

화물교통수요 예측을 위한 유료도로 가중치 적용 개선방안 연구*

Improving Freight Trip Assignment by Modifying Toll Road Weight Applications

고용석 Ko Yongseok**, 김상록 Kim Sangrok***, 노정현 Rho Junghyun****

Abstract

The reliability of traffic demand estimation has been consistently improved with focus on passenger travel. For freight travel, most researches have paid attention to modelling only. Though underestimation happens frequently in freight travel demand estimation, there is no method to include trip characteristics by vehicle type. In this situation, this study suggests to apply a toll road weight in the process of freight travel demand estimation. The toll road weight is used as a concept to reflect toll rate to an analysis model, but there is no standard for revision based on a vehicle's trip characteristics. This study analyzed changes in freight travel demand according to the toll road weight. Four scenarios were set up for 7 highway lines according to the trip assignment method and the toll rate adoption method. The result shows that the extent of underestimation was somewhat relieved. And Scenario II-1(using the toll road weight based on Passenger car unit) was considered to be most effective way to improve error rates for truck. Lastly, the study provides grounds for revision and guidelines to apply the toll road weight to freight travel.

Keywords: Freight Trip Assignment Analysis, Toll Road Weights, Multiclass Assignment, PCU

I. 서론

신뢰성 높은 교통수요 예측은 투자사업의 시행 여부나 정부와 지자체의 재정 운용 적합성 등을 결정하는 주요한 요소이다. 따라서 교통수요 예측의 신뢰성 향상에 대한 요구는 끊임없이 제기되고 있다. 특히 민간 투자사업에서 최소 운영수입 보장(Minimum Revenue

Guarantee: MRG)이 적용되는 경우, 잘못된 교통수요 예측 결과는 막대한 보상금 지불로 이어져 국가 및 지자체의 재정에 악영향을 주는 동시에 민자사업의 신뢰성을 저하시키는 등의 문제가 발생한다. 물론 2009년 이후 MRG 제도가 폐지됨에 따라 과도한 보상금 발생 위험은 사라졌지만 산업 기반 신용보증제도(Korea Infrastructure Credit Guarantee)¹⁾가 활성화되면

* 본 논문은 ‘김상록, 고용석. 2016. 화물교통수요예측 분석방법 개선방안 연구. 유료도로 가중치 적용을 중심으로. 안양: 국토연구원의 내용을 바탕으로 노선별 가중치에 대한 부분을 발전시켜 논문화하였음.

** 한양대학교 도시공학과 박사과정(제1저자) | Ph.D. Candidate, Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang Univ. | Primary Author | ysko@krihs.re.kr

*** 국토연구원 연구원 | Assistant Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements | srkim@krihs.re.kr

**** 한양대학교 도시대학원 교수(교신저자) | Prof., Graduate School of Urban and Real Estate, Hanyang Univ. | Corresponding Author | jhrho@hanyang.ac.kr

서 여전히 교통수요 과대 추정에 따른 정부의 재정 부담이 존재한다.

교통수요 예측의 신뢰성을 높이기 위해서는 교통수요 분석가의 역할이 중요하다. 그러나 사업의 타당성평가 과정에서 교통수요 예측 연구자 및 분석가의 역할은 상당 부분 제한되어 있다. 국내의 경우 교통수요 분석 시 반드시 한국교통연구원의 국가교통데이터베이스(KTDB)를 사용하도록 법으로 정하고 있다. KTDB에서는 차종별 통행기중점표(O/D) 및 교통 네트워크를 제공하고 있으며, 교통수요 분석에 관한 실무적인 작업의 대부분은 통행배정 단계에 한정되는 실정이다.

또한 그동안의 교통수요 분석은 주로 여객통행에 초점이 맞추어져 있었고, 화물교통수요는 형식적인 절차에 따라 여객차량수로 전환하여 이를 통행배정 과정에서 합산하는 방식으로 진행되어 왔다. 따라서 연구자가 화물교통수요 분석과 관련한 다양한 시도를 하기에는 한계가 있었다.

본 논문은 화물자동차의 교통수요 예측 신뢰성 제고를 위하여 KTDB 활용 단계에서도 적용 가능한 수요 예측 방법론의 기술적인 개선방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 특히 그동안 비중 있게 다루어지지 않았던 화물차량 통행요금의 차별 적용 방안을 도입하여 교통수요 추정의 한계를 보완할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

II. 선행연구 고찰

화물교통수요 분석의 개선에 관련된 연구는 대부분

화물통행 발생량 추정 및 수단 선택에 집중되어 있으며, 통행배정(Trip Assignment) 단계에서 화물자동차의 특성을 반영한 연구는 미비한 실정이다.

화물통행 발생모형의 개선을 위한 연구로는 최창호(2011)와 박민철, 한진석, 성흥모(2011) 등이 있다. 최창호(2011)는 고속도로 교통수요 예측 오차의 원인으로 화물자동차 교통량을 지목하고, 통행발생 모형을 중심으로 사회 여건 변화 요인과 화물통행 발생모형 오차를 반영할 수 있는 개선안을 제시하였다. 박민철, 한진석, 성흥모(2011)는 화물교통수요의 신뢰도 개선을 위하여 기존의 물동량 기반 화물통행 발생모형 대신 화물자동차 기반 통행발생 및 통행분포 모형을 제안하였다.

통행배정에서 요금 탄력성과 유료도로 통행요금 사이의 관계에 대해서는 이성원, 박지형(1999)과 임용택, 이창훈, 백승걸(2010), 김응철, 김동훈(2009) 등이 연구하였다. 이성원, 박지형(1999)은 이용자들을 대상으로 SP조사를 실시하여 유류비, 통행요금 등 교통수요의 가격에 대한 탄력성을 분석하였다. 임용택, 이창훈, 백승걸(2010)은 고속도로 통행요금제도(통합채산제, 독립채산제) 및 요금 변화에 따른 통행수요 변화를 분석하고 이를 토대로 적정 통행요금 및 요금 탄력성을 검토하였다. 김응철, 김동훈(2009)에서는 교통계획 모형 내에서 유료도로의 요금 적용 방안을 분석하였으며 '총량O/D평형배정법'과 'PCU²⁾통행배정' 방법론의 비교를 통해 유료도로에서 차종별 가중치 적용 방안을 제시하였다.

선행연구들은 화물통행배정에 대한 문제점을 공유하고, 통행발생 모형 및 유료도로 통행요금 관점에서

1) 민간투자사업 시행자가 사업자금을 조달하기 위하여 금융기관으로부터 대출을 받을 때, 물적 담보 대신 신용보증서를 발급함으로써 사업 시행자에게 원활한 자금을 조달할 수 있도록 지원하는 제도.

2) 승용차 환산 교통량(Passenger Car Unit): 승용차가 아닌 차량을 승용차 기준으로 환산한 교통량으로, 일반적으로 2.5톤 미만 소형화물차는 1.3PCU, 중형화물차(2.5톤 이상)는 3.7PCU, 대형화물차(8톤 초과)는 3.8PCU로 환산함.

접근하였으나, 통행배정 과정에서 실제로 적용할 수 있는 방법론에 대한 연구는 별도로 이루어지지 않았다.

III. 국내외 관련 지침 현황 및 문제점

1. 국내 규정

예비타당성조사 지침에서는 버스와 화물차량 통행배정 방법으로 다음과 같은 기준을 제시하고 있다(김장수, 우지원, 이승현, 김재영 외 2008, 284).

버스와 화물차의 통행배정은 다차종 통행배정 방식으로 수행하는 것을 원칙으로 한다. 단 버스와 화물차의 비중이 높지 않을 경우 승용차의 통행배정에 앞서 버스와 화물차 통행수요를 이용자 평행배정에 의해 우선 배정하고, 배정된 구간 통행량을 기 교통량(Pre-Loading Traffic)으로 처리한 이후 승용차 통행을 배정하는 것으로 제시하고 있다. 또한 승용차와 통합하여 배정하는 경우, 통행배정 후 각 차종별 교통량 구성비는 차종별 O/D의 구성비 또는 관측된 차종별 교통량 구성비 등을 고려하여 산정하도록 하고 있다.

유료도로 가중치에 대해서는 한국도로공사의 이부요금제³⁾를 차종별 시간 가치를 고려하여 일반화 비용으로 환산하는 방법을 제시하고 있다.

교통시설 투자평가 지침에서는 버스와 화물차량 통행배정 방법으로 예비타당성조사 지침과 거의 유사한 방법을 제시하고 있다(국토교통부 2013, 71). 또한 고속도로 통행요율은 분석 기준 연도에 해당하는 값을 사용하고 민간투자로 건설된 고속도로가 영향권에 포함될 경우 해당 민자고속도로의 실제 통행요율을 적용하여 반영하는 것으로 제시하고 있다.

2. 국외 사례

미국 교통부(DOT)의 NCFRP(National Cooperative Freight Research Program)에서는 공로에서의 화물차량 통행배정은 철도, 항공, 항만과 달리 단일 교통수단의 통행배정으로 이루어지지 않으므로 타 교통수단이 고려된 다차종 통행배정 방식이 고려되어야 한다고 하였다(Transportation Research Board 2010, 56).

미국 내 화물수요 추정은 기본적으로 규칙 기반 통행배정모형, 화물차량 단독 통행배정모형, 다차종 통행배정모형이 사용되고 있다(Transportation Research Board 2008, 14-15). 전형적인 규칙 기반 통행배정모형으로는 철도 네트워크모형이 있으며, 화물차량 단독 통행배정모형의 경우 전량배정으로 일반적으로 주간선 고속도로에 배정 통행량이 몰리는 경향이 있기 때문에 하위 도로의 도로속성 조정 등의 과정과 타 교통수단에 의한 정체 미반영 등의 문제가 있다. FAF(Freight Analysis Framework)에서는 화물차량 통행배정은 타 교통수단을 고려한 확률적 이용자 평형(Stochastic User Equilibrium)을 사용하고 있으며, 이를 통해 타 차종의 영향에 의한 정체 등도 고려하고 있다. 화물차량의 다차종 통행배정모형은 다차종 이용자 균형배정(Multiclass User Equilibrium Highway Assignment)에 기반하여 도로용량 및 정체에 의한 화물차량 통행시간의 분석이 가능하다.

3. 시사점

기존 사례들에서 제시하는 방법론의 문제점은 다음과 같다.

3) 이부요금제는 고속도로 통행료의 기본 구조로, 기본요금(한국도로공사의 폐쇄식 기본요금은 900원)과 주행요금(주행거리×차종별 km당 주행요금)으로 구성됨.

첫째, 유료도로 가중치의 적용 단위에 따라 차종별 가중치가 큰 영향을 받으나, 이에 대한 기준이 미비하다. 예비타당성조사 지침에서 제시하는 유료도로 가중치에는 별도로 적용 단위가 제시되어 있지 않아 이용자의 혼란을 야기한다. 가중치를 대(vehicle) 단위로 적용할 경우 기존 한국도로공사의 요금요율을 적용받으나, PCU(Passenger Car Unit) 단위로 적용할 경우 요금요율 수준(1~1.42)에 비해 PCE 차이(1.3~3.8)가 더 커서, 요금 역전현상이 발생할 수 있다. 이러한 이유로 일부 분석의 경우 승용차 단위로 환산한 PCU 차량을 모두 승용차라고 가정하여, 일괄적으로 승용차의 통행요금을 적용하는 경우도 있다.

둘째, VDF(Volume Delay Function)의 한계로 화물자동차의 통행특성을 VDF에 반영하는 데 한계가 있다. 고속도로 노선별로 화물자동차의 구성비는 큰 차이가 나며, 심지어 같은 노선에서도 구간별로 차이를 보인다. 하지만 현재 VDF는 차종별 특성을 반영할 수 없어, 이러한 화물자동차의 통행특성을 반영하는 데 어려움이 따른다. 현재의 관련 지침 및 KTDB 설명자료에서는 BPR 함수의 파라미터, 도로의 자유속도 및 용량에 대해서는 분석가가 현장의 특성을 반영하여 수정할 수 있도록 보정 범위값이 제시되어 있다. 유료도로 가중치는 통행배정모형상에서 유일하게 차종별로 다른 값을 적용하는 요인이며, 이를 활용하기 위한 기준이 마련될 필요가 있다.

셋째, 화물자동차 간에도 톤급별로 다른 통행특성을 갖고 있으나, 이를 고려할 방법론이 존재하지 않는다. 화물자동차 O/D상 차종은 톤급별로 3개의 차종(2.5톤 미만, 2.5톤 이상~8톤 이하, 8톤 초과)으로 구분되나, 톤급별로 운송 가능한 화물의 종류가 다르므로 이를 운반하는 화물자동차의 통행시간, 통행비용, 통행경로 등 통행특성에 차이가 발생할 수 있다. 일부 화물자동차의 경우 통행비용 절감을 위하여 할인을

적용받는 야간 시간대로 통행시간을 변경하는 등 통행요금에 민감한 통행패턴을 보이기도 한다. 현재 KTDB 및 예비타당성조사지침의 설명자료에서는 모든 화물자동차에 대해 일괄적으로 2종 통행요금을 적용하고 있다. 그러나 실질적으로 소형화물자동차는 1종 통행요금을 적용받아야 하며, 대형화물자동차 중 일부는 4, 5종의 통행요금을 적용받는 것이 적절할 것이다(고속도로 차종별 분류는 <Table 1> 참조).

Table 1 _ Categories of Vehicles in Korean Expressway

Vehicle Type	Criteria	Vehicles
Type 1 (Light Vehicle)	2-Axle Vehicle, Tire Width of 279.4mm or Less	Car, Small Coach, Small Truck
Type 2 (Medium Vehicle)	2-Axle Vehicle, Tire Width over 279.4mm, Tread Width of 1,800mm or Less	Medium Coach, Medium Truck
Type 3 (Heavy Vehicle)	2-Axle Vehicle, Tire Width over 279.4mm, Tread Width over 1,800mm	Large Coach, 2-Axle Truck
Type 4 (Heavy Truck)	3-Axle Heavy Truck	
Type 5 (Special Truck)	Special Truck with 4-Axle or More	
Type 6 (Very Light Vehicle)	Displacement under 1,000cc, Length under 3.6m, Width under 1.6m, Hight under 2.0m	

Source: Korea Expressway Corporation Homepage. <http://www.ex.co.kr>

IV. 화물자동차 유료도로 가중치 적용방안 분석

1. 분석개요

본 분석에서는 유료도로 통행요금을 가중치로 산정하는 방안을 검토하기 위하여 기존의 가중치 산정방안을 비교하고, 화물자동차의 통행특성을 반영할 수 있

Table 2 _ Scope of Analysis

Scope	Details
Time	The end of 2015
Space	Expressways(7 Lines for Comparison)
Lines	Gyeongbu, Namhae, Seohaean, Yeongdong, Jungang, Daegu-Busan, Pyeongtaek-Siheung

는 가중치 적용방안에 대하여 살펴보았다. 분석자료로는 앞서 화물자동차 통행특성 분석에 사용한 전국의 지역 간 여객 O/D 및 화물 O/D를 사용하였다.

분석의 시간적 범위는 2015년이고, 공간적 범위는 전국의 고속도로를 대상으로 하되, 분석대상은 다양한 노선 특성을 반영하기 위하여 화물자동차 비율(20~50% 수준), 지역적 분포(인접 노선은 가급적 제외), 운영방식(재정, 민자) 등을 고려하여 7개 노선을 선정하였다. 각 노선별 구체적인 사항은 <Table 2>와 같다.

2. 분석 시나리오

1) 시나리오 설정

분석 시나리오는 기본적으로 통행배정 방법 및 통행요금 적용 방식에 따라 설정하였으며, 노선별로 세분화하여 분석하였다.

단일차종 통행배정(시나리오 I)은 모든 차종 O/D

를 PCU 단위로 합하여 하나의 차종에 대한 통행배정을 수행하는 방식으로, 모든 차종에 동일한 통행요금을 적용하였다. 세부 시나리오로 모든 차종을 승용차로 간주하고 승용차 기준 동일 요금을 적용하는 방안(I-1)과 고속도로의 실제 차종별 비율을 활용하여 가중 평균한 통행요금을 적용하는 방안(I-2)을 설정하였다.

다차종 통행배정(시나리오 II)은 차종별 O/D를 사용하여 통행배정을 수행하는 방식으로, 각 차종마다 서로 다른 통행요금을 적용하였다. 세부 시나리오로 차종별 PCU 단위 차량에 대해 대(vehicle)당 기준 요금을 적용하는 방안(II-1)과 PCU당 기준 요금을 적용하는 방안(II-2)을 설정하였다(<Table 3> 참조).

2) 시나리오별 통행요금 가중치 산정

시나리오 I의 경우 한국도로공사 이부요금제를 적용하여 통행요금 가중치를 산정하며, 전 차종에 동일한 가중치를 적용하였다.

시나리오 II의 경우 한국도로공사 이부요금제를 적용하여 통행요금 가중치를 산정하되, 차종별로 상이한 가중치를 적용하였다. 각 시나리오별로 실제 적용한 세부 가중치는 <Table 4>와 같다.

3. 분석 결과

1) 화물자동차 구성비

시나리오별 통행배정 결과, 고속도로의 평균 화물자동차 구성비가 27%, 분석 노선의 화물자동차 구성비가 26~42% 수준인데 반해, 추정 교통량의 화물자동차 구성비는 평균 16% 수준으로 전반적으로 화물자동차가 과소 추정되는 것으로 나타났다. 이러한 화물자동차의

Table 3 _ Scenarios Setting for Analysis

Category	Trip Assignment	Adoption Method of Toll Rate
Scenario I-1	Single-Class Trip Assignment	Single Toll Rate
Scenario I-2		Weighted Single Toll Rate
Scenario II-1	Multi-Class Trip Assignment	Toll Rate per Vehicle
Scenario II-2		Toll Rate per PCU

Table 4 _ Weighted Toll Rate by Scenarios

Scenario	Category	Vehicle Type	Formula for Weighted Toll Rate
I-1	Car	Type 1	$(\text{₩}41.4/\text{km}) / (\text{₩}16,668/\text{h}) \times 60(\text{min}/\text{h}) = 0.149(\text{min}/\text{km})$
	Bus		
	Truck		
I-2	Car	Weighted Average	$[\{(\text{₩}41.4/\text{km}) / (\text{₩}16,668/\text{h}) \times 69.3\% \} + \{(\text{₩}43.9/\text{km}) / (\text{₩}65,099/\text{h}) \times 3.3\% \} + \{(\text{₩}42.2/\text{km}) / (\text{₩}20,010/\text{h}) \times 27.4\% \}] \times 60(\text{min}/\text{h}) = 0.139(\text{min}/\text{km})$
	Bus		
	Truck		
II-1	Car	Type 1	$(\text{₩}41.4/\text{km}) / (\text{₩}16,668/\text{h}) \times 60(\text{min}/\text{h}) = 0.149(\text{min}/\text{km})$
	Bus	Type 3	$(\text{₩}43.9/\text{km}) / (\text{₩}65,099/\text{h}) \times 60(\text{min}/\text{h}) = 0.040(\text{min}/\text{km})$
	Truck	Type 2	$(\text{₩}42.2/\text{km}) / (\text{₩}20,010/\text{h}) \times 60(\text{min}/\text{h}) = 0.127(\text{min}/\text{km})$
II-2	Car	Type 1	$(\text{₩}41.4/\text{km}) / (\text{₩}16,668/\text{h}) \times 60(\text{min}/\text{h}) = 0.149(\text{min}/\text{km})$
	Bus	Type 3	$(\text{₩}43.9/\text{km}) / (\text{₩}65,099/\text{h}) / 3.70 \times 60(\text{min}/\text{h}) = 0.011(\text{min}/\text{km})$
	Truck	Type 2	$(\text{₩}42.2/\text{km}) / (\text{₩}20,010/\text{h}) / 1.56 \times 60(\text{min}/\text{h}) = 0.096(\text{min}/\text{km})$

Note: Car's weight was applied to trucks under 2.5 ton.

과소 추정은 일부 구간만의 문제가 아니라 고속도로의 대부분 구간에서 발생하였으므로, 이는 다른 도로의 통행량을 전환시킴으로써 현실의 통행량을 재현하는 일반적인 통행배정모형 정산 방법으로는 해결하기 어려운 것으로 판단된다(<Table 5, 6> 참조).

또한 고속도로의 화물자동차 통행량이 증가함에 따라 상대적으로 승용차의 통행량이 감소하였으나, 고속도로 전체 통행량은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 화물자동차 운전자가 체감하는 통행비용이 낮아짐에 따라 국도 등 주변 도로에서 고속도로로의 경로 전환이 발생한 것으로 해석된다.

Table 5 _ Estimated Traffic Volumes by Scenarios as of 2015

(unit: veh/day)

Category	Observed Traffic Volume	Estimated Traffic Volume			
		I-1	I-2	II-1	II-2
Gyeongbu	92,772	101,782	102,371	103,415	107,576
Namhae	41,054	50,339	50,896	51,142	51,737
Seohaean	42,873	45,613	45,848	45,960	46,267
Yeongdong	75,681	65,963	66,357	67,768	69,745
Jungang	26,173	23,118	23,429	23,743	24,460
Daegu-Busan	44,197	54,760	55,306	55,503	56,345
Pyeongtaek-Siheung	57,164	45,636	45,779	47,265	49,979

Table 6 _ Truck Traffic Ratio by Scenarios as of 2015

(unit: %)

Category	Observed Traffic Volume	Estimated Traffic Volume			
		I-1	I-2	II-1	II-2
Gyeongbu	27	17	19	18	24
Namhae	33	20	23	22	28
Seohaean	28	17	18	17	24
Yeongdong	26	12	14	13	16
Jungang	29	11	13	12	16
Daegu-Busan	33	14	17	15	21
Pyeongtaek-Siheung	42	28	30	29	36

2) 화물자동차 오차율

유료도로 통행요금 가중치 적용 방식에 따른 모형의 설명력 개선을 검토한 결과, PCU 기준 가중치 적용안(시나리오 II-2)에서 화물자동차 통행의 설명력이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 현재의 KTDB가 화물자동차 수요를 과소 추정한다는 가정하에, 화물자동차의 유료도로 가중치가 낮아질수록 화물자동차의 통행량이 많아지며 모형의 전반적인 설명력 제고가 원인인 것으로 추정된다(<Table 7> 참조).

Table 7_ Error Rate for Truck by Scenarios as of 2015
(unit: %)

Category	I-1	I-2	II-1	II-2
Gyeongbu	10	9	8	3
Namhae	12	11	10	4
Seohaean	11	11	10	5
Yeongdong	13	12	12	9
Jungang	18	17	16	12
Daegu-Busan	19	18	16	12
Pyeongtaek-Siheung	13	13	12	5

유료도로의 통행요금 수입이나 재무적 타당성 분석에 있어서, 통행요금이 비싼 화물자동차의 구성비는 중요 쟁점이다. KTDB의 총량에 대한 수정이 어려운 현실에서, PCU 기준 가중치 적용은 화물자동차 과소 추정문제의 일부 해결안이 될 수 있다. 전체 교통량의 오차율과 별개로, 차종별 구성비의 중요성이 높은 민자도로 타당성평가 등의 사업에서는 PCU 기준 가중치 적용을 도입할 필요성이 높은 것으로 판단된다.

3) 전체 오차율

전체 교통량에 대한 오차율을 기준으로 시나리오를

검토한 결과, 노선별 정산 수준에 따라 서로 다른 결과가 나타났다. 화물자동차 구성비가 높아질수록 전반적인 추정 교통량도 증가하였으나, 이로 인해 기존에 과대 추정된 노선의 경우 오차율이 증가하는 양상을 보인 반면, 전체 교통량이 과소 추정된 노선의 경우 오차율이 감소하고 모형의 설명력이 개선되었다(<Table 8> 참조).

Table 8_ Total Error Rate by Scenario

(unit: %)

Category	I-1	I-2	II-1	II-2
Gyeongbu	9.7	10.3	11.5	6.0
Namhae	22.6	24.0	24.6	21.0
Seohaean	6.4	6.9	7.2	5.9
Yeongdong	12.8	12.3	10.5	7.8
Jungang	11.7	10.5	9.3	6.5
Daegu-Busan	23.9	25.1	25.6	30.3
Pyeongtaek-Siheung	20.2	19.9	17.3	12.6

이는 차종 구성비를 고려하지 않고 총 교통량을 기준으로 정산한 경우, 정산이 완료되어 설명력이 높은 통행배정모형이라 하더라도 통행요금의 변화에 따른 요금 탄력성을 현실성 있게 모사하기 어려울 수 있음을 의미한다.

V. 요약 및 결론

본 논문에서는 통행배정 방식과 요금 적용 방식에 따라 다양한 화물자동차 가중치 적용 방안을 제시하였다.

단일차종 통행배정 방식은 모든 차종이 동일한 유료도로 가중치를 갖기 때문에 기초 자료를 작성하기에 편리하나, 화물자동차의 통행 특성을 반영할 수 없었다. 다차종 통행배정 방식은 운전자의 시간 가치를

반영하여 화물자동차의 통행특성을 반영할 수 있으나, 적용 단위(vehicle 또는 PCU)에 따라 통행배정 결과가 다르게 나타났다.

전반적인 화물자동차 과소 추정현상이 발생하였으며, 이러한 상황에서는 PCU 기준 가중치 적용안(시나리오 II-2)이 화물자동차의 오차율을 가장 많이 줄일 수 있는 방법으로 평가되었다.

차종별 구성비의 중요성이 높은 사업의 경우, PCU 기준 가중치 적용안의 도입을 검토할 필요가 있다. 이런 경우 승용차의 과대 추정이 발생하지 않도록, 사전 준비 단계인 통행배정모형의 정산과정에서부터 화물자동차의 구성비를 고려하여 PCU 기준 가중치를 적용하여야 할 것이다.

본 논문에서 제시된 결과를 활용하여 화물자동차 유료도로 가중치 산정 방안에 대한 다양한 가이드라인을 제시할 필요가 있다. 즉 교통수요 분석 관련 지침 등에 PCU 기준 가중치 산정 및 적용에 대한 항목이 추가될 필요가 있다. 특히 노선별 가중치는 성수기 관광 수요⁴⁾나 유발 수요⁵⁾와 같이 근거 조항을 신설하여, 항만이나 산단 인근의 물류 성향이 강한 도로에 적용할 수 있는 방안이 필요하다. 이는 KTDB의 총량에 대한 수정이 어려운 현실적 여건하에서 PCU 기준 가중치 적용이 화물자동차 과소 추정문제를 일부 해결할 수 있는 대안이 될 것으로 판단된다.

다만 본 논문은 기존 분석 체계의 틀 안에서 개선 방안을 마련한 것이므로 화물자동차의 속도, 주행패턴 등 상세한 통행 특성을 반영하기에는 한계가 있다. 따라서 차종별 적용이 가능한 VDF 개발과 화물자동차의 O/D 개선에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌 •••••

1. 국토교통부. 2013. 화물통행수요추정 개선방안 연구. 세종: 국토교통부.
Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2013. *A Study on Improving Freight Travel Demand Estimation*. Sejong: Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
2. 김강수, 우지원, 이승현, 김재영, 양인석, 유재광, 김세환 외. 2008. 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구. 제5판. 서울: 한국개발연구원.
Kim Kangsu, Woo Jiwon, Lee Seungheon, Kim Jaeyong, Yang Inseok, You Jaekwang and Kim Sehwan, et al. 2008. *A Study on Standard Guidelines for Pre-feasibility Study on Road and Railway Projects. 5th Edition*. Seoul: Korea Development Institute.
3. 김상록, 고용석. 2016. 화물교통수요예측 분석방법 개선방안 연구-유료도로 가중치 적용을 중심으로. 안양: 국토연구원.
Kim Sangrok and Ko Yongseok. 2016. *A Study on the Improvement Methods of Freight-Demand Analysis: Focusing on toll road weights*. Anyang: Korea Research Institute for Human Settlements.
4. 김응철, 김도훈. 2009. 교통계획 모형 내 유료도로의 요금적용 방안에 관한 연구. 한국도로학회논문집 11권, 1호: 47-58.
Kim Eungchul and Kim Dohoon. 2009. Methods of computing toll road weights when calibrating road networks in a transportation planning model. *International Journal of Highway Engineering* 11, no.1: 47-58.
5. 박민철, 한진석, 성홍모. 2011. 대도시 화물통행수요 추정을 위한 방안 연구. 고양: 한국교통연구원.
Park Minchul, Han Jinsuk and Sung Hongmo. 2011. *Estimation Methods of Urban Freight Travel Demand*. Goyang: Korea Transport Institute.
6. 이성원, 박지형. 1999. 교통수요의 가격, 소득 및 서비스 탄력성에 관한 분석. 고양: 한국교통연구원.
Lee Sungwon and Park Jihung. 1999. *A Study on Price, Income and Service Elasticity of Traffic Demand*. Goyang: Korea Transport Institute.
7. 임용택, 이창훈, 백승걸. 2010. 고속도로 통행요금제도 및

4) 고속도로 및 국도 구간에 대하여 최대일계수 또는 휴일계수가 1.2 이상인 여가 성향을 갖는 지역에 한정하여 관광 수요를 추가 반영할 수 있음.

5) 연륙·연도교 사업 등 특수한 사업의 경우, 연륙교 건설로 인한 자동차 보유율의 증가 등 관련 근거를 제시하여 추가 반영할 수 있음.

- 요금 변화에 따른 통행수요 분석. 교통연구 17권, 1호: 49-60.
- Lim Yongtaek, Lee Changhoon and Baek Seunggul. 2010. Fare system and travel emand analysis with varying fare level on expressway. *Journal of Transport Research* 17, no.1: 49-60.
8. 정일호, 이백진, 김상록, 강선욱. 2012. 거가대로 민간투자사업 통행요금과 통행량 간 탄력성(민감도) 분석. 경상남도·부산광역시: 경상남도·부산광역시.
- Chung Ilho, Lee Baekjin, Kim Sangrok and Gang Seonuk. 2012. *A Study on Price Elasticity of Travel Demand in Geogadae-ro PPP Project*. Gyeongsangnamdo and Busan: Gyeongsangnamdo and Busan.
9. 최창호. 2011. 고속도로 교통수요 예측오차의 원인 규명과 개선방안 연구: 화물자동차 교통량을 중심으로. 서울도시연구 12권, 2호: 105-123.
- Choi Changho. 2011. A study on the improvement methods to adjust the forecasting error in freeway transportation demand: Focusing on truck traffic. *Seoul Studies* 12, no.2: 105-123.
10. 한국도로공사 홈페이지. <http://www.ex.co.kr> (2017년 5월 30일 검색).
- Korea Expressway Corporation Homepage. <http://www.ex.co.kr> (accessed May 30, 2017).
11. TMS 교통량정보 제공시스템. <http://www.road.re.kr/> (2016년 8월 20일 검색).
- Traffic Monitoring system. <http://www.road.re.kr/> (accessed August 20, 2016).
12. Transportation Research Board. 2008. *National Cooperative Highway Research Program(NCHRP) Report 606*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
13. _____. 2010. *National Cooperative Freight Research Program (NCFRP) Report 8*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

- 논문 접수일: 2017. 3. 10.
- 심사 시작일: 2017. 4. 4.
- 심사 완료일: 2017. 4. 13.

요약

주제어: 화물교통수요 예측, 유료도로 가중치, 다차종 통행배정, 승용차 환산 대수

그동안 교통수요 예측의 신뢰성 개선은 주로 여객통행에 집중되었으며, 화물통행의 경우 모형적 측면의 연구가 주를 이루었다. 그러나 교통수요 분석 시 화물자동차의 과소 추정문제가 지속적으로 발생하고 있으며, 현 지침에서는 차종별 통행특성을 반영할 방법이 부재하는 상황이다. 따라서 본 논문에서는 화물교통수요 예측의 신뢰성을 높이기 위하여 노선별 유료도로 가중치를 적용하는 방안을 제시하였다. 유료도로 가중치는 고속도로 통행요금을 분석모형에 반영하기 위한 개념으로 사용되나, 적용 단위가 제시되어 있지 않고 차종별 통행특성을 고려하여 보정할 수 있는 기준이 마련되어 있지 않은 문제가 있다.

이를 해결하기 위하여 BPR 함수의 다른 파라미터와 마찬가지로, 화물자동차의 유료도로 가중치를 달리하여 분석을 수행하였다. 고속도로 7개 노선에 대해 통행배정 방법(단일차종/다차종) 및 통행요금 적용 방식(승용차 기준/차종별 차등)에 따라 4개의 시나리오를 설정하였다. 분석 결과 PCU 기준 가중치 적용 시 화물자동차 과소 추정문제가 일부 개선되었으며, PCU 기준 가중치 적용안(시나리오 II-2)이 화물자동차 오차율 개선에 가장 효과적인 것으로 평가되었다. 이러한 결과를 통하여 화물자동차 유료도로 가중치 적용에 대한 보정 근거 및 가이드라인의 필요성을 제시하였다.

