



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2024년 2월

박사학위 논문

전기자동차 택시 도입에 따른
온실가스 저감 및 경제 효과 분석 :
광주광역시를 중심으로

조선대학교 대학원

토목공학과

정 종 문

전기자동차 택시 도입에 따른
온실가스 저감 및 경제 효과 분석 :
광주광역시를 중심으로

Analysis of the Effects of Introducing Electric Vehicle
Taxi on Greenhouse Gas Reduction and Energy Cost :
Gwangju Metropolitan City

2024년 2월 23일

조선대학교 대학원

토목공학과

정 중 문

전기자동차 택시 도입에 따른
온실가스 저감 및 경제 효과 분석 :
광주광역시를 중심으로

지도교수 박 상 준

이 논문을 공학박사 학위 신청 논문으로 제출함


2023년 10월


조선대학교 대학원


토목공학과


정 중 문


정종문의 박사학위논문을 인준함

위원장 차 정웅 (인) 

위원 최완석 (인) 

위원 정명훈 (인) 

위원 張宇植 (인) 

위원 박상준 (인) 

2024년 1월

조선대학교 대학원

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목표	1
1.2 연구동향	3
제 2 장 이론적 배경	5
2.1 전기자동차	5
2.1.1 전기자동차의 개념	5
2.1.2 전기자동차의 특징	6
2.1.3 국내 전기자동차 현황	10
2.1.4 국내 전기자동차 보급정책	13
2.1.5 국외 전기자동차 현황	15
2.1.6 국외 전기자동차 보급정책	19
2.2 디지털 운행기록계	25
2.2.1 디지털 운행기록계의 개념	25
2.2.2 디지털 운행기록계의 활용	28
2.3 교통류 환경영향 모델링	31
2.3.1 교통류 환경영향 개요	31
2.3.2 교통류 환경영향 평가 모델	33
제 3 장 광주광역시 택시 시뮬레이션	38
3.1 광주광역시 택시 분석	38
3.1.1 광주광역시 택시 현황	38
3.1.2 광주광역시 택시 운행 특성	40
3.1.3 전기자동차 택시 증가율 예측	45

3.2 광주광역시 택시 시뮬레이션 설정	47
3.2.1 광주광역시 택시 시뮬레이션 개요	47
3.2.2 광주광역시 택시 시뮬레이션 평가 방법	49
제 4 장 온실가스 저감 및 경제 효과 분석	52
4.1 전기자동차 택시 점유율 변화에 따른 영향	52
4.1.1 전기자동차 택시 점유율에 따른 분석 결과(1일 기준)	52
4.1.2 CO ₂ 배출 감소량 비교	54
4.1.3 점유율별 에너지 비용 감소량 비교	55
4.1.4 점유율별 CO ₂ 배출량 및 운행 비용(상대적 비교)	56
4.2 광주광역시 보조금에 따른 장래 영향 예측	57
4.2.1 전기자동차 보조금에 따른 개인택시 전환	57
4.2.2 전기자동차 보조금에 따른 영향분석	57
4.3 LPG 택시 유가보조금 감소에 따른 영향예측	61
4.3.1 전기자동차 증가에 따른 유가보조금 감소량 산정	61
4.3.2 유가보조금 감소에 따른 비용 절감	62
제 5 장 결 론	64
5.1 결론	64
5.2 정책제언	65

표 목 차

표 2.1 전기자동차의 분류	6
표 2.2 대한민국 자동차 등록현황	10
표 2.3 전기 택시 도입추진 연혁 및 사례	12
표 2.4 전기 택시 연차별 투자계획	15
표 2.5 노르웨이의 전기자동차 지원제도	20
표 2.6 영국의 전기자동차 지원제도	21
표 2.7 독일의 전기자동차 지원제도	22
표 2.8 덴마크의 전기자동차 지원제도	22
표 2.9 프랑스의 전기자동차 지원제도	23
표 2.10 미국 주 정부별 지원정책	24
표 2.11 DTG 장치의 구성 및 기능	26
표 2.12 DTG 운행기록의 배열순서	27
표 2.13 DTG 위험운전행동 기준	29
표 2.14 자동차 배기가스 및 특징	32
표 2.15 배기가스 산정 방법의 종류	32
표 2.16 속도 및 VSP에 따른 운행 모드 ID	34
표 3.1 전국 택시 대수 및 운전자현황	38
표 3.2 광주광역시 택시 DTG 데이터 Sample	40
표 3.3 광주광역시 연도별 택시 면허 대수	41
표 3.4 택시 DTG 주행데이터 통계	41
표 3.5 광주광역시 전기자동차 증가 추이	45
표 3.6 광주광역시 택시 현황	47
표 3.7 장래 1일 택시 총운행 대수 예측	47
표 3.8 전기자동차 충전 전력 요금표	49
표 3.9 전기자동차 공용충전기 요금표	50

표 3.10 LPG 가격변동 추이	50
표 4.1 전기자동차 점유율 변화에 따른 영향 (1일 기준)	53
표 4.2 전기자동차 점유율 변화에 따른 CO ₂ 감소량	54
표 4.3 전기자동차 점유율 변화에 따른 에너지비용 감소량	55
표 4.4 연도별 시뮬레이션 결과	58
표 4.5 광주광역시 유가보조금 지급 추이	61
표 4.6 점유율별 유가보조금 감소액	61
표 4.7 점유율 변화에 유가보조금 감소량을 고려한 에너지비용 감소량	62
표 4.8 점유율별 유가보조금 감소비용 변화에 따른 영향 (1일 기준)	62

그림 목 차

그림 2.1 내연기관차 엔진의 동력성능 및 에너지 소모량	7
그림 2.2 전기자동차 모터의 동력성능	7
그림 2.3 차량별 Well-to-Wheel	9
그림 2.4 대한민국 친환경 자동차 등록 추이	10
그림 2.5 전주형 충전기 사례	14
그림 2.6 주요지역의 누적 전기차 운행대수(2010~2022년)	16
그림 2.7 중국의 월별 신규 전기차 등록 대수(2020~2023년)	17
그림 2.8 미국의 월별 신규 전기차 등록 대수(2020~2023년)	19
그림 2.9 서울특별시 교통량 상위 100개 링크	30
그림 3.1 전국택시 면허대수 비교	39
그림 3.2 광주광역시 택시 1일 운행 시간 분포	42
그림 3.3 광주광역시 택시 1일 주행거리 분포	42
그림 3.4 광주광역시 택시 1일 공회전 시간 분포	43
그림 3.5 광주광역시 택시 1일 평균속도 분포	43
그림 3.6 택시 DTG 주행 이력 예시	44
그림 3.7 광주광역시 전기자동차 증가 추이	45
그림 3.8 시뮬레이션 다이어그램	48
그림 3.9 탄소배출권 시세 조회(2023년 5월)	51
그림 4.1 택시 점유율별 CO ₂ 배출량 비교	54
그림 4.2 택시 점유율별 에너지 비용 비교	55
그림 4.3 택시 점유율별 CO ₂ 배출량 및 운행 비용(상대적 비교)	56
그림 4.4 택시 운행 부제별 CO ₂ 배출량 비교	59
그림 4.5 택시 운행 부제별 운행 비용 비교	60
그림 4.6 유가보조금 감소에 따른 점유율별 에너지 비용 비교	63

ABSTRACT

Analysis of the Effects of Introducing Electric Vehicle Tax on Greenhouse Gas Reduction and Energy Cost : Gwangju Metropolitan City

Jung, Jongmun

Advisor : Prof. Park, Sangjun, Ph.D

Department of Civil Engineering

Graduate School of Chosun University

The UN recently evaluated that an unprecedented abnormal climate problem has led to an era of Global Boiling, the Earth is boiling beyond global warming. Environmental problems caused by greenhouse gases are causing great damage to humanity. In order to respond to this climate change, developed countries are reducing carbon emissions and further declaring carbon neutrality by substantially reducing carbon emissions to 'zero', and the "2050 Carbon Neutral Scenario" report was published in 2021 Korea and carbon neutrality was declared.

In 2020, Korea's total greenhouse gas emissions were 656.2 million tons CO₂eq, of which the transportation sector emitted 96.1 million tons CO₂eq of greenhouse gases, accounting for about 14% of Korea's total greenhouse gas emissions. In the transportation sector, most greenhouse gas emissions occur in the road sector (approximately 97%), attributed to using fossil fuels, the main energy source for transportation. As a result of applying the transportation greenhouse gas reduction policies, it was analyzed that the greenhouse gas reduction effect due to the spread

of electric vehicles was 1.17 (tons/vehicle/year) and the prevention of idling of small trucks and the carpool policies could reduce 0.91 tons and 1.02 tons of greenhouse gas, respectively.

The main carbon neutrality scenario in the road sector aims to convert existing internal combustion engine vehicles into zero-emission, eco-friendly vehicles such as electric or hydrogen vehicles. Globally, the number of electric vehicles is increasing every year, reaching 26 million units in 2022, an increase of approximately 60% compared to 2021. In Korea, a total of 389,855 electric vehicles have been cumulatively registered nationwide as of the end of 2022. In particular, the total number of registered vehicles in Jeju is 408,607, of which 31,373 are electric vehicles, showing a high market share of about 8%.

Jeju is the most active in distributing electric vehicles in Korea, and in the case of taxis, 1,510 out of 5,115 taxis have been converted to electric vehicles. In the case of taxis, the average daily mileage is expected to be greater than that of general non-commercial passenger vehicles, so if taxis that use existing liquefied petroleum gas as fuel are converted to electric vehicles, the effect of reducing exhaust gases and greenhouse gases is expected to be significant.

Currently, as interest in electric cars is increasing, this study calculates the effect of converting taxis operating in Gwangju Metropolitan City to electric cars using driving history data collected from digital tachographs. The VT-Micro model and VT-CPEM model were used to microscopically calculate vehicle emissions and energy consumption and evaluate the scenarios in terms of environmental and economic perspectives. As a result of this study, it was analyzed that as the market share of electric vehicles increases, electricity usage increases, and significant LPG usage and CO₂ emissions decrease. It was analyzed that if all taxis in operation in the future were converted to electric vehicles, a total of 39,524 tons of CO₂ could be reduced per year compared to 2023, and a total cost of 14.2 billion won could be saved.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목표

최근 UN에서 지구 온난화를 넘어 지구가 끓어오르는 Global Boiling 시대가 도래했다고 발표할 만큼 온실가스로 인해 발생한 이상기후 문제는 인류에게 큰 피해를 주고 있다(United nations, 2023). 이러한 기후변화에 대응하기 위해서 선진국을 중심으로 탄소 배출량 감축과 더 나아가 실질적으로 탄소 배출량을 ‘0’으로 하는 탄소중립을 선언하고 있으며, 우리나라는 2021년 “2050 탄소중립 시나리오” 보고서를 발표하며 탄소중립을 선언하였다.

2020년 우리나라의 온실가스 총배출량은 656.2 백만톤CO₂eq(CO₂ Equivalent)이며 이 중 수송부문에서 96.1 백만톤CO₂eq의 온실가스를 배출해 우리나라 온실가스 총배출량 중 약 14%를 차지하고 있다(Greenhouse gas inventory and research center, 2022). 수송부문에서 온실가스 배출량은 대부분 도로 부문(약 97%)에서 발생하고 있으며, 운송수단의 주 에너지원인 화석연료의 사용으로 나타났다(2050 Carbon neutrality and green growth commission, 2021). 이러한 도로 부문에 온실가스를 감축하는 방법으로 전기자동차의 보급, 공회전 방지 및 카풀 등이 있으며, Lee et al.(2018)의 연구에 따르면 전기자동차 보급에 따른 온실가스 감축 효과는 1.17 톤/대/년, 소형 화물차의 공회전 방지 및 카풀을 통해 각각 0.91 톤/대/년, 1.02톤/대/년의 효과 있는 것으로 분석되었다. 이처럼 도로 부문에서 주요 탄소중립 방법론으로 기존의 내연기관차를 전기자동차 또는 수소자동차와 같은 무공해 친환경 자동차로 전환하는 것으로 조사되었다.

세계적으로 전기자동차는 매년 가파르게 증가하고 있으며, 2022년에는 2,600만 대가 누적 등록되어 2021년에 비해 약 60% 증가하였다(International energy agency [IEA], 2023). 우리나라의 경우 전국적으로 2022년 12월 389,855대가 누적 등록되어 있으며 (Ministry of land, infrastructure and transport, 2023), 특히 제주특별자치도는 전체 차량등록 대수 408,607대 중 31,373대가 전기자동차로(약 8%) 등록되어 있어 우리나라에서 가장 적극적으로 전기자동차를 보급하고 있는 것으로 나타났다(Jeju research institute, 2023). 제주특별자치도의 용도별 자동차 등록현황을 살펴보면 비사업용 승용차의 경우 288,491대 중 18,955대로 약 6.6%의 전기차 보급률을 보이지만 택시의 경우

5,115대의 택시 중 1,510대가 전기자동차로 등록되어 약 30%의 상대적으로 높은 비중을 차지하고 있다. 이렇듯 제주특별자치도에서 전기자동차의 보급은 사업용 택시 부문에서 가장 활발하게 이루어지는 것으로 조사되었으며 이러한 택시의 경우 일반 비사업용 승용차보다 1일 평균 주행거리가 많을 것으로 예상되므로 기존의 액화석유가스(Liquefied Petroleum Gas, LPG)를 연료로 사용하는 택시를 전기자동차로 전환했을 경우 온실가스 감축 효과가 상당할 것으로 판단된다.

광주광역시의 2023년 전기자동차 지원금 규모를 살펴보면 총 2,895대의 전기 승용차와 전기 화물차에 지원금을 지원할 예정이며, 전기 승용차 보급 물량 중 10%를 전기자동차 택시 구입에 지원하고 있다. 특히 택시의 경우 지자체의 기본적인 보조금과 함께 국비 200만 원을 추가로 지원하며 기존의 LPG 택시를 전기 택시로 전환하도록 유도하고 있다(Gwangju metropolitan city, 2023b).

본 연구에서는 교통부문에서 탄소중립을 달성하기 위한 주요 전략인 전기자동차의 보급에 대하여 광주광역시에서 운행하는 택시 사례를 통해 그 영향을 분석하였다. 구체적으로 광주광역시에서 운행 중인 기존의 LPG 택시가 전기 택시로 전환하는 시나리오를 수립하고, 전기 택시 전환에 따른 효과를 산정할 수 있는 방법론을 개발하여 전기 택시 전환에 따른 영향을 교통의 친환경 측면과 경제성 측면에서 평가하였다. 이를 통해 광주광역시에서 시행 중인 전기자동차 활성화를 위한 정책의 효과를 평가하고 친환경 교통에 관한 시사점을 도출하는 것을 목표로 한다.

1.2 연구동향

Hawkinset et al.(2013)은 자동차 제조회사에서 제공한 자료와 이전 선행연구 자료를 기반으로 내연기관차와 전기자동차의 환경영향을 전 과정 평가 방법을 사용하여 분석하였다. 연구 결과 내연기관차를 동급의 전기자동차로 대체하면 온실가스 배출량이 10%~24% 감소 되는 것으로 나타났다. Tessum et al.(2014)은 2020년 자동차 주행거리를 추정하여 전기자동차의 비중을 10%로 확대하였을 때 발생하는 대기오염 수준과 대기오염이 건강에 미치는 영향을 추정하였다. 전기를 친환경적으로(Wind-Water-Solar) 생산하는 시나리오와 천연가스로 전기를 생산하는 시나리오를 통해 대기질과 기후변화 부문에서 환경 편익이 발생하는 것으로 추정되었다.

Han et al.(2019)은 2015년부터 확대 시행되는 국내 친환경차 보조금 지원정책이 수송부문 온실가스 감축목표에 달성하는 기여도를 분석하였다. 2015년 소형 자동차 기준 LCA(Life Cycle Assessment) 배출계수를 추정한 결과 휘발유 차량 193gCO₂eq/km, 하이브리드 자동차 138gCO₂eq/km, 전기자동차 84gCO₂eq/km로 추정되었다. 전기자동차 배출계수의 약 88%는 연료의 생산 및 운송과정에서 배출되는 온실가스로 분석되었으며, 2020년까지 추정된 LCA 배출계수의 연도별 추세를 보면 휘발유 차량과 하이브리드 자동차는 변화가 거의 없는 반면 전기자동차는 2020년 86.01gCO₂eq/km으로 소폭 상승하는 것으로 판단하였다. Econometrics(2013)는 유럽을 중심으로 친환경 교통정책 분석에 광범위하게 사용되는 대표적인 거시계량모형인 E3ME와 SULTAN(The Sustainable Transport Illustrative Scenarios Tool)을 사용하여 2010부터 2050년까지 유럽의 전기자동차 확산으로 인한 경제 및 환경효과를 추정하였다. 연구 결과 전기자동차의 확산은 자동차에서 배출되는 CO₂를 64~93% 감소시키는 것으로 분석되었다. Choi et al.(2012)는 우리나라 전기자동차 보급에 따른 총에너지 수요 및 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 석유의 수요가 4.3% 감소할 때, 전력의 수요는 1.5% 증가하는 것으로 나타났다. We et al.(2012)는 전기자동차의 보급이 활발할 것으로 예상되는 경제발전 지역에 전기자동차의 보급이 각 지역의 화석에너지 수요와 CO₂ 배출에 미치는 영향을 분석하였다. 분석하는 과정에서 소형 승용차시장의 성장 패턴을 기반으로 고펜페르츠 함수를 이용하여 미래의 전기자동차의 보급을 추정했으며, 다양한 시나리오를 통해 환경적 측면에서 많은 이익이 발생할 것으로 분석하였다. Yabe et al.(2012)는 자동차의 배터리 사용 내역과 차량의 1일 주행거리 분포 등을 이용하여

미래에 전기자동차의 보급이 활성화될 때의 영향을 예측하였다. Oh(2020)는 친환경 자동차의 보급이 확대되고, 전기자동차 시장이 활성화되는 시기에 현행 과세체계 적용 시 지방자치단체의 재정적 문제를 분석하고 세입이 감소가 되는 우려 시기를 예측하여 친환경 자동차에 대한 자동차세의 과세체계의 개선방안을 제시하였다.

전기자동차의 관련한 연구를 살펴보면 대부분 친환경적 측면과 경제성들을 분석한 연구가 주를 이루었으며, 대부분 거시적인 수준으로 분석하거나 특정한 차량의 데이터를 일반화하여 분석한 연구가 대부분이었다. 미시적 수준으로 분석한 연구를 살펴보면 Jung & Park(2022)이 미시 교통류 환경영향 평가 모델인 VT-Micro와 VT-CPEM을 활용하여 전기자동차 택시 전환에 따른 효과를 친환경성과 경제성 측면에서 분석하였다. 본 연구는 Jung and Park(2022) 연구에서 사용된 택시 운행통계를 업데이트하고 새로운 시나리오를 개발하여 효과분석을 수행하였다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 전기자동차

2.1.1 전기자동차의 개념

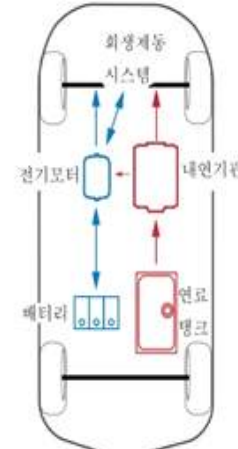
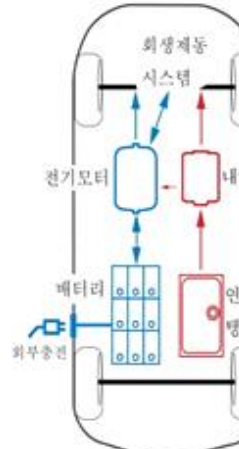
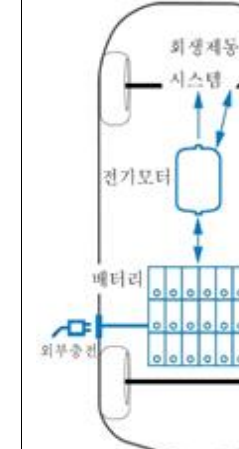
전기자동차(Electric Vehicle, EV)는 기존의 화석연료를 엔진에서 구동 에너지로 변환하여 주행하는 내연기관차와 달리 전기 공급원으로부터 전기에너지를 배터리에 충전하고 전기모터를 통해 주행하는 차량을 말한다(Choi et al., 2012). 이러한 전기자동차는 동력계의 구동 방식에 따라 표 2.1과 같이 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV), 플러그인 하이브리드 자동차(Plug in Hybrid Electric Vehicle, PHEV), 순수 전기차(Battery Electric Vehicle, BEV)로 구분할 수 있다(Kwon, 2018).

HEV 차량은 하나의 차량에 2종류의 동력원을 가진 차량을 말하며 일반적으로 내연기관과 전기모터를 함께 동력원으로 쓰는 형태가 일반적이다. HEV 차량은 주행하는 과정에서 엔진을 통해 전기에너지를 자체적으로 생산하며 추가로 감속, 정차 등 에너지가 손실되는 상황에서 일부 손실되는 에너지를 전기에너지 형태로 회수하여 에너지원으로 활용하는 차량이다. 전기에너지를 사용하여 약 5km 내외의 주행이 가능하며 별도로 전기에너지를 충전하지 않아 전기 충전시설 인프라가 불필요한 점이 특징이다.

PHEV 차량은 HEV 차량과 같이 엔진과 전기모터를 함께 사용하는 차량이나 HEV 차량과 달리 전기에너지를 외부로부터 충전하여 화석연료를 사용하지 않고 주행할 수 있는 차량이다. 전기동력으로 약 64kph 속도까지 주행할 수 있으며 이러한 점은 근거리, 저속으로 차량이 운행하는 도심과 같은 환경에서 엔진의 사용을 억제해 자동차 배기가스 배출을 최소화할 수 있다. 기존 내연기관 주유 인프라와 전기 충전시설 인프라를 모두 이용할 수 있다는 점에서 HEV 차량과 BEV 차량의 중간적인 특성이 있다.

BEV 차량은 다른 두 차량과 달리 엔진 없이 전기모터만으로 구동하는 차량으로 외부로부터 충전 받은 전기에너지를 이용하여 주행할 때 자동차 배기가스를 배출하지 않는 무배출 차량(Zero Emission Vehicle)이다. 내연기관 대비 짧은 주행가능거리와 느린 에너지 충전 속도, 낮은 동력성능 등으로 주목받지 못했지만, 최근 대기 환경문제로 인해 친환경 운송수단에 관심이 높아지며, 배터리 기술의 발달과 유가 문제로 인해 전기자동차 중 BEV 차량이 가장 주목받고 있다.

표 2.1 전기자동차의 분류(Kwon, 2018)

	HEV	PHEV	BEV
구동원	<ul style="list-style-type: none"> 엔진 전기모터 	<ul style="list-style-type: none"> 엔진 전기모터 	<ul style="list-style-type: none"> 전기모터
구동형태			
특징	<ul style="list-style-type: none"> 엔진(주 동력원) 전기모터(보조 동력원) 전기 충전 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> 전기모터(단거리) 엔진(장거리, 고속) 	<ul style="list-style-type: none"> 전기에너지만 활용 무배출 차량
주요차량	<ul style="list-style-type: none"> TOYOTA PRIUS KIA NIRO HYUNDAI IONIQ 	<ul style="list-style-type: none"> BMW 745e CHEVROLET VOLT 	<ul style="list-style-type: none"> NISSAN LEAF TESLA MODEL S

2.1.2 전기자동차의 특징

전기자동차를 내연기관차와 비교하면 구조적 특징, 사용되는 에너지원 등의 차이로 인해 내연기관차와는 다른 전기자동차만의 특징이 발생하며 그 특징은 다음과 같다.

가. 동력성능

자동차의 성능은 일반적으로 동력원이 최대 토크를 생성할 때 최대 성능을 발휘하며, 동력원의 분당 회전수(Revolutions Per Minute, RPM)가 증가할수록 부하가 증가하여 연료 소모량이 증가한다(Heywood, 2018). 이러한 점으로 인해 그림 2.1과 같이 내연기관차는 엔진의 RPM이 일정 값 이상으로 올라야 최대 성능이 발휘되며, 연료 소모량

(b_{ef})이 감소한다(Laurén et al., 2022). 반면에 전기자동차의 전기모터는 그림 2.2와 같이 정지 상태부터 최대 토크를 발휘할 수 있으며, 이러한 점은 정지 후 출발, 저속 주행이 잦은 도심에서 내연기관차보다 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다(Butler, 2000).

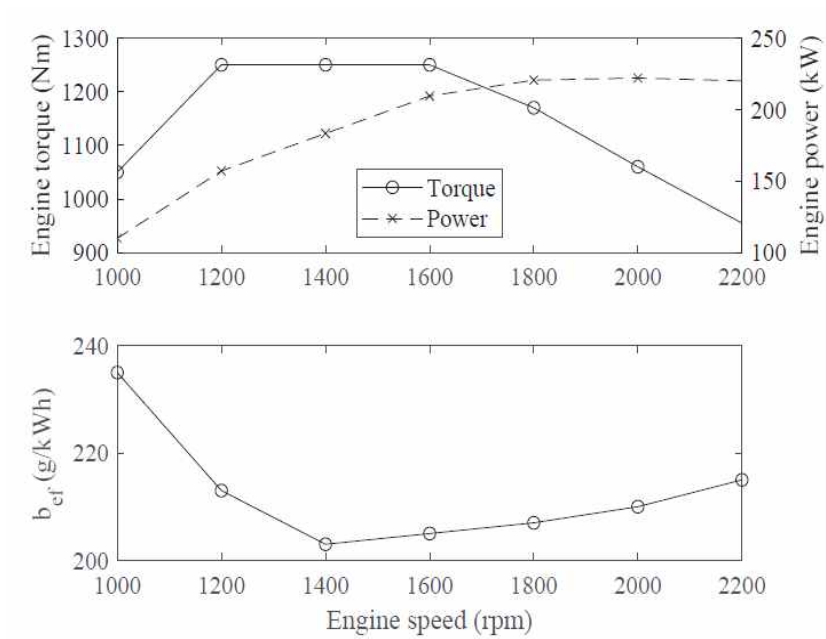


그림 2.1 내연기관차 엔진의 동력성능 및 에너지 소모량(Laurén et al., 2022)

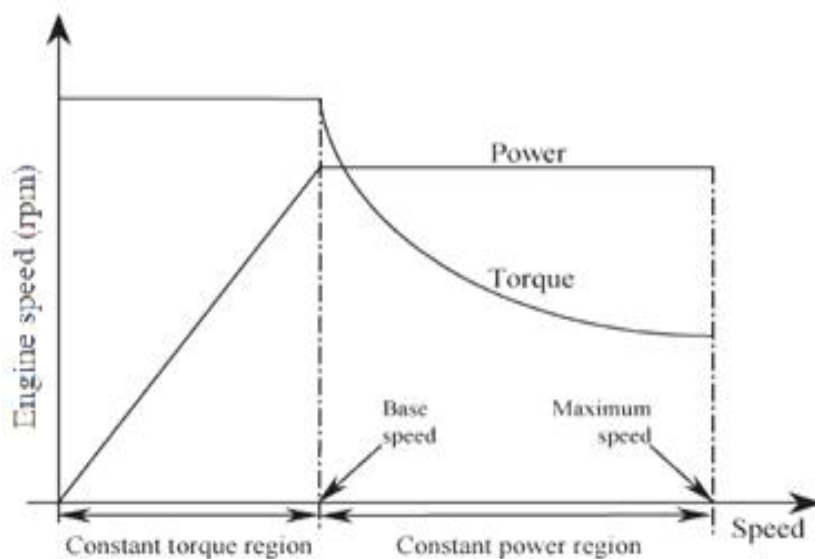


그림 2.2 전기자동차 모터의 동력성능(Butler, 2000)

나. 에너지 소비 절감 기술

전기자동차는 내연기관차와 달리 에너지를 충전하는 시간이 오래 걸리며, 주행가능거리가 상대적으로 짧다. 이러한 단점을 극복하고자 자동차 제조사들은 배터리의 성능향상과 함께 에너지 소비를 절감하는 기술을 개발하고 있다. 에너지 소비를 절감하는 기술은 대표적으로 공회전 제한 장치(Idle Stop & Go, ISG)와 회생제동(Regenerative Braking)이 있다.

도로를 주행하는 차량은 교통상황에 따라 일시 정차, 감·가속 등 주행 이력이 변화하게 된다. 이때 일반적인 내연기관차는 차량이 정차할 때 엔진의 공회전으로 일정량의 연료를 소모하는데, ISG 기술은 차량이 일시 정차하게 되면 엔진의 작동을 멈춰 자동차의 공회전을 차단하는 기술이다. 또한 차량이 주행 중 감속하는 과정에서 차량의 제동장치를 통해 운동 에너지는 열에너지로 변환되어 외부로 분산되는데, 회생제동은 이러한 차량의 감속으로 손실되는 차량의 운동 에너지를 전기에너지로 회수하는 기술이다(Yoong et al., 2010). 미국 에너지국(Department of Energy)과 환경보호국(Environmental Protection Agency)에 따르면 차량이 주행 중 소모하는 연료 중에서 약 17.2%가 도심지 공회전으로 낭비되는 것으로 알려져 있는데(Lee et al., 2014), 독일의 BOSCH사는 ISG 기술을 통해 도심에서 5~8%의 연비 개선 효과가 있는 것으로 추정하였다(Son et al., 2009).

다. 에너지 효율

전기자동차와 내연기관차의 가장 큰 차이점은 사용되는 동력원이 다르다는 점이다. 내연기관차는 일상생활에서 흔히 쓰이는 가솔린, 디젤, LPG, 액화천연가스(Liquefied Natural Gas, LNG)와 같은 화석연료를 기반으로 엔진에서 화석연료의 폭발력을 구동력으로 변환하여 주행하고 있으며, 전기자동차는 다양한 발전시설을 통해 생산된 전기 에너지를 전기모터에서 구동 에너지로 전환하여 주행하고 있다. 이러한 차량에 사용되는 에너지원의 효율을 분석하는 방법으로 연료 주기 분석(Well to Wheel, WTW)이 있다. WTW 분석은 연료의 생산단계부터 차량의 운행까지 전 과정을 분석하는 방법으로 연료를 생산하고 유통과정을 지나서 자동차까지 전달하는 Well-to-Tank 과정과 자동차 연료 탱크에서 자동차의 구동까지 포함한 Tank-to-Wheel 과정으로 구분하여

객관적으로 연료의 효율성을 분석할 수 있다(Yi, 2018).

Albatayneh et al.(2020)은 WTW 분석을 통해 차량별로 에너지원의 효율을 그림 2.3 과 같이 분석하였다. 가솔린 ICEV(Internal Combustion Engine Vehicle)는 11%~27%의 효율을 보이며, 디젤 ICEV는 25%~37%, CNGV(Compressed Natural Gas Vehicle)는 12%~22%로 분석하였다. 또한 전기자동차에서 사용되는 전기에너지를 화력발전으로 생산하면 13%~31%의 효율을 보이며, 신재생에너지를 활용하면 40% 이상의 높은 효율을 보이는 것으로 분석하였다.

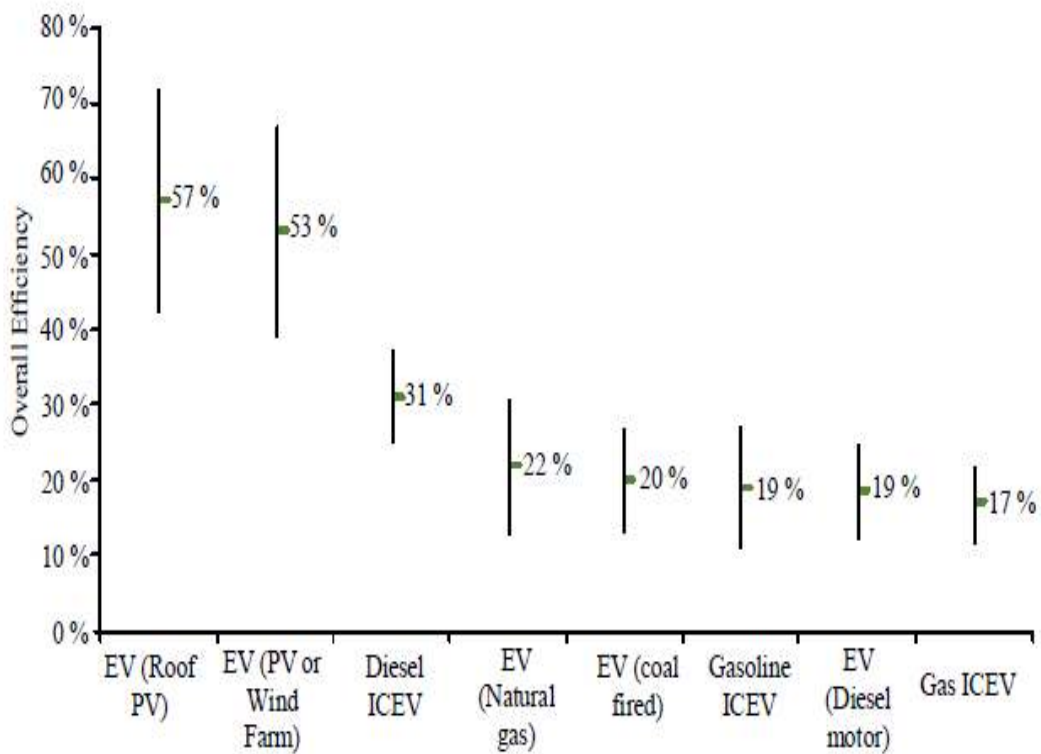


그림 2.3 차량별 Well-to-Wheel(Albatayneh et al., 2020)

2.1.3 국내 전기자동차 현황

가. 국내 전기자동차 현황

우리나라 전체 자동차 등록 대수는 표 2.2와 그림 2.4에서 보는 바와 같이 2016년 2,180만 대에서 2022년 2,521만 대로 6년간 16% 증가하는 동안, 같은 기간에 전기자동차는 약 27배, 수소자동차는 약 277배로 증가하여 친환경 자동차는 큰 폭으로 증가하였다(Ministry of land, infrastructure and transport, 2023). 여기서 전기자동차의 경우 2016년에 10,855대로 전체 자동차 중 0.05% 비중을 차지하였으나, 2022년에는 29,633대로 약 1.18%의 비중을 차지하는 것으로 조사되었다.

표 2.2 대한민국 자동차 등록현황

(단위: 대, %)

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년
전체자동차	21,803,351	22,528,295	23,202,555	23,677,366	24,365,979	24,642,251	25,215,692
하이브리드	233,216	313,856	405,084	506,047	674,461	785,143	1,041,737
전기차	10,855	25,108	55,756	89,918	134,962	173,147	298,633
수소차	87	170	893	5,083	10,906	15,225	24,119
친환경차	244,158	339,134	461,733	601,048	820,329	973,515	1,364,489
친환경차 등록비중 (%)	1.1	1.5	2.0	2.5	3.4	3.9	5.4

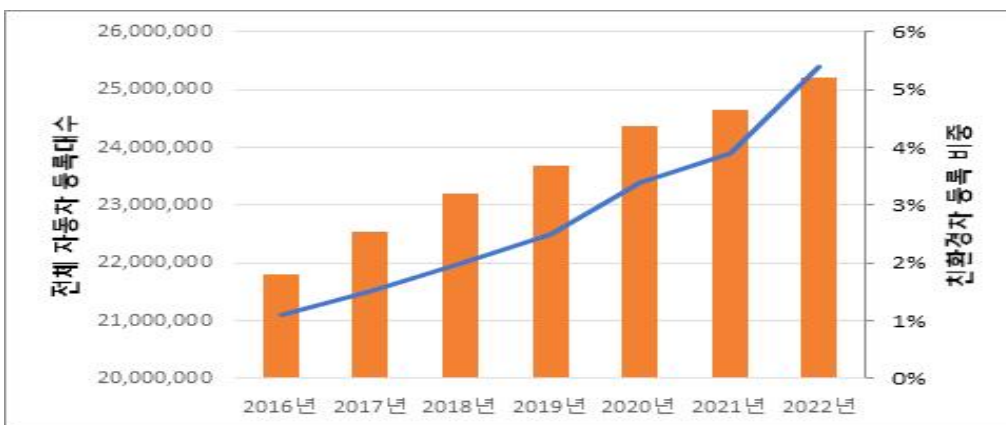


그림 2.4 대한민국 친환경 자동차 등록 추이

나. 국내 전기자동차 택시 보급현황

전기자동차 택시의 도입을 위하여 2013년 대전에서 최초로 실증사업을 시작하였으며, 표 2.3에서 보는 바와 같이 제주도, 서울특별시, 대구광역시로 실증사업과 함께 전기자동차 택시의 보급을 확대하기 위한 보조금 사업들이 확대되어 추진되었다. 특히, 제주도의 경우 국비 보조와 함께 상당한 규모의 도비를 지원하여 꾸준히 공모사업을 추진하고 있다.

국내에서 제주특별자치도는 전기차 보급이 가장 빠르게 이루어지고 있는 지역으로 남북방향 41km, 동서방향 73km, 일주도로 176km로 전기차 운행에 최적의 지리적 공간을 갖추고 있으며 “제주특별자치도 전기자동차 보급 촉진 및 이용 활성화 조례”를 제정하여 친환경적인 교통수단을 선호하는 정책을 추진하고, 제주도 내 전기차 보급을 위한 다양한 정책과 시설을 마련하여 전기차 시장을 활성화하고 있다(Jung, 2017).

또한 2030년까지 전기차 보급률을 30%로 늘리는 것을 목표로 하여 전기차 사용자들에게 다양한 혜택을 제공하고 있으며, 충전요금의 일부를 지원하고 전기차 주차요금을 낮추고, 전기차를 사용하는 기업에 대하여 각종 지원을 제공하여 전기차 도입을 적극적으로 유도하고 있다.

전기차 보급 활성화를 위하여 자치 단체 업무용 전기차 이용 및 전담 조직을 확충하고 이용자의 편의를 위하여 배터리 임대, 콜센터 운영, 민간 충전 인프라 지원 등 시민 참여를 위한 ‘전기자동차 활성화 위원회’를 운영하고 있어, 전문가 및 시민들의 다양한 의견들이 정책에 반영되고 있다.

제주 도민을 대상으로 2023년 하반기 승용 2,000대, 화물 1,000대를 보급 하여 온실가스 배출량 감축을 위한 전기차 보조금 지원을 추진하고 있다.

또한 2050 탄소중립 실현을 위한 2022년 온실가스 감축 사업에 총 2,170억 원을 편성하였으며, 2021년 본 예산 대비 524억 원이 증액되었으며, 2030년 전기자동차 보급 확대 등 수송부문 1,034억 원을 시작으로 신재생에너지 민간투자 포함 1,195억 원이 편성되었다(Jeju Research Institute, 2022).

표 2.3 전기 택시 도입추진 연혁 및 사례(Han & Kim, 2019)

구분	추진사례	지원사항
서울	2014년 9월, 10대 시범 도입 및 실증사업	차량 5대 서울시 구입, 5대 차량 제조사 지원 충전설비 및 충전 비용 모두 지원
	2015년 6월, 40대 도입 2015년 11월, 20대 도입	차량 대당 3,000만 원 지원 충전기 설치 무상 지원 (중속 1,200만 원, 완속 600만 원 상환) 배터리 1회 무상 교체(제조사측)
	2018년, 100대 도입	차량 대당 2,400만 원 지원 충전기 별도 지원 없음
대전	2013년 9월, 3대 시범 실증사업	차량 3대 업체 지원 충전기 기업체 지원
	2014년 9월, 법인 5대	차량 대당 2,000만 원(국비 1,500백만 원, 시비 5백만 원)
대구	2016년 2월, 50대 시범 도입	차량 대당 3,000만 원 지원 차량할인 및 충전시설 별도 지원(자동차 제작사)
	2018년, 187대 도입	2016년 50대 시범사업과 달리 일반 전기차 지원금 수준 지원
제주	2013년, 2대 시범사업 2014년, 최초 6대 2016년, 100대 공모 2017년, 100대 공모 2018년, 166대 공모	차량 대당 구매 보조금(2017년): 환경부 보급사업 (2,000만 원), 친환경 택시 폐차 지원(500만 원) 충전기 구축비(2017년): 300만 원
광주	2021년, 1,280대 공모 2023년 2,190대 공모	승용차 534만~1,300만 원 지원 화물차 : 소형 2,100만, 특수 2,600만 원 지원 전기자동차 4,297대 구입 보조금 지원(총 449억)

2.1.4 국내 전기자동차 보급정책

가. 국내 전기자동차 보급정책

2023년 전기자동차 보급사업 보조금 업무처리 지침에서 제시된 국비와 지방비를 합한 보조금을 기준으로 기본가격이 5,700만 원 미만인 차량은 보조금 전액, 5,700만 원 이상~8,500만 원 미만 차량은 보조금의 50%, 8,500만 원 이상 차량은 보조금을 받을 수 없다(Ministry of environment, 2023). 국내 전기차 충전 인프라 정책은 전기차 보급 증가에 따라 ‘확대’와 ‘다양화’를 중심으로 진행되었다. 올해 환경부 완속 충전시설 보조사업 예산이 지난해보다 500억 원 늘어난 740억 원으로 편성되었고, 다양한 충전기 보급을 위해 11kW 이상 교류 완속 충전기와 7kW 전력 분배형 충전기가 보조금 대상에 포함되었다.

최근 환경부는 전기차 충전사업자들과의 간담회 자리에서 2023년도 완속 충전시설 보조사업 계획안을 공개하였는데, 완속 충전시설 보조사업은 전기차 완속 충전기 보급을 위해 기축 공동주택이나 사업장, 주차장 등에 완속 충전기를 구축할 때 국가 보조금을 지원해주고, 이를 통해 2025년까지 완속 충전기 50만 대를 구축하기로 계획하였다. 환경부는 2016년부터 보조금 지원을 통해 충전기를 설치·운영하는 사업자의 리스크를 줄여주며 완속 충전기 보급을 확대해왔으며 초기에는 7kW 1기당 600만 원을 지원하였으나, ‘총예산을 늘리되 1기당 보조금을 줄이는 방침’에 따라 1기당 동일 제품의 보조금은 올해 160만 원으로 변경하였다. 하지만 이는 아직도 완속 충전기 구축 비용의 3분의 2 정도를 지원해주는 수준이다.

2023년에 30kW 직류 중속 충전기에 대한 보조금도 신설될 것으로 보인다. 환경부는 전기차가 늘어나고 이용자들의 충전패턴도 다양해지면서 이에 대응하기 위한 다양한 충전기를 지원해왔다. 지난해에는 과금형 콘센트와 키오스크 충전기 보조금 영역을 신설했으며 올해에는 11kW 이상 교류 완속 충전기에 대한 보조금 영역을 새로 만들고 지원한 바 있다. 내년에는 30kW 직류 중속 충전기를 대형마트 주차장, 관광시설 등에 구축해 1~2시간 내외 충전이 가능할 것으로 보인다.

나. 광주광역시 전기차 보급정책

(1) 전기차 보조금 정책

2023년 현재 광주광역시 전기자동차 보조금은 국비와 지방비를 합하여 결정되며, 전기 승용차의 경우 최대 1,070만 원, 전기 화물차는 소형 기준 최대 1,550만 원, 전기 승합차는 중형 기준 최대 7,000만 원까지 차등 지급되고 있으며, 전기 승용차의 경우 차량 가격에 따라 보조금 지원 여부가 결정되고 있다(Ministry of environment, 2023). 마찬가지로 전기자동차 보급사업 보조금 업무처리 지침에 따라 8,500만 원 이상이면 보조금이 지원되지 않는다.

(2) 전기차 충전소 추가 확대

광주광역시 기후 대기정책과에서는 한국전력공사와 함께 구도심 전기자동차 충전 사각지대 해소를 위해 그림 2.5와 같이 단독주택 인근 노상주차장에 전주 거치형 충전기 19기를 연내 설치한다. 전주 거치형 충전기는 14kW 2채널로 전기차 2대를 동시 충전이 가능하고, 기존의 도로공간을 잠식하지 않고 간편하게 설치할 수 있으며, 충전기의 전력공급도 수월한 장점이 있다(Gwangju metropolitan city, 2023c). 또한 2023년 3월 환경부 ‘지역별 무공해차 브랜드사업’ 공모에 선정돼 약 58억 원 상당의 국비와 민간투자액에 성공해 올해 안에 시민이 자주 찾는 월드컵경기장 등 79개소에 226기의 충전기를 설치할 예정이다.



그림 2.5 전주형 충전기 사례(Gwangju metropolitan city, 2023c)

(3) 택시 지원방안

광주광역시는 표 2.4에서 보는 바와 같이 2022년부터 2026년까지 5년간 전기 택시 587대 증가 계획을 수립하고 있으며 친환경 자동차 선도도시 위상 제고를 위해 전기 택시 보급 지원방안을 마련하고 있다. 총사업비 7,631백만 원 규모로 대당 1,300만 원을 기준으로 계획을 수립하여 친환경 전기 택시 도입으로 대기오염 및 탄소 배출량을 줄이며 소음이 적고 승차감이 좋은 친환경 택시 서비스를 제공하는 계획을 수립하고 있다.

표 2.4 전기 택시 연차별 투자계획(Gwangju Metropolitan City, 2023a)

구분	연차별 시행계획(백만원)					
	2022년	2023년	2024년	2025년	2026년	합계
사업량	87	100	100	150	150	587
계	1,131	1,300	1,300	1,950	1,950	7,631
국비	663	762	762	1,143	1,143	4,473
시비	468	538	538	807	807	3,158

2.1.5 국외 전기자동차 현황

전기자동차 판매는 공급망 문제, 거시경제 및 지정학적 불안정, 높은 원자재 및 에너지 가격에도 불구하고 그림 2.6에서 보는 바와 같이 전기차 판매는 중국 주도로 계속해서 증가하고 있다. 전기차 판매 증가는 전 세계적으로 자동차 시장이 축소되는 상황에서 일어났는데, 2022년 전체 자동차 판매는 전년 대비 3% 감소하였다. BEV와 PHEV를 포함한 전기차 판매량은 지난해 1,000만 대를 초과해 2021년 대비 55% 증가하였다(IEA, 2023).

2022년 전 세계 전기차 판매량은 유럽 전체 자동차 판매량(약 950만 대)을 초과하였으며, 같은 해 중국에서 판매된 전체 자동차의 약 50%에 수준으로 2017년에서 2022년에 이르는 5년의 기간 동안 전기차 판매량은 약 100만 대에서 1,000만 대 이상으로 급증하였다. 전기차 판매량이 10만 대에서 100만 대로 증가하는 데도 2012년에서 2017년

까지 5년이 소요된 바 있어, 전기차 판매량이 급증했다는 것을 알 수 있으며 전체 자동차 판매량에서 전기차 차지하는 비중은 2021년의 9%에서 2022년에는 14%로 증가했는데, 이는 2017년 비중보다 10배 이상 높게 나타났다. 전기차 판매 증가로 인해 전 세계에서 운행되는 누적 전기차는 2,600만 대로 확대되어 2021년 대비 60% 이상 증가하였으며, 연간 증가분의 70% 이상은 BEV가 차지했고, 2022년 운행된 전 세계 전기차의 약 70%는 BEV로 구성되고 있다(IEA, 2023).

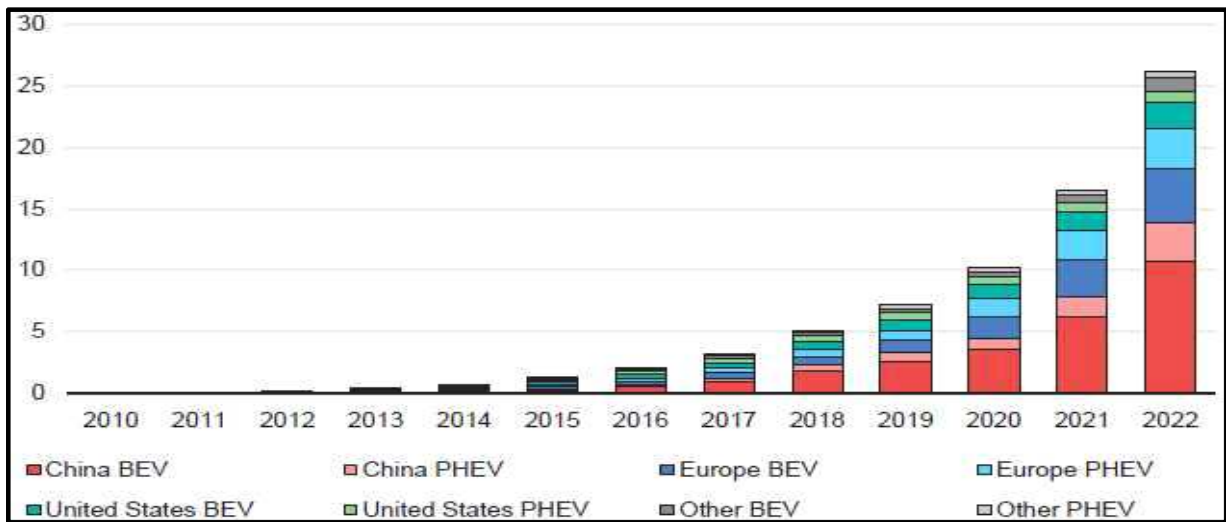


그림 2.6 주요지역의 누적 전기차 운행대수(2010~2022년)(IEA, 2023)

가. 중국

전기차 판매량은 지역과 구동장치의 종류에 따라 다르지만, 중국이 여전히 세계 전기차 시장을 지배하고 있으며, 그림 2.7을 살펴보면 2022년 중국의 BEV 판매량은 2021년 대비 60% 증가해 440만 대에 달하는 수준이다(IEA, 2023).

PHEV 판매량은 약 3배 증가해 150만 대이며, BEV 판매량은 2018~2020년에 소폭 증가한 이후 2021년에는 2020년 대비 3배 증가하였다. 중국이 전 세계에서 신규 등록된 전기차의 약 60%를 차지하였으며, 2022년에는 중국에서 운행된 전기차가 총 1,380만 대에 달해 역대 처음으로 중국이 전 세계에서 운행된 전기차의 50% 이상을 차지하였다. 2022년에는 중국 내 자동차 판매 중 전기차의 비중이 22%에 달했는데, 2021년에

는 16%, 그리고 2018~2020년에는 6% 미만에 불과하였다. 2023년 2월과 3월에는 전기차 판매량이 증가해 전년 동월 대비 각각 60%와 25% 이상 증가하였으며 이로 인해 2023년 1분기 판매량은 전년 같은 기간보다 20% 이상 증가하였다(IEA, 2023).

(단위 : 1,000대)

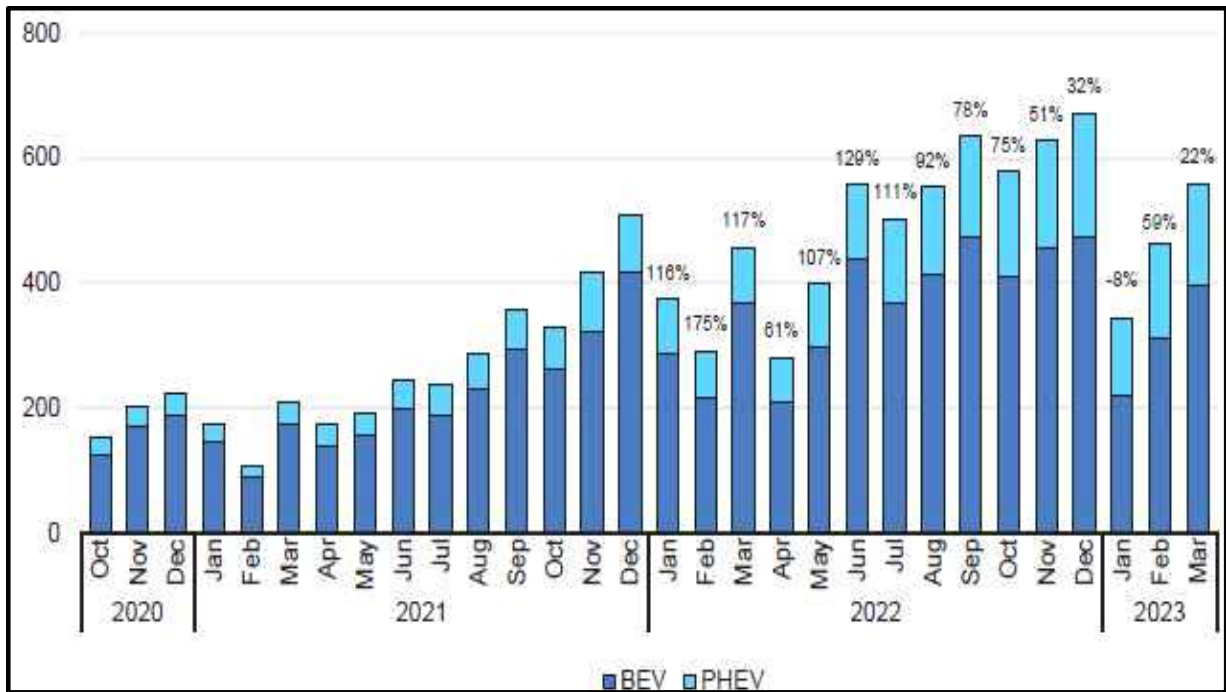


그림 2.7 중국의 월별 신규 전기차 등록 대수(2020~2023년)(IEA, 2023)

나. 유럽

유럽의 전기차 판매는 혼란 속에서도 꾸준히 증가하였는데, 2022년 유럽의 전기차 판매는 2021년 대비 15% 이상 증가해 270만 대에 달하였다. 2022년 BEV 판매는 2021년 대비 30% 증가하였으나, 2021년에는 2020년 대비 65% 증가하여 PHEV 판매는 약 3% 감소하였다. 전 세계 신규 전기차 판매 증가분의 10%는 유럽에서 발생하였는데, 2022년에 증가세가 둔화하기는 했으나, 자동차 시장이 계속해서 축소되는 것을 감안하면 유럽의 전기차 판매는 여전히 증가하고 있다. 2022년 유럽은 여전히 중국에 이어 세계 2대 전기차 시장으로 남았으며, 전체 전기차 판매의 25%와 전 세계에서 운행되

는 전기차의 30%를 차지하였다. 유럽 국가들은 차량 판매에서 전기차가 차지하는 비중이 계속해서 높은 수준을 보이고 있는데, 노르웨이(88%)와 스웨덴(54%), 네덜란드(35%), 독일(31%), 영국(23%), 프랑스(21%) 등이 대표적이다(IEA, 2023).

판매량으로 보면, 독일이 유럽 최대의 시장으로 2022년 판매량은 83만 대에 달했고, 그 뒤를 영국(37만 대)과 프랑스(33만 대)가 이었으며, 스페인의 판매량도 8만 대를 초과하였다. 독일의 전체 자동차 판매량에서 전기차의 비중은 코로나19 대유행 이전 대비 10배 증가했는데, 부분적으로 이는 환경보조금을 통한 구매 인센티브 등이 코로나19 이후 증가한 것과 2023년 이후 보조금이 더욱 축소될 것이라는 전망으로 인해 2022년에 판매 증가 요인이 발생하였다. 그러나 일부 국가에서는 전기차 판매가 감소하였는데, 2022년 이탈리아의 전기차 판매는 2021년의 14만 대에서 11만 5천 대로 감소하였으며, 같은 해 오스트리아, 덴마크, 핀란드에서도 전기차 판매가 감소하였다. 유럽에서는 특히 최근 제정된 ‘Fit for 55’ 패키지 덕분에 전기차 판매가 계속해서 증가할 것으로 전망되며 2030~2034년에 적용되는 더욱 엄격한 탄소 배출량 기준을 수립하고, 2035년부터 신규 자동차와 승합차의 탄소 배출량을 2021년 수준 대비 100% 감축하는 것을 목표로 하고 있다(IEA, 2023).

다. 미국

그림 2.8은 미국의 월별 신규 전기자동차 등록 대수를 살펴보면 미국의 전기차 판매도 최근에 증가세를 계속 보이고 있는데, 2022년 미국의 전기차 판매는 2021년 대비 55% 증가하였으며, BEV 판매는 70% 증가해 약 80만 대에 달하며 2019~2020년에 감소한 이후 2년 연속 강력한 성장세를 보였고, PHEV 판매 역시 증가했으나 증가율은 15% 수준이다(IEA, 2023). 2022년 미국의 전체 자동차 판매량이 2021년 대비 8% 감소한 것을 고려할 때 (전 세계 평균 3% 감소) 전기차 판매 증가세가 강력하게 나타났으며, 미국이 전 세계 판매량 증가분의 10%를 차지하고 있다. 미국에서 운행되는 전기차의 수는 300만 대에 달해 2021년 대비 40% 증가했으며, 전 세계에서 운행되는 전기차의 10%를 차지하고 있다(IEA, 2023).

(단위 : 1,000대)

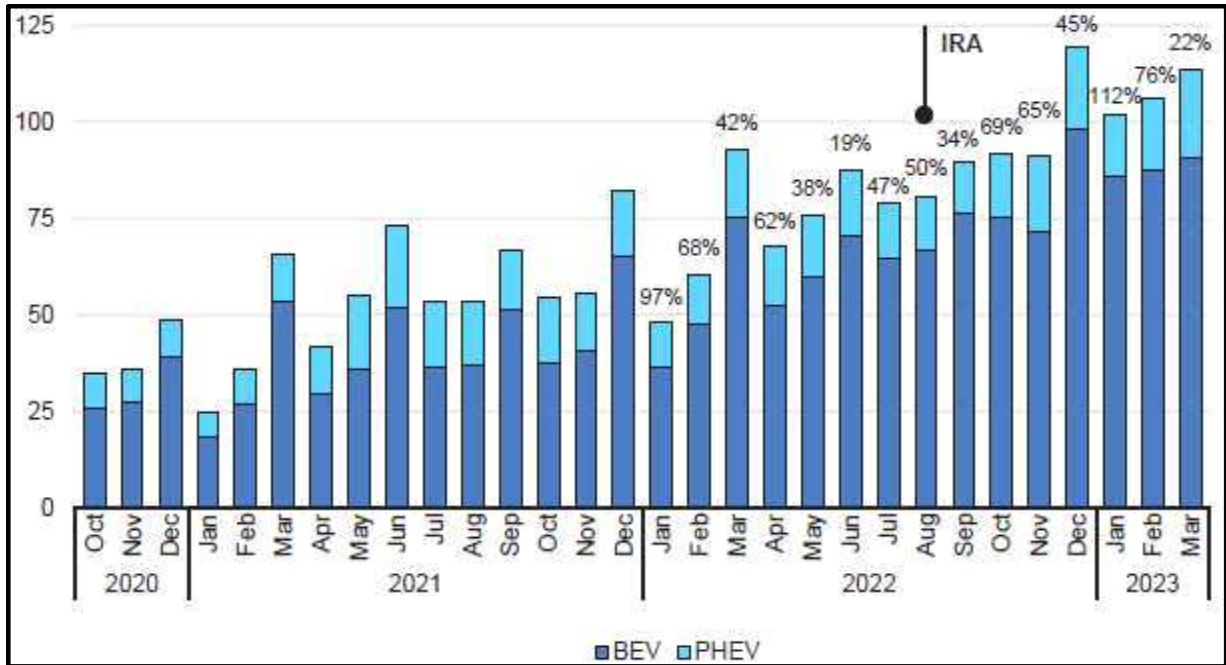


그림 2.8 미국의 월별 신규 전기차 등록 대수(2020~2023년) (IEA, 2023)

2.1.6 국외 전기자동차 보급정책

가. 중국

구매보조금 축소로 인해 전기차 확산에 제동이 걸린 중국 정부는 최근 새로운 보급 정책을 발표하며 재도약을 시도하고 전기차 산업의 자생력을 확보하려는 중국 정부의 야망에 의해 중국산 전기차의 원가절감·상품성 제고가 가속화될 전망이다.

중국 전기차 시장은 구매보조금 축소·지급기준 강화 등으로 판매 증가율이 둔화하면서 2019년 하반기부터 역성장을 시작하였고, 보조금 기한을 2020년에서 2022년으로 연장하였다. 또한 보조금 대상 차량 가격에 대해 기존에는 제한이 없었으나, 5,170만 원 이하로 제한하였다. 신제품·비즈니스 개발, 대중교통 전동화 등 5,170만 원(30만 위안) 기준은 Tesla 등 외산·고가 전기차 보조금을 배제하기 위함이며, 이에 Tesla는 Model 3가 보조금 대상이 되도록 약 500만 원 가격 인하 계획을 2020년 5월에 발표하였다.

중국 전기차 업계는 원가·제품경쟁력이 우수한 기업들로 재편성하고 원가 경쟁에서 최근 재조명되는 LFP(Li-PO₄) 배터리 등 근본적인 원가절감 기술을 보유한 기업만이 수익 창출을 통해 생존할 수 있게 하였다. 제품 경쟁면에서도 기본적인 구동성능 외에

도 인포테인먼트, 커넥티비티, 감성품질 등 다양한 가치를 놓고 경쟁 심화가 예상되어 전기차 전문 기업 BYD는 IT기업 화웨이와 자동차 영역에서의 본격 협력을 선포하며 차량 인터페이스 기술 개발이 진행되고 있다. 중국의 최신정책에서 전기차 산업 자생력 보급형 전기차 경쟁을 통해 기술혁신·적자생존을 유도하고, 보조금 없이도 자생할 수 있는 전기차 산업을 육성하여 중국 내수시장에서 높은 경쟁력을 확보한 일부 브랜드는 1~2년 내 글로벌 전기차 시장에 본격 진출할 전망이다.

나. 유럽

(1) 노르웨이

노르웨이는 전기자동차를 구매할 때 보조금을 지급하는 대신 감세 및 기타 혜택을 통해 전기자동차 활성화 정책을 펼치고 있다. 표 2.5를 살펴보면 전기자동차 구매 시 부가가치세를 면제해 주며, 지방 인센티브로 도시 톨게이트 이용 요금을 면제하는 정책 진행 중이며 무료 주차, 고속도로 이용료 면제, 버스 전용 차선을 활용할 수 있는 인센티브를 제공하고 있다(Jeon, 2017).

표 2.5 노르웨이의 전기자동차 지원제도(Jeon, 2017)

정책	세부 사항
구매 보조금	<ul style="list-style-type: none"> • BEV 구입시 세금 면제(10,000 NOK) • PHEV 구입시 세금 감면(10,000 NOK)
등록세	<ul style="list-style-type: none"> • 면제
법인세	<ul style="list-style-type: none"> • 면제
기타	<ul style="list-style-type: none"> • BEV: 부가가치세 면제 • 무관세
지방 인센티브	<ul style="list-style-type: none"> • 도시, 고속도로 통행요금 면제 • 주차요금 면제 • 버스전용차로 이용 • 전기자동차 충전시설 지원
인프라 인센티브	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 도로에 대해 50km마다 고속충전소 설치

(2) 영국

영국은 2014년부터 전기자동차 보급이 빠르게 증가하고 있다. 영국 정부는 2040년부터 내연기관 차량의 판매를 금지하겠다는 계획을 2017년에 발표하였다. 영국의 경우에는 하이브리드 차량의 시장점유율이 전기차보다 높은 편이다. 표 2.6과 같이 PHEV는 2,500파운드, BEV는 4,500파운드의 구매보조금을 지원하고 있으며 등록세, 법인세, 자동차세 등에 대한 면세 혜택이 있다. 또한 주차 및 충전시설에 인센티브를 제공해 전기자동차 보급 확대를 추진하고 있다(Jeon, 2017).

표 2.6 영국의 전기자동차 지원제도(Jeon, 2017)

정책	세부 사항
구매 보조금	<ul style="list-style-type: none"> · PHEV: 2,500파운드 · BEV: 4,500파운드
등록세	<ul style="list-style-type: none"> · PHEV: 감면 · BEV: 면제
자동차세	<ul style="list-style-type: none"> · BEV: 면제
법인세	<ul style="list-style-type: none"> · 세금 감면 · 전기차 충전시설 감면
지역 인센티브	<ul style="list-style-type: none"> · 혼잡비용 면제 · 주차요금 면제
인프라 인센티브	<ul style="list-style-type: none"> · 가정용 충전기: 500파운드 · 전기차 충전시설에 설치 비용 지원

(3) 독일

2016년 독일은 PHEV 13,383대, BEV 11,243대를 보급하였다. 2009년 발표한 국가 전기자동차 개발 계획(National Electromobility Development Plan)에서 2020년까지 전기자동차 100만 대 보급을 목표로 설정하고 기술개발 및 보급 확대를 위한 다양한 세부 정책을 수립하였다. 또한 2010년 5월 3일 국가 전기자동차 플랫폼을 구축하고, 산업계, 과학계 등 다양한 이해관계자로 구성된 “전기자동차 창구를 마련하였고, 2014년까지 연구개발(R&D) 집중 지원 및 표준화 등의 기반을 구축하였다.

독일 역시 다른 국가들과 마찬가지로 표 2.7과 같이 전기자동차 기술 및 시장이 일정 수준에 도달하기 전에는 차량 소유 비용이 내연기관 차량에 비해 높은 것을 감안하

여 BEV에 4,000유로, PHEV에 3,000유로의 보조금을 지원하고 있다. 다만 이러한 보조금은 6만 유로 이하의 차량에 대해서만 지급하며 고급 차량은 제외하였다(Jeon, 2017).

표 2.7 독일의 전기자동차 지원제도(Jeon, 2017)

정책	세부 사항
구매 보조금	<ul style="list-style-type: none"> • PHEV: 3,000유로, • BEV: 4,000유로
자동차세	<ul style="list-style-type: none"> • 5~10년 세금 면제
법인세	<ul style="list-style-type: none"> • 법인 차량에 세금 면제
기타 인센티브	<ul style="list-style-type: none"> • 전기버스 전기요금 감면
지역 인센티브	<ul style="list-style-type: none"> • 전용주차구역 제공, 주차요금 면제

(4) 덴마크

덴마크 정부는 전기차 구매 시 세금을 전액 면제하는 파격적인 정책을 2010년대 초반부터 지속하여 표 2.8과 같은 지원제도를 운영하고 있다. (Jeon, 2017).

표 2.8 덴마크의 전기자동차 지원제도(Jeon, 2017)

정책	세부사항
구매 보조금	<ul style="list-style-type: none"> • 차량 구매시 최대 15,000DKK 지원
등록세	<ul style="list-style-type: none"> • 등록세 면제(FCEV) • BEV 40%(내연기관 차량은 150%)
법인세	<ul style="list-style-type: none"> • 충전사업자의 경우 전력세를 1 DKK/kWh 보조
지역	<ul style="list-style-type: none"> • 주차요금 할인
인프라	<ul style="list-style-type: none"> • 가정용 충전기 최대 18,000DKK 세금 환급 • 공영충전소 충전요금 최대 50% 감면

(5) 프랑스

프랑스의 전기자동차 보급은 2012년부터 증가하여 최근에는 표 2.9와 같은 지원 정책을 통해 점진적으로 성장하고 있다. 프랑스의 전기자동차 지원정책은 미국과 유럽 내 이웃 국가와 대체적으로 유사하다. 차량의 단위배출량을 기준으로 차등적으로 구매 보조금을 지원하고 있으며, 도로 이용요금과 차량 등록세 등 세제혜택을 지원하고 있다. 특이한 점으로 프랑스는 다른 유럽국가와 다르게 PHEV의 비중이 BEV보다 높은 시장 점유율을 보이는데, 이러한 이유는 BEV보다 PHEV에 대하여 상대적으로 높은 인센티브를 제공하고 있기 때문으로 분석된다.

표 2.9 프랑스의 전기자동차 지원제도(Jeon, 2017)

정책	세부사항
구매 보조금	<ul style="list-style-type: none"> · 단위배출량 기준에 따라 6,000유로(CO₂ 20g/km 이하), 1,000유로(CO₂ 21~60g/km) 지원 · PHEV: 2,500유로, BEV: 4,000유로 지원
세제 혜택	<ul style="list-style-type: none"> · 도로이용 요금 혜택 제공
법인세	<ul style="list-style-type: none"> · 법인 차량의 경우 법인 차량 세금 면제

다. 미국

미국은 ‘그린뉴딜정책’이 발표되면서 전기자동차에 대하여 관심이 고조되었다. 2009~2018년 기간동안 전기자동차를 포함한 녹색 산업 전반의 기술 개발을 위해 1,500억 달러를 투자하였다. 미국 연방정부는 2015년까지 하이브리드 자동차 및 바이오 에탄올 차량을 100만 대 이상 보급하기로 하고, 친환경 차량 구매 시 보조금을 세액공제 및 리베이트를 제공하고 있다. 전기자동차의 리베이트는 연방정부에서 최대 7,500달러를 지원하고, 표 2.10과 같이 주별로 보조금을 차별적으로 지급하고있다. 이외에 주 정부 차원의 인센티브로 라이선스 비용 감면, 카풀 전용차선 이용, 완속 충전기 리베이트 등 다양한 지원정책을 시행하고 있다.

표 2.10 미국 주 정부별 지원정책(Jeon, 2017)

주(State)	지원정책
Arizona	<ul style="list-style-type: none"> · 라이선스 비용 감면 · 카풀 전용차선 이용 · 전기자동차 충전 요금 지원
California	<ul style="list-style-type: none"> · 2,500달러 지원
Delaware	<ul style="list-style-type: none"> · 1,000달러 지원
Colorado	<ul style="list-style-type: none"> · 5,000달러 세액 공제
Hawaii	<ul style="list-style-type: none"> · 카풀 전용차선 이용 · 전기자동차 충전 요금 지원
Louisiana	<ul style="list-style-type: none"> · 2,500달러 소득 세액 공제
Maryland	<ul style="list-style-type: none"> · 3,000달러 특별소비세 공제 · 충전시설 설치 비용 700달러 지원
Massachusetts	<ul style="list-style-type: none"> · 1,000달러 지원
Nevada	<ul style="list-style-type: none"> · 카풀 전용차선 이용 · 충전요금 인하
New Jersey	<ul style="list-style-type: none"> · 비과세(Sales tax exempt)
New York	<ul style="list-style-type: none"> · 500달러 지원
Oregon	<ul style="list-style-type: none"> · (완속 충전기) 750달러 지원
Pennsylvania	<ul style="list-style-type: none"> · 1,750달러 지원
Rhode Island	<ul style="list-style-type: none"> · 2,500달러 지원

2.2 디지털 운행기록계

2.2.1 디지털 운행기록계의 개념

디지털 운행기록계(Digital Tachograph, DTG)는 실시간으로 자동차의 운행 관련된 속도, 가속도, 위치, 거리, 엔진 회전수, 위치 등을 자동적으로 데이터베이스 형식으로 저장하는 장치이다. 우리나라에서는 "교통안전법" 제 55조에 의거하여 해당 차량(여객자동차, 화물자동차)은 국토해양부령으로 정하는 기준에 적합한 운행 기록 장치를 장착해야 한다(Korea transportation safety authority, 2021). 위와 같은 디지털 운행기록계의 설치 목적은 차량의 위치, 차량의 상태, 운행 내용을 실시간으로 수집, 분석하여, 차량 관리, 운전자 관리, 노선 관리 등 차량과 관련된 전반적인 운영을 관리하여 안전운행을 유도한다. DTG는 표 2.11에 기술되어 있는 항목들을 초 단위로 수집하고 초당 하나의 문자열로 저장하는데 문자열에서 각 수집 항목의 길이는 표 2.12에 기술되어 있다.

DTG의 기계적 구조를 살펴보면, 운행 자료에 관한 신호를 발생하는 센서, 신호를 변환하는 증폭 장치, 시간 신호를 발생하는 타이머, 각종 신호를 처리하여 필요한 정보로 변환하는 연산 장치, 정보를 가시화하는 표시 장치, 운행 자료를 저장하는 기억 장치, 전송 장치, 분석 및 출력을 하는 외부 기기로 구성된다. 국내에서는 디지털 운행기록 장치를 운전자의 위험운전 행태를 분석하여 운전자가 안전운전을 하도록 교육하고 지도하는 목적으로 구축된 운행기록분석시스템과 디지털 운행기록 장치의 측위 기능을 이용하여 사업용 자동차를 추적, 관제하는 기능에 주로 사용한다. 교통안전공단에서는 운행기록계를 장착한 차량으로부터 자료를 분석하여 교통사고 예방을 하고자 운행기록 분석시스템을 구축하여 운영하고 있다. DTG를 이용한 차량 관제 서비스는 크게 차량의 위치를 포함한 차량 상태를 모니터링 및 제어하는 원격관제 서비스와 DTG가 기록한 운행기록 파일을 무선망을 통해 서버에 전송 및 관리하는 DTG 서비스로 이루어진다.

표 2.11 DTG 장치의 구성 및 기능(Ministry of government legislation, 2021a)

장치	기능
가. 위치추적장치	성능이 1Hz 이상일 것 GPS를 통한 위치 추적이 가능할 것
나. 기억장치	1초 단위의 데이터를 6개월 이상 기록·저장할 수 있을 것 외부에서 입력하는 데이터를 저장할 수 있을 것
다. 이동식 저장장치	기억장치에 기록·저장된 운행정보를 추출하여 이동식 저장 장치에 저장하거나 근거리 무선통신으로 전송할 수 있을 것
라. 운행상태 확인장치	사용자가 운행상태를 확인할 수 있을 것 사용자 정보 등 필요한 정보를 입력할 수 있을 것
마. 운행기록 보안장치	운행기록장치 내부 데이터가 인위적으로 변경되거나 삭제 되지 않도록 할 것 운행기록장치의 분해 여부를 확인할 수 있을 것
바. 그 밖의 장치	차량 속도의 검출이 가능할 것 기기 및 통신상태의 오류 검출이 가능할 것

표 2.12 DTG 운행기록의 배열순서(Ministry of government legislation, 2021b)

항목		자릿수	표기방법	표기시기
운행기록장치 모델명		20	오른쪽으로 정렬하고 빈칸은 '#'으로 표기	최초 사용등록
차대번호		17	영문(대문자)·아라비아숫자 전부 표기	
자동차유형		2	11: 시내버스 12: 농어촌버스 13: 마을버스 14: 시외버스 15: 고속버스 16: 전세버스 17: 특수여객자동차 21: 일반택시 22: 개인택시 31: 일반화물자동차 32: 개별화물자동차 41: 비사업용자동차 51: 어린이통학버스 98: 기타1 99: 기타2	
자동차 등록번호		12	자동차등록번호 전부 표기 (한글 하나에 두 자리 차지, 빈칸은 '#'으로 표기)	
운송사업자 등록번호		10	사업자등록번호 전부 표기 (XXXXYYZZZZZ)	
운전자코드		18	운전자의 자격증번호로 빈칸은 '#'으로 표기하고 중간자 '-'는 생략	자동차 운송사업자설정
주행거리 (km)	일일주행거리	4	00시부터 24시까지 주행한 거리 (범위: 0000~9999)	실시간
	누적주행거리	7	최초등록일로부터 누적한 거리 (범위: 00000000~99999999)	
정보발생 일시		14	YYMMDDhhmmssss (연/월/일/시/분/0.01초)	
차량속도(km/h)		3	범위 : 000~255	
분당 엔진회전수(RPM)		4	범위 : 0000~9999	
브레이크 신호		1	범위: 0(off) 또는 1(on)	
차량위치 (GPS X, Y 좌표)	X	9	10진수로 표기 (예:127.123456*1000000 → 127123456)	
	Y	9		
위성항법장치(GPS) 방위각		3	범위: 0~360 (0~360°에서 1°를 1로 표현)	
가속도 (m/sec ²)	ΔVx	6	범위: -100.0 ~ +100.0	
	ΔVy	6		

2.2.2 디지털 운행기록계의 활용

DTG 데이터는 차량의 주행 이력을 기록한 공공 데이터로 많은 데이터와 취득이 비교적 간편한 점에서 많은 연구에 이용되고 있다. 표 2.13에 기술되어 있는 운행기록 분석시스템의 위험운전행동기준 정의에 따라 실시간 위험운전행동 분석을 통한 위험운전행동을 판단한다. 구체적인 절차는 과속, 장기 과속, 급가속, 급출발, 급감속, 급제동, 급정지, 앞지르기, 진로 변경, 급회전 등 교통안전공단 운행기록 분석시스템에서 정의한 10대 위험 운전 행동을 기준으로 실시간 분석 및 판단을 수행한다. 위험운전행동 분석 프로세스는 정해진 시간 간격으로 반복 수행되며 분석 프로세스 시작 전에 위험 운전 비트플래그 값을 0x00으로 모두 리셋(Reset)하여 사용한다. 각각의 위험운전행동 판단 프로세스는 정해진 판단 요소별 기준의 발생 유무를 판단하여 사전에 정의된 비트플래그 형식에 맞추어 해당 비트 플래그를 결정한다. 위험운전비트 플래그는 실시간 분석되는 각각의 해당 위험운전행동 항목의 비트 플래그를 세트(1, 발생) 또는 리셋(0, 미발생)으로 정의하여 사용한다.

운행기록 분석시스템에서는 운수회사와 개인 사업자가 제출한 운행기록 자료를 기초하여 전자지도 기반의 운행궤적분석 위험운전행동분석, 실시간 위치관제 사고지점 중첩분석 주제도 등의 서비스를 제공한다. 이중 위험운전행동 분석기능은 자동차가 실제 도로의 제한속도 기준으로 정상 운행 녹색과 과속 운행 적색 등을 운행궤적에 따라 확인할 수 있으며 위험운전행동을 한 지점의 위치정보를 제공한다. 운행기록 분석시스템의 전자지도 기반 위험운전행동 분석기능에서 표출되는 위험운전행동을 한 지점의 위치정보를 누적하여 일정 횟수 이상 위험운전행동이 발생하는 지점 또는 구간을 위험도로나 위험구간으로 정의할 수 있다.

표 2.13 DTG 위험운전행동 기준(Korea Transportation Safety Authority, 2021)

위험운전행동 유형		정의
과속	과속	도로 제한속도보다 20km/h 초과 운행한 경우
	장기 과속	도로 제한속도보다 20km/h 초과해서 3분 이상 운행한 경우
급가속	급가속	초당 11km/h~25km/h 이하 가속 운행한 경우
	급출발	정지 상태에서 출발하여 초당 11km/h~25km/h 이하 가속 운행한 경우
급감속	급감속	초당 7.5km/h~40km/h 이하 감속 운행한 경우
	급정지	초당 7.5km/h~40km/h 이하 감소하여 속도가 “0”이 된 경우
급회전	급좌회전	속도가 15km/h 이상이고 2초 안에 좌측(60°~120° 범위)으로 급회전한 경우

차량의 운행기록 데이터를 활용한 국내 연구를 살펴보면 Lee & Kim(2001)의 연구에서는 광주광역시 법인 택시의 1주일간 영업 내역이 기록된 Tachometer 데이터를 이용하여 법인 택시의 운행 특성을 분석하였다. 마찬가지로 Hwang & Yoon(2006)은 택시 Tachometer 자료를 통해 법인택시와 개인택시의 운영실태를 비교, 분석하였다. Shim et al.(2009)은 DTG 데이터를 통해 차량의 운행패턴을 분석하고 이를 기반으로 표준시험모드인 NIER-07 모드를 이용하여 다양한 차종의 공회전 정지 시 연료 소모량을 산정하였다. 그 결과 실제 주행하는 시내버스의 공회전 정지 실시율이 100%가 될 수 없다는 결론을 도출하였다. 이렇듯 국내에서 2010년 교통안전법을 개정하고 2011년 1월부터 사업용 차량에 대한 DTG 장비의 설치가 의무화되기 이전의 연구에서는 Tachometer 기록으로 차량의 주행행태를 분석하거나, DTG 데이터를 활용하기 위해 제한적인 규모 내에서 DTG 장비를 직접 설치하여 활용한 연구가 대부분이었다(Im & Yoo, 2015). 2011년 이후 연구를 살펴보면 Lee & Lee(2012)는 문헌조사를 통해 DTG 데이터를 활용하여 위험운전, 교통사고, 연료 사용량의 변화 추이, 비용 절감 효과와 사회적 편익 증가 효과를 분석항목으로 선정하고 정량적으로 DTG 장치 설치로

인한 효과를 분석하였다.

Zheng & Lee(2013)는 택시의 운전지속시간에 따른 위험운전행태를 분석하였다. 과거의 연구에서는 개별 차량의 운행기록 데이터가 부족하거나, 실험적인 형태의 분석이 주를 이루었으나 GPS 데이터와 연동되는 DTG 자료를 활용하여 기존의 연구보다 넓은 범위에서 택시의 통행행태를 분석하였다. Choi et al.(2015)는 OBD(On Board Diagnostic) 디지털 운행기록계를 실험 차량에 설치하여 차량의 ECU 데이터와 GPS 데이터를 1초 단위로 수집하여 경사가 있는 도로에서 Eco-driving 방법을 제시하였다. Cho & Choi(2015)는 4,605대의 차량에 9개월간의 DTG 데이터를 기반으로 차량의 개별적인 주행행태와 도로의 특성을 분석하여 교통정보 커버리지를 확대하는 연구를 수행하였다. Jang et al.(2017)는 기존의 위험운전행태 연구와 다르게 차량의 RPM, 감·가속도와 같은 항목의 DTG 데이터를 활용하여 차량의 성능을 개별적으로 세분화하고, 보완자료로 활용하여 운전자의 위험운전행태를 분석하였다. Ahn & Shin(2018)은 Tachometer 정보와 GPS 정보로 분리되어있는 부산광역시의 택시 DTG 데이터를 통합하여 시·공간적으로 위치정보를 분석하여, 택시의 O-D와 통행패턴을 분석하였다. Kwon & Kim(2018)은 DTG 데이터를 활용하여 그림 2.9와 같이 각 링크별 통행량을 산출하고 서울특별시 주요 도로와 비교 분석하였다. 그 과정에서 DTG 데이터가 개별 차량 데이터로써 활용 가능성이 있다는 결론을 도출하였다.

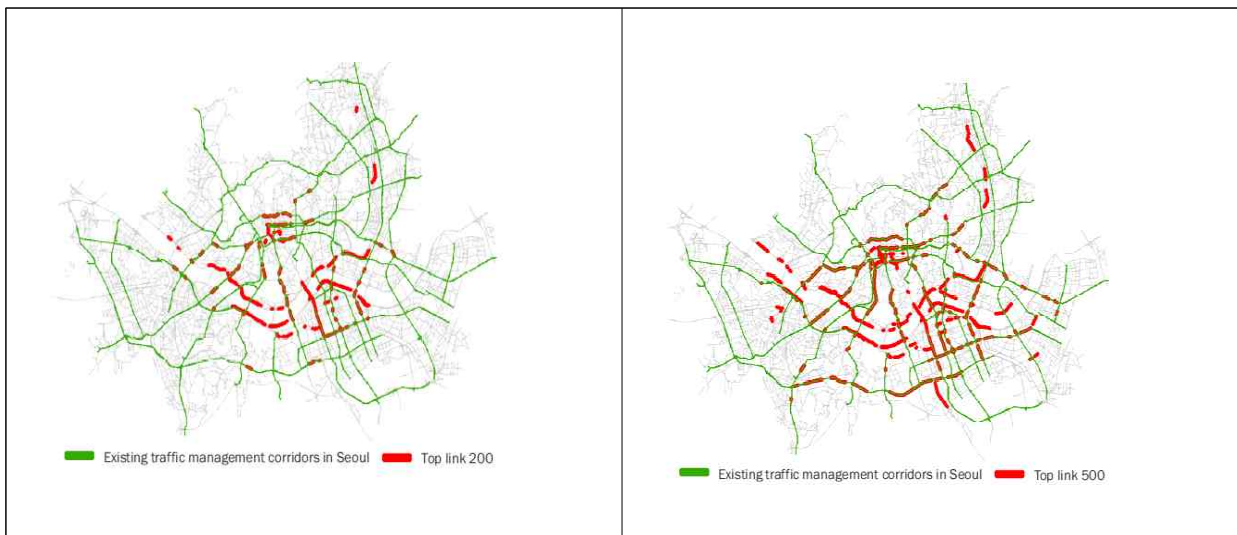


그림 2.9 서울특별시 교통량 상위 100개 링크(Kwon & Kim, 2018)

Burski & Krasowska-Kolodziej(2012)의 연구에서는 트럭의 DTG 데이터와 트럭의 화물 정보를 활용하여 화물의 적재량에 따라 변화하는 트럭의 성능을 고려한 연료 소모량을 모델링하였다. Cho and Choi(2017)는 DTG 데이터를 활용하여 차량의 운전패턴을 분석하고 미시적 연료 소모량 산정모델을 활용하여 연료 소비패턴을 추정하는 연구를 수행하였다. Felipe et al.(2015)와 Kim et al.(2017)은 전기자동차의 DTG 데이터를 통해 에너지 소비량과 주행 성능에 대한 연구를 진행하였다.

기존의 연구를 조사한 결과 대부분 DTG 데이터를 차량의 주행 이력 데이터로 활용하고 추가로 다른 데이터와 결합하여 교통의 소통, 안전, 환경 등 다양한 부문에서 효과를 산정하는 기초자료로 활용하였다.

2.3 교통류 환경영향 모델링

2.3.1 교통류 환경영향 개요

교통부문에서 사업 시행 혹은 교통정책의 영향을 환경 측면에서 평가하기 위해서는 표 2.14에서 보는 바와 같이 내연기관을 사용하는 차량이 방출하는 이산화탄소(Carbon Dioxide, CO₂), 일산화탄소(Carbon Monoxide, CO), 탄화수소(Hydrocarbon, HC), 질소산화물(Nitrogen Oxide, NO_x)의 방출량과 연료소모량을 배출계수(Emission Factor)모형을 이용하여 산출하는 것이 일반적이다. 이때 평가의 규모와 방법에 따라 표 2.15와 같이 구분하여 평가하는데, Tier 1과 Tier 2는 거시적인 규모에서 교통사업의 친환경성을 평가할 때 사용하는 방법으로 에너지 소비량 계수와 배기가스 배출계수를 차량의 주행거리에 곱하여 산출하게 된다. 이는 거시적인 방법으로서 대규모 교통사업의 시행으로 인해 발생하는 총에너지 소모량과 배기가스 배출량을 산정하는 것으로 개별 차량의 운행 특성을 감안하지 못하는 단점이 있다. Tier 3는 차량의 순간적인 속도 및 가속도와 같은 주행 이력 자료를 기반으로 순간적인 연료 소모량과 배기가스 배출량을 예측하는데 사용하는 방법이다. 이 방법은 교통시설의 물리적인 특성 및 교통류 관리 정책에 따른 환경적인 영향을 산정할 수 있어, 신호운영 최적화와 같은 소규모 교통 프로젝트의 효과를 산정하는 데 활용하는 경우가 많다. Park et al.(2016) 연구를 보면 북미지역과 유럽에서 사용되고 있는 다양한 모형들이 소개되어 있다.

표 2.14 자동차 배기가스 및 특징(Ko, 2011)

항목	특징
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> 차량의 연료가 연소하는 과정에서 생성 차량의 연료 소모량과 비례하여 생성 지구 온난화의 주요 원인
CO	<ul style="list-style-type: none"> 차량의 연료가 불완전 연소하여 생성 차량의 연료 과분사로 발생 차량의 감·가속에 민감하게 반응
HC	<ul style="list-style-type: none"> 차량의 연료가 불완전 연소하여 생성 차량으로 산소가 과다 공급하여 생성
NO _x	<ul style="list-style-type: none"> 차량 내 고온 상태에서 NO 발생 과 산소 공급 시 NO₂ 발생 HC와 반응하여 지상 내 O₃ 형성

표 2.15 배기가스 산정 방법의 종류

구분	산정 방법
Tier 1	$\sum_a [Fuel_a \cdot EF_a]$
Tier 2	$\sum_{a,b,c} [Fuel_{a,b,c} \cdot EF_{a,b,c}]$
Tier 3	$\sum_{a,b,c,d} [Distance_{a,b,c,d} \cdot EF_{a,b,c,d}] + \sum_{a,b,c,d} [C_{a,b,c,d}]$

- 여기서, *Fuel* : 연료소비량[TJ]
EF : 배출계수[kg/TJ]
Distance : 주행거리
a : 연료 종류
b : 차량 종류
c : 배출제어 기술
d : 운행조건(도로, 기후 등)

2.3.2 교통류 환경영향 평가 모델

가. MOVES

MOVES(Moter Vehicle Emission Simulator)모형은 2010년 미국환경보호청(United States Environmental Protection Agency)에서 개발한 모형으로 캘리포니아주를 제외한 미국의 전 지역에서 공식적으로 에너지 소모량과 다양한 배기가스 배출량을 예측하기 위하여 사용하고 있는 모형이다. MOVES 모형 소프트웨어는 무료로 배포되고 있으며, Java 언어를 이용하여 개발되었고 MySQL 데이터베이스 관리 프로그램을 사용하고 있다(U.S. EPA, 2009). MOVES 모형은 미국의 3,222개 카운티(Counties)에서 수집된 차량들의 자료를 기반으로 배기가스와 연료 소모량을 데이터베이스화하였으며, 1999년부터 2050년까지 예측이 가능하다. 모형의 특징을 살펴보면, 모델링이 가능한 차량은 승용차, 다양한 사이즈의 트럭, 스쿨버스를 포함한 시내, 시외버스, 모터사이클 등을 포함하고, 연료의 경우, 가솔린, 경유, CNG, LPG, 에탄올, 메탄올, 수소, 액화수소, 전기를 포함하며, 엔진의 경우 일반적인 내연기관 차량, 하이브리드, 수소전기, 전기차 등을 모델링할 수 있다. MOVES 모형에서 운행 모드는 감속 모드, 공회전 모드 2개와 표 2.16에서 보는 바와 같이 속도 및 식 2.1을 통해 VSP값(비출력값)을 계산하고, VSP값에 따라 21개의 가속 및 정속주행 모드로 구성되어있다. 테이블에서의 번호는 MOVES모형에서 사용되는 고유의 운행 모드 (operating mode)의 ID번호이다(U.S. EPA, 2009).

$$VSP = \frac{Av + Bv^2 + Cv^3}{SourceMass} + va + 9.81\sin(\text{atan}(G))v \quad (2.1)$$

- 여기서, A : 구름저항계수
 B : 회전저항계수
 C : 공기저항계수
 v : 속도
 a : 가속도
 G : 도로 경사도
 $SourceMass$: 표준화된 차량의 중량

표 2.16 속도 및 VSP에 따른 운행 모드 ID(US EPA, 2009)

VSP (kW/tonne)	속도		
	1.6km/h ≤ 속도 < 40km/h	40km/h ≤ 속도 < 80km/h	80km/h ≤ 속도
>30	16	30	40
24~30		29	39
18~24		28	38
12~18		27	37
9~12	15	25	35
6~9	14	24	
3~6	13	23	33
0~3	12	22	
<0	11	21	

나. CMEM

CMEM(Comprehensive Modal Emissions Model)모형은 University of California Riverside에서 미국 FHWA의 지원을 받아 개발한 모형으로 차량의 기계적인 특성을 모델링하여 개발된 미시적인 모형이다. 구체적으로, 차량의 순간적인 연료 소모량과 배기가스 배출량을 식 2.2에서 보는 바와 같이 연료 소모율에 따라 엔진에서 생성되는 배기가스를 우선적으로 산출한 후, 최종적으로 배기관의 정화장치를 통과함으로써 감소 되어 방출되는 배기가스량을 산정하게 된다. CMEM 모형은 차량의 적재중량, 엔진 성능, 최대견인력과 같은 차량의 특성 정보와 차량의 속도, 가속도, 도로 경사도와 같은 차량의 주행 이력과 관련된 정보를 입력자료로 이용한다(Scora & Barth, 2006).

$$E_{tailpipe} = FC \cdot EOI \cdot CPF \quad (2.2)$$

여기서, $E_{tailpipe}$: 연료 소모량, 배기관으로 방출되는 오염물질량

FC : 연료 소모율

EOI : 단위 연료 소모량에 따라 엔진에서 방출하는 오염물질 방출 비율

CPF : 배기관으로 방출되는 배기가스와 엔진에서 방출되는 배기가스의 비율

다. VT-Micro

VT-Micro 모델은 Virginia Tech에서 개발된 모형으로 MOBILE 모형의 개발에 사용된 차량시험결과를 기반으로 식 2.3과 같이 차량의 주행 이력 데이터를 이용하여 차량의 배기가스 배출량과 연료 소모량을 회귀모형으로 만든 모델이다. LDV(Light-duty Vehicle), LDT(Light-duty Trucks), HE(High Emitting Vehicle) 등으로 구분되는 13가지의 차량 모델이 존재하며 본 연구에서는 LDV3 모형을 사용하였다(Rakha et al., 2004).

$$MOE_e = \begin{cases} e^{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 L_{e,i,j} \times u^i \times a^j} & \text{for } a \geq 0 \\ e^{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 M_{e,i,j} \times u^i \times a^j} & \text{for } a < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

여기서, MOE_e : 연료 소모량, 배기가스 배출량

- u : 차량 속도
- a : 차량 가속도
- i : 속도의 거듭제곱
- j : 가속도의 거듭제곱
- $L_{e,i,j}$: 속도 i 거듭제곱
- $M_{e,i,j}$: 가속도 j 거듭제곱

라. VT-CPEM

VT-CPEM 모형은 VT-Micro 모형과 같이 Virginia Tech에서 개발된 미시적인 모형으로 내연기관차 이외에 전기자동차의 에너지 소모량을 산출하기 위해 개발된 모형이다. 모형은 차량에 작용하는 물리적인 힘에 기반으로 하며 속도와 가속도의 주행데이터, 도로의 경사 조건을 이용하여 에너지 소모량을 산정한다. 모형을 통해 단위 거리당 에너지 소모량, 소모된 순간적 파워, 회생제동으로 인해 재생성되는 에너지와 최종적인 배터리 충전상태가 계산된다. 모형의 구조는 식 2.4와 같으며 브레이크 조작으로 인한 회생제동 발전 효과를 모델링할 수 있는 장점이 있다.

$$P_W(t) = \left(ma(t) + mg \frac{C_r}{1000} (c_1 v(t) + c_2) + \frac{1}{2} \rho_{Air} A_f C_D v^2(t) + mg G \right) \cdot v(t) \quad (2.4)$$

여기서, $P_{W(t)}$: 차량에 작용하는 파워

m : 차량의 중량

$a(t)$: 차량의 가속도

g : 중력가속도

C_r, c_1, c_2 : 구름저항계수

$v(t)$: 차량의 속도

ρ_{Air} : 공기밀도

A_f : 차량 전면부 면적

C_D : 차량의 공기저항계수

G : 도로의 경사도

최종적으로 식 2.5를 통해 차량의 배터리에서 소모되는 파워를 계산하는데, 보는 바와 같이 식 2.5에서 산출되는 $P_{W(t)}$ 다양한 계수를 적용하고 차량 내 보조시스템에서 소비되는 파워(P_{AUX})를 합산한다.

$$P_B(t) = \begin{cases} \frac{P_W(t)}{\eta_D \cdot \eta_M \cdot \eta_B} + P_{AUX} & \forall P_W(t) \geq 0 \\ P_W(t) \cdot \eta_D \cdot \eta_M \cdot \eta_B \cdot \eta_{rb} + P_{AUX} & \forall P_W(t) < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

여기서, $P_{B(t)}$: 배터리에서 소모되는 파워

η_D : 동력 전달 장치의 효율

η_M : 전기모터 효율

η_B : 배터리 효율

η_{rb} : 회생제동으로 생성된 브레이크 에너지 효율

P_{AUX} : 차량 내 보조시스템에서 사용되는 파워

회생제동으로 생성된 브레이크 에너지 효율은 식 2.6을 활용하여 계산된다.

$$\eta_{rb}(t) = \left[e^{\left(\frac{0.0411}{a(t)} \right)} \right]^{-1} \quad (2.6)$$

모형의 구조를 살펴보면, 브레이크 사용에 따른 에너지 재생산은 차량이 감속하게 되면 식 2.5를 이용하여 계산된 파워가 음수가 되며 식 2.6과 같은 브레이크 에너지 효율 계수가 적용되어 배터리에 충전되는 것을 모델링하게 된다.

제 3 장 광주광역시 택시 시뮬레이션

3.1 광주광역시 택시 분석

3.1.1 광주광역시 택시 현황

2023년 8월 기준 전국 택시 대수 및 운전자현황은 표 3.1과 같이 법인회사 83,725대, 개인택시 164,621대, 전체 248,346대가 등록되어 있으며, 그림 3.1과 같이 전체 택시 면허 중 개인택시가 약 66%, 법인 택시가 약 34%로 분석되었다. 광주광역시 택시 운행 현황은 75곳의 법인회사에서 2,633명의 운전자와 택시 면허 3,334대가 등록되어 있으며, 개인택시는 4,785대가 운행 중으로 총 택시 면허는 8,119대이며 7,418명의 운전자가 등록되어 있다(Korea national joint conference of taxi association, 2023). 택시 운행 형태를 보면 “택시제도 운영기준에 관한 업무처리 요령” 제 9조 1항에 따라 택시는 부제를 두어 정기적으로 운휴하고 있으나, 제 9조 3항에 따라 전기자동차 또는 수소 전기자동차를 이용하는 택시에 대해서는 부제를 적용하지 않고 있다. 따라서 광주광역시에 법인 택시 6부제, 개인택시 3부제로 운영 중이며 법인 택시 2,633명, 개인택시 4,785명의 운전자를 택시 부제를 적용하면 하루 평균 5,624대가 운행하는 것으로 판단된다.

표 3.1 전국 택시 대수 및 운전자현황(Korea national joint conference of taxi association, 2023b)

구분	법인 택시			개인택시 면허 대수	전체 면허 대수
	업체 수	면허 대수	운전자 수		
서울	254	22,603	20,150	49,105	71,708
부산	95	9,729	5,706	13,822	23,551
대구	85	5,564	3,548	10,042	15,706
인천	60	5,385	4,399	8,783	14,348
광주	75	3,334	2,633	4,785	8,119
대전	76	3,312	2,536	5,332	8,644
울산	42	2,068	1,715	3,610	5,678

(표계속)

구분	법인 택시			개인택시 면허 대수	전체 면허 대수
	업체 수	면허 대수	운전자 수		
경기	190	10,601	10,549	27,335	37,936
강원	99	2,642	2,447	4,746	7,388
충북	54	2,356	1,734	4,308	6,664
충남	70	2,100	2,332	4,105	6,205
세종	5	134	161	292	426
전북	87	2,729	2,178	5,617	8,346
전남	231	2,669	2,580	3,799	6,468
경북	72	2,950	2,310	6,726	9,676
경남	117	4,005	4,176	8,161	12,166
제주	34	1,444	1,267	3,874	5,318
계	1,646	83,725	70,421	164,621	248,346

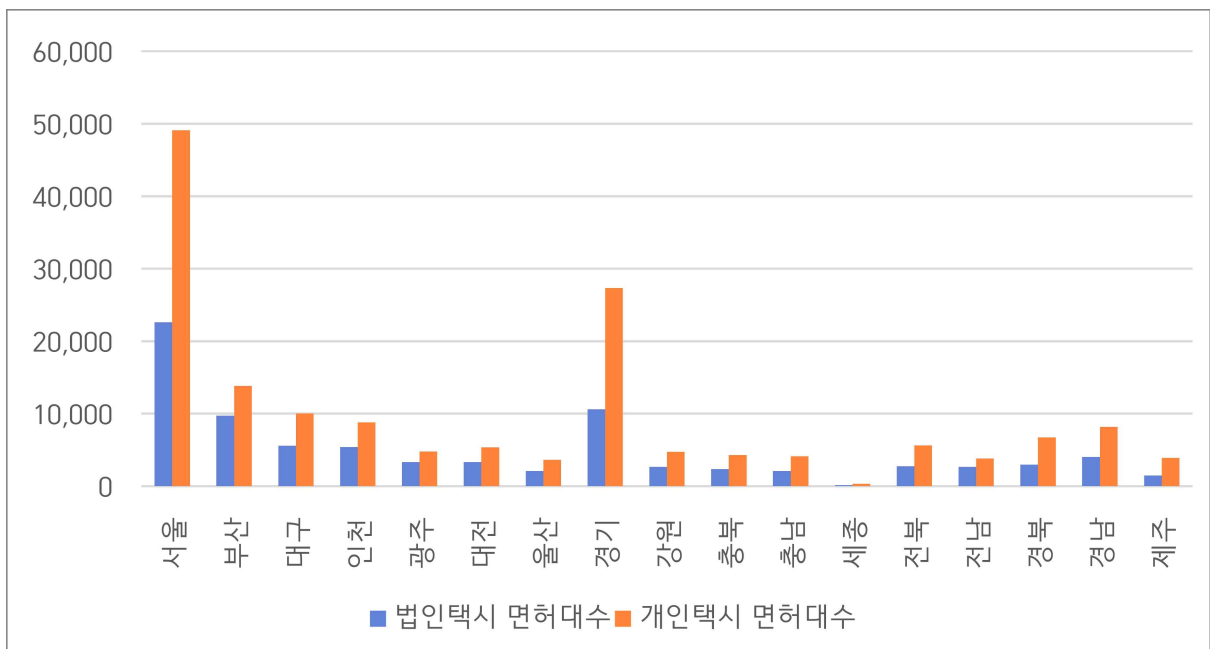


그림 3.1 전국 택시 면허대수 비교

3.1.2 광주광역시 택시 운행 특성

본 연구에서 활용된 택시 DTG 데이터는 2016년 9월 1일~9월 7일까지 1주일 동안 광주광역시에서 운행된 택시들의 DTG 데이터를 수집하였으며, DTG 데이터 내 자동차 유형 및 운송사업자 등록번호를 이용하여 개별 택시들의 하루 단위 기록을 표 3.2와 같이 구분하여 분석에 활용하였다. 2016년도 택시 등록 대수는 표 3.3과 같이 8,204대로 2023년 8,119대와 비교하면 85대(약 1.04%)의 차이가 발생하였다. 이를 통해 2023년 택시 운행패턴이 2016년 택시 운행패턴과 차이가 크지 않을 것이라고 가정하고 DTG 데이터를 활용하였다.

표 3.2 광주광역시 택시 DTG 데이터 Sample

날짜	회사번호	VIN	시간	주행거리	총주행거리	속도	RPM	브레이크	경도	위도	방위각	가속도X	가속도Y	회사명
20160901	17744	2A8822DA	12340000	60	193504	0	0	0	126.8975	35.12209	0	1.4	-0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12341000	60	193504	0	0	0	126.8975	35.12211	0	1.5	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12342000	60	193504	0	0	0	126.8976	35.12213	0	1.5	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12343000	60	193504	0	0	0	126.8976	35.12214	0	1.5	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12344000	60	193504	0	0	0	126.8976	35.12215	0	1.5	-0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12345000	60	193504	0	0	0	126.8976	35.12216	0	1.4	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12350000	60	193504	0	0	0	126.8977	35.12218	0	1.4	-0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12351000	60	193504	0	0	0	126.8977	35.12219	0	1.4	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12352000	60	193504	0	0	0	126.8977	35.12221	0	1.4	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12353000	60	193504	0	0	0	126.8977	35.12224	0	1.4	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12354000	60	193504	0	0	0	126.8977	35.12226	0	1.5	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12360000	60	193504	0	0	0	126.8979	35.12233	0	1.5	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12361000	60	193504	0	0	0	126.898	35.12238	0	1.4	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12362000	60	193504	0	0	0	126.898	35.1224	0	1.4	0.3	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12363000	60	193504	0	0	0	126.898	35.12239	0	1.4	0.5	OO콜택시
20160901	17744	2A8822DA	12364000	60	193504	0	0	0	126.8978	35.12235	0	1.4	0.5	OO콜택시

표 3.3 광주광역시 연도별 택시 면허 대수(Gwangju metropolitan city traffic department, 2023a)

년도	택시 면허대수		
	법인회사	개인택시	합계
2015	3,407	4,801	8,208
2016	3,407	4,797	8,204
2017	3,407	4,797	8,204
2018	3,377	4,794	8,171
2019	3,377	4,792	8,169
2020	3,364	4,789	8,153
2021	3,364	4,789	8,153
2022	3,364	4,789	8,153
2023	3,334	4,745	8,119

택시들의 운행 특성을 분석하기 위해서 택시들의 운행 특성값들을 표 3.4과 같이 요일별로 평균과 표준편차로 나타내었다. 일요일과 월요일이 운행 시간이 가장 짧은 9.5시간이었으며 토요일이 11.2시간으로 가장 운행 시간이 긴 것으로 분석되었다. 일 주행거리 또한 운행 시간과 비슷한 패턴을 보였으며 토요일이 265km로 가장 주행거리가 높은 것으로 나타났다. 반면 공회전 시간은 일요일이 3.2시간으로 가장 짧았으며 평균속도가 27km/h로 가장 높은 것으로 나타났다.

표 3.4 택시 DTG 주행데이터 통계

요일	데이터 수	운행 시간(hour)		일 주행거리(km)		공회전 시간(hour)		평균속도(km/h)	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
월	189	9.5	6.0	204	126	3.2	2.2	22.7	6.9
화	200	9.7	5.8	213	128	3.2	2.1	23.0	6.2
수	198	10.0	6.2	225	139	3.2	2.1	23.8	7.4
목	194	10.1	6.2	221	141	3.3	2.2	23.7	7.1
금	198	10.9	6.2	246	137	3.5	2.2	24.6	7.1
토	198	11.2	6.2	265	142	3.3	2.0	26.1	7.2
일	192	9.5	5.8	241	146	2.8	1.9	27.0	7.0
합계	1,369	10.1	6.1	231	138	3.2	2.1	24.4	7.1

택시의 운행 특성값들의 분포를 나타내면 그림 3.2~그림 3.5와 같다. 하루 운행 시간 분포에 여러 개의 정점(Peak)이 존재하고 있어 3개의 정규분포로 구성된 혼합분포(Mixture distribution)와 같은 모습을 보이며, 하루 통행 거리와 공회전 시간 분포에서도 1개 이상의 정점이 있는 것을 알 수 있었다. 이는 택시의 차량 부제 운행 등과 같은 요인에 의한 것으로 판단된다.

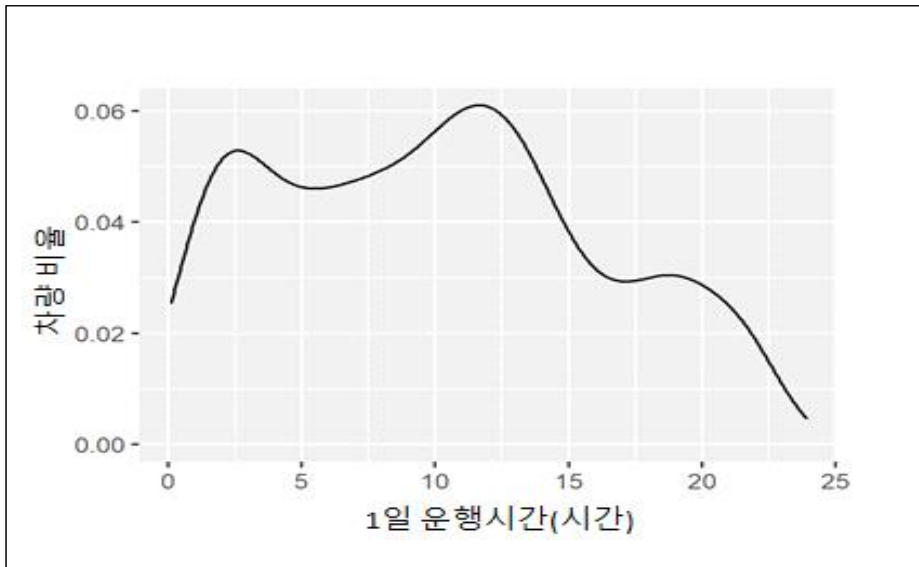


그림 3.2 광주광역시 택시 1일 운행 시간 분포

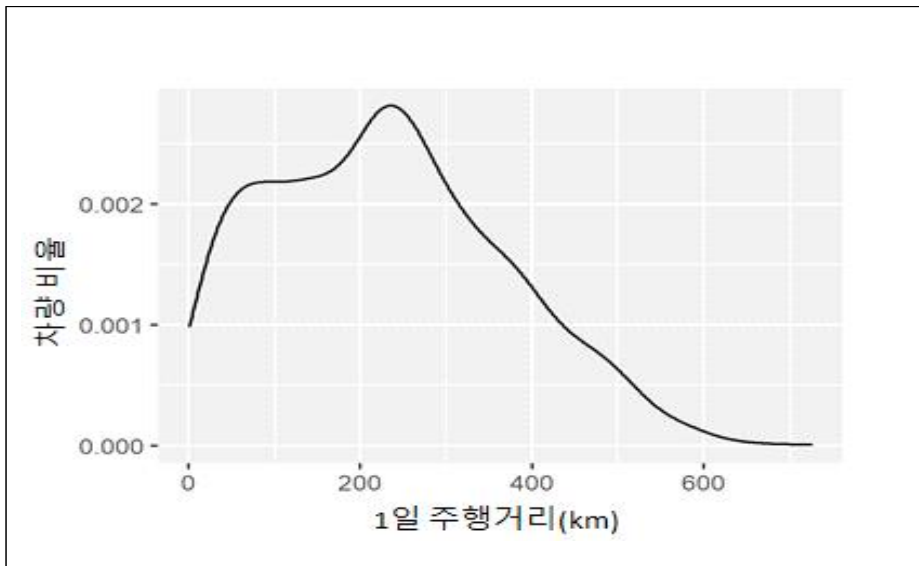


그림 3.3 광주광역시 택시 1일 주행거리 분포

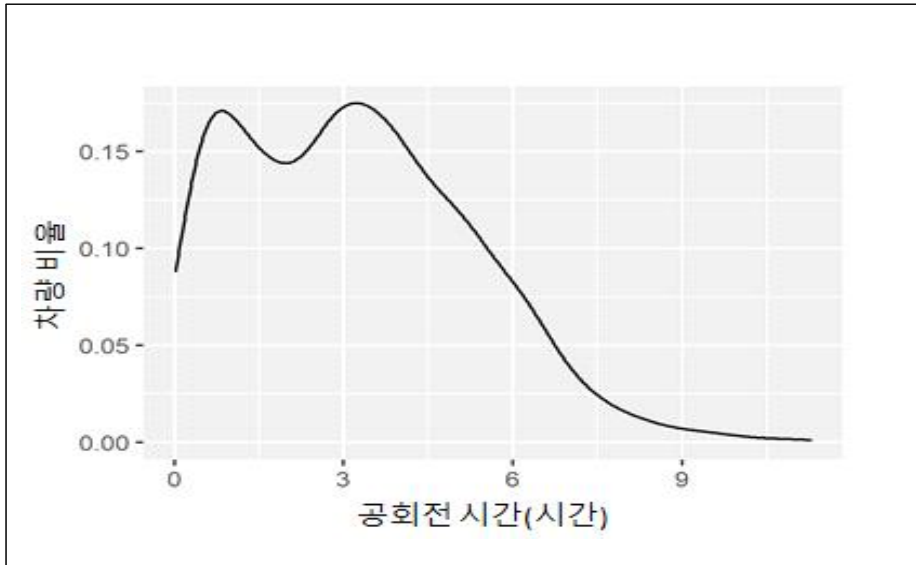


그림 3.4 광주광역시 택시 1일 공회전 시간 분포

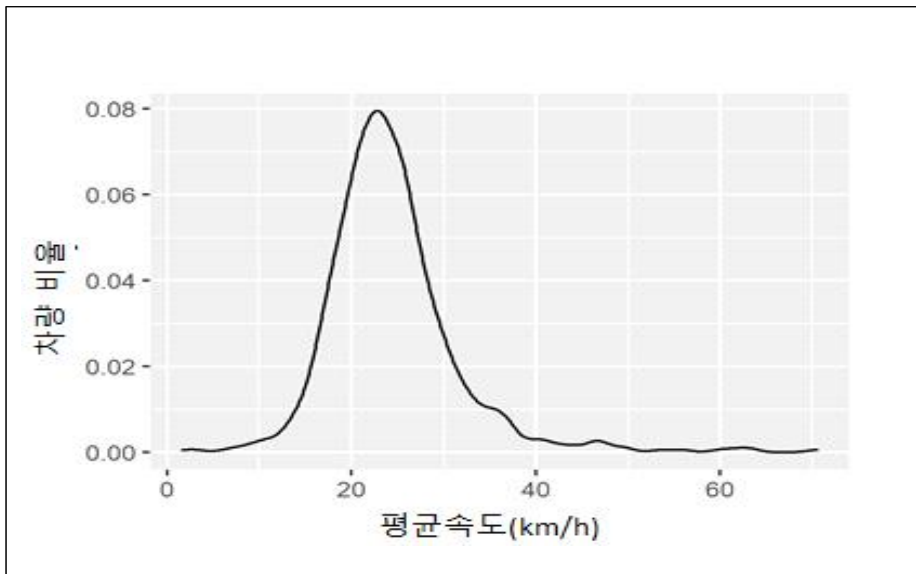


그림 3.5 광주광역시 택시 1일 평균속도 분포

그림 3.6은 택시 DTG 데이터 중 임의로 추출한 A 택시와 B 택시의 하루 동안 운행한 기록을 지도상에 나타낸 것이다. A 택시는 2016년 9월 1일 하루 동안 총 9.8시간 운행한 기록으로 총 100km를 운행하고 공회전을 3.0시간 동안 한 것으로 분석되었으며, B 택시는 2016년 9월 4일 하루 동안 총 11.5시간 운행하는 동안 235km를 이동하고 공회전을 2.1시간 동안 하는 것으로 분석되었다. 택시에서 발생한 공회전은 승객을 기다리는 경우와 교통정체 혹은 교통신호에 의해 발생한 것이다. 택시들의 순간 속도

와 가속도를 입력변수로 하여 다음 장에서 설명될 시뮬레이션으로 분석하면 A 택시의 LPG 소모량은 13.57L이며, B 택시는 27.79L를 소모하는 것으로 산정되었다. 만약 택시들이 전기자동차라면 A 택시는 16.75kW/h, B 택시는 49.82kW/h를 소모하는 것으로 분석되었다.

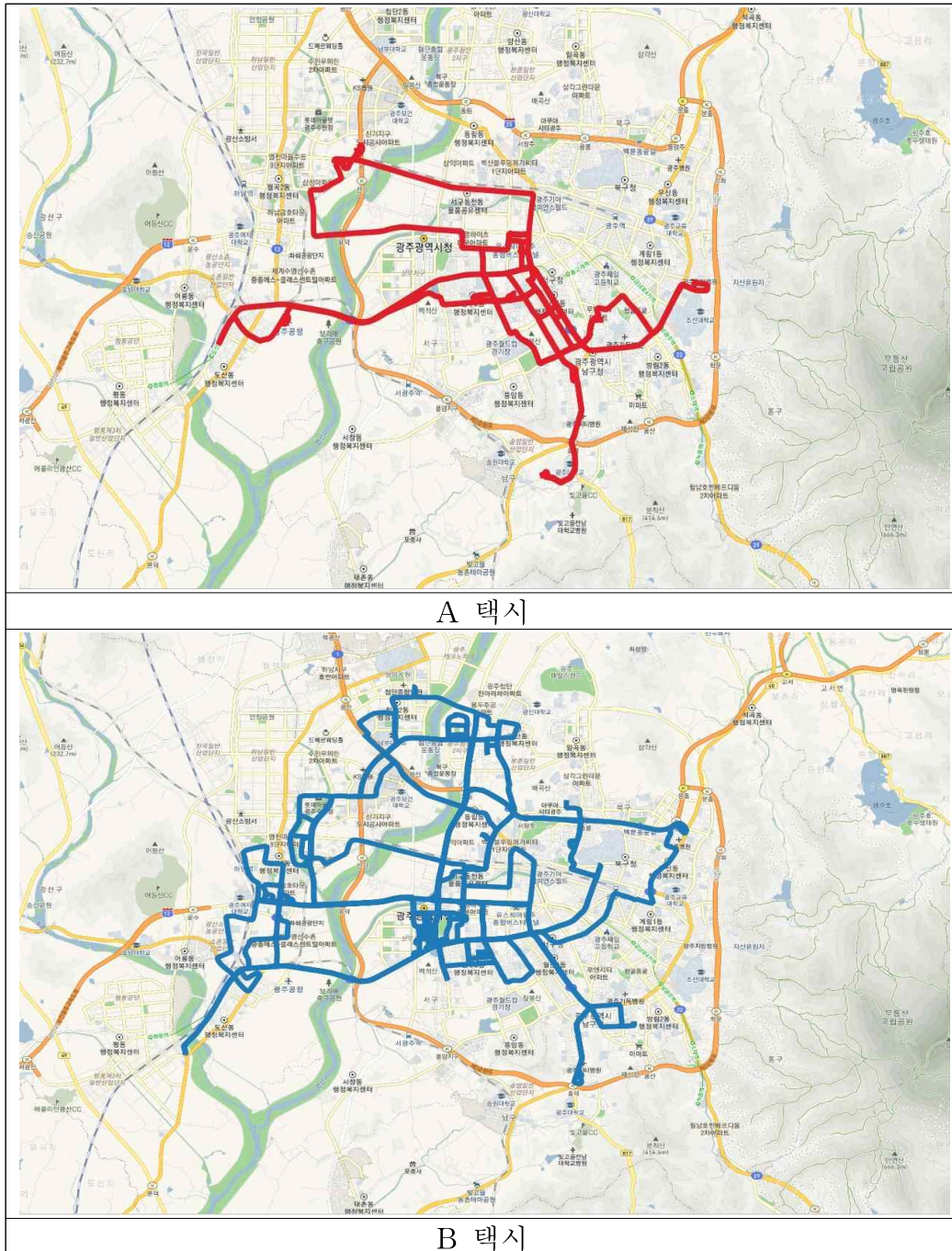


그림 3.6 택시 DTG 주행 이력 예시

3.1.3 전기자동차 택시 증가율 예측

광주광역시 전기자동차는 표 3.5과 그림같이 2016년부터 꾸준히 증가하여 2023년 298,633대로 평균 증가율은 73.7%로 나타났다. 이러한 추세는 그림 3.7과 같으며 식 3.1과 같이 $R^2=0.98$ 인 회귀식으로 표현할 수 있다. 회귀식을 이용하여 본 연구의 주요 변수인 전기 택시를 예측하면 큰 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 전기 택시의 증가율을 광주광역시의 전기자동차 보조금 규모를 토대로 예측하였다.

$$y = 7328.7x^2 - 14394x + 23625 \quad (3.1)$$

여기서, x : 기준 연도(2016) 대비 증가 연도
 y : 전기자동차 예측 대수

표 3.5 광주광역시 전기자동차 증가 추이(Gwangju metropolitan city, 2023a)

구 분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년
전기차(대)	10,855	25,108	55,756	89,918	134,962	173,147	298,633
증가율(%)	-	131.30	122.06	61.27	50.09	28.29	72.47
	73.75						



그림 3.7 광주광역시 전기자동차 증가 추이(Gwangju Metropolitan City, 2023a)

전기자동차 택시의 전환율을 예측하기 위하여 광주광역시가 전기자동차에 지원하는 보조금의 규모를 조사하였다. 자세히 살펴보면 2023년 광주광역시 전기 택시 보조금 지원 규모는 1년에 220대 택시에 보조금을 지급하는 계획을 세우고 있으며, 이러한 계획을 100% 달성하는 것을 가정하여 매년 220대 LPG 택시가 전기 택시로 전환할 것으로 예측하였다(Gwangju metropolitan city, 2023b). 이때, 광주광역시에서 지급하고 있는 보조금은 개인택시에 해당하므로, 법인 택시는 현황을 유지하며, 개인택시가 전기자동차로 전환하는 것으로 예측하였다.

또한 택시부제에 대한 사항으로 광주광역시에 운행 중인 법인 택시의 경우 6부제로 운행하고 개인택시의 경우 3부제로 운영하고 있으나 전기자동차 택시의 경우 “택시제도 운영기준에 관한 업무처리 요령” 제 9조 3항에 따라 전기자동차 또는 수소 전기자동차를 이용하는 택시에 대해서는 부제를 적용받지 않고 있다. 다만 현황을 고려하여 전기자동차의 경우 6부제 또는 7부제로 운행하는 것으로 적용하여 1일 택시 운행 대수 산정 시 적용하였다(Ministry of government legislation, 2023a).

표 3.6은 2023년 광주광역시의 택시 현황과 그 중 전기자동차의 대수를 나타낸 표로 광주광역시에서 운행 중인 58%의 전기 택시가 개인택시인 점을 고려하면 장래에도 이러한 경향이 지속되는 것으로 가정하였으며, 이는 궁극적으로 3부제로 운행 중인 개인택시가 전기자동차로 전환함에 따라 부제에 상관없이 자유롭게 운행할 수 있게 되어 하루 운행하는 택시의 규모가 증가하는 것으로 예상된다.

표 3.7은 총운행 대수를 산정한 결과값으로 예를 들어 살펴보면, 2030년 전기자동차 택시는 2,258대이며, LPG를 사용하는 개인택시는 2,527대, LPG 법인 택시는 2,633대이다. 이를 기준으로 하루 동안 운행하는 택시의 수를 계산해 보면, 전기자동차 택시의 경우 6부제로 운행하면 1,882대, 7부제로 운행하면 1,936대이며, LPG 개인택시의 경우 3부제로 운행하므로 1,684대, LPG 법인 택시의 경우 6부제로 운행하여 2,195대로 6부제와 7부제의 총운행 대수는 각각 5,761대와 5,814대로 산정되었다.

본 연구에서는 전기자동차 택시의 경우 6부제 혹은 7부제로 운행하였을 때의 하루 운행하는 택시의 대수를 보여주고 있는데, 2044년에 모든 LPG 개인택시가 전기자동차 택시로 전환될 것으로 예측되어 분석 연도에 포함하였다.

표 3.6 광주광역시 택시 현황(Gwangju metropolitan city traffic department, 2023a)

구분	면허 대수(대)	전기차(대)	비고
법인택시	3,334	36	1.07%
개인택시	4,785	682	14.25%
계	8,149	718	8.81

표 3.7 장래 1일 택시 총운행 대수 예측

연도	전기 택시 대수	LPG 택시 대수		1일 택시 운행 대수	
		개인택시	법인택시	6-부제	7-부제
2023	718	4,067	2,633	5,504	5,521
2025	1,158	3,627	2,633	5,577	5,605
2030	2,258	2,527	2,633	5,761	5,814
2035	3,358	1,427	2,633	5,944	6,024
2040	4,458	327	2,633	6,127	6,233
2041	4,678	107	2,633	6,164	6,275
2042	4,785	0	2,633	6,182	6,296

3.2 광주광역시 택시 시뮬레이션 설정

3.2.1 광주광역시 택시 시뮬레이션 개요

기존의 LPG 연료로 운행되고 있는 택시들이 전기자동차로 전환되었을 때의 영향을 정량적으로 산출하기 위해 2가지의 시나리오로 구분하여 분석을 수행하였다. 첫 번째 시나리오는 전기자동차 택시의 양적 변화에 따른 영향을 산정하기 위하여 전체 택시 중 전기자동차의 비율의 변화에 따른 영향을 산출하였다. 두 번째 시나리오는 광주광역시 전기자동차의 전환을 시계열로 분석하였다. 그 과정에서 광주광역시의 보조금 규모를 통해 연평균 전기자동차 전환율을 산정하고, 점진적으로 전기자동차로 전환하는 택시의 영향을 분석하였다.

시나리오별로 전기자동차의 전환율을 변화시키면서 그림 3.8과 같이 시뮬레이션을 수행하였다. 구체적으로 전기자동차 점유율에 따라 전기자동차 택시와 LPG 택시 각각의 난수를 생성하고, 광주광역시 DTG 데이터 세트에 적용하여 무작위적으로 택시들의 주행 이력을 생성하였다. 생성된 주행 이력을 바탕으로 각 차량에 맞는 교통류 환경영향 평가 모델을 적용하여 에너지 소모량과 CO₂ 배출량을 산정하였다.

최종적으로 LPG 택시의 LPG 소모량에 따른 CO₂ 배출량과 전기자동차 택시가 사용한 전력량에 따른 CO₂eq를 산출하여 전기자동차 점유율 변화에 따른 영향을 친환경성 측면에서 분석하였다. 또한 각각의 택시들이 소모한 에너지 비용과 CO₂, CO₂eq 배출에 대한 탄소 배출 비용을 합산하여 총비용을 산정해 경제적 관점에서 종합적으로 분석하였다. 각 시나리오는 매번 새로운 난수들을 생성하여 총 50회 반복적으로 시뮬레이션을 수행하고 이를 평균하여 결과를 산출하였다.

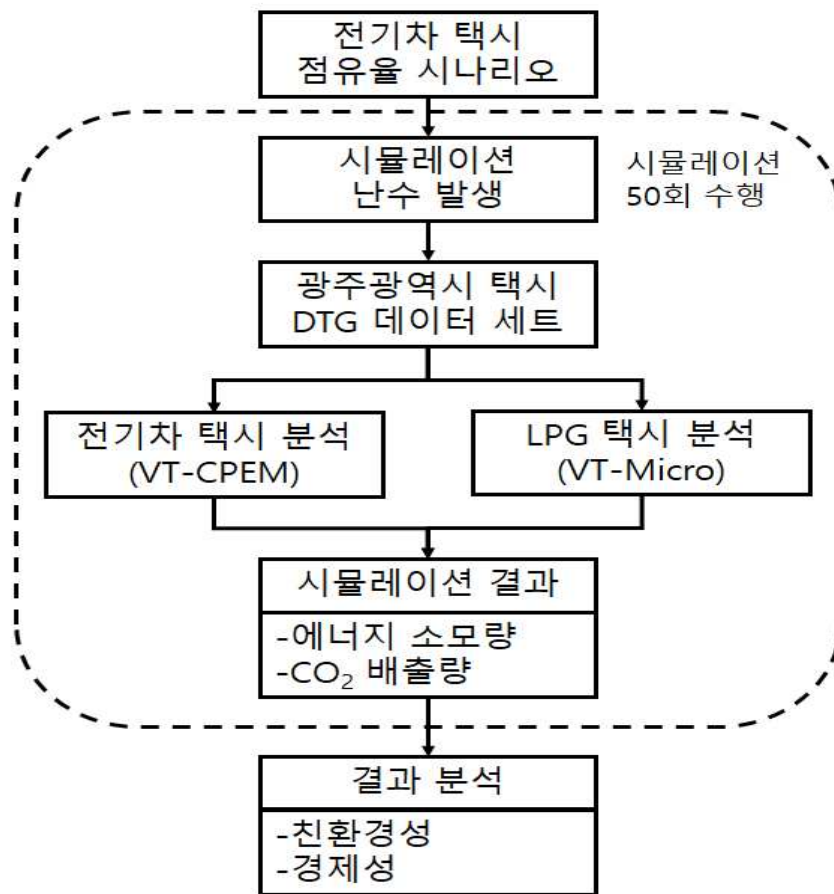


그림 3.8 시뮬레이션 다이어그램

3.2.2 광주광역시 택시 시뮬레이션 평가 방법

2023년 현재 광주광역시에 운행 중인 법인회사 택시 중 전기자동차는 이전 3.1.3절에서 제시한 표 3.7과 같이 36대이며, 개인택시의 전기자동차는 682대로 718대가 운행 중인 것으로 조사되었다. 등록 대수 기준으로 718대의 전기자동차가 운행하는 것으로 가정하였고, 부제를 적용한 운행 대수 5,624대 중 약 12% 수준으로 분석되었으며 이를 2023년 현황으로 분석하였다.

연료 사용에 따른 비용을 산출하기 위하여 전기자동차 택시의 전기 충전 비용은 표 3.8과 표 3.9를 통해 kWh당 324.4원을 적용하였으며(Korea electric power corporation, 2023), LPG 연료비용은 표 3.10과 같이 조사 시점 기준 5월 가격인 리터 당 990.04원을 적용하였다(Korea national joint conference of taxi association 2023a). 또한 CO₂ 배출에 따른 비용은 그림 3.9에서 보는 바와 같이 2023년 5월 한국거래소 탄소배출권 평균 가격인 1톤당 12,375원을 적용하였으며(Korea exchange [KRX]), 2023), 전기 사용에 따른 CO₂eq는 “온실가스 배출거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침” [별표 6] <표69>의 국가 고유 전력 배출계수(‘14~‘16년 평균)에 지구온난화지수를 반영한 전력 배출계수 0.433tCO₂/MWh를 적용하여 산출하였다(Korea ministry of government legislation, 2021c).

표 3.8 전기자동차 충전 전력 요금표(Korea electric power corporation, 2023a)

구분		기본요금 (원/kw)	전력량 요금(원/kWh)			
			시간대	여름철	봄가을철	겨울철
자가 소비	저압	2,390	경부하	84.3	85.4	107.4
			중간부하	172.0	97.2	154.9
			최대부하	259.2	102.1	217.5
	고압	2,390	경부하	79.2	80.2	96.6
			중간부하	137.4	91.0	127.7
			최대부하	190.4	94.9	165.5

표 3.9 전기자동차 공용충전기 요금표(Korea electric power corporation, 2023b)

구분	KEPCO PLUG	타 사업자 로밍 결제		신용카드
		환경부 (한국자동차환경협회)	환경부 외 사업자	
100kW미만	324.4	324.4	충전사업자 요금정책에 따름	324.4
100kW이상	347.2	347.2		347.2

표 3.10 LPG 가격변동 추이(Korea national joint conference of taxi association, 2023a)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
세전 가격	693.81	667.22	667.22	667.22	667.22	640.64	584.82	550.27	576.85
유류 세액	221.36	221.36	221.36	221.36	221.36	221.36	221.36	221.36	221.36
부가 가치세	84.88	82.23	82.23	82.23	82.23	79.57	73.99	70.53	73.19
공장도 가격	933.73	904.49	904.49	904.49	904.49	875.25	813.85	775.84	805.08
충전소 수수료	85.95	85.55	85.55	85.55	85.55	83.20	84.88	89.90	93.55
판매 가격	1,019.68	990.04	990.04	990.04	990.04	958.45	898.73	865.74	898.63

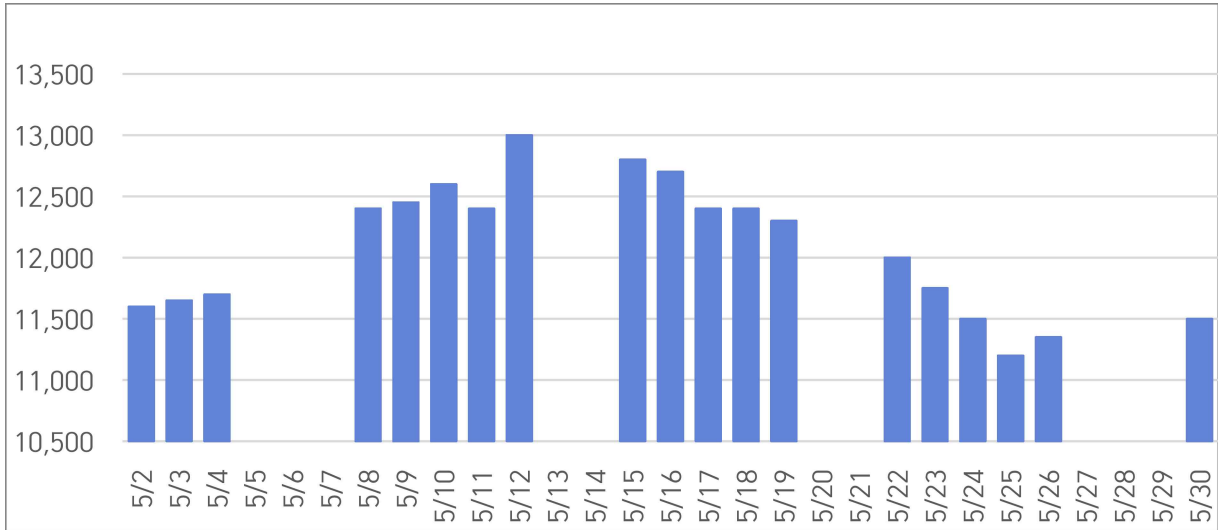


그림 3.9 탄소배출권 시세 조회(2023년 5월)

제 4 장 온실가스 저감 및 경제 효과 분석

4.1 전기자동차 택시 점유율 변화에 따른 영향

4.1.1 전기자동차 택시 점유율에 따른 분석 결과(1일 기준)

LPG 연료를 사용하는 택시들이 전기자동차 택시로 전환하는 과정에서 택시 점유율 변화에 따른 영향을 양적으로 분석하였다. 2023년 전기자동차 택시 점유율을 12%부터 최대 100%까지 5% 단위로 변환시키면서 시뮬레이션 분석을 수행하였으며 점유율 변화에 따른 전기 사용량, LPG 사용량, 이산화탄소 환산량, LPG 사용에 따른 CO₂ 배출량, 에너지 사용에 따른 비용 및 CO₂ 배출에 따른 비용을 표 4.1과 같이 계산하였다.

에너지 사용량 중 전기자동차 택시에서 사용된 전기 사용량은 VT-CPDM 모형에서 산출된 값이며, LPG 택시 연료 사용량은 VT-Micro 모형에서 산출된 값을 적용하였다. CO₂ 배출량의 경우, 전기자동차 택시는 사용된 전기량을 생산하는 과정에서 발생하는 CO₂에 대하여 배출계수를 이용하여 간접적으로 CO₂eq 산출하였으며, LPG 택시는 VT-Micro 식에서 산출된 값을 적용하였다. 비용 산정 시 에너지 비용은 전기자동차 택시 충전 비용과 LPG 택시 충전 비용을 합하여 산정된 것으로 산출된 전기 택시 충전 비용에 한국전력공사의 제시하는 충전 비용 1kW당 324.4원을 곱하여 산출하였으며, LPG 충전 비용은 LPG 평균 가격인 990.04원을 곱하여 산출하였다. 또한, CO₂ 배출에 대한 경제성분석은 배출된 CO₂양에 한국거래소 탄소배출권 평균 가격인 1톤당 12,375원을 곱하여 산출하였다. 결과적으로 총비용은 소비된 에너지 가격과 CO₂ 배출 비용의 합으로 계산하였다.

시뮬레이션 결과는 표 4.1같이 전기자동차 택시의 점유율이 증가함에 따라 약간의 변동은 있으나 거의 선형적으로 CO₂ 배출량 및 연료비용과 이산화탄소 배출 비용을 합친 총비용이 감소하는 것을 알 수 있다. 우선 광주광역시 택시 운행 현황을 살펴보면, 전기자동차 택시의 점유율은 12%로 1일 평균 총 24.7MWh를 소비하고, LPG 택시는 총 134.5m³의 LPG를 소비하며, 1일 연료비용은 총 1억 4천만 원으로 분석되었는데 이는 택시 한 대당 1일 약 2만 5천 원의 연료를 소비하는 것으로 판단된다.

전기자동차 택시의 점유율 변화에 따른 영향을 살펴보면 전기자동차 택시 점유율이 5% 증가하면 평균적으로 1일 전기 사용량은 10.2MWh 증가하고, 1일 LPG 사용량과 1일 CO₂ 배출량은 각각 7.6m³와 10.9ton 감소하는 것으로 산정되었다.

표 4.1 전기자동차 점유율 변화에 따른 영향 (1일 기준)

전기택시 점유율	에너지 소비		CO ₂ (ton)			비용 (백만원)		
	전기택시 (MWh)	LPG 택시 (m ³)	전기택시 (CO ₂ eq)	LPG 택시	합계	에너지 비용	CO ₂ 비용	합계
12%	24.7	134.5	10.7	274.4	285.1	141.0	3.5	144.5
15%	30.8	129.6	13.3	264.5	277.8	138.1	3.4	141.5
20%	40.9	121.9	17.7	248.8	266.5	133.7	3.3	137.0
25%	51.1	114.5	22.1	233.8	255.9	129.7	3.2	132.8
30%	60.8	106.9	26.3	218.2	244.6	125.2	3.0	128.2
35%	71.5	99.4	31.0	203.0	233.9	121.2	2.9	124.1
40%	81.9	92.0	35.4	187.8	223.2	117.1	2.8	119.9
45%	92.1	83.8	39.9	171.1	211.0	112.3	2.6	114.9
50%	102.3	76.1	44.3	155.4	199.7	107.9	2.5	110.4
55%	112.5	68.9	48.7	140.6	189.3	104.0	2.3	106.3
60%	123.1	61.0	53.3	124.6	177.9	99.6	2.2	101.8
65%	133.2	53.1	57.7	108.5	166.1	95.0	2.1	97.0
70%	143.2	45.7	62.0	93.2	155.2	90.7	1.9	92.7
75%	153.4	38.2	66.4	77.9	144.4	86.6	1.8	88.4
80%	163.9	30.5	71.0	62.3	133.2	82.3	1.6	84.0
85%	173.7	23.0	75.2	46.9	122.1	78.0	1.5	79.5
90%	184.0	15.1	79.7	30.9	110.6	73.5	1.4	74.9
95%	194.6	7.6	84.3	15.5	99.8	69.4	1.2	70.6
100%	204.6	0.0	88.6	0.0	88.6	65.1	1.1	66.1

4.1.2 CO₂ 배출 감소량 비교

표 4.2를 살펴보면 비교적 단기에 달성할 수 있을 것으로 판단되는 전기자동차 점유율이 20%일 때 현황 대비 1일 CO₂ 배출량은 18.6ton, 점유율이 30%의 경우 현황 대비 1일 CO₂ 배출량은 40.5ton이 감소하며, 장기적으로 점유율이 80%일 때 현황 대비 1일 CO₂ 배출량은 151.8ton, 점유율이 100%의 경우, 현황 대비 1일 CO₂ 배출량은 196.5ton이 감소 되는 것으로 나타났다.

표 4.2 전기자동차 점유율 변화에 따른 CO₂ 감소량

구분	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
감소량	18.61	40.57	61.90	85.44	107.23	129.95	151.89	174.56	196.55

그림 4.1은 점유율별 CO₂ 배출량을 비교한 것으로 점유율이 50%일 때 현황 대비 CO₂ 배출량은 29.97% 감소하며, 점유율 70%일 때 45.58% 감소, 점유율 100%일 때 현황 대비 68.9% 감소 되는 것으로 나타났다.

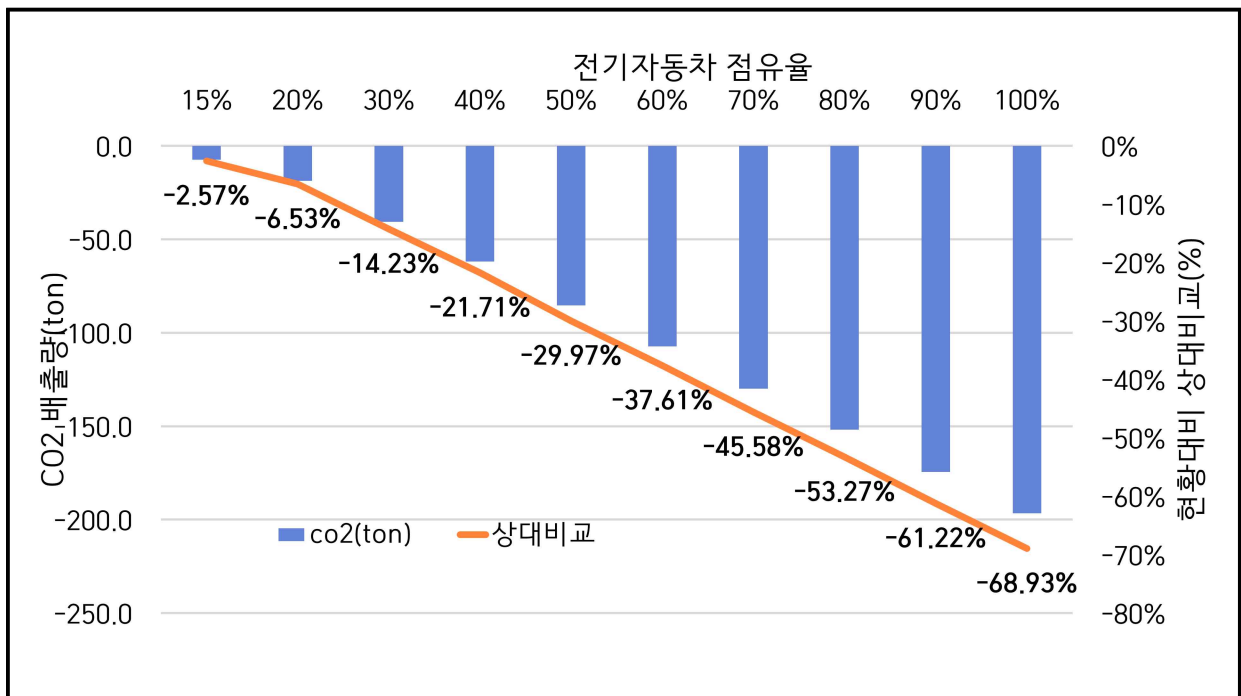


그림 4.1 택시 점유율별 CO₂ 배출량 비교

4.1.3 점유율별 에너지 비용 감소량 비교

총에너지 비용을 비교한 결과는 표 4.3으로 단기에 달성할 수 있을 것으로 판단되는 전기자동차 점유율 20%일 때 1일 7.5백만 원, 점유율 30%일 때 1일 16.2백만 원을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 장기적으로 점유율이 80%일 때 현황 대비 1일 60.5백만 원, 점유율이 100%의 경우, 현황 대비 1일 78.3백만 원이 감소 되는 것으로 나타났다.

표 4.3 전기자동차 점유율 변화에 에너지비용 감소량

구분	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
감소량	7.51	16.29	24.62	34.13	42.72	51.85	60.53	69.64	78.36

그림 4.2에서는 점유율별 에너지 비용을 비교한 것으로 점유율이 50%일 때 현황 대비 23.62%의 비용이 절감되며, 점유율 70%일 때 35.88% 감소, 점유율 100%일 때 현황 대비 54.2% 감소 되는 것으로 나타났다.

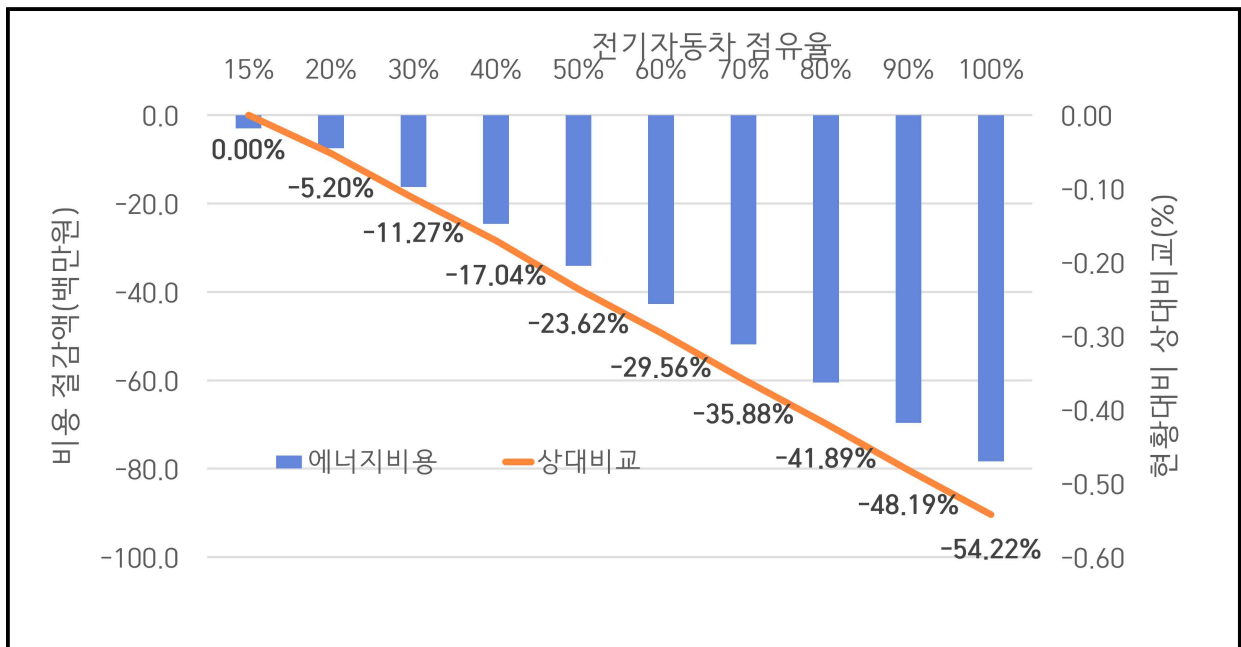


그림 4.2 택시 점유율별 에너지 비용 비교

4.1.4 점유율별 CO₂ 배출량 및 운행 비용(상대적 비교)

그림 4.3은 택시 점유율 변화에 따른 CO₂ 배출량과 운행 비용을 2023년 현황 대비 상대적으로 비교한 것으로 단기적인 관점인 점유율 20~30%일 때 현황 대비 CO₂ 배출량은 각각 6.5%와 14.2% 감소하며, 총비용은 5.2%~11.2% 감소한 것을 볼 수 있다. 중기적 관점에서 전기자동차 점유율이 50%를 달성하면 현황 대비 CO₂ 배출량은 30% 절감되고 총비용은 23.6% 절감될 것으로 분석되며, 최종적으로 전기차 점유율이 100%에 도달하게 되면 CO₂ 배출량 68.9%, 총비용은 54.2%의 개선 효과 나타날 것으로 분석되었다.

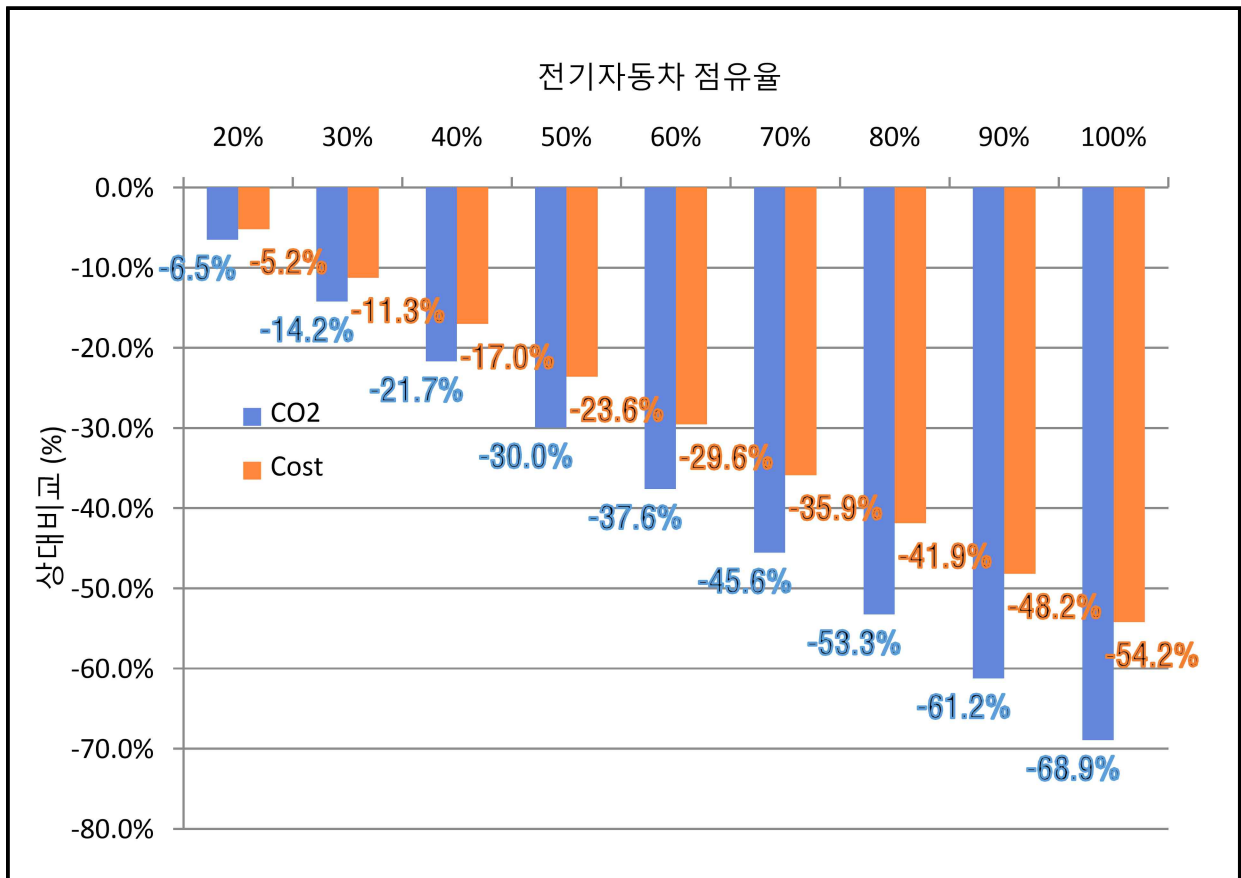


그림 4.3 택시 점유율별 CO₂ 배출량 및 운행 비용(상대적 비교)

4.2 광주광역시 보조금에 따른 장래 영향 예측

4.2.1 전기자동차 보조금에 따른 개인택시 전환

광주광역시가 전기자동차 택시에 지급하고 있는 보조금 예산 수준에 따라 향후 환경과 경제성 측면에서 장래에 미치는 영향을 시계열적으로 분석하였다. 광주광역시가 전기자동차 택시에 지원하는 보조금 예산에 따라 확정되지 않은 장래 여건 변화가 있을 것으로 사료되나, 장래 예측 및 분석을 위하여 보조금의 예산 규모는 2023년 편성된 예산을 동일하게 적용하여 분석하였다.

세부 사항을 살펴보면 2023년 광주광역시 전기차 택시 보조금 지원 규모는 1년에 220대(광주광역시 공고 제 2023-1727호) 택시에 보조금을 지급하는 계획을 가지고 있으며, 이러한 계획을 100% 달성하는 것을 가정하면 2042년 개인택시 4,785대가 전기택시로 전환되는 것으로 나타났다.

4.2.2 전기자동차 보조금에 따른 영향분석

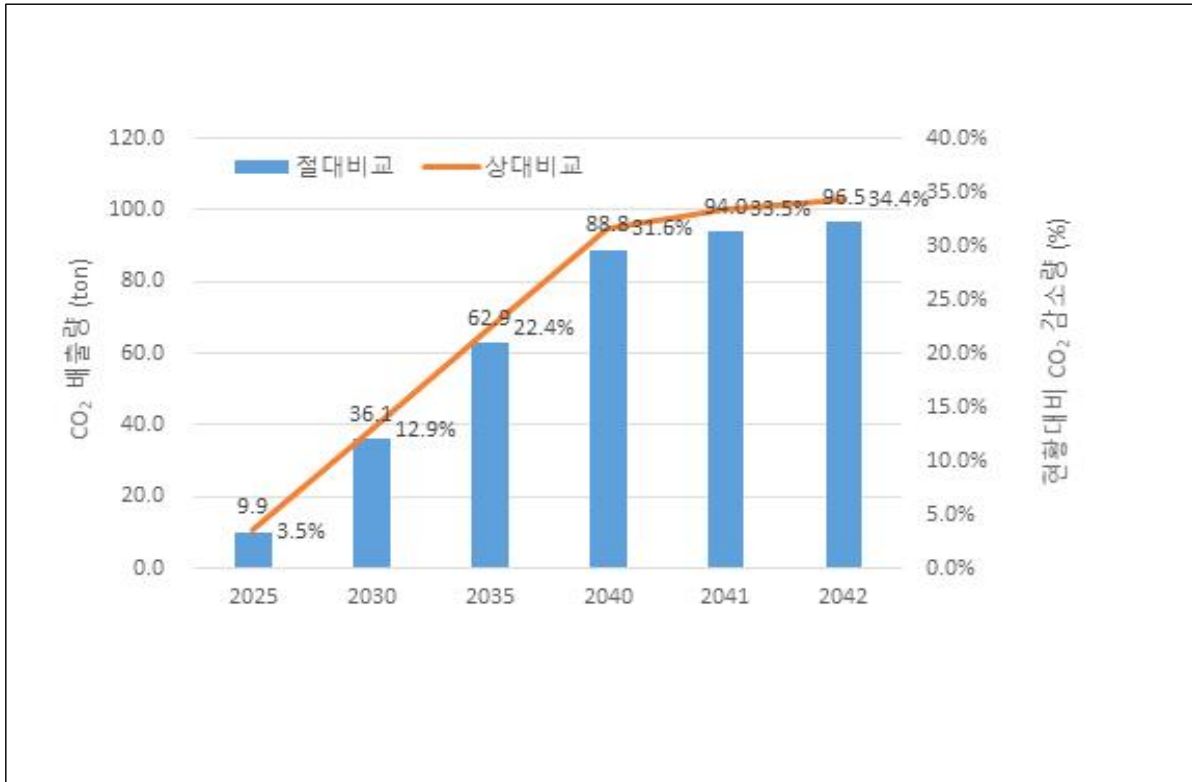
이전의 3.2.2 절에서 예측한 전기자동차 택시와 LPG 택시 운행 대수를 기반으로 분석한 결과는 표 4.4와 같다. 6부제와 7부제 운행에 따른 연도별 에너지 사용량과 그에 따른 CO₂ 배출량 및 비용을 산출한 결과 장래 전기자동차 택시가 증가함에 따라 전기 사용량은 증가하고 LPG 사용량은 감소한 것으로 나타났다. 이에 따라 총 CO₂ 배출량과 비용은 감소된 것을 알 수 있다.

구체적으로 CO₂ 저감과 비용 효과는 그림4.4와 같은데, 6부제를 기준으로 가까운 미래인 2025년에 2023년 대비 하루 동안 CO₂ 배출량은 9.9ton을 저감하고, 비용은 3.5백만 원을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 이는 2025년에 2023년 대비 CO₂ 배출량은 3.5% 감소하고 비용은 2.5% 절감한 것이다. 광주광역시가 전기자동차 보조금 정책을 유지하고 이를 지속적으로 추진하여 전체 개인택시가 전기자동차로 전환될 것으로 예상된 2042년의 효과를 살펴보면, CO₂ 배출량의 경우 2022년 대비 34.4%에 해당하는 96.5ton을 저감할 수 있으며, 비용은 2023년 대비 34.7%인 38.8백만 원을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 이를 단순하게 1년 단위로 집계할 경우 2044년에는 2023년 대비 연간 총 39,524ton의 CO₂ 배출량을 저감하고, 비용은 총 142억 원을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

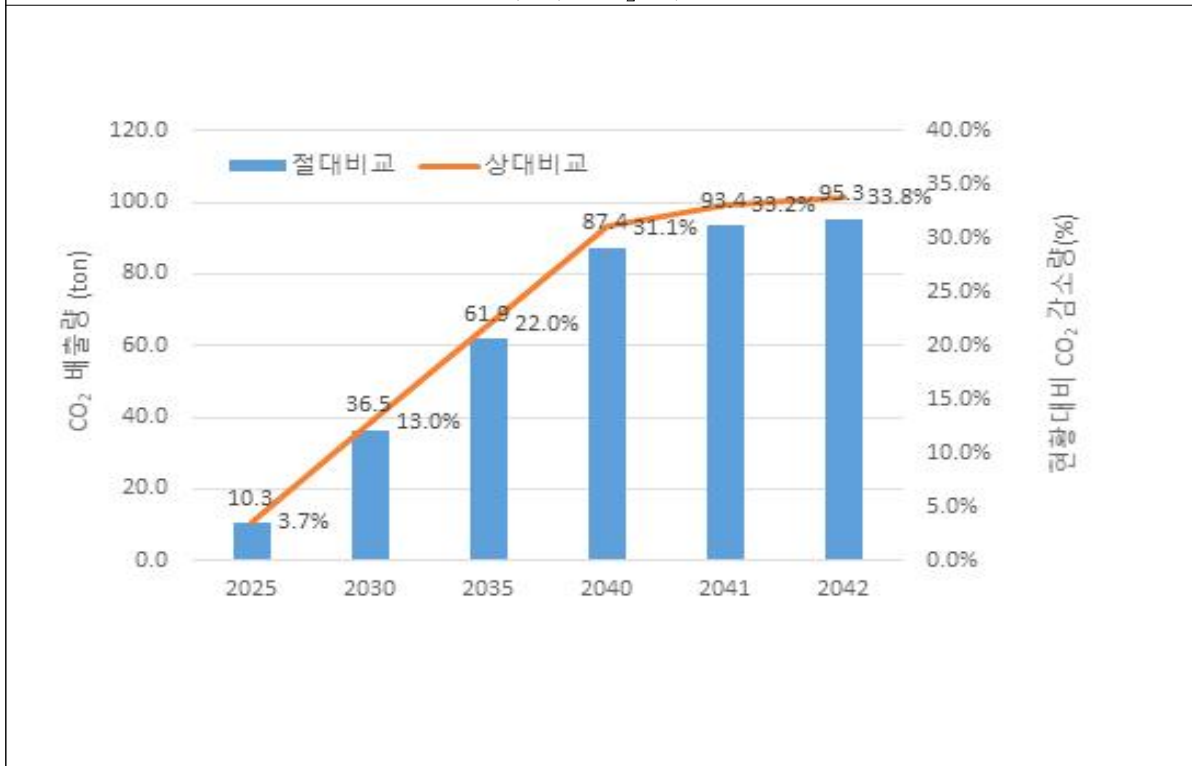
7부제의 경우 부제에 따라 하루 동안 운행하는 택시의 증가에도 불구하고 효과는 6부제의 경우와 거의 유사한 것으로 분석되었다.

표 4.4 연도별 시뮬레이션 결과

구분	년도	에너지 소비		CO ₂ (ton)			비용 (백만 원)		
		전기택시 (MWh)	LPG택시 (m ³)	전기택시 (CO ₂ eq)	LPG 택시	합계	에너지	CO ₂	합계
6-부제	2023	21.8	132.9	9.4	271.2	280.7	138.5	3.5	142.0
	2025	35.2	125.2	15.2	255.5	270.7	135.1	3.4	138.5
	2030	68.4	105.3	29.6	215.0	244.6	126.0	3.0	129.1
	2035	101.7	85.1	44.0	173.8	217.8	116.6	2.7	119.3
	2041	135.4	65.3	58.6	133.3	191.9	107.7	2.4	110.1
	2042	141.8	61.4	61.4	125.3	186.7	105.9	2.3	108.2
7-부제	2023	22.3	133.2	9.7	271.9	281.6	139.0	3.5	142.5
	2025	36.4	125.2	15.7	255.5	271.3	135.5	3.4	138.9
	2030	70.7	105.1	30.6	214.5	245.1	126.5	3.0	129.5
	2035	104.6	85.4	45.3	174.4	219.7	117.8	2.7	120.6
	2041	139.4	65.5	60.4	133.8	194.2	109.2	2.4	111.6
	2042	145.6	61.3	63.0	125.2	188.2	107.0	2.3	109.3



6부제 CO₂ 배출량

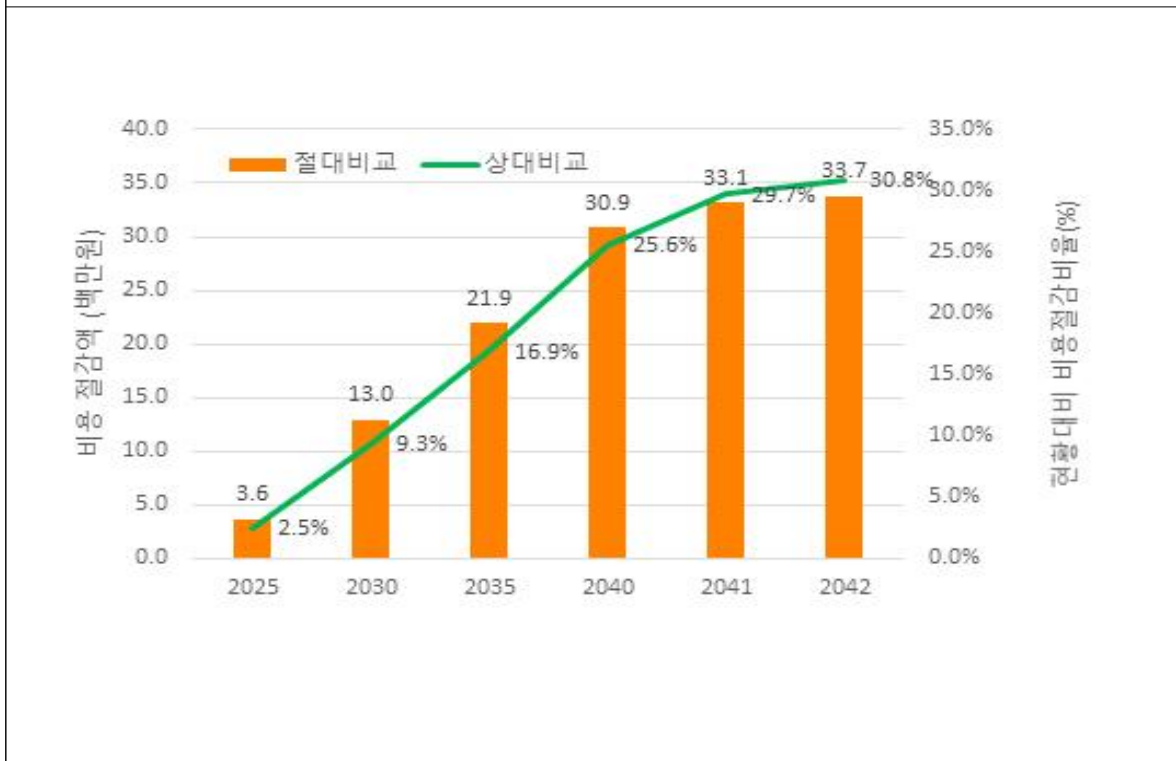


7부제 CO₂ 배출량

그림 4.4 택시 운행 부제별 CO₂ 배출량 비교



6부제 운행비용



7부제 운행비용

그림 4.5 택시 운행 부제별 운행 비용 비교

4.3 LPG 택시 유가보조금 감소에 따른 영향예측

4.3.1 전기자동차 증가에 따른 유가보조금 감소량 산정

여객자동차 운수사업법에 따라 택시에 사용되는 LPG는 연료사용분에 대하여 유가보조금을 지원받을 수 있으며 전기 택시 점유율이 증가하면 기준 연도인 2023년 대비 유가보조금 지급량이 감소하게 될 것으로 사료된다(Ministry of government legislation, 2023b). 광주광역시 연도별 LPG 택시 유가보조금 집행 금액은 다음 표 4.5와 같다(Gwangju metropolitan city traffic department, 2023b).

표 4.5 광주광역시 유가보조금 지급 추이(Gwangju metropolitan city traffic department, 2023b).

구분	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년
유가보조금 (백만원)	14,056	13,132	12,032	11,228	7,534

광주광역시는 2023년 11월 현재 LPG 1L당 지원금은 131.66원으로 책정되어 지급되고 있다(Gwangju metropolitan city traffic department, 2023b). 점유율별 유가보조금을 분석하였으며 점유율 10% 증가 시 지급액은 평균 2백만 원으로 산정되었다. 표 4.1에서 분석한 1일 LPG 사용량에 지원금을 적용하면 표 4.6에 제시된 내용대로 점유율별 유가보조금과 기준연도 대비 감소액을 산출하였다. 총유가보조금 감소량 비교 결과 단기에 달성할 수 있을 것으로 판단되는 전기자동차 점유율 20%일때 기준연도 2023년 대비 1일 1.7백만 원, 점유율 30%일 때 1일 3.6백만 원을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 장기적으로 점유율이 80%일 때 현황 대비 1일 13.7백만 원, 점유율이 100%의 경우, 현황 대비 1일 17.7백만 원이 감소되는 것으로 나타났다.

표 4.6 점유율별 유가보조금 감소액

구분	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
유가보조금	16.05	14.08	12.11	10.02	8.04	6.01	4.02	1.99	0.00
감소금액 (백만원)	1.7	3.6	5.6	7.7	9.7	11.7	13.7	15.7	17.7

4.3.2 유가보조금 감소에 따른 비용 절감

표 4.7에서 분석한 전기자동차 점유율 변화에 따른 비용감소량에 유가보조금 감소량을 더하여 분석한 결과 표 4.8을 살펴보면 단기에 달성할 수 있을 것으로 판단되는 전기자동차 점유율 20%일 때 1일 9.1백만 원, 점유율 30%일 때 1일 19.9백만 원을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 장기적으로 점유율이 80%일 때 현황 대비 1일 74.2백만 원, 점유율이 100%의 경우, 현황 대비 1일 96.1백만 원이 감소되는 것으로 나타났다.

표 4.7 점유율 변화에 유가보조금 감소량을 고려한 에너지비용 감소량

구분	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
감소량	9.16	19.91	30.21	41.81	52.39	63.54	74.21	85.35	96.06

표 4.8 점유율별 유가보조금 감소비용 변화에 따른 영향 (1일 기준)

전기택시 점유율	LPG택시 소비량(m ³)	비용 (백만원)			
		에너지 비용	CO ₂ 비용	유가보조금 감소	합계
12%	134.5	141.0	3.5	0	144.5
15%	129.6	138.1	3.4	0.6	140.9
20%	121.9	133.7	3.3	1.7	135.3
25%	114.5	129.7	3.2	2.6	130.2
30%	106.9	125.2	3.0	3.6	124.6
35%	99.4	121.2	2.9	4.6	119.5
40%	92.0	117.1	2.8	5.6	114.3
45%	83.8	112.3	2.6	6.7	108.2
50%	76.1	107.9	2.5	7.7	102.7
55%	68.9	104.0	2.3	8.6	97.7
60%	61.0	99.6	2.2	9.7	92.1
65%	53.1	95.0	2.1	10.7	86.3
70%	45.7	90.7	1.9	11.7	81.0
75%	38.2	86.6	1.8	12.7	75.7
80%	30.5	82.3	1.6	13.7	70.3
85%	23.0	78.0	1.5	14.7	64.8
90%	15.1	73.5	1.4	15.7	59.2
95%	7.6	69.4	1.2	16.7	53.9
100%	0.0	65.1	1.1	17.7	48.4

그림 4.6에서는 점유율별 유가보조금 감소량을 합산한 에너지 비용감소 비교한 것으로 점유율이 50%일 때 현황 대비 CO₂ 배출량은 28.93% 감소되며, 점유율 70%일 때 43.97% 감소, 점유율 100%일 때 현황 대비 66.47% 감소되는 것으로 나타났다.

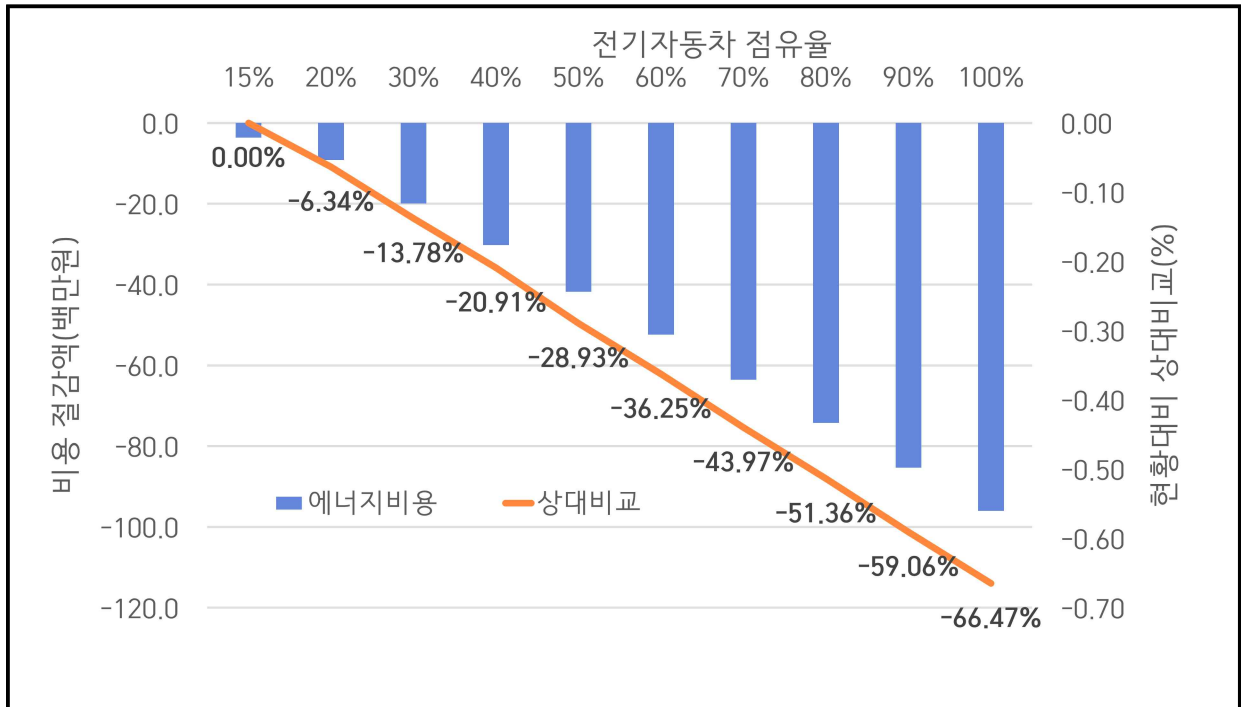


그림 4.6 유가보조금 감소에 따른 점유율별 에너지 비용 비교

제 5 장 결 론

5.1 결론

본 연구에서는 광주광역시에서 운행하는 택시의 DTG 데이터로부터 수집된 초 단위의 차량 주행 이력 자료를 기반으로 미시적으로 차량의 에너지 소모량을 예측하는 모형인 VT-Micro와 VT-CPEM을 활용하여 광주광역시 택시들이 전기자동차로 전환되었을 때의 효과를 시뮬레이션 기법을 활용하여 정량적으로 분석하였다. 연구에서 얻어진 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 전기자동차 택시의 점유율이 증가함에 따라 거의 선형적으로 CO₂ 배출량, 총비용이 감소하는 것으로 나타났다. 평균적으로 전기자동차 점유율이 5% 증가하면 1일 LPG 사용량은 7.6m³, 1일 CO₂ 배출량은 10.9ton 감소하며 전력 사용량은 1일 10.2MWh 증가하여 결과적으로 1일 평균 5.4 백만 원이 절감되는 것으로 나타났다.
2. 단기적인 관점에서 전기자동차 택시의 점유율이 20%에 도달하면 현황 택시 점유율 12% 대비 1일 LPG 사용량은 12.6m³, 1일 CO₂ 배출량은 18.6ton 감소하고 전력은 1일 16.2MWh 증가하여 결과적으로 1일 7.5백만 원의 비용 절감 효과가 나타날 것으로 분석되어, 친환경적으로 약 6.6%, 경제적으로 5.2%의 개선 효과가 나타날 것으로 예상된다.
3. 중·장기적인 관점에서 전기자동차 택시의 점유율이 50~100% 달성하게 되면 1일 LPG 사용량은 58.4~134.5m³ 감소하여 43~100% 절감 효과가 발생하며, 1일 CO₂ 방출량은 85.4~196.5ton 감소하며 결과적으로 1일 총에너지 비용이 23.6~54.2%로 개선될 것으로 분석되었다.
4. 에너지 비용을 산정한 결과 단기에 달성할 수 있을 것으로 판단되는 전기자동차 점유율 20%일 때 1일 7.5백만 원, 점유율 30%일 때 1일 16.2백만 원을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 장기적으로 점유율이 80%일 때 현황 대비 1일 60.5백만 원, 점

유율이 100%의 경우, 현황 대비 1일 78.3백만 원이 감소되는 것으로 분석되었다.

5. 광주광역시가 현재의 전기자동차 보조금 정책을 지속적으로 추진할 경우 2025년에 현황 대비 1일 CO₂ 배출량은 3.5% 저감하며 1일 총비용은 2.5% 절감할 것으로 산정되며, 100% 전기자동차로 전환이 예상되는 2042년의 효과를 살펴보면 2023년 현황 대비 CO₂ 배출량은 94ton 감소하여 33% 절감 효과가 예상되며 33.8백만 원의 비용감소로 경제성은 24% 개선될 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 1년에 123억 원의 총비용 절감 효과가 예상된다.

6. 전기자동차 택시 점유율 증가에 따라 광주광역시에서 지급되는 LPG 택시 유가보조금이 감소하게 되며 단기에 달성할 수 있을 것으로 판단되는 전기자동차 점유율 20% 일 때 1일 6.3%, 점유율 30%일 때 1일 13.7% 개선되는 것으로 분석되었다. 장기적으로 점유율이 80%일 때 현황 대비 1일 51.3%, 점유율이 100%의 경우, 현황 대비 1일 66.4% 감소 되는 것으로 나타났다.

5.2 정책제언

본 연구를 통해 전기자동차 택시의 도입은 온실가스 저감 및 비용 측면에서 매우 효율적인 방안임을 정량적으로 분석하였다. 본 연구에서 적용한 방법을 활용하여 전기자동차 택시의 전환 효과를 비용과 환경적 측면에서 정량적으로 산정할 수 있으므로 광주광역시의 온실가스 감축 목표에 따른 실행 가능한 전기자동차 보조금 정책대안들을 설정하고 이들의 장단점을 다양한 측면에 분석하여 효율적인 정책이 세워지길 바란다. 끝으로 본 연구에서는 전기자동차 택시에 한정하여 분석을 수행하였으나 향후 연구에서는 시내버스, 화물용 차량, 비사업용 차량 등과 같은 모든차량들의 전기자동차로의 전환 효과를 산정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 2050 Carbon neutrality and green growth commission(2050 탄소중립위원회). (2021). *2050 Carbon Neutral Scenario(2050 탄소중립시나리오)*. 2050 Carbon Neutrality and Green Growth Commission, 1-146. <https://www.2050cnc.go.kr/base/main/view>
2. Ahn, S., & Shin, Y. (2018). Analysis of Tax Passenger Travel Patterns Based on Busan DTG Data. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 38(6), 907-916.
3. Albatayneh, A., Assaf, M. N., Alterman, D., & Jaradat, M. (2020). Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles. *Environmental and Climate Technolgies*, 24(1), 669-680.
4. Burski, Z., & Krasowska-Kolodziej, H. (2012). Verification of Energy Consumption Modelling in a Vehicle under Operating Conditions of a Transport Company. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 12(2).
5. Butler, K. (2000). An Investigation of Electric Motor Drive Characteristics for EV and HEV Propulsion Systems, *SAE transactions*, 2396-2403.
6. Cho, W., & Choi, E. (2015). Rural Traffic Map Coverage Extension using DTG Big Data Processing. *Journal of Information Technology and Architecture*, 12(1), 51-57.
7. Cho, W., & Choi, E. (2017). DTG Big Data Analysis for Fuel Consumption Estimation. *Journal of Information Processing Systems*, 13(2), 285-304.
8. Choi, D., Park, C., & Kim, S. (2012). *Analysis for Impact of Energy Supply by Electric Vehicle Distribution(전기자동차 보급의 에너지수급 영향 분석)*. Korea Energy Economics Institute(에너지경제연구원), 1-261. <https://www.keei.re.kr/main.nsf/index.html>
9. Choi, E., Kim, E., Kim, Y., & Yang, J. (2015). Effectiveness and Characteristics of Inertia Driving on Fuel-Cut Zone in Urban Highway. *Journal of Korean Society of Transportation*, 33(1), 40-49.

10. Econometrics, C. (2013). *Fuelling Europe's Future: How Auto Innovation Leads to EU Jobs*. In: *Cambridge Econometrics & Ricardo-AEA*. Cambridge Econometrics. <https://www.camecon.com/what/our-work/fuelling-europes-future/>
11. Felipe, J., Amarillo, J. C., Naranjo, J. E., Serradilla, F., & Díaz, A. (2015). Energy Consumption Estimation in Electric Vehicles Considering Driving Style. *2015 IEEE 18th international conference on intelligent transportation systems*.
12. Greenhouse gas inventory and research center(온실가스종합정보센터). (2022). *2022 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea(2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서)*. (Publication Registration Number 11-1480906-00002-10). Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 1-437. <http://www.gir.go.kr>
13. Gwangju metropolitan city traffic department. (2023a). *Number of annual taxi licenses in Gwangju Metropolitan City*. Gwangju metropolitan city traffic department. <https://www.gwangju.go.kr/traffic/>
14. Gwangju metropolitan city traffic department. (2023b). *Trend of Fuel Subsidy in Gwangju Metropolitan City*. Gwangju metropolitan city traffic department. <https://www.gwangju.go.kr/traffic/>
15. Gwangju metropolitan city. (2023a). *2023 Private Subsidy Project for Electric Vehicles*. (Gwangju Metropolitan City Notice No. 2023-1727). Gwangju Metropolitan City. <https://m.gwangju.go.kr/>
16. Gwangju metropolitan city. (2023b). *2023 Private Subsidy Project for Electric Vehicles*. (Gwangju Metropolitan City Notice No. 2023-319). Gwangju Metropolitan City. <https://m.gwangju.go.kr/>
17. Gwangju metropolitan city. (2023c, July 30). *광주시, 전기차 충전사각지대 없앤다*. Gwangju Metropolitan City. https://www.gwangju.go.kr/boardView.do?boardId=BD_0000000027&pageId=www789&searchSn=15977
18. Han, J., & Kim, T. (2019). *Electric Taxi Introducing Plan for Incheon Metropolitan City*. The Incheon Institute, 1-196

19. Han, T., Lim, D., Park, S., & Kim, J. (2019). Environmental and Economic Impact of EV and FCEV Penetration into the Automobile Industry: A CGE Approach. *Environmental and Resource Economics Review*, 28(2), 231 - 276.
20. Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64.
21. Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Education(2th ed.).
22. Hwang, J., & Yoon, D. (2006). A Comparative Analysis of Perational Condition of Corporation-owned and Owner-driver Taxies Using Tachometer Output Data. *Journal of Korean Society of Transportation*, 24(6), 45-54.
23. Im, J., & Yoo, S. (2015). A Study on the Improvement and Analysis of Cargo Vehicle Driving Behavior Using DTG Data. *Transportation Technology and Policy*, 12(5), 28-33.
24. International energy agency [IEA]. (2023). *Global EV Outlook 2023 Catching up with Climate Ambitions*. International Energy Agency [IEA], 1-142. www.iea.org/contact
25. Jang, J., Lee, Y., & Lim, J. (2017). Analysis of Risk Driver Discrimination Considering Driver's Behavior Based On Digital Tachograph(DTG). *Journal of Transport Research*, 24(4), 63-77.
26. Jeju research institute. (2022). 2022.9 JEJU EV MONTHLY REPORT. *Jeju research institute*, 1-16.
27. Jeju research institute. (2023). 2022.12 JEJU EV MONTHLY REPORT. *Jeju Research Institute*, 1-37.
28. Jeon, H. (2017). *Analysis of Spatial Heterogeneity of Local Pollutants and Greenhouse Gas Emissions from the Electric Vehicles*. (KEI Research Report 2017-16). Korea Environment Institute[KEI], 1-140. <https://kei.scholar.go.kr/>
29. Jung, E. (2017). *A Study on the Activation of Electric Vehicle Promotion Based on the AHP Results*. Master's Thesis. The Catholic University of Korea.

30. Jung, J., & Park, S. (2023). Estimation of the Effects of Introducing Electric Vehicle Taxi in Gwangju Metropolitan City. *Journal of Korean Society of Transportation*, 41(1), 91-103.
31. Kim, J., Lee, S., & Kim, K. S. (2017). A Study on the Activation Plan of Electric Taxi in Seoul. *Journal of Cleaner Production*, 146, 83-93.
32. Ko, M. (2011). *Incorporating Vehicle Emission Models into the Highway Design Process*. Texas A&M University.
33. Korea electric power corporation. (2023a). *Electric Vehicle Charging Power Price Schedule*. Korea Electric Power Corporation. <https://evc.kepco.co.kr:4445/service/service11.do>
34. Korea electric power corporation. (2023b). *Electric Vehicle Public Charging Station Price Schedule*. Korea Electric Power Corporation. <https://evc.kepco.co.kr:4445/service/service11.do>
35. Korea national joint conference of taxi association. (2023a). LPG Price Changing Trend. <http://www.taxi.or.kr/04/06.php>
36. Korea national joint conference of taxi association. (2023b). *Number of National taxi and Driver Statistics*. Korea National Joint Conference of Taxi Association. http://www.taxi.or.kr/04/01_view.php?no=191
37. Korea transportation safety authority. (2021). *eTAS User's Guide*. Korea Transportation safety authority. 1-131. <https://www.kotsa.or.kr/main.do>
38. Korea exchange [KRX]. (2023). Daily Carbon Emission Allowance Price. KRX. <https://ets.krx.co.kr/contents/ETS/03/03010000/ETS03010000.jsp>
39. Kwon, M., & Kim, Y. (2018). Analysis of Traffic Flow Characteristics Using Taxi DTG Data. *Korean Society of Transportation*, 415-428.
40. Kwon, Y. (2018). *Research on Ways to Revitalize the Distribution of Electric Vehicles: Focusing on Analysis of Satisfaction Factors of Electric Vehicle Users*. Master's Thesis. Korea University.
41. Laurén, M., Goswami, G., Tupitsina, A., Jaiswal, S., Lindh, T., & Sopenan, J. (2022). General-Purpose and Scalable Internal-Combustion Engine Model for Energy-Efficiency Studies. *Machines*, 10(1), 26.

42. Lee, J., & Kim, H. (2001). The Analysis of Peration Condition of Corporation Taxicab Using the Tachometer Output Data. *Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 21(6D), 785-797.
43. Lee, K., Jang, J., Choi, K., & Shim, S. (2014). Economic Effects Analysis for Passenger Car's Idle Stop and Go Strategy: Focusing on Seoul Metropolitan Area. *Journal of Korean Society of Transportation*, 32(5), 421-430.
44. Lee, K., Yi, Y., & Choi, K. (2018). A Methodology for Evaluating the Effects of Transportation Policies Related to Greenhouse Gas Reduction. *Journal of Korean Society of Transportation*, 39(1), 1-23.
45. Lee, S., & Lee, C. (2012). Short-Term Impact Analysis of DTG Installation for Commercial Vehicles. *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 11(6), 49-59.
46. Ministry of environment. (2023). 2023 *Electric Vehicle Distribution Project Subsidy Processing Guidelines*. Ministry of Environment, 1-49
47. Ministry of government legislation. (2021a). Enforcement Rules of the Road Traffic Safety Act [Attached form 4] *Standards for Devices and Functions to be Equipped in Driving Record Devices (Related to Article 29-3, Paragraph 1)*. (Ministry of Land, Infrastructure and Transport Decree No. 1232). Ministry of Government Legislation.
48. Ministry of government legislation. (2021b). *Enforcement Rules of the Road Traffic Safety Act [Attached form 5] Order of Arrangement of Operation Records (Related to Article 30, Paragraph 2)*. (Ministry of Land, Infrastructure and Transport Decree No. 1232). Ministry of Government Legislation.
49. Ministry of government legislation. (2021c). *Guidelines for Reporting and Certification of Greenhouse Gas Emissions under the Greenhouse Gas Emissions Trading Scheme [Attached form 6] Detailed Calculation Methods and Standards for Greenhouse Gas Emissions by Emission Activity (Article 11)*. (Ministry of Environment Notification No. 2021-278). Ministry of Government Legislation.

50. Ministry of government legislation. (2023a). *Guidelines for Handling Matters Related to the Operation Standards of the Taxi System. (Ministry of Land, Infrastructure and Transport Instructions No. 1672)*. Ministry of Government Legislation.
51. Ministry of government legislation. (2023b). *Guidelines for Passenger Car Fuel Subsidies. (Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification No. 2023-626)*. Ministry of Government Legislation.
52. Ministry of land, infrastructure and transport. (2023). *Vehicle Registration Data Statistics for December 2022*. MOLIT Statistics System. <https://zrr.kr/pXwj>
53. Oh, K. (2020). Rational Improvement Strategies for the Automobile Tax on Eco-Friendly Vehicle Ownership(친환경자동차 소유분 자동차세의 합리적인 개선 방안). *Policy Research Report of the Korea Institute of Local Finance(한국지방세연구원)*, 2020(24), 1-96.
54. Park, S., Lee, J., & Lee, C. (2016). State-of-the-art Automobile Emissions Models and Applications in North America and Europe for Sustainable Transportation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(3), 1053-1065.
55. Rakha, H., Ahn, K., & Trani, A. (2004). Development of VT-Micro Model for Estimating Hot Stabilized Light Duty Vehicle and Truck Emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(1), 49-74.
56. Scora, G., & Barth, M. (2006). *Comprehensive Modal Emissions Model (cmem), version 3.01. User guide*. Centre for Environmental Research and Technology. University of California, Riverside, 1070, 1580.
57. Shim, M., Rim, J., Lee, B., Hong, S., & Lee, D. (2009). A Methodology on Analyzing Fuel Saving with Idling Stop. *Transactions of KSAE*, 17(6), 120-126.
58. Son, M., Park, J., & Sohn, S. (2009). The Technology Trend of Stop-Start Systems. *Electronics and Telecommunications Trends[ETRI]*, 24(5), 52-61.
59. Tessum, C. W., Hill, J. D., & Marshall, J. D. (2014). Life Cycle air Quality Impacts of Conventional and Alternative Light-duty Transportation in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(52), 18490-18495.

60. U.S. EPA. (2009). *Draft Motor Vehicle Emission Simulator(MOVES) 2009 - Software Design and Reference Manual*. (EPA-420-B-09-007). U.S. EPA
61. United nations. (2023, July 27). *Hottest July Ever Signals 'Era of Global Boiling Has Arrived' Says UN Chief* United Nations UN News. <https://news.un.org/en/story/2023/07/1139162>
62. Wu, Y., Yang, Z., Lin, B., Liu, H., Wang, R., Zhou, B., & Hao, J. (2012). Energy Consumption and CO₂ Emission Impacts of Vehicle Electrification in Three Developed Regions of China. *Energy Policy*, 48, 537-550.
63. Yabe, K., Shinoda, Y., Seki, T., Tanaka, H., & Akisawa, A. (2012). Market Penetration Speed and Effects on CO₂ Reduction of Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Electric Vehicles in Japan. *Energy Policy*, 45, 529-540.
64. Yi, S., Kim, I., Kwon, M., Lee, W., Lim, S. (2018). *Analysis on Environmental Effects of Electric Vehicles for Korea electricity mix based on LCA*. (2018-03). Korea Environment Institute[KEI], 1-117. <https://kei.scholar.go.kr/>
65. Yoong, M., Gan, Y., Gan, G., Leong, C., Phuan, Z., Cheah, B., & Chew, K. (2010). Studies of Regenerative Braking in Electric Vehicle. *2010 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology*, 1-6.
66. Zheng, W., & Lee, J. (2013). An Analysis of Dangerous Driving Behavior According to the Driving Duration Time Using Corporation Taxi Digital Tachograph System Data. *Traffic Safety Research*, 32, 175-192.