

탄소중립 캠퍼스 실현을 위한 건물 온실가스 감축량 할당 방안 연구: 서울대학교 관악캠퍼스 사례*

Designing Emission Allocation Strategies for a Net-Zero Campus: The Case of Seoul National University

김지태** · 강진영*** · 김기원**** · 홍종호*****

Jitae Kim · Jinyoung Kang · Keewon Kim · Jong Ho Hong

요약: 이 연구는 서울대학교 온실가스 배출 현황을 살펴보고, 탄소중립 달성을 위한 배출허용량 할당 방안을 제시하고자 한다. 뉴욕시, 도쿄도, 서울시, 예일대학교의 온실가스 관리 사례를 검토하고, 국가와 도시의 감축 목표 및 수용성을 고려하여 서울대학교의 온실가스 감축량 할당 시나리오를 설계하였다. 세 가지 시나리오는 ① 예일대학교의 동적 베이스라인 방식, ② 국가 온실가스 감축목표(NDC), ③ 서울시 건물 온실가스 총량제 기준이며, 각각을 서울대학교 관리단위별로 적용하여 배출허용량을 도출하였다. 분석 결과, 각 시나리오에 따라 감축 수준 및 부담의 편차가 크게 나타났으며, 단과대학의 운영 특성과 제도적 적합성을 고려한 차별화된 감축 설계가 필요함을 확인하였다. 이 연구는 국내 대학의 탄소중립 목표 이행을 위한 온실가스 감축량 할당 기준을 실증적으로 설계한 사례로, 향후 확대될 고등교육기관의 탄소중립 전략 수립에 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심주제어: 탄소중립 캠퍼스, 온실가스 감축, 건물 온실가스 총량제, 배출허용량 할당, 시나리오 분석

Abstract: This study examines the current status of greenhouse gas (GHG) emissions from buildings at Seoul National University and proposes an allocation strategy for emission allowances to achieve a net-zero campus. Case studies from New York City, the Tokyo Metropolitan Government, the Seoul Metropolitan Government, and Yale University were reviewed and compared. Based on national and municipal reduction targets and feasibility considerations, three GHG reduction scenarios for Seoul National University were designed: (1) the dynamic baseline approach used by Yale University, (2) the Nationally Determined Contribution (NDC) targets of South Korea, and (3) Seoul's GHG cap-and-control system for buildings. Emission allowances were derived by applying each scenario to different management units within the university. The analysis revealed significant differences in reduction levels and burdens across scenarios, underscoring the need for a tailored reduction plan that reflects operational characteristics specific to each college while ensuring institutional compatibility. This study provides an empirical case of designing GHG reduction allocation standards for net-zero in domestic universities and offers foundational data for establishing carbon-neutral strategies in higher education institutions.

Key Words: Carbon Neutral Campus, Building GHG Cap-And-Control, Emission Allowance Allocation, Scenario Analysis

* 이 논문은 서울대학교 탄소중립 캠퍼스 추진단의 교내 연구사업 지원을 받아 수행된 연구임.

** 주저자, 서울대학교 환경계획연구소 책임연구원

*** 공동저자, 한국고원대학교 환경학교육연구소 학술연구교수

**** 공동저자, 서울대학교 환경대학원 박사과정

***** 교신저자, 서울대학교 환경대학원 교수

I. 서론

전 세계적으로 탄소중립(Net Zero) 목표 달성을 위한 온실가스 감축 노력이 가속화되는 가운데, 건물 부문은 핵심 감축 영역으로 주목받고 있다. 건물은 전체 에너지 소비의 약 30~40%를 차지하며, 난방·냉방·조명·전력 사용 등에서 발생하는 간접 배출을 통해 막대한 양의 이산화탄소를 배출한다(IEA, 2022).¹⁾ 특히 고밀도 도시 내 대규모 부지를 보유한 고등교육기관 및 공공기관은 건물 수, 연면적, 그리고 다양한 용도에 따른 에너지 사용 특성으로 인해 온실가스 배출에 상당한 영향을 미친다. 이에 따라 고등교육기관은 단순한 에너지 수요자를 넘어 사회적 책임 주체이자 감축 정책의 선도모델로서의 역할을 요구받고 있다(Robinson, Kemp and Williams, 2015; Kim, Kim and Lee, 2019).

국내에서도 국가 온실가스 감축목표(NDC) 이행과 더불어, 광역지자체 단위의 건물 총량제 도입과 대학 캠퍼스를 포함한 공공부문 감축 의무화가 본격화되고 있다. 건물 연면적이 약 130만㎡에 달하는 서울대학교는 서울시 내 최대 규모의 교육·연구기관이자 에너지 다소비 건물 중 압도적 1위를 차지한다(서울특별시 에너지정보 플랫폼, 2025). 전기와 가스 사용에 따른 간접 배출이 대부분을 차지하고 있으며, 2023년 450억 원에 달한 공공요금(수도세 제외)은 꾸준히 증가하는 추세다(서울대학교, 2024). 또한 서울대학교는 배출권거래제 할당업체로 지정된 2015년 이래 매년 수억 원 규모의 배출권을 매입하고 있다. 이렇듯 온실가스 배출 관리는 사회적 책임 차원을 넘어 실질적인 재정부담 완화를 위해서도 필수적이다.

동시에 서울대학교 관악캠퍼스는 각 건물에 전자식 계량 기반 서브미터링 체계를 구축하고 있으며, 에너지정보 관리시스템을 활용한 정기검증과 ESG 보고서 공시 절차를 운영하고 있다. 이러한 체계 덕분에 데이터의 신뢰성이

1) 우리나라의 경우 국가 온실가스 배출량 중 건물 부문이 차지하는 비중은 7.2% 수준이 나(2018년 기준; 관계부처 합동, 2023), 2024년 건물용 전기 소비량의 비중(49.8%)이 산업용 전기소비량(49.2%)을 상회한 만큼 건물 에너지 소비 및 온실가스 감축은 중요한 정책적 과제이다(국가에너지통계정보시스템, 2025).

확보되어 있으며, 이는 향후 고등교육기관의 온실가스 배출 관리 및 할당 연구에서 서울대학교 사례가 적절한 분석 기반이 됨을 보여준다.

한편 해외 주요 도시 및 대학들은 건물 온실가스 감축 문제에 보다 선제적으로 대응하고 있다. 뉴욕시는 「Local Law 97」을 통해 건물 유형별 배출 상한을 설정하고, 단계적 감축 로드맵과 벌칙 조항을 포함한 강력한 규제 체계를 마련하였다. 도쿄도는 도시 단위의 배출권거래제(ETS)를 도입하여 총량 규제와 유연한 거래제도를 병행하고 있으며, 감축 미달 시 벌칙과 초과 감축량 거래를 허용하는 제도를 운영 중이다. 고등교육기관 중 예일대학교는 '동적 베이스라인(dynamic baseline)' 방식을 도입하여 배출 데이터를 기반으로 매년 감축 허용량을 갱신하는 자율 감축 시스템을 운영하고 있다. 국내에서는 서울시가 2026년부터 건물 온실가스 총량제를 시행할 계획이며, 건물 유형별 표준 배출집약도 설정과 행정적 지원 방안 등이 제도화되고 있다.

이러한 국내외 사례들은 법적 강제성(뉴욕시 Local Law 97), 시장 기반 유연성(도쿄 배출권거래제), 정책 정합성(서울시 건물 총량제), 자율적 수용성(예일대학교 동적 베이스라인) 등 제도 설계 시 고려해야 하는 다양한 접근의 대표적 예시가 된다. 위의 요소들은 대규모 복합용도 건물이 밀집된 서울대학교 관악캠퍼스의 감축 체계 설계와 직접적으로 비교·참조될 수 있으며, 각 사례가 지닌 장단점을 종합함으로써 현실적 제약과 제도적 정합성을 균형 있게 고려할 수 있다.

그럼에도 불구하고, 국내 고등교육기관을 대상으로 온실가스 배출허용량 할당 기준을 설계한 실증 연구는 매우 제한적이다. 기존 문헌들은 개별 공공기관의 에너지 소비 특성(Baek, 2021), 대학의 에너지소비 구조 분석(조진균·이영재, 2021; Robinson, Tewkesbury, Kemp and Williams, 2018), 대학의 자발적 감축 사례(Idundun, Hursthouse and McLellan, 2021), 대학의 탄소중립 캠퍼스 조성 전략(조혜원·하지훈·김현지·정민영·윤제용, 2024) 등에 주목해 왔다. 이 배경에서 고등교육기관 차원의 감축 기준 설정, 건물별 온실가스 배출량 할당 체계 구축 등 실효성 있는 감축 제도 설계를 위한 실증연구와 온실가스 할당 사례가 필요하다고 볼 수 있다.

이 연구는 서울대학교 건물 부문의 온실가스 배출 현황을 분석하고, 캠퍼스 차원의 탄소중립 목표 설정을 위한 합리적인 배출허용량 할당 방안을 제시하는 데 목적이 있다. 그를 통해 기관 차원의 감축 기준 및 배출량 할당 체계 구축의 기초를 마련하고자 한다.

이를 위해 먼저 제도 시행의 행정적 여건을 고려하여 관리단위를 구분한 후, 세 가지 감축 시나리오—① 예일대학교의 동적 베이스라인 방식, ② 국가 온실가스 감축목표(NDC) 기준, ③ 서울시 건물 온실가스 총량제 기준—를 적용하여 배출허용량 할당 체계를 설계하였다. 이어서, 시나리오별 결과를 비교하여 형평성과 실현 가능성 간의 균형점을 도출하고, 제도 도입 단계에 따라 차등적·혼합적 할당 방식을 제안하였다. 즉 이 연구는 국내 대학 대상 온실가스 감축 제도를 실증적으로 설계한 사례로서, 실제 배출량과 온실가스 배출 특성을 반영한 할당 기준과 감축 전략 수립을 위한 분석틀을 제공한다. 따라서 이 연구는 서울대학교를 단일 사례로 하지만, 서울대학교뿐 아니라 고등교육기관 및 공공기관차원의 탄소중립 전환을 위한 정책 설계 및 평가 프레임워크 마련에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 이론 논의 및 선행 사례

1. 이론 논의

온실가스 감축 제도의 실효성과 수용성을 높이기 위해서는 감축 대상에게 적용할 배출허용 기준을 적절하게 설계해야 한다. 배출 기준은 기술적 산정 방식의 문제일 뿐만 아니라, 감축 책임의 분배와 제도의 공정성, 그리고 수용성 확보를 위한 제도 설계의 철학과 직접 연결되기 때문이다(Goulder and Parry, 2008). 이러한 기준 설정 방식은 대체로 과거 실적에 기반한 방식(grandfathering), 유사 집단 간 비교 방식(benchmarking), 그리고 실시간 성과 기반 방식(dynamic baseline)으로 구분되며, 각 방식은 적용 대상의 특성과 제도의 목적에 따라 서로 다른 장단점을 가진다.

최근까지 널리 활용되어 온 그랜드파더링(grandfathering) 방식은 과거 특정 연도의 실제 배출량을 바탕으로 각 주체에게 감축 목표를 부여한다. 이 방식은 기존의 배출 수준을 반영하기 때문에 감축 대상자들이 제도의 구조와 배출량 산정 방식을 직관적으로 이해하기 쉬우며, 행정적 관리 또한 비교적 용이하다는 장점이 있다. 그러나 과거에 상대적으로 많은 양을 배출했던 주체에게 더 많은 허용량이 부여되어 형평성 문제가 발생할 수 있고, 고효율 설비를 선제적으로 도입한 주체에게는 제도 도입 이전의 감축 노력을 인정하지 않아 불리하게 작용할 수 있다(Ellerman, Joskow and Harrison, 2003).

벤치마크(benchmarking) 방식은 유사한 건물 유형 또는 기능별 집단의 평균 배출 효율이나 집약도를 기준으로 삼아, 특정 주체의 상대적 성과를 바탕으로 감축 목표를 설정한다. 이는 절대 수준이 아닌 상대 효율에 따라 감축 부담을 배분하기 때문에 구조적 비효율성을 개선할 수 있는 유인 효과가 있다. 또한, 제도 도입 이전의 노력을 반영하는 등 일정 수준 이상의 형평성과 실효성을 동시에 확보할 수 있다는 장점이 있다. 다만, 기준 설정 집단의 선정 방식이나 평균값 산정 기준이 불분명할 경우, 제도 설계의 신뢰성과 정당성에 대한 논란이 발생할 수 있다(IPCC, 2014).

최근에는 예일대학교 사례와 같이 매년 최신 데이터를 반영해 감축 기준을 유동적으로 갱신하는 동적 베이스라인(dynamic baseline) 방식이 주목받고 있다(Yale University, 2016). 이 방식은 고정된 기준연도가 아니라 직전 3개년의 평균 배출량을 기준선으로 삼고, 해당 연도의 배출변동률을 조정계수로 반영함으로써 감축 허용량을 매년 자동으로 업데이트한다. 이 방식은 감축 대상자들이 정책을 수용하기에는 유리하지만, 매년 기준이 변경된다는 점에서 정책의 일관성과 예측 가능성이 낮아지고, 장기적인 감축 효과를 평가하기 어렵다는 비판이 제기된다.

이처럼 다양한 감축 기준은 각각 고유의 철학과 실무적 장단점을 지니고 있기 때문에, 적용 대상의 구조적 특성, 행정적 수용성, 외부 제도와의 정합성 등을 종합적으로 고려하여 선택하거나 혼합해 설계해야 한다. 특히 서울대학교와 같이 다양한 기능을 수행하고 건물에 따라 에너지 수요 특성이 이

질적인 교육기관은 단일 감축 기준보다는 건물 용도와 관리 주체별 특성을 반영한 차등·혼합 기준 설정이 바람직할 수 있다.

2. 선행 사례

건물 부문은 도시 및 대학의 온실가스 감축 정책에서 가장 높은 배출 비중을 차지하는 영역 중 하나이며, 제도 설계 방식에 따라 감축 가능성과 수용성에 큰 차이를 보인다(Baek, 2021; IEA, 2022). 특히 대규모 복합용도 건물을 보유한 고등교육기관 및 대형 공공기관은 건물별 용도 특성과 에너지 수요의 이질성이 크기 때문에, 감축 목표 및 이행 방안 설정에 있어 보다 세분화되고 유연한 접근이 요구된다(Baek, 2021; Kim et al., 2019). 이 소절에서는 건물 분야 온실가스를 관리하며 고등교육기관의 배출량 관리제도를 운영하거나 운영 예정인 뉴욕시, 도쿄도, 서울시, 예일대학교의 제도를 분석하고, 이들로 부터 도출할 수 있는 시사점을 제시하고자 한다.

뉴욕시는 2019년 「Local Law 97」(이하 LL97)을 제정하여, 연면적 2,322㎡ 이상 건물을 대상으로 온실가스 배출 상한 제도를 도입하였다(New York City, 2019). 이는 2050년까지 온실가스를 80% 감축하겠다는 뉴욕시 탄소중립 로드맵의 일환으로, 대형 건물 중심의 실질적 감축을 유도하고 있다. 벤치마크 방식으로 건물은 에너지 사용 특성과 용도에 따라 10개 그룹²⁾으로 분류되며, 각 그룹 배출집약도의 75번째 백분위수를 배출 상한으로 설정한다. 초기 적용기간인 2024~2029년에는 완화된 기준이 적용되며, 2030년 이후부터는 상한이 점차 강화되어 2050년에는 0.0014tCO₂/m² 수준까지 강화된다. 초과 배출량에 대해서는 연간 톤당 268달러의 벌금이 부과되며, 제한적으로 재생에너지 크레딧(REC)을 통한 상쇄도 허용된다. LL97은 명확한 적용 대상, 법제화된 벌칙 조항, 감시 체계를 통해 강력한 규제 효과를 지닌 제도로 평가되나, 감축 의무가 건물 소유주에게 집중된 구조로 인해 자금력과 기술력이 부족한 소규모 소유주에게는 과도한 부담으로 작용할 수 있다는 우려도

2) 10개 유형은 집합시설, 상업시설B, 상업시설M, 교육시설, 노인생활지원시설, 공장시설, 의료시설, 호텔 및 기숙사, 거주시설, 창고 및 주차시설로 구분된다.

제기된다.

도쿄도는 2010년 세계 최초로 도시 단위의 배출권거래제(ETS)를 도입하여, 연간 1,500kl(약 1,350톤) 이상 에너지를 소비하는 약 1,300개 상업 및 산업 건물을 규제 대상으로 한다(Abe and Arimura, 2020; Sopher and Mansell, 2013). 총량 기준 규제에 기반하며, 그랜드파더링 방식으로 기준년도 배출량 대비 15~17% 수준으로 감축 목표가 설정된다. ETS 하에서는 초과 감축량 이월은 가능하나 차입은 허용되지 않으며, 목표 미달 시에는 부족량의 1.3배를 벌금으로 납부해야 한다. 거래 가능한 감축 수단에는 타 시설의 초과 감축량 외에도 REC, 도쿄 외부 감축분, 사이타마현 감축분 등이 포함되어 높은 유연성을 제공한다. 도쿄 ETS는 시장 메커니즘을 기반으로 감축을 유도하면서도 목표 미달에 대한 강력한 제재를 병행하는 혼합형 제도로, 약 90% 이상의 참여 시설이 감축 목표를 초과 달성한 성과를 기록하며 제도의 실효성을 입증하고 있다(Abe and Arimura, 2020).

서울시는 2026년 시행을 목표로, 연면적 3,000㎡ 이상 상업용 건물 및 1,000㎡ 이상 공공건물을 대상으로 건물분야 온실가스 총량제를 도입할 예정이다(황인창, 2023). 이는 도시 전체 배출량의 약 26.5%를 차지하는 대형 건물 부문의 온실가스를 집중적으로 감축하기 위한 조치로, 배출량 할당 방식은 뉴욕시 사례를 참고하고 있다. 벤치마크 방식으로 건물은 총 11개 유형³⁾으로 분류되며, 2017~2019년 평균 배출집약도를 기준으로 유형별 표준 허용배출량이 설정된다. 감축 목표는 표준배출기준(2017~2019년의 평균 배출 원단위) 대비 2030년까지 공공부문 20%, 민간부문 15%이며, 벤치마크 방식(유사 그룹 평균)과 그랜드파더링 방식(기존 실적 기준)이 병행 적용된다(서울특별시, 2021). 감축 이행을 위한 기술 컨설팅, 재정지원, 평가체계 등 행정적 지원 방안도 마련되어 있다. 서울시 건물 온실가스 총량제는 수용성을 고려한 점진적 로드맵과 함께, 비교적 탄력적인 감축 기준을 제시하고 있

3) 11개 유형은 1, 2종 근린생활시설 및 판매시설, 자동차관련 및 창고시설, 위락 및 관광 휴게시설, 교육연구 및 노유자시설, 숙박시설, 의료시설, 문화 및 집회시설, 위험물 저장 및 처리시설, 공장, 종로시설, 업무시설, 기타시설(교정 및 군사시설, 운동시설, 동식물관련시설, 방송통신시설, 수련시설)로 구분된다(황인창, 2023).

다는 점에서 실현 가능성이 높은 모델로 평가된다. 그러나, 앞으로 건물주의 참여를 유도하고 이행 모니터링 체계의 실효성을 확보하는 등의 핵심 과제가 남아 있다.

예일대학교는 2017~2022년 기간 동안 동적 베이스라인 방식을 도입하여 온실가스를 자율적으로 감축하였다(Yale University, 2016). 이 방식은 기준 연도를 고정하지 않고, 최근 3개년 평균 배출량과 해당 연도 배출량 간 변동률을 조정계수로 반영하여 해마다 허용배출량을 갱신한다. 이는 건물 용도 변경이나 외생 요인 등 운영 여건의 변화를 탄력적으로 반영할 수 있어, 다양한 용도와 기능을 가진 건물이 혼재된 대학에 적합하다. 예일대학교는 Scope 1·2 뿐만 아니라 Scope 3 배출(물품 구매, 통근, 출장 등)까지 포괄하려는 노력을 지속하고 있으며, 투명한 정보 공개와 정량적 모니터링 기반의 자율 관리체계를 확립하고 있다.

앞서 살펴본 네 가지 사례는 온실가스 감축을 위한 다양한 제도 설계 방식과 이행 전략을 보여준다. 이들 사례는 감축 대상 선정 방식, 감축 기준 설정, 제도 강제성, 유연성, 상쇄 제도 유무 측면에서 명확한 차이를 보인다. 이 차이는 감축 효과뿐만 아니라 제도의 수용성과 지속가능성에도 영향을 미친다. 뉴욕시는 법적 강제성을 바탕으로 유형별 상한을 설정하고 강력한 벌칙 조항을 도입하여 감축을 유도하는 반면, 도쿄도는 배출권거래제라는 시장 기반 메커니즘을 통해 자율성과 유연성을 확보하였다. 서울시는 건물 용도 별로 표준 배출집약도를 설정하고, 벤치마크 방식과 그랜드파더링 방식을 병행함으로써 현실적 감축 가능성과 행정적 관리 용이성을 도모하고 있다. 예일대학교는 데이터 기반의 측정과 동적 베이스라인을 활용하여 대학 고유의 운영 특성과 감축 잠재력을 반영한 자율적 관리 모델을 제시하고 있다.

서울대학교의 온실가스 감축량 할당 방안을 모색하기 위해서, 이들 사례에서 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다. 첫째, 감축 목표는 대학교라는 특수성을 감안하여 관리주체, 건물용도와 특성을 반영한 유연한 기준에 따라 설정할 필요가 있다. 둘째, 데이터 기반의 정량적 감축 기준 마련과 함께, 감축 이행을 지원할 수 있는 행정·기술적 보조 체계를 병행해야 한다. 셋째, 예

일대학교의 동적 베이스라인 방식과 같이, 수요 변화와 외생 변수에 탄력적으로 대응할 수 있는 제도 설계도 고려할 수 있다. 넷째, 감축 여력이 부족한 건물과 여유가 있는 건물 간의 내부 상쇄 또는 거래 메커니즘 도입 가능성을 장기적으로 검토할 필요가 있다.

이처럼 다양한 사례의 장점을 조합하고, 서울대학교의 공간적·기능적 특성을 반영한 맞춤형 제도 설계를 통해, 서울대는 공공기관 및 교육기관을 대표하는 선도적 감축 모델을 구축할 수 있다. 이 연구는 해외 선진 사례를 검토하고 정책 및 제도를 체계적으로 분석한 후, 국내 캠퍼스 환경에 맞게 시나리오별로 실증 적용했다는 점에서 연구에 의의가 있다.

III. 온실가스 배출 현황 및 할당 대상

1. 서울대학교 온실가스 배출 현황

서울대학교 관악캠퍼스⁴⁾는 2023년 기준, 총 267개 관리 건물에서 약 11.6만톤의 이산화탄소 환산 배출량(tCO₂eq)의 온실가스를 배출하였으며, 주로 전력, 도시가스, 지역난방, 유류(등유·경유)를 에너지원으로 사용하고 있다.⁵⁾ 이 중 전력 사용에 따른 간접배출이 약 86%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 이는 건물 냉·난방, 조명, 정보통신 설비 등 전력 기반의 에너지 수요가 높은 대학 캠퍼스의 특성이 반영된 결과이다.

〈표 1〉은 2018년부터 2023년까지 서울대학교 관악캠퍼스의 연도별 온실가스 배출량, 연면적, 배출집약도, 건물노후화 지표의 추이를 보여준다. 전체적으로 보면, 서울대학교의 온실가스 배출량은 2018년 115,512톤에서 2021

4) 관악캠퍼스를 제외한 연건·평창캠퍼스의 경우 건물별 에너지 사용량과 온실가스 배출량이 산정되지 않았으며, 병원과 같은 특수 건물이 대부분을 차지하고 있어 이 연구의 분석 대상에서 제외하였다.

5) 이때 온실가스 환산에는 IPCC 2006 Guidelines와 IPCC 제5차 평가보고서(AR5)에서 제시한 100년 기준 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP100)를 적용하였다.

년 107,676톤으로 점진적인 감소세를 보이다가, 2022년 112,210톤, 2023년 116,427톤으로 다시 증가한 양상을 나타냈다. 이는 코로나19의 영향으로 2020~2021년 사이 배출량이 일시적으로 줄어들었다가, 이후 대면 수업 재개, 실험실 및 연구시설 가동률 회복 등으로 인해 에너지 수요가 다시 증가했기 때문으로 해석할 수 있다.

한편, 연면적이 매년 소폭 증가함에 따라 온실가스 배출집약도(연면적당 배출량)는 2018년 0.0931톤/㎡에서 2021년 0.0856톤/㎡까지 점차 낮아졌으나, 2023년에는 0.0903톤/㎡로 다시 상승하였다. 건물노후화 지표 역시 2017년 22.1년에서 2023년 26.9년까지 지속적으로 증가하고 있어, 노후 건물의 에너지 비효율성과 이에 따른 온실가스 배출 기여도가 점차 커지고 있음을 시사한다. 이와 같은 경향은 향후 서울대학교의 온실가스 감축 정책 수립에 있어, 건물의 에너지 성능 개선 및 노후시설 리모델링이 중요한 과제임을 의미한다.

〈표 1〉 서울대학교 연도별 온실가스 배출 추이 (2018~2023년)

연도	온실가스 배출량(톤 CO ₂ eq)	연면적(㎡)	배출집약도 (톤/㎡)	건물노후화(년)
2017	110,216	1,228,897	0.0897	22.1
2018	115,512	1,240,258	0.0931	22.8
2019	111,275	1,257,830	0.0885	23.2
2020	109,129	1,257,036	0.0868	24.3
2021	107,676	1,257,529	0.0856	25.2
2022	112,210	1,266,084	0.0886	25.8
2023	116,427	1,289,671	0.0903	26.9

자료: 서울대 온실가스·에너지종합관리센터⁶⁾

2. 캠퍼스 내 관리주체 구분

이 연구는 서울대학교의 온실가스 감축을 위한 기준 베이스라인 설정 및 배출허용량 산정을 중심으로 진행되었다. 적절한 베이스라인 및 배출허용량

6) <https://isd.snu.ac.kr/온실가스·에너지종합관리센터/>

은 감축목표 설정의 기준점이자 제도 설계의 출발점으로, 효과적인 감축 정책 수립에 필수적이기 때문이다.

이를 위해 먼저 서울대학교 관악캠퍼스의 건물을 관리주체별로 분류하였다. 단과대학(원)을 기본 단위로 설정하되, 기타 캠퍼스 내 부속기관 및 본부 건물도 포함하여 총 30개의 관리단위(단과대학 19개, 기타 기관 11개)를 구분하였다. 이는 향후 온실가스 감축 의무를 실질적으로 부과할 때, 건물별 관리 및 행정 집행을 용이하게 위한 것이다. 개별 건물 단위로 감축목표를 설정하는 방식은 과도한 행정적 부담을 초래할 수 있으며, 예산 배분과 책임소재의 명확성 또한 확보하기 어렵기 때문이다. 반면, 관리주체별로 건물을 구분하고 감축목표를 설정하면, 단과대학 및 부속기관 차원의 자율적 감축 계획 수립과 실행이 가능해지며, 예산 편성, 시설 관리, 감축 성과 모니터링 등 보다 체계적이고 유연한 대응이 가능해진다. 이러한 접근은 행정적 실효성과 수용성을 높이는 동시에, 탄소중립 목표 달성을 위한 조직 내 책임 분담과 참여 유도를 강화하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단하였다.

한편, 개별 건물에는 강의실·연구실·실험실 등 다양한 공간이 혼재되어 있고, 운영 일정과 상주 인원 변화와 같이 건물에 따라 세부 특성이 다르다. 이와 같은 건물별 특성은 온실가스 배출량에 영향을 주는 주요 변수가 된다. 실제 관악학생생활관의 경우 거주 인원 변화가, 공과대학과 자연과학대학의 경우 연구실 상시 운영과 실험 장비 가동이 배출량에 직접적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 하지만 이에 관한 정밀 데이터는 부족하여 이를 정량적으로 반영하기에는 한계가 있다. 따라서 이 연구는 실제 행정 집행을 용이성을 우선 기준으로 고려하고, 관리주체에 따라 관리단위를 구분하여 할당 방안을 설계하였다. 향후 세부 공간 단위 데이터가 축적된다면, 건물별 내부 특성까지 반영한 보다 정밀한 분석이 가능할 것이다.

3. 관리주체별 온실가스 배출량 및 배출집약도

〈표 2〉는 건물 관리주체별 온실가스 배출량과 배출집약도를 제시하고 있으며, 에너지 소비 행태와 건물 운영 특성에 따라 뚜렷한 배출 양상 차이가 나

타나고 있다. 예를 들어, 공과대학(30,889톤), 자연과학대학(17,847톤), 농업생명과학대학(7,928톤)은 실험실 및 연구시설이 밀집되어 있고, 장시간 기기 가동 및 냉난방 수요가 지속된다. 따라서 총 배출량과 배출집약도(각각 0.1225, 0.1286, 0.1335톤/㎡) 모두 상대적으로 높은 수준을 보였다. 반면, 인문대학(1,528톤), 사회과학대학(1,530톤), 경영대학(1,213톤) 등 강의실 위주로 구성된 단과대학은 에너지 수요가 상대적으로 낮아 배출량과 집약도(0.0359~0.0430톤/㎡ 수준)가 낮은 경향을 보였다. 부속기관 중에서는 본부(14,967톤), 관악학생생활관(7,927톤), 국제백신연구소(3,147톤) 등 상시 운영되거나 에너지 집약적 설비를 보유한 기관에서 높은 배출량이 확인되었다. 특히 국제백신연구소의 배출집약도는 0.1853톤/㎡로 캠퍼스 내 최상위 수준을 기록하였다. 이는 연구장비와 냉각·가열 시스템의 지속적인 사용에 따른 결과로 해석된다.

이러한 건물 운영 특성에 따른 배출 현황은 감축 할당 기준 수립에 있어 '연면적 대비 감축 비율' 방식과 같은 단일 기준을 적용하는 데 한계가 있음을 보여준다. 서울대학교와 같은 대규모 복합용도 기관의 경우, 단일기관이지만 건물의 용도, 에너지 집약도, 운영 형태 등 다차원적 요소를 반영한 정교한 할당 체계가 필요함을 알 수 있다. 특히 유형별 배출 특성을 반영한 맞춤형 기준을 마련하고 관리주체별 감축 여력에 대한 정량적 진단이 병행될 때, 감축 제도의 수용성, 형평성, 실효성을 동시에 확보할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

〈표 2〉 건물 관리주체별 온실가스 배출량 및 배출집약도(2023년 기준)

관리주체	온실가스 배출량 (톤 CO ₂ eq)	연면적 (㎡)	배출집약도 (톤/㎡)
공과대학	30,889.3	252,120.4	0.1225
자연과학대학	17,847.1	138,754.7	0.1286
본부	14,966.8	173,648.3	0.0862
농업생명과학대학	7,928.0	59,363.7	0.1335
관악학생생활관	7,926.7	124,932.4	0.0634
약학대학	4,884.2	31,267.3	0.1562
수의과대학	4,303.9	36,209.8	0.1189
국제백신연구소	3,147.2	16,982.2	0.1853

중앙도서관	3,107.4	57,751.1	0.0538
사범대학	3,055.1	56,614.8	0.0540
웅진R&D센터	1,758.7	12,202.7	0.1441
사회과학대학	1,530.4	42,656.8	0.0359
인문대학	1,528.6	37,859.4	0.0404
미술대학	1,484.3	26,782.4	0.0554
생활협동조합	1,312.1	15,110.2	0.0868
경영대학	1,213.7	28,229.5	0.0430
자유전공학부	1,201.2	31,447.7	0.0382
법학전문대학원	1,089.4	28,168.1	0.0387
호암교수회관	1,046.7	12,971.6	0.0807
산학협력단	822.5	18,531.2	0.0444
보건대학원	820.7	6,669.0	0.1231
포스코스포츠센터	811.0	6,179.1	0.1312
생활과학대학	810.5	9,928.8	0.0816
치의학대학원	744.7	10,835.9	0.0687
행정대학원	708.7	13,051.9	0.0543
기초교육원	563.6	17,059.2	0.0330
국제대학원	310.7	8,418.8	0.0369
음악대학	303.2	7,735.2	0.0392
환경대학원	248.3	5,585.5	0.0445
학군단	62.4	2,603.6	0.0240
총합	116,426.7	1,289,671.1	0.0903

IV. 시나리오 분석

1. 시나리오 소개

앞서 살펴본 바와 같이, 서울대학교는 건물의 용도와 기능, 에너지 소비 양태에 따라 온실가스 배출 특성이 뚜렷하게 구분된다. 동일한 기준을 모든 건물에 일률 적용하면 건물별 배출 특성 등 현실과 괴리된 감축 목표가 설정될 가능성이 높은 것이다.⁷⁾ 또한 단과대학 및 부속기관 간의 배출 여건과 감축

7) 개별 건물의 온실가스 배출량은 최소 0.1톤에서 최대 3,000톤까지 광범위하게 분포하였으며, 평균은 약 176.3톤이었다. 중앙도서관, 기초과학공동기원, 학생회관 등과

여력에도 상당한 차이가 존재하는 만큼, 구체적이고 정량적인 기준에 기반한 온실가스 감축량 할당 방식의 설계가 필수적이다.

이에 이 연구는 서울대학교가 캠퍼스 차원의 탄소중립 목표를 설정하고 이행하기 위해, 관리주체별로 온실가스 배출허용량을 할당할 수 있는 실질적인 방안을 제시하고자 한다. 서울대학교 내부의 배출 특성과 데이터 가용성을 바탕으로, 각각 수용성(시나리오 1: 예일대학교, Grandfathering 방식), 국가 정책 정합성(시나리오 2: NDC, 정책 연계형 절대 감축 기준), 지방정부 제도 연계성(시나리오 3: 서울시, Benchmarking 방식)을 나타내는 세 가지 시나리오를 설계하였다.

시나리오 1은 고등교육기관에서 온실가스 배출허용량을 설정한 대표적인 예시인 예일대학교의 동적 베이스라인 방식을 적용한다. 이는 기존 배출 실적을 기준으로 한 그랜드파더링 방식의 변형으로, 대학 차원의 자율 감축 경험을 반영한 사례라는 점에서 수용성을 대표한다. 시나리오 2는 정부의 감축 목표인 국가 NDC를 직접 반영하는 정책 연계형 절대 감축 기준으로, 국가 정책과의 정합성을 확보할 수 있다. 시나리오 3은 서울시 건물 온실가스 총량제를 따른다. 해당 제도는 건물 연면적과 에너지 집약도 등 성과 지표를 기반으로 한 벤치마크 방식과 유사하다는 점에서 실현 가능성을 보여주며, 지방정부 제도와 직접 연계될 수 있는 시나리오다.

각 시나리오는 감축 목표, 기준 설정 방식, 기준연도 유무 등에서 다른 특징을 가지고 있으며, 이는 실제 정책 설계 시 어떠한 가치(실현 가능성, 정책 정합성 등)를 우선시할 것인가에 따라 선택이 달라질 수 있다. 각각에서 설정하는 베이스라인과 배출허용량 설정 방식은 <표 3>과 같다.

같이 다중이용시설 또는 에너지 집약적 공간에서 높은 배출량이 나타났으며, 반면 행정동이나 일반 강의동은 낮은 배출 수준을 보였다. 배출집약도를 기준으로 살펴보면, 실험실(0.035톤/㎡), 생활관(0.027톤/㎡), 연구시설(0.022톤/㎡)의 집약도가 높은 반면, 행정동(0.012톤/㎡), 강의동(0.010톤/㎡)은 상대적으로 낮은 수치를 보였다. 이는 동일 면적 기준의 일률적 감축 할당이 비현실적 결과를 초래할 수 있음을 시사하며, 건물 용도별로 특성을 반영한 차등적 기준이 필요함을 보여준다.

〈표 3〉 베이스라인 설정 기준과 배출허용량 설정

구분	베이스라인 설정 기준	배출허용량 설정 방법
1안	베이스라인 업데이트	해당연도 직전 3개년 배출변동률을 조정계수로 적용
2안	2018년 배출량	2030년 기준, 2018년 배출량 대비 32.8% 감축
3안	2017~2019년 평균 배출집약도	2030년 기준, 2017~2019년 교육연구시설 배출집약도(0.047톤/㎡)의 20% 감축

2. 시나리오 설계 및 적용 결과

1) 시나리오 1: 예일대학교 방식 - 동적 베이스라인 업데이트 적용

첫 번째 안은 예일대학교에서 캠퍼스 온실가스 관리를 위해 2017년부터 2022년까지 활용했던 방식으로, 베이스라인을 해당연도 직전 3개년의 평균 배출량과 해당연도 배출량 차이에 해당하는 변동율에 따라 매년 업데이트하는 방식이다(Yale University, 2016). 3개년 평균 배출량과 해당연도 배출량을 활용하여 산출한 조정계수를 3개년 평균 배출량에 곱하여 해당연도의 배출허용량을 설정한다. 그다음 해당연도의 실제 배출량과 비교하여 초과 감축/초과 배출을 결정한다. 이때, 베이스라인에 해당하는 기준배출량은 해당연도 직전의 3개년 평균 배출량이며, 배출허용량 설정 연도가 변함에 따라 기준연도 역시 계속해서 변화(업데이트)한다. 다시 말해 매년 새로운 기준 배출량을 반영하는 동적 베이스라인 방식이다.

아래의 〈그림 1〉은 베이스라인 업데이트 방식의 예시이다. 단과대학 A와 단과대학 B의 두 관리주체로 구성된 대학교를 전제할 때, 해당연도인 2023년 직전 3개년(2020~2022년)의 평균 배출량은 총 300톤이다. 2023년 실제 배출량인 315톤을 활용하여 조정계수를 구하면 1.05인데, 이 조정계수를 각 단과대학의 3개년 평균 배출량에 곱하여 2023년의 배출허용량을 산출한다. 이어서 2023년 실제 배출량과 배출허용량을 비교하여 관리주체(대학)별 초과 배출 및 초과 감축 여부를 판단하는 것이다.

〈그림 1〉 베이스라인 업데이트 방식의 예시

	기준 배출량 (‘20~‘22년 평균)	‘23년 배출량	조정계수* 적용 배출허용량	
A대학	100톤	102톤	105톤	→ 3톤 초과 감축
B대학	200톤	213톤	210톤	→ 3톤 초과 배출
전체	300톤	315톤		

$$*조정계수: 1 + (315 - 300) / 300 = 1.05 (+5\%)$$

해당 방식을 서울대학교 관악캠퍼스의 2023년 실제 배출량 자료를 활용하여 계산한 결과는 <표 4>와 같다. 베이스라인에 해당하는 2020년부터 2022년까지 3개년 평균 배출량은 109,671.47톤이며, 2023년 실제 배출량은 116,426.74톤이다. 두 배출량을 활용하여 산출한 조정계수는 1.0616⁸⁾이며, 이를 적용한 2023년 배출허용량은 116,427.24톤이다. 이 결과를 바탕으로 관리주체별 실제 배출량과 배출허용량 차이를 확인할 수 있다. 14개 관리주체는 배출허용량 기준보다 초과 배출하였으며 16개 관리단위는 초과 감축한 결과를 확인할 수 있다.

자연과학대학(426.22톤), 사범대학(460.12톤), 보건대학원(186.70톤), 국제백신연구소(860.60톤) 등 일부 단위는 배출허용량을 크게 초과한 것으로 나타났으며, 이는 향후 감축 이행의 우선 관리대상이 될 수 있다. 반면, 수의과대학(615.17톤), 치의학대학원(670.47톤), 공과대학(290.46톤) 등은 비교적 큰 폭의 초과 감축을 달성하였고, 본부, 중앙도서관, 관악학생생활관 등 주요 행정 및 시설 단위도 대부분 허용범위 내에 머물렀다. 이처럼 관리주체별 배출 실적은 상이하게 나타났으며, 향후에는 단위별 배출 특성과 감축 여력을 반영한 차등적 접근이 필요함을 시사한다.

8) 조정계수 : $1 + \frac{(116,427.74 - 109,671.47)}{109,671.47} = 1.0616$

〈표 4〉 시나리오 1 적용 결과

(단위: 톤 CO₂eq)

순번	구분	관리단위	기준배출량 (3개년, 20~22평균)	실제배출량 (2023년)	조정계수 적용 '23년 배출허용량	실제 배출량과 배출허용량차이	초과 감축 여부
1	19개 대학 (원)	공과대학	29,370.5	30,889.3	31,179.7	290.5	감축
2		자연과학대학	16,410.0	17,847.1	17,420.9	-426.2	초과
3		농업생명과학대학	7,483.8	7,928.0	7,944.8	16.8	감축
4		수의과대학	4,633.6	4,303.9	4,919.0	615.2	감축
5		약학대학	4,585.2	4,884.2	4,867.7	-16.5	초과
6		사범대학	2,444.4	3,055.1	2,595.0	-460.1	초과
7		사회과학대학	1,507.7	1,530.4	1,600.6	70.2	감축
8		인문대학	1,344.8	1,528.6	1,427.6	-101.0	초과
9		치의학대학원	1,333.1	744.7	1,415.2	670.5	감축
10		미술대학	1,308.2	1,484.3	1,388.8	-95.6	초과
11		법학전문대학원	1,077.9	1,089.4	1,144.3	54.9	감축
12		자유전공학부	1,050.0	1,201.2	1,114.7	-86.5	초과
13		경영대학	1,006.8	1,213.7	1,068.8	-144.8	초과
14		생활과학대학	862.0	810.5	915.2	104.7	감축
15		행정대학원	676.1	708.7	717.8	9.1	감축
16		보건대학원	597.2	820.7	634.0	-186.7	초과
17		국제대학원	329.3	310.7	349.6	38.9	감축
18		음악대학	324.0	303.2	343.9	40.8	감축
19		환경대학원	233.3	248.3	247.7	-0.6	초과
20	11개 기타 기관	본부	14,411.1	14,966.8	15,298.9	332.0	감축
21		관악학생생활관	7,550.6	7,926.7	8,015.7	89.0	감축
22		중앙도서관	2,999.5	3,107.4	3,184.3	77.0	감축
23		국제백신연구소	2,153.9	3,147.2	2,286.6	-860.6	초과
24		응진R&D센터	1,743.9	1,758.7	1,851.3	92.6	감축
25		생활협동조합	1,350.9	1,312.1	1,434.1	122.1	감축
26		호암교수회관	909.8	1,046.7	965.9	-80.8	초과
27		포스코스모츠센터	698.8	811.0	741.8	-69.2	초과
28		산학협력단	691.5	822.5	734.1	-88.3	초과
29		기초교육원	510.3	563.6	541.7	-21.9	초과
30		학군단	73.3	62.4	77.8	15.4	감축
Total			109,671.5	116,426.7	116,427.2	-	

이 방식은 과거의 고정된 기준에 얽매이지 않고, 최근 에너지 사용 실적을

반영하여 실질적인 감축 수준을 산정할 수 있다는 점에서 현실 반영성과 유연성 측면에서 강점을 가진다. 예컨대, 연구시설 확장, 학생 수 증가 등으로 인해 에너지 소비가 증가한 단위도 그 실적을 기준선에 반영할 수 있기 때문에, 감축 목표의 수용 가능성이 상대적으로 높다.

하지만 이 방식은 매년 기준이 새롭게 설정되기 때문에, 중장기적인 계획 수립이나 감축 성과 추적에는 한계가 있을 수 있다. 목표 기준선이 고정되지 않기 때문에, 특정 연도에는 예외적으로 허용배출량이 오히려 증가할 수 있는 구조이기도 하다. 또한, 감축 계수나 기준선 산정 방식에 대한 구성원 간 합의가 없을 경우 제도의 투명성이나 공정성에 대한 논란이 발생할 수 있다. 더 나아가, 단순히 최근 3개년 평균을 적용하는 방식은 조정계수의 장기 변동성과 코로나19와 같은 특수 이벤트를 충분히 반영하지 못한다는 한계를 가진다. 특히 코로나19 시기의 배출 감소는 일시적 외생 충격에 불과하여, 이를 그대로 반영할 경우 감축 여력이 과대 추정될 수 있음을 고려해야 한다. 이러한 한계는 향후 후속 연구에서 보완할 필요가 있다.

서울대학교에 적용하는 경우, 감축 제도 도입 초기에는 비교적 수용성이 높은 이 방식이 자율적 감축 유도 및 데이터 기반 내부 관리체계 구축에 유용하게 활용될 수 있다. 온실가스 감축 제도를 도입하는 과정에서 감축량 자체보다 제도의 수용성을 확보하는 차원으로 접근하는 하나의 전략이 되는 것이다. 다만, 제도적 안착 이후에는 캠퍼스 전체의 장기 감축 로드맵 수립, 외부 정책과의 정합성 확보 등을 위해 보완적 제도 설계가 병행되어야 할 것이다. 예를 들어, 동적 베이스라인 방식과 함께 일정 감축 상한선 또는 하한선을 설정하거나, 일정 기준 이후에는 고정 기준선으로 전환하는 방식이 고려될 수 있다.

2) 시나리오 2: 국가 온실가스 감축목표(NDC) 기준 적용

두 번째 안은 국가 중장기 감축목표 및 베이스라인 설정 방식을 준용한다. 우리나라는 2030년까지 온실가스 배출량을 2018년 대비 40% 감축하는 것을 목표로 한다. 또한, 온실가스 감축을 달성할 각 부문에 따라서 목표를 달리

적용하고 있는데, 건물 부문의 경우 2018년 대비 2030년까지 32.8% 감축을 목표로 하고 있다. 다만, 서울대학교 배출량 산정은 기존 에너지 사용량 변환 값을 기초로 하였기 때문에, 국가 인벤토리에서 적용한 과거 기준(IPCC 1996 Guidelines, SAR GWP)과 직접적으로 동일하지 않은 한계가 존재한다. 이에 이 연구는 이러한 차이를 한계로 명확히 제시하고, 동시에 최근 국제 기준(IPCC 2006 Guidelines, AR5 GWP)을 반영한 산정 방식의 필요성을 강조한다.

서울대학교에서 가용한 배출량 데이터는 건물별 전기 및 가스 사용량을 변환한 온실가스 배출량 정보이며, 이는 건물 부문에 해당한다. 따라서 건물 부문의 국가 감축 목표에 맞춰, 서울대도 2030년까지 2018년 대비 32.8%를 감축하는 것을 목표로 한다(〈표 5〉). 베이스라인에 해당하는 2018년 서울대학교의 온실가스 배출량은 115,511.61톤이며, 모든 관리주체에 동일한 감축률인 32.8%를 적용한 배출허용량(2030년 기준)은 77,623.80톤이다. 이 수치는 2023년 실제 배출량 기준 33.33%인 38,802.94톤을 감축해야 하는 규모이다.

〈표 5〉는 이러한 기준에 따라 관리주체별 2030년 배출허용량과 2023년 실제 배출량 간의 차이를 비교한 결과를 보여준다. 분석 결과, 대부분의 단위가 2023년 현재 기준으로 2030년 감축목표치를 초과하여 배출하고 있는 것으로 나타났다. 특히 공과대학(10,634.19톤), 자연과학대학(6,608.14톤), 본부(5,399.33톤), 농업생명과학대학(2,671.37톤) 등은 감축해야 할 절대량이 크며, 이들 단위는 향후 온실가스 감축정책의 핵심 관리대상으로 고려되어야 한다. 반면, 치의학대학원은 2023년 배출량이 이미 2030년 목표치보다 낮아, 감축목표를 초과 달성한 것으로 분석된다. 이처럼 관리주체 간 감축여력과 배출 특성에 상당한 차이가 존재하므로, 획일적 감축률 적용보다는 단위별 특성을 고려한 차등적 접근이 필요하다.

〈표 5〉 시나리오 2 적용 결과

(단위: 톤 CO₂eq)

순번	구분	관리단위	기준배출량 (2018년)	배출허용량 (2030년 기준, 32.8%감축)	2023년 (최근 실제 배출량)	2023년 배출량과 2030년 허용용량 차이
1	19개 대학 (원)	공과대학	30,141.5	20,255.1	30,889.3	-10,634.2
2		자연과학대학	16,724.7	11,239.0	17,847.1	-6,608.1
3		농업생명과학대학	7,822.4	5,256.6	7,928.0	-2,671.4
4		수의과대학	4,311.6	2,897.4	4,303.9	-1,406.4
5		약학대학	4,877.7	3,277.8	4,884.2	-1,606.3
6		사범대학	2,928.5	1,967.9	3,055.1	-1,087.2
7		사회과학대학	2,185.8	1,468.8	1,530.4	-61.5
8		인문대학	1,503.2	1,010.2	1,528.6	-518.5
9		치의학대학원	1,237.2	831.4	744.7	86.7
10		미술대학	1,492.4	1,002.9	1,484.3	-481.5
11		법학전문대학원	1,147.5	771.1	1,089.4	-318.3
12		자유전공학부	1,172.5	787.9	1,201.2	-413.3
13		경영대학	763.2	512.9	1,213.7	-700.8
14		생활과학대학	802.9	539.5	810.5	-271.0
15		행정대학원	708.5	476.1	708.7	-232.5
16		보건대학원	647.6	435.2	820.7	-385.5
17		국제대학원	371.0	249.3	310.7	-61.4
18		음악대학	387.0	260.0	303.2	-43.1
19		환경대학원	250.0	168.0	248.3	-80.3
20	11개 기타 기관	본부	14,237.3	9,567.5	14,966.8	-5,399.3
21		관악학생생활관	7,919.5	5,321.9	7,926.7	-2,604.8
22		중앙도서관	3,639.7	2,445.8	3,107.4	-661.5
23		국제백신연구소	2,941.2	1,976.5	3,147.2	-1,170.7
24		웅진R&D센터	1,691.8	1,136.9	1,758.7	-621.8
25		생활협동조합	1,813.5	1,218.7	1,312.1	-93.4
26		호암교수회관	1,307.4	878.6	1,046.7	-168.1
27		포스코스포츠허브	952.7	640.2	811.0	-170.8
28		산학협력단	882.7	593.2	822.5	-229.3
29		기초교육원	565.3	379.9	563.6	-183.7
30		학군단	85.6	57.5	62.4	-4.9
Total			115,511.6	77,623.8	116,426.7	-38,802.9

이 방식의 가장 큰 장점은 국가 정책과의 정합성이 매우 높다는 점이다. 특

히, 고등교육기관 및 공공기관이 국가 탄소중립 전략을 충실히 이행하고 있다는 외부 인식을 형성할 수 있으며, 중앙정부나 지방정부로부터의 재정적·행정적 지원을 연계할 수 있는 근거가 된다.⁹⁾ 또한, 기준연도와 목표연도가 명확히 설정되어 있어 감축 이행 경로와 성과를 일목요연하게 추적할 수 있다.

그러나 이 방식은 관리주체 간 배출 특성과 감축 여력을 고려하지 않고 일괄적으로 감축률을 적용한다는 점에서 제도 설계의 세밀함이 부족할 수 있다. 실험실과 같이 고정적인 에너지 수요가 존재하거나 시설 운영상 감축 여력이 제한된 단위에도 동일한 감축률이 적용될 경우, 감축 부담의 불균형이 발생할 가능성이 크다. 또한 기준연도(2018년)의 단위별 배출 특성과 배출량이 현재와 다소 괴리가 있을 경우, 그 자체가 공정성 문제로 연결될 수 있다. 때문에 이 시나리오를 서울대학교에 적용할 경우, 관리주체별 배출 수준과 감축 잠재력이 다르다는 점을 고려하여 실효성 있는 이행을 위해서는 일정 수준 이상의 '보정 계수' 적용이나, 감축 의무 차등화 등 보완적 장치가 함께 고려되어야 한다.

요약하자면, 이 방식은 정책 정합성과 행정 관리의 용이성 면에서는 강점이 있으나, 에너지 수요의 이질성과 현실적 제약 조건을 충분히 반영하기에는 한계가 존재한다. 따라서 서울대학교가 이 시나리오를 채택할 경우, 국가 정책과의 연계성을 확보하면서도 내부적으로는 감축 의무를 일부 조정하거나 유연성을 확보할 수 있는 캠퍼스 내부의 자체적인 별도 제도를 두어, 국가 정책과 병렬적으로 설계하는 방안을 함께 마련하는 것이 바람직할 것이다.

3) 시나리오 3: 서울시 기준 - 유형별 표준 배출집약도 적용

세 번째 안은 서울대학교 관악캠퍼스가 서울시에 위치한 공간적 범위를 염

9) 최근 발의된 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 일부개정법률안 일부 개정법률안(이소영의원 등 10인, 2025.2.25.)은 중앙행정기관·지방자치단체·공공기관의 장에게 해당 기관의 온실가스 배출량이 연도별 감축 목표에 부합하지 않는 경우에 대한 감축계획을 보고하도록 한다. 이와 같이 점차 탄소중립을 위한 배출량 감축 의무가 강화되는 지점에서 이 연구는 향후 설정될 고등교육기관 및 공공기관 탄소중립 전략 수립의 주요 근거가 될 수 있다.

두에 둔 대안이다. 서울시는 현재 건물 온실가스 총량제를 시범 도입하고 있으며, 2026년부터 제도를 시행할 예정이다. 서울시 건물 온실가스 총량제는 서울시 내 건물 유형을 11개로 구분하고 유형별 표준배출기준(배출집약도)을 정하고 있다. 유형별 2017년~2019년 평균 온실가스 배출량과 연면적을 활용하여 산정한 평균 배출집약도가 3안에서는 베이스라인의 역할을 한다.

11개 건물유형 중 서울대학교는 교육연구시설에 해당하며, 서울시에서 제시하는 교육연구시설의 배출집약도는 0.047톤/㎡, 2030년까지의 공공부문의 감축 목표는 배출집약도의 20%이다. 이를 적용하면 2030년 서울대학교 관악캠퍼스의 배출집약도를 0.0376톤/㎡까지 감축해야한다.

서울시 기준을 준용하여 계산한 2017년부터 2019년까지의 서울대학교 배출집약도는 <표 6>과 같다. 2017년~2019년 3개년 평균 배출량은 112,334.15톤이며, 평균 연면적은 1,242,328.27㎡이었다. 이를 배출집약도로 환산하면 0.0904로, 서울시에서 제시한 교육연구시설 배출집약도의 약 1.92배에 해당한다.

<표 6> 2017~2019년 서울대학교 관악캠퍼스 평균 배출집약도

평균 배출량(톤 CO ₂ eq) (3개년, 17~19년)	평균 연면적(㎡) (3개년, 17~19년)	배출집약도(톤/㎡)
112,334.2	1,242,328.3	0.0904

서울시의 2030년 목표에 해당하는 배출집약도인 0.0376톤/㎡를, 서울대학교 기준 연면적(1,289.671.1㎡)에 적용하여 서울대학교 관악캠퍼스의 2030년 기준 배출허용량을 계산하면 48,491.64톤이다(<표 7>). 이 값은 총 배출량 기준으로 2017~2019년 3개년 평균 대비 56.8% 감축한 규모이다.

<표 8>은 서울시의 건물 온실가스 총량제 기준에 따라 서울대학교 관악캠퍼스의 관리주체별 2030년 배출허용량과 2023년 실제 배출량을 비교한 결과를 보여준다. 분석 결과, 전체 관리주체가 2023년 기준으로 2030년 목표 배출허용량을 초과한 것으로 나타났으며, 그 차이는 총 67,935.10톤에 달한다. 특히 공과대학(18,226.94톤), 자연과학대학(10,637.15톤), 본부(9,135.22톤),

농업생명과학대학(4,619.22톤), 수의과대학(2,706.23톤) 등은 2030년 감축 목표와의 차이가 매우 크며, 집중적인 감축 노력이 필요한 관리주체로 확인되었다.

대학(원) 단위뿐 아니라 생활협동조합, 관악학생생활관, 중앙도서관, R&D센터 등 주요 행정 및 지원 부서에서도 실질 배출량이 허용 기준을 상회하고 있어, 전체 캠퍼스 차원의 포괄적인 에너지 효율 개선 및 저탄소 전환 전략이 절실한 상황이다. 이처럼 서울시의 기준을 준용한 감축 시나리오에 따르면, 서울대학교는 2017~2019년 대비 56.8% 감축이라는 매우 도전적인 목표를 달성해야 하며, 단순한 기술적 개선을 넘어 운영방식 변화 및 구조적 감축 전략이 요구된다.

〈표 7〉 서울시 배출집약도 목표 적용 2030년 서울대학교 관악캠퍼스 배출허용량

연면적(2023년 기준)	서울시 목표 배출집약도	배출허용량(2030년)
1,289,671.1	0.0376	48,491.6

〈표 8〉 서울시 집약도 목표 적용 결과

(단위: 톤 CO₂eq)

순번	구분	관리단위	평균 배출량 (3개년, 17~19년)	배출허용량 (2030년 기준, 56.8%감축)(A)	2023년 실제 배출량 (B)	실제 배출량과 배출허용량차이 (A-B)
1	19개 대학 (원)	공과대학	29,333.2	12,662.3	30,889.3	-18,226.9
2		자연과학대학	16,702.4	7,210.0	17,847.1	-10,637.2
3		농업생명과학대학	7,665.0	3,308.8	7,928.0	-4,619.2
4		수의과대학	3,701.0	1,597.6	4,303.9	-2,706.2
5		약학대학	5,083.7	2,194.5	4,884.2	-2,689.7
6		사범대학	2,740.0	1,182.8	3,055.1	-1,872.4
7		사회과학대학	1,883.9	813.2	1,530.4	-717.2
8		인문대학	1,430.8	617.6	1,528.6	-911.0
9		치의학대학원	1,296.6	559.7	744.7	-185.0
10		미술대학	1,472.6	635.7	1,484.3	-848.7
11		법학전문대학원	1,133.0	489.1	1,089.4	-600.3
12		자유전공학부	1,201.8	518.8	1,201.2	-682.4
13		경영대학	881.2	380.4	1,213.7	-833.3
14		생활과학대학	780.9	337.1	810.5	-473.4

15		행정대학원	712.8	307.7	708.7	-401.0
16		보건대학원	640.2	276.4	820.7	-544.4
17		국제대학원	350.9	151.5	310.7	-159.3
18		음악대학	361.5	156.0	303.2	-147.1
19		환경대학원	247.1	106.7	248.3	-141.6
20		본부	13,509.3	5,831.6	14,966.8	-9,135.2
21		관악학생생활관	7,587.4	3,275.3	7,926.7	-4,651.4
22		중앙도서관	3,463.0	1,494.9	3,107.4	-1,612.5
23		국제백신연구소	3,106.9	1,341.1	3,147.2	-1,806.1
24	11개 기타 기관	웅진R&D센터	1,448.3	625.2	1,758.7	-1,133.5
25		생활협동조합	1,925.4	831.2	1,312.1	-480.9
26		호암교수회관	1,263.4	545.4	1,046.7	-501.3
27		포스코스포츠센터	917.2	395.9	811.0	-415.1
28		산학협력단	857.4	370.1	822.5	-452.3
29		기초교육원	563.4	243.2	563.6	-320.4
30		학군단	74.1	32.0	62.4	-30.4
Total			112,334.2	48,491.6	116,426.7	-67,935.1

이 방식은 건물별 기준이 명확하고 계산이 간편하다는 점에서 행정적 관리가 용이하며, 표준값만 정기적으로 보정하면 전수조사 없이도 감축 관리가 가능하다는 장점이 있다. 하지만, 서울대학교와 같이 강의 위주 건물과 연구·실험 위주의 건물이 혼재된 경우, 교육연구기관이라는 단일 배출집약도가 적용될 때 이 방식이 가지는 장점을 적용하는 데 한계가 있다. 이 방식은 운영방식, 설비효율, 사용시간 등의 미시적 차이를 반영하지 못하는 것이다. 동일한 유형으로 분류된 건물이라 하더라도 실제 에너지 사용 특성은 상당히 상이할 수 있으며, 이 경우 허용배출량의 기준이 왜곡될 수 있다. 나아가 서울시의 표준 배출집약도 자체가 민간 및 상업용 건물 중심으로 설계된 것이라면, 대학이라는 특수환경에 그대로 적용하기에는 부적합할 수 있다.

서울대학교가 이 시나리오를 적용할 경우, 대학 현실에 맞게 캠퍼스 내 건물을 용도별로 정교하게 분류하고, 용도별 특성에 따라 감축량 할당을 조정하는 것을 고려해 볼 필요가 있다. 예컨대, 실험실, 연구실, 기숙사 등의 기준은 별도 계수를 설정하거나, 자체 시뮬레이션을 통해 대학 맞춤형 집약도를 도출하는 방식이 고려될 수 있다.

요약하자면, 이 시나리오는 제도의 단순성, 수용성, 운영 편의성 측면에서 강점을 가지며, 향후 서울시 제도와의 연계 운영을 고려할 경우 가장 현실적인 시나리오가 될 수 있다. 반면, 내부 건물별 에너지 사용 특성의 이질성을 보완하기 위해서는 서울대학교 자체의 표준화 작업과 시범 적용을 통한 검증 절차가 필요할 것이다.

3. 시나리오별 비교 및 분석

앞서 살펴본 세 가지 시나리오는 서울대학교의 건물별 또는 관리주체별 온실가스 감축 목표 설정을 위한 주요 대안들로, 각각 고유의 철학과 설계 구조, 적용 방식, 정책 연계성이 존재한다. 시나리오 1은 고등교육기관에서 온실가스 배출허용량을 설정한 대표적인 예시이며, 시나리오 2와 3은 국가 및 광역 단위의 정책을 고려하여 실질적으로 서울대학교에 배출허용량 설정 등으로 향후 정책적 제한이 예상되는 방식을 적용하였다. 이 세 가지 방식은 형평성과 실현 가능성 간의 상충 관계를 드러낸다. 시나리오 1 방식은 수용성이 높지만 장기적 실효성이 약하고, 시나리오 2 방식은 정책 정합성은 높지만 단위별 부담 불균형을 초래한다. 시나리오 3 방식은 형평성을 확보하지만 실현 가능성 측면에서 도전적이다. 이는 단일 기준으로는 한계가 있으며, 균형 있는 접근이 필요함을 보여준다. 이를 종합적으로 비교하면 <표 9>와 같다.

<표 9> 감축 할당 시나리오별 비교 요약

	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
기준방식	최근 3개년 평균에 조정계수 적용	2018년 기준 대비 40% 감축	2030년 기준 배출집약도 상한(0.0376톤/㎡) 설정
기준연도 고정 여부	없음(매년갱신)	2018년 고정	2030년 고정
정책 정합성	낮음	높음	높음
수용 가능성	높음	중간	낮음
온실가스 감축량의 명확성	낮음(계속 갱신)	높음	높음
기준의 유연성	현실 반영, 유연성, 자율적 관리	국가전략과 일관적, 목표 명확	단순성, 형평성, 제도 연계성
단점	기준 불안정, 장기적 목표 불명확	감축 부하 불균형, 기준 확보 불충분	건물별 실제 특성 반영 미흡

분석 결과, 시나리오 1은 데이터 기반의 유연한 감축 설계가 가능하며 제도 도입 초기 또는 시범 운영 단계에 적합하다. 특히 제도 도입에 대한 구성원의 수용성을 우선적으로 고려할 때는 자율적 이행 모델로서의 효과가 클 수 있다. 그러나 해마다 기준선이 바뀐다는 점에서 정책적 안정성과 외부 연계성에는 한계가 있다.

시나리오 2는 가장 명확한 구조를 가지고 있으며, 국가의 감축목표와의 정합성을 유지할 수 있다는 점에서 정책적 일관성과 평가 용이성 측면에서 우수하다. 그러나 감축 여력의 차이를 고려하지 않는 일률 적용 방식은 내부 불균형 및 제도적 반발 가능성을 내포하고 있다.

시나리오 3은 형평성과 현실성을 동시에 확보할 수 있으며, 향후 서울시 제도와의 연계 운영을 고려할 경우 가장 직접적인 적용이 가능하다. 다만, 단기에 실현성이 낮고, 실험실, 연구실, 기숙사 등 다양한 용도 건물을 보유한 고등교육기관의 특성에 맞춰 기준을 별도로 고려해야 할 필요성이 있다.

종합적으로 볼 때, 서울대학교는 감축제도의 도입 목적, 운영 단계, 외부 제도와의 정합성 여부에 따라 시나리오를 유연하게 조합하거나, 제도 초기에는 시나리오 1의 유연한 방식을 채택하고 점차 시나리오 2 또는 3과 병행하는 단계적 전환 전략을 고려할 수 있다. 또한 특정 단과대학이나 연구시설 등 특수 용도의 건물군에 대해서는 시나리오 1 또는 3을 적용하고, 행정·교육용 건물에는 시나리오 2를 적용하는 복합 적용 모델(hybrid model)도 정책 설계 시 유효한 대안이 될 수 있다.

V. 정책 시사점

이 연구는 서울대학교의 건물 부문 온실가스 배출 현황을 정량적으로 분석하고, 이를 기반으로 세 가지 감축 할당 시나리오를 설계하여 비교·검토하였다. 각 시나리오는 제도 설계 방식, 기준 설정 방식, 수용 가능성, 정책 정합성 등의 측면에서 상이한 특성을 보이며, 복합 기능을 수행하는 대학 캠퍼스

에 감축 제도를 도입할 때 고려해야 할 전략적 방향성을 시사한다.

시나리오 비교 결과는 교육기관이라는 특수한 공간에서 탄소중립 목표를 달성하기 위해 어떤 제도적 접근이 적합한지를 평가할 수 있는 정책적 근거를 제공한다. 예일대학교의 동적 베이스라인 방식은 최신 데이터 반영과 유연한 적용이 가능해 제도 도입 초기의 자율적 감축 유도에 적합하며, 구성원 수용성 측면에서 유리하다. 국가 온실가스 감축목표(NDC) 기준은 명확한 감축 목표 설정과 정부 정책과의 정합성을 확보할 수 있어 공공기관으로서의 책무를 강조하는 데 효과적이나, 단위 간 감축 노력 차이를 고려하지 못하는 단점이 존재한다. 서울시 기준은 용도별 배출 특성을 반영한 상대적 기준 설정이 가능하여 제도의 형평성과 실용성이 높고, 향후 지자체 제도와의 연계에도 적합하나, 고등교육기관에 직접 적용하는 과정에서 수용성을 포함해 보완이 요구된다.

세 가지 시나리오는 각각 장점과 한계를 지니고 있어, 단일 기준만으로는 형평성과 실현 가능성을 동시에 확보하기 어렵다. 따라서 이 연구는 도입 초기에는 예일대학교식 동적 베이스라인을 적용하여 제도의 수용성을 높이고, 이후 단계에서는 국가 NDC 목표와 서울시 집약도 기준을 혼합 적용하여 정책 정합성과 실현 가능성을 강화하는 새로운 단계별 할당 방식을 제안한다. 특히 실험실·연구시설 등 고에너지 수요 건물에는 단일 기준이 아닌 차등 적용이 필요하며, 이들 건물에는 설비 효율 개선, 재생에너지 전환, 리모델링 등 물리적 지원 수단이 병행되어야 실질적인 감축이 가능하다.

또한 제도의 실효성을 높이기 위해서는 정밀한 모니터링 및 관리 체계 구축이 필수적이다. 배출 실적의 지속적 추적과 이행 평가, 성과 기반 인센티브 설계를 위해 에너지관리시스템(EMS)과 온실가스 인벤토리의 체계적 관리가 요구된다. 동시에 구성원 참여를 유도하기 위해 감축 실적에 따른 예산 배정 연계, 친환경 인증 부여, 연구 공간 우선 배정 등 다양한 유인 메커니즘을 설계할 필요가 있다.

다만, 실제 제도 적용 시에는 몇 가지 제약 요인이 존재한다. 하나의 건물 내 다양한 용도가 혼재된 경우 기준 적용의 경계 설정이 모호할 수 있으며, 감

축 책임 주체가 명확하지 않다면 제도의 실효성을 저해할 수 있다. 아울러 이 연구는 Scope 1 및 2에 국한되어 있으며, 향후에는 통근, 출장, 소비, 폐기물 등 Scope 3 배출까지 포함하는 확장된 감축 프레임워크 구축이 필요하다. 서울시 총량제, 탄소세, 배출권거래제 등 외부 제도와의 정합성 및 연계 가능성도 사전에 검토되어야 한다.

결론적으로, 서울대학교에 적용한 기관 단위 온실가스 감축량 할당 사례는 고등교육기관이 자체적으로 추진할 수 있는 탄소 저감 제도의 설계 과정을 보여준다는 점에서 의의가 있다. 이 연구에서 제안한 감축 할당 기준과 정책 적용 전략은 서울대학교에 국한되지 않고, 유사한 공간 구조와 에너지 소비 특성을 지닌 타 대학, 연구기관, 공공시설에도 적용 가능성이 높으며, 향후 건물 부문 온실가스 감축 제도의 실효적 확산을 위한 정책적 참고 틀로 활용될 수 있다.

〈표 10〉 서울대학교 건물 온실가스 배출량 감축 로드맵

	1단계	2단계	3단계
목표	자발적 감축 및 제도 수용성 강화	국가 목표와의 정합성 확보	제도 형평성 및 실현 가능성 강화
할당 방식	동적 베이스라인 (최근 3개년 평균 기준 조정)	NDC 기준 및 서울시 기준 혼합 적용 (2018년 기준 대비 40% 감축과 용도별 배출집약도 상한 설정 혼합)	
맞춤 할당 (차등 적용) 여부	△ (기존 배출량 반영)	○	○
적용 범위	Scope 1·2	Scope 1·2	Scope 1·2·3
지원 조치	① 건물 설비 효율 개선, 재생에너지 전환, 리모델링 등 물리적 지원 병행 ② 에너지관리시스템(EMS)과 온실가스 인벤토리 체계적 관리 ③ 감축 실적에 따른 예산 배정 연계 등의 인센티브 제도를 통한 구성원 참여 유도		

VI. 결론

이 연구는 서울대학교 건물 부문의 온실가스 배출 현황을 정량적으로 분석하고, 캠퍼스 차원의 탄소중립 달성을 위한 감축 목표 설정 및 배출허용량

할당 방안을 제시하였다. 이를 위해 전력, 도시가스, 지역난방 등 에너지 사용 데이터를 기반으로 연도별 온실가스 배출량과 건물별 배출집약도를 산정하였으며, 감축 기준 설계를 위해 세 가지 시나리오—① 동적 베이스라인 방식, ② 국가 온실가스 감축목표(NDC) 기준, ③ 서울시 유형별 표준 배출집약도 기준—를 비교 적용하였다.

시나리오 비교 결과, 동적 베이스라인 방식은 최신 데이터 반영과 유연한 적용이 가능해 제도 도입 초기의 자율적 감축 유도와 수용성 확보에 적합하다. NDC 기준은 명확한 감축 목표와 중앙정부 정책과의 정합성 확보에 유리하다. 서울시 기준은 용도별 배출 특성을 반영해 형평성과 적용 편의성을 높이고, 지자체 제도와 연계하기에도 실용적이다. 그러나 세 가지 방식 모두 단일 적용만으로는 한계가 있으며, 특히 고에너지 수요 건물에는 맞춤형 기준이 필요하다.

해당 결과는 단순한 감축 수치 산정이 아니라, 시나리오별 제도 적용 시 형평성과 실현 가능성 간의 상충 관계를 보여준다. 이 연구는 이러한 비교를 통해 서울대학교에 적합한 차등적·혼합적 할당 체계를 설계할 수 있음을 확인하였다. 이는 국내 고등교육기관 차원의 탄소중립 달성을 위한 제도 설계에 실질적인 시사점을 제공하며, 나아가 이 연구는 단일 기준이 아닌 단계별 접근을 제안한다. 도입 초기에는 예일대학교식 동적 베이스라인을 적용하여 제도의 수용성과 정착 기반을 마련하고, 이후 단계에서는 국가 NDC 목표와 서울시 총량제를 혼합 적용하여 정합성과 실현 가능성을 동시에 확보하는 방식이다. 이러한 접근은 해외 사례 단순 적용을 넘어 국내 대학 환경에 맞는 새로운 제도 설계 방향을 제시하는 것이다.

서울대학교의 사례는 건물 차원의 단기적 감축 방안뿐 아니라, 학내 행정 체계와 재정 지원, 구성원 참여를 포괄하는 거버넌스 강화와 연결되어야 한다. 또한 Scope 1·2 배출 관리에서 나아가, 통근·출장·소비 등 외부 활동을 포함하는 Scope 3 배출까지 확장할 필요가 있으며, 이는 향후 대학의 탄소중립 전략과 정책 설계에서 반드시 고려해야 할 장기적 과제이다.

이 연구는 몇 가지 한계를 지닌다. 분석 범위 측면에서 Scope 1과 2에 국한

되어 있어 Scope 3 배출을 포함하지 못하였다. 또한 감축 시나리오별 수용성, 인식, 실현 가능성에 대한 정성적 평가(예: 구성원 인터뷰, 설문조사)가 수행되지 않았다. 향후 연구에서는 다양한 이해관계자의 참여를 반영한 정책 수용성 분석, 감축 비용 및 기술 적용의 경제성 평가, 내부 탄소배출권 거래제도 설계 등을 통해 제도의 실효성을 높이는 방향으로 확장될 필요가 있다.

이 연구는 국내 대학교를 대상으로 한 최초의 정량 분석 사례로서, 해외 제도의 요소를 비교·검토하여 대학 차원의 특성에 적합한 감축 체계를 설계한 점에서 의의를 가진다. 향후 다른 대학이 온실가스 배출 데이터를 축적할 경우, 이 연구의 방법론과 시나리오 비교 결과는 각 기관의 배출 구조와 제도 환경에 맞는 감축 기준 도출에 기초 자료로 활용될 수 있다. 나아가 다수의 건물군을 관리하는 공공기관·지방정부에도 적용 가능하여, 제도 설계와 정책 적용에 실질적인 함의를 제공할 수 있다.

■ 참고문헌 ■

- 관계부처 합동, 2023, 『탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획』.
기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 일부개정법률안(이소영의원 등 10인), 제2208420호(2025. 2. 25.).
- 국가에너지통계정보시스템, 2025, “2024년 국내 에너지 소비,” <https://kesis.keei.re.kr/board.es?mid=a10306000000&bid=0060>, [2025.09. 15]
- 서울대학교, 2024, “서울대학교의 공공요금과 에너지/자원 소비 규모,” 『서울대학교 온실가스·에너지 인포그래픽스』, 108호.
- 서울특별시, 2021, 『서울시 건물 온실가스 총량제 시행방안 학술용역』, 서울: 서울특별시, 서울특별시 에너지정보 플랫폼, “에너지 다소비 건물 현황,” <https://energyinfo.seoul.go.kr/energy/buildSaverate?menu-id=Z040300>, [2025.06.01]
- 조진균·이영재, 2021, “용도별 에너지 요구량에 따른 대학 캠퍼스 에너지소비 구조 분석: H 국립대학 캠퍼스 사례분석을 중심으로,” 『대한건축학회 논문집』, 37(6), pp.179-190, DOI: 10.5659/JAIK.2021.37.6.179.
- 조혜원·하지훈·김현지·정민영·윤제용, 2024, “해외 탄소중립 캠퍼스 사례 분석: 미국 종합대학 사례를 중심으로,” 『적정기술학회지』, 10(1), pp.56-72.
- 황인창, 2023, 『서울시 건물 온실가스 총량제 3차 포럼』, 서울: 서울연구원.

- Abe, T. and T. H. Arimura, 2020, An Empirical Study of the Tokyo Emissions Trading Scheme: An Ex Post Analysis of Emissions from University Buildings, In Arimura, T.H. and Matsumoto S. (Eds.), Carbon Pricing in Japan, pp. 97–116, Singapore: Springer.
- Baek, S. G., 2021, “Plan for the Sustainability of Public Buildings through the Energy Efficiency Certification System: Case Study of Public Sports Facilities, Korea,” Buildings, 11(12), 589, DOI: 10.3390/buildings11120589.
- Ellerman, A. D., P. L. Joskow, and D. Harrison, 2003, Emissions trading in the U.S.: experience, lessons, and considerations for greenhouse gases, Arlington, VA: Pew Center on Global Climate Change.
- Goulder, L. H. and I. W. H. Parry, 2008, “Instrument choice in environmental policy,” Rev. Environ. Econ. Policy., 2(2), pp.152–174, DOI: 10.1093/reep/ren005.
- Idundun, E., A. S. Hursthouse and I. McLellan, 2021, “Carbon Management in UK Higher Education Institutions: An Overview,” Sustainability, 13(19), 10896, DOI: 10.3390/su131910896.
- IEA (International Energy Agency), 2022, CO2 Emissions in 2022, Paris: IEA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014, Climate change 2014: Mitigation of climate change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press.
- Kim, D. W., Y. M. Kim and S. E. Lee, 2019, Development of an energy benchmarking database based on cost-effective energy performance indicators: Case study on public buildings in South Korea, Energy Build., 191, pp.104–116, DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.03.009.
- New York City, 2019, Local Laws of the City of New York for the Year 2019.
- Robinson, O., S. Kemp and I. Williams, 2015, Carbon management at universities: a reality check, J. Clean. Prod., 106, pp.109–118, DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.06.095.
- Robinson, O., A. Tewkesbury, S. Kemp and I. Williams, 2018, Towards a universal carbon footprint standard: a case study of carbon management at universities, J. Clean. Prod., 172, pp.4435–4455, DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.100.
- Sopher, P. and A. Mansell, 2013, The World’s Carbon Markets: A Case Study Guide to Emissions Trading, Washington, DC: EDF, IETA.
- Yale University, 2016, Yale University’s Carbon Charge: Preliminary Results from

Learning by Doing, New Haven, CT: Yale University.

김지태: 서울대학교 환경계획연구소 책임연구원으로, 한국연구재단 학술연구교수이자 단국대학교 행정법무대학원 탄소중립학과 초빙교수로 재직 중이다. 서울대학교에서 경제학박사학위를 받았고, 연구 관심사는 기후변화, 에너지전환, 배출권거래제, 생물다양성이다(ceojitae@hanmail.net).

강진영: 서울대학교 협동과정 환경교육전공에서 교육학 박사학위를 취득하고 현재 한국교원대학교 환경학교육연구소에서 재직 중이다. 환경교육과 경제영역의 연계 및 환경교육 제도, 정책 등이 주요 관심 분야이다(jy_kang@knue.ac.kr).

김기원: 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정을 수료하였다. 주요 연구 관심사는 기후·환경정책과 지속가능한 폐기물 관리, 순환 경제이다(keewon.kim@snu.ac.kr).

홍종호: 코넬대학교에서 경제학 박사학위를 취득하고, 서울대학교 환경대학원에 재직 중이다. 한국환경경제학회 및 한국재정학회 회장을 역임했으며, 기후·환경·에너지 경제학 및 지속가능발전 정책을 가르치고 연구하고 있다(hongjongho@snu.ac.kr).

투 고 일: 2025년 06월 26일
심 사 일: 2025년 07월 28일
게재확정일: 2025년 09월 11일