

□ 論 文 □

高速道路 工事區間에서의 車種別 乘用車換算係數

Passenger Car Equivalentents of Various Vehicle Types on Expressway Work Zones

姜 承 圭

(啓明大學校 都市工學科 副教授)

目 次

I. 序論	III. 車種別 車頭時間 資料
1.1 研究의 目的	3.1 資料蒐集의 範圍와 方法
1.2 研究의 範圍	3.2 資料蒐集結果
1.3 研究背景 및 文獻調査	IV. 車種別 乘用車換算係數의 算定
II. 乘用車換算係數	4.1 乘用車換算係數 算定方法
2.1 定義 및 理論式	4.2 乘用車換算係數의 適用
2.2 車頭時間에 의한 簡便式	V. 結論
2.3 車頭時間에 의한 精密式	參考文獻

요 약

The objective of this paper is to estimate the PCE(Passenger Car Equivalentents) of various vehicle types on expressway work zones. Headway samples of 5,359 vehicles were collected in 6 work zones on the Kyungbu Expressway between September and November of 1995. Average headways of 8 vehicle types based on the vehicle classification method of the Department of Construction and Transportation were calculated. A statistical test of effects of the types of the preceding vehicles were performed for the average headways between a vehicle type preceded by other vehicle types. The results show that the effects of the type of preceding vehicles are significant (exceeded 5% and 10% significance levels) and the PCEs of heavy vehicles on expressway work zones are higher than that of basic expressway section. Therefore, different adjustment factors should be applied for heavy vehicles in estimating saturation flow rates of expressway work zones. The study also derives an equation to determine PCEs of these vehicle types.

* 본 연구는 한국과학재단의 '95 핵심전문연구의 연구비지원에 의하여 수행되었음.

I. 序論

1.1 研究의 目的

도로는 반복되는 피로와 과적차량의 하중, 열악한 기후 등으로 구조가 약해지고 시공불량 및 부적절한 유지관리로 잦은 보수공수를 필요로 한다. 이러한 도로보수공사는 도로의 연장이 증가하고, 포장율이 높을수록 보수공사의 횡수와 공사구간의 延長이 증가되어 고속도로 등 교통량이 많고 주행속도가 높은 도로에서는 교통사고의 위험 뿐만 아니라 심한 교통정체로 인하여 막대한 경제적 손실을 입고 있으므로 공사구간에서 효율적인 안전대책과 체계적인 교통운영관리가 필요하다.

교통량이 많은 고속도로에서 체계적인 교통운영관리를 위하여 공사구간의 정확한 교통용량의 산정이 필요하다. 현재 고속도로 공사구간의 교통용량은 중차량구성비에 따른 공사구간 보정계수를 적용하여 결정하거나, 작업요원의 경험에 의하여 결정되고 있는 실정이다. 따라서, 공사계획시 공사구간의 예상통과교통량을 산정하여 공사로 인한 영향을 최소화하는 것이 필요하며 그 결과에 따라 공사기간과 공사시간대를 결정해야 한다. 공사구간의 교통용량을 산정하기 위하여 해당구간의 차종별 교통량과 구성비가 필요하며 이에 따른 승용차환산계수가 필요하다.

승용차환산계수는 특정차종의 평균차두시간을 승용차의 평균차두시간의 비율로 표시되는 간편식과 선행차량과 추종차량간의 차두시간이 차종별로 차이가 있는 점을 고려하여 유도된 정밀식으로 구분된다. 하지만 정밀식의 경우라도 차종을 승용차, 버스, 트럭의 3종으로만 구분하기 때문에 같은 트럭으로 구분되더라도 소형 트럭과 대형트럭이나 트레일러 등의 차두시간

이 차이가 많음을 감안할 때 차종을 보다 세분하여 다양한 차종별로 승용차환산계수를 적용할 필요성이 있다. 또한, 공사구간에서의 차량별 운행특성과 운전자의 특성을 감안할 때 공사구간의 운행경험이 횡수가 크게 좌우할 것으로 판단되므로 운행횟수가 잦은 버스와 트럭의 차간거리는 기본구간 보다는 짧은 반면 공사구간에서 저속운행으로 인한 긴 차체의 통과시간은 클 것으로 판단되어 기본구간의 승용차환산계수를 적용한 공사구간의 용량산정방법과는 차이가 있을 수 있다. 공사구간에서의 버스와 트럭의 승용차환산계수는 아직 제시된 바 없으며 고속도로 기본구간의 승용차환산계수를 적용하여 보정하는데 지나지 않고 있어 공사구간의 정확한 용량을 산정할 수 없을 것으로 판단된다.

또한, 동일한 차종이라도 선행차량의 차종에 따라 뒤따르는 차종에 대한 차두시간의 통계학적인 동일성 여부의 검정이 필요하다고 판단된다. 만약 선행차량의 차종에 따라 동일한 추종차량의 차두시간의 차이가 통계적 유의수준을 초과한다면 세분된 차종에 따른 정밀식을 유도하여 승용차환산계수가 산정되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 공사구간에서 차종별로 차두시간을 측정하여 승용차환산계수가 기본구간과 차이가 있는 지를 검토하고, 선행차종에 따른 추종차량 차두시간의 동일성여부를 검정하며, 그 결과에 따라 차종별 차두시간에 의한 승용차환산계수를 산정하는 방법과 고속도로 공사구간에서의 세분된 차종별 승용차환산계수를 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 研究의 範圍

본 연구는 우리나라 고속도로의 90% 이상을 차지하고 있는 4차선 고속도로의 공사구간에

한하며, 편도 2차선 도로 중에서 추월선이나 주행선을 차단하여 한 차선으로만 차량을 통행시켜 공사구간의 용량을 초과하여 대기행렬이 발생하는 경우에만 자료를 수집하였다. 이는 교통량이 많은 4차선 고속도로의 공사계획시 공사로 인한 교통용량을 추정하고 대기행렬이 예상보다 길거나 극심한 지체가 예상되는 경우 적극적인 교통운영관리방안을 수립할 수 있는 기초자료를 확보하기 위함이다. 고속도로에서 보수공사를 할 경우, 공사기간이 긴 경우에는 우회로를 설치하여 편도 2차선을 확보하고 있어 공사로 인한 대기행렬이 거의 발생하지 않으나, 추월선이나 주행선 중 한 차선을 차단하는 단기공사는 교통량이 많은 고속도로에서는 교통량이 비교적 적은 낮시간대에도 긴 대기행렬이 발생하게 된다. 자료수집범위는 연구자가 위치한 대구를 중심으로 고속도로상에서 1시간 이내에 위치한 공사구간만을 수집하였다. 이는 공사구간의 자료수집시 이동과 대기행렬로 인한 지체로 자료수집시간이 많이 소요되기 때문이다.

1.3 研究背景 및 文獻調査

MUTCD[1]에 단기공사는 공사기간이 1시간부터 12시간까지 소요되는 공사로 정의되어 있다. 고속도로에서 추월선이나 주행선 중 한 차선에서 보수하는 단기공사를 할 경우, 공사계획시 차량정체를 최소화하기 위하여 교통량이 비교적 적은 낮시간대에 공사시간대를 계획하거나, 차량정체가 매우 심각할 우려가 있는 공사의 경우에는 밤시간대를 이용하여 공사를 계획하여 시행하고 있다. 교통량이 적다고 판단되는 낮시간대에 공사를 진행하다가 대기행렬이 길게 형성되면, 공사의 내용에 따라 교통정체를 일시적으로 해소하기 위하여 차단된 차선을 한

정된 시간동안 개방하기도 한다. 즉, 공사시작 전에는 정확한 대기행렬이나 지체의 예측을 하지 않고, 일단 공사진행 중에 차단차선의 개방 여부를 결정하게 된다. 경부고속도로와 같이 교통량이 많은 고속도로에서는 통행하는 운전자 역시 잦은 보수공사와 교통사고로 대기행렬이 형성되더라도 큰 관심을 갖지 않을 정도로 정체에 만연이 되어 있다. 하지만 그로 인한 경제적 손실은 엄청난 것이다. 따라서 공사구간에서 차종별 교통량과 구성비를 예측하여 정확한 교통용량산정을 한 다음 그에 상응하는 적극적인 교통운영관리체계가 이루어져야 한다.

현재까지 교통용량을 산정하기 위한 차종분류는 승용차, 버스, 트럭 등 3종으로 분류하거나 세미트레일러까지 4종으로 분류하여 각각 승용차환산계수를 적용하게 된다. 하지만 차량은 수요자의 요구를 충족시키기 위하여 특성에 맞게 다양하게 성능과 구조가 변하고 있어 도로의 기하구조에 따라 교통류에 미치는 영향이 다르게 된다. 또한 교통류에서 추종차량의 차두시간은 선행차량의 종류에 따라 다를 수 있으므로 동일한 차종에 대하여 선행차량이 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 즉, 승용차의 경우 선행차량이 승용차 또는 대형트럭이라면 뒤따르는 승용차의 후미차두시간은 같지 않을 것으로 판단된다.

한국건설기술원의 「도로교통 운영개선 실무서」[6]에서 제시하고 있는 편도 2차선 고속도로에서 한 차선으로 통행시키는 공사구간에서 개략적인 교통용량은 1,700 대/시로 산정하고 있다. 이는 공사구간이 평지부이고 트럭과 버스의 구성비가 각각 15%와 5%인 것을 가정하고 있으며, 길어깨폭은 3.25m, 측방여유폭은 확보되지 않은 것으로 가정한 것이다. 또한 고속도로에서 공사구간 자체가 도로용량편람 분석과정에 포함된 요인들과 차선폭 감소에 미치는 영향 외

에 차선당 용량에 부가의 영향을 미치며 차선당 교통용량은 <식 1>과 같다고 보고하였다. 공사구간 보정계수는 중차량구성비를 이용하여 중차량 보정계수를 구한 다음 그 값에 따른 선형식으로 산정한다.

$$C_{wz} = 2,200 \times f_w \times f_{hv} + f_{wz} \text{ (대/시/차선)} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

여기서,

$$\begin{aligned} C_{wz} &= \text{고속도로 공사구간의 교통용량} \\ f_w &= \text{차선폭 및 측방여유폭 보정계수} \\ f_{hv} &= \text{중차량 보정계수} \\ f_{wz} &= \text{공사구간 보정계수} \end{aligned}$$

미국의 HCM[2]에서는 Texas의 8개 고속도로 공사구간에서 측정된 자료에 의하면 편도 2차선에서 한 차선이 차단된 공사구간의 평균 교통용량은 1,340vph이고 범위는 공사내용에 따라 1,100~1,500vph로 조사되었다고 보고하였다. Krammes[3] 등은 고속도로 공사구간의 교통용량은 <식 2>와 같이 추정된다고 보고하였다. <식 2>에서 공사유형에 따른 보정계수(I)의 범위는 -160부터 +160 pcphpl이며 공사의 종류, 작업인부 및 차량수, 공사위치 등에 의해 좌우되고, 연결로의 위치에 따른 보정계수(R)는 공사구간의 시점으로부터 하류부로 500ft 내에 있는 연결로의 평균교통량 또는 주행차선 교통용량의 1/2로 계산할 수 있다. 중차량 보정계수는 기존 HCM의 방법대로 적용한다고 보고하였다.

$$c = (1,600 \text{ pcphpl} + I - R) \times H \times N \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

여기서,

$$\begin{aligned} c &= \text{공사구간의 교통용량 (vph)} \\ I &= \text{공사유형에 따른 보정계수 (pcphpl)} \end{aligned}$$

R = 연결로의 위치에 따른 보정계수 (pcphpl)

H = 중차량 보정계수 (veh/passenger car)

N = 공사구간내의 주행차선수

우리나라의 공사구간에서의 교통용량은 공사구간의 특성을 반영한 승용차환산계수를 적용하여 중차량보정계수를 적용하는 것이 아니라 경험에 의한 교통용량의 증감량을 산정하고 있다. 우리나라 고속도로, 특히 경부고속도로의 특성은 교통량이 많을 뿐만 아니라 중차량구성비가 높고 중차량의 종류가 다양하다는 것이다. 따라서 공사구간의 정확한 용량산정을 위하여 세분된 차종별 승용차환산계수가 필요하고, 선행차종과 추종차량의 조합에 따른 차두시간의 동일성 여부를 검토해야 되며, 그 결과에 따라 승용차환산계수를 정확히 적용해야 한다.

II. 乘用車換算係數

2.1 定義 및 理論式

교통류에 重車輛이 유입되면 통과교통량과 통행속도를 동시에 저하시키므로 전체 교통류 서비스수준은 낮아진다. 이러한 영향의 크기는 차량구성에 따라서 복잡하게 변하는데 우리나라는 운행차량 중 중차량구성비가 크기 때문에 정확한 차량별 승용차환산계수의 적용이 필요하다. 승용차환산계수(Passenger Car Equivalent) 개념은 1994년판 HCM[2]에서 “주어진 도로, 교통 및 통제조건하에서 重車輛 한 대가 도로공간을 점유하는 비율을 승용차대수로 나타낼 수”라고 정의되었다.

중차량이 교통류에 미치는 영향을 파악하기 위하여 승용차환산계수 이론식이 개발되었으며

대표적인 이론식으로는 ① 교통량 대 용량비에 의한 방법, ② 교통량, 평균속도, 밀도 상호관계에 의한 방법, ③ 차두시간에 의한 방법 등이 있으며 중차량이 포함된 교통류에서 발생하는 교통류특성을 중차량의 영향으로 환산하게 된다. 이들 방법 중에서 우리나라 고속도로 용량편람[4,5]에 적용된 차두시간에 의한 방법은 차종을 ① 승용차 (승용차, 소형버스), ② 버스 (대형버스), ③ 트럭 (소형트럭, 대형트럭), ④ 특수차 (트레일러)의 4종으로 분류하였으며, 이 중 특수차는 구성비가 작아 트럭에 포함시키고 있다. 그리고 승용차환산계수를 환산하는 방법은 간편식과 정밀식으로 구분된다.

2.2 車頭時間에 의한 簡便式

혼합교통류에서의 승용차환산계수(E)는 <식 3>과 같이 승용차만으로 구성된 교통류에서 단위시간을 차두시간으로 나눈 통과교통량을, 혼합교통류의 통과교통량으로 나눈 값을 적용하고 있으며, 이는 혼합교통류의 평균차두시간을 기본교통류(승용차)의 평균차두시간으로 나눈 값과 동일하다.

$$E = \frac{q_B}{q_M} = \frac{\frac{3600}{H_B}}{\frac{3600}{H_M}} = \frac{H_M}{H_B} \quad \langle \text{식 3} \rangle$$

여기서,

- q_B : 승용차만으로 구성된 교통류의 교통량 (vph)
- q_M : 혼합교통류의 교통량 (vph)
- H_B : 승용차만으로 구성된 교통류의 평균 차두시간 (초)
- H_M : 혼합교통류의 평균차두시간 (초)

또한, 임의의 t 차종의 승용차환산계수는 <식 4>와 같이 계산될 수 있다.

$$E_t = \frac{H_t}{H_p} \quad \langle \text{식 4} \rangle$$

여기서,

- E_t : t 차종의 승용차환산계수
- H_p : 승용차의 평균차두시간 (초)
- H_t : t 차종의 평균차두시간 (초)

2.3 車頭時間에 의한 精密式

추월이 불가능한 1차선 도로에서 차두시간에 의한 승용차환산계수를 계산하기 위한 정밀식은 선행차와 추종차량간의 차두시간이 차종별로 차이가 있다는 점을 감안한 것으로서 차종을 승용차, 버스, 트럭의 3가지로 구분하여 <식 5>와 같이 버스와 트럭의 승용차환산계수를 적용한다.

$$\begin{aligned} E_B &= 1 + P_P (\Delta_{BP} + \Delta_{PB}) \\ &\quad + P_T \Delta_{TB} + P_B \Delta_{BB} \\ E_T &= 1 + P_P (\Delta_{TP} + \Delta_{PT}) \\ &\quad + P_B \Delta_{BT} + P_T \Delta_{TT} \end{aligned} \quad \langle \text{식 5} \rangle$$

여기서,

- E_B : 버스의 승용차환산계수
- E_T : 트럭의 승용차환산계수
- P_P : 교통류중 승용차 구성비
- P_B : 교통류중 버스의 구성비
- P_T : 교통류중 트럭의 구성비

또한, <식 5>에서 Δ 의 정의는 <식 6>과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta_{BP} &= \frac{H_{BP}}{H_{PP}} - 1, \quad \Delta_{PB} = \frac{H_{PB}}{H_{PP}} - 1, \\ \Delta_{TB} &= \frac{H_{TB}}{H_{PP}} - 1, \quad \Delta_{BB} = \frac{H_{BB}}{H_{PP}} - 1 \\ \Delta_{TP} &= \frac{H_{TP}}{H_{PP}} - 1, \quad \Delta_{PT} = \frac{H_{PT}}{H_{PP}} - 1, \quad \langle \text{식 6} \rangle \\ \Delta_{BT} &= \frac{H_{BT}}{H_{PP}} - 1, \quad \Delta_{TT} = \frac{H_{TT}}{H_{PP}} - 1 \end{aligned}$$

여기서,

H_{BP} : 버스(B)-승용차(P)의 평균차두시간 (초)

H_{PT} : 승용차(P)-트럭(T)의 평균차두시간 (초) 등

서비스수준 D와 E의 교통류상태를 중심으로 분석한 결과로서 우리나라 도로용량편람 보고서에서는 고속도로 기본구간에서 간편식과 정밀식에 의한 버스과 트럭의 승용차환산계수는 <표 1>과 같이 산정되었다. 또한 우리나라의 승용차환산계수는 <표 2>에 표시된 바와 같이 다른 나라 보다 다소 낮게 정해져 있다. 이는 우리나라 중차량의 차간간격이 다른 나라 보다 현저히 적은 것을 반영하고 있다.

<표 1> 평균승용차환산계수

차종	간편식	정밀식
버스	1.24	1.302
트럭	1.54	1.435

<표 2> 각국의 승용차환산계수 비교

차종	한국	미국	일본	대만
버스	1.3	1.5	2.0	1.7-1.9
트럭	1.5	1.7	2.0	2.21-3.05

III. 車種別 車頭時間 資料

3.1 資料蒐集의 範圍 및 方法

고속도로 공사구간에서 승용차환산계수를 산정하기 위하여 공사로 인하여 <표 3>과 같이 추월선 또는 주행선의 1개차선으로 운영되고 있는 경부고속도로의 공사구간 6개소에서 95년 9월부터 11월까지 3개월간 대구와 경북 일원에서 자료를 수집하였다. 자료의 일관성을 유지하기 위하여 노면이 건조하고 공사구간 후방에 대기행렬이 발생하여 교통용량이 포화상태를 초과한 상황에서만 차두시간자료를 수집하였다. 이는 교통량이 많은 고속도로의 공사시 교통용량을 산정하기 위기 위함이다. 자료수집에 앞서 합류형태를 관찰한 결과, 라바콘이 설치되어 있어도 유도요원이 수시로 이동하였고, 그의 위치에 따라 합류지점이 상·하류부로 수시로 이동하였다. 따라서, 가능한 한 합류직후에 자료를 수집하려고 노력하였으며, 공사현장마다 다소 차이는 있으나, 자료수집을 위하여 비데오카메라를 설치한 위치는 <그림 1>과 같이 2개차선이 합류된 지점에서 대략 10m 정도 떨어진 지점("C"지점)에 위치하면 합류점이 다소 이동되거나 소형차량간의 합류상충이 발생하더라도 안정적인 합류직후의 차두시간 측정이 가능하였다. 조사위치를 합류직후로 선정한 이유는 미국에서 공사구간의 용량산정을 위한 차두시간은 합류직후에 수집하였으며 유사한 연구[3]와 측정위치의 일관성을 유지하기 위함이고, 차량들이 합류직후·가속직전이라 차두시간이 최소가 되어 대기행렬이 발생한 상태에서의 용량추정이 가능하기 때문이다. 그림과 같은 합류지점에서의 자료수집방법은 우리나라와 같이 고속도로의 교통량이 많은 상황에서는 합류시 상충으로 인한 속도저하로 임계속도라고는 판단할 수

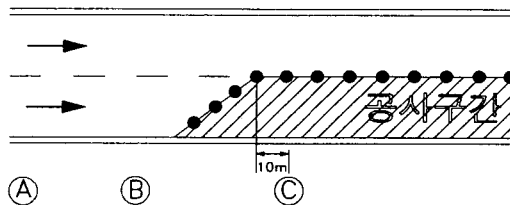
없다.

조사지점의 종단구배는 합류지점으로부터 측정지점까지의 표고차를 수평거리로 나눈 값이다. 또한, 유도요원의 위치에 따라 차두시간의 분포가 다르게 나타났는데, 유도요원의 위치가 "A"지점과 같이 합류지점으로부터 멀리 떨어진 위치에서 2개 차선의 차량을 한 차선으로 합류시키면 측정위치에서 교통류의 차두시간의 분포가 비교적 고르게 나타나는 반면, 합류지점 직전인 "B"위치에서 유도하는 경우에는 합류시 차량간 합류상충으로 인하여 차두시간의 분포

가 다소 크게 나타났다. 유도요원의 위치는 공사구간 마다 다르게 배치되었으며, 일단 배치된 유도요원은 한 지점에서 교통을 통제하지 않고 수시로 이동하였다. 차종분류는 건설교통부의 교통량조사를 위한 차종분류방법으로 <표 4>와 같이 승용차, 소형버스, 소형트럭, 대형버스, 중형트럭, 대형트럭, 세미트레일러, 풀트레일러 및 기타의 9종으로 분류하였으나, 기타로 분류될 수 있는 차량의 길이와 속도가 일정하지 않고 차량수도 극히 적어 본 연구에서는 기타차종을 제외한 8종으로 분류하였다.

<표 3> 조사대상 공사구간 사항

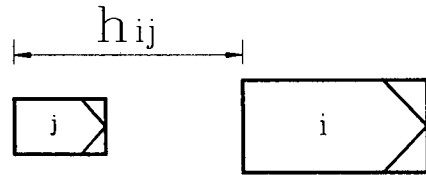
조사일시 및 요일	95.9.22 (금)	95.9.22 (금)	95.10.9 (월)	95.10.18 (수)	95.11.8 (수)	95.11.30 (목)
조사시간 (분)	11:18 ~ 12:18 (60)	13:24 ~ 14:24 (60)	9:57 ~ 10:17 (20)	15:05 ~ 16:05 (60)	16:00 ~ 16:15 (15)	10:35 ~ 10:55 (20)
조사위치 및 방향	273k 하행	196k 상행	321.5k 하행	320.5k 하행	268k 하행	272.9k 상행
종단구배	+1.5%	+5%	+1%	-2%	+2%	-1.5%
공사개요	교량이음부 공사	주행선 Patching	길어깨 포장공사	Overpass 강판교체	길어깨 배수로공사	주행선 Patching
대기행렬길이 표본수 (veh)	2 km 1481	1 km 1218	0.5 km 491	4~5 km 1316	5 km 이상 351	2 km 502
중차량 구성비	36.5%	20.3%	35.4%	41.9%	25.6%	36.5%



<그림 1> 공사구간 유도요원 위치(A,B), 측정위치(C)

조사시간은 60분 조사를 원칙으로 하였으나, 조사중 공사를 중단하고 2차선 모두 통행시키거나, 대기행렬이 너무 길어 작업을 중단하는 경우도 발생하였다. 그러나 다행히도 안정적인 교통류상황이라고 판단할 수 있는 15분 이상은 조사할 수 있었다. 공사구간내에서 차량흐름의 수직방향으로 비디오카메라를 설치하고 비디오 디스플레이어의 카운터를 이용하여 1/30초 간격으로 <그림 2>와 같이 후미차두시간을 측정하였다. 선두차두시간 대신 후미차두시간을 적용한 이유는 차종별 승용차환산계수를 산정하는데

있어 대형차를 뒤따르는 소형차는 대형차의 통과로 인하여 추가적인 차두시간이 포함되는 것을 배제하기 위함이다.



<그림 2> 차종별 후미차두시간

<표 4> 본 연구를 위한 차종분류

차종	분류기준		중량대 마력비 (평균값)
	차축형태	내용	
승용차	2축4륜	승용목적으로 제작된 차량으로 6인승 이하	33 lb/hp
소형버스	2축4륜 2축6륜	승객수승목적으로 제작된 승합자동차. 16인승 이하	67 lb/hp
소형트럭	2축4륜 2축6륜	화물수송목적으로 제작된 차량 적재중량 1톤 이하	68 lb/hp
대형버스	2축6륜	승객수승목적으로 제작된 승합자동차. 17인승 이상	122 lb/hp
중형트럭	2축6륜	화물수송목적으로 제작된 차량. 적재중량 1톤 이상 8톤 미만	126 lb/hp
대형트럭	3축10륜	화물수송목적으로 제작된 차량. 적재중량 8톤 이상	165 lb/hp
세미트레일러	4축, 5축	2개의 차체로 하나는 견인차. 하나는 트레일러로 구성	312 lb/hp
풀트레일러	5축이상	2개의 차체로 하나는 견인차. 하나는 바퀴를 통해 하중이 도로에 직접 전달하는 차량	258 lb/hp
기타		군용차, 중장비 등 위의 8종으로 분류될 수 없는 차량	-

3.2 資料蒐集結果

조사된 자료의 차종별 중단구배별 평균차두시간과 표준편차는 <표 5>와 같고, 8종의 차종을 일반적인 소형차량과 중차량의 구분방법으로 후미평균차두시간을 측정된 값과 8종의 차종에 대한 차두시간을 제시하였다. 중단구배로 인한 차량속도에 영향을 거의 받지 않는 평지부(+2%까지)에서 일반적으로 소형차로 분류될 수 있는 승용차, 소형버스, 소형트럭에 대한 평

균후미차두시간은 2.09초, 소형차를 제외한 5종의 重車輛의 평균후미차두시간은 3.34초로 조사되었다. 또한, 승용차의 평균후미차두시간은 2.07초로서, 차두시간에 의한 重車輛 1대의 승용차환산계수는 대략적으로 1.6에 해당되었다. +5% 중단구배부에서의 수집한 자료는 1개소에서만 수집하여 특정구배부에서의 승용차환산계수로 산정하기에는 자료가 부족하여 본 연구에서는 분석대상에서 제외시켰다.

〈표 5〉 종단구배별 차종별 평균차두거리, 표준편차 및 표본수

차량구분		종단구배					평균
		-2%	-1.5%	+1%	+1.5%	+2%	
소형차량	승용차	1.94±0.59 (706)	2.02±0.88 (297)	2.02±0.61 (217)	2.17±0.60 (564)	2.34±0.67 (194)	2.07±0.67 (1978)
	소형버스	1.99±0.55 (78)	2.09±0.91 (36)	1.97±0.60 (34)	2.09±0.64 (82)	2.47±0.83 (29)	2.09±0.69 (259)
	소형트럭	2.24±0.85 (156)	2.34±1.39 (67)	2.01±0.71 (66)	2.08±0.58 (118)	2.48±0.76 (38)	2.20±0.88 (445)
	소계	1.99±0.65 (940)	2.08±0.99 (400)	2.02±0.63 (317)	2.15±0.60 (764)	2.37±0.70 (261)	2.09±0.71 (2682)
중차량	대형버스	3.36±1.01 (95)	3.12±2.04 (27)	3.35±0.59 (27)	3.91±0.98 (79)	3.29±0.79 (15)	3.51±1.14 (243)
	중형트럭	2.73±0.95 (201)	3.45±1.80 (48)	2.64±0.82 (66)	2.78±0.68 (228)	2.87±1.11 (41)	2.81±0.98 (584)
	대형트럭	3.04±1.01 (102)	3.76±1.72 (15)	3.43±1.66 (49)	3.64±0.86 (103)	3.24±1.52 (18)	3.37±1.20 (287)
	세미트레일러	3.70±1.13 (122)	5.12±2.44 (11)	3.82±1.03 (22)	4.49±1.21 (123)	3.20±0.71 (13)	4.08±1.29 (291)
	풀트레일러	4.04±1.09 (21)	2.20 (1)	4.47±1.10 (10)	4.78±0.75 (19)	3.62±0.53 (3)	4.32±1.04 (54)
	소계	3.17±1.10 (541)	3.58±1.98 (102)	3.23±1.24 (174)	3.55±1.15 (552)	3.08±1.10 (90)	3.34±1.23 (1459)

* 괄호안은 측정차량수

IV. 車種別 乘用車換算係數의 算定

4.1 乘用車換算係數 算定方法

측정된 차종별 차두시간이용하여 고속도로 공사구간에서 〈식 4〉의 간편식에 의한 승용차환

산계수는 〈표 6〉과 같다. 평지부에서 〈표 1〉과 같이 제시된 중차량(버스, 트럭)의 승용차환산계수(1.24, 1.54)와 비교할 때, 공사구간에서 버스의 승용차환산계수는 1.70으로 조사되었고, 트럭의 환산계수는 중형트럭만 1.54 보다 적고 나머지 트럭은 1.54 보다 큰 것으로 조사되었다.

〈표 6〉 간편식에 의한 승용차환산계수

차종분류	PCE
소형버스 (2)	1.010
소형트럭 (3)	1.063
대형버스 (4)	1.696
중형트럭 (5)	1.357
대형트럭 (6)	1.628
세미트레일러 (7)	1.971
풀트레일러 (8)	2.087

* 번호는 차종을 의미

선행차량이 추종차량의 차두시간에 영향을 미치는 지를 확인하기 위하여 각 차종에 대하여 선행차종별 평균차두시간의 동일성에 대한 검정을 실시하였다. 각 선행차량과 추종차량의 동일성검정은 각 추종차량에 대하여 선행차량 중 가장 표본수가 많은 승용차를 기준으로 다른 그룹을 비교하였다. 즉, 선행차량이 승용차인 경우와 타차종일 경우 각 추종차량의 차두시간이 같다고 가정하였을 때, 선행차량에 따라서

추종차량의 차두시간이 영향을 받는 경우가 많은 것으로 분석되었다. 통계적 유의수준 5% ($Z_{\alpha}=0.05=1.96$)와 10% ($Z_{\alpha}=0.1=1.645$)를 감안하였을 때, 선행차에 따라서 추종차량의 차두시간이 <표 7>과 같이 많은 그룹의 Z값이 1.96 또는 1.645를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 간편식 보다는 정밀식을 이용한 승용차환산계수의 산정이 필요하다고 판단하였다.

<표 7> 선행차량에 대한 추종차량의 차두시간의 Z값
(* : 5%, # : 10% 유의수준)

추종 \ 선행	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0.38	0.45	2.72*	1.88*	0.55	1.10	1.80*	-
3	0.78	1.67*	1.25	0.09	0.83	0.60	0.08	0.16
4	0.28	1.36	1.14	1.36	0.45	1.33	0.63	1.74*
5	1.23	1.68*	0.02	2.86*	0.44	0.04	0.57	0.85
6	2.64*	2.68*	1.11	3.19*	0.58	1.28	0.85	-
7	3.18*	2.97*	0.90	2.72*	1.84*	0.13	0.10	1.56
8	1.04	0.83	1.19	1.19	0.14	0.50	0.11	0.64

* 1) 승용차, 2) 소형버스, 3) 소형트럭, 4) 대형버스, 5) 중형트럭, 6) 대형트럭 7) 세미트레일러, 8) 풀트레일러

추종차량이 소형차량과 대형버스인 경우, 선행차량이 重車輛이면 차두시간이 긴 그룹이 많은 것으로 나타났다. 특히 추종차량이 승용차인 경우, 선행차량의 차종에 따라 차두시간의 차이가 많은 것으로 분석되었다. 따라서, 승용차환산계수 적용시 선행차량과 추종차량의 상호관계를 반영한 정밀식으로 산정하되, 정밀식을 기존 방법대로 버스와 트럭으로만 분류하는 것이 아니라 보다 세분하여 차종을 기타차종을 제외하고 승용차(1), 소형버스(2), 소형트럭(3), 대형버스(4), 중형트럭(5), 대형트럭(6), 세미트레일러(7), 풀트레일러(8) 등 8종으로 분류하였다. 이를 기초로 차량군에서 차종배열의 차두시간을 측정하여 승용차를 제외한 나머지 7가지 차종

에 대한 승용차환산계수를 산정하였다. 8종의 선행차와 8종의 추종차 별로 차두시간을 측정할 경우 선행차와 추종차의 종류에 따라 가능한 조합은 64항(8종×8종)이 된다. 혼합교통류와 승용차로만 구성된 기본교통류에서 교통량과 차두시간의 관계식은 이미 제시된 <식 3>에서 8가지 차종으로 세분하면 <식 7>과 같이 정의될 수 있다.

$$\frac{q_B}{q_M} = \frac{H_M}{H_B} = \frac{P_1^2 H_{11} + P_1 P_2 H_{12} + \dots + P_8 P_7 H_{87} + P_8^2 H_{88}}{H_{11}}$$

<식 7>

여기서,

H_B, H_{11} : 기본교통류(승용차-승용차)의 평균차두시간 (초)

$P_1 \sim P_8$: 8가지 차종별 구성비율

H_{ij} : i차량-j차량배열의 평균차두시간 (초)

또한 <식 7>에서 기본교통류(승용차-승용차)의 차두시간에 대한 각 차종배열의 상대적인 비율차는 <식 8>과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta_{12} &= \frac{H_{12}}{H_{11}} - 1, \Delta_{13} = \frac{H_{13}}{H_{11}} - 1, \dots, \Delta_{18} = \frac{H_{18}}{H_{11}} - 1 \\ \Delta_{21} &= \frac{H_{21}}{H_{11}} - 1, \Delta_{22} = \frac{H_{22}}{H_{11}} - 1, \dots, \Delta_{28} = \frac{H_{28}}{H_{11}} - 1 \\ &\vdots \\ \Delta_{81} &= \frac{H_{81}}{H_{11}} - 1, \Delta_{82} = \frac{H_{82}}{H_{11}} - 1, \dots, \Delta_{88} = \frac{H_{88}}{H_{11}} - 1 \end{aligned}$$

<식 8>

<식 8>을 이용하여 기존 정밀식과 같은 방법으로 다시 정리하면 <식 9>와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{q_B}{q_M} &= P_1 + P_2[1 + P_1(\Delta_{12} + \Delta_{21}) + P_2\Delta_{22} + \dots + P_8\Delta_{82}] \\ &\quad + P_3[1 + P_1(\Delta_{13} + \Delta_{31}) + P_2\Delta_{23} + \dots + P_8\Delta_{83}] \\ &\quad \vdots \\ &\quad + P_8[1 + P_1(\Delta_{18} + \Delta_{81}) + P_2\Delta_{28} + \dots + P_8\Delta_{88}] \end{aligned}$$

<식 9>

여기에서, 다음 <식 10>에서 유도된 <식 11>과 <식 9>를 비교하면 승용차를 제외한 7가지 차종의 승용차환산계수는 <식 12>와 같다.

$$E_{HV} = \frac{E_T P_T + E_B P_B}{P_{HV}} = \frac{1}{P_{HV}} \left(\frac{q_B}{q_M} - 1 \right) + 1 \tag{식 10}$$

$$\frac{q_B}{q_M} = P_P + P_B E_B + P_T E_T$$

(승용차, 버스, 트럭으로 구분시)

$$\frac{q_B}{q_M} = P_1 + P_2 E_2 + P_3 E_3 + \dots + P_8 E_8$$

(8가지 차종으로 분류시)

$$\begin{aligned} E_2 &= 1 + P_1(\Delta_{12} + \Delta_{21}) + P_2\Delta_{22} + P_3\Delta_{32} + \dots + P_8\Delta_{82} \\ E_3 &= 1 + P_1(\Delta_{13} + \Delta_{31}) + P_2\Delta_{23} + P_3\Delta_{33} + \dots + P_8\Delta_{83} \\ &\vdots \\ E_8 &= 1 + P_1(\Delta_{18} + \Delta_{81}) + P_2\Delta_{28} + P_3\Delta_{38} + \dots + P_8\Delta_{88} \end{aligned}$$

<식 12>

<식 12>를 행렬식으로 표현하면 <식 13>이 되고 간단히 표현하면 <식 14>와 같으며 Δ 행렬의 행은 선행차량, 열은 추종차량의 기본교통류(승용차-승용차)의 차두시간에 대한 각 차종배열의 상대적인 비율차가 된다.

$$\begin{bmatrix} E_2 \\ E_3 \\ \vdots \\ E_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta_{12} & \Delta_{13} & \Delta_{14} & \dots & \Delta_{17} & \Delta_{18} \\ \Delta_{22} & \Delta_{23} & \Delta_{24} & \dots & \Delta_{27} & \Delta_{28} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \Delta_{82} & \Delta_{83} & \Delta_{84} & \dots & \Delta_{87} & \Delta_{88} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_8 \end{bmatrix} + P_1 \begin{bmatrix} \Delta_{21} \\ \Delta_{31} \\ \vdots \\ \Delta_{81} \end{bmatrix}$$

<식 13>

$$\vec{E} = 1 + \Delta^T \vec{P} + P_1 \vec{\Delta}_{11} \tag{식 14}$$

4.2 乘用車換算係數의 適用

정밀식인 <식 14>를 이용하여 수집된 64가지 차종배열의 구배별 차종별 승용차환산계수와 간편식에 의한 비교는 <표 8>과 같다. 소형버스와 소형트럭은 평지부에서 1.0으로 나타났고, 중차량의 승용차환산계수는 대형버스가 1.9, 중형트럭은 1.4, 대형트럭은 1.8, 세미트레일러와 폴

트레일러는 2.1로 나타났다. 이는 고속도로 기본구간에서 적용하고 있는 버스와 트럭의 승용차환산계수 1.3과 1.5 보다 훨씬 높은 것으로 조사되었다. 따라서 고속도로 공사계획전에 산출된 승용차환산계수와 예상되는 차량별 구성비를 이용하여 정확한 가용통과교통용량을 산정하고, 가용통과교통용량의 초과가 예상될 경우에는 대안을 강구해야 할 것으로 판단된다.

<표 8> 간편식과 정밀식에 의한 차종별 승용차환산계수

차 량 구 분	간 편 식	정 밀 식	오 차
소형버스	1.010	1.011	0.1%
소형트럭	1.063	1.038	2.4%
대형버스	1.696	1.860	1.2%
중형트럭	1.357	1.399	8.8%
대형트럭	1.628	1.824	6.1%
세미트레일러	1.971	2.094	5.9%
폴트레일러	2.087	2.057	1.5%

V. 結 論

본 연구는 고속도로 공사구간의 교통용량산정을 위한 차종별 승용차환산계수를 산정하였다. 공사구간에서의 차종별 승용차환산계수는 아직 제시된 바 없으며, 고속도로 기본구간에서 적용하고 있는 중차량구성비를 이용하여 공사구간의 교통용량을 보정할 따름이다. 뿐만 아니라 중차량을 단순히 트럭과 버스로만 구분하기 때문에 정확한 교통용량을 산정할 수 없을 것으로 판단되었다. 따라서 차종을 8가지로 세분하였고 선행차종에 따라 추종차종의 평균차두시간이 5%와 10% 통계적 유의수준의 초과여부를 검증하였다. 연구결과로는 선행차종에 따라서 추종차량의 평균차두시간이 통계적 유의수준을 초과하는 것으로 분석되어 정밀식에 의한 차종별 승

용차환산계수를 산정하였다. 또한 8가지 차종의 승용차환산계수를 구할 수 있는 정밀식을 유도하였다. 간편식에 의한 승용차환산계수와 비교하면 정밀식에 의한 승용차환산계수와 차이가 평지부에서는 약 9%까지 차이가 있는 것으로 분석되었다.

고속도로 공사구간에서 8종으로 세분된 차종별 승용차환산계수는 중차량의 승용차환산계수가 평지부에서는 1.4~2.1의 범위로서 우리나라의 도로용량편람에 제시된 평지부 고속도로 기본구간의 값 보다 큰 것으로 분석되었다. 따라서 고속도로 공사계획시 차종별 교통량과 구성비를 예측하고 공사구간을 통과시킬 수 있는 교통용량을 정확히 산정하여 대기행렬이 너무 길다고 판단될 경우 우회로나 임시차로등 대안을 수립해야 한다. 또한, 본 연구에서 산정된 중차

량의 승용차환산계수는 우리나라 도로의 80% 이상을 차지하는 2차선도로에서 추월불가능구간의 승용차환산계수에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 보다 많은 자료를 적용하여 보다 정확한 승용차환산계수를 산출해야 하나, 고속도로 공사특성상 자료수집의 기회가 많지 않아서 차후에 자료를 보완하여야 할 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

- 1) Bissell, H.H., "Revisions to Part VI of the MUTCD and Recent Work Zone Safety Research," ITE Technical Papers 1990-88, 121-128.
- 2) Highway Capacity Manual, Chapter 6 Freeway System, Special Report 209, TRB, 1994.
- 3) Krammes, R.A., and G.O. Lopez, "Updated Capacity Values for Short-Term Freeway Work Zone Lane Closures," TRR 1442, 1995, 49-56.
- 4) "도로용량편람 연구조사 (제2,3단계) 제2단계 최종보고서", 한국건설기술연구원 및 교통개발연구원, 1991년 4월.
- 5) "도로용량편람 연구조사 (제2,3단계) 제3단계 최종보고서", 한국건설기술연구원 및 교통개발연구원, 1992년 10월.
- 6) "도로교통 운영개선 실무서", 한국건설기술연구원, 1993년 10월.