Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 25, No. 2 pp. 363-371, 2024

https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.2.363
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

충전인프라 입지 선정을 위한 화물자동차 통행발생모형 추정 연구

한진석
한국환경연구원 대기환경연구실

Truck Trip Generation Modeling for Zero-Emission Truck Charging Infrastructure Location

Jinseok Hahn
Division of Atmospheric Environment, Korea Environment Institute

요 약 전세계적으로 온실가스 및 미세먼지 감축을 위하여 무공해차 보급의 필요성이 커지고 있다. 본 연구에서는 오염물질 배출이 많은 영업용 화물차의 통행 특성 분석을 통하여 영업용 화물차의 충전인프라 입지 선정을 위한 기초자료를 마련하고자 한다. 이를 위하여 서열이산로짓모형을 기반으로 화물차의 통행발생 특성을 모형화하였다. 모형 추정 결과를 살펴보면 출발지 및 도착지 유형 중에서는 물류거점 B(공장)(x_4), 판매시설(x_9), 주거시설 등(x_8), 기타(x_{12}), 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고)(x_5) 등의 순으로 영향력이 큰 것으로 나타났다. 또한 최초출발지 특성보다는 출발지 및 도착지 유형이 미치는 영향력이 큰 것으로 나타났으며, 이러한 영향력 수준은 화물차 업종, 영업용 화물차 톤급에 따라 다르므로 화물차의 통행량은 출발지 및 도착지 유형, 최초출발지 특성 등에 따라 차이가 있는 것으로 판단된다. 무공해 화물차 충전인프라 입지 선정 시 본 연구에서 검토한 화물차 통행발생 빈도가 많은 장소를 고려해야 할 필요하며, 본 연구에서 검토한 변수 외 화물차 통행발생 특성을 파악하기 위한 추가 연구가 필요하다.

Abstract The need to distribute zero-emission vehicles is increasing worldwide to reduce greenhouse gas and fine dust emissions. This study seeks to make data for selecting a location for charging infrastructure for commercial trucks by analyzing the traffic characteristics of commercial trucks that emit many pollutants. For this purpose, this study modeled the characteristics of how truck traffic is generated based on the ordered logit model. The model estimation results showed that logistics center B has the most significant impact in terms of origin and destination type, followed by sales facilities, residential facilities, others, and logistics center C. In addition, the type of origination and destination had a greater impact than the characteristics of the initial origination point, with the level of impact varying depending on the business type of trucking and the ton ratings of commercial trucks, resulting in differences in the traffic volume of trucks depending on the origin and destination and the characteristics of the initial origin point. The places with high traffic volumes of trucks examined in this study should also be considered when selecting the optimal locations of zero-emission truck charging infrastructure. Nevertheless, more studies will be needed to understand the various factors that affect how truck traffic is generated beyond the variables examined in this study.

Keywords : Truck, Trip Generation, Ordered Logit Model, Likelihood Ratio Test, Charging Infrastructure Location

본 논문은 한국환경연구원의 2023년도 기본과제 「영업용 화물자동차를 위한 충전인프라 입지 연구(RE2023-09)」의 지원으로 수행되었음.
*Corresponding Author : Jinseok Hahn(Korea Environment Institute)
email: jshahn@kei.re.kr
Received November 24, 2023 Revised December 28, 2023
Accepted February 6, 2024 Published February 29, 2024

1. 서론

수송부문 온실가스 대부분이 도로에서 배출된다는 점에서[1] 무공해차 보급이 원활하게 추진될 필요가 있으며, 특히 화물차는 인체 위해성이 큰 초미세먼지 배출 비중이 커 타 차종 대비 무공해차 보급에 따른 사회적 편익이 클 것으로 예상된다[2]. 무공해 화물차 보급은 지속적인 증가가 예상되는 만큼 화물차 통행 특성에 맞는 적정 입지에 충전인프라를 구축하는 것이 매우 중요하다. 특히 화물차 소형 톤급은 지역 내 통행 비중이 높고 중·대형 톤급은 지역 간 통행 비중이 크다는 점에서 충전인프라 입지는 화물차 톤급별로 차별화가 필요하다.

비영업용 소형 톤급은 지역 내 통행 비중이 크기 때문에 승용차 중심의 충전인프라 구축사업으로 대응이 가능할 것으로 예상되나, 영업용 중·대형 톤급은 지역 간 통행 비중이 크고 충전을 위한 공간이 더 필요하므로 별도의 충전인프라 구축사업 검토가 필요하다. 또한 수단별 평균 통행시간가치(전국권)을 기준으로 화물차의 대당 평균 업무 통행시간가치는 승용차의 2배 이상으로 높아[3] 적정 입지에 충전인프라를 설치하여 충전으로 인하여 차주가 체감하는 총 통행시간 증가를 줄여야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 영업용 화물차의 통행 특성 분석을 통하여 영업용 화물차의 충전인프라 입지 선정을 위한 기초자료를 마련하고자 하며, 이를 위하여 화물차 통행발생모형을 추정하여 화물차의 출발지 및 도착지 유형이 개별 화물차의 1일 통행 횟수에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 분석 결과를 토대로 영업용 화물차의 충전인프라 입지 특성 및 구축 시 고려 사항 등의 정책적 시사점을 제시하였다.

2. 선행연구

본 연구에서는 이항선택모형을 기반으로 통행발생모형을 구축하며, 해당 모형을 이용하여 통행발생 특성을 분석한 국내·외 선행연구는 다음과 같다. Kim et al[4]는 다항로짓모형을 이용하여 수도권 화물차의 도착지 선택모형을 추정하였으며, Kim[5]는 다항로짓모형을 기반으로 도시화물의 도착지 선택과 다음 투어목적선택모형을 추정하였다. 또한 Kim et al[6]은 이항로짓모형 기반의 화물차 투어유형 선택모형을 추정하였으며, Hahn et al[7]은 화물차 통행요인 분석을 위하여 서열로짓모형을 활용하였다.

또한 Hahn and Park[8]은 화물차 공차통행요인 분석을 위하여 서열로짓모형을 활용하였으며, Kim[9]는 다항로짓모형을 이용하여 택배화물차의 통행행태를 분석하였다. Hahn and Park[10]은 지역간과 대도시 화물차 통행발생 요인을 분석하기 위하여 서열로짓모형을 이용하였으며, Hahn[11,12]은 이항로짓모형을 활용하여 화물차의 매연 배출에 영향을 미치는 요인과 도로용 3종의 저공해조치 선택에 미치는 영향을 검토하였다.

국외의 경우 이항선택모형은 화물수단선택 분석에 활용된 사례[13-23]가 대부분이며, 이 외에도 도시부 화물차의 투어행태 분석에 활용된 사례[24,25], 도시부 화물차의 통행발생 요인에 활용된 사례[26], 유럽의 화물통행 사슬 분석에 활용된 사례[27], 미국의 화물수단선택 및 도착지 선택 분석에 활용된 사례[28], 도시부 화물차의 경로선택에 활용된 사례[29] 등이 검토되었다.

Table 1. Comparison of Previous Studies

Author	Level of Consideration of Origin and Destination
Hahn et al[7]	◎
Kim et al[4], Kim[5], Keya[28]	○
Kim et al[6], Hahn and Park[10], Stefan et al.[24,25], Diaz[26]	△
Hahn and Park[8], Kim[9], Hahn[11,12], Comi and Polimeni[3], Abate et al.[14], Jensen et al.[15], Keya et al.[16], Stinson et al.[17], Roman et al.[18], Kim et al.[19], LaLarranaga et al.[20], Abate and de Jong[21], Roger and Combes[22], Samimi et al.[23], Jensen et al.[27], Oka et al.[29]	×

이상의 선행연구를 검토한 결과 국내·외 모두 통행발생 요인 분석 시 이항선택모형 중 로짓모형의 활용도가 높은 것으로 검토되어, 본 연구에서의 서열이산선택모형 기반 모형 추정은 무리가 없는 것으로 판단된다. 또한 화물차를 대상으로 업종과 톤급을 구분하여 통행발생 특성을 검토한 선행연구 사례는 미비하다는 점에서 화물차의 통행발생 특성에 대한 학술적 기초연구가 필요한 것으로 판단된다.

한편 선행연구에서는 모형의 설명변수에 차주의 사회경제적 변수, 화물차 차량 및 통행 특성(연식, 통행거리, 통행시간 등) 등을 고려하여 화물차의 통행발생량에 초

점을 맞춘 모형 추정 사례가 대부분이며, 본 연구에서와 같이 출발지 및 도착지를 중심으로 모형을 추정한 사례는 미비하여 화물차의 통행이 많이 발생하는 입지를 설명하기에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

3. 화물자동차 통행발생모형 추정

3.1 기초자료

본 연구에서는 화물차 통행발생모형 추정을 위하여 한국교통연구원 국가교통DB센터에서 제공하는 화물자동차통행실태조사 자료를 활용하였다[30]. 자료의 기준연도는 2017년이며, 해당 조사는 전국의 화물이동실태를 분석하기 위하여 하루 동안에 통행한 화물차의 통행일지를 파악하는 설문조사이다. 모형 추정에 활용된 표본수는 총 51,738대이며, 업종별 톤급별 표본수는 Table 2와 같다. 모형 추정을 위한 소프트웨어는 LIMDEP 4.0을 사용하였다.

Table 2. Number of samples

Type of business		Vehicle Class	
Private	26,064	Small	620
		Medium	22,636
		Large	2,808
For-hire	25,674	Small	259
		Medium	12,071
		Large	13,344
Total	51,738	Small	879
		Medium	34,707
		Large	16,152

3.2 모형 추정

화물차의 출발지 및 도착지 유형이 개별 화물차의 1일 통행 횟수에 미치는 영향을 검토하기 위하여 화물차 통행발생모형을 추정하였다. 화물차의 1일 통행 횟수는 상대적 크기에 대한 비교가 의미가 있는 서수적 특성을 가지므로 이항선택모형의 변형된 형태인 서열이산선택모형을 기반으로 모형을 추정하며, 모형의 종속변수는 개별 화물차의 1일 통행 횟수를, 설명변수는 개별 화물차의 특성(화물차 업종 및 톤급, 1일 통행 중 출발지 및 도착지 유형별 비중)과 최초출발지 특성(한국표준산업분류 기준 사업체수)을 고려하였다.

서열이산선택모형에서 고려하는 효용의 구조는 Eq. (1)과 같다. 또한 응답자가 관찰할 수 있는 응답 y_i(통행 횟수 등)을 선택하는 기준은 일정 범위 내에서 j를 선택할 수 있도록 잠재변수 y_i^*에 의해 결정되며, y_i^*와 y_i의 관계는 Eq. (2)와 같다[31]. Eq. (2)에서 μ_0와 μ_{J-1}은 y_i^*의 경곗값을 의미하는 것으로 관찰할 수 있는 응답에 대하여 j를 선택할 수 있는 기준이 되며, 이는 Eq. (3)의 조건을 만족한다.

$$y_i^* = \sum_{k=1}^{K} \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

Where, y_i^* denotes utility of individual truck i trip generation, x_{ik} denotes kth exogenous variable affecting the trip of individual truck i, β_k denotes coefficient of kth exogenous variable, ϵ_i denotes stochastic error term

$$\begin{aligned} y &= 0 \ \text{if} \ y_i^* \le \mu_0 \\ &= 1 \ \text{if} \ \mu_0 \le y_i^* \le \mu_1 \\ &= 2 \ \text{if} \ \mu_1 \le y_i^* \le \mu_2 \\ &\ \ \vdots \\ &= J \ \text{if} \ \mu_{J-1} \le y_i^* \end{aligned} \quad (2)$$

$$\mu_0 < \mu_1 < \mu_2 < \bullet < \mu_{J-1} \quad (3)$$

Eq. (1)의 미관측 요소인 ϵ_i의 분포 가정에 따라 서열프로빗모형과 서열로짓모형으로 구분되며, 본 연구에서는 서열이산선택모형 중 서열로짓모형을 이용하였으며, 모형의 기본 형태는 Eq. (4)와 같다. 또한 설명변수의 영향력을 비교하기 위하여 추정된 계수를 표준화 계수로 변환하였으며, 변환식은 Eq. (5)와 같다. 종속변수인 y_i^*는 개별 화물차 1일 통행 횟수를, 개별 화물차 특성 중 화물차 업종 및 톤급 설명변수인 x_1은 화물차 업종(영업용:1, 비영업용: 0), x_2는 화물차 톤급(중·대형:1, 소형: 0)을 의미한다.

개별 화물차 특성 중 1일 통행 중 출발지 및 도착지 유형별 비중 설명변수인 x_3은 1일 통행 중 물류거점 A(철도역, 항만, 공항, 버스터미널) 비중, x_4는 1일 통행 중 물류거점 B(공장) 비중, x_5는 1일 통행 중 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고) 비중, x_6은 1일

통행 중 물류거점 D(트럭터미널, IFT, ICD), x_7은 1일 통행 중 차고지 비중, x_8은 1일 통행 중 주거시설 등(의료시설, 교육시설, 종교시설, 일반업무시설, 공공업무시설, 숙박시설, 관람·집회시설, 관광·휴게시설, 전시시설) 비중, x_9는 1일 통행 중 판매시설 비중, x_{10}은 1일 통행 중 휴게소 비중, x_{11}은 1일 통행 중 자택 비중, x_{12}는 1일 통행 중 기타(건설현장, 농림수축산지, 폐기물 처리장) 비중을 의미한다.

또한 최초출발지 특성 설명변수인 z_1은 최초출발지 농업, 임업 및 어업 사업체수, z_2는 최초출발지 광업 사업체수, z_3는 최초출발지 제조업 사업체수, z_4는 최초출발지 건설업 사업체수, z_5는 최초출발지 도매 및 소매업 사업체수, z_6는 최초출발지 운수 및 창고업 사업체수, z_7은 최초출발지 서비스업 사업체수를 의미한다.

$$\begin{aligned} y_i^* = {} & \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 \\ & + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 \\ & + \beta_9 x_9 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{11} x_{11} + \beta_{12} x_{12} \\ & + \beta_{13} z_1 + \beta_{14} z_2 + \beta_{15} z_3 + \beta_{16} z_4 \\ & + \beta_{17} z_5 + \beta_{18} z_6 + \beta_{19} z_7 \end{aligned} \quad (4)$$

$$B = B_1 \frac{S_x}{S_y} \quad (5)$$

Where, B denotes standardized coefficient, B_1 denotes non-standardized coefficient, s_X denotes standard deviation of X, s_Y denotes standard deviation of Y

4. 모형 추정 결과 및 분석

4.1 모형 추정 결과

모형 추정 결과는 Table 3과 같으며, 최초출발지 농업, 임업 및 어업 사업체수(z_1), 최초출발지 운수 및 창고업 사업체수(z_6) 외 모형에 포함된 설명변수는 모두 유의수준 1% 하에서 유의한 것으로 나타났다. 종속변수인 개별 화물차의 1일 통행 횟수는 통상적으로 비영업용보다는 영업용이 많고, 중·대형 톤급보다는 소형 톤급에서 다수 통행 발생이 많다는 점에서 변수의 부호는 상식적인 것으로 판단된다.

Table 3. Estimation result of trip generation model

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
x_1	0.101	0.035	9.892	0.000
x_2	-0.170	-0.058	-4.666	0.000
x_3	1.098	0.100	20.802	0.000
x_4	1.383	0.353	35.201	0.000
x_5	1.358	0.268	33.909	0.000
x_6	1.488	0.087	21.787	0.000
x_7	1.920	0.202	39.588	0.000
x_8	1.861	0.277	44.807	0.000
x_9	1.983	0.305	48.490	0.000
x_{10}	2.584	0.052	15.899	0.000
x_{11}	1.626	0.215	37.920	0.000
x_{12}	2.275	0.271	49.380	0.000
z_2	-0.002	-0.044	-11.518	0.000
z_3	-0.002	-0.012	-3.326	0.001
z_4	-0.00001	-0.016	-4.346	0.000
z_5	-0.0003	-0.075	-10.660	0.000
z_7	0.0001	0.146	21.575	0.000
No. of sample=51,738, $L(\beta)$=-74.283.3, R^2=0.020				

분석 결과 역시 x_1은 양(+)의 영향을, x_2는 음(-)의 영향을 나타내 영업용이고 소형 톤급일수록 종속변수에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 출발지 및 도착지 유형 중에서는 물류거점 B(공장)(x_4), 판매시설(x_{10}), 주거시설 등(x_9), 기타(x_{12}), 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고)(x_5) 등의 순으로 계수가 크게 나타나 해당 유형의 비중이 많은 곳을 중심으로 충전인프라 입지 검토가 필요한 것으로 판단된다.

최초출발지 특성 중에서는 서비스업 사업체수(z_7)만이 1일 통행 횟수 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 최초출발지 특성보다는 출발지 및 도착지 유형이 종속변수에 미치는 영향력이 큰 것으로 나타났다. 모형 추정 결과는 종속변수 속성상 지역 내 다수 통행이 잦은 소형 톤급의 통행 특성이 많이 반영된 것으로 판단되며, 이에 따라 출발지 및 도착지 유형 중 자택(x_{11})의 영향력은 높으나, 휴게소(x_{10})의 영향력은 다소 낮게 나타난 것으로 판단된다.

4.2 시장 분할

개별 화물차의 1일 통행 횟수에 미치는 영향력이 화물차 특성에 따라 다른지를 검토하기 위하여 화물차 업종(비영업용 vs. 영업용), 영업용 화물차 톤급(소형 vs. 중·대형)과 같이 2개 그룹으로 시장 분할을 하였으며, 각 그룹에 대한 시장 분할의 유의성 검토를 위한 우도비 검정은 Eq. (6)과 같다. 그룹별 시장 분할에 대한 유의성 검토 결과는 Table 4와 같으며, 시장 분할 모형은 모두 모집단이 G개의 시장으로 분할되었을 경우 모형 간 모수의 벡터가 같다는 귀무가설($H_o = \beta^1 = \beta^2 = \cdots = \beta^G$)을 기각하여 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

$$-2\left[L_N(\hat{\beta}) - \sum_{g=1}^{G} L_{N_g}(\widehat{\beta^g})\right] \quad (6)$$

Where, $L_N(\hat{\beta})$ denotes Log-likelihood function of the total model, $L_{N_g}(\widehat{\beta^g})$ denotes Log-likelihood function for segmented model, $\sum_{g=1}^{G} K_g - K$ denotes degree of freedom(K_g denotes number of coefficients in the segmented model, K denotes number of coefficients in the total model)

Table 4. Result of likelihood ration test for market segmentation

Group	Test statistic	Degree of freedom	$x^{2_{(0.05)}}$
Type of business	Private	1,670.8	35.172
	For-hire		
For-hire vehicle class	Small	1,770.3	31.410
	Medium& Large		

4.2.1 화물차 업종 구분

모형 추정 결과는 Table 5, Table 6과 같으며, 모형에 포함된 설명변수는 대체로 유의수준 1% 하에서 유의한 것으로 나타났다. 설명변수의 부호는 시장 분할 이전 모형과 같게 추정되어 합리적인 것으로 판단된다. 화물차 업종별 모형도 전체 모형과 마찬가지로 종속변수의 속성상 소형 톤급의 통행 특성이 많이 반영된 것으로 판단된다.

Table 5. Estimation result of trip generation model by type of business (private)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
x_2	-0.078	-0.009	-1.742	0.081
x_3	1.665	0.110	18.015	0.000
x_4	1.527	0.207	30.931	0.000
x_5	1.644	0.356	32.529	0.000
x_6	1.491	0.041	7.702	0.000
x_7	1.966	0.198	28.999	0.000
x_8	2.065	0.374	40.337	0.000
x_9	2.141	0.415	42.804	0.000
x_{10}	2.951	0.060	12.107	0.000
x_{11}	1.523	0.245	28.706	0.000
x_{12}	2.339	0.030	38.978	0.000
z_1	-0.003	-0.056	-9.428	0.000
z_2	-0.003	-0.016	-3.014	0.003
z_4	-0.0004	-0.106	-9.432	0.000
z_5	0.0002	0.018	2.742	0.006
z_7	0.0001	0.173	15.41	0.000
No. of sample=26,064, $L(\beta)$=-34,177.5, R^2=0.021				

비영업용 화물차는 판매시설(x_9), 주거시설 등(x_8), 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고)(x_5), 자택(x_{11}), 물류거점 B(공장)(x_4) 등의 순으로, 영업용 화물차는 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고)(x_5), 물류거점 B(공장)(x_4), 판매시설(x_9), 주거시설 등(x_8) 차고지(x_7) 등의 순으로 종속변수에 미치는 영향력이 큰 것으로 나타났다.

설명변수의 영향력은 영업용 화물차가 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 특히 물류거점 A(x_3), B(x_4), C(x_5), D(x_6), 차고지(x_7), 휴게소(x_{10}) 등의 영향력이 비영업용 대비 큰 것으로 나타나 화물차 업종별 통행 특성 차이가 존재하는 것으로 판단된다. 현행 무공해 화물차는 소형 톤급의 전기 화물차가 대부분이며, 비영업용의 보급 비중이 많다는 점에서 전기 화물차를 위한 충전인프라 입지는 판매시설, 주거시설 등, 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고)(x_5),, 물류거점 B(공장)(x_4) 등을 중심으로 검토해야 할 필요가 있는 것으로 사료된다.

Table 6. Estimation result of trip generation model by type of business (for-hire)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
x_2	-0.408	-0.040	-6.245	0.000
x_3	1.205	0.189	15.71	0.000
x_4	1.548	0.434	22.831	0.000
x_5	1.380	0.498	20.016	0.000
x_6	1.729	0.254	19.453	0.000
x_7	2.161	0.348	28.193	0.000
x_8	1.985	0.387	26.704	0.000
x_9	2.210	0.396	28.761	0.000
x_{10}	2.602	0.106	11.803	0.000
x_{11}	2.252	0.230	29.516	0.000
x_{12}	2.555	0.228	33.473	0.000
z_1	-0.002	-0.058	-5.684	0.000
z_2	-0.003	-0.021	-2.206	0.027
z_3	-0.00002	-0.068	-6.985	0.000
z_4	-0.0002	-0.114	-6.358	0.000
z_7	0.00005	0.232	13.353	0.000
No. of sample=25,674, $L(\beta)$=-39,270.4, R^2=0.024				

4.2.2 영업용 화물차 톤급 구분

모형 추정 결과는 Table 7, Table 8과 같으며, 업종을 구분한 모형과 같이 모형에 포함된 설명변수는 대체로 유의수준 1% 하에서 유의한 것으로, 설명변수의 부호는 개별 화물차의 통행 발생과 양(+)의 관계가 있는 것으로 나타나 합리적인 것으로 판단된다. 영업용 화물차는 톤급에 따라 종속변수에 미치는 설명변수의 영향력이 다른 것으로 나타났으며, 소형 톤급은 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고)(x_5), 차고지(x_7), 판매시설(x_9), 주거시설 등(x_8), 휴게소(x_{10}) 등의 순으로, 중·대형 톤급은 물류거점 D(트럭터미널, IFT, ICD)(x_6), 휴게소(x_{10}), 물류거점 A(철도역, 항만, 공항, 버스터미널)(x_3), 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고)(x_5), 차고지(x_7) 등의 순으로 영향력이 크게 나타났다.

소형 톤급의 출발지 및 도착지 유형은 주로 도심 내에 위치하여 지역 내 통행 빈도가 높은 것으로, 중·대형 톤급의 출발지 및 도착지 유형은 주로 도심 외에 위치하여 지역 간 통행 빈도가 높은 것으로 나타나 톤급별 통행 특성 차이는 존재하는 것으로 판단되며, 모든 톤급에서 차고지(x_7)와 휴게소(x_{10})의 통행 비중은 높게 나타나 영업용 화물차의 통행 특성이 반영된 것으로 판단된다. 특히 영업용 화물차도 소형 톤급을 중심으로 전기 화물차

Table 7. Estimation result of trip generation model by for-hire vehicle class (small)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
x_3	1.167	0.265	4.016	0.000
x_4	2.186	0.193	10.542	0.000
x_5	1.336	0.451	6.655	0.000
x_6	3.875	0.239	1.395	0.002
x_7	2.001	0.413	3.879	0.000
x_8	2.637	0.343	12.708	0.000
x_9	2.444	0.396	12.953	0.000
x_{10}	3.449	0.318	2.229	0.026
x_{11}	2.521	0.117	8.681	0.000
z_1	0.00002	0.215	0.922	0.004
z_3	0.0005	0.299	0.137	0.009
z_5	0.0002	0.189	0.669	0.005
z_7	0.00004	0.266	1.454	0.001
No. of sample=399, $L(\beta)$=-692.6, R^2=0.026				

Table 8. Estimation result of trip generation model by for-hire vehicle class (medium & large)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
x_3	0.519	0.342	11.268	0.000
x_4	0.943	0.221	48.236	0.000
x_5	0.835	0.332	32.818	0.000
x_6	1.015	0.413	17.144	0.000
x_7	1.385	0.298	34.897	0.000
x_8	1.477	0.169	38.521	0.000
x_9	1.671	0.166	37.654	0.000
x_{10}	1.900	0.394	9.069	0.000
x_{12}	2.019	0.204	52.045	0.000
z_1	0.00002	0.291	4.279	0.000
z_2	0.00002	0.275	5.635	0.000
z_3	0.001	0.306	4.072	0.000
z_4	0.002	0.252	1.430	0.002
z_5	0.0002	0.207	4.680	0.000
z_6	0.0001	0.219	1.820	0.007
z_7	0.00005	0.199	10.625	0.000
No. of sample=25,415, $L(\beta)$=-37,692.6, R^2=0.031				

가 보급 중이므로, 영업용 화물차를 위한 충전인프라 입지는 영업용 소형 톤급의 통행발생에 영향을 미치는 출발지 및 도착지 유형을 우선 검토해야 할 필요가 있다.

5. 결론 및 시사점

본 연구에서는 서열이산로짓모형을 기반으로 화물차의 통행발생 특성을 모형화하였으며, 우도비 검정을 통하여 화물차 업종별, 영업용 화물차 톤급별 시장 분할의 유의미성을 검토하고, 분할된 시장별 모형을 추정하였다. 모형 추정 결과를 살펴보면 출발지 및 도착지 유형 중에서는 물류거점 B(공장)(x_4), 판매시설(x_9), 주거시설 등(x_8), 기타(x_{12}), 물류거점 C(도매시장·유통센터, 배송센터·창고)(x_5) 등의 순으로 영향력이 큰 것으로 나타났다. 또한 최초출발지 특성보다는 출발지 및 도착지 유형이 미치는 영향력이 큰 것으로 나타났으며, 이러한 영향력 수준은 화물차 업종, 영업용 화물차 톤급에 따라 다르므로 화물차의 통행량은 출발지 및 도착지 유형, 최초출발지 특성 등에 따라 차이가 있는 것으로 판단된다.

본 연구의 분석 결과를 토대로 무공해 화물차를 위한 충전인프라 입지는 화물차의 업종, 톤급을 고려해야 할 필요가 있는 것으로 판단된다. 특히 현행 무공해 화물차는 소형 전기 화물차가 대부분이므로 단기적으로는 소형 톤급의 통행 발생에 영향을 미치는 출발지 및 도착지 유형을 중심으로 충전인프라 입지를 검토하되, 중대형 무공해 화물차가 출시되는 시점부터는 중대형 화물차의 통행 발생에 영향을 미치는 출발지 및 도착지 유형을 고려하여 충전인프라 추가 구축 입지를 검토해야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 영업용 화물차에 대해서만 시장분할 모형을 추정하였으나 향후에는 비영업용 화물차의 시장분할 모형 추정도 필요한 것으로 판단된다. 현행 무공해 화물차는 비영업용 소형 톤급의 등록 비중이 크므로 비영업용 화물차의 시장분할 모형 추정 결과는 현행 소형 전기 화물차를 위한 충전인프라 입지 검토에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

한편 본 연구에서는 통행발생모형 추정 시 모형 자체의 통계적 유의성을 확보하여 설명변수 간 상관성을 별도로 검토하지 않았으나, 향후 연구에서는 변수 간 상관성을 검토하여 모형의 신뢰성을 높일 필요가 있다. 또한 본 연구에서 추정한 모형은 통계적 유의미성은 확보하나 설명력이 다소 낮은 한계가 있으므로 모형의 설명력을 높이기 위한 추가 연구가 필요하다.

특히 이산선택모형 추정 결과는 분석 자료 수준에 따라 결과가 다르게 나타날 수 있으므로 모형의 설명력을 높이기 위해서는 표본수 확대, 통계적 표본추출 등의 방안이 병행될 필요가 있다. 본 연구에서도 톤급별 시장별 유사한 수준의 표본수를 확보하지 못한 한계가 있으며, 무공해 화물차의 충전인프라 입지 후보의 신뢰성을 높이기 위하여 본 연구에서 검토한 변수 외 화물차의 통행발생 특성을 파악하기 위한 추가 연구도 필요한 것으로 판단된다.

References

[1] Greenhouse Gas Inventory and Research Center, “2021 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea”, 2022.

[2] National Air Emission Inventory and Research Center, “2019 National Air Pollutants Emission”, 2022.

[3] KDI Public and Private Infrastructure Investment Management Center, “A Study on Detailed Guidelines for Pre-feasibility Study on Road and Railway Projects” 2021.

[4] H. S. Kim, D. J. Park, C. S. Kim, K. D. Lee, K. S. Kim, “Destination Choice Modeling for Freight Trip Distribution in Seoul Metropolitan”, *The Korea Spatial Planning Review*, Vol.64, pp.167-183, 2010. DOI: https://doi.org/10.15793/kspr.2010.64..010

[5] H. S. Kim, *A Tour-Based Approach to Urban Freight Travel Demand Modeling*, Doctoral thesis, Graduate School of The University of Seoul.

[6] H. S. Kim, D. J. Park, C. S. Kim, C. H. Choi, K. S. Kim, “An Analysis of Choice Behavior for Tour Type of Commercial Vehicle using Desion Tree”, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.28, No.6 pp.43-54, 2010.

[7] J. S. Hahn, M. C. Park, H. M. Sung, H. B. Kim, “A Study on the Characteristics of Urban Truck Movement for the Truck based Urban Freight Demand Model”, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.30, No.3, pp.107-118, 2012. DOI: https://doi.org/10.7470/jkst.2012.30.3.107

[8] J. S. Hahn, M. C. Park, “A Study on the Factors Concerning Empty Truck Movements”, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.3, No.6, pp.47-57, 2012. DOI: https://doi.org/10.7470/jkst.2012.30.6.047

[9] S. J. Kim, *A Study on Tour-Based Travel Demand Model of Parcel Service Truck*, Master’s thesis, Graduate School of The University of Seoul.

[10] J. S. Hahn, M. C. Park, "The Comparison between Regional and Urban Truck Movement Characteristics", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.33, No.4, pp.1559-1569, 2013.
DOI: https://doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.4.1559

[11] J. S. Hahn, "Study of the Analysis on the Emission Factors Diesel Trucks", *Journal of Environmental Policy and Administration*, Vol.28, No.3, pp.1-18, 2020.
DOI: http://dx.doi.org/10.15301/jepa.2020.28.3.1

[12] J. S. Hahn, "Analysis of Constructure Vehicles Retrofit Behavior using Logit Model", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.22, No.8, pp.304-311, 2021.
DOI: http://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.8.304

[13] A. Comi, A. Polimeni, "Assessing the Potential of Short Sea Shipping and the Benefits in Terms of External Costs: Application to the Mediterranean Basin", *Sustainability,* Vol.12, No.13, 5383, 2020.
DOI: https://doi.org/10.3390/su12135383

[14] M. Abate, I. Vierth, R. Karlsson, G. de Jong, J. Baak, "A Disaggregate Stochastic Freight Transport Model for Sweden", *Transportation,* Vol.46, pp.671-696, 2019.
DOI: https://doi.org/10.1007/S11116-018-9856-9

[15] A. Jensen, M. Thorhauge, G. de Jong, J. Rich, T. Dekker, "A Disaggregate Freight Transport Chain Choice Model for Europe", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* Vol.121, pp.43-62, 2019.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.10.004

[16] N. Keya, S.Anowar, N. Eluru, "Joint Model of Freight Mode Choice ond Shipment Size: A Copula-Based Random Regret Minimization Framework", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* Vol.125, pp.97-115, 2019.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.007

[17] M. Stinson, Z. Pourabdollahi, V. Livshits, K. Jeon, S. Nippani, "A Joint Model of Mode and Shipment Size Choice Using the First Generation of Commodity Flow Survey Public Use Microdata", *International Journal of Transportation Science and Technology,* Vol.6, No.4, pp.330-343, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.08.002

[18] C. Roman, A. Arencibia, F. V. Maria, "A Latent Class Model with Attribute Cut-Offs to Analyze Modal Choice for Freight Transport", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.102, pp.212-227, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.020

[19] H. C. Kim, A. Nicholson, D. Kusumastuti, "Analysing Freight Shippers' Mode Choice Preference Heterogeneity Using Latent Class Modelling", *Transportation Research Procedia*, Vol.25, pp.1109-1125, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.123

[20] A. M. LaLarranaga, J. Arellana, L. A. Senna, "Encouraging Intermodality: A Stated Preference Analysis of Freight Mode Choice in Rio Grande do Sul", *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* Vol.102, pp.202-211, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.028

[21] M. Abate, G. de Jong, "The Optimal Shipment Size and Truck Size Choice – The Allocation of Trucks Across Hauls", *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* Vol.59, pp.262-277, 2014.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.11.008

[22] L. B. Roger, F. Combes, "Estimation of an Inventory Theoretical Model of Mode Choice in Freight Transport", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.2378, pp.13-21, 2013.
DOI: https://doi.org/10.3141/2378-02

[23] A. Samimi, K. Kawamura, A. Mohammadian, "A Behavioral Analysis of Freight Mode Choice Decisions", Transportation Planning and Technology, Vol.34, No.8, pp.857-869, 2011.
DOI: https://doi.org/10.1080/03081060.2011.600092

[24] K. J. Stefan, J. D. P. McMillan, J. D. Hunt, "Urban Commercial Vehicle Movement Model for Calgary, Alberta, Canada", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.1921, 2005.
DOI: https://doi.org/10.1177/0361198105192100101

[25] K. J. Stefan, J. D. Hunt, J. D. P. McMillan, A. Farhan, "Development of a Fleet Allocator Model for Calgary, Canada", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.1994, 2007.
DOI: https://doi.org/10.3141/1994-12

[26] I. Sánchez Díaz, "Modeling urban freight generation: A study of commercial establishments' freight needs", *Transportation Research Part A*, Vol.102, pp.3-17, 2017.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.035

[27] A. F. Jensen, M. Thorhauge, G. de Jong, J. Rich, T. Dekker, "A disaggregate freight transport chain choice model for Europe", *Transportation Research Part E,* Vol.121, pp.43-62, 2019.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.10.004

[28] N. Keya, S. Anowar, T. Bhowmik, N. Eluru, "A joint framework for modeling freight mode and destination choice: Application to the US commodity flow survey data", *Transportation Research Part E,* Vol.146, 102208, 2021.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102208

[29] H. Oka, Y. Hagino, T. Kenmochi, R. Tani, R. Nishi, "Predicting travel pattern changes of freight trucks in the Tokyo Metropolitan area based on the latest large-scale urban freight survey and route choice modeling", *Transportation Research Part E,* Vol.129, pp.305-324, 2019.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.12.011

[30] The Korea Transport Institute, 2017 National Transportation Survey, DB System Operation and Maintenance, Korea.

[31] Greene, W. H.(1990), "Econometric Analysis", Collier Macmillan.

한 진 석(Jinseok Hahn) [정회원]

- 2010년 8월 : 서울대학교 건설환경공학부 (교통공학박사)
- 2011년 4월 ~ 2014년 5월 : 한국교통연구원 박사후연구원
- 2014년 6월 ~ 현재 : 한국환경연구원 연구위원

〈관심분야〉
지속가능교통