

# 국내 승용차량의 전과정적 온실가스 배출량 분석: KONA, NEXO를 중심으로

안재연<sup>1,2</sup> · 김자룡<sup>3</sup> · 최원재<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>이화여자대학교 휴먼기계바이오공학과, <sup>2</sup>이화여자대학교 시스템헬스융합전공, <sup>3</sup>한국교통안전공단 자동차안전연구원

## Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Passenger Cars in South Korea: Focusing on the Hyundai KONA and NEXO

JAEYEON AHN<sup>1,2</sup>, CHARYUNG KIM<sup>3</sup>, WONJAE CHOI<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Biomedical Engineering, Ewha Womans University, 52 Ewhayeodae-gil, Seodaemun-gu, Seoul 03760, Korea

<sup>2</sup>Major in System Health & Engineering, Ewha Womans University, 52 Ewhayeodae-gil, Seodaemun-gu, Seoul 03760, Korea

<sup>3</sup>Korea Automobile Testing & Research Institute, Korea Transportation Safety Authority, 200 Samjon-ro, Songsan-myeon, Hwaseong 18247, Korea

†Corresponding author :  
wj\_choi@ewha.ac.kr

Received 28 July, 2025  
Revised 19 August, 2025  
Accepted 26 August, 2025

**Abstract >>** The greenhouse gas (GHG) emissions of passenger cars have mainly been analyzed for vehicle operation phase. However, GHG emissions also occur during fuel and vehicle production. This study analyzed the life cycle GHG emissions of internal combustion engine vehicle (ICEV) gasoline, hybrid electric vehicle (HEV) gasoline, battery electric vehicle (BEV), and fuel cell electric vehicle (FCEV) in South Korea, considering fuel and vehicle production. The results showed that ICEV had the highest fuel cycle GHG emissions, with HEV, BEV, and FCEV emitting 34%, 56%, and 78% less, respectively, compared to ICEV. In terms of vehicle cycle GHG emissions, BEV had the highest emissions, with ICEV, HEV, and FCEV emitting 47%, 37%, and 25% less, respectively. Overall, ICEV, HEV, BEV, and FCEV emitted GHG in that order, with FCEV emitting 66% less than ICEV. These findings highlight the importance of considering both fuel and vehicle cycle GHG emissions to accurately assess total vehicle GHG emissions.

**Key words :** Life cycle(전과정), Fuel cycle(연료 주기), Vehicle cycle(차량 주기), Greenhouse gas emission(온실가스 배출), Passenger car(승용차량), Battery electric vehicle(전기차), Fuel cell electric vehicle(수소연료전지차)

### 1. 서론

기후 위기가 심화되면서 기후 변화 대응을 위한

전 지구적 노력과 조치가 요구되고 있다. 이에 따라 유럽연합, 미국 등 주요 국가는 2050년까지 탄소중립 달성을 공식 선언하였으며 대한민국 또한 잇따라

탄소중립 달성을 목표로 제시하였다<sup>1)</sup>.

전 세계적으로 차량의 수요가 증가함에 따라 수송 부문의 탄소중립 달성은 필수 과제가 되었다<sup>2)</sup>. 이에 대한민국 정부는 운행 단계에서 온실가스를 배출하지 않는 전기차 및 수소차의 보급 확대를 목표로 보조금 지급과 충전 인프라 확충 등 다양한 정책을 추진하고 있다.

대한민국에서 사용되는 차량은 사용 연료와 동력원에 따라 내연기관차(internal combustion engine vehicle, ICEV), 하이브리드차(hybrid electric vehicle, HEV), 전기차(battery electric vehicle, BEV), 수소연료전지차(fuel cell electric vehicle, FCEV)로 구분된다.

차량의 온실가스 배출량은 연료 및 차량의 생산, 운송, 사용 및 폐기에 이르기까지 전반적인 과정에 따라 달라진다. ICEV의 경우 내연기관에서 발생하는 온실가스의 배출이 중요한 문제로 대두되고 있다. HEV는 내연기관을 보조하는 전기 모터의 도움으로 연료 소비를 일부 낮출 수 있지만 여전히 내연기관이 사용하는 화석 연료에 의존한다는 점에서 온실가스가 배출된다. 반면 BEV와 FCEV는 전기와 수소를 연료로 사용하기 때문에 운행 시 온실가스가 배출되지 않는다. 그러나 BEV는 전력 생산 및 공급 과정에서 온실가스를 배출할 수 있으며 FCEV 또한 수소 생산 및 공급 과정에서의 온실가스 배출량을 고려해야 한다.

기존의 국내 승용차량의 전과정 온실가스 배출량 분석<sup>3)</sup>은 주로 차량 연료의 원료 생산, 차량 연료 생산 및 차량 운행에 분석 범위가 한정되어 차량의 전과정적 온실가스 배출을 포괄적으로 반영하지 못하는 한계를 지닌다. 그러나 온실가스는 운행 및 연료 단계뿐 아니라 차체, 배터리 등 차량의 생산, 사용 단계의 유지 보수, 수명 종료 후 폐기 및 재활용 단계에서도 배출되므로 승용차량의 온실가스 배출량 분석 시에는 각 단계의 배출을 통합하여 산정해야 한다<sup>4,6)</sup>.

이에 본 연구에서는 연료 생산 및 사용뿐만 아니라 차량의 제조 및 폐기 과정을 포함하는 전과정을 분석함으로써 승용차량별로 달라지는 전과정적 온실가스 배출량을 분석하고자 한다. 또한 전과정적 온실

가스 배출량을 비교하여 실제로 전과정을 고려하였을 때에도 BEV, FCEV가 ICEV 대비 적은 온실가스 배출량을 보이는지를 확인하는 것을 주요 목표로 한다.

## 2. 승용차량의 전과정 분석 방법론

### 2.1 범위 및 프레임 워크

본 연구에서는 ICEV, HEV, BEV, FCEV를 대상으로 승용차량 전과정 관점에서 온실가스 배출량을 정량화하였다. ICEV, HEV는 연료로 가솔린을 사용하는 경우를 분석하였다. 온실가스로는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O를 고려하였으며 각 과정에서 발생하는 온실가스 배출량에 CO<sub>2</sub>를 기준으로 지구온난화에 기여하는 정도를 나타내는 global warming potential (GWP)을 곱한 g-CO<sub>2</sub>-eq로 나타내었다. GWP로는 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) AR6 기준에 따라 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O에 대해서 1, 29.8, 273을 사용하였다<sup>7)</sup>. 본 연구에서는 승용차량 한 대의 1 km 운행 시 온실가스 배출량을 분석하므로 기능 단위는 1 km이다. 이때 생애 주행거리 계산을 위해 승용차량의 평균 폐차 주기를 15년<sup>8)</sup>, 사업용/비사업용 승용차량의 1일 평균 주행거리 33.1 km/대<sup>9)</sup>로 가정하여 생애 주행거리는 193,304 km로 설정하였다.

전과정 분석에는 Argonne National Laboratory (Lemont, IL, USA)에서 개발한 GREET 2024 프로그램을 사용하였다<sup>10)</sup>. 또한 한국에서 사용되는 연료의 값을 적용하기 위해 저자들의 선행 연구들에서 한국 상황에 맞게 값과 구조를 수정 및 확장한 GREET 프로그램을 사용하였다<sup>3)</sup>.

### 2.2 차량의 전과정 분석

차량의 전과정은 차량 연료의 생산, 차량 원료 추출, 차량의 원재료 생산, 차량 생산 및 운송, 차량 운행, 차량 폐기 및 재활용 단계로 이루어진다.

이때 연료 관련 단계는 연료 주기로, 차량 자체와 관련된 단계는 차량 주기로 구분할 수 있다. 본 연구

**Table 1.** Fuel economy of passenger cars

	Fuel economy	Unit
ICEV	13.0	km/l
HEV	19.8	km/l
BEV	5.5	km/kWh
FCEV	107.6	km/kg

**Table 2.** Specifications of passenger cars

	ICEV	HEV	BEV	FCEV	Unit
Model	KONA	KONA Hybrid	KONA Electric	The all-new NEXO	-
Curb weight	1,405	1,435	1,720	1,870	kg
Tire	17	17	17	18	inch
Displacement volume	1,598	1,580	-	-	cc
Drive system	2WD	2WD	-	-	-
Battery type	Lead-acid	Lead-acid, Ni-MH	Lead-acid, Li-ion (NMC622)	Lead-acid, Ni-MH	-
Peak battery power	-	34	-	58	kW
Peak battery energy	-	-	65	-	kWh

에서는 같은 차급에서 차종별 비교를 위해 ICEV, HEV, BEV로 모두 출시되는 소형 SUV인 KONA (Hyundai Motor Company, Seoul, Korea)에 대해 분석을 수행하였다. 다만 FCEV의 경우 현재 유일하게 판매되는 중형 SUV인 The all new NEXO (Hyundai Motor Company)에 대해서 분석하였다. 각 차량의 연비 및 전비는 Table 1에 제시되어 있다<sup>11-14)</sup>. 분석 대상 차량의 주요 제원 정보는 Table 2와 같다<sup>11-14)</sup>.

**2.2.1 연료 주기**

연료 주기는 차량에 사용되는 연료의 추출, 생산 및 차량의 운행(연료의 사용) 과정을 의미한다. 연료

를 추출하고 생산하여 차량에 주입하는 well-to-pump (WtP)와 차량을 운행하는 pump-to-wheel로 나뉜다. ICEV, HEV의 경우 가솔린, BEV는 전기, FCEV는 수소를 차량 연료로 사용한다.

WtP 과정은 연료의 원료를 추출하는 업스트림(upstream) 단계와 연료 생산(전력 발전) 단계로 구분하여 분석한다. 가솔린의 경우 원유를 추출한 후 국내로 수입하여 정유 공장에서 가솔린을 생산하고 이를 전국 주유소로 분배 및 공급하여 주유하는 과정을 WtP 단계로 정의한다. 전기는 발전에 필요한 원료를 채굴, 생산, 수송하여 발전소로 공급한 뒤 전력을 생산하고 송/배전망을 통해 충전소로 운송하여 차량에 충전하는 과정을 WtP 단계로 정의한다. 수소 또한 원료 생산 후 국내로 운송하여 수소를 생산하고 이를 각 충전소에 분배 및 공급하여 차량에 충전하는 과정을 WtP 과정으로 정의한다<sup>15)</sup>.

이와 같은 연료 생산 과정, 차량의 운행 과정을 연료 주기로 정의하고 연료의 차이에 따른 온실가스 배출량 분석을 시행하였다. 이때 연료 값은 Korean GREET의 값을 사용하였다. 연료 1 GJ당 발생하는 전과정적 온실가스 배출량은 Table 3과 같다<sup>3)</sup>.

전기와 수소의 전과정적 온실가스 배출량은 생산 경로에 따라 상이하다. 전력 생산 연료원을 석탄, 우라늄, 천연가스, 석유, 신재생에너지로 구분하고 각 연료에 적용 가능한 발전 기술로 증기 터빈(steam turbine, ST), 통합 가스화 복합 발전(integrated gasification combined cycle, IGCC), 복합 발전(combined cycle, CC), 연료전지(fuel cell, FC), 내연기관(internal combustion engine, ICE)을 고려하였다. 원료와 기술 조합별 전기의 전과정적 온실가스 배출량은 Fig 1과 같다<sup>16)</sup>. Fig 1에 따르면 신재생에너지 범주 중에서는 부산물가스가 가장 큰 배출량을 보였으며 전체 연료를 비교하면 석탄, 석유, 천연가스,

**Table 3.** Life cycle GHG emissions of fuel in South Korea

	Upstream (g-CO <sub>2</sub> -eq/GJ)	Fuel use (g-CO <sub>2</sub> -eq/GJ)
Gasoline	12,592	77,772
Diesel	11,569	75,171

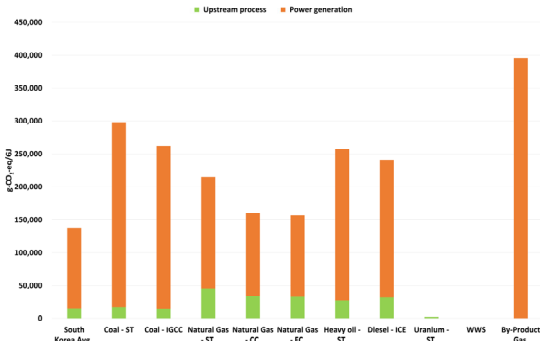


Fig. 1. Life cycle GHG emissions of electricity according to production technology

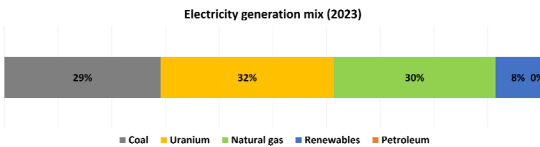


Fig. 2. Electricity generation mix (2023)

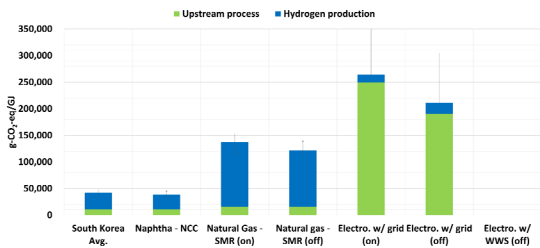


Fig. 3. Life cycle GHG emissions of hydrogen according to production technology

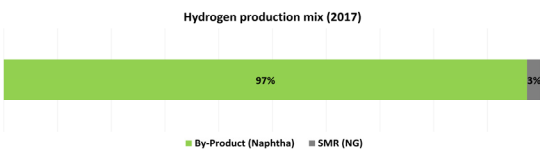


Fig. 4. Hydrogen production mix (2017)

우라늄 순으로 배출량이 높았다.

발전 방식에 따라 전기의 전과정적 온실가스 배출량이 달라지기 때문에 전기의 전과정적 온실가스 배출량은 전기 발전 믹스에 큰 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 2023년의 전기 발전 믹스를 적용하여 대한민국 전기의 전과정적 온실가스 배출량을 계산

하였다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 대한민국의 2023년 전기 발전 믹스는 우라늄(원자력), 천연가스, 석탄, 신재생에너지, 석유의 순으로 높은 비중을 보였다<sup>17)</sup>.

수소 역시 전기와 마찬가지로 생산 경로에 따라 전과정적 온실가스 배출량이 달라진다. 수소 생산 기술은 나프타 분해(naphtha cracking, NCC), 천연가스 개질(steam methane reforming, SMR), 전기분해(electrolysis)의 세 범주로 구분하였으며 각 생산 방식별 온실가스 배출량이 Fig. 3에 나타나 있다<sup>13)</sup>. Fig. 3에 따르면 그리드 전기를 사용하는 전기분해가 가장 높은 배출량을 보였고 그 다음으로 SMR, NCC 순으로 배출량이 큰 것으로 나타났다.

본 연구에서는 추적 가능한 최신 자료인 2017년 대한민국 수소 생산 믹스를 사용하여 계산하였다<sup>3)</sup>. Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 2017년 대한민국 수소 생산 믹스는 나프타 부생 수소가 약 97%를 차지하였으며 이에 따라 대한민국의 평균 수소 온실가스 배출량은 상대적으로 낮은 수준으로 평가된다.

본 연구에서는 FCEV의 전과정적 온실가스 배출량을 산정함에 있어 대한민국 2017년 수소 생산 혼합 비율 기반 온실가스 배출량뿐만 아니라 주요 수소 생산 방식별 온실가스 배출량을 개별적으로 계산하였다.

### 2.2.2 차량 주기

차량 주기는 차량 생산에 사용되는 원료의 추출, 생산 및 차량 조립, 폐기, 재활용 과정을 의미한다. 차량의 동력원별로 필요한 부품, 배터리, 연료 시스템 등이 달라지기 때문에 차량의 구성 요소와 그에 따른 생산 과정에서도 차이가 발생한다.

차량 주기의 온실가스 배출량 계산에는 GREET2 2024 프로그램을 사용하였다<sup>10)</sup>. 이때 GREET2는 차량 생애 주기 분석을 위한 주요 프레임워크로 사용되었으나 보다 정밀한 분석을 위하여 분석 대상 차량의 실제 값을 적용하여 계산하였다.

차량 주기는 차량 부품, 차량 조립, 폐기, 재활용, 배터리, 유체 생산 과정을 포함하며 각 과정에서 온실가스가 배출된다.

차량 부품, 배터리는 차량의 구성 요소와 관련된 부분으로 차량의 동력원에 따라 상이하다. 차량 조립, 폐기, 재활용 과정은 차량의 조립, 도색 및 폐기, 재활용 공정을 포함한다. 이때 차량 조립, 폐기, 재활용 과정은 ICEV, HEV, BEV, FCEV 모두 동일한 과정을 거친다고 가정하였다. 유체는 차량에 사용되는 유체의 생산 및 사용 과정으로 각 차량의 연료 시스템에 따라 사용되는 유체의 종류와 양에서 차이가 있다.

이와 같은 차량 생산과 관련된 과정을 차량 주기로 정의하고 동력원 차이에 따른 온실가스 배출량 분석을 시행하였다.

### 3. 분석 결과

#### 3.1 연료 주기 온실가스 배출량 분석 결과

본 연구의 연료 주기 배출량 산정은 원료 생산 단계, 연료 생산 단계, 차량 운행 단계를 모두 포함하는 범위로 정의하였다. ICEV와 HEV의 경우 각각 가솔린의 원료 생산, 가솔린 생산, 차량 주행 시 가솔린 연소로 인한 배출을 모두 고려하였다. BEV와 FCEV의 경우 또한 전기와 수소의 원료 및 생산, 주행 단계의 배출을 고려하였다. 차량별 연료 주기 온실가스 배출량은 Fig. 5와 같다.

ICEV의 경우 206 g-CO<sub>2</sub>-eq./km, HEV의 경우 136 g-CO<sub>2</sub>-eq./km, BEV의 경우 90 g-CO<sub>2</sub>-eq./km의 값을 보였다. 대한민국의 2017년 수소 생산 믹스를 사용한 FCEV의 경우 44 g-CO<sub>2</sub>-eq./km, NCC 수소를 사용한 FCEV의 경우 42 g-CO<sub>2</sub>-eq./km, SMR 수소를

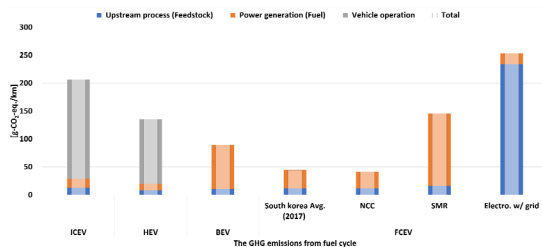


Fig. 5. The GHG emissions from fuel cycle

100% 사용한 FCEV의 경우 146 g-CO<sub>2</sub>-eq./km의 값을 보였다. 마지막으로 그리드 믹스를 이용한 전기분해 기술을 사용한 FCEV의 경우 254 g-CO<sub>2</sub>-eq./km로 가장 큰 값을 보였다.

ICEV, HEV의 경우 화석 연료 기반 연료인 가솔린을 연료로 사용하기 때문에 차량 운행 과정에서 상대적으로 큰 온실가스 배출량을 보였다. 또한 BEV, FCEV의 경우 차량 운행 과정에서 온실가스가 배출되지 않아 ICEV, HEV보다 낮은 온실가스 배출량을 보였다. 단 그리드 믹스를 이용한 전기분해 기술을 사용한 FCEV의 경우 유일하게 ICEV보다 높은 연료 주기 온실가스 배출량을 보였다.

2017년 대한민국의 경우 수소 생산 시에 청정하수소 믹스를 사용하고 있기에 상대적으로 WtP 과정에서의 온실가스 배출량이 적다. 그러나 수소 생산 방식에 따라 약 60-200 g-CO<sub>2</sub>-eq./km의 차이가 날 수 있음을 확인하였다. 이는 수소의 생산 방식에 따라 온실가스 배출량이 크게 달라질 수 있음을 시사한다. 따라서 FCEV는 수소의 생산 방식이 청정해집에 따라 온실가스 배출량이 절감될 가능성이 있다.

#### 3.2 차량 주기 온실가스 배출량 분석 결과

차량 주기 온실가스 배출량의 경우 차량을 구성하는 각 부품에 포함된 소재별 질량과 해당 소재의 전과정적 온실가스 배출량을 곱하여 합산하였으며 배터리와 유체도 동일한 원칙으로 계산하였다. 차량별 차량 주기의 온실가스 배출량은 Fig. 6과 같다.

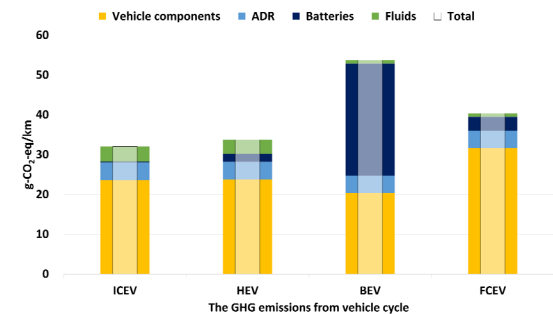


Fig. 6. The GHG emissions from vehicle cycle

ICEV의 경우 25 g-CO<sub>2</sub>-eq./km, HEV의 경우 29 g-CO<sub>2</sub>-eq./km, BEV의 경우 46 g-CO<sub>2</sub>-eq./km, FCEV의 경우 수소 생산 방식에 관계없이 40 g-CO<sub>2</sub>-eq./km의 값을 보였다.

연료 주기에서는 ICEV와 HEV가 차량 운행에 따른 온실가스 배출량이 주요 요인으로 상대적으로 높은 배출량을 보였다. 반면에 차량 주기에서는 BEV의 리튬 이온 배터리와 FCEV의 수소 연료전지에서 발생하는 온실가스 배출량이 크게 기여하여 BEV, FCEV가 ICEV, HEV보다 더 높은 온실가스 배출량을 나타내었다.

### 3.3 승용차량의 전과정적 온실가스 배출량 분석 결과

연료 주기와 차량 주기의 온실가스 배출량을 모두 고려한 전과정적 온실가스 배출량은 Fig. 7과 같다.

연료 주기만 고려하였을 때 ICEV 대비 HEV, BEV, FCEV 2017 수소 생산 믹스, NCC, SMR는 각각 71, 116, 162, 165, 60 g-CO<sub>2</sub>-eq./km의 낮은 온실가스 배출량을 보였다. 단 그리드 믹스를 이용한 전기분해 기술을 사용한 FCEV의 경우 45 g-CO<sub>2</sub>-eq./km의 큰 온실가스 배출량을 보였다.

그러나 차량 주기까지 고려한 전과정적 온실가스 배출량 분석 결과 ICEV 대비 HEV, BEV, FCEV 2017, NCC, SMR는 각각 69, 95, 153, 156, 52 g-CO<sub>2</sub>-eq./km로 낮은 온실가스 배출량을 보였다. 그리드 믹스를 이용한 전기분해 기술을 사용한 FCEV 경우 56 g-CO<sub>2</sub>-eq./km의 큰 온실가스 배출량을 보였다.

특히 HEV와 BEV의 경우 연료 주기만 고려하였

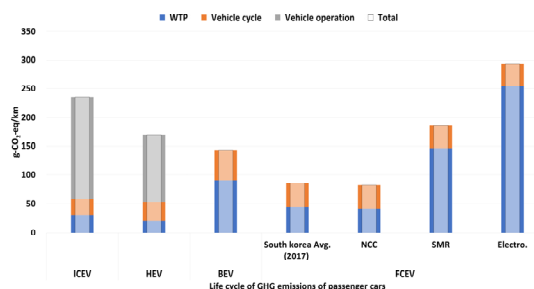


Fig. 7. Life cycle of GHG emissions of passenger cars

을 때 BEV가 HEV보다 45.7 g-CO<sub>2</sub>-eq./km 낮았던 반면 차량 주기까지 포함할 경우 그 차이가 25.7 g-CO<sub>2</sub>-eq./km로 줄어들었다.

분석 결과 연료 주기가 전과정적 온실가스 배출량의 주요 요인으로 작용하지만 차량 주기 온실가스 배출량을 포함할 시 ICEV와 BEV, FCEV 간의 온실가스 배출량 격차가 완화되는 것으로 확인되었다. 따라서 차량의 온실가스 배출량을 정확하게 분석하기 위해서는 연료 주기와 차량 주기의 온실가스 배출량까지 고려해야 함을 확인하였다.

본 연구 결과를 통해 BEV 보조금 산정에서 주행 배출만이 아니라 연료 주기와 차량 주기를 함께 고려한 전과정적 온실가스 배출량 기준을 적용하는 것이 타당함을 시사한다. 또한 차량 주기 배출의 주요 원인 중 하나가 배터리 제조에 있으므로 제조 전력의 탈탄소화, 공정 효율 개선, 재활용 소재 확대 등 배터리 생산 단계에서의 온실가스 감축 기술 개발이 필요하다. 아울러 FCEV의 경우 배출량이 수소 생산 방식에 크게 좌우되므로 재생전력 연계 수전해 등 저탄소 수소의 조달 비중 확대를 병행할 필요가 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 대한민국에서 사용되는 승용차량의 종류에 따라 달라지는 차량의 전과정적 온실가스 배출량을 분석하였다. 대한민국의 대표적인 승용차량인 KONA, KONA Hybrid, KONA Electric, The all new NEXO를 통해 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 연료 주기 온실가스 배출량 계산 결과 ICEV, HEV의 경우 주행 단계 배출이 대부분을 차지하여 BEV와 FCEV 대비 높은 배출량을 보인 반면 BEV와 FCEV는 배출의 대부분이 원료 및 전기, 수소 생산 단계에서 발생하였다.
- 2) 차량 주기 온실가스 배출량 계산 결과 리튬 이온 배터리에서 발생하는 높은 배출량으로 인해 BEV가 가장 큰 온실가스 배출량을 기록하였으며 수소 연료전지에서 배출되는 온실가스가 크게 기여하여 FCEV가 BEV에 이어 두 번째로

높은 배출량을 나타내었다.

- 3) ICEV, HEV, BEV, FCEV의 전과정적 온실가스 배출량 비교 결과 ICEV, HEV, BEV, FCEV 순으로 큰 온실가스 배출량을 보였고 ICEV 대비 HEV는 약 29%, BEV는 약 41%, FCEV는 약 66% 낮은 온실가스 배출량을 보였다.
- 4) 수소의 전과정적 온실가스 배출량이 생산 방식에 따라 상이하므로 FCEV의 전과정적 온실가스 배출량도 약 42-146 g-CO<sub>2</sub>-eq./km 범위에서 크게 변동한다. 따라서 배출 저감을 위해서는 저탄소 수소의 생산 비중 확대가 필요하다.
- 5) BEV는 전기 발전 방식뿐 아니라 리튬 이온 배터리 제조에서도 온실가스 배출이 크게 발생하므로 전과정적 온실가스 배출량 절감을 위해 전력 부문의 온실가스 배출량 절감과 배터리 제조 단계의 배출량 감축 기술 개발을 동시에 추진할 필요가 있다.
- 6) 연료 주기만 고려한 온실가스 배출량과 차량 주기까지 포함한 전과정적 온실가스 배출량을 비교한 결과 ICEV 대비 HEV는 2%, BEV는 19%, FCEV는 5-15%의 차이를 보여 차량 주기 배출을 반영할수록 ICEV 및 HEV와 BEV 및 FCEV 간 온실가스 배출 격차가 축소됨을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 과제(Grant No. RS-2023-00243220)의 일환으로 수행되었습니다.

## References

1. W. Lee, "Plan to promote the supply of hydrogen city buses in Busan", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 33, No. 4, 2022, pp. 309-317, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2022.33.4.309>.
2. J. Kim, E. S. Yim, J. Yeon, J. W. Doe, and J. K. Kim, "A study of analysis on monitoring of biodiesel fuel quality trend as a alternative fuel for automotive diesel in Korea", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 35, No. 6, 2024, pp. 624-633, doi: <https://doi.org/10.7316/JHNE.2024.35.6.624>.
3. W. Choi, E. Yoo, E. Seol, M. Kim, and H. H. Song, "Greenhouse gas emissions of conventional and alternative vehicles: predictions based on energy policy analysis in South Korea", *Applied Energy*, Vol. 265, 2020, pp. 114754, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114754>.
4. T. R. Hawkins, B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A. H. Strömman, "Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles", *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 17, No. 1, 2013, pp. 53-64, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>.
5. S. Verma, G. Dwivedi, and P. Verma, "Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: a review", *Materials Today: Proceedings*, Vol. 49, Pt. 2, 2022, pp. 217-222, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.666>.
6. Y. Ren, X. Sun, P. Wolfram, S. Zhao, X. Tang, Y. Kang, D. Zhao, and X. Zheng, "Hidden delays of climate mitigation benefits in the race for electric vehicle deployment", *Nature Communications*, Vol. 14, 2023, pp. 3164, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38182-5>.
7. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Sixth assessment report", IPCC, 2023. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>.
8. Korea Auto Dismantlement & Recycling Association (KADRA), "Vehicle dismantling statistics (June 2025)", KADRA, 2025. Retrieved from [https://www.kadra.or.kr/kadra/contents/sub02/02\\_01.html?idx\\_num=2624&pid\\_num=&skin=4&mode=view&GotoPage=1&column=&keyword=&BbsId\\_01=&BbsId\\_02=&BbsId\\_03=&MenuNum=&BbsId=2010316112316&Tbn=&srhData1=](https://www.kadra.or.kr/kadra/contents/sub02/02_01.html?idx_num=2624&pid_num=&skin=4&mode=view&GotoPage=1&column=&keyword=&BbsId_01=&BbsId_02=&BbsId_03=&MenuNum=&BbsId=2010316112316&Tbn=&srhData1=).
9. Korea Transportation Safety Authority, "Statistics on vehicle mileage," Korean Statistical Information Service, 2024. Retrieved from [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=426&tblId=DT\\_42601\\_N003&conn\\_path=I2](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=426&tblId=DT_42601_N003&conn_path=I2).
10. M. Wang, H. Cai, L. Ou, A. Elgowainy, M. R. Alam, P. T. Benavides, L. Benvenuti, A. Burnham, T. N. Do, M. Farhad, Y. Gan, U. R. Gracida-Alvarez, T. R. Hawkins, R. K. Iyer, S. Kar, J. C. Kelly, T. Kim, C. Kolodziej, H. Kwon, U. Lee, J. Y. Lim, X. Liu, Z. Lu, M. Morales, C. Ng, I. Pandey, S. Shukla, N. Siddique, P. Sun, T. Sykora, P. Vyawahare, and J. Zhou, "Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies Model® (2024 Excel) [Computer software]", 2024, doi: <https://doi.org/10.11578/GREET-Excel-2024/dc.20241203.1>.
11. Hyundai Motor Company, "KONA", Hyundai Motor Company, 2025. Retrieved from <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/kona/intro#spec>.
12. Hyundai Motor Company, "KONA Hybrid", Hyundai Mo-

- tor Company, 2025. Retrieved from <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/kona-hybrid/intro>.
13. Hyundai Motor Company, "KONA Electric", Hyundai Motor Company, 2025. Retrieved from <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/kona-electric/intro>.
  14. Hyundai Motor Company, "The all-new NEXO", Hyundai Motor Company, 2025. Retrieved from <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/the-all-new-nexo/intro>.
  15. H. H. Song, "Introduction to international discussion on automotive LCA and life cycle assessment of greenhouse gas emissions of passenger vehicle in 2030", *Auto Journal: Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 45, No. 5, 2023, pp. 39-42. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11408279>.
  16. G. Kwak, J. Lee, Y. Jung, and W. Choi, "Life cycle greenhouse gas emissions of hydrogen imported by maritime transportation: a South Korean case study", *Energy Conversion and Management: X*, Vol. 26, 2025, pp. 100887, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100887>.
  17. Korea Power Exchange (KPX), "Power generation amount by source", Open Government Data Portal, 2024. Retrieved from <https://www.data.go.kr/data/15081098/fileData.do?recommend%20DataYn=Y>.