

■ 技術研究 ■

한국 도로용량편람과 미국 HCM 2000의 신호교차로 서비스수준 결정에 관한 고찰

The Study on the Determination of Level of Service of
Signalized Intersection in KHCM and USHCM 2000

김 성 득

(울산대학교
지구환경시스템공학부 교수)

박 창 수

(경주대학교
도시공학과 교수)

박 원 규

(울산대학교
지구환경시스템공학부 박사과정)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구 목적
 - 2. 연구범위 및 내용
- II. 문헌 고찰
 - 1. 미국 HCM
 - 2. 한국 HCM
 - 3. 한국 HCM과 미국 HCM 2000 서비스 수준비교
- 4. 현황 분석 및 문제 제기
- III. 민감도 분석
 - 1. 지체식의 민감도분석 방법론
 - 2. 서비스수준의 상관성 분석
- IV. 결론 및 향후연구
참고문헌

Key Words : HCM, 신호교차로, 서비스 수준, 지체 모형, 민감도 분석

요 약

신호교차로의 서비스수준은 미국의 HCM 방식을 전세계적으로 준용하고 있으며, 우리나라도 1985년 미국 HCM을 기본으로 하여 우리나라의 특성을 반영한 보정계수 값들을 수정하여 지금까지 사용하고 있는 것이 현실이다.

하지만 한국 도로용량편람의 모태가 된 미국 HCM은 이미 94년 1차 수정판에 이어, 이를 더욱 보완해서 HCM 2000을 발간하여 실용화 단계에 있는 반면 92년에 발간된 한국도로용량편람은 발간 이후 빠른 속도로 변화해온 국내의 교통, 도로, 차량 특성과 다양해진 도로시설 유형의 변화를 신호교차로 서비스수준 분석에 적절히 반영하지 못하고 있다.

이에 본 연구는 신호교차로 서비스수준 결정에 관한 연구의 기초작업으로 기존의 신호교차로 서비스수준 분석방법의 문제점을 보완하기 위한 새로운 분석방법론을 제시하였다.

이를 위해 한국 도로용량 편람과 미국 HCM 2000의 서비스수준 분석방법론 부분을 면밀히 비교 분석하고 두 나라의 지체식에 포함된 공통적인 변수(주기(C), 포화도(v/c), 용량(c), 녹색시간비(g/C))에 대한 민감도 분석과 미국 HCM 2000에 추가로 도입된 변수들에 대한 민감도 분석을 수행함으로써 한국 도로용량 편람의 문제점을 고찰하고 운전자의 행태나 도로의 기하조건이 외국의 경우와는 다른 우리나라 실정을 반영한 한국형 신호 교차로 서비스수준 정립 방안의 필요성을 제시하였다.

1. 서론

1. 연구 목적

최근 도시지역에서는 경제 및 사회활동의 증가로 인하여 교통, 인구, 주택, 공해 문제 등 다양한 도시 문제를 발생시킨다. 따라서 현대 도시에서는 이러한 제반 문제들을 얼마나 효율적으로 해결할 수 있는가의 여부가 도시의 지속적 성장과 발전에 중요한 역할을 한다. 특히 제반 문제 중에서 현대 도시가 처한 당면 과제중의 하나가 도시교통의 문제인데, 대부분의 도시에서는 교통지체로 인해 막대한 사회·경제적인 손실을 초래하고 있다. 이는 도로공간이 처리할 수 있는 교통용량과 교차로가 처리하는 교통용량의 불균형에서 초래되고 있으나, 현재의 도로망체계를 효과적으로 사용하지 못하는 요인도 있다. 도로망체계를 효율적으로 운영하는 방법은 각종 TSM사업을 통한 방법, 지능형 도로교통체계를 도입하여 교통정보를 통한 전체 가로망의 효율적인 운영방법 등이 있을 것이다. 그러나 단기적, 경제적으로 효율적인 방법인 TSM사업을 통한 개선방향이 오늘날과 같은 어려운 경제시대에서는 우선적으로 고려되어야 할 것이다. 이러한 사업을 수행하기 위한 기초자료로 한국형 HCM의 신호 교차로 서비스수준 정립이 필수적이다. 현재 한국 도로용량편람은 1985년 미국 HCM을 기본으로 하여 우리나라의 특성을 반영한 보정계수 값들을 수정하여 지금까지 사용하고 있는 것이 현실이다. 이로 인해 편람 발간 이후의 연구결과를 반영치 못하고 있으며, 빠른 속도로 변화해온 국내의 교통, 도로, 차량 특성과 다양해진 도로시설 유형의 변화를 신호교차로 서비스수준 분석에 적절히 반영하지 못하고 있다. 특히 한국 도로용량편람의 모태가 된 미국 HCM은 이미 94년 1차 수정판에 이어, 이를 더욱 보완해서 HCM 2000을 발간하여 실용화 단계에 있으며, 여기서 제시한 지체식의 형태에는 고려하는 파라메타의 수가 많이 증가되어 계산과정이 늘어났다. 따라서 우리나라도 급속히 발전해온 국내의 교통, 도로 특성에 대한 합리적이고 과학적인 분석을 통한 신호교차로 서비스 수준 분석의 적절한 개선이 요구된다. 이에 본 연구에서는 신호 교차로 분석에 있어서 미국 HCM과 이를 준용해서 사용하고 있는 한국 도로용량편람에서 제안된 지체모형을 상호 비교·검토함

으로서, 운전자의 행태나 도로의 기하조건이 외국의 경우와는 다른 우리나라 실정을 고려할 수 있는 보정된 신호 교차로 서비스수준 정립 방안의 필요성을 제시하고자 한다.

2. 연구 범위 및 내용

본 연구의 범위는 각 도로시설 중 단속류 교통시설에 해당하는 신호교차로를 대상으로 한다. 두 도로가 만나는 교차로를 신호등으로 제어하는 교통시설인 신호교차로는 단속류 도로의 용량의 제약하는 가장 중요하고 복잡한 시설이다. 이러한 신호교차로에서의 한국형 서비스수준 평가 방법론을 정립하기 위해서, 우선 한국 도로용량 편람과 미국 HCM 2000의 서비스 수준 분석방법론 부분을 면밀히 비교 분석하고 이를 바탕으로 한국 도로용량 편람의 문제점을 도출하고자 한다. 특히 한국 도로용량편람의 지체식을 그대로 사용할 것인지 아니면 미국 HCM 2000의 지체식을 따를 것인지를 판단하기 위해서는 먼저 두 식에서 계산된 지체를 비교할 필요성이 있다고 생각된다. 이를 위해 지체에 영향을 미치는 주기(C), 녹색시간비(g/C), 포화도(v/c), 용량(c)의 기본변수들에 대한 민감도를 분석하여 한국과 미국의 지체값을 상호 비교하였고 이들 변수들의 상관성을 분석하였다.

II. 문헌 고찰

신호교차로의 용량 분석을 위한 운영분석 과정의 경우에 있어서 지체와 서비스 수준 분석 과정을 제외한 기타 과정에 있어서는 한국도로용량 편람을 미국 HCM과 비교했을 때 구체적인 계수값의 차이만 있을 뿐 크게 다르지 않기 때문에 가장 큰 차이가 있는 두 나라의 지체모형식과 서비스 수준의 관계를 비교 분석할 필요가 있을 것이다. 다음은 양국 HCM의 특징이다.

1. 미국 HCM

1) 1965년 미국 HCM

1965년 HCM을 시작으로 서비스 수준의 개념이 처음 도입되어 신호교차로 서비스수준 결정의 효과적 도로 LF(Load Factor), v/c비 등이 사용되었다. 하

지만 지체는 조사가 곤란하다는 점에서 효과적으로 이용되지 못했다.

2) 1985년 미국 HCM

1985년 HCM에서는 지체에 대한 많은 연구가 이루어져 지체가 모형을 통해 예측이 가능하며 운전자가 느끼는 교통상황에 대한 가장 적당한 효과척도가 된다는 점에서 신호교차로 서비스수준을 결정하는 효과척도로 지체를 처음 확정하였으며, 다음과 같은 지체모형을 발표하였다.

$$d = (d_1 + d_2)PF \tag{1}$$

$$d_1 = \frac{0.38C(1-u^2)}{1-uX} \tag{2}$$

$$d_2 = 173x^2[(x-1)^2 + \sqrt{(x-1)^2 + 16x/c}] \tag{3}$$

여기서,

- d : 정지지체(초/대)
- d₁ : 균일지체(초/대)
- d₂ : 임의지체(초/대)
- C : 주기(초)
- X : 포화도, v/c
- u : 녹색시간비, g/C
- v : 교통량 (대/시)
- c : 용량(대/시)
- PF : 연동화 보정계수

위 식에서 기준하고 있는 지체는 평균 정지지체로서 진입차량의 도착형태를 무작위적인 것으로 가정한다. 하지만 신호교차로상에서의 차량의 도착은 대부분의 경우에 있어서 무작위한 도착으로 나타나지 않고 교차로를 통과하는 차량들은 신호와 그 외의 영향으로 균을 형성하게 된다. 그래서 미국 HCM에서는 차량군의 도착형태를 5가지로 구분하고, 신호형태에 따라 각각에 대해 포화도비를 분류하여 연동화 보정계수(PF:Precession adjustment Factor)를 적용시켜 식(1)과 같이 지체를 계산하고 이에 따라 서비스 수준을 결정한다.

결국 연동화보정계수는 무작위 도착상에서의 지체와 실질지체사이의 상대적인 관계를 의미한다.

3) 1994년 미국 HCM

1985년 HCM은 연동효과를 교차로 지체에 반영하기 위하여 연동보정계수를 균일지체와 임의 지체 모두에 곱하여 주었는데 실제 연동보정계수는 차량의 도착형태에 대한 보정이기 때문에 차량이 일정기간동안 균일하게 도착함에 따라 발생하는 균일 지체에 보정되어야 하며 과포하지체는 보정대상에서 제외되어야 한다. 또한 교차로지체에 연동효과를 반영하는 가장 좋은 지표는 녹색시간동안 도착하는 교통량의 비율이므로 1994년 미국 HCM에서는 현장조사된 도착교통량비와 녹색시간비의 관계에 기초하여 재구성된 연동보정계수를 균일지체에만 보정하는 형태로 교차로 지체함수를 변경하였다.

4) 2000년 미국 HCM

미국 HCM 2000 에서는 기존에 발표된 94년판 미국 도로용량편람 지체식에 몇 가지 변수를 추가로 고려하여 다음과 같은 지체식을 제시하고 있다.

$$d = d_1 \times PF + d_2 + d_3 \tag{4}$$

$$d_1 = \frac{0.5C(1-g/C)^2}{1-(g/C)[\text{Min}(X, 1.0)]} \tag{5}$$

$$d_2 = 900T \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8kIx}{cT}} \right] \tag{6}$$

$$d_3 = \frac{1800Q_b(1+U)t}{cT} \tag{7}$$

여기서,

- d : 제어지체(초/대)
- d₁ : 균일지체(초/대)
- d₂ : 증가지체(초/대)
- d₃ : 추가지체(초/대)
- k : 고정식 및 감응식 신호의 제안 k값
 - 고정식 k=0.5
 - 감응식 kmin=0.04~0.23
- Unit Extension에 따라
 - k : (1-2kmin)(X-0.5)+kmin
- T : 분석지속기간(시)
- t : 과포화 지속시간(시)

$$t=0 \text{ if } Q_b=0$$

$$t = \text{Min}[T, \frac{Q_b}{c[1-\text{MIN}(1, X)]}] , \text{ if } Q_b \neq 0 \quad (8)$$

U : 지체 파라미터

$$U=0 \text{ if } t < T$$

$$U=1 - \frac{cT}{Q_b} [1 - \text{Min}(1, X)], \text{ if } t \geq T \quad (9)$$

추가로 고려한 변수는 분석지속시간(T), 제어기 설정 계수(k), 상류부 교차로의 필터링/미터링 보정계수(I)가 있으며, 특히 분석시작전에 초기대기차량(Q_b)의 유무에 따른 추가지체시간(d₃)을 계산하도록 한 것이 특징이다.

여기서 균일지체(d₁)는 교차로에 도착하는 차량이 일정한 간격으로 도착한다고 가정할 때의 지체이고 임의지체(d₂)는 무작위도착, 과포화도착을 고려한 지체로 이 둘 지체는 도착차량이 정지하기 위해 속도를 감속시키는 감속지체, 출발할 때의 가속지체를 포함한 지체이다.

또한 추가지체(d₃)는 분석시간 시점에 과포화로 인하여 녹색시간에 도착한 차량을 모두 처리하지 못하고 남은 차량(Q_b)이 있을 때에 적용하는 지체로 미국 HCM 2000에서는 <표 1>과 같이 5가지 경우의 지체모형을 제시하고 있다.

<표 1>에서 보는바와 같이 초기대기차량 Q_b > 0 일 때 균일지체(d₁)는 과포화상태가 지속되는 시간(t)과 나머지시간(T-t)동안의 지체를 가중 평균한 식(10)을 적용하고 있다.

$$d_1 = d_s \cdot \frac{t}{T} + d_u \cdot \text{PF} \cdot \frac{T-t}{T} \quad (10)$$

여기서,

d_s : 포화지체(X=1.0일 때의 d₁ 값)

d_u : 비포화지체(실제 X값을 적용했을 때의 d₁ 값)

<표 1> 지체모형에 적용되는 변수의 선택

Case No	X	Q _b	d ₁	d ₂	t	d ₃	U
Case I	≤1.0	0	식(2)	식(3)	0	0	0
Case II	>1.0	0	식(2)	식(3)	0	0	0
Case III	≤1.0	>0	식(10)	식(3)	식(8)	식(7)	0
Case IV	≤1.0	>0	식(10)	식(3)	T	식(7)	식(9)
Case V	>1.0	>0	식(10)	식(3)	T	식(7)	1

결국, 미국 HCM 2000에서는 신호교차로 서비스 수준 분석에서 기존의 정지지체에 적용된 균일지체 d₁와 임의지체 d₂에 새롭게 잔류지체 d₃를 적용한 제어 지체(Control Delay)를 서비스수준의 척도로서 사용하고 있으며 이로 인하여 미국 HCM 2000에서는 1994년판 미국 HCM 보다 각각의 서비스 수준의 지체시간을 증가시켜 제시하고 있다.

2. 한국 HCM

한국 도로용량편람의 지체식은 85년판 미국 HCM을 준용해서 다음 식들과 같이 진입차량의 도착형태를 무작위적인 것으로 가정하여 매차량의 평균 정지 지체를 예측하게 한다.

$$d = \text{PF} \times (d_1 + d_2) \quad (11)$$

$$d_1 = 0.38C \frac{(1-u)^2}{1-uX} \quad (12)$$

$$d_2 = 173[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{12X}{c}}] \quad (13)$$

3. 한국 HCM과 미국 HCM 2000 서비스수준 비교

현재 우리나라의 신호교차로 지체 모형과 미국 HCM 2000 지체모형과의 가장 큰 차이점은 정지 지체와 제어 지체이다.

즉 미국 HCM 2000에서 제안된 지체식은 정지지체 외에 초기 감속지체, 대기행렬 차량의 진행 지체,

<표 2> 한국 도로용량편람과 미국 HCM 2000의 서비스 수준 비교

한국 도로용량 편람		미국 HCM 2000	
서비스 수준	차량당 평균 정지지체	서비스 수준	차량당 제어지체
A	5초 이하	A	10초 이하
B	15초 이하	B	20초 이하
C	25초 이하	C	35초 이하
D	40초 이하	D	55초 이하
E	60초 이하	E	80초 이하
F	60초 초과	F	80초 초과

최종 가속지체를 모두 포함한 제어지체를 사용하여 서비스 수준을 분석하고 있으며 이로 인해 <표 2>와 같이 지체시간이 증가된 서비스 수준을 제시하고 있다.

4. 현황 분석 및 문제 제기

기존 신호교차로의 서비스 수준 결정의 척도로 사용되는 지체식에 영향을 미치는 변수는 크게 포화도(v/c), 주기(C), 녹색시간비(g/C), 용량(c)이 있다. 이중 신호교차로에서의 신호주기 길이에서 한국과 미국은 큰 차이가 있다.

즉, 우리나라 도시부에서는 주간선도로의 도로폭이 미국에 비해 상대적으로 넓어 보행자 최소녹색시간도 길고, 또한 주요 교차로에서 모든 방면으로의 통행을 허용하기 때문에 현시수가 많아지고 이로 인해 상대적으로 긴 주기길이를 사용하고 있는 실정으로 <표 3>의 울산광역시 주요 교차로의 신호주기길이의 현황에서 살펴보는 바와 같이 우리나라 신호교차로의 신호주기 대부분이 미국의 평균 주기인 80초에 비해서 훨씬 크게 운영되고 있음을 알 수 있다.

이로인해 85년판 미국 HCM을 준용해서 지금까지 사용하고 있는 우리나라의 도로용량편람을 이용해 대도시 신호교차로의 서비스 수준을 분석할 시 비슷한 v/c 수준하에서도 지체가 더 커지고 운영실태 분석에서도 F수준이 많아지므로 서비스 수준 분석을 통한 신호교차로 평가 자체가 무의미해질 수 있다. 따라서 이런 한국의 신호주기 특성을 고려하여 F수준의 범위를 조정하여 좀 더 세분화 할 필요가 있으며, 한국 도로용량편람의 모태가 된 미국에서도 기존의 정지지체에서 탈피해 제어지체(Control delay)를 사용하고 있는 현실에서

<표 3> 울산광역시 주요 신호교차로 주기길이 현황

교차로	현시수	주기(초)	교차로	현시수	주기(초)
우정 사거리	4	195	한전 사거리	5	145
변영교 동측	5	120	울산 문화회관	4	150
신정 사거리	4	120	달동 사거리	4	150
남부교회앞	4	185	달리입구	5	180
교육청 입구	4	155	삼산 사거리	4	135
한일 카프라자	4	185	동서 사거리	4	150
구 MBC	5	170	관광호텔앞	3	120
시청 사거리	5	135	야음 사거리	4	145
노동회관	4	155	코리어나 호텔	3	100

우리나라도 이러한 제어지체(Control delay)의 국내 적용가능성에 대해서도 연구가 있어야 할 것이다.

III. 민감도 분석

1. 지체식의 민감도분석 방법론

한국도로용량편람의 지체식이 미국 HCM 2000과 비교해 어느 정도의 차이가 있는지를 판단하기 위해서는 먼저 두 식에서 계산된 지체를 비교할 필요성이 있다고 생각된다. 또한 미국 HCM 2000의 지체식에서 추가로 도입된 변수들의 영향이 지체값에 미치는 정도를 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 두 나라의 지체식에 포함된 공통적인 변수, 즉 주기(C), 포화도(v/c), 용량(c), 녹색시간비(g/C)를 상호비교하였고 미국 HCM 2000에 추가로 도입된 변수들에 대해서도 민감도 분석을 수행하였다. 이를 위해 본 연구에서는 각 변수들의 예상범위를 가정하고 이들을 변화시켜가면서 지체값을 계산하였다. 이 때 하나의 변수를 외한 나머지 변수들의 대표적인 기준값을 가정하였는데 이는 기준값을 정하지 않고 모든 변수들을 변화시킬 경우에는 조합의 수가 너무 많아 분석이 곤란하다고 판단되었기 때문이다.

기준값과 변수의 적용범위 및 증분범위는 우리나라 신호교차로의 교통여건을 감안하여 경험적으로 설정하였는데 포화도(v/c)는 도시부 도로설계기준인 서비스수준 D일 때의 값을 적용하였고, 용량(c)는 접근부 차로수가 2~3차로 수준일 때의 용량과 비슷한 1,500(대/시)를 사용하였다. 또한 주기(C)는 우리나라 대도시 신호교차로의 평균 주기에 가까운 120초, 유효

<표 4> 지체모형 변수에 대한 민감도 분석 기준값 및 적용 범위

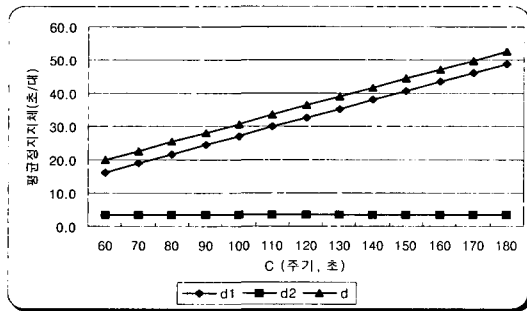
변수	구분				
	기준값	증분값	최소값	최대값	케이스
C(주기,초)	120	10	60	180	13
u(g/C)	0.25	0.05	0.15	0.85	15
c(용량, 대/시)	1500	500	500	5000	10
X(v/c)	0.85	0.1	0.55	1.95	15
Qb(대)	0	5	5	50	10
I	1	0.1	0.1	1	10
T(시)	0.25	0.25	0.25	2	8
k	0.5	-	0.5	0.371	8

녹색비(g/C)는 4현시일 때를 가정하여 0.25를 기준값으로 사용하였고, 분석시간(T)은 15분을 선택하였다. 이성과 같은 내용을 중심으로 민감도 분석을 실시하기 위하여 제시된 기준값과 적용범위 및 증분은 <표 4>와 같다.

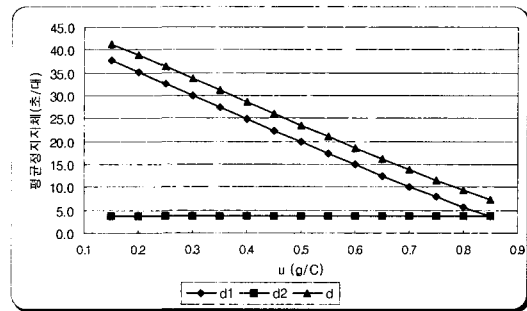
1) 한국 도로용량 편람 지체모형의 민감도 분석
위의 변수값들을 기본으로 한국 도로용량 편람의 민감도 분석을 수행한 결과치를 <표 5>와 <그림 1>을 통해 나타내었다. 여기서 전체지체 중에서 각각이 차

<표 5> 한국 도로용량 편람 모형의 민감도 분석

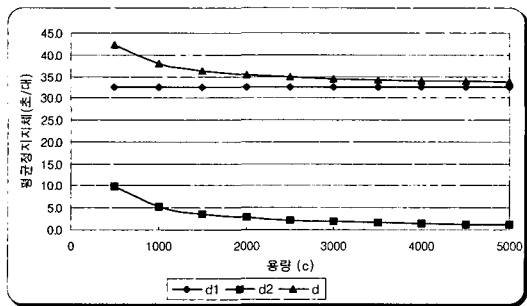
항 목	구 분															
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180			
C(주기, 초)	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180			
d ₁	16.3	19.0	21.7	24.4	27.1	29.9	32.6	35.3	38.0	40.7	43.4	46.1	48.9			
d ₂	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7			
d	20.0	22.7	25.4	28.1	30.8	33.6	36.3	39.0	41.7	44.4	47.1	49.8	52.6			
u(g/C)	0.15	0.20	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	
d ₁	37.8	35.2	32.6	30.0	27.4	24.9	22.3	19.8	17.3	14.9	12.5	10.1	7.9	5.7	3.7	
d ₂	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	
d	41.3	38.9	36.3	33.7	31.1	28.6	26.0	23.5	21.0	18.6	16.2	13.8	11.6	9.4	7.4	
c(용량, 대/시)	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000						
d ₁	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6						
d ₂	9.9	5.3	3.7	2.8	2.3	1.9	1.6	1.4	1.3	1.2						
d ₃	42.5	37.9	36.2	35.4	34.8	34.5	34.2	34.0	33.8	33.7						
X(v/c)	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.05	1.15	1.25	1.35	1.45	1.55	1.65	1.75	1.85	1.95	
d ₁	29.7	30.6	31.6	32.6	33.6	34.8	36.0	37.3	38.7	40.2	41.9	43.7	45.6	47.7	50.0	
d ₂	0.8	1.3	2.0	3.7	8.7	26.7	56.8	89.8	123.7	157.9	192.2	226.6	261.1	295.6	330.1	
d	30.6	31.9	33.6	36.2	42.4	61.5	92.8	127.1	162.4	198.1	234.1	270.3	306.7	343.3	380.2	



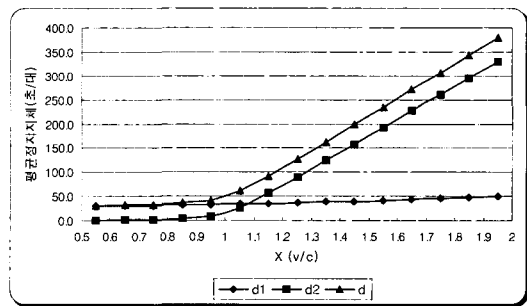
(a) 주기와 평균정지지체



(b) 녹색시간비와 평균정지지체



(c) 용량과 평균정지지체



(d) 포화도와 평균정지지체

<그림 1> 한국 도로용량편람 모형의 민감도 분석

지하는 정도를 알아볼 수 있도록 균일제어지체(d_1)와 임의지체(d_2)로 구분하여 나타내었다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 주기에 따른 지체의 변화는 거의 직선적으로 증가하는 것으로 나타나며 균일제어지체(d_1)에 의해서만 영향을 받고, 녹색시간비에 대한 지체는 g/C 비가 클수록 직선적으로 감소하고 이 역시 균일제어지체(d_1)에 의해서만 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 용량의 증가에 대한 지체의 변화는 1000 대/시 미만에서는 약간의 영향을 받지만 1500 대/시 이상에서는 그 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 마지막으로 포화도에 따른 지체의 변화는 0.95이하에서는 완만히 증가하다가 1.05를 넘으면서 급격히 증가하는 것으로 나타났으며 대부분의 지체가 임의지체(d_2)의 증가에 따른 것으로 나타났다.

2) USHCM 2000 지체모형의 민감도 분석

미국 HCM 2000 모형의 민감도는 공통변수와 이 모형에만 포함된 변수로 구분하는데 여기서는 한국 도로용량 편람 모형과의 비교에 주목적이 있으므로 공통변수에 의한 민감도 분석을 수행하였고 그 결과를 <표 6>과 <그림 2>에 나타내었다.

<표 6>과 <그림 2>에서 보는 바와같이 미국 HCM 2000 모형에 의한 지체의 민감도 해석결과를 한국

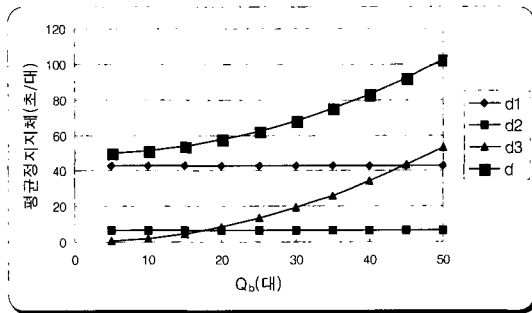
도로용량 편람의 모형과 비교해 볼 때 주기에 따른 지체의 변화 기울기 등 전체적인 유형은 비슷하나 지체값은 제어지체와 정지지체로 인해 다소 차이가 있을 수 있다.

3) 기타변수를 적용한 USHCM 2000 모형의 민감도 분석

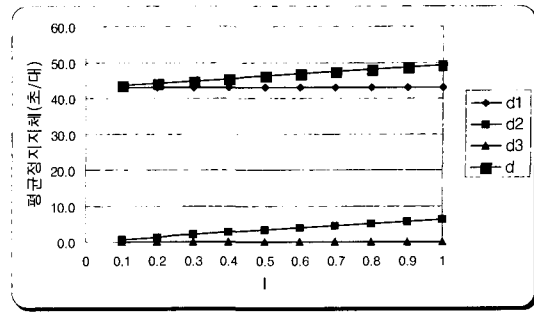
미국 HCM 2000에만 포함된 변수들의 민감도를 분석하는 것은 이 변수들을 한국 도로용량편람에 도입할 것인가를 결정할 때에 중요한 근거가 될 수 있다는 점에서 주된 의미가 있다. 왜냐하면, 지체를 계산할 때 더 많은 변수를 고려하면 계산과정이 복잡하고 자료수집이 어려워지는데 그에 비해서 지체에 미치는 영향이 크지 않다면 식을 단순화할 수도 있기 때문이다. <표 7>과 <그림 3>에서 보는 바와 같이, I , T , k 는 d_2 에 Q_b 는 d_3 에 영향을 미치게 된다. 먼저 I 값의 변화에 따른 지체시간 변화를 보면 I 가 0.1에서 1.0으로 증가하는 동안 임의지체는 0.7에서 6.2초로 증가하고 있어 증가량이 크지 않음을 알 수 있다. 두 번째로 T 를 15분에서 2시간까지 증가시키면 임의 지체는 6.2초에서 6.7초로 0.5초 정도만 변화하여 분석시간의 크기에 모형이 민감하지 않음을 알 수 있다.

<표 6> 미국 HCM 2000 모형의 민감도 분석

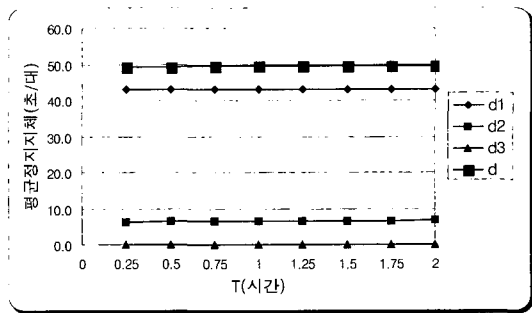
항 목	구 분															
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180			
C(주기, 초)	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180			
d_1	21.4	25.0	28.6	32.1	35.7	39.3	42.9	46.4	50.0	53.6	57.1	60.7	64.3			
d_2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2			
d	27.7	31.2	34.8	38.3	41.9	45.5	49.1	52.6	56.2	59.8	63.3	66.9	70.5			
$u(g/C)$	0.15	0.20	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	
d_1	49.7	46.3	42.9	39.5	36.1	32.7	29.4	26.1	22.8	19.6	16.4	13.3	10.3	7.5	4.9	
d_2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	
d	55.9	52.5	49.1	45.7	42.3	38.9	35.6	32.3	29	25.8	22.6	19.5	16.5	13.7	11.1	
c (용량, 대/시)	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000						
d_1	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9						
d_2	16.4	9.1	6.2	4.8	3.9	3.3	2.8	2.5	2.2	2						
d_3	59.3	51.9	49.1	47.7	46.8	46.2	45.7	45.4	45.1	44.9						
$X(v/c)$	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.05	1.15	1.25	1.35	1.45	1.55	1.65	1.75	1.85	1.95	
d_1	39.1	40.3	41.5	42.9	44.3	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
d_2	1.5	2.2	3.5	6.2	14.1	37.6	76	118.2	162.3	206.3	251.1	295.5	340.6	385.1	430.2	
d	40.6	42.5	45	49.1	58.4	82.6	121	163.2	207.3	251.3	296.1	340.5	385.6	430.1	475.2	



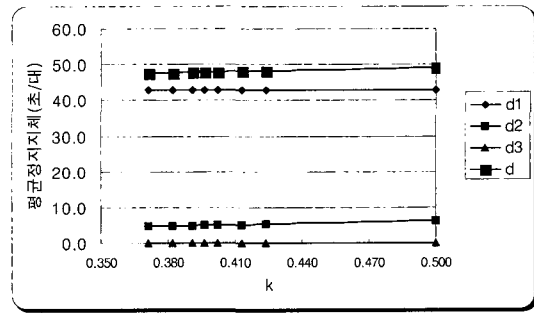
(a) 초기대기차량과 제어지체



(b) 상류부 보정계수와 제어지체



(c) 분석시간과 제어지체



(d) 제어기 설정계수와 제어지체

〈그림 3〉 미국 HCM 2000모형의 기타변수에 대한 민감도 분석

세 번째, k값을 0.371에서 0.5까지 증가시킬 때 임의지체는 4.7초에서 6.2초로 증가하고 있으나, 변화량은 1.5초 정도로 매우 미소한 값이다. 마지막으로 Q_b 를 0대에서 50대까지 증가시킬 경우 d_3 값은 0초에서 53.3초로 증가하여 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 따라서 과도한 Q_b 로 인해 지체시간의 증가폭이 확대되며, 이로인해 서비스수준을 변화시킬 수도 있는 것으로 판단된다. 따라서, Q_b 는 영향이 크고 I값은 영향이 약간 있으며 k값과 T값은 거의 영향을 주지 못하는 것으로 요약된다. 그러나 분석기준 값에서 v/c를 1보다 큰 값으로 한 경우에는 T값이 지체에 미치는 영향이 크기 때문에 이 변수는 중요하게 취급될 필요가 있다.

4) KHCM과 USHCM 2000 비교·검토

한국 도로용량 편람의 지체모형을 미국 HCM 2000의 지체 모형의 결과와 비교해 봄으로써 한국의 지체 모형이 얼마나 차이가 있는가를 알 수 있다. 〈표 8〉에서는 주기(C), 녹색시간비(g/C), 용량(c), 포화도(v/c) 등의 네가지 변수에 대해서 한국과 미국의 지체값의 변화를 보여주고 있다. 각 변수에 따른 지체값의 변화를 보면 대체로 미국 HCM 2000 모형의 각 변수에

따른 지체값의 변화를 보면 대체로 미국 HCM 2000 모형의 지체가 한국도로용량 편람의 지체값보다 1.3~1.4 배 정도 큰 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

이렇게 미국 HCM 2000 모형의 지체값이 한국도로용량 편람보다 크게 나타나는 이유는 제어지체와 정지지체의 차이에서 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 현 미국 HCM 2000에서 변화된 신호교차로 서비스수준 분석 기준을 도로의 기하조건이나 상대적으로 긴 주기길이를 사용하는 한국 신호교차로의 현실을 고려해 적용할 수 있는 신호교차로 제어 지체값에 대한 연구가 있어야 할 것이다.

2. 서비스수준의 상관성 분석

본 절에서는 앞서 수행된 민감도 분석결과에서 지체시간에 영향도가 큰 주기, 녹색시간비, 포화도에 대한 상관관계를 살펴보았다.

이를 위해 각 변수값들은 〈표 9〉에서 보는 바와 같이 울산광역시 주요 신호교차로의 현장조사 결과를 바탕으로 하였다. 여기서는 단순히 지체에 영향을 미치는 효과척도의 상관성을 알아보기 위해 울산광역시의

<표 8> KHCM과 USHCM 2000 모형의 민감도 분석

항 목	구 분															
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180			
C(주기, 초)	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180			
한국도로용량 편람(a)	20.0	22.7	25.4	28.1	30.8	33.6	36.3	39.0	41.7	44.4	47.1	49.8	52.6			
미국 HCM 2000(b)	27.7	31.2	34.8	38.3	41.9	45.5	49.1	52.6	56.2	59.8	63.3	66.9	70.5			
(b)/(a)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3			
u(g/C)	0.15	0.20	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	
한국도로용량 편람(a)	41.3	38.9	36.3	33.7	31.1	28.6	26.0	23.5	21.0	18.6	16.2	13.8	11.6	9.4	7.4	
미국 HCM 2000(b)	55.9	52.5	49.1	45.7	42.3	38.9	35.6	32.3	29.0	25.8	22.6	19.5	16.5	13.7	11.1	
(b)/(a)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	
c(용량,대/시)	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000						
한국도로용량 편람(a)	42.5	37.9	36.2	35.4	34.8	34.5	34.2	34.0	33.8	33.7						
미국 HCM 2000(b)	59.3	51.9	49.1	47.7	46.8	46.2	45.7	45.4	45.1	44.9						
(b)/(a)	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3						
X(v/c)	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.05	1.15	1.25	1.35	1.45	1.55	1.65	1.75	1.85	1.95	
한국도로용량 편람(a)	30.6	31.9	33.6	36.2	42.4	61.5	92.8	127.1	162.4	198.1	234.1	270.3	306.7	343.3	380.2	
미국 HCM 2000(b)	40.6	42.5	45	49.1	58.4	82.6	121	163.2	207.3	251.3	296.1	340.5	385.6	430.1	475.2	
(b)/(a)	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	

<표 9> 울산광역시 신호교차로 분석 현황

	주기 (초)	녹색 시간비 (g/C)	포화도 (v/c)	정지 지체시간	교차로	주기 (초)	녹색 시간비 (g/C)	포화도 (v/c)	정지 지체시간
우정 사거리	195	0.31	0.85	92.1	울산 문화회관	150	0.47	0.61	44.0
북정 삼거리	110	0.73	0.57	12.5	구 MBC	170	0.41	0.64	45.5
북산 삼거리	130	0.52	0.51	24.7	시청 사거리	135	0.37	0.73	43.2
중앙시장앞	100	0.5	0.57	19.4	노동회관	155	0.35	0.29	43.6
코리아나 호텔앞	100	0.5	0.77	28.2	한전사거리	145	0.45	0.51	35.3
울산교북단	85	0.41	0.49	20.1	달동 사거리	150	0.4	0.76	76.8
번영교 동측	120	0.39	0.54	20.3	달리입구	180	0.55	0.46	38.6
남부교회앞	185	0.49	0.52	41.3	삼산 사거리	135	0.3	0.66	42.1
신정 사거리	120	0.46	0.68	32.5	동서 사거리	150	0.43	0.73	47.3
교육청 입구	155	0.45	0.57	33.8	관광호텔앞	120	0.58	0.5	13
한일 카프라차	185	0.3	0.46	57.3	야음 사거리	145	0.45	0.84	12.42

교통운영 개선사업의 결과를 인용하였다. 지체시간에 영향을 미치는 지체변수들의 상관관계를 살펴보면 포화도, 주기, 녹색시간비의 순서로 크게 나타남을 알 수 있으며 상대적으로 주기의 변화가 다른 변수의 변

화에 비해 민감한 것으로 분석되었다. 또한 주기와 포화도는 지체시간에 양의 상관관계를 보이는 것에 비해 녹색시간비는 모든 변수에 음의 상관관계를 보이고 있다.

〈표 10〉 지체변수의 상관관계

	지체시간	주기	녹색 시간비	포화도
지체시간	1.000			
주기	0.542	1.000		
녹색 시간비	-0.450	-0.369	1.000	
포화도	0.573	0.10	-0.149	1.000

특히, 주기가 지체시간에 미치는 영향이 상대적으로 크므로 미국 등 다른 나라보다 신호주기가 크게 운영되고 있는 국내현실을 고려한 신호교차로 서비스 수준 정립 방안이 절실하다 할 수 있을 것이다.

IV. 결론

한국 도로용량편람('92)에서는 교차로의 운영상태를 파악할 수 있는 서비스수준의 평가척도로서 차량당 평균정지지체를 사용하고 있다. 기존 도로용량편람에서는 서비스 수준 F에서의 평균정지지체를 60초를 초과하는 경우로 제시하고 있으나, 신호주기가 길게 운영되고 있는 현재의 우리 나라의 도로여건이나 혼잡정도로 볼 때 이 수치는 현실을 제대로 반영하고 있다고 볼 수 없다. 특히 기존 도로용량편람 편찬 연구당시에도 서비스 수준 결정을 위한 데이터 수가 적었고 오전, 오후의 첨두시간보다는 비첨두시간 때의 조사가 많았다는 지적이 있으므로 이에 대한 재검토가 필요하다. 특히 미국 HCM 2000에서는 기존의 차량당 평균정지지체 대신에 새로이 제어지체(Control Delay)를 서비스 수준의 판단척도로 사용하고 있다.

이 제어지체의 특징은 기존 지체 모형에서 사용하던 것보다 그 값이 약 1.3배 정도 크게 계산된다는 점이다. 이는 정지로 인한 가·감속지체와 분석기간의 영향, 과포화의 영향이 포함되어 있기 때문이다. 즉 균일제어지체와 증가지체 및 추가지체의 세가지 지체를 고려하여 기존의 정지지체 개념을 접근지체의 개념으로 전환하여 사용하고 분석시간 시점에 과포화로 인하여 녹색시간에 도착한 차량을 처리하지 못하고 남은 차량이 있을 때에 한하여 추가지체를 적용하고 있다.

따라서 우리나라에서도 미국 HCM 2000 지체모형의 형태, 포함된 변수들을 검토하고 각 변수들이 지체에 미치는 영향을 파악하여 국내 현장과의 부합정도를 점검하고 실제 한국 실정을 감안한 지체모형이 제안되어야 할 것이다.

〈표 11〉 제안된 신호교차로 서비스 수준

구분	F 수준	FF	FFF	
1안	≥80	≥200	≥320	
2안	≥100	≥220	≥340	(선택)
3안	≥120	≥240	≥360	

특히 신호주기가 미국의 주기평균인 80초 보다 긴 120초의 평균 주기를 사용하는 한국에서 F수준의 지체시간 또한 미국보다 짧다는 것은 주기의 길이에 따라 직선적으로 지체시간이 증가하는 현상으로 볼 때 대단히 불합리하다는 의견을 고려해 "도로용량편람 개선연구, 2단계 최종보고서"에서 F수준의 범위를 220초로 하고 세분화 범위를 F, FF, FFF 세 단계를 다음 〈표 11〉로 제안하고 있으나 이는 단지 연구진들의 공통된 의견으로 제안되었을 뿐 실제 운전자가 도로에서 느끼는 지체의 심각성은 전혀 고려되고 있지 않고 있으므로 한국의 신호주기 특성을 고려한 서비스 수준 선정시 실제로 운전자들이 현장에서 느끼는 지체의 심각성 정도를 반영할 수 있는 설문조사 등을 통해 서비스 수준을 계량화시키는 방법 등이 논의되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부(1992) "도로용량편람", 대한교통학회.
2. 건설교통부, "도로용량편람 개선 연구", 교통개발연구원, 1999.
3. 이승환(1989), "교차로 용량분석을 위한 교통류특성 기초조사", 대한교통학회지 제7권 제2호.
4. 울산광역시(1997) 교통운영개선(T.S.M)사업, 도화종합기술 공사.
5. 오영태·심대영(1992), "도시부 신호교차로의 기본 용량 및 기하구조 보정계수", 대한 교통학회지 제10권 제2호.
6. 박창수(2000), "교통공학원론", 정일.
7. 하동익(1997), "신호교차로 지체체계 분석방법론 연구", 대한교통학회지 제15권 제2호.
8. 하태준(1996), "교통안전에 의한 신호교차로 서비스수준 결정방법의 개발", 대한교통학회지 제14권 제4호.
9. Bonneson James A(1998). "Phase Capacity Characteristics for Signalized Interchange and Intersection Approaches", transportation Re-

- search Record.
10. Cathy A. Koga(1996) Comparison of 1985 and 1994 HCM : Signalized Intersection Delay Estimates. ITE Journal.
 11. H. Douglas Roberson(1994), Manual of transportation Engineering Studies Institute of Transportation Engineers.
 12. James A. Bonneson(1999), "Delay to major street through vehicles at two-way stop controlled intersections, Transportation Research Part A.
 13. James A. Bonneson(1999) Delay to major street through vehicles at two-way stop controlled intersections, Transportation Research Part A.
 14. Pignataro L. J.(1973), "Traffic Engineering Theory and Practice".
 15. Powell, James L.(1998), "Field Measurement of Signalized Intersection Delay for 1997 Update of the Highway Capacity Manual", Transportation Research Record.
 16. Quiroga C. A.(1999), "Measuring Control Delay at Signalized Intersection", Transportation Research Record.
 17. TRB(1985), "Highway Capacity Manual, Special Report 209", TRB.
 18. TRB(2000), "Highway Capacity Manual 2000", TRB.
 19. Webster(1966), "Traffic Signals", Road Research Laboratory.
 20. William R. Mcshane(1998), "Traffic Engineering", Prentice Hall.

✉ 주 작 성 자 : 박창수

✉ 논문투고일 : 2001. 4. 23

논문심사일 : 2001. 6. 12 (1차)

2000. 8. 27 (2차)

2001. 9. 10 (3차)

2001. 9. 22 (4차)

심사판정일 : 2001. 9. 22