적으로 충분히 가능함을 확인하였으며, 추후 다양한 부문의 행동으로 탄소배출량 산정을 확장하고, 이 누적된 데이터로 성능이 가장 높은 딥러닝 모델을 이용해 고도화를 진행할 예정

이다.

7.2.5. 시연 영상

기술 요소 검증 시연 영상 : <https://youtu.be/3oEQ23HzZ3Y>

3.3 절감 시나리오 생성 및 PDF 자동 보고서 생성

7.3.1 기술 개요

본 기술 요소 검증은 사용자의 교통 탄소배출 데이터와 예측 결과를 기반으로, 개인이 실천 가능한 탄소 절감 행동을 자동으로 제안하고 이를 보고서 형태로 제공하는 기능의 구현 가능성을 확인하는 것을 목표로 한다. 기존 탄소 계산 서비스는 배출량을 수치로만 제공하는 경우가 많아 사용자가 “무엇을 어떻게 바꾸어야 하는지”에 대한 구체적인 행동 지침을 얻기 어렵다는 한계가 있다. 이에 따라 본 프로젝트는 단순 산출 결과 제시에 그치지 않고, 사용자의 최근 배출 패턴과 향후 예측치를 입력으로 활용하여 절감 목표를 설정하고 우선순위가 포함된 절감 전략을 생성하는 기능을 설계하였다.

본 검증에서는 (1) 예측 결과를 포함한 사용자 요약 정보를 기반으로 절감 시나리오가 생성되는지 확인, (2) 생성된 결과가 PDF 문서로 자동 구성되어 출력되는지 확인, (3) 한글 출력 및 보고서 형식 정렬 등 실무적으로 활용 가능한 수준의 자동 문서화를 구현할 수 있는지를 중점적으로 검증하였다. 최종적으로는 “예측 → 절감 제안 → 보고서 출력”으로 이어지는 일련의 흐름이 하나의 파이프라인으로 작동함을 시연하는 것을 목표로 한다.

7.3.2 입력 데이터 및 전처리

절감 시나리오 생성 기능은 이전 단계(7.2)에서 생성된 교통 탄소배출 데이터프레임(df)과 예측 모델의 결과를 입력으로 사용한다. df는 월별 날짜(date), 이동수단(mode), 월 배출량(emission_kg) 등을 포함하며, 예측 결과는 향후 3개월 또는 테스트 구간의 예측값을 시계열 형태로 제공한다.

또한 절감 목표 자동 설정을 적용하기 위해 최근 3개월 평균 배출량을 기준선으로 계산하고, 이번 달 목표를 “최근 3개월 평균 대비 -5%”와 같은 방식으로 설정하였다. 이는 사용자의 소비 패턴이 변화할 경우 목표도 함께 변동하도록 설계하기 위한 기반 로직이다.

7.3.3 절감 시나리오 생성 기술(LLM 기반)

절감 시나리오 생성은 OpenAI GPT 모델을 활용하여 구현하였다. 입력 데이터(df)에서 최근 통학수단, 최근 월 배출량, 최근 3개월 평균 배출량, 설정된 목표 배출량, 예측된 향후 3개월 배출량을 추출해 프롬프트에 포함한다. 모델은 이 정보를 바탕으로 사용자의 배출 행동 특성을 요약하고, 실행 가능한 절감 전략을 계량화된 형태로 제시하도록 설계하였다. 또한 추천 우선순위 모델 개념을 반영하여, 목표 도달에 기여도가 높은 전략 Top-3를 먼저 제시하게 함으로써 실제 사용 시 행동 선택의 기준을 제공하도록 구성하였다.

이 과정은 규칙 기반 알고리즘만으로는 제공하기 어려운 자연어 기반 설명(이유 제시, 실행 가이드, 예상 절감량)을 자동으로 생성한다는 점에서 “탄소 관리 코치” 기능의 핵심 요소로 활용 가능하다.

7.3.4 PDF 자동 보고서 생성 기술(ReportLab 기반)

생성된 절감 시나리오는 PDF 자동 생성 모듈의 입력으로 전달되어 보고서에 삽입된다. PDF 자동 생성은 ReportLab 라이브러리를 통해 구현하였으며, 문서에는 다음 항목이 포함되도록 구성하였다.

(1) 분석 기간 및 최근 월 배출량 요약, (2) 향후 3개월 예측 결과, (3) AI 기반 절감 시나리오(요약/전략/Top-3 추천 포함).

또한 PDF 자동 생성 과정에서 발생할 수 있는 한글 출력 문제를 해결하기 위해, 한글을 지원하는 TTF 폰트를 적용하고 이를 문서 렌더링 라이브러리에 직접 등록하는 방식을 사용하였다. 폰트 등록 이후 모든 문단 스타일에 해당 폰트를 적용함으로써, 한국어 텍스트가 포함된 보고서를 안정적으로 출력할 수 있음을 확인하였다. 결과적으로 본 기능은 사용자가 보고서 생성을 요청했을 때 즉시 활용 가능한 형태의 문서를 자동 구성할 수 있으며, 기업 사용자의 보고 행정 부담을 줄이는 방향으로 확장 가능하다.

7.3.5 기술 요소 검증 결과

본 기술 요소 검증을 통해 (1) 예측 결과 기반의 절감 목표 설정이 정상적으로 수행됨을 확인하였고, (2) 사용자의 배출 패턴 요약 및 계량화된 절감 전략(3~5개)이 자동 생성되는 것을 확인하였다. 또한 (3) 생성된 시나리오가 PDF 보고서에 자동 삽입되어 저장되며, 한글 텍스트 출력이 안정적으로 처리됨을 확인하였다.

향후에는 절감 전략의 “우선순위 점수화(절감량/난이도/비용/선호도)”를 실제 계산 로직으로 확장하고, 보고서 내 그래프(예측 그래프/절감 전후 비교)를 삽입하여 문서 완성도를 고도화할 예정이다.

7.3.6 시연 영상 링크

기술 요소 검증 시연 영상: <https://youtu.be/Pp-cfTSlyYk>

'4. Further Work

4.1. 현재 프로젝트의 진도 및 상태에 대한 자체평가

본 프로젝트는 탄소 배출량 산정, 금전적 환산, 시계열 예측, 절감 시나리오 생성, 자동 보고서 출력이라는 핵심 기능들을 중심으로 각 기술 요소의 구현 가능성과 타당성을 단계적으로 검증한 상태에 있다. FastAPI 기반의 탄소 배출량 계산 엔진을 통해 사용자 활동 데이터 입력에 따른 배출량 및 비용 산출이 안정적으로 수행됨을 확인하였으며, 교통 부문을 중심으로 한 시계열 예측 모델과 LLM 기반 절감 시나리오 생성 기능 또한 독립적으로 정상 동작함을 검증하였다.

다만 현재 단계에서는 이러한 기능들이 하나의 연속적인 사용자 경험 흐름으로 완전히 통합되어 있지는 않다. 즉, 사용자의 입력 결과가 행동 변화로 이어지고, 그 결과가 다시 데이터로 축적되어 다음 분석과 추천에 반영되는 피드백 루프까지는 구현되지 않은 상태이다. 이에 따라 본 프로젝트는 개별 기술 요소의 기술적 검증은 완료되었으나, 이를 서비스 관점에서 유기적으로 연결하는 고도화 단계로 넘어가기 직전의 전환점에 위치해 있다고 평가할 수 있다.

4.2. Pivoting에 대한 고민 및 주제에 대한 인식 변화

프로젝트 진행 과정에서 개인 사용자와 중소기업 사용자 중 어느 쪽을 중심으로 가져갈 것인지, 그리고 AI 모델 자체를 얼마나 강조해야 하는지에 대한 방향성 고민은 지속적으로 존재하였다. 특히 기능 구현이 진행될수록, 단순한 탄소 계산이나 예측 정확도보다는 “이 결과가 실제로 어떤 의사결정에 사용될 수 있는가”에 대한 질문이 더욱 중요해졌다.

이러한 고민을 거치며, 본 프로젝트의 핵심 가치는 주제의 변경이나 방향 전환(pivoting)에 있기보다는, 탄소 데이터를 금전적 비용과 미래 영향으로 환산하여 의사결정 단위로 제공하는 서비스 구조 그 자체에 있다는 점이 명확해졌다. 따라서 프로젝트의 주제에 대한 근본적인 변경보다는, 기존 주제를 유지한 채 초점을 보다 명확히 정제하는 방향으로 인식이 변화하였다. 결과적으로 본 프로젝트에 대한 주제적 믿음은 오히려 강화되었으며, 향후 고도화 과정에서는 기술 자체보다 활용 시나리오와 설득력에 더 집중할 필요가 있다고 판단하게 되었다.

4.3. 겨울 방학 기간 중 추가로 진행하고자 하는 내용

겨울 방학 기간 동안에는 새로운 기능을 추가하는 것보다, 현재 구현된 기술 요소들을 하나의 서비스 흐름으로 정리하고 실제 활용 가능성을 높이는 데 중점을 둘 계획이다. 개인 사용자 관점에서는 탄소 배출량 감소 결과가 금전적 비용 절감이나 제도 기반 혜택으로 어떻게 해석될 수 있는지를 보다 명확히 제시하여, 분석 결과와 행동 선택 간의 연결성을 강화하고자 한다.

중소기업 사용자 관점에서는 ESG 보고서 생성 이전 단계에서 활용할 수 있는 의사결정 보조 시나리오를 보완할 계획이다. 탄소 감축 전략 선택 시 발생하는 비용 변화와 감축 효과를 비교할 수 있는 구조를 단순화된 형태로 구성함으로써, 탄소 데이터가 실제 경영 판단 과정에서 참고 지표로 활용될 수 있는 가능성을 검증하고자 한다. 또한 최종 발표를 대비하여, 기능 나열 중심이 아닌 대표 사용자 시나리오 중심의 데모 흐름을 정리할 예정이다.

4.4. 그로쓰(Growth) 과정에서의 프로젝트 세부 계획

향후 프로젝트의 그로쓰 과정은 기능의 단순 확장이 아니라, 현재 검증된 기술 요소들을 점진적으로 통합하고 활용 범위를 넓히는 방향으로 계획하고 있다. 초기 단계에서는 개인 사용자 중심의 서비스 흐름을 우선적으로 정제하여, 입력-분석-결과 해석이 명확히 이어지는 구조를 완성하는 것을 목표로 한다.

이후에는 중소기업 사용자를 대상으로 탄소 데이터 기반 의사결정 지원 기능을 강화하고, 비용-효과 비교 및 시나리오 분석 기능을 중심으로 서비스 활용 범위를 확장할 계획이다. 장기적으로는 기업과 개인을 연결하는 구조를 통해, 기업의 ESG 목표와 개인의 행동 변화가 데이터 기반으로 연결되는 선순환 구조를 실험적으로 검증하고자 한다. 이러한 단계적 성장 전략을 통해 본 프로젝트는 기술 검증 단계에서 나아가 실제 활용 가능성을 갖춘 탄소 관리 서비스로 발전하는 것을 목표로 한다.

[부록1] 팀 지도교수님 최종 코멘트

1. 전반적 내용 피드백

- 전반적으로 상당히 프로페셔널한 수준의 전문 보고서로 완성되어 있다는 인상을 받았음.
- 기술적 내용의 충실도와 보고서 구성 모두 우수함
- 다만, 졸업 프로젝트의 최종 평가는 보고서 자체보다는 최종 발표를 중심으로 이루어지며, 연구 트랙의 경우 논문 출간이 큰 의미를 갖지만, 그렇지 않은 경우에는 시장성 및 실제 활용 가능성이 평가에서 매우 중요한 기준이 되기 때문에, 향후 최종 발표에서 무엇을 보여줄 것인지, 그리고 실제 투자 상황을 가정했을 때 투자자에게 얼마나 매력적인 아이템으로 보일 수 있는지에 초점을 맞추어 발전시킬 필요가 있음

2. 현재까지 수행한 내용의 장점

- 1) 기술 스택 정리, API 스키마, 계산 로직, 예측 모델 비교(ARIMA, Prophet, LSTM) 등 형식적 구조적 측면
- 2) 탄소를 금전적 비용으로 환산하려는 시도, 개인/기업 사용자 구분 및 탄소 가격 시나리오 (offset / social / ets / internal) 등 개념적 방향성

3. 보완할 점, 더 나아갈 방향

- 단순히 탄소 줄이는 게 좋다는 걸 보여주는 앱이 아니라 실제 의사 결정에 반영될 수 있는 시나리오로 짜야 함
- 1) 기업의 경우 trade-off로 탄소 감축 vs. 비용(또는 세금) 분석 (세무 회계적 관점)
 - 2) 개인의 경우 얼마나 마일리지 혜택 등을 받을 수 있을 것인지 예상 기대 효과 (서울시 등의 마일리지 환급 척도로 계산)

수준까지 나아갔으면 좋겠음.

- 보고서 마지막 부분에 LLM을 이용한 예측 모델과 다른 통계적 모델을 비교하는 부분이 있는데, 이 비교가 최종 발표에서 굳이 강조되어야 하는 요소인지는 한 번 더 고민해 볼 필요가 있어 보임.
- 이 프로젝트의 핵심은 기존에 누군가가 만든 통계적 모델을 LLM으로 개선했다는 데 있다기보다는, 탄소 배출 데이터를 의사결정에 활용할 수 있는 새로운 방식의 서비스 제안 그 자체에 있기 때문에, "LLM을 활용해 예측을 수행했다"는 설명만으로도 충분히 신선하고 설득력이 있으며, 다른 모델과의 성능 비교를 과도하게 부각할 경우 오히려 심사 위원의 관심이 프로젝트의 본질이 아닌 모델 비교 문제로 이동할 우려도 있음.

- 시간 할애에 신경을 쓰고, 최종 발표를 할 때는 프로젝트의 핵심 메시지를 흐리지 않는 선에서 정리하는 것이 바람직해 보임.

[부록 2] Project Repository README.MD

<https://github.com/smileblu/Capstone>

[부록3] 본 문서에 대한 AI Improvement Details

본 보고서는 작성 과정에서 생성형 AI를 단순한 정보 검색 기능을 넘어 '문서 에디터 및 전략 컨설턴트'로 활용하였습니다. 이를 통해 초기 초안(ver.0)부터 최종본(ver.3)에 이르기까지 문서의 명료성, 구성의 충실도, 시각적 완성도를 극대화하였으며 그 구체적인 과정은 다음과 같습니다.

활용 AI 도구 및 주요 역할

- Gemini (Advanced):** 보고서 분석 및 개선점 도출, 기술 용어의 표준화 및 문장 다듬기, 제공된 루브릭(Rubric) 기반의 모의 평가 수행

1. 문서 구조의 논리적 재구성 및 흐름 최적화: 초기 보고서는 개발 내용 중심의 단순 나열식 구조였으나, AI와의 구조적 리뷰 과정을 통해 독자가 서비스의 필요성을 공감하고 기술적 해법을 이해할 수 있는 '문제 정의 - 기술적 해결 - 비즈니스 가치 검증'의 논리적 흐름으로 재설계되었습니다. 특히 각 장의 연결성을 강화하여 서론에서 제기한 '탄소 배출의 낮은 체감도'라는 문제가 본문의 '금전 가치 환산 및 시뮬레이션' 기능을 통해 어떻게 해결되는지 논리적 완결성을 높였습니다.

2. 표현의 명료화 및 기술 문서의 격식 확보: 보고서의 전문성을 높이기 위해 문장 수준의 정교한 다듬기 과정을 거쳤습니다. 구어체나 모호한 표현(예: "알기 쉽다", "고민 중")을 배제하고, "직관적 가시성 확보", "실현 가능성 검토"와 같은 명확한 기술 행정적 용어로 대체하였습니다. 또한, 탄소 배출 단위 표기를 국제 표준(kgCO₂e)에 맞춰 교정하고, 복잡한 기술 개념을 사용자 친화적인 언어로 재해석하여 읽기 쉬운 정도(Readability)를 대폭 개선하였습니다.

3. 비즈니스 모델 및 실행 전략의 구체화: 기술 구현 단계에 머물러 있던 보고서에 실질적인 시장성을 부여하기 위해 AI를 비즈니스 분석 도구로 활용하였습니다. 이를 통해 SaaS 기반의 구독 모델, B2B2C 리워드 시스템 등 구체적인 수익 구조를 설계하였으며, 단순 아이디어를 넘어 실제 비즈니스 현장에서 통용될 수 있는 수준의 운영 전략을 부록과 본문에 수록하여 내용의 충실도를 높였습니다.

4. 시각 자료의 전략적 배치 및 레이아웃 개선: 텍스트 위주의 정보를 한눈에 파악할 수 있도록 시각화 전략을 수립하였습니다. 시스템 아키텍처 다이어그램의 논리 구조를 설계하고, 주요 실험 데이터(ARIMA vs LSTM 성능 비교 등)를 정량적인 표와 그래프로 정리하여 데이터 기반의 신뢰도를 확보하였습니다. 최종적으로는 학교 로고, 팀 정보, 목차 구성 등 공식 보고서 형식을 갖추어 문서 자체의 심미적 완성도와 신뢰성을 완성하였습니다.

5. 피드백 반영 및 최종 무결성 검토: 지도교수님의 피드백과 팀 내 회고(KPT) 내용을 AI

와 함께 분석하여 보고서에 유기적으로 녹여냈습니다. 누락된 시연 링크를 점검하고 부록의 구성(기술 블로그 연동 등)을 강화함으로써, 본 보고서가 단순한 과제 결과물이 아닌 하나의 완성된 프로젝트 포트폴리오로서 기능을 할 수 있도록 최종적인 무결성을 검토하였습니다.

6. 평가 루브릭(Rubric)을 활용한 객관적 자가 점검 및 보완: 공지된 '프로젝트 기말 보고서 평가 Rubric'을 AI에게 입력하여 작성된 초안에 대한 모의 평가를 수행하고, 도출된 개선점을 반영하여 완성도를 높였습니다.

- **고유 핵심 기술의 독립 구성:** 루브릭 기준에 맞춰 각 핵심 기술을 독립된 장으로 분리하고, 각 기술별 사용 시나리오와 URL을 명시하여 구체성을 보강하였습니다.
- **팀원별 기여도 구체화:** 단순한 역할 나열을 넘어, 루브릭 가이드에 따라 각 팀원의 세부 작업 내용과 기여도를 맥락적으로 상세히 기술하여 독립된 장으로 구성하였습니다.

본 보고서는 이와 같은 AI 협업 과정을 거쳤으며, 최종적으로 AI가 제안한 내용은 팀원들의 교차 검증과 전공 지식에 기반한 인간의 확인을 거쳐 수록되었음을 밝힙니다.

[부록4] 기술블로그

이미소 기술블로그

LLM을 활용해 탄소 산정 엔진의 결과를 입력으로 받아, 사용자 활동 맥락에 맞는 개인화된 탄소 절감 시나리오를 자연어 형태로 생성하는 기능을 설계·구현하였다.

<https://velog.io/@smileblu/LLM-%EA%B8%B0%EB%B0%98-%ED%83%84%EC%86%8C-%EC%A0%88%EA%B0%90-%EC%8B%9C%EB%82%98%EB%A6%AC%EC%98%A4-%EC%B6%94%EC%B2%9C-%EC%8B%9C%EC%8A%A4%ED%85%9C-%EA%B5%AC%ED%98%84>

정서윤 기술블로그

가상 탄소배출량 시계열 데이터를 생성하고 ARIMA 모델로 배출량을 예측하는 코드를 짜기 위해, 시계열 모델 관련 서베이 논문을 읽고, 가장 많이 쓰이는 ARIMA, Prophet, LSTM 모델들의 구조와 장단점에 대해 공부한 후 코드를 이용해 미래 탄소배출량을 예측 함

<https://velog.io/@younsglog/%EC%A1%B8%EC%97%85%ED%94%84%EB%A1%9C%EC%A0%9D%ED%8A%B8-PlanIT>

조민주 기술블로그

이 블로그에서는 사용자 활동 데이터를 API로 입력받아 공식 배출계수 기준으로 탄소배출량을 계산하고, 이를 카테고리별로 집계 및 금전적 비용으로 환산하는 엔진의 구현과 검증 과정을 다룬다.

<https://velog.io/@minjujoy/API-%EA%B8%B0%EB%B0%98-%ED%83%84%EC%86%8C%EB%B0%EC%B6%9C-%EA%B3%84%EC%82%B0-%EC%97%94%EC%A7%84-%EA%B5%AC%ED%98%84>

[부록5] 프로젝트 팀 회고

본 프로젝트 종료 후, 팀은 KPT(Keep–Problem–Try) 방식의 회고를 통해 프로젝트 진행 과정과 협업 경험을 정리하고, 모두의 KPT를 수합해 향후 개선 방향을 도출하였다.

K. Keep (유지하고 싶은 점)

K1. 협업 문화와 소통 방식

팀원 간 역할과 진행 상황을 수시로 공유하고, 회의 내용을 Notion 등 협업 플랫폼에 기록하여 링크로 공유하는 소통 방식이 잘 정착되었다. 또한 협업 과정에서 애매한 문제나 어려움을 숨기지 않고 솔직하게 공유하며 해결 방법을 함께 논의한 점이 팀워크 유지에 큰 도움이 되었다.

K2. 공익적 문제의식과 방향성 유지

공익적인 주제를 다루자는 팀의 초기 취지가 프로젝트 전반에 걸쳐 유지되었으며, 기능 설계와 서비스 방향을 결정하는 과정에서도 중요한 기준으로 작용하였다.

K3. 확장성을 고려한 기술 설계

개인 사용자를 기준으로 시스템을 설계하되, 향후 중소기업 등 다양한 사용자 유형으로 확장할 수 있도록 구조를 분리해 설계한 점은 유지하고 싶은 기술적 강점이다.

P. Problem (아쉬웠던 점)

P1. 시간 및 경험 제약

학기 중 수업·시험 일정과 프로젝트를 병행하면서 개발 일정 관리에 어려움이 있었으며, AI 기술과 탄소 배출·ESG 등 도메인 지식에 대한 경험 부족으로 초기 학습 부담이 컸다.

P2. 기술적 소통의 한계

코드를 설명할 때 추상적인 표현을 사용하다 보니, 각자가 처한 개발 환경이나 구체적인 문제 상황을 정확히 공유하기 어려운 경우가 있었다. 동일한 기능에 대해 서로 다른 용어를 사용하거나 데이터 구조를 다르게 이해하는 문제도 발생했다.

P3. 통합 설계 및 확장 관점의 부족

개인 사용자 기능에 집중한 나머지 중소기업 관점의 기능 설계가 충분히 다뤄지지 못했으며, 기술 검증 요소를 개별적으로 구현한 후 이를 통합할 데이터베이스 구조를 구축하지 못해 전체 시스템 연동까지 이어지지 못한 점이 아쉬움으로 남았다.

T. Try (다음 프로젝트에서 시도해볼 점)

T1. 지속가능한 AI 설계 고려

탄소 감축을 목표로 하는 서비스의 일관성을 위해 AI 모델의 학습 및 추론 과정에서 발생하는 탄소 배출량까지 함께 고려·측정하는 방향을 시도해보고자 한다. 이를 통해 AI 활용에 따른 환경적 비용을 포함한 탄소 산정 방식을 검토할 계획이다.

T2. 사용자 맥락을 반영한 AI 고도화

개인 단위 입력 중심 프롬프트에서 나아가, 중소기업의 조직 단위 데이터와 ESG 관리 지표를 반영한 컨텍스트 기반 프롬프트 구조를 설계하고자 한다. 또한 실제 중소기업 데이터를 활용해 ESG 현황을 분석하고, 의사결정에 필요한 개선 전략을 제안하는 방향으로 서비스를 확장하고자 한다.

T3. 기술 협업 방식 개선

기술적 소통 시 스크린샷, 문제 상황, 재현 방법을 함께 공유하고, 데이터 규격은 가상의 예시 데이터를 포함한 문서를 통해 사전에 공유함으로써 협업 효율을 높이고자 한다.

본 회고를 통해 팀은 기술적 성과뿐만 아니라 협업 방식과 기획 과정에서의 강점과 한계를 함께 점검할 수 있었으며, 이를 바탕으로 향후 더욱 완성도 높은 프로젝트를 수행 할 수 있는 방향성을 정립하였다.