

# 도시고속도로에 있어서 차두시간의 분석에 의한 승용차환산계수 산정

† 윤 향 목\*

\* 동의대학교 도시공학과 교수

## Estimation of Passenger Car Equivalents at Urban Expressway by Microscopic Headway Method

† Hang-Mook Yoon\*

\*Professor, Dept. of Urban Engineering, Donggeui University, Busan 614-010, Korea

**요 약** : 교통의 흐름에 있어서의 트럭 및 콘테이너 차량 등 대형차량의 혼입은 차체의 크기에 기인한 넓은 공간의 점유 및 승용차에 비해 상대적으로 떨어지는 차량운행 능력 등의 특성 때문에 도로의 용량을 감소시키는 중요한 요인이 된다. 도로의 교통용량산정 시 이러한 대형차량의 혼입에 의한 용량의 감소를 나타내는 척도로서의 승용차 환산계수의 개념은 1965년 도로용량편람에서 처음으로 도입되었으며, 이후 구미의 많은 학자들에 의해 연구되었다.

본 연구에서는 차량배열 형태에 따른 차두시간의 분석을 통해 환산계수의 도출을 시도하였다. 분석을 위한 교통자료의 수집은 통행차량 차종의 대부분이 승용차와 대형차로 구성되어 있으며 비교적 관측이 용이한 부산시 도시고속도로의 평지구간에서 침두시간과 비 침두시간으로 나누어 실시되었다. 본 연구에서의 환산계수 산정방법은 차두시간의 분석을 통한 미시적 접근방법인바, 동방법의 정확성 및 효율적 검증을 위해 서는 거시적 접근 방법에 의한 산정방법과의 비교분석이 요구된다.

**핵심용어** : 차두시간, 승용차환산계수, 교통용량, 도로용량편람, 대형차량

**Abstract** : This research addressed the problem of describing how the operating characteristics of passenger car and large vehicle differ qualitatively and quantitatively through the analysis of field survey data. A formulation that estimates passenger car equivalents used in this paper is derived by microscopic headway method. Regression analysis was used to focus on the effect of vehicle type on intervehicular spacings and the modeling technique for the statistical analysis was detailed.

**Key words** : Headway, Passenger car equivalents, Capacity, Highway capacity manual, Large vehicle

## 1. 서 론

최근 들어 우리나라에서는 기존도로의 용량상태에 관한 관심이 고조되어 지고 미국의 도로용량편람을 우리나라의 도로 및 교통상황에 부합되도록 수정 보완하려는 움직임이 활발하게 전개되고 있다. 도로용량을 정확하게 산정하기 위해서는 우선적으로 용량에 영향을 끼치는 요소에 대한 분석과 이의 정량화를 위한 연구가 수행되어야 하는데 이들 중 대표적인 것이 도로의 기하구조 및 대형차의 혼입이 용량결정에 미치는 영향에 관한 부분이다.

그 중에서도 특히 우리나라 고속도로의 경우 대형차량의 혼입이 거의 30~40%에 달하는 등 외국의 경우에 비해 상당히 높게 나타나는 바 이에 대한 연구는 절실한 실정이다. 교통의 흐름에 있어서의 대형차량의 혼입은 차체의 크기에 기인한 넓은 공간의 점유 및 승용차에 비해 상대적으로 떨어지는 차량

운행능력 등의 특성 때문에 도로의 용량을 감소시키는 중요한 요인이 된다. 도로의 교통용량 산정 시 이러한 대형차량의 혼입에 의한 용량의 감소를 나타내는 척도로서의 승용차환산계수(Passenger Car Equivalents, 이하 PCE)의 개념은 1965년 미국의 도로용량편람(HCM : Washington, 1985)에서 처음으로 도입되었으며 이후 구미의 여러 학자들(Cunagin and Messer, 1983 ; Roess and Messer, 1983 ; Huber, 1982)에 의해 많은 연구결과들이 발표되었다. 동 연구결과들은 IFR (Institute for Research)에 의해 수행된 연구결과와 함께 1985년 및 2000년 HCM에 제시되어 있는 PCE 치의 기초가 되었으며 현재 전세계에 걸쳐 용량산정시의 기준자료로서 활용되어지고 있다.

우리나라에서도 최근 들어 한국건설기술연구원(1992) 등의 연구기관이 주축이 되어 이 분야에 관한 많은 연구를 수행하고 있으나 아직 초기적 단계로서 앞으로 전국에 걸친 방대한

† 교신저자 : 윤향목(중신회원), hmyoon@deu.ac.kr, 051) 890-1636

교통현장 자료의 수집을 통해 연구가 확대되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 실정에서 본 연구에서는 도로 형태별로 외국의 우수한 교통학자들에 의해 고안된 PCE 산정을 위한 각종 모델들의 기본가정 및 접근방법에 대한 분석을 통해 모든 도로형태에 공히 적용될 수 있는 PCE 산정에 관한 개념적 기초를 정립하였다. 여기에서 고안된 이론적 토대를 가지고 우리나라의 교통상황에 잘 적용될 수 있는 모형을 개발한 후 도로현장에서 실측한 교통자료들을 대입하여 우리나라의 여건에 부합되는 적정 PCE 치를 제시하였다. 이를 통해 대형차의 혼입에 의한 도로용량의 정확한 산출을 위한 교통실무 작업에 일조함은 물론 추후 관련연구의 활성화에 기여코자 하였다. 본 연구에서는 PCE 산정을 위한 척도로서 운전자가 느끼기에 동일한 밀도를 택하고 구체적인 접근방법으로 승용차만으로 구성된 기본교통류와 대형차량이 혼입된 혼합교통류의 흐름-저항의 관계를 나타내는 일반식을 확대하여 차두시간의 향으로써 적정 PCE 값을 산정코자 하였다. 결국 본 연구에서의 최대 관심사는 혼합교통류의 평균차두시간 값을 어떻게 설정하느냐 하는 문제로 귀착될 수가 있다. 이를 위해 연구자는 혼합교통류의 평균차두시간은 차량배열에 따른 평균차두시간에다 그러한 배열이 조합될 확률을 곱한 값으로 정의하였다. 각 차량배열에 따른 차두시간의 값은 고속도로 현장에서 수집된 많은 자료들을 평균한 값과는 별도로 연행하는 3대의 차량(Triplet)을 차두시간 분석모형으로 설정하였다. 그리고 현장에서 개별적으로 당시의 교통상황을 실측한 후 선행 차량의 차종 및 속도, 통행교통량 등의 독립변수에 의해 결정되어지는 차두시간의 추정에 관한 회귀식을 개발코자 하였다. 또한 도로용량편람에서 제시하는 서비스 수준별 교통조건을 적용하여 교통량의 변화에 따른 PCE 값의 변화추이를 고찰토록 하였다.

## 2. PCE 산정의 기본개념 정립

승용차환산계수(PCE)는 1965년판 HCM에서 '주어진 도로 및 교통조건하에서 교통류내의 트럭이나 버스에 대체될 수 있는 승용차의 수'로 정의되고 있으며 1985년판 HCM에서는 '주어진 도로 및 교통조건하에서의 트럭, 버스, 위탁차량 1대와 같은 비율의 도로용량을 점유하는 승용차의 수'로 정의하고 있다. 일반적으로 PCE값이 존재하게 되는 요인으로는 다음과 같은 요소들을 들 수 있다.

- 대형차의 속도가 소형차보다 느리다.
- 대형차는 가속능력이 떨어진다.
- 대형차는 등판능력이 떨어진다.
- 대형차는 더 큰 정지거리가 필요하다.
- 대형차는 소형차보다 차량길이가 길다.
- 소형차는 대형차를 기피하려 한다.

소형차가 대형차를 기피하려는 심리적 영향의 요인으로는

공기역학적인 장애, 표지판의 막음, 차선이탈, 밑에 깔릴 위험 등의 요인을 들 수가 있겠다. 승용차환산계수는 도로용량 산정 시에 혼합교통을 승용차 교통으로 변환하기 위한 목적으로 주로 이용되며 그 산정방법에 따라 크게 두 가지로 분류해 볼 수가 있는데 한 가지는 도로 이용자 입장에서 보는 것이고 다른 한 가지는 도로시설의 활용도 측면에서 보는 것이다. 일반적으로 후자의 경우 차두시간을 효과적으로 보는 것이 보편적이다. 대형차의 PCE 치를 산정하는 모형을 구성함에 있어 가장 핵심이 되는 원칙은 다음과 같다.

첫째, PCE를 산정하는데 사용하였던 등가의 개념이 정확하게 정립되어야 한다. 즉 산정된 PCE 치를 적용하여 환산한 등가 승용차 교통량(Equivalent PCE Volume)의 흐름은 실제 혼합교통류에 있어서의 차량들의 운행수준과 동일한 수준이 되어야 한다. 바꿔 말하면 승용차만으로 구성된 기본교통류  $q_B$ 에 상응하는 혼합교통류  $q_M$ 은 동일한 LOS(서비스수준)를 갖도록 하여야 한다. 여기서 일반적으로 고속도로 및 도시가로 구간에서 적용할 수 있는 LOS의 판정기준으로 밀도를 산정할 수 있다.

둘째, 주어진 형태의 도로조건하에서 대형차량이 인근의 다른 차량에게 주는 악영향이 정확하게 조사 연구되어야 한다. 보편적으로 대형차의 영향은 차량의 크기, 운행거동, 심리적 영향 등으로 나누어서 고찰할 수가 있는데 이들 영향들의 상대적인 중요성은 도로의 형태별로 달리 나타난다.

셋째, PCE 산정을 위한 일반식은 논리적으로 합당하여야 한다.

승용차만으로 구성된 기본교통류와 대형차량이 혼입된 혼합교통류의 운행거동의 비교는 다음 Fig. 1에서와 같이 흐름-저항(Flow-Impedance)의 관계로 설명할 수 있다.

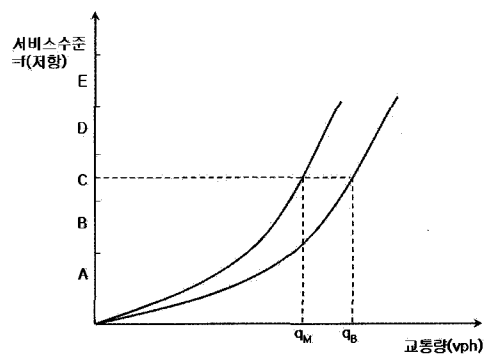


Fig. 1 Flow-Impedance Relationship between basic and Mixed Flow

이 관계는 최초로 Messer, Cunagin 등에 의해 고안된 후 Huber에 의해 더욱 발전되었는데 본 논문은 이를 토대로 하여 연구가 전개 되었다.

그림에서 교통량이 증가할수록 저항계수도 함께 증가하는데 그 증가율은 기본교통류에 비해 혼합교통류에서 훨씬 높게 나타남을 알 수가 있다. 여기서의 저항의 심각정도를 판정하

는 척도가 바로 LOS(Lever of Service)의 판정기준과 동일한 것이라고 간주하여도 무방할 것이다. 동일한 저항계수를 갖는 상용하는 두 개의 흐름  $q_B$ 와  $q_M$ 의 관계는 혼합교통류의 차종을 크게 승용차와 대형차로 구분하는 경우 다음과 같은 식으로 표현할 수가 있다.

$$q_B = (1 - P)q_M + Pq_M(PCE) \quad (1)$$

여기서

$q_B$  = 기본교통류의 교통량

$q_M$  = 혼합교통류의 교통량

$P$  = 혼합교통류에 있어서의 대형차량의 혼입비율

$PCE$  = 대형차의 승용차환산계수

상기식을 다시  $PCE$ 에 관해 정리하면 다음과 같이 된다.

$$PCE = \frac{1}{P} \left[ \frac{q_B}{q_M} - 1 \right] + 1 \quad (2)$$

바로 이 관계식이 다음 절에서 확대 전개될  $PCE$  산정공식의 개발을 위한 기본식이 된다. 그런데 여기서 교통량의 역수를 취하면 차두시간이 되므로 상기식은 다음과 같이 변형된다.

$$PCE = \frac{1}{P} \left[ \frac{hM}{hB} - 1 \right] + 1 \quad (3)$$

### 3. 혼합교통류의 교통특성

#### 3.1 혼합교통류의 밀도-속도 곡선

승용차 통행만으로 구성된 기본교통류와 비교하여 대형차량이 혼재된 혼합교통류의 교통량-밀도-속도 관계의 특성을 연구하는 것은 대형차의 승용차환산계수를 산정하는데 주요한 과제가 된다. 혼합교통류의 흐름특성을 분석하기 위해서는 우선적으로 분석대상 혼합교통류의 통행차종의 구성이 정의되어야 하는 바 본 연구에서는 차종을 크게 승용차와 대형차(트럭)로 구분하고 혼합교통류의 밀도를 다음과 같이 정의하였다.

$$K_M = K_{MB} + K_{MT} \quad (4)$$

여기서

$K_M$  = 혼합교통류의 밀도

$K_{MB}$  = 혼합교통류내에서의 승용차만에 의한 밀도

$K_{MT}$  = 혼합교통류내에서의 대형차만에 의한 밀도

한편 밀도의 측면에서 대형차량이 점유하는 비율  $P'$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$P' = K_{MT} / K_M \quad (5)$$

그리고 혼합교통류의 자유속도는 다음 식에서와 같이 나타내었다.

$$U_{FM} = 1 / (P / U_{FT}) + (1 - P) U_{FB} \quad (6)$$

여기서

$U_{FM}$  = 혼합교통류의 자유속도

$U_{FB}$  = 기본교통류의 자유속도

$U_{FT}$  = 혼합교통류내에서의 대형차의 자유속도

$P$  = 대형차 혼입률

그런데 여기서 밀도-속도의 관계가 Greenshields의 모형 Gerlough, D. L.(1975)을 따른다고 가정하면 전술한  $P'$ 는 최종적으로 다음과 같이 표현된다.

$$P' = 1 / [1 + (1 - P) U_{FT} / P U_{FB}] \quad (7)$$

그리고 각 흐름에 대한 정체밀도는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} K_{jB} &= L / L_B \\ K_{jM} &= L / [P' L_T + (1 - P') L_B] \end{aligned} \quad (8)$$

여기서

$L$  = 단위길이(1000m)

$K_{jB}$  = 기본교통류의 정체밀도

$K_{jM}$  = 혼합교통류의 정체밀도

$L_B$  = 기본교통류에 있어서의 정체상태에서의 차두거리

$L_T$  = 혼합교통류에 있어서의 정체상태에서의 대형차에 대한 차두거리

이와 같이 하여 혼합교통류의 흐름특성을 규정하여 주는 매개변수들을 도출함으로써 교통량-밀도-속도의 관계에 대한 그래프의 작성이 가능하게 되었다. 즉, 교통흐름 특성곡선의 X, Y축 절편에 해당하는 정체밀도와 자유속도에 관한 근사수치를 파악할 수 있게 되었다. 예를 들어 기본 교통류  $q_B$ 와 혼합교통류  $q_M$ 에 대한 속도-밀도 관계곡선은 다음 Fig. 2와 같이 나타나게 될 것이다.

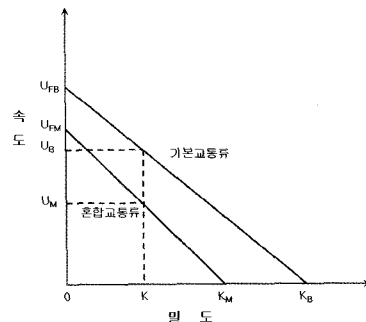


Fig. 2 Speed-Density Relationship

3.2 혼합교통류의 평균 차두시간

차두시간은 교통량에 반비례하는 값으로 교통량이 용량 상태에 도달했을 때 최소값을 나타낸다. 그리고 이 값은 분석대상차량의 차종(소형차, 버스, 트럭)에 따라 다르게 나타나며 선행차의 종류에 따라서도 그 값의 변화를 보이게 된다. PCE를 산정하는 기준으로 차두시간을 사용할 경우에는 차두시간에 관련된 자료의 계산과 정리 및 그 값을 해석하는데 있어 상당한 주의가 요청된다.

가장 먼저 고려하여야 할 점은 적은 표본으로 계산된 평균 값이 적절한 범위에 있는지를 검토하여 자료를 정리하여야 한다. 그리고 1차선에서 운행되는 차량과 2차선에서 운행되는 차량들의 성능이 다를 수 있기 때문에 차선별 차두시간에 대해서도 주의를 기울여야 한다. 다음 Table 1에서는 차종별, 차선별 차두시간을 조사한 사례를 보여 주고 있는데 동 표에 의하면 1차선의 차두시간은 소형차가 1.77초, 버스가 2.50초, 트럭이 2.15초이고 2차선의 경우 소형차가 2.33초, 버스가 2.89초, 트럭이 2.70초로 나타나 같은 차종이라고 하더라도 1차선에서 보다 2차선에서의 차두시간의 값이 더욱 크게 나타남을 알 수 있다.

한편 본 연구에서는 차량배열 형태에 따른 평균 차두시간에 관한 일반식을 작성하기 위해 차종을 크게 대형과 승용으로 구분하고 차두시간의 결정에 관련이 되는 차량으로 연행하는 3대의 차량(Triplet)을 고려하여 다음과 같은 회귀모형을 구축하였다.

$$\text{차두시간(초)} = X_1(\text{선행차량 차종}) + X_2(\text{후행차량 차종}) + X_3(\text{차량속도}) + X_4(\text{통행량}) \quad (9)$$

T-statistics(prob> | T |)의 결과 선행차량의 차종(Ltype)

과 속도(Speed), 교통량(Flow Rate)은 차두시간의 결정에 중요한 영향을 끼치지만 후행차량의 차종(Ftype) 및 교호요소(LFtype)는 그렇게 큰 영향을 끼치지 않음을 알 수 있었다. 여기서 차두시간 등 현장 조사 자료 수집을 위한 조사지점은 통행차량의 차종이 크게 승용차와 대형차로 구성되어 있으며 관측이 용이한 부산시 도시고속도로의 망미 주공아파트 옆 직선구간을 택하였다.

차두시간의 측정은 도로상에 기준선을 설정하고 선행차량 및 분석대상차량의 앞 범퍼가 이 곳을 통과할 때의 시각 측정을 통해 구했으며 이 때의 차량 접근 속도는 속도측정기(Speed Gun)를 사용하여 측정하였다.

최종 회귀분석의 결과는 분석대상차량에 따라 다음과 같이 각각 달리 나타났다.

트럭의 경우 R-제곱의 값이 87.2%, 분산팽창인수(VIF)가 각각 1.0, 1.1, 1.1로 나타나 다중공선성이 존재하지 않기 때문에 다중공선성 문제로 회귀계수가 잘못 추정되지 않았다고 제안하고 있다. 그리고 분산분석에서 적합성 검여의 p값이 0.187이므로 상정한 모형이 타당하다고 판정되었다.

한편, 승용차의 경우 R-제곱의 값은 99.6%, VIF 값은 각각 1.1, 1.1, 1.2로 나타나 상정한 모형이 타당하다고 판정되었다.

1) 분석대상차량이 트럭인 경우

$$\begin{aligned} &\text{차두시간(초)} \\ &= 4.453342 - 0.544669*(Type) + 0.118208*(Speed) \\ &\quad + 0.455471*(Flow) \end{aligned}$$

2) 분석대상차량이 승용차인 경우

$$\begin{aligned} &\text{차두시간(초)} \\ &= 1.751308 + 0.562501*(Type) + 0.031220*(Speed) \\ &\quad + 0.592530*(Flow) \end{aligned}$$

그리고 혼합교통류에 대한 평균차두시간을 의미하는  $h_M$ 의

(단위 : 초)

Table 1 조사지점별 평균차두시간

조사 지점	소형차				버스				트럭				
	PP	BP	TP	평균	PB	BB	TB	평균	PT	BT	TT	평균	
1차선	2	1.71	1.69	1.85	1.75	2.43	1.91	2.13	2.16	2.06	-	1.59	1.94
	4	1.95	1.78	1.86	1.86	2.38	2.25	2.25	2.30	2.60	2.18	2.12	2.30
	5	1.78	1.58	1.79	1.71	2.76	3.21	3.21	2.87	1.81	1.56	2.16	1.71
	6	1.96	1.96	1.85	1.92	3.09	2.10	2.10	2.62	2.18	2.58	2.87	2.56
	7	1.66	1.64	1.63	1.64	2.11	2.40	2.40	2.16	2.13	-	-	2.13
	8	1.96	1.50	1.95	1.80	2.97	2.09	2.09	2.77	2.14	-	2.16	2.15
	9	1.94	1.70	1.79	1.81	2.59	2.53	2.53	2.56	2.24	1.60	2.60	2.15
	10	2.01	1.66	1.43	1.70	2.53	-	-	2.53	2.22	-	-	2.22
	평균	1.87	1.69	1.77	1.77	2.61	2.45	2.39	2.50	2.17	1.98	2.25	2.15
	2차선	2	2.30	3.03	2.66	2.67	3.10	2.20	3.13	2.98	2.99	4.34	2.65
4		2.22	2.28	2.11	2.20	2.82	2.24	2.45	2.56	2.66	2.79	2.31	2.52
5		2.01	1.53	2.10	1.88	2.65	2.14	3.47	2.94	2.50	2.00	2.07	2.19
6		2.24	1.99	2.29	2.18	3.49	2.80	3.70	3.33	2.96	1.87	2.90	2.58
7		2.03	1.92	2.03	1.99	2.50	2.19	2.02	2.24	2.78	2.33	2.39	2.50
8		1.84	1.80	1.73	1.79	2.81	-	-	2.81	2.75	-	2.40	2.58
9		2.32	1.94	2.20	2.15	3.05	2.59	3.02	2.89	2.82	2.56	2.60	2.66
10		5.51	3.18	2.51	3.76	3.51	3.24	-	3.38	2.82	3.15	4.28	2.42
평균		2.56	2.21	2.20	2.33	2.99	2.49	2.97	2.89	2.79	2.72	2.70	2.70

자료 : Kim(2003)

값은 다음 식에서와 같이 차량배열에 따른 추정 차두시간에다 그러한 배열이 조합될 확률을 곱한 값으로 나타내어진다.

$$h_M = (1-P)^2 h_{MPP} + P(1-P)h_{MPT} + P(1-P)h_{MTP} + P^2 h_{MTT} \quad (10)$$

여기서

- $h_{MPP}$  = 승용차의 선행차량이 승용차일 경우의 평균차두시간
- $h_{MPT}$  = 승용차의 선행차량이 대형차일 경우의 평균차두시간
- $h_{MTP}$  = 대형차의 선행차량이 승용차일 경우의 평균차두시간
- $h_{MTT}$  = 대형차의 선행차량이 대형차일 경우의 평균차두시간

#### 4. 미시적 차두시간 분석에 의한 PCE 산정

일반적으로 PCE는 다음 식에서와 같이 차두시간의 향으로써 나타내어진다.

$$PCE = \frac{1}{P} \left[ \frac{hM}{hB} - 1 \right] + 1 \quad (11)$$

그런데 여기서 혼합교통류에 대한 평균차두시간을 전절에서 전개한 식(10)을 적용하여 산출하는 경우 상기식은 최종적으로 다음과 같이 정리된다.

$$PCE = \frac{(1-P)[h_{PT} + h_{TP} - h_{PP}] + Ph_{TT}}{h_{PP}} \quad (12)$$

이와 같이 하여 차두시간의 향으로써 대형차의 환산계수를 산정할 수 있는 PCE 산정공식이 도출되었다. 여기서 한 가지 흥미로운 사실은 상기식을 전개함에 있어 선행차량의 차종이 뒤따르는 차량의 차두시간 결정에 별 영향을 끼치지 않는다고 가정하면  $h_{PT} = h_{PP}$ ,  $h_{TP} = h_{TT}$ 가 되어 상기 식은 다음과 같이 아주 간략한 형태로 축약된다.

$$PCE = \frac{h_T}{h_P} \quad (13)$$

이 공식은 PCE 산정공식 중 가장 단순한 형태로써 일반적으로 동 공식을 적용하여 산정된 PCE 값은 여타의 방법에 의해 산정된 값들보다 작게 나타남을 알 수가 있었다.

한편, 본 연구에서 도출한 PCE 산정을 위한 기본식(12)에다 부산시 도시고속도로에서 정상상태에 대한 교통자료들을 대입한 결과 대형차의 적정 PCE 값은 1.94로 산정되었으며 이때의 교통조건은 다음과 같다.

- 차량평균속도(Speed)=75kph

평균교통량(Flow Rate)=1,300vph

대형차 혼입률(P)=40%

이때 적용한 차량배열에 따른 평균 차두시간은 다음과 같이 추정되었다.

$$h_{PP} = 2.33 \quad h_{PT} = 2.90 \quad h_{TT} = 3.85$$

그런데 본 연구에서 중점적으로 고찰하고자 하는 바인 차두시간의 값은 조사대상지역의 차량평균속도, 교통량 등의 영향을 받으므로 서비스 수준별로 각기 다르게 나타나게 되고 마찬가지로 이들 값을 기준으로 하여 산정된 PCE 값도 달리 나타나게 될 것이다. 따라서 적정 PCE 값도 LOS 별로 각각 다르게 제시할 필요가 있다.

이를 위해 여기서 다음 Table 2에 나타난 바와 같은 고속도로의 경우에 대한 HCM의 서비스 수준별 설계기준을 적용하여 각 서비스수준별로 차량배열 형태에 따른 차두시간과 PCE 값을 산정하면 Table 3과 같이 나타난다.

Table 2 서비스수준별 고속도로 설계수준

서비스 수준	밀도	설계속도 96kph(=60mph)		
		Speed(kph)	V/C	MSF*
A	≤12	-	-	-
B	≤20	≥80	0.49	1000
C	≤30	≥75	0.69	1400
D	≤42	≥67	0.84	1700
E	≤67	≥48	1.00	2000
F	>67	>48	-	-

\* MSF=Maximum Service Flow Rate

상기 표에 나타난 PCE 치의 증감추이를 고찰하면 V/C가 증가함에 따라 이에 대한 PCE치도 함께 증가하다가 용량상태에 가까워지면서 다시 감소추세로 돌아서게 됨을 알 수 있다.

Table 3 서비스 수준별 PCE 치의 변화

서비스수준 항목	LOS B	LOS C	LOS D
$h_{PP}$	2.98	2.22	1.70
$h_{PT}$	3.54	2.78	2.26
$h_{TP}$	5.36	4.30	3.15
$h_{TT}$	4.82	3.76	2.61
PCE	1.84	1.99	1.92

이것은 1985년 HCM에 제시되어 있는 2차선도로에 대한 서비스수준별 PCE 치의 변화추이와 유사한 결과를 보여주었다. 그러나 2000년 HCM의 경우 동 값들이 1.7-1.1로 나타나 연구자는 1985년 HCM에서의 값들이 더욱 타당하다고 판단되어 이 값을 적용하였다. 한편, 이러한 특징을 나타내는 데에 대한 이유는 다음과 같이 설명되어 질 수 있다.

즉 서비스수준 A의 상태에서는 모든 차량들이 고속으로 자

유로이 운행하는 상태이기 때문에 차두시간의 결정에 있어 차체의 크기, 가속능력 등 대형차의 악영향이 거의 무시되어 버리게 된다.

따라서 이 경우에 대한 대형차의 PCE 값은 대략 1.0에 가깝게 된다. 하지만 교통량이 점차 증가하게 되면(LOS B-D의 상태) 대형차의 운행특성에 기인한 영향의 비율도 함께 증대하게 되어 이러한 영향 정도의 정량적 표시가 되는 PCE 값도 점차 상승하게 된다. 여기서 다시 교통량이 용량상태에 가까워지게 되면(LOS D-E) 교통밀도가 상당히 높아져 교통류 전체의 주행속도가 떨어지게 되어 대형차의 영향이 다소 적어지게 된다. 이를 도시하면 다음 Fig. 3과 같다.

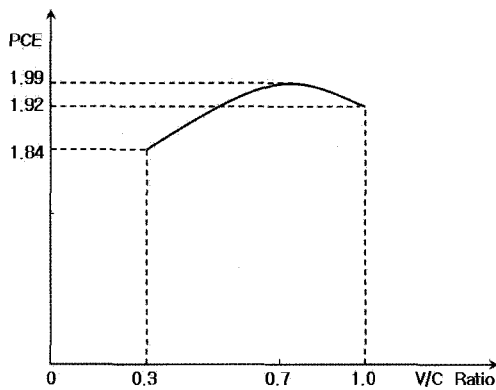


Fig. 3 Variation of Heavy Vehicle PCE for V/C

하지만 동 곡선은 극히 제한된 자료의 분석에 의한 국소적인 연구의 결과로써 추후 본 연구는 우리나라의 각종 도로형태에 있어서의 보다 광범위한 자료의 수집을 통해 더욱 일반화된 자료가 도출될 수 있도록 확대가 되어야 할 것이다.

### 5. 결 론

본 연구의 수행을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) PCE 산정을 위한 기존 연구의 분석을 통하여 다음과 같이 합리적인 모델 개발을 위한 개념적기초를 정립하였다.

첫째, 승용차 통행만으로 구성된 기본교통류  $q_B$ 에 상응하는 혼합교통류  $q_M$ 은 동일한 운행수준을 가져야 한다. 단, 이때의 동일 운행수준에 대한 판단기준은 동일밀도를 택하되 절대적 수치의 개념에서의 동일한 밀도가 아니라 운전자가 느끼기에 동일한 밀도(Driver's Perception of Same Density)가 되어야 한다. 이와 같은 개념에서의 동일밀도는 차두시간으로 측정되어 진다.

둘째, Huber에 의해 제시된 기본교통류와 혼합교통류의 흐름-저항의 관계를 확장하여 대형차의 환산계수를 다음과 같이 차두시간의 항으로 표시하였다.

$$PCE = \frac{(1-P)[hPT+hTP-hPP]+PhTT}{hPP}$$

2) 추종이론을 차두시간의 결정이라는 측면에서 고찰하고 차두시간의 크기에 지대한 영향을 끼칠 것이라고 판단되는 몇 가지의 요인을 선정한 후 회귀분석을 수행한 결과 후행차량의 차종은 차두시간의 결정에 큰 영향을 끼치지 않고 선행차량의 차종 및 차량속도, 통행교통량 등은 차두시간의 결정에 중요한 요인이 됨을 확인할 수 있었다.

최종 회귀분석의 결과는 분석대상차량에 따라 다음과 같이 각각 달리 나타났다.

\* 분석대상차량이 트럭인 경우

$$\begin{aligned} \text{차두시간(초)} &= 4.453342 - 0.544669*(Type) + 0.118208*(Speed) \\ &\quad + 0.0455471*(Flow) \end{aligned}$$

\* 분석대상차량이 승용차인 경우

$$\begin{aligned} \text{차두시간(초)} &= 1.751308 + 0.562501*(Type) + 0.031220*(Speed) \\ &\quad + 0.592530*(Flow) \end{aligned}$$

그리고 혼합교통류에 대한 평균차두시간을 의미하는  $h_M$ 의 값은 차량배열에 따른 추정 차두시간에다 그러한 배열이 조합될 확률을 곱한 값으로 나타내도록 하였다.

3) 차두시간의 추정을 위한 회귀식에 부산시 도시고속도로에서의 정상 상태의 교통조건을 적용하여 대형차의 PCE 치를 산정한 결과 1.94의 값으로 나타났다.

이 때 적용한 교통조건은 다음과 같다.

- 차량평균속도(Speed)=75kph
- 평균교통량(Flow Rate)=1,300vph
- 대형차 혼입률(P)=40%

한편, LOS의 변화에 대한 PCE 치의 변동추이를 고찰하기 위해 HCM에 제시되어 있는 각 LOS 별 상한속도와 교통량 데이터를 적용하여 서비스 수준별로 PCE를 계산한 결과 다음과 같았다.

서비스수준	LOS B	LOS C	LOS D
PCE	1.84	1.99	1.92

한편 본 연구에서는 PCE 산정을 위한 개념적 근거의 정립과 함께 도로상을 운행하는 차량 상호간에는 반응이 존재한다는 전제하에 이상적인 조건에 가까운 도로상태에서의 대형차 환산계수에 관한 기준적 수치를 제시하였는데 이러한 토대 위에서 향후 동 연구는 보다 광범위하고도 체계적인 자료의 수집을 통해 각종 형태의 도로 기하구조 및 교통조건에 대한 PCE 산정에 관한 연구로 확대 되어야 할 것이다.

## 후 기

이 논문은 2006학년도 동의대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음 (과제번호 2006AA128)

## 참 고 문 헌

- [1] 국토개발연구원(1981), 도로용량편람 작성을 위한 기초연구
- [2] 김동녕(1990), "고속도로에서의 대형차의 승용차 환산계수의 산정", 서울대학교 박사학위논문
- [3] 이승환(1989), "교차로 용량분석을 위한 교통류특성 기초조사", 대한교통학회지 제7권 2호, pp. 89-111.
- [4] 한국건설기술연구원, 교통개발연구원(1992), 도로용량편람 연구조사 제3단계 중간보고
- [5] 한국건설기술연구원, 교통개발연구원(1998), 도로용량편람 공동연구회 결과보고서
- [6] Craus, J. et al.(1980), "A Revised Method for Determination of Passenger Car Equivalencies", Transportation Research, Vol 14A, pp. 241-246.
- [7] Cunagin, W. D. and Messer, C. J.(1983), "Passenger Car Equivalents for Rural Highways", Transportation Research Record 905, pp. 61-68.
- [8] Gerlough, D.L.(1975), "Traffic Flow Theory, Special Report 165: Transportation Research Board."
- [9] Huber, M. J.(1982), "Estimation of Passenger Car Equivalents of Trucks in Traffic Stream", Transportation Research Record 869, pp. 60-70.
- [10] Roess, R. P. and Messer, C. J.(1983), "Passenger Car Equivalents for Uninterrupted Flow : Revision of the Circular 212 Values", Transportation Research Record 905.
- [11] Washington, D. C.(1985), "Highway Capacity Manual. Special Report 209 : Transportation Research Board"

---

원고접수일 : 2007년 1월 9일

원고채택일 : 2007년 2월 16일