

Intersection Capacity Utilization 기법을 활용한

신호교차로 운영분석

The Operation Analysis of Signalized Intersections
using Intersection Capacity Utilization Method

김 은 정

(도로교통안전관리공단 책임연구원)

정 영 제

(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

I. 서론	2. 분석방법
1. 연구의 배경	3. 입력자료 및 파라미터
2. 연구의 방법	IV. 유효성 검증
II. 문헌고찰	1. HCM과 비교
1. HCM	2. 사례분석
2. KHCM	V. 결론 및 향후연구
III. ICU 분석방법론	참고문헌
1. ICU개념	

I. 서론

1. 연구의 배경

국내 도로교통 상황은 상당수 교차로 및 인터체인지에서 교통정체를 나타내고 있으며 이는 비효율적 교통신호 운영 및 교통시설의 용량을 초과하는 교통수요가 그 원인으로 판단된다. 따라서 교차로의 여유용량 및 용량 초과 정도를 파악하는 것이 중요하고, 그에 따라 신호운영이나 설계의 개선이 뒤따라야 한다.

현재 신호교차로를 분석하는 기법으로 HCM(Highway Capacity Manual, 도로용량편람)을 주로 사용하고 있으나 이는 교차로의 지체를 산정하는 운영분석에 초점이 맞춰져 있어 설계 및 계획 분석에는 제한이 따른다. 반면 ICU(Intersection Capacity Utilization)는 교차로의 상세한 자료나 신호운영 자료 부재 시에도 교차로 용량 상태를 효율적으로 분석할 수 있어 설계 및 계획 분석에 적합하다.

고속도로와 간선도로의 접속부 교차로는 단속류와 연속류가 접속되는 결절점으로 교통 소

통상의 주요 관리지점에 해당되는데, HCM은 이러한 특정 형태의 신호교차로 분석을 다루고 있지는 못 하지만 ICU는 다이아몬드 인터체인지와 SPUI(Single Point Urban Interchange) 분석도 가능하다.

또한, ICU는 HCM에 비해 분석과정이 간편하고, 보행자 녹색시간을 고려하는 장점을 가지고 있다. 이에 교차로의 기하구조를 변경하는 도로설계 같은 계획이나 신호화하는 교차로 분석 시에 ICU(Intersection Capacity Utilization) 기법을 적용할 필요성이 있다.

2. 연구의 방법

기존 교차로 교통운영 분석방법론(HCM)과 ICU(Intersection Capacity Utilization)분석기법에 대하여 고찰하여, 기존 분석방법론과 ICU분석방법론에 대한 비교분석과 장·단점 및 분석방법론별 사용변수에 대하여 살펴본다.

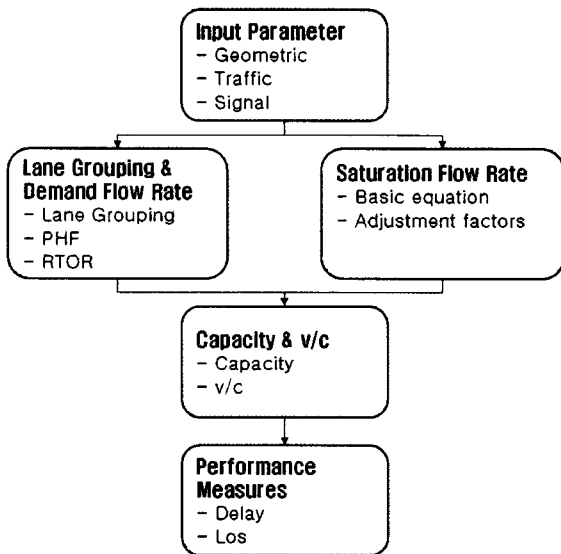
간선도로 사례분석을 통하여 실질 적용하는 방법을 익히고, ICU분석결과에 유효성 검증도 실시한다. 또한, 향후 ICU분석 방법론의 개선방향도 제시하고자 한다.

11. 문헌고찰

1. HCM(Highway Capacity Manual, 2000)

HCM은 TRB(Transportation Research Board)에서 도로시설별 용량을 분석하기 위해 발간한 매뉴얼로 국내외적으로 용량분석의 지침서로 많이 활용되고 있는 책자이다.

특히, 교차로 용량분석(chapter 16)은 타시설에 비해 용량분석 절차가 매우 복잡하여, 분석시 고려해야 하는 파라미터(포화교통류율 조정계수, 지체보정계수, 연동조정계수 등)가 매우 많아 그 적용이 쉽지 않다. <그림 1>은 개략적인 분석 절차를 나타낸 흐름도 이다.



<그림 1> HCM 분석절차

계산되는 지체는 신호에 의한 균일지체, 교통류 편차 및 과포화에 의한 증가지체, 과포화 대기차량에 의한 추가지체로 나누어지며, 식(1)과 같이 제어지체가 산출되면 제어지체 따른 교차로의 LOS(Level Of Service)를 산정하게 된다.

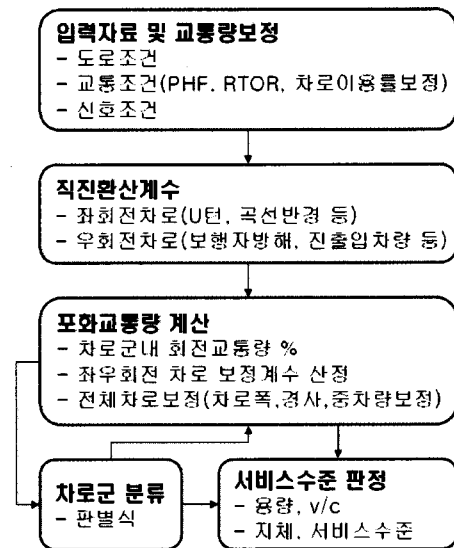
$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (1)$$

여기서, d : 제어지체(초/대)
 d_1 : 균일지체(초/대)
 d_2 : 증가지체(초/대)
 d_3 : 추가지체(초/대)
 PF : 연동조정계수

2. KHCM(Korea Highway Capacity Manual)

KHCM은 미국의 HCM을 준용하여 우리나라 교통실정에 맞게 시설물별 도로용량산정방법을 작성한 매뉴얼로, 고속도로(기본구간, 엇갈림구간, 연결로 접속부), 다차로도로, 2차로도로, 신호교차로, 도시 및 교외간선도로, 비신호교차로, 대중교통, 보행자시설, 자전거 도로에 대한 용량분석 방법을 제시하고 있다.

그 중, KHCM의 신호교차로 용량분석(8장) 절차 역시 HCM과 마찬가지로 분석절차가 복잡하여 적용이 어려운 문제점을 가지고 있다.



<그림 2> KHCM 분석절차

<표 1>에서 보듯이 미국에 비해 우리나라 신호교차로 서비스수준 평가시 제어지체를 크게, 서비스수준 F는 더욱 세분화하여 적용하는 것은, 우리나라의 신호주기가 미국에 비해 크고, 도로정체가 심하여 지속시간이 길기 때문이다.

<표 1> KHCM 및 미국HCM LOS기준

서비스수준	제어지체(초/대)	
	KHCM	미국HCM
A	≤15	≤10
B	≤30	≤20
C	≤50	≤35
D	≤70	≤55
E	≤100	≤80
F	≤220	>80
FF	≤340	없음
FFF	>340	없음

III. ICU 분석방법론

1. ICU 개념

ICU(Intersection Capacity Utilization)는 교차로 및 인터체인지의 용량분석 및 평가에 매우 강력한 툴로서, 매우 간단한 방법으로 분석이 가능하며 도로계획·설계 및 교통영향 분석에 유용하게 사용할 수 있다.

ICU의 주 결과물은 분석 교차로의 v/c로서, 교차로의 지체는 예측하지는 못하나 교차로의 여유 용량 및 용량 초과 정도를 파악하여 교차로의 혼잡 정도 예측이 가능하다.

ICU에서 v/c는 주어진 주기 동안 포화상태에서 모든 이동류의 수요를 충족시키는데 요구되는 시간의 합을 기준주기(Reference Cycle Length)로 나누어 식(2)와 같이 산출하는데, 식(3)의 HCM처럼 임계 v/s를 합산하는 방식은 동일하나, ICU에서는 보행신호시간, 보행자버튼유무, 최소신호시간 등을 고려하는 것이 특징이다.

$$ICU = \max \{ tMin, (v/s_i \times CL + tL_i) \} / CL \quad (2)$$

$$X_c = \frac{C}{C-L} \sum (v/s_i) \quad (3)$$

여기서, ICU : 임계 v/c 비

CL : 기준주기(Reference Cycle Length)

tL_i : 임계이동류 i의 손실시간

v/s_i : 임계이동류 i의 교통량 대 포화교통류율 비

tMin : 임계 이동류 i의 최소 녹색 시간

X_c : 임계 v/c 비 (HCM방식)

C : 실제운영주기

L : 주기당 총손실시간

2. 분석방법

1) 계산개요

ICU는 각 이동류의 조정기준시간(Adjusted Reference Time)을 산정하는 것으로 계산이 가능하다. 조정기준시간은 각 이동류의 교통량이 용량상태로 통과시 소요되는 시간을 말하는 것으로 식(4), 식(5)와 같이 교통량을 포화교통류율과, 기준신호주기(Reference Cycle Length), 최소녹색시간을 고려하여 계산된다.

$$tRef = vC/s \times CL \quad (4)$$

$$tAdj = \max(tRef, tMin) + tL \quad (5)$$

<표 2> ICU LOS별 교통상황

LOS	ICU	교차로 혼잡정도	신호주기	도로상황 및 교통운영	여유용량 및 운영방안
A	≤ 55%	no congestion 첫 주기에 교통량 소화	80초미만	minimal congestion	40% 이상
B	> 55%~64%	매우적은 혼잡 첫 주기에 교통량 소화	90초미만	minimal congestion	30%이상
C	> 64%~73%	no major congestion	100초미만	some congestion	20%이상
D	> 73%~82%	주로 혼잡하지 않음 첫 주기에 교통량 소화	110초미만	significant congestion	10%까지
E	> 82%~91%	혼잡직전. 첫 주기에 다수의 교통량 소화를 못함	120초	significant congestion	10% 미만
F	> 91%~100%	용량을 초과 15-60분의 지체 경험	120초 이상	혼잡 증가	최적신호시간 계획이 아니면 혼잡증가
G	> 100%~109%	9% 이내의 용량 초과, 60-120분의 지체 경험	120초 이상	신호시간은 주요 이동류에 배분	주요이동류에 용량 배분
H	> 109%	9%이상 용량 초과 120분 이상의 지체 경험	120초 이상	신호시간은 주요 이동류에 배분	주요이동류에 용량 배분

여기서, t_{Ref} : 기준시간
 vC : 차로군별 조정교통량
 s : 차로군별 포화교통류율
 CL : 기준신호주기
 t_{Adj} : 조정기준시간
 t_{Min} : 최소녹색시간
 tL : 손실시간

2) 회전교통류

(1) 좌회전

① 보호좌회전(Protected Left Turn)

동서방향이 보호좌회전으로 운영되는 신호교차로의 경우, 식(6)과 같이 동향좌회전과 서향직진의 조정기준시간의 합과 서향좌회전과 동향직진의 조정기준시간의 합중 최대값을 동서방향 통합보호시간으로 산정한다.

$$t_{EWprot} = \max(t_{AdjEBL} + t_{AdjWBT}, t_{AdjWBL} + t_{AdjEBT}) \quad (6)$$

여기서, t_{EWprot} : 동서방향 통합 보호시간

t_{AdjEBL} : 동향 좌회전 조정기준시간

t_{AdjWBT} : 서향 직진 조정기준시간

t_{AdjWBL} : 서향 좌회전 조정기준시간

t_{AdjEBT} : 동향 직진 조정기준시간

② 비보호좌회전(Permitted Left Turn)

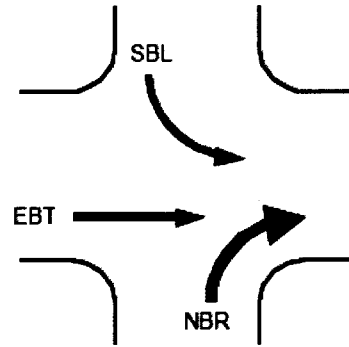
동서방향이 비보호좌회전으로 운영되는 신호교차로의 경우, 식(7)과 같이 동향직진과 동향좌회전의 조정기준시간의 최대값과 서향좌회전과 서향직진의 조정기준시간의 최대값의 합으로 동서방향 통합 보호시간을 산정한다.

$$t_{EWprot} = \max(t_{AdjEBL}, t_{AdjEBT}) + \max(t_{AdjWBL}, t_{AdjWBT}) \quad (7)$$

(2) 우회전

우회전독립차선이 설치되어 있고 가속차로가 확보되어 있는 경우 우회전은 항상 자유롭게 회전이 가능(Free Right)하나, 대부분은 별도의 차로 없이(No Lane) <그림 3>에서 보는 바와

같이 대향좌회전 및 좌측진입 직진교통류와 상충이 발생하며, 우회전교통량이 과다하여 방향별로 산정된 기준시간내에 소화되지 못하는 경우에는 우회전교통량 통과에 소요되는 시간을 포함하여 방향별 기준시간을 산정하여야 한다.



<그림 3> 우회전교통류와 상충이동류

3. 입력자료 및 파라미터

1) 통행량

일반적으로 peak 15분단위의 교통량을 PHF (Peak Hour Factor)로 환산하여 사용하나, ICU 분석에서는 1시간 단위의 자료를 그대로 사용한다. 입력자료 중에 가장 중요한 자료로 평일 여러 날의 평균을 사용하는 것이 좋다.

우회전 상충 및 보행자신호시간 등을 고려하기 위해서는 보행량이 필요하나 정확한 자료가 필요한 것은 아니다. 시간당 5명 이하의 영향이 거의 없으며, 시간당 100명 이상인 경우에 매우 큰 영향을 주게 된다.

2) 차로수

각 이동류별 차로수 자료가 필요하며, <표 3>과 같이 회전방향별 차로수별 차선이용계수를 이용하여 포화교통류율을 조정하여 분석에 적용한다.

<표 3> 차선이용계수

차로수	좌회전	직진	우회전
1	1.0	1.0	1.0
2	0.971	0.952	0.885
3 이상	0.971	0.908	0.885

3) 포화교통류율

이상적인 포화교통류율을 입력하면 회전계수(회전별, 차로수별), 차선이용계수(차로수별), 좌회전형태를 고려하여 조정·적용한다. 이상적인 포화교통류율은 분석지역의 특성에 따라 1700~2100vphpl(CBD지역 1700, 중규모 밀집지역 1900, 고속 접근로 2100)을 선택하여 적용한다.

관측 포화교통류율은 식(8)과 같이 계산하며, 관측 포화교통류율에 조정계수의 역수를 곱하여 이상적인 포화교통류율을 산정할 수 있다.

$$S' = N / (t - 2.5) \times 3,600 \quad (8)$$

여기서, S' : 관측 포화교통류율
 N : 정지선 대기차량수
 t : 대기차량 소거시간
 2.5 : 출발손실시간

4) 신호시간

ICU적용의 가장 큰 장점은 세부 신호시간 및 현시가 필요 없다는 것이지만, 기준주기 및 신호손실시간은 반드시 입력해야 한다.

기준주기는 현장에서 적용되는 값이 존재한 경우 가장 큰 값을 적용하며, 지역별특성에 맞게 90~200초(CBD지역 90초, 준도심지역 120초, 고속지역 200초)를 적용해야 한다.(default 120초)

손실시간은 출발손실시간과 소거손실시간의 합으로 계산하며, 유효녹색시간 연장시간도 함께 고려해야 하는데, 일반적으로 식(9)와 같이 계산하여 적용한다.

$$tL = \min(4\text{초}, 2\text{초} + D/sp, Y + AR) \quad (9)$$

여기서, tL : 손실시간
 D : 교차로 통과거리
 $Y + AR$: 황색시간 + 전적색시간
 sp : 직진통과속도 (좌회전 15mph)

보행자신호시간은 최소시간 “4초 + 횡단거리/4ft”으로 계산하여 적용하며, 지역별 특성(다수의 어린이 및 노약자 등)에 따라 보행자 속도를

3.5~4ft/초로 조정하여 적용한다.

(5) 회전보정계수

차로 그룹내에서 좌회전 및 우회전 교통량에 따라 포화교통류율을 보정하기 위한 계수로, 좌회전조정계수(fTL)는 0.95, 우회전조정계수(fTR)는 0.85를 적용하고 직진조정계수(fTT)는 식(10)을 적용하여 산정한다.

$$fTT = [1 - (1 - fTR) \times (vR - vCR) / vCT] \times [1 - (1 - fTL) \times (vL - vCL) / vCT] \quad (10)$$

여기서, vR, vL : 우회전, 좌회전 교통량
 vCR, vCL : 통합 우, 좌회전 교통량(공유차로)

(6) 보행자 통행량

교통류가 보행자에 의해 방해받을 때 용량감소를 일으키는 것을 반영하기 위해 보행간섭시간(Pedestrian Interference Time)을 도입하여 우회전 및 직진에 대하여 적용한다. 우회전은 식(11)을, 직진은 식(12)을 이용하여 계산한다.

보행간섭시간은 보행자 통행량에 의해 결정되나, 양방향에서 초기에 출발하는 보행자에 의한 8초와 8초 뒤 늦게 출발하여 영향을 주는 16초를 고려하여 주기당 최대 24초까지 영향을 주는 것으로 수식화 하였다.

$$intfR = 24.8 - 8e^{(-ped/2 \times (CL-8)/3600)} - 16e^{(-ped/2 \times 4/3600)} \quad (11)$$

$$intfT = \left[\frac{24.8 - 8e^{(-ped/2 \times (CL-8)/3600)}}{-16e^{(-ped/2 \times 4/3600)}} \right] \times vR/vC \quad (12)$$

여기서, $intfR, intfT$: 보행간섭시간 우회전, 직진
 vC : 통합 차로군이동류 교통량
 ped : 시간당 보행량

보행자 누름버튼이 있는 경우, 보행자 통행량에 따라 평균적으로 버튼을 누르는 횟수를 산정하여 교통흐름에 영향정도를 반영하기 위한 것으로 식(13)과 같이 산정된다.

$$freq = 1 - e^{(-ped \times CL/3600)} \quad (13)$$

력자료 및 오차로 항목별로 5~30%오차를 발생시켜 분석하였다.

IV. 유효성 검증

1. HCM과 비교

1) 일반사항

최근에 교차로 용량분석에 가장 대중적으로 많이 사용되는 지체기반의 HCM과 본 연구에서 고찰한 ICU방법의 특성에 대하여 <표 4>와 같이 비교하여 본 결과, ICU방법은 신호시간 및 현시를 최적화할 수는 없으나 신호시간(운영계획) 없이 교통계획, 도로설계, 교통영향분석 등의 분야에서 적용이 가능하며, 비보호 좌회전에 대한 용량 이중계산 문제, 최소녹색시간을 반영할 수 없는 HCM의 문제를 해소할 수 있다.

<표 4> HCM과 ICU 비교

구 분	HCM	ICU 2003
주요 MOE	지체도	v/c
주적용분야	신호운영, 계획	계획, 영향분석
기타 적용분야	계획, 영향분석	-
분석시트량	8	1
간단사용	×	○
손 계산	시간과다소요	○
보행신호시간 고려	×	○
신호시간·현시 최적화	○	×
연동효과분석	○	×
실질최대용량	×	○

2) 정확성

일반적으로 입력자료의 오차(uncertainty, 불확실성)는 분석결과에 까지 영향을 미치며, 분석절차가 단순 할수록 오차의 전파가 작아져 결과에서 오류가 발생할 확률이 줄어들게 된다. 따라서, 계획 및 영향분석 시 지체기반의 HCM방식에 비해 분석절차가 비교적 간단한 ICU방법을 적용하면 분석결과에서 발생하는 오차를 더욱 줄여 정확한 결과를 얻을 수 있다. <표 5>는 주요 입력자료 오차비율에 따른 HCM과 ICU의 전체항목의 오차를 비교하기 위한 입력항목별 입

<표 5> 오차율 비교를 위한 입력자료

구 분	입력자료	오차(불확실성)	비율
교통량	500	35	7%
포화교통류율	2000	100	5%
차선이용률	0.9	0.05	6%
손실시간	4	0.5	13%
비보호좌회전	0.3	0.03	10%
녹색시간	40	2	5%
연동계수	1	0.3	30%

분석결과, 입력자료를 동일하게 오차를 발생시켜 분석하더라도 ICU는 10.6%의 종합오차가 발생하였으나, HCM은 30.0%의 오차가 발생하여 입력자료의 오차에 따른 HCM 오차전파가 더욱 큰 것을 알 수 있다.

<표 6> HCM과 ICU 비교

구 분	입력 오차 (u)	ICU		HCM	
		승수효과 (m1)	제곱오차 (u×m1) ²	승수효과 (m2)	제곱오차 (u×m2) ²
교통량	7%	0.88	0.0036	0.92	0.039
포화교통류율	5%	-0.87	0.0019	-1.04	0.027
차선이용률	6%	-0.87	0.023	-1.04	0.033
손실시간	13%	0.12	0.0002	-0.16	0.0004
비보호좌회전	10%	-0.57	0.0032	-1.04	0.0108
녹색시간	5%	na		-1.59	0.0063
연동계수	30%	na		0.82	0.0611
종합오차(CU)	-	10.6%		30.0%	

주) u = 입력자료 오차(불확실성)
 m1, m2 = 입력자료 1%변할 때 결과물 변화비율(%)
 종합오차(CU) = $(\sum(u \times m)^2)^{0.5}$

<표 7>은 다양한 시나리오별로 HCM과 ICU의 오차율을 분석한 것으로, v/c가 큰 혼잡상황, 연동화분석시, 비보호좌회전시 HCM의 오차가 더욱 크게 발생하는 것으로 나타났다.

<표 7> 종합오차(CU)비교를 위한 분석시나리오

구분	ICU	HCM
보호좌회전, No연동, v/c=0.75	9%	11%
보호좌회전, No연동, v/c=1.0	9%	41%
보호좌회전, 연동, v/c=0.75	9%	28%
보호좌회전, 연동, v/c=1.0	9%	44%
비보호좌회전, No연동, v/c=0.75	11%	17%
비보호좌회전, No연동, v/c=1.0	11%	54%
비보호좌회전, 연동, v/c=0.75	11%	30%
비보호좌회전, 연동, v/c=1.0	11%	57%

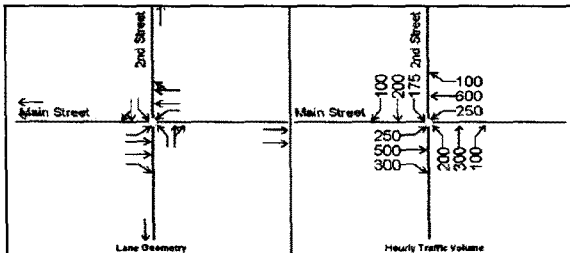
2. 사례분석

1) 사례1 - 일반 용량분석

ICU는 교통계획, 영향분석, 도로설계 등에 적용이 가능한데, <표 8>과 <그림4>와 같은 조건의 계획된 교차로의 용량분석을 실시하였다.

<표 8> 사례1 제약조건

- 보행량 : 20인/시간 (우회전과 상충)
- 보행신호시간 : 16초
- 우회전 별도 차로 없음 (No Lane)
- 이상적인 포화교통류율 : 1900vphpl
- 이동류별 최소녹색시간 : 4초
- 이동류별 손실시간 : 4초



<그림 4> 사례1 기하구조 및 교통량

<그림 5>는 기준주기에 120초를 적용하고 기초자료를 입력한 분석시트로 분석결과, 조정기준시간은 동서방향 48.7초, 남북방향 46.5초, ICU는 79.3%산정되어, 분석교차로의 서비스 수준은 D로 분석되었다.

Movement	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
3 Lanes	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
3 Shaded LT Lane (v/h)	Yes											
4 Volume	250	500	300	250	800	100	200	300	100	175	200	100
5 Pedestrians	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 Pedestrian Timing (v/h)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
7 Pedestrian Timing (v/h)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
8 Free Right (v/h)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
9 Lost Time	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
10 Lost Time	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
11 Minimum Green	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
12 Reference Circle Length	120											
13 Volume Combined	250.0	500.0	300.0	250.0	700.0	0.0	200.0	400.0	0.0	175.0	300.0	0.0
14 Volume Separate Left	250.0	500.0										
15 Lane Utilization Factor	1.000	0.992	1.000	1.000	0.983	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16 Turning Factor Adjust	0.950	0.900	0.850	0.950	0.979	0.950	0.950	0.963	0.950	0.950	0.950	0.950
17 Saturated Flow Combined	1805.0	3617.0	1815.0	1805.0	3542.1	0.0	1805.0	1826.8	0.0	1805.0	1805.0	0.0
18 Saturated Flow Separate	1805.0	3617.0										
19 Pedestrian Interference Time	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	2.3	0.0	2.3
20 Pedestrian Frustration	48.7%							48.7%		48.7%		48.7%
21 Reference Signal Address	TRUE							TRUE		TRUE		TRUE
22 Reference Time	16.8	16.8	22.3	16.8	24.1	0.0	13.3	26.8	0.0	11.6	20.7	0.0
23 Adjusted Reference Time	20.8	20.8	26.3	20.8	28.1	0.0	17.3	30.8	0.0	15.6	24.7	0.0
24 Proportion Left	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25 Volume Left Lane	250	250										
26 Proportion Left Left	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27 Left Turn Equivalents	15.0	15.0										
28 Left Turn Factor	0.097	1.000	0.097	1.000	0.097	1.000	0.097	1.000	0.097	1.000	0.097	1.000
29 Left Turn Sat Flow	120.3	1804.8	120.3	1770.0	0.0	120.3	1826.8	0.0	120.3	1805.0	0.0	1805.0
30 Reference Time A	249.3	16.8					199.4	26.8		174.5	20.7	
31 Adjusted Saturation B	311.9						324.0			302.9		
32 Reference Time B	NA		NA			NA		NA		NA		NA
33 Reference Time Lefts	249.3						199.4			174.5		
34 Reference Time	253.3						203.4			178.5		
35 Adjusted Reference Time	253.3						203.4			178.5		
36 Split Traffic	16.8						24.1			20.7		
37 Per Time Combined	16.8	16.8					13.3	26.8		11.6	20.7	
38 Reference Time	16.8	16.8					13.3	26.8		11.6	20.7	
39 Reference Time	16.8	16.8					13.3	26.8		11.6	20.7	
40 Adjusted Reference Time	20.8	20.8					17.3	30.8		15.6	24.7	
41 Summary	Even Week	North South										
42 Protected Option	48.7	46.5										
43 Permitted Option	48.7	56.5										
44 Signal Option	48.7	46.5										
45 Minimum	48.7	46.5										
46 Combined	79.3%											
47 Best Time	EBR	WBR	NBR	SBR								
48 Adjusted Reference Time	26.3	8.0	8.0	8.0								
49 Cross Through Direction	NBT	SBT	WBT	EBT								
50 Cross Through Adj Ref Time	36.0	26.7	28.1	30.6								
51 Oncoming Left Direction	WBL	EBL	SBL	NBL								
52 Oncoming Left Adj Ref Time	20.5	23.3	25.6	17.3								
53 Combined	77.2	62.3	61.7	46.9								
54 Intersection Capacity Utilization	73.1%											
55 Level of Service	D											

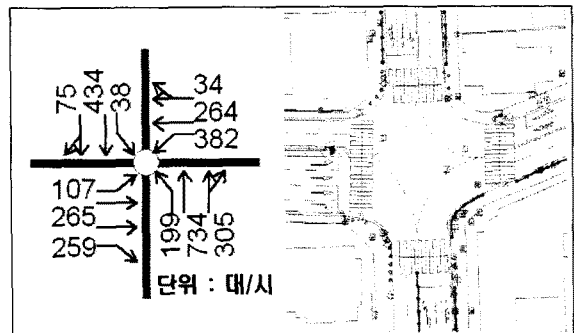
<그림 5> 사례1 분석시트

2) 사례2 - 좌회전방식 변경

현황대비 교차로운영개선에 따른 교차로 용량 증대 효과분석을 실시하기 위해, <표 9>와 <그림 6>과 같은 조건의 교차로의 운영개선을 검토하고, 그에 따른 교차로 용량변화를 분석하였다. 주어진 교차로는 남향(South Bound) 좌회전 교통량이 38대/시에 불과하여 비보호로 운영이 가능하므로 보호 vs 비보호 운영시 교차로 용량을 비교분석하였다.

<표 9> 사례2 제약조건

- 보행량 : 20인/시간 (우회전과 상충)
- 보행신호시간 : 5 + 횡단보도폭/1.2
- 이상적인 포화교통류율 : 1900vphpl
- 이동류별 최소녹색시간 : 12~23초
- 이동류별 손실시간 : 3초



<그림 6> 사례2 기하구조 및 교통량

기준주기를 120초를 적용하여 분석한 결과, 보호좌회전의 경우 ICU 83.9%(LOS E)로 용량상태이나, 좌회전방식(보호→비보호) 개선으로 ICU 75.6%(LOS D)로 교차로 용량이 증대되었다.

Right Turns	EBR	WBR	NBR	SBR
45 Adjusted Reference Time	22.2	15.0	15.0	15.0
46 Cross Through Direction	NBT	SBT	WBT	EBT
47 Cross Through Adj Ref Time	39.7	26.0	23.0	23.0
48 Oncoming Left Direction	WBL	EBL	SBL	NBL
49 Oncoming Left Adj Ref Time	23.0	23.0	15.0	18.2
50 Combined	85.0	64.0	53.0	54.2
51 Intersection Capacity Utilization	83.9%			
52 Level Of Service	E			

Right Turns	EBR	WBR	NBR	SBR
45 Adjusted Reference Time	22.2	15.0	15.0	15.0
46 Cross Through Direction	NBT	SBT	WBT	EBT
47 Cross Through Adj Ref Time	39.7	26.0	23.0	23.0
48 Oncoming Left Direction	WBL	EBL	SBL	NBL
49 Oncoming Left Adj Ref Time	23.0	23.0	0.0	18.8
50 Combined	85.0	64.0	38.0	56.8
51 Intersection Capacity Utilization	75.6%			
52 Level Of Service	D			

<그림 7> 사례2 분석결과(보호(上), 비보호(下))

3) 사례3 - 차로추가

일반적인 제약조건은 <표 10>과 같고 교통량 및 기하조건이 <그림 7>과 같으며, 남북방향의 보도폭에 여유가 있어 남북방향 1차로씩 추가 확보가 가능한 경우, 개선전·후 용량분석 사례 분석을 실시하였다.

현황에서는 남북방향과 동서방향의 교통량이 비슷한데 반해 남북방향이 편도 1차로로 ICU가 84.1%(LOS E)로 산정되나, 교차로 용량증대를 위해 여유 보도폭을 줄여 남북방향 각각 1차로씩 추가 확보할 경우 ICU가 70.0% (LOS C)까지 개선된다.

<표 10> 사례3 제약조건

•보행량 : 20인/시간 (우회전과 상충)
•보행신호시간 : 20초
•이상적인 포화교통류율 : 1900vphpl
•이동류별 최소녹색시간 : 10초
•이동류별 손실시간 : 3초

구분	현황	개선안
교통량 및 기하조건		
ICU	84.1%	70.0%
LOS	E	C

<그림 7> 사례3 기하구조 및 교통량

4) ICU vs 시뮬레이션

ICU분석결과에 대한 타당성 검증을 위해, 교차로 용량분석 및 운영개선 전·후 효과분석에 가장 널리 사용되고 있는 매크로 시뮬레이션 모형인 TRANSYT-7F와 결과를 비교해 보았다. 특히, 객관적인 비교분석을 위해 신호시간 최적화기능이 있는 TRANSYT-7F를 선택하였다.

분석한 결과는 <표 11>과 같으며, ICU와 TRANSYT-7F의 LOS 기준이 상이하여 부분적으로 LOS가 달리 산정되었으나, 사례2, 사례3 모두 LOS가 같은 경향을 나타내고 있다.

<표 10> ICU vs TRANSYT-7F

구분	현황	ICU		TRANSY-7F	
		ICU	서비스수준	평균지체	서비스수준
사례2	현황	83.9%	E	59.0초/대	E
	개선안	75.6%	D	45.2초/대	D
사례3	현황	84.1%	E	64.8초/대	E
	개선안	70.0%	C	43.8초/대	D

앞의 사례분석과 같이, 신설교차로 운영현황 분석 및 교차로의 운영개선(회전교통류 처리, 차로추가 및 차로재배분 등) 효과분석 등에 유용하게 사용될 수 있으며 교통량, 도로기하 구조 등을 고려하여 복잡하게 신호시간을 계산하여 지체도 기반의 서비스수준을 산정할 필요가 없다.

V. 결론 및 향후연구

교통계획, 도로설계, 교통영향분석하는 경우에 도로(특히, 교차로)의 용량분석을 통하여 문제점 분석 및 개선안을 마련하게 된다. HCM의 교차

로 용량분석방법은 이론적 배경이 우수하고, 분석결과에 대한 신뢰성이 높아 최근에 가장 널리 사용되고 있다. 하지만, 그 적용방법이 복잡하고, 고려해야 하는 파라미터가 많아 적용상에 많은 어려움을 갖고 있다.

ICU(Intersection Capacity Utilization)방식은 간단한 방법으로 분석 교차로의 v/c를 산출하여 교차로의 여유 용량 및 용량 초과 정도를 파악할 수 있어 도로계획·설계 및 교통영향 분석에 유용하게 사용할 수 있다.

장래 도로의 용량분석을 위해서는 예측된 교통량 자료를 기반으로 분석해야 하기 때문에 정확한 분석방법도 중요하나, 입력자료의 오차로 분석과정에서 증대되는 오차를 최소화 하는 것도 매우 중요하다. 다양한 시나리오 분석결과 HCM에 비해 ICU방식이 입력자료의 오차전파가 적어 더욱 정확한 분석결과를 산출한 것으로 나타났다. 또한, 우리나라의 도시부 간선도로에는 광도가 많아 교차도로 녹색시간 결정 시 보행자 녹색시간의 영향을 많이 받으므로, 교차로 용량 분석 시 보행자 녹색시간을 반드시 고려해야 하기 때문에 ICU적용으로 더욱 효과적인 교차로운영수준의 평가가 가능하다.

본 연구에서 고찰한 ICU방법은 신호교차로의 정확한 용량상태를 파악하여 병목 지점 예측이 가능하며, 분석교차로의 신호운영자료 등 상세자료가 없는 상태에서도 평가가 가능하여 결국 도로설계나 계획 전·후의 용량상태 변화를 예측하여 혼잡이 예상되는 구간의 계획을 조정하는 등, 결과적으로 도로 교통의 효율화가 가능하다.

하지만, ICU방식은 미국 교통현황을 기반으로 구축된 모형으로, 각종 파라미터 및 평가기준(LOS)등이 우리나라 실정과 상이하기 때문에, 향후 우리나라의 주요교차로의 운행특성, 신호운영주기, 서비스수준을 조사하여 우리나라 실정에 맞도록 파라미터, 기준주기, LOS를 변경하여 적용하여야 한다.

참고문헌

1. David Husch, John Albeck, Intersection Capacity Utilization(2003 ed), Trafficware, 2003
2. Highway Capacity Manual, TRB, 2000

3. 도로용량편람, 대한교통학회, 2001
4. Roser P. Roess, Elena S. Prassas, William R. Mishane, Traffic Engineering (third ed.), Prentice Hall, 2004
5. 김영찬, 과포화 다이아몬드형 인터체인지의 교통신호제어모형의 개발, 대한교통학회지, 1994
6. Carroll J. Messer, Effects of Design Alternatives on Quality of Service at Signalized Diamond Interchanges, TRR 538, 1975