

ICU 방법을 활용한 신호교차로 운영분석

The Operation Analysis of Signalized Intersections Using ICU Method

김영찬* · 전재현** · 정영제*** · 김은정****

Kim, Young Chan · Jeon, Jae Hyeon · Jeong, Young Je · Kim, Eun Jeoung

Abstract

The capacity analysis of signalized intersection usually includes a HCM method used at home and abroad and a ICU method this study presents. The HCM method focuses on operation analysis measuring an intersection's delay in terms of given traffic volume, signal operation, and intersection structure data. This method includes planning and design analysis, but these analyses are complex due to being possible through repetitive operation analysis. However the ICU method is a powerful tool for planning and design analysis, because these are possible through brief traffic volume and geometry structure data and consider minimum green time. In this study, the authors studied the ICU method and compared the HCM and ICU by analyzing traffic volume scenarios. Also to consider effectiveness for application of the ICU method, the authors applied the ICU to capacity analysis of intersections on urban arterial for setting major intersection and effect analysis for changing crosswalk type, the number of lane, lane use and operation form of left turn. The result of the analyses shows that the ICU method can measure correct capacity of intersection consist of a broad road in urban area, and is effective for planning and design analysis. This study is expected that traffic experts can grasp correct intersection's capacity and carry out a proper planning or improvement by applying the ICU method to planning and design analysis.

Keywords : ICU(Intersection Capacity Utilization), HCM(Highway Capacity Manual), intersection capacity, minimum green time

요 지

신호교차로 용량분석 방법은 국내외에서 주로 사용하고 있는 HCM 방법과 본 연구에서 제시하고자하는 ICU 방법이 있다. HCM 방법은 교통량, 신호운영, 기하구조 자료에 의해 교차로의 지체를 산정하는 운영 분석에 초점이 맞춰져 있고, 계획 및 설계 분석은 반복적인 운영분석을 통해 이루어져 복잡하다. 반면 ICU 방법은 기하구조 및 교통량 자료만으로 교차로 계획 및 설계 분석이 가능하고 용이하며 최소녹색시간을 고려하는 장점이 있다. 본 연구에서는 ICU 방법에 대해 살펴보고, 교통량 시나리오를 구성하여 HCM 방법과 ICU 방법을 비교 분석하였다. 또한 중요교차로 설정을 위한 도시간선도로 축 상의 교차로 용량분석, 횡단보도 유형, 차로수, 차로이용, 좌회전 운영방식 변경의 효과분석에 ICU를 적용 분석함으로써 계획 및 설계 분석 시 ICU 적용의 효율성을 살펴보았다. 분석결과 ICU 방법이 최소녹색시간의 영향을 반영하여 광로로 이루어진 도시 교차로의 정확한 용량상태를 파악할 수 있고, 신호시간 등의 상세한 자료 없이 간편하게 적용할 수 있어 계획 및 설계 분석에 효율적인 것으로 나타났다. 본 연구결과를 토대로 기하구조나 운영방식 변경 등의 계획 분석에 ICU 방법을 유용하게 적용하여 계획 교차로의 정확한 용량상태를 파악함으로써 적절한 계획 및 개선이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : ICU, HCM, 교차로용량, 최소녹색시간

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 도시부 도로의 교통정체는 주로 교차로에서 발생하고 있으며 이는 비효율적 교통신호 운영 및 교통시설의 용량을 초과하는 교통수요가 그 원인으로 판단된다. 따라서 교차로의 여유용량 및 용량 초과 정도를 파악하여 그에 따라 신호

운영이나 교차로 설계의 개선이 이루어져야 한다.

현재 신호교차로의 용량분석 방법은 국내외에서 주로 사용하고 있는 HCM(Highway Capacity Manual) 방법과 본 연구에서 제시하고자하는 ICU(Intersection Capacity Utilization) 방법이 있다. HCM 방법은 주어진 교통량, 신호운영, 교차로 구조 등의 자료에 의해 교차로의 지체를 산정하여 서비스수준을 판정하는 운영분석에 초점이 맞춰져 있다.

*정회원 · 교신저자 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : yckimm@uos.ac.kr)

**서울시립대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : jhbe20@naver.com)

***정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail : sleep108@hanmail.net)

****도로교통공단 책임연구원 (E-mail : kej92@rtsa.or.kr)

HCM에서 계획분석과 설계분석 방법을 제시하고는 있지만 이 계획 및 설계분석은 반복적인 운영분석을 통해 교통량, 신호시간 및 교차로 구조의 적정 값을 찾는 것으로 계산과정이 복잡하여 적용이 어려운 문제점을 갖고 있다. 이에 반해 ICU 방법은 교차로의 상세한 자료나 신호운영 자료 부재 시에도 교차로 용량 상태를 효율적으로 분석할 수 있어 계획 및 도로설계 분석에 적합하다.

국내 도시교통은 광도가 많아 신호운영 시 최소녹색신호시간에 의한 영향이 크다. 최소녹색신호시간은 최소의 보행신호시간으로 보행자가 횡단을 하기위한 횡단거리 즉, 도로폭을 고려하여 산정된다. 따라서 광로의 도로폭을 갖는 교차로의 최소녹색신호시간은 교차로 신호운영 시 많은 영향을 미치므로 이 영향을 고려한 교차로 용량분석이 이뤄져야 할 것이다. ICU는 HCM에 반해 교차로 용량분석 시 최소녹색신호시간을 고려하는 장점을 가지고 있어 도시간선도로 교차로의 정확한 용량분석에 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 교차로의 기하구조나 운영방식을 변경하는 계획 및 설계 분석 시에 ICU 적용의 용이함과 유용성을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용

본 연구에서는 먼저 신호교차로 용량분석 시 기존에 주로 사용된 HCM 방법과 용량분석이 용이한 ICU 방법에 대하여 고찰하고, ICU 활용방안을 제시하였다. 이와 더불어 교차도로 크기, 교차도로 교통량비, 교통량 수준 등 교차도로 형태별 교통량 및 기하구조 시나리오를 구성하여 HCM 방법과 ICU 방법으로 용량분석을 하여 비교하였다.

다음으로 제시된 ICU 활용방안을 바탕으로 ICU 방법을 사례지역 및 설정된 교차로에 적용, 분석하였다. 강남지역 연동축 상의 6개 교차로를 대상으로 ICU 방법으로 분석하여 중요교차로(CI) 설정에 효율적으로 활용이 가능한지 살펴본다. 또한 횡단보도 유형, 차로수, 차로 이용과 좌회전 운영방식 변경 같은 도로설계 및 계획 시 개선 전후의 효과분석에 ICU 방법의 효율성을 살펴보고자 분석교차로를 설정하여 분석하고, 시뮬레이션 프로그램들을 이용하여 ICU 결과를 재검증하였다.

2. 관련문헌 고찰 및 ICU 활용방안

2.1 ICU와 HCM 방법

ICU(Intersection Capacity Utilization)는 교차로와 인터체인지의 분석과정을 다루는 것으로, 교차로의 용량을 측정하는 강력한 방법이다. ICU의 주 결과물은 분석 교차로의 v/c로, 이 v/c가 명확하여 지체 기반 방법들보다 정확도가 더 크며, 분석 교차로의 남아있는 용량을 얼마나 이용가능한지 또는 교차로가 용량을 얼마나 초과하는지 말해준다. ICU는 지체를 예측하지는 못하지만, 교차로가 혼잡을 얼마나 자주 경험할지는 예측할 수 있다. 현재 신호교차로 용량분석 시 널리 사용되고 있는 HCM은 지체 기반 방법으로, 주 결과물은 v/c 산정 후 지체 산정 식에 의해 구해지는 지체도이다.

ICU에서 v/c는 주어진 주기 동안 포화상태에서 모든 이동류의 수요를 충족시키는데 요구되는 시간의 합을 기준주기

로 나누어 식 (1)과 같이 산출한다. 이 식의 특징은 이동류의 교통량에 의한 영향과 최소녹색신호시간에 의한 영향을 고려하여 더 크게 영향이 미치는 것을 선택하여 산정한다는 것이다. 반면 HCM v/c는 식 (2)와 같이 교통량에 의한 영향만 고려하고 있다. 그런데 국내 도시교통에서 광도가 많은 도로 기하구조를 고려해 볼 때, v/c 산출시 교통량과 최소녹색신호시간이 동시에 고려되어야 할 필요성이 있어 ICU 방법이 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 여기서 ICU를 구할 때 기준이 되는 기준주기는 요구되는 최대주기로, 분석교차로가 그 기준주기 값으로 운영되어야만 하는 것은 아니다. 기준주기 디폴트값은 120초로 지정되어 있으며, David (2003)는 교외 간선도로는 120초, 시내 간선도로는 90초로 제안하였다.

표 1. ICU와 HCM v/c 산정식 비교

ICU	$ICU = \max[(v/s_i \times CL, tMin_i) + L] / (CL)$ (1)
HCM	$X_c = \frac{C}{C-L} \sum (v/s_i)$ (2)

여기서, ICU: 임계 v/c 비

CL: 기준주기(Reference Cycle Length)

v/s_i: 임계 이동류 i의 교통량 대 포화교통류율 비

tMin_i: 임계 이동류 i의 최소녹색시간

X_c: 임계 v/c 비

C: 신호주기

L: 손실시간

표 2. ICU와 HCM 비교

구분	ICU 방법	HCM 방법
효과적도	v/c	delay
최적 적용	계획, 영향평가, 도로설계	운영, 신호시간
2차 적용	-	계획, 영향평가, 도로설계
input pages	0.3	2
output pages	0.7	5
최소녹색시간 고려	O	X
신호시간 의존	X	O

HCM은 교차로의 기하구조, 교통조건, 신호운영의 자료를 입력하고 교통량보정, 포화교통류율 보정과 v/c 산정 후 지체를 산정하여 서비스수준을 판정하는 운영분석을 주로 다루고 있다. HCM에서 계획분석과 설계분석을 다루고 있지만, 이 계획 및 설계 분석은 반복적인 운영분석을 통해 교통량이나 신호시간, 교차로 구조의 적정 값을 찾는 과정으로 2차적인 적용이고 계산과정이 복잡하여 적용이 어려운 문제점을 갖고 있다. 반면 ICU는 비교적 간략한 워크시트만을 작성함으로써 용량을 산정하므로 적용이 간편하며, 상세한 자료나 신호운영 자료가 없어도 적용이 가능해 도로설계, 계획, 교통영향평가 분석에 유용하게 사용할 수 있다.

ICU 방법에 의한 교차로 용량분석 과정을 살펴보면, 먼저 분석 워크시트에 교통량, 기준주기, 보행자 수요, 최소녹색시간 등의 기초자료를 입력한다. 그 후 각 이동류의 기준시간(tRef, 식 (3)) 즉, 포화상태에서 각 이동류 교통량이 통과하는 데의 소요시간을 산정하여 최소녹색시간(tMin)과 비교하

여 이 중 큰 값을 선택해 조정기준시간(t_{Adj} , 식 (4))을 산정한다. 임계 이동류 조정기준시간의 합을 기준주기로 나누어 ICU를 산정하고 서비스수준을 판정하게 된다. 산출된 ICU 값은 표 3과 같이 서비스수준(LOS)을 A에서 H까지 8단계로 나누어 판정하며, ICU 값에 따라 분석 교차로의 여유용량 및 용량초과 정도를 파악하고 혼잡정도를 예측할 수 있다.

$$t_{Ref} = v/s \times CL \quad (3)$$

$$t_{Adj} = \max(t_{Ref}, t_{Min}) + L \quad (4)$$

여기서, t_{Ref} : 기준시간

v : 차로군별 교통량(조정교통량 사용)

s : 차로군별 포화교통류율

t_{Adj} : 조정기준시간

t_{Min} : 최소녹색시간

L : 손실시간

2.2 ICU 활용방안

앞에서 ICU와 HCM 방법을 살펴본바와 같이 신호교차로의 신호 운영분석 시에는 HCM 방법을 적용하고, 계획 및 도로설계 시에는 ICU 방법을 적용하는 것이 유용할 것이다.

ICU는 신호시간 자료가 없어도 분석이 가능하여 어떤 지역의 교통유발시설물이 들어설 때 수요예측 된 교통량 자료만을 활용하여 주변 신호교차로의 용량상태와 혼잡정도를 예측하는 교통영향평가에 유용하다. 특히 새로운 택지개발을 할 때 대략적인 교차로형태, 차로수, 횡단보도 설치 등이 결정되어 있는 상태에서 네트워크상의 각 신호교차로의 예측되는 용량상태 및 혼잡정도를 파악할 수 있어 신호화하는 교차로 분석에 효율적이다. ICU 방법은 교차로 수가 많아도 간편하게 적용할 수 있기 때문에 매우 합리적이며, 많은 교차로 중에서 어느 교차로가 용량을 초과하는지 병목지점을 예측할 수 있다. 그리고 도시간선도로에서 교차로 그룹 내 혼잡도가 높은 신호교차로를 중요교차로(CI)로 설정하여 신호연동 제어전략을 주로 사용하는데, 이 때 ICU 방법을 적용하여 간선도로 축 상의 신호교차로들의 용량상태를 분석하여 용이하게 중요교차로를 설정할 수 있다.

또한 차로수 변경이나 차로운영 변경 같은 도로설계 및 계획 시 교차로 분석에 ICU 방법을 활용할 수 있다. 차로수를 변경할 때 신호자료 없이 용량이 어느 정도 변하는지 용이하게 분석이 가능하다. 특히 소로-소로 도로에서 소로-광

로 도로로 넓히는 계획 시 보행신호시간을 고려할 수 없는 HCM과는 달리 ICU는 보행신호시간의 영향을 반영할 수 있어 정확한 용량변화를 예측할 수 있다. 그리고 차로배정을 변경하는 차로운영 변경 계획과, 보호좌회전에서 비보호좌회전이나 좌회전 금지 규제 등의 좌회전 운영방식 변경 계획 시에도 ICU 방법을 적용하여 유용하게 분석할 수 있다.

국외에서는 교통영향평가 시 교차로 서비스수준을 분석할 때 ICU 방법을 사용할 것을 교통영향평가 지침(Donald (1997))에서 제안하고 있기도 하다. 그러나 국내에서는 아직 ICU의 적용성을 분석한 연구가 제안되지 않았고, 교통영향평가 지침(국토해양부(2008))에서 교차로 분석 시 도로용량 편람을 사용할 것을 제시하고 있어 HCM 방법을 대부분 적용하고 있다. 향후 본 연구뿐만 아니라 다양한 관련연구들이 수행되어 계획 및 도로설계 시에 ICU 적용이 활성화될 수 있었으면 한다.

3. HCM과 ICU의 v/c 비교분석

교차로 분석 시 교통량 상황과 최소녹색신호시간을 고려하는 ICU 방법과 교통량 상황에 의한 영향만을 고려하는 HCM 방법을 서로 비교분석하고자 한다. 이에 교차도로 크기와 교통량 비에 따른 시나리오를 작성하여 분석방법별 v/c를 분석하였다.

3.1 교차도로 크기에 따른 용량분석

교차로 용량분석 시 최소녹색시간(보행신호시간) 고려의 필요성을 알아보기 위해 교차도로 크기에 따른 HCM과 ICU 방법별 용량분석을 하고자한다. 이를 위해 교차도로를 소로 & 소로, 소로 & 대로, 대로 & 대로로 구분하여 시나리오를 구성하여 분석하였다. 분석을 위한 교통상황은 직진 및 좌회전 교통류가 이동류별 $v/s = 0.07, 0.12, 0.17, 0.20$ 인 교차로를 가상으로 설정하였고, 포화교통류율은 직진 1,900vphpl, 좌회전 1,800vphpl, 100% 승용차량으로 구성을 하였다. 신호주기는 120초, 현시는 직좌 분리 4현시체계, 소로는 편도 2차로, 대로는 편도 5차로, 차로폭 3.5m 설정, 보행신호시간은 횡단거리(도로폭)/(1.0m/s)+7sec로 산정해 적용하였다.

분석결과, HCM v/c는 교차도로 크기에 관계없이 이동류별 v/s 수준에 따라 모두 0.31~0.33, 0.53~0.58, 0.76~0.82, 0.89~0.96으로 유사하게 산출되었다. 이것은 HCM 방법이 교통량 수준에 의한 영향만을 고려하여 각 도로별로 이동류

표 3. ICU 값에 의한 LOS 산정

LOS	ICU	교차로 혼잡정도	여유용량 및 운영방안
A	≤55%	소통원활, 첫 주기에 교통량 소화	40% 이상
B	>55%~64%	매우적은 혼잡, 첫 주기에 교통량 소화	30% 이상
C	>64%~73%	중요 혼잡 없음, 첫 주기에 교통량 소화	20% 이상
D	>73%~82%	주로 혼잡하지 않음, 첫 주기에 교통량 소화	10% 이상
E	>82%~91%	혼잡직진, 첫 주기에 다수의 교통량 소화 못함	10% 미만
F	>91%~100%	용량 초과 교통상태, 15-60분의 지체	최적신호시간계획이 아닌 경우 혼잡증가
G	>100%~109%	9% 미만의 용량 초과, 60-120분의 지체	주요이동류에 용량 배분
H	>109%	9% 이상의 용량 초과, 120분 이상의 지체	주요이동류에 용량 배분

별 v/s를 동일하게 설정하였기 때문에 유사하게 나타난 것이다. 교차도로 크기에 따라 다소 다르게 산정된 것은 대로일 때 차로이용률 보정계수가 다른 것이 원인일 뿐, 교차도로 크기별로 보행신호시간과 교통량 수준을 비교하여 적절한 용량상태를 산정한 것이 아니다.

반면 ICU는 이동류별 v/s가 0.07 수준일 경우에 소로&소로의 ICU v/c 값이 0.57, 소로&대로는 0.76, 대로&대로는 0.94로, 전체적으로 교차도로의 크기가 클수록 ICU v/c값이 크게 나타났다. 이는 ICU 방법이 교차로 용량분석 시 최소 녹색시간 즉, 보행신호시간에 대한 영향을 반영하기 때문에, 교차도로가 대로일수록 보행신호시간이 커져 영향을 많이 받아서 그만큼 교차로 여유용량이 줄어들게 되는 것이다. 이에 전 방향 횡단보도가 없다고 가정하고 ICU 방법으로 v/c를 산정해보았는데, 그 결과 HCM의 v/c 값과 유사하게 나타났다. 이처럼 교차로의 횡단보도 유무에 따라 교차로 용량상태가 상이하게 되며, 특히 교차도로가 대로일수록 그 영향이 큰 것을 알 수 있다.

따라서 국내 도시간선도로 신호교차로의 교차도로가 광로가 많다는 것을 감안하면, ICU 방법을 적용하여 교차로의 정확한 용량을 분석함으로써 분석교차로의 여유용량이 적절하거나 부족한지 파악하는 것이 중요할 것이다.

표 4. 교차도로 크기에 따른 교차로 용량분석 결과

구분	HCM v/c	ICU v/c	
		횡단보도 유	횡단보도 무
v/s=0.07	소로&소로	0.31	0.38
	소로&대로	0.32	0.39
	대로&대로	0.33	0.39
v/s=0.12	소로&소로	0.53	0.58
	소로&대로	0.56	0.59
	대로&대로	0.58	0.60
v/s=0.17	소로&소로	0.76	0.78
	소로&대로	0.79	0.80
	대로&대로	0.82	0.81
v/s=0.20	소로&소로	0.89	0.90
	소로&대로	0.92	0.92
	대로&대로	0.96	0.94

3.2 교차도로 교통량비에 따른 용량분석

교차도로의 교통량비에 따른 교차로 v/c 값 변화를 분석하기 위해 교차도로 크기와 교통량비를 표 5와 같이 설정하였다. 교차도로 크기는 소로&소로, 소로&대로와 대로&대로로 구분하고, 동서방향 대 남북방향의 교통량비를 50:50과 30:70으로 구분하였다. 교통량수준은 v/s = 0.07, 0.12, 0.17, 0.20으로 하여 표 5와 같이 교통량 시나리오를 설정하였다. 이때 교통량수준 ㉠㉡㉢㉣ 별 동서방향 대 남북방향의 교통량비 50:50과 30:70의 교차로 전체 총교통량을 동일하게 하였고, 소로&대로와 대로&대로 경우는 소로&소로 경우에서 증가한 차로 수의 비율만큼 교통량을 증가하여 동일한 형태 로 교통량 시나리오를 구성하였다.

분석결과, HCM 방법은 교통량 수준이 높아질수록 v/c값이 커질뿐, 교차도로의 크기가 변하거나 교차도로의 교통량

표 5. 교통량 시나리오 (소로&소로)

구분	동서:남북 = 50:50	동서:남북 = 30:70
㉠		
㉡	v/s = 0.07:0.07	v/s = 0.04:0.10
㉢	v/s = 0.12:0.12	v/s = 0.07:0.17
㉣	v/s = 0.17:0.17	v/s = 0.10:0.24
㉤	v/s = 0.20:0.20	v/s = 0.12:0.28

표 6. 교차도로 교통량비에 따른 용량분석 결과

구분		HCM v/c		ICU v/c	
		50:50	30:70	50:50	30:70
소로&소로	㉠	0.31	0.31	0.57	0.51
	㉡	0.53	0.53	0.67	0.67
	㉢	0.76	0.76	0.78	0.84
	㉣	0.89	0.89	0.90	0.95
소로&대로	㉠	0.32	0.32	0.76	0.69
	㉡	0.56	0.56	0.86	0.87
	㉢	0.79	0.79	0.98	1.05
	㉣	0.92	0.92	1.07	1.16
대로&대로	㉠	0.33	0.33	0.94	0.94
	㉡	0.58	0.58	1.04	1.04
	㉢	0.82	0.82	1.14	1.14
	㉣	0.96	0.96	1.20	1.20

비가 변해도 획일적인 v/c값이 산정되는 것을 볼 수 있다. 반면 ICU 방법은 교통량 수준과 교통량비, 교차도로 크기 모두를 고려하여 각 상황마다 다른 v/c값을 산정하고 있다. 즉, 각 상황마다 방향별 수요를 충족시키는데 요구되는 시간과 같이 구현되는 보행신호시간을 비교해 큰 값을 선택함으로써, 각 교통상황에 맞는 다른 v/c값을 산출하는 것이다. 예를 들어 소로&소로의 교차로 ㉠㉡ 교통상황에서, 동서방향 대 남북방향 교통량비가 50:50인 경우는 모든 방향의 수요 충족시간이 보행신호시간보다 크지만 30:70인 경우는 동서방향 교통량이 적어 수요 충족시간이 보행신호시간보다 작게 되어 보행신호시간에 영향을 받게 되었다. 이에 전체 총 교통량이 같다는 것을 감안하면 30:70인 경우가 v/c값이 더 크게 나타나게 된 것이다. 대로&대로 교차로에서는 교통량비가 변해도 결과적으로는 모두 동일한 v/c값이 나왔는데, 이것은 교차도로가 대로라 보행신호시간이 커서 교통량수준이 높아져도 요구되는 수요 충족시간이 보행신호시간보다 작게 된 것이다. 따라서 설정된 교통량 시나리오 상에서는 모두 보행신호시간에 영향을 받게 되어 동일한 v/c값이 산출된 것이다.

이처럼 ICU는 최소녹색신호시간(보행신호시간)을 고려함은 물론이고, 최소녹색신호시간과 수요를 충족시키는데 필요한 시간과의 비교를 하여 고려함으로써, 분석교차로의 정확한 용량상태를 파악할 수 있다.

4. ICU 적용 분석

본 장에서는 계획 및 설계 분석 시 ICU 적용의 효율성을 살펴보고자 한다. 이에 중요교차로 설정을 위한 연동축 교차로 용량분석과 횡단보도 유형 변경, 차로수 변경, 차로이용 재배정, 좌회전 운영방식 변경의 효과분석 시 ICU를 적용해 보았다.

4.1 중요교차로 설정을 위한 ICU 적용

신호교차로에서 교차로간 연동을 유지하기 위해서는 교차로 그룹내에서 교차로 혼잡도가 높은 중요교차로(CI) 설정이 중요하다. 중요교차로(CI) 설정은 교통 혼잡이 시작되는 교차로로서, 운영자의 판단에 의해 사전에 정의되고 교차도로의 위계나 처리능력, 기하구조 등을 고려하여 설정하고 있다. 중요교차로 설정을 위해 ICU와 HCM 방법을 적용하여 제어그룹 내에서의 혼잡교차로 설정을 위한 분석을 하였다. 분석구간은 실시간신호제어시스템 적용지역의 동일한 신호제어 그룹내에 있는 남부순환로의 6개 교차로(대치미도아파트, 대치역, 숙명여고, 매봉터널, 매봉역, 양재전화국)를 대상으로 하였다.

교차로의 혼잡정도를 분석하기 위해 ICU 방법과 HCM 방법을 적용하여 용량을 분석한 결과, 두 분석방법의 v/c 값이 모두 매봉터널이 1.15, 1.12로 가장 혼잡한 지역으로 나

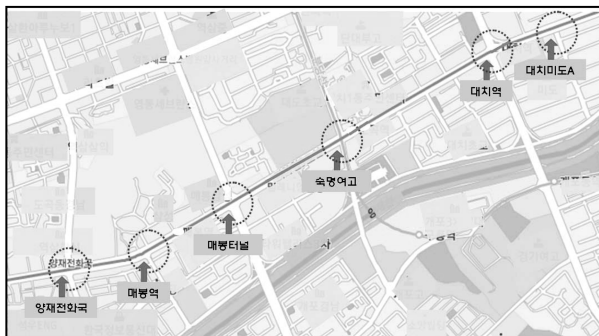


그림 1. 분석대상 교차로

표 7. 분석지역의 신호운영 현황 및 교통량

구분	1현시		2현시		3현시		4현시	
	현시	교통량	현시	교통량	현시	교통량	현시	교통량
대치미도(A)	↖	448	↗	2,350	↘	391		
대치역	↖	394	↗	1,862	↘	192	↖	1,181
숙명여고	↖	391	↗	1,646	↘	319	↖	473
매봉터널	↖	269	↗	1,603	↘	317	↖	1,450
매봉역	↖	298	↗	2,582	↘	144	↖	1,315
양재전화국	↖	317	↗	2,035	↘	211	↖	1,286

(교통량 : 2008. 02. 15. 14:00-15:00)

표 8. 교차로별 용량분석 결과

지역	구분	그룹운영 현황	ICU v/c	HCM v/c
대치미도(A)		MI	0.70	0.63
대치역		MI	1.08	0.99
숙명여고		MI	0.98	0.81
매봉터널		CI	1.15	1.12
매봉역		MI	0.83	0.68
양재전화국		MI	1.05	1.07

타났다. 현재 이 지역의 신호운영은 6개 교차로 중 매봉터널 교차로를 중요교차로(CI)로 설정하고 그 외 교차로를 비중요교차로(MI)로 설정하여 신호운영을 하고 있는데, 이것은 ICU 분석결과와 동일한 것을 볼 수 있다.

따라서 ICU 방법은 교차로 신호현시 자료 없이 교통량 및 도로 기하구조만으로도 분석이 가능하므로, 도시간선도로 축 상의 혼잡교차로 및 용량을 초과하는 교차로를 판단하여 신호제어전략 등을 계획하는데 효율적으로 사용할 수 있을 것이다.

4.2 횡단보도 유형 변경에 따른 효과분석

ICU는 보행신호시간을 고려할 수 있어 횡단보도 유형 변경에 따른 교차로 용량 상태 변화를 파악할 수 있다. 이에 횡단보도 유형 변경에 따른 개선 전후의 효과를 파악할 때 ICU 방법의 적용이 효과적인지 알아보기 위해, 그림 2와 같이 사례 지역으로 답십리입구 교차로를 설정하여 분석하였다.

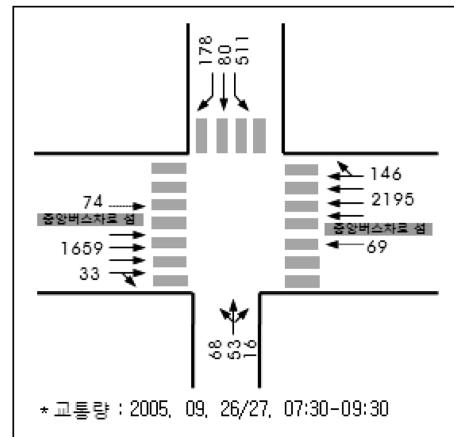


그림 2. 답십리입구 교차로 교통량 및 기하구조

천호대로 상의 답십리입구 교차로는 대로와 소로가 교차하는 교차로로서, 남북방향 횡단거리가 40m로 긴 보행신호 시간이 할당되고 있다. 그런데 남북방향 직진교통량은 적어 상대적으로 주방향의 신호 손실이 발생하고 있다. 이에 기존의 1단으로 운영되고 있는 횡단보도를 2단 횡단보도로 변경하여 운영하면 주방향의 차량 소통 개선효과가 있을 것으로 보인다. 그리고 답십리입구 교차로는 중앙버스전용차로제가 운영 중인 구간으로 2단 횡단보도를 적용할 도로 중간의 섬이 따로 필요하지 않아 적용이 용이하다. 이를 ICU 방법으로 분석함으로써 2단 횡단보도로 변경 운영 시 얼마나 교차로 용량 상태가 개선될 지 살펴보고자 한다.

표 9. 답십리입구 교차로 신호운영 현황

1현시	2현시	3현시	주기
			140초
17(3)	50(4)	63(3)	
14%	39%	47%	

표 10. 답십리입구 교차로 신호운영 개선안

1현시	2현시	3현시	주기
			120초
19(3)	28(4)	63(3)	
18%	27%	55%	

현재 운영되고 있는 현시는 표 9와 같이 3현시이며 남북과 동서방향 직진이동류 현시일 때 각 보행신호를 운영하고 있다. 이를 2단 횡단보도로 변경 시 보행신호시간을 분리하여 최적 신호를 도출한 개선 신호운영은 표 10과 같다. 2단 횡단보도로 운영 시 40초로 운영했던 남북방향 보행신호를 19초와 28초로 나누어 운영하게 되는데, 이는 함께 쳐주는 이동류의 교통량과 횡단보도 길이에 적절히 배분한 값이다.

표 11. 횡단보도 유형 변경에 따른 교차로 분석 결과

구 분	ICU		VISSIM	
	v/c	LOS	평균지체 (초/대)	LOS
횡단보도 유형 변경 전	0.72	C	38.0	C
횡단보도 유형 변경 후 (2단 횡단보도 적용)	0.62	B	22.9	B

ICU로 분석결과, 현행 운영 시에는 ICU v/c 값이 0.72 (LOS C)이었는데 2단 횡단보도로 운영 시에는 0.62(LOS B)까지 개선된 것으로 분석되었다. 또한 ICU의 분석 결과를 검증하기 위해 중앙버스전용차로제를 구현할 수 있는 VISSIM 시뮬레이션 툴을 적용하여 재분석하였다. 분석결과 ICU와 같이 2단 횡단보도로 개선 후 교차로 지체가 줄어들어 개선된 것으로 나타났고 교차로 서비스수준도 동일하게 판정되었다.

따라서 횡단보도 유형 변경 시에 보행신호시간을 고려할 수 있는 ICU를 적용함으로써 간단하게 교차로 용량을 분석하는데 매우 유용할 것이다.

4.3 차로수 변경에 따른 효과분석

차로수 변경에 따른 개선 전후의 효과를 파악할 때 ICU 방법의 적용이 효과적인지 알아보기 위해, 표 12와 같이 교통량 및 기하구조 등을 설정하고 ICU 방법으로 용량분석을 하였다. 차로수 변경 전에는 각 접근로별 교통량수준은 비슷한데 동서방향 도로는 편도 2차로, 남북방향 도로는 편도 1

차로로 운영 중이다. 이에 남북방향 1개 차로 접근로에서 모든 회전이동류를 처리함으로써 혼잡이 우려되어, 개선안으로 남북방향 도로에 각각 1차로씩 추가하여 표 12와 같이 변경하고자 한다. 개선 전후의 교차로 용량상태 변화를 분석하고 그 효과를 알아보기 위해 ICU 방법을 적용해보았다. ICU 적용을 위한 기본 입력자료는 포화교통량을 1,900 vphpl, 이동류별 손실시간 3초, 기준주기 120초, 보행신호시간은 횡단거리(도로폭)/(1.0m/s)+7sec으로 하였고, 다음의 차로재배정과 좌회전 운영방식에 따른 교차로 용량분석 시에도 동일 적용하였다.

표 12. 차로수 추가 전후 교통량 및 기하구조

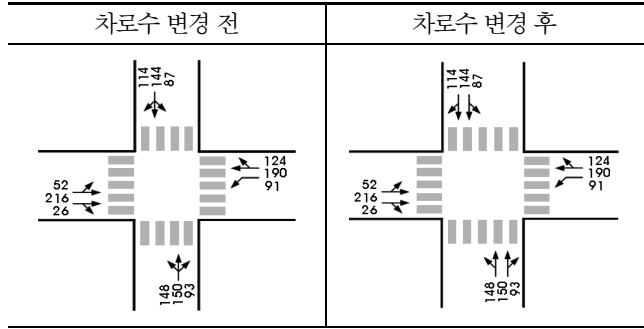


표 13. 차로수 변경에 따른 교차로 분석 결과

구 분	ICU		VISSIM	
	v/c	LOS	평균지체 (초/대)	LOS
차로수 변경 전	0.84	E	64.8	E
차로수 변경 후	0.70	C	43.8	D

ICU 분석결과, 차로수 추가 전에는 v/c 값이 0.84(LOS E)이었는데 차로수 추가 후에는 0.70(LOS C)까지 개선된 것으로 분석되었다. 또한 ICU 분석결과를 검증하기 위해 교차로 운영분석에 가장 널리 사용되고 있는 시뮬레이션 툴인 TRANSYT-7F를 사용하여 재분석하였다. 분석결과 ICU 결과와 같이 차로수 추가 후 교차로상태가 개선된 것으로 나타났고, ICU와 TRANSYT-7F의 LOS 분석 기준이 상이하여 부분적으로 LOS가 달리 산정되었으나 서로 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

따라서 차로수 변경 같은 도로설계 시에 간단하게 교통량과 기하구조 자료만으로 교차로 용량분석을 할 수 있는 ICU를 적용하여 분석하는 것이 매우 유용할 것이다.

4.4 차로재배정에 따른 효과분석

차로배정 변경에 따른 개선 전후의 효과를 파악할 때 ICU 방법의 적용이 효과적인지 알아보기 위해, 표 14와 같이 교통량 및 기하구조 등을 설정하고 ICU 방법으로 용량분석을 하였다. 차로재배정 전에는 동쪽방향 좌회전 교통량이 많은데 1차로만 배정되어 있어서 좌회전교통량과 직진교통량(우회전교통량 포함)의 비율을 계산하여 적정 차로를 재배정하였다. 따라서 동쪽방향 접근로의 차로배정을 L, T, T, TR에서 L, LT, T, TR로 변경하였다. 개선 전후의 교차로 용량상태 변화를 분석하고 그 효과를 알아보기 위해 ICU

표 14. 차로재배정 전후 교통량 및 기하구조

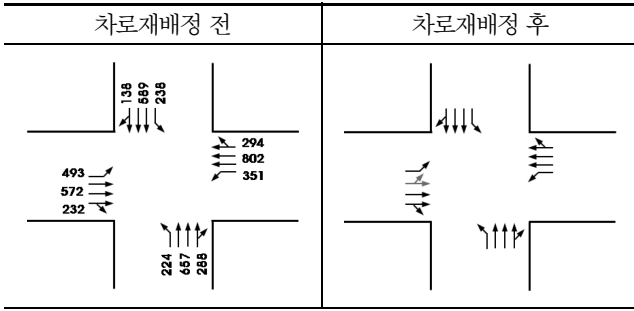


표 15. 차로재배정에 따른 교차로 분석 결과

구 분	ICU		VISSIM	
	v/c	LOS	평균지체 (초/대)	LOS
차로재배정 전	0.92	F	51.9	E
차로재배정 후	0.84	E	47.8	D

방법을 적용해보았다.

ICU 분석결과, 차로재배정 전에는 v/c 값이 0.92(LOS F)이었는데 차로재배정 후에는 0.84(LOS E)까지 개선된 것으로 분석되었다. TRANSYT-7F로 분석한 결과도 차로재배정 후 교차로상태가 개선된 것으로 ICU와 유사하게 나타났다.

따라서 차로재배정 같은 차로운영 변경 계획 시에 간단하게 교통량과 기하구조 자료만으로 교차로 용량분석을 할 수 있는 ICU를 적용하여 분석하는 것이 매우 유용할 것이다.

4.5 좌회전 운영방식 변경에 따른 효과분석

교차로 운영방식 변경에 따른 개선 전후의 효과를 파악할 때 ICU 방법의 적용이 효과적인지 알아보기 위해, 표 16과

표 16. 좌회전 운영방식 변경 전후 교통량 및 기하구조

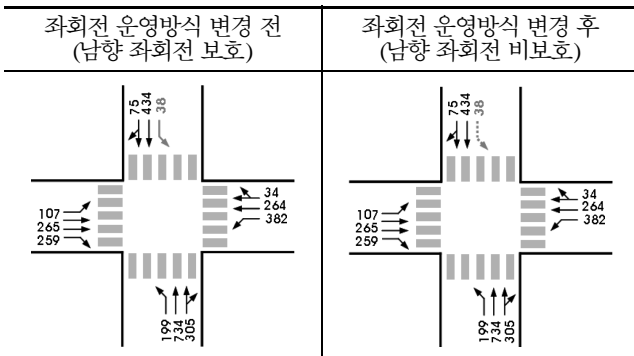


표 17. 좌회전 운영방식 변경에 따른 교차로 분석 결과

구 분	ICU		VISSIM	
	v/c	LOS	평균지체 (초/대)	LOS
좌회전 운영방식 변경 전	0.84	E	59.0	E
좌회전 운영방식 변경 후	0.74	D	45.2	D

같이 교통량 및 기하구조 등을 설정하고 ICU 방법으로 용량분석을 하였다. 이 교차로는 남향 좌회전 교통량이 38대/시에 불과한데 보호현시로 운영하고 있어 비효율적이다. 개선안으로 남향 좌회전을 비보호운영으로 변경하고, 개선 전후의 교차로 용량상태 변화를 분석하고 그 효과를 알아보기 위해 ICU 방법을 적용해보았다.

좌회전 운영방식 변경에 따른 ICU 방법에 의한 용량분석 결과, 남향 좌회전현시가 보호좌회전 현시로 운영할 경우는 ICU v/c 값이 0.84(LOS E)로 나타났으나 비보호좌회전 현시로 운영할 경우는 0.74(LOS D)로 개선된 것으로 분석되었다. TRANSYT-7F로 분석한 결과도 좌회전 운영방식 변경 후 교차로상태가 개선된 것으로 ICU와 동일하게 나타났다.

따라서 보호좌회전, 비보호좌회전, 좌회전 금지 규제와 같은 좌회전 운영방식 계획 시에 간단하게 교통량과 기하구조 자료만으로 교차로 용량분석을 할 수 있는 ICU를 적용하여 분석하는 것이 매우 유용할 것이다.

6. 결론 및 향후연구

교통계획, 도로설계, 교통영향을 분석하는 경우에 도로 및 교차로의 용량분석을 통하여 문제점 분석 및 개선안을 마련하게 되고, 도시부 도로 교차로는 차량 흐름에 중요한 지점으로 계획 및 운영이 더욱 중요하다. 이러한 교차로 용량 분석 시 HCM 방법은 이론적 배경이 우수하고, 분석결과에 대한 신뢰성이 높아 현재까지 가장 널리 사용되고 있다. 하지만 그 적용방법이 복잡하고, 고려해야 하는 변수가 많아 설계 및 계획 분석 시 적용상에 많은 어려움을 갖고 있다.

ICU 방법은 분석교차로의 신호운영자료 등의 상세자료가 없는 상태에서도 교차로 용량분석이 가능하며, 계획단계에서 신호교차로의 용량상태를 파악하여 병목지점을 예측할 수 있는 등 계획 및 설계 분석 적용에 유용하다. 또한 최소녹색 신호시간을 고려하여 횡단보도가 있는 도시 광로 교차로 분석 시 보행신호의 영향을 반영한 정확한 용량 분석이 가능하며, 분석절차가 간편한 장점이 있다. 본 연구에서의 ICU 적용 분석을 통해서도 계획 및 설계 분석 시 ICU 방법 적용의 용이함과 유용성을 확인했다. 따라서 ICU 방법을 활용하여 계획 및 도로설계 전후의 용량상태 변화를 예측하여 혼잡이 예상되는 구간의 계획을 조정할 수 있어 도로 교통의 효율화가 가능할 것으로 기대된다.

그러나 ICU 방법은 미국 교통현황을 기반으로 구축된 모형으로 각종 변수 및 평가기준(LOS) 등이 우리나라 실정과 상이한 부분이 있으므로, 향후 우리나라의 주요교차로의 운행특성, 신호운영주기, 서비스수준을 분석하여 우리나라 실정에 맞도록 분석변수, 기준주기, LOS 판정 범위의 조정 연구가 뒤따라야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

참고문헌

국토해양부(2008) **교통영향평가 지침**, 제2008-65호.

김성득, 박창수, 박원규(2001) 신호교차로 지체 및 서비스 수준 결정에 관한 연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제21권 제4호, pp. 461-471.

김성득 외(2001) 한국 도로용량편람과 미국 HCM 2000의 신호 교차로 서비스수준 결정에 관한 고찰, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제19권 제5호, pp. 143-154.

김영찬(1997) 지체최소화를 위한 도시간선도로 좌회전현시체계 최적화에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제15권 제1호, pp. 157-174.

대한교통학회(2004) **도로용량편람**, pp. 207-366.

도철웅(1997) **교통공학원론**, 청문각, pp. 529-535.

서울지방경찰청(2003) 2002년 **실시간신호제어시스템 기능개선** 용역.

Courage and Wallace (1991) *TRANSYT-7F User's Guide*, Transportation Research Center, University of Florida.

David Husch and John Albeck (2003) *Intersection Capacity Utilization*, Trafficware.

Donald, L.W. (1997) *Traffic Impact Analysis Report Guidelines*, County of Los Angeles.

Drew, D.R. (1968) *Traffic Flow Theory and Control*, McGRAW-HILL, pp. 217-218.

Parsonson, P.S. (1992) *Signal timing improvement practices*, TRB, NCHRP synthesis 172.

Pline, J.L. (1995) *Left treatment at intersection*, TRB, NCHRP synthesis 225.

TRB (2000) *Highway Capacity Manual*.

Roser P. R., Elena S. P., and William R. M.(2004) *Traffic Engineering*(third ed.), Prentice Hall, pp. 470-497.

(접수일: 2008.12.9/심사일: 2008.12.15/심사완료일: 2008.12.15)