화물자동차 공차통행 발생요인 분석

한진석* · 박민철

한국교통연구원 국가교통DB센터

A Study on the Factors Concerning Empty Truck Movements

HAHN, Jin-seok* · PARK, Minchoul

Department of National Transport Survey and Analysis, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

Abstract

The purpose of this study is to propose a supplement to current freight demand model by analyzing factors that influence the generation of empty truck movements in regional and urban realms. To achieve this, we examined the relation between the number of empty truck trips and various generators such as truck attributes, origin type and attributes, destination type and attributes, and commodity type. We structured the ordered logit model using 2011 Korea Transport Database (KTDB) data to analyze the generator characteristic of empty truck movements in regional and urban settings. According to the results, the characteristics of regional and urban empty truck movements differed depending on truck attributes, origin type and attributes, destination type and attributes, and commodity type.

본 연구는 지역적 범위에 따른 화물자동차의 공차통행 발생요인을 검토함으로써, 기존 화물수요모형의 한계를 제시하고자 하였다. 지역간 및 대도시 화물자동차의 공차통행 발생요인을 검토하기 위하여 화물자동차 속성, 출발지 및 도착지 특성, 그리고 운송품목의 유형을 고려한 서열로짓모형을 추정하였으며, 이를 통하여 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 다양한 요인들을 정량적으로 검토하였다. 분석결과 지역간 화물자동차의 공차통행 발생요인과 대도시 화물자동차의 공차통행 발생요인은 서로 상이한 것으로 나타났다.

Key Words

Empty Truck, Freight Demand Model, Ordered Logit, Regional Truck Movement, Urban Truck Movement
공차, 화물수요모형, 서열로짓, 지역간통행, 대도시통행, 도착지선택

* : Corresponding Author
hahn1027@hanmail.net, Phone: +82-31-910-8417, Fax: +82-31-910-3233

Received 29 August 2012, Accepted 29 November 2012

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

화물수요모형은 일반적으로 화물기반모형과 화물자동차기반모형으로 구분할 수 있다. 화물기반모형은 순차적 모형에 의한 접근방법으로, 화물의 이동이 직접 모형화되어야 한다는 관점에서 구축된 모형이다. 해당 모형은 화물의 이동에 초점을 맞추기 때문에, 화물의 특성(품목별 속성 등)은 고려할 수 있으나 화물자동차의 특성(업종, 톤급별 통행유형 등)은 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 반면, 화물자동차기반모형은 화물자동차의 통행을 직접 추정하는 모형으로 화물자동차의 특성은 고려할 수 있으나, 적재품목의 속성은 제대로 반영하지 못하는 어려움이 있다(Holguín-Veras, 2002).

화물수요모형은 위에서 언급한 두 가지 모형 중 어떠한 모형을 기반으로 추정하는가에 따라서 물동량 O/D 또는 화물자동차 O/D를 직접적으로 산출할 수 있다. 특히, 화물기반모형은 수단선택 단계 이후에 화물자동차의 톤급별 적재톤수 등을 일반적으로 고려하는 차량적재모형을 적용하여, 물동량 O/D를 화물자동차 O/D로 전환할 수 있다. 그러나 화물기반모형과 차량적재모형을 통하여 추정된 화물자동차 O/D는 화물자동차의 공차통행 특성을 충분히 고려하지 못한 결과이기 때문에, 통행배정 단계에서 배정된 교통량은 실제 교통량에 비하여 과소 추정될 우려가 있다.

국내 화물수요모형은 전국 지역간 물동량 흐름을 분석하는데 초점이 맞추어져 있기 때문에, 주로 화물기반모형을 토대로 물동량 O/D 또는 화물자동차 O/D를 산출한다. 따라서 해당 모형에서 산출된 화물자동차 O/D는 전술한 바와 같이 화물자동차의 공차통행 특성이 제대로 반영되어 못한 O/D이다. 그러나 대형 화물자동차가 주로 다니는 지역간 통행은 일반적으로 소형 및 중형 화물자동차에 의한 다수통행의 비중이 높은 대도시와는 달리 편도통행과 왕복통행의 비중이 높고, 이 중 왕복통행은 공차통행 발생율이 다수통행에 비하여 높기 때문에, 지역간 화물자동차 O/D 산출시 화물수요모형에서는 화물자동차의 공차통행 특성이 충분히 고려되어야 한다.

국외의 경우 화물자동차의 공차통행수는 화물자동차의 전체 통행수 중 30~50%를 차지하며, 특정 도로에서는 50% 이상을 차지할 정도로 비중이 높기 때문에, 화

물자동차의 공차통행과 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다(Holguín-Veras and Thorson, 2003). 특히 화물수요모형에서 화물기반모형과 공차통행모형을 통합하기 위한 방안, 화물자동차의 통행사슬 행태모형에서 화물자동차의 공차통행을 고려하기 위한 방안 등이 중점적으로 연구되고 있다.

반면, 국내의 경우 현재 화물자동차의 공차통행과 관련된 연구는 다소 미약한 실정이기 때문에, 화물자동차의 공차통행을 정교하게 모형화하는 연구가 단기적으로 진행되기는 어려움이 있다. 따라서 국내 화물수요모형에서는 화물자동차 O/D 총량을 현실적으로 추정하기 위하여, 우선적으로 화물자동차의 공차통행 특성을 고려한 화물자동차 O/D를 추정해야 할 필요가 있다. 화물자동차의 공차통행은 적재통행과 마찬가지로 대기오염, 교량 및 도로포장 손실 등의 문제를 유발하기 때문에, 화물수요모형에서 화물자동차의 공차통행 특성을 적절하게 고려하는 것은 현실적인 화물수요예측을 위하여 반드시 선행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 화물수요모형에서 고려되어야 할 화물자동차의 공차통행모형을 구축하기에 앞서, 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 요인을 분석하는 것을 목적으로 한다. 또한 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 요인들의 영향력이 지역적 범위에 따라 상이함을 검토하기 위하여, 분석의 공간적 범위를 지역간과 대도시로 구분하여 설정하였다.

2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 국가교통DB사업으로 수행한 2011년 전국 화물O/D조사 자료 중 화물자동차통행실태조사 자료를 기반으로 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 분석대상 지역은 지역간과 대도시로 구분하여 설정하였으며, 지역간은 9개 도(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주)의 존외통행 중 대도시 존내 통행과 관련된 통행을 제외한 통행만을, 대도시시는 7개 시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산)의 존내 통행만을 고려하였다. 또한 분석모형은 서열이산선택모형 중 오차항을 Gumbell 분포로 가정된 서열로짓모형을 이용하여 추정하였으며, 모형의 추정 결과를 바탕으로 지역간과 대도시 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 요인들을 비교하였다.

II. 선행연구 및 기초자료 검토

1. 선행연구 검토

화물자동차의 공차통행 발생과 관련된 선행연구는 다음과 같다. 국내의 경우 Shin (1999)은 화물자동차의 공차통행에 대한 실태 및 결정요인을 파악하고, 공차통행의 감소를 유도하기 위한 정책대안을 제시하였다. 해당 연구에서는 화물운송산업의 규제완화, 제3자물류를 통한 외주화대 등을 화물자동차의 공차통행에 대한 결정요인으로 지적하였다.

Chun and Kim (2002)은 운송비 절감을 통한 물류경쟁력 제고를 위하여 물류시스템의 효율성이 높은 사업용 화물자동차의 공차운행을 감소시키기 위한 방안을 검토하였으며, Choe (2003)는 화물기반모형을 추정하는데 필요한 적재율을 도시내와 지역간으로 구분하여 산정하였다. 또한 도시내와 지역간에 서로 다른 적재율을 적용해야 함을 언급하였으며, 적재율과 공차통행율에 따라 발생할 수 있는 모형추정의 오차범위를 제시하였다.

KOTI (2007)에서는 2005년에 수행한 화물O/D조사 결과를 바탕으로 전국 지역간 물동량 O/D를 화물자동차 O/D로 전환하였으며, 전환시 화물자동차의 영업구분별·톤급별·운행거리대수별 수송분담율과 통행전환계수를 고려하였다. Kwon (2011)는 2005년 화물자동차통행실태조사 자료를 바탕으로 물동량 O/D를 화물자동차 O/D로 전환하기 위한 국내·외 화물자동차 통행 산정 모형을 적용하였으며, 도출된 결과를 바탕으로 O/D 전환시 발생하는 문제점 및 개선방안을 제시하였다.

국외의 경우 Beilock and Kilmer (1986)는 미국 플로리다의 트럭 운송업체를 대상으로 만차통행과 공차통행의 결정요인을 분석하였다. 분석자료는 트럭 운전자를 대상으로 한 면접조사를 통하여 수집하였으며, 분석모형은 이산선택모형 중 로짓모형을 이용하여 구축하였다. 분석결과 적재품목 운송에 대한 사전예약이 있는 경우, 그리고 주체통상위원회의 인가를 받지 못한 운송업체(private carrier)일수록 공차통행이 많은 것으로 나타났다.

Holguín-Veras and Thorson (2003)은 상업용 차량에 대한 공차통행을 모형화하기 위하여, Noortman and van Es (1978)가 제시한 수학적 모형에 확률이론과 공간적 상호작용의 개념을 추가한 새로운 모형을 제시하였다. 모형의 적용성을 검토한 결과, 새롭게 제시한 모형은 기존 모형에 비하여 공간적 차이(도시지역, 교외지역, 도시

및 교외지역)에 상관없이 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Error: RMSE)가 모두 낮은 것으로 나타나, 기존 모형에 비하여 상업용 차량의 공차통행에 대한 정확한 예측이 가능한 것으로 나타났다.

Holguín-Veras and Thorson (2003)은 상업용 차량의 공차통행에 대한 기존 모형(naïve proportionality model, Noortman and van Es: NVE model)과 자신들이 새롭게 개발한 모형(HVT 5 model)에 대하여 현실적인 적용가능성을 검토하였다. 검토결과, 두 개의 존만 존재하는 네트워에서는 기존 모형 중 NVE model이 보다 우수한 것으로 나타났으며, 다수의 존이 존재하는 네트워에서는 HVT 5 model이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 기반으로 실제 현실에서 상업용 차량의 공차통행을 예측하기에는 HVT 5 model이 가장 적합한 모형임을 제시하였다.

Tolliver et al. (2006)은 미국 노스다코타주의 대형 곡물 창고에 대한 화물자동차의 적재 및 공차통행 발생을 검토하였다. 곡물창고는 사용 중인 철도수단에 따라 세 가지 유형으로 (shuttle train, unit train, multicar) 분류하였으며, shuttle train의 경우 대형 화물자동차의 적재 및 공차통행 발생율이, unit train의 경우 소형 화물자동차의 적재 및 공차통행 발생율이 높은 것으로 나타났다.

Holguín-Veras and Patil (2007)은 화물자동차의 O/D를 추정하기 위하여, 물동량 기반의 화물수요모형과 화물자동차의 공차통행모형을 결합한 새로운 모형을 제시하였다. 분석결과, 새로운 모형은 화물자동차의 공차통행모형을 고려하지 않는 기존 화물수요모형에 비하여 우수한 결과를 산출하는 것으로 나타났다. 해당 결과에 대한 원인으로는 화물자동차의 공차통행이 화물자동차의 전체 통행에서 차지하는 비중이 크기 때문인 것으로 판단하였으며, 화물자동차의 O/D 추정시 화물자동차의 공차통행 특성이 충분히 고려되어야 함을 언급하였다.

Raathanachonkun et al. (2007)은 물동량 기반 화물수요추정결과를 화물자동차로 변환함에 있어 화물자동차의 통행사슬 행태와 공차통행을 고려하였다. 즉, 존간 물동량의 흐름을 화물자동차의 편도통행과 통행사슬 통행으로 구분한 후, 각각의 통행에 대한 평균 적재량과 공차통행 비율을 고려하여 존간 총 화물자동차 대수를 추정하는 모형을 제시하였다. 해당 연구에서 화물자동차의 공차통행 비율은 선행연구(Holguín-Veras and Zorrilla, 2006)에서 추정된 비율을 동일하게 사용하였다.

Islam et al. (2010)은 뉴질랜드의 오클랜드에 있는 항

구를 대상으로 컨테이너 트럭의 공차운행을 효율적으로 관리하기 위한 방안을 제시하였다. 항에서의 물류활동은 다양한 이해관계자들이 서로 연관되어 있기 때문에, Islam et al. (2010)은 게임이론을 적용하여 모든 이해관계자들이 물류활동을 원활하게 수행하면서, 컨테이너 트럭의 공차운행을 최소화 할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 연안항의 경우 화물품목을 수입·수출하기 위하여 항으로 진입·진출하는 트럭이 대부분 공차이며, 해당 트럭들은 인근지역의 교통혼잡, 탄소배출, 차량주행거리 등을 유발하기 때문에, 컨테이너 트럭의 공차운행에 따른 문제점을 해결하기 위한 노력이 필요함을 언급하였다.

Holguín-Veras et al. (2011)은 콜롬비아 교통국에서 수행한 화물O/D조사 결과를 활용하여 화물수요모형의 추정 계수에 대한 안정성을 검토하였다. 수집된 자료는 1999년부터 2005년까지의 시계열 자료이며, 화물수요모형 중에서 통행발생모형과, 통행분포모형, 그리고 공차통행모형을 검토하였다. 공차통행모형은 다수의 나라에서 일반적으로 사용하는 Noortman and van Es (1978)의 모형을 사용하였으며, 해당 모형에서 추정된 계수는 통계적으로 시간의 존성(time-dependent)을 확보하긴 하지만, 영향력은 그다지 크지 않은 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 화물자동차의 공차통행이 1999년부터 2005년까지 점차 감소하였기 때문인 것으로 판단하였다.

이상의 선행연구들을 살펴본 결과, 화물자동차의 공차통행과 관련된 연구는 국외에서 활발하게 이루어지고 있는 반면, 국내의 경우 관련연구의 진행이 시급한 것으로 판단된다. 또한 선행연구에서 화물자동차의 공차통행 발생은 다양한 주변 여건에 따라 영향을 받는 것으로 검토되었으나, 해당 요인들에 대한 영향력을 제시한 연구는 거의 없는 것으로 나타났으며, 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 요인이 공간적 차이에 따라 상이함을 제시한 연구 또한 없는 것으로 검토되었다.

이에 본 연구에서는 2011년 화물자동차통행실태조사 자료와 존별 통계자료를 기반으로 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 요인을 화물자동차의 속성, 출발지 존 유형 및 특성, 도착지 존 유형 및 특성, 그리고 적재품목 유형 등과 같이 다양한 관점에서 분석하고, 해당 요인들의 지역적 범위에 따른 차이를 검토함으로써 선행연구와의 차별성을 가지려 노력하였다. 또한 기존 화물수요모형에서 산출되는 화물자동차 O/D에 대한 문제점을 파악하고 이에 대한 개선방안 마련을 검토하였다.

2. 기초자료 검토

화물자동차통행실태조사는 전국의 화물이동실태를 화물자동차 단위로 분석하기 위하여, 하루 동안 화물자동차의 통행을 파악하는 설문조사이다(KOTI, 2006). 해당 조사를 통하여 수집된 전국 자료 중 본 연구에서 설정한 지역적 범위인 지역간의 9개 도(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주)와 대도시의 7개 시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산)에 해당하는 자료를 대상으로 화물자동차의 공차통행 특성을 화물자동차의 적재능력별로 검토하였다.

1) 지역별·적재능력별 조사표본수

지역간 화물자동차의 조사표본수는 총 2,864대이며, 대도시 화물자동차의 조사표본수는 총 3,061대로 조사되었다. 지역별 화물자동차의 통행을 적재능력별로 살펴보면 지역간 통행의 경우 중·대형 화물자동차가, 대도시 통행의 경우 소형 화물자동차가 주를 이룬다.

Table 1. Number of sample size by area and by capacity

Area	Capacity	# of Samples	Ratio (%)
regional area	Small	1,632	57
	Medium	835	29
	Large	397	14
Total		2,864	100
urban area	Small	2,687	88
	Medium	306	10
	Large	68	2
Total		3,061	100

note: Small=maximum loading capacity lighter than 3 ton
 Medium=maximum loading capacity between 3 and 8 tons
 Large=maximum loading capacity heavier than 8 tons

2) 지역별·적재능력별 공차통행률

지역별·적재능력별 화물자동차의 공차통행율을 살펴보면, 총 통행수는 대도시 화물자동차가 지역간 화물자동차보다 많은 것으로 나타났으며, 총 통행수에서 공차통행수가 차지하는 비율은 지역간 화물자동차가 대도시 화물자동차보다 큰 것으로 나타났다. 이는 대도시 화물자동차의 경우 통행사슬과 같은 다수통행의 비율이 지역간 화물자동차보다 큰 반면, 지역간 화물자동차는 출발

Table 2. Ratio of empty trips by area and by capacity

Area	Capacity	# of Total Trips (trip/day)	# of Empty Trips (trip/day)	% of Empty Trips
regional area	Small	1.97	0.87	44
	Medium	1.82	0.82	45
	Large	1.84	0.76	41
urban area	Small	2.77	1.08	39
	Medium	3.14	1.09	35
	Large	3.13	1.13	36

지로 되돌아오는 왕복통행의 비율이 대도시 화물자동차보다 높기 때문인 것으로 판단된다.

3) 지역별·적재능력별 공차통행시간율(평균값)

지역별·적재능력별 화물자동차의 공차통행시간율을 살펴보면, 총 통행시간은 장거리 통행의 비율이 높은 지역간 화물자동차가 도시내 단거리 통행의 비율이 높은 대도시 화물자동차보다 긴 것으로 나타났다. 또한 총 통행시간에서 차지하는 공차통행시간의 비율은 왕복통행의 비율이 높은 지역간 화물자동차가 대도시 화물자동차보다 큰 것으로 나타났다.

Table 3. Ratio of empty travel time by area and by capacity

Area	Capacity	Total Travel Time (min/day)	Empty Travel Time (min/day)	% of Empty Travel Time
regional area	Small	220.79	103.77	47
	Medium	298.84	134.48	45
	Large	385.00	184.80	48
urban area	Small	95.55	29.62	31
	Medium	97.60	35.56	36
	Large	91.34	31.97	35

4) 지역별·적재능력별 공차통행거리율

지역별·적재능력별 화물자동차의 공차통행거리율을 살펴보면, 공차통행시간과 마찬가지로 총 통행거리에서 공차통행거리가 차지하는 비율은 모두 지역간 화물자동차가 대도시 화물자동차보다 큰 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 지역간 화물자동차가 장거리 통행이 많고, 통행유형 중에서는 편도 및 왕복통행이 차지하는 비중이 대도시 화물자동차보다 높기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4. Ratio of empty travel distance by area and by capacity

Area	Capacity	Total Travel Distance (km/day)	Empty Travel Distance (km/day)	% of Empty Travel Distance
regional area	Small	199.41	85.67	43
	Medium	286.93	129.12	45
	Large	359.08	165.18	46
urban area	Small	38.80	12.41	32
	Medium	49.21	16.73	34
	Large	41.27	14.03	34

III. 모형 및 자료 구축

1. 분석모형 구축¹⁾

1) 공차통행 발생모형

공차통행발생모형은 분석대상의 공차통행발생과 관련된 변수를 추정하기 위한 모형이다. 본 연구에서는 화물자동차의 1일 공차통행수를 모형의 종속변수로, 그리고 화물자동차의 속성, 출발지 존 유형 및 특성, 도착지 존 유형 및 특성, 적재품목 유형을 모형의 독립변수로 설정하였다. 화물자동차의 공차통행수는 상대적 크기에 대한 비교가 의미를 가지는 서수적 특성을 가지기 때문에, 본 연구에서는 서열이산선택모형을 기반으로 분석모형을 정산하였다. 서열이산선택모형은 특정 질문에 대한 응답의 정도가 순서화된 자료를 종속변수로 가지는 모형을 추정하기 위한 모형으로, 효용 구조는 식(1)과 같다.

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

여기서,

y_i^* : 개별 화물자동차 i 가 공차통행을 발생하고자 하는 정도를 나타내는 효용

x_{ik} : 개별 화물자동차 i 의 공차통행발생에 영향을 미치는 k 번째 외생변수

β_k : k 번째 외생변수의 계수

ϵ_i : 효용의 불확실성을 나타내는 개별 화물자동차 i 의 확률적 오차항

1) Hahn et al. (2011)의 연구내용을 기반으로 재구성함.

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

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

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

식(1)의 미관측 요소 ϵ_i 의 분포 가정에 따라 서열프로빗모형과 서열로짓모형이 구분된다. 서열프로빗모형의 오차항은 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 따른다고 가정하며, 서열로짓모형의 오차항은 평균이 0인 로지스틱분포를 따른다고 가정한다. 본 연구에서는 화물자동차의 공차통행 발생모형을 구축하기 위하여 서열이산선택모형 중 서열로짓모형을 이용하였다. 한편 지역간과 대도시의 화물자동차 공차통행 발생에 영향을 미치는 독립변수의 유형에 따라 본 연구에서 구축한 분석모형은 다음과 같다.

(1) 화물자동차 속성

$$y_i^* = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \beta_3 F_3 + \beta_4 F_4 + \beta_5 F_5 + \beta_6 F_6 + \beta_7 F_7 + \beta_8 F_8 + \beta_9 F_9 + \beta_{10} F_{10} \quad (4)$$

여기서,

y_i^* : 화물자동차 1일 공차통행수

F_1 : 사업용 화물자동차 여부(1-사업용, 0-비사업용)

F_2 : 왕복통행 여부(1-왕복통행, 0-다수통행)

F_3 : 총통행수

F_4 : 총통행시간

F_5 : 총통행거리

F_6 : 평균적재율

F_7 : 적재효율

F_8 : 소형 화물자동차 여부(1-소형, 0-소형 아님)

F_9 : 중형 화물자동차 여부(1-중형, 0-중형 아님)

F_{10} : 대형 화물자동차 여부(1-대형, 0-대형 아님)

(2) 출발지 존 유형 및 특성

$$\begin{aligned} y_i^* &= \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 D_4 \\ &\quad + \beta_5 D_5 + \beta_6 D_6 + \beta_7 D_7 + \beta_8 D_8 \\ &\quad + \beta_9 D_9 + \beta_{10} D_{10} + \beta_{11} D_{11} + \beta_{12} D_{12} \\ &\quad + \beta_{13} D_{13} + \beta_{14} D_{14} + \beta_{15} D_{15} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,

y_i^* : 화물자동차 1일 공차통행수

D_1 : 출발지 존 유형의 교통시설(철도역, 항만, 공항) 여부(1-교통시설, 0-교통시설 아님)

D_2 : 출발지 존 유형의 제조업체(공장, 영업·자가창고) 여부(1-제조업체, 0-제조업체 아님)

D_3 : 출발지 존 유형의 도·소매업체 여부(1-도·소매업체, 0-도·소매업체 아님)

D_4 : 출발지 존 유형의 기타(시장, 건설현장) 여부(1-기타, 0-기타 아님)

D_5 : 국가산업단지 생산액(억원)

D_6 : 일반산업단지 생산액(억원)

D_7 : 농공단지 생산액(억원)

D_8 : 할인점(전문점 포함) 수(개)

D_9 : 백화점(쇼핑센터 포함) 수(개)

D_{10} : 시장(기타 대규모점포 포함) 수(개)

D_{11} : 농업·임업·어업 사업체 수(개)

D_{12} : 광업 사업체 수(개)

D_{13} : 제조업 사업체 수(개)

D_{14} : 도·소매업 사업체 수(개)

D_{15} : 서비스업 사업체 수(개)

(3) 도착지 존 유형 및 특성

$$\begin{aligned} y_i^* &= \beta_1 A_1 + \beta_2 A_2 + \beta_3 A_3 + \beta_4 A_4 \\ &\quad + \beta_5 A_5 + \beta_6 A_6 + \beta_7 A_7 + \beta_8 A_8 \\ &\quad + \beta_9 A_9 + \beta_{10} A_{10} + \beta_{11} A_{11} + \beta_{12} A_{12} \\ &\quad + \beta_{13} A_{13} + \beta_{14} A_{14} + \beta_{15} A_{15} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,

y_i^* : 화물자동차 1일 공차통행수

A_1 : 도착지 존 유형의 교통시설(철도역, 항만, 공

- 항) 여부(1-교통시설, 0-교통시설 아님)
- A_2 : 도착지 존 유형의 제조업체(공장, 영업·자가창고) 여부(1-제조업체, 0-제조업체 아님)
- A_3 : 도착지 존 유형의 도·소매업체 여부(1-도소매업체, 0-도소매업체 아님)
- A_4 : 도착지 존 유형의 기타(시장, 건설현장) 여부(1-기타, 0-기타 아님)
- A_5 : 국가산업단지 생산액(억원)
- A_6 : 일반산업단지 생산액(억원)
- A_7 : 농공단지 생산액(억원)
- A_8 : 할인점(전문점 포함) 수(개)
- A_9 : 백화점(쇼핑센터 포함) 수(개)
- A_{10} : 시장(기타 대규모점포 포함) 수(개)
- A_{11} : 농업·임업·어업 사업체 수(개)
- A_{12} : 광업 사업체 수(개)
- A_{13} : 제조업 사업체 수(개)
- A_{14} : 도·소매업 사업체 수(개)
- A_{15} : 서비스업 사업체 수(개)

(4) 운송품목 유형

$$y_i^* = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \beta_3 F_3 + \beta_4 F_4 + \beta_5 F_5 + \beta_6 F_6 + \beta_7 F_7 + \beta_8 F_8 + \beta_9 F_9 + \beta_{10} F_{10} + \beta_{11} F_{11} \quad (7)$$

여기서,

y_i^* : 화물자동차 1일 공차통행수

- C_1 : 농림수산물 여부(1-농림수산물, 0-농림수산물 아님)
- C_2 : 음식료품 여부(1-음식료품, 0-음식료품 아님)
- C_3 : 섬유 및 가죽제품 여부(1-섬유 및 가죽제품, 0-섬유 및 가죽제품 아님)
- C_4 : 비금속광물제품 여부(1-비금속광물제품, 0-비금속광물제품 아님)
- C_5 : 금속제품 여부(1-금속제품, 0-금속제품 아님)
- C_6 : 목재 및 종이제품 여부(1-목재 및 종이제품, 0-목재 및 종이제품 아님)
- C_7 : 잡제품 여부(1-잡제품, 0-잡제품 아님)
- C_8 : 화학공업제품 여부(1-화학공업제품, 0-화학공업제품 아님)

C_9 : 기계류 여부(1-기계류, 0-기계류 아님)

C_{10} : 전기전자 및 정밀기기 여부(1-전기전자 및 정밀기기, 0-전기전자 및 정밀기기 아님)

C_{11} : 광산물 여부(1-광산물, 0-광산물 아님)

2. 분석자료 구축

본 연구에서는 2011년 화물자동차통행실태조사 자료 중 이상치를 제거한 5,925개 표본(지역간: 2,864개, 대도시: 3,061개)을 활용하여 화물자동차의 공차통행 특성 분석을 위한 자료를 구축하였다. 분석자료는 본 연구에서 제시한 4가지 유형의 모형에 대하여 각각 구축하였으며, 자료 중 각 모형의 종속변수인 화물자동차의 1일 공차통행수와 화물자동차 속성의 독립변수, 출발지 존 유형 및 특성의 독립변수 중 출발지 존 유형, 도착지 존 유형 및 특성의 독립변수 중 도착지 존 유형, 그리고 운송품목 유형의 독립변수는 모두 화물자동차통행실태조사 자료를 기반으로 구축하였다.

또한 출발지(도착지) 존 유형 및 특성의 독립변수 중 출발지 존 유형과 도착지 존 유형을 제외한 나머지 독립변수들은 모두 본 연구에서 설정한 공간적 범위에 해당하는 시도별 통계자료를 활용하여 구축하였으며, 이와 같이 구축한 본 연구의 분석자료는 Table 5-Table 7과 같다. 본 연구에서는 화물자동차의 공차통행 특성의 공간적 범위에 대한 비교를 위하여 지역간과 대도시에 대한 모형의 변수는 모두 동일하게 설정하였다.

Table 5. Data-truck attributes

Variable		Type
A	# of total empty trips(y_i^*)	Continuous
B	Type of industry(F_1)	Dummy
	Type of trip(F_2)	Dummy
	# of total trips(F_3)	Continuous
	Total travel time(F_4)	Continuous
	Total travel distance(F_5)	Continuous
	Average lading(F_6)	Continuous
	Loading efficiency(F_7)	Continuous
	Type of truck_1(F_8)	Dummy
	Type of truck_2(F_9)	Dummy
	Type of truck_3(F_{10})	Dummy

note: A=dependent variable, B=independent Variable

Table 6. Data-departure(destination) zone attributes

Variable		Type
A	# of total empty trips(y_i^*)	Continuous
B	Type of departure zone_1(D_1, A_1)	Dummy
	Type of departure zone_2(D_2, A_2)	
	Type of departure zone_3(D_3, A_3)	
	Type of departure zone_4(D_4, A_4)	
	Output of the NIC(D_5, A_5)	Continuous
	Output of the GIC(D_6, A_6)	
	Output of the AIC(D_7, A_7)	
	# of major supermarket(D_8, A_8)	
	# of department store(D_9, A_9)	
	# of market(D_{10}, A_{10})	
	# of company concerning AFF(D_{11}, A_{11})	
	# of company concerning MI(D_{12}, A_{12})	
	# of company concerning MA(D_{13}, A_{13})	
	# of company concerning WR(D_{14}, A_{14})	
	# of company concerning S(D_{15}, A_{15})	

note: NIC=national industrial complex, GIC=general industrial complex, AIC=agricultural industrial complex, AFF=agriculture, forestry and fishery, MI=mining, MA=manufacturing, WR:=wholesale and retail, S: service

Table 7. Data-type of commodities

Variable		Type
A	# of total empty trips(y_i^*)	Continuous
B	Agriculture, Forestry and Fishery(C_1)	Dummy
	Food and Beverages(C_2)	
	Textiles and Domestic Electric Devices(C_3)	
	Non-metallic Mineral Products(C_4)	
	Metal Products(C_5)	
	Wood and Paper Products(C_6)	
	Other Products(C_7)	
	Chemicals and Chemical Products(C_8)	
	Machinery(C_9)	
	Electrical, Electronic and Precision Instruments(C_{10})	
	Mineral Products(C_{11})	

본 연구에서는 Table 6의 출발지 존 유형과 도착지 존 유형의 경우 화물자동차통행실태조사 자료의 총 12개 출발지 및 도착지 유형 중 물류활동이 없는 가정, 차고지, 기타유형을 제외한 나머지 9개 유형들 중 유사한

특성을 가지는 유형들을 집계하여 총 4가지 유형들로 재분류한 후, 모형의 독립변수로 사용하였다. 또한 Table 7의 적재품목 유형도 마찬가지로 기존 38개 화물품목 중 특성이 유사한 품목들을 집계하여 총 11개 화물품목으로 재분류한 후, 모형의 독립변수로 사용하였다.

한편 본 연구에서 사용한 분석자료는 표본조사 결과의 일부를 활용하였기 때문에, 본 연구에서 활용한 자료만을 대상으로 모집단의 대표성을 확보하기에는 한계가 있다²⁾. 따라서 본 연구에서는 분석자료가 모집단의 대표성을 확보한다는 가정하에 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 요인을 공간적 범위에 따라 분석하였다.

IV. 모형추정 및 결과

1. 화물자동차 속성

지역간과 대도시 화물자동차의 공차통행 발생요인을 화물자동차 속성에서 살펴본 결과, 지역간 화물자동차와 대도시 화물자동차 모두 화물자동차 업종이 사업용이고, 통행유형이 왕복통행일수록 공차통행 발생에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 화물자동차 톤급이 클수록 공차통행 발생이 두드러지는 것으로 나타났다. 화물자동차 속성이 공차통행 발생에 미치는 영향력은 지역간 화물자동차가 대도시 화물자동차 보다 큰 것으로 나타났으며, 이는 지역간의 경우 일반적으로 왕복통행 비율이 높고 중·대형 사업용 화물자동차가 주로 운행되기 때문인 것으로 판단된다.

Table 8. Result-truck attributes

Area	Variable	Coefficient	T-value	P-value
regional area	F_1	1.311	11.751	0.000
	F_2	1.495	11.669	0.000
	F_4	0.202	17.761	0.000
	F_8	0.728	20.730	0.000
	F_9	1.351	21.758	0.000
	F_{10}	2.431	23.112	0.000
urban area	F_1	1.023	15.693	0.038
	F_2	1.042	16.254	0.000
	F_3	0.368	11.061	0.000
	F_8	0.671	7.838	0.000
	F_9	1.054	11.877	0.000
	F_{10}	1.151	12.176	0.000

2) 2011년 전국 화물O/D조사에서는 통계적 근거를 바탕으로 표본추출을 수행하였으며, 이에 대한 자세한 내용은 2011년 국가교통DB 보고서를 참고하기 바람.

2. 출발지 존 유형 및 특성

지역간과 대도시 화물자동차의 공차통행 발생요인을 출발지 존 유형 및 특성에서 살펴본 결과, 지역간 화물자동차는 출발지 존 유형이 교통시설(철도역, 항만, 공항) 또는 제조업체(공장, 영업창고, 자가창고)인 경우 공차통행 발생이 두드러진 것으로 나타났다. 또한 출발지 존에 위치한 국가산업단지의 생산액이 많을수록, 그리고 광업 사업체와 제조업 사업체가 많을수록 화물자동차의 공차통행이 주로 발생하는 것으로 나타났다. 반면, 대도시 화물자동차는 출발지 존 유형이 도·소매업체 또는 기타(시장, 건설현장)인 경우 공차통행이 주로 발생하며, 출발지 존에 할인점(전문점 포함) 또는 백화점(쇼핑센터 포함)이 많을수록, 그리고 도·소매업 사업체와 서비스업 사업체가 많을수록 화물자동차의 공차통행이 많은 것으로 나타났다.

즉, 지역간 화물자동차의 공차통행 발생에 가장 큰 영향을 미치는 출발지 존 유형은 교통시설(철도역, 항만, 공항)이며, 출발지 존 특성은 국가산업단지 생산액, 제조업 사업체 수인 반면, 대도시 화물자동차의 공차통행 발생에 가장 큰 영향을 미치는 출발지 존 유형은 기타(시장, 건설현장)이고, 출발지 존 특성은 백화점(쇼핑센터 포함) 수, 서비스업 사업체 수인 것으로 나타났다.

3. 도착지 존 유형 및 특성

지역간과 대도시 화물자동차의 공차통행 발생요인을 도착지 존 유형 및 특성에서 살펴본 결과, 지역간 화물자동차는 도착지 존 유형이 제조업체(공장, 영업창고, 자가창고)인 경우 공차통행이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 도착지 존에 위치한 국가산업단지 또는 일반 산업단지의 생산액이 많을수록, 그리고 농업·임업·어업 관련 사업체, 제조업 사업체가 많을수록 공차통행의 발생이 많은 것으로 나타났다. 반면 대도시 화물자동차는 도착지 존 유형이 도·소매업체, 기타(시장, 건설현장)인 경우 공차통행 발생이 많은 것으로 나타났으며, 도착지 존에 할인점(전문점 포함)과 백화점(쇼핑센터 포함), 시장(기타 대규모점포 포함)이 많을수록, 그리고 도·소매업체와 서비스업 사업체가 많을수록 화물자동차의 공차통행 발생이 두드러지는 것으로 나타났다.

즉, 지역간 화물자동차의 공차통행 발생에 가장 큰 영향을 미치는 도착지 존 유형은 제조업체(공장, 영업창고, 자가창고)이며, 도착지 존 특성은 국가산업단지 생산액, 제조업 사업체 수인 반면, 대도시 화물자동차의 공차통행 발생에 가장 큰 영향을 미치는 도착지 존 유형은 도·소매업체이고, 도착지 존 특성은 할인점(전문점 포

Table 9. Result-departure zone attributes

Area	Variable	Coefficient	T-value	P-value
regional area	D_1	2.579	16.285	0.000
	D_2	2.319	41.310	0.000
	D_3	0.845	25.479	0.000
	D_4	0.527	10.129	0.000
	D_5	1.863	17.078	0.038
	D_9	0.049	4.111	0.000
	D_{12}	1.805	13.612	0.000
	D_{13}	2.154	17.677	0.000
	D_{14}	0.481	8.179	0.000
	D_{15}	0.696	8.935	0.000
urban area	D_1	0.945	7.752	0.000
	D_2	0.819	33.898	0.000
	D_3	1.766	24.607	0.000
	D_4	1.915	18.681	0.000
	D_5	0.841	8.403	0.000
	D_6	0.390	5.158	0.000
	D_7	0.512	9.906	0.000
	D_8	2.029	23.415	0.001
	D_9	2.070	27.237	0.000
	D_{11}	0.028	9.729	0.000
	D_{14}	1.651	15.219	0.000
	D_{15}	2.076	20.991	0.000

Table 10. Result-destination zone attributes

Area	Variable	Coefficient	T-value	P-value
regional area	A_1	1.561	15.992	0.000
	A_2	2.302	39.713	0.000
	A_3	0.802	24.764	0.000
	A_4	0.448	9.591	0.000
	A_5	1.954	17.612	0.009
	A_6	1.670	17.155	0.031
	A_9	0.454	7.625	0.000
	A_{11}	1.506	14.903	0.000
	A_{13}	2.068	16.582	0.000
	A_{14}	0.477	8.220	0.000
	A_{15}	0.525	9.509	0.000
urban area	A_1	0.988	7.589	0.000
	A_2	0.861	35.305	0.000
	A_3	2.127	24.982	0.000
	A_4	1.773	19.066	0.000
	A_5	0.906	8.810	0.000
	A_6	0.482	6.349	0.000
	A_7	0.412	10.080	0.000
	A_8	2.035	23.914	0.000
	A_9	1.962	26.363	0.000
	A_{10}	2.006	17.659	0.008
	A_{11}	0.525	13.717	0.000
	A_{14}	1.823	20.703	0.000
	A_{15}	2.064	25.523	0.000

함) 수, 서비스업 사업체 수인 것으로 나타났다. 이와 같이 화물자동차의 공차통행 발생요인 중 출발지 존 유형 및 특성과 도착지 존 유형 및 특성 결과가 유사한 원인으로서는 통행목적이 다양한 여객과 달리 화물자동차는 대부분 화물품목의 운송 등의 단일 통행목적을 가지기 때문인 것으로 판단된다.

4. 운송품목 유형

지역간과 대도시 화물자동차의 공차통행 발생요인을 운송품목 유형에서 살펴본 결과, 지역간 화물자동차는 운송품목 유형이 농림수산물, 비금속광물제품, 금속제품, 그리고 화학공업제품인 경우 공차통행 발생이 많은 것으로 나타났다. 반면 대도시 화물자동차는 운송품목 유형이 음식료품, 섬유 및 가죽제품, 그리고 잡제품인 경우 공차통행이 주로 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 운송품목 유형은 지역간 화물자동차와 대도시 화물자동차 모두 출발지 및 도착지 존 유형 및 특성과 관련된 운송품목이 대부분인 것으로 나타났다.

Table 11. Result-type of commodities

Area	Variable	Coefficient	T-value	P-value
regional area	C_1	1.844	19.040	0.000
	C_2	0.978	10.664	0.000
	C_3	0.853	9.266	0.000
	C_4	2.459	22.288	0.000
	C_5	2.040	23.076	0.000
	C_6	1.105	12.180	0.000
	C_7	1.295	9.202	0.000
	C_8	2.293	21.806	0.000
	C_9	1.125	11.413	0.000
	C_{10}	0.897	9.475	0.000
	C_{11}	2.061	18.253	0.000
urban area	C_1	0.717	11.235	0.000
	C_2	2.229	26.921	0.000
	C_3	1.766	15.778	0.000
	C_4	0.767	6.752	0.000
	C_5	0.864	20.026	0.000
	C_6	1.330	14.468	0.000
	C_7	2.001	19.561	0.000
	C_8	0.573	10.788	0.000
	C_9	0.746	11.134	0.000
	C_{10}	0.787	13.287	0.000
	C_{11}	0.584	9.836	0.000

V. 결론

본 연구의 분석결과를 바탕으로 화물자동차의 통행에 대한 공간적 범위에 따라 화물자동차의 공차통행 발생요

인은 서로 상이함을 알 수 있으며, 이는 기본적으로 화물자동차의 통행특성(통행유형, 적재효율, 운송품목 등)이 지역별, 업종별, 차종별로 차이가 나기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같이 화물자동차의 공차통행 발생에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하며, 특히 해당 요인들은 통행의 공간적 범위에 따라 상이함에도 불구하고, 국내 화물수요모형에서는 현재까지 화물자동차의 공차통행 특성을 충분하게 고려하지 못하는 한계를 가진다. 따라서 보다 현실적인 화물자동차 O/D를 추정하기 위해서는 단기적으로 화물자동차의 공차통행 발생요인을 고려하기 위한 화물수요모형의 개선이 필요하며, 장기적으로는 화물자동차의 공차통행을 미시적으로 모형화하기 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 국가교통DB를 주로 활용하여 분석모형을 추정하였기 때문에 모형 변수의 선정 및 분석 결과에 대한 정책적 의미 도출에 있어서 제한적인 한계를 가지고 있다. 따라서 화물자동차의 공차통행 관련 연구에 있어서 보다 의미 있는 결과를 도출하기 위해서는 국가교통DB에서 포괄하지 못하는 화물자동차 공차통행 관련 자료(포장상태, 물류주업체 관련 정보 등)에 대한 수집 및 활용방안을 검토해야 할 필요가 있다. 또한 본 연구의 분석모형인 서열이산선택모형은 서열척도로 조사된 응답을 회귀식으로 처리할 수 있다는 점에서 전통적 회귀식보다 발전된 형태라 할 수 있으나, 이로 인하여 모형의 종속변수 선정에 제한적일 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 본 연구에서 고려한 모형의 종속변수인 1일 공차통행수 이외 다양한 변수(공차통행율, 공차통행거리율 등)들을 검토하고, 분석모형을 화물자동차 톤급별로 구분하여 구축함으로써, 분석결과에 대한 정책적 활용도를 높여야 할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant(09-06) from Implementation of More Efficient Transportation System Program funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of the Korean government.

REFERENCES

Beilock R., Kilmer R. L. (1986), The Determinants of Full-Empty Truck Movements, American Journal of

- Agricultural Economics, Vol.68, No.1, pp.67-76.
- Choe C. H. (2003), Estimation of Vehicle Loading Rates for Commodity based Models based on Urban and Regional Truck Trip Characteristics, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.23, No.2D, pp.147-158.
- Chun M. S., Kim Y. H. (2002), A Study on the Management for Reducing empty truck movements, Proceedings of the Safety Management and Science Conference, pp.285-294.
- Greene W. H. (1990), Econometric Analysis, Macmillan.
- Hahn J. S., Park M. C., Sung H. M., Kim H. B. (2011), A Study on the Characteristics of Urban Truck Movement for the Truck based Urban Freight Demand Model, J. Korean Soc. Transp., Vol.30, No.3, pp.107-118.
- Holguín-Veras J. (2002), Revealed Preference Analysis of the Commercial Vehicle Choice Process, Journal of Transportation Engineering, Vol.28, No.4, American Society of Civil Engineers, pp.336-346.
- Holguín-Veras J., Patil G. R. (2007), Integrated Origin-Destination Synthesis Model for Freight with Commodity-Based and Empty Trip Models, Transportation Research Record 2008, pp.60-66.
- Holguín-Veras J., Thorson E. (2003), Modeling commercial vehicle empty trips with a first ordered trip chain model, Transportation Research Part B 37, pp.129-148.
- Holguín-Veras J., Thorson E. (2003), Practical Implications of Modeling Commercial Vehicle Empty Trips, Transportation Research Record 1833, pp.87-94.
- Holguín-Veras J., Zorrilla J. (2006), First Approximation to Longitudinal Modeling of Commercial Vehicle Empty Trips, Presented at 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Holguín-Veras J., Sánchez I., González-Calderón C., Sarmiento I., Thorson E. (2011), Time-Dependent Effects on Parameters of Freight Demand Models: Empirical Investigation, Transportation Research Record 2224, pp.42-50.
- Islam S., Arthanari T., Olsen T. (2010), Empty Container-truck Movement Problem: At Ports of Auckland, Proceedings of the 45th Annual Conference of the ORSNZ, pp.239-248.
- Korea Transport Institute (2006), National Transportation Database in 2005: Freight O/D Survey on the National Area.
- Korea Transport Institute (2007), National Transportation Database in 2007: Expanding Freight O/D based Freight Survey O/D.
- Korea Transport Institute (2012), National Transportation Database in 2011: Freight O/D Survey on the National Area.
- Kwon S. A. (2011), A Study on estimating truck trip origin-destination with commodity-based: focused on urban freights, MS Thesis, University of Seoul.
- Noortman H. J., Van Es J. (1978), Traffic Model, Manuscript for the Dutch Freight Transport Model.
- Raothanachonkun P., Sano K., Wisetjindawat W., Matsumoto S. (2007), Estimating Truck Trip Origin-Destination with Commodity-Based and Empty Trip Models, Transportation Research Record 2008, pp.43-50.
- Shin D. S. (1999), A Study on Reducing the Empty Running of Road Goods Vehicles, Korea Transport Institute.
- Tolliver D., Dybing A., Mitra S. (2006), Trip Generation Rates for Large Elevators: A North Dakota Case Study, Transportation Research Record 1966, pp.88-95.
- 알림 : 본 논문은 대한교통학회 제67회 학술발표회 (2012.10.20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.
- ✎ 주 작 성 자 : 한진석
 ✎ 교 신 저 자 : 한진석
 ✎ 논문투고일 : 2012 8. 29
 ✎ 논문심사일 : 2012 10. 8 (1차)
 2012 11. 29 (2차)
 ✎ 심사판정일 : 2012 11. 29
 ✎ 반론접수기한 : 2013. 4. 30
 ✎ 3인 익명 심사필
 ✎ 1인 abstract 교정필