

■ 論 文 ■

우회전 보정계수 산정기법

The Technique of Estimating the Right-Turn Adjustment Factor

김 경 환

(경상대학교 도시공학과 교수,
지역개발연구소 연구원)

김 영

(경상대학교 도시공학과 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 문헌연구
 - 1. KHCM의 우회전보정계수 산정기법
 - 2. USHCM의 우회전보정계수 산정기법
 - 3. 한국 도로용량편람 개선 연구
- III. 자료의 수집 및 분석
 - 1. 자료수집
 - 2. 우회전 포화유율 추정
 - 3. RTOR교통량 추정
- IV. 새로운 우회전보정계수 산정기법의 제안
 - 1. 공용차로의 분리 또는 통합
 - 2. 실질적 전용 우회전차로 판별식
 - 3. 새로운 산정기법의 제안
- V. 결론
참고문헌

Key Words : 우회전 포화유율, 적색신호 우회전, RTOR 교통량, 우회전보정계수, 전용우회전

요 약

현재 우리나라의 도로용량편람은 신호교차로에서의 한 차로군의 포화유율을 산정하기 위해서는 7개의 보정요소가 적용된다. 이들 보정계수 중에서 우회전보정계수는 타보정계수에 비하여 복잡한 계산과정과 이해하기도 매우 어려운 수식의 사용을 요한다. 이에따라 본 연구는 소정의 정밀도를 가지면서 이해하기 쉬우며 계산이 단순한 신호교차로에서의 우회전보정계수 산정기법을 제시하기 위하여 수행되었다.

본 연구의 결과 현장 자료에 기초한 우회전 포화유율 및 적색신호 동안의 우회전교통량(RTOR교통량) 추정식이 제안되었다. 우회전 포화유율은 우회전차로를 도류화와 비도류화로 양분한 다음 곡선반경과 교차도로 편도 차로수에 따라 포화유율을 추정하였다. RTOR교통량은 접근로의 차로당 직진교통량에 따른 'RTOR이 가능한 시간의 적색시간에 대한 비'를 이용하여 추정되었다.

본 연구에서의 우회전보정계수 산정기법은, 전반적인 기법은 USHCM 2000의 기법을 수용하되 '한국 도로용량편람 개선 연구'의 결과를 일부 수용하여 본 연구에서 제안된 RTOR계수와 판별식에 의해 공용 우회전차로의 실질적 우회전차로로의 전용성을 판단하고 공용 우회전차로는 다시 단차로 접근로 여부에 따라 양분하여 총 3가지 경우로 구분하여 제시되었다.

* 본 연구에 경상대학교 부속 지역개발연구소의 지원이 있었으며 이에 감사드립니다.

I. 서론

도시가로의 서비스수준은 교차로에 의해 지배되는 만큼 도시지역에서의 신호교차로의 용량분석은 매우 중요하다. 신호교차로의 용량분석은 그 교차로가 수용할 수 있는 최대 교통량을 산정하여 교통수요에 따른 서비스수준을 분석함으로써 가로의 계획과 설계를 위한 중요한 기준을 제공한다. 그리고, 교차로의 교통 운영 단계에서는 주어진 교차로시설의 범위에서 효율성을 극대화하는 운영이 도모되어야 하므로 교차로에서의 정확한 용량의 산정은 그 중요성을 더한다고 할 수 있다.

신호교차로 용량산정의 기본요소인 차로군 i 의 포화유율 S_i 는 식(1)에 의해 산정된다¹⁾.

$$S_i = S_o \times N \times f_w \times f_g \times f_{HV} \times f_{LT} \times f_{RT} \times f_{bb} \times f_b \quad (1)$$

여기에서

- S_o : 차로당 기본포화유율
- N : 차로군 i 의 차로수
- f_w : 차선폭 보정계수
- f_g : 구배보정계수
- f_{HV} : 중차량보정계수
- f_{LT} : 좌회전보정계수
- f_{RT} : 우회전보정계수
- f_{bb} : 버스정류장 방해 보정계수
- f_b : 주차보정계수

식(1)에서 보는 바와 같이 신호교차로에서의 용량분석의 기본요소인 한 차로군의 포화유율 산정을 위해서는 기본포화유율 및 차로수에 7개 보정계수가 적용된다. 이들 보정계수 중에서 차로폭보정계수, 구배보정계수, 좌회전보정계수 중 보호좌회전보정계수, 버스정류장 방해 보정계수, 주차보정계수는 표의 형태로 제시되며 중차량보정계수는 쉽게 이해할 수 있는 간단한 식에 의하여 산정된다.

그러나, 좌회전 보정계수중 비보호좌회전보정계수와 우회전보정계수는 복잡한 계산과정과 이해하기도 매우 어려운 수식의 사용을 요한다. 비보호좌회전보정계수는 흔히 적용되지 않지만 이 보정계수에 대하여는 국내 현장자료에 기초한 보다 단순화된 산정기법

을 필자가 제시하였다. 우회전보정계수는 신호교차로의 모든 접근로의 용량분석에 적용되나 수식 및 계산과정의 복잡성으로 적용에 어려움이 있으며 '7개 보정계수 중의 하나인데 다른 보정계수에 비하여 이렇게 복잡한 계산과정을 거쳐야 하는가?' 라는 의문을 가지게 된다. 다른 보정계수 보다도 우회전보정계수를 매우 정밀하게 산정하더라도 신호교차로 용량분석의 정확도는 크게 향상될 수 없으므로 다른 보정계수와 같은 정밀도로서 우회전보정계수가 산정되는 것이 타당하다.

신호교차로의 용량분석에 적용되는 우회전보정계수는 다른 일반적인 보정계수와 유사한 정밀도를 유지하는 정도에서 그 계산과정이 단순화되어야 한다. 이에 따라 본 연구는 소정의 정밀도를 가지면서 이해하기 쉬우며 계산이 단순한 신호교차로에서의 우회전보정계수 산정기법을 제시하기 위하여 수행되었다.

본 연구에서는 한국도로용량편람(KHCM)¹⁾의 신호교차로의 우회전보정계수 산정식을 고찰하고 문제점을 파악하며 '한국도로용량편람 개선 연구'의 중간단계의 연구결과^{2~4)}와 미국도로용량편람(USHCM)^{5),6)}을 참고하여 국내 실정을 반영하면서 계산과정이 단순한 우회전보정계수 산정기법을 제시하고자 한다.

본 연구를 위해 진주시내 13개의 교차로가 연구 교차로로 선정되었으며 이들 교차로에서의 비디오 촬영자료의 분석에 의하여 우회전보정계수 산정을 위한 변수들이 추정되었다.

II. 문헌연구

1. KHCM의 우회전보정계수 산정기법¹⁾

1) 기본 관계

첫째, 우회전 차량의 차두시간은 우회전 곡선반경과 교차도로의 차로수에 영향을 받는 것으로 보았으며 우회전차량만으로 구성된 교통류의 포화유율(S_{RT})은 <표 1>과 같다.

둘째, 직진신호에 우회전하는 차량은 교차도로의 횡단신호에 의해 우회전 흐름이 제한을 받으므로 녹색신호시간 중 우회전이 가능한 시간(g')을 식(2)에 의해 산정한다.

$$g' = g - f_p \times g_p \quad (2)$$

<표 1> 전용우회전 포화유율

곡선 반경 (m)	교차도로차선수							
	1 차로	2 차로	3 차로	4 차로	5 차로	6 차로	7 차로	8 차로
6이하	1250	1425	1525	1600	1655	1700	1740	1775
8	1320	1495	1600	1670	1725	1775	1810	1845
10	1380	1555	1655	1725	1785	1830	1870	1900
12	1425	1600	1700	1775	1830	1875	1915	1950
14	1465	1640	1740	1810	1870	1915	1955	1985
16	1495	1670	1775	1845	1900	1950	1985	2020
18	1525	1700	1805	1875	1930	1980	2015	2050
20이상	1555	1725	1830	1900	1960	2005	2045	2075

<표 2> 우회전이 이용할 수 없는 횡단보도 신호시간 비율(f_p)

구 분	1시간 보행량(인/시간)				
	소	중		대	
	500이하	500~ 1,000	1,000~ 2,000	2,000~ 3,000	3000 이상
f_p	0.3	0.6	0.8	0.9	1.0

자료 : 건교부, 도로용량편람, 1992.

여기에서

g : 녹색신호시간

f_p : 횡단보도 보행자로 인하여 우회전이 이용할 수 없는 횡단보도 신호시간 비율(<표 2>)

g_p : 횡단보도 신호시간

셋째, 적색신호시의 우회전(RTOR)을 고려하기 위하여 녹색신호시의 우회전교통량(V_R)을 식(3)에 의하여 산정한다.

$$V_R = V_R \times \frac{\text{녹색신호시간중의 가용 신호시간}}{\text{우회전이 가능한 총신호시간}}$$

$$= V_R \times \frac{g - f_p \times g_p}{C - (g_c + f_p \times g_p)} \quad (3)$$

여기에서

V_R : 우회전교통량(수요 교통량)

g_c : 교차도로의 직진신호와 같이 우회전이 불가능한 신호시간

C : 신호주기

넷째, 전용우회전을 가정한 녹색신호시간중의 우회전

차로군의 용량(D_R)은 식(4)에 의해 산정한다.

$$D_R = S_{RT} \times F \times \frac{g - f_p g_p}{C} \quad (4)$$

여기에서

F : 차로폭 등에 의한 보정계수

2) 전용 우회전차로에서의 보정계수

우회전 전용차로로 운영되는 경우 해당차로를 직진차량이 이용할 수 없으므로 직진차로군에 대한 우회전보정계수는 0의 값을 가진다. 우회전이 별도의 차로군으로 분석되는 경우는 식(5)를 이용하여 산정된다.

$$f_{RT} = \frac{S_{RT}}{2,200} \quad (5)$$

3) 공용 우회전차로에서의 보정계수

공용 우회전차로에서의 보정계수 산정은 녹색신호시의 우회전수요와 용량과의 관계 및 우회전차량 앞에 도착하는 직진차량의 방출시간과 우회전을 할 수 없는 시간($f_p g_p$)과의 관계에 따라 세가지의 경우로 나누고 있다.

첫째, $V_R \geq D_R$ 인 경우로 공급차로를 직진차량이 이용할 수 없으므로 이때의 공용차로는 전용 우회전차로로 운영된다. 이에따라 보정계수 산정과정은 전용 우회전차로에서의 산정과정을 따른다.

둘째, $V_R < D_R$ 이고 녹색신호에서 공용차로에 대기중이던 직진차량이 방출된 후에도 우회전을 즉시 할 수 없는 경우로 즉, 보행자로 인하여 녹색신호시간중 우회전할 수 없는 시간, $f_p g_p$ 가 대기중이던 직진차량이 방출되는 시간, $V_{RF} \times \frac{3,600}{2,200}$ 보다 큰 경우이다. 여기에서 V_{RF} 는 녹색신호가 시작되기전 우회전차량 앞에 대기하는 직진차량의 평균대수로 그 산정식은 식(6)과 같다.

$$V_{RF} = \frac{1}{2N} \left[\frac{V_{TH} + E_L \cdot V_L}{V_R} - E_R \cdot (N-1) \right] \quad (6)$$

여기에서

V_{TH} : 접근부의 직진 수요 교통량

E_L : 좌회전 직진환산계수 (보호좌회전인 경우에는 1.0, 비보호좌회전인 경우에는 3N)

V_L : 접근부의 좌회전 수요 교통량

N : 접근부의 차로수

이때의 우회전의 직진환산계수, E_{RT} 는 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} E_{RT} &= \frac{\text{우회전에 소요된(가용한)시간}}{V_{R'}} \cdot \frac{3600}{2200} \\ &= \frac{f_P G_P - \frac{3600}{2200} V_{RF} + \frac{3600}{S_{RT}} V_{R'}}{\frac{3600}{2200} V_{R'}} \\ &= \frac{f_P G_P}{1.63 V_{R'}} + \frac{2200}{S_{RT}} - \frac{1}{2N V_{R'}} \\ &\quad \times \left[\frac{V_{TH} + E_L \cdot V_L}{V_{R'}} - E_{RT}(N-1) \right] \quad (7) \end{aligned}$$

이를 정리하면 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned} E_{RT} &= \frac{f_P G_P - \frac{1.63}{2N} \left(\frac{V_{TH} + E_L \cdot V_L}{V_{R'}} \right)}{1.63 V_{R'}} \\ &\quad + \frac{2200}{S_{RT}} \quad (8) \end{aligned}$$

식(8)에서 산출된 E_{RT} 를 공용차로에서의 직진 포화 교통량을 구하는 식(9)에 대입한다.

$$S_{TH} = 2200 \cdot F - V_{R'} \cdot E_{RT} \cdot \frac{C}{g} \quad (9)$$

여기에서

g : 유효녹색시간

이 값을 이용하여 식(10)에서 우회전보정계수를 구하게 된다.

$$f_{RT} = \frac{S_{TH}}{2200 \cdot F} \quad (10)$$

셋째, $V_{R'} < D_i$ 이고 녹색신호에서 직진차량이 방출된 후 우회전을 즉시 할 수 있는 경우로 즉, 보행자로 인하여 녹색신호시간 중에 우회전할 수 없는 시간이 대기중이던 직진차량이 방출되는 시간보다 작은 경우이다.

이 경우 우회전 차량 앞에 대기하는 직진차량이 없으므로 우회전차량의 직진환산계수, E_{RT} 의 값을 구하는 식은 식(11)과 같다.

$$E_{RT} = \frac{\frac{3600}{S_{RT}} V_{R'}}{\frac{3600}{2200} V_{R'}} = \frac{2200}{S_{RT}} \quad (11)$$

식(11)에서 산출된 E_{RT} 의 값을 식(9)에 대입하여 S_{TH} 의 값을 구하고 이 값을 다시 식(10)에 대입하여 f_{RT} 를 구하게 된다.

4) KHCM의 검토

KHCM에서는 우회전이 포함된 차로군(주로 직진 이동류로 이후 직진차로군으로 칭함)의 우회전보정계수 산정시에 공용차로에서의 우회전보정계수를 산정하고 이를 적용하여 공용차로에서의 직진이동류의 보정포화유율을 산정하며 이를 직진이동류에 합하여 최종 직진차로군 포화유율을 산정하고 있다. 단지 공용차로로 한정하여 이 차로에서 우회전이 직진에 미치는 영향을 분석하는 과정에서 녹색신호가 시작되기전 우회전차량 앞에 대기하는 직진차량대수 (V_{RF})를 산정하기 위해 이해하기 쉽지 않은 복잡한 식이 소요되며 보행자로 인하여 녹색시간 중에 우회전할 수 없는 시간이 대기중이던 직진차량이 방출되는 시간보다 크느냐 작느냐에 따라 두 가지 경우로 나누는 복잡한 과정을 거치게 된다.

이와는 달리 USHCM의 기법과 같이 우회전의 직진에 대한 영향을 공용차로만 별도로 분리하여 분석하지 않고 우회전이 포함된 전체 차로군을 대상으로 분석한다면 V_{RF} 를 고려할 필요가 없고 두 가지 경우로 나눌 필요가 없으므로 우회전보정계수 산정과정을 단순화할 수 있다.

또한, 우회전 포화유율의 값으로 USHCM에서는 1.615pcph의 값을 쓰고 있는 반면 KHCM에서는 8×8 매트릭스의 정교한 값을 사용하고 있으므로 이에 대한 유효성도 검토할 필요가 있다.

2. USHCM의 우회전보정계수 산정기법^{5),6)}

1) 차로군의 포화유율

USHCM 2000의 차로군 i 의 포화유율 산정식은

식(12)와 같다. KHCM보다 4개가 더 많은 총 11개의 보정계수를 적용하고 있다.

$$S_i = S_o N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb'} f_a f_{Lu} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (12)$$

여기에서,

- f_a : 토지이용 보정계수
- f_{Lu} : 차로활용 보정계수
- f_{Lpb} : 좌회전의 보행자보정계수
- f_{Rpb} : 우회전의 보행자/자전거 보정계수

2) 우회전교통량의 보정

적색신호에서의 우회전(RTOR)이 허용될 경우 RTOR 교통량 만큼 우회전 교통량을 감소시킬 수 있으며 기존 교차로에서의 RTOR교통량은 현장관측에 의해 결정하도록 하고 있다.

장래의 조건을 다루거나 사정에 의하여 관측자료가 없을 경우, 대부분의 목적에 교차로에서의 좌회전에 의하여 보호받는 우회전 전용차로에서의 우회전을 제외하고는 RTOR교통량을 감하지 않은 우회전교통량 그대로를 사용하는 것을 인정하고 있다.

3) 우회전보정계수

USHCM은 다음의 4가지 경우로 나누어 우회전보정계수를 산정하고 있다.

- 전용우회전 $f_{RT} = 0.85$ (13)

- 공용우회전 $f_{RT} = 1 - (0.15)P_{RT}$ (14)

- 단일차로 $f_{RT} = 0.9 - (0.135)P_{RT}$ (15)

- 보행자/자전거에 의해 방해 받는 경우 $f_{Rpb} = 1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$ (16)

식(13)~(16)에서

P_{RT} : 차로군에서의 우회전 비율

A_{pbT} : 비보호 우회전현시 조정계수

P_{RTA} : 우회전보호율 (총 우회전 녹색시간에 대한 보호 우회전 녹색시간의 비율)

USHCM에서는 우회전 포화유율로 1,615대/시를 사용하여 우회전보정계수를 산정하고 있으며 단일차로는 복수차로의 90%로 산정하고 있다. 보행자/자전거에 의하여 방해받는 경우는 이들에 의하여 우회전이 차단되는 비율 및 우회전이 보호받지 못하는 비율을 고려하여 우회전 보행자/자전거 보정계수를 산정하고 있다.

4) USHCM의 검토

USHCM 2000은 USHCM 1997에 비하여 간소화되었으나 보행자/자전거에 의해 방해 받는 경우는 보다 정밀한 분석을 요한다. USHCM의 우회전 포화유율 및 비보호 우회전현시 조정계수(A_{pbT})들의 국내 실측 자료에 의한 검증이 필요하다.

USHCM기법은 우회전교통량의 보정에 상당한 문제가 있는 것으로 판단된다. 일반적 교차로에서 RTOR 교통량은 우회전교통의 70% 이상을 차지하므로 신호 교차로의 용량분석에는 RTOR이 반드시 고려되어야 한다. 그러나, USHCM에서는 장래의 조건을 다루거나 사정에 의하여 현장자료가 없을 경우 우회전이 교차로에서의 좌회전에 의하여 완전 보호받을 때를 제외하고 RTOR교통량을 고려하지 않아도 무방한 것으로 하고 있어 이를 국내에 적용할 경우 그 오차가 클 것으로 예측된다.

또한, 기존 교차로에서는 현장관측에 의하여 RTOR 교통량을 결정하도록 규정하고 있으나 RTOR은 신호 시간에 따라 변하며 장래 조건에서의 RTOR교통량의 추정을 위하여 교통 및 신호조건으로부터 추정할 수 있는 모형의 개발이 요망된다.

이외 '한국 도로용량편람 개선 연구⁴⁾'에서 검토된 바와 같이 USHCM에는 공용 우회전차로의 실질적인 우회전차로로의 전용성을 검토하는 기준이 없어 현실적인 분석이 이루어지지 못하고 있다.

3. 한국 도로용량편람 개선 연구^{2~4)}

1) 우회전교통량의 보정

보정된 우회전 교통량(V_R) 산정에 필요한 RTOR

보정계수 산정을 위해 공용 및 전용 우회전차로에서 전체 우회전 교통수요 중에 실제 녹색신호를 소모하는 우회전차량 대수를 조사하여 분석하였다. 이 결과 공용 우회전차로에서의 RTOR 보정계수로 0.5 ($R^2=0.52$), 전용 우회전차로에서의 RTOR 보정계수로 0.4 ($R^2=0.59$)를 제시하고 있다.

2) 우회전보정계수

공용 우회전차로를 이용하는 우회전 교통이 많아 직진교통이 이 차로를 이용하지 못할 때는 이 공용 우회전차로를 '실질적 전용 우회전차로'로 칭하고 별도의 우회전 차로군으로 분류하고 있다. 이를 위해 '실질적 전용 우회전차로 판별식'을 개발하였으며 전용 및 공용 좌회전 차로수에 따라 2가지 경우로 구분하여 식(17)~(18)을 제시하고 있다.

- 전용 좌회전 1, 2개 차로를 가진 접근로

$$V_{STR} = \frac{1}{N} [V_{Th} - E_S V_R (N-1)] < 0$$

: 실질적 전용우회전 (17)

- 공용 좌회전 1, 2개 차로를 가진 접근로

$$V_{STR} = \frac{1}{N} [V_{Th} + E_L V_L - E_S V_R (N-1)] < 0$$

: 실질적 전용우회전 (18)

식(17)~(18)에서의

V_{STR} : 우회전 공용차로를 이용하는 직진교통량 (대/시)

V_{Th} : 직진교통량(대/시)

E_S : 우회전 공용차로에서의 우회전차량의 직진 환산계수

V_R : 보정된(RTOR을 감안) 우회전 교통량(대/시)

N : 접근로 전체 차로수(좌회전 전용차로 제외)

E_L : 좌회전 차량의 직진환산계수

V_L : 좌회전 교통량(대/시)

E_S 는 우회전이 횡단보행자에 의해 방해받을 때나 받지 않느냐에 따라 2가지의 경우로 나누어 식(19)~(20)에 의해 산정되며 우회전 포화유율로 1,900대/시를 사용하고 있다.

- 우회전이 횡단보행자에 의해 방해받을 경우

$$E_S = 1.16 + \frac{2,200}{V_R} \left(\frac{f_c G_P}{C} + \frac{L_{dw} + L_{bb}}{3,600} \right) \quad (19)$$

- 우회전이 횡단보행자에 의해 방해받지 않는 경우

$$E_S = 1.16 + \frac{2,200}{V_R} \left(\frac{L_{dw} + L_{bb}}{3,600} \right) \quad (20)$$

식(19)~(20)에서의

f_c : 우회전이 이용할 수 없는 횡단보도 신호시간 비율

G_P : 보행자 신호시간(초)

C : 신호주기(초)

L_{dw} : 이면도로 진출입에 의한 차단시간(초)

L_{bb} : 버스 정차로 인한 차단시간(초)

식(17)~(18)의 판별식의 결과에 의해 다음 2가지 경우의 우회전 보정계수(f_{RT})가 산정된다.

- 실질적 전용 우회전 차로군 :

$$f_{RT} = \frac{1}{E_S} \quad (21)$$

- 공용우회전을 포함한 직진차로군 :

$$f_{RT} = \frac{1}{1 + P_{RT}(E_S - 1)}$$

$$P_{RT} = \frac{V_R}{V_{Th} + V_R} \quad (22)$$

식(17)~(18)에 의해 우회전 공용차로의 실질적 전용 우회전 여부가 판별된 후 식(21)~(22)에 의해 우회전 보정계수가 산정된다.

3) 한국 도로용량편람 개선 연구 검토

한국 도로용량편람 개선 연구 기법에서의 우회전보정계수의 가장 중요한 인자인 E_S (우회전차량의 직진 환산계수)는 '이면도로로부터의 진출입, 버스 정차 등의 노변마찰로 인한 총차두시간의 증가는 우회전차량에만 적용되며 공용우회전차로가 주어진 우회전교통량에서 포화상태에 달한 것(그러므로 V_R 에 따라 다른 E_S 값을 가짐)'으로 가정하고 산정되었으며, 노변마찰의 직진차로군내의 영향은 E_S 를 통하여 우회전보정계수에 반영되었다. 이면도로로부터의 진출입, 버스 정차

등의 노변마찰로 인한 공용 우회전차로의 차단은 우회전교통뿐만 아니라 그 차로를 이용하는 직진교통에도 영향을 미치며, 공용 우회전차로가 차단될 경우 뒤따라오는 차량이 차로를 변경하게 되고 이로 인해 인접차로에 연쇄적으로 영향을 미치게 되므로 이러한 영향을 우회전보정계수로 반영함은 용어상으로도 맞지 않으며 우회전이 없는 차로군에 대하여는 다른 보정계수를 사용하여야 한다. 이러한 이유로 하여 USHCM에서는 주차, 버스정차 등의 노변마찰에 의한 영향을 우회전보정계수에 반영하지 않고 별도의 보정계수를 사용하여 포화유율 산정에 반영하고 있다. 또한, 한국 도로용량편람 개선 연구에서는 이면도로로부터의 진출입, 버스 정차로 인한 노변마찰만이 고려 되었으나 이들 두 요소와 같은 특성을 가지는 주차로 인한 방해가 고려되어야 한다.

공용 우회전차로의 우회전 차로로의 전용성 여부를 판별하는 식(17)~(18)에서의 E_s 는 주어진 우회전 교통량에서 포화상태에 달한 것을 가정하고 산정되었으므로, 이들 식을 이용한 판별은 공용 우회전차로가 포화상태에 달한 상태에서 차로별 교통량에 의하여 우회전차로로의 전용성을 검토하는 모순을 가지게 된다. 현재의 KHCM과 같이 용량 도달 여부에 따라 우회전차로로의 전용성을 검토하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

이외 RTOR보정계수로 제안된 값들의 설명력 (R^2)은 각각 0.52와 0.59로 설명력이 약한 것으로 평가된다.³⁾

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집

신호교차로 용량분석을 위한 우회전보정계수 산정시의 중요 변수인 우회전 포화유율의 값으로, USHCM에서는 1.615pcph의 값을 쓰고 있으며 '한국 도로용량편람 개선 연구⁴⁾'에서는 1,900을 제시하고 있는데 비하여 KHCM에서는 8개 계급의 우회전곡선반경 및 8개 계급의 교차도로차로수에 따라 총 64개의 값을 제시하고 있다. 이에따라, 상이한 곡선반경 및 교차도로의 차로수에 따른 우회전 포화유율을 현장실측을 통하여 검정하면서 하나의 값을 사용할 수 있는 지를 검토하기 위하여 상이한 조건에서의 우회전 포화유율이 관측되었다.

RTOR에 관하여 KHCM에서는 이론적인 연구에 기초하여 수식화된 이해하기 어려운 모형식이 사용되고 있어 단순화할 필요가 있으며 '한국 도로용량편람 개선 연구⁴⁾'에서 제시하는 RTOR 보정계수 값은 우리나라의 편람에 채택되기에는 그 설명력이 약하다. USHCM에서는 기존 교차로에서는 현장관측을 규정하고 있으나 RTOR은 신호시간에 따라 다른 값을 갖게되며 현장관측의 어려움도 있다. 이외 USHCM에서는 관측자료가 없는 경우에 우회전이 교차도로의 좌회전에 의하여 보호를 받는 경우를 제외하고 RTOR를 무시하므로 녹색신호 동안의 우회전이 과대평가되는 경향이 있다. 이에따라 현실적인 RTOR 추정을 위하여 4개 신호교차로에서 RTOR이 관측되었다.

2. 우회전 포화유율 추정

우회전 곡선반경, 교차차로수, 도류화 등에 따른 우회전 포화유율 관측을 위해 전주 시내 일원의 12개 교차로(〈표 3〉 참조)가 연구교차로로 선정되었으며, 이들 교차로에서의 우회전차량의 거동을 비디오 카메라로 촬영하여 실험실에서 VTR과 모니터를 이용하여 포화차두시간을 관측하였다.

전주시의 간선도로의 차로수는 6차로이며 USHCM에서 우회전 포화유율로 단일값을 사용하고 있는 점을 감안하여 교차차로수 3차로 까지를 관측하였다.

〈표 3〉 연구대상 교차로

교차로명	접근로	교차차수 (개)	우회전 반경 (m)	도류화 여부
천수교	NB	1	6.0	
연암공대	SB	2	6.8	
선학아파트	SB	3	6.8	
하대동한국통신	SB	1	8.4	
옥봉 명성당	NB	2	9.1	
제일병원	NB	3	9.2	
세일안경원	EB	1	12.6	
대신학원	SB	2	13.0	
이현꽃집	NB	3	13.3	
중앙로타리	NB	1	55.0	도류화
중앙로타리	SB	2	52.0	도류화
인사로타리	NB	3	55.0	도류화

〈표 4〉 실측 우회전 포화유율

도류화여부	우회전 곡선반경	교차도로 편도 차로수		
		1차로	2차로	3차로
비도류화	6~7m	1,453	1,564	1,589
		(6.0m)*	(6.8m)	(6.8m)
	7~12m	1,506	1,605	1,641
		(8.4m)	(9.1)	(9.2m)
	12~14m	1,709	1,836	1,881
		(12.6m)	(13.0m)	(13.3)
도류화	50~55m	1,985	2,024	2,086
		(55.0m)	(52.0m)	(55.0m)

주 : * 우회전 곡선반경

우회전 곡선반경을 4개의 계급으로 구분하고 교차도로 편도 차로수를 3개의 계급으로 구분하여 포화차 두 시간을 추정하였으며 이들에 기초한 각 접근로의 우회전 포화유율은 〈표 4〉와 같다. 〈표 4〉의 각 셀별로 30~50개의 표본이 추출되었다.

도류화된 교차로의 교차도로 편도 차로수가 3차로인 경우의 우회전 포화유율 2,086pcph는 KHCM의 최대치 2,075pcph보다는 11대가 많은 것으로 나타났다.

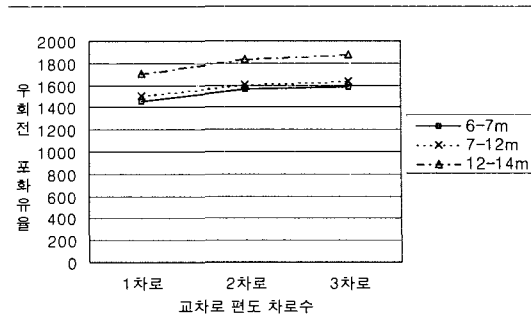
〈그림 1〉은 우회전 곡선반경별 우회전 포화유율과 교차도로 편도 차로수와의 관계로 곡선반경 12m까지는 포화유율에 차이가 없으나 12m이상은 다소 증가하는 것으로 나타났다

〈그림 2〉는 교차도로 편도 차로수별 우회전 포화유율과 우회전 곡선반경과의 관계로, 2차로 이상은 1차로보다 포화유율이 다소 증가하나 2차로와 3차로는 거의 차이가 없었다.

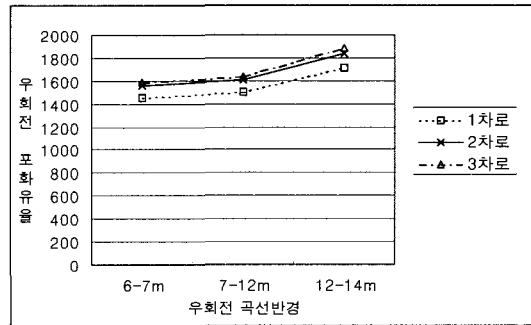
〈표 4〉에서의 우회전 곡선반경과 교차도로 차로수를 설명변수로 한 우회전 포화유율 추정을 위한 회귀식은 식(23)과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{우회전 포화유율} \\
 & = 1111.9 + 44.04 \cdot (\text{곡선반경}) \\
 & \quad + 56.95 \cdot (\text{교차도로 차로수}) \quad (R^2 = 0.95) \quad (23)
 \end{aligned}$$

교차도로 차로수 3차로, 우회전 곡선반경 55m까지는 식(3.1)을 이용할 수 있으나, 그 이상의 교차도로 차로수와 곡선반경에 대하여는 식(3.1)이 검증되지 않았으므로, 〈표 4〉를 조정된 〈표 5〉의 우회전 포화유율이 제안된다. USHCM이나 '한국 도로용량편람 개선 연구'를 참고하여 단일 값으로 제안 한다면 관측



〈그림 1〉 우회전 곡선반경별 우회전 포화유율



〈그림 2〉 교차도로 차로수별 우회전 포화유율

〈표 5〉 조정된 우회전 포화유율

도류화여부	우회전 곡선반경	교차도로 편도 차로수		
		1차로	2차로	3차로 이상
비도류화	7m 미만	1,453	1,564	1,589
	7~12m 미만	1,506	1,605	1,641
	12m 초과	1,709	1,836	1,881
도류화	12m 초과	1,985	2,024	2,086

주 : 도류화된 우회전차로의 우회전 곡선반경이 12m 이하 일 때는 비 도류화의 기준을 따른다.

치에 기초하여 직진포화유율의 85% 수준인 1,870대/시를 제안할 수 있으나 그렇게 하기에는 편차가 너무 크다.

3) RTOR 교통량 추정

한 주기 내에 RTOR이 가능한 시간은 적색시간 동안 공용차로에 직진차량이 도착하지 않는 시간 동안이다. 이 RTOR이 가능한 시간 또는 가능한 시간의 적색시간에 대한 비는 공용차로에서의 직진차량의 우회전차량에의 양보 등으로 수리적으로 모형화하기는 어렵다고 판단하였다.

이에따라 본 연구에서는 연구교차로를 선정하여 주

기별로 접근로의 차로당 직진교통량에 따른 'RTOR이 가능한 시간의 적색시간에 대한 비', P_{RTR} 를 관측하여 차로당 직진교통량의 계급을 달리하며 분석한 결과 3대 단위에서 최적의 결과를 얻었으며 그 결과는 <표 6>과 같다. 도류화된 경우는 우회전에 지장을 주지 않는 직진교통량은 제외하였다. 이 P_{RTR} 값을 차로당 직진교통량에 대하여 플로트하면 <그림 3>과 같다. <표 6>이나 <그림 3>을 이용하여 차로당 직진교통량(도류화된 경우 우회전에 지장이 없는 직진교통량 제외)에 따른 P_{RTR} 값을 추정할 수 있다.

P_{RTR} 값을 적용하여 '녹색시간 동안에 우회전 하는 차량대수', V_{RTG} 를 구하는 식은 식(24)와 같다.

$$V_{RTG} = V_{RT} - V_{RTR} \cdot P_{RTR} \quad (24)$$

여기에서

V_{RT} : 우회전교통량

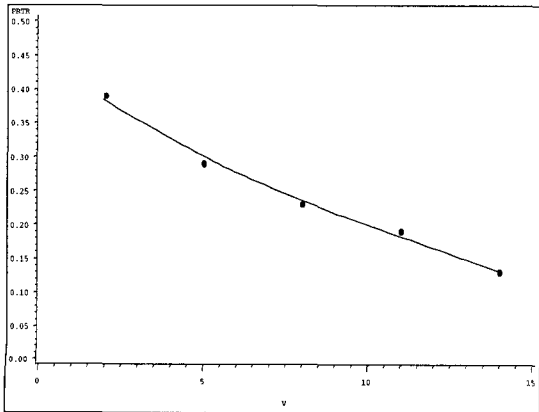
V_{RTR} : 적색시간 동안에 도착하는 우회전교통량

적색신호 동안에 도착하는 우회전교통량이 신호시간에 비례한다고 가정하면 식(24)는 식(25)와 같이 고쳐쓸 수 있다.

<표 6> 접근로의 차로당 직진교통량에 따른 P_{RTR}

차로당 직진교통량	1~3	4~6	7~9	10~12	13~15
P_{RTR}	0.39	0.29	0.23	0.19	0.13
표준편차	0.207	0.164	0.114	0.113	0.095
자료수	56	65	44	118	87

주 : 도류화된 경우 우회전에 지장이 없는 직진교통량 제외



<그림 3> 차로당 직진교통량(v)과 P_{RTR} 의 관계

<표 7> 녹색신호 동안의 우회전교통량(V_{RTG})의 추정치와 관측치의 비교

구분	평균 (대/15분)	표준편차	자료의 수	결정계수 (R^2)
추정치	37.156	9.561	64	0.96
관측치	34.625	9.886	64	

$$V_{RTG} = V_{RT} - V_{RT} \cdot \frac{R}{C} \cdot P_{RTR} \quad (25)$$

$$= V_{RT} \left(1 - \frac{R}{C} \cdot P_{RTR} \right)$$

시간당 우회전교통량 128-300대 수준의 4개의 신호 교차로에서 15분 단위로 관측한 V_{RTG} (녹색신호 동안의 우회전 교통량)와 <표 6>의 P_{RTR} 을 적용하고 식(25)를 이용하여 추정된 V_{RTG} 의 비교는 <표 7>과 같다.

<표 7>의 V_{RTG} 의 추정치와 관측치의 비교에서 결정계수가 0.96이며 t분포를 이용한 두평균의 검정에서 95% 신뢰수준에서의 기준값이 3.369이므로 두평균에 차이가 없는 것으로 간주된다. 이에따라, 식(25)를 이용하여 V_{RTG} 를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 새로운 우회전보정계수 산정기법의 제안

1. 공용차로의 분리 또는 통합

KHCM에서는 우회전이 직진과 같은 차로군을 형성할 경우, 우회전과 직진이 공동으로 이용하는 신호차로 접근로의 제일 바깥쪽 차로, 즉 공용 우회전차로를 직진이동류로부터 분리하여 우회전보정계수를 산정하고 이 계수를 이용하여 공용차로에서의 직진 포화유율을 산정하며, 이 포화유율을 직진이동류의 포화유율에 합하여 직진 차로군의 포화유율을 산정하고 있다. 공용차로를 직진이동류로부터 분리하여 우회전보정계수를 산정하는 과정에 이해하기 어려운 식들이 사용되며 계산과정이 복잡해진다.

이를 개선하기 위해서는 공용차로를 직진 또는 좌회전의 주이동류에 포함하여 분석하는 USHCM 기법의 채택이 제안되며 '한국 도로용량편람 개선 연구'에서도 채택하고 있다.

2. 실질적 전용 우회전차로 판별식

'한국 도로용량편람 개선 연구'의 검토에서 언급되

있듯이 차로별 교통량에 의하여 우회전 차로로의 전용성을 검토하기 보다는 현재의 KHCM에서 채택하고 있는 용량도달 여부에 따라 전용성을 검토하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 이렇게 할 경우 미포화상태에서도 공용 우회전차로의 교통수요가 타차로보다 많아 실질적인 전용 우회전차로로 사용되는 경우가 정확하게 분석되지 못한다는 문제점이 있으나 포화유율을 분석하는 데는 문제가 없을 것으로 추정된다. 한 접근로의 모든 차로가 포화상태에 달한 경우 공용 우회전차로가 용량에 미달된 경우만 직진차량이 이 차로를 이용할 수 있기 때문이다. 녹색신호 동안 보행자, 노변 마찰 등에 의해 공용 우회전차로에서 우회전이 차단되는 시간의 녹색신호시간에 대한 비율을 나타내는 차단계수, B_{prt} 는 주차로 인한 방해물 포함하여 식(26)에 의해 산정될 수 있다. 식(26)에서의 ' f_c '는 USHCM의 ' $(1 - A_{bbT})$ '에 해당되고 ' G_P/G '는 ' $(1 - P_{RTA})$ '에 해당하며 보행자신호가 없는 경우 G_P 는 '0'의 값을 갖는다.

$$B_{prt} = \frac{f_c G_P}{G} + \frac{L_{dw} + L_{bb} + L_p}{3,600} \quad (26)$$

여기에서,

G : 녹색신호시간

L_p : 노상주차로 인한 차단시간(초)

식(26)의 차단계수와 우회전 포화유율 S_{RT} 를 변수로 공용 우회전차로에서의 우회전교통의 용량, D_{RT} 를 식(27)을 이용하여 산정할 수 있다.

$$D_{RT} = S_{RT}(1 - B_{prt}) \cdot \frac{G}{C} \quad (27)$$

식(25)에서의 V_{RTG} 가 D_{RT} 보다 클 경우 그 공용 우회전차로를 '실질적 전용 우회전차로'로 판별하고 별도의 차로군으로 분석한다.

$$V_{RTG} > D_{RT} : \text{실질적 전용 우회전차로} \quad (28)$$

식(26)의 f_c 의 값으로는 KHCM의 <표 2>의 값이 사용될 수 있고 L_{dw} 와 L_{bb} 는 '한국 도로용량편람 개선 연구'의 결과가 사용될 수 있으며 L_p 는 현장관측에

의해 추정식이 개발될 수 있다.

3. 새로운 산정기법의 제안

전반적인 기법은 USHCM 2000의 기법을 수용하되 본 연구에서 제안된 RTOR계수를 사용하여 우회전 교통량을 조정하고 앞 절에서 제안된 판별식에 의하여 공용 우회전차로의 실질적 우회전차로로의 전용성을 판단한 다음 그 결과에 따라 적합한 분석기법을 적용한다. 용량산정시의 우회전 포화유율은 본 연구에서 제안된 값을 적용한다.

단차로 접근로에 대한 보정계수는 국내의 자료에 의하여 검증되기까지는 USHCM에서와 같이 공용 우회전차로의 90%로한다. 제2장 3절의 한국 도로용량편람 개선 연구 검토에서 언급된 바와 같이, '한국 도로용량편람 개선 연구'의 우회전 보정계수에 포함된 이면 도로로부터의 진출입 및 버스정차에 의한 방해와 본 연구에서 제안된 노상주차로 인한 방해는 공용 우회전차로의 우회전차로로의 전용성 판별식에만 사용되고 우회전보정계수의 산정에는 포함하지 않는 대신 직진차로군의 포화유율 산정식에 포함되도록 한다.

보행자에 의한 방해물 USHCM과 같이 별도 보정계수로 분리하거나 현재 KHCM이나 '한국 도로용량편람 개선 연구'에서와 같이 우회전보정계수에 포함할 수도 있다. 보행자에 의한 방해물 우회전보정계수에 포함할 경우의 전용, 공용 및 단차로 접근로의 3가지로 구분한 우회전보정계수 산정식은 식(29)~(30)과 같으며 이들 식에서 보행자신호가 없을 경우 G_P 는 '0'의 값을 갖는다.

· 전용우회전(실질적 전용우회전 포함)

$$f_{RT} = \frac{S_{RT}}{S_0} \left(1 - \frac{f_c G_P}{G} \right) \quad (29)$$

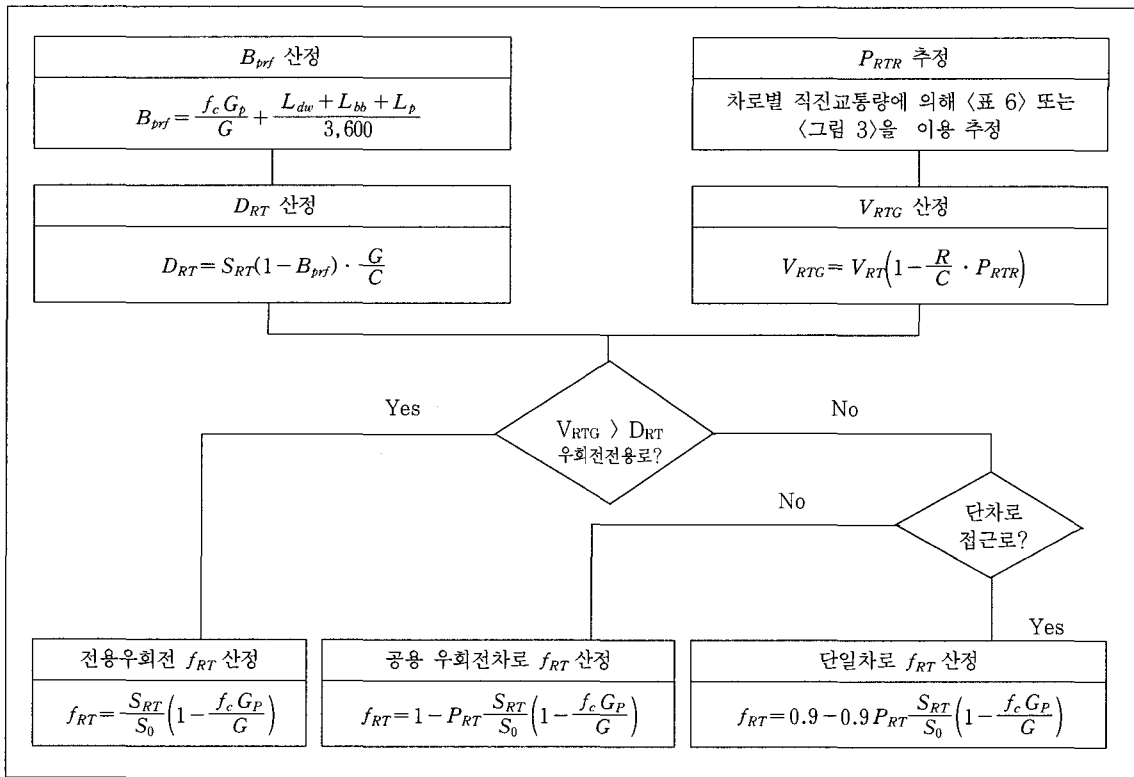
· 공용우회전

$$f_{RT} = 1 - P_{RT} \cdot \frac{S_{RT}}{S_0} \cdot \left(1 - \frac{f_c G_P}{G} \right) \quad (30)$$

· 단일차로

$$f_{RT} = 0.9 - 0.9 P_{RT} \cdot \frac{S_{RT}}{S_0} \left(1 - \frac{f_c G_P}{G} \right) \quad (31)$$

이상의 과정을 정리하면 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 우회전보정계수 산정과정

IV. 결론

본 연구는 USHCM 2000과 '한국 도로용량편람 개선 연구'에서의 신호교차로에서의 우회전보정계수 산정기법을 고찰하여 소정의 정밀도를 가지면서 이해하기 쉬우며 계산이 단순한 우회전보정계수 산정기법을 제시하였다. 우회전보정계수 산정모형의 주요변수인 우회전 포화유율과 적색신호 동안의 우회전교통량이 현장자료에 기초하여 높은 신뢰도로 추정되거나 추정될 수 있는 기법이 제시됨으로써 보다 현실적인 우회전보정계수를 산정할 수 있게 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 현장자료에 기초하여 도류화 및 비도류화 교차로에서 우회전 곡선반경과 교차도로 차로수에 따른 우회전 포화유율의 추정치 및 추정식이 제시되었다.

둘째, 신호교차로 접근로의 차로당 직진교통량에 따른 'RTOR이 가능한 시간의 적색시간에 대한 비'를 추정하였으며 이 값을 이용한 RTOR교통량 추정식을 제시하였다.

셋째, 전반적인 기법은 USHCM 2000의 기법을 수용하되 '한국 도로용량편람 개선 연구'의 결과를 일부 수용하여 새로운 우회전보정계수 산정기법이 제시되었다. 이 기법의 특징은, 녹색신호에서의 우회전의 수요와 용량을 비교하여 공용 우회전차로의 실질적 우회전차로로의 전용성을 판단하고 공용 우회전차로는 다시 단차로 접근로의 여부에 따라 양분하여 총 3가지 경우로 구분된 우회전보정계수 기법이 제시되었다.

참고문헌

1. 건교부(1992), 도로용량편람, 대한교통학회.
2. 건교부(1999), 도로용량편람 개선 연구(제1단계).
3. 건교부(2000), 도로용량편람 개선 연구(제2단계).
4. 도철용·안계형(2000), 신호교차로의 분석 방법론 고찰, 대한교통학회, 2000년도 제2차 학술토론회 (한국 도로용량편람 개선 연구) 논문집, pp.5~20.
5. TRB(1998), Highway Capacity Manual, Special Report 209.
6. TRB(1999), Highway Capacity Manual 2000.

7. 도철웅(1997), 신호교차로의 우회전보정계수에 관한 이론적 연구, 대한토목학회논문집, 제17권 III-4호, pp.315~321.
8. 박은미(1989), 우회전차로의 용량산정에 관한 고찰, 서울대학교 석사학위 논문.
- ✎ 주 작 성 자 : 김경환
- ✎ 논문투고일 : 2001. 2. 7
- 논문심사일 : 2001. 4. 12 (1차)
2001. 5. 17 (2차)
2001. 6. 11 (3차)
2001. 7. 26 (4차)
2001. 8. 2 (5차)
- 심사판정일 : 2001. 8. 2