

인공지능 기반의 탄소 저감 행동 유도 시스템 설계 및 구현

백준혜¹, 이재민², 김동성^{*}

금오공과대학교 IT융복합공학과^{1,2,*}

{backjun03¹, ljmpaul², dskim^{*}}@kumoh.ac.kr

AI-Based System for Encouraging Carbon Reduction Actions

Jun-Hye Baek¹, Jae-Min Lee², and Dong-Seong Kim^{*}

Kumoh National Institute of Technology Dept. of IT Convergence Eng.^{1,2,*}

요약

본 논문은 탄소 감축 활동의 효율적 실천과 관리를 위해 ‘인공지능 기반의 탄소 저감 행동 유도 시스템’을 제안한다. 현재 전 세계적으로 탄소 배출이 기후 변화와 생태계 불균형의 주요 원인으로 작동하고 있으며, 개인 단위의 참여 부족으로 인해 실질적인 감축 효과를 내기 어렵다. 기존의 캠페인형 참여 시스템은 단기적 참여 유도에 그쳐 장기적인 행동 변화를 이끌어내지 못하는 한계가 있다. 본 연구는 사용자의 자발적 참여를 기반으로 AI 인증과 보상 체계를 결합한 챌린지형 플랫폼을 설계하여, 개인의 활동 데이터를 기반으로 탄소 감축 과정을 체계적으로 관리한다. 이러한 접근은 사용자의 참여 지속성을 강화하고, 사회 전반의 탄소 저감 인식 확산과 실질적 감축 효과 달성에 기여할 것으로 기대된다.

I. 서론

전 세계적으로 탄소 배출의 증가는 심각한 환경 문제 중 하나로 대두되고 있다. 미국 국립 해양 대기국(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)의 발표 따르면, 2025년 5월 기준 대기 중 이산화탄소 농도는 430 ppm을 초과하여 관측 이래 최고치를 기록하였다. 이러한 수치는 지구가 심각한 환경 문제를 직면하고 있다는 것을 보여준다. 이와 같은 상황 속에서 전 세계 각국은 탄소 배출 저감을 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 기업들은 친환경 경영과 탄소중립을 목표로 하는 지속 가능한 경영체제로 전환하고 있으며, 정부 또한 국제 협약과 정책을 통해 환경 규제를 강화하고 있다[1,2]. 개인 차원에서도 텀블러 사용, 일회용품 절감, 대중교통 이용 등 일상적인 행동을 통해 환경 보호에 동참하고 있다. 그러나 여전히 다수의 사람들은 기후 변화의 심각성을 인식하고 있음에도 불구하고, 구체적이고 실질적인 탄소 저감 행동 방법을 인지하지 못하거나 실천으로 이어가지 못하는 한계를 보이고 있다. 이는 환경 보호 의식의 확산에도 불구하고, 개인 행동 변화로 이어지는 실질적 참여 구조가 아직 충분히 구축되지 않았음을 의미한다[3].

이러한 문제를 해결하기 위해 개발된 ‘인공지능 기반의 탄소 저감 행동 유도 시스템’은 개인의 자발적 참여를 기반으로 탄소 감축 활동을 실천할 수 있도록 지원하는 플랫폼이다. 사용자는 일상생활 속 다양한 탄소 저감 활동을 실천하며, 시스템은 AI 기반 이미지 검증 기능을 통해 사용자가 업로드한 챌린지 인증 사진의 진위를 자동으로 판별하고, 그 결과를 바탕으로 절감된 탄소 배출량을 수치화하여 사용자에게 제공한다. 활동 결과에 따라 보상이 지급되며, 이러한 인센티브 구조는 사용자의 지속적 참여를 유도한다. 단순한 환경 캠페인을 넘어, AI 인증과 보상 체계를 결합한 참여형 행동 유도 시스템으로써 개인의 작은 실천이 사회적 탄소 감축 효과를 향상하도록 설계되었다.

본 논문은 ‘인공지능 기반의 탄소 저감 행동 유도 시스템’의 설계와 구현 방안을 통해 개인의 자발적 탄소 저감 활동을 촉진하고, 1인당 탄소 배출량을 효과적으로 저감하는 것을 목표로 한다. 나아가 환경 보호에 실질적으로 기여하며, 지속 가능한 탄소 감축 시스템 구축 가능성을 탐구하고자 한다.

II. 기존 탐구 저감 시스템에 대한 분석

탄소 저감 참여 시스템의 개선은 환경 보호와 지속 가능한 생활 습관 정착을 위해 필수적이다. 현재 운영 중인 대부분의 탄소 감축 관련 앱이나 캠페인은 단기적 참여 유도에 초점이 맞춰져 있으며, 장기적인 행동 변화를 유도하기에는 구조적인 한계를 지닌다. 특히 사용자의 참여가 주로 포인트 지급이나 단순 출석 보상에 의존하고 있어, 탄소 감축 활동의 실제 효과나 데이터 기반 검증으로 이어지지 못하고 있다. 이러한 구조는 단기적 참여 촉진에는 일정 부분 효과가 있으나, 지속적인 참여 유도와 실질적인 탄소 감축 효과 측면에서는 한계를 보인다.

기존 시스템의 주요 문제는 세 가지로 구분된다. 첫째, 참여의 지속성 부족이다. 대부분의 사용자는 일정 기간 이후 흥미가 감소하여 장기적 참여를 유지하지 못하며, 이는 탄소 감축 활동의 누적 효과를 저해한다. 둘째, 검증 체계의 부재이다. 사용자가 업로드한 사진이나 인증 내용이 실제 활동과 일치하는지 판단할 수 있는 기술적 검증 장치가 부족하여, 데이터의 신뢰성이 낮다. 셋째, 활동 결과 확인의 어려움이다. 사용자는 자신의 활동이 실제로 얼마나 탄소 감축에 기여했는지를 확인할 수 없어, 행동 변화에 대한 동기 부여가 약화된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 사용자의 참여 데이터를 관리하고, 활동 결과를 지속 가능한 참여를 유도할 수 있는 구조적 시스템이 필요하다.

III. 제안하는 인공지능 기반의 탄소 저감 행동 유도 시스템

탄소 감축 활동을 일상 속에서 실천하기 위해서는 단순한 캠페인형 접근을 넘어, 사용자 참여를 중심으로 한 지속 가능한 구조가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 ‘인공지능 기반의 탄소 저감 행동 유도 시스템’을 제안한다. 본 시스템은 사용자가 직접 챌린지를 개설·참여하고, 업로드한 인증 이미지를 AI로 검증하며, 검증 결과에 따라 보상을 부여하는 메커니즘으로 기존 참여형 플랫폼의 한계를 보완한다. 사용자의 활동 데이터를 바탕으로 사용자의 누적 참여 기록과 탄소 감축량을 중앙 데이터베이스에 저장하고, 자신의 활동이 실제 탄소 감축에 얼마나 기여했는지를 직관적으로 인식할 수 있으며, 축적된 참여 데이터를 기반으로 신뢰성 높은 탄소 감축 통계를 구축할 수 있다. 제안하는 시스템은 여러 기능 모듈로 구성되어 있으며, 그중 핵심은 챌린지 생성과 AI 인증 기능이다. 챌린지 생성 기능은 사용자가 탄소 감축 활동을 제안하고 다른 사용자와 함께 참여할 수 있도록 설계되었다. 사용자가 새로운 챌린지를 생성하면 입력된 데이터는 데이터베이스 내 challenges 컬렉션과 users - challenges 컬렉션에 자동 저장된다. 챌린지 정보는 개별 문서 형태로 관리되며, 참여자가 챌린지를 선택하면 해당 사용자의 고유 ID가 users - challenges 컬렉션에 추가되어 연동된다. 챌린지를 포기하거나 종료할 경우, users - challenges 컬렉션에서는 해당 항목이 삭제되지만 전체 challenges 컬렉션에서는 유지되어 다른 사용자의 참여가 가능하다. 이 구조를 통해 데이터 무결성을 유지하면서도 다수의 사용자가 동일 챌린지에 독립적으로 참여할 수 있다. 그림 1은 제안 시스템의 챌린지 생성 화면을 나타낸다.

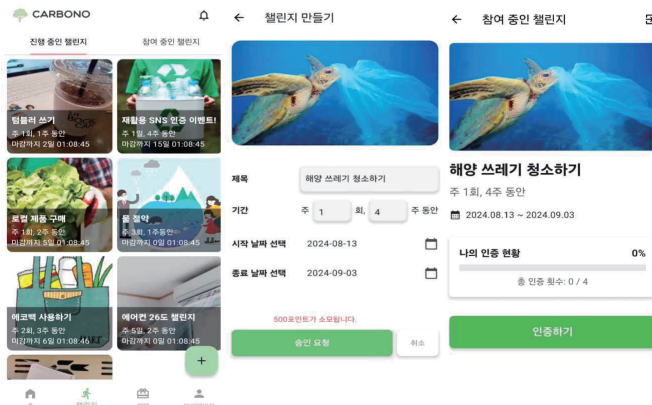


그림 1. 챌린지 생성 화면 예시

본 연구에서는 사용자의 활동 인증 과정에서 발생할 수 있는 허위 제출 및 중복 인증을 방지하고 활동 검증의 객관성과 신뢰성을 확보하기 위해 AI 기반 인증 모듈을 도입하였다. 사용자가 챌린지 수행 후 인증 사진을 업로드하면 시스템은 이미지를 분석한다. 분석 결과의 신뢰도(confidence score)가 기준 임계값(threshold)을 초과할 경우 인증이 승인되며, 활동 유형에 따라 탄소 감축량이 계산되어 포인트로 환산된다. AI 기반 인증 과정은 그림 1에 요약되어 있다. AI 인증 프로세스는 사용자가 업로드한 이미지를 입력으로 받아 AI 모델이 신뢰도를 계산하고 활동의 유효성을 검증한 뒤 결과에 따라 포인트와 감축량을 산출하는 절차이다. 인증 성공 시 database.save() 함수를 통해 사용자 활동 데이터가 즉시 저장되며, 이 정보는 이후 보상 정산 및 통계 분석에 활용된다.

사용자는 애플리케이션을 통해 챌린지를 개설하거나 참여하며, 인증 과정을 거쳐 포인트와 보상을 지급받는다. 이러한 순환 구조를 통해 개별 사용자의 실천이 누적되어 사회 전반의 탄소 감축 효과로 확산되는 지속 가능한 플랫폼으로 작동한다.

Algorithm 1 AI-Based Challenge Verification Process

```

Input: activity_image, activity_type, user_id, timestamp
Output: verification_result, carbon_reduction_value

1: user ← get_user(user_id)
2: rule ← load_rule(activity_type)
3: upload_image ← app.capture_photo(user, activity_image)
4: ai_result ← AI.verify(upload_image, rule)

5: if ai_result.confidence ≥ rule.threshold then
6:   if validate_context(upload_image, rule) then
7:     verification_result ← "approved"
8:     carbon_reduction_value ← calculate_reduction(activity_type)
9:     user.points ← user.points + 300
10:    database.save(user_id, activity_type, carbon_reduction_value)
11:    timestamp, evidence_hash(upload_image), ai_result.confidence)
12:    display_feedback(user_id, carbon_reduction_value, ai_result.confidence)
13:   else
14:     verification_result ← "rejected (context validation failed)"
15:     carbon_reduction_value ← 0
16:   end if
17: else
18:   verification_result ← "rejected (low confidence)"
19:   carbon_reduction_value ← 0
20: end if
21: return verification_result, carbon_reduction_value
  
```

그림 2. AI 기반 챌린지 검증 프로세스

V. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 자발적인 탄소 저감 활동을 촉진하고, 개인의 탄소 배출량을 효과적으로 저감하기 위해 설계된 ‘인공지능 기반의 탄소 저감 행동 유도 시스템’을 제안하였다. 이 시스템은 AI 인증과 보상 체계를 결합하여 사용자의 지속적인 참여를 유도하고, 탄소 감축 활동을 일상적인 습관으로 정착시킬 수 있는 구조를 구현하였다. 제안하는 시스템은 시민의 능동적 참여를 촉진하고, 기존 환경 보호 캠페인의 단계적 참여 한계를 보완한다. 향후에는 챌린지 참여 이력과 탄소 감축 데이터를 블록체인에 안전하게 저장·관리하는 구조를 도입하여, 데이터의 투명성·무결성·신뢰성을 강화할 예정이다. 이를 통해 개인의 참여가 사회적 탄소 감축 효과로 확산되는 지속 가능한 친환경 생태계 구축이 가능할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원·학·석·사연구(CT)핵심인재양성 지원을 받아 수행된 연구(IIIP-2025-RS-2022-00156394, 25%)와 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업(IIIP-2025-RS-2020-II201612, 25%)과 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2018RI6A1A03024003, 25%)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학(CT)연구센터사업의 연구결과로 수행되었음 (IIIP-2025-RS-2024-0048430, 25%)

참 고 문 헌

- [1] S. Hoffmann, W. Lasarov, H. Reimers, and M. Trabant, "Carbon footprint tracking apps: Does feedback help reduce carbon emissions?," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 434, 139981, Dec. 2023.
- [2] D. Wemyss, F. Cellina, M. Grieder, and F. Schlüter, "Looking beyond the hype: Conditions affecting the promise of behaviour change apps as social innovations for low-carbon transitions," *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol. 47, 100702, Feb. 2023.
- [3] M.-S. Lee, J.-M. Lee, and D.-S. Kim, "Design and Implementation of Blockchain-Based Carbon Credit Generation and Verification Technique for Electric Vehicle Utilization," 2025년도 한국통신학회 추계종합학술발표회, pp.760-761, Jan. 2025.