

TCS 및 WIM 자료를 활용한 고속도로 물동량 지표 산정방안에 관한 연구

오정화¹ · 김현승¹ · 박민석² · 최윤혁² · 권순민² · 박동주^{1*}

¹서울시립대학교 교통공학과, ²한국도로공사 도로교통연구원

A Study on Estimation for Freight Transportation Indices on Expressway Using TCS and WIM Data

OH, Junghwa¹ · KIM, Hyunseung¹ · PARK, Minseok² · CHOI, Yoonhyuk² · KWON, Soonmin² · PARK, Dongjoo^{1*}

¹Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

²Expressway and Transportation Research Institute, Gyeonggi 18489, Korea

*Corresponding author: djpark@uos.ac.kr

Abstract

The expressway of the Korea has an important role in freight movement because 76 percent of the commodity is transported by trucks. However, there has been few indices on the role of expressways regarding freight transportation and truck traffic. The objective of this study is to propose four freight transportation related indices using ITS-related system such as TCS and HS-Wim: total truck's travel miles (veh · km/year), total freight transport miles (ton · km/year), efficiency of truck's travel (veh · km/km), and efficiency of freight movement (ton · km/km). These truck and freight related indices were estimated and compared by two different data sources: traffic volume data using VDS and OD data using TCS. These indices were designed to estimated on real time and updated every day and month.

keywords: efficiency of freight movement, efficiency of truck's travel, freight transport miles, smart restrictive vehicle analysis system, truck's travel miles

초록

2014년 기준 국내 약 76% 이상의 화물이 도로를 이용하여 수송되고 있는 만큼 고속도로는 화물 수송의 중추적 역할을 수행하고 있다. 그러나 고속도로에서 수송되는 화물자동차 및 화물의 규모를 가늠할 수 있는 지표의 산정방안에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 한국도로공사에서 관리하는 스마트 제한차량 분석시스템(TCS, HS-WIM) 자료를 활용하여 산출 가능한 화물자동차 통행실적(대 · km/년), 화물수송실적(톤 · km/년), 화물자동차 통행효율(대 · km/km), 화물수송효율(톤 · km/km) 총 4가지 지표를 선정하였다. 본 연구는 도로교통 통계를 활용한 구간교통량 기반 지표 산정방안과 고속도로 영업소 간 기중점교통량을 활용한 기중점교통량 기반 지표 산정방안의 장 · 단점 및 한계점을 제시하고 평가 및 검증하였다. 또한 고속도로 관리자 입장에서 스마트 제한차량 분석시스템을 활용하여 실시간(1일, 1개월)으로 산출가능한 방법론을 제시한 것에 의의를 가진다.

주요어: 화물수송효율, 화물자동차 통행효율, 화물수송실적, 스마트 제한차량 분석시스템, 화물자동차 통행실적

서론

1. 연구의 배경 및 목적

2014년 기준 국내 화물 수송실적은 1,640억 톤·km로 전년 대비 약 2.73% 증가하였고, 2009년 이후 지속적으로 증가하였다. 국내 수단별 분담비율을 살펴보면 톤·km기준 도로화물이 약 76.01%, 해운은 약 18.20%, 철도는 약 5.72%, 항공은 약 0.07%로 나타났다(Kwon et al., 2016). 국내 약 76% 이상의 화물이 도로를 이용하여 수송되고 있는 만큼 고속도로는 화물수송의 중추적 역할을 수행하고 있다(Joo, 2015). 그러나 화물수송량 측면에서 고속도로의 중요도에 비하여 고속도로에서 수송되는 화물자동차 및 화물의 규모를 가늠할 수 있는 지표의 산정방안에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 국내외 고속도로 물동량 관련 지표 사례조사를 통해 대부분의 나라에서 공통적으로 이용되고 있는 주요 지표들을 선정하였다. 선정된 지표 중 한국도로공사에서 관리하는 스마트 제한차량 분석시스템¹⁾을 활용하여 산출 가능한 화물자동차 통행실적(대·km/년), 화물수송실적(톤·km/년), 화물자동차 통행효율(대·km/km)²⁾, 화물수송효율(톤·km/km)³⁾ 총 4가지 지표를 최종 선정하였다. 본 연구는 도로교통 통계를 활용한 구간교통량 기반 지표 산정방안과 고속도로 영업소 간 기종점교통량을 활용한 기종점교통량 기반 지표 산정방안의 장·단점 및 한계점을 제시하고 평가 및 검증하고자 한다. 또한 고속도로 관리자 입장에서 기존 시스템(스마트 제한차량 분석시스템)을 활용하여 실시간(1일, 1개월)으로 산출가능한 방법론을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 고속도로 물동량 지표 산정방안의 절차를 크게 5단계로 나누었다. 첫 번째로 국내 문헌고찰을 통해 기존 선행연구의 한계점을 살펴보고 본 연구와의 차별성을 제시하였다. 두 번째로, 고속도로 화물자동차 교통량 및 중량 측정시스템에서 수집되는 데이터의 특성을 분석하였다. 이는 본 연구에서 개발하고자 하는 화물자동차 통행실적(대·km) 및 화물수송실적(톤·km) 지표가 이상적인 의미를 내포하는지와 실시간으로 산출가능한지 여부에 대하여 검토하기 위함이다. 세 번째로, 고속도로 물동량 지표 산출시 교통량 자료, 차종분류 비율, 적재톤수 등 어느 자료를 활용하는지에 따라 총 3가지 대안으로 설정하였다. 네 번째로, 본 연구에서 산출한 화물자동차 통행실적(대·km/년), 화물수송실적(톤·km/년), 화물자동차 통행효율(대·km/km), 화물수송효율(톤·km/km) 총 4가지 지표를 검증하고 평가하기 위하여 각 지표별 대안별 장·단점 및 한계점을 살펴보았다. 또한 기존문헌 중 본 연구에서 개발한 지표의 산출범위 및 방법이 가장 유사한 Korea Expressway Corporation(2015)와의 비교를 통하여 평가 및 검증하였다. 마지막으로 본 연구의 결론 및 한계점, 향후 연구방향을 제시하였다.

기존문헌 고찰

Shin(2006)은 도로화물운송과 관련한 효율성 관련 지표로 화물자동차 통행실적(대·km)과 화물수송실적(톤·km)을 산정하였다. Kim et al.(2011)은 화물수송실적 산정시 차종별 총 주행거리는 교통안전공단의 2008년 자동차 주행거리 실태조사 보고서의 차종별 1대당 1일 평균 주행거리를 적용하였으며, 실제 적재량은 차종별 적재량에 KTDB의 톤급별 적재효율을 적용하였다. Shin et al.(2012)은 물류수송측면에서 고속도로의 역할을 진단하고, 공공성 및 효율성을 분석하기 위해 평가지표를 활용하였다. 도로등급별 화물수송실적(톤·km)은 KTDB 배포자료를 기반으로 링크별 배경교통량과 화물자동차별 적재 중량 및 평균 통행거리를 이용하여 산정하였다. Heo et al.(2012)

1) 스마트 제한차량 분석시스템은 고속도로에서 수집되는 TCS, 저속축중기(LS-WIM), 고속축중기(HS-WIM) 자료 등을 이용하는 화물적재단속 시스템이다.

2) 화물자동차 통행효율(대·km/km)은 운송거리를 고려한 화물자동차 통행의 효율성을 의미하며, 단위 km당 화물자동차의 통행량을 고속도로 전체 연장길이(km)로 나눈 값이다.

3) 화물수송효율(톤·km/km)은 운송거리를 고려한 화물수송의 효율성을 의미하며, 단위 km당 화물물동량을 고속도로 전체 연장길이(km)로 나눈 값이다.

은 고속도로의 물류경쟁력 강화를 위한 정책방향 및 목표 수립을 위해 기존의 통계자료를 활용하여 화물수송실적을 산정하였다. Korea Expressway Corporation(2015)은 고속도로 물류수송 현황조사 결과를 바탕으로 화물자동차 통행실적과 화물수송실적을 산정하였다.

본 연구와 동일한 고속도로 물동량 지표인 대·km와 톤·km를 산출한 연구는 Table 1과 같이 Shin et al.(2012), Korea Expressway Corporation(2015) 등의 연구가 대표적이다. 이 중 Shin et al.(2012)은 KTDB 교통량 자료를 활용하여 링크통행 기반 지표를 산출하였으나, 실제 고속도로를 주행한 차량을 대상으로 산출한 지표라고는 보기 어렵다. 또한 Korea Expressway Corporation(2015)은 고속도로를 이용하는 화물자동차 중 공차교통량을 고려하였는데, 공차교통량은 공차중량의 범위를 어떻게 산정하느냐에 따라 공차교통량이 크게 달라질 수 있으므로 추정시 한계가 있다. 본 연구는 한국도로공사에서 관리하는 스마트 제한차량 분석시스템을 활용하여 고속도로의 화물자동차 및 화물의 규모를 가늠할 수 있는 지표인 대·km와 톤·km를 실시간으로 산출할 수 있는 방법론을 제안하는데 의의가 있다.

Table 1. Summary of the existing studies and uniqueness of the study

Division	Shin D. S (2006)	Kim et al. (2011)	Shin et al. (2012)	Heo et al. (2012)	KECorea Expressway Corporation (2015)	This study
Index						
veh·km	○	×	○	×	○	○
ton·km	○	○	○	○	○	○
Coverage	All highways	All highways	expressway	expressway	expressway	expressway
Traffic data	VDS	Average daily traffic of Traffic Safety Authority	KTDB	VDS	VDS	TCS
Whether empty truck is considered or not	○	×	×	○	○	×
Traffic data for vehicle type	KTDB (5types)	KTDB (5types)	KTDB (5types)	Ministry of Land and Transportation (12types)	Ministry of Land and Transportation (12types)	Ministry of Land and Transportation (12types)
Data for truck's loading	KTDB	KTDB	KTDB	KTDB	Interview surveys of truck drivers	HS-WIM
Distance	Average distance by highway types	Average distance by highway types	average distance by link	distance between IC or TG	distance between IC or TG	shortest distance between TG
Whether real-time estimation is possible or not	×	×	×	×	×	○

고속도로 물동량 지표 산정방안

1. 이용자료 수집

본 연구에서는 고속도로 구간별 교통량 및 거리, TCS 영업소 기종점간 교통량 및 고속축중기 자료를 활용하여 고속도로 물동량 지표를 산정하였으며 이용자료별 정의 및 형태는 Table 2와 같다.

Table 2. Characteristics of available data

Data	Objective	Coverage	Data collection method	Data collection unit	# of Vehicle classification types
National statistics of annual traffic volume	Traffic survey statistics for providing road planning and data for various researches	· Spatial: IC to IC, IC to JC section · Temporal: Occasional surveys, regular surveys · Object: All vehicles	· AVC · VDS · CCTV · Etc.	· Raw-data: Individual pass vehicle unit · System: Aggregate by section	12 types of vehicle
TCS	Toll collection	· Spatial: 335 TG · Temporal: Every time · Object: All vehicles	· TCS	· Individual pass vehicle unit	5 types of vehicle
HS-WIM	Weight measurement data	· Spatial: installed HS-WIM system · Temporal: Every time · Object: All vehicles	· HS-WIM	· Individual pass vehicle unit	12 types of vehicle

고속도로 구간별 교통량 및 거리는 국토교통부에서 제공하는 도로교통 통계 자료를 활용하였다. 배포되는 도로교통 통계 자료 구성을 살펴보면 노선번호, 지점번호, 조사위치, 구간, 연장(km), 차로수, 조사시간, 차종별 일 평균 교통량(AADT) 등이 있다. 이 중 고속도로 구간별 차종별 일평균 교통량(대/일) 및 구간별 거리(km) 자료를 활용하였다. 도로교통 통계 자료는 도로법에 따른 정기조사(10월 셋째주 목요일)를 기반으로 구축되며 교통량은 12종으로 구분된다. 12종 중 1-2종은 여객자동차, 3-12종은 화물자동차로 구분된다. 또한 고속도로 전체 연장길이는 2013년 4,114km, 2014년 4,124km, 2015년 4,149km이다.

TCS 영업소 기종점간 교통량은 한국도로공사에서 관리하는 스마트 제한차량 분석시스템 내 TCS 교통량 자료를 활용하였다. TCS는 고속도로 통행요금을 징수하는 목적으로 설치된 시스템으로서 교통량과 구간속도에 대한 정보를 얻을 수 있으며 차종을 6종(경차, 1-5종)으로 구분하고 있다. 6종 중 경차는 여객자동차, 1-3종은 여객 및 화물자동차, 4-5종은 화물자동차로 구분된다. 또한 한국도로공사 내부자료인 고속도로 영업소 기종점간 최단거리(km)를 활용하였다.

화물자동차 차종별 평균 적재톤수 자료는 한국도로공사의 스마트 제한차량 분석시스템 중 고속측중기 자료를 활용하였다. 고속측중기는 축 중량 및 총 중량을 통한 차량의 과적 여부 측정 뿐만 아니라 주행 중인 차량의 종류, 속도 및 축거 등을 실시간으로 측정할 수 있는 시스템이다. 현재 우리나라에는 7개소(김천, 왜관, 선산, 복수원, 송악, 진교, 남포항)에 고속측중기가 설치되어 있다. 한국도로공사는 화물자동차 차종별 평균 적재톤수를 조사하여 배포하고 있지 않아 고속측중기의 차종별 총 중량 자료와 자동차 회사 카달로그를 이용한 차종별 평균 공차중량 자료를 활용하여 화물자동차 차종별 평균 적재톤수를 산출하였다. 이때, 2013년 기준 고속측중기 설치 지점 중 자료 확보가 가능한 지점인 김천, 선산 및 왜관 지점의 10월 셋째주 목요일 자료를 활용하였다. 화물자동차 차종별 적재톤수 산출 결과 1종 1.5톤, 2종 13.2톤, 3종 2.4톤, 4종 8.9톤, 5종 12.4톤, 6종 17.5톤, 7종 26.6톤, 8종 11.4톤, 9종 13.7톤, 10종 21.7톤, 11종 21.7톤, 12종 24.7톤으로 나타났다.

2. 분석 방법론

1) 고속도로 물동량 지표 산정방안

국토교통부의 도로교통 통계 자료는 고속도로 구간별 교통량으로써 특정 노선 또는 구간의 교통량은 알 수 있으나, 이 자료만으로는 고속도로를 이용한 전체 교통량을 파악하기 어려운 점이 있다. 이는 각 개별차량의 기종점 정보를 알 수 없어 실제 고속도로를 통행한 차량의 대수 파악이 어려운 한계가 있다. 한국도로공사의 스마트 제한차량 분석시스템 중 TCS 자료는 고속도로 영업소간 실제 교통량을 알 수 있으나, 동일 차종 내 일반자동차 및 화물자동차가

혼재되어 있어 차종별 적재톤수를 알 수 없는 한계가 있다. 본 연구에서는 이와 같은 이용 자료들의 특성을 고려하여 고속도로 물동량 지표별 산출 대안을 설정하였다. 화물자동차 통행실적(대·km) 및 화물자동차 통행효율(대·km/km) 지표 산출시 교통량 자료, 차종분류 비율 등 어느 자료를 활용하는지에 따라 Table 3과 같이 총 3가지 대안으로 설정하였다. 또한 화물수송실적(톤·km) 및 화물수송효율(톤·km/km) 지표 산출시 교통량 자료, 차종분류 비율, 적재톤수 자료 등 어느 자료를 활용하는지에 따라 Table 4와 같이 총 3가지 대안으로 설정하였다.

Table 3. Alternatives for the estimation of Truck's travel miles and efficiency of Truck's travel

Alt.	Data Used	Ratio of Vehicle Types
Alt. 1		Road traffic Statistics
Alt. 2	TCS	Road traffic Statistics
Alt. 3		HS-WIM

Table 4. Alternatives for the estimation of freight transport miles and efficiency of freight movement

Alt.	Data Used	Ratio of Vehicle Types	Loaded tonnage
Alt. 1		Road traffic Statistics	HS-WIM
Alt. 2	TCS	Road traffic Statistics	HS-WIM
Alt. 3		HS-WIM	HS-WIM

2) 화물자동차 통행실적(대·km) 및 화물자동차 통행효율(대·km/km) 산정방안

화물자동차 통행실적(대·km) 산출을 위해서는 교통량과 개별 차량 또는 교통량별 통행거리를 알아야 한다. 도로 교통통계 및 스마트 제한차량 분석시스템 중 TCS 교통량 자료를 활용하여 화물자동차 통행실적(대·km) 지표를 산출하는 방법은 크게 3가지 단계로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 단계에서는 각 이용 자료들로부터 교통량을 집계하고, 두 번째 단계에서는 집계된 교통량 중에서 고속도로를 이용한 화물자동차를 추출한다. 세 번째 단계에서 고속도로를 이용한 화물자동차와 고속도로 이용 거리를 곱하여 화물자동차 통행실적(대·km)을 산출한다. 또한 화물자동차 통행효율(대·km/km)은 화물자동차 통행실적(대·km)을 고속도로 전체 연장길이(km)로 나누어 산출한다.

화물자동차 통행실적(대·km) 및 화물자동차 통행효율(대·km/km) 산출시 대안 1은 도로교통 통계 교통량을 이용하는 방안이다. 도로교통 통계의 차종구분은 총 12종이며 이 중 1-2종은 여객자동차, 3-12종은 화물자동차로 구분된다. 따라서 별도의 차종보정할 필요가 없는 대안으로 Equation 1과 같다. 대안 2와 3은 TCS 교통량 자료를 이용하는 방안으로 별도의 차종보정할 필요가 있는 대안이다. TCS의 차종구분은 총 6종이며 이 중 경차는 여객자동차, 1-3종은 여객 및 화물자동차, 4-5종은 화물자동차로 구분된다. TCS 차종 내 1-3종이 여객 및 화물자동차가 혼재되어 있으므로 화물자동차 교통량을 추출하기 위한 차종보정 과정이 필요하다. 따라서 차종보정시 도로교통 통계 또는 고속측중기 자료를 이용하느냐에 따라 대안 2와 3으로 구분되며 Equation 2와 같다.

$$AVKT = \sum_l \sum_b v_l^b \times d_l \tag{1}$$

여기서, AVKT: 도로교통 통계 기반 화물자동차 통행실적(대·km) (Annual traffic volume data by Vehicle Kilometer Traveled); b: 차종(12개 차종 중 3-12종에 해당하는 10개 차종); l: 고속도로 구간별 링크; v_l^b: l 링크의 b차종 교통량(대); d_l: 링크l의 거리(km)

$$SVKT = \sum_i \sum_j \sum_c v_{ij}^c \times d_{ij} \tag{2}$$

여기서, SVKT: 스마트 제한차량 분석시스템기반 화물자동차 통행실적(대·km) (Smart restrictive-vehicles analysis system data by Vehicle Kilometer Traveled); c: 차종(10개 차종이며, 차종보정 방법에 따라 대안 2, 3으로 구분); i: 출발영업소; j: 도착영업소; v_{ij}^c: i출발영업소와 j도착영업소간 c차종 교통량(대); d_{ij}: i출발영업소와 j도착영업소간 최단거리(km)

3) 화물수송실적(톤·km) 및 화물수송효율(톤·km/km) 산정방안

화물수송실적(톤·km) 산출을 위해서는 교통량과 개별 차량 또는 교통량별 적재화물중량 및 통행거리를 알아야 한다. 도로교통통계 및 스마트 제한차량 분석시스템 중 TCS 교통량 자료를 활용하여 화물수송실적(톤·km) 지표를 산출하는 방법은 크게 5단계로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 단계에서는 각 이용자료들로부터 교통량을 집계하고, 두 번째 단계에서는 집계된 교통량 중에서 고속도로를 이용한 화물자동차를 추출한다. 세 번째 단계에서는 화물자동차 차종별 평균적재중량을 산출하고, 네 번째 단계에서는 고속도로를 이용한 화물수송량과 고속도로 이용 거리를 곱하여 화물수송실적(톤·km)을 산출한다. 또한 화물수송효율(톤·km/km)은 화물수송실적(톤·km)을 고속도로 전체 연장길이(km)로 나누어 산출한다.

화물수송실적(톤·km) 및 화물수송효율(톤·km/km) 산출시 대안 1은 링크별 통행량 및 거리연산 방법에 추가로 고속충증기 차종별 평균적재톤수를 곱하여 산출하는 방안으로 Equation 3과 같다. 고속충증기의 총 중량은 화물자동차 각 축 중량의 합으로 이루어짐으로써 화물자동차에 적재된 화물의 중량과 화물자동차의 차량 중량(공차 중량)이 포함되어 있다. 고속충증기 차종별 평균적재톤수 산출방법은 고속충증기의 총 중량에 차종별 평균공차중량을 제외하는 방법이다. 이때 차종별 평균공차중량은 각 차종별 주요 자동차 회사의 화물자동차의 제원을 통해 산출할 수 있다. 대안 2와 3은 영업소 기종점간 통행량 및 거리연산 방법에 추가로 고속충증기 차종별 적재톤수를 곱하여 산출하는 방안으로 Equation 4와 같다.

$$ATKT = \sum_l \sum_b v_l^b \times d_l \times \overline{w^b} \quad (3)$$

여기서, $ATKT$: 도로교통 통계 기반 화물수송실적(톤·km) (Annual traffic volume data by Tonnage Kilometer Traveled); b : 차종(12개 차종 중 3-12종에 해당하는 10개 차종); l : 고속도로 구간별 링크; v_l^b : l 링크의 b 차종 교통량(대); d_l : 링크 l 의 거리(km); $\overline{w^b}$: b 차종 평균 적재톤수(톤/대)

$$STKT = \sum_i \sum_j \sum_c v_{ij}^c \times d_{ij} \times \overline{w^c} \quad (4)$$

여기서, $STKT$: 스마트 제한차량 분석시스템기반 화물수송실적(톤·km) (Smart restrictive vehicles analysis system data by Tonnage Kilometer Traveled); c : 차종(10개 차종이며, 차종보정방법에 따라 대안 2, 3으로 구분); i : 출발 영업소; j : 도착영업소; v_{ij}^c : i 출발영업소와 j 도착영업소간 c 차종 교통량(대); d_{ij} : i 출발영업소와 j 도착영업소간 최단거리(km); $\overline{w^c}$: c 차종 평균 적재톤수(톤/대)

3. 분석 결과

본 연구의 대안별 연도별 고속도로 물동량 지표 산출결과는 Table 5와 같이 분석되었다. 고속도로 물동량 지표 대안별 산출 결과를 종합해보면 다음과 같다. 대안 1은 도로교통 통계 자료를 이용하여 고속충증기 평균 적재톤수를 적용하는 대안이다. 고속도로 물동량 지표 산출시 대안 1은 다른 대안에 비하여 상대적으로 정확성이 높아 사실상 참값으로 해석할 수 있다. 이는 고속도로의 전 구간의 교통량이 수집되는 도로교통 통계 자료를 활용하기 때문이다. 그러나 대안 1은 고속도로 물동량 지표 산출시 활용되는 도로교통 통계의 교통량 자료 수집주기가 1년으로서, 고속도로 관리를 위해 실시간(1일, 1개월) 지표 산출이 어려운 한계가 있다. 대안 2는 스마트 제한차량 분석시스템 중 TCS 교통량 자료를 이용하여 도로교통 통계 차종분류비율, 고속충증기 평균 적재톤수를 적용하는 대안이다. 이 대

안은 TCS 교통량 자료에 도로교통 통계의 차종분류비율을 적용하기 때문에 활용 가능한 최신 도로교통 통계의 차종분류비율이 지속적으로 적용된다는 가정을 바탕으로 한다. 하지만 고속도로 영업소간 최단거리를 이용하므로 특정 기종점(진입영업소-진출영업소) 간 실제 주행거리는 알 수 없는 한계가 존재한다.

Table 5. Summary of the existing studies and uniqueness of the study

Indices	Alt.	Data Used			Year 2013	Year 2014	Year 2015
		Traffic Volume	Vehicle Classification	Tonnage Loaded			
Truck's travel distance (million veh·km/year)	Alt. 1		Road Traffic Statistics	-	17,809	18,233	20,150
	Alt. 2	TCS	Road Traffic Statistics	-	14,542	15,877	16,682
	Alt. 3		HS-WIM	-	20,807	23,419	24,607
Freight transported (million ton·km/year)	Alt. 1		Road Traffic Statistics	HS-WIM	180,762	187,439	196,109
	Alt. 2	TCS	Road Traffic Statistics	HS-WIM	147,505	161,429	162,361
	Alt. 3		HS-WIM	HS-WIM	245,270	309,878	311,435
Efficiency of truck's travel (10,000 veh·km/km)	Alt. 1		Road Traffic Statistics	-	433	442	486
	Alt. 2	TCS	Road Traffic Statistics	-	353	385	402
	Alt. 3		HS-WIM	-	506	568	593
Efficiency of freight movement (10,000 ton·km/km)	Alt. 1		Road Traffic Statistics	HS-WIM	4,397	4,545	4,727
	Alt. 2	TCS	Road Traffic Statistics	HS-WIM	3,585	3,914	3,913
	Alt. 3		HS-WIM	HS-WIM	5,962	7,514	7,506

대안 3은 스마트 제한차량 분석시스템 중 TCS 교통량 자료를 이용하여 고속축중기 차종분류비율, 고속축중기 평균 적재톤수를 적용하는 대안이다. 대안 2와 마찬가지로 고속도로 영업소간 최단거리를 이용하므로 특정 기종점(진입영업소-진출영업소) 간 실제 주행거리는 알 수 없는 한계가 존재한다. 대안 3은 현재 6종으로 분류된 스마트 제한차량 분석시스템의 교통량 자료에 고속축중기 차종분류비율을 적용한 대안으로 지표산출 결과는 다른 대안과 비교해 볼 때 과대추정 될 수 있다. 이는 화물자동차 과적 단속을 위한 고속축중기 설치 지점이 화물자동차 통행이 많은 지역에 설치되어 있어 화물자동차 통행비율이 높게 나타나기 때문이다. 그러나 향후 고속축중기의 설치지점이 전국적으로 확대되어 고속축중기에서 수집된 차종분류비율이 고속도로 전체의 대표성을 확보할 수 있을 때에는 보완 가능하다고 판단된다. 또한 다른 대안과는 달리 스마트 제한차량 분석시스템을 활용하여 실시간(1일, 1개월)으로 지표 산출이 가능한 대안이며 외부데이터 수집이 불필요하다는 강점이 있다.

또한 본 연구에서는 화물통행실적(대·km) 산출 대안 1을 대안 2로 나누어 고속도로 화물자동차 주행효율을 산출하였다. 고속도로 화물자동차 주행효율은 화물자동차 운전자가 얼마나 효율적인 운행을 했는지 알 수 있다. 화물통행실적(대·km) 산출 대안 1은 고속도로 전 구간의 교통량과 고속도로 구간별 거리를 활용한 대안으로 고속도로 화물자동차 운전자가 실제 주행한 통행실적을 알 수 있다. 화물통행실적(대·km) 산출 대안 2는 고속도로 영업소 기종점 교통량과 영업소 기종점간 최단거리를 활용한 대안으로 고속도로 화물자동차 운전자가 영업소 기종점간 최단거리로 주행한 통행실적을 알 수 있다. 고속도로 화물자동차 주행효율 산출결과 2013년도 1.22, 2014년도 1.20, 2015년도 1.21로 나타났다.

고속도로 물동량 지표 평가 및 검증

본 연구에서는 본 연구와 지표 산출범위 및 개발방법이 가장 유사한 Korea Expressway Corporation(2015)와의 비교를 통하여 평가 및 검증하고자 한다. 본 연구에서 산출한 고속도로 물동량 지표는 화물자동차 통행실적(대·km), 화물수송실적(톤·km), 화물자동차 통행효율(대·km/km), 화물수송효율(톤·km/km)이 있다. 이 중 화물자동차 통행실적(대·km) 및 화물수송실적(톤·km) 지표는 Korea Expressway Corporation(2015)에서 산출한 총 주행거리(대·km) 및 물류지표(톤·km)와 비교 가능하다. Korea Expressway Corporation(2015)와 본 연구의 대·

Table 6. Comparison of veh · km estimation between this study and Korea Expressway Corporation (2015)

Aspects	Korea Expressway Corporation (2015)	This Study
Definition	Indices on Utilization and Efficiency of all type of vehicles using Expressway	Indices on Utilization and Efficiency of Trucks using Expressway
Target Vehicles	All vehicles using expressway	Only Trucks using expressway
Data for Traffic Volume	Traffic volume using VDS	Traffic Volume by vehicle types using TCS
Ratio for Vehicle type classification	Based on Vehicle type ratios of 12 types of AVC	Based on distance-based weighted Vehicle type ratios of 12 types of AVC
Distance	Link distance between ICs(segments)	shortest distance between TGs
Estimation method	$\sum_{i=1}^n (vol_i \times km_i)$ <p> <i>i</i>: expressway segment(<i>i</i>=1,⋯,<i>n</i>) <i>n</i>: # of expressway segments <i>vol_i</i>: traffic volumes of segment <i>i</i>(veh/year) <i>km_i</i>: distance of segment <i>i</i>(km) </p>	$\sum_i \sum_j \sum_c v_{ij}^c \times d_{ij}$ <p> <i>c</i>: vehicle class of TCS(<i>c</i>=1,2,⋯,5) <i>i</i>: origin TG <i>j</i>: destination TG <i>v_{ij}^c</i>: traffic volumes of type <i>c</i> between origin TG, <i>i</i> and destination TG, <i>j</i>(veh) <i>d_{ij}</i>: the shortest distance between origin TG, <i>i</i> and destination TG, <i>j</i>(km) </p>
Estimation Result	70,128 billion veh · km/year (2014)	Alt 1: 18,233 billion veh · km/year (2014) Alt 3: 23,419 billion veh · km/year (2014)

Table 7. Comparison of ton · km estimation between this study and Korea Expressway Corporation (2015)

Aspects	Korea Expressway Corporation (2015)	This Study
Definition	Indices on the overall distances of freight transported on Expressway	
Target Vehicles	Trucks using expressway	
Data for Traffic Volume	Traffic volume using VDS	Traffic Volume by vehicle types using TCS
How to consider empty trucks	Trucks whose overall weight using HS-WIM is lighter than the average weight by vehicle types	Not considered
Ratio for Vehicle type classification	Based on Vehicle type ratios of 12 types of AVC	Based on distance-based weighted Vehicle type ratios of 12 types of AVC
Average Loading tonnage of Trucks	<ul style="list-style-type: none"> - Data surveyed: Interview with truck drivers about the weight of loaded freight - Surveyed location: truck rest area (6 locations; Munkyeong(2 ways), Ipjang(to Seoul way), Oksan(to Busan way), Okcheon(to Busan way), Chilgok(to Busan way)) - # of samples: about 200 samples 	<ul style="list-style-type: none"> - Data surveyed: HS-WIM - Surveyed location: Sunsan, Wagwan - # of samples: about 35,000 samples - Estimation method: Exclusion of average tonnage of empty vehicles by vehicle types from average total weight by vehicle types using HS-WIM
Distance	each segment of expressway divided by IC	shortest distance between TGs
Estimation method	$\sum_{i=3}^{12} \sum_{j=1}^n (vol_{ij} - empvol_{ij}) \times load_i \times L_j$ <p> <i>i</i>: vehicle types of VDS (<i>i</i>=3,4,5,⋯,12) <i>j</i>: expressway segment(=1,2,⋯, <i>n</i>) <i>n</i>: # of expressway segments <i>vol_{ij}</i>: traffic volumes of type <i>i</i> of segment <i>j</i>(veh) <i>empvol_{ij}</i>: empty vehicle traffic volumes of type <i>i</i> of segment <i>j</i>(veh) <i>load_i</i>: avg. load of each vehicle of type <i>i</i>(ton/veh) <i>L_j</i>: distance of segment <i>j</i>(km) </p>	$\sum_i \sum_j \sum_c v_{ij}^c \times d_{ij} \times \bar{w}^c$ <p> <i>c</i>: vehicle types of TCS (<i>c</i>=1,2,⋯,5) <i>i</i>: origin TG <i>j</i>: destination TG <i>v_{ij}^c</i>: traffic volumes of type <i>c</i> between origin TG, <i>i</i> and destination TG, <i>j</i>(veh) <i>d_{ij}</i>: the shortest distance between origin TG, <i>i</i> and destination TG, <i>j</i>(km) \bar{w}^c: avg. load of each vehicle of type <i>c</i>(ton/veh) </p>
Estimation Result	97,932 billion ton-km/year (2014)	Alt 1: 187,439 billion ton-km/year (2014) Alt 3: 309,878 billion ton-km/year (2014)

km 및 톤·km 지표 산출결과 비교시 스마트 제한차량 분석시스템을 활용하여 실시간(1일, 1개월)으로 지표 산출 가능한 방안인 대안 3을 기준으로 산출방법 및 결과를 비교하고자 한다. 또한 고속도로 전 구간 교통량이 수집되는 도로교통 통계 자료를 활용한 대안 1은 다른 대안에 비해 상대적으로 정확성이 높은 지표이므로 대안 3의 산출결과와 비교하기 위하여 제시하였다. 본 연구와 Korea Expressway Corporation(2015)의 대·km 및 톤·km 지표 산출 방법론 및 결과 비교는 Table 6-7과 같다.

Korea Expressway Corporation(2015)의 대·km 지표 산출 방법을 살펴보면 고속도로를 이용하는 모든 차량을 대상으로 산출한 반면 본 연구에서는 고속도로를 이용하는 화물자동차를 대상으로 산출하였다. 또한 기존 연구는 도로교통 통계자료를 활용함에 따라 년 단위로 지표 산출이 가능한 반면 본 연구는 스마트 제한차량 분석시스템을 활용함에 따라 실시간(1일, 1개월)으로 지표 산출이 가능하다. 따라서 기존연구는 다원화된 시스템을 이용하여 지표 산출이 가능하므로 실시간으로 자료를 구축하기에는 한계가 있다. 한편 본 연구는 한국도로공사 입장에서 단일화된 시스템을 이용하여 실시간으로 자료를 구축할 수 있어 실시간으로 지표를 산출할 수 있다는 가장 큰 강점을 지닌다.

Korea Expressway Corporation(2015)의 톤·km 지표 산출 방법을 살펴보면 교통량 자료, 공차 교통량 반영 여부, 차종분류비율, 화물자동차 평균 적재톤수, 거리 등이 본 연구와 상이함을 알 수 있다. 기존 연구에서는 톤·km 산출시 화물자동차 교통량 중 공차 교통량을 제외하였다. 이때, 차종별 공차 교통량은 고속측중기 자료를 이용하여 차종별 평균 공차중량보다 작은 경우 해당차량을 공차로 분류하고, 차종별 공차비율을 총 교통량에 곱하여 차종별 공차 교통량을 산정하였다. 반면 본 연구에서는 실제 고속도로를 통행하는 화물자동차 중 공차 교통량을 알기에는 한계가 있다고 판단하여 공차 교통량을 제외하지 않았다. 또한 Korea Expressway Corporation(2015)에서는 화물자동차 운전자 대상 화물 적재량 설문조사(약 200부)에 의하여 화물자동차 차종별 평균 적재톤수 자료를 수집한 반면 본 연구에서는 고속측중기 실측 데이터(약 35,000개)를 이용하여 차종별 평균 총중량에서 차종별 평균 공차중량 제외한 평균 적재톤수를 산출하였다. 스마트 제한차량 분석시스템 중 고속측중기의 실측 데이터를 이용함에 따라 차종별 평균 적재톤수 산출결과가 Korea Expressway Corporation(2015)보다 더 정확한 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 고속도로 물동량 지표인 화물자동차 통행실적(대·km/년), 화물수송실적(톤·km/년), 화물자동차 통행효율(대·km/km), 화물수송효율(톤·km/km)의 산출방안을 제시하였다. 구간교통량 기반 2015년 지표 산출 결과, 화물자동차 통행실적은 20,150백만대·km/년, 화물수송실적은 196,109백만톤·km/년, 화물자동차 통행효율은 486만대·km/km/년, 화물수송효율은 4,727만톤·km/km/년 으로 분석되었다. 기준점교통량 기반 2015년 지표 산출 결과는 화물자동차 통행실적 16,682백만대·km/년, 화물수송실적 162,361백만톤·km/년, 화물자동차 통행효율 402만대·km/km/년, 화물수송효율 3,913만톤·km/km/년 으로 분석되었다.

본 연구에서는 본 연구와 지표 산출범위 및 방법이 가장 유사한 Korea Expressway Corporation(2015)와의 비교를 통하여 평가 및 검증하였다. 본 연구와 Korea Expressway Corporation(2015)의 대·km 및 톤·km 지표 산출방법을 비교해 볼 때 교통량 자료, 공차 교통량 반영여부, 차종분류비율, 화물자동차 평균 적재톤수, 거리 등 상이함에 따라 지표 산출결과를 직접적으로 비교하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 한편 본 연구에서는 고속측중기의 실측 데이터를 이용하여 차종별 평균 공차중량 제외한 평균 적재톤수를 산출함에 따라 지표 산출결과가 Korea Expressway Corporation(2015)보다 더 정확할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 분석시 고속측중기 설치지점 총 7개 중 확보 가능한 지점인 3개(김천, 왜관, 선산)의 데이터만 활용함에 따라 정확성 측면에서 한계점을 지닌다.

한편 본 연구는 고속도로 관리자 입장에서 스마트 제한차량 분석시스템을 활용하여 실시간(1일, 1개월)으로 지표 산출 가능한 방법론을 제시한 것에 의의를 가진다. 향후 전국 고속도로 무정차·다차로 통행료 자동수납 시스템(스마트톨링)이 도입되어 과적단속을 위한 고속측중기가 전국에 확대 설치되면 보다 더 정확한 화물자동차 평균 적재톤수 산출이 가능해져 화물수송실적(톤·km/년) 및 화물수송효율 지표가 정확해질 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Korea Expressway and Transportation Research Institute. This research was also supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea Government (MSIP) (NRF-2017R1A2A2A05001395).

REFERENCES

- Han H. (2013), Estimating Origin-Destination Trip Matrix Between Expressway Toll-Pairs, Master's thesis, Myongji University.
- Heo E. J., Choi Y. H. Baek S. G. (2012), The Estimation of Freight Transportation Share on Expressway, The 66th Conference of KST, Korean Society of Transportation, 163-168.
- Joo J. H. (2016), Estimating Truck and Freight Transportation Statistics on Expressway Using WIM Data, Master's thesis, University of Seoul.
- Kim J. H. (2011), A Study on the Methodology of Road Freight Environmental Index Calculation, Doctor's thesis, Myongji University.
- Kim J. H., Kim H. S., Choi S. J., Park S. K., Kim J. Jang Y. K. (2011), A Study on the Calculation of CO2 Emission and Road Freight Environmental Index for Logistics Companies, J. Korean Soc. Transp., 29(2), Journal of Korean Society of Transportation, 25-35.
- Kwon H. G., Kwon T. W. (2016), Korean National Logistics Costs in 2014, The Korea Transport Institute Research Report.
- Passenger and Logistics Index Periodical Survey Manual(2015), Korea Expressway Corporation, Dongtan, South Korea.
- Shin D. S. (2006), A Study on Strategies for Reducing of Road Freight Traffic in Korea, The Korea Transport Institute Research Report, Sejong, South Korea.
- Shin S. J., Park D. J., Ahn W. C., Choi Y. H., Yook K. S. (2012), Evaluation of Publicness and Efficiency in Expressway Focusing on Transport Logistics, The Conference of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems, 170-176.
- Traffic Operation Report in 2015(2015), Korea Expressway Corporation, Dongtan, South Korea.
- Yang J. H. (2009), Comparison of Energy Efficiency of Road Cargo Transportation; UK and France Case Analysis, The Korea Transport Institute Research Report, Dongtan, South Korea.