

■ 論 文 ■

도로용량편람에 근거한 비보호좌회전 준거에 관한 연구

A Study on the Warrant of Permitted Left-Turning Movements
based on the Korean Highway Capacity Manual

조 원 범

(한양대학교 교통공학과 석사과정)

도 철 웅

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 연구의 배경 및 목적 II. 비보호좌회전 준거설정을 위한 연구사례 <ul style="list-style-type: none"> 1. 교통량급에 의한 비보호좌회전 준거 2. 대향직진 - 좌회전 교통량에 따른 비보호좌회전 준거 3. 기존 방법론의 문제점 및 제안 III. 연구대상의 범위 및 수행절차 <ul style="list-style-type: none"> 1. 용어의 정의 2. 연구대상의 범위 3. 연구의 수행절차 | <ul style="list-style-type: none"> IV. 자료분석 및 결과 <ul style="list-style-type: none"> 1. 자료의 범위 2. 변수의 결정 3. 결과의 도출과정 4. 결과 V. 결론 및 향후 연구과제 <ul style="list-style-type: none"> 1. 결론 2. 향후 연구과제 <p>참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : 비보호좌회전, 준거, 도로용량편람, 신호교차로, 지체

요 약

국내의 도로용량편람에 근거한 좌회전 신호의 선택기준은 4방향 접근로 각각의 방향별 교통량, 좌회전 전용 차로의 유무, 차로수 등의 수많은 요인들을 통해 결정된다. 이 요인들은 각각의 특성에 따라 좌회전 신호의 선택기준에 미치는 영향력이 다르며 그 영향력의 크기에 따라 변수를 결정해야 한다. 그러나 국내에서 사용되고 있는 대부분의 좌회전 신호의 선택기준은 이러한 검토 없이 해당도로의 한 방향 좌회전 교통량과 이와 마주보며 진행하는 직진 교통량, 차로수만을 기준으로 결정되고 있다. 따라서 본 연구는 국내 도로용량편람의 알고리즘을 이용하여 좌회전 신호의 선택기준에 영향을 주는 주요 요인을 밝히고, 이 결과를 이용하여 임계좌회전 교통량(비보호좌회전 신호로 신호교차로의 운영효율을 극대화 할 수 있는 최대 좌회전 교통량)을 제시함으로써 비보호 좌회전 준거를 설정하고자 하였다. 본 연구에 의한 결과는 다음과 같다. 첫째, 좌회전 신호의 선택기준에 영향을 주는 주요요인은 해당도로의 좌회전 교통량, 대향직진 교통량, 차로수, 교차도로의 교통량과 차로수이며, 이 요인들 중에서 해당도로의 차로수가 좌회전 신호의 선택기준에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그러나, 비보호좌회전은 일반적으로 2차로에서 운영되므로 보편적인 상황에서의 비보호좌회전 신호의 선택기준은 해당도로의 좌회전 교통량, 대향직진 교통량 및 교차도로의 교통량에 좌우된다. 둘째, 대향직진 교통량이 커질수록 임계좌회전 교통량은 감소하는 것으로 분석되었다. 셋째, 교차도로의 교통량이 커질수록 임계좌회전 교통량은 감소하는 것으로 분석되었다.

본 연구는 한국과학기술원 첨단도로연구센터의 연구지원으로 수행되었습니다.

1. 연구의 배경 및 목적

신호교차로의 교통체증을 해결하기 위해 서울시는 1993년부터 신신호시스템을 개발, 1996년부터 서울 시내에 적용하기 시작했으나 아직 신신호제어기의 설치비용이 미흡한 실정이다. 따라서 향후 상당기간은 대부분의 교차로가 정주기식인 전자신호제어기나 일반신호제어기로 운영될 수밖에 없는 실정이며 좌회전 교통류의 처리방식에 따라 교차로의 효율성 극대화 여부가 결정될 수밖에 없다. 신호교차로의 특성상 현 시수가 많아지면 출발지연, 황색시간이 증가하게 되어 주기가 길어지고 교차로의 효율이 감소되기 때문에 현시수는 될수록 적은 것이 좋다. 증가하는 교통량에 대한 해결책으로 주기를 증가시키는 국내 실정에 비추어 볼 때 비보호좌회전의 적극적 활용은 주기 증가에 의한 교차로 운영효율감소에 대한 대안이 될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 국내실정에 맞춰 새로이 개정된 도로용량편람(2001)을 기준으로 비보호좌회전의 현시기준을 설정하고 이를 통해 실무자가 실제 현장의 조건에 가장 적합한 좌회전 통제방식을 선택할 수 있도록 하여 신호교차로의 효율을 극대화하고자 하는데 그 목적이 있다.

II. 비보호좌회전 준거설정을 위한 연구사례

기존의 비보호좌회전 준거설정을 위한 연구는 교통량급을 기준으로 한 방법과 대향직진-좌회전 교통량의 관계를 기준으로 한 방법으로 분류할 수 있다.

1. 교통량급에 의한 비보호좌회전 준거

가장 일반적으로 사용되는 방법으로서 비보호좌회전 신호로 운영하고자 하는 접근로의 좌회전 교통량과 이와 마주보는 방향에서 진행하는 접근로의 직진교통량(대향직진 교통량)의 곱을 근거로 해당 접근로의 비보호좌회전 신호의 사용여부를 판단하는 방법이다. Agent, KR.(1979, 1987), Cottrell, BH, Jr.(1986), Upchurch, JE.(1986), 노희철(1988) 등이 이러한 방법을 이용하여 비보호좌회전 준거를 제시하였다. <표 1>은 교통량급에 의한 비보호좌회전 준거를 나타낸 것이다.

<표 1> 교통량급에 의한 비보호좌회전 준거

구분	기준(교통량급)	대상도시
노희철	2차선 : 200,000대 ² /hr 이하 3차선 : 170,000대 ² /hr 이하	서울
K.R.Agent 외	2차선 : 50,000대 ² /hr 이하 4차선 : 103,000대 ² /hr 이하	Kentucky
N.M.Rouphaill	2차선 : 75,000대 ² /hr 이하	
J.E.Upchurch	2차선 : 144,000대 ² /hr 이하 3차선 : 100,000대 ² /hr 이하	Arizona
B.H.Cottrell	반보호좌회전 : 200,000대 ² /hr 이하 비보호좌회전 : 2차선 : 100,000대 ² /hr 이하 3차선 : 150,000대 ² /hr 이하	Virginia

자료 : 도로교통안전협회(1989), 비보호좌회전 현시의 기준설정 및 좌회전현시운영의 효과평가.

2. 대향직진-좌회전 교통량에 따른 비보호좌회전 준거

1) 교통안전시설 실무편람에 의한 준거

우리나라의 교통안전시설 실무편람은 편도 2차로, 3차로, 4차로인 교차로에 대해 차로수별로 직진과 좌회전 교통량의 관계로 비보호좌회전 준거를 <표 2>와 같이 정하였다.

일반적으로 대향직진 차로수가 편도 4차로 이상일

<표 2> 교통안전시설 실무편람에 의한 비보호좌회전 준거

대향직진 교통량 (pcu/h)	좌회전교통량(pcu/h)		
	2차선도로	3차선도로	4차선도로
400	260	300	320
500	210	250	270
600	160	210	230
700	120	180	200
800	90	150	170
900		120	140
1000		110	120
1100		90	110
1200		70	100
1300		60	80
1400		50	70
1500			60
1600			50
1700			50
1800			40

경우 비보호좌회전을 사용하는 것이 바람직하지 않음에도 위의 기준표에서는 4차로의 경우에도 비보호좌회전을 사용할 수 있도록 제시하고 있다.

2) 도로용량편람에 의한 준거

편도 2차로 또는 3차로인 교차로에 대해 비보호좌회전의 포화도(degree of saturation : V/c)가 0.9 일 때 보호좌회전으로 전환되는 대향직진 교통량과 좌회전 교통량의 관계로 비보호좌회전 준거를 <표 3>과 같이 정하였다.

<표 3> 도로용량편람(1992)에 의한 비보호좌회전 준거

구분	g/C	대향직진 교통량								
		200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
대향 직진 2 차로	0.3	294	164	92	49	26	14	7		
	0.4	438	298	191	122	77	48	30	19	12
	0.5	620	443	310	216	153	106	73	51	34
	0.6	798	620	447	328	248	183	135	99	73
	0.7	931	766	592	465	352	277	214	163	125
대향 직진 3 차로	0.3	243	114	55	23	10				
	0.4	392	226	126	70	38	21	11		
	0.5	547	358	227	139	87	54	33	21	13
	0.6	698	508	338	228	155	104	70	47	31
	0.7	869	651	465	334	241	171	122	87	61

3. 기존 방법론의 문제점과 제한

1) 기존 방법론의 문제점

4지 교차로는 동·서·남·북 방향의 4방향 접근로로 구성되며 각 접근로는 좌회전, 직진, 우회전의 3가지 이동류로 구성된다. 신호교차로의 효율을 극대화하기 위한 적정현시의 결정은 각 접근로의 이동류별 교통량과 밀접한 관계가 있다. 예로 동·서 방향의 현시결정에 남·북 방향의 이동류별 교통량과 차로수가 영향을 줄 수도 있고 반대로 남·북방향의 현시결정에 동·서방향의 이동류별 교통량과 차로수가 영향을 줄 수도 있다. 그러나 기존연구들을 살펴보면 기준이 되는 접근로의 대향직진 교통량과 좌회전 교통량, 그리고 차로수는 고려했으나 교차도로의 이동류별 교통량과 차로수에 대한 고려는 미흡하여 교차도로의 교통량이 비보호좌회전 현시의 사용기준에 미치는 영향에 대한 분석이 이루어지고 있지 않고 있다.

2) 제한

실제 현장의 조건과 가장 적합한 경우를 적용하여 교차로의 신호를 결정할 수 있도록 해당도로의 조건뿐만 아니라 교차도로의 차로수, 교통량별로 세분화 한 뒤 신호교차로의 효과척도(MOE)인 교차로 전체의 평균제어지체를 이용하여 현시별 효율성을 비교·평가하여야 한다.

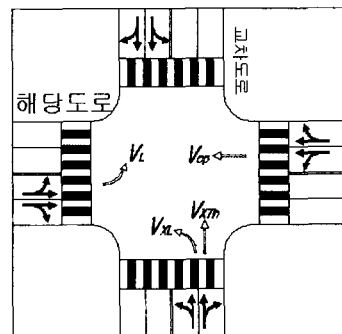
III. 연구대상의 범위 및 수행절차

1. 용어의 정의

본 연구에서 사용된 용어의 정의는 다음과 같으며 각각은 한 접근로의 교통량을 나타낸다.

- V_L : 해당도로의 한 방향 좌회전 교통량
- V_{op} : V_L 과 마주보고 진행하는 대향직진 교통량
- V_{XTh} : 교차도로의 한 방향 직진교통량
- V_{XL} : 교차도로의 한 방향 좌회전 교통량
- V_X : $V_{XTh} + V_{XL}$
- V_{CL} : 임계 좌회전 교통량, 즉, 비보호좌회전에서 보호좌회전신호로 전환되는 좌회전 교통량의 경계값

<그림 1>은 연구에 사용된 용어를 교차로 상에 나타낸 것이다.



<그림 1> 용어의 정의

2. 연구대상의 범위

1) 제약조건

기본적인 제약조건은 다음과 같으며 이 조건을 만

족하지 않는 자료는 분석에서 제외한다.

(1) 제약조건 1. Max. $\sum_{i=1}^n y_i = 1.0$

총 소요현시율 ($\sum_{i=1}^n y_i$)은 신호시간을 계산할 때 이용된다. 그 값이 1.0 이상이면 주기의 값이 음수 (-)가 나와 비록 지체값이 계산된다 하더라도 합당한 결과값이라 볼 수 없으며 분석결과에 오차를 가져올 수 있다.

(2) 제약조건 2. Max. $X_c = 1.0$

임계포화도(X_c)는 교차로의 혼잡정도를 나타내는 척도로서 이 값이 1.0 이상이면 교차로가 극도로 혼잡함을 나타낸다.

(3) 제약조건 3. Min. $E_L = 1.0$

좌회전 차로의 직진 환산 계수(E_L)는 좌회전을 직진 교통량으로 환산하는 계수이다. 이 값은 이론상 1.0 이상이 되어야 하나 계산결과 1.0 이하의 값이 나오는 경우가 있으며 이런 경우는 분석결과에 오차를 가져올 수 있다.

(4) 제약조건4. 좌회전차로군의 $y_i \leq$ 직진차로군의 y_i

차로군을 분류하는 과정 중에서 실질적 좌회전 차로군이 나타나고 제약조건 4와 반대이면, 즉, 좌회전 차로군의 $y_i \geq$ 직진차로군의 y_i 이면 직·좌 동시신호가 비보호좌회전 신호에 비해 더욱 효율적인 것으로 판단한다.

비보호좌회전 통제방식은 대향직진 교통량에 할당

된 신호시간을 좌회전 차량이 이용하는 방식임에도 불구하고 좌회전 차로군의 y_i 가 직진 차로군의 y_i 보다 커지면 좌회전 교통량에 의해 직진 신호시간이 결정되며 이로 인해 좌회전하려는 교통량을 처리하기 위해 직진 신호시간을 증가시켜야 하는 모순이 생기게 되기 때문이다.

2) 도로조건

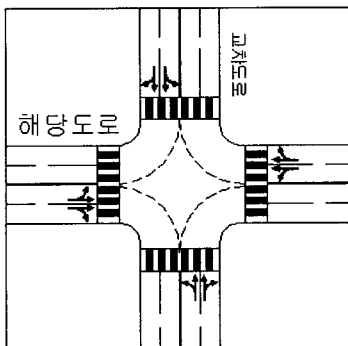
해당·교차도로의 차로수 구성에 따라 <그림 2>, <그림 3>, <그림 4>와 같이 도로조건 1, 2, 3으로 분류한다. 도로조건 1은 편도 2차로인 해당도로와 교차도로로 구성되어 있고, 도로조건 2는 편도 2차로인 해당도로와 편도 3차로인 교차도로, 도로조건 3은 편도 3차로인 해당도로와 교차도로로 구성되어 있다.

해당 교차로는 주위의 다른 교차로에 의해 영향을 받지 않는 독립교차로로서 각 접근로에는 좌회전 전용차로가 없다. 이는 편도 2차로 또는 편도 3차로인 기존의 간선도로의 경우 좌회전 전용차로가 없는 경우가 많고 새로이 좌회전 전용차로를 설치할만한 차로폭의 여유가 없는 것으로 판단되었기 때문이다.

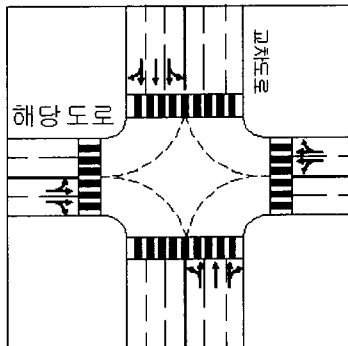
3) 교통량 조건

해당도로와 교차도로 각각의 양방향 직진, 좌회전, 우회전 교통량은 같은 것으로 가정한다.

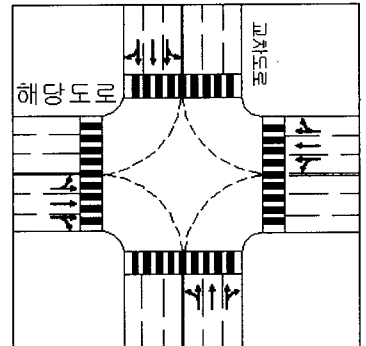
과거에는 시간대마다 양방향 교통량에 차이가 있는 것이 보통이었으나 근래 들어 양방향 교통량이 비슷해지는 경향을 보이기 때문이다. 진입·진출 교통량, 주차여부 등의 아래 언급되지 않은 교통조건 및 도로 조건들은 일반적인 상황들로 가정하였다.



<그림 2> 도로조건 1
(해당도로 2차로, 교차도로 2차로)



<그림 3> 도로조건 2
(해당도로 2차로, 교차도로 3차로)



<그림 4> 도로조건 3
(해당도로 3차로, 교차도로 3차로)

(1) 해당도로의 교통량

- V_{op} : 100, 200, 400, 600, 800, ..., 1600vph
- V_L : 1, 2, 3, ..., 1000vph
- V_R : 150vph로 일정

(2) 교차도로의 교통량

- V_X : 100, 200, 300, ..., 2000vph
- V_{XL} : V_X 의 10%, 20%, 30%
- V_{XR} : 150vph로 일정

(3) 기타조건

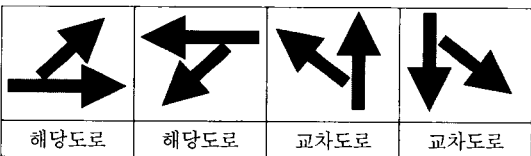
- PHF(Peak Hour Factor)=0.95
- 중차량 혼입률=5%
- U-Turn 금지

4) 신호조건

좌회전 전용차로가 없어 직·좌 분리신호의 적용이 불가능하며 주기는 60초부터 120초 사이이다. 도로별 현시구성에 따라 <그림 5>, <그림 6>과 같이 현시구성 1과 현시구성 2로 나눈다. 현시구성 1은 해당도로에 비보호좌회전, 교차도로에 직·좌 동시신호가 적용된 경우이고 현시구성 2는 해당도로와 교차도로 모두에 직·좌 동시신호가 적용된 경우이다.



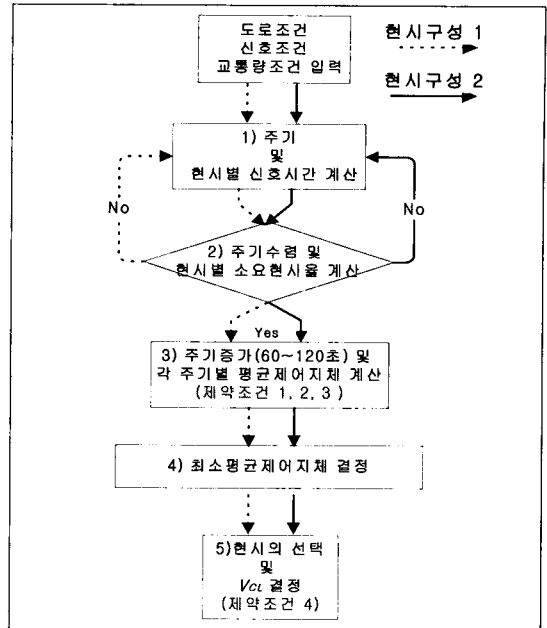
<그림 5> 현시구성 1



<그림 6> 현시구성 2

3. 연구의 수행절차

<그림 7>은 도로용량편람의 지체산정 알고리즘을 응용한 본 연구의 좌회전 현시기준결정 알고리즘을 나타낸 것으로 각각의 내용은 다음과 같다.



<그림 7> 좌회전 현시기준결정 알고리즘

1) 주기 및 현시별 신호시간계산

최초에 가정된 주기와 현시별 녹색시간에 의해 현시구성 1, 2의 새로운 최적주기 및 현시별 녹색시간을 계산한다. 식(1)은 최적주기도출을 위한 Webster 공식이다.

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (1)$$

- C_0 : 지체를 최소화 하는 최적주기(초)
- L : 주기당 총 손실시간으로서 주기에서 총 유효 녹색시간을 뺀 값이다.
- $\sum_{i=1}^n y_i$: 교차로의 총 소요현시율

2) 주기수렴 및 현시별 소요현시율 계산

1)의 과정을 반복하여 주기가 변하지 않거나 일정한 범위에서 주기적으로 반복되면 1)의 과정을 중지하고 다음 과정 3)으로 넘어가며 이때의 현시별 소요현시율을 계산한다.

3) 주기증가 및 각 주기별 평균제어지체 계산

1), 2)의 과정을 거쳐 수렴된 주기는 지체를 최소화

로하는 최적주기로 알려져 있으나 Webster 공식은 도로용량편람에서 사용하는 지체공식과 다르기 때문에 이를 최적주기라 할 수 없으며 최적주기를 얻기 위해서는 각 주기마다 지체를 계산하여 비교해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 60초부터 120초까지의 10초 단위 주기별로 지체를 계산하였으며 각 현시별 녹색 시간은 주기가 수렴했을 때의 현시별 y_i 를 이용하여 계산한다. 단, 제약조건 1, 2, 3에 위배되는 경우는 분석과정에서 제외시킨다.

4) 최소평균제어지체 결정

3)에서 계산된 지체 중 최소인 지체를 결정한다.

5) 현시의 선택 및 V_{CL} 의 결정

1)~4)의 과정을 모두 거친 후 현시구성 1의 지체가 현시구성 2의 지체보다 더 적으면 해당도로에 비보호좌회전을, 반대의 경우 직·좌 동시신호를 적용하며 단, 제약조건 4를 만족하지 않는 경우 현시구성 1의 지체가 적더라도 해당도로에 직·좌 동시신호를 적용한다. 이 과정을 통해 V_{CL} 을 결정할 수 있다.

IV. 자료분석 및 결과

1. 자료의 범위

분석을 위해 총 998개의 자료를 도출하였고 해당 신호교차로의 LOS는 A~D로써 상당히 양호한 상태를 보이고 있다. 제약조건을 고려하지 않을 경우 대부분의 도로조건, 교통량조건에서 비보호좌회전을 사용하는 것이 교차로 전체의 지체를 최소화하는 것으로 나타나지만 제약조건을 고려할 경우, 특히 제약조건 4에 의해 지체의 크기와는 상관없이 해당 도로에 직·좌 동시신호를 적용해야 하는 경우가 생긴다.

〈표 4〉는 각 도로조건별 자료의 범위이다.

2. 변수의 결정

V_{CL} 에 영향을 주는 변수들을 결정하기 위해 도로조건, V_{op} , V_X , V_{XL} , 그리고 주기에 대해 검토하였으며 이를 위해 나머지 조건들을 고정시키고 분석하

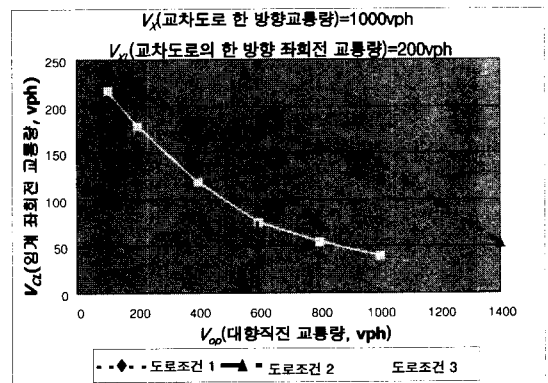
〈표 4〉 도로조건별 자료의 범위

도로 조건	자료수 (개)	$\sum_{i=1}^n y_i$	Xc	delay (초/대)	LOS
1	251	0.585~0.917	0.638~0.999	28.5~69.5	A~D
2	406	0.585~0.917	0.638~0.999	26.0~67.3	A~D
3	341	0.507~0.917	0.552~0.999	24.4~62.9	A~D
전체	998	0.507~0.917	0.552~0.999	24.4~69.5	A~D

고자 하는 조건을 변화시키면서 V_{CL} 의 변화를 관찰하였다.

1) 도로조건과 V_{op} (해당도로의 대향직진 교통량)

〈그림 8〉은 $V_X=1000vph$ 이고 $V_{XL}=200vph$ 일 때의 도로조건별 V_{op} 와 V_{CL} 의 관계를 나타낸 곡선이다. $V_{op}=600vph(\overline{AA'})$ 일 때 도로조건 1의 V_{CL} 은 140vph(점㉔), 도로조건 2의 V_{CL} 은 175vph(점㉕), 도로조건 3의 V_{CL} 은 75vph(점㉖)로 변화함을 알 수 있으며 이를 통해 도로조건, 즉, 주·교차도로의 차로 수가 V_{CL} 의 결정에 영향을 미치는 변수임을 알 수 있다. 또한, 도로조건 2인 경우 V_{op} 가 100vph부터 1400vph까지 변하는 동안 V_{CL} 은 240vph부터 50vph까지 변화함을 알 수 있으며 이를 통해 V_{op} 도 V_{CL} 의 결정에 영향을 미치는 요인임을 알 수 있다.

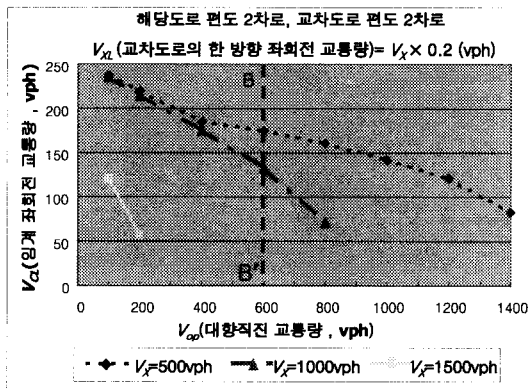


*) 도로조건 1 : 해당도로 편도2차로, 교차도로 편도2차로
 도로조건 2 : 해당도로 편도2차로, 교차도로 편도3차로
 도로조건 3 : 해당도로 편도3차로, 교차도로 편도3차로

〈그림 8〉 도로조건, V_{op} 와 V_{CL} 의 관계

2) V_X (교차도로의 한 방향 교통량)

〈그림 9〉의 각각의 곡선은 도로조건 1에서 V_X 가 500, 1000, 1500vph이고 $V_{XL} = V_X \times 0.2$ (vph)일 때의 V_{op} 와 V_{CL} 의 관계를 나타낸 곡선으로 V_X 가 500vph부터 1500vph로 변함에 따라 $V_{op} = 600$ vph ($\overline{BB'}$)에 대응하는 V_{CL} 이 감소함을 알 수 있다. 도로조건 2와 도로조건 3에서도 V_X 가 변함에 따라 각 V_{op} 에 대응하는 V_{CL} 이 변하며 이를 통해 V_X 가 V_{CL} 의 결정에 영향을 주는 요인임을 알 수 있다.

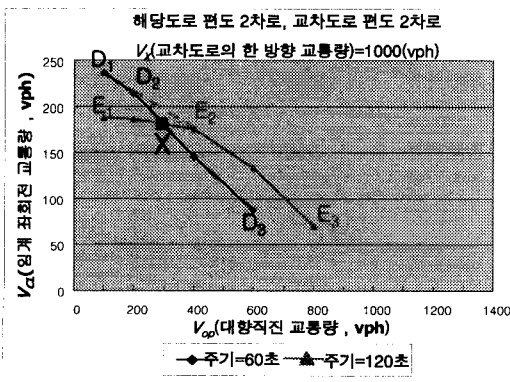


※) V_X : 교차도로의 한 방향 교통량(vph)

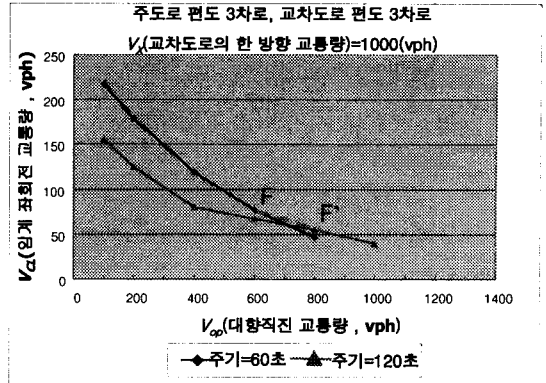
〈그림 9〉 V_X 와 V_{CL} 의 관계

3) 주기(C)

〈그림 10〉은 지체를 최소화하는 주기를 60초라 가정하여 도출된 V_{CL} 곡선 $\overline{D_1D_2D_3}$ 와 지체를 최소화하는 주기를 120초라 가정하여 도출된 V_{CL} 곡선 $\overline{E_1E_2E_3}$ 로 이루어져 있다. 그 외의 경우, 즉, 주기가 70~110초 사이일 때의 V_{CL} 곡선들은 거의 대부분 두 곡선



〈그림 10〉 $V_X = 1000$ vph일 때의 주기별 V_{CL} (도로조건 1)



〈그림 11〉 $V_X = 1000$ vph일 때의 주기별 V_{CL} (도로조건 3)

사이에 위치하고 점X를 지난다.

$D_1D_2XE_2E_3$ 본 연구의 알고리즘에 의한 정확한 V_{CL} 곡선은와 같은 곡선이다. 그러나 입력자료인 V_{op} 가 이산형자료이기 때문에 알고리즘내에서 실제로 입력되는 V_{op} 의 값에 대한 V_{CL} 은 전후의 값을 이용해 추정될 수밖에 없다. 따라서 이러한 방법으로 60초부터 120초 사이의 주기 중 지체를 최소화하는 주기를 이용하여 V_{CL} 을 도출하면 $D_1D_2E_2E_3$ 와 같은 형태의 V_{CL} 곡선이 나타나게 된다. 만약, 두 곡선이 교차하는 점의 V_{op} 가 알고리즘 내에서 실제로 입력되는 V_{op} 이거나 그 부근의 값인 경우 이런 오차는 크게 발생하지 않아 오차에 대해 심각하게 고려하지 않아도 되겠지만 그렇지 않은 경우가 대부분이므로 두 개의 곡선으로 나누어 분석하는 것이 타당하며 도로조건 2의 경우도 매우 유사한 결과를 보인다. 그러나 도로조건 3의 경우 〈그림 11〉에서 볼 수 있듯이 주기를 60초로 고정한 경우와 120초로 고정한 경우의 2가지 V_{CL} 곡선이 자연스럽게 교차하여 두 곡선의 교차에 의한 오차가 매우 적으며 따라서 하나의 곡선으로 분석해도 무리가 없음을 알 수 있다.

4) 변수의 결정

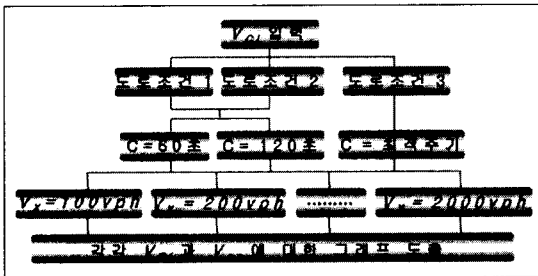
V_{CL} 에 영향을 주는 변수들은 다음과 같다.

- 도로조건 : 도로조건에 따른 도로별 차로수, 특히 해당도로의 차로수가 V_{CL} 에 큰 영향을 미친다.
- V_{op} : V_{op} 가 증가할수록 V_{CL} 은 감소한다.
- V_X : V_X 가 증가할수록 V_{CL} 은 감소한다.
- 주기(C) : 주기에 따라 V_{CL} 이 달라지며 최소주기

60초인 경우와 최대주기 120초인 경우를 모두 고려하여야 한다.

3. 결과의 도출과정

V_{XL} 이 V_X 의 10%, 20%, 30%인 경우를 하나의 V_X 로 통합하여 가장 오차가 적은 범위에서 V_{CL} 과 V_{op} 의 관계를 그래프로 나타내었다. 도로조건 1, 2는 최소주기(60초)와 최대주기(120초)인 경우의 V_{CL} . 도로조건 3은 지체를 최소화하는 최적주기의 V_{CL} 을 V_{op} 와의 관계로 나타내었다. <그림 12>는 최소주기, 최대주기 일 때의 V_{CL} 을 이용한 그래프를 도출하기 위한 과정을 나타낸 그림이다.



<그림 12> 최소주기, 최대주기일 때의 V_{CL} 을 이용한 그래프 도출 과정

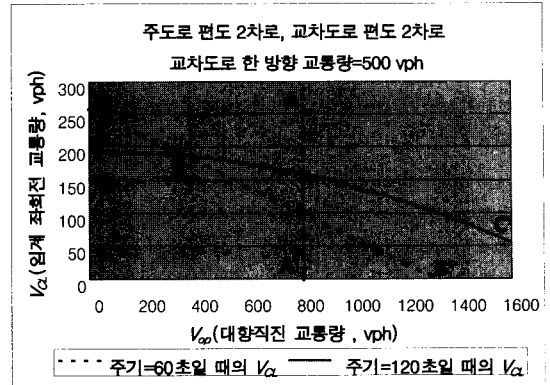
1) 그래프의 도출과정과 이용방법

도로조건 1, 2의 경우 최소주기와 최대주기에 의한 2가지 V_{CL} 곡선이 나타나고 도로조건 3의 경우 최적주기에 의한 1가지의 V_{CL} 곡선이 나타나게 된다. 이렇게 도출된 그래프를 좀 더 쉽게 이용할 수 있도록 도로조건 1, 2의 곡선을 하나로 통합하는 과정을 수행하였으며 그 과정과 결과의 이용방법은 다음과 같다.

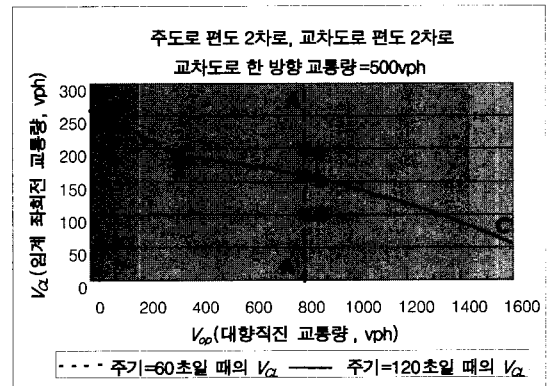
(1) 그래프의 도출과정

도로조건 1, 2의 경우 최소주기와 최대주기에 의한 2가지 V_{CL} 곡선이 나타나고 두 곡선 중 더 위에 위치한 곡선을 연결하여 하나의 V_{CL} 곡선으로 나타낼 수 있다. <그림 13>은 도로조건 1, 2의 V_{CL} 곡선 도출과정을 설명하기 위해 제시한 도로조건 1, $V_X=500vph$ 인 경우의 V_{CL} 곡선이다.

주기가 60초인 경우와 120초인 경우의 V_{CL} 곡선이 다르게 나타남을 알 수 있으며 비보화좌회전 통제



<그림 13> 도로조건 1, $V_X=500vph$ 인 경우의 주기에 따른 V_{CL} 곡선



<그림 14> 도로조건 1, $V_X=500vph$ 인 경우의 최종 V_{CL} 곡선

방식을 적극적으로 수용하고자 하는 본 연구의 목적에 따라 더 위에 위치한 곡선 (V_{op} 가 0~350vph인 경우는 \overline{BX} , V_{op} 가 350~1600vph인 경우는 \overline{XC})을 최종 V_{CL} 곡선으로 선택한다.

이와 같은 과정을 통해 <그림 13>에서 나타난 두 개의 V_{CL} 곡선 중 더 위에 위치한 곡선, 즉, \overline{BX} 와 \overline{XC} 를 연결하면 <그림 14>와 같이 최종 V_{CL} 곡선을 \overline{BXC} 곡선으로 나타낼 수 있다.

(2) 그래프의 적용방법

본 연구의 결과를 토대로, 실제 현장에 비보화좌회전 통제방식의 적용 여부를 판별하는 과정을 설명한다. 위에서 나타낸 <그림 14>의 V_{CL} 곡선은 교차도로 교통량 (V_X)이 500vph인 경우에 사용할 수 있는 그래프로서, $\overline{AA'}$ 는 V_{op} 가 800vph인 경우를 나타낸다. $\overline{AA'}$ 상에 위치한 점 b는 도로조건 1, $V_X=500vph$,

$V_{op}=800\text{vph}$ 인 경우의 V_{CL} 이다. 비보호좌회전 신호의 적용을 검토하고자 하는 신호교차로의 좌회전 교통량이 V_{CL} 이하, 예를 들어 100vph (점 c)이면 해당 교차로에 비보호좌회전을 사용하여 운영효율을 극대화할 수 있음을 나타낸다. 반대로 신호교차로의 좌회전교통량이 V_{CL} 이상, 예를 들어 200vph (점 a)이면 해당교차로에 보호좌회전을 사용하거나 기하구조의 변화 등을 고려해야 함을 나타낸다.

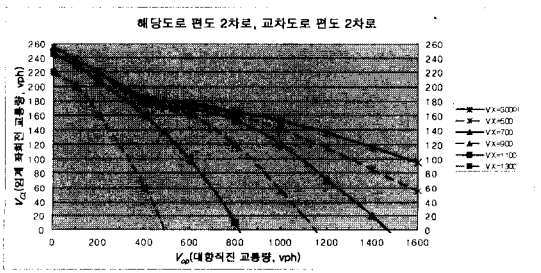
4. 결과

각 도로조건별 V_{CL} 곡선은 교차도로의 한 방향 교통량이 100vph 부터 2000vph 인 경우까지를 200vph 단위로 표시하였으며 그 사이의 교차도로의 한 방향 교통량에 대한 V_{CL} 은 보간법으로 그 값을 추정할 수 있다.

(1) 도로조건 1

<그림 15>는 도로조건 1, 즉, 해당도로와 교차도로의 차로수가 편도 2차로인 경우의 교차도로의 한 방향 교통량별 V_{CL} 곡선을 나타낸 그래프이다.

교차도로의 한 방향 교통량이 300vph 이하인 경우의 V_{CL} 곡선은 모두 동일하며 교차도로의 한 방향 교통량이 증가할수록 V_{CL} 이 감소하여 1500vph 이상이면 비보호좌회전 신호를 사용할 수 없는 것으로 분석되었다. 그러나 실제 현장에서 차로 당 600대 이상의 교통량은 관측되기 어렵기 때문에 교차도로의 한 방향 교통량이 1300대 일 때까지를 그래프로 나타내었다. 교차도로의 한 방향 교통량이 증가할수록 교차도로의 한 방향 교통량의 단위증가량에 따른 V_{CL} 의 감소비율은 증가하고 대향직진 교통량이 증가할수록 대향직진 교통량의 단위증가량에 따른 V_{CL} 의 감소비율



※) V_x = 교차도로 한 방향 교통량(vph)

<그림 15> 도로조건 1의 V_{CL} 그래프

또한 증가하여 위로 볼록한 곡선의 형태를 보이는 것으로 분석되었다.

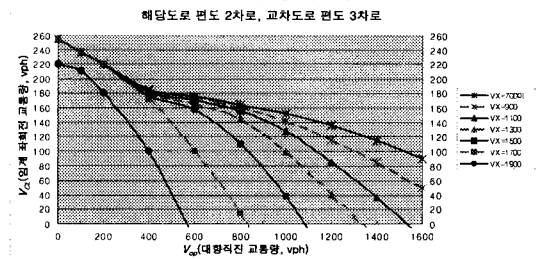
(2) 도로조건 2

<그림 16>은 도로조건 2, 즉, 해당도로는 편도 2차로, 교차도로는 편도 3차로인 경우의 교차도로의 한 방향 교통량별 V_{CL} 곡선을 나타낸 그래프이다.

교차도로의 한 방향 교통량이 700vph 이하인 경우의 V_{CL} 곡선은 모두 동일하며 교차도로의 한 방향 교통량이 1900vph 인 경우까지만 분석하였다.

교차도로의 한 방향 교통량이 증가할수록 교차도로 한 방향 교통량의 단위증가량에 따른 V_{CL} 의 감소비율은 증가하지만 도로조건 1에 비해 그 감소비율의 증가분은 적은 것으로 분석되었다. 이는 도로조건 2가 도로조건 1에 비해 교차도로의 차로수가 1차로 많음에 기인하는 것으로서 교차도로에 동일한 교통량이 증가한다 하여도 도로조건 1에 비해 차로 당 교통량의 증가량이 더 적기 때문이다.

또한, 도로조건 1과 마찬가지로 대향직진 교통량이 증가할수록 대향직진 교통량의 단위증가량에 따른 V_{CL} 의 감소비율은 증가하는 것으로 분석되었다.



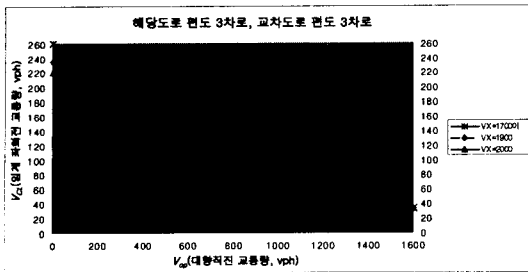
※) V_x = 교차도로 한 방향 교통량(vph)

<그림 16> 도로조건 2의 V_{CL} 그래프

(3) 도로조건 3

<그림 17>은 도로조건 3, 즉, 해당도로와 교차도로의 차로수가 편도 3차로인 경우의 교차도로의 한 방향 교통량별 V_{CL} 곡선을 나타낸 그래프이다.

교차도로의 한 방향 교통량이 교차도로의 한 방향 교통량이 1700vph 이하인 경우의 V_{CL} 곡선은 모두 동일하며 교차도로의 한 방향 교통량이 2000vph 인 경우까지만 분석하였다. 도로조건 1, 2와는 다르게 대향직진 교통량이 증가할수록 대향직진 교통량의 단위증가량에 따른 V_{CL} 의 감소비율은 감소하는 것으로 분



*) V_x = 교차도로 한 방향 교통량 (vph)

〈그림 17〉 도로조건 3의 V_{CL} 그래프

석되었고 이로 인해 V_{CL} 곡선이 아래로 볼록한 형태를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 도로조건 3이 도로조건 1, 2에 비해 해당도로 차로수가 1차로 많음에 기인하는 것으로서 해당도로의 교통량이 동일할 때 해당도로의 차로 당 교통량이 달라 차로군 분류의 결과가 달라지고 차로군 분류에 관한 조건인 제약조건 4에 의해 이러한 차이가 생기게 되는 것이다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

기존의 비보호좌회전 준거설정을 위한 방법론은 기준이 되는 접근로의 대향직진 교통량과 좌회전 교통량, 그리고 차로수는 고려했으나 교차도로의 이동류별 교통량과 차로수에 대한 고려는 미흡하여 교차도로의 교통량이 비보호좌회전 현시의 사용기준에 미치는 영향에 대한 분석이 이루어지고 있지 않았다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고자 비보호좌회전 신호의 운영효율에 영향을 미치는 주요요인을 검토하고 이를 토대로 비보호좌회전 신호의 운영효율을 극대화 할 수 있는 최대 좌회전 교통량, 즉, 임계좌회전 교통량을 도출하여 이를 근거로 비보호좌회전 준거를 제시하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 좌회전 신호의 선택기준에 영향을 주는 주요요인을 검토한 결과 해당도로의 좌회전 교통량, 대향직진 교통량, 차로수, 교차도로의 교통량과 차로수가 그 주요요인임을 알 수 있었으며, 이 요인들 중에서도 특히 해당도로의 차로수에 의해 임계좌회전 교통량이 가장 민감하게 변화하는 것으로 분석되었다. 그러나, 비보호좌회전은 일반적으로 2차로에서 운영되므로, 보편적인 상황에서의 비보호좌회전 신호의 선

택기준은 해당도로의 좌회전 교통량, 대향직진 교통량 및 교차도로의 교통량에 좌우된다. 둘째, 해당도로가 편도 2차로이고 교차도로가 편도 2차로 혹은 편도 3차로인 경우, 임계좌회전 교통량은 대향직진 교통량과 교차도로의 교통량의 변화에 대해 거의 비슷한 변화를 보였으나, 해당도로와 교차도로가 모두 편도 3차로인 경우 임계좌회전 교통량은 교차도로 교통량의 변화보다 대향직진 교통량의 변화에 더욱 민감하게 반응하는 것으로 분석되었다. 셋째, 대향직진 교통량이 커질수록 임계좌회전 교통량은 감소하는 것으로 분석되었다. 즉, 대향직진 교통량이 적을수록 해당도로를 비보호좌회전 신호로 운영해야 할 경우가 많아지고, 반대로 대향직진 교통량이 클수록 해당도로를 보호좌회전 신호로 운영해야 할 경우가 많아진다.

넷째, 교차도로의 교통량이 커질수록 임계좌회전 교통량은 감소하는 것으로 분석되었다. 즉, 교차도로의 교통량이 클수록 해당도로를 보호좌회전 신호로 운영해야 할 경우가 많아지고 반대로 교차도로의 교통량이 적을수록 해당도로를 비보호좌회전 신호로 운영해야 할 경우가 많아진다.

본 연구는 해당도로의 조건뿐만이 아니라 교차도로의 차로수, 교통량별도 결과를 세분화하여 도출하였으며 이를 통해 실무자가 실제 현장에서 교차로의 좌회전 현시를 결정하는 과정 중 겪는 곤란함을 상당부분 해소할 수 있을 것이라 사료된다.

2. 향후 연구과제

본 연구는 연구의 한계로 인해 비보호좌회전 차량에 의한 사고율과 좌회전 전용차로가 있는 경우에 대하여 분석하지 못하였다. 비보호좌회전의 통제방식의 경우 상충면적이 넓어 다른 좌회전 통제방식에 비해 사고의 위험성이 높으므로 비보호좌회전 신호의 운영에 따른 안전성을 반드시 검토하여 적용하여야 한다.

또한, 좌회전 전용차로의 설치는 신호교차로 설계시 권장되는 사항중 하나이다. 따라서 좌회전 전용차로가 있는 경우에 대한 비보호좌회전 준거의 설정이 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부(1992, 2001), 도로용량편람.

2. 경찰청(1996), 교통안전시설 실무편람.
3. 노희철(1988), 교차로에서의 좌회전 현시방법 결정에 관한 연구, 성균관대학교 행정대학원.
4. 도철웅(2000), 교통공학원론(상), 청문각.
5. 서울시 교통신호제어시스템 발전 기본계획, 2001.
6. Agent, KR.(1987), "Guidelines for the Use of Protected/Permissive Left-turn Phasing", Institute of Transportation Engineers, Volume 57, Issue 7, pp.37~42.
7. Cottrell, BH, Jr.(1986), "Guidelines for Protected/Permissive Left-turn Signal Phasing", Transportation Research Record 1069, pp. 54~61.
8. Upchurch, JE.(1986), "Guidelines for Selecting Type of Left-turn Phasing", Transportation Research Record 1069, pp.30~38.

♣ 주 작 성 자 : 조원범

♣ 논문투고일 : 2002. 11. 1

논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)

2003. 1. 3 (2차)

심사판정일 : 2003. 1. 3

♣ 반론접수기한 : 2003. 4. 30