

차두시간을 이용한 일반국도의 승용차 환산계수 산정

Calculation of Passenger Car Equivalents on National Highway using Time Headway

김 태 운*
(Tae-woon Kim)

오 주 삼**
(Ju-sam Oh)

(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

· Corresponding author : Tae-woon Kim(KICT), E-mail climb@kict.re.kr

요 약

승용차 환산계수는 도로의 서비스 수준 및 용량 분석 등에 활용되는 자료이다. 본 연구에서는 개별차량자료를 활용하여 차로수별로 국토교통부에서 구분하고 있는 12가지 차종에 대하여 승용차 환산계수를 산출하였다. 산출결과 차종의 등급이 높을수록, 차로수가 많을수록, 주말일수록 승용차 환산계수의 값이 큰 것으로 나타났다. 승용차 환산계수를 활용하여 중차량 보정계수를 산출하였으며, 4, 6차로에서는 도로용량편람에서 제시한 결과와 비교했을 때 상대적으로 그 값이 작은 것으로 나타났다. 또한 차로수별로 중차량 비율에 따른 평균 승용차 환산계수 변화 모형을 추정하였으며, 2차로에서 PCE에 미치는 중차량의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 다차로에서 중차량의 영향이 적고 주말의 통행은 상대적으로 업무통행 차량이 적기 때문에 판단된다.

핵심어 : 일반국도, 승용차 환산계수, 차종, 차두시간, 중차량 보정계수

ABSTRACT

PCE(Passenger Car Equivalents) is used to analysis of road capacity and LOS(Level of Service). In this study calculates PCE by number of lane and 12 vehicle type by MOLIT(Minister of Land, Infra Structure and Transport) using individual vehicle data. The results of the calculation, PCEs are increased when high vehicle classification level, many number of lanes and weekend. Heavy vehicle factors are smaller than KHCM on 4, 6 lane. Also, In this study estimates of PCE variation model by heavy vehicle percentage. Impact of Heavy vehicles on PCEs is the most sensitive on 2 lane. The results of the study, heavy vehicles low impact on PCE on multi-lane and business trips are a little in weekend.

Key words : National Highway, Passenger Car Equivalents, Vehicle Type, Time Headway, Heavy Vehicle Factor

* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 석사후연구원

** 공저자 : 한국건설기술연구원 연구위원

† Received 27 May 2015; reviewed 16 July 2015; Accepted 21 July 2015

I. 서론

도로에서 중차량은 상대적으로 일반 승용차에 비해서 차량의 길이가 길고 무겁기 때문에 교통흐름에 부정적인 영향을 미친다. 이러한 중차량의 특성으로 인해 교통량 중 중차량 비율이 높을수록 교통흐름에 악영향을 미치며, 도로 운영 및 설계 시에도 이러한 중차량의 특성을 고려하게 된다.

승용차 환산계수(PCE: Passenger Car Equivalents)란 중차량 한 대와 대체될 수 있는 승용차 대수를 의미하며, 도로의 서비스 수준 및 용량 분석 등에 활용되는 중요한 자료이다. 국내·외에서는 승용차 환산계수와 관련된 다양한 연구가 진행되었으나 최근 10년 동안 일반국도를 대상으로 하는 연구는 그 사례를 찾아보기 힘들 정도로 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 상시 교통량 조사장비가 설치되어 있고 연속류의 성격이 강한 평지의 일반국도 지점을 선정하여 12가지 차종에 대하여 평일·주말의 승용차 환산계수를 분석하였다. 각 지점별로 상시 교통량 조사장비에서 수집된 개별차량자료를 활용하여 차로수별로 차두시간(Time headway)을 산출하고 이를 활용하여 승용차 환산계수를 산정하였다.

II. 기존문헌 고찰

1. 국내 연구사례

도로용량편람(2013)에서는 도로의 용량 산정 시 승용차 환산계수를 활용한 중차량 보정계수의 적용을 명시하고 있으며, 도로의 종단경사별로 소형 화물차, 중형 화물차, 대형 화물차에 대한 승용차 환산계수의 값을 제시하고 있다.[1]

강승규(1996)는 고속도로 공사구간의 도로용량산정을 위해 승용차 환산계수를 산정하였다. 고속도로 공사구간에서 총 8개의 차종에 대해 분석을 진행하였으며, 분석결과 중차량의 승용차 환산계수는 기존 도로용량편람에서 제시하고 있는 값 보다 다소 큰(1.4~2.1) 것으로 분석되었다.[2]

오주삼(2003) 등은 개별차량자료를 활용하여 속

도와 교통량 자료를 활용한 방식과 차두시간을 활용한 방식으로 11가지 차종에 대한 승용차 환산계수를 분석하였다. 분석결과 두 방식 모두 중형 화물차는 유사하였으나 대형 화물차의 경우는 속도와 교통량 자료를 활용한 방식의 승용차 환산계수 값이 높게 분석되었다.[3]

윤항목(2007)은 왕복 4차로 도시고속도로에서 차두시간을 활용한 승용차 환산계수를 산정하였다. 차종을 승용차, 버스, 화물차로 구분하고 승용차 환산계수를 분석하였다. 분석결과 서비스 수준별 승용차 환산계수 값은 다소 상이한 것으로 분석되었으며, 서비스 수준 C에서 가장 높은 승용차 환산계수를 보이는 것으로 나타났다. 이는 교통량이 적거나 많으면 차두시간 결정에 있어 차체의 크기, 가속능력 등 화물차가 교통흐름에 미치는 악영향이 거의 무시되기 때문으로 분석하였다.[4]

이용재(2010) 등은 소형의 삼지 회전교차로에서 용량분석을 위한 승용차 환산계수를 산정하였다. 승용차 환산계수 산정 방법론 중 밀도를 활용하여 버스, 화물차의 승용차 환산계수를 산정한 결과 버스의 승용차 환산계수는 1.88, 화물차의 승용차 환산계수는 1.68로 나타났다.[5]

2. 국외 연구사례

국외에서는 다양한 승용차 환산계수 산정 방법론에 대한 연구가 진행되었으며, 그 중 차두시간을 활용하여 승용차 환산계수를 연구한 사례는 다음과 같다.

Greenshields(1947) 등은 개별차량의 차두시간을 활용하여 승용차 환산계수를 산정하는 방법론을 제시하였다. 이 방법론은 차두시간을 활용한 승용차 환산계수 관련 연구에 근간이 되었으며, 여러 방식으로 응용되었다.[6]

Anthony Ingle(2004)는 고속도로 기본구간에서 종단 경사, 포장 상태, 중차량 혼입률에 따른 승용차 환산계수를 분석하였다. 분석결과 경사가 낮을수록, 포장상태가 좋을수록, 중차량 혼입률이 낮을수록 승용차 환산계수 값은 낮아졌으며, 도로의 상황(종단

경사, 포장, 중차량)에 따라 다르지만 승용차 환산계수는 평균적으로 2.0 내외인 것으로 나타났다.[7]

Kanakabandi(2014) 등은 승용차 환산계수와 관련된 연구를 조사하였다. 승용차 환산계수를 산정하는 방법으로는 밀도 활용방법, 차두시간 활용방법, 속도 활용방법, 차량지체 기반방법, V/C 기반방법 등이 있으며, 여러 연구들이 차두시간을 활용하여 승용차 환산계수를 산정하는 방법론을 제시되었다.[8]

3. 기존문헌 고찰결과

차두시간을 활용한 승용차 환산계수 관련 연구의 고찰결과 국내·외 모두 오랜 기간에 걸쳐 다양한 방법론(밀도 활용방식, 속도 활용방식, 차두시간 활용방식)을 활용하여 승용차 환산계수 연구가 진행되었음을 알 수 있었다. 특히 국외의 경우 1947년부터 관련 연구가 진행되어 종단 경사, 중차량 혼입률과 같은 다양한 상황에서 승용차 환산계수 연구가 진행되었다. 국내의 경우에도 1990년을 전후로 다양한 분석 대상(고속국도, 일반국도, 교차로 등)에서 관련 연구가 진행되었다.

그러나 국내·외 모두 방법론 중심의 연구가 주를 이루었으며, 종단 경사, 공사 구간 등의 다양한 도로 상황에 따라 연구를 진행하였으나 차로수 차이에 따른 승용차 환산계수를 제시하지 못했다는 한계가 있었다. 또한 기존의 연구에서는 중차량을 통합하여 1개의 종으로 분석하거나 2007년 이전의 차종분류 체계인 8가지 차종 또는 11가지 차종으로 분석하였기 때문에 현재의 차종분류 체계인 12가지 차종에 대해서 승용차 환산계수를 제시하지 못한다는 한계가 있었으며, 이마저도 약 10년 전에 조사된 자료를 바탕으로 분석한 값이기 때문에 현재의 차량 성능의 개선, 운전자의 주행경향 변화를 반영하지 못한다는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 연구의 한계점을 보완하기 위해 일반국도 중에서 연속류의 성격이 강하고 평지인 구간을 선정하여 연구를 진행하였다. 차로수, 평일·주말에 따라 승용차 환산계수의 변화 및 중차량 보정계수의 변화 정도를 알아보기 위해 첫째, 현재 도로교통량 조사 시 차종의 분류체

계인 12가지 차종의 분류체계를 기반으로 승용차 환산계수 분석을 진행하였고 둘째, 차로수 및 평일·주말에 따른 승용차 환산계수의 변화에 대해 분석하였다. 마지막으로 추정된 승용차 환산계수로 중차량 보정계수를 산출하여 승용차 환산계수가 도로설계에 있어 미치는 영향을 분석하고 기존연구와의 차별성을 위해 차로수별로 중차량 비율에 따른 승용차 환산계수 변화 모형을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 분석 방법론

1. 연구의 진행 절차

일반국도의 평지 구간에서 차로수에 따른 평일·주말의 12가지 차종별 승용차 환산계수를 산정하고 중차량 보정계수 및 중차량 비율에 따른 승용차 환산계수 변화 모형의 개발을 위해 연구의 진행 절차를 수립하였다.

12가지 차종은 현재 도로교통량 조사 지침상의 차종분류체계로 도로교통량 통계연보 등에서 이를 기준으로 차종을 분류하여 정보를 제공하고 있다.[9] 12가지 차종 중 1종인 승용차를 제외한 11개의 중차량 한 대와 대체될 수 있는 승용차 대수를 산정하기 위해 첫째, 기존문헌을 통한 연구의 진행 방향을 결정하였다. 둘째, 분석 대상지점을 선정하고 지점별로 상시 교통량 조사장비에서 수집된 개별차량자료의 차두시간을 활용하여 차로수에 따른 평일·주말의 차종별 승용차 환산계수를 산출하였다. 셋째로 차로수별로 산출된 승용차 환산계수로 중차량 보정계수를 산출하여 승용차 환산계수가 도로설계에 있어 미치는 영향을 분석하고 차로수별로 중차량 비율에 따른 승용차 환산계수 변화 모형을 개발하고자 한다.

2. 분석 대상지점의 선정 및 특징

승용차 환산계수의 분석을 위해 분석대상 지점을 선정하였다. 평지이고 연속류의 성격이 강한 지점에 대하여 2차로 3지점, 4차로 2지점, 6차로 2지점 총 7지점을 선정하였다. 연속류의 성격이 강한

지점을 선정한 이유는 신호등과 같은 교통제어시설로 인한 정상적인 차두시간 분포에 악영향을 배제하기 위함이다.

선정된 분석 대상지점의 2014년 연평균 일교통량(AADT: Annual Average Daily Traffic)은 차로수 순으로 각각 7,001/52,437/35,558대/일 인 것으로 나타났다.[9] 이는 2014년 일반국도의 연평균 일교통량이 차로수 순으로 각각 3,650/17,674/27,321대/일 임을 감안한다면 다소 높은 편이다. 이는 교통량 수준이 다소 낮으면, 즉 교통량이 적으면 차두시간이 길어 정확한 승용차 환산계수 분석이 힘들기 때문에 교통량 수준이 다소 높은 지점을 선택하였으며, 선정된 지점들의 서비스 수준이 C~D일 때 차량군 내의 개별차량 자료를 활용하여 승용차 환산계수를 분석하였다. 또한 중차량으로 인한 차두시간 분석이 용이하도록 중차량의 비율이 상대적으로 높은 지점을 선정하였다.

<표 1> 분석대상 지점의 교통 특성
<Table 1> Traffic characteristic of study area

area	number of lane	AADT (vph)	heavy vehicle(%)
Chungwon-gun Miwon-ri	2	8,920	21.2
Boryeong-si Boryeong-ri	2	3,748	31.4
Gyeongju-si Nokdong-ri	2	8,336	27.4
Namyangju-si Naegak-ri	4	50,409	24.4
Hwaseong-si Yangno-ri	4	54,465	26.3
Gimpo-si Sucham-ri	6	56,241	21.6
Jeungpyeong-gun Yeontan-ri	6	14,875	25.8

3. 개별차량자료의 수집

분석 자료는 2015년 2~3월에 상시 교통량 조사 장비에서 수집된 개별차량자료를 활용하였다. 개별 차량자료는 상시 교통량 조사장비가 설치된 지점을 통과하는 차량의 정보가 기록된 자료로, 해당 자료를 통하여 차량 1대의 속도, 차종, 검지 차로, 방향, 검지시간, 차량길이 등을 수집할 수 있다.

개별차량자료를 통하여 수집된 각 차량의 특성 중 차종은 다음의 <표 2>와 같이 차량의 축 수를 기반으로 분류한다.[9] 총 12종의 차종 중 1종은 일반적으로 알려진 승용차를 의미하며, 2종은 15인승

이상의 버스를 의미한다. 나머지 차종은 화물차로 적재량, 축 수, 단위 수를 기반으로 차량을 총 10개로 구분한다. 특히 8종 이상부터는 2단위 차량으로 8, 10, 12종은 세미 트레일러, 9, 11종은 풀 트레일러로 분류된다.

<표 2> 각 차종의 정의
<Table 2> Description of vehicle type

vehicle type	number of axle	description
1	2	Compact cars, sedans, less than 16 seater SUV, RV, van
2	2	Medium and large buses
3	2	Two-axle, one-unit, 1-2.5 ton cargo truck
4	2	Two-axle, one-unit 2.5 ton cargo truck
5	3	Three-axle, one-unit cargo truck
6	4	Four-axle, one-unit cargo truck
7	5	Five-axle, one-unit cargo truck
8	4	Four-axle, two-unit semi-cargo trailer
9	4	Four-axle, two-unit semi-cargo trailer
10	5	Five-axle, two-unit semi-cargo trailer
11	5	Five-axle, two-unit full cargo trailer
12	6	Six-axle, two-unit semi-cargo trailer

개별차량자료에서 각 차량들이 검지된 시간을 알 수 있기 때문에 각 개별차량들의 차두시간을 파악할 수 있다. 여기서 차두시간이란 한 지점을 통과하는 연속된 차량의 통과시간 간격. 즉 앞차의 앞부분(또는 뒷부분)과 뒷 차의 앞부분(또는 뒷부분)까지의 시간간격을 의미한다. 본 연구에서는 <그림 1>과 같이 앞차의 뒷부분부터 뒷차의 뒷부분에 대한 후미 시간간격(Lagging headway)을 활용하였다.



<그림 1> 후미 차두시간의 개념
<Fig. 1> Lagging headway concept

이는 차량의 앞부분에 대한 차두 시간간격(Leading headway) 활용하여 승용차 환산계수를 산정할 경우 중차량(앞차량)-승용차(뒷차량) 관계에서

〈표 3〉 차로수별 승용차 환산계수 산출결과

〈table 3〉 Estimation result of Passenger Car Equivalents by number of lane on weekday and weekend

lane	weekend/ weekday	vehicle type												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	week day	avg	1.00	1.30	1.04	1.29	1.40	1.51	1.64	1.82	1.87	1.90	2.02	2.08
		sd	0	0.08	0.02	0.11	0.10	0.12	0.50	0.08	0.02	0.11	0.10	0.12
		n	56108	1163	10734	4587	2316	1591	315	256	40	944	34	163
	week end	avg	1.00	1.39	1.06	1.29	1.57	1.43	1.65	1.85	2.01	2.05	2.06	2.17
		sd	0	0.07	0.05	0.08	0.14	0.40	0.95	0.07	0.05	0.08	0.14	0.40
		n	11981	207	1861	695	386	363	60	41	35	152	54	64
4	week day	avg	1.00	1.41	1.10	1.43	1.57	1.72	1.85	2.07	2.07	2.15	2.13	2.33
		sd	0	0.04	0.04	0.04	0.08	0.09	0.08	0.04	0.04	0.04	0.08	0.09
		n	264032	7214	54298	25367	8266	5185	1212	2179	83	2481	89	151
	week end	avg	1.00	1.50	1.11	1.45	1.72	1.94	2.05	2.30	2.34	2.33	2.44	2.61
		sd	0	0.03	0.03	0.01	0.10	0.06	0.06	0.03	0.03	0.01	0.10	0.06
		n	59590	823	8542	2135	939	812	90	164	80	216	40	54
6	week day	avg	1.00	1.49	1.13	1.49	1.67	1.82	1.96	2.24	2.23	2.35	2.38	2.65
		sd	0	0.06	0.02	0.05	0.06	0.09	0.06	0.06	0.02	0.05	0.06	0.09
		n	312476	8612	63051	24496	6947	5772	777	243	33	484	77	79
	week end	avg	1.00	1.52	1.14	1.54	1.74	1.95	2.11	2.38	2.34	2.50	2.46	2.83
		sd	0	0.12	0.01	0.15	0.18	0.16	0.11	0.12	0.01	0.15	0.18	0.16
		n	30069	586	9779	1235	419	362	133	12	21	20	29	27

차량의 길이가 긴 중차량의 영향으로 승용차는 차 두간격이 길게 분석될 수 있다.[2] 반면 후미 시간 간격을 활용할 경우 승용차(앞차량)-중차량(뒷차량) 관계에서는 중차량의 차두시간이 길게 분석될 수 있다는 단점은 있으나 앞 차량과의 거리를 두고 주행한다는 중차량의 특성을 고려한다면 상기의 Leading headway 사용 시 보다 적은 오차로 분석 가능할 것으로 판단된다.

4. 승용차 환산계수의 산정방안

본 연구에서는 차두시간을 기반으로 한 승용차 환산계수 산정방식 중에서 기존의 연구에서 제시한 방법론(Krammes(1986) 등, 강승규(1996), 오주삼(2003) 등)을 활용하여 12가지 차종별로 승용차 환산계수를 분석하였다.[1, 3, 8, 10, 11] 이 방식은 차량군에서 차종배열의 차두시간을 측정하여 1종을 제외한 나머지 11가지의 차종에 대하여 승용차 환산계수를 산정하는 방식으로 차종배열에 따른 차두 시간과 차종배열이 조합될 확률을 곱하여 산정하는 방식이다. 해당 방법론은 이미 기존의 연구에서 식의 유도과정을 제시하고 있으므로 본 연구에서는

다음의 식 (1)과 같이 최종적으로 정리된 11가지 차종에 대한 승용차 환산계수 산정식을 제시하였다.

$$\begin{aligned}
 E_2 &= 1 + P_1 \left(\frac{H_{1,2} + H_{2,1}}{H_{1,1}} - 2 \right) + P_2 \left(\frac{H_{2,2}}{H_{1,1}} - 1 \right) + \\
 &P_3 \left(\frac{H_{3,2}}{H_{1,1}} - 1 \right) + \dots + P_{12} \left(\frac{H_{12,2}}{H_{1,1}} - 1 \right) \\
 E_3 &= 1 + P_1 \left(\frac{H_{1,3} + H_{3,1}}{H_{1,1}} - 2 \right) + P_2 \left(\frac{H_{2,3}}{H_{1,1}} - 1 \right) \\
 &+ P_3 \left(\frac{H_{3,3}}{H_{1,1}} - 1 \right) + \dots + P_{12} \left(\frac{H_{12,3}}{H_{1,1}} - 1 \right) \\
 E_4 &= 1 + P_1 \left(\frac{H_{1,4} + H_{4,1}}{H_{1,1}} - 2 \right) + P_2 \left(\frac{H_{2,4}}{H_{1,1}} - 1 \right) + \\
 &P_3 \left(\frac{H_{3,4}}{H_{1,1}} - 1 \right) + \dots + P_{12} \left(\frac{H_{12,4}}{H_{1,1}} - 1 \right) \\
 &\vdots \\
 E_{12} &= 1 + P_1 \left(\frac{H_{1,12} + H_{12,1}}{H_{1,1}} - 2 \right) + P_2 \left(\frac{H_{2,12}}{H_{1,1}} - 1 \right) + \\
 &P_3 \left(\frac{H_{3,12}}{H_{1,1}} - 1 \right) + \dots + P_{12} \left(\frac{H_{12,12}}{H_{1,1}} - 1 \right)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기에서,

- E_i = i 차종의 승용차 환산계수
- $H_{i,j}$ = 선두차량 i 와 후행차량 j 의 차두시간
- i, j = 차종($i = 2, 3, 4 \dots 12, j = 2, 3, 4 \dots 12$)

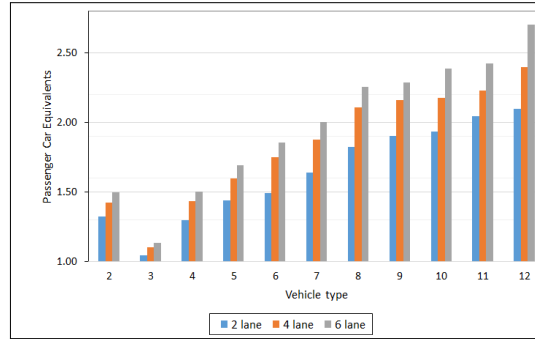
IV. 승용차 환산계수의 분석 및 적용

1. 차로수별 평일·주말의 승용차 환산계수 분석

차로수별로 12가지 차종에 대한 평일·주말의 승용차 환산계수에 대한 분석을 진행하였다. 지점별, 날짜별로 산출된 승용차 환산계수를 평균한 산출결과는 다음의 <표 3>과 같다. 차로수 및 요일구분(평일·주말)에 관계없이 2종의 승용차 환산계수는 4종과 유사한 것으로 나타났으며, 3종 이상의 차종은 대체적으로 차종의 등급이 높을수록 승용차 환산계수의 값이 증가하였다. 이는 차종의 등급이 높으면 즉, 차량의 축 수가 많을수록 적재 가능한 화물의 중량이 증가하여 차량의 가속속 성능이 감소함하여 해당 차량의 운전자들이 앞차와 충분한 거리를 두고 운전하기 때문으로 풀이된다. 특히 차축이 가장 많은 12종의 경우 6차로 주말기준 2.83으로 가장 큰 값을 보이는 것으로 나타났다.

또한 <그림 2>와 같이 차로수와 상관없이 차종의 등급이 높을수록 승용차 환산계수는 증가하다가 8종부터는 그 값이 현저하게 증가하는 것으로 나타났다. 그 중 8~11종은 유사한 승용차 환산계수 값을 보이는 것으로 나타났다. 이는 8종부터는 차량의 종류 특성상 차량이 크기 및 중량이 다른 차종에 비해 상대적으로 크고 그 형태가 유사(2단위 차량)하기 때문으로 판단된다. 즉 해당 차량들은 차량의 크기 및 중량으로 인해 좁은 차두시간을 유지하며 운행하기 어려우며, 운전자는 상대적으로 충분한 간격을 유지하여 차량을 운행하기 때문으로 분석된다.

차로수별로 살펴보면 동일 차종에서 차로수가 많을수록 승용차 환산계수의 값이 큰 것으로 분석되었다. 이는 차로수가 많으면 중차량을 뒤따르는 승용차는 추월이 상대적으로 용이하기 때문인 것으로 판단된다. 특히 2차로에서 서비스 수준이 C~D 이면 현실적으로 추월이 어렵기 때문에 차두시간은 좁게 나타나 차량의 성능 및 크기 등이 무시되기 때문에 4, 6차로에 비해 승용차 환산계수의 값이 작게 분석되었다.



<그림 2> 차로수별 승용차 환산계수 산출결과
<Fig. 2> Estimation result of Passenger Car Equivalents by number of lane

평일·주말의 승용차 환산계수는 평일의 승용차 환산계수가 주말에 비해 평균적으로 다소 작은 것으로 나타났다. 이는 유사한 수준의 교통량일지라도 평일의 통행 목적은 업무통행이 상대적으로 많기 때문으로 판단된다. 즉, 평일에는 주말에 비해 업무통행으로 인해 상대적으로 공격적으로 운전하는 1종 운전자가 많아 1종의 상대적인 차두시간이 짧기 때문에 동일한 차종에 대한 승용차 환산계수의 값이 평균적으로 다소 작은 것으로 나타났다.

2. 승용차 환산계수를 활용한 중차량 보정계수의 산정

차종별 승용차 환산계수의 산정결과 2종과 4종은 유사한 값을 보였으며, 3종 이상에서는 차종 등급이 증가할수록 승용차 환산계수도 증가하는 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 승용차 환산계수가 중차량 보정계수 산정 시 활용되고 있다는 점을 착안하여, 12가지 차종에 대한 승용차 환산계수를 활용하여 중차량 보정계수를 산정하였다. 또한 도로용량편람에서 제시하고 있는 승용차 환산계수를 활용하여 중차량 보정계수를 산정하였을 경우와 어떠한 차이가 있는지 비교하였다.

도로용량편람에서는 도로의 용량의 산정 시 중차량 보정계수를 적용하도록 명시하고 있으며, 평지에서의 중차량 보정계수 산정방식은 다음의 식(2)와 같이 중차량을 소형(3종), 중형(2, 4~7종), 대형

(8~12종)으로 구분하고 각 중차량의 승용차 환산계수(소형: 1.0, 중형: 1.5, 대형: 2.0)와 구성비율을 곱한 후 합산하여 구하도록 제시하였다.

$$f_{hv} = \frac{1}{(1 + P_{T1}(E_{T1} - 1) + P_{T2}(E_{T2} - 1) + P_{T3}(E_{T3} - 1))} \quad \dots(2)$$

여기에서,

- f_{hv} = 중차량 보정계수
- E_{T1} = 소형 차량의 승용차 환산계수(평지: 1.0, 소형 차량: 3종)
- E_{T2} = 중형 차량의 승용차 환산계수(평지: 1.5, 중형 차량: 2, 4~7종)
- E_{T3} = 대형 차량의 승용차 환산계수(평지: 2.0, 대형 차량: 8~12종)
- P_{T1} = 소형 차량의 구성비율(3종 차량의 구성비율)
- P_{T2} = 중형 차량의 구성비율(2종, 4~7종 차량의 구성비율)
- P_{T3} = 대형 차량의 구성비율(8~12종 차량의 구성비율)

각 지점별로 수집된 개별차량자료에서 차종별 구성비율을 산출하여 중차량 보정계수의 산출이 가능하며, 식(2)를 응용한 다음의 식(3)을 통한 중차량 보정계수의 산출이 가능하다.

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + \sum P_{Tn}(E_{Tn} - 1)} \quad \dots(3)$$

여기에서,

- f_{hv} = 중차량 보정계수
- E_{Tn} = n차종의 승용차 환산계수(n=2, 3, 4, ..., 12)
- P_{Tn} = n차종의 구성비율(n=2, 3, 4, ..., 12)

도로용량편람 기준에 의해 산출한 중차량 보정계수와 개별차량자료를 활용하여 산출한 중차량 보정계수의 산출결과는 다음의 <표 4>와 같다. 2차로의 경우 개별차량자료의 중차량 보정계수 값이 도로용량편람의 값에 비해 다소 작은 것으로 분석되었다. 이는 상기의 승용차 환산계수 산출결과에서도 언급했듯이 2차로에서는 추월이 어려워 차두시간은 짧게 나타나 4, 6차로에 비해 승용차 환산계수의 값이 작기 때문으로 판단된다.

4, 6차로의 경우는 개별차량자료의 중차량 보정

계수 값이 도로용량편람의 값에 비해 다소 높은 것으로 나타났으며, 6차로 주말 기준 약 -4.0% 작은 것으로 나타났다. 이는 차로수가 많을수록 중차량을 뒤따르는 승용차들이 중차량을 피해 추월하기가 용이해져 2차로와 같이 좁은 차두시간간격을 유지하면서 주행하기 않으며, 도로용량편람의 승용차 환산계수에 비해 개별차량자료의 승용차 환산계수가 4, 6차로에서는 상대적으로 크기 때문으로 판단된다.

<표 4> 중차량 보정계수 산출결과
<Table 4> Estimation result of heavy vehicle factor

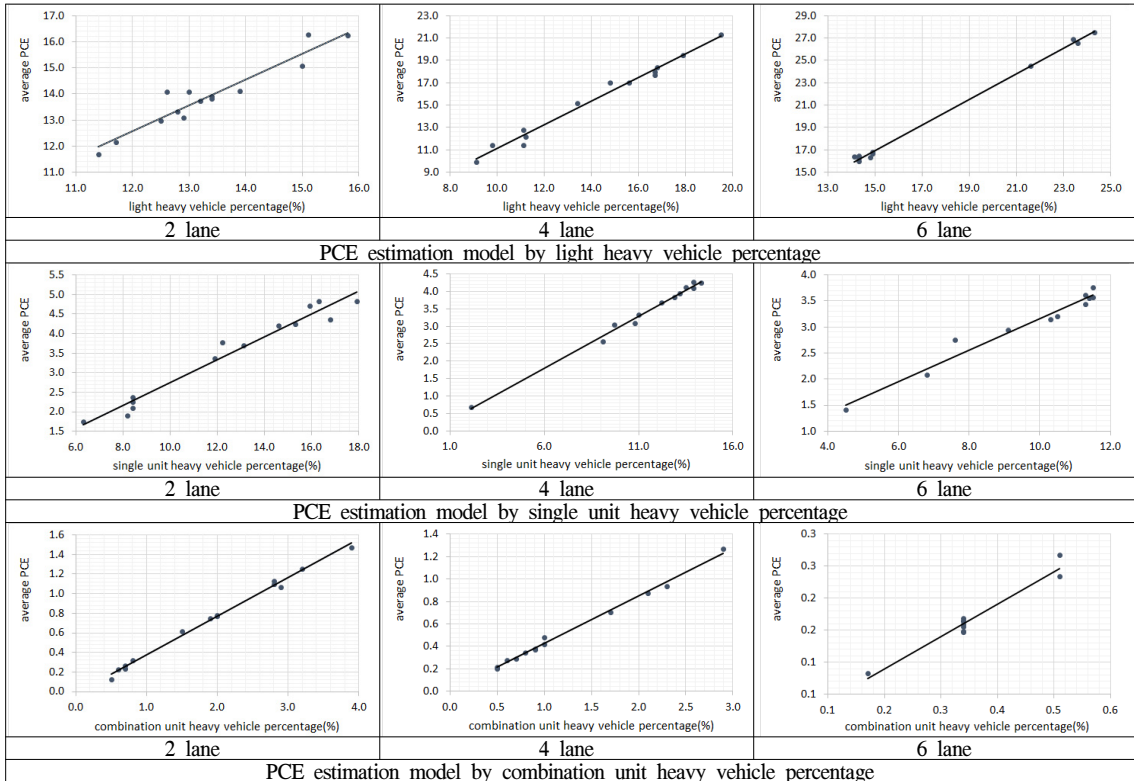
number of lane	weekend/weekday	study result	equation (2) by KHCM	variation(%)
2	weekday	0.934	0.922	1.3
	weekend	0.938	0.938	0.1
4	weekday	0.912	0.925	-1.4
	weekend	0.944	0.964	-2.1
6	weekday	0.922	0.947	-2.7
	weekend	0.931	0.968	-4.0

3. 차로수별 중차량 비율에 따른 승용차 환산계수 변화 모형 개발

상기의 승용차 환산계수 산출결과에 의하면 차로수가 많을수록 동일 차종에서 높은 승용차 환산계수가 산출되었다. 그러나 해당 산출 결과는 지점별, 날짜별로 산출된 승용차 환산계수를 평균한 값이기 때문에 지점별, 날짜별로 중차량 비율의 변동에 의한 승용차 환산계수 변화 정도는 파악하기 어렵다.

<표 5> 차량 형태별 모형 산출결과
<Table 5> Estimation result of model by vehicle class

vehicle class	number of lane	estimation model	R ²
light heavy vehicle	2	$Y_{2s} = 0.9947X_{2s} + 0.6359$	0.903
	4	$Y_{2m} = 1.0556X_{2m} + 0.612$	0.983
	6	$Y_{2l} = 1.14X_{2l} - 0.1293$	0.997
single unit heavy vehicle	2	$Y_{4s} = 0.293X_{4s} - 0.178$	0.964
	4	$Y_{4m} = 0.2975X_{4m} + 0.0245$	0.991
	6	$Y_{4l} = 0.3011X_{4l} + 0.1476$	0.964
combination unit vehicle	2	$Y_{6s} = 0.3924X_{6s} - 0.0151$	0.995
	4	$Y_{6m} = 0.423X_{6m} + 0.0054$	0.994
	6	$Y_{6l} = 0.5055X_{6l} - 0.0111$	0.951



(그림 3) 차로수별 중차량 비율에 따른 승용차 환산계수 모형
 (Fig. 3) PCE estimation model by heavy vehicle percentage

여기에서,

- X_{nc} = n 차로에서 c 차종의 비율(%)
- Y_{nc} = n 차로에서 c 차종의 평균 승용차 환산계수
- n = 차로수($n=2, 4, 6$)
- c = 차종($c= s$ (소형), m (중형), l (대형))

따라서 본 연구에서는 차로수별로 중차량 비율 변화에 따른 평균승용차 환산계수의 변화를 모형화 하였으며, 이를 통하여 차로수별로 중차량 비율에 따른 승용차 환산계수 변화 정도를 파악이 가능하다. 승용차 환산계수는 도로의 용량산정 시 활용된다는 것을 감안하여 1종을 제외한 2~12종의 차종을 소형(3종), 중형(2, 4~7종), 대형(8~12종)으로 구분하였으며, 각 차량 형태별 평균 승용차 환산계수와 중차량 비율간의 관계를 차로수별로 나타낸 결과는 다음의 <표 5>, <그림 3>과 같다.

승용차 환산계수 변화 모형의 분석결과 <표 5>

와 같이 모든 차량 형태에서 R^2 이 0.9 이상의 높은 설명력을 보임에 따라 중차량 비율이 증가할수록 평균 승용차 환산계수는 증가하는 것으로 나타났다. 중차량은 차량의 가속 성능이 떨어짐으로 인해 운전자들이 앞차와 충분한 거리를 두고 운전하기 때문에 이러한 중차량이 증가하면 승용차 환산계수도 증가함에 따라 나타난 결과이다.

모형의 기울기 값을 살펴보면 차량의 형태와 상관없이 차로수가 증가할수록 기울기의 값이 큰 것으로 분석되었다. 상기에서도 언급했듯이 차로수가 많으면 중형, 대형 중차량을 뒤따르는 승용차, 소형 중형차는 추월이 가능해짐에 따라 추월이 가장 용이한 6차로에서 중차량이 증가하면 승용차, 소형 중형차의 추월로 인해 더욱 차두시간이 길어져 6차로에서의 기울기 값이 가장 큰 것으로 판단된다. 또한 차종의 등급이 증가할수록 평균 PCE는 작은 수준에서 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 대형 중차

량일수록 전체 교통량에 미치는 비율이 적기 때문에 전체 PCE에 미치는 영향이 적기 때문으로 판단된다.

V. 결론

본 연구에서는 일반국도에서 차로수에 따른 12가지 차종의 승용차 환산계수를 분석하였다. 차로수별로 평일·주말의 12가지 차종에 대하여 승용차 환산계수를 제시하였으며, 제시된 승용차 환산계수를 바탕으로 중차량 보정계수를 산정하였다. 또한 기존연구와의 차별성을 위해 차로수별로 중차량 비율에 따른 승용차 환산계수변화 모형을 제시하였다.

12가지 차종에 대하여 차로수별로 평일·주말의 승용차 환산계수 산출결과 차로수에 상관없이 대체적으로 차종의 등급이 높을수록 승용차 환산계수의 값이 증가하였으며, 차로수가 많고 주말의 승용차 환산계수가 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

차로수별 평일·주말의 승용차 환산계수를 활용하여 중차량 보정계수를 산출하였으며, 도로용량편람에서 제시한 방식과 비교하였다. 분석결과 차로수별로 중차량 보정계수의 값이 차이가 있었다. 2차로의 경우 도로용량편람 기준에 의해 산출한 중차량 보정계수가 다소 낮았고, 4, 6차로의 경우 개별 차량자료를 활용하여 산출한 중차량 보정계수가 다소 낮은 것으로 나타났다.

또한 차로수별로 중차량 비율에 따른 승용차 환산계수 변화 모형을 개발하였으며, 2, 4, 6차로 모두 중차량 비율이 증가할수록 평균 승용차 환산계수가 증가하였다. 모형의 기울기 값은 2차로 모형의 기울기가 가장 큰 것으로 나타났다.

상기에서 제시한 연구결과는 차량의 특성, 차로수, 운전자의 운전형태의 영향으로 인한 것으로 판단된다. 차종의 등급이 높을수록 적재 가능한 화물의 중량이 증가하고 이에 차두시간이 늘어나 승용차 환산계수가 커지며, 차로수가 많으면 앞차량이 중차량일 경우 뒷 차량은 상대적으로 추월이 용이하여 차두시간이 길어짐에 따라 승용차 환산계수가

커진다. 또한 평일과 달리 주말은 업무통행이 상대적으로 적기 때문에 공격적으로 주행하는 차량이 적어 승용차 환산계수가 큰 것으로 판단된다.

본 연구의 분석대상 범위는 일반국도 2, 4, 6차로의 일부 구간이고 평지만을 대상으로 분석을 진행하였다. 중차량은 특성상 오르막에서 승용차 환산계수가 크고 민감할 것으로 판단되며, 같은 차로수라 할지라도 안쪽/바깥쪽 차로 여부, 도시부/관광부도로의 승용차 환산계수는 서로 상이할 것으로 판단된다. 따라서 추후 연구에서는 도로의 경사와 도로의 유형(도시부, 지방부, 관광부)별로 승용차 환산계수의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, “*Korea Highway Capacity Manual*”, Transport Logistics Office, 2013.
- [2] S. K. Kang, “Passenger Car Equivalents of Various Vehicle Types on Expressway Work Zones”, Korean Society of Transportation, *Journal of Korea Society of Transportation*, vol. 14, no. 3, pp.61-73, Sep. 1996.
- [3] J. S. Oh and D. C. Han, “A Study on the Estimation of PCU in the Rural Highway”, Korean Society of Civil Engineers, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 23, no. 4D, pp.461-465, Jul, 2003.
- [4] H. M. Yun, “Estimation of Passenger Car Equivalents at Urban Expressway by Microscopic Headway Method”, Korean Institute of Navigation and Port Research, *Journal of Navigation and Port Research*, vol. 31, no. 1, pp.107-113, Jul. 2007.
- [5] Y. J. Lee, I. K. Lee and D. M. Lee, “Determination of Passenger Car Equivalents When Estimating Capacity at Small 3-leg Roundabouts”, Korean Society of Transportation, *Journal of Korea Society of Transportation*, vol.

- 28, no. 6, pp.65-74, Dec. 2010.
- [6] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington D.C., 2010.
- [7] Ingle A., “*Development of Passenger Car Equivalents for Basic Freeway Segments*”, Master’s degree Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, U.S, Jul. 2004.
- [8] Kanakabandi S. and Brind K., “Estimation of the Passenger Car Equivalent: A Review”, Exploring Research and Innovations, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 6, pp.97-102, Jun. 2014.
- [9] Minister of Land, Infra Structure and Transport, “*Annual Traffic Volume Report 2013*”, Road Bureau, 2014.
- [10] C. H. Park and D. N. Kim, “A Theoretical Study on Passenger Car Equivalent Factors”, Korean Society of Transportation, *Journal of Korea Society of Transportation*, vol. 9, no. 2, pp.5-25, Dec. 1991.
- [11] B. K. Choi, “PCE Calculation Methodologies used in KHCM for Two-way Two-lane Highways and Freeways”, Korean Society of Transportation, *Journal of Korea Society of Transportation*, vol. 16, no. 4, pp. 113-125, Dec. 1998.

저자소개



김 태 운 (Kim, Tae-woon)

2011년 1월 : 서울시립대학교 교통공학과 공학석사(교통운영전공)

2011년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT 융합연구소 석사후연구원

e-mail : climb@kict.re.kr



오 주 삼 (Oh, Ju-Sam)

1998년 : 중앙대학교 공학박사(교통공학전공)

1999년 11월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT 융합연구소 연구위원

e-mail : jusam@kict.re.kr