

군집교차로 기법을 이용한 청계천 교차로 신호운영 개선

Improved Traffic Signal Operation at Cheongyecheon Signalized Intersections Using Grouped Intersection Control

오 인 숙

(도로교통안전관리공단
사원)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과
교수)

정 영 제

(서울시립대학교 교통공학과
박사과정)

목 차

I. 서론

II. 이론적 고찰

1. 군집교차로의 정의
2. 군집교차로의 제어전략
3. 군집교차로의 신호설계유형

III. 연구대상 교차로 분석 방법

1. 분석방법
2. 효과척도선정

IV. 연구대상 교차로 분석

1. 연구대상 교차로 선정 및 현황분석
2. 연구대상 교차로 현시대안
3. CASE별 신호시간 산정 및 시뮬레이션
분석결과
4. 결과분석

V. 결론 및 향후 연구과제

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

서울을 비롯한 대부분의 지역에서 일반적인 독립교차로에서 문제되지 않는 대기행렬 길이가 교차로간 거리가 가까운 인접교차로에서는 내부링크에 유입되는 교통량을 소화하지 못해 교통소통에 악영향을 끼치는 경우가 발생하고 있다. 인접해 있는 두개의 교차로에 서로 다른 신호시간을 산정하여 운영할 경우 연동 미흡으로 인해 정체가 가중되어 스�필백 현상이 발생하여 주변 교차로에 악영향을 끼칠 가능성이 있다. 대표적으로 청계천 복원사업이 끝난 후 청계천을 사이에 두고 상당수의 군집교차로가 형성되었다. 이러한 교차로들은 청계천 사이에 두고 60m내외의 간격을 형성하고 있어 잘못된 군집교차로 신호운영시 문제점이 발생할 가능성이 있다. 현재 청계천 교차로의 특성을 보면 동서간 좌회전 금지로 인한 우회거리 증가와 인접교차로 교통량 집중현상이 발생하고 있으며 남북간 짧은 내부링크의 길이로 인해 대기행렬 문제가 발생하고 있다. 따라서 효율적인

현시순서, 주기, 신호시간, 연동 값의 개선을 통한 차량소통 개선방안 연구가 필요하다. 본 연구에서는 군집교차로 신호운영 방안에 대해 중점적으로 연구하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 수행과정

본 연구의 공간적 범위로는 군소하천의 천변 도로에 의한 군집교차로 형태를 띄고 있는 청계7가 교차로를 대상으로 한다. 외부링크에서 진입한 차량들이 해당 현시 안에 내부링크를 빠져나가지 못하면서 대기 차량 수 증가, 지체 증가 등의 문제가 발생한다. 따라서 이러한 기하구조의 한계로 인한 문제점을 신호운영 측면에서 최소화할 수 있도록 효율적인 군집교차로 신호운영방안을 연구하도록 한다. 실제로 서로 인접해있는 군집교차로 분석 시 두 개 교차로의 신호시간을 각각 산정한 후 서로 연동시키는 방법을 사용해왔다. 그 결과 연동미흡으로 인해 정체가 가중되어 스�필백 현상이 발생했다. 따라서 군집교차로의 소통을 원활하게 할 수 있는 군집교차로 제어전략이 필요하다. 본 연구에서는 군집교차로 문제를 CASE별 분석을 통해

해결하고자 한다.

- CASE 1 : TRANSYT-7F를 이용하여 일반적인 군집교차로 신호시간 설계 방법을 통해 신호시간 산정
- CASE 2 : TRANSYT-7F를 이용하여 강제로 연동 값을 0으로 설정 후 신호시간 산정
- CASE 3 : TRANSYT-7F를 이용하여 비효용 지수(Disutility)에 대기행렬에 대한 부하계수(Queuing penalty)를 적용 후 신호시간 산정
- CASE 4 : 독립된 교차로들을 연동시키는 방법과 달리 두 개 교차로를 한 개 교차로로 가정하여 신호시간을 산정한다.

CASE별 산출된 신호시간으로 TSIS 5.0 이용해 시뮬레이션하고 효과적으로 지체도 비교 분석하여 군집교차로 신호운영 최적 방안을 산정한다.

II. 이론적 고찰

1. 군집교차로의 정의

두 개 이상의 신호 교차로가 인접해 있어서 교차로가 과포화상태가 아님에도 불구하고 교차로 간 내부링크의 저장 공간 부족으로 인해 스�필백 현상을 일으킬 가능성이 존재하는 교차로를 군집교차로라고 한다.

2. 군집교차로 제어전략

일반적인 교차로에서는 문제되지 않는 대기행렬 길이가 교차로 간 거리가 짧은 군집교차로에서는 하류부 교차로까지 영향을 끼쳐 스�필백 현상을 일으킬 수가 있다. 예를 들어 대기길이 q가 100m라 가정하면 두 개 교차로간 거리가 80m인 군집교차로의 경우 대기길이가 내부링크 길이를 초과하여 하류부 교차로에까지 영향을 주게 되어 교통 소통을 방해하게 된다. 이와 반대로 일반 교차로에서는 교차로간 거리가 충분하여 전혀 문제가 되지 않는다. 이를 해결하기 위한 군집교차로 제어전략의 목표는 인접해 있는 두 개 교차로의 내부링크 용량을 초과하지 않으면서 주어진 신호시간 내에 통과할

수 있는 차량 수를 최대화시키는데 있다. 제어 목표를 달성하기 위해서 다음의 제어전략을 만족시켜야한다.

- 1) 내부링크 용량을 초과하여 하류부 교차로를 가로막지 않도록 내부링크의 대기차량 수를 최소화 한다.
- 2) 두 개의 군집교차로를 이용하는 차량의 정지지체를 최소화한다.
- 3) 두 개의 군집교차로를 효과적으로 연동화 한다.

- 내부링크의 대기차량 수 최소화

두개의 교차로가 매우 인접해 있어서 내부링크의 차량 진출이 원활하지 않으면 하류부 교차로에까지 영향을 주게 되어 스�필백 현상이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해서는 내부링크에 유입된 차량이 완전히 빠져나갈 수 있는 신호제어전략을 세워 내부링크의 대기차량 수를 최소화 시켜야한다.

- 교차로 정지지체의 최소화

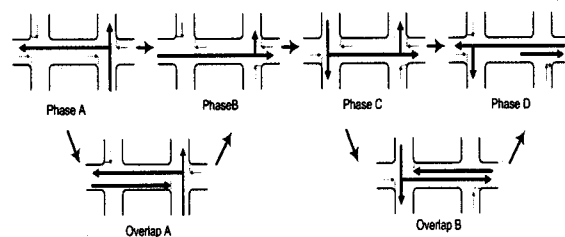
군집교차로 제어전략을 통해서 부수적으로 얻어지는 효과로 효율적인 현시순서, 주기, 신호시간, 연동 값 조정을 통해 교차로의 정지지체를 최소화시킨다.

- 교차로 간 효과적인 연동화

인접한 두개의 교차로지만 한 개의 교차로를 통과하는 것과 같은 효과적인 연동화 운영을 통해 군집교차로 제어목표를 이룰 수 있다.

3. 군집교차로 신호설계유형

군집교차로 제어 목표 중 하나인 내부링크의 대기차량수를 최소화하기 위해 내부링크에 대기하고 있는 차량들을 다음 현시에서 바로 통과 시킬 수 있도록 현시 구성을 하여야 한다. 군집교차로의 대표적인 경우로 <그림 1>과 같은 다이아몬드 인터체인지를 들 수 있다.



<그림 1> 다이아몬드 인터체인지 (4 Phase with 2 Overlap)

<그림 1>에서 보면 Phase A와 Phase B 사이에 Overlap A가 구현된다. Overlap A는 외부링크에서 내부링크로 차량들이 진입(외부현시)하게 된다. 내부링크에 대기하고 있는 차량들은 Phase B에서 신호(내부현시)를 받고 교차로를 통과하게 되면서 내부링크의 대기차량과 지체를 최소화 시킬 수 있게 된다.

- 내부현시 : 내부링크에 대기하고 있는 차량들을 외부링크로 유출시키는 현시
- 외부현시 : 외부링크에서 내부링크로 진입시키는 현시

III. 연구대상교차로 분석방법

1. 분석방법

군집교차로 신호시간 설계를 위한 방법으로 TRANSYT-7F를 이용해 CASE별 신호시간 산정하는 방법과 군집교차로 기법을 이용해 신호시간 산정하는 방법을 사용한다. 산출된 신호시간을 바탕으로 시뮬레이션 프로그램인 TSIS 5.0을 사용한다. 효과척도로 지체도를 제시하고 CASE별 효과척도 비교 분석을 통해 효율적인 군집 교차로 운영 방안을 연구하기로 한다. 군집교차로 신호시간 설계를 위해 실시할 방법은 다음과 같다.

1) CASE 1

: TRANSYT-7F를 이용하여 일반적인 군집 교차로 신호시간 설계 방법을 통해 신호시간 산정

실제로 군집교차로 분석 시 각각 교차로들의 주기, 신호시간, 연동 값 산출 후 서로 연동화시키는 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서도 이러한 일반적인 방법으로 두 개 교차로를 연동시키는 일반적인 군집교차로 신호시간 설계 방법을 이용한다.

2) CASE 2

: TRANSYT-7F를 이용하여 강제로 연동값을 0으로 설정 후 신호시간 산정

강제로 Offset값을 0으로 설정하여 내부링크에 대기하고 있는 차량들을 동시에 유출시키도

록 한다. 이를 TRANSYT-7F에 적용시키기 위해 연동 값의 기준이 되는 현시에 Interval값을 설정해주고 부교차로(Secondary Node)를 음수(Negative(-))로 설정해준다.

3) CASE 3

: TRANSYT-7F를 이용하여 비효용지수(Disutility Index)에 대기행렬에 대한 부하계수(Queuing penalty)를 적용 후 신호시간 산정

일반적으로 'Record Type 5X' 카드를 사용할 때 정지와 지체에 대한 비효용지수(이하 DI)를 적용시켜 최적화 신호시간을 산출한다. 이때 TRANSYT-7F에서는 정지, 지체 등을 나타내는 비효용지수를 최소화 시키는 신호시간 설계를 하게 된다. 본 연구에서 비효용지수에 추가적으로 대기행렬에 대한 부하계수(이하 QP)를 적용시켜 내부링크 용량을 초과하여 접근로나 배이가 대기행렬을 수용하지 못하는 스�펼백 현상을 최소화 시키도록 한다. TRANSYT-7F에서의 비효용지수 산정 방법은 다음과 같다.

$$DI = \sum_{i=1}^n \{ (w_d d_i + K w_s S_i) + U_i (w_{d,i} d_{i-1} + K w_{s,i} S_{i-1}) \} + QP \dots \dots \dots (1)$$

여기서,

DI = 비효용 지수(Disutility Index)

d_i, d_{i-1} = i 링크에서의 지체, i 링크 상류교차로인 $i-1$ 링크에서의 지체

K = 정지에 대한 부하계수(stop penalty)

S_i, S_{i-1} = i 링크에서의 정지, i 링크 상류교차로인 $i-1$ 링크에서의 정지

w_x = $i, i-1$ 링크에서의 정지와 지체에 대한 가중치

U_i = 이진수 변수

(1 = 가중치 부여함, 0 = 가중치 부여 안함)

QP = 대기행렬에 대한 부하계수(Queuing penalty)

식(1)과 같이 $i, i-1$ 링크에서 지체(d_i, d_{i-1})와 정지(S_i, S_{i-1}), QP 를 통해 DI 가 결정된다.

$$QP = QB_i W_q (q_i - qc_i)^2 \dots \dots \dots (2)$$

여기서,

Q = 이진수 변수

(1 = *DI*에 Queuing penalty 적용함, 0 = 적용안함)

B_i = 이진수 변수

(1 = 용량을 초과한 최대 대기행렬, 0 = 적용안함)

W_q = 교차로 폭에 대한 부하계수

q_i = *i*링크에서의 최대 대기행렬길이

qc_i = *i*링크에서의 대기행렬 용량

식(2)에 의하면 최대 대기행렬길이(q_i)가 대기행렬용량(qc_i)를 초과하면 *QP*가 커지게 된다. 이때 식(1)에서 *DI* 산정 시 정지(S_i)와 지체(d_i) 외에 추가적으로 *QP*이 적용하면 *DI*도 커지게 된다. 이때 TRANSYT-7F에서는 정지(S_i)와 지체(d_i), *QP*가 적용된 *DI*를 최소화시키면서 신호시간 산정을 하게 된다. 이를 TRANSYT-7F에서 적용시키기 위해 'Record Type 52'의 *DI*항목에 *QP*적용을 의미하는 '1'을 입력한다.

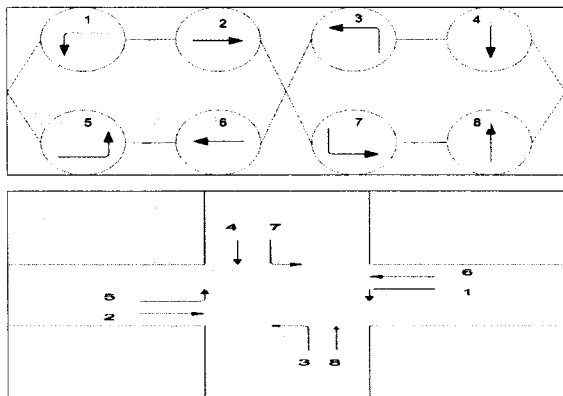
4) CASE 4

： 균집교차로 기법을 이용한 신호시간 산정

일반적으로 균집교차로 분석 시 두 개 교차로를 연동시키는 방법과 달리 두 개 교차로를 한 개 교차로로 가정하여 현시순서, 주기, 신호시간, 연동 값을 산정하는 방법으로 내부링크와 외부링크의 대기 차량수와 지체를 줄여 균집교차로 운영 효율을 높이는 방법이다. 산정방법은 다음과 같은 순서로 진행된다.

(1) 각 교차로별 최적 신호주기 산정을 통해 공통 신호주기 *C* 설정한다.

본 연구의 현시번호는 NEMA방식으로 부여하여 공통주기를 산정한다.



<그림 2> NEMA방식 현시번호

신호시간 계획에 있어 신호운영의 효율을 극대화시키기 위해서는 현시 이용율이 가장 높은, 즉 이동류의 교통량비가 가장 큰 값을 기준으로 주기 결정을 한다. Barrier를 기준으로 같은 공간을 이용하면서 서로 상충되는 현시끼리 교통량비(y_i)를 구한 후 이중 가장 높은 값을 임계차로로 선정하여 $\sum y$ 값을 산출한다. 이 값을 Webster식에 적용시켜 최적 주기를 결정한다.

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

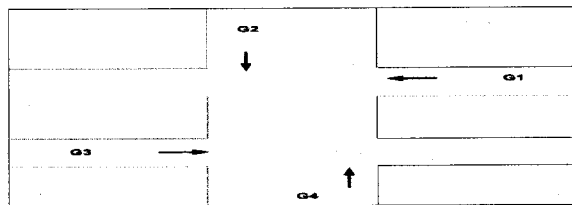
C_o = 지체를 최소로 하는 최적주기(초)

L = 주기 당 총 손실시간으로서 주기에서 총 유효녹색시간을 뺀 값이다. (어떤 문헌에는 총 손실시간을 총 황색신호시간으로 한다. 이번 연구에도 총 황색 신호시간 값으로 산출하였다.)

y_i = *i*현시 때 주 이동류의 교통량 비(교통량/포화 교통량(*v/s*))

Webster방법은 최적주기 부근인 $0.75C_o \sim 1.5C_o$ 의 범위 내에서는 지체가 그다지 크게 증가하지 않으므로 두 교차로에 적절한 공통 주기 산정을 한다.

(2) 외부링크들을 접근로로 갖는 가상의 교차로 설정
인접한 두개의 교차로를 한 개의 교차로로 가정하여 외부링크(G_1, G_2, G_3, G_4)들을 접근로로 갖는 가상의 교차로를 설정한다.



<그림 3> 가상의 교차로 설정

(3) 외부링크 교차로 신호주기 결정

외부링크의 교차로 신호주기를 결정하기에 앞서 외부링크 이동류 간의 중첩현시를 구해야한다. 외부링크의 중첩현시 시간은 두 교차로간의 통행시간으로, 두 교차로간의 거리와 교차로 접근속도를 고려하여 산정한다. 이 중첩 현시 시

간은 두 교차로간의 Offset 값이 되는 것이다. 여기서 중첩현시 시간은 주기 값에 포함되지 않는다.

$$\sum_{i=1}^N G_i = C + \Phi \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

G_i = 현시 i의 녹색시간과 황색시간의 합

C = 교차로 공통주기

Φ = 중첩현시

(4) 외부링크 녹색시간 결정

주기 값에 포함되지 않는 중첩현시 시간을 고려하여 외부링크 녹색시간을 산정한다.

$$g_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^N y_i} (C + \Phi - L) \dots\dots\dots (5)$$

여기서,

g_i = 외부 이동류 i의 유효녹색시간

y_i = i현시 주 이동류의 교통량비, 즉 교통량/포화 교통량

$$\sum_{i=1}^N y_i = \text{전체 외부이동류의 교통량비 합}$$

(5) 내부링크 녹색시간 결정

내부링크의 녹색시간은 인접해 있는 두개의 교차로 중 한 개 교차로의 주기 값에서 외부링크 이동류의 녹색시간을 뺀 값과 같다.

$$G_i = C - (G_n + G_m) \dots\dots\dots (6)$$

여기서,

G_i = 현시 i의 녹색시간과 황색시간의 합

G_n = 외부 이동류 현시 n의 녹색시간과 황색시간의 합

G_m = 외부 이동류 현시 m의 녹색시간과 황색시간의 합

2. 효과척도 선정

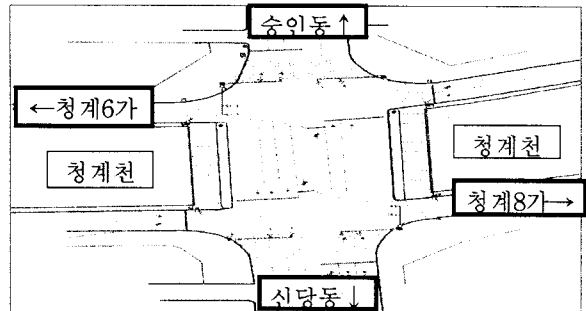
본 연구에서는 CASE별 산정된 신호시간 비교 분석을 위해 TISIS 5.0의 단속류 시뮬레이션 모형인 NETSIM을 사용하고 효과척도로 내부링크와 외부링크의 지체도(sec/veh)를 사용한다. CASE별 지체도 비교분석을 통해 효율적인 군집교차로 운영 방안을 제시한다. 본 연구의 분석 결과는 IV에서 제시하기로 한다.

IV. 연구 대상교차로 분석

1. 연구 대상교차로 선정 및 현황분석

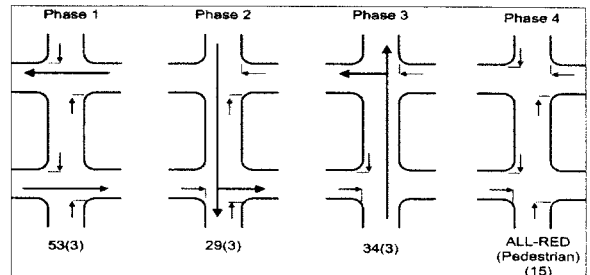
1) 현황분석

청계7가 교차로는 동서간 편도 2차로 일방통행이며, 주 이동류인 남북간은 편도 3차로의 양방 통행로이다. 두 신호교차로간 거리는 60m로 매우 짧아 두개의 교차로 간 내부링크 저장 공간 부족으로 인해 교차로가 과포화가 아님에도 스�필백 현상이 발생해 인근 교차로에 영향을 끼칠 가능성이 크다. 청계7가 교차로는 남북간 직진과 좌회전 공유차선이 설치되어 좌회전이 허용되고 있으며 동서간 좌회전 금지로 운영되고 있다.



<그림 4> 청계7가(다산교) 교차로 기하구조

청계7가(다산교) 현시 현황은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 청계7가(다산교) 교차로 현시 현황

<그림 5> 현시 현황을 보면 Phase 2 북→남 방향으로 직진 시 반대차선에서 남→북 방향으로 진행하기 위해 다산교위에 대기하고 있는 차량들은 Red신호를 받고 있어서 내부링크에 대기 중인 차량들을 유출시키지 못하고 있다. 이는 일방통행으로 운영되고 있어 좌회전이 금지되고 있지만 하부교차로의 신호등과 같은 4색신호등 설치로 인해 발생되고 있는 문제점이다.

2) 문제점 분석

청계7가 교차로는 동서간 좌회전이 허용되지

않아 다른 방향으로 이동하기위해 인근 교차로를 이용하거나 P-Turn방식을 이용해야한다. 이로 인해 우회거리 증가와 인접교차로의 교통량 집중현상이 나타나고 있다. 그리고 두 개의 교차로간 거리가 약 60m로 매우 근접해있어 차량의 대기 공간이 부족한 상태이다. 차량 대기 공간이 부족하여 발생할 수 있는 스피백 현상을 줄이기 위해서 내부링크의 차량들을 효율적으로 처리해야 한다. 그러나 현행 현시에서는 동서간 일방통행도로로 좌회전이 허용되지 않는데도 4색 신호등이 설치되어있어 운전자에 혼동을 주고 있으며 내부링크 차량들의 적절한 처리가 되지 않고 있다. 이를 개선하기 위해 동서간 좌회전 현시 부여 후 효율적인 현시 순서를 설계하여 좌회전 금지로 인해 발생하는 문제점을 해결하고 신호등 교체를 통해 균집교차로 효율적인 신호운영이 이루어져야 할 것이다.

2. 연구 대상교차로 현시대안

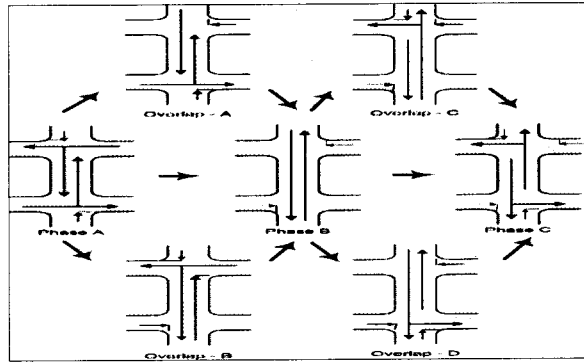
현재 청계7가 교차로는 남북간 좌회전만 허용하고 있는 매우 단순한 현시구조를 가지고 있다. 균집교차로 분석 효과를 좀 더 심도 있게 연구하기 위해 동서간 좌회전 현시를 부여하고 최대한 현재의 기하구조 및 시설물을 이용하기로 한다. 그리고 내부링크 저장 공간이 용량을 초과하지 않도록 현시 설정을 하며 두 교차로를 효율적으로 연동시켜 한 개의 독립교차로처럼 운영하도록 한다. 동서간은 현재 편도 2차로로 좌회전 차량의 대기 공간 부족하므로 좌회전 차로와 직진 차로 공유하도록 한다. 현재 4색 신호등 설치로 인해 내부링크에 대기하고 있는 차량들이 외부링크로 진출하지 못하는 문제를 해결하기 위해 3색등으로 교체한다. 그리고 A 교차로와 B 교차로 사이의 내부링크가 용량을 초과하지 않고 내부링크에 진입한 직진 차량의 연속진행이 가능하도록 현시구성을 한다.

<표 1> 청계7가 교차로 현시대안

방 향	위 치	Phase 1	Phase 2	Phase 3
A	북향	←	↑	↗
	남향	→	↓	↙
B	북향	←	↑	↗
	남향	→	↓	↙

<표 1>의 현시대안을 기본으로 균집교차로 내부링크의 대기행렬을 최소화하면서 내부링크에 유입되는 교통량에 따라 표출될 수 있는 현시체계 및 Overlap은 <그림 6>과 같다.

<그림 6>은 3 Phase with 2 Overlap형태로 Overlap A~D는 기본현시인 Phase A~C에서 발생할 수 있는 Overlap을 나타낸 것이다. 내부링크에 진입한 차량들 중 상대적으로 교통량이 많은 이동류가 먼저 내부링크를 통과할 수 있도록 Overlap 현시를 통해 외부링크로 유출시키는 방법이다.



<그림 6> 청계7가 교차로 개선 현시도

3. CASE별 신호시간 산정 및 시뮬레이션 분석 결과

본 절에서는 <표 1>의 현시 대안을 바탕으로 제3장에서 제시한 CASE별 균집교차로 신호시간 산정을 하고 TSIS 5.0을 이용해 시뮬레이션 결과를 확인해 보도록 한다.

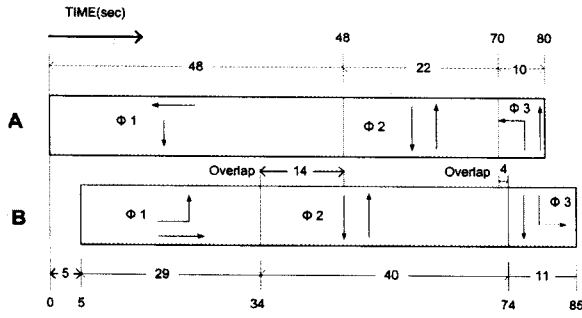
1) CASE 1

TRANSYT-7F를 이용하여 서로 인접하여 단독교차로로 운영되고 있는 두 개의 교차로를 연동시키는 일반적인 균집교차로 신호시간 산정 방법을 이용하고 TSIS 5.0을 통해 시뮬레이션 결과를 확인해 보도록 한다.

(1) TRANSYT-7F를 이용한 신호시간 산정 기본적인 현시 구성은 <표 1>을 바탕으로 TRANSYT-7F를 통해 신호시간 산정을 하였다.

<표 2> TRANSYT-7F 분석결과 - CASE 1

교차로	주기	연동값	신호시간		
			Φ 1	Φ 2	Φ 3
A	80	0	48	22	10
B		5	29	40	11



<그림 7> 군집교차로 신호시간계획- CASE 1

(2) TSIS 5.0을 이용한 시뮬레이션 결과

Overlap시 A 교차로에서 외부 현시 신호시간과다 표출로 북→남 방향 교차로 내부링크는 비어 있고 반대편 내부 링크 안에는 B 교차로 신호에 의해 진입한 차량들과 내부링크에 대기하고 있는 차량들로 인해 링크 용량을 초과해 스�필백 현상이 일어났다. 내부 현시 신호시간과다 표출로 인해 동서 방향의 외부 현시의 차량 대기시간이 증가하고 이로 인해 한 주기 안에 차량들이 교차로를 통과하지 못하는 경우가 발생하였다.

2) CASE 2

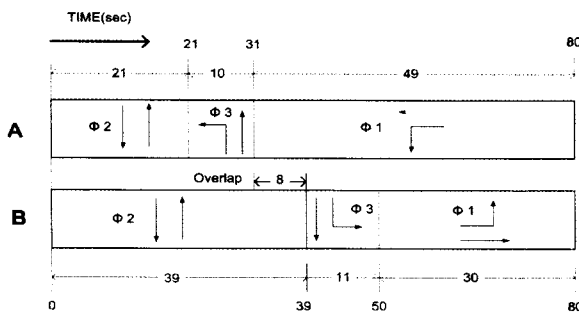
TRANSYT-7F를 이용하여 청계7가의 주 이동류인 남북간 차량들이 동시에 내부링크를 빠져나갈 수 있도록 남북간 직진 현시에 강제로 연동값을 0으로 설정한다. 산출된 신호시간으로 TSIS 5.0을 통해 시뮬레이션 결과를 확인해 보도록 한다.

(1) TRANSYT-7F를 이용한 신호시간 산정

기본적인 현시 구성은 <표 1>을 바탕으로 TRANSYT-7F를 통해 신호시간 산정을 하였다.

<표 3> TRANSYT-7F 분석결과 - CASE 2

교차로	주기	연동값	신호시간		
			Φ 1	Φ 2	Φ 3
A	80	0	49	21	10
B		0	30	39	11



<그림 8> 군집교차로 신호시간계획 - CASE 2

(2) TSIS 5.0을 이용한 시뮬레이션 결과

A, B 교차로의 남북간 직진 신호가 동시에 시작되면서 외부링크(북→남)에서 내부링크로 지속적으로 차량이 유입된다. 그 결과 B교차로에서 내부 현시 좌회전 신호가 시작되기까지의 대기시간으로 차량의 대기행렬이 내부링크를 넘어서는 스�필백 현상이 발생했다. 반대로 외부진입 차량들은 원활한 소통을 보여주고 있다.

3) CASE 3

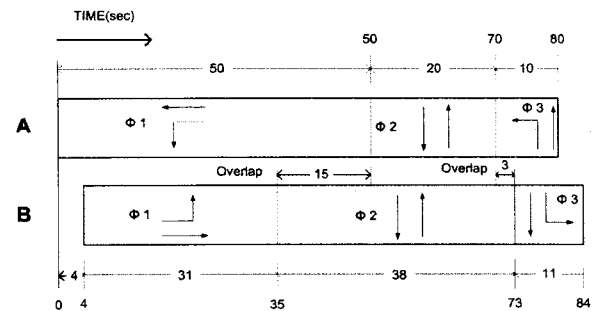
일반적으로 TRANSYT-7F의 'Record Type 5X'카드에서 DI에 정지와 지체를 적용시켜 최적화 신호시간을 산출한다. 본 연구에서는 DI에 정지와 지체, 추가적으로 QP를 적용하는 방법을 통해 내부링크 용량을 초과하여 접근로나 베이가 대기행렬을 수용하지 못하는 스�필백 현상을 최소화시키도록 한다.

(1) TRANSYT-7F를 이용한 신호시간 산정

기본적인 현시 구성은 <표 1>을 바탕으로 TRANSYT-7F를 통해 신호시간 산정을 하였다.

<표 4> TRANSYT-7F 분석결과 - CASE 3

교차로	주기	연동값	신호시간		
			Φ 1	Φ 2	Φ 3
A	80	0	50	20	10
B		4	28	38	11



<그림 9> 군집교차로 신호시간계획 - CASE 3

(2) TSIS 5.0 시뮬레이션 결과

대체적으로 내부링크 대기행렬이 줄어들어 원활한 소통을 보였다. 그러나 내부링크로 유입되는 교통량이 증가할 경우 남→북 방향 내부링크에 이미 대기하고 있는 차량들과 B교차로에서 유입되는 차량들이 내부링크에 쌓이면서 스�필백 현상이 나타났다. 이는 먼저 내부링크에 유입된 차량이 바로 유출될 수 있도록 신호현시가 연속적으로 표출되지 않아 조금만 유입교통량

이 증가하면 스피백 현상이 발생한 것이다.

4) CASE 4

일반적으로 두 개 교차로를 연동시키는 방법과 달리 두 개 교차로를 한 개 교차로로 가정하여 현시순서, 주기, 신호시간, 연동 값을 산정하는 방법으로 내부링크와 외부링크의 대기차량 수, 지체를 줄여 균집교차로 운영 효율을 높이는 방법이다. 기본적인 현시 구성은 <표 1>를 바탕으로 TRANSYT-7F를 통해 신호시간 산정을 하였다. 공통 신호주기를 산정하기 위해서 각 이동류에 NEMA방식으로 번호를 부여하고 두 개 교차로의 최적 주기산정을 한다. 신호시간 계획에 있어 신호운영의 효율을 극대화시키기 위해서는 현시 이용율이 가장 높은, 즉 이동류의 교통량비가 가장 큰 값을 기준으로 주기 결정을 한다.

<표 5> 공통주기 산정 - A 교차로

A 교차로	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
교통량	178	-	51	505	-	710	-	533
포화교통류 율	1867	-	1965	5357	-	2000	-	5435
교통량비 (y)	0.095	-	0.026	0.094	-	0.355	-	0.098
임계차로 선정	0.095		0.120			0.355		0.098
Σy	0.475							

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum y} = 55$$

<표 6> 공통주기 산정 - B 교차로

B 교차로	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
교통량	-	272	-	505	68	-	83	533
포화교통류 율	-	2000	-	3778	1836	-	1943	2002
교통량비 (y)	-	0.136	-	0.134	0.037	-	0.043	0.266
임계차로 선정		0.136		0.134	0.037			0.309
Σy	0.445							

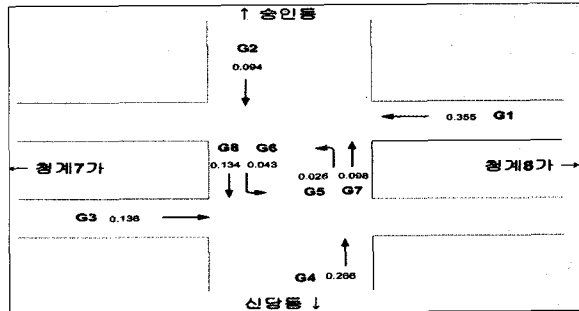
$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum y} = 52$$

Webster식을 이용해 최적 주기를 산출한 결과 A교차로는 55초, B교차로는 52초로 매우 낮은 값이 나왔다. 이를 보정하기 위해 지체가 그다지 크게 증가하지 않는 최적주기의 $\frac{3}{4} C_o \leq C \leq \frac{3}{2} C_o$.

범위 내에서 공통주기 80초를 산출하였다. 다음으로 산출된 공통 주기를 바탕으로 내부링크와 외부링크, 중첩현시의 신호시간 산정을 한다. 교차로 접근속도 30km/h일 때 내부링크 60m의 통행시간은 7초로 결정된다. 이때 내부링크의 통행시간 7초는 중첩현시 시간(Φ)이 된다. 외부 링크 G_1, G_2, G_3, G_4 를 한 개 교차로의 접근으로 가정하여 신호시간 산정을 한다. 외부 링크 이동류 i의 유효녹색시간(g_i)은 중첩시간을 고려하여 식(7)을 통해 산정하고 황색시간 4초를 포함한 녹색시간 G_i 값을 산정한다.

$$g_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^N y_i} (C + \Phi - L) \dots\dots\dots (7)$$

주기산정시 사용된 방향별 교통량 비(y)는 <그림 10>과 같다.



<그림 10> 방향별 y 값

<표 7> 외부 이동류 신호시간 산정

방 향	G_1	G_2	G_3	G_4
y_i	0.355	0.094	0.136	0.266
$\sum y_i$	0.851			
$C + \Phi - L$	$80 + 7 - (4 * 4) = 81$			
g_i	30	8	11	22
G_i	34	12	15	26

내부링크 이동류의 녹색시간 G_5, G_6 은 인접해 있는 두 개 교차로의 공통 주기에서 외부 링크 이동류의 녹색시간을 뺀 값과 같다.

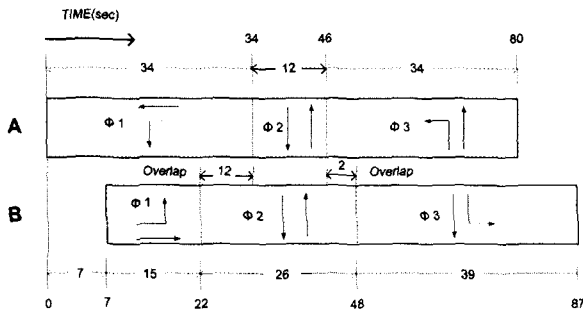
$$G_5 = C - (G_1 + G_2) = 80 - (34 + 12) = 34$$

$$G_6 = C - (G_3 + G_4) = 80 - (15 + 26) = 39$$

균집교차로기법으로 산출된 신호시간을 정리하면 <표 8>과 같다.

<표 8> 군집교차로기법으로 산출된 신호시간

교차로	주기	연동값	신호시간		
			Φ 1	Φ 2	Φ 3
A	80	0	34	12	34
B		7	15	26	39



<그림 11> 군집교차로 신호시간계획 - CASE 4

(3) TSIS 5.0 시뮬레이션 분석 결과

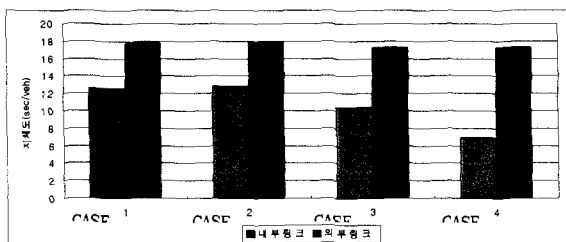
내부링크에 진입한 차량들은 다음 신호에서 교차로를 모두 빠져나가 대기 차량은 거의 남아있지 않았고 내부링크와 외부링크에 대기하고 있던 차량들은 한주기안에 모두 통과하였다. 교통량이 내부링크에 집중될 경우 스피백 현상이 나타나기도 했지만 내부링크 유출시간이 충분해서 다음 현시의 차량 흐름에 지장을 주지는 않았다.

4. 결과분석

다음에서는 CASE별 군집교차로 연구결과를 내부링크 평균 지체도와 외부링크 평균 지체도를 통해 비교하였다.

<표 9> CASE별 군집교차로 운영방법에 따른 효과척도 비교

효과척도	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
내부링크 평균 지체도(sec/veh)	12.65	12.85	10.40	7.00
외부링크 평균 지체도(sec/veh)	17.75	18.03	17.28	17.29



<그림 12> CASE별 효과척도 비교

내부링크 평균 지체도와 외부링크 평균 지체도를 통해 CASE별 실험 결과를 비교한 <표 9>를 보면 TRANSYT-7F에서 일반적인 군집교차로 설정 방법을 통해 분석한 CASE 1이 내부링크의 지체도가 12.65sec/veh로 가장 크게 나타났다. 이는 유출입 교통량에 따른 신호시간 산정으로 교통량이 많은 방향에 신호시간을 배정이 많이 되면서 내부링크에는 오히려 대기행렬이 교차로를 넘어서는 스피백 현상이 일어나는 경우가 자주 발생하였고 이로 인해 내부링크의 평균 지체도가 증가한 것이다. CASE 2에서는 내부링크의 교통류 유출을 위해 강제로 연동값 0을 설정하여 연구해 본 결과 내부링크로의 지속적인 유입 교통량이 많아져 스피백 현상이 나타났고 이로 인해 내부링크의 지체도가 증가했다. 이는 효율적이지 못한 신호시간 배분으로 외부링크 지체도 또한 증가한 것이다. 이 경우 CASE 1에 비해 오히려 내부링크 지체도와 외부링크 지체도가 높게 나타났다. CASE 3에서 DI값에 QP를 적용하여 연구해 본 결과 내부링크의 지체도가 CASE 1,2에 비해 비교적 낮은 값이 나타났다. 시뮬레이션 분석에서도 내부링크의 스피백 현상은 다른 방법에 비해 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 그러나 CASE 4에 비해 외부링크 평균 지체도는 낮은 값이 나왔지만 내부링크 평균 지체도에서 더 높은 값이 나타났는데 이는 교통량이 많을 경우 내부링크에서 모두 저장하지 못하고 용량을 초과하는 경우가 반영된 것으로 보인다.

CASE 4에서는 앞서 실시한 방법들에 비해 내부링크 지체도가 7sec/veh로 현저하게 낮은 값이 나타났다. 그러나 외부링크 지체도에 있어서 CASE 3에 비해 약간 높은 값이 나타났다. 이는 내부링크의 대기행렬을 최소화하기 위해 외부 현시 신호시간보다 내부 현시 신호시간 배정을 많이 했기 때문이라 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 군집교차로 내부링크 대기행렬로 인해 발생하는 스피백 문제를 해결하기 위한 방안으로 CASE별 현시순서, 주기, 신호시간, 연동값을 산출하여 실제 교차로를 대상으로 분석하였다.

TRANSYT-7F를 이용해서 일반적인 군집교차로 신호시간 산정방법과 강제 Offset 0을 설정하여 분석한 결과 교통량이 많은 이동류에 신호시간 배정을 많이 하면서 불필요한 신호시간이 발생하고 다른 이동류의 대기시간이 길어졌다. 또한 외부 링크의 지체도는 낮아지지만 군집교차로 운영에서 가장 중요한 내부링크 지체도가 증가하는 현상이 나타났다.

DI값에 QP를 적용하는 방법은 외부링크에서 유입되는 교통량이 적은 경우 효과적이었지만 교통량이 증가하면 지체도가 증가하는 현상이 나타났다. 군집교차로 기법을 이용한 신호시간 설계과정으로 분석한 결과 군집교차로 신호시간 설계과정을 통한 방법이 4가지 CASE중 내부링크의 지체도가 가장 낮은 값이 나타났다. 하지만 외부링크 지체도에 있어서는 내부링크의 대기행렬을 줄이기 위해 외부 현시에 비해 내부 현시에 신호시간 배정을 많이 하면서 약간 증가하는 현상이 나타났다.

연구 결과 내부링크의 지체도가 가장 낮은 값을 나타낸 군집교차로기법을 이용한 신호시간 설계 방법이 군집교차로의 제어목표인 내부공간의 대기차량 수 최소화, 정지지체 최소화를 시키기 위해 가장 적합한 것으로 나타났다. 그러나 내부 현시에 신호시간 배정을 많이 하면서 발생하는 외부링크의 대기차량수가 증가 현상을 개선하기 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 청계7가 한 개 교차로만을 대상으로 분석한 것으로서 향후 가장 많은 군집교차로가 밀집해 있는 동아일보~고산자교 남단까지의 청계천 인근 교차로들을 그룹으로 묶어서 좀더폭넓은 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김영찬(1990), "Development of optimization Model For Signalized Intersections during Oversaturated Conditions", Texas S&M University 박사학위논문, pp.63~85
2. 김영찬(1994), 'Traffic Signal Control for Oversaturated Diamond Interchanges', 대한교통학회지, 제12권 2호, pp.5~30
3. 도철웅(1999), "교통공학원론", 청문각, pp.463~471

4. 이정훈(2004), "군집교차로의 신호운영방안 연구", 서울시립대학교 석사학위논문, pp.17~20
5. 건설교통부(2001), 도로용량편람
6. 서울지방경찰청(2003), 2002년 실시간 신호제어시스템 기능개선용역
7. Trafficware(2003), Intersection Capacity Utilization,
8. Traffic Network Study Tool, TRANSYT-7F (2004)