

도로용 3종 건설기계 통행발생 특성 분석*

Analysis of Trip Generation Characteristics for Three Different Types of Construction Vehicles

한진석**

Jin-seok Hahn

요약: 본 연구에서는 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 분석하기 위하여 서열로짓모형 기반의 통행발생 모형을 추정하였다. 모형 추정 결과 도로용 3종 건설기계의 통행발생 특성은 차종별 활동지역별로 상이하며, 차종별로는 주된 운송품목과 운송거리 변경, 출발지 및 도착지 유형이 상이한 것을 알 수 있다. 이는 수송부문 오염물질 저감 정책 수립 시 도로용 3종 건설기계를 하나의 수단으로 고려할 것이 아니라 차종별로 구분해야 할 필요가 있음을 의미한다. 또한 활동지역별로는 비수도권에서 활동하는 차량의 운송거리 변경이 수도권 차량보다 넓은 것으로 나타나 배출량과 같이 운송거리가 반영되어야 하는 기초자료 산정 시 차종별 특성 뿐 아니라 주 활동지역에 대한 고려도 검토가 필요하다.

핵심주제어: 도로용 3종 건설기계, 오염물질, 배출량, 통행발생 특성, 서열로짓모형

Abstract: This study assessed the trip generation model based on the ordered logit model to analyze the trip generation characteristics for three types of construction vehicles. The assessment indicated that the trip generation characteristics of these vehicles vary between the various operating areas of different types of vehicles. They also differ in terms of the major freight items they transport and the areas in which they operate. These differences, and others not listed here, indicate that construction vehicles and machinery should be divided into separate categories instead of being considered a single entity when developing a policy to reduce the emission of pollutants from the transportation sector. Obviously, vehicles that are operated in non-metropolitan areas must cover a larger area than vehicles that are operated exclusively in metropolitan areas. This distinction requires us to consider the main operating areas in addition to the characteristics of different vehicles when estimating basic data for the vehicles, such as the amount of emissions associated with the distance the vehicles travel.

Key Words: Three Different Types of Construction Vehicles, Pollutant, Emission, Trip Generation Characteristics, Ordered Logit Model

* 본 논문은 한국환경정책·평가연구원의 2020년도 일반과제 「미세먼지 통합관리 전략 수립 연구(GP2020-12)」의 지원으로 수행되었습니다.

** 한국환경정책·평가연구원 연구위원

I. 서론

건설기계는 「건설기계관리법」에 따라 건설공사에서 사용할 수 있는 기계로서 대통령령으로 정하는 것을 의미한다. 이 중 도로 주행이 빈번한 덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프는 「대기환경보전법 시행규칙」의 자동차 분류 체계 중 화물자동차에 포함되어 있으며, 화물자동차와 동일한 배출허용기준(제작차 및 운행차)을 적용받기 때문에 통상적으로 도로용 3종 건설기계로 언급된다. 2020년 9월 기준 해당 차종의 등록대수는 89,629대(덤프트럭 56,854대, 콘크리트믹서트럭 26,254대, 콘크리트펌프 6,521대)로 전체 건설기계 등록대수(515,716대)의 17.4%를 차지한다.¹⁾

2017년 기준 국내 수송부문 초미세먼지 배출량은 전체 배출량 대비 25.9%인 23,718톤이며, 이 중 도로이동오염원은 8,715톤(36.7%), 비도로이동오염원은 15,002톤(63.3%)을 차지하고 있다. 도로용 3종 건설기계 중 주행거리가 긴 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭은 도로이동오염원 배출량에, 주행거리가 미비한 콘크리트펌프는 비도로이동오염원 배출량에 포함되어 있으며, 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭의 초미세먼지 배출량은 각각 332.6톤, 90.7톤으로 도로이동오염원 배출량 대비 4.9%, 콘크리트펌프의 초미세먼지 배출량은 72.8톤으로 비도로이동오염원 배출량 대비 0.5%를 차지한다.²⁾

전국 차원의 미세먼지 대응을 위하여 2016년에 처음 수립된 「미세먼지 관리 특별대책」 이후 2019년에 수립된 「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)」에 이르기까지 도로용 3종 건설기계는 수송부문 초미세먼지 배출량 저감 수단 중 하나로 고려되고 있다. 이는 해당 차종의 배출 비중은 크지 않으나 노후 차량 비중이 높아 단위 배출량이 많고,³⁾ 도심 내 통행이

1) 국토교통부(2021).

2) 2017년 기준 대기정책지원시스템(CAPSS: Clean Air Policy Support System) 배출량 통계(국가미세정보센터, 2020).

3) 심창섭 등(2020), 2019년 건설기계 등록대수 기준 Euro 4 이하 (2010년 이전 연식)의 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭의 비중은 각각 54.9%, 47.4%, 콘크리트펌프의 비중은 49.9%로 도로용 3종 건설기계의 노후 차량 비중은 50% 수준임.

빈번하여 주거지 등에서의 노출피해가 크기 때문으로 판단된다.

도로용 3중 건설기계의 초미세먼지 저감을 위해서는 정책 수립의 기초 자료인 배출량 추정 단계에서부터 해당 차종의 통행 특성을 충분히 고려해야 할 필요가 있다. 특히 현행 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭의 배출량은 대형 화물차의 배출계수, 연식 및 주행거리를 적용하여 추정하고 있기 때문에⁴⁾ 도로용 3중 건설기계의 통행 특성이 대형 화물차의 통행 특성과 유사한지에 대한 검토가 필요하다.

이에 본 연구에서는 도로용 3중 건설기계의 통행 특성을 파악하고 대형 화물차와의 유사성 등에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 이를 위하여 한국환경정책·평가연구원(KEO)에서 수행한 도로용 3중 건설기계 통행실태조사 자료를 활용하여 서열로짓모형 기반의 통행발생모형을 추정하고, 시장분할된 모형을 바탕으로 차종별 통행발생 요인을 분석하여 관련 정책 수립을 위한 기초자료를 마련하고자 한다. 통행발생모형은 기본적으로 종속변수인 통행량에 대한 설명변수의 영향력을 검토하는 모형이기 때문에 본 연구에서 활용 가능한 모형으로 판단된다.

II. 선행연구

도로용 3중 건설기계의 통행발생 특성과 관련된 선행연구는 전무한 것으로 판단되며, 이에 본 연구에서는 도로용 3중 건설기계와 유사한 차종인 대형 화물차의 통행특성을 연구한 사례를 검토하였다. 국내의 경우 화물차 투어기반 수요모형을 추정한 사례(김한수, 2010a, 2010b; 김시진, 2013), 화물차 통행특성을 분석한 사례(한진석 등, 2012; 한진석·박민철, 2012, 2013; 김시진, 2013), 화물차 도착지선택모형을 추정한 사례(신승진 등, 2009; 김한수 등, 2010a)가 있다.

해당 연구개요 중 한진석 등(2012), 한진석·박민철(2012, 2013)은 서열

4) 국립환경과학원(2013, 2019).

로짓모형 기반의 화물차 통행발생모형을 추정하였으며, 분석결과 지역 간 화물차는 출발지 및 도착지 유형이 제조업이고 산업단지 생산액이 클수록 통행발생이 많은 반면, 대도시 화물차는 출발지 및 도착지 유형이 도·소매업체이고 할인점 및 서비스업 사업체가 많을수록 통행발생이 많은 것으로 나타났다.

국외의 경우도 화물차 투어기반 수요모형을 추정한 사례(Stefan et al., 2005, 2007), 화물차 통행발생모형을 추정한 사례(Tolliver et al., 2006; Holguín-Veras and Patil, 2007; Raathanachonkun et al., 2007; Holguín-Veras et al., 2011)가 검토되었으며, 최근에는 빅데이터를 기반으로 화물차 통행발생모형의 신뢰도를 개선한 연구 사례(Gonzalez-Feliu et al., 2019; Pani et al., 2019; Puente-Mejia et al., 2020), 대형 화물차 대상 실주행 특성을 분석한 연구 사례(Zhang et al., 2017; Jaikumar et al., 2019; Scora et al., 2019), 인구 및 상업지구밀도, 토지이용행태 등 도시별 특성과 연계하여 화물차의 통행발생 특성을 연구한 사례(Bakshi et al., 2020) 등이 검토되었다.

선행연구 검토 결과 대형 화물차의 통행특성을 검토한 사례만이 있기 때문에 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 제시하거나, 도로용 3종 건설기계와 대형 화물차의 통행특성 차이를 제시하기에는 한계가 있다. 이러한 측면에서 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 파악하여 관련 정책 수립을 위한 학술적 기초연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한 화물차 통행발생모형 추정 시 서열로짓모형이 주로 활용된 점을 감안하여 도로용 3종 건설기계의 통행발생모형 역시 해당 모형을 활용하는 것에 무리가 없는 것으로 판단된다.

Ⅲ. 도로용 3종 건설기계 통행특성 분석

1. 기초 자료

도로용 3종 건설기계 통행실태조사⁵⁾는 해당 차종의 특성(활동지역, 연식, 주요 운송품목, 주행거리 등), 1일 기준 개별 차량의 통행일지(출발지, 도착지 등) 등을 파악하기 위한 전국 단위 조사이다. 설문은 건설기계 차주에게 설명이 가능한 면접조사 방식으로 진행하였으며, 유효표본은 설문 참여 유도가 가능한 비용 등을 감안하여 800개로 설정하였다. 설문조사 결과 <표 2>의 세분화 기준에 부합하는 유효표본을 확보하였으며, 조사의 주요 설문항목 및 차종별 표본설계는 다음과 같다.

<표 1> 주요 설문항목

구분	설문항목
일반사항	차량업종, 차량종류, 주요 운송품목, 차주구분, 최대 적재량, 주 연료, 구입형태 및 연식, 차량 제작자 및 모델명
차량운행 부문	차량 등록지, 주 활동 지역, 운행일수 및 운행횟수, 운행거리, 분기별 운행비중
통행실태 부문	최초 출발지, 출발지 유형, 출발시 적재량, 통행별 출발시각/공차여부/고속도로 이용여부/도착시각/도착지/도착지 유형
배출가스 저감사업 부문	배출가스 저감사업 이해, 건설기계 DPF 관리, 조기폐차 개선사항, 건설기계 DPF 개선사항
자동차 운행제한 제도 부문	운행제한 제도 인지 유무, 운행제한 제도 정보취득

<표 2> 유효 표본 세분화 기준

(단위: 개, %)

구분		수도권		비수도권		합계
		2010년 이전	2011년 이후	2010년 이전	2011년 이후	
덤프트럭	21.5톤 이하	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	240(30.0)
	21.5톤 초과	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	240(30.0)
콘크리트 믹서트럭	6 m³ 이하	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	60(30.0)	240(30.0)
콘크리트 펌프	100 m³/h 이하	10(5.0)	10(5.0)	10(5.0)	10(5.0)	40(5.0)
	100 m³/h 초과	10(5.0)	10(5.0)	10(5.0)	10(5.0)	40(5.0)
합계		200(100)	200(100)	200(100)	200(100)	800(100)

5) 심창섭 등(2020).

2. 통행특성 분석

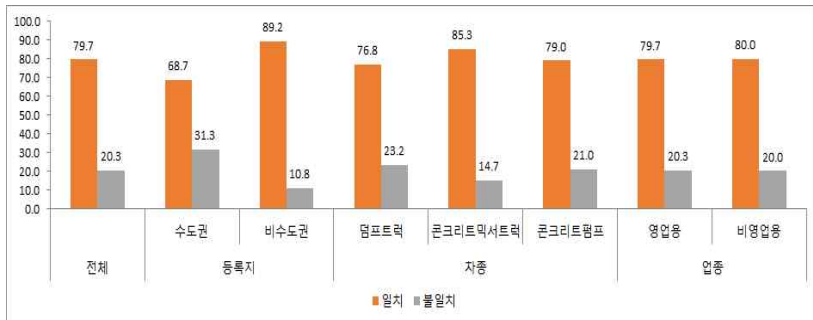
설문항목 중 차량운행 및 통행실태 부문을 토대로 분석한 도로용 3종 건설기계의 통행특성은 다음과 같다.

1) 등록지 및 활동지 일치여부

도로용 3종 건설기계의 등록지 및 활동지 일치율은 79.7%이며, 등록지를 기준으로는 비수도권 등록지 차량의 일치율이 89.2%로 수도권 등록지 차량 대비 높게 나타났다. 차종별로는 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프, 덤프트럭 순으로 일치율이 높게 나타났으며, 업종별로는 비영업용의 일치율이 영업용 대비 높게 나타났다.

〈그림 1〉 등록지 및 활동지 일치여부

(단위: %)



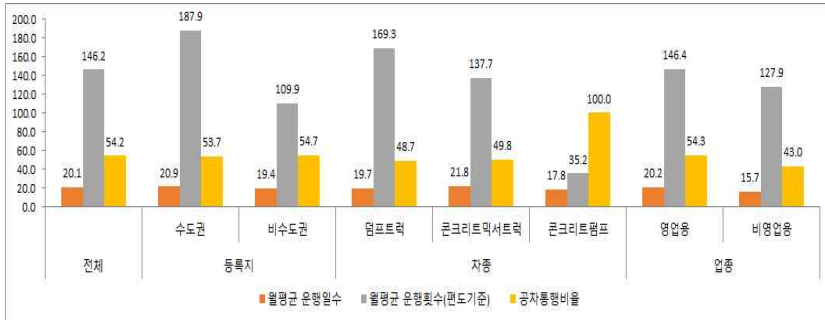
2) 운행일수 및 운행횟수, 공차통행비율

도로용 3종 건설기계의 월평균 운행일수는 20.1일, 월평균 운행횟수(편도기준)는 146.2통행, 공차통행비율은 54.2%로 조사되었다. 등록지를 기준으로 수도권 등록지 차량이 비수도권 등록지 차량 대비 운행일수 및 운행횟수, 공차통행비율이 모두 높은 것으로 나타났으며, 차종별로는 월평균 운행일수의 경우 콘크리트믹서트럭이, 월평균 운행횟수(편도기준)의

경우 덤프트럭이, 공차통행비율의 경우 콘크리트펌프가 가장 높게 나타났다. 또한 업종별로는 영업용 차량이 비영업용 차량 대비 운행일수 및 운행횟수, 공차통행비율이 모두 높은 것으로 나타났다.

〈그림 2〉 운행일수 및 운행횟수, 공차통행비율

(단위: 일, 통행, %)



3) 월평균 운행거리

도로용 3종 건설기계의 월평균 운행거리는 3,419.6 km로 조사되었으며, 등록지를 기준으로 수도권 등록 차량이, 차종별로는 덤프트럭이, 업종별로는 영업용 차량이 각각 월평균 운행거리가 긴 것으로 나타났다.

〈그림 3〉 월평균 운행거리

(단위: km)

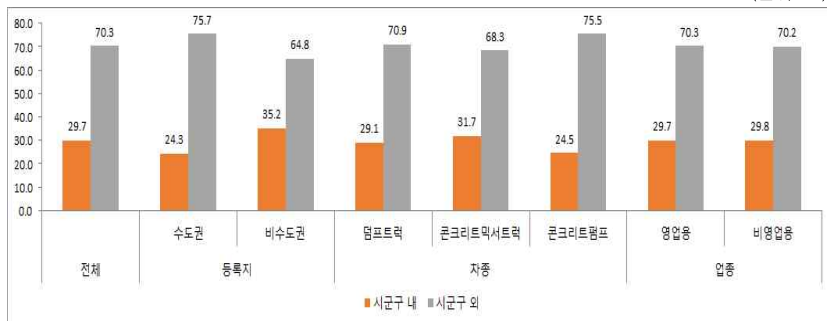


4) 시군구 내/외 통행 비율

도로용 3종 건설기계는 시군구 외 통행 비율이 70.3%로 나타나 대부분 동일 시군구 내보다는 시군구 간 또는 시군구 외 통행이 빈번한 것으로 나타났다. 이러한 통행 특성은 등록지, 차종, 업종 모두 동일한 것으로 나타났다.

〈그림 4〉 시군구 내/외 통행 비율

(단위: %)

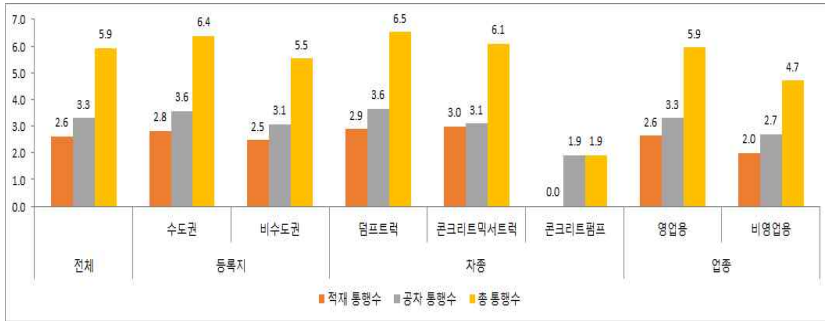


5) 일평균 적재 및 공차 통행수

도로용 3종 건설기계의 일평균 적재 통행수는 2.6통행, 공차 통행수는 3.3통행으로 일평균 총 통행수는 5.9통행으로 조사되었다. 등록지를 기준으로 수도권 등록 차량의 일평균 통행수가 비수도권 등록 차량 대비 높게 나타났으며, 차종별로는 덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프 순으로, 업종별로는 영업용 차량의 일평균 통행수가 비영업용 차량 대비 높게 나타났다. 콘크리트펌프의 경우 타 차종 대비 품목과 통행거리가 제한적이거나 적재 및 공차에 따른 통행 구분이 가능하여 분석에 포함하였다.

〈그림 5〉 일평균 적재 및 공차 통행수

(단위: 통행/일)



6) 대형 화물차와의 통행특성 차이

도로용 3종 건설기계와 대형 화물차의 통행특성 차이를 검토한 결과 등록지 및 활동지 일치여부는 대체로 유사한 수준으로 나타났으나, 일평균 통행수는 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭이 많은 것으로 나타났다. 또한 일평균 운행거리는 도로용 3종 건설기계와 대형 화물차 간 차이가 큰 것으로 나타났으며, 시군구 내 통행 비율은 도로용 3종 건설기계는 높은 것으로 나타나 대형 화물차와 달리 지역 내 통행이 빈번한 것으로 판단된다.

〈표 3〉 통행특성 차이(도로용 3종 건설기계 vs. 대형 화물차)

구분	도로용 3종 건설기계			대형 화물차
	덤프트럭	콘크리트믹서트럭	콘크리트펌프	
등록지 및 활동지 일치여부	76.8%	85.3%	79.0%	75.2%
일평균 통행수	6.5회	6.1회	1.9회	2.9회
일평균 운행거리	134.6 km	95.4 km	47.0 km	242.2 km
시군구 내 통행 비율	29.1%	31.7%	24.5%	17.0%

주: 도로용 3종 건설기계는 심창섭 등(2020) 자료를, 대형 화물차는 한국교통연구원(2017) 자료를 활용함

3. 모형 추정

1) 통행발생모형

통행발생모형은 도로용 3종 건설기계의 통행발생에 영향을 미치는 요인을 추정하기 위한 모형이며, 본 연구에서는 앞서 제시한 설문조사 자료를 활용하여 도로용 3종 건설기계의 1일 통행수를 모형의 종속변수로, 도로용 3종 건설기계의 차량 속성, 출발지 및 도착지 유형, 적재품목 등의 다양한 요인을 모형의 독립변수로 설정하였다.

〈표 4〉 모형 변수

구분	변수명	변수설명
종속변수	trip	1일 통행수
	A	업종(영업용=1, 아니면 0)
	B1	운송품목1(콘크리트 배합물=1, 아니면 0)
	B2	운송품목2(시멘트=1, 아니면 0)
	B3	운송품목3(건설폐기물=1, 아니면 0)
	B4	운송품목4(골재=1, 아니면 0)
	C	월평균 운행거리(차종별 월평균 운행거리)
	D	통행수 대비 고속도로 이용 비율 (차종별 1일 통행수 대비 고속도로 이용 비율)
	E	총 시군구 대비 중복 시군구 비율 (차종별 1일 통행 시군구의 중복 비율)
	F1	최초 출발지 유형1(차고지=1, 아니면 0)
독립변수	F2	최초 출발지 유형2(건설현장=1, 아니면 0)
	F3	최초 출발지 유형3(공장=1, 아니면 0)
	F4	최초 출발지 유형4(골재채취소=1, 아니면 0)
	F5	최초 출발지 유형5(폐기물처리소=1, 아니면 0)
	F6	최초 출발지 유형6(철도역=1, 아니면 0)
	F7	최초 출발지 유형7(항만=1, 아니면 0)
	F8	최초 출발지 유형8(공공업무시설=1, 아니면 0)
	F9	최초 출발지 유형9(자택=1, 아니면 0)
	G1	도착지 유형1 횡수(1일 통행수 대비 차고지 도착 비율)
	G2	도착지 유형2 횡수(1일 통행수 대비 건설현장 도착 비율)
	G3	도착지 유형3 횡수(1일 통행수 대비 공장 도착 비율)
	G4	도착지 유형4 횡수(1일 통행수 대비 골재채취소 도착 비율)
	G5	도착지 유형5 횡수(1일 통행수 대비 폐기물처리소 도착 비율)
	G6	도착지 유형6 횡수(1일 통행수 대비 철도역 도착 비율)
	G7	도착지 유형7 횡수(1일 통행수 대비 항만 도착 비율)
	G8	도착지 유형8 횡수(1일 통행수 대비 공공업무시설 도착 비율)
	G9	도착지 유형9 횡수(1일 통행수 대비 주택 도착 비율)

모형의 종속변수인 통행수는 이산적(discrete)이고, 0 혹은 양(positive)의 값을 가지며, 서수적(ordinal) 특성을 가진다고 할 수 있다. 앞서 통행 발생모형과 관련된 선행연구에서 주로 활용되는 이항선택모형은 대안의 서수적 특징을 명확하게 구현하지 못하는 한계가 있으며, 이를 극복하기 위하여 이항선택모형의 변형된 형태인 서열이산선택모형이 적용되고 있다. 서열이산선택모형은 특정 질문에 대한 응답의 정도를 순서화한 자료를 종속변수로 가지는 모형을 추정하기 위해 개발된 방법으로 효용의 구조는 다음과 같다.

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

여기서,

y_i^* : 개인 i 가 통행하고자 하는 정도를 나타내는 효용

x_{ik} : 개인 i 의 통행에 영향을 미치는 k 번째 외생변수

β_k : k 번째 외생변수의 계수

ϵ_i : 효용의 불확실성을 나타내는 개인 i 의 확률적 오차항

또한 응답자가 관찰 가능한 응답 y_i (통행수 등)를 선택하는 기준은 다음과 같이 일정 범위 내에서는 j 를 선택할 수 있도록 잠재변수 y_i^* 에 의해 결정된다. y_i 와 y_i^* 의 관계는 식 (2)와 같다(Greene, 1990). 식 (2)의 μ_0 에서 μ_{J-1} 은 y_i^* 의 경계값을 나타내는 것으로 관찰 가능한 응답들에 대해 j 를 선택할 수 있는 기준들이 되며, 식 (3)의 조건을 만족한다.

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

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

서열이산선택모형은 식 (1)의 미관측 요소인 ϵ_i 의 분포 가정에 따라 서열프로빗모형과 서열로짓모형으로 구분된다. 서열프로빗모형의 오차항은 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 가정하며, 서열로짓모형의 오차항은 평균이 0인 로지스틱분포를 가정한다. 본 연구에서는 서열로짓모형 기반의 통행발생모형을 추정하고자 한다.

2) 모형 추정 결과(전체 모형)

도로용 3종 건설기계 차종별 구분 없이 전체 자료를 활용한 모형 추정 결과는 <표 5>와 같다. 모형 추정에 사용된 변수는 단위, 분포 등이 상이하기 때문에 추정된 변수의 계수로는 모형 추정 해석에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 변수 간 설명력 비교를 위하여 추정된 변수의 계수를 식 (4)와 같이 표준화계수로 변형하였다.

$$B = B_1 \frac{S_X}{S_Y} \quad (4)$$

여기서,

B : 표준화계수, B_1 : 비표준화계수, S_X : 설명변수 X 의 표준편차,
 S_Y : 종속변수 Y 의 표준편차

모형에 포함된 설명변수는 모두 유의수준 5% 하에서 유의한 것으로 나타났다. 일부 운송품목(B1: 콘크리트 배합물, B2: 시멘트)을 제외한 나머지 변수는 모두 양(+)의 부호를 나타내 직관과 부합하는 합리적인 결과로 판단된다. B1과 B2이 음(-)의 부호를 가지는 것은 해당 품목을 주로 운송하는 콘크리트믹서트럭과 콘크리트펌프의 표본수가 덤프트럭 대비 적

기 때문으로 판단된다.

도로용 3중 건설기계는 업종이 영업용(A)일수록, 품목은 건설폐기물(B3), 골재(B4)일수록, 그리고 통행수 대비 고속도로 이용 비율(D)과 총 시군구 대비 중복 시군구 비율(E)이 클수록 통행발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 출발지 유형은 건설현장(F2), 공장(F3), 폐기물처리소(F5), 골재채취소(F4), 공공업무시설(F8), 항만(F7)의 순으로, 도착지 유형은 건설현장(G2), 공장(H3), 골재채취소(G4), 폐기물처리소(G5), 항만(G7), 공공업무시설(G8)의 순으로 통행발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

〈표 5〉 서열로짓모형 추정 결과(전체)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
A	1.938	0.079	9.579	0.000
B1	-1.005	-0.180	-5.797	0.000
B2	-0.755	-0.078	-3.759	0.000
B3	1.264	0.156	6.936	0.000
B4	0.368	0.066	2.706	0.007
D	0.603	0.096	5.886	0.000
E	1.178	0.077	4.147	0.000
F2	1.600	0.165	8.924	0.000
F3	0.945	0.168	6.381	0.000
F4	1.146	0.083	5.229	0.000
F5	2.406	0.086	5.702	0.000
F7	1.921	0.037	2.413	0.016
F8	3.882	0.075	3.304	0.001
G2	1.182	0.857	41.600	0.000
G3	1.100	0.690	29.793	0.000
G4	0.858	0.388	20.958	0.000
G5	0.684	0.256	13.552	0.000
G7	1.097	0.204	11.294	0.000
G8	0.980	0.087	4.299	0.000
G9	0.632	0.032	2.081	0.038

Number of observations=790, $L(\beta)=-941.378$, $\rho^2=0.465$

3) 모형 추정 결과(시장 분할 모형)

도로용 3종 건설기계 차종별 통행발생 특성이 상이한지를 검토하기 위하여 차종(덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프) 및 활동지역(수도권, 비수도권)으로 시장분할을 하였으며, 시장분할의 유의성 검토를 위한 우도비 검정은 다음과 같다.

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

여기서 $L_N(\hat{\beta})$: 전체 모형의 Log-likelihood function 값,

$L_{N_g}(\hat{\beta}^g)$: 분할된 모형의 Log-likelihood function 값,

자유도 : $\sum_{g=1}^G K_g - K$ (K_g : 분할된 모형의 계수 수, K : 전체 모형의 계수 수)

시장분할에 대한 유의성 검토 결과는 <표 6>과 같으며, 차종 및 활동지역에 대한 시장분할은 모집단이 G 개의 시장으로 분할되었을 경우 모형간 모수의 벡터가 동일하다는 귀무가설($H_0 = \beta^1 = \beta^2 = \dots = \beta^G$)을 기각하여 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<표 6> 우도비 검정 결과

구분		Test statistic	Degrees of freedom	$\chi^2_{0.05}$
차종	덤프트럭	517.868	9	16.919
	콘크리트믹서트럭			
	콘크리트펌프			
활동지역	수도권	255.431	18	28.869
	비수도권			

차종에 따라 구분한 모형 추정 결과는 <표 7>~<표 9>와 같으며, 모형에 포함된 설명변수는 모두 유의수준 5% 하에서 유의한 것으로 나타났다. 변수의 부호는 전체 모형과 동일하게 직관과 부합하는 것으로 판단되며, 운송품목의 경우 덤프트럭은 건설폐기물(B3)과 골재(B4), 콘크리트믹서트럭과 콘크리트펌프는 콘크리트 배합물(B1)과 시멘트(B2)가 각각 유의한 변수로 나타나 운송품목에 대한 특성이 뚜렷한 것으로 판단된다.

또한 덤프트럭의 통행발생모형은 타 차종의 모형 대비 고속도로 이용 비율(D)과 다양한 유형의 출발지 및 도착지 변수가 유의한 것으로 나타나 타 차종 대비 운송거리 반경이 넓은 것으로 판단된다. 특히 콘크리트믹서트럭과 콘크리트펌프는 출발지 및 도착지 유형 모두 건설현장(F2, G2)이 유의한 변수로 나타나 덤프트럭보다는 제한적인 지점에서 통행이 발생하는 것으로 나타났다.

〈표 7〉 서열로짓모형 추정 결과(덤프트럭)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
A	1.280	0.060	4.702	0.000
B3	0.771	0.119	4.148	0.000
B4	0.193	0.037	1.423	0.155
D	0.757	0.123	5.541	0.000
E	2.025	0.127	5.704	0.000
F1	1.317	0.245	5.253	0.000
F2	2.010	0.263	8.611	0.000
F3	2.045	0.170	6.732	0.000
F4	2.065	0.192	7.212	0.000
F5	2.729	0.128	6.246	0.000
F7	2.581	0.065	3.180	0.002
F8	3.625	0.091	2.967	0.003
G1	0.656	0.119	3.386	0.001
G2	0.919	0.785	29.158	0.000
G3	0.856	0.407	16.947	0.000
G4	0.748	0.421	17.673	0.000
G5	0.614	0.287	11.795	0.000
G7	0.867	0.208	9.046	0.000
G8	0.739	0.081	2.888	0.004
G9	0.727	0.046	2.172	0.030
Number of observations=473, $L(\beta)=-622.159$, $\rho^2=0.394$				

〈표 8〉 서열로짓모형 추정 결과(콘크리트믹서트럭)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
B1	25.676	5.342	24.076	0.000
B2	26.072	5.425	26.454	0.000
E	2.325	0.165	2.170	0.030
F2	2.386	0.373	5.738	0.000
G2	14.521	7.829	49.603	0.000
G3	12.913	7.389	51.914	0.000
Number of observations=251, $L(\beta)=-48.240$, $\rho^2=0.889$				

〈표 9〉 서열로짓모형 추정 결과(콘크리트펌프)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
B1	9.592	6.106	10.520	0.000
F2	7.278	4.266	4.508	0.000
G2	8.423	6.088	8.999	0.000
Number of observations=66, $L(\beta)=-12.044$, $\rho^2=0.711$				

활동지역에 따라 구분한 모형 추정 결과는 〈표 10〉, 〈표 11〉과 같으며, 모형에 포함된 설명변수의 유의수준, 부호는 모두 합리적인 것으로 나타났다. 수도권과 비수도권의 통행발생모형 모두 선택된 변수, 변수 간 영향력은 전체 모형과 유사하게 추정되었으며, 비수도권 모형은 수도권 모형 대비 업종(A), 고속도로 이용 비율(D)의 영향력이 크게 나타나 운송거리 반경이 수도권 차종보다는 넓은 것으로 판단된다. 또한 수도권 모형은 비수도권 모형 대비 중복 시군구 비율(E)의 영향력이 크게 나타나 제한된 반경 내에서의 통행이 빈번한 것으로 나타났다.

〈표 10〉 서열로짓모형 추정 결과(수도권)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
A	1.476	0.066	5.799	0.000
B1	-1.504	-0.238	-6.315	0.000
B2	-1.353	-0.125	-5.002	0.000
B3	1.364	0.116	3.828	0.000
B4	1.073	0.176	5.021	0.000
D	0.211	0.030	1.406	0.016
E	0.094	0.006	0.236	0.041
F2	3.122	0.226	5.775	0.005
F3	1.196	0.181	5.737	0.000

F4	0.800	0.069	3.136	0.002
F5	2.289	0.067	3.125	0.002
F7	1.817	0.044	1.469	0.014
F8	3.615	0.061	2.245	0.025
G2	1.748	1.238	39.697	0.000
G3	1.607	0.967	32.033	0.000
G4	1.601	0.791	26.394	0.000
G5	1.619	0.455	16.486	0.000
G7	1.961	0.133	4.445	0.000
G8	1.436	0.149	5.624	0.000
G9	0.641	0.039	1.872	0.018
Number of observations=394, $L(\beta)=-435.331$, $\rho^2=0.534$				

〈표 11〉 서열로짓모형 추정 결과(비수도권)

설명변수	계수값	표준화계수	t-value	p-value
A	3.900	0.129	8.273	0.000
B1	-0.933	-0.203	-2.565	0.010
B2	-0.756	-0.095	-1.759	0.024
B3	2.576	0.448	10.024	0.000
B4	1.102	0.226	5.118	0.000
D	0.802	0.139	4.378	0.000
E	0.094	0.006	0.236	0.041
F2	2.548	0.370	9.758	0.000
F3	1.096	0.243	2.899	0.004
F4	2.048	0.048	1.862	0.019
F5	2.300	0.107	3.952	0.000
G2	1.393	1.082	25.362	0.000
G3	1.278	0.863	13.585	0.000
G4	0.995	0.321	8.797	0.000
G5	0.701	0.360	9.983	0.000
G7	1.526	0.464	12.679	0.000
G8	2.885	0.151	2.660	0.008
G9	1.874	0.044	1.706	0.026
Number of observations=396, $L(\beta)=-378.331$, $\rho^2=0.508$				

결과적으로 도로용 3종 건설기계의 통행발생 특성은 차종별 활동지역별로 상이하며, 차종별로는 주된 운송품목과 운송거리 반경, 출발지 및 도착지 유형이 상이한 것을 알 수 있다. 이는 수송부문 오염물질 저감 정책 수립 시 도로용 3종 건설기계를 하나의 수단으로 고려할 것이 아니라 차종별로 구분해야 할 필요가 있음을 의미한다. 또한 활동지역별로는 비수도권에서 활동하는 차량의 운송거리 반경이 수도권 차량보다 넓은 것으로

나타나 배출량과 같이 운송거리가 반영되어야 하는 기초자료 산정 시 차종별 특성 뿐 아니라 주 활동지역에 대한 고려도 검토가 필요하다.

IV. 결론 및 시사점

본 연구에서는 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 분석하기 위하여 서열 로짓모형 기반의 통행발생모형을 추정하였다. 모형 추정 결과 도로용 3종 건설기계의 차종별 활동지역별 통행발생 특성은 상이한 것으로 나타났다. 또한 <표 3>에서 보듯이 대형 화물차의 통행특성과도 상이하기 때문에 수송부문 오염물질 저감 정책 수립 시 도로용 3종 건설기계를 하나의 수단으로 고려하기보다는 차종별 활동지역별로 세분화하여 고려해야 할 필요가 있다. 특히 신차에 대해서는 차종별 통행특성(주행거리, 출력 등)에 부합하는 친환경 연료(LNG, 수소 등) 전환이 필요하며, 운행차에 대해서도 차종별 통행특성에 적합한 배출가스 저감장치 개발 및 보급이 필요하다.

한편 도로용 3종 건설기계 오염물질 저감 정책 실효성 제고를 위해서는 정책 수립의 기초자료인 배출량의 신뢰도가 매우 중요하다. 특히 현행 덤프트럭과 콘크리트믹서트럭의 배출량 산정 시 연식과 주행거리는 각각 대형 화물차(일반형), 대형 화물차(덤프형)의 분포를 적용하고 있으나, 실제로 차종 간 연식 및 주행거리 분포는 상이하기 때문에 도로용 3종 건설기계의 특성에 맞는 자료를 적용하여 배출량을 산정하는 것이 필요하다.

〈표 12〉 연식 분포(도로용 3종 건설기계 vs. 대형 화물차)

(단위: %)

구분	1년 미만	3년 미만	5년 미만	7년 미만	9년 미만	10년 미만	15년 미만	15년 이상
덤프트럭	0.121	0.047	0.042	0.063	0.044	0.049	0.194	0.233
콘크리트믹서트럭	0.135	0.093	0.038	0.010	0.022	0.039	0.253	0.261
대형 화물차 (일반형)	0.037	0.073	0.038	0.105	0.125	0.095	0.158	0.073

주: 도로용 3종 건설기계는 한국환경정책·평가연구원의 설문조사 자료(심창섭 등, 2020)를, 대형 화물차(일반형)는 국립환경과학원(2019) 자료를 활용함

〈표 13〉 일평균 주행거리(도로용 3종 건설기계 vs. 대형 화물차)

(단위: km/일)

구분	일평균 주행거리
덤프트럭	118.8~134.6
콘크리트믹서트럭	78.6~95.4
대형 화물차(덤프형)	22.8

주: 도로용 3종 건설기계는 한국환경정책·평가연구원의 설문조사 자료(심창섭 등, 2020)를, 대형 화물차(덤프형)는 국립환경과학원(2019) 자료를 활용함

본 연구에서 활용한 도로용 3종 건설기계 통행실태조사 자료는 모집단 자료가 아니기 때문에 대표성은 가질 수 있으나 신뢰성에서는 한계가 존재한다. 연식의 경우는 대한건설기계안전관리원의 정기검사에서 수집이 되는 통계이기 때문에 모집단의 분포 파악이 가능하다는 점에서 배출량 산정 시 해당 분포를 반영해야 할 필요가 있다. 그러나 주행거리의 경우 실제 주행거리와 오차가 발생할 여지가 있기 때문에 도로용 3종 건설기계를 대상으로 한 정기조사 수행 또는 정기검사 항목 추가 등의 방안으로 정확한 주행거리 통계를 구축해야 할 필요가 있다.

본 연구에서 활용한 자료는 차종별 활동지역별로 표본수 차이가 있으며, 국내·외 관련 연구 사례가 없기 때문에 모형 추정 결과에 대한 비교가 어렵다. 도로용 3종 건설기계의 통행발생 특성을 정확하게 파악하기 위해서는 관련 조사 및 연구가 연속적으로 진행되고, 이에 따른 시계열적 변화 추이가 검토되어야 한다. 또한 서열로짓모형 외 다양한 모형 추정을 통하여 도로용 3종 건설기계의 통행특성을 일반화하기 위한 노력이 필요하다.

■ 참고문헌 ■

국가미세먼지정보센터, 2020, 『2017 국가대기오염물질 배출량』, 청주: 국가미세먼지정보센터.

국립환경과학원, 2013, 『국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ)』, 인천: 국립환경과학원.

_____, 2019, 『국가 대기오염물질 배출량 기초자료구축을 위한 표준업무절차서 (2016년 배출량 기준)』, 인천: 국립환경과학원.

- 국토교통부, 2021, 『건설기계 현황 통계(2020. 9. 30. 기준)』, 세종: 국토교통부.
- 김시진, 2013, “택배화물자동차의 통행행태 분석모형 개발에 관한 연구,” 석사학위논문, 서울시립대학교, 서울.
- 김한수, 2010, “투어기반 도시화물 통행수요모형의 개발,” 박사학위논문, 서울시립대학교, 서울.
- 김한수·박동주·김찬성·이강대·김경수, 2010a, “수도권 화물자동차 통행분포를 위한 도착지선택모형: 집계중력모형과 실증비교,” 『국토연구』, 64, pp.167-183, DOI: 10.15793/kspr.2010.64..010.
- 김한수·박동주·김찬성·최창호·김경수, 2010b, “의사결정나무를 이용한 화물자동차 투여유형 선택행태 분석,” 『대한교통학회지』, 28(6), pp.43-54.
- 신승진·김찬성·박민철·김한수, 2009, “출발시간, 통행거리 및 물류활동 특성을 고려한 도착지 선택행태분석,” 『대한교통학회지』, 27(1), pp.73-81.
- 심창섭·공성용·최기철·한진석·이정석·이승민 등, 2020, 『미세먼지 통합관리 전략 수립 연구(별책부록): 미세먼지 통합관리를 위한 정책지원 자료 구축』, (KEI 사업 보고서: 2020-08-02), 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 한국교통연구원, 2017, 전국화물통행실태조사, 『2017년 「국가교통조사·DB시스템 운영 및 유지보수」』, (pp.183-224), 세종: 한국교통연구원.
- 한진석·박민철·성홍모·김형범, 2012, “화물자동차기반 대도시 화물수요모형 구축을 위한 화물자동차 통행특성 분석,” 『대한교통학회지』, 30(3), pp.107-118, DOI: 10.7470/jkst.2012.30.3.107.
- 한진석·박민철, 2012, “화물자동차 공차통행 발생요인 분석,” 『대한교통학회지』, 30(6), pp.47-57, DOI: 10.7470/jkst.2012.30.6.047.
- _____, 2013, “지역간과 대도시 화물자동차 통행발생 특성 비교,” 『대한토목학회지』, 33(4), pp.1559-1569, DOI: 10.12652/Ksce.2013.33.4.1559.
- Bakshi, N. D., G. Tiwari, and N. B. Bolia, 2020, “Influence of urban form on urban freight trip generation,” *Case Studies on Transport Policy*, 8(1), pp.229-235, DOI: 10.1016/j.cstp.2019.04.004.
- Gonzalez-Feliu, J. and I. Sánchez-Díaz, 2019, “The influence of aggregation level and category construction on estimation quality for freight trip generation models,” *Transportation Research Part E*, 121, pp.134-148, DOI: 10.1016/j.tre.2018.07.007.
- Greene, W. H., 1990, *Econometric analysis*, New York: Macmillan.
- Holguin-Veras, J. and G. R. Patil, 2007, “Integrated origin-Destination synthesis model for freight with commodity-Based and empty trip models,” *Transportation Research Record*, 2008, pp.60-66, DOI: 10.3141/2008-08.
- Holguín-Veras, J., I. Sánchez, C. González-Calderón, I. Sarmiento, and E. Thorson,

- 2011, "Time-Dependent effects on parameters of freight demand models: Empirical investigation," *Transportation Research Record*, 2224, pp.42-50, DOI: 10.3141/2224-06.
- Jaikumar, R., R. Farzaneh, T. Ramani, and J. Johnson, 2019, "Characterization of drayage activities in the Paso del Norte airshed," *Transportation Research Record*, 2673, pp.202-213, DOI: 10.1177/0361198119846459.
- Pani, A., P. K. Sahu, A. Chandra, and A. K. Sarkar, 2019, "Assessing the extent of modifiable areal unit problem in modelling freight(trip) generation: Relationship between zone design and model estimation results," *Journal of Transport Geography*, 80, pp.1-17, DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102524.
- Puente-Mejia, B., L. Palacios-Argüello, and C. Suárez-Núñez, 2020, "Freight trip generation modeling and data collection processes in Latin American cities: Modeling framework for Quito and generalization issues," *Transportation Research Part A*, 132, pp.226-241, DOI: 10.1016/j.tr.2019.10.013.
- Raathanachonkun, P., K. Sano, W. Wisetjindawat, and S. Matsumoto, 2007, "Estimating truck trip origin-Destination with commodity-Based and empty trip models," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2008, pp.43-50, DOI: 10.3141/2008-06.
- Scora, G., K. Boriboonsomsin, T. D. Durbin, K. Johnson, S. Yoon, and J. Collins et al., 2019, "Variability in real-World activity patterns of heavy-Duty vehicles by vocation," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673, pp.51-61, DOI: 10.1177/0361198119844247.
- Stefan, K. J., J. D. P. McMillan, and J. D. Hunt, 2005, "Urban commercial vehicle movement model for Calgary, Alberta, Canada," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1921, pp.1-10, DOI: 10.1177/0361198105192100101.
- Stefan, K. J., J. D. Hunt, J. D. P. McMillan, and A. Farhan, 2007, "Development of a fleet allocator model for calgary Canada," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1994, pp.89-93, DOI: 10.3141/1994-12.
- Tolliver, D., A. Dybing, and S. Mitra, 2006, "Trip generation rates for large elevators: A North Dakota case study," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1966, pp.88-95, DOI: 10.1177/03611

98106196600112.

Zhang, S., L. Yu, and G. Song, 2017, "Emissions characteristics for heavy-Duty diesel trucks under different loads based on vehicle-Specific power," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2627, pp.77-85, DOI: 10.3141/2627-09.

한진석: 서울대학교 건설환경공학부에서 교통공학 박사학위를 취득하고 현재 한국환경정책·평가연구원에 연구위원으로 재직 중이다(jshahn@kei.re.kr).

투 고 일: 2021년 02월 19일
심 사 일: 2021년 03월 05일
게재확정일: 2021년 03월 21일