한국ITS학회논문지
제13권, 제1호 (2014년2월)
pp.109～126
http://dx.doi.org/10.12815/kits.2014.13.1.109

도로용량편람 신호교차로 성능지표 분석을 위한 차로군 분류의 적정성 평가

Feasibility Evaluation of Lane Grouping Methods for Signalized Intersection Performance Index Analysis in KHCM

김 상 구* (Sang-Gu Kim) 윤 일 수** (Ilsoo Yun) 오 영 태*** (Young-Tae Oh) 안 현 경**** (Hyun-Kyung Ahn) 권 건 안***** (Ken-An Kwon) 홍 두 표****** (Doo-Pyo Hong)

요 약

도로용량편람에서 제시하는 서비스수준은 새로운 교통시설 설치 또는 기존 시설 확장에 근거로 사용되고 있다. 신호교차로 서비스수준 분석은 다섯 단계로 진행되는데 그 중 3단계는 차로군 분류 단계이다. 이 단계에서 분류된 차로군으로 연속적인 분석을 진행하기 때문에 서비스수준 분석 시 중요한 요소 중 하나이다. 하지만 본 연구에서 분석한 결과 회전교통량이 적은 경우에도 불구하고 실질적 전용회전차로군으로 분류되는 점을 발견하였다. 이러한 문제점에 대한 대안으로 USHCM의 차로군 분류 방법을 차용하는 방법, 공용차로 당 회전별 교통량 비율을 사용하는 방법 그리고 기준 회전교통량 이하인 경우 통합차로군으로 분류하는 방법 세 가지를 제시하였고 정산한 CORSIM 시뮬레이션과 비교해보았다. 본 논문에서는 각각 방법의 결과 및 한계점을 제시하였고 추후 다양한 네트워크에 대하여 연구가 필요하다는 결론을 내렸다.

핵심어 : 도로용량편람, 신호교차로, 제어지체, 차로군, 미시교통시뮬레이션

ABSTRACT

The level of service (LOS) of the Highway Capacity Manual (KHCM) has been used as a basic criterion at decision making processes for signalized intersections in Korea. The KHCM provides five steps for the signalized intersection analysis. Among them, lane grouping, which is the third step, significantly influence the final LOS. The current method presented in the KHCM, however, classifies a shared lane as a de facto turning lane group, even though the turning traffic of the shared lane is few. Thus, this research was initiated to provide an alternative. To this end, three alternatives were suggested, including the method based on the lane grouping presented in the U.S. Highway Capacity Manual, the method using turning ratio of shared turning lane, and the method using a threshold traffic volume in lane grouping. The feasibilities of the three methods were evaluated using a calibrated CORSIM model. Conclusively, the method using a threshold traffic volume in lane grouping outperformed.

Key words : Highway Capacity Manual, Signalized Intersection, Control Delay, Lane Grouping, Microscopic Traffic Simulation

† 본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2010-0029451, 2012R1A1A1044620)입니다.
* 주저자 : 전남대학교 물류교통학전공 교수
** 공저자 및 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수
*** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수
**** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정
***** 공저자 : 교통안전공단 운영지원처 과장
****** 공저자 : 한국도로공사 도로사업처 처장
† 논문접수일 : 2013년 11월 22일
† 논문심사일 : 2013년 12월 07일
† 게재확정일 : 2014년 01월 02일

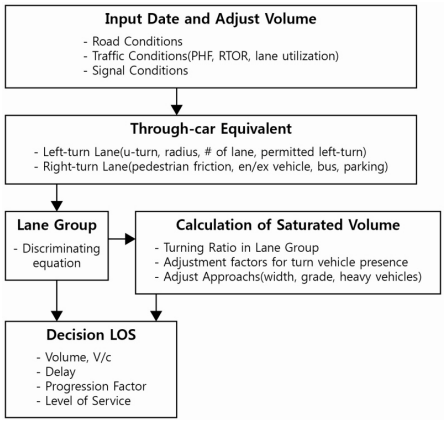
Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

도로용량편람은 국내 교통류의 특성을 바탕으로 국내 및 교통 선진국의 연구 이론을 반영하여 각 도로시설 유형을 정의하고 그 효과를 분석하여 기존 도로의 확장이나 새로운 도로 건설의 지표로서 활용되어 왔다. 1992년 건설부(현 국토교통부)에서 국내 최초의 도로용량편람을 발간하였다. 이후 우리나라의 급속한 경제성장을 발판으로 전국 자동차 등록대수는 1992년 12월 약 700만대에서 2001년 12월 약 1300만대로 십년 사이 두 배 가까이 증가하였다. 이에 따라 변한 교통류 상황에 적합한 새로운 지침서의 필요성이 대두되었고 2001년 건설교통부(현 국토교통부)에 의하여 도로용량편람이 새롭게 발간되었다. 2005년 오타 및 오기를 수정하고 애매하게 표현되었던 내용을 명확하게 설명하여 인쇄본을 제공한 뒤, 2013년 국토해양부(현 국토교통부)가 새로운 도로용량편람을 발간하였다. 2013년의 도로용량편람은 회전교차로, 고속도로 진출입 연결로와 일반도로 교차지점, 버스전용차로 등의 새로운 분석방법을 포함함으로써 국내 교통량과 서비스수준 평가를 위해 지속적인 노력을 아끼지 않고 있다[1].

특히 도로용량편람은 신호교차로의 서비스수준을 분석하기 위하여 편람의 상당한 부분을 할애하고 있다. 이는 도로교통에서 신호교차로가 차지하는 의미가 크고, 신호교차로 분석이 도로조건, 교통조건 그리고 신호조건을 다양한 절차에 따라 복합적으로 다루기 때문이다.

신호교차로 서비스수준 분석은 입력자료 및 교통량 보정, 직진환산계수, 차로군 분류, 포화교통량 계산 그리고 서비스수준 판정의 순차적인 단계로 진행되며 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다.



〈그림 1〉 신호교차로 서비스수준 분석 단계
〈Fig. 1〉 Analysis Procedures of Level of Service for Signalized intersection
(출처 : 국토해양부, 도로용량편람, 2013)

첫 번째 단계는 입력자료 및 교통량 보정단계로 조사한 도로조건, 교통조건 그리고 신호조건을 분석에 적합한 형태로 보정하는 과정이다. 두 번째 단계에서는 좌회전(left-turn, LT)차로와 우회전(right-turn, RT)차로에 영향을 주는 인자들을 바탕으로 회전교통류를 직진(through, TH)교통류 단위로 환산할 수 있게 하는 직진환산계수를 산출한다. 세 번째 단계는 앞서 산출한 직진환산계수와 다른 인자를 바탕으로 차로군을 분류하는 단계이다. 여기서, 차로군(lane group)이란 같은 현시에 이동하는 각 차로별 이동류의 교통량 분포에 따라 형성되는 이동류 조합으로서 신호교차로 서비스수준 분석은 차로군 단위로 진행된다[2]. 네 번째 단계인 포화교통량 계산에서 분류된 차로군 별로 포화교통량과 용량 그리고 포화도를 계산하고 마지막 단계인 서비스수준 판정에서 교차로의 종합적인 서비스수준을 판정하게 된다[1].

신호교차로 서비스수준 분석의 세 번째 단계에서 분류된 차로군 유형은 이후 분석과정에서 지속적인 영향을 미치게 된다. 차로군 분류의 유형에 따라 교통량이 통합되어 분석되기도 하고 분리되어 분석되기도 한다. 그렇기 때문에 차로군 분류 단계의 신뢰성은 신호교차로 분석 신뢰성의 한 부분으로서 작용하게 된다. 그럼에도 불구하고 도로용량

편람은 다양한 교통류 상황에 따라 합당한 차로군 분류를 보여주지 못하는 경우가 있다. 국내 신호교차로 분석에 적합한 도구로서 연구된 도로용량편람의 분석 방법이 적절한 결과를 보여주지 못한다면 견고한 기준으로서의 위상을 잃어버릴 수 있다.

본 연구의 목적은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 도로용량편람의 차로군 분류 방법이 적절한지 확인하는 것이다. 공용좌회전차로 및 공용우회전차로로 이루어진 교차로의 접근로를 회전교통량이 많고 적음에 따라 분석하여 적절하지 않은 결과가 도출된다면 추가 연구가 필요한 것으로 판단을 내릴 수 있다. 두 번째는 도로용량편람의 분석 방법이 문제가 있다고 판단할 때 여러 대안을 비교분석하여 도출된 문제점을 안정적으로 해결할 수 있는 적절한 대안을 제시하는 것이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 신호교차로 분석 중 세 번째 단계인 차로군 분류 단계를 집중적으로 분석하려 한다. 분석대상지점의 네트워크 자료와 다양한 교통상황을 반영하기 위해 생성한 회전교통량 시나리오를 사용하여 차로군 분류가 타당하게 이루어지는지 확인하였다. 이 때 네트워크 자료는 독자들이 비교적 쉽게 접할 수 있도록 도로용량편람 제 8장 신호교차로의 예제 1을 사용한다[1]. 만약 초기 분석에서 분석가의 판단에 따라 보편적으로 이해하기 어려운 점이 발견된다면 도로용량편람의 차로군 분류 방법에 문제가 있다고 판단할 수 있다.

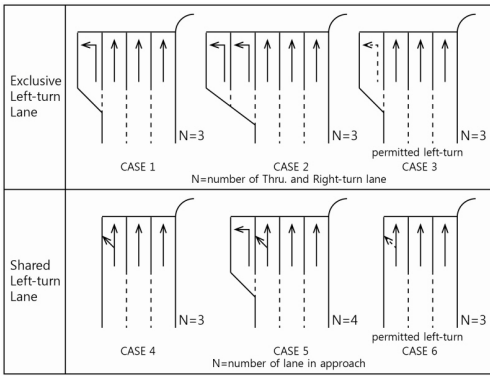
차로군 분류가 절절하지 않다고 판단되는 경우 심도있는 분석을 위해 정산된 CORSIM(CORridor SIMulation, McTrans Center University of Florida)과 다양한 교통량 시나리오를 사용하여 기존 도로용량편람의 분석방법, USHCM의 차로군 분류방법을 도로용량편람에 접목해 분석하는 방법, 공용차로에서 회전교통량의 비율을 사용하여 차로군을 분류하는 방법, 그리고 고용차로의 회전교통량이 기준 교통량 이하인 경우 해당 공용차로를 공용차로군으로 분류하는 방법을 평가하고자 한다.

Ⅱ. 관련 이론 및 선행 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

1) 도로용량편람의 차로군 분류

도로용량편람은 교차로 접근로의 좌회전차로 형태에 따라 신호교차로 유형을 <그림 2>에서 보는바와 같이 총 6가지로 구분한다.



〈그림 2〉 좌회전차로 형태에 따른 신호교차로 유형
〈Fig. 2〉 Cases of Signalized intersection by Left-turn Lane Types
(출처 : 국토해양부, 도로용량편람, 2013)

지정된 CASE를 바탕으로 도로용량편람에서 차로군 분류는 각 회전별 교통량 보정과 좌회전 및 우회전 직진환산계수 산출 다음 과정에 이루어진다. 앞선 두 단계를 거친 후 V_{LF} 및 V_{RF} 그리고 V_{STL} 및 V_{STR}의 판별식으로 차로군 분류를 판단한다. V_{LF} 및 V_{RF} 그리고 V_{STL} 및 V_{STR}은 식(1)부터 (8)까지에 의해 산출 할 수 있다[1].

$$V_{LF} = \frac{3600\,V_{Th}}{CNV_L} \le \frac{V_{Th}}{N} \quad \text{(CASE 4, 6)} \tag{1}$$

$$= \frac{7200\,V_{Th}}{C(N-1)\,V_L} \le \frac{V_{Th}}{N-1} \quad \text{(CASE 5)} \tag{2}$$

$$V_{RF} = \frac{3600\,V_{Th}}{CNV_R} \le \frac{V_{Th}}{N} \quad \text{(CASE 1, 2, 3, 4, 6)} \tag{3}$$

$$= \frac{3600\,V_{Th}}{C(N-1)\,V_R} \le \frac{V_{Th}}{N-1} \quad \text{(CASE 5)} \tag{4}$$

여기서,

V_{LF} : 공용좌회전차로의 첫 좌회전 차량 앞에 도착하는 직진 교통량
V_{Th} : 직진 교통량
C : 신호주기
N : 전용좌회전차로를 제외한 접근로 차로수
V_L : 좌회전교통량
V_{RF} : 공용우회전차로의 첫 우회전 차량 앞에 도착하는 직진 교통량
V_R : 우회전교통량

$$V_{STL} = \frac{1}{N}\left[V_{Th} + E_R V_R - E_L V_L (N-1)\right] \quad \text{(CASE 4, 6)} \quad (5)$$

$$= \frac{1}{N}\left[2(V_{Th} + E_R V_R) - E_L V_L (N-2)\right] \quad \text{(CASE 5)} \quad (6)$$

$$V_{STR} = \frac{1}{N}\left[V_{Th} - E_R V_R (N-1)\right] \quad \text{(CASE 1, 2, 3)} \quad (7)$$

$$= \frac{1}{N}\left[V_{Th} + E_L V_L - E_R V_R (N-1)\right] \quad \text{(CASE 4, 5, 6)} \quad (8)$$

여기서,

V_{STL} : 공용좌회전차로를 이용하는 직진 교통량
E_R : 우회전 직진환산계수
E_L : 좌회전 직진환산계수
V_{STR} : 공용우회전차로를 이용하는 직진 교통량

〈표 5〉 유형별 차로군 분류
〈Table 5〉 Classification of Lane Groups

Types	Types of Lane Group
Exclusive Lanes	Exclusive LT or RT Lane Group
One Lane except for Exclusive LT Lane	Shared Lane Group for TH and RT
V_{STL} > V_{LF} 이고 V_{STR} > V_{RF}	Shared Lane Group LT, TH and RT
V_{STL} < V_{LF}	De facto LT Lane Group
V_{STR} < V_{RF}	De facto RT Lane Group
V_{STL} > V_{LF}	Shared Lane Group for LT and TH
V_{STR} > V_{RF}	Shared Lane Group for TH and RT

(출처 : 국토해양부, 도로용량편람, 2013)

<표 1>에서 볼 수 있듯이 전용좌회전차로를 포함하고 있는 CASE 1, 2, 3의 경우는 좌회전차로를 전용좌회전차로군으로 분류한다. 전용좌회전차로를 제외한 나머지 차로수가 1차로인 경우 그 1차로는 통합차로군을 형성한다. 나머지 경우는 <표 1>의 판별식을 통해 결정이 가능하다.

여기서 V_{LF}와 V_{RF}는 공용회전차로에서 첫 회전 차량 앞에 도착하는 직진 교통량이며 V_{STL}과 V_{STR}은 공용회전차로를 이용하는 직진 교통량이다. 즉, V_{LF}가 V_{STL} 보다 더 큰 경우는 대기행렬의 가장 앞부분에만 직진 차량이 있다는 의미를 갖는데 실제로는 개념이 모호하여 도로용량편람 독자들에게 혼란을 초래하고 있다.

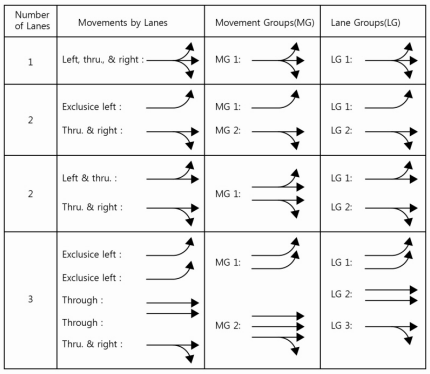
2) USHCM의 차로군 분류

USHCM 2010은 차로군을 분류하기 위해 <그림 3>과 같은 분류 규칙을 사용한다[3].

첫째, 만약 별도의 전용회전차로가 지정되어 있다면 별도의 차로군으로 분류한다.

둘째, 공용회전차로가 지정되어 있다면 별도의 차로군으로 분류한다.

마지막으로 셋째, 전용회전차로 또는 공용회전차로가 아닌 차로들은 하나의 차로군으로 결합한다.



〈그림 3〉 USHCM에 따른 차로군 분류 방법
〈Fig. 3〉 Classification of Lane Group in USHCM
(출처 : TRB, Highway Capacity Manual 2010, 2010)

USHCM 2010의 차로군 분류 방법은 차로의 노면

표시에 근거하여 차로군을 결정하기 때문에 국내 도로용량편람에 비하여 비교적 단순하고 교통량에 관계없이 항상 일정한 차로분 분류 결과를 제시한다.

2. 선행 연구 고찰

도철웅(2000)은 그 당시 USHCM의 차로군 분류 방법을 분석하여 차로군 분류의 기준과 방법이 모호하고 실용적이지 못함을 발견하였다. 또한 차로군 분류의 기본은 실질적 전용회전차로의 존재 유무를 확인하는 것이며 회전교통량의 많고 적음에 따라 달라질 수 있음을 확인하였다. 운전자가 접근로에 접근할 때 가장 혼잡이 적은 차로를 선택함으로써 각 차로의 차두시간이 평형을 이룬다는 가정하고, 접근로 전체의 이동류를 직진교통량으로 환산하여 차로수로 나눈 값과 직진으로 환산한 회전교통류를 비교하여 전자가 더 크면 공용좌회전차로군(Shared Lane Group for Th and LT)으로 분류하고 반대의 경우 실질적 전용좌회전차로군으(de facto LT Lane Group)로 분류하는 판별식을 제시하였다. 이렇게 제시된 식은 기존 도로용량편람의 차로군 판별식의 기초가 되는 것으로 판단되며 도로용량편람의 경우 좌회전 형태에 따른 CASE로 세분화하여 제시하고 있다[4].

3. 시사점

관련 이론 고찰에서 USHCM 2010과 도로용량편람의 차로군 분류방법을 비교한 결과 도로용량편람의 차로군 분류가 상대적으로 복잡한 것을 확인할 수 있었다. 도로용량편람은 접근로의 도로조건과 교통조건 그리고 신호조건을 종합적으로 분석하여 차로군을 분류하는 방식을 제시하고 있다. 이에 비하여 USHCM 2010은 비교적 단순한 차로군 분류방법을 제시한다. USHCM 2010의 방법은 단순히 도로의 노면표시에 근거하여 전용회전차로와 공용회전차로의 유무에 따라 차로군을 분류방법을 제시한다.

선행 연구 고찰을 통하여 차로군 분류가 신호교차로 서비스수준 분석에서 비교적 중요하게 다루어짐에도 불구하고 관련 연구가 부족한 것을 확인할 수 있었다. 도철웅(2000)은 접근로 전체 차로의 차두시간이 평형을 이룬다는 가정을 통하여 공용회전차로를 이용하는 차량의 많고 적음에 따라 차로군을 분류할 수 있는 판별식을 제시하였다. 그리고, 제시된 판별식이 현행 도로용량편람에 이용되고 있다. 따라서, 과거에 수립된 판별식의 적절성을 재검토할 시점인 것으로 판단된다.

Ⅲ. 차로군 분류 방법 문제점 확인

1. 교통량 시나리오 설정

모든 분석에 앞서 도로용량편람이 다양한 교통량 조건에서 차로군 분류를 할 때 그 결과가 합리적인 것인지 확인할 필요가 있다는 판단을 내렸다. 따라서 직진 교통량을 1000대로 고정하고 회전교통량이 1대, 100대 그리고 1000대가 가능하다고 가정할 때 조합을 통하여 <표 2>에서 보인바와 같이 9개의 교통량 시나리오를 작성하였다.

〈표 6〉 실험 시나리오 (단위 : 대/시)
〈Table 6〉 Experiment Scenarios (unit : veh/h)

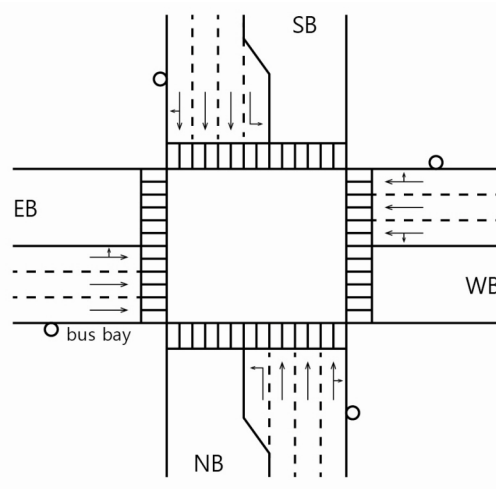
No.	LT Vol.	TH Vol.	RT Vol.
1	1	1000	1
2	100	1000	1
3	1000	1000	1
4	1	1000	100
5	100	1000	100
6	1000	1000	100
7	1	1000	1000
8	100	1000	1000
9	1000	1000	1000

2. 차로군 분류

앞서 생성한 교통량 시나리오를 바탕으로 차로군 분류의 적합성을 분석하기 위하여 도로용량편람 이용자들에게 비교적 익숙한 제 8장 신호교차로의

예제 1을 채택하였다[1].

도로용량편람은 전용회전차로를 갖는 접근로에서 회전교통류는 항상 별도의 차로군으로 분류하도록 하고 있다. 예제 1의 Eastbound(EB) 접근로와 같이 공용좌회전차로, 전용직진차로 그리고 공용우회전차로로 구성된 접근로의 경우 다양한 교통량 시나리오에 따라 차로군 분류가 달라지기 때문에 연구 목적에 접합하다고 판단을 내렸다. 예제 1의 접근로 기하구조는 <그림 4>와 같다.



〈그림 4〉 도로용량편람 제 8장 신호교차로 예제 1의 기하구조
〈Fig. 4〉 Geometry of Example 1 in KHCM
(출처 : 국토해양부, 도로용량편람, 2013)

예제 1과 <표 2>의 실험 시나리오를 이용하여 방향 별 교통량만 수정하여 차로군을 분석한 결과 <표 3>과 같이 차로군 분류가 되었다.

〈표 7〉 실험 시나리오에 따른 EB 접근로 차로군 분류
〈Table 7〉 Lane Grouping Result through Traffic Volume Scenarios

No.	LT Lane	TH Lane	RT Lane
1	Shared LT, TH and RT Lane		
2	De facto LT Lane	De facto TH Lane	De facto RT Lane
3	Shared LT and TH Lane		De facto RT Lane
4	De facto LT Lane	De facto TH Lane	De facto RT Lane
5	De facto LT Lane	De facto TH Lane	De facto RT Lane
6	Shared LT and TH Lane		De facto RT Lane
7	De facto LT Lane	Shared TH and RT Lane	
8	De facto LT Lane	Shared TH and RT Lane	
9	Shared LT and TH Lane		De facto RT Lane

(주 : 각행의 칸이 나눠진 형태는 차로군 분류를 의미함)

좌회전 교통류를 중심으로 살펴보았을 때, 시나리오 4와 7을 보면 공용좌회전차로를 사용하는 좌회전교통량이 단 한 대뿐임에도 불구하고 실질적 전용좌회전차로군으로 분류된 것을 확인할 수 있다. 오직 한 대의 차량을 위해 실질적 전용좌회전차로군으로 분류가 되는 것은 타당하게 받아들이기 어렵다. 반면에 시나리오 3과 9는 직진 교통량과 마찬가지로 1000대의 좌회전교통량이 배정되어 있다. 좌회전 교통류는 접근로 전체에서 직진 교통류만큼 영향력이 있다고 판단되나 직진과 좌회전 통합차로군으로 분류된다. 좌회전교통량이 매우 적거나 직진 교통량만큼 많은 경우 도로용량편람이 합리적이지 못한 차로군 분류 결과를 제시하였다. 우회전 교통류에서도 유사한 문제점이 도출되었다.

3. 문제점 분석

앞선 결과를 토대로 도로용량편람의 차로군 분류 방법은 회전교통량이 극단적으로 적거나 혹은 많을 때 적절하지 못한 차로군으로 분류할 수도 있는 것으로 판명되었다. 차로군 분류 과정은 도로용량편람 분석과정의 3단계에 해당하는 것으로 이 과정에서 분류된 결과를 바탕으로 이 후 분석과정이 진행되기 때문에 최종 산출된 신호교차로 서비스수준 분석의 신뢰도를 감소시킬 수 있다.

Ⅳ. 조사 및 네트워크 구축

1. 실험대상지점 선정 및 자료 수입

본 연구의 목적은 다양한 회전교통량 시나리오별 차로군이 합당하게 분류되는지 판단하는 것이다. 그렇기 때문에 차로군이 다양한 형태로 분류되는 조사지점을 선정할 필요가 있다. 전용회전차로가 있는 경우 차로군은 별도의 회전차로군으로 분류되므로 전용좌회전차로 및 전용우회전차로가 없는 지점을 선택하였다. 사전조사를 바탕으로 본 연구의 공간적 범위를 대전광역시 서구 둔산 1동 한마루네거리와 주변교차로(목련네거리, 크로바네거리, 햇님네거리, 모정네거리)들로 선정하였다. 주 분석 접근로인 한마루네거리 Northbound(NB)는 공용좌회전차로, 전용직진차로 그리고 공용우회전차로 각각 1차로 구성되어 있다. 선정된 조사지점은 회전교통량 시나리오에 따라 다양한 경우의 차로군 분류가 가능하여 연구의 목적에 부합한다. 한마루네거리의 기하구조는 <그림 5>와 같다.

〈그림 5〉 한마루네거리 사진
〈Fig. 5〉 Aerial Photograph of Hanmaru Int.
(출처 : Daum, 2012년 촬영)

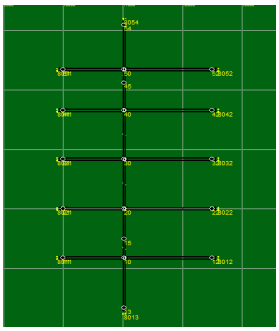
시간적 범위는 첨두시간을 피한 평일 오전 9시부터 10시까지로 선정하였다. 네트워크 정산 지표로 삼으려 하는 통행시간을 조사할 때 첨두시간의 차량 지체에 의해 통행시간이 과대하게 측정될 수 있다고 판단하였기 때문이다.

결정된 공간 및 시간적 범위를 바탕으로 교통량, 통행시간 그리고 현시를 조사하였다. 교통량은 영상촬영을 통해 방향 및 차종 별 교통량을 관측하였다. 교통량을 조사할 때 도로용량편람에서 제시한 바와 같이 분석대상에서 제외되는 Right Turn On Red(RTOR)하는 차량은 조사에서 제외시켰다. 통행시간은 CORSIM으로 구축한 네트워크를 정산하는 과정에서 지표로 사용된다. 이를 위해 시험차량에 GPS 단말기를 설치하여 조사 범위를 주행하는 방식인 시험차량 방법을 사용하였다. 시험차량 방법은 주행방법에 따라 세부분류가 가능한데 이 조사에서는 교통류의 평균적인 주행속도에 적응하는 방법인 평균속도 방법을 채택하였다[5]. 두 대의 차량에 GPS 단말기를 설치하고 한마루네거리의 북쪽에 위치한 모정네거리와 남쪽에 위치한 목련네거리를 각각 5회와 6회, 총 11회 왕복하여 측정하였다. 한마루네거리 NB 통행시간의 경우 목련네거리의 Southbound(SB)를 제외한 나머지 세 방향의 정지선부터 모정네거리로 진입하는 정지선까지를 제외한 나머지 좌표를 제거함으로써 산출할 수 있다. GPS 좌표가 1초 단위로 기록되기 때문에 제거하고 남은 좌표에 기록된 위도·경도와 기록시간을 사용하였으며 정지선이 두 좌표 사이에 위치할 경우 보간법을 사용해 보정하였다. 이렇게 산출한 한마루 네거리 NB의 평균 통행시간은 177.45초 그리고 한마루네거리 SB의 평균 통행시간은 129.36초로 산출되었다. 마지막으로 현시는 도로교통공단 대전·충남지부에서 제공받았다.

2. 네트워크 구축

네트워크 구축에는 교통 시뮬레이션 프로그램인 Synchro 6와 CORSIM 6.2를 사용하였다. 네트워크 구축은 네 단계로 진행하였는데 첫 번째 단계로 실제 분석 범위의 조건과 일치하도록 네트워크를 구축하기 위하여 Daum지도의 스카이뷰에서 접근로의 차로 수, 노면표시, 길이 등의 도로조건을 조사하였다. 두 번째, 사전 조사를 토대로 관측한 교통량, PHF 그리고 중차량 혼입률 등을 교통조건으로 하여 입력하였다. 셋 번째, 수집한 현시표를 기준으로 신호조건을 입력하였다. 마지막으로 네 번째, 구축

한 네트워크를 Synchro의 CORSIM Analysis 메뉴를 사용하여 CORSIM 네트워크로 변환시켰다[6]. 이렇게 구축한 Synchro 네트워크는 <그림 6>과 같다.



〈그림 6〉 CORSIM 네트워크
〈Fig. 6〉 CORSIM Network

3. CORSIM 네트워크 정산

구축한 CORSIM 네트워크가 현실을 반영하는 정도는 분석결과의 신뢰성에 막대한 영향을 미친다. 그렇기 때문에 시뮬레이션을 활용해 분석을 진행할 때는 현실을 잘 반영할 수 있도록 조정하는 과정이 필요하고 이를 정산(calibration)이라고 한다. 변환을 통해 구축한 CORSIM 네트워크를 정산하기 위하여 본 연구에서는 유전자알고리즘을 사용하였다. 네트워크 조사과정에서 언급하였듯 정산기준지표는 목련네거리에서 모정네거리까지 통행하는 NB의 통행시간을 선정하였으며 보조지표로 반대방향인 SB의 통행시간을 선정하였다[7].

GPS를 토대로 관측한 통행시간과 정산 전 CORSIM 네트워크를 30회 시뮬레이션한 평균 통행시간 그리고 유전자알고리즘을 통한 정산 후 통행시간을 비교한 결과는 <표 4>와 같다. 정산 후 통행시간이 정산 전 보다 NB가 1초, SB가 9초 정도 감소한 것을 확인 할 수 있다. TRAFVU(TRAF Visualization Utility, McTrans Center University of Florida) 애니메이션으로 정산된 CORSIM 네트워크를 관찰 한 결과 교통류 흐름에 있어 특별한 이상이 없음을 확인하였다.

〈표 8〉 실측값과 정산 전·후 통행시간 비교 (단위 : 초)
〈Table 8〉 Comparison of surveyed travel times and simulated travel times (unit : s)

	Surveyed Travel Time (a)	Un-calibrated Network		Calibrated Network	
		Mean(σ) (b)	(b)-(a)	Mean(σ) (c)	(c)-(a)
NB	177.45	180.77(7.34)	3.32	179.58(12.59)	2.13
SB	129.36	134.55(3.61)	5.19	125.40(4.28)	-3.96

Ⅴ. 차로군 분류에 따른 영향 분석

1. 분석의 개요

본 연구는 앞서 확인된 도로용량편람의 차로군 분류 방법상의 문제점을 해결하기 위하여 진행하였다. 이러한 가정을 분석하여 실제로 차로군 분류 방법에 문제가 있는지 확인하고 문제가 있는 경우 해결하기 위한 방법을 제시하는데 목적이 있다.

분석을 위해 도로용량편람에 의한 신호교차로 차량 당 평균제어지체를 다양한 교통량 시나리오를 가지고 분석하였다. 또한 기존 방법에 대한 대안으로서 USHCM 2010에 의한 차로군 분류방법을 기존 도로용량편람의 차로군 분류방법과 대체해 분석한 차량 당 평균제어지체를 비교하는 방식으로 진행하였다. USHCM 2010의 차로군 분류방법을 차용하는 이유는 도로용량편람에서 차로군 분류를 위해 다소 세밀하고 복잡한 방법을 사용하는데 비해 USHCM 2010에서는 차로군이 오직 노면표시에 의해서 간단하게 결정되기 때문이다. 그렇기 때문에 간단한 방법에 의해 결정되는 차로군 결정이 더 참값에 가까운 값을 제시한다면 분석의 효율성 측면에서 장점이 있다고 판단을 하였다. 하지만 순차적이고 연속적으로 진행되는 신호교차로 분석절차를 일부만 수정하여 분석하는 것은 문제를 야기할 수 있기 때문에 심도 있는 분석을 통해 확인할 필요가 있다.

단순히 두 값을 비교하는 것보다 기준으로 삼을 수 있는 기준 값을 제시하기 위하여 CORSIM 시뮬레이션의 산출 값을 참값으로 가정하였다. 앞서 구축한 CORSIM 네트워크를 차량의 통행시간을 바탕

으로 정산하였다. 단순히 도로의 기하구조와 교통조건 그리고 신호조건을 사용하여 구축한 네트워크는 현실을 명확히 반영하지 못할 수 있기 때문에 정산은 필수적이다. 정산과정에서 각종 파라미터를 일부 조정하여 CORSIM 시뮬레이션의 통행시간을 정산기준인 한마루네거리 NB의 통행시간과 가깝게 만들 수 있었고 실측한 차량의 통행시간과 유사한 산출 값을 제시하는 정산 된 CORSIM 네트워크의 산출 값을 참값이라고 가정할 수 있었다.

정산 전·후의 평균절대비율오차(Mean Absolute Percent error, MAPE)는 <표 5>와 같다. 정산기준인 NB의 통행시간에 대한 MAPE는 정산 전 3.07에서 정산 후 1.20으로 감소하였으며 보조기준인 SB의 통행시간에 대한 MAPE는 정산 전 4.18에서 정산 후 3.06로 감소하였다. MAPE를 비교한 결과 양방향의 통행시간 모두 정산 전 보다 실측값에 가까워진 것을 확인 할 수 있었고 정산기준을 NB로 삼았기 때문에 SB에 비하여 NB가 더 정밀해진 것을 확인할 수 있다.

〈표 9〉 정산 전·후 MAPE 비교 (단위 : %)
〈Table 9〉 Comparison of MAPE through Calibration (unit : %)

	Un-calibrated Network	Calibrated Network
NB	3.07	1.20
SB	4.18	3.06

2. 교통량 시나리오 설정

1) 교통량 시나리오

기존 도로용량편람의 차로군 분류방법은 방향별 교통량에 따라 큰 폭의 차로군 분류 결과의 변화를 보였다. 실제로 앞선 예제를 통하여 확인하였다. 따라서 다양한 교통량 시나리오를 토대로 분석을 진행하기 위한 다양한 시나리오 구축이 필요하다. 교통량 시나리오 구축을 위해 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법은 실제 조사한 좌회전, 직진 그리고 우회전교통량(실제 관측한 교통량을 시나리오 0으로 함)을 최소 1.0배에서 최대 1.33배까지 변화할 수 있는 구간에서 임의적으로 추출하는 방식을 따랐다. 각 회전별 교통량을 1대 씩 증가시키면서 모든 경우를 조사하면 모든 결과 값을 산출할 수 있기 때문에 분석에는 유리하겠지만 분석의 시간이 지나치게 많이 필요하기 때문에 실험계획법의 하나인 라틴방격법(Latin Hyper-Cube Design)을 사용해 9개의 시나리오를 구축할 수 있었고 그 결과는 <표 6>와 같다[8]. 실측값에서 각 방향 별 교통량이 변화하기는 하지만 대체적으로 유사한 수준을 유지하는 것을 확인 할 수 있다.

〈표 10〉 교통량 시나리오(라틴방격법) (단위 : 대/시)
〈Table 10〉 Traffic Volume Scenarios(Latin Hyper-cube Design) (unit : veh/h)

No.	LT Vol.	TH Vol.	RT Vol.
0	139	487	65
1	175	487	82
2	183	553	73
3	167	575	71
4	152	588	86
5	146	609	76
6	161	514	77
7	158	646	84
8	142	524	68
9	180	614	67

교통량 시나리오 구축의 두 번째 방법은 실측한 교통량의 총합은 고정하고 회전교통량의 비율만 조정하는 방법을 따랐다. 각 시나리오 별로 두 개의 난수를 발생시켜 직진과 좌회전교통량을 결정하고 그 나머지를 우회전교통량으로 할당하는 방법을 사용하였다. MS Excel의 RAND()함수를 사용하여 구축한 교통량 시나리오는 <표 7>과 같다. 구간을 설정하지 않고 난수를 발생시켰기 때문에 시나리오별로 산출된 교통량이 천차만별이고 다소 극단적인 회전교통량을 갖는 경우도 발생하였다.

〈표 11〉 교통량 시나리오(난수법) (단위 : 대/시)
〈Table 11〉 Traffic Volume Scenarios (Random Number) (unit : veh/h)

No.	LT Vol.	TH Vol.	RT Vol.
0	139	487	65
10	15	667	9
11	228	135	328
12	66	195	430
13	13	676	2
14	202	200	289
15	322	41	328
16	515	53	123
17	71	514	106
18	164	178	349
19	2	688	1
20	142	532	17
21	4	682	6

2) 기존 차로군 분류방법을 이용한 제어지체 산출

구축한 두 가지 교통량 시나리오를 바탕으로 도로용량편람의 차로군 분류와 차량 당 평균제어지체를 산출한 결과 <표 8>과 같다.

〈표 12〉 도로용량편람에 의한 차로군 분류와 차량 당 평균제어지체 산출
〈Table 12〉 Calculated Lane Group and Control Delays based on the KHCM Methodology

No.	Volume(veh/h)			CORSIM	KHCM				
	Left	Thru.	Right	Control Delay(s/veh)	Control Delay(s/veh)				MAPE(%)
					Lane Group			Approach	
0	139	487	65	18.7	26.1			26.1	39.57
1	175	487	82	18.9	26.6			26.6	40.74
2	183	553	73	18.9	26.9			26.9	42.33
3	167	575	71	18.9	26.9			26.9	42.33
4	152	588	86	18.0	27.0			27.0	50.00
5	146	609	76	18.1	27.0			27.0	49.17
6	161	514	77	18.5	26.5			26.5	43.24
7	158	646	84	18.1	27.4			27.4	51.38
8	142	524	68	18.0	26.4			26.4	46.67
9	180	614	67	18.9	27.3			27.3	44.44
10	15	667	9	18.0	29.5	26.4		27.5	52.78
11	228	135	328	13.8	28.3	24.9	35.3	29.8	115.94
12	66	195	430	11.0	24.6		40.9	32.2	192.73
13	13	676	2	18.7	28.0	26.5		27.0	44.39
14	202	200	289	15.4	25.8		33.5	28.0	81.82
15	322	41	328	14.9	31.9	23.2	35.5	32.4	117.45
16	515	53	123	85.8	72.8	24.5		64.0	25.41
17	71	514	106	17.3	26.1			26.1	50.87
18	164	178	349	13.9	25.3		36.0	29.1	109.35

No.	Volume(veh/h)			CORSIM	KHCM				
	Left	Thru.	Right	Control Delay(s/veh)	Control Delay(s/veh)				MAPE(%)
					Lane Group			Approach	
19	2	688	1	21.1	27.8	26.5		26.9	27.49
20	142	532	17	19.1	26.2			26.2	37.17
21	4	682	6	21.1	27.8	27.5	29.4	28.2	33.65

분석결과 실측 교통량과 비교적 유사한 패턴을 보이도록 구축한 시나리오 1부터 9까지에서 산출된 차로군 분류와 차량 당 평균제어지체는 실측 교통량의 산출 값과 유사한 결과를 보였다. 또한 실제로 접근로 교통량의 크기에 비례하여 차량 당 평균제어지체가 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

다양한 회전교통량 패턴을 보이도록 설계한 시나리오 10에서 21까지의 경우는 각각 교통량에 따라 여러 가지 형태로 차로군이 분류되었는데 직진교통량에 비해 회전교통량이 많을 시나리오에서 별도의 실질적 전용회전차로군으로 분류되는 것을 확인할 수 있었다. 그 결과 실측 교통량과 비교적 유사한 패턴을 보이도록 구현한 시나리오(차로군 분류 변화 없음)보다는 더 큰 MAPE를 보이고 있다. 좌회전을 기준으로 살펴볼 때, 시나리오 10, 13, 19, 21이 실질적 전용좌회전차로군으로 분류된 것을 확인할 수 있는데 10대 전·후의 교통량을 갖는 회전이동류가 별도의 차로군으로 분류되는 것은 이후 분류된 차로군을 기반으로 분석하는 교차로 서비스 수준 산정에 유의한 문제를 발생시킬 수 있다고 판단된다. 공용좌회전차로와 직좌동시신호를 갖는 접근로에서 좌회전교통량이 극히 적을 경우 공용좌회전차로는 주로 직진차량에 의해 이용될 가능성이 높기 때문이다.

3. 차로군 분류방법 개선 방안

1) 개선 방안 개요

도로용량편람에서 제시하는 차로군 분류 방법은 <표 8>에서 보인 바와 같이 회전교통량이 대체적으로 적은 시나리오 10, 13, 19 그리고 21에서 실질적 전용좌회전차로군으로 분류하며 타당하지 않은 결과를 제시하였다. 보편적인 교통량 상황에서는 적합한 차로군 분류를 제시하기 때문에 특정 상황에서 차로군을 합리적으로 분류할 수 있는 방법이 필요하다고 판단된다.

이에 따라 본 연구는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 세 가지 대안을 제시하였다. 첫 번째는 차로군 분류 방법을 USHCM 2010에서 제시하는 방법으로 대체하여 분석하는 방법이다. 두 번째는 공용회전차로를 이용하는 방향 별 교통량 비율을 비교하여 차로군을 분류하는 방법이다. 마지막으로 세 번째는 기준으로 삼는 최소 회전교통량을 결정하고 그 이하인 경우 통합차로군으로 분류하는 방법이다.

2) USHCM 2010의 차로군 분류 방법

본 분석을 위하여 제어지체 산출을 위한 전체적인 절차는 도로용량편람을 따르되, 차로군 분류방식만 USHCM 2010의 것을 차용하였음을 밝힌다. 참고로, USHCM 2010에 따르면 공용회전차로가 지정되어 있다면 별도의 차로군으로 분류한다. 따라서 한마루네거리의 1차로, 2차로 그리고 3차로는 각기 다른 차로군으로 분류된다. 본 연구에서는 1차로는 좌회전 직진 공용차로군, 2차로는 전용직진차로군 그리고 2차로는 우회전 직진 공용차로군으로 구분하였다.

USHCM 2010의 차로군 분류 방법과 교통량 시나리오를 사용한 분석 결과는 <표 9>와 같다.

〈표 13〉 USHCM 2010의 차로군 분류 방식을 사용한 차로군 분류와 차량 당 평균제어지체 산출
〈Table 13〉 Lane Groups based on USHCM 2010's Method and Calculated Control Delay by KHCM

No.	Volume(veh/h)			CORSIM	KHCM				
	Left	Thru.	Right	Control Delay(s/veh)	Control Delay(s/veh)				MAPE(%)
					Lane Group			Approach	
0	139	487	65	18.7	26.1	31.3	26.3	28.9	54.55
1	175	487	82	18.9	27.1	32.8	26.3	30.0	58.73
2	183	553	73	18.9	27.2	37.3	26.4	31.4	66.14
3	167	575	71	18.9	26.9	36.2	26.7	31.9	68.78
4	152	588	86	18.0	26.6	38.4	26.4	33.4	85.56
5	146	609	76	18.1	26.4	39.0	26.7	33.6	85.64
6	161	514	77	18.5	26.7	33.4	26.2	30.2	63.24
7	158	646	84	18.1	26.7	45.0	26.7	37.4	106.63
8	142	524	68	18.0	26.3	33.1	26.4	30.0	66.67
9	180	614	67	18.9	27.2	37.8	27.2	32.9	74.07
10	15	667	9	18.0	28.0	26.6	29.1	28.0	55.56
11	228	135	328	13.8	28.3	24.8	35.3	29.8	115.94
12	66	195	430	11.0	24.3	25.7	40.9	32.6	196.36
13	13	676	2	18.7	28.0	26.7	29.1	28.0	49.73
14	202	200	289	15.4	27.4	26.0	33.5	28.7	86.36
15	322	41	328	14.9	31.9	23.1	35.5	32.4	117.45
16	515	53	123	85.8	72.8	23.3	29.5	64.6	24.71
17	71	514	106	17.3	25.0	33.4	27.1	30.5	76.3
18	164	178	349	13.9	26.4	25.6	36.0	29.6	112.95
19	2	688	1	21.1	27.8	26.7	29.3	28.0	32.7
20	142	532	17	19.1	26.3	30.1	27.6	28.4	48.69
21	4	682	6	21.1	27.8	26.7	29.4	28.0	32.7

USHCM 2010의 차로군 분류방법을 차용한 분석에서는 이동류 별로 각각의 차로군으로 분류된다. 이는 USHCM 2010의 차로군 분류 방법이 기하구조적인 차로 분류 상태에 의해서만 영향을 받기 때문이다. 전반적으로 도로용량편람에 의한 분석보다 산출된 차량 당 평균제어지체 값이 큰 것을 확인할 수 있다. 현실 네트워크에서는 직진 교통류가 1, 2 그리고 3차로 모두에서 진행이 가능한데 별도의 차로군으로 설정하여 마치 갈 수 없는 것처럼 적용하였기 때문에 발생한 결과로 판단된다.

도로용량편람의 방식과 USHCM 2010을 결합한 방식으로 산출된 차량 당 평균제어지체의 평균이 같은지 확인하기 위해 통계분석을 하였다.

도로용량편람과 USHCM 2010에 의해 산출된 차량 당 평균제어지체는 각 교통량 시나리오에 대하여 짝을 이룬 데이터이다. 이 데이터들이 정규성을 만족하는지 확인하기 위하여 통계분석 프로그램인 SPSS를 사용하여 정규성 검정을 수행하였다. 정규성 검정 결과 <표 10>을 산출할 수 있었고 유의확률이 0.05보다 작기 때문에 정규성을 나타내지 않는다고 판단하였다.

〈표 14〉 정규성 검정
〈Table 14〉 Normality Analysis

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Stat.	Degree of Freedom	p-value	Stat.	Degree of Freedom	p-value
KHCM	0.342	22	0.000	0.386	22	0.000
USHCM	0.336	22	0.000	0.491	22	0.000

정규성을 나타내지 않기 때문에 Wilcoxon의 부호순위 검정을 실시하였고 이때 귀무가설과 대립가설을 (9)와 같이 설정하였다.

$$H_0 : \Delta = 0 (\text{산출값의 차이가 없다.}) \quad (9)$$
$$H_1 : \Delta \neq 0 (\text{산출값의 차이가 있다.})$$

분석결과는 <표 11>과 같다. 유의확률이 0.05보다 작으므로 귀무가설을 기각할 수 있고 도로용량편람과 USHCM 2010에 의한 산출 값의 차이가 있다고 판단할 수 있다. 그리고 도로용량편람에 비하여 USHCM 2010에서 산출된 차량 당 평균제어지체가 약 3.88초 더 큰 것으로 분석되었다.

〈표 15〉 Wilcoxon의 부호순위 검정
〈Table 15〉 Wilcoxon Test

	USHCM vs. KHCM
Z	-3.883
p-value	0.000

결국 USHCM 2010의 차로군 분류방법을 차용한 방법에 의해 산출된 차량 당 평균제어지체가 도로용량편람에 의해 산출된 값보다 전반적으로 더 높은 값을 나타낸다. USHCM 2010의 차로군 분류방법은 회전교통량을 고려하지 않고 단순하게 기하구조를 통하여 단순하게 결정되는 장점이 있지만 도로용량편람보다 더 큰 MAPE를 나타내고 이 값은 참값으로 가정한 CORSIM 산출 값보다 크기 때문에 국내 신호교차로 분석에 적합하지 않다고 판단된다.

2) 공용차로 회전교통량 비율을 이용한 차로군 분류 방법

두 번째 대안은 교통량 집계 시 차로 별 회전교통량을 측정해 분석에 사용하는 방법이다. 기존 신호교차로 분석 시 접근로의 회전별 교통량을 측정하여 분석에 적용하는 것과 달리 공용차로가 존재하는 경우 그 공용차로를 이용하는 교통량의 비율을 확인해 직진 회전 통합차로군과 실질적 전용회전차로군 중 하나를 선택하는 방법이고 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{sharedLT(RT)} > V_{sharedTh} : de\,facto\,LT(RT)\,lane$$
$$other\,case : shared\,lane \quad (10)$$

여기서,

$V_{sharedLT(RT)}$: 공용차로의 좌(우)회전교통량
$V_{sharedTh}$: 공용차로의 직진교통량

실측한 교통량을 토대로 공용차로의 전체 교통량 대 회전교통량의 비율을 확인한 결과 1차로는 0.46, 3차로는 0.68을 나타냈다. 이에 따라 차로군 분류를 직진 좌회전 통합차로군과 실질적 전용우회전차로군으로 나누어 분석을 진행한 결과 <표 12>의 차량 당 평균제어지체를 산출할 수 있었다.

〈표 16〉 차량 당 평균 제어지체 비교 (단위 : 초/대)
〈Table 16〉 Comparison of Control Delay (unit : s/veh)

Filed Volume	Left-turn	Thru.	Right-turn	Approach
Method from KHCM	26.1			26.1
Using Turning Ratio	27.3		26.3	27.1

분석결과 기존 도로용량편람의 방식과 회전교통량 비율을 이용한 방법 간에 큰 차이가 없었다. 단, 오직 한 가지의 교통량을 바탕으로 분석한 결과이기 때문에 다양한 시나리오를 이용하여 추가 분석이 필요하다고 판단된다.

3) 기존 차로군 분류 방법에 회전교통량 하한치를 적용하는 방법

세 번째 대안은 회전교통량이 일정수준보다 적을 경우 통합차로군으로 적용하는 방법이다. 회전교통량이 매우 적은 경우 실질적으로 공용회전차로를 직진 차량이 이용하기 때문에 별도의 차로군으로서 기능하기보다는 통합차로군의 역할을 한다고 판단된다. 본 연구에서 차로군 분류가 타당하지 않다고 판단한 시나리오 10, 13의 직진과 우회전 교통량을 고정한 상태에서 좌회전 교통량을 1부터 1대씩 증가시키며 분석한 결과는 <표 13>와 같다.

〈표 17〉 좌회전 교통량에 따른 차로군 분류 (단위 : 대/시)
〈Table 17〉 Lane Group in diverse Left-turn Volume (unit : veh/h)

LT Vol.	Lane Group of Shared LT Lane		LT Vol.	Lane Group of Shared LT Lane		LT Vol.	Lane Group of Shared LT Lane		LT Vol.	Lane Group of Shared LT Lane	
	No.10	No.13		No.10	No.13		No.10	No.13		No.10	No.13
1	Shared	Shared	26	Shared	Shared	51	Shared	Shared	76	Shared	Shared
2	Shared	Exclusive	27	Shared	Shared	52	Shared	Shared	77	Shared	Shared
3	Exclusive	Exclusive	28	Shared	Shared	53	Shared	Shared	78	Shared	Shared
4	Exclusive	Exclusive	29	Shared	Shared	54	Shared	Shared	79	Shared	Shared
5	Exclusive	Exclusive	30	Shared	Shared	55	Shared	Shared	80	Shared	Shared
6	Exclusive	Exclusive	31	Shared	Shared	56	Shared	Shared	81	Shared	Shared
7	Exclusive	Exclusive	32	Shared	Shared	57	Shared	Shared	82	Shared	Shared
8	Exclusive	Exclusive	33	Shared	Shared	58	Shared	Shared	83	Shared	Shared
9	Exclusive	Exclusive	34	Shared	Shared	59	Shared	Shared	84	Shared	Shared
10	Exclusive	Exclusive	35	Shared	Shared	60	Shared	Shared	85	Shared	Shared
11	Exclusive	Exclusive	36	Shared	Shared	61	Shared	Shared	86	Shared	Shared
12	Exclusive	Exclusive	37	Shared	Shared	62	Shared	Shared	87	Shared	Shared
13	Exclusive	Exclusive	38	Shared	Shared	63	Shared	Shared	88	Shared	Shared
14	Exclusive	Exclusive	39	Shared	Shared	64	Shared	Shared	89	Shared	Shared
15	Exclusive	Exclusive	40	Shared	Shared	65	Shared	Shared	90	Shared	Shared
16	Exclusive	Exclusive	41	Shared	Shared	66	Shared	Shared	91	Shared	Shared
17	Exclusive	Exclusive	42	Shared	Shared	67	Shared	Shared	92	Shared	Shared
18	Exclusive	Exclusive	43	Shared	Shared	68	Shared	Shared	93	Shared	Shared
19	Exclusive	Exclusive	44	Shared	Shared	69	Shared	Shared	94	Shared	Shared
20	Exclusive	Exclusive	45	Shared	Shared	70	Shared	Shared	95	Shared	Shared
21	Exclusive	Exclusive	46	Shared	Shared	71	Shared	Shared	96	Shared	Shared
22	Exclusive	Exclusive	47	Shared	Shared	72	Shared	Shared	97	Shared	Shared
23	Exclusive	Exclusive	48	Shared	Shared	73	Shared	Shared	98	Shared	Shared
24	Shared	Shared	49	Shared	Shared	74	Shared	Shared	99	Shared	Shared
25	Shared	Shared	50	Shared	Shared	75	Shared	Shared	100	Shared	Shared

(주 : 회색음영을 처리한 경우는 좌회전 교통량이 매우 적음에도 불구하고 전용차로군으로 나타나는 경우)

두 시나리오 모두 좌회전교통량이 24대가 되는 상태에서 직진과 좌회전 통합차로군으로 분류되는 것을 확인할 수 있다. 도로용량편람에 의해 분류되는 차로군으로 분석한 차량 당 평균제어지체와 좌회전교통량이 24대 미만일 때 무조건 직진과 좌회전 통합차로군으로 분류하여 분석한 차량 당 평균제어지체를 산출한 결과는 <표 14>와 같다. 시나리오 13의 좌회전교통량이 2대에서 23대까지는 실질적 전용좌회전차로군으로 분류되는 것을 통합차로군으로 간주하고 분석을 한 결과 좌회전교통량이 변화함에 따라 차량 당 평균제어지체가 0.8초/대까지 차이가 났다. 차량 당 1초 미만의 차이를 보이며 서비스수준을 판단하는데 비교적 큰 영향을 미치지 않기 때문에 도로용량편람 차로군 분류 과정에 회전교통량이 매우 적을 때 통합차로군으로 분류하는 방법을 추가하는 것이 적절하다고 판단된다.

〈표 18〉 도로용량편람 방법과 최소 회전 교통량을 제한하는 방법의 차량 당 평균제어지체 비교 (단위 : 초/대)

〈Table 18〉 Comparison of Control Delay from KHCM and Restricted Minimum Left-turn Vol. (s/veh)

No.13	Control Delay		
	Method from KHCM(a)	Restricted Minimum Left-turn Vol.(b)	(a)-(b)
1	26.2	26.2	0.0
2	26.9	26.2	0.7
3	26.9	26.2	0.7
4	26.9	26.2	0.7
5	26.9	26.2	0.7
6	26.9	26.2	0.7
7	26.9	26.2	0.7
8	26.9	26.2	0.7
9	26.9	26.2	0.7
10	26.9	26.2	0.7
11	27.0	26.2	0.8
12	27.0	26.2	0.8
13	27.0	26.2	0.8
14	27.0	26.2	0.8
15	27.0	26.2	0.8
16	27.0	26.2	0.8
17	27.1	26.3	0.8
18	27.1	26.3	0.8
19	27.1	26.3	0.8
20	27.1	26.3	0.8
21	27.1	26.3	0.8
22	27.1	26.3	0.8
23	27.0	26.3	0.7
24	26.3	26.3	0.0

즉, 본 연구의 대상 접근로에서 좌회전교통량이 24대 보다 충분히 큰 50대 이하일 경우 무조건 직진 좌회전 통합차로군으로 분류한다면 차로군 분류에 있어 더 합리적인 결과를 산출할 수 있다고 판단된다. 하지만 이는 차로군 분류 판별식에 영향을 미치는 요인 주기, 차로수, 직진환산계수 등에 영향을 받는 결과로 교차로 조건에 따라 변화될 것으로 예측되므로 향후 더 심도 있는 연구가 필요하다.

Ⅵ. 결론 및 제언

본 연구는 분석대상 교차로의 자료를 현장조사를 통하여 측정 및 수집하여 도로용량편람의 신호교차로 차로군 분류가 적절한 방법을 따르고 있는가를 분석하는데 목적이 있다. 현장조사를 바탕으로 Synchro 네트워크를 구축하였고 Synchro의 CORSIM Analysis 메뉴를 활용해 CORSIM 네트워크로 변환하였다. 시험차량방법과 GPS 단말기를 사용하여 통행시간을 관측하고 이를 네트워크 정산 기준으로 삼아서 CORSIM 네트워크를 정산하였다. 정산한 CORSIM 네트워크는 참값으로 가정하였다.

다양한 교통량 조건에 따라서 차로군 분류가 적절하게 수행되는지 확인하기 위하여 교통량 시나리오를 작성하였다. 분석의 시간적, 비용적 소모를 줄이기 위하여 실험계획법의 대표적 기법 중 하나

인 라틴방격법을 사용하여 9개의 시나리오를 구성하였고 여기에 추가적으로 MS Excel의 난수생성을 통하여 12개의 시나리오를 구성하였다.

실측한 교통량과 구축한 21개의 시나리오를 분석하여 차로군을 분류한 결과 중 회전교통량이 10대 전·후로 극단적으로 적은 시나리오들의 차로군 분류 결과에서 좌회전교통량이 약 15대 이하인 경우 실질적 전용회전차로군으로 분류되는 현상이 발생하였다. 시나리오 10의 분석결과 공용좌회전차로를 이용하는 직진 교통량을 나타내는 V_{STL}이 223대로 산출되었고 좌회전 교통량은 15대로 공용좌회전차로를 이용하는 교통량의 약 6.3%만이 좌회전교통량인 상황을 고려해 봤을 때 실질적 전용좌회전차로군으로 분류되는 것은 적합하지 않다고 판단을 내렸다.

그래서 기존 도로용량편람의 차로군 분류방법에 대한 대안으로서 USHCM 2010의 차로군 분류 방법을 차용해 분석을 진행하였다. USHCM 2010의 차로군 분류는 오직 도로의 노면표시 상태에 의해 결정이 되기 때문에 비교적 단순하다는 장점이 있다. USHCM 2010을 토대로 차로군 분류를 진행한 뒤 분류된 차로군 상태를 다시 도로용량편람에 적용하여 분석을 한 결과 차로군은 도로의 노면표시에만 영향을 받기 때문에 각각 별도의 차로군으로 분류된 것을 확인할 수 있다. 차로군 분류 방법이 단순하기 때문에 분석의 시간비용측면에서 이점이 있는 것은 사실이나 도로용량편람에 비하여 참값으로 여길 수 있는 CORSIM 네트워크에서 산출된 차량 당 평균제어지체와의 MAPE 값이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서 USHCM 2010의 차로군 분류 방법을 차용하는 것은 장점은 있으나 국내 신호교차로를 분석하는데 적합하지 않다고 판단을 내렸다.

두 번째 대안은 분석을 진행할 때 차로 별 회전별 교통량을 측정하여 분석에 적용하는 방법이다. 실측한 교통량을 세분화하여 분석을 진행한 결과 실제 현장 네트워크에 근거해 합리적인 차로군 분류를 할 수 있었으나 조사 자료가 오직 한 가지이기 때문에 향후 추가적인 연구가 필요하다 판단을 내렸다.

세 번째 대안은 앞서 <표 13>에서 분석한 결과 좌회전 교통량이 약 24대일 때까지 통합차로군으로 분류되기 때문에 50대 이하인 경우 무조건 직진 좌회전 통합차로군으로 분류하는 방식이다. 이렇게 분류할 경우 본 연구에서 제시하였던 도로용량편람의 문제점인 회전교통량이 다소 적은 경우에도 실질적 전용회전차로군으로 분류되는 상황을 해결할 수 있다고 판단을 내렸다. 하지만 한정적인 교차로 조건에 의한 분석이며 회전교통량이 몇 대 이하일 때 통합차로군으로 분류할지 기준점이 명확하지 않기 때문에 향후 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 공용좌회전차로를 이용하는 좌회전 교통량이 매우 적은 경우에도 불구하고 실질적 전용좌회전차로군으로 분류되는 문제점을 분석하였다. 하지만 좌회전교통량이 직진 교통량만큼 많음에도 직진과 좌회전 통합차로군으로 분류되는 경우 역시 분석이 필요하다고 판단된다. 본 연구에서 시뮬레이션을 프로그램을 사용하는 한계로 spillback(교차로 입구의 차량 혼잡)의 우려 때문에 회전 교통량이 많은 경우는 분석하지 못하였다. 하지만 이 부분역시 추후에 다시 연구되어도 좋은 부분으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Korea Highway Capacity Manual 2013*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs , pp.209-417, Feb. 2013.

[2] Doh, T., *Principle if Transportation Engineering*, CHEONG MOON GAK PUBLISHING, pp.251-257, Feb. 2007.

[3] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 2010*, Transportation Research Board, pp.33-34, 2010.

[4] Doh, T., Problems of USHCM for Signalized Intersection and Its Solving Alternatives, KoROAD, *Journal of traffic safety research*, vol. 19, pp.17-27, Dec. 2000.

[5] Robertson, H. et al., *Manual of Transportation Engineering Studies*, Prentice-Hall, pp.56-57, 1994.

[6] Husch, D. and Albeck, J., *Traffic Signal Software-User Guide Synchro Studio* 7, Trafficware, 2006.

[7] Park, B., Won, J., and Yun, I., Application of Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Procedure: A Case Study of Coordinated Actuated Signal System, Transportation Research Board, *Transportation Research Record*, vol. 1978, pp.113-122, 2006.

[8] Kim, Y., and Rhee, H., Texture Profile Analysis of Acorn Flour Gel : Comparison of 3×3 Latin Square with 33 Factorial Experiment, Korean Home Economics Association, *Family and Environment Research*, vol. 23, no.3, pp.55-61, Sep. 1985.

저자소개

김 상 구 (Kim, Sang-Gu)
1988년 : 서울대학교 토목공학과 학사
1992년 : 서울대학교 대학원 도시공학전공 석사
1997년 : 서울대학교 대학원 도시공학전공 교통공학 박사
현 재 : 전남대학교 물류교통학전공 교수

윤 일 수 (Yun, Ilsoo)
1993년 : 한양대학교 도시공학 학사
1995년 : 한양대학교 교통공학 석사
2006년 : University of Virginia 교통공학 박사
현 재 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수
e-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr
연락처 : 031) 219-3610

오 영 태 (Oh, Young-Tae)
1985년 : 미국 Polytechnic Institute of Newyork 교통공학 석사
1989년 : 미국 Polytechnic University 교통공학 박사
2009년 : 대한 교통학회 회장
현 재 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수
: 아주대학교 교통·ITS대학원 원장

안 현 경 (Ahn, Hyun-Kyung)
2012년 : 아주대학교 교통시스템공학 학사
현 재 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

권 건 안 (Kwon, Ken-An)
1992년 : 인하대학교 기계공학 학사
2010년 : 아주대학교 교통·ITS대학원 ITS전공 석사
현 재 : 교통안전공단 운영지원처 과장

홍 두 표 (Hong, Doo-Pyo)
1987년 : 전북대학교 토목공학과 학사
2013년 : 아주대학교 교통·ITS대학원 교통공학과 석사
현 재 : 한국도로공사 도로사업처 처장