

## 디지털운행기록계 자료를 활용한 버스의 주행패턴 분석 연구

## A Study for Bus Driving Patterns Using Digital Tachograph Data

이 규 진\* · 전 교 석\*\* · 심 상 우\*\*\*

\* 주저자: 아주대학교 TOD기반지속가능도시교통연구센터 연구교수  
\*\* 교신저자: 아주대학교 TOD기반지속가능도시교통연구센터 연구교수  
\*\*\* 공저자: 한국교통안전공단 미래모빌리티본부 디지털혁신처 책임연구원

Kyu-Jin Lee\* · Gyoseok JEON\*\* · Sang Woo SHIM\*\*\*

\* TOD-based Sustainable Urban Transportation Research Center, Ajou University  
\*\* TOD-based Sustainable Urban Transportation Research Center, Ajou University  
\*\*\* Korea Transportation Safety Authority

Corresponding author : Gyoseok JEON, wjsrytjr@gmail.com

Vol. 23 No.5(2024)  
October, 2024  
pp.222~233

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.5.222>

Received 5 August 2024  
Revised 27 August 2024  
Accepted 29 September 2024

© 2024. The Korean Society of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

## 요 약

최근 자동차 빅데이터 활용 기술 발전, 교통환경 개선 정책의 다양성 확대 및 기술 혁신으로 사회문제(미세먼지, 탄소 등)의 통합적 해결을 모색하는 추세이다. 본 연구는 버스의 디지털 운행기록계 자료를 활용하여 시공간 등 다양한 유형 간 버스 주행패턴 차이를 비교하고, 그에 따른 연료사용량 및 온실가스 배출량을 분석하여 시사점을 도출하였다. 연구 결과, 비수도권보다 수도권에서, 비첨두보다 첨두에서, CNG보다 경유 버스에서 가속도 분산값이 높게 나타났으며, 버스의 주행패턴 차이로 인해, 수도권 주말 대비 경기도 평일의 버스 온실가스 단위 배출량은 약 16% 높은 것으로 분석되었다. 본 연구 방법론 및 결과는 DRT 등 버스 운영의 경제성 향상을 위한 자율주행 버스 등의 표준 버스 주행모드 설정, 버스 운전자의 경제운전 가이드를 위한 주행패턴 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 디지털운행기록계, 주행패턴, 수송 온실가스, 경제운전, 버스 운행관리

## ABSTRACT

In recent years, there has been a trend towards seeking an integrated solution to social problems (fine dust, carbon emissions, etc.) through technological advancements in the utilization of automotive big data, the diversification of traffic environment improvement policies, and technological innovations. This study compares the differences in bus travel patterns between various types of buses in time and space by using digital odometer data, and draws implications by analyzing fuel consumption and greenhouse gas GHG emissions. As a result of the study, the acceleration dispersion value for diesel buses was higher than for CNG buses. The units of GHG emissions buses on weekdays in the metropolitan area of Gyeonggi-do were about 16% higher than on weekends compared to non-metropolitan areas due to differences in driving patterns. The methodology and results of this study are expected to be utilized in various fields, such as setting standard bus driving modes for autonomous buses, improving the economic efficiency of DRT buses, and in developing patterns to drive buses more economically.

Key words : Digital Tachograph Data, Driving Pattern, Transportation Greenhouse Gases, Economical Driving, Bus Operation Management

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 국제사회에 2050 탄소중립을 선언하고, 제1차 탄소중립·녹색성장 기본계획을 통해 수송부문 온실가스 배출량은 '18년 대비 '30년 37.8% 감축을 목표로 하고 있다. 그에 따라 국가 및 지자체에서는 2030년까지 전기·수소차 450만대 보급, 내연 승용차 총 주행거리의 4.5% 감축, 경제운전 활성화 등 다양한 기술과 정책을 적극적으로 추진하고 있다. 이와 같은 수송 탄소중립의 노력과 더불어 자동차 미세먼지 감축 및 자율주행자동차 등 자동차 운행을 보다 효율적으로 관리하기 위한 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다.

자동차 미세먼지 및 온실가스 배출량은 사업용차량의 배출 비중이 높기 때문에, 사업용차량 대상의 교통환경 정책이 시급하나 사업용차량의 친환경차 전환은 높은 비용 제약으로 연료 전환이 요원하며, 물류 확대 추세에 따른 사업용차량 수요 관리도 신중한 접근이 필요한 실정이다. 한편, 지속가능 교통물류 발전법 제48조(경제운전 교육 및 홍보)에 따른 경제운전은 자동차 연료를 최대 30%까지도 절감할 수 있는 것으로 알려져 있고, 경제운전 교육 및 자율주행차 기술 확산에 따라 사업용차량의 주행을 보다 경제적으로 운전하도록 유도하는 것을 현실적인 대안으로 고려할 수 있다. 그러나 사업용차량 연비 및 탄소배출 최소화를 위한 경제운전을 유도하기 위해서는 현재 사업용차량 주행 특성에 대한 과학적 분석이 선행되어야 하지만 이에 대한 기초 연구조차 미흡한 실정이다. 한편 4차 산업 혁명과 더불어 미래 인공지능, 사물인터넷, 자율주행차량 등 기술이 고도화되고 있으며, 자동차에서 수집되는 데이터를 활용한 자동차 연비 등 주행 특성 연구가 가능한 여건이다.

본 연구는 자동차 중 디지털운행기록계가 의무 장착된 버스 대상의 빅데이터를 활용하여 주행패턴을 분석함으로써, 자동차 연료 및 온실가스의 체계적인 배출관리에 기여하는 것을 목적으로 하고 있다. 과거 도로교통 여건의 제작차 기준으로 개발된 일률적인 주행패턴에 기반한 자동차 미세먼지 및 온실가스 배출 특성 분석에서 탈피하여 사업용차량 주행 특성에 부합한 주행패턴 연구로 현실적인 자동차 배출정책에 기여하고자 한다.

보다 구체적으로는 자동차 온실가스 배출량 산정의 Tier 3 방법론에 적용되는 버스 대상의 주행패턴, 경제운전 효과 평가를 위한 기준 주행패턴, 수요응답형 대중교통(Demand Responsive Transit, 이하 DRT) 등 자율주행버스의 표준 주행패턴 개발 등 다양한 분야의 기초자료 활용에 기여하는 것을 목적으로 한다.

### 2. 연구의 내용 및 방법론

제2장에서는 자동차 주행패턴에 대한 정의 및 선행 연구를 고찰하고, 본 연구의 차별성을 설명한다. 제3장에서는 본 연구에서 도출하고자 하는 버스 대상의 표준 주행패턴을 분석하기 위한 데이터(디지털운행기록계)의 수집 및 그에 따른 차량비출력, 연료 소모율에 따른 온실가스 단위 배출량, 주행패턴 등의 분석 결과를 제시한다. 특히 본 연구의 버스 주행패턴 분석을 위해 사용한 디지털운행기록계(Digital Tachograph, 이하 DTG)와 자동차검사통합시스템(Vehicle Information Management System, 이하 VIMS)으로부터 수집하여야 하는 자료, 버스 유형별 주행패턴 비교를 위한 두 자료간 결합 방법을 설명하고 있다. 여기서, 버스의 주행패턴 분석은 선행 연구인 국제 표준 소형차 배출가스 측정 방법(Worldwide Harmonized Light-duty Vehicle Test, 이하 WLTP) 방법론을 적용하였으며, 해당 주행패턴에 따른 연료소모율 등 분석은 차량비출력(Vehicle Specific Power, 이하 VSP)과 연료소모율간 관계식을 활용하였다. 제4장에서는 제3장에서 도출된 각 버스 유형별 주

행패턴에 대한 기초통계를 분석하고, 버스 유형별 주행패턴에 따른 배출량 등을 비교하여 정책적 시사점을 도출하였다. 특히 각 버스 유형간 주행패턴에 따른 연료소모량 및 온실가스 단위 배출량을 비교하여, 버스의 대기오염 및 온실가스 관리 정책에 대한 시사점을 도출하고자 하였다. 제5장에서는 본 연구에서 도출한 결론 및 향후 연구과제에 대해 설명하고 있다.

## II. 기존 문헌 고찰

### 1. 주행패턴의 정의 및 대표적 사례

본 연구에서 분석하고자 하는 주행패턴(Driving Pattern)이란 관련 문헌에서는 대부분 개별차량에서 일정시간 단위로 수집된 자료로, 일정 시간 동안 관측된 단일주행의 조합을 의미한다. 주행패턴은 단일모드(Short Trip)와 복수모드로 구분할 수 있으며, 단일모드는 평균차속에 해당하는 주행모드로 연비 측정에 주로 활용되며, 복수모드는 차속별로 달리 적용하는 주행모드로 자동차 배출계수 산출에 주로 활용된다. 여기서, 단일모드는 정지상태부터 다음 정지상태에 이르기까지 차속과 가속도의 변화 양상을 의미하고, 주행모드(Driving Mode)는 ‘실험 및 계측을 위해 조합되어 구현되는 특정 주행패턴’을 의미한다.

자동차 단위 배출량 분석을 위한 표준 주행모드에 대해 대표적으로 미국의 경우 시가지 모드에 해당하는 FTP-75모드와 고속주행 시험모드인 HWFET, 유럽의 경우 NEDC (New European Driving Cycle)를 적용하고 있다. 일본은 시가지 10개 유형, 교외 15개 유형으로 구분한 J10-15모드와 함께 Cold-start를 고려한 JC08모드를 적용하고 있다. 우리나라에서는 과거 에너지연구원(현재 한국에너지기술연구원)이 개발한 NIER모드를 적용하고 있다. 이후 자동차 관련 규정의 표준화 활동을 주도하고 있는 WP29 (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulation) 총회를 통해 유럽, 미국, 일본, 한국 및 인도의 실제 도로 주행 데이터를 측정하고 분석하여 WLTP를 통해 제작차 배출계수 측정을 위한 표준 주행패턴에 활용되고 있다.

### 2. 주행패턴 영향 요인 관련 연구

운전자의 주행패턴에 영향을 미치는 요인에 대한 기존 연구를 살펴보면, *Mattews and Cousins(1980)*의 연구에서는 운전자의 주행패턴에 영향을 미치는 요소를 규명하기 위해 청각 정보가 배제된 상태에서 차종에 따라 속도에 대한 인지 정확성을 알아보고자 하였고, 속도, 청각적 조건, 차종이 주된 영향 요인으로 나타났다. *Ericsson(2000)*의 연구에서는 1995년 스웨덴 Pund 지역에서 수집된 439건의 주행패턴에 대한 통계 분석을 하였고, 도로환경과 연령, 성별, 운전 경험 등 운전자 조건이 주행패턴 차이의 주된 요인으로 나타났다. *Min et al.(2002)*의 연구에서는 운전자는 주행상황에 대한 정보를 바탕으로 주행의 의도, 목적, 인식된 정보, 지식, 경험을 통해 얻은 규칙을 토대로 가감속에 대한 결정을 내린다고 주장하였고, 이 과정에서 연령, 성별과 같은 인적 특성은 물론 운전 목적, 정체 정도, 도로 상태, 주행 경험, 날씨 등의 외부요인에 따라 매우 다양한 주행패턴이 존재함을 규명하였다.

한편 *Günther et al.(2017)*의 연구에서는 주행모드 개발에 있어서 버스, 트럭과 같은 중차량 관련 연구의 부족함을 지적한 바 있다. 이와 관련하여 *Huang et al.(2017)*의 연구에서는 중국 텐진시의 2년 간 운행기록을 기반으로 마코프 체인 예측 모델을 구축해 속도와 가속도 분포의 예측치를 측정치와 비교한 결과 상관계수가 각각 0.85, 0.91로 상당히 안정적으로 나타났으며, 이는 버스가 정해진 경로를 정해진 시간에 맞추어 반복적

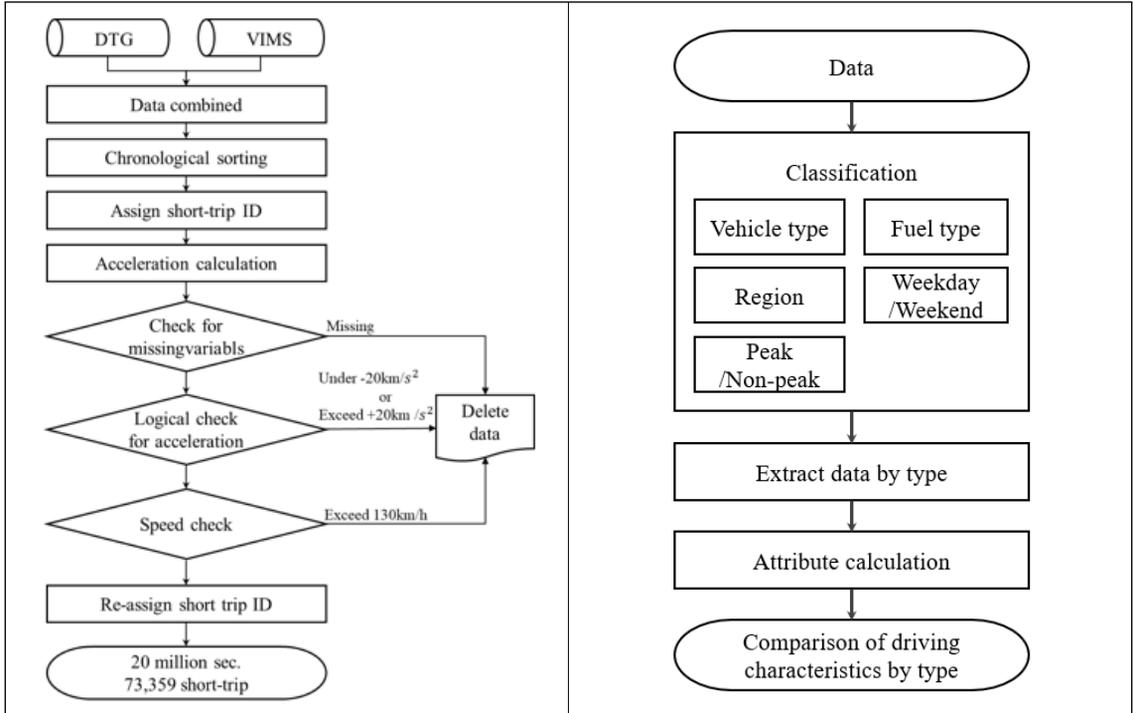
으로 주행하여 운전자의 반응이 상당히 안정적이기 때문이라고 설명하고 있다. Quirama et al.(2020)의 연구에서는 버스 속도, 연료 소비 및 배기 측정을 기록하는 센서가 장착된 15대의 버스 운행자료를 활용하여 버스 주행모드를 개발하여 산출한 연료 소비량과 배출량을 측정치와 비교한 결과 측정치가 예측치보다 낮게 나타난다고 주장하였으나 해당 연구는 상대적으로 적은 샘플을 기반으로 연구가 이루어진 한계가 존재한다. Zhang et al.(2017)의 연구에서는 중국 베이징 내 전기 사업차를 대상으로 주성분 분석과 K-평균 군집화(K-means Clustering)을 활용하여 주행모드를 개발하였고, 사업용 전기차 경우 일반 승용차에 비해 주로 이른 아침이나 늦은 저녁에 사용되기 때문에 평균 속도가 높고, 공회전 시간이 낮은 특성을 보인다고 제시하였다. Shen et al.(2018)의 연구에서는 도시 내 하이브리드 버스의 경우 전체 구간 운행을 대상으로 하는 주행모드와 정류장 간 운행 시 주행모드로 구분해야 한다고 주장하였다.

기존 주행패턴 연구를 살펴본 결과, 대부분 일부 차량 모델을 대상으로 한정된 실험 주행자료를 활용하였으며, 주행패턴의 일반화 및 다양한 차량별 주행패턴 차이 검토 등에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한 주행패턴 정립 방법론에 주안점을 두고 있으며, 주행패턴 결과에 따른 정책적 시사점 도출 등 다양한 기초자료로 활용되기에는 다소 한계가 있다. 본 연구에서는 버스 유형별 실제 주행자료를 활용하여 빅데이터 처리 및 주행패턴 방법론 적용을 통해 버스 유형별 주행패턴을 정립하고, 그에 따른 연료 사용량 등의 비교 분석에 주안점을 둔 점에서 큰 차별성이 있다. 특히, 본 연구 결과는 DRT 등 버스 운영의 경제성 향상을 위한 자율주행 버스 등의 표준 버스 주행모드, 버스 운전자의 경제운전 가이드를 위한 주행패턴 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### Ⅲ. 데이터 수집 및 분석

#### 1. 데이터 수집 및 가공

본 연구에서는 사업용차량 주행패턴 분석을 위해 한국교통안전공단의 DTG 자료와 VIMS 자료를 활용하였다. 2010년 교통안전법 개정에 따라 2014년 이후의 모든 여객운수사업법 대상 차량에 의무 장착하게 된 DTG는 차량의 이동 궤적, 속도, 가감속도 등의 주행이력과 함께 브레이크 및 엑셀레이터, 조향 조작 등의 차량 조작정보를 일정 시간 단위로 기록할 수 있어 일반 운전자의 실제 주행기록을 대량 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 DTG 자료는 차량번호 외에 별다른 차량 정보를 포함하고 있지 않기 때문에 차종이나 영업형태를 파악할 수 없다는 한계가 있다. 반대로 VIMS 자료는 주행이력이나 차량조작정보를 포함하고 있지 않지만, 차종, 영업형태, 등록지 등 다양한 차량 관련 정보를 포함하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 DTG 자료와 VIMS 자료를 결합하여 주행패턴을 자동차 유형별로 분류하여 분석하였다. 본 연구에서 수집한 데이터는 다음의 구조로 구성되어 있다.



<Fig. 1> Data pre-processing

<Fig. 2> Analysis process

## 2. 데이터 분석

사업용차량 주행패턴 분석을 위해서는 우선 하나의 주행패턴 단위로 집계하는 과정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 DTG로 수집된 초당 속도자료를 기준으로 개별 주행패턴을 구분한 후 차량등록번호를 기준으로 VIMS 자료를 결합하였다. 그리고 차량등록번호 및 DTG 자료 생성 순으로 정렬하여 가속도를 계산하였으며, 단일주행과 공회전으로 구분하여 주행패턴 그룹별로 1차 ID를 부여하였으며, (1) 변수 누락, (2) 비정상적인 가속도( $\pm 20\text{km/s}^2$  이상), (3) 주행속도  $130\text{km/h}$  초과하는 경우 이상치로 판단하여 제거한 결과 수집자료의 약 1.3%가 제외된 15억 6천만건, 43만 시간, 1,737만 여개의 분석 자료를 구축하였다. 마지막으로 차종, 유종, 등 록지역으로 자료를 구분하여 100만건의 유효한 분석 데이터를 가공한 후 분석 데이터를 활용하여 Choi et al.(2012)의 연구에서 제시하고 있는 WLTP 방법론을 적용하여 버스 유형별 주행패턴을 구축하였다.

각 차종의 주행패턴에 따른 온실가스 배출량을 비교하기 위해 본 연구에서는 주행패턴에 따른 VSP를 계산하고, 국립환경과학원의 배출량모니터링예측시스템(Predictive Emission Monitoring System, 이하 PEMS)을 이용한 VSP와 연료 소모율과의 관계식(Emission Map)을 활용한 배출계수 산정식을 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, 1) 주행패턴의 차속 및 가속도를 이용한 VSP를 분석하고, 2) PEMS에 의한 VSP 대비 연료 소모율( $\text{CO}_2$ ) 관계식을 통한 연료 소모율을 분석하고, 3) 연료 소모율에 따른 자동차 온실가스 배출량을 분석하였다.

본 연구에서 수집한 DTG 자료에 따른 버스의 주행특성을 분석한 결과, 총 주행거리는 7,400km, 총 정차시간은 325,244초, 단위 거리당 정차시간은 43.94초/km, 주행시간 비율은 67.48%, 단위거리당 주행횟수는 1.31회/km, 시간당 평균속도는 39.49km/h이다.

<Table 1> Study procedures and details

Study Procedures	Details
input Data	DTG and vehicle information combined data
data Preparation	acceleration exceeding $\pm 20\text{km/s}^2$ or speed exceeding 130km/h
data Extraction	data selection by spatiotemporal and type considering standardization
target speed calculation	WLTP methodology
re-selection of data by vehicle speed	DTG data selection program
calculating the representative driving duration	WLTP methodology
grouping driving patterns	pattern recognition machine learning
standardization of driving patterns	machine learning(ch-square test)

<Table 2> Data characteristics of the bus DTG

Characteristics Contents	Details
average speed(km/h)	39.49
total driving distance(km)	7,400.921
total stop time(sec)	325,244
ratio of stop time(%)	32.52
stop frequency	9,755
stop time per unit distance(sec/km)	43.94
stop frequency per unit distance(fre./km)	1.31
total driving time(sec)	674,756
ratio of driving time(%)	67.48
number of short trip	9,754
driving time per unit distance(sec/km)	91.17
driving frequency per unit distance(freq./km)	1.31

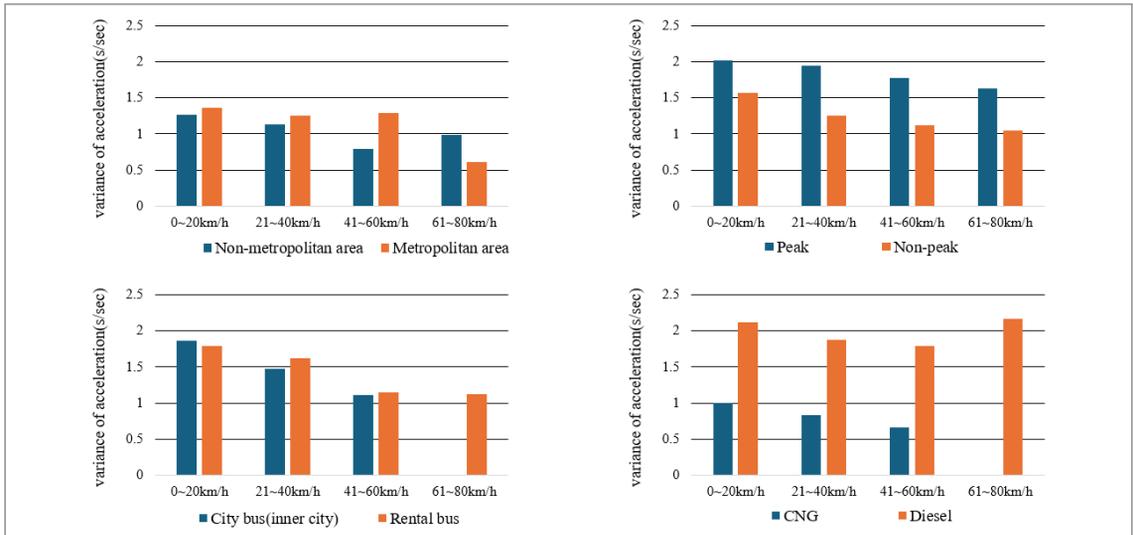
## IV. 연구 결과

### 1. 기술통계 분석

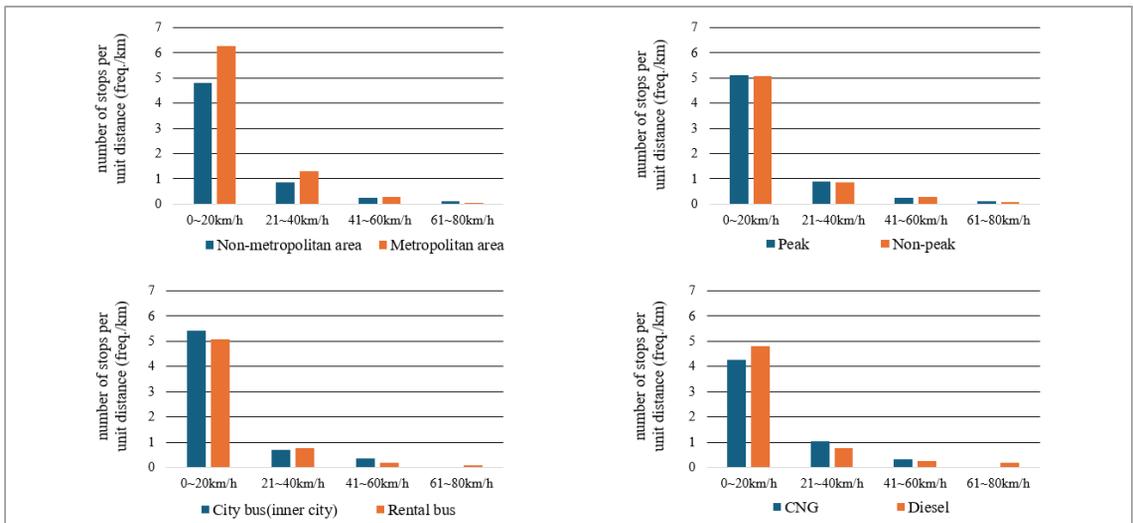
버스 세부 유형 간 주행특성을 비교하였으며, 버스는 시내버스/전세버스, 연료는 경유/CNG, 지역은 수도권/비수도권, 시간은 주중/주말/침두/비침두로 구분하였다. 각 유형간 속도 특성을 비교한 결과, 속도 분포가 가장 두드러지는 유형은 중형버스-경유-지방-주중-침두 유형인 것으로 나타났다. 속도 분포 영역이 가장 넓은 중형 버스를 대상으로 수도권/비수도권, 침두/비침두, 영업유형별(시내/전세) 속도 빈도분포를 살펴본 결과, 수도권/침두/전세버스의 경우 저속에서의 빈도 비율이 더 높아 유형에 따른 속도 분포가 상이한 것으로 나타났다.

가속도 분산은 비수도권보다 수도권에서, 비침두보다 침두에서, CNG보다 경유에서 더 높게 도출되었으며, 시내/전세 가속도 분산은 20km/h 미만 시 시내버스가, 20km/h 이상에서는 전세버스에서 더 높게 나타났다. 공회전 비율은 수도권/비수도권 간 비교 시 20km/h 이하에서는 비수도권의 공회전 비율이 높고, 20km/h

이상에서는 수도권외의 공회전 비율이 높은 것으로 분석되었다. 그 외에는 비첨두, 전세버스, 경유 차량의 유형에서 일관되게 높은 것으로 나타났다. 단위거리당 정차 횟수를 비교한 결과, 수도권이 비수도권보다 높은 것으로 나타났으며, 첨두/비첨두 간 비교 시에는 차이가 미미한 것으로 분석되었다. 한편, 시내 및 전세버스 비교 시 속도에 따라 상이한 결과를 보이고 있는데 유형별로 살펴보면, 20km/h 이하의 속도에서는 경유 차량의 정차 횟수가 높고, 20km/h 이상의 속도에서는 CNG 차량의 정차 횟수가 많은 것으로 나타났다. 이와 같은 버스 유형 및 각 시간간의 속도 및 가속도 분포, 정차 횟수 등 차이는 연료 소모량 및 온실가스 배출량 차이가 있을 수 있음을 시사한다.



<Fig. 3> Comparison of acceleration variance by type



<Fig. 4> Comparison of number of stops per unit distance by type

## 2. 각 유형간 주행패턴 비교

앞서 설명한 주행패턴 정립 방법론에 따라 다양한 유형별 주행패턴을 비교하였다. 이때, 지역은 서울시와 경기도, 유종은 경유와 CNG, 요일은 평일(수요일)과 주말(일요일), 시간은 첨두(오전 8시), 비첨두(정오 12시)로 구분하였다. 또한 속도군에 따른 동일 비교를 위해 수도권 버스 평균 속도와 가장 유사한 30km/h에 해당하는 속도군을 대상으로 접근하였다.

서울시와 경기도의 시내버스 주행패턴 분석 결과를 비교한 결과 경기도의 주행시간 비중이 서울시보다 상대적으로 높게 나타났으며, 이는 서울시의 비교적 짧은 버스 정류장 간격에 비해 경기도는 외곽 지역에서의 긴 운행거리 때문인 것으로 판단된다. 가속도와 감속도 분산의 경우 서울시는 교통 혼잡에 따른 제약으로 가속도는 낮고 감속도는 높게 나타났는데 비해 경기도는 연속류 이용 비중이 높아 가속도 분산은 높은 반면 감속도 분산은 작게 나타난 것으로 판단된다.

<Table 3> Comparison of driving modes by region

Contents	Seoul	Gyeonggi-do
driving mode		
average speed(km/h)	29.99	29.67
driving time ratio(%)	80.02	82.91
variance of acceleration(km/s <sup>2</sup> )	1.23	1.38
variance of deceleration(km/s <sup>2</sup> )	3.30	3.15

버스 사용 연료간 주행패턴을 분석한 결과, 경유 버스의 경우 다양한 영업 형태 구성에 따라 속도 편차가 큰 것으로 나타났으며, 가속도 분산이 상대적으로 높은 것은 경유 차량이 상대적으로 낮은 RPM에서 높은

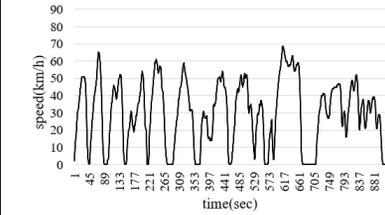
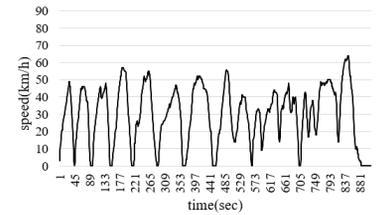
<Table 4> Comparison of driving modes by fuel type

Contents	Diesel	CNG
driving mode		
average speed(km/h)	30.30	30.60
driving time ratio(%)	84.34	91.25
variance of acceleration(km/s <sup>2</sup> )	1.59	1.29
variance of deceleration(km/s <sup>2</sup> )	3.39	4.19

가속 능력을 갖추었기 때문으로 판단된다. 반면 CNG 버스의 주행모드는 높은 주행시간 비중을 보이고 있으며, 이는 연속류 주행행태와 버스전용차로 운행행태 때문으로 판단된다.

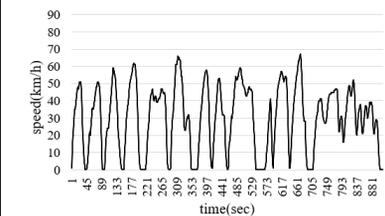
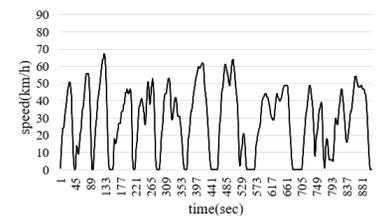
요일의 경우, 평일 수요일 주행모드에서는 낮은 주행시간 비중 및 높은 감속 분산이 나타나는 반면 일요일은 높은 주행 비중 및 높은 가속 분산이 나타나고 있다. 이는 수요일은 단거리 반복적 정차 행태, 일요일은 장거리 및 상대적인 비혼잡 상태의 운행행태 때문에 나타나는 것으로 해석할 수 있다.

<Table 5> Comparison of driving modes between weekday and weekend

Contents	Weekday(wednesday)	Weekend(sunday)
driving mode		
average speed(km/h)	30.23	29.98
driving time ratio(%)	87.21	91.02
variance of acceleration(km/s <sup>2</sup> )	1.38	1.42
variance of deceleration(km/s <sup>2</sup> )	4.06	2.14

첨두 오전 8시와 비첨두 오후 12시의 주행모드를 살펴보면, 첨두 시에서 가감속 분산이 높게 도출되어 급격한 운행행태를 보이고 있다. 버스에서의 이러한 행태는 혼잡이 발생하는 첨두시간에 차두시간(운행시격)을 유지하려는 행태로 판단된다. 비첨두인 오후 12시의 주행모드에서는 상대적으로 낮은 가감속 분산이 관찰되어 보다 안정적인 운행이 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

<Table 6> Comparison of driving modes between peak and non-peak

Contents	AM 8	PM 12
driving mode		
average speed(km/h)	30.55	29.10
driving time ratio(%)	87.40	87.46
variance of acceleration(km/s <sup>2</sup> )	1.66	1.26
variance of deceleration(km/s <sup>2</sup> )	4.00	3.73

시내버스에 대한 다양한 유형별 주행패턴을 비교한 결과, 다음과 같은 시사점을 도출하였다. 첫째, 현재 버스는 모두 동일한 주행패턴 기반으로 배출계수를 산정하여 적용하고 있으나, 유종과 연식별 차량 성능에

따른 차이, 요일과 시간별 혼잡 정도에 따른 통행 특성 차이, 그리고 지역에 따른 주행행태 차이로 인해 지역 및 시간대 등 주행 유형에 따른 주행패턴 개발이 필요한 것으로 확인되었다. 둘째, 일반적으로 경제운전은 승용차 대상의 정책을 추진하고 있으나 고정된 노선을 운영하는 버스 또한 주행패턴 차이가 있는 것으로 확인되어 버스의 주행패턴에 따른 가감속 차이를 최적화함으로써, 버스의 연료소모량 및 온실가스 배출량을 효과적으로 관리할 수 있다는 사실을 확인하였다.

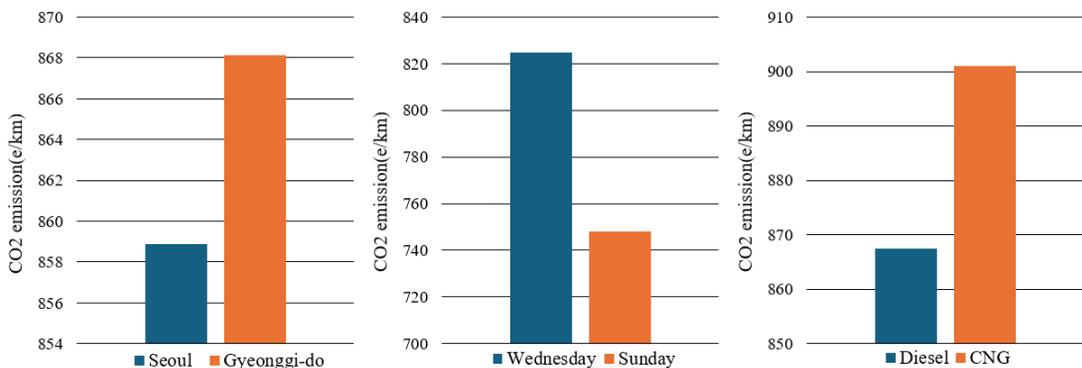
### 3. 유형간 연료소모량 및 온실가스 배출량 비교

각 버스 유형간 주행패턴에 따른 연료소모량과 온실가스 배출량을 비교하여 주행패턴의 유의미성을 확인하고자 하였다. 그 결과 경기도 운행버스의 표준 주행패턴은 서울시보다 가속도 분산 등이 높기 때문에 온실가스 배출량이 많고, CNG 버스는 경유 버스 대비 단위 온실가스 배출계수 차이에 따라 온실가스 배출량이 많은 것으로 분석되었다. 그리고 주말보다 평일에 가감속 빈도가 많음에 따라 온실가스 배출량이 많은 것으로 분석되었다. 즉, 도로상에서의 혼잡 수준 및 버스전용차로 운행에 따른 연속류 특성, 신호 연동 수준 등은 사업차 온실가스 배출량에 유의미한 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

특히, 본 연구는 DTG를 활용하여 다양한 버스 유형별 주행패턴 정립이 가능한 것을 확인하였다. 따라서 사업차의 표준화된 주행패턴 재정립을 통해, 사업차 온실가스 배출량을 재산정할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이는 최근 도로교통 여건을 고려한 주행패턴의 현행화를 의미하며, 특히 시공간적 고해상도의 교통 운

<Table 7> comparison driving characteristics and emission factors by type

Contents	Idle Duration Ratio (%)	Variance of Acceleration (km/s <sup>2</sup> )	Variance of Deceleration (km/s <sup>2</sup> )	Fuel Consumption (g/h)	Fuel Economy (km/l)	CO <sub>2</sub> emission (e/km)
seoul	20	1.23	3.3	10.44	2.86	858.87
gyeonggi-do	17	1.38	3.15	10.46	2.83	868.12
diesel	20	1.59	3.39	10.68	2.83	867.39
CNG	17	1.29	4.19	10.34	2.96	900.94
wednesday	13	1.38	4.06	10.15	2.98	824.99
sunday	17	1.42	2.14	9.12	3.29	748.14



<Fig. 5> Comparison of CO<sub>2</sub> emission by type

실가스 배출량 분석도 가능할 것으로 확인할 수 있다. 또한 본 연구 방법론을 확대하여, 등록대수 관리, 운행 관리, 유종전환 관리, 중대형차 등록관리 등 다양한 사업차 대상의 교통정책에 따른 온실가스 평가에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## V. 결 론

최근 자동차 빅데이터 활용 기술 발전, 교통환경 개선 정책의 다양성 확대 및 기술혁신으로 사회문제(미세먼지, 탄소 등)의 통합적 해결을 모색하는 추세이다. 본 연구는 자동차 빅데이터 활용의 디지털 뉴딜과 탄소중립을 위한 그린뉴딜의 동시 추구하기 위한 차원에서, 버스 DTG 데이터를 활용하여 주행패턴을 비교 분석함으로써, 자동차 연료 및 온실가스의 체계적인 배출 관리에 기여하는 것을 목적으로 하고 있다.

시내버스에 대한 다양한 유형별 주행패턴을 비교한 결과, 다음과 같은 시사점을 도출하였다. 첫째, 현재 버스는 동일한 주행패턴 기반으로 배출계수를 산정하여 적용하고 있으나, 지역 및 시간 등 유형에 따른 주행패턴 개발이 필요한 것으로 확인되었다. 유종과 연식별 차량 성능에 따른 차이, 요일과 시간별 혼잡 정도에 따른 통행 특성 차이, 그리고 지역에 따른 주행행태 차이가 있는 것으로 규명되었기 때문이다. 둘째, 각 유형간 주행패턴에 따른 연료소모량과 온실가스 배출량 차이가 있는 것으로 확인되었다. 경기도 운행버스가 서울시 보다 가속도 분산 등이 높기 때문에 온실가스 배출량이 많고, CNG 버스는 경유 버스 대비 단위 온실가스 배출계수 차이에 따라 온실가스 배출량이 많은 것으로 도출되었다. 즉, 도로상에서의 혼잡 수준 및 버스 전용차로 운행에 따른 연속류 특성, 신호 연동 수준 등은 사업차 온실가스 배출량에 유의미한 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 셋째, 버스의 주행패턴에 따른 가감속 차이를 최적화함으로써, 버스의 연료소모량 및 온실가스 배출량을 효과적으로 관리할 수 있다는 사실을 확인하였다. 현재 승용차 대상으로 경제운전 활성화 정책을 추진하고 있으나, 고정된 노선을 운영하는 버스 또한 주행패턴 차이가 있는 것으로 규명됨에 따라 자동차 경제운전 활성화 대상 확대 필요성을 정책적 시사점을 확인한 것이다.

본 연구는 DRT 등 버스 운영의 경제성 향상을 위한 자율주행 버스 등의 표준 버스 주행모드 설정, 버스 운전자의 경제운전 가이드를 위한 주행패턴 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 사업용 차량의 표준화 주행패턴 재정립을 통한 사업차 온실가스 배출량의 재산정, 사업차의 경제운전 효과 평가 등 다양한 교통정책에 활용이 가능할 것으로 기대된다. 더불어 미래 첨단 차량으로 주목받고 있는 자율주행차의 에너지 효율성 제고 및 탄소중립을 지향하는 최적 주행패턴의 도출 등이 향후 연구로 진행될 수 있겠다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 2024년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단-동북아-지역 연계 초미세먼지 대응 기술개발 사업의 지원(과제번호: 2020M3G1A1114629), 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행(과제번호 RS-2021-KA161756)하였습니다.

## REFERENCES

- Choi, K., Park, J., Lee, J., Kim, J., Lee, K. J. and Yi, Y.(2012), “Research on domestic driving pattern for international standardization of light-duty vehicles emission test method”, *J. Korean Soc. Transportation*, vol. 30, no. 1, pp.31-34.
- Ericsson, E.(2000), “Variability in urban driving patterns”, *Transportation Research Part D*, vol. 5, no. 5, pp.337-354.
- Günther, R., Wenzel, T., Wegner, M. and Rettig, R.(2017), “Big data driven dynamic driving cycle development for busses in urban public transportation”, *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, vol. 51, pp.276-289.
- Huang, D., Xie, H., Ma, H. and Sun, Q.(2017), “Driving cycle prediction model based on bus route features”, *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, vol. 54, pp.99-113.
- Matthews, M. and Cousins, L.(1980), “The influence of vehicle type on the estimation of velocity while driving”, *Ergonomics*, vol. 23, no. 12, pp.1151-1160.
- Min, S., Moon, I., Ha, J. and Yi, K.(2002), “Estimation of human driver model parameters using analysis of driving behavior”, *The Korean Society of Automotive Engineers KASE 2002 Annual Conference*, vol. 3, pp.1109-1114.
- National Institute of Environmental Research(2015), *Study on analysis and evaluation of international standard small car emission measurement methods*.
- Quirama, L. F., Giraldo, M., Huertas, J. I. and Jaller, M.(2020) “Driving cycles that reproduce driving patterns, energy consumptions and tailpipe emissions”, *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, vol. 82, 102294.
- Shen, P., Zhao, Z., Li, J. and Zhan, X.(2018), “Development of a typical driving cycle for an intra-city hybrid electric bus with a fixed route”, *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, vol. 59, pp.346-360.
- Zhang, F., Guo, F. and Huang, H.(2017) “A study of driving cycle for electric special-purpose vehicle in Beijing”, *Energy Procedia*, vol. 105, pp.4884-4889.