

□ 論 文 □

승용차 환산 계수 관련 이론적 연구
 乘用車換算 係數에 關한 理論的 研究

A Theoretical Study on Passenger Car Equivalent Factors

박창호
 朴昌浩

(서울대학교 都市工學科 教授)

김동녕
 金東寧

(壇國大學校 土木科 教授)

目 次

I. 序 論

1. 研究의 必要性 및 目的
2. 文獻考察

II. 本 論

1. 乘用車 換算係數의 基本概念 및 理論的 分類
2. 乘用車 換算係數의 理論에 關한 評價
3. 車頭時間方法에 의한 PCE算定理論

III. 結 論

ABSTRACT

Concepts of passenger car equivalent(PCE) based on various philosophies is reviewed. The headway method is redefined in two ways, namely a macroscopic headway method and a microscopic headway method of which the concepts are confused in literature.

As definition of the microscopic headway method is from intuitive approach, so theoretical basis for this method is explained in connection with the macroscopic headway method. In addition, new classification and evaluation of complicated existing theories was conducted to make the reader understand more easily.

I. 序 論

1. 研究의 必要性 및 目的

근래에 우리나라에서는 既存道路의 容量에 關한 關心이 높아지고 美國의 HCM(Highway Capacity Manual)을 우리나라의 道路 및 交

通現況에 符合하도록 修正補完하려는 움직임이 擡頭되고 있다. 이러한 過程의 一環으로 容量算定에 重要한 部分을 차지하고 있는 乘用車換算係數의 算定은 主된 關心의 對象이 되고 있다.

우리나라에서 乘用車 換算係數의 研究가 必

要한 理由는 다음과 같은 몇가지로 要約될 수 있다.

첫째, 大型車의 混入率이 크기 때문에 HCM의 최대혼입율 20%보다 큰 범위에서는 적용할 基準이 없다.

둘째, 車輛의 特性이 美國과 다르다. 즉 車輛의 크기, 走行性能, 적재상황 등이 일치하지 않는다.

셋째, 運轉者의 特性 即, 車間距離, 運轉 經歷, 運轉習성이 外國과 다르다.

넷째, 娛樂用車輛의 比率이 매우 낮으며 버스 比率이 相對的으로 높다.

다섯째, HCM에서 제시한 PCE값이 現場調查를 통해 완전히 檢證된 값이라기 보다는 제한된 資料를 이용하여 導出된 것이기 때문에 그대로 適用하는데는 問題點이 있다.

本 研究의 目的은 지금까지의 여러가지 PCE에 대한 연구를 비교평가하고 특히 車頭時間 方法의 理論的 背景을 연구하고자 한다. 또 韓國版 HCM 作成에 一助가 되도록 하며 道路의 容量을 좀더 正確하게 導出함으로써 既存 道路의 擴張이나 道路의 新設 등에 따른 意思 決定時에 基準을 提供하고 오르막車線의 設置 與否를 檢討할 基礎資料를 準備 하는데 있다.

2. 文獻考察

PCE라는 用語를 처음으로 사용하기 시작한 것은 1965년 HCM(Highway Capacity Manual)¹¹⁾에서 비롯되었으며 1950년 HCM에서 용어의 定立이전에 대형차환산계수로 2.0을 이미 使用하고 있었다.¹⁶⁾ 1965년 HCM에서는 느린 승용차의 추월횟수에 대비한 대형차의 추월횟수를 적용한 Walker의 方法을 2차선 도로에 적용하였고 균등지체방법을 4차선도로에 적용하였으며 이것은 추후의 연구에 기초가 되었다.

1976년 A. W. Alberta와 J. F. Morall¹⁷⁾ 등은 구릉지에서는 Walker의 方法을 쓰고 平地에서는 車頭時間方法을 적용하였고 慰樂車輛에

대한 연구를 시작하였다($E_k=1.6$). 1978년에는 A. D. St John과 D. R. Kobett¹⁸⁾는 Midwest Research Institute에서 70년대초부터 연구해 온 결과를 集大成하여 NCHRP 185를 발표하여 경사지에서의 대형차특성에 대한 새로운 場을 열게되었다. 이 연구는 주로 차량의 가속 및 정지능력을 조사하여 경사거리에 따른 속도유지능력을 판단하고 각 서비스수준별, 경사도별 PCE를 계산할 수 있는 Design Chart를 작성하였다.

1979년에는 E. M. Linzer, R. P. Ross와 W. R. Mcshane¹⁴⁾ 등은 1965년 HCM을 수정하기 위한 目的으로 고속도로부분에 대한 연구를 하였으며 MRI의 결과를 재조정하고 Pennsylvania연구결과를 참고하여 Circular 212를 발표하였다. 이 연구는 서비스 수준의 기준으로 V/C를 이용하였는데 표준트럭(300 lb/HP)을 너무 크게 잡아서 PCE가 크게 되었다는 평가를 받고있다.

1980년대에 J. Craus와 I. Grinberg⁹⁾는 Walker의 方法이 대형차를 고려하지 않고 고속의 차량은 항상 저속의 차량을 추월할 수 있는 것으로 가정하였다는 단점을 개선하여 이에 대한 수정식을 제안하였다. 또한 E. L. Seguin, K. W. Crowley와 W. D. Zweig¹²⁾ 등은 상대적인 차두거리(Spacing)를 기준으로 도시고속도로(평지)에서의 PCE를 연구하였다(1982). 이 연구는 비용할당(Cost Allocation)목적으로 연구되었으며 IFR(Institute For Research)로 알려져 있고 교통량이 늘어날수록 PCE도 증가하는 구조로 되어있어 또 다른 연구⁴³⁾와 더불어 일반적인 상식과 背馳되고 있다. 후일 이 연구는 R. P. Roess와 C. J. Messer¹⁵⁾에게 연결되어 Circular 212의 개정판으로 TRR 971에 발표되었고 1985년 HCM에 수록되었다.

1982년 M. J. Huber⁶⁾는 서비스 수준의 기준으로 통행시간(통행속도)을 적용하였는데 Greenshield의 직선모형을 이용하여 모형을 단

순화 시켰다. 1983년 W. D. Cunagin, C. J. messer⁴³⁾는 지방부도로에 대한 도로사용자비용 연구에서 Walker의 方法은 LOS(Level of Service) A수준에 적합하고 균등지체 方法은 LOS E 수준에 적합하다고 하였는데 트럭의 혼입율에 매우 민감하고 교통량이 늘어날 때 PCE가 늘어나는 특징을 가지고 있다. R. Sumner, D. Hill, S. Shapiro¹⁰⁾ 등은 차량 총통행 시간(Veh-hr)를 기준으로 현지조사 및 시뮬레이션 자료를 이용하였으며(1984), R. M. Kimber¹¹⁾는 교차로에 대한 연구에서 회귀분석방법(Regression Analysis)과 차두시간(Headway)방법을 비교하였으며(TRRL, 1984) R. A. Krammes와 K. W. Crowley⁶⁾는 TTI(Texas Transportation Institute) 연구소에서 고속도로(평지)의 PCE연구에서 차두시간(Headway)을 사용한 바 있으며 지금까지의 연구를 총정리하였다.

最近에는 外井哲志³²⁾(1989)등은 교차로의 PCE연구에서 차두시간과 회귀분석을 이용하였고 N. K. Salman²⁶⁾(1989)은 차두거리를 Camera로 촬영하여 시간-위치 분석을 하였고, B. G. Hutchinson⁵⁾(1989) 등은 LOS의 기준으로 통행시간을 적용한 연구결과를 발표한 바 있다.

國內의 PCE에 관한 기존의 연구결과는 주로 道路容量에 關한 研究의 일부분으로 이루어졌으며 任聖彬(1971), 文東周²⁰⁾(1981), 朴昌浩²¹⁾(1981), 車東得, 金元容³³⁾(1986), 吳益秀³⁴⁾(1984) 등이 있다. PCE만을 대상으로 연구된 논문은 吳世炫²⁴⁾(1987) 李勝煥³¹⁾(1989) 등이 있으며 주로 교차로에 대한 연구를 실시하였다.

大部分의 PCE 연구는 도로용량산출 또는 運轉의 容易性 등을 알기 위한 目的으로 시행되었으나 또 많은 研究는¹⁰⁾¹²⁾⁴³⁾ 道路使用者 費用調査를 目的으로 施行되었다. 또 PCE에 대한 Philosophy는 매우 다양하여 상대적적인 추월회수 또는 상대적적인 지체도를 적용한 방법

이 있고¹⁾⁹⁾¹³⁾¹⁷⁾⁴³⁾ 밀도 또는 차두거리¹²⁾, 통행속도 또는 통행시간⁶⁾¹⁰⁾, 교통량/용량(V/C)比¹⁴⁾, 차두시간(Headway)¹⁶⁾²⁴⁾³¹⁾³²⁾³⁴⁾과 교차로의 연구에 많이 적용된 회귀분석방법¹¹⁾²⁴⁾³²⁾³⁴⁾ 등이 있다.

지금까지의 PCE에 관한 研究를 概觀해 보면 주로 2차선 道路에 대해서 많이 이루어져 왔으며¹⁾²⁾¹⁴⁾¹⁷⁾⁴⁰⁾ 다차선 道路에 대한 研究결과 는 비교적 적었다.¹⁾ 그 이유는 다차선의 경우 2차선에서 필요한 요소 이외에도 차선간의 車輛분포, 트럭상호간의 추월, 트럭이 주행하는 차선에 인접하는 차선의 운전자들이 가지는 심리적인 특성¹⁾⁴⁾ 등이 고려되어야 하기 때문이다.

따라서, PCE에 관한 研究는 아직도 많은 異論이 있으며 차츰 개선되는 추세에 있으나 가끔 혼돈이 일어나고 있다. 한 예로는 트럭의 비율이 PCE에 미치는 영향이 크다고 생각하고 있었으나 최근 들어서는 트럭의 비율은 PCE값에 미치는 영향이 과거보다 상대적으로 많이 낮게 評價되고 있다.

1965년판 HCM에 의하면 2차선 道路에서는 트럭혼입율이 PCE에 미치는 영향이 미미하다고 하였으며 혼입율의 증대가 PCE값을 증가시킬지 감소시킬지 확실한 증거가 없다고 하였다. 이것은 처음 적은 양의 트럭이 속도를 떨어뜨렸기 때문에 더 이상 트럭이 혼입되어도 속도변화는 크지 않다는 견해에서 비롯된 것이다. 심지어 B. G. Hutchinson⁵⁾ 등은 트럭의 PCE값은 혼입율과는 전혀 무관하다고 밝히고 있다. 그러나 대부분의 연구결과는 정도의 차이는 있으나 대형차의 혼입율이 커질수록 PCE값은 적어지는 것으로 보고하고 있다.

반면에 M. J. Huber 등⁶⁾¹²⁾⁴³⁾은 트럭의 PCU 값은 적은 交通量에서 적고 交通量이 증가할수록 커진다고 하였으며 그 이유는 교통량이 적을 때는 기본 交通量(乘用車類)도 적어서 영향을 받을 기회가 적고 交通量이 늘어날수록 트럭과 기본交通量과의 상호작용이 증대하

므로 트럭의 PCE값은 증대되기 때문이라고 하였다.

II. 本 論

1. PCE의 基本概念 및 分類

1) 基本概念 및 特性

乗用車 換算係數(PCE : Passenger Car Equivalent)의 意味는 多少 包括的인 概念으로 定義될 수 있으며 具體的으로는 研究者에 따라서 差異를 나타내고 있다.

R. P. Roess와 C. J. Messer¹⁵⁾(1984)는 그의 論文에서 다음과 같이 밝히고 있다.

“Futher, the exact definition of equivalent is not consistently interpreted, either in the capacity analysis literature or in these(road user cost allocation) studies, making comparison of results difficult indeed”

R. A. Krammes와 K. W. Crowley¹⁶⁾(1986)는 PCE는 서비스수준(LOS)이 기초가 되어야 한다고 주장하고 있으며 LOS 변수로 V/C 比, 밀도, 공간차두거리 등을 들고 있다.

乗用車 換算係數(PCE)는 65년판 HCM에서 ‘주어진 道路 및 交通條件下에서 交通流內의 트럭이나 버스에 代替될 수 있는 乗用車의 數’로 정의되고 있다.¹⁾ 한편 85년판 HCM에서는 ‘주어진 道路 및 交通조건하에서 트럭, 버스, 慰樂車輛 1대와 같은 비율의 道路容量을 점유하는 乗用車의 수’로 정의하고 있다.²⁾

또한 PCE값이 存在하게 되는 要因으로는 다음과 같은 要素들을 들 수 있다.

- (i) 大型車의 速度가 小型車보다 느리다.
- (ii) 大型車는 加速能力이 떨어진다.
- (iii) 大型車는 登攀능력이 떨어진다.
- (iv) 大型車는 더 큰 停止距離가 必要하다.
- (v) 大型車는 小型車보다 車輛이 길다.
- (vi) 小型車는 大型車를 기피하려는 경향이 있다.

R. A. Krammes¹⁶⁾ 등은 특히 소형차가 대형차를 기피하려는 심리적 영향의 요인으로 (1) 공기역학적인 장애 (2) 물의 튀김과 물안개(splash and spray) (3) 표지판의 막음(sign blockage) (4) 차선이탈 (5) 밀에 갈릴 위험 등을 들고 있으며 본 논문에서는 (6) 매연을 추가하고 싶다.

또, A. W. Alberta¹⁷⁾ 등은 PCE값이 필요한 이유로 다음의 두가지 이유를 지적하였다. 첫째, 乗用車보다 속도가 늦은 트럭은 容量과 서비스 수준을 감소시키고 제한한다. 둘째, 같은 速度로 주행하는 트럭은 크기 때문에 더 많은 면적을 차지하고 더 큰 정지거리가 요구될 가능성이 있다. 이중 첫째항은 경사지에서 두드러지며 둘째항은 경사지나 평지 모두에 해당되는 것이다.

PCE는 道路容量 算定時에 混合交通을 乗用車 交通으로 변환하기 위한 목적으로 주로 이용되며, PCE는 그 算定方法에 따라 크게 두가지로 분류해 볼 수 있는데 한 가지는 道路 이용자 입장에서 보는 것이고 다른 한가지는 道路시설의 활용도 측면에서 보는 것이다. 대기행렬의 길이, 추월횟수의 비, 지체시간 등을 MOE로 사용하는 경우가 前者에 屬하고 車頭時間을 MOE로 사용하는 경우가 後者에 속한다. 한편 道路포장과 관련하여 트럭의 乗用車 換算을 고려하는 경우가 있으나 여기서는 논하지 않기로 하고 容量에 關連되는 부분에 대해서만 고찰하고자 한다.

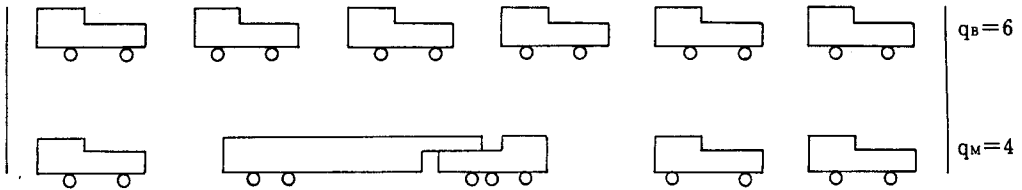
PCE의 가장 基本이 되는 概念이라고 할 수 있는 交通量(또는 車頭時間)을 기준으로 算定되는 PCE의 기본공식은 다음과 같다. 즉, 혼합交通量을 q_m 이라고하고 이 중 트럭의 비율이 p 라고 하면 이에 대응하는 乗用車만의 換算交通量이 q_b 라고 할 때 다음 관계식이 성립된다.

$$PCE = \frac{1}{p} \left(\frac{q_b}{q_m} - 1 \right) + 1 \dots\dots\dots (1)$$

혼합交通의 차두시간(headway)을 h_m 이라

고 하고 乘用車만으로 구성된 交通의 車頭時間을 h_B 라고 하면 $h=1/q$ 이므로 다음 식이 성립된다.

$$PCE = \frac{1}{p} \left(\frac{h_M}{h_B} - 1 \right) + 1 \dots\dots\dots (2)$$



$p = 1/4 = 0.25$ 혹은 25%

$$PCE = \frac{1}{0.25} \left(\frac{6}{4} - 1 \right) + 1 = 3.0$$

PCE에 대한 개념을 좀 더 잘 이해하기 위하여 PCE에 영향을 주는 요소를 살펴보면 다음과 같다.³⁴⁾

가) 道路기하구조

경사도, 상향 또는 하향, 경사의 길이, 차선수, 수평곡선, 노면상태

나) 車輛능력특성

車輛의 길이, 무게, 마력

다) 交通流

交通量, 방향별 분포, 2차선 道路(추월 금지구역), 차종구성, 속도경사지에서의 PCE 값의 특성을 알아보기 위하여 경사지에서의 차량운행 특성을 보면 다음과 같다. 즉, 경사지에서는 일반적으로 상향경사에서는 정지거리가 짧기 때문에 차두거리(spacings)를 짧게 하는 경향이 있고 하향경사에서는 정지거리가 길기 때문에 차두거리를 길게 하려는 경향이 있다.

정상적인 적재상태의 트럭은 평지에서 보다 경사지에서 더 낮은 속도로 주행하게 되며 특히 경사가 급하고 길이가 길 경우에 두드러지며 乘用車도 어느 정도 경사의 영향을 받는다.

傾斜地에서 大型車는 크기와 속도가 가속능력에 차이가 있기 때문에 교통류내에서 큰 車

이제 간단한 例로서 6대의 乘用車가 통과한 것과 꼭 같은 시간안에 3대의 乘用車와 1대의 대형車가 통과했다고 가정했을 때의 PCE값을 계산하면 다음과 같다.

間距離를 形成하게 되고 이것이 通常의인 追越動作에 의하여 늘 효율적으로 매꾸어 지지 못할때 용량을 저하시키는 요인이 된다.

한편 A. D. St. John³⁵⁾은 交通量이 변하더라도 PCE는 상수가 되는 것이 다음의 두 가지 이유로 바람직하다고 하였다. 첫째는 현장 및 모형의 자료를 최소화할 수 있으며 둘째는 乘用車만의 基本交通流나 혼합交通流에 따라 $v-q$ 곡선이 불변하는 관계를 유지할 수 있어야 하기 때문이다.

2) 乘用車 換算係數와 트럭 補整係數의 相互關係

乘用車 1臺와 같은 비율의 도로용량을 占有하게 될 乘用車 댓수를 나타내는 것이 트럭, 버스, 慰樂車輛의 乘用車 환산계수이고 각각 E_T, E_B, E_R 로 나타낸다. 또한 乘用車 換算係數는 道路條件 및 交通條件이 일정하면 그 값은 不變하는 것으로 생각되며 반대로 上記條件들 即 道路의 경사도, 車線幅, 交通量, 大型車混入率에 관한 條件이 변화하면 그 값이 變하는 것으로 알려져 있다.

그런데 乘用車 換算係數를 算定하는 가장 重要한 目的은 道路의 容量分析에 있으며 대형車가 混入되어 있을 때의 容量과 基本交通流만의 容量을 相互 關聯 지어주는 것이 대형車 보정계수(f_{nv})이다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$SF_i = C_i \times (V/C)_i \times N \times f_w \times f_{nv} \times f_p \quad (3)$$

여기서,

SF_i = 일방향 N차선인 도로의 주어진 道路 및 交通條件下에서 LOS i에서의 서비스 交通流率(vph)

C_i = 理想的인 條件에서의 車線當 容量 (pcphpl)

N = 일방향의 차선수

f_w = 車線幅 또는 側方에 대한 補整係數

f_{HV} = 交通流內의 大型車(트럭, 버스, 慰樂車輛)영향에 대한 補整係數

f_P = 運轉者 集團의 영향에 대한 補整係數

F_{HV} = $\frac{q_M}{q_B \downarrow}$ 의 의미를 가지고 있다. 만약 대형차종을 하나로 가정한다면 f_{HV}는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_{HV} = \frac{q_M \downarrow}{(1 - P_T)q_M \downarrow + P_T \cdot q_M \downarrow \cdot E_T}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

여기서 E_T를 계산해 보면

$$E_T = \frac{1}{P_T} \left(\frac{1}{f_{HV}} - 1 \right) + 1 = \frac{1}{P_T} \left(\frac{q_B \downarrow}{q_M \downarrow} - 1 \right) + 1$$

또한 위에서 f_{HV}는 1.0보다 적은 값이므로 서비스용량을 줄이는 역할을 하게 되며 대형차가 혼입되므로써 서비스용량이 감소되는 영향을 나타낸다. f_{HV}는 대형차의 종류가 여러 가지일 때에는 다음과 같은 산술식으로 계산할 수 있다. 즉,

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)} \dots \dots \dots (4)$$

여기서,

f_{HV} = 트럭, 慰樂차량, 버스의 복합적인 영향에 대한 보정계수

E_T, E_R, E_B = 트럭, 慰樂차량, 버스 각각의 승용차 환산계수

P_T, P_R, P_B = 트럭, 慰樂차량, 버스의 총 교통량에 대한 비율

대형차 보정계수의 意味를 좀 더 분명히 하고 위의 展開過程을 誘導하면 다음과 같다.

대형차 보정계수(f_{HV})는 혼합교통량/승용차환산교통량으로 정의되며 지금 혼합교통량, 트럭, 慰樂차량, 버스를 각각 q_M, q_T, q_R, q_B라고 하면 f_{HV}는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f_{HV} &= \frac{q_M}{(q_M - q_T - q_R - q_B) + E_T q_T + E_R q_R + E_B q_B} \\ &= \frac{q_M}{(q_M - q_M P_T - q_M P_R - q_M P_B) - E_T q_M P_T + E_R q_M P_R + E_B q_M P_B} \\ &= \frac{q_M}{q_M [1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)]} \\ &= \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)} \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

여기서 E_T, E_R, E_B값이 결정되면 P_T, P_R, P_B값에 따라 f_{HV}값이 계산되므로 대형차의 혼입비율(P_T, P_R, P_B)또는 서비스 수준 등은 f_{HV}에 무관한 것으로 생각하기 쉬우나 이들은 E_T(E_R 또는 E_B)를 산정할 때에 이미 고려되어 있음을 알 수 있다.

3) 理論的 分類

PCE(Passenger Car Equivalent) 算定에 關한 理論은 前章에서 밝힌 바와 같이 그 定義가 一貫되지 않지 때문에 이 분야를 연구하고자 하는 사람에게 많은 혼란을 주고 있다. 지금까지의 많은 연구에서¹⁵⁾¹⁶⁾ PCE의 歷史的 考察을 하고 있지만 PCE의 Philosophies를 綜合的으로 充分히 提示하고 있다고 보기에는 어려우며 說明에 있어서 著者 自身들까지도 약간의 혼돈을 하고 있는 듯하다. 그러나 이들 연구결과는 본 研究에 많은 도움을 주었으며 본 연구에서는 PCE의 概念을 새로운 관점에서 7가지 種類로 分類해 보았다.

본 연구에서 분류한 방법의 가장 큰 특징은 車頭時間方法을 거시적방법과 미시적방법으로 구분하였다는 점과 거시적 차두시간방법을 다시 4가지로 분류하였다는 점이다(지금까지는 이들을 차두시간 방법안에 포함시키지 않았음). 그 외에도 밀도(차두거리)의 비를 PCE

계산에 직접 이용한 방법과 밀도를 서비스 수준의 판단기준으로 사용하는 거시적 차두시간 방법간의 차이를 明示함으로써 단순히 밀도를 이용한 PCE산정방법이라고 할 때 생길 수 있는 혼란을 방지할 수 있도록 구분하였다. 다음은 이 분류방법에 따라 나열해 본 것이다.

- 추월횟수의 比
- 지체도의 比
- Queue의 길이 또는 Queue의 빈도
- 차두거리(Spacing)의 比(밀도의 比)
- 거시적 차두시간 방법(교통량비 방법)
 - Equal Speed or Equal travel time
 - Equal Spacing or Equal Density
 - Equal voume/Capacity
 - Regression 方法
- 미시적 차두시간 방법
- 비선형 트릭 계수의 산정 방법

4) 서비스 수준별 승용차 환산계수

고속道路的 PCE값은 서비스 수준, 즉 V/C에 따라 변화하는 것으로 분석되어 왔다.¹⁾²⁾³⁾ 실제로 서비스 수준에 따른 PCE값의 변화는 어떤 의미가 있는가에 대해서 많은 의문이 제기된다. 서비스 수준에 따라 PCE가 증가하는 것이 합리적인지 감소하는 것이 합리적인지에 대해서도 여러가지 결과가 발표되고 있다. 이러한 점에 대한 본 논문에서의 견해는 다음과 같다. 서비스 수준별 PCE는 각 서비스 수준 상태에서의 PCE값을 적용하고자 하는 MOE에 근거하여 일률적으로 계산하는 값이다. 따라서 PCE값은 MOE가 무엇이냐에 따라서 커질수도 있고 작아질수도 있을 것이다. 따라서 각 서비스수준에서의 PCE값은 PCE의 定義를 어떻게 결정하였느냐 즉, 어떤 方法에 의하여 PCE를 계산하느냐 하는 것이므로 여러가지 형태로 결과가 나올 수 있다. 그런데 片道 2차선 이상의 道路에, LOS A 狀態에서 한 대의 大型車가 있다고 하더라도 이 차량은 다른

승용차에 거의 영향을 주지 않는다고 볼 수 있는데 車頭時間方法(또는 대부분의 다른 MOE에 의할 경우에도)에 의할 경우 PCE 값은 LOS가 낮은 경우에 크게 계산되는 경향이 있으므로 모순이 발생된다. 따라서 LOS A 상태에서 계산된 PCE 값은 거의 意味가 없다고 보는 것이 타당할 것이다. 다만 양방향 2차선 도로에서는 交通量이 적은 상태에서도 大型車의 영향이 비교적 크게 나타날 것이므로 낮은 서비스수준 상태에서의 PCE값이 어떤 의미를 가지고 있으며 이를 어떻게 적용시키느냐 하는 문제는 간단하지 않은 것 같다. 예를 들어 본 연구에서 適用한 巨視的 車頭時間方法(V/C를 LOS의 기준으로 봄)에서 보면 LOS C, D, E의 경우 PCE값은 각각 2.60, 1.69, 1.30 등으로 감소하는 것으로 계산되었다. 이 값들의 정확도는 논외로 하더라도 일단 감소하는 것이 인정되면 서비스수준에 따라 다른 PCE 값을 적용해야 하는 혼란이 발생된다. 용량상태(LOS E)의 PCE값 1.30을 모든 LOS에 적용할 것인지 아니면 각 LOS상태의 PCE값을 적용할 것인지가 애매하게 된다. 교통량이 적은 상태의 PCE값은 교통량이 늘어나 容量狀態에 到達하게 되면 감소하게 되므로 임의의 LOS상태에서 PCE환산교통량을 계산하고 V/C를 산정한다고 할 경우 해당도로의 容量을 계산한다면 용량상태의 PCE값(여기서는 1.3)을 적용하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 얼마만큼의 교통량을 추가로 受容할 수 있을 것인가를 본다는 것은 결국 용량상태의 PCE를 기준으로 보아야 할 것이기 때문이다. 그러나 도로용량 분석에 목적이 있지 않을 경우에는(예를 들어 道路使用者 費用調查) 각 LOS상태의 PCE를 적용할 것을 추천한다. 結論的으로 말해 꼭 그렇게 해야 할 당위성은 없으나 容量分析의 目的으로 PCE를 사용하고자 할 때에는 一貫性의 문제 등을 고려하여 용량상태의 PCE를 적용함이 타당할 것으로 사료된다. 대체로 서비스수준이 낮을수록 PCE값은 적어지는 것으로 나타

나고 있는데 감소하는 정도는 調査對象街路 즉, 2차선 고속, 4차선 고속, 신호교차로 등에 따라 차이가 있으며 효과측정기준(MOE)을 무엇으로 하느냐에 따라라도 변화가 크기 때문에 일률적으로 규정 할 수는 없다.

2. 乘用車 換算係數의 理論에 관한 評價

1) Walker의 方法(추월횟수의 比)

1965년도 HCM(Highway Capacity Manual)에서 PCE를 결정하는데 적용된 방법은 다음과 같다. 주어진 경사 및 경사길이에서의 PCE값은 각 交通조건하에서 乘用車와 트럭의 속도분포로부터 算定되었다. 적용된 기준은 乘用車에 의한 트럭의 추월횟수에 대비한 乘用車에 의한 乘用車의 추월횟수이다. 이 方法을 일컬어 'Walker方法'이라 한다.

'Walker方法'은 경사지에서 트럭의 운행특성을 분석하기 위해서 쓰여졌으며 주어진 조건하에서 乘用車와 트럭이 正常速度로 주행한다고 할 때 1마일(또는 1km)의 구간에서 일어날 수 있는 상대적인 추월횟수를 계산하기 위해 트럭 및 乘用車 각각에 대한 속도분포를 이용하였다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.¹⁷⁾

$$PCE = E_T = \frac{f_p \sum_{j=T+1}^c f_{rj} \left(\frac{1}{V_T} - \frac{1}{V_j} \right)}{f_r \sum_{i=1}^{c-1} \sum_{j=i+1}^c \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right)} \dots(6)$$

여기서, E_T : 乘用車 換算係數

V_i : i 車輛의 속도

단, $V_1 < V_2 < \dots < V_c$.

$V_j - V_i$: i 車輛의 j 車輛에 대한 상대속도, $j > i$ 일때

f_i : i 車輛의 빈도

V_T : 트럭의 평균속도

f_r : 트럭의 빈도

f_p : 乘用車의 빈도

1965년 HCM에서는 비교적 PCE값이 크게

산정되었다는 평가를 받고 있으며 慰樂車輛에 대한 고려가 없다는 것이 지적되고 있다.

이 方法은 이론적인 속도분포를 이용하여 계산하였는데 속도분포를 추정함에 있어 실제 상황과 잘 부합할 수 없으리라는 문제점을 안고 있으며 반면에 현장에서 속도 또는 추월횟수를 실측할 경우에는 트럭을 추종하는 乘用車가 유지하고 싶은 속도를 유지할 수 없으며 추월하고 싶을 때 항상 추월이 가능하지는 않는다는 점에서 한계에 부딪치게 된다.

2) 균등 지체법(지체도의 比)

이 方法은 표준乘用車가 다른 차종에 의해 지체되는 시간과 표준 乘用車가 성능이 낮은 乘用車에 의해 지체되는 시간의 비율 PCE산출에 이용한다. 즉,

$$PCE_{ij} = \frac{D_{ij} - D_{base}}{D_{base}} \quad (i=j) \dots\dots\dots(7)$$

여기서,

PCE_{ij} = 조건 j (交通, 호나경, 물리적)에서의 차종 i 의 PCE값

D_{ij} = 조건 j 에서의 차종 i 로 인한 乘用車의 지체

D_{base} = 느린 乘用車로 인한 표준乘用車의 지체

이 方法은 1965년도 道路容量便覽¹⁾의 다차선道路와 高速道路의 PCE算定에 이용되었고 Craus는 이 모델을 Walker방법과 더불어 2차선 道路에서의 PCE算定에 이용하였으며 1965년도 HCM의 PCE값이 34~46%정도 크게 계산되었다는 점과 交通量이 증가하면 PCE 값이 증가한다는 것을 밝힌 바 있다.¹⁸⁾

균등지체법에 의한 PCE 산정모형을 좀 더 구체적으로 표현하면 다음과 같다.

$$PCE_i = \frac{\left(\frac{OT_i}{V_i} \right) \left(\frac{1}{SP_M} - \frac{1}{SP_{HP}} \right)}{\left(\frac{OT_{LP}}{V_{LP}} \right) \left(\frac{1}{SP_P} - \frac{1}{SP_{HP}} \right)}$$

여기서,

PCE_i = 車種의 승용차환산계수

OT_i = 한시간 1km當 차종 i가 승용차에 추
월된 횟수

OT_{LP} = 한시간 1km當 성능이 낮은 승용차가
성능이 좋은 승용차에 추월된 횟수

V_i = 차종 i의 時間當 交通量

V_{LP} = 성능이 낮은 승용차의 시간당 교통량

SP_M = 혼합 교통류의 평균속도

SP_{HP} = 성능이 좋은 승용차들만의 교통류의
평균속도

SP_P = 승용차만으로 구성된 교통류의 평균속도

이 방법은 현장에서 추월회수와 평균속도,
성능의 높고 낮음 등을 조사하는 技法에 어려
움이 예상되며 속도분포를 가정하여 이론적으
로 계산할 수는 있으나 실제상황에 부합하는
지를 확인할 필요가 있다.

3) 차두거리 方法⁸⁾(밀도의 비에 의한 방
법)

공간 차두거리 方法은 PCE를 大型車와 小
型車 한대가 사용한 공간의 상대적인 비율로
결정하는 方法으로 IFR(Institute For Resear-
ch)에서 이용한 것이다. 즉,

$$PCE_{ij} = \frac{SH_{ij}}{SH_{pej}} \dots\dots\dots(8)$$

여기서,

PCE_{ij} = 조건 j(물리적, 交通사의 환경)에서
의 차종 i의 PCE값

SH_{ij} = 조건 j에서의 평균 공간 차두거리(차
종 i의 뒷범퍼에서 앞 車輛 뒷범퍼까
지)

SH_{pej} = 조건 j에서의 평균 공간 차두거리(乘
用車の 범퍼에서 앞車輛의 뒷범퍼까
지)

이 方法은 연속사진촬영동의 方法으로 PCE
를 구하는 것인데 속도의 개념이 무시된 단점
이 있다. 또한 공간 차두 간격의 역수를 취하
면 밀도가 되므로 이 方法은 밀도를 이용한
PCE산정법이라고도 할 수 있다. 그러나 巨視
的 車頭時間 方法中에서 LOS의 비교기준을
밀도로 하는 方法과는 구별된다. 이 方法은

시간을 PCE산정의 효과측정기준(MOE)으로
본 차두시간과 대비되는 차두거리를 사용하고
있으며 개별 차량의 차두거리를 측정하고 있
다는 점에서 미시적 차두시간방법과 相通하는
점이 있다.

4) 巨視的 車頭時間方法(Macroscopic He-
adway Method)¹⁷⁾

이 方法은 乘用車만으로 구성된 基本 交通
流의 평균 차두시간과 混合交通流의 평균 車
頭時間을 이용하여 PCE값을 계산하는데 基本
交通流와 混合交通流의 LOS가 같은 條件에서
比較되어야 한다. LOS의 基準으로는 속도(시
간), 밀도(차두거리), V/C비(교통류율) 등이
이용되며 비교되는 두 교통류의 LOS가 같은
지를 판정하는 어려움이 따른다. 서로 다른
두 교통류를 비교한다는 점에서 회귀분석방법
도 이 범주에 포함시킬 수 있다. 이 方法은 3
節에서 다시 상세히 논하기로 한다.

이 方法의 PCE 계산식은 다음과 같다.

$$E_T = \frac{1}{P} \left(\frac{h_M}{h_B} - 1 \right) + 1 \dots\dots\dots(9)$$

여기서, E_T : 트럭의 乘用車 換算係數

P : 트럭의 비율

h_M : 混合交通流의 平均 車頭時間

h_B : 基本交通流의 平均 車頭時間

巨視的 車頭時間方法은 같은 道路條件을 가
지고 있고, 또한 같은 LOS 상태에 있는 두
개의 交通流 즉, 基本 交通流와 混合交通流
資料를 必要로 한다. 그런데 4車線以上の 道
路에서 多樣한 道路條件과 多樣한 LOS狀態의
基本交通流에 대한 調査를 한다는 것이 매우
어렵다. 그러나 이 方法은 교통량의 逆數인
차두시간을 MOE로 사용하였기 때문에 容量
算定과 관련되는 PCE값을 결정할 때에는 이
방법으로 계산하는 것이 타당할 것이다. 1節
에서 정의된 PCE에 가장 충실한 方法이다.
이 方法에 따를 경우 大型車種을 두가지 이상
으로 分離할 수 없고 한 가지로 統合하여야
할 것이다. 그리고 巨視的 車頭時間方法은 平

地뿐만아니라 경사지에서도 적용이 가능할 것으로 생각되는데 微視的 車頭時間方法이 주로 平地에 적합하다는 점과 비교된다.

5) 微視的 車頭時間方法(Microscopic Headway Method)

이 方法은 個個 車輛의 先行車輛과 後行車輛間의 車頭時間을 측정하여 PCE를 算定하는 기법이다. 여기서 적용되는 基本式은 다음과 같다.

$$PCE(i) = \frac{PT(i) + TP(i) - 2PP(i)}{PP(i)} + 1$$

여기서,

PP(i) : 조건 i일때의 소형차만의 교통류에서 先行 小型車와 後行 小型車의 車頭時間 平均值(초)

PT(i) : 조건 i일때의 先行 小型車와 後행 대형차의 차두시간 평균치(초)

TP(i) : 조건 i일때의 先行 大型車와 後행 소형차의 차두시간 평균치(초)

이 식은 다른 몇몇식과 마찬가지로 이론적인 배경이 있다기 보다는 직관적인 概念에 근거하고 있는 듯하다. 즉, 한 대의 대형차(T)는 선행하는 소형차(P)와의 차두시간(PT)와 후행하는 소형차와의 차두시간(TP)에 영향을 미치고 있는 것으로 보고 있으며 그 영향을 소형차-소형차간의 차두시간(PP)과의 차이로 계산하여 비교하고 있다.

본 논문에서는 3절에서 微視的 車頭時間方法과 巨視的 車頭時間方法의 상호연관성에 대한 분석을 實施하였으며 식 (28)에서 이 식에 대한 誘導過程을 提示하였다.

이 방법은 巨視的 方法과는 달리 大型車種을 여러 車種으로 分類할 수 있다는 利點이 있다. 다만 이 경우에는 버스와 트럭이 연속주행하는 차두시간(BT 또는 TB)자료가 반영될 수 없음을 고려하여야 할 것으로 判斷된다. 한편 微視的 車頭時間方法은 車線別로 車頭時間을 測定하여야 하므로 全車線에 대한 平均 車頭時間을 계산할 필요가 있다.

이 方法은 추월횟수나 추월하고자 하는 의욕 등은 고려하지 않고 現象적으로 나타난 車頭時間을 고려한 것으로서 트럭의 속도가 승용차의 속도보다 크게 떨어지지 않는 상태에 더욱 적합한 것으로 분석하고 있다.

저속의 트럭 뒤에 오는 乘用車는 車頭時間을 더 짧게 하고 싶어도 추월차선에 交通量이 많은 경우에 추월차선으로 차선변경을 할 수 없으므로 불가능하다. 그러므로 트럭 뒤의 乘用車 혹은 乘用車群의 車頭時間은 트럭에 의해 영향을 받고 있는 상태라고 볼 수 있는데 이 方法에서는 이러한 영향이 무시되고 있다.

6) 비선형 트럭계수 算定方法

St. John⁷⁾은 PCE 도출을 위해 일정비율의 연속적인 증분을 부가하므로써 발생하는 효과를 모형화하여 비선형 관계식을 만들었다. 이 관계식은 일정한 양이 연속적으로 증가할 때 트럭비율의 효과적인 비율은 감소한다는 것을 가정하고 있다.

즉, 각각의 트럭이 1대씩 증가할 때마다 乘用車 換算交通量의 증가비율은 감소한다는 것이다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$r = p(E_T - 1) \text{ 혹은 } E_T = \frac{r}{p} + 1 \dots \dots \dots (10)$$

$$Q_{E1} = Q_M (1 + r)$$

$$Q_{E2} = Q_M (1 + r + \frac{r}{1+r})$$

$$Q_{E3} = Q_M (1 + r + \frac{r}{1+r} + \frac{r}{1+r + \frac{1}{1+r}}) \dots \dots \dots (11)$$

등과 같다. 즉,

$$d(\frac{Q_E}{Q_M}) = \frac{dr}{\frac{Q_E}{Q_M}}$$

윗 식을 적분하면

$$\frac{Q_E}{Q_M} = 2r + c$$

가 되고 r=0 일때 $\frac{Q_E}{Q_B} = 1$ 이므로 C=1이다.

따라서,

$$Q_E = Q_M \sqrt{2r + 1} \dots\dots\dots(12)$$

여기서, E_T : 트럭의 乘用車 換算係數

P : 트럭의 혼입율

Q_M : 혼합交通量

Q_B : 乘用車 換算交通量

비선형 트럭계수 산정방법과 일반적인 방법의 PCU환산 비교예

① 비선형 트럭계수 방법

$$Q_E = Q_M \sqrt{2r + 1}, r = P(E_T - 1)$$

예) $P = 20\%$

$$E_T = 1.8$$

$Q_M = 1000$ 대 일때 r 를 구하면,

$$r = 0.2(1.8 - 1) = 0.16$$

$$\text{그러므로, } PCE = Q_E = 1000 \sqrt{2 \times 0.16 + 1} = 1.15 \times 1000 = 1,150 \text{대}$$

② 일반적인 방법

일반적인 방법으로 계산한 PCE값은 $P = 20\%$, $E_T = 1.8$ 이므로

$$\text{트럭의 대수 } 1000 \times 20\% = 200 \text{대}$$

$$\text{소형차} = 1000 - 200 = 800 \text{대}$$

$$\text{트럭의 PCE환산대수} = 1.8 \times 200 = 360 \text{대}$$

따라서 총 PCE환산대수 = $800 + 360 = 1160$ 대

같은 방법으로 P 의 값을 여러가지로 변화시켰을 때 이 방법과 일반적인 방법의 PCE값을 비교해 보면 다음과 같다.

<표 1> 비선형 트럭계수 산정방법과 일반적인 방법의 비교

방법	PCU환산계수(Q_E)		(1) (2)	비교
	비선형 트럭계수 적용한 때 (1)	일반적인 방법 적용한 때 (2)		
P_T				
10%	1,077 PCU	1,080 CPU	0.997	증가
20%	1,150	1,160	0.991	↑
30%	1,216	1,240	0.981	↓
40%	1,281	1,320	0.970	감소

이상에서 보는 바와 같이 비선형 트럭계수 산정방법에 의하여 혼합교통량을 승용차 환

산교통량으로 환산하면 일반적인 방법에 비해 트럭의 혼입률이 커질수록 PCE값이 적게 평가된다. 위와 같은 결과는 다소 異論의 餘地가 없지 않으나 대체로 인정되는 사실인 것으로 판단된다. 그러나 PCE값은 혼입률(P_T)보다 서비스 수준(또는 교통량)에 더 민감하기 때문에 모든 서비스 수준에서 上記한 결과가 成立되는지 또 成立이 된다면 혼입율의 증가에 따라 PCE(E_T)값은 어느 정도로 감소할 것인지에 대해서는 좀 더 많은 연구가 있어야 할 것으로 보인다. 이 方法에 따라 PCU를 계산하면 1~3%정도의 차이가 있는데 이 量은 비교적 적은 것으로 판단된다. 이 방법은 현장 또는 기타 자료로부터 PCE를 導出하는 방법이라기 보다는 PCE값이 정해져 있을 때 트럭의 혼입율이 PCU에 어떤 영향을 미치는가를 알아보는 데 필요한 技法이다.

7) 綜合評價

PCE산정이론은 여러가지 philosophy에서 출발하고 있으며 대형차의 영향을 운전자의 운전의 편의성(추월횟수, 대기행렬, 지체시간 비율 등)에 중점을 둔 방법과 도로의 용량(거시적 차두시간 방법)에 치중한 방법 등이 있다. 또한 PCE는 속도분포 등을 측정하여 추월횟수 등을 이론적으로 계산한 간접적인 방법도 있다. 추월횟수, 대기행렬 등은 2차선 도로에 적합한 것으로 판단되고 거시적 차두시간 방법은 4차선 이상의 도로에 적합한 것으로 보인다. 회귀분석 방법은 교통류 상태가 거의 균일한 포화 교통류상태의 교차로에 적용하는 것이 적합할 것으로 보이는데 일반도로에 적용할 때는 조건이 같은 자료들끼리 회귀분석이 되어야 비교적 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

한편 Huber의 방법은 PCE연구의 새로운 장르를 개척한 것으로 평가 받을 수 있으나 포함된 가정이 다소 단순화되어 있어 실제 자료와의 일치여부는 논란의 여지가 있는 것으

(표 2) PCE산정이론의 분류

분 류	PCE의 定義	特 徵
<ul style="list-style-type: none"> ■ 추월횟수의 비 (Walker의 방법) 	<ul style="list-style-type: none"> • 單位區間에서의 相對的인 추월횟수의 비 	<ul style="list-style-type: none"> • 速度分布를 利用하여 理論的인 추월횟수계산 • 2차선 도로경사지에서 이용
<ul style="list-style-type: none"> ■ 지체도의 비 	<ul style="list-style-type: none"> • 單位區間에서의 相對的인 지체시간의 비 	<ul style="list-style-type: none"> • 추월횟수와 평균속도를 利用하여 理論的인 계산 • 고속도로와 다차선도로에 이용
<ul style="list-style-type: none"> ■ 차두거리의 비 (밀도의 비) 	<ul style="list-style-type: none"> • 大型車와 小型車가 사용한 공간의 相對的인 비 	<ul style="list-style-type: none"> • 밀도를 이용한 방법 • 연속사진 촬영으로 자료조사
<ul style="list-style-type: none"> ■ 거시적 차두시간방법 	<ul style="list-style-type: none"> • 基本交通流와 混合交通流의 交通流를 比較하여 계산 	<ul style="list-style-type: none"> • 대형차종구분을 한가지로 통일 • 도로용량개념에 가장 충실 • 경사지, 평지, 교차로에 적용가능 • 조건이 같은 두가지 교통류를 비교
<ul style="list-style-type: none"> • 均등 通行시간 • 均등 밀도 • 均등 V/C 		<ul style="list-style-type: none"> • MOE를 通行시간으로 사용 • MOE를 밀도로 사용 • MOE를 V/C로 사용
<ul style="list-style-type: none"> ■ 미시적 차두시간 방법 	<ul style="list-style-type: none"> • 혼합교통류에서 先後行車種組合別로 個別車頭時間을 平均하여 비교 	<ul style="list-style-type: none"> • 대형차종을 여러가지로 구분가능 • PCE값 과소평가 우려 • 하나의 교통류에서 자료조사 가능 • 경사지에 부적합
<ul style="list-style-type: none"> ■ 회귀분석 방법 	<ul style="list-style-type: none"> • 조건인 같은 여러개의 혼합교통류 표본에서 회귀분석법으로 대형차의 PCE산정 	<ul style="list-style-type: none"> • 여러개의 표본이용(교통량 자료) • 대형차종을 한가지(단순회귀분석) 및 수가지(다중회귀분석)로 구분 • 교차로에 적합
<ul style="list-style-type: none"> ■ 비선형 트럭계수 	<ul style="list-style-type: none"> • 트럭의 혼입을 증가가 PCE값 감소에 미치는 효과를 비선형 모형화 	<ul style="list-style-type: none"> • PCE산정기법이 아님 • 정해진 PCE값을 트럭혼입율의 함수로 고친식임

로 보인다.

3. 車頭時間方法에 의한 PCE 算定理論

1) 概 要

車頭時間을 利用하여 PCE를 산정하는 이론은 크게 두 가지로 大別해 볼 수 있다. 그 중 한 가지는 일정시간 동안의 교통량을 조사하여 소형차만의 교통류와 혼합교통류의 차두시간을 교통량의 逆數로 計算하여 비교하므로써 PCE를 구하는데 이 방법은 교통류 전체를 동

시에 평가하는 방법이다.¹⁷⁾ 다른 한 가지 방법은 개별 차량의 차종조합별 차두시간을 하여 先行車輛과 後行車輛間의 運行特性을 分析하는 方法이다. 일핏 보기에 이 두가지 방법은 같은 方法인 것으로 생각되기 쉬우나 그 內容에 있어서 매우 다른 특성을 가지고 있다. 본 論文에서는 前者를 巨視的 方法이라고 하고 後者를 微視的 方法이라고 부르도록 한다. 많은 논문들에서는 이들에 대한 明確한 區分이 없이 일반적으로 車頭時間方法으로 부르고 있

다. 다음은 이들 두 가지 방법에 대한 구체적인 방법론과 적용상에 있어서 대두되는 문제점들을 서술하고자 한다.

2) 巨視的 車頭時間方法의 理論的 背景
가. 理論的 背景

위에서 말한 바와 같이 巨視的 接近方法은 車輛個個의 車頭時間을 관측하는 대신 일정한 單位時間 동안의 交通量을 관측하여 PCE를 구한다. 즉 소형차만으로 된 교통류에서의 交通量과 混合 交通流에서의 交通量을 對比시켜 大型車 1臺가 小型車 몇 대에 해당되는 道路容量을 占有하는가를 計算한다.

$$q_B(i) = q_B'(i) + q_L(i) \cdot PCE(i)$$

단, $q_B(i)$: 條件(i)상태에서의 소형차(Basic Flow)만으로 구성되었을 때의 交通量

$q_B'(i)$: 條件(i)상태에서 혼합교통류내에 포함된 소형차 交通量

$q_L(i)$: 條件(i)상태에서 혼합교통류내에 包含된 대형차 交通量

$PCE(i)$: 條件(i)상태의 乘用車換算係數
윗 식을 다시 정리 하면

$$PCE(i) = \frac{q_B(i) - q_B'(i)}{q_L(i)} \dots\dots\dots(14)$$

<식 13>을 대형차의 혼입율을 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$q_B(i) = (1 - p)q_M(i) + p \cdot q_M(i) \cdot PCE(i) \dots\dots\dots(15)$$

단, p : 條件 i에서의 대형차의 비율(%)

$q_M(i)$: 條件 i에서의 혼합교통량

$q_B(i)$: 條件 i에서 소형차만으로 구성되었을 때의 交通量

윗 식을 다시 정리하면

$$PCE(i) = \frac{q_B(i) - (1-p)q_M(i)}{p \cdot q_M(i)} \\ = \frac{q_B(i)}{p \cdot q_M(i)} - \frac{1}{p} + 1$$

따라서,

$$PCE(i) = \frac{1}{p} \left(\frac{q_B(i)}{q_M(i)} - 1 \right) + 1 \dots\dots\dots(16)$$

交通量의 역수를 취하면 車頭時間이 되므로 다음과 같이 변형된다. 즉,

$$PCE(i) = \frac{1}{p} \left(\frac{h_M(i)}{h_B(i)} - 1 \right) + 1 \dots\dots\dots(17)$$

단, $h_M(i)$: 조건 i에서 혼합교통류의 평균차두시간($1/q_M(i)$)

$h_B(i)$: 조건 i에서 소형차만의 평균차두시간($1/q_B(i)$)

따라서 조건 i에서 PCE값을 계산할 수 있다.

여기서 $q_B(i)$ 는 조건 i에서의 소형차만의 교통량을 나타내는 것으로서 고속도로에서는 관측이 용이하지 않다. 따라서 본 연구에서는 연속하는 소형차의 표본이 20대 이상되는 자료를 분석하여 평균 차두시간을 계산하고 그것을 한 시간 동안의 교통류율(Flow rate)로 환산하여 $q_B(i)$ 로 삼는 방법을 추천하고자 한다.

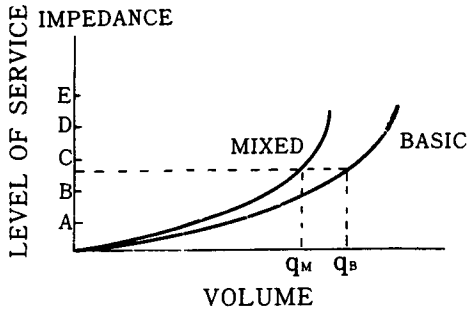
식(14)와 (16)과 (17)은 내용적으로 완전히 일치하는 식이므로 어느 식에 의하여 계산하든 그 결과는 동일하다.

다음은 기본교통류와 혼합교통류가 비교되기 위해서는 균등한(같은)조건 i상태에서 조사되어야 하는데 그 상태를 판단하는 MOE로 통행시간, 밀도, V/C 등을 이용하는 방법에 대해서 설명할 것이다. 그리고 회귀분석 방법에 대해서도 검토할 것이다.

나. 均等通行時間方法(Equal Travel Time Method)

M. J. Huber⁶⁾에 의해서 연구된 이 방법은 연속류에 적용되었는데 승용차만의 교통류(기본교통류)와 혼합교통류를 대응시키기 위한 기준으로 저항(impedance)을 생각하였고 저항이 같은 두 종류의 교통류를 이용한 PCE산정 방법이다. 이 기법은 Greenshield의 밀도-속도 관계식을 이용하여 교통량(또는 차두시간)을 속도와 밀도로 변형하여 단순화 시키고 교통류 이론과 연결시켰다. 즉, $PCE = (1/P) [(q_B/q_M) - 1] + 1$ 이라는 거시적 관계식에서

출발하여 Greenshields의 직선식을 응용하여 自由速度, 限界密度, 最大交通量, 車輛의 平均길이 이 등으로 구성되는 식을 도출하였다.



〈그림 1〉 교통류-저항 관계 그래프

한편 서비스 수준의 척도가 되는 저항으로 q 통행속도를 선택하였는데 이를 3가지 종류로 구분하였으며 그 내용은 다음과 같다.

(1) 균등 평균통행시간($t(q)$)의 가정

첫번째의 이 가정은 평균 통행시간을 저항의 기준으로 삼았으며 교통류의 평균통행시간이 같으면 서비스 수준이 같고 대응시킬 수 있는 것으로 가정한 방법이다. 간단한 교통류 이론과 Greenshields 직선식을 이용하여 도출된 식은 3가지 종류가 있으며 기본교통류와 혼합교통류의 자유속도와 한계밀도의 크기에 따라 구분된 3가지 중 가장 가장 일반적인 $U_{FM} < U_{FB}; K_{JM} < K_{JB}$ 인 경우를 소개하면 다음과 같다.

$$PCE = (1/P) \{ [(U_{FM} / U_{FB})(K_{JB} / K_{JM}) \cdot [(U_{FB} - U) / (U_{FM} - U)] - 1] + 1 \} \dots\dots\dots(18)$$

단, PCE=승용차 환산계수

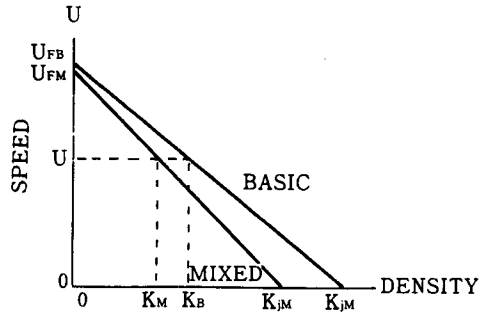
P =대형차 혼입율

U =교통류의 속도(=U_B=U_M)

U_B, U_M=기본 및 혼합교통류의 속도

U_{FB}, U_{FM}=기본 및 혼합교통류의 자유속도

K_{JB}, K_{JM}=기본 및 혼합교통류의 한계밀도



〈그림 2〉 균등 통행시간 방법에 의한 PCE결정

(2) 균등 총 통행시간(T(q))의 가정

두 번째의 가정은 총통행시간, (T(q))를 저항(서비스수준)의 기준으로 삼았으며 단위길이를 주행하는 평균통행시간과 교통량의 곱, 즉, 밀도가 된다.

$$T(q) = q \times t(q) = k = q / U \dots\dots\dots(19)$$

단, T(q)=총 통행시간

q=교통량(台/시간)

t(q)=단위길이를 주행하는 평균 통행시간(시간/km)

k=밀도

u=속도

이 가정은 두 교통류가 단위시간 동안에 도로를 점유(occupancy)하는 총 시간이 같으면 서비스 수준이 같다는 가정인데 이 경우에도 가장 대표적인 경우는 $U_{FM} < U_{FB}; K_{JM} < K_{JB}$ 일 때의 PCE값은 다음과 같다.

$$PCE = (1/P) \{ [(U_{FB} / U_{FM})(K_{JM} / K_{JB}) \cdot [(K_{JB} - K) / (K_{JM} - K)] - 1] + 1 \} \dots\dots\dots(20)$$

식에서 보는 바와 같이 이 방법에 의할 경우 차두시간을 측정하는 대신 자유속도와 밀도를 이용하여 PCE를 계산할 수 있다.

(3) 혼합교통류내의 기본차량의 평균속도와 기본교통류의 평균속도가 같다는 가정

이 가정은 기본교통류의 평균속도가 혼합교통류내에 포함되어 있는 기본차량(소형차량)의 평균속도가 같으면 서비스수준이 같다고

가정하는 방법인데 PCE를 구하는 식은 다음과 같다.

$$PCE = (U_{FB} / U_{FT})(L_T / L_B) \dots\dots\dots(21)$$

단, L_B, L_T = 정지상태의 기본교통류 및 대형교통류의 효율적인 길이

(4) 통행시간방법의 PCE산정 결과

통행시간 방법에 의한 PCE산정은 3가지 가정에 따라 그 결과가 다소 다르게 도출되고 있는데 균등평균통행시간, $t(q)$, 방법은 적은 교통량에서 매우 높은 PCE값을 나타내고 있으며 교통량이 증가할 수록 PCE값은 적게 나타나고 있다. 저속의 차량이 교통류에 끼어 있으면 매우 낮은 교통량에서도 평균속도를 떨어뜨릴 것이라고 하였으며 이 방법에 의해서는 낮은 교통량에 대해서는 정의가 곤란하다고 하였다.

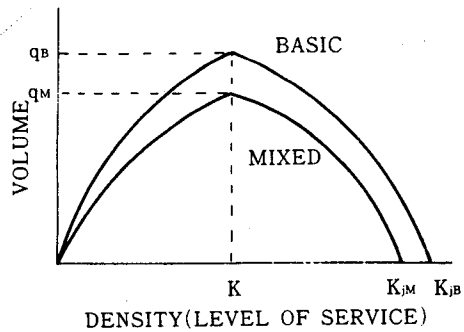
두번째 가정인 총 통행시간, $T(q)$, 방법을 M. J. Huber는 추천하고 있는데 이 방법에 의하면 교통량이 증가할수록 PCE값도 증가하는 구조로 되어 있는데 이에 대한 그의 의견은 트럭의 PCE값이 적은 교통량에서 적고 교통량이 증가할수록 커지는 것은 직관이라고 하였으며 그 이유는 교통량이 적을 때는 기본교통량도 적어도 영향을 받을 기회가 적고 교통량이 늘어날수록 트럭과 기본교통량과의 상호작용이 증대하므로 트럭 PCE값은 증대된다고 주장하였다. 이러한 주장에 대한 拙稿의 意見은 다소 부정적이다. 그 이유는 교통량이 어느정도 증가할 때까지는 그 주장이 맞다고 생각되지만 일정수준을 넘으면 기본교통류의 속도가 떨어지기 때문에 트럭의 성능이 떨어짐이 다른 교통류에 미치는 영향은 상대적으로 감소할 것이기 때문이다.

또 대형차의 혼입율이 커질수록 PCE값이 증가하는 것으로 나타나고 있는데 HCM의 연구결과와 반대로 나와 주목되고 있다. 이 방법에 대해 A. D. St. John과 R. Machemehl등은 PCE에 대한 새로운 연구의 개척을 높이 평가하면서도 교통량이 증가할수록 PCE값도

증가하는 것은 불합리하다고 반박하고 있으며 대형차의 차종이 두 개 이상일때의 연구가 필요하다고 하였다. 또 Greenshields모형으로는 다소 불충분하다고 하였으며 무엇보다도 PCE는 다양한 교통조건과 도로조건에 따라 결정되기 때문에 결정모형 보다는 推計模型이 필요할 것이라는 주장을 하고 있다.

다. 均等密度方法

거시적 차두시간 방법의 하나로써 서비스수준의 효과측정기준으로 밀도를 이용한 方法이다. 즉 기본교통류와 혼합교통류가 같은 조건인지를 판단하는 기준으로 밀도가 이용되는 경우로서 교통량-밀도 관계 그래프에서 설명이 가능하다.



<그림 3> 均等密度에 의한 PCE결정

밀도가 K인 기본교통류 q_B 와 혼합교통류 q_M 을 측정하면 앞서 설명한 거시적 공식(16)을 이용하여 PCE를 산출할 수 있다. 이 방법은 概念이 확실하여 추천할 만한 방법인데 실측과정에서 밀도를 측정하는 어려움이 예상된다.

라. 均等 V/C 方法

거시적 차두시간 방법의 하나로써 서비스수준의 기준을 V/C로 하여 평가하는 방법이다. 이것은 교통량/容量이 같은 基本交通流와 混合交通流의 교통량 q_B, q_M 을 관측하여 거시적 PCE계산 공식(16)을 이용하게 된다. 이 방법은 V/C계산이 밀도보다 상대적으로 용이하기 때문에 많이 이용될 수 있는 방법이다.

마. 回歸分析方法

이 방법은 單純回歸分析方法과 多重回歸分析 방법으로 나누며 大型車種을 한가지로 할 때는 前者로, 두가지 이상으로 할 때는 後者의 方法이 적용된다. 이 방법도 交通量(車頭時間의 역수)을 이용한다는 점에서 거시적 차두시간 방법의 범주에서 취급하였으나 이를 별도의 방법으로 分類하여도 좋을 것이다. 다른 거시적 차두시간 방법은 두개의 표본 즉 기본교통류와 혼합교통류를 비교하여 PCE를 구하지만 회귀분석방법은 여러개의 혼합교통류 표본으로 이용한다는 점이 큰 차이점이다.

단순회귀분석방법을 다음과 같이 실시할 수 있다.

$q_B(i)$ 값을 실제상황의 충분한 자료에서 얻을 수 없을 때에는 式(13)을 변형하여 回歸分析^{(24), (32), (34), (42)} 함으로써 $q_B(i)$ 값과 $PCE(i)$ 값을 얻을 수 있다. 즉,

$$q_B'(i) = q_B(i) - PCE(i) \cdot q_L(i) \dots\dots\dots(22)$$

(22)식은 $Y = a_0 + a_1 X$ 와 같은 單純回歸分析과 같은 형태를 나타내고 있으며 a_0, a_1 과 같은 계수값은 $q_B(i), -PCE(i)$ 값으로 간주할 수 있다.

다중회귀분석방법의 배경을 설명하면 다음과 같다.

일반도로에서 차중구성을 보면 대형차종이 한 가지인 경우보다 두 가지이상인 경우가 대부분이다. 따라서 이 경우에 승용차만의 교통류의 혼합교통류를 대비시켜 보면 다음과 같은 식이 성립된다.

$$q_B(i) = q_B'(i) + q_1(i) \cdot E_1 + q_2(i) \cdot E_2 \dots(23)$$

- 단, $q_1(i)$: 조건 i에서의 버스교통량
- $q_2(i)$: 조건 i에서의 트럭교통량
- E_1, E_2 : 각각 버스 및 트럭의 PCE값
- $q_B(i)$ 및 $q_B'(i)$ 는 위와 같음

(23)식에서 E_1 과 E_2 값은 미지수이고 나머지 값들은 既知의 값들이다. 미지수가 두 개이므로 이 식은 解를 구할 수 없으며 같은 조건 i인 자료를 가진 식이 2개 있으면 수학적으로

그 값을 계산할 수 있다. 그러나 交通量은 通計的 變量으로 보아야 할 것이므로 방정식으로 E_1, E_2 값을 계산하는 것은 좋은 결과를 기대하기 어렵다. 그러므로 式(23)을 변형하여 $q_B'(i)$ 를 종속변수로 두고 $q_1(i)$ 와 $q_2(i)$ 를 독립변수로 하면 E_1, E_2 를 상수가 되는 多重回歸分析을 施行할 수 있다. 이 때 상수 $q_B(i)$ 는 조건 i에서의 최대서비스 교통류율(MSF)이 된다.

$$q_B(i) = q_B'(i) - E_1(i) \cdot q_1(i) - E_2(i) \cdot q_2(i) \dots(24)$$

이 때 조건 i를 분류하는 것이 중요하다. 왜냐하면 PCE는 조건 i에 따라 변화한다고 보는 것이 일반적인 견해이기 때문이다.¹⁾²⁾ 여기서 조건 i라 함은 도로의 경사도, 차선수, 대형차 혼입율, 서비스 수준 등이 될 수 있다. 또 서비스 수준은 V/C , 평균주행속도, 지체시간, 밀도 등으로 判斷할 수 있으며 본 논문에서는 자료의 수집 측면에서 V/C 또는 교통량을 기준으로 하는 것이 비교적 용이하다고 판단되어 이를 사용하고자 한다.

2) 微視的 車頭時間方法의 限界 및 理論的背景

가. 微視的 車頭時間方法의 限界

微視的 接近方法⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽³²⁾은 先行차량과 後行차량간의 車頭時間(Headway)을 測定하여 PCE를 산정함으로써 일정 기간 동안의 교통량을 기준으로 PCE를 산정하는 巨視的 接近方法과 區別된다. 이 방법은 先行차량의 뒷 범퍼에서 후행차량의 뒷 범퍼까지의 시간을 측정함으로써 후행차량의 길이가 반영되도록 하고 있다. 그런데 미시적 차두시간은 연속하는 두 대의 차두시간은 차종의 조합별로 분류하여 평균한 값을 PCE계산에 이용되고 있는데 이는 혼합교통류속에서 소형차-소형차 차두시간이 기본교통류속에서의 그것과 같은 것으로 혼돈하고 있다는 점에서 충분한 검토를 할 필요가 있다. 혼합교통류에서의 소형차-소형차 차두시간은 바로 앞 또는 수 대 앞을 주행하는 大型車의 영향을 받고 있기 때문에 기본교통류의 차두시간보다 길게 나타날 가능성이 크다.

따라서 미시적 차두시간 방법으로 PCE를 계산하면 過少評價될 可能性이 크고 특히 경사지에서는 더욱 주의를 요하므로 사용하지 않는 것이 좋다.

나. 理論的背景

이 방법의 PCE 산정식은 研究者에 따라 몇 가지로 區分되는 데 式의 導出過程은 다음과 같다. 車種別 組合을 小型車와 大型車로 나누면 다음과 같다.

〈표 3〉 차량조합의 예

區 分	차량군1	차량군2	차량군3
	소형차만으로 구성(P)	소형차+대형차 (P+T)	대형차만으로 구성(T)
차량배열	P-P-P-P-P-P	P-P-T-P-T-P-P	T-T-T-T-T-T
차량조합	PP	PT, TP, PP	TT

본 연구에서는 미시적 방법의 식을 거시적 방법의 식으로 부터 유도해 보기 위하여 다음과 같은 과정을 살펴 보고자 한다. 이제 차량군 2와같이 소형차(P)와 대형차(T)가 혼합되어 있고 대형차 상호간에는 서로 인접하지 않는 경우 즉, 소형차에 비해서 대형차의 비율이 비교적 낮은 경우에 있어서 PCE 산정방법을 논하고자 한다. 식(15)에서 보면

$$q_B = (1 - r)q_M + r \cdot q_M \cdot PCE(r) \dots\dots(25)$$

따라서

$$PCE(r) = \frac{q_B - (1 - r)q_M}{r \cdot q_M} \dots\dots(26)$$

단, q_B : 소형차만으로 구성된 교통류의 교통류율(臺/hr)

q_M : 혼합교통류의 교통류율(臺/hr)

r : 대형차의 비율

$PCE(r)$: 대형차 혼입비율 r 인 교통류의 PCE값

이제 대형차 혼입율이 r 인 임의의 교통류 즉,

P-P-T-P-P-T-P-T-P-P-P

와 같은 차량 배열을 가정하면 차두시간의 배

열은 다음과 같다.

PP, PT, TP, PP, PT, TP, PT, TP, PP, PP

대형차는 서로 인접하지 않는 것으로 가정하였으므로 1시간 동안에 교통류율을 q_M 이라고 하면 각 조합별 시간당 교통량과 비율은 다음과 같다.

〈표 4〉 차량조합별 교통량 및 비율

차량조합	교통량(시간당)	비율
PP	$q_M - 2r q_M$	$1 - 2r$
PT	$r \cdot q_M$	r
TP	$r \cdot q_M$	r
합 계	q_M	1.0

식(26)에 식(27)을 代入하면 식(28)와 같이 된다.

$$q_B = 3600/PP \dots\dots(27)$$

$$q_M = 3600 / \{r(PT + TP) + (1 - 2r)PP\}$$

여기서 PP: 소형차만의 교통류에서 先行 小型車와 後行 小型車의 車頭 時間 平均值(초)

PP': 혼합교통류에서 先行 小型車와 後行 小型車의 車頭時間 平均值(초)

PT: 先行 小型車와 後행 大型車의 차 두시간 평균치(초)

TP: 先行 大型車와 後행 小型車의 차 두시간 평균치(초)

TT: 先行 大型車와 後행 大型車의 차 두시간 평균치(초)

$$PCE(r) = \frac{\frac{3600}{PP} - (1-r) \left(\frac{3600}{r(PT+TP) + (1-2r)PP} \right)}{r \left(\frac{3600}{r(PT+TP) + (1-2r)PP'} \right)}$$

$$= \frac{\frac{3600}{PP} - \frac{3600(1-r)}{rPT+rTP+PP'-2rPP'}}{\frac{3600r}{rPT+rTP+PP'-2rPP'}}$$

$$\begin{aligned} & \frac{3600(rPT+rTP+PP'-2rPP-PP+rPP)}{PP(rPT+rTP+PP'-2rPP)} \\ &= \frac{3600r}{rPT+rTP+PP'-2rPP'} \\ &= \frac{rPT+rTP+(PP'-PP)-r(2PP'-PP)}{rPP} \\ &= \frac{PT+TP-(2PP'-PP)}{PP} \cdot \frac{(PP'-PP)}{rPP} \\ & \dots\dots\dots(28) \end{aligned}$$

여기서 만약 $PP=PP'$ 로 가정하면 다음과 같이 간단한 식으로 된다.

$$PCE(r) = \frac{PT+TP-PP}{PP} \dots\dots\dots(29)$$

혹은

$$PCE(r) = \frac{PT+TP-2PP}{PP} + 1 \dots\dots\dots(30)$$

식(28)은 대형차 혼입율에 무관하게 성립되는 식임을 알 수 있다. 그러나 PT, TP, PP' 등은 혼입율에 따라 그 자체값이 변동될 수 있기 때문에 PCE 값이 혼입율에 무관하다는 의미는 아닐 것이다.

한편 차량군 3은 대형차만으로 구성된 교통류 즉 $r=1.0$ 인 교통류와 차량군 1과 같은 교통류를 비교하면 식(26)에서

$$PCE(r) = \frac{q_B}{q_M} = \frac{\frac{3600}{PP}}{\frac{3600}{TT}} = \frac{TT}{PP} \dots\dots\dots(31)$$

와 같이 된다. 여기서 $PCE1$ 과 $PCE2$ 를 각각 다음과 같이 定義한다.

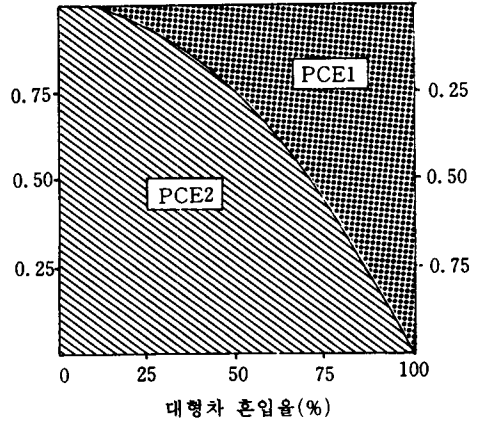
$$PCE1 = \frac{PT+TP-PP}{PP} \dots\dots\dots(32)$$

$$PCE2 = \frac{TT}{PP}$$

$PCE1$ 은 대형차 혼입율이 낮을 때 적합한 식이고 $PCE2$ 는 대형차로만 구성되었을 때 적합한 식이다. 혼입율이 r 일때의 일반식으로는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$PCE(r) = (1-r^2)PCE1 + r^2PCE2 \dots\dots\dots(33)$$

한편 식(33)을 그림으로 나타내어 $PCE1$ 과 $PCE2$ 의 영향을 나타내면 다음과 같다.



〈그림 4〉 대형차 혼입율에 따른 두식의 영향도

한편 대형차 혼입율이 r 인 교통류의 차두시 간의 기대치를 $t(r)$ 이라고 할 때 혼합교통량 $q_M(r)$ 과 $PCE(r)$ 과의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} t(r) &= (1-r) \cdot 2PP + (1-r)r(PT+TP) + r^2TT \\ &= PP \left[(1-r)^2 + (1-r)r \cdot \frac{PT+TP}{PP} + r^2 \cdot \frac{TT}{PP} \right] \\ &= PP \left[(1-r)^2 + (1-r)r \cdot (PCE1+1) + r^2 \cdot PCE2 \right] \\ &= PP \left[(1-r) + r \{ (1-r) \cdot PCE1 + r \cdot PCE2 \} \right] \\ &= PP \left[(1-r) + r \cdot PCE(r) \right] \dots\dots\dots(34) \end{aligned}$$

단, $PCE(r) = (1-r)PCE1 + r \cdot PCE2$ 따라서,

$$\begin{aligned} q_M(r) &= \frac{3600}{t(r)} = \frac{3600}{PP} \cdot \frac{PP}{t(r)} \\ &= q_B / [(1-r) + r \cdot PCE(r)] \dots\dots\dots(35) \end{aligned}$$

Ⅲ. 結 論

交通計劃 또는 交通工學的인 問題에서 乘用車換算係數는 매우 큰 영향을 주게 되는데 이에 대한 研究가 必要한 實情이다. PCE는 道路의 類型別로 車線數別로 접근 方法에 차이가 있으며 이에 대한 綜合的인 整理가 이루어진 研究는 거의 없었다. 本 研究는 PCE에 대한 지금까지의 研究를 檢討하여 特徵과 長·短點을 評價하였으며 이들을 새로운 체계로 分類함으로써 各 理論에 대한 混亂을 예방하였다. 특히 車頭時間方法을 巨視的方法和 微視的方法으로 區分하여 둘 사이의 差異點을 明確히 說明하고 微視的方法이 가지고 있는 理論的 背景을 巨視的方法에서 出發하여 導出하고 이 方法의 限界에 대해서도 고찰하였다. 密度의 比를 PCE로 계산하는 方法과 密度를 效果測定基準으로 한 交通量의 比를 PCE로 계산하는 方法간의 차이점을 설명하였다.

本 論文이 PCE에 관한 綜合的인 理解를 돕는데 기여를 하여 追後의 道路容量研究에 參考가 되었으면 하는 바램이다.

(參 考 文 獻)

1. HRB, Highway Capacity Manual, Special Report 65, Washington, D. C., 1965.
2. TRB, Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington, D. C., 1985.
3. Carroll J. Messer, Overview of Research on Two-Lane Highway Operations and Development, Two-Lane Highways of 1985 Highway Capacity Manual, Korea Road Safety and Highway Capacity Workshop, 1988.
4. Midwest Research Institute, TWOPAS USER'S GUIDE, A Microscopic Comp-

uter Simulation Model of Traffic on Two-Lane Two-Way Highways, DT-FH 61-82-C-00070, 1986.

5. B.G.Hutchinson et, al., Large Truck Imparcts on Highway Transportation Systems, IRF Proceeding, 1989.
6. M.J.Huber, Estimation of Passenger Car Equivalents of Truck in Traffic Stream, TRR 869, 1983.
7. A.D.St.John and D.R.Kobett, Grade Effects on Traffic Flow, Stability and Capacity, Midwest Research Institute, NCHRP185, 1978.
8. E.D.Seguín, Urban Truck Freeway Characteristics, FHWA Contract DTFH 61-80-C-00106 Draft Final Report, 1981.
9. J.Craus, et al., A Revised Method for the Determination of Passenger Car Equivalencies, Transportation Research, Vol, 14A, 1980, pp.241-246.
10. R.Sumner, D. Hill and S. Shapiro, Segment Passenger Car Equivalent Values for Cost Allocation on Urban Arterial Roads, Transportation Research, Vol, 18A.
11. R.M.Kimber, Passenger Car Units in Saturation Flows, Concepts, Definition, Derivation, TRRL, 1984.
12. E.L.Seguín, K.W.Crowley and W.D.Zweig, Passenger Car Equivalents on Urban Freeways. Interim Report, contract DTFH 61-80-c-00106, IFR, State College, Pa., Aug. 1982.
13. W.D.Cunagin and C.J.Messer, FHWA/RD-82/132 Final Report, Passenger Car Equivalents for Rural Highways DTFH 61-80-c-00128, Texas Transportation Institute, Texas A&M Univer-

- sity, College Station, 1982.
14. E. M. Linzer, R. P. Roess and W. R. Mc-hane, Effect of Truck, Buses, and Recreational Vehicles on Freeway Capacity and Service Volume, TRR 699, 1979, 17-26
 15. R. P. Roess and C. J. Messer, Passenger Car Equivalents for Uninterrupted Flow. Revision of Circular 212 Values. TRR 971, 1984
 16. R. A. Krammes and K. W. Crowley (TT I Texas A&M)(IFR), Passenger Car Equivalents for Trucks on Level Freeway Segments, 1986 Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1986.
 17. A. Werner and J. F. Morrall, Passenger Car Equivalencies of Trucks, Buses, and Recreational Vehicles for Two Lane Rural Highways, TRR 615, 1976, pp10-17
 18. A. D. St. John, Freeway Design and Control Strategies as affected by Trucks and Traffic Regulations. Midwest Research Institute, Report FHWA-RD-74-42, 1975
 19. 任聖彬, 信號燈이 있는 交叉路의 交通容量計算에 관한 研究, 大韓土木學會誌, 제 19 권 제 3 호, 1971. 12
 20. 文東周 外, 道路容量 편람작성을 위한 기초 研究, 國土開發研究院, 1981. 12
 21. 朴昌浩 外, 道路交通容量에 算定에 관한 研究, 건설부, 1981. 12
 22. 道路容量편람 공동 研究會 결과 보고서, KICT, KOTI, 1988
 23. 道路交通편람 研究조사(제 1 단계) 최종 보고서, KICT, KOTI, Urbitrans Associates, Inc., 1989
 24. 오세현, 포화交通量과 大型車의 乘用車 換算係數에 관한 研究, 서울대 석사학위 논문, 1987
 25. A. D. St. John and W. D. Glauz, Speed and Service on Multilane Upgrades, MRI, TRR 615, 1976
 26. N. K. Salman, 지방 분리도로의 경사지 점에서의 트럭특성 研究, IRF Proceeding, Univ. of Mosal, 1989
 27. 金東寧, 高速道路에서의 大型車의 乘用車換算係數의 算定, 博士學位論文, 1990. 8
 28. 張炳周, 自動車工學, 東明社, 1988, pp. 237-270
 29. 桑門主一 自動車, 技術 ミリス, 朝倉書店, 日本, 1985, pp. 179-286
 30. 都哲雄, 交通工學原論(上), 清文閣, 1989, pp. 179-286
 31. 李勝煥, 交叉路 容量分析을 위한 交通流特性 基礎調査, 大韓交通學會誌, 7卷2號, 1989, pp89-111
 32. 外井哲誌, 河野辰男, 紫田正雄, 信號交差點의 交通容量에 關する 研究, 一飽和交通流率의 影響要因分析-, 交通工學(日), 1989
 33. 車東得, 金元容, 交通計劃에서의 道路容量의 意義와 適用方案, 國土開發研究院, 研究論文, 86-5, 1986
 34. 吳益秀, 都市平面信號交叉點의 車輛走行特性에 關한 基礎研究, 嶺南大學校大學院, 博士學位 論文, 1984
 35. 建設部, 道路構造令의 解釋과 運用, 1983
 36. H. A. Todres, The 400-1b/hp Truck on Grades: A Numerical Approach, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol, 107, 1981. 9., pp. 563-567
 37. A. Polas, J. Craus and I. Grinberg, Downgrade Speed Characteristics of Heavy Vehicles, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 107,

1981. 3, pp.143-152
38. R. Akcelik and D. C. Biggs, Acceleration Profile Methods for Vehicles in Road Traffic, *Transportation Science*, Vol. 21, 1987
 39. A. D. St. John and W. D. Glauz, Speeds and Service on Multilane Upgrades, *Trr* 615, 1976
 40. A. D. St. John, Nonlinear Truck Factor for Two-Lane Highways, *TRR* 615, 1976
 41. D. Branston and H. Van Zuylen, The Estimation of Saturation Flow, *Eff.*, 12, 1978. . 4753
 42. M. W. Aerde and S. Yagar, Capacity and Platooning Vehicle Equivalents of Two-Lane Rural Highways, *Transportation Research Record* 971, 1984, 58-67
 43. W. D. Cunagin and C. J. Messer, Passenger Car Equivalent for Rural Highways, 1983
 44. C. J. Messer, Two-Lane Two-Way Rural Highway Capacity, Final Report, NCHRP, TRB, Texas Transportation Institute, The Texas A & M University System, FEB 1983
 45. Saturation Flow Manual, City of Edmonton and The University of Alberta, Canada, April 1980
 46. C. J. Molina Jr., Development of Passenger Car Equivalencies for Large Trucks at Signalized Intersections, *ITE Journal*, November 1987
 47. R. P. Roess, Developing Capacity Analysis Procedures for Freeways in Korea, Workshop on the Development of Korea HCM, 1988