

최적신호시간 산정을 고려한 신호교차로 승용차환산계수 산정에 관한 연구

The Study of Passenger Car Equivalents(PCE's) at Signalized Intersections Considering Signal Timing Optimization

백승직

(서울대학교 환경대학원, 석사과정)

오성호

(국토연구원, 책임연구원)

이영인

(서울대학교 환경대학원, 부교수)

목 차

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구범위 및 방법

II. 문헌고찰

1. 신호교차로의 승용차환산계수 적용현황
2. 승용차환산계수 산정방법

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집 방법 및 범위
2. 자료수집 분석결과

IV. 차종분류 및 승용차환산계수 산정

1. 차종분류 방법
2. 군집분석 결과
3. 차종분류 및 승용차환산계수 산정결과

V. 결론 및 향후과제

VI. 참고문헌

1. 국내문헌
2. 외국문헌

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

신호교차로의 용량 및 지체수준 산정시 기본적으로 요구되는 과정이 이동류별 포화교통류율의 산정이며, 포화교통류율은 이상적인 조건을 대표하는 기본 포화교통류율에 현실적인 조건을 감안한 각종 보정계수를 적용하여 산정하게 된다.

기본 포화교통류율은 소형차(승용차)를 기준으로 하지만 실제 교통류는 각종 차량이 혼입되어 있어 이를 중차량 보정계수로 보정하여 포화교통류율을 실 교통량과 같은 단위로 산정한다. 즉, 중차량 보정계수는 실교통량으로 조사된 교통량을 직접 이용하기 위하여 포화교통류율을 보정하는 보정계수이다. 각 이동류별로 이 값이 다를 수 있으나 현재 우리나라의 도로용량편람과 미국의 HCM에서는 접근로 전체에 대하여 단일 보정계수를 사용한다. 우리나라의 도로용량편람에서는 승용차 이외의 모든 차량을 중차량으로 정의하며, 일률적으로 1.8의 승용차환산계수를 적용하고 있다.

신호교차로의 용량 및 운영분석은 교차로 소통에 따른 안전, 비용, 그리고 환경적인 고려를 위해 차량 지체도의 최소화가 주목적이며, 이를 위해 신호시간이 최적화 되어야 한다. 포화교통류율은 측정의 궁극적 목표가 아니며, 이러한 신호시간 설정 등의 목적을 위한 중간 변수이다. 따라서, 승용차환산계수는 포화교통류율의 정확성을 최대화하기 보다는 신호시간설계 과정을 최적화하기 위해 선택되어야 한다.

기존연구¹⁾를 통해 교차로의 지체도를 최소화하는 기준에 적

합한 승용차환산계수 산정방법은 차두시간비율법(Headway Ratio Method)임이 제안되었다. 이 제안에 착안하면 차두시간비율을 통해 산정한 승용차환산계수의 적용은 교차로의 지체도를 최소화할 수 있는 신호시간설계에 적합할 것으로 사료된다. 현재 우리나라의 신호교차로 신호시간설계에 적용되는 도로용량편람의 승용차환산계수는 회귀분석법(Regression Method)에 의해 산정된 바 본 연구에서는 최적신호시간 설계에 적합토록 차두시간비율법을 이용한 승용차환산계수 산정하고자 하며, 산정방법에 부합하기 위해 차종별 차두시간을 기준으로 차종을 재분류하고자 한다.

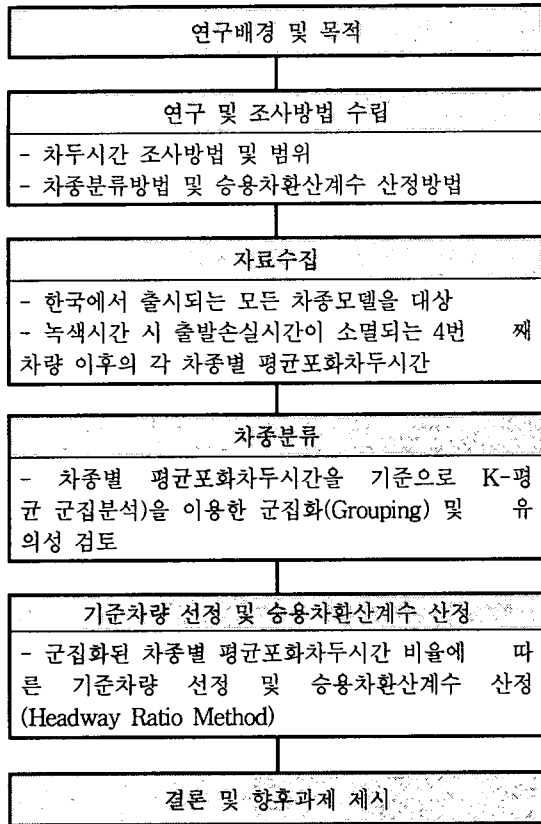
본 연구에서는 한국에서 출시되는 전 차종모형을 대상으로 차종모형별 평균 포화차두시간간격을 조사한 후 K-평균 군집분석법을 통해 최적 차종분류를 설정하여 차두시간비율에 입각한 차종분류와 기준을 제시하고 그에 따른 차종별 승용차환산계수를 제시하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구는 최적신호시간 설계에 적합토록 차두시간비율법을 이용한 승용차환산계수 산정하기 위해 한국에서 출시되는 전 차종모형을 대상으로 평균 포화차두시간을 조사한 후 차두시간비율법을 이용하여 신호교차로 설계 및 분석에 적용 가능한 차종분류 및 차종별 승용차환산계수를 도출하는 것이다.

1) R. M. Kimber and M. Hounsell, "Passenger Car Units In Saturation Flows : Concept, Definition, Derivation", Transportation Research Vol. 19B, 1985, pp. 39-61.

차종별 차두시간의 조사는 좌회전 및 우회전, U턴 등으로 인한 영향을 배제하기 위해 직진차로의 교통류만을 대상으로 조사하였다. 연구수행과정은 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구수행 과정

II. 문헌고찰

1. 신호교차로의 승용차환산계수 적용현황

신호교차로의 운영상태를 계획·평가할 수 있는 주요한 지표 중의 하나가 용량이다. 연속류 도로에서의 용량과 달리 단속류인 신호교차로에서는 주어진 도로조건 및 교통조건 뿐 아니라 신호조건에 따라 그 값이 결정되며, 분석대상 차로군의 포화교통류율에 할당된 녹색시간비를 적용함으로써 구해진다. 포화교통류율(S_i)은 어떤 차로군 또는 접근로가 유효녹색시간을 100% 사용한다는 전제하에 주어진 도로·교통조건 하에서 주어진 시간동안 통과할 수 있는 최대 차량수를 나타낸다. 도로용량편람에서 제시하는 포화교통류율 산정식은 다음과 같다.

$$S_i = S_0 \times N_i \times f_{LT}(\text{또는 } f_{RT}) \times f_w \times f_g \times f_{HV} \quad <식 1>$$

여기서, S_i : 차로군 i 의 포화교통류율(vphg)

S_0 : 기본포화교통류율(2,200 pcphgpl)

N_i : i 차로군의 차로수

f_{LT}, f_{RT} : 좌·우 회전 차로 보정계수)

f_w : 차로폭 보정계수

f_g : 접근로 경사 보정계수

f_{HV} : 중차량 보정계수

포화교통류율의 산정은 이상적인 조건하에서 포화교통류율인 기본포화교통류율(S_0)에 현재의 각종 제약 조건에 따른 감소계수 즉 보정계수를 적용함으로써 산출한다. 기본 포화교통류율은 소형차(승용차)를 기준으로 하지만 실제 교통류는 각종 차량이 혼입되어 있어 이를 중차량 보정계수로 보정하여 포화교통류율을 실 교통량과 같은 단위로 산정한다. 즉, 중차량 보정계수는 실교통량으로 조사된 교통량을 직접 이용하기 위하여 포화교통류율을 보정하는 보정계수이다.

포화교통류율 보정을 위한 중차량보정계수의 산정은 단일 환산계수를 적용한다. 이 보정계수는 승용차 이외의 모든 중차량의 혼입율을 고려한 평균 승용차환산계수 1.8을 사용하여 다음의 관계식에 의해 계산된다.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P(E_{HV} - 1)} = \frac{1}{1 + 0.8P} \quad <식 2>$$

여기서, f_{HV} : 중차량 보정계수

P : 중차량의 실교통량에 대한 혼입비율

E_{HV} : 중차량 승용차환산계수(= 1.8)

2. 승용차환산계수 산정방법

승용차환산계수를 도출하는 방법은 크게 차두시간비율법(Headway ratio method)와 회귀분석법(Regression methods)의 두 가지로 구분할 수 있으며, 회귀분석법은 동시성(Synchronous)과 비동시성(Asynchronous)의 두 가지 경우로 나눌 수 있다.

1) 차두시간비율법(Headway ratio method)

차두시간비율법은 포화교통류를 형성하는 차량군에 대하여 이 차량들이 정지선을 통과하는 차두시간을 측정하고, 기준차량(Passenger car)의 차두시간에 중차량의 차두시간을 비교하는 방법으로 가장 보편적으로 적용되는 방법이다. Greenshields(1947), Scraggs(1964), Webster(1964), Miller(1968) 등이 승용차환산계수 산정에 차두시간비율법을 적용하였으며, 차두시간비율법을 이용한 승용차환산계수 산정식은 다음과 같다.

$$PCE_i = \frac{h_i}{h_c} \quad <식 3>$$

여기서, PCE_i : i 차종의 승용차환산계수

h_i : i 차종의 평균차두시간간격

h_c : 기준차량(승용차)의 평균차두시간간격

차두시간은 여러 가지 종류가 존재한다. 즉, 승용차·승용차, 승용차·중차량, 중차량·승용차, 중차량·중차량 등의 순서에 따라 다양한 조합의 차량간 차두시간이 형성된다. 그러나, 평균

적으로 선행차량의 종류는 후미차량의 차두시간에 영향을 주지 않는 것으로 과거 연구들을 통해 입증되었다. 따라서, 선행차량의 종류에 관계없이 후미차량의 평균 포화차두시간 조사를 통해 차두시간비율법의 적용이 가능하다.

Scraggs(1964)는 여러 가지 차량의 조합에 의해 발생하는 다양한 차량에 대해 적당한 가정이 충족되면, 차량의 순서에 의한 영향을 무시할 수 있다고 주장하였으며, 이때 필요한 필요충분조건을 다음과 같은 식으로 표현하였다.

$$\bar{h}_{cc} + \bar{h}_{hh} = \bar{h}_{ch} + \bar{h}_{hc} \quad \text{<식 4>}$$

여기서, \bar{h}_{cc} = Cars를 따르는 Cars의 평균차두시간, \bar{h}_{ch} = Cars를 따르는 Heavy의 평균차두시간이며, 나머지 기호도 이와 같은 형식을 따른다.

Shou-min tsao(1985)는 선행차량의 유형(passenger car or heavy vehicle)이 평균 headway에 영향을 주는가를 검사하기 위해 test를 실시하였으며, 선행차량의 유형에 관계없이 동일한 headway가 발생한다는 결과를 도출하였다. Taipei의 두 교차로로부터 획득한 자료 중 직진차로의 분석결과는 <표 1>과 같다.

<표 1> 선행차량의 유형 조사를 위한 Z-test 결과

	Case 1		Case 2	
	h_{PP}	h_{PH}	h_{HP}	h_{HH}
교차로 A				
Sample 수	40	40	40	40
평균차두시간	1.4623	1.4833	2.5447	2.5840
분산	0.0193	0.0184	0.0305	0.0204
Z값	0.68		1.10	
$Z_{\alpha 0.05}$	1.96		1.96	
차이정도	무의미함		무의미함	
교차로 B				
Sample 수	40	40	40	40
평균차두시간	1.4647	1.4820	2.5430	2.5820
분산	0.0160	0.0183	0.0300	0.0212
Z값	0.59		1.09	
$Z_{\alpha 0.05}$	1.96		1.96	
차이정도	무의미함		무의미함	

2) 회귀분석법(Regression Method)

영국의 Branston에 의해 제시된 다중선형회귀분석에 의한 승용차 환산계수(PCE) 추정방식은 후에 Kimber 등에 의해 다시 논의되었다. Branston은 동시성(Synchronous)과 비동시성(Asynchronous)의 두 가지 경우로 나누어 회귀분석을 실시

2) Shou-min tsao and Song-wei Chu, "Adjustment Factors For Heavy Vehicles At Signalized Intersection", Journal of Transportation Engineering, 1995, pp. 150-157.

하였다. 이에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

- Synchronous 방법

$$T = \delta_1 \lambda_1 - \delta_2 \lambda_2 + \eta_1 q_1 + \dots + \eta_n q_n + \epsilon \quad \text{<식 5>}$$

- Asynchronous 방법

$$q_1 = -\sigma \lambda_1 + \delta_1 + \sigma \lambda_2 + \delta_2 - a_2 q_2 - \dots - a_n q_n + \sigma \tau + \epsilon \quad \text{<식 6>}$$

여기서,

T = 측정시간 : 출발 및 손실시간을 격지 않는 기간을 조사 (대략 5번째 이후)

$\delta_1 = 1$: 측정기간에 출발손실시간을 포함한 경우

0 : 측정기간에 출발손실시간을 포함하지 않은 경우 (PCE 추정시는 0)

λ_1 = 출발손실시간

$\delta_2 = 1$: 측정기간에 소거손실시간 부분을 포함한 경우

0 : 측정기간에 소거손실시간 부분을 포함하지 않은 경우(PCE 추정시는 0)

λ_2 = 소거손실시간

σ = 포화교통류율

q_i = 각 차종 i 의 측정기간 동안의 통행량(q_1 = 소형차의 통행량)

η_i = 각 i 차종의 승용차 환산계수 추정을 위한 파라미터

a_i = 각 차종 i 의 승용차 환산계수

ϵ = 오차항

이 때 Synchronous 방식에서의 승용차 환산계수(PCE)는 η_i / η_1 으로 측정한다.

현재 우리나라에서 사용중인 도로용량편람의 승용차환산계수는 Branston에 의해 제시된 회귀분석방법에 근거하여 Kimber가 행한 모형에 대한 상세한 분석을 바탕으로 모형을 수정하여 산정하였다.

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집 방법 및 범위

1) 포화차두시간 조사방법

한국에서 출시되는 쏘차종을 대상으로 각 차종별 차두시간의 자료를 조사하였다. 차종별 차두시간은 "여러 가지 차량의 조합에 의해 발생하는 다양한 차량에 대해 적당한 가정이 충족되면, 차량의 순서에 의한 영향을 무시할 수 있다"는 Scraggs(1964)의 연구와 선행차량의 유형(passenger car or heavy vehicle)이 평균 headway에 영향을 주는가를 검사하기 위해 test를 실시하여 선행차량의 유형에 관계없이 동일한 headway가 발생한다는 결과를 도출한 Shou-min tsao 등(1985)의 연구에 근거하여 한국에서 출시되는 쏘차종을 대상으로 선행차량의 종류에 관계없이 출발손실시간이 소멸되는

최초 4번째 차량 이후의 각 차종모델별 포화차두시간 자료를 수집하였다. 차종별 포화차두시간 자료는 Video Camera를 이용하여 대상지점을 촬영하고 이를 Computer 동영상 파일로 전환한 후, Video 분석 Program(VirtualDub 1.5)을 이용하여 1/1000초 단위로 표본을 조사하였다. 각 차종별 포화차두시간 표본수는 95%신뢰수준 오차범위 0.1초 내에서 통계적으로 유의한 최소 표본수 이상을 수집토록 하였으며, 표본수의 산정 절차는 다음 <식 7>과 같다.

$$n = \frac{t_{\alpha/2}^2 \cdot S^2}{e^2} \quad \text{<식 7>}$$

여기서, n : 최소표본크기(수)

S : 표준편차

$t_{\alpha/2}$: 신뢰수준 α 에서의 t -통계량

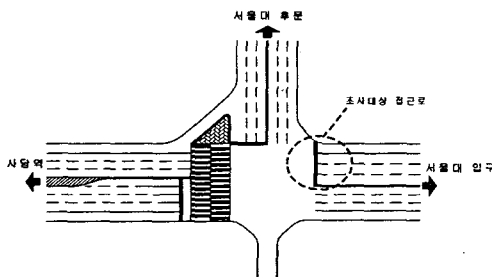
e : 오차범위

2) 조사의 시간적·공간적범위

차두시간 기준에 따른 차종을 분류하기 위해 2003년 6월 1일을 기준으로 우리나라에서 출시되는 쏘나타의 평균 포화차두시간을 조사토록 하였으며, 특수차 및 건설중장비차(지게차 등)는 분석대상 차종에서 제외하였다. 차종별 포화차두시간 자료는 과포화로 인한 포화차두시간의 왜곡을 방지하기 위해 비첨두시간대인 10:00~17:00 동안의 교통류를 대상으로 하였다.

조사대상 장소는 한국에서 출시되는 모든 차종모델을 수집할 수 있도록 서울시 간선도로 중 비교적 차종의 구성이 다양하며, 구배·차로폭 등 기하구조가 이상적 조건을 충족시키는 남부순환로에 위치한 낙성대 삼거리 교차로(동측 사당방면 접근로)를 대상으로 하였다. 우회전으로 인한 차두시간의 왜곡을 방지하기 위해 분석대상 접근로 4개 차로 중 4차로(보도측 차로)를 제외한 3개 차로의 일반차량을 대상으로 조사하였으며, 버스전용차로인 4차로는 버스를 대상으로 조사를 실시하였다.

차선변경, 회진, 일시적 앞막힘 현상으로 인한 차량지체 등의 돌발상황에서의 차두시간간격은 제외하였으며, 교차로의 앞막힘현상(Spill back)으로 인한 차두시간의 왜곡이 발생하지 않는 비첨두시간(10:00~17:00)대를 대상으로 조사를 수행하였다. 또한, 비, 눈, 안개 등에 따른 운전자 심리, 시거 및 노면상태의 변동으로 인한 차두시간의 왜곡이 발생하지 않은 노면이 건조한 맑은 날씨 및 주간을 대상으로 수행하였다.



<그림 2> 차두시간 조사대상 지점도

2. 자료수집 분석결과

1) 차종모델자료 조사결과

차두시간간격 기준에 따른 차종을 분류하기 위해 2003년 6월 1일을 기준으로 우리나라에서 출시되는 모든 차종모델을 조사하였으며, 특수차 및 건설중장비차(지게차 등)는 분석대상 차종에서 제외하였다. 기아자동차의 1톤 봉고와 1.3톤 프런티어는 육안구별이 거의 불가능한 관계로 하나의 차종모델로 통합하였으며, 통과대수가 매우 적은 현대자동차의 5ton트럭과 기아자동차의 라이노는 전장 및 적재용량이 거의 유사하므로 하나의 차종모델로 통합하여 조사하였다. 또한, 버스는 25인승 이하는 차종모델, 25인승 초과는 마을버스와 시내버스, 일반버스로 구분하여 조사하였다. 조사차량 구분내역은 <표 2>와 같다.

2) 차두시간자료 조사결과

차종모델별 차두시간 조사는 95%신뢰수준에서 앞의 <식 7>을 만족시키는 자료수를 충족토록 하였으며, 통행빈도가 매우 적은 차종모델들은 총 15시간 동안의 조사결과를 수록하였다. 총 52개 차종의 조사결과 버스의 에어타운 모델은 15시간 동안의 총 자료수가 4개로 나타나 분석대상 차종에서 제외하였다. 에어로타운을 제외한 총 51개 차종의 자료들은 모집단의 중심을 측정할 때 매우 큰 영향을 미치는 특이값(outlier)들의 영향을 배제하기 위하여 사분위 절사평균을 적용하였으며, 최소 사분위 절사 자료수인 25개에 미치지 못하는 차종모델에 대해서는 총 자료에 대한 산술평균을 적용하였다. 총 51개 차종모델의 차두시간 조사결과는 <표 3>과 같다.

IV. 차종분류 및 승용차환산계수 산정

1. 차종분류 방법

차종분류 방법은 대상들간의 양적 척도에 따른 연관성(유사성)에 따라 군집을 분류하는 K-평균 군집방법을 이용하였다.

<표 2> 조사차량 구분내역3)

No.	용도	차종모델	회사명	No.	용도	차종모델	회사명
1	승용	클릭	현대	27	RV	카렌스	기아
2		베르나		28		X-TREK	
3		아반테		29		쏘렌토	
4		투스카니		30		카니발	
5		소나타		31		레토나	
6		그랜저		32		레조	대우
7		다이너스티	33	렉스턴			
8		에쿠스	34	무쏘			
9		비스토	35	코란도			
10		리오SF	36	그레이스	현대		
11		스펙트라	37	승합	프레지오	기아	
12		옵티마	38	다마스	대우		
13		리갈	39	화물	포터	현대	
14		마티즈	40		리베로		
15		칼로스	41		마이티		
16		라세티	42		대형트럭		
17		매그너스	43	봉고1/1.3톤	기아		
18		체어맨	44	프린티어2.5			
19		SM3	45	파맥스	-		
20		SM5	46	5톤트럭	-		
21		라비타	47	라보	대우		
22		트라제XG	48	버스	카운티	현대	
23		젤로퍼	49		에어로타운		
24		테라칸	50		마을버스	-	
25		산타페	51		시내버스		
26		스타렉스	52	일반버스			

K-평균 군집방법은 개체가 어느 한 군집에만 속하도록 하는 상호배반적 군집방법이다. 이 방법은 군집의 수를 미리 정하고, 각 개체가 어느 군집에 속하는 지를 분석하는 방법으로서 대량의 데이터의 군집분석에 유용하게 이용되는 방법이다. 군집절차는 다음과 같다.

- i) 개체를 초기의 K 군집으로 분류한다.
- ii) 각 군집의 각각의 변수에 대해서 중심점들을 계산한다.
- iii) 주어진 케이스에 대해서 중심점과의 거리를 계산한다. 만약 현재 속하고 있는 군집의 중심점과 가까우면 그대로 놔두고, 그렇지 않으면 다른 군집으로 배정한다.
- iv) 각 케이스에 대하여 iii) 절차를 시행한다.
- v) 어느 케이스도 다른 군집에 재배정되지 않을 때까지 ii), iii), iv) 과정을 반복한다.

K-평균 군집방법에 따라 복잡한 자료 집합에서 간단한 군집 구조를 만들어 내기 위해서는 “근접성” 또는 “유사성” 측도가 필요하다.

항목 쌍에 대한 거리 및 유사성 계수 p 차원 상의 두 관찰값 $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ 와 $y = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ 간의 유클리드 거리

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + \dots + (x_p - y_p)^2}$$

$$= \sqrt{(x - y) \cdot (x - y)} \quad \text{<식 8>}$$

와 같이 정의된다.

<표 3> 차종모델별 차두시간 조사결과

No.	용도	차종모델	자료수	평균 차두시간 (초)	표준편차 (초)	오차 (초)
1	승용	클릭	76	1.936	0.205	0.055
2	승용	베르나	97	1.825	0.149	0.036
3	승용	아반테	245	1.876	0.172	0.026
4	승용	투스카니	67	1.737	0.152	0.044
5	승용	소나타	571	1.867	0.179	0.017
6	승용	그랜저	200	1.951	0.198	0.033
7	승용	다이너스티	115	1.974	0.160	0.035
8	승용	에쿠스	121	2.104	0.189	0.041
9	승용	비스토	139	1.776	0.229	0.046
10	승용	리오SF	120	1.857	0.176	0.038
11	승용	스펙트라	111	1.842	0.165	0.037
12	승용	옵티마	170	1.865	0.177	0.032
13	승용	리갈	28	1.905	0.124	0.056
14	승용	마티즈	226	1.807	0.163	0.025
15	승용	칼로스	52	1.821	0.186	0.061
16	승용	라세티	96	1.839	0.127	0.030
17	승용	매그너스	124	1.869	0.175	0.037
18	승용	체어맨	117	1.985	0.159	0.035
19	승용	SM3	71	1.827	0.139	0.039
20	승용	SM5	207	1.825	0.163	0.027
21	RV	라비타	50	1.811	0.173	0.059
22	RV	트라제XG	158	1.804	0.160	0.030
23	RV	젤로퍼	171	1.915	0.185	0.033
24	RV	테라칸	100	1.933	0.175	0.041
25	RV	산타페	219	1.905	0.173	0.027
26	RV	스타렉스	242	1.856	0.194	0.029
27	RV	카렌스	233	1.910	0.173	0.027
28	RV	X-TREK	25	1.889	0.198	0.103
29	RV	쏘렌토	147	1.868	0.164	0.032
30	RV	카니발	209	1.921	0.188	0.031
31	RV	레토나	63	1.874	0.225	0.068
32	RV	레조	210	1.921	0.193	0.031
33	RV	렉스턴	159	1.986	0.201	0.037
34	RV	무쏘	203	1.878	0.225	0.037
35	RV	코란도	235	1.958	0.206	0.031
36	승합	그레이스	196	1.809	0.205	0.034
37	승합	프레지오	204	1.866	0.206	0.034
38	승합	다마스	212	1.731	0.205	0.033
39	화물	포터	357	1.928	0.225	0.028
40	화물	리베로	104	2.046	0.280	0.065
41	화물	마이티	196	2.121	0.232	0.039
42	화물	5톤 트럭	97	2.469	0.288	0.070

3) 5톤트럭은 현대의 5톤트럭과 기아의 라이노를 함께 나타낸 것임.

43	화물	대형트럭	83	3.123	0.515	0.134
44	화물	봉고1톤	209	1.944	0.241	0.039
45	화물	프린터이2.5	91	2.149	0.233	0.058
46	화물	파맥스	49	2.274	0.232	0.081
47	화물	라보	99	1.769	0.169	0.040
48	버스	카운티	27	2.611	0.302	0.143
49	버스	마을버스	73	3.170	0.379	0.107
50	버스	시내버스	299	3.399	0.295	0.040
51	버스	일반버스	22	3.429	0.538	0.189

2. 군집분석 결과

차종모델별 평균차두시간 및 표준편차에 따라 K-평균 군집 분석 방법을 이용하여 차종을 분류하였다. K-평균 군집방법을 사용하기 위해서는 초기에 군집의 수를 미리 제공해야 하며, 군집의 수를 변화시켜 가면서 수행된 결과들을 비교해가는 분석 방법이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 K=2부터 군집수를 차례로 1씩 증가시키면서 군집분석을 수행하였으며, 현실적으로 육안판측이 불가능한 분류가 형성되기 시작하는 K=5 부터는 분석을 중지하였다. K=2~4의 군집분석결과는 <표 6>과 같다.

분석결과, K-평균 군집분석에 따른 오차의 평균제곱은 K=2 일 때 0.026, K=3일 때 0.010, K=4일 때 0.006으로 군집의 수가 클수록 Error값이 낮은 것으로 나타나 4개의 군집으로 설정하는 것이 가장 적정할 것으로 나타났다. 는 <표 4>와 같다

<표 4> K-평균 군집분석의 ANOVA test 결과

ANOVA	군집(Cluster)		오차(Error)		F값
	제곱평균	자유도	제곱평균	자유도	
K=2	6.855	1	0.026	49	267.511
K=3	3.813	2	0.010	48	378.290
K=4	2.610	3	0.006	47	435.990

3. 차종분류 및 승용차환산계수 산정결과

K-평균 군집분석의 ANOVA test 결과에 근거하여 최종 차종분류를 4개 군집으로 분류하였다. 4개 군집으로 분류시 <표 4>에서 보는바와 같이 렉스턴의 경우 다른 동일한 성능 및 재원의 RV차량들과 다른 분류로 군집화됨으로서 실제 현장조사 시 별도의 조사가 불가능하므로, 다른 RV차량들이 속해있는 4군집으로 분류해야 할 것으로 사료되며, 1종으로 분류된 리베로 또한 동일한 적재능력 및 재원을 가진 4종으로 분류해야 할 것으로 사료된다. 따라서 정량적 분석결과와 정성적 관점의 실제 육안식별 및 현장조사가 가능한 사항을 고려하여 4개 군집으로 최종 분석차종을 분류하였다.

최종분류한 4개 차종 군집의 평균차두시간에 대해 <식 4>의 PCE 산정식을 이용하여 승용차환산계수를 산정하였으며, 기준 차량인 승용차는 대부분의 승용차 및 RV차량이 포함되고 평균 차두시간이 가장 낮은 4군집으로 결정하였다.

최종 분석차종 분류결과 및 승용차환산계수 산정결과는 <표

5>과 같다.

<표 5> 최종 차종분류 및 승용차환산계수 산정결과4)

차종구분	차종	차종 모델수	평균차두 시간(초)	승용차 환산계수
1차종 (기준차량)	일반승용차, RV 전차종, 1ton이하 화물	8	1.731	1.00
2차종	대형승용차, 2.5~3.5ton 화물	2	2.149	1.24
3차종	5ton 화물, 16~25인승 버스	4	2.611	1.51
4차종	대형화물(8ton 이상), 마을버스, 시내버스, 일반버스	37	3.429	1.98

V. 결론 및 향후과제

본 연구는 Kimber(1985)의 차두시간비율법(Headway Ratio Method)이 최적신호시간 설계에 적합하다는 제안에 착안하여 신호교차로 설계 및 분석에 적용 가능한 차종분류 및 차종별 승용차환산계수를 도출하는 것으로, 한국에서 출시되는 전 차종모델을 대상으로 차종모델별 평균 포화차두시간간격을 조사한 후 K-평균 군집분석법을 통해 최적 차종분류를 설정하여 차두시간비율에 입각한 차종분류와 기준을 제시하고 그에 따른 차종별 승용차환산계수를 제시하였다. 연구결과, K-평균 군집분석을 이용한 평균차두시간에 따른 최적 차종분류는 4개 군집차종으로 분류되었으며, 승용차환산계수는 2차종이 1.24, 3차종이 1.51, 4차종이 1.98로 나타나 현재 도로용량편람에서 제시하는 단일보정계수(1.8)에 비해 더욱 세분된 값으로 분류되어야 할 것으로 조사되었다.

위의 분석결과는 일반적인 차량별 행태현상을 조사한 것으로 현재 사용중인 도로용량편람에서 제시하는 보정계수와 다르게 분석되었다. 그러나, 도로용량편람에서 제시하는 승용차환산계수의 경우 회귀분석법에 의해 산출된 수치로서, 본 연구의 차두시간비율법과 연구방법이 상이하여 단순한 분류와 수치에 따른 적합성의 비교가 어려울 것으로 사료된다. 따라서 향후 시뮬레이션 기법 또는 현장조사 등을 통한 적용성 및 적합성의 검토가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

4) 대형승용차는 다이너스티, 제어맨, 에쿠스 차종모델임.

<표 6> 군집별 차종분류 결과

No.	K = 2			K = 3			K = 4		
	차종	군집	평균차두시간	차종	군집	평균차두시간	차종	군집	평균차두시간
1	대형트럭	1	3.429	에쿠스	1	2.274	다이너스	1	2.149
2	카운티			마이티			에쿠스		
3	마을버스			5톤 트럭			체어맨		
4	시내버스			프린티어2.5t			렉스턴		
5	일반버스			파맥스			리베로		
6	클릭			카운티			마이티		
7	베르나	2	1.758	클릭	2	1.731	프린티어2.5t	2	2.611
8	아반테			베르나			파맥스		
9	투스카니			아반테			5톤 트럭		
10	소나타			투스카니			카운티		
11	그랜저			소나타			대형트럭		
12	다이너스			그랜저			마을버스		
13	에쿠스			다이너스			시내버스		
14	비스토			비스토			일반버스		
15	리오SF			리오SF			클릭		
16	스펙트라			스펙트라			베르나		
17	옵티마			옵티마			아반테		
18	리갈			리갈			투스카니		
19	마티즈	마티즈	소나타						
20	칼로스	칼로스	그랜저						
21	라세티	라세티	비스토						
22	매그너스	매그너스	리오SF						
23	체어맨	체어맨	스펙트라						
24	SM3	SM3	옵티마						
25	SM5	SM5	리갈						
26	라비타	라비타	마티즈						
27	트라제XG	트라제XG	칼로스						
28	겔로퍼	겔로퍼	라세티						
29	테라칸	테라칸	매그너스						
30	산타페	산타페	SM3						
31	스타렉스	스타렉스	SM5						
32	카렌스	카렌스	라비타						
33	X-TREK	X-TREK	트라제XG						
34	쏘렌토	쏘렌토	칼로스						
35	카니발	카니발	겔로퍼						
36	레토나	레토나	테라칸						
37	레조	레조	산타페						
38	렉스턴	렉스턴	스타렉스						
39	무쏘	무쏘	카렌스						
40	코란도	코란도	X-TREK						
41	그레이스	그레이스	쏘렌토						
42	프레지오	프레지오	카니발						
43	다마스	다마스	레토나						
44	포터	포터	레조						
45	리베로	리베로	무쏘						
46	마이티	리베로	코란도						
47	5톤 트럭	붕고1t/1.3t	그레이스						
48	붕고1t/1.3t	라보	프레지오						
49	프린티어2.5t	대형트럭	다마스						
50	파맥스	마을버스	포터						
51	라보	시내버스	붕고1t/1.3t						
		일반버스	라보						
				3	3.429				

참고문헌

1. 국내문헌

1. 건설교통부, "도로용량편람", 대한교통학회, 2001.
2. 교통개발연구원 · 대한교통학회 · 한국건설기술연구원, "도로용량편람 개선연구(1단계) 최종보고서" 건설교통부, 1999.
3. 탐진, "응용 다변량분석", 성웅현, 2002
4. 탐진, "통계학원론-제2판", 김성주 외 6인, 1992.

2. 외국문헌

1. Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual", Transportation Research Board, National Research Council : Washington D.C., 2000.
2. Ahmed F. Al-Kaisy etc., "Developing Passenger Car Equivalents For Heavy Vehicles On Freeways During queue Discharge Flow", Transportation Research Part A36, 2002. pp. 725-742.
3. John C. Golias, M.ASCE, "Examining Sensitivity of Impact of Taxi Traffic on Capacity and Delays at Urban Road Sections", Journal of Transportation Engineering, 2003, pp. 286~291.
4. Joseph Craus, Abishai Polus and Itzhak Grinberg, "A Revised Method For The Determination Of Passenger Car Equivalencies", Transportation Research, Vol. 14A, 1979, pp. 241~246.
5. Kara M. Kockelman and Raheel A. Shabih, "Effect OF Light-Duty Trucks on the Capacity Of Signalized Intersections", Journal of Transportation Engineering, 2000, pp. 506~512.
6. Lily Elefteriadou, Darren Torbic, and Nathan Webster, "Development of Passenger Car Equivalents for Freeways,

Two-Lane Highways, and Arterials", TRR 1572, 1997, pp. 51~58.

7. M. Hossain, "Estimation Of Saturation Flow At Signalised Intersections Of Developing Cities : A Micro-Simulation Modeling Approach", Transportation Research Part A35, 2001, pp.123-141.
8. Nathan Webster, Lily Elefteriadou, "A Simulation Study Of Passenger Car Equivalents(PCE) On Basic Freeway Sections", Transportation Research Part B33, 1999, pp. 323-336.
9. R. M. Kimber and M. Hounsell, "Passenger Car Units In Saturation Flows : Concept, Definition, Derivation", Transportation Research Vol. 19B, 1985, pp. 39-61.
10. Rahim F. Benekohal and Weixiong Zhao, "Delay-based Passenger Car Equivalents For Truck At Signalized Intersections", Transportation Research Part A34, 2000, pp.437-457.
11. Roger P. Roess and Carroll J. Messer, "Passenger Car Equivalents for Uninterrupted Flow: Revision of Circular 212 Values", Transportation Research Record 971, 1984, pp. 7~13.
12. Roy Sumner, David Hill and Steven Shapiro, "Segment Passenger Car Equivalent Value For Cost Cost Allocation On Urban Arterial Roads", Transportation Research, Vol. 18A, No. 5/6, 1983, pp. 399~406.
13. Satish Chandra and Upendra Kumar, "Effect Of Lane Width On Capacity Under Mixed Traffic Conditions In India", Journal of Transportation Engineering, 2003, pp. 155-160.
14. Shou-min tsao and Song-wei Chu, "Adjustment Factors For Heavy Vehicles At Signalized Intersection", Journal of Transportation Engineering, 1995, pp. 150-157.