

행사 부문 전과정 탄소 배출량 산정을 통한 이행 주체별 감축 기여도 분석

임노을¹, 조효진², 김기은², 허영찬², 박채린², 임송택^{3*}

¹서울시립대학교 도시공학과, ²내일의 쓰임, ³에코네트워크(주)

Life Cycle Assessment of Carbon Emissions in the Event Sector: Analyzing Reduction Contributions by Implementing Actor

No Ol Lim¹, Hyojin Cho², Kieun Kim², Young Chan Heo², Chaerin Park², Song Tak Lim³

¹Department of Urban Planning and Design, University of Seoul, Republic of Korea

²Tomorrow Use Inc., Seoul, Republic of Korea

³Econetworks Ltd., Gwacheon, Republic of Korea

ABSTRACT

As climate action grows increasingly urgent, the importance of eco-friendly events has been rising. However, few studies have quantitatively identified the greenhouse gas (GHG) reduction effects of event operations and their key driving factors. Accordingly, this study applied the scope 3 guidelines of the GHG protocol to an eco-friendly event held in South Korea in June 2026, predicting baseline emissions across each life cycle stage and calculating actual post event carbon emissions based on real participant behavior, in order to analyze the reduction contribution of climate actions by implementing actor. The analysis found that total baseline emissions were predicted at 39,274.66kgCO₂eq, while actual post event emissions were calculated at 22,710.36kgCO₂eq, representing a 42.18% reduction relative to the predicted baseline. The organizer achieved a high reduction rate at the disposal stage through digital transformation and the adoption of biodegradable banners, whereas the reduction rate from operating an energy storage system (ESS) powered vehicle as the event's core power source, revealed technical and policy limitations. Modal shift in participant travel emerged as the single most dominant mechanism, accounting for 98.52% of the total reduction achieved. In particular, participants from the Seoul metropolitan area recorded the lowest emissions, benefiting from the synergy of subway infrastructure, the organizer's pre event guidance and local government policy, whereas participants from outlying areas of Gyeonggi Province, located far from Seoul and poorly connected to public transit, showed the highest reliance on private vehicles confirming a blind spot arising from spatial infrastructure disparities. The pre-event prediction and post-event survey-based estimation model proposed in this study is expected to serve as part of a national climate adaptation strategy for efficiently managing GHG emissions from the event sector while monitoring and encouraging citizens' climate action.

Key words: Life cycle assessment (LCA), Scope 3, Event carbon neutrality, Energy storage system (ESS), Citizen participation

요약

기후위기 대응을 위한 친환경 행사의 중요성이 증대되고 있으나, 행사 진행에 따른 온실가스 감축 효과와 주요 유인 요인을

Date Received: Aug. 10, 2026, Date Revised: Aug. 18, 2026, Date Accepted: Aug. 18, 2026

* Corresponding author :Song Tak Lim, Tel: +82-2-504-1233, E-mail: danmoozi@hanmail.com

© Copyright 2026 The Korean Society for Life Cycle Assessment. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

정량적으로 규명한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 2026년 6월 국내에서 개최된 친환경 행사를 대상으로 온실가스 프로토콜(GHG Protocol)의 Scope 3 가이드라인을 준용하여 전 과정 단계별 사전 배출량을 예측하고 실제 행동 기반으로 사후 실제 탄소 배출량을 산정하여 이행 주체별 기후행동의 감축 기여도를 분석하였다. 분석결과, 사전 배출량은 총 39,274.66kgCO₂eq로 도출되었으며 사후 실제 배출량은 22,710.36kgCO₂eq로 도출되어 예측량 대비 42.18%의 탄소 감축 성과를 달성하였다. 주최 측은 디지털 전환 및 생분해성 배너 도입을 통해 폐기 단계에서 높은 감축률을 보였으나, 핵심 전력원인 ESS 전력차 가동에 의한 감축률은 기술 및 정책적 한계를 보였다. 참여자 부문의 이동 수단 전환은 전체 감축량 기여율의 98.52%를 차지하는 가장 지배적인 기제로 작동하였다. 특히 서울권 참여자는 지하철 인프라와 주최 측의 사전 안내 및 지자체 정책의 시너지로 최저 배출량을 기록한 반면, 서울 기준 통행거리가 멀며 대중교통 연계성이 취약한 경기 외곽 지역 유입자의 경우 휘발유 자가용 의존도가 가장 높게 나타나 공간적 인프라 격차에 따른 사각지대가 존재함을 확인하였다. 본 연구에서 제시하는 사전 예측 및 사후 설문 기반 산정 모델은 단기 고배출원인 행사 부문의 온실가스 배출량을 효율적으로 제어하고 시민의 기후행동을 모니터링 및 유도하는 국가 기후위기 적응 전략의 일부가 될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 전과정평가(LCA), Scope 3, 행사 탄소중립, 에너지저장장치(ESS), 시민참여

1. 서 론

기후위기 대응을 위한 전 지구적 온실가스 감축 노력이 가속화되면서 국가와 산업 전반의 탄소중립 전환이 요구되고 있다[1]. 이러한 흐름 속에서 단기간에 다수의 인원이 밀집하여 에너지 사용과 이동을 집약적으로 유발하는 행사나 축제 부문 역시 온실가스 관리 대상에 포함되어야 한다는 인식이 확산되고 있으며, 국제표준화기구(ISO)는 이미 2012년 행사의 기획, 운영, 폐기 전 과정에서 지속가능성을 관리하기 위한 ISO 20121(event sustainability management systems) 표준을 제정하고 최근 개정판을 발표한 바 있다[2].

그러나 이러한 국제 기준과 지침이 행사의 지속가능성 관리 절차를 규정하고 있는 것과 별개로, 실제 행사가 유발하는 온실가스 배출량과 저탄소 이행 방안별 감축 효과를 정량적으로 규명한 연구는 여전히 제한적이다. 온실가스 프로토콜(GHG Protocol)의 Scope 3 기준은 조직의 가치사슬 전반에서 발생하는 간접 배출량을 상류(upstream), 핵심(core), 하류(downstream) 단계로 구분하여 산정하도록 안내하고 있어 다수의 이해관계자가 참여하는 행사의 배출 경계를 설정하는 데 유용하게 활용될 수 있으나[3], 국내에서는 이러한 체계를 실제 행사에 적용하여 단계별·이행주체별 감축 기여도까지 실증적으로 분석한 연구를 찾아보기 어렵다. 국내 전과정평가(LCA) 연구 동향을 검토한 선행연구에서도 건설·에너지 부문에 비해 관광·서비스 부문의 연구가 현저히 부족하다는 점이 지적된 바 있어[4], 행사 부문 역시 이러한 연구 공백의 연장선에 있다고 볼 수 있다.

한편 해외에서는 개별 학술대회 및 컨퍼런스 단위에서 전과정 온실가스 배출량을 산정한 사례연구가 축적되어 왔으며, 이들 연구는 공통적으로 참가자의 이동, 특히 항공을 포함한 장

거리 이동이 행사 전체 배출량을 좌우하는 핵심 변수임을 밝혀왔다[5-6]. 다만 이러한 선행연구는 대개 학술 컨퍼런스라는 제한된 참가자 집단을 대상으로 하였거나 이동 부문의 배출량 산정에 집중되어 있어, 주최 측의 운영 전반·에너지 사용, 폐기물 처리 등과 참여자 이동을 함께 포괄하고 나아가 이행 주체별로 저탄소 대책의 실제 감축 기여도를 사전·사후 비교를 통해 검증한 연구는 드물다.

이에 본 연구는 실제 개최된 친환경 행사를 대상으로, 어떠한 저탄소 대책도 적용하지 않았다고 가정한 사전 배출량을 예측하여 기준선을 설정하고, 행사 진행 중 확보한 주최 측의 운영 기록과 참여자 대상 설문조사를 결합하여 실제 행동에 기반한 사후 배출량을 산정하였다. 이를 통해 주최자와 참여자 각각이 수행한 개별 기후행동이 기준선 대비 어느 정도의 온실가스 감축 효과를 유발하였는지를 이행 주체별·경계 단계별로 정량화함으로써, 기존 연구에서 충분히 다루어지지 않았던 행사 부문의 실증적 감축 기여도 분석을 시도하고자 한다.

본 연구에서 제시하는 사전 예측 및 사후 실측 기반의 산정 모델은 개별 행사 단위에서 발생하는 온실가스 배출을 이행 주체별로 세분화하여 관리할 수 있는 실증적 틀을 제공함으로써, 향후 행사·축제 부문의 탄소중립 정책 설계와 저탄소 이행 방안의 우선순위 결정에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1 연구 대상 및 기간

본 연구는 실제 서울에서 약 5,000명의 참석자 규모로 계획된 친환경 행사를 대상으로 진행되었다. 행사 전과정 탄소 배출량을 산정하기 위해서 주최자 운영 기록 중 견적서를 활용

하였으며, 참석자 이동 및 숙박 정보를 파악하기 위해 총 3시간 동안 4회의 모바일 설문조사를 진행하였다. 전체 참석자 중 유효하게 응답한 인원은 총 1,118명으로 집계되어 이를 대상으로 데이터를 수집 및 분석하였다.

계산을 위한 온실가스 배출량 산정 체계는 온실가스 프로토콜(GHG Protocol)의 Scope 3 가이드라인을 준용하여 전 과정 경계(system boundary)를 상류 단계(upstream), 핵심 단계(core), 하류 단계(downstream)로 분할하여 접근하였다[7].

2.2 사전 탄소 배출량 예측

사전 탄소 배출량은 행사 전과정 동안 저탄소 기후행동을 수행하지 않고 행사가 기획 및 진행되었을 때를 가정한 기준선이다. 배출량 산정에 적용된 배출계수와 출처는 단계별로 다음과 같다.

상류 단계는 행사를 위해 사용되는 식음료 용기, 초청장 및 입장권의 지류 제작, 배너 및 홍보물의 제작을 위해 투입되는 원자재의 제조 공정에서 배출되는 탄소량을 산정하였다. 식음료 용기는 다회용기 대체 없이 4,040개의 일회용 종이 정수기 컵이 소모된다고 가정하였으며, 배출계수는 ecoinvent 3.12[8]의 Virgin fiber 기반 일회용 종이컵 생산 기준인 1.444959kg CO₂eq/kg을 사용하였다. 4,040개의 종이컵 개당 중량은 0.00088kg으로 계산하여 총 3.52kg의 종이컵을 대상으로 배출량을 산정하였다. 초청장과 입장권의 지류 제작은 전량 오프셋 인쇄 용지로 제작하는 상황을 적용하였다. 이때 배출계수는 마찬가지로 ecoinvent 3.12의 오프셋 인쇄 종이 기준인 2.85104kg CO₂eq/kg을 기반으로 산정하였다. 배너 및 홍보물 제작은 일반 PVC 및 폴리에스터 원단 활용을 가정하였으며, 배너용 PVC 배출계수 (3.31623kg CO₂eq/kg) 및 일반 배너 생산 표준을 적용하였다. 마지막으로 리허설에 사용된 에너지는 보수적인 관점에서 디젤 발전차 최대 효율 가동 시 발전량 대비 연료 사용량을 역산하여 도출된 디젤 발전 배출계수 0.70605kg CO₂eq/kWh에 총 사용량인 3,000kWh를 곱하여 배출량을 산출하였다.

행사 진행에 따른 에너지 소모 및 인적 이동 활동을 포괄하는 핵심 단계는 본 행사에서 사용된 에너지, 스태프 및 참여자 이동, 참여자 숙박으로 인해 배출되는 탄소량을 산정하였다. 본 행사 에너지는 소요 전력 10,200kWh에 앞서 사용한 디젤 발전 배출계수 (0.70605kg CO₂eq/kWh)로 산정하였다. 스태프 이동은 예정된 스태프 188명의 출퇴근 이동 시 일반적인 내연기관 차량만을 사용하는 상황을 가정하였다. 참여자 이동의 경우 예정된 5,000명의 출발지를 수도권(서울/경기/인천)과 수도권 외(전국권)로 분류하여 국가 교통 수단별 분담률 표준 (수

도권 대중교통 48.7%, 전국 대중교통 29.5%)을 기반으로 승용차, 택시, 버스, 지하철, 기차 이용을 반영하여 산출하였다. 편도 및 왕복 거리는 전국 250개 시군구 O/D (Origin/Destination) 평균 통행거리를 준용하였다[9]. 마지막으로 참여자 숙박은 원거리 참석자들의 1박당 온실가스 유발 효과를 계산하기 위해 영국 DEFRA(Department for Environment, Food & Rural Affairs, 환경식품농무부) 중 한국 기준 호텔 숙박 배출계수인 55.8kg CO₂eq/room.night를 적용하였다[10].

마지막으로 행사 후 발생하는 폐기물 처리 과정인 하류 단계에서는 식음료 용기 및 지류 폐기와 배너류 폐기를 기반으로 탄소량을 산정하였다. 식음료 용기와 지류 폐기는 수거된 일회용 컵과 지류 제작물이 분리배출 없이 일반 혼합 생활폐기물 처리 경로로 유입되어 매립 또는 소각되는 시나리오를 적용하였다. 매립 및 소각은 국가 환경 성적표지 데이터베이스에서 각각 0.7272kg CO₂eq/kg과 0.7204kg CO₂eq/kg으로 사용하였다. 배너류의 폐기는 일반 폐합성수지의 전국 혼합배출 소각 처리 배출계수인 2.21257kg CO₂eq/kg을 적용하였다. 각 단계별로 사용한 배출 계수와 행사에 사용된 수량이나 설문을 통해 집계된 인원은 아래 표에 정리하였다.

2.3 주최자 운영 기록 및 설문조사 기반 사후 탄소 배출량 산정

행사 진행 이후 실제로 배출된 탄소는 주최자의 운영 기록과 참여자의 설문조사를 통해 산출되었다. 먼저 행사 주최 측은 준비 단계 및 현장 운영 전반에 걸쳐 탄소 배출을 억제하기 위한 저탄소 이행 방안을 실행하였다. 행사는 다회용기 비치 및 적용, 지류 대체 및 디지털 전환, 친환경 종이 및 소재 배너 도입, ESS 전력차 사용, 대중교통 이용 장려 안내, 현장 분리배출존 운영의 6대 기후행동을 이행하였으며 이를 반영한 탄소배출량 산정 기준은 다음과 같다.

다회용기 비치 및 적용의 경우, 일반 정수기 비치 구역의 종이컵 4,000개는 일체형 관리를 위해 유지하되, VIP 및 내빈 대기실에는 1회용 컵을 전면 금지하고 총 40개의 다회용컵을 전용 비치하였다. 이에 대한 감축량은 보수적 성과 측정을 위해 낮은 사용 빈도 (연 20회 미만 순환) 하에서 역산된 일회용 컵 대비 감축계수 0.04259kg CO₂eq/개를 다회용기 총 사용 횟수와 결합하여 계산하였다.

디지털 전환은 실물 초청장 4,000장, 오프라인 입장권 3,088장, 축제용 종이 스탬프 북 5,000매의 사용 대신 웹 브라우저 및 앱을 통한 모바일 디지털 초청장, 디지털 모바일 입장권, 디지털 스탬프 투어로 전환하여 인쇄를 전면 대체하였다. 탄소 계산은 디지털 기기 네트워크 전송에 따르는 이산화탄소

Table 1. Estimation conditions based on survey and emission factors used by life cycle stage

Emission stage	Category 1	Category 2	Estimation condition	Quantity	Emission factor	Source
Upstream	Material production	Food & beverage containers	Disposable paper water cups	3.52kg (4,040 units)	1.444959kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent 3.12
		Printed paper materials	General printed paper materials (All items)	120.63kg (28,451 units)	2.851040kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent 3.12
		Printed banners	General synthetic resin banners	23.27kg	3.316230kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent 3.12
	Energy use	Rehearsal	Diesel vehicle power generator	3,000kWh	0.706050kgCO ₂ eq/kWh	Public sector GHG target management guidelines and generator standard [11]
Core	Energy use	Main event	Diesel vehicle power generator	10,200kWh	0.706050kgCO ₂ eq/kWh	
	Transportation	Staff	Internal combustion engine based vehicle (diesel)	188 people	0.248500kgCO ₂ eq/km	Korea Environment Institute [12]
		Metropolitan area attendees	Round trip travel	3,994 people	2.363560kgCO ₂ eq/person	Korea Environment Institute [12] and National modal share standard
		Non-metropolitan attendees	Round trip travel	1,006 people	16.269237kgCO ₂ eq/person	
	Accommodation	Attendee room accommodation	Hotel stay for long-distance attendees	55 room.night	55.8kgCO ₂ eq/room.night	UK Department of Environment, Foods and Rural Affairs [10]
Downstream	Waste Treatment	Food & beverage containers	Paper cup incineration	3.52kg	0.7204kgCO ₂ eq/kg	Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI)[13]
		Printed paper materials	General waste paper landfill and incineration	120.63kg	1.041kgCO ₂ eq/kg	Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI)[13]
		Printed banners	Waste synthetic resin incineration (Mixed)	23.27kg	2.212570kgCO ₂ eq/kg	Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI)[13]

디지털 발자국 원단위 (0.0002kgCO₂eq/회)를 발생 배출량으로 반영하고 절감된 인쇄 용지량만큼을 감축 성과로 활용하였다. 친환경 종이 및 친환경 소재 배너 도입은 포스터 인쇄 시 일반 인쇄용지 대신 ecoinvent 3.12의 재생지 40% 표준인 1.59395kgCO₂eq/kg을 적용하여 생산 전 단계 탄소 저감량을 산정하였다. 또한 제작 배너 중량 23.27kg 중 가설 A 보드와 같은 최소 부품을 제외하고 약 68%에 해당되는 15.83kg을 친환경 생분해성 합성 원단 소재 배너 (생산계수 0.59kgCO₂eq/kg)로 대체 생산하여 해당 단계의 감축량을 평가하였다.

야외행사 에너지 사용량의 절감을 위해 ESS 전력차를 도입하여 행사 당일 총 공급 전력 10,200kWh 중 200kWh만큼의 디젤 발전기 가동으로 인한 탄소 배출량을 회피하였다. 또한 대중교통 이용을 장려하기 위해 참가 등록 이메일, 알림톡, 디지털 초청장 내에 전철역 연계 셔틀버스 시간표 및 대중교통 노선도를 제공하여 차차보다 대중교통을 선택할 수 있도록 유도하였다. 마지막으로 수거된 배너 및 현수막을 전량 지정 합

성수지 성상별 분리배출 처리하도록 지원하고 해당 폐기 단계 배출계수를 전국 평균 혼합배출 (2.21257kgCO₂eq/kg)에서 분리수거 재활용 연계 배출계수 (0.28950kgCO₂eq/kg)로 완화 적용하였다.

실제 이동 및 숙박 관련 정보를 수집하기 위해 참가자를 대상으로 한 설문 문항은 참가자의 출발 행정구역, 이용 교통수단 종류, 카풀 여부, 숙박 여부 및 일수 정보 등을 취득하여 코어 단계 중 참가자로 인한 탄소 배출량 산정에 사용하였다. 실제 참가자 이동으로 인한 배출량은 사전 배출량 산정 기준과 동일한 배출계수를 활용하여 대중교통 사용률과 출발지에 따른 평균 거리를 적용하였다.

3. 결 과

3.1 사전 탄소 배출량 예측 결과

행사 개최 시 어떠한 친환경 대책도 적용하지 않은 상태인 사전 분석 결과, 연구 대상 행사의 총 예측 탄소 배출량은 39,274.66kgCO₂eq로 도출되었다. 그 중 전체 대비 배출 기여도가 가장 높은 항목은 핵심 단계 중 수도권과 전국권 관객의 이동에 의한 배출량으로 각각 24.03%와 41.68%를 차지하였다. 그 외에도 핵심단계인 본 행사 발전에 의한 에너지 사용이 18.34%로 높게 나타났다.

3.2 사후 탄소 배출 및 감축량 산정 결과

앞서 산출한 사전 총 배출량 (39,274.66kgCO₂eq) 대비 사후 실제 배출량 (22,710.36kgCO₂eq)은 총 16,564.29kgCO₂eq의 온실가스 감축 효과가 있었으며, 이는 전과정 온실가스 배

출량의 42.18%에 해당하는 수치이다.

상류 단계에서 감축량이 가장 높은 항목은 리허설 에너지 사용량이었으나 ESS 차량은 본 행사에만 가동하여 감축에 포함되지 못했고, 이후에는 홍보 지류 제작, 현수막 및 배너 생산 공정과 식음료 용기 제조 공정 순으로 배출량이 많았다. 이 중 배출 저감율이 가장 높았던 항목은 현수막 및 배너 생산으로 약 53%의 탄소 배출량을 저감할 수 있었다. 이는 행사 물품 생산 단계에서 일반 인쇄용지 대신 재생지를 사용하거나 생분해성 합성 원단 소재의 배너를 사용하는 등 친환경 원료를 교체해도 많은 배출량을 저감할 수 있음을 시사한다.

하지만 상류 단계에서 가장 배출량이 컸던 홍보 지류 제작의 경우 약 14.75% 저감율에 그쳤다. 이는 초청장과 포스터를 친환경 재생지로 전환했으나 명찰, 비표, 입장 팔찌, 좌석번호

Table 2. Predicted emissions by life cycle stage and emission category

Emission stage	Category 1	Category 2	Target	Predicted emissions (kgCO ₂ eq)	Per-capita emission (kgCO ₂ eq/person)	Total emis-sions (%)
Upstream	Material production	Food & beverage containers	Disposable paper water cups	9.65	0.00186	0.02%
		Printed paper materials	General printed paper materials (All Items)	397.06	0.07653	1.01%
		Printed banners	General synthetic resin banners	60.27	0.01162	0.15%
	Energy use	Rehearsal power generation	Temporary diesel generator vehicle power generation	2,118.14	0.40828	5.39%
Core	Energy use	Main event power generation	Main generator power demand	7,201.66	1.38814	18.34%
	Transportation	Staff movement	Staff vehicle commuting & transfer	444.35	0.08565	1.13%
		Metropolitan area attendees	Round-trip travel of metropolitan area attendees	9,439.50	1.81949	24.03%
		Non-metropolitan attendees	Round-trip travel of attendees from other regions	16,371.10	3.15557	41.68%
	Accommodation	Attendee accommodation	Hotel stay for long-distance attendees	3,069.00	0.59156	7.82%
	Downstream	Waste treatment	Food & beverage containers	Paper cup incineration (Mixed waste)	0.11	0.00002
Printed paper materials			General waste paper landfill and incineration	112.33	0.02165	0.29%
Printed banners			Waste synthetic incineration (Mixed discharge)	51.49	0.00992	0.13%
Total	-	-	Total emission flow	39,274.66	7.57030*	100.00%

*Based on the sum of total participants (5,000 persons) and staff (188 persons).

스티커 등의 경우 일반 지류를 활용한 감축 노력에도 저감율이 낮은 것으로 확인되었다. 이는 초대권 디지털화 외에도 생산 단계에서 일반 용지 활용을 최소화하여 홍보 및 행사 물품 생산으로부터 발생하는 탄소 배출을 감축할 필요성을 보여준다.

하류단계는 사전 배출량 대비 93.56%의 저감률로 굉장히 높은 수치로 나타났다. 일회용기 혼합 폐기 처리의 경우 분리배출을 실행했으나 배출량 자체를 저감하지 못하였다. 제작 지류 폐기 소각과 폐현수막 및 폐배너 소각 처리의 경우 분리배출 시행과 디지털화를 통해 배출 저감률이 각각 96.70%와 86.92%로 집계되었다.

행사 전체적으로 가장 배출량이 많았던 핵심 단계에서 사전 배출량과 배출 저감률 모두 가장 낮았던 항목은 수도권 및 전국권 참여자의 이동이었다. 앞선 기후실천 설문 조사와 마찬가지로 많은 관객이 자차가 아닌 대중교통을 활용하여 수도권 약 74%, 전국권 약 56%의 배출 저감률을 보였다. 설문조사 결과, 전체 중 수도권은 80.07%, 전국권은 71.16%의 대중교통 이용률을 보였으며, 통계청의 통근·통학 지역 및 교통수단 정보와 국토교통부의 2023년 국가교통조사 및 분석에서 제공하는 수도권 및 전국 대중교통 분담률인 48.7%와 29.5%보다 훨씬 높은 수치를 보였다.

반대로 본 행사 에너지 가동량과 관객 숙박으로 인한 배출 저감률은 매우 저조한 수치로 기록되어 ESS 차량의 확대와 숙박 업체의 적극적인 탄소중립 참여를 유도할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 핵심단계에서 배출 저감률은 총 44.68%, 최종 감축량 중 기여율은 98.52%로 전체 행사 차원에서 가장 효과가 컸다.

3.3 참여자 설문조사 결과

참여자 설문조사 유효 데이터 (1,118명)의 대중교통 사용 현황을 파악하였다. 대중교통 사용은 참여자의 출발지별 유입

분포와 교통수단별 실측 분담률에 따른 통행 탄소 배출량을 Table 3과 같이 도출하였다. 가장 사용량이 많은 교통수단은 지하철이었으며 버스, 휘발유 자가용, 기차 순으로 집계되었다.

개최 장소인 서울시 참가자가 가장 많아서 지하철과 버스 이용률이 매우 높게 나온 것으로 판단되며, 수도권 외 지역은 기차 사용률이 높았다. 휘발유 자가용 사용량은 경기도가 가장 높아 세부 시군구의 대중교통과 자가용 비율을 살펴본 결과, 자가용 사용률이 10% 이하인 지역들은 남양주, 광명, 부천 등으로 나타났고 자가용 사용률이 30% 이상인 지역들은 파주, 수원, 김포, 평택 순으로 나타났다. 지역별 총 설문 응답자 수는 서울 470명, 경기 360명, 수도권 외 225명, 인천 63명 순이며 배출량 기여도는 수도권 외 74.13%, 경기 17.25%, 서울 5.66%, 인천 2.95% 순으로 나타났다.

4. 고 찰

본 연구의 전과정 탄소 배출량 산정 결과는 행사 부문 탄소 중립 전략이 경제 단계별로 상이한 감축 노력을 필요로 한다는 점을 보여준다. 사전 배출량 기준 핵심 단계는 본 행사 에너지 사용 (18.34%), 수도권과 전국권 참여자 이동 (24.03%, 41.68%), 참여자 숙박(7.82%)을 합쳐 전체의 약 93%를 차지한 최대 배출원이었으며, 사후 산정에서도 최종 감축량의 98.52%가 해당 단계에서 발생하여 배출과 감축 모두 높게 산출되었다. 반면 상류 단계(6.57%)와 하류 단계(0.42%)는 기준 배출량 비중은 작았지만 소재나 공정 전환만으로 각각 최대 53%와 93.56%에 이르는 높은 감축률을 기록하였다. 이는 행사 주최자가 상류와 하류 단계에서 소재 전환과 분리배출 체계로 상대적으로 적은 비용의 확실한 성과를 확보하고, 핵심 단계의 에너지나 이동 부문에는 구조적이고 정책적인 개입이 별도로 설계되어야 한다는 시사점을 제공한다.

특히 핵심 단계 중에서도 에너지 사용 부문은 이동형 에너

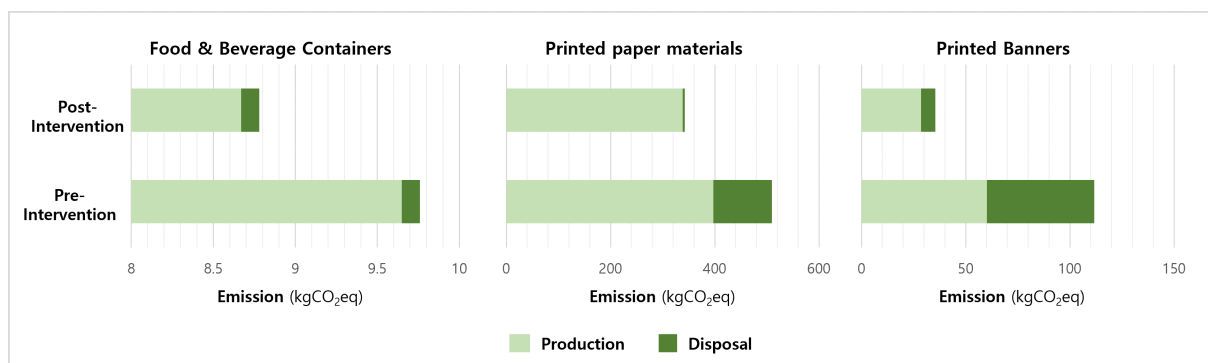


Fig. 1. Pre- and post-intervention emissions for material production and disposal categories.

행사 부문 전과정 탄소 배출량 산정을 통한 이행 주체별 감축 기여도 분석

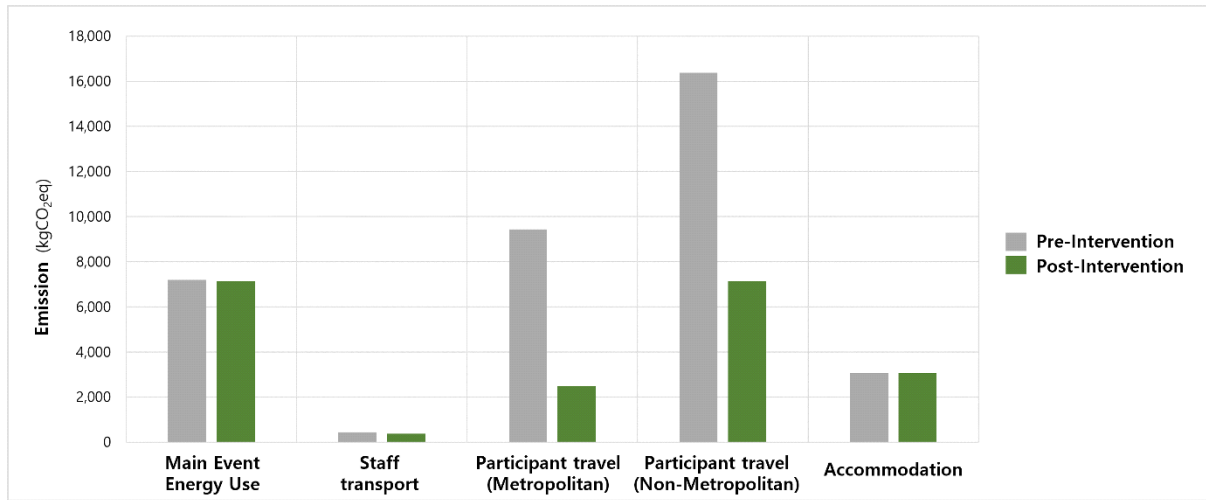


Fig. 2. Pre- and post-intervention emissions by core stage categories.

Table 3. Participant transport mode distribution and travel emissions by region

Transport mode & indicator	Seoul	Gyeonggi	Incheon	Metropolitan subtotal	Non-metropolitan	Total
Bus	107	87	9	203	78	281
Train	1	1	0	2	72	74
Subway	253	185	38	476	25	501
Car (hybrid)	2	11	0	13	4	17
Car (gasoline)	45	68	12	125	33	158
Car (electric)	0	2	2	4	3	7
Car (diesel)	4	2	2	8	6	14
Taxi	24	4	0	28	4	32
Walking	34	0	0	34	0	34
Number of participants	470	360	63	893	225	1118
Participant share(%)	42.04	32.20	5.64	79.87	20.13	100.00
Travel emissions (kgCO ₂ eq)	544.16	1,660.12	284.16	2,488.44	7,132.72	9,621.15
Emission contribution(%)	5.66	17.25	2.95	25.87	74.13	100.00

지저장장치(ESS) 보급 확대의 필요성을 뚜렷하게 드러낸다. ESS 전력차는 핵심 단계에 필요한 에너지 총 10,200kWh 중 200kWh (약 2%)만을 디젤 발전을 대체하여, 해당 단계의 에너지 사용 부문 사전 배출량 (7,201.66kgCO₂eq) 대비 약 0.9%인 66.10kgCO₂eq의 저조한 감축률을 기록하였다. 축제나 행사와 같은 단기 고밀도 전력 수요는 일정과 부하 규모를 사전에 예측할 수 있다는 점에서 이동형 ESS의 최적 적용 대상이지만 현재 이동형 ESS의 용량이나 공급 가능성이 대형 행사의 전력 수요 전체를 감당하기에 기술적으로 성숙하지 않았음을 보여준다. 본 연구에서 사용한 배출량 산정 방식을 그

대로 적용하여 만약에 ESS 전력차가 행사에서 사용된 에너지 10,200kWh 전량을 감당하여 디젤 발전을 완전히 대체할 수 있었다고 가정한다면, 전체 총 배출량인 22,710.36kgCO₂eq가 15,573.51kgCO₂eq로 감축되면서 전체 감축률이 42.18%에서 60.35%로 큰 차이를 보인다. 이는 현재의 기술적 한계를 극복할 경우 행사 부문의 탄소 배출량에 큰 영향을 미쳐 행사 부문의 효과적인 저탄소 이행 방안으로 작용할 수 있음으로 의미한다. 따라서 정부 차원에서 행사와 축제 부문을 위한 이동형 ESS 임대나 보급 지원 사업, 사용 보조금, 디젤 발전기 사용에 대한 부담금 부과와 같은 제도적 장치를 함께 마련하여 보급

을 확대할 필요가 있으며, 장기적으로 ESS 차량의 기술 발전이 적극적으로 이루어져야할 것으로 판단된다.

참여자 이동 부문은 전체 감축 성과의 98.52%로 가장 지배적인 감축 부문이었던 동시에, 이동오염원 관리의 공간적 차이를 뚜렷하게 보였다. 개최지인 서울 내에서만 이동한 참여자는 전체 인원의 42.04%를 차지하면서도 배출 기여도는 5.66%에 불과해 인원 규모와 배출량이 반대 양상을 보였고, 반대로 개최지와 거리가 먼 수도권 외 지역 참가자는 20.13%의 인원으로도 전체 배출량의 74.13%를 차지하였다. 이러한 극단적인 비대칭성은 수도권의 지하철망과 기호동행카드 등 지자체의 대중교통 정책, 주최 측의 사전 안내가 결합하면 이동으로 인한 탄소배출을 구조적으로 낮출 수 있음을 보여주며, 수도권 외 지역과 같이 이러한 인프라가 갖추어지지 않거나 물리적인 거리가 먼 지역에서는 개인의 노력만으로 배출을 줄이기 어렵다는 점을 보여준다. 특히 서울 기준 25km 이상일 때 서울과의 대중교통망 연계가 취약한 경기 외곽 지역(파주, 수원, 김포, 평택 등)에서 자가용 의존도가 가장 높게 나타난 것은 대중교통망의 존재뿐만 아니라 행사장과의 연계성 수준이 실제 이용 여부를 가를 수 있다는 점을 시사한다. 따라서 행사 부문의 이동오염원 관리는 참여자 개인에게 대중교통 이용을 권고하는 수준에서는 감축량이 제한적일 것이며, 사전에 참여자의 유입 분포를 예측하여 대중교통 사각지대를 식별하고, 해당 지역과 행사장을 직접 연결하는 셔틀버스 운영이나 대중교통 이용에 대한 요금 지원과 같은 수요관리형 개입을 기획 단계에서부터 적용할 필요가 있다.

본 연구 결과, 행사 부문 탄소중립 전략은 상류, 핵심, 하류 각 단계의 배출 구조 특성에 맞춰 차별화된 접근이 필요하다. 상류와 하류 단계는 소재 전환과 분리배출 체계의 정교화를 통해 상대적으로 적은 비용으로도 높은 감축률을 달성할 수 있는 영역인 반면, 핵심 단계의 참여자 이동과 에너지 사용은 절대적인 배출 규모가 크기 때문에 감축률 자체를 상대적으로 낮게 나타나더라도 총량적 감축 효과가 크다. 따라서 향후 행사 기획 단계에서는 상류와 하류 단계의 전면적 소재 전환과 분리배출 경로 확보를 기본 이행사항으로 표준화하되, 핵심 단계에서는 이동형 ESS 보급 확대와 이동오염원에 대한 사전 수요관리형 개입을 결합함으로써 균형 잡힌 탄소중립 전략을 수립하도록 유도가 필요하다.

5. 결 론

본 연구는 2026년 6월에 개최된 국내 친환경 행사를 대상으로 전 과정 단계별 사전 배출량을 예측하고, 주최 측의 운영

기록과 참여자 실측 설문 데이터를 기반으로 사후 실제 탄소 배출량을 산정하여 기후행동별 감축 기여도를 분석하였다. 본 연구에서 어떠한 저탄소 대책도 적용하지 않았을 때의 사전 총 배출량은 39,274.66kgCO₂eq로 예측되었으나, 이행 주체별 기후행동 적용 후 사후 배출량은 22,710.36kgCO₂eq로 산출되어 총 42.18%(16,564.29kgCO₂eq)의 온실가스 감축 효과를 달성하였다. 단계별로 보면 총 배출량의 0.42%를 차지하는 하류 단계에서는 지류 초청장 디지털 전환 및 친환경 생분해성 배너 도입을 통해 해당 배출량 중 86~97%의 높은 감축률을 보였다. 다만, 총 배출량에서 차지하는 비중이 적은 만큼 절대적인 감축량은 제한적이었다. 반면 행사의 핵심 전력원인 본행사 발전 가동은 7,201.66kgCO₂eq로 사전 총 배출량의 18.34%를 차지하는 핵심 단계의 주요 배출원이었음에도 이동형 ESS 전력차가 본 행사 소요 전력 중 약 2%만 감당할 수 있는 용량적 한계로 인해 해당 항목 내 감축률이 0.9%에 그쳤다. 이는 배출 비중이 큰 항목일수록 기술적 대체 여력이 뒷받침되지 않으면 감축 성과로 이어지기 어렵다는 점을 보여주며, 활동 전환이 상대적으로 용이한 하류 단계의 성과와 대비되는 기술 및 정책적 사각지대를 시사한다. 참여자 이동 부문은 전체 감축 기여율의 98.52%를 차지하는 핵심 항목이다. 서울권 참여자는 대중교통 인프라와 기호동행카드 등 지자체 정책의 시너지로 최저 배출량을 기록했고, 장거리 비수도권 유입자는 기차를 적극 활용하였다. 반면, 대중교통 연계성이 취약한 경기 외곽 25km 이상 지역 유입자는 자가용 의존도가 가장 높아 공간적 사각지대가 존재함을 확인하였다.

글로벌 탄소중립 패러다임 속에서 단기 집약적 고배출이라는 행사의 특성상, 지역 사회의 환경적 부하를 가중시키고 국가 온실가스 감축 목표(Nationally, Determined Contribution, NDC) 달성을 저해하는 요인이 된다. 따라서 정부는 행사의 이러한 휘발성 및 고배출 특성을 명확히 인지하고, 다양한 규모의 대중 행사 진행 시 저탄소 원칙 적용과 친환경 참여를 제도적으로 유도할 수 있는 정책적 장치를 마련할 필요가 있다. 이런 측면에서 본 연구의 사전 예측 및 사후 설문조사 기반 정량 산정 모델은 거시적인 수준의 통계에 의존하는 기존의 기후 정책 평가 방법의 한계를 극복할 수 있도록 실제 참여자 기반의 정보를 수집하여 모니터링하고 현재 집행 중인 기후 정책과의 연계와 행사 부문 온실가스 감축을 위한 향후 방향성을 제시한다는 데 의의가 있다.

다만, 본 연구는 자가 보고식 설문 방법을 기반으로 하여 기후변화나 친환경에 관심이 많은 참여자가 자발적으로 설문응답을 가능성이 크다. 따라서 대중교통 이용률이 국가 표준 분담률 대비 다소 과대평가되었을 가능성이 존재하며 향후 이

러한 설문 기반 연구에는 통계적 보정을 거쳐 신뢰성을 확보할 필요가 있다. 또한, 대중교통 인프라가 잘 조성된 서울 내 행사를 대상으로 진행하여 대중교통망이 취약한 지방 중소도시나 도서 지역, 혹은 해외 참여자의 유입이 큰 행사에서는 상이한 배출 구조가 나타날 수 있다는 한계가 있어, 향후 다양한 지역의 개최 행사를 대상으로 비교 분석하는 연구가 필요하다. 마지막으로, 숙박 부문은 국내 고유 배출계수가 정립되지 않아 일부 핵심 단계 활동 데이터를 해외 공인 기관의 계수를 보수적으로 준용하여 향후 국내 실정에 맞는 공공 및 행사 부문 scope 3 고유 배출계수의 개발이 선행되어야 할 것으로 보인다.

결론적으로 친환경 행사 전과정 평가와 시민 참여형 데이터 구축의 연계는 단순히 개별 이벤트의 탄소 배출량을 줄이는 것을 넘어, 민간 주체들의 친환경 기술 혁신을 촉진하고 시민들의 일상적 기후행동을 적극적으로 견인하여 고배출 문화 체계를 개선하는 국가 기후위기 적응 전략의 일부로 작동할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2026년도 문화기술 연구개발사업으로 수행되었음 (과제명: 문화 공연·행사의 넷제로 운영을 위한 AI 기반 환경영향 예측 모델 및 대안 평가 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발, 과제번호: RS-2026-25523930, 기여율: 50%).

References

1. IPCC. Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 (2023).
2. ISO. ISO 20121: 2024, event sustainability management systems-requirements with guidance for use. international organization for standardization (2024).
3. WRI, WBCSD. Corporate value chain (Scope 3) accounting and reporting standard. World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development (2011).
4. Odey, G., Adelodun, B., Kim, S.-H., Choi, K.-S. Status of environmental life cycle assessment (LCA): A case study of South Korea. Sustainability 13(11), p. 6234 (2021).
5. Spinellis, D., Louridas, P. The carbon footprint of conference papers. PLOS ONE 8(6), p. e66508 (2013). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066508>
6. Astudillo, M. F., AzariJafari, H. Estimating the global warming emissions of the LCAXVII conference: Connecting flights matter. The International Journal of Life Cycle Assessment 24, pp. 565-571 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1479-z>
7. EPD International. Product category rules (PCR) 2025:01: Events and tourism services, Version 1.0.0. The International EPD® System. <https://www.environdec.com> (2025).
8. Ecoinvent Association. ecoinvent database, version 3.12. <https://ecoinvent.org> (2025).
9. Korea Transport Institute. 2023 national transportation survey and analysis, Vol. 2: Nationwide passenger O/D update (Publication No. 11-1390000-003229-01). Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023).
10. Department for Energy Security and Net Zero, Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Greenhouse gas reporting: Conversion factors 2024. GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024> (2024).
11. Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea (GIR). 2025 nationally approved greenhouse gas emission and removal factors. Ministry of Climate, Energy and Environment (2025).
12. Korea Environment Institute. Study on GHG emissions associated with daily life and public awareness survey for achieving carbon neutrality (Myeong, S., Researcher; KEI Policy Study No. 2022-07) (2022).
13. Korea Environmental Industry & Technology Institute. National LCI database construction and life cycle inventory reorganization report. Ministry of Environment & Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI) (2022).