

로짓모형을 이용한 도로용 3종 건설기계 저공해조치 선택행태 분석

한진석

한국환경연구원 대기환경연구실

Analysis of Construction Vehicles Retrofit Behavior using Logit Model

Jin-Seok Hahn

Division of Atmospheric Environment, Korea Environment Institute

요약 본 연구에서는 이항로짓모형을 기반으로 도로용 3종의 저공해조치 선택 여부를 모형화하였으며, 우도비 검정을 통하여 차량 등록지, 차종에 대한 시장 분할의 유의미성을 검토하고, 분할된 시장별로 모형을 추정하였다. 모형 추정 결과를 살펴보면 도로용 3종 저공해조치 선택에 대한 영향력은 LEZ 제도 인지 유무, 연식, 월평균 운행거리, 최초 출발지 유형, 도착지 유형 횡수 등의 순으로 나타났으며, 해당 영향력 수준은 차량 등록지, 차종에 따라 상이한 것으로 나타났다. 이상의 결과를 토대로 도로용 3종의 저공해조치를 활성화하기 위해서는 LEZ 제도의 적극적 도입과 홍보가 우선 필요한 것으로 판단된다. 현행 LEZ 제도는 단속카메라 설치, 과태료 부과 등으로 제도의 실효성 확보가 가능하고, 저공해조치 시 단속 차량에서 유예되기 때문에 LEZ 제도와 저공해조치는 상호 연관성이 존재한다. 따라서 도로용 3종의 저공해조치를 확대하기 위해서는 수도권 외 대기관리권역에서의 LEZ 제도 도입, 차주 대상 LEZ 제도 교육 및 홍보 등의 검토가 필요하다. 특히 도로용 3종이 주로 통행하는 출발지 및 도착지 유형을 고려하여 LEZ 제도의 공간적 범위를 검토해야 할 필요가 있다.

Abstract In this study, the retrofit selection for three types of road construction vehicles was modeled based on the binomial logit model. The significance of market segmentation in terms of the vehicle registration area and vehicle type was evaluated through the likelihood ratio test, and models were derived for each market segment. The model evaluations showed that the selection of low-emission measures for the three types of construction vehicles was mainly influenced by the LEZ system awareness, model year, average monthly mileage, initial departure area type, and destination area type. The influence level appeared to be dependent on the vehicle registration area and type. Based on the above results, it is deemed necessary to actively introduce and promote the LEZ system to implement retrofitting for the three types of road construction vehicles. Specifically, it is essential to study the spatial range of the LEZ system, considering the types of departure and destination areas where the three types of road construction vehicles are mainly present.

Keywords : Binomial Logit Model, Retrofit, Likelihood Ratio Test, Construction Vehicle, LEZ

본 논문은 한국환경연구원의 2020년도 일반과제 「미세먼지 통합관리 전략 수립 연구(GP2020-12)」의 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jin-Seok Hahn(Korea Environment Institute)

email: jshahn@kei.re.kr

Received June 21, 2021

Accepted August 5, 2021

Revised July 23, 2021

Published August 31, 2021

1. 서론

2013년부터 수립된 국내 미세먼지 저감 정책은 최근 발표된 「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)」, 「미세먼지 고농도 시기 대응 특별대책」 등에 이르기까지 지속해서 추진되고 있다. 미세먼지 배출 부문은 산업, 수송, 발전, 농업·생활로 구분되며, 수송 부문에 포함된 건설기계는 「건설기계관리법」에 따라 건설공사에서 사용할 수 있는 기계를 의미한다. 건설기계 중 도로 이용이 빈번한 덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프는 통상 도로용 3종 건설기계로 언급되며, 이는 해당 차종이 「대기환경보전법」에 따른 자동차 분류 체계에서 화물자동차로 고려되어 화물자동차와 동일한 배출허용기준을 적용받기 때문이다.

2020년 기준 건설기계 등록대수는 517,736대이며, 이 중 도로용 3종의 등록대수는 89,216대(덤프트럭 56,624대, 콘크리트믹서트럭 26,147대, 콘크리트펌프 6,445대)로 전체 등록대수 중 약 17%를 차지한다 [1]. 또한 2017년 기준 도로이동오염원 초미세먼지 배출량은 8,715톤이며, 이 중 도로용 3종의 배출량은 496.1톤(덤프트럭 332.6톤, 콘크리트믹서트럭 90.7톤, 콘크리트펌프 72.8톤)으로 전체 배출량 중 약 6%를 차지한다 [2]. 도로용 3종의 배출 비중은 크지 않으나, 해당 차종은 노후 차량 비중이 높아 초미세먼지 단위 배출량이 많고 [3], 타 차종 대비 도심 내 통행이 빈번하여 주거지 등에서의 노출 피해가 크기 때문에 배출가스 저감 방안이 필요하다.

전기·수소 등 친환경 연료 차량이 아직 출시되지 않은 차종에 대한 배출가스 저감 방안은 「대기환경보전법」, 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(이하 대기관리권역법)」을 근거로 2004년부터 추진된 운행차 배출가스 저감사업이 대표적이다. 도로용 3종에 대한 저감사업은 2015년부터 추진되었으며, 2019년부터는 조기폐차도 추진하면서 [4] 도로용 3종의 초미세먼지 배출 저감에 노력을 기울이고 있다.

특히, 「대기관리권역법」에 따라 대기관리권역에 등록된 노후 건설기계(도로용 3종 포함)는 해당 권역 내 총공사금액 100억원 이상인 관급공사에서 사용이 제한되고 있어 노후 도로용 3종의 저공해조치 수요는 꾸준히 존재할 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 이항로짓모형을 기반으로 도로용 3종의 저공해조치에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 이를 토대로 도로용 3종의 저공해조치 활성화를 위한 시사점을 제시하고자 한다.

2. 선행연구

도로용 3종의 저공해조치 선택모형에 대한 직접적인 선행연구는 전무한 것으로 판단되어, 도로용 3종과 유사한 화물차를 대상으로 로짓모형 기반의 선택모형을 추정한 선행연구를 검토하였다. 국내의 경우 Kim et al [5]은 다항로짓모형을 기반으로 수도권 화물자동차의 도착지 선택모형을 추정하였으며, Kim [6]은 투어기반 도시화물통행수요모형을 개발하면서 해당 모형 내 도착지선택과 다음 투어목적지선택모형을 다항로짓모형 기반으로 추정하였다. 또한 Kim et al [7]은 이항로짓모형을 기반으로 화물자동차 투어유형 선택모형을 추정하였으며, Hahn et al [8]은 서열로짓모형으로 화물자동차 통행요인을 분석하였다.

또한 Hahn and Park [9]은 서열로짓모형으로 화물자동차 공차통행요인을 분석하였으며, Kim [10]은 다항로짓모형을 기반으로 택배화물자동차의 통행행태 분석모형을 추정하였다. Hahn and Park [11]은 서열로짓모형을 이용하여 지역간과 대도시 화물자동차 통행발생 특성을 비교하였으며, Hahn [12]은 이항로짓모형을 이용하여 화물자동차의 매연 배출요인을 분석하였다.

국외의 경우 로짓모형은 화물수단선택모형 추정시 활용된 사례([13-23])가 대부분이며, 이 외에도 도시부 화물차의 투어행태 분석 시 투어목적 및 차량 선택, 투어출발시간 선택, 다음 목적지 선택모형 추정에 적용한 사례([24,25]), 도시부 화물의 통행발생에 영향을 미치는 요인 분석에 적용한 사례([26]), 유럽의 화물통행사슬 분석 시 수단선택모형 추정에 적용한 사례([27]), 미국의 화물수단선택 및 도착지 선택모형 추정에 적용한 사례([28]), 도시부 화물차의 경로 선택모형 추정에 적용한 사례([29]) 등이 검토되었다.

이상의 선행연구를 검토한 결과 국내·외 모두 선택모형 추정 시 로짓모형의 활용도가 높은 것으로 검토되어 본 연구에서의 로짓모형 기반 저공해조치 선택모형 추정은 무리가 없는 것으로 판단된다. 또한 도로용 3종과 같은 건설기계에 대한 선행연구 사례가 없다는 점에서 해당 차종에 대한 학술적 기초연구가 필요한 것으로 판단된다. 특히 국내에서는 도로용 3종에 대한 저공해조치를 추진하고 있다는 점에서 관련 정책의 실효성 제고를 위한 학술적 기초연구는 의미가 있는 것으로 판단된다.

3. 저공해조치 특성 분석

3.1 기초 자료

도로용 3종 건설기계의 저공해조치 특성을 검토하기 위하여 도로용 3종 건설기계 통행실태조사 결과를 활용하였다 [3]. 해당 조사는 도로용 3종의 통행특성 및 저공해조치 특성, 운행제한 제도 이해도 등을 파악하기 위하여 수행한 설문조사이다. 설문은 차주에게 설명이 가능한 면접조사 방식으로 진행하였으며, 분석에 활용한 유효표본수는 800개이다. 조사의 주요 설문항목 및 차종별 표본수는 각각 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1. Survey Items

Items	Contents
Travel Attributes	Vehicle Type, Commodity, Model Year, Origin/Destination Zone, Zone Type, Departure/Arrival Time
Emission Reduction Program	Program Understanding, Participation Experience, Opinion on Improvement
Low Emission Zone	Opinion on Improvement, Information Acquisition Path

Table 2. Number of Samples

Type of Vehicle		Weight		Year	
Dump	480	≤21.5ton	240	<2010	240
		>21.5ton	240	≥2011	240
Concrete Mixer	240	≤6m³	240	<2010	120
				≥2011	120
Concrete Pump	80	≤100m³/h	40	<2010	40
		>100m³/h	40	≥2011	40

3.2 저공해조치 특성 분석

설문항목 중 저공해조치 특성 부문을 토대로 분석한 도로용 3종 건설기계의 저공해조치 특성은 다음과 같다.

3.2.1 배출가스 저감사업 인지 유무, 참여 경험

차주는 대체로 배출가스 저감사업을 인지하고 있는 것으로 조사되었으며, 등록지를 기준으로는 수도권 등록 차주가 비수도권 등록 차주 대비 인지 비율이 높은 것으로 나타났다. 차종별로는 콘크리트펌프, 덤프트럭, 콘크리트믹서트럭의 순으로, 업종별로는 영업용 차주가 비영업용 차주 대비 인지 비율이 높게 나타났다.

배출가스 저감사업 참여 비율은 42.6%로 높지 않으며, 등록지를 기준으로는 수도권 등록 차주의 참여 비율이 비수도권 등록 차주 대비 높게 나타났다. 차종별로는 모든 차종에서 배출가스 저감사업 참여 비율이 50%를

넘지 않으며, 업종별로는 비영업용 차량 차주의 참여 비율이 영업용 차량 차주 대비 높게 나타났다.

3.2.2 배출가스 저감장치 부착 기간, 교체 경험

배출가스 저감장치 부착 경험이 있는 경우 장치 부착 기간은 대체로 3년 이상으로 나타났으며, 이러한 특성은 등록지, 차종, 업종에서 동일하게 나타났다. 또한 장치를 교체한 경험은 대부분 없는 것으로 나타나 저감장치 관리를 위하여 장치 자체를 교체하는 사례는 거의 없는 것으로 조사되었다.

3.2.3 배출가스 저감장치 클리닝 경험, 평균 주기

배출가스 저감장치를 부착한 차량 중 클리닝을 받은 사례는 24.9%로 낮게 나타났으며, 등록지를 기준으로는 수도권 등록 차량의 클리닝 경험 사례가 비수도권 등록 차량 대비 높게 나타났다. 차종별로는 모든 차종에서 클리닝을 받은 사례가 적게 나타났으며, 업종별로는 비영업용 차량의 클리닝 경험 사례가 영업용 차량 대비 높게 나타났다. 클리닝 평균 주기는 15.9개월로 나타났으며, 등록지를 기준으로는 수도권 등록 차량이, 차종별로는 콘크리트펌프가, 업종별로는 영업용 차량의 평균 주기가 각각 높게 나타났다.

4. 모형 추정

개별행태모형인 로짓모형은 사람의 선택을 포함한 여러 사회현상을 이해하기 위한 방법론으로 사회과학분야에서 널리 사용되고 있다. 특히, 대안 간 오차항이 독립적이고 동일하게 분포되어 있다는 가정에 따라 확률적 효용을 IID Gumbel 분포로 가정하여 계산의 편리성 때문에 널리 사용되고 있다. 해당 분포는 각 대안의 오차간에 동일한 분포를 갖고 독립적으로 분포하며, 밀도함수는 정규분포보다 꼬리부분이 좀 더 두꺼운 것이 특징이다. 본 연구에서는 대안이 2개인 이항로짓모형을 활용하여 도로용 3종의 저공해조치 선택모형을 추정한다.

이항로짓모형은 가장 단순한 형태의 선택확률모형으로 종속변수가 이항인 경우 사용 가능하다. 목표변수가 이항형일 경우 선형회귀모형의 단점을 극복하기 위하여 확률에 대한 로짓변환을 고려한 분석이 가능하며, 계수 추정방법은 최우추정법에 기반한다. 해당 모형에서 도로용 3종 n 이 대안 i 를 선택할 확률은 Eq. (1)과 같다.

$$P_n(i) = \text{Prob}(U_{in} \geq U_{jn}) = \frac{e^{V_{in}}}{e^{V_{in}} + e^{V_{jn}}} \quad (1)$$

Where, $U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in}$, $U_{jn} = V_{jn} + \epsilon_{jn}$ denotes the utility of alternative i, j being selected by person n , V_{in} and V_{jn} are called the systematic components of the utility of i and j , ϵ_{in} and ϵ_{jn} are the random parts and are called the random components

즉, 도로용 3종 차주가 선택 가능한 대안은 저공해조치를 하거나(대안 i) 하지 않는(대안 j) 경우이며, Eq. (1)의 $P_n(i)$ 는 저공해조치를 할 경우의 관측효용(V_i)과 저공해조치를 하지 않을 경우의 관측효용(V_j)을 고려하여 도로용 3종 n 이 저공해조치를 선택할 확률을 의미한다.

모형의 종속변수는 저공해조치 선택 유무(조치 1, 미조치 0)이며, 선택에 영향을 미치는 변수는 차량의 업종, 주요 운송품목, 월평균 주행거리, 연식, 통행수 대비 고속도로 이용 비율, 총 시군구 대비 중복 시군구수 비율, 최초 출발지 유형, 도착지 유형 횡수, LEZ 제도 인지 유무를 고려하였다. LEZ 제도는 대기환경개선 등 특별관리가 필요한 지역을 대상으로 경유차의 운행제한을 실시하는 제도로 현재 수도권에서 시행 중인 제도이다.

주요 운송품목은 콘크리트 배합물(var2), 시멘트(var3), 건설폐기물(var4), 골재(var5) 등 총 4가지 유형을 고려하였으며, 출발지 및 도착지 유형은 주거장(차고지)(var10, var19), 건설현장(var11, var20), 공장(var12, var21), 골재채취소(var13, var22), 폐기물처리소(var14, var23), 철도역(var15, var24), 항만(var16,

var25), 공공업무시설(var17, var26), 자택(var18, var27) 등 총 9가지 유형을 고려하였다. 변수에 대한 세부 설명은 Table 3과 같다.

4.1 전체 모형

도로용 3종에 대한 저공해조치 선택모형을 추정한 결과는 Table 4와 같으며, 변수 간 설명력 비교를 위하여 추정된 변수의 계수는 Eq. (2)와 같이 표준화 계수로 변환하였다.

Table 4. Estimation Result of retrofit choice model for total Sample

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
var1	1.333	0.286	1.591	0.004
var2	0.113	0.107	1.825	0.024
var3	0.321	0.176	2.084	0.001
var4	0.479	0.313	1.340	0.006
var5	0.306	0.289	1.194	0.008
var6	0.000	0.523	1.375	0.026
var7	0.050	0.640	1.725	0.024
var10	0.236	0.238	1.102	0.009
var11	1.277	0.695	2.850	0.000
var12	0.643	0.604	1.054	0.010
var13	1.250	0.476	1.883	0.002
var14	0.641	0.122	1.448	0.016
var19	0.263	0.267	1.758	0.013
var20	0.150	0.576	1.744	0.028
var21	0.158	0.524	1.210	0.033
var22	0.150	0.359	1.182	0.011
var23	0.093	0.185	1.115	0.012
var25	0.026	0.026	1.460	0.029
var26	0.126	0.059	1.190	0.024
var28	3.089	0.733	1.464	0.027

No. of sample=790, $R^2=0.062$, adjusted $R^2=0.035$

$$B = B_1 \frac{S_X}{S_Y} \quad (2)$$

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

모형에 포함된 독립변수는 모두 유의수준 5% 하에서 유의하게 나타났다으며, 모든 독립변수는 양(+)의 부호를 나타내 직관과 부합하는 결과를 보인다. 도로용 3종의 저공해조치에 영향을 미치는 요인은 해당 차종의 업종, 운송품목, 월평균 운행거리 및 연식, 최초 출발지 유형과 도착지 유형 횡수, LEZ 제도 인지 유무로 나타났으며, 해당

Table 3. Variable

Variable	Description
Dependent	ERP(1 if respondent knows the Emission Reduction Program, 0 otherwise)
Independent	Types of Industry(var1)
	Types of Commodity(var2~var5)
	Monthly Average Travel Distance(var6)
	Model Year(var7)
	% of Highway Usage(var8)
	% of Overlapping Area(var9)
	Types of Origin(var10~var18)
	No. of Types of Destination(var19~var27)
	LEZ(1 if respondent Knows the LEZ, 0 otherwise)(var28)

요인의 영향력은 LEZ 제도 인지 유무, 연식, 월평균 주행 거리, 최초 출발지 유형(건설현장, 공장, 골재채취소, 주 기장, 폐기물처리소), 도착지 유형 횡수(건설현장, 공장, 골재채취소, 주기장 등) 등의 순으로 나타났다.

4.2 시장 분할 모형

응답자 특성에 따라 저공해조치 선택에 대한 영향력이 상이한지를 검토하기 위하여 차량 등록지(수도권 vs. 비 수도권)와 차종(덱프 vs. 콘크리트믹서 vs. 콘크리트펌프) 과 같이 총 2개의 그룹으로 시장분할을 하였다. 각 그룹에 대한 시장분할의 유의성 검토를 위한 우도비 검정은 Eq. (3)과 같으며, 우도비 검정은 최대우도법을 사용한 검정방법으로 회귀분석의 최소제곱법과 같이 회귀 계수의 유의성인 모형 적합도를 검정하는 방법이다. 그룹별 시장분할에 대한 유의성 검토 결과는 Table 5와 같다.

$$-2[L_N(\hat{\beta}) - \sum_{g=1}^G L_{N_g}(\hat{\beta}^g)] \quad (3)$$

Where, $L_N(\hat{\beta})$ denotes the value of Log-likelihood function for total sample, $L_{N_g}(\hat{\beta}^g)$ denotes the value of Log-likelihood function for market segmentation, $\sum_{g=1}^G K_g - Ks_X$ denotes degree of freedom(K_g : the number of parameter for market segmentation, K : the number of parameter for total sample)

그룹별로 구분한 모형은 모두 모집단이 G 개의 시장으로 분할되었을 경우 모형간 모수의 벡터가 동일하다는 귀무가설($H_0 = \beta^1 = \beta^2 = \dots = \beta^G$)을 기각하여 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 그룹별 우도비 검정에 따른 결과를 보면 차량 등록지가 차종보다 유의한 차이를 보인다. 이러한 결과를 토대로 앞서 분할된 시장별로 저공해 조치 선택모형을 구축하고 추정결과를 분석하였다.

Table 5 Results of likelihood ration test for market segmentation

group	test statistic	degree of freedom	$\chi^2_{(0.05)}$
vehicle registration	473.857	18	28.869
vehicle type	46.286	25	37.652

4.2.1 차량 등록지별 시장 분할

Table 6. Estimation Result of retrofit choice model by vehicle registration(metropolitan area)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
var1	0.716	0.190	1.173	0.014
var2	0.205	0.193	1.572	0.004
var3	0.366	0.201	1.700	0.000
var4	0.661	0.336	1.965	0.023
var5	0.303	0.296	1.898	0.002
var6	0.000	0.692	1.180	0.027
var7	0.061	0.753	1.678	0.003
var10	0.366	0.366	1.542	0.004
var11	1.354	0.584	1.424	0.001
var12	0.550	0.498	1.820	0.002
var13	0.762	0.394	1.680	0.029
var14	1.266	0.222	1.404	0.016
var19	0.275	0.270	1.570	0.014
var20	0.123	0.518	1.164	0.019
var21	0.151	0.542	1.122	0.028
var22	0.122	0.359	1.272	0.022
var23	0.175	0.294	1.436	0.008
var25	0.120	0.049	1.170	0.027
var26	0.095	0.059	1.440	0.030
var28	7.089	0.718	1.750	0.003

No. of sample=394, $R^2=0.098$, adjusted $R^2=0.025$

Table 7. Estimation Result of retrofit choice model by vehicle registration(non-metropolitan area)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
var1	1.048	0.152	1.607	0.000
var2	0.200	0.190	1.993	0.002
var3	0.378	0.207	1.350	0.033
var4	0.545	0.415	1.391	0.012
var5	0.388	0.348	1.164	0.019
var6	0.000	0.509	1.536	0.015
var7	0.042	0.548	1.611	0.000
var10	0.377	0.380	1.522	0.004
var11	0.697	0.443	1.094	0.009
var12	0.418	0.406	1.720	0.003
var14	1.489	0.304	1.249	0.007
var19	0.272	0.275	1.151	0.008
var20	0.103	0.349	1.152	0.027
var21	0.136	0.401	1.372	0.006
var22	0.209	0.296	1.462	0.015
var23	0.106	0.237	1.123	0.010
var25	0.069	0.092	1.387	0.006
var28	2.007	0.674	1.460	0.029

No. of sample=396, $R^2=0.272$, adjusted $R^2=0.206$

모형에 포함된 독립변수는 모두 유의수준 5% 하에서 유의하게 나타났으며, 모든 독립변수는 양(+)의 부호를 나타내 직관과 부합하는 결과를 보인다. 대체로 차량 등록지에 따른 시장 분할 모형에서 추정된 유의미한 변수와 변수의 영향력은 전체 모형과 유사하게 나타난다. 수도권 등록지 차량은 비수도권 등록지 차량 대비 출발지 유형(var13) 및 도착지 유형 횡수(var26)가 저공해조치에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 전체 모형과 동일하게 LEZ 제도 인지 유무의 영향력이 가장 크게 나타난다.

4.2.2 차종별 시장 분할

모형에 포함된 독립변수는 모두 유의수준 5% 하에서 유의하게 나타났으며, 모든 독립변수는 양(+)의 부호를 나타내 직관과 부합하는 결과를 보인다. 덤프 트럭은 차량의 업종, 운송품목(var4, var5), 월평균 운행거리 및 연식, 출발지 유형(var10, var11, var12, var14) 및 도착지 유형 횡수(var19, var20, var21, var22, var23, var25), LEZ 제도 인지 유무가, 콘크리트믹서 트럭은 운송품목(var2, var3), 월평균 운행거리 및 연식, 출발지 유형(var12) 및 도착지 유형 횡수(var20, var21, var25), LEZ 제도 인지 유무가, 콘크리트펌프는 운송품목(var2), 월평균 운행거리 및 연식, 도착지 유형 횡수(var20, var21), LEZ 제도 인지 유무가 각각 유의미한 변수로 추정되었다.

Table 8. Estimation Result of retrofit choice model by vehicle type(dump truck)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
var1	0.553	0.135	1.220	0.018
var4	0.542	0.435	1.480	0.005
var5	0.326	0.329	1.249	0.007
var6	0.000	0.492	1.246	0.024
var7	0.046	0.532	1.318	0.017
var10	0.679	0.658	1.279	0.007
var11	1.548	1.056	2.127	0.000
var12	1.866	0.811	1.947	0.000
var13	1.022	0.495	1.435	0.005
var14	0.903	0.220	1.299	0.011
var19	0.301	0.284	1.104	0.015
var20	0.077	0.344	1.055	0.016
var21	0.147	0.364	1.353	0.006
var22	0.061	0.180	1.390	0.015
var23	0.094	0.230	1.834	0.012
var25	0.018	0.023	1.425	0.032
var26	0.153	0.088	1.155	0.023
var28	3.041	0.688	1.515	0.031

No. of sample=473, $R^2=0.085$, adjusted $R^2=0.030$

Table 9. Estimation Result of retrofit choice model by vehicle type(concrete mixer truck)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
var2	0.564	0.467	1.432	0.000
var3	0.562	0.465	1.426	0.000
var6	0.000	0.596	1.121	0.015
var7	0.056	0.834	1.426	0.000
var12	0.911	0.567	1.068	0.010
var20	0.219	0.470	1.298	0.019
var21	0.260	0.591	1.332	0.026
var25	1.249	0.227	1.692	0.013
var28	2.726	0.778	1.601	0.026

No. of sample=251, $R^2=0.080$, adjusted $R^2=0.028$

Table 10. Estimation Result of retrofit choice model by vehicle type(concrete pump)

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	t-value	p-value
var2	0.715	0.534	1.150	0.019
var6	0.000	0.625	1.226	0.030
var7	0.058	0.614	1.320	0.000
var20	0.702	0.596	1.841	0.001
var21	0.779	0.591	1.502	0.015
var28	3.081	0.754	1.855	0.000

No. of sample=66, $R^2=0.182$, adjusted $R^2=0.051$

차종별 시장 분할 모형에서는 월평균 운행거리 및 연식, LEZ 제도 인지 유무가 공통적으로 유의미한 변수로 추정되었으며, 운송품목과 출발지 유형 및 도착지 유형 횡수는 차종별 특성에 따라 추정된 변수와 변수의 영향력이 상이한 것으로 나타났다. 특히 저공해조치에 미치는 영향력은 LEZ 제도 인지 유무가 가장 크게 나타났으며, 월평균 운행거리와 연식의 경우도 운행거리가 길고 오래된 차량일수록 저공해조치 선택에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

5. 결론 및 시사점

본 연구에서는 이항로짓모형을 기반으로 도로용 3종의 저공해조치 선택 여부를 모형화하였으며, 우도비 검정을 통하여 차량 등록지, 차종에 대한 시장 분할의 유의미성을 검토하고, 분할된 시장별로 모형을 추정하였다. 모형 추정 결과를 살펴보면 도로용 3종 저공해조치 선택에 대한 영향력은 LEZ 제도 인지 유무, 연식, 월평균 운행거리, 최초 출발지 유형, 도착지 유형 횡수 등의 순으로 나타났다. 해당 영향력 수준은 차량 등록지, 차종에 따라 상이한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 토대로 도로용 3종의 저공해조치를 활성화하기 위해서는 LEZ 제도의 적극적 도입과 홍보가 우선 필요한 것으로 판단된다. 국내 운행제한 제도는 수도권 LEZ 제도, 서울시 녹색교통진흥지역 운행제한 제도, 고농도 미세먼지 비상저감조치에 따른 운행제한 등 다양한 형태로 운영 중이다. 그러나 수도권 등 일부 지역에 국한하여 상시로 운영되고 있으며, 운행제한 제도 간 근거 법령 및 운영형태(단속시간, 과태료 수준 등)가 상이하여 차주의 혼란을 초래할 수 있다.

현행 LEZ 제도는 단속카메라 설치, 과태료 부과 등으로 제도의 실효성 확보가 가능하고, 저공해조치 시 단속 차량에서 유예되기 때문에 LEZ 제도와 저공해조치는 상호 연관성이 존재한다. 따라서 도로용 3종의 저공해조치를 확대하기 위해서는 수도권 외 대기관리권역에서의 LEZ 제도 도입, 차주 대상 LEZ 제도 교육 및 홍보 등의 검토가 필요하다. 특히 도로용 3종이 주로 통행하는 출발지 및 도착지 유형을 고려하여 LEZ 제도의 공간적 범위를 검토해야 할 필요가 있다.

한편 본 연구와 같은 개별행태분석 결과는 분석 자료에 따라 결과가 상이하게 추정될 수 있기 때문에 설명력 높은 모형 추정을 위해서는 표본수 확대, 통계적 표본추출 등의 방안이 함께 진행되어야 할 필요가 있다. 본 연구에서 활용한 도로용 3종 건설기계 통행실태조사 자료에서도 등록대수가 많은 덤프트럭의 표본수 비중이 크게 고려되었기 때문에 콘크리트믹서 트럭, 콘크리트펌프의 선택 행태 추정에 한계가 있는 것으로 판단된다. 또한 시장 분할 분석에서도 분할된 시장별로 유사한 표본수를 확보하지 못한 한계가 있으며, 모형에서 유의성을 갖는 변수들이 실제 저공해조치 사업에 영향을 미치는지, 영향을 미친다면 배출량 저감 기여도는 어느 정도인지 등의 연구도 검토될 필요가 있다.

References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, "2020 Construction Machinery Data Statistics", 2021.
- [2] National Particulate Matter Information Center, "2017 National Air Pollutants Emission", 2020.
- [3] C. S. Shim, J. S. Hahn, J. S. Lee, J. Y. Gong, K. Y. Lee, "Constructing the Database to Support the Policies for Integrated Management of Particulate Matter Pollution", Korea Environment Institute, Korea, 2020.
- [4] Ministry of Environment, "Guidelines for the In-use Vehicle Emission Reduction Program Subsidy", (2015 ~2021).
- [5] 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>
- [6] H. S. Kim, *A Tour-Based Approach to Urban Freight Travel Demand Modeling*, Doctoral thesis, Graduate School of The University of Seoul.
- [7] 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.
- [8] 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>
- [9] 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>
- [10] 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.
- [11] 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>
- [12] 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>
- [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 and 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>

한 진 석(Jin-Seok Hahn)

[정회원]



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

〈관심분야〉

지속가능교통