

초기변수의 불확실성이 신호교차로 지체모형 및 서비스수준 예측에 미치는 영향 분석

김성득* · 박원규** · 김경규***

* 울산대학교 건설환경공학부 교수, ** 울산대학교 건설환경공학부 박사 과정, *** 울산대학교 건설환경공학부 박사 과정

A Effect of Unreliable Default Parameter in Forecasting Delay and Level of Service of Signalized Intersection

Sung-Deuk Kim* · Kyung-Kyu Kim** · Won-Kyu Park***

* Professor, Dept., of Civil & Environment eng, Ulsan University, Ulsan 680-749, Korea

** Doctoral Candidate, Dept., of Civil & Environment eng, Ulsan University, Ulsan 680-749, Korea

*** Doctoral Candidate, Dept., of Civil & Environment eng, Ulsan University, Ulsan 680-749, Korea

요 약 : 신호교차로는 도로조건, 교통조건, 신호조건 등 방대한 입력자료로부터 용량분석을 시행하고 이 과정을 토대로 주요 효과적도인 지체를 산정하여 신호교차로의 서비스 수준을 판단한다. 하지만 이러한 용량 및 서비스 수준 결정에 있어 바탕이 되는 현장 데이터(회전 교통량, 도로의 기하구조, 신호시간, 접근로 구배, 중차량비, 첨두시간계수, 차량도착형태 등) 입력자료의 불확실성으로 인해 초래되는 결과의 오류에 대해서는 고려되지 않고 있는 실정이다. 이로 인해 추정된 용량 및 서비스수준에 대한 신뢰성을 검증할 수 없는 문제를 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 해당 교차로 접근로의 교통량과 중차량 비율 및 도로의 기하구조 등 입력자료의 불확실성이 용량해석과 서비스수준 결정에 미치는 영향을 고려해보고 이들에 의한 영향을 최소화할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 입력변수, 민감도분석, 서비스수준, 신호교차로

Abstract : In the Signalized Intersection, the capacity analysis is conducted with a large amount of input data such as road way, traffic and signal condition. but the level of service(LOS) is determined by delay estimated as a measure of effectiveness (MOE) based on this procedure. However, It is under the circumstances which are not considered for the errors caused by the uncertainty of input data in the field(the turning volumes, lane geometry, signal timing, grade of approach lane, percentage heavy vehicles, peak hour factor and arrival type etc.) as become the bases in the determination of the capacity and LOS. It includes the problem of reliability which is not verified for the capacity and LOS estimated. So, this study is to suggest the minimization of their influences by examining whether the uncertainty of input data such as the traffic volume, percentage of heavy vehicles and roadway geometry on the approach lane in the intersection under the study affects the capacity analysis and LOS determination.

Key words : Input Parameters, Sensitivity Analysis, Level of Service, Signalized Intersection

1. 서 론

자동차 보유 대수가 1,200만대를 넘어서면서 대도시의 주요도로는 늘어나는 교통량으로 인해 극심한 혼잡을 겪고 있고 이로 인해 발생하는 비용을 줄이기 위한 노력들이 사회 곳곳에서 다양하게 진행되고 있다. 그러나 때론 가장 기초적이고 기본적인 연구 조사 노력이 미흡하여 현장상황을 최대한 정확히 반영하지 못하고 이로 인해 혼잡 지역의 개선 의지를 상쇄시키는 경우들이 아직은 많은 실정이다. 도시부 신호교차로에서의 용량과 서비스수준에 대한 내용도 이러한 문제중의 하나이다. 신호교차로의 용량과 서비스수준을 결정하기 위해

HCM(Highway Capacity Manual)에서는 교통량과 그 분포, 교통조건 자료, 기하특성, 그리고 신호등의 운영방식 등을 포괄적으로 고려하여 신호교차로 용량 분석을 실시하고 이 과정을 수행한 후 주요 효과적도로서 지체를 산정하고 산정된 지체를 토대로 서비스 수준을 결정하는 방법을 설명하고 있다. 하지만 이런 방대한 데이터(차로수, 차로폭, 접근로 구배, 중차량비, 버스 정차대수, 첨두시간계수, 차량 도착형태, 교통량 등)를 수집하기 위해서는 하나의 교차로에 보통 4명 이상의 인원 동원이 필요한 반면 이러한 입력 변수값들이 HCM 분석결과의 정확도에 미치는 각각의 영향에 대해서는 검증된 바가 없다.

* 대표저자 : 김경규(정회원), kimjisan@hanmail.net, 052)259-2257

** wkpark72@hanmail.net, 052)259-1666

*** 종신회원, kkg7677@hanmail.net, 052)259-1666

또한 신호교차로 지체 및 서비스수준 결정에 있어 바탕이 되는 도로의 기하조건(접근로의경사, 차로수 및 폭, 주차상태 등), 교통조건(중차량 구성비, 보행자 횡단, 주차활동), 신호조건(주기, 녹색시간, 현시시간) 등 입력자료의 불확실성으로 인해 초래되는 결과의 오류에 대해 충분한 검토가 없다면 추정된 용량 및 서비스수준에 대한 신뢰성을 검증할 수 없는 문제를 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 해당 교차로 접근로의 교통량과 중차량 비율 및 도로의 기하구조 등 입력자료의 불확실성이 용량해석과 서비스수준 결정에 미치는 영향을 고려해보고 이들에 의한 영향을 최소화할 수 있는 방안을 제시하고자 울산시 주요 교차로에서 구한 실측한 지체와 HCM 운영분석에서 요구하는 다양한 초기 입력 변수값들을 사용해서 구한 지체값들을 상호 비교함으로써 이들 초기 변수들값의 영향력을 살펴보았다.

2. 이론고찰 및 연구방법론

2.1 문헌고찰

신호교차로의 용량과 서비스수준을 추정하기 HCM 방법론에 있어서의 정확성에 대한 검증이 Reilly¹⁵에 의해 Arizona와 California의 8개 교차로에 대한 조사를 바탕으로 처음으로 행해진 이후 May¹³는 이 8개 교차로 중 5개 교차로에 대한 조사를 바탕으로 용량해석 과정을 비교함으로써 지체식과 포화교통류율의 보정값을 제시하였다.

특히 Teodorovic¹⁷는 Delaware의 5개 교차로의 16개 접근로에 대한 조사를 바탕으로 HCM 방법론에 의한 정지지체가 과대예측되는 측면이 있다는 연구논문을 발표하였다. 하지만 이러한 여러 연구에도 불구하고 HCM 운영분석에서 요구하는 초기입력변수들이 불확실할 때 그들로 인해 초래될 수 있는 지체 및 서비스 수준의 성과지표의 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다.

2.2 신호교차로 분석 방법

신호교차로 분석의 주요 목적은 신호교차로 전체 또는 해당 접근로군의 용량과 서비스수준을 결정하는데 있고 이를 위해 실제 현장 교차로나 계획 설계할 교차로의 도로조건, 교통조건, 신호조건 등 방대하고 상세한 데이터를 필요로 하고 이러한 복잡한 신호교차로의 분석을 효율적으로 하기 위해서 다음의 5단계의 과정으로 나누어진다.

1) 자료 입력 과정 : 분석에 요구되는 각종 자료를 입력하는 과정이다. 즉 운영 분석이나 계획분석을 실시할 해당 교차로의 도로, 교통, 신호 상황 등의 입력 자료를 정의하는 과정으로서 여기서 입력한 자료가 다음 분석단계의 근거가 된다.

2) 교통량 보정 과정 : 교통량은 일반적으로 첨두시간 교통량(vph)이 사용되어 진다. 즉 이 단계에서는 시간당 교통량을 첨두시간 계수와 차선 이용계수를 사용하여 첨두시간 교통량을 계산하고 각 분석대상 교차로 접근로의 차선군을 정의한다.

3) 포화 교통류율 보정 과정 : 포화 교통류율을 각 차선군에 대해 계산하는 단계로서 기본 포화교통류율에 현장 교차로 조건에 따른 보정계수를 적용하여 주어진 차선군의 포화 교통류율을 결정한다.

4) 용량분석 과정 : 2단계의 보정된 교통량과 3단계의 포화 교통류율을 근거로 각 차선군에 대한 v/c비(volume/capacity ratio)를 산정하여 용량조건을 분석하고 교차로 전체의 임계 v/c비를 산정하여 주어진 조건에 의한 교차로의 포화도를 결정한다.

5) 서비스 수준 분석 과정 : 각 차선군의 지체를 산정하고 정리하여 교차로 접근로별 및 전체 교차로의 평균 지체를 산정하고 이 평균 지체를 근거로 서비스 수준을 분석한다.

2.3 연구 방법

신호교차로 운영분석에 있어서 수많은 자료가 요구되는 기법인 HCM 운영분석법에서는 자료가 없는 곳도 분석이 가능하도록 각 변수들의 초기값을 Table 1과 같이 제시하여 개략적인 분석이 가능하도록 하고 있다.

Table 1 Defaults values for signalized intersection

Data Item	Default Values
Intersection Data	
Arrival Type	3
PHF	0.92
Saturation Flow Data	
Base saturation flow rate	1900 pc/hr/lane
Lane widths	12ft(3.6M)
Heavy Vehicles	2%
Grades	0%
Parking maneuvers	20 maneuvers/hr
Conflicting pedestrians	Non CBD : 50 ped/hr
Buses Stopping	Non CBD : 2 Buses/hr

하지만 도로의 조건과 교통조건이 미국과 다른 국내현실이 이 값을 그대로 적용하기에는 무리가 따르고 또한 현장 데이터의 실제값을 대체해서 사용한 변수의 초기값들이 HCM 운영분석의 정확도에 미치는 영향을 파악하기 위해서 HCM의 변수 초기값들과 실제 교차로의 현장데이터값을 사용했을 때의 서비스 수준을 분석할 필요성이 있다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 변수값들의 변화가 신호교차로 용량 및 서비스 수준에 미치는 민감도를 서로 비교·분석하여 불확실한 변수값들로 인해 초래되는 신호교차로 운영분석 결과의 불확실성을 고찰해보고자 한다. 이를 위해 울산시 4개 주요 교차로(신정사거리, 시청사거리, 봉월사거리, 은월사거리)에 대한 현장 조사를 실시하여 현장의 지체 및 교차로 분석에 필요한 현장 데이터를 수집하였고 이 값들과 HCM에서 추천하는 초기값 및 각 Case별 변수값들을 대입시켜 산출한 교차로 지체

및 서비스 수준을 비교·검토함으로써 불확실한 변수들의 영향을 살펴보았다.

2.4 연구모형 개발

본 연구에 실행된 모형의 시험과정은 7단계를 나누어 실시되었고 각 시험에 해당되는 변수 이외의 값들은 Table 1의 초기값을 사용하였다. 단지 기본 포화교통류율은 국내에서 이상적인 조건하에서 권장하는 2200 pcphgpl을 적용하였다. 각 시험의 간략한 개요는 아래와 같다.

Case 1 : 초기값(Default Values)를 이용한 신호교차로 분석

Case 1의 과정에서는 신호교차로 서비스수준 분석에 사용되는 변수값으로 Table 1의 초기값을 주고 교차로의 V/C비, 지체 및 서비스수준을 산정하였다.

Case 2 : 차량 도착형태(Arrival Type) 영향 분석

Case 2에서는 HCM에서 제안하는 차량도착형태의 초기값 3에 대해 차량도착형태를 1~6으로 변화시켰을 때의 교차로 지체 및 서비스 수준에 미치는 민감도를 분석하고 아울러 주요 교차로 접근로의 현장 데이터값을 대입시켰을 때의 지체와 서비스수준의 차이도 살펴보았다. 교차로의 차량도착형태를 HCM에서 제시한 Rp[차량군비(Platoon Ratio)]를 가장 적합한 설명변수로 보았으며 이 값에 따라 Table 2의 판정기준으로 차량도착형태를 구분하였다.

$$Rp = P \times \frac{C}{g}$$

여기서,

Rp : 차량군비(platoon ratio)

P : 녹색현시 중에 도착하는 차량의 총차량에 대한 비율

g : 이동류의 유효녹색시간

C : 신호주기

Table 2 Relationship between arrival type and platoon ratio(Rp)

차량도착형태	Rp의 범위
Type 1	0.00 ~ 0.50
Type 2	0.50 ~ 0.85
Type 3	0.85 ~ 1.15
Type 4	1.15 ~ 1.50
Type 5	1.50 ~ 2.00
Type 6	2.00 이상

Case 3 : 침투시간계수(PHF) 영향 분석

Case 3에서는 침투시간 계수의 영향을 분석하기 위해 현장에서 측정된 각 접근로에 대한 PHF를 HCM의 초기값 0.92를 대체해 분석하였으며 아울러 PHF의 주기적인 변화에 따른 지체 및 서비스수준의 변화추이를 살펴보았다.

Case 4 : 포화교통류율(Ideal Saturation) 보정계수 영향 분석

현실적으로 분석 대상이 되는 교차로의 대부분은 이상적인 조건을 만족하지 못한다. 따라서 이러한 교차로에 만족하지 못하는 조건은 이상적인 포화교통류율에 대해 각종 보정계수(차선폭 보정계수, 중차량 보정계수, 경사 보정계수, 주차 보정계수, 버스주차대수 보정계수, 상층 보행자 보정계수)를 적용하여 구하는데 이러한 보정계수가 교차로 V/C비 및 지체에 미치는 영향을 분석하였다.

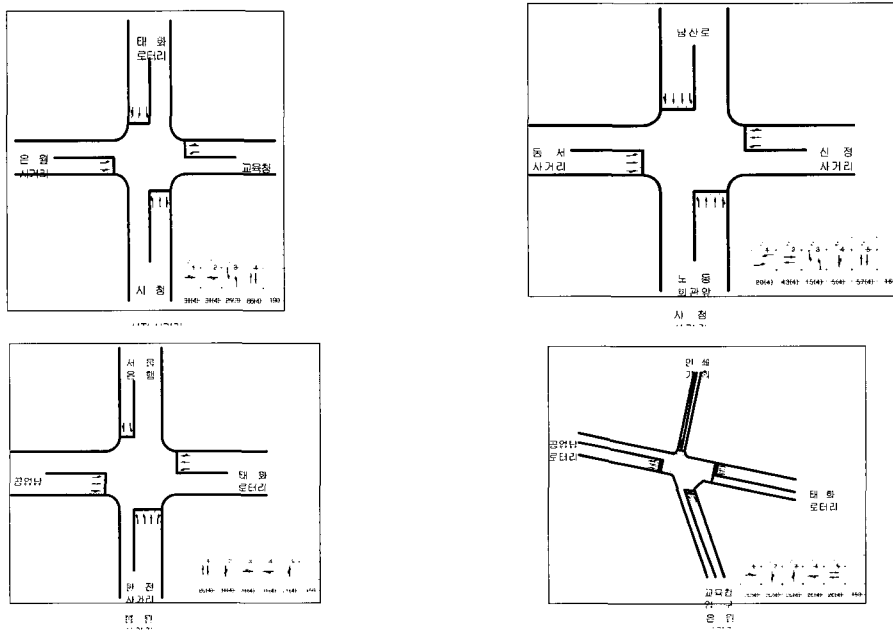


Fig. 1 Geometry and signal condition for signalized intersection

Case 5 : 현장데이터(field data)를 사용한 분석

전체 현장 데이터값과 Case 1~4의 결과치와 비교·검토 함으로서 현장 조사의 미비로 인해 사용되는 초기값과 실측치 값과의 교차로 운영분석의 결과 차이를 분포를 살펴보았다.

Case 6 : 현장 포화교통류율을 사용한 분석

포화교통류율은 도로조건 및 운전자의 거동에 따라 상이한 점을 고려하여 분석에 사용할 포화교통류율을 직접 현장에서 차두시간을 조사해서 결정하였고 이에 따른 교차로의 운영상태를 살펴보았다.

Case 7 : 현장 지체 분석

분석대상교차로에서 해당 접근로에 비디오 촬영을 실시하였고 이를 실내에서 이동류별로 교통량등을 감안하여 15초 간격으로 분석하여 지체를 산정하였다.

오전 첨두시간에 비디오 관측 및 실측을 실시하여 도로조건, 교통조건, 신호조건에 대한 데이터를 수집하였고 조사지점의 교차로 현황자료는 Table 3과 같다.

현장에서 수집된 자료는 HCM의 초기값과 비교했을 때 다양하게 분포되어 있었다. 교차로에서 차량군들의 흐름은 접근부의 차선폭에 영향을 받아 차선폭이 좁으면 차량의 통과율이 떨어지게 되고 넓어지면 높아지게 되는데 분석대상 교차로의 차선폭은 2.75~3.35의 차선폭을 가지고 있었고 포화교통류율에 직접적으로 영향을 미치는 구배도 -2.5%에서 7.6%의 범위를 가지고 있었다. 특이한 점은 중차량비, 보행자수, 버스정차대수 및 첨두시간계수에 대한 미국 HCM의 초기값이 각각 2%, 50 ped/hr, 2 Buses/hr인데 비해 현장에서는 6~21.9%, 25~128명, 0~ 35대, 0.83~0.97의 범위로 상당히 큰 폭의 차이를 보여 국내 신호교차로의 도로 및 교통 특성이 미국과는 확연하게 달랐다.

3. 현장자료 수집

3.1 신호교차로 분석 자료

본 연구에서 도로조건 및 교통조건 불확실한 자료가 용량 및 서비스수준 결정에 어떤 영향을 미치는 지 알아보기 위해서 울산시 주요 신호교차로 4곳을 9월 12일부터 9월 20일까지

4. 데이터 결과 분석

4.1 Case 별 교차로 평균 제어지체 비교

1) 불확실한 초기변수의 영향(Case 1)

현장에서 측정한 현장 데이터값 대신 HCM에서 추천한 초기값을 사용해서 구한 4개 교차로의 평균 지체는 98.2sec초,

Table 3 Traffic and roadway conditions

교차로	신정사거리				시청사거리				봉월사거리				은월사거리				범 위	
	E	W	N	S	E	W	N	S	E	W	N	S	E	W	N	S	최소값	최대값
CASE 1	Default Values를 이용한 신호교차로 분석																	
	표 1값 적용																	
CASE 2	차량 도착형태(Arrival Type) 영향 분석																	
차량도착형태	2	1	2	3	3	2	2	3	2	2	1	1	3	2	3	3	1	4
CASE 3	첨두시간계수(PHF) 영향 분석																	
첨두시간계수	0.88	0.90	0.97	0.94	0.93	0.95	0.96	0.94	0.97	0.90	0.97	0.96	0.98	0.89	0.95	0.93	0.83	0.97
CASE 4	포화교통류율(Ideal Saturation) 보정계수 영향 분석																	
차선폭(m)	3.0	3.05	3.2	3.05	2.9	2.89	3.1	3.0	3.35	2.75	3.2	3.1	2.8	2.85	3.1	3.1	2.75	3.35
중차량비(%)	8.8	19.8	21.9	15.2	10.0	8.0	23.8	17.4	6.2	8.5	12.7	13.3	8	6	8.4	9.7	6	23.8
구배(%)	-1.5	0	0	2.0	-1.5	1.8	0	0	-2.5	6.8	0.5	0.4	-1.2	7.6	-0.5	0	-2.5	7.6
주차대수	5	7	3	5	5	4	4	1	11	2	3	5	5	8	7	6	1	11
보행자수	79	118	45	52	51	80	128	40	75	71	60	45	25	65	68	45	2	128
버스정차대수	7	9	35	13	0	11	15	12	8	5	19	15	3	14	21	24	0	35
CASE 5	field data를 사용한 분석																	
	Case 2 ~ Case 4 값을 모두 분석에 적용																	
CASE 6	현장 포화교통류율을 사용한 분석																	
포화교통류율	1646	1588	1645	1701	1562	1525	1378	1479	1580	1780	1583	1916	1470	1621	1698	1710	1378	1916

평균절대오차는 10.4sec(평균 지체의 8.8%)로서 상당히 높게 나타났고 이로 인해 신호교차로의 서비스 수준도 정확히 예측치 못했다. 이는 현장 자료가 부족하더라도 도로의 조건과 교통조건이 미국과 다른 국내현실에 미국 HCM 추천값을 그대로 적용하기에는 무리가 따르는 것을 의미한다. 특히 도심교차로의 중차량 점유율이 6%~23.8%로 미국 HCM 추천값의 2%보다 훨씬 큰 비중을 차지했으며 침두시간계수 또한 피크시 평균 0.94로서 미국 추천값보다 크게 나타났다.

각 Case별 교차로 평균제어지체값과 서비스 수준은 Table 4와 Table 5에서 보는 바와 같다.

Table 4 Average control delay for signalized intersection (단위 : sec)

	신정사거리	시청사거리	봉월사거리	은월사거리	평균	평균절대오차
CASE 1	78.3	66.2	195.1	53.3	98.2	10.4
CASE 2	81.8	64.1	194.1	53.3	98.3	10.3
CASE 3	85.6	62.3	192.7	52.8	98.4	10.3
CASE 4	81	94.1	214.7	58.6	112.1	6.6
CASE 5	90.4	88.6	210.9	57.9	111.95	3.4
CASE 6	93.2	81	200	54	106.55	4.6
CASE 7	87.1	85.3	206	56	118	0

Table 5 Level of service for signalized intersection

	신정사거리	시청사거리	봉월사거리	은월사거리
CASE 1	E(E)	D(E)	F(F)	D(D)
CASE 2	E(F)	D(E)	F(F)	D(D)
CASE 3	E(F)	D(E)	F(F)	D(D)
CASE 4	E(F)	E(F)	F(F)	D(E)
CASE 5	E(F)	E(F)	F(F)	D(E)
CASE 6	E(F)	E(F)	F(F)	D(D)
CASE 7	E(F)	E(F)	F(F)	D(E)

* ()안은 미국 서비스 수준 기준

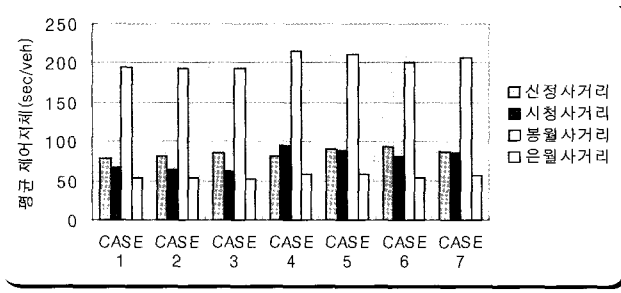


Fig. 2 Average control delay by case

2) 차량도착형태(Case 2)와 침두시간 계수 영향(Case 3)

미국 HCM 초기 추천값을 현장에서 측정한 차량도착형태와

침두시간 계수로 각각 대체하여 구한 제어지체의 평균제곱오차도 각각 10.3sec(8.7%), 10.25sec(8.7%)의 높은 오차를 보임으로 인해 정확한 제어지체를 산정하지는 못하였다. 이는 또한 정확한 포화교통류율 및 포화교통류를 보정계수에 대한 현장데이터가 없을 때는 신뢰할 수 있는 교차로 지체 및 서비스 수준을 산정할 수 없음을 의미한다.

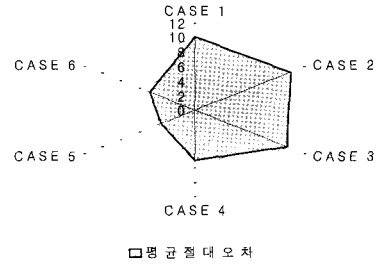


Fig. 3 Mean absolute error by case

3) 포화교통류율(Ideal Saturation) 보정계수 영향(Case 4)

현장에서 측정한 포화교통류율 보정계수 즉, 차선폭(m), 중차량비(%), 구배(%), 주차대수, 보행자수, 버스정차대수를 적용한 지체값은 실제 교차로의 제어지체값과 6.8sec(5.76%)의 차이를 보였는데 이는 앞의 포화교통류율 보정계수값을 아무리 정확히 측정하더라도 차량도착형태와 침두시간계수값이 불확실할때에 일어날 수 있는 오차값을 설명하는 것이다.

4) 현장 데이터를 사용한 분석(Case 5) 및 현장포화교통류율을 사용한 분석(Case 6)

현장에서 측정한 Case 2~4의 모든 현장 데이터 값을 사용한 제어지체값은 3.4초(2.8%)의 차이로 현장 제어지체값을 가장 정확히 표현하고 있으며 서비스 수준 또한 정확히 예측하고 있다. 즉 이는 불확실한 변수값들의 영향이 감소함으로 인한 것으로 현장 데이터 수집의 중요성을 설명하는 것이라 할 수 있을 것이다. 이에 비해 현장에서 직접 구한 포화교통류율을 사용한 지체값이 4.6초(3.9%)로 Case 5번의 경우보다 다소 크게 나와 보정계수를 사용한 지체값보다 실측한 포화교통류율에 의한 지체값의 정확도가 떨어지는데 이는 현장에서 시시각각 변화는 차두시간을 이용한 포화교통류율 산정의 어려움 때문에 기인하는 것으로 사려된다.

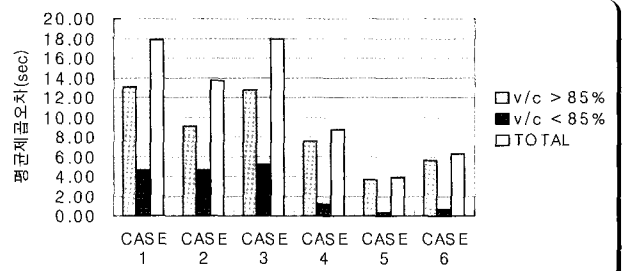


Fig. 4 Signalized intersection results by v/c

또한 Case 5번과 Case 6번의 경우 Fig. 4와 같이 비혼잡한 도로($v/c < 85\%$)에서 평균제곱오차가 특히 감소하여 현장 제어 지체값을 매우 정확히 산정하는 걸로 나타났다

4.2 교통량 변화에 따른 입력변수의 영향

교차로 운영분석에 필요한 초기 입력변수들의 교통량 변화에 따른 신호교차로 용량 및 서비스 수준 변화를 살펴보기 위해서 시청사거리의 동쪽 접근로를 대상으로 기존 교통류의 교통량을 $-20\% \sim +20\%$ 로 변화를 주었을 때 차선폭, 중차량비, 구배, 차두시간이 미치는 영향을 살펴보았다.

대상 시청사거리의 동쪽 접근로의 기존 교통량은 661대/시이고 모든 제반 입력변수값들을 현장측정치로 적용시켜 HCM 운영분석 과정으로 계산된 교차로의 평균 제어지체는 56.8 sec/대, 국내 서비스 수준 C(미국 HCM수준 D)로 예측되었다.

차선폭, 접근부 구배 및 교통량과 차두시간에 기인한 다양한 운전자 거동 행태를 달리했을 때의 용량과 서비스 수준의 변화 결과는 Fig. 4와 같다.

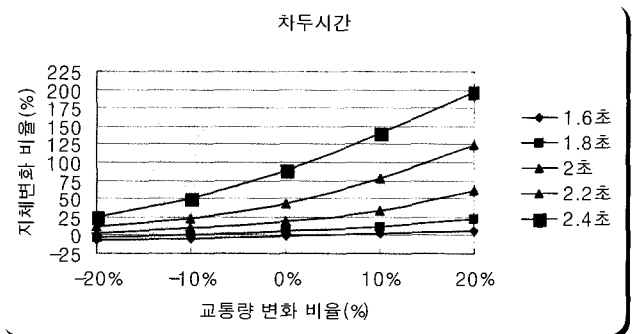
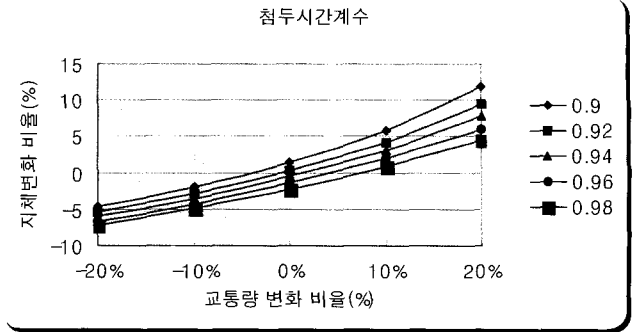


Fig. 5 Signalized intersection delay sensitivity of various volumes

Fig. 4와 Table 6과 Table 7에서 보듯이 차선 폭 및 접근부 구배 등 도로의 기하구조를 달리했을 때는 기준 지체 및 서비스수준에 10%내외의 지체시간 변화를 가져왔으나 국내 기준으로 서비스 수준의 변화를 나타내지는 않았다.

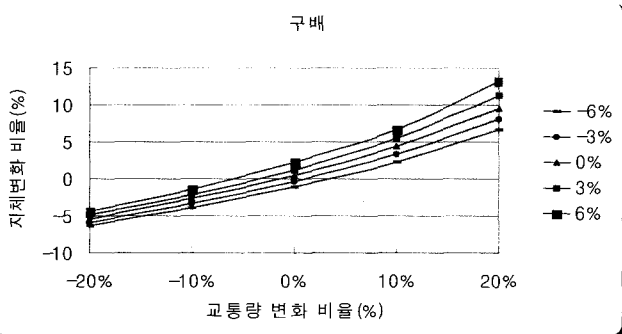
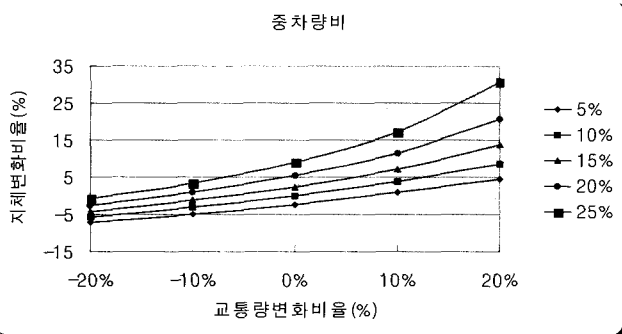
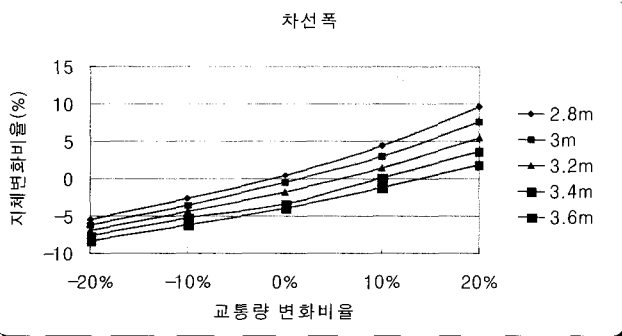


Table 6 Delay sensitivity considering input parameter

차선폭	교통량 변화비율				
	-20%	-10%	0%	10%	20%
2.8m	53.7	55.3	57.1	59.3	62.3
3m	53.3	54.8	56.5	58.5	61.1
3.2m	52.9	54.3	55.8	57.6	59.9
3.4m	52.5	53.8	54.9	56.9	58.9
3.6m	52.1	53.3	54.6	56.1	57.9

중차량비	교통량 변화비율				
	-20%	-10%	0%	10%	20%
5%	52.7	54	55.5	57.3	59.4
10%	53.5	55	56.8	58.9	61.7
15%	54.4	56.1	58.2	60.9	64.6
20%	55.3	57.3	59.9	63.3	68.6
25%	56.4	58.7	61.9	66.5	74.3

구 배(%) \ 교통량 변화비율	-20%	10%	0%	10%	20%
	6	53.2	54.6	56.2	58.1
-3	53.4	54.9	56.6	58.7	61.4
0	53.7	55.3	57.1	59.3	62.2
3	54	55.6	57.5	59.9	63.2
6	54.3	56	58.1	60.6	64.3

중차량비 \ 교통량 변화비율	-20%	-10%	0	10%	20%
	0.05	-7.2	-4.9	2.3	0.9
0.1	-5.8	-3.2	0.0	3.7	8.6
0.15	-4.2	-1.2	2.5	7.2	13.7
0.2	-2.6	0.9	5.5	11.4	20.8
0.25	-0.7	3.4	8.9	17.1	30.8

PHF \ 교통량 변화비율	20%	-10%	0%	10%	20%
	0.9	54.1	55.7	57.6	60.1
0.92	53.7	55.2	57	59.2	62.2
0.94	53.4	54.8	56.5	58.5	61.2
0.96	53	54.4	56	57.9	60.2
0.98	52.7	54	55.5	57.3	59.4

구 배(%) \ 교통량 변화비율	-20%	-10%	0	10%	20%
	-0.06	-6.3	-3.9	-1.1	2.3
-0.03	-6.0	-3.4	-0.4	3.4	8.1
0	-5.5	-2.6	0.5	4.4	9.5
0.03	-4.9	-2.1	1.2	5.5	11.3
0.06	-4.4	-1.4	2.2	6.7	13.2

차두시간 \ 교통량 변화비율	-20%	-10%	0%	10%	20%
	1.6초	53.1	54.5	56.1	58.1
1.8초	55.5	57.6	60.2	63.8	69.6
2초	58.7	62.1	67.2	76	91.2
2.2초	63.4	69.8	81.6	100.9	126.7
2.4초	71.1	84.9	106.9	136.1	168.5

PHF \ 교통량 변화비율	-20%	-10%	0	10%	20%
	0.9	-4.8	-1.9	1.4	5.8
0.92	-5.5	-2.8	0.4	4.2	9.5
0.94	6.0	-3.5	-0.5	3.0	7.8
0.96	-6.7	-4.2	-1.4	1.9	6.0
0.98	-7.2	-4.9	-2.3	0.9	4.6

상대적으로 중차량 비의 변화에 따른 민감도가 커서 교통량의 변화와 맞물려 중차량비의 변화가 서비스 수준을 변화시킬 수 있었다. 또한 운전자 거동행태에 기인한 포화차두시간의 변화에 대해서도 서비스수준 변화가 급격하여 공격적인 운전자(h=1.6)에 한해서는 지체가 감소하였으며 교통량을 20% ~ 20%으로 변화시켰을 때 지체는 53.1초에서 60.5초로 증대하였다.

반면 보수적 성향의 운전자(h=2.4)는 교통량의 변화에 따른 제어지체값이 71.1초에서 168.5초로 급격히 증대하였다. 즉 공격적 성향의 운전자는 교통량의 변화에 따라 서비스수준이 D~E로 변화한 반면 보수적 성향의 운전자는 교통량의 변화에 대한 대응이 늦어져 서비스수준이 D~F로 광범위하게 변했다.

차두시간 \ 교통량 변화비율	-20%	-10%	0	10%	20%
	1.6초	-6.5	-4.1	-1.2	2.3
1.8초	-2.3	1.4	6.0	12.3	22.5
2초	3.4	9.3	18.3	33.8	60.6
2.2초	11.6	22.9	43.7	77.6	123.1
2.4초	25.2	49.5	88.2	139.6	196.7

Table 7 A percentage of control delay

차선폭 \ 교통량 변화비율	20%	10%	0	10%	20%
	2.8m	5.5	2.6	0.5	4.4
3m	-6.2	-3.5	-0.5	3.0	7.6
3.2m	-6.9	4.4	1.7	1.4	5.5
3.4m	7.6	5.3	3.4	0.2	3.7
3.6m	-8.3	-6.2	-3.9	-1.2	1.9

	최소값(%)	최대값(%)
차선폭(2.8m~3.6m)	-8.3	9.7
중차량비(5%~25%)	-7.2	30.9
구배(-6% ~ +6%)	-6.3	13.2
PHF(0.9 ~ 0.98)	-7.2	11.8
차두시간(1.6초 ~ 2.4초)	-6.5	196.7

Table 8 Level of service for various parameters

차선폭(2.8m ~ 3.6m)	D(C~D)
중차량비(5% ~ 25%)	D~E(D~E)
구배(-6% ~ 6%)	D(D~E)
PHF(0.9 ~ 0.98)	D(D~E)
차두시간(1.6초 ~ 2.4초)	D~F(D~F)

()안은 미국 HCM기준

5. 결 론

본 연구는 신호교차로의 부정확한 입력 변수가 신호교차로의 지체 및 서비스수준에 미치는 영향을 분석한 것으로서 다양한 민감도 분석을 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 신호교차로 HCM 운영분석에 있어서 개략적인 분석을 위해 제시한 미국의 초기값의 국내적용은 도로여건과 교통여건(교차로의 중차량 비, 버스 정차대수 등)이 미국과 많은 차이를 보이는 국내여건을 감안할 때 현장 데이터 수집이 극히 곤란할 때나 개략적인 지체나 서비스 수준을 산정할 때를 제외하고는 사용에 주의를 요하였다.
- 교차로 접근로의 v/c비가 85%를 초과하는 경우의 교차로 지체 산정에 있어 입력변수들의 정확도가 특히 요구되므로 정확한 현장조사를 바탕으로 한 데이터가 사용되어져야 할 것이다.
- 신호교차로 운영분석시 교통량은 매우 중요한 변수이다. 즉 교통량의 변화폭이 클수록 지체 및 서비스 수준의 변동폭이 커지므로 보다 정확한 교통량을 측정하거나 예측하는데 심혈을 기울여야 할 것이다.
- 포화 차두시간에 기인한 운전자 거동 행태도 불확실한 결과를 초래하는 매우 중요한 요소이다. 따라서 해당지점의 이런 불확실한 변수를 감소시킬 수 있게 보다 정확한 포화 차두시간 측정이 이루어져야 할 것이다.
- 교차로 기하구조의 영향은 다소 미비하였으나 불확실한 요인에 의한 서비스수준에 급격한 변동을 감소시키기 위해서는 이러한 제반 입력변수들에 대해서도 높은 정확도가 확립되어져야 할 것이다.
- 앞서 언급했듯이 본 연구의 지체는 입력변수들 각각을 현장 데이터 값으로 변화시키면서 도출된 값이다. 하지만 지체에 영향을 미치는 변수들 상호간의 상쇄작용이 없다면 지체가 급격히 증대되어 나타날 수도 있을 것이다. 따라서 철저한 현장 자료를 바탕으로 한 분석이 이루어져서 혼잡 지역의 개선 의지를 상쇄시키는 경우들이 없도록 하여야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2002년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 건설교통부(1992), 도로용량편람, 대한교통학회.
- [2] 건설교통부(1999), 도로용량편람 개선 연구, 교통 개발연구원.
- [3] 이승환(1989), 교차로 용량분석을 위한 교통류특성 기초조사, 대한교통학회지 제7권 제2호.
- [4] 오영태, 심대영(1992), 도시부 신호교차로의 기본 용량 및 기하구조 보정계수, 대한 교통학회지 제10권 제2호.
- [5] 하동익(1997), 신호교차로 지체체계 분석 방법론 연구, 대한교통학회지 제15권 제2호.
- [6] Agent K., Crabtree J.(1983), Analysis of Lost Times at Signalized Intersection, Transportation Research Record.
- [7] Cathy A., Koga. L.(1996), Comparison of 1985 and 1994 HCM : Signalized Intersection Delay Estimates, ITE Journal.
- [8] Carstens R. L.(1971), Some Traffic Parameters at Signalized Intersections, Traffic Engineering, Vol. 41 No. 11.
- [9] Cronje W. B.(1983), Derivation of Equation for Queue Length, Stops, and Delay for fixed-Time Traffic Signals, Transportation Research Record.
- [10] Douglas R.(1994), Manual of transportation Engineering Studies, Institute of Transportation Engineers.
- [11] Feng-Bor L.(1983), Operational Analysis of Traffic Actuated Signal Control, Traffic Engineering and Control.
- [12] Gerlough D. L., Barnes F. C.(1971), Poisson and Other Distributions in Highway Traffic, Foundation for Transportation.
- [13] May A. D., Geduzlioglu L. T.(1983), Comparative Analysis of Signalized Intersection Capacity Methods, Presented at 62nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [14] Lee J., Chen L. R.(1986), Engineering Headway at Signalized Intersection, Kentucky Research Program, University of Kentucky Lexington.
- [15] Reilly J. R., Kell M. L., Gallagher R. P.(1982), Urban Signalized Intersection Capacity, NCHRP 3-28[2] Report, TRB, National Research Council.
- [16] Skabardonis A., May A. D.(1985), Comparative Analysis of Computer Models for Arterial Signal Timing, Transportation Research Record.
- [17] Teodorovic D., Kikuchi S., Chakroborty P.(1990), Analysis of Delay and Level of Service at Signalized Intersections in Delaware, Report 90-DTC-4, Delaware Transportation Center.

원고접수일 : 2003년 5월 6일

원고채택일 : 2003년 8월 12일