교통신호설계 시 제어단위 교차로그룹 설계방안에 관한 연구

A Study on determine of breaking points of Intersection groups for a Traffic Signal Design

정 영 제
(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

김 영 찬
(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

Ⅰ. 서 론
1. 연구 배경 및 목적
2. 연구 내용 및 범위

Ⅱ. 본 론
1. 선행 연구고찰
2. 제어단위 교차로그룹 설계 고려요소
3. 설계요소별 적용방안

Ⅲ. 설계요소의 모의적용

Ⅳ. 결 론

참고문헌

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

교차로의 신호제어는 도로구간의 결절점에서 이동류의 상충이 발생할 경우 특정 시간 동안 이동류에 대한 통행권을 순차적으로 부여함으로써 도로이용자의 안전을 도모하고, 도로 네트워크의 지체를 최소화하는데 목적이 있다. 즉 교통신호제어는 교차로의 안전성과 효율성 확보에 목표를 두고 있다.

교통신호제어를 위한 기초 변수는 주기(Cycle), 현시(Phase), 현시순서(Phase Sequence), 옾셋(Off-set)이며, 이들의 최적조합을 결정하는 과정이 바로 신호최적화를 의미한다. 여기에서 옾셋은 차량군의 교차로 연속진행을 결정하는 중요한 변수로서 동일한 교통특성을 가지는 일련의 연속된 교차로그룹에 적용되며, 이는 제어단위 교차로그룹(Sub-Area)으로 정의할 수 있다.

여기에서 제어단위교차로그룹(Sub-Area)은 개별 교차로의 교통특성, 교차로간 거리, 교차로 및 도로구간의 기하구조 등 다양한 요인에 의해 그 형태를 달리하게 된다. 그러나 국내의 교통신호설계 및 운영에서 상기 설계요소를 고려한 정형화된 매뉴얼은 부재하며, 이는 교통엔지니어 또는 지역의 교통신호 운영을 관할하고 있는 운영자의 주관에 따라 제어단위 교차로그룹이 결정됨을 의미한다.

김진태(2004)에 의해 수행된 국내 교통신호운영과 관련한 정책연구에 따르면 연동제어군 설계주체는 주로 지자체, 경찰, 도로교통안전관리공단, 교통안전시설물 유지관리 외주업체로서 학계 및 연구소의 설계참여는 매우 미약한 상황인 것으로 조사되었으며, 설계 매뉴얼 부재로 인해 이들이 설계 시 참고하는 자료는 주로 경찰청에서 발간된 표준교통신호제어기규격서인 것으로 나타났다. 또한 상당수 지자체에서 제어단위 교차로그룹(Sub-Area)내에 특이형태 교차로를 포함하고 있는 것으로 조사되었으며, 이는 제어단위 교차로그룹의 설계 시 기준이 될 수 있는 매뉴얼 작성이 시급한 상황임을 나타낸다.

이에 본 연구는 교통신호설계 및 운영 매뉴얼 작성을 위한 기반 조성의 일환으로 제어단위 교차로그룹의 설계 방법론 개발에 목적을 둔다.

2. 연구의 내용 및 범위

본 연구는 신호교차로 연동의 효율성 제고를 위해 제어단위 교차로그룹의 설계 방법론 개발에 중점을 두고 있다. 설계 고려사항의 선정 및 적용에 있어 기존 연구내용을 기반으로 개별요소의 종합적 설계 적용 방법론 개발에 의의를 두었으며, 개별 요소에 대한 기준정립은 연구내용에 포함하지 않는다.

또한 교차로 신호운영은 제어대상의 유형에 따라 네트워크와 교통축으로 구분되며, 제어단위 교차로 그룹의 설계에 있어 차별화된 방법론이 요구되므로 본 연구에서는 교통축에서의 제어단위 교차로그룹 설계만을 연구대상으로 하였다.

II. 본 론

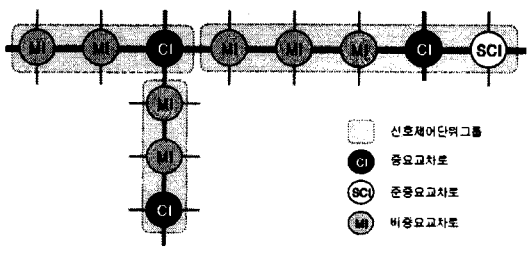
1. 선행 연구 고찰

제어단위 교차로그룹의 설계 및 운영과 관련한 선행연구의 고찰은 현재 국내에서 운용되고 있는 가장 발달된 형태의 실시간 신호제어시스템인 신신호시스템(COSMOS: Cycle, Off-set, Split, MOdel of Seoul)을 대상으로 하였다.

신신호시스템에서는 유사한 교통특성을 나타내는 신호교차로를 단일의 제어단위로 설정하고, 이를 Sub Area(SA)로 지칭하고 있다. 이는 신호교차로의 연동운영을 통한 네트워크의 효율성 제고를 목적으로 하며, <그림 1>과 같이 단일의 중요교차로와 복수의 준중요교차로 및 비중요교차로로 구성된다.

설계요소는 교차로의 서비스수준과 기하구조로 정의되며, <표 1>과 같이 설계 요소의 점수화로 대안을 구성하여 교통전문가의 의견수렴 및 미시적 시뮬레이션을 거쳐 최종 설계안을 도출하고 있다.

그러나 설계요소의 구체적인 적용방안은 마련되어 있지 못한 상황에 있다.



<그림 1> 신신호시스템의 SA 구성

<표 1> Sub-Area의 설계기준 및 운영

구 분	내 용
설계 기준	▪ 교통특성 요소 - 교통량, 통행속도, 도로의 기능 ▪ 기타 물리적 요소 - 불법주정차, 기하구조 등 ▪ 미시적 시뮬레이션 결과 ▪ 전문가 의견 수렴
운영 기준	▪ 1~10개 교차로로 구성 ▪ 교차로 위계에 따른 기능정의 - 중요, 준중요, 비중요 교차로

2. 설계 고려요소

제어단위 교차로그룹의 설계 시 고려요소는 <표 2>과 같이 물리적 요소, 교통특성 요소, 기타 요소로 구분된다.

첫째, 물리적 요소는 교차로간 거리와 특이 교통시설의 유형 및 위치로 정의되며, 이는 차량군 분산 및 교통흐름의 단절로 인한 연동효과 저하를 방지하는데 목적이 있다.

둘째, 교통특성 요소는 교통류의 이동방향과 구간 통행속도, 도로의 위계로 구성되며, 이는 동일한 교통특성을 유지하기 위해 고려되어 졌다.

셋째, 기타 요소는 도로구간의 행정경계로서 신호운영주체인 지자체 및 경찰서의 경계를 고려하였다.

<표 2> 제어단위 교차로그룹 설계 고려요소

고려 요소	설계 시 고려내용
물리적 요소	▪ 교차로간 거리 ▪ 총 연동거리 ▪ 특이 교통시설 유형·위치 - 라운드어바웃, 철도건널목 등
교통특성 요소	▪ 교통류의 이동방향 ▪ 도로의 위계
기타 요소	▪ 도로구간의 행정경계 - 지자체 및 경찰서 경계

3. 설계 요소의 적용방안

1) 물리적 요소

연동효과 제고를 위한 신호교차로간 거리 기준은 <표 3>와 같이 국내의 경우 600m에서 800m 이상일 경우 신호연동효과가 떨어지는 것으로 보고되고 있으며, FHWA의 MUTCD에서는 약 800m 이상 시 교차로 간 교통 흐름이 단절되는 것으로 보고 있다.

교차로간 거리는 차량의 신호교차로 도착형태에 있어 차량군 분산의 정도를 결정하는 중요한 요인으로 작용하게 되며, 또한 도로구간의 토지이용 상황에 따라 주변 세가로의 교통량 유입으로 연동효과를 저해하는 요인으로 작용한다.

또한 연동의 효과는 제어단위 교차로그룹의 총 거리에 영향을 받게 되며, 앞서 기술한 차량군의 분산 등과 동일한 요인이 고려되어 진다.

제어단위 교차로그룹의 설계에 있어 물리적 고려요소로서 교차로간 거리 기준은 600m ~ 800m, 총 연동거리는 2.0km 이하로 적용하며, 설계 시 도로구간의 토지이용상황 등을 고려하도록 한다.

<표 3> 교차로간 거리의 적용기준

관련문헌	적용기준
서울시 실시간 신호제어시스템	600m 이하
경찰청 교통신호기 설치·관리 매뉴얼	800m 이하
Manual on Uniform Traffic Control Devices	800m 이하
NCHRP Reprot 3-18	760m 이하

효율적 교차로 연동을 위한 물리적 설계요소의 두 번째 고려사항은 특이 교통시설의 유형 및 위치이며, 교통흐름의 단절로 인한 연동효과의 효율성 저하를 예방하기 위한 목적을 가진다.

특이 교통시설은 라운드어바웃, 철도건널목, 입체교차로 상·하부의 회전교통류를 위한 신호교차로, 고속도로 진출입시설 등이 해당된다. 이들은 <표 4>와 같이 개별시설의 설치목적과 중요도, 교통특성 등에 따라 제어단위 교차로그룹 내 포함여부 및 연계운영 여부가 결정되어 져야한다.

<표 4> 특이 교통시설의 유형

관련문헌	적용기준
독립운영 교통시설	▪ 라운드어바웃 ▪ 철도건널목
연계운영 교통시설	▪ 고속도로 진출입 시설 ▪ 5지 이상의 다지교차로 ▪ 입체교차 상하부 신호교차로

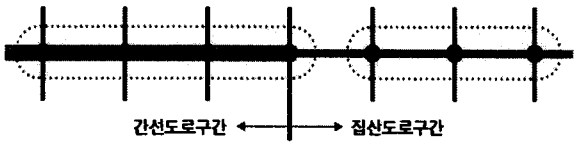
2) 교통특성 요소

제어단위 교차로그룹 설계 시 고려되어 져야할 교통특성 요소는 교통류의 이동방향과 도로 위계로 구분되며, 이는 개별 제어단위 교차로그룹이 동일한 교통흐름의 유지를 위한 요소이다.

교통류의 이동방향은 연동방향의 결정을 위해 고려되는 요소로서 접근로별 직진교통류의 비율로서 표현 가능하다.

도로는 위계에 따라 간선도로, 집산도로, 국지도로로 구분되며, 이는 도로기능에 따라 이동성과 접근성의 차이로 정의된다. 또한 도로교통법 상의 분류체계에 따르면 도로는 일반국도, 지방도, 특별시도, 광역시도, 시도, 군도, 구도로 구분되며, <표 5>에서와 같이 도로의 위계에 따라 기능, 특성, 유형 파악이 가능하다.

도로기능에 따른 설계기준은 제어단위 교차로그룹 설계시 교통특성에 따른 신호제어전략의 연속성 유지를 위해 <그림 2>와 같이 단일 그룹 내에는 동일한 도로위계 만을 가지도록 한다.



<그림 2> 제어단위 교차로그룹 설계 예시

<표 5> 도로의 위계에 따른 특성 및 유형

도로위계	기능	교통수요	통행속도	도로유형
간선도로	이동성	높음	높음	일반국도 지방도
집산도로	이동성 접근성	중간	중간	지방도 시도 군도
국지도로	접근성	낮음	낮음	구도

3) 기타 요소

현재 신호교차로의 운영은 도로교통법 제 3조 및 제 147조에 따라 지자체와 경찰에서 관할하게 된다. 이때 단일 제어단위 교차로그룹에 복수의 지자체가 신호운영을 관할할 경우 연동운영을 통한 효율성 확보에는 현실적인 어려움이 따른다.

따라서 제어단위 교차로그룹 운영의 일관성을 유지하고, 시스템 운영의 행정적 효율성 확보를 위해 지자체 및 경찰서의 경계가 제어단위 교차로그룹 내에 포함되지 않도록 한다.

4) 정량적 지표분석

제어단위 교차로그룹의 효율성에 대한 정량적 분석을 위해 연동효과의 파악에 일반적으로 이용되는 Coupling Index를 적용하였다.

Coupling Index는 연속된 신호교차로의 잠재적 연동효과를 파악하고, 제어단위 교차로그룹의 공간적 기준을 제시해 주는 정량적 지표로서 이용되고 있다. 상기 제시한 물리적, 교통특성, 기타 요소를 이용하여 제어단위그룹에 대한 복수의 대안들을 도출하며, 이에 대한 평가와 최적안의 선정에 이용가능하다. Coupling Index는 뉴턴의 중력법칙을 기반으로 하며, 변수로 활용되는 자료의 취득 용이성과 분석방법의 편리성 등으로 인해 교차로 신호설계에 일반적으로 이용되고 있다.

Coupling Index는 (식 1)과 같이 교통량과, 거리에 의해 지표가 산출되며, 그 결과에 따라 연속된 일련의 신호교차로간 계략적인 신호연동의 효과가 예측가능하다.

$$CI = 2589\frac{V}{D^2} \qquad \text{(식 1)}$$

CI : Coupling Index

V : 양방향 교통량(vph)

D : 교차로간 거리(m)

Coupling Index의 결과는 다음 <표 6>의 기준에 따라 해석되어진다. Coupling Index의 결과가 50 이상일 경우 매우 적극적 연동이 고려되어 져야하며, 50과 1 사이는 연동효과가 있는 것으로 해석 가능하다. 또한 Coupling Index의 수치가 1 보다 작을 경우 그 효과는 미미한 것으로 판단 가능하다.

제어단위 교차로그룹의 설계에 있어 Coupling Index의 적용방식은 상기 요소를 고려하여 작성된 대안에 교차로별 CI 수치를 합산하여 최적대안을 선정하며, CI 수치는 상대적 비교에 한해 이용된다.

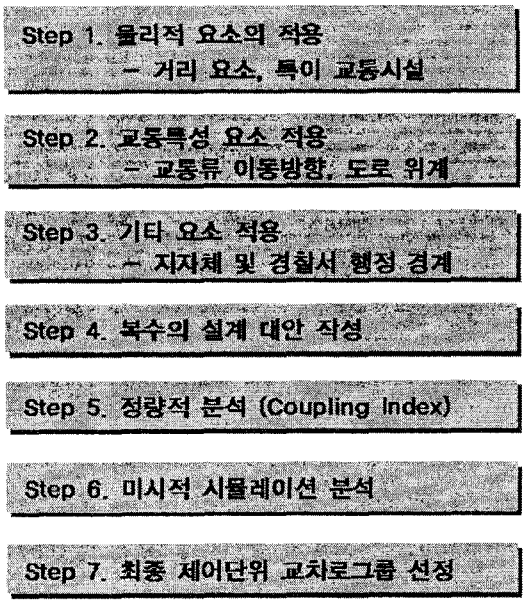
<표 6> Coupling Index의 결과해석

CI 결과	연동효과
CI ≥ 50	연동효과 매우 우수
1 < CI < 50	연동효과 있음
CI ≤ 1	연동효과 미미

5) 적용과정

제어단위 교차로그룹(Sub-Area)의 설계과정을 <그림 3>와 같이 총 7단계로 제시하였다. 적용과정은 물리적 요소와 교통특성 요소, 기타 요소를 적용하여 복수의 설계 대안을 작성하며, 정량적 분석을 위해 Coupling Index의 적용한다.

또한 미시적 시뮬레이션 분석을 통해 최종 제어단위 교차로그룹 설계 대안을 도출한다. 여기에서 미시적 시뮬레이션(Micro-scopic Simulation)은 특이 교차로로 인한 영향파악을 위해 필히 요구된다.



<그림 3> 제어단위 교차로그룹의 설계과정

Ⅲ. 설계 요소의 모의적용

제어단위 교차로그룹 설계 방법론을 일반국도 3호선 중 경기북부의 일부구간에 대해 적용하였다. 이는 본 설계 방법론이 축 제어를 위한 제어단위 교차로그룹 설계를 대상으로 하고 있으며, 국내의 국도 특성상 축 개념의 제어가 요구되기 때문이다.

모의적용을 위한 설계대상은 약 11km 구간에 총 23개의 신호교차로가 존재하며, 직진교통량이 상대적으로 높은 특성을 가지는 지역이다. 적용결과는 <표 7>과 같이 총 3개의 제어단위 교차로그룹과 총 3개소의 독립운영 신호교차로로 구분되었으며, 독립운영 교차로의 경우 장대한 교차로간 거리와 낮은 Coupling Index 값을 나타내었다.

본 설계방법론의 적용에 있어 교차로간 거리는 최대 800m, 총 연동거리는 2km를 초과하지 않도록 하였다. 또한 대상구간 내에 특이형태의 교통시설 및 행정 경계등은 존재하지 않아 이로 인한 제어단위 교차로그룹의 분리는 적용되지 못하였다.

<표 7> 설계요소의 모의적용 결과

교차로 번호	교차로 간거리 (m)	연동 거리 (m)	직진 교통류 비율	CI	SA
1	-	1,455	0.7	-	SA1
2	100		0.9	48	
3	500		0.8	17	
4	350		0.6	26	
6	360		0.7	31	
7	145		0.9	41	
8	735	1,805	0.7	9	SA2
9	315		0.8	35	
10	220		1.0	12	
11	285		0.6	26	
12	135		1.0	37	
13	200		0.8	28	
14	270		0.6	42	
15	280		0.7	21	
16	1,665	-	0.6	7	독립
17	895	1,385	0.7	13	SA3
18	450		0.5	17	
19	120		1.0	66	
20	285		0.7	35	
21	530		0.6	21	
22	1,505	-	0.7	0.7	독립
23	1,720	-	0.6	0.5	독립

Ⅳ. 결 론

제어단위 교차로그룹의 설계방법론에 대한 연구결과 설계 고려요소를 물리적 요소, 교통특성 요소, 기타 요소로 구분하여 제시하였으며, 또한 Coupling Index를 이용한 정량적 분석과 미시적 시뮬레이션 분석을 통한 설계대안의 선정과정을 나타내었다.

물리적 요소는 신호교차로간 거리와 총 연동거리, 특이형태교통시설의 포함여부를 판단하는 과정이며, 교통특성 요소는 교통류의 이동방향과 도로 위계를 고려하는 단계이다. 또한 기타요소로서 교차로 신호운영의 행정적 효율성을 고려하였다.

본 연구는 교통신호설계 및 운영의 매뉴얼작성을 위한 기반조성의 일환으로 수행되었으며, 이를 위해 개별 설계요소에 대한 기준정립이 아닌 설계 고려요소 및 적용방법의 제시에 초점을 맞추었다.

향후 연구과제로는 본 설계 방법론에서 제시하지 못하고 있는 중요 교차로(Critical Intersection)의 선정과 TOD, TRC 등의 신호제어방식 결정에 관한 사항이 해당된다.

참고문헌

1. 김진태(2004), "국내 교통신호운영 효율성 증진방안 연구"
2. 경찰청(2005), "교통신호기 설치·관리 매뉴얼"
3. 경찰청(2004), "교통신호제어기 표준규격서"
4. 조준한(2004), "신호교차로 현시구성 기법에 관한 연구" 대한교통학회지, 제 22권 제5호, 대한교통학회, pp.20-21
5. 김영찬, 황연하(1999), "간선도로 신호연동화 효율의 평가를 위한 지체도 모형의 해석적 연구", 대한교통학회지, 제 17권 제 1호, 대한교통학회, pp.132
6. 서울지방경찰청 교통지도부(2001), "실시간 신호제어시스템 실무해설집", pp.14
7. Henry(2005), "Signal Timing on a Shoestring", pp.12-14
8. FHWA(2003), "Manual on Uniform Traffic Control Devices", pp.4D-12
9. David Hook(1990), "Comparison of Alternative Methodologies to Determine Breakpoints in Signal Progression", TRB 69th