

■ 論 文 ■

신호교차로의 신호현시 구성기법에 관한 연구

Phasing and Sequencing Design Techniques at a Signalized Intersection

조 준 한

김 성 호

도 철 응

(한양대학교 교통공학과 박사과정) (한양대학교 교통시스템공학과 부교수) (한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 방법
 - II. 이론적 고찰
 - 1. 기존 연구 고찰
 - 2. 신호 현시 결정
 - III. 신호현시 구성기법
 - 1. 현시체계 구현방법
 - 2. 현시순서
 - 3. 현시대안
 - IV. 현시구성에 따른 분석
 - 1. 시뮬레이션 분석 환경
 - 2. 독립교차로 분석
 - 3. 연동교차로 분석
 - 4. 결과제시
 - V. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : Signal Control, Phasing and Sequencing, Single/Dual Ring, Left-Turn Phase

요 약

신호교차로 운영 최적화를 위한 4가지 변수인 주기, 현시순서, 현시녹색시간, 오프셋 중에서 지금까지 정형화된 지침이 없이 전문가의 경험이나 휴리스틱한 규칙(heuristic rule)에 의해 결정되었던 현시순서에 대해 다양한 교통조건을 고려하여 최적현시와 지체변화를 분석하였다. 교통조건은 독립/연동교차로, 교차로 기하구조, 비혼잡/혼잡상태, 통과교통량에 대한 좌회전 교통량비(LT/Thru)에 따라 Dual ring에서 구현가능한 모든 현시순서를 대상으로 최적현시를 도출하였다. 분석과정에서 비혼잡상태의 경우 LT/Thru가 작을수록 직진 중첩 동시신호가 가장 우수하게 나왔으며, LT/Thru가 크게 증가할수록 선행양방좌회전이 양호하게 나타났다. 혼잡상태의 경우는 LT/Thru 15%에서 공통적으로 최적현시가 변화었는데 이는 포화도와 이동류별 녹색시간비율이 크게 변하면서 급작스런 주기 증가에 기인한 것으로 판단되었다. 또한 독립교차로 및 연동교차로 현시순서 분석 결과를 보면 전반적으로 선행양방좌회전 현시와 직진 중첩 동시신호 현시가 가장 양호한 것으로 나타났으며, 양방 동시신호 현시는 대체로 지체가 높게 나타나 신호운영에 비효율적인 것을 다시 한번 입증하게 되었다. 특히 연동교차로에서는 연동에 중요한 요소인 오프셋과 진행대폭(bandwidth)의 상호관계를 탄력적으로 대응할 수 있는 직진 중첩 동시신호가 최적현시로 나타났다. 본 연구는 검지기가 설치되지 않은 고정식 신호기로 운영되는 지방부 및 도시 가로망의 교통류 효율성을 높이는 중요한 자료로 사용될 것으로 판단된다. 최근에는 실시간 교통신호 제어시스템이 활발히 연구·운영되고 있는데 이 시스템 내에 포함되어 있는 TOD방식의 고정시간 제어(pretimed control)나 패턴선택제어(pattern selection control)에도 충분히 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구번호 (R01- 2003-10764-0)에 의해 수행되었음.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

신호교차로에서 효율적인 신호시간 운영은 교차로와 도로구간 내에서의 지체와 혼잡을 최소화하고 모든 도로 이용자의 안전을 도모하는데 그 의의가 있다. 이러한 신호운영은 실제 교통흐름의 요구사항을 최대한 만족시킬 때 비로소 효율을 갖는다. 신호운영을 최적화(optimization)하기 위해서는 다음과 같이 4가지 변수(parameters)를 고려해야 한다. 즉, 주기(cycle length), 현시시간(green split), 오프셋(offset), 현시순서(phase sequence)를 어떻게 설정하느냐에 따라 교차로의 서비스수준(LOS)가 결정된다. 이 4가지 변수 중에서 주기, 현시시간, 오프셋은 신호 최적화 요소로서 많이 사용하고 있지만 현시 순서는 다른 요소에 비해 활용빈도가 적었다. 또한 지금까지 현시순서에 대한 정형화된 지침(guideline)이 없이 전문가의 경험이나 휴리스틱한 규칙(heuristic rule)에 의해 결정되어 왔다. 최근에 실시간 신호시스템에서 dual ring 현시체계가 적용되면서 효율적인 중첩현시가 가능하여 졌으나 다양한 현시순서 변화에 따른 효과분석은 이루어지지 않고 있다. 특히 우리나라의 경우 현시순서는 선행좌회전(leading left turn)이 법으로 지정하고 있어 다양한 현시순서를 구현하는데 제약이 따르고 있다. 이러한 현실적인 문제점을 개선하고 다양한 교통상황에 따라 어떠한 현시체계가 가장 적합한지에 대한 지침연구가 필요한 것으로 사료되어 효율적인 현시순서와 현시길이 구현이 가능한 여러 대안을 통해 효과적인 결과를 도출하고자 한다.

2. 연구의 방법

본 연구는 신호교차로의 효율적인 현시구성기법을 분석하기 위해 기본 현시체계 구현방법을 정립하고 다양한 현시순서를 고려한 현시대안을 작성하고자 한다. 즉, 교통조건을 고려하여 효율적인 현시구성기법을 제안하고자 한다.

다양한 교통조건으로는 네트워크 형태, 교차로 기하구조, V/C비(비혼잡·혼잡상태), 통과교통량에 대한 좌회전 교통량비를 모두 변수로 적용시켰다.

분석할 네트워크 형태는 크게 독립교차로와 4개의 교

차로로 구성된 간선도로 축으로 구성하였다. 이는 네트워크의 신호 최적화 전략을 세우는데 있어 가장 기본적인 것이 독립교차로와 연동시스템으로 운영되는 간선도로의 신호운영에 대한 분석이기 때문이다. 교차로 기하구조는 신호 현시순서를 구성하는데 중요한 변수이며 교차로 용량을 좌우하기 때문에 주도로(동서방향), 부도로(남북방향)의 전용 좌회전차선(exclusive left-turn lane) 유무에 따라 4가지로 나누었다. 교통조건은 비혼잡상태와 혼잡상태로 구분하였고 통과교통량(throughputs)에 대한 좌회전 교통량비(이하 LT/Thru라고 함)는 5%~30%까지 다양하게 변화시켰다. 이러한 다양한 교통조건을 토대로 이용가능한 현시대안을 작성하였다.

현시대안의 효과분석을 위해 교차로 기하구조에 따라 현시 조합이 가능한 모든 현시를 대안으로 하여 TRANSYT-7F을 이용해 다양한 교통상황에 따라 최적화 시킨 후, 여기서 나온 최적 현시시간, 최적 주기, 최적 오프셋을 미시적 시뮬레이션 프로그램인 NETSIM에 입력하여 실행시킨다. 결과적으로 TRANSYT-7F로 최적화 시켜 나온 지체와 NETSIM에서 나온 지체를 바탕으로 다양한 교통상황에 따른 최적 현시순서 및 효과분석을 도출한다. NETSIM에 대한 분석은 단지 TRANSYT-7F에서 나온 결과값과 부합하는지를 검증하는 단계에만 그치는 것이 아니라 거시적인 모형에서 초래되는 교통류 흐름의 단순성을 보완하고 TRANSYT-7F에서 고려하지 못하는 미시적인 교통류 현상(차로추종, 차로변경 등)까지 분석하여 보다 정확한 분석을 도출하는데 더 큰 의미가 있다.

본 연구에서 다양한 교통상황에서 효율적인 현시구성과 최적 현시순서를 제시하고, 이를 바탕으로 다양한 교통상황에서 신호운영할 때 주기, 녹색시간, 오프셋을 최적화하여 신호운영의 4가지 변수가 모두 적용될 수 있도록 한다. 이는 교통공학자가 신호 운영에 있어 신호 최적화 전략을 세우는데 중요한 자료로 이용되어 질 것으로 판단된다.

II. 이론적 고찰

1. 기존 연구 고찰

다양한 교통조건에서 최적의 현시순서를 도출하기 위해서는 필수적으로 최적주기, 최적 녹색시간, 최적 오프셋(연동인 경우)이 함께 도출되어야 한다. 하지만 기

존 대부분의 논문은 이 4가지의 신호 최적화 요소를 모두 고려한 신호 최적화 기법 내지 전략을 도출하지 못하는 한계를 들어내고 있다. 신호최적화 방법은 크게 두 부류로 연구되어졌다. 첫째, 현시(보호·비보호 좌회전, 좌회전 현시)을 우선적으로 적용하고 나머지 3가지 최적화 요소를 결정한 후 MOE를 분석하는 방법이다. 더구나 지금까지 현시순서의 우선순위에 대한 교차로 운영분석은 거의 연구되지 않은 실정이다. 둘째, 현시순서는 이미 정해진 상태에서 최적의 주기, 녹색시간, 오프셋을 결정하는 방법이다. 대표적으로 신호최적화 도구인 TRANSYT-7F, PASSER IV 등을 이용한 방법과 수리모형(정수계획법, 비선형계획법, bilevel programming 등), 인공지능(퍼지, 유전자알고리즘, 전문가시스템 등)을 이용하는 방법이 있다. 이러한 방법들은 신호최적화 4가지 요소를 모두 고려하여 해를 도출하지는 못했으며, 이를 휴리스틱한 방법이 아닌 다른 최적화 기법으로 해를 도출한다는 것은 그리 간단치 않다.

기존 연구를 살펴보면, 신언교(1997)는 간선도로 연동화 신호계획에 있어 교차로 4개의 간선도로를 중심으로 지체최소화를 위한 좌회전 현시체계 최적화에 대해 연구하였다. 또한 Akceilik(1986), Heydecker (1992), 김경철(1993) 등은 기존 현시에 대한 개념을 세분화시켜 생성된 신호현시체계 내에서 임계현시(critical phase) 개념을 이용하여 현시결정 방법을 연구하였다. 진현수(1996), Nittymaki(1999)는 교통량 변화에 맞는 현시순서를 퍼지 논리 알고리즘을 통해 결정하였다. Hummer et al(1991), Fambro et al(1991), Parsonson(1992), Pline(1995) 등은 protected-permissive phasing sequence와 lead-lag left-turn phase operation을 중심으로 연구되었다.

위에서 언급한 연구내용은 교차로 수, 교차로 간격, 기하구조, 혼잡상태, 현시체계, 좌회전 교통량비 등과 같은 교통제약조건이 항상 부분적으로 가정하고 있다. 따라서 이러한 다양한 교통조건을 모두 고려한 신호 운영계획에 대한 정확한 해법은 지금까지 계속 연구되고 있는 실정이다.

2. 신호 현시 결정

신호교차로의 현시체계는 방향별 교통량, 차선이용률, 교차로 기하구조, 주/부도로 등의 기초 결정변수에

의해 선정될 수 있는데, 주로 접근로 차선수와 교차로 형태에 따라 좌회전 분리신호를 선택할 것인지 혹은 동시신호를 선택할 것인지, 또는 방향별 도착교통량과 포화교통량과의 비에 의한 임계교통량(소요현시율, v/s ratio)에 대해 중첩현시(overlap phase)체계를 선택할지가 결정될 수 있다.

현시(phasing)는 교차로가 일반적으로 각 방향의 교통류를 순차적으로 통행권을 부여한다는 측면에서 교차로 효율을 결정짓는 중요한 요소이다. 현시 수는 접근로의 수와 교차로 형태 뿐만 아니라 교통류의 방향에 따라 결정된다. 현시순서를 결정하는 원칙은 교통상황에 알맞은 현시조합을 제공하는 것으로 한다. 시간제 방식(TOD mode)과 패턴선택방식(pattern selection mode)에서 운영할 때는 그 교차로의 시간대별 통행패턴에 가장 알맞은 현시체계가 제공되어진다. 또한 패턴계산방식(pattern computation mode)은 검지기에서 측정된 현장자료를 이용하여 검지정보에 따라 최선의 현시순서와 녹색시간의 최적배분으로 각 현시의 현시시간을 결정한다.

가장 기본적인 현시는 두 개로서, 교차하는 두 도로에 교대로 통행우선권을 부여하는 것이다. 좌회전 교통량이 많거나 보행자 교통량이 많은 교차로 혹은 접근로가 4개보다 많은 교차로는 차량간 또는 차량과 보행자간의 상충을 줄이기 위해 3개 이상의 현시를 사용한다. 현시는 수가 많아지면 주기가 길어져 지체가 커지고 손실시간이 많아지므로 바람직하지 않다.

또한 상충되지 않는 교통류를 순서대로 진행시킬 때 현시 내에서 현시율이 가장 큰 차로군의 현시율의 합이 가장 적은 것이 좋다. 다시 말하면 현시율, 즉 각 이동류에 대한 교통량비(flow ratio)의 합이 가장 적으면 모든 차로군을 한 번씩 진행시키는데 소요되는 시간, 즉 주기가 가장 짧아진다.

그러므로 최적 현시방법을 찾기 위해서는 접근로의 좌회전 전용차로 설치 여부와 함께 좌회전 처리등의 여러 가지 현시방법을 비교해야 한다. 좌회전 전용차로가 있는 경우의 좌회전 통제방식은 어떤 방법을 사용해도 무방하다. 그러나 좌회전 공용차로가 있는 경우에는 동시신호, 비보호좌회전 및 좌회전 금지 방식 중에서 하나를 선택해야 한다. 이때 직진중첩동시신호 방식(동시신호→직진→동시신호)으로 운영할 경우, 동시신호가 끝난 후 공용차로에 좌회전 차량이 한 대라고 남아있다면 그 다음 양방향 직진신호에서

직진이 그 차로를 이용할 수 없으므로, 중첩현시(overlap phase)를 사용하지 않는 것이 좋다(도철웅, 2004).

또한 위에서 언급했듯이 현시순서에 가장 중요한 부분은 바로 좌회전 처리를 어떻게 하느냐이다. 적합한 좌회전 신호제공을 결정하기 위한 방법은 다음과 같은 운영방법이 있다. 첫째, 비보호 좌회전(permitted left-turn)으로 녹색신호시 대향차량이나 보행자에게 양보를 한 후 좌회전을 해도 되는 교통신호제어 운영 형태이다. 둘째, 보호 좌회전(protected left-turn)으로 단지 녹색화살표(green arrow)신호가 켜질 때만, 좌회전해도 되는 교통신호제어 운영형태로 이 때 다른 차량이나 보행자와 상충은 없다. 셋째, 보호/비보호 좌회전(permitted and exclusive left-turn)으로 신호 주기의 일정 시간 동안 보호현시에 의해 좌회전 이동류가 보호를 받고, 주기의 다른 부분 동안에서는 비보호 현시에 의해 보호되지 않는 교통신호 운영형태이다.

이러한 좌회전 신호방법은 좌회전을 직진전 또는 후에 하느냐에 따라 선좌회전(leading left-turn) 또는 후좌회전(lagging left-turn) 및 중복(overlap) 현시에서 나타나는 선후좌회전(leading and lagging left-turn)으로 나누어진다(도로교통안전관리공단, 1997).

이러한 좌회전 처리 및 현시조합을 하기 위해서는 먼저 single ring과 dual ring 현시체계 중 하나를 선택해야 한다. 이에 대한 구체적인 설명은 3장에서 언급하기로 한다.

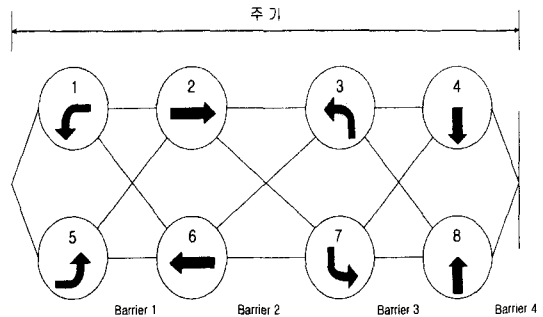
III. 신호현시 구성기법

1. 현시체계 구현방법

1) Single ring 현시체계

Single ring 현시체계는 어떤 현시에서 어느 한 이동류의 수요가 없어도 그와 상충되는 이동류의 신호를 사용할 수 없으므로 중첩현시가 구현되지 못한다. Single ring 체계는 실시간 신호체계보다 시간제(TOD)방식, 패턴선택방식에 적합하고 기존 전자신호에 사용하고 있다.

〈그림 1〉은 Single ring 현시체계를 나타낸 것이며, 여기서 Barrier는 현시길이가 정해짐에 따라 부수적으로 결정되어진다.

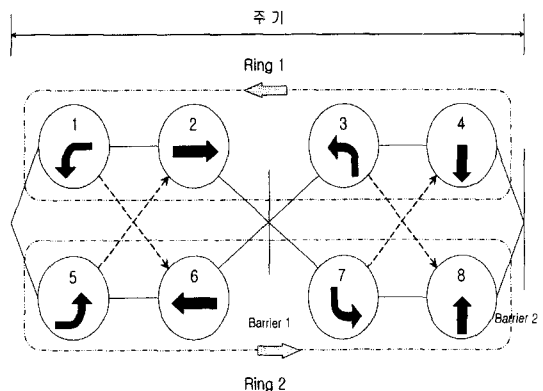


〈그림 1〉 Single ring 현시체계

2) Dual ring 현시체계

Dual ring 현시체계는 한 현시에서 어느 이동류가 다 해소되었을 때(그 현시가 불필요할 때) 그와 상충되는 이동류의 신호를 조기에 현시하는 방법으로서, 한 이동류의 현시가 두 신호간격(signal interval)에 걸치므로 중첩현시가 가능하다. 이러한 중첩은 두 도로에 대해서 각각 독립적으로 이루어지며, 이동류별로 현시 길이의 조기종결, 연장, 생략 등의 기능 및 모든 현시 순서와 현시길이를 구현할 때 효과적인 현시구현방법이다. 이는 실시간 신호체계에 사용할 때 현장의 교통량 변화에 따른 신호시간의 자동변경기능을 자유로이 구사할 수 있다. 또한 교통대응방식(traffic responsive mode) 신호설계시 maximum green time recall 기능을 사용하여 정주기식 TOD방식 구현도 가능하다.

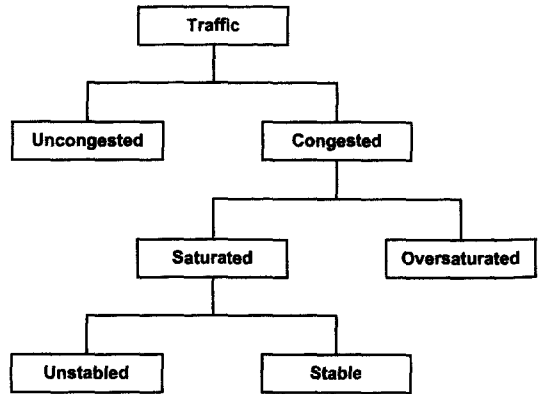
〈그림 2〉는 Dual ring 현시체계를 나타낸 것으로, Barrier1 내에서 현시 1, 2, 5, 6은 유기적으로 현시 조합이 가능하다. Barrier는 한 순간 시점을 제시하며 교통상황에 따라 결정되는 현시의 길이에 따라 종속적으로 변한다.



〈그림 2〉 Dual ring 현시체계

〈표 1〉 현시그룹에 의한 현시 및 내용

그룹	현시대안	현시 내용
G1	① ② ch②	선행 양방 좌회전 (lead dual left)
G2	③ ④ ⑤ ch③ ch④ ch⑤	양방 동시신호 (directional separation)
G3	⑥ ⑦ ch⑥ ch⑦	직진 중첩 동시신호 (lead and lag left turns)
G4	⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ch⑧ ch⑨ ch⑩ ch⑪	중첩 선행 좌회전 (both left turns with overlap)
G5	⑫ ⑬ ch⑫ ch⑬	좌회전 중첩 동시신호 (directional separation and both left turns)



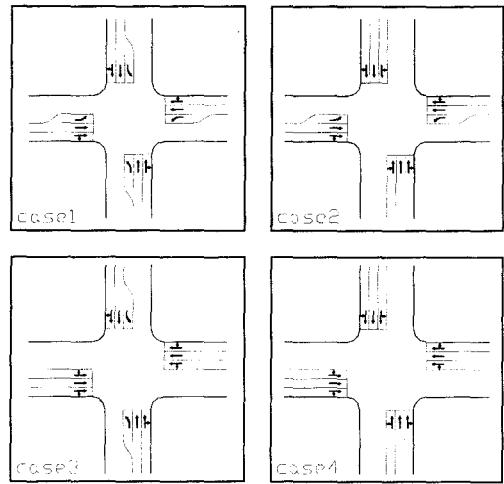
〈그림 5〉 비혼잡상태와 혼잡상태의 정의

N. 현시구성에 따른 분석

1. 시뮬레이션 분석 환경

분석하고자 하는 네트워크 형태는 크게 독립교차로 (isolated intersection)와 4개의 교차로로 구성된 간선도로 축(coordinated arterial)으로 구성하였다. 교통조건은 비혼잡상태와 혼잡상태로 나누었다. 흔히 V/C비에 따라 분류되는 비포화(undersaturated), 근포화(near-saturated), 포화(saturated), 과포화(oversaturated)로 나누지 않고 단순히 비혼잡상태와 혼잡상태로 나누었다. 그 이유는 〈그림 5〉를 보면 알 수 있다. 혼잡상태(congested condition)는 크게 포화(saturated)와 과포화(oversaturated)상태로 나뉘어 지고, 포화상태는 다시 불안정한(unstable)상태와 안정한(stable)상태로 나눌 수 있다. 불안정한(unstable)상태는 대기행렬(queue)이 형성된 가운데 계속해서 악화되어가는 상황이고, 안정한(stable)상태는 현재 대기행렬(queue)이 형성되었지만 더 이상 악화되지 않은 상황을 의미한다. 따라서 이러한 상황을 단순히 V/C비를 가지고 근포화, 포화, 과포화를 명확히 구분하기가 힘들다. 또한 V/C비는 주기에 따라 크게 변하기 때문에 더욱 이러한 구분이 어렵다. 이런 이유로 본 연구에서는 비혼잡상태와 혼잡상태로 나누었다(조준한, 2001).

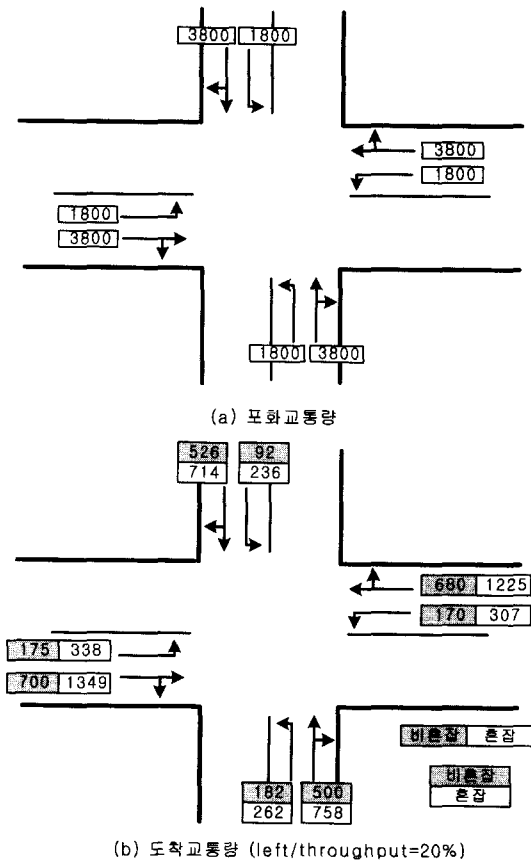
각 교차로의 기하구조는 〈그림 6〉과 같이 4가지 경우로 나누었다. 동서축을 주도로, 남북축을 부도로 하여 전용좌회전(exclusive left-turn lane)과 공용좌회전(shared left-turn lane) 유무에 따라 CASE 별로 구분하였다.



〈그림 6〉 교차로 기하구조

〈그림 7〉과 〈그림 8〉은 독립교차로와 4개의 교차로로 구성된 간선도로 축(이하 연동교차로라 함)의 포화교통량과 비혼잡·혼잡상태의 도착교통량을 나타낸 것이다.

〈그림 7〉의 도착교통량은 주도로(동서방향)의 통과교통량(throughput)에 대한 좌회전 교통량비가 20%이다. 이를 기본으로 하여 직진과 우회전 교통량은 고정하고 좌회전 교통량만 ±5%, ±10%씩 변화시켰다. 결국 독립교차로의 통과교통량(throughput)에 대한 좌회전 교통량비는 10%, 15%, 20%, 25%, 30%로 나누었다. 이에 해당하는 V/C는 주기의 변화(90~200초)를 고려하여 비혼잡상태에는 0.52~0.78, 혼잡상태에는 0.82~1.19 사이로 하였다. 〈그림 8〉의 도착교통량은 주도로(동서방향)의 통과교통량(throughput)에 대한 좌회전 교통량비가 10%이다. 이를 기본으로 ±5%,



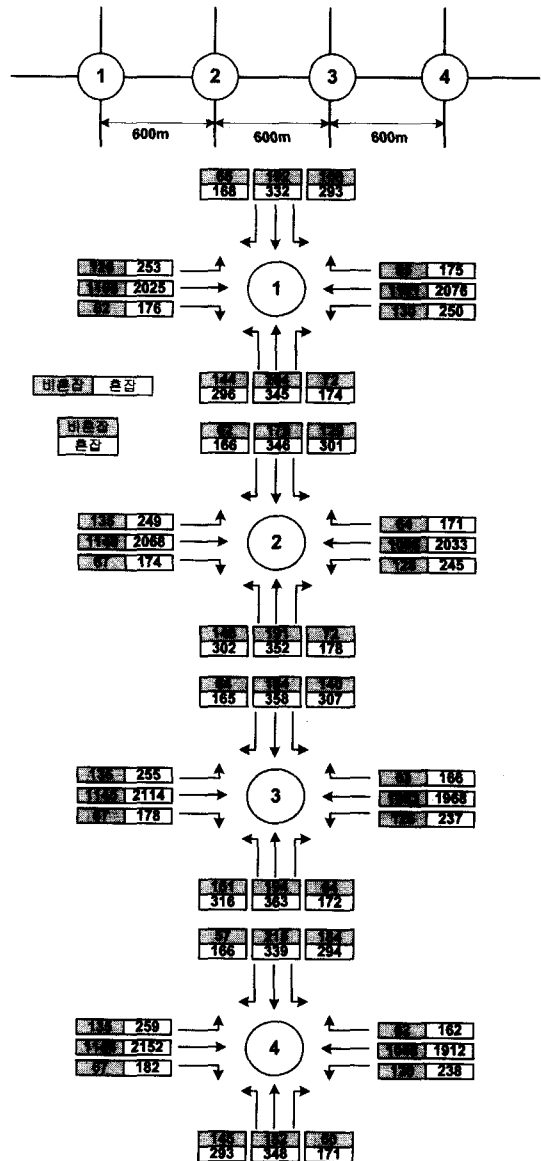
〈그림 7〉 독립교차로의 포화교통량과 도착교통량

+10%씩 변화시켰다. 따라서 연동교차로의 통과교통량 (throughput)에 대한 좌회전 교통량비는 5%, 10%, 15%, 20%로 나누었다.

이에 해당하는 V/C는 주기의 변화(90~200초)를 고려하여 비혼잡 상태에는 0.60~0.75, 혼잡 상태에는 0.85~1.05의 값으로 각각의 교차로에서 구한 값들 중 최소값과 최대값을 제시한 것이다.

지금까지 교차로 기하구조, 독립/연동교차로의 포화 교통량 및 도착교통량(비혼잡·혼잡상태)에 대해 제시 하였다. 이를 바탕으로 최적 현시순서를 도출하기 위해 분석해야 할 샘플 수를 정리하면 <표 2>, <표 3>과 같다. <표 2>는 독립교차로 현시대안 샘플 수로 교통조건에 대해 총 742개의 대안을 분석하였고, <표 3>은 연동교차로 현시대안 샘플 수로 교통조건에 대해 총 288개의 대안을 분석하였다.

또한 위에 제시한 독립교차로와 연동교차로의 현시대안 샘플 수를 분석하기 위한 도구로 TRANSYT-7F release 8을 사용하였다. 신호운영 분석도구로 널리



〈그림 8〉 연동교차로의 도착교통량 (LT/Thru=10%)

사용하고 있는 TRANSYT-7F release 8은 외국에서 개발된 프로그램을 사용하면서 내재변수(embedded parameters)를 우리나라 현실에 알맞게 수정하여 보정(calibration)할 필요가 있다. 그렇지 않으면 틀린 저울로 물건을 무게로 측정하는 것과 같이 그 결과에 대한 신뢰성이 크게 떨어진다. TRANSYT-7F에 내재되어 있는 변수로는 출발손실시간, 진행연장시간, 포화 교통유율, 차량군 분산계수, 정지계수 등이 있는데 이 내재변수에 대한 적정값을 <표 4>와 같이 도출하였다 (조준환,2001).

〈표 2〉 독립교차로 현시대안 샘플 수

Network Type	Isolated Intersection			
	case1	case2	case3	case4
Lane Group				
Traffic Condition	Uncongestion / Congestion			
LT/Thru	10%, 15%, 20%, 25%, 30%			
Phase ①	√			
Phase ②, ch②	√	√		
Phase ③, ch③	√		√	
Phase ④, ch④	√	√	√	√
Phase ⑤, ch⑤	√	√	√	√
Phase ⑥, ch⑥	√		√	
Phase ⑦, ch⑦	√	√	√	
Phase ⑧, ch⑧	√			
Phase ⑨, ch⑨	√	√		
Phase ⑩, ch⑩	√			
Phase ⑪, ch⑪	√	√		
Phase ⑫, ch⑫	√			
Phase ⑬, ch⑬	√	√		
Number of samples	250	140	100	40
Total samples	742			

〈표 3〉 연동교차로 현시대안 샘플 수

Network Type	Coordinated Arterial			
	case1	case2	case3	case4
Lane Group				
Traffic Condition	Uncongestion / Congestion			
LT/Thru	5%, 10%, 15%, 20%			
Phase ①	√			
Phase ②, ch②	√	√		
Phase ③, ch③	√		√	
Phase ④, ch④	√	√	√	√
Phase ⑤, ch⑤	√	√	√	√
Phase ⑥, ch⑥	√		√	
Phase ⑦, ch⑦	√	√	√	
Number of samples	112	64	80	32
Total samples	288			

〈표 4〉 TRANSYT-7F 내재변수 적정값

	출발순실 시간	진행연장 시간	포화교통 유율	α계수	β계수
적정값	2초	2초	1800 pcphgpl	0.32	32

2. 독립교차로 분석

1) CASE1

(1) 비혼잡상태

통과교통량(Throughput)에 대한 좌회전 교통량비가 20%까지는 직진 중첩 동시신호인 현시 ⑥이 가장 좋게 나왔으며, LT/Thru가 25%이상일 때는 선행 양방 좌회전인 현시 ①이 가장 좋게 나왔다. 이러한 결과가 나오는 이유는 동일한 현시에서 진행되는 두 방향의 교통량이 적으면서 비슷한 경우, 즉 LT/Thru가 커지는 경우는 중첩이 되는 직진신호(⇔)의 녹색시간이 짧아지기 때문에 중복현시가 아닌 현시(no overlap phase)가 더 효율적인 것으로 나타났다. 여기서 중요하게 언급할 것은 신호현시 구현에 있어서 중복현시가 중복현시가 아닌 현시보다는 교차로 운영 효율성에서는 적어도 같거나 좋아야 한다. 예를 들면, 직진 중첩 동시신호는 현시순서가 동시신호→직진→동시신호로 나타나는 데 이 중 가운데 직진신호의 V/S비가 0에 가까울 때는 Dual ring에서 중복현시가 아닌 현시로 도출된다. 또한 직진신호(⇔)의 경우는 방향별 상충에 따른 안전성을 고려하여 한대의 차량이 교차로를 완전히 통과하는 시간(clearance time)보다는 크게 운영되는 것이 좋을 것으로 판단된다. 직진신호(⇔)가 소거시간(clearance time)보다 작을 때는 중복현시보다는 중복현시가 아닌

〈표 5〉 독립/case1/비혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

독립교차로 CASE1 비혼잡상태						
그룹	구분	10%	15%	20%	25%	30%
G1	현시	①	①	①		
	지체	0.34	0.36	0.37	0.33	0.34
G2	현시	③	③	③	③	③
	지체	0.39	0.39	0.39	0.4	0.39
G3	현시				⑥	⑥
	지체	0.33	0.31	0.31	0.36	0.37
G4	현시	⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
	지체	0.35	0.37	0.37	0.38	0.4
G5	현시	⑫	⑫	⑫	⑫	⑫
	지체	0.47	0.43	0.41	0.43	0.42

현시로 운영하는 것을 권장한다.

부가적인 분석결과로는 현시그룹 G1, G2, G3, G4의 지체는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. G2의 현시③보다 G1의 현시①이, 또 G2에서 현시④,⑤보다 현시③이 지체가 작게 나타난 것으로 보아 좌회전 분리 신호가 동시신호보다 더 효율적인 것을 알려주고 있다. 또한 각 기본현시에서 현시순서만 바꾸었을 때의 결과를 보면 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

(2) 혼잡상태

혼잡상태는 비혼잡상태와는 상이한 결과가 나타났다. 우선 LT/Thru가 15%인 경우는 중복현시보다 중복현시가 아닌 현시가 더 효과적인 것으로 나타났다. 이에 대한 해석은 주기와 교통류에서 그 해답을 찾을 수가 있다. LT/Thru가 15%일 때 현시①과 현시⑥의 최적주기를 보면 각각 120초, 170초로 나타났다. 주기가 적정값 이상으로 커지게 되면 포화차두간격보다 차두간격이 큰 차량에게 녹색시간이 부여되므로 자연히 손실시간이 증가하게 된다. 이러한 손실시간은 다른 이동류의 지체시간에 직접적으로 영향을 주게 된다. 따라서 이러한 주기의 급격한 변화는 포화상태와 과포화상태 사이의 전이시점에서 포화도(v/c비), 이동류별 현시 녹색시간비율이 크게 변한 것으로 보아 불안정한 교통류에 기인한 것으로 판단된다. 이에 대한 자세한 해석과 또 다른 원인은 '결론제시' 부분에서 언급하고자 한다.

부가적인 분석으로, 양방 동시신호인 현시그룹 G2와 좌회전 중첩 동시신호인 G5는 LT/Thru에 관계없이 지체가 높게 나타났다. 또 기본현시에서 현시순서만 바꾸었을 때의 결과는 경우에 따라 큰 차이를 보이는

것으로 보아 포화상태에서는 같은 현시그룹 내에 있을 지라도 현시순서가 지체에 민감하게 작용하는 것을 알 수 있다.

2) CASE2

(1) 비혼잡상태

LT/Thru 25%이하에서는 직진 중첩 동시신호인 현시⑦이 가장 좋게 나왔다. LT/Thru 30%인 경우는 선행 양방향 좌회전인 현시②가 가장 좋게 나왔으며, 주기를 살펴보면 현시⑦과 현시②가 각각 80초, 90초로 현시②의 지체가 조금 낮게 나타났으나 전반적으로 현시②와 현시⑦의 지체값은 거의 비슷하게 나타났다. 또한 각 현시그룹내의 기본현시에 따른 지체와 현시순서만 바꾼 현시의 지체는 거의 비슷하게 나타났다. LT/Thru가 커질수록 G4, G5의 지체는 최적현시와의 지체차이가 점점 줄어드는 것으로 보아 좌회전 비율이 높은 특별한 교통조건에서 이러한 현시를 사용하는 것도 하나의 현시대안으로 제안할 수 있을 것으로 판단된다.

〈표 7〉 독립/case2/비혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

독립교차로 CASE2 비혼잡상태						
그룹	구분	10%	15%	20%	25%	30%
G1	현시	②	②	②	②	
	지체	0.33	0.36	0.37	0.39	0.39
G2	현시	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤
	지체	0.39	0.39	0.39	0.4	0.39
G3	현시					⑦
	지체	0.33	0.35	0.37	0.37	0.43
G4	현시	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨
	지체	0.39	0.41	0.42	0.43	0.46
G5	현시	⑬	⑬	⑬	⑬	⑬
	지체	0.47	0.47	0.48	0.46	0.47

〈표 6〉 독립/case1/혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

독립교차로 CASE1 혼잡상태						
그룹	구분	10%	15%	20%	25%	30%
G1	현시	①		①	①	①
	지체	0.73	0.58	1.15	4.24	3.74
G2	현시	③	③	③	③	③
	지체	3.16	3.38	3.52	3.12	3.24
G3	현시		⑥			
	지체	0.4	0.85	0.8	2.89	3.22
G4	현시	⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
	지체	0.8	0.81	1.5	4.01	3.7
G5	현시	⑫	⑫	⑫	⑫	⑫
	지체	4.02	4.07	4.49	4.05	4.01

(2) 혼잡상태

LT/Thru 15%인 경우의 최적현시는 현시②로 나타났으며 그 외의 경우는 현시⑦로 나타났다. CASE1의 혼잡상태와 마찬가지로 LT/Thru가 15%인 경우에 최소 지체에 대한 최적 현시가 변했다는 점을 주시해 볼 필요가 있다. 이에 대한 원인도 종합적으로 분석하여 '결론제시' 부분에 언급하고자 한다. 또한 현시⑦,⑨,⑩,⑬의 주기는 170~180초사이로 나온 반면에 현시 ch⑦, ch⑨, ch⑩, ch⑬의 주기는 모두 230초 나왔고 지체 또한 높게 나타났다. 이러한 결과는 앞서도 언급했듯

〈표 8〉 독립/case2/혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

독립교차로 CASE2 혼잡상태						
그룹	구분	10%	15%	20%	25%	30%
G1	현시	②		②	②	②
	지체	0.77	0.54	1.29	2.37	4.01
G2	현시	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤
	지체	2.93	2.69	2.73	2.92	2.87
G3	현시		⑦			
	지체	0.5	0.82	0.89	2.05	3.27
G4	현시	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨
	지체	0.79	0.93	1.72	2.64	3.39
G5	현시	⑬	⑬	⑬	⑬	⑬
	지체	3.84	3.85	3.83	3.53	4.04

이 혼잡상태에서는 현시순서만 바꾸어도 신호운영에 미치는 영향이 크다는 것을 의미하며 최적 신호 현시순서를 도출할 때 염두해 두어야 한다.

부가적으로 G2와 G5의 현시에 따른 지체는 전체적으로 높게 나타난 반면에 LT/Thru비에 따른 지체변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

3) CASE3

(1) 비혼잡상태

앞에서 설명한 비혼잡상태의 일반적인 현상이 나타나는 가운데 LT/Thru 20%일 때 현시 ch⑥이 최적 현시순서로 나타났다. 이는 다른 현시에 비해 주기가 짧게 나타난 결과로 보이나 지체가 0.36(분/대)이 나온 현시⑥의 지체와 큰 차이를 보이지는 않아 비혼잡상태의 일관된 특성을 따라 현시⑥으로 운영하여도 무방할 것으로 판단된다.

여기서 특이할만한 것은 전체적으로 LT/Thru 증가에 따른 현시그룹 G②와 G③의 지체변화가 크지 않은 것으로 나타났으며 LT/Thru 30%일 때 현시③이 최적현시로 나타난 이유도 CASE1에서 설명한 부분과 같은 맥락으로 판단된다.

〈표 9〉 독립/case3/비혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

독립교차로 CASE3 비혼잡상태						
그룹	구분	10%	15%	20%	25%	30%
G2	현시	③	③	③	③	③
	지체	0.33	0.38	0.38	0.39	0.34
G3	현시	⑥	⑥	ch⑥	⑥	⑥
	지체	0.32	0.31	0.32	0.33	0.38

(2) 혼잡상태

주도로의 교차로 기하구조가 공용좌회전일 경우에는 LT/Thru 증가에 따라 전반적으로 직진 중첩 동시신호가 적용된 현시그룹 G3인 현시⑥이 가장 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 LT/Thru가 15%인 경우는 현시⑦이 최적현시로 나타났다. 여기서 특이한 점은 LT/Thru가 증가할수록 현시⑥과 현시⑦의 지체차이는 커지는 것으로 나타났다. 이는 주도로(동서방향)의 좌회전 교통량과 지체의 변화가 부도로(남북방향)의 신호 현시형태에도 영향을 받는다는 것을 의미한다. 또한 동시신호인 현시③,④,⑤와 현시⑥을 비교했을 때, 현시⑥이 부도로의 지체보다는 주도로의 지체가 현저히 낮은 것으로 나타났다. 따라서 이러한 현시운영에 있어서 부도로의 현시는 동시신호보다는 양방향 보호좌회전이 더 효율적인 것으로 나타났다.

〈표 10〉 독립/case3/혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

독립교차로 CASE3 혼잡상태						
그룹	구분	10%	15%	20%	25%	30%
G2	현시	③	③	③	③	③
	지체	0.92	0.64	1.08	1.39	1.8
G3	현시					
	지체	0.73	0.5	0.87	1.0	1.65

4) CASE4

(1) 비혼잡상태

현시별 결과를 보면 현시순서가 EB→WB→SB→NB보다 EB→SB→WB→NB인 현시⑤가 더 효율적인 것으로 나타났다. 이는 주도로의 양방향 교통량을 먼저 처리하는 것보다 주도로와 부도로의 교통량을 교대로 처리하는 것이 더 효율적인 것으로 분석되었다. 하지만 전체적인 현시별 지체변화를 거의 비슷하게 나타났다.

〈표 11〉 독립/case4/비혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

독립교차로 CASE4 비혼잡상태						
그룹	구분	10%	15%	20%	25%	30%
G2	현시					
	지체	0.37	0.37	0.38	0.39	0.39

(2) 혼잡상태

주도로와 부도로 모두 공용좌회전인 경우 거시적모형인 TRANSYT-7F와 미시적 모형인 NETSIM의 결

과가 상이하게 나타났다. 이는 좌회전 차량으로 인해 직진차량이 더 이상 진행하지 못할 때 NETSIM의 경우는 차로변경(lane changing)행태가 이행하지만, TRANSYT-7F의 경우는 차량군에 의해 교통흐름을 모사하기 때문에 이를 반영하지 못한다. 이러한 프로그램상의 한계를 염두하고 분석할 필요가 있다. 여기에서도 LT/Thru가 15%인 경우에 최소 지체에 대한 최적 현시가 현시④에서 현시 ch⑤로 변했다는 점을 주의할 필요가 있다.

<표 12> 독립/case4/혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

독립교차로 CASE4 혼잡상태						
그룹	구분	10%	15%	20%	25%	30%
G2	현시					
	지체	0.94	0.85	0.89	1.05	1.81

3. 연동교차로 분석

1) CASE1

연동신호 시스템에서는 양방향의 넓은 진행대를 형성하며 운영할 수 있는 직진 중점 동시신호인 현시⑥이 비혼잡·혼잡상태에 관계없이 가장 좋게 나타났다. 양방 동시신호인 그룹 G2의 경우는 지체가 크게 나타난 것에서 알 수 있듯이 신호연동에는 적합하지 않다는 것을 알 수 있다.

2) CASE2

현시그룹 G1과 G3는 비교적 낮은 지체를 보이고 있으며 LT/Thru가 증가할수록 G3가 더 좋은 결과를 보이고 있다. 비혼잡 상태 경우는 현시 ch⑦이 최적현시로 나타났고, 혼잡상태 경우는 현시⑦이 좋게 나타났

<표 13> 연동/case1/비혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

연동교차로 CASE1 비혼잡상태					
그룹	구분	5%	10%	15%	20%
G1	현시	①	①	①	①
	지체	1.27	0.71	0.77	0.82
G2	현시	③	③	③	③
	지체	2.22	0.9	0.82	0.78
G3	현시				
	지체	1.01	0.66	0.7	0.68

<표 14> 연동/case1/혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

연동교차로 CASE1 혼잡상태					
그룹	구분	5%	10%	15%	20%
G1	현시	①	①	①	①
	지체	1.35	1.56	1.62	1.76
G2	현시	③	③	③	③
	지체	5.22	4.38	3.23	2.33
G3	현시				
	지체	1.23	1.31	1.56	1.11

<표 15> 연동/case2/비혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

연동교차로 CASE2 비혼잡상태					
그룹	구분	5%	10%	15%	20%
G1	현시	②	②	②	②
	지체	0.62	0.71	0.79	0.84
G2	현시	⑤	⑤	⑤	⑤
	지체	1.34	1.05	0.93	0.84
G3	현시				
	지체	0.59	0.65	0.7	0.69

<표 16> 연동/case2/혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

연동교차로 CASE2 혼잡상태					
그룹	구분	5%	10%	15%	20%
G1	현시	②	②	②	②
	지체	0.82	1.71	1.92	2.0
G2	현시	⑤	⑤	⑤	⑤
	지체	7.55	4.86	3.89	2.42
G3	현시				
	지체	0.8	1.59	1.8	1.17

다. 하지만 현시순서만을 바꾼 현시⑦과 현시 ch⑦의 지체값은 독립교차로와 달리 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3) CASE3

비포화 상태 경우는 현시⑥이 최적 현시로 나타났으며, 혼잡상태 경우는 일관된 결과는 나오지 않았지만 같은 G3 현시그룹인 현시 ⑥, ch⑥, ch⑦이 최적현시로 나타났다. 이 경우에는 주도로의 공용좌회전 차선에서 좌회전 차량에 막혀 진행하지 못하는 직진차량과 이 직진차량의 차로변경에 따른 교통류 장애로 인해 현시

〈표 17〉 연동/case3/비혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

연동교차로 CASE3 비혼잡상태					
그룹	구분	5%	10%	15%	20%
G2	현시	③	③	③	③
	지체	0.88	0.79	0.76	0.72
G3	현시				
	지체	0.6	0.69	0.66	0.64

〈표 18〉 연동/case3/혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

연동교차로 CASE3 혼잡상태					
그룹	구분	5%	10%	15%	20%
G2	현시	③	③	③	③
	지체	4.35	3.4	2.71	1.76
G3	현시				
	지체	1.16	1.69	1.2	1.3

그룹 G2보다는 중첩현시인 현시그룹 G3의 지체가 적게 나타났다.

4) CASE4

비혼잡 상태 경우는 현시 ch⑤가 최적현시로 나타났으며 이는 부도로를 먼저 처리하되 주도로와 번갈아 교통류를 처리하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.

혼잡상태 경우는 주·부도로가 모두 공용좌회전이기 때문에 연동이 거의 불가능할 정도의 지체가 발생했으며 최적 현시 또한 일관된 결과를 보이지 않고 있다 이는 좌회전의 녹색시간 비율과 주도로 연동에 의한 진행

〈표 19〉 연동/case4/비혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

연동교차로 CASE4 비혼잡상태					
그룹	구분	5%	10%	15%	20%
G2	현시				
	지체	0.91	0.82	0.76	0.69

〈표 20〉 연동/case4/혼잡 NETSIM 지체 (지체단위:분/대)

연동교차로 CASE4 혼잡상태					
그룹	구분	5%	10%	15%	20%
G2	현시	ch④	⑤	ch⑤	ch⑤
	지체	4.21	3.96	3.14	2.05

대폭(bandwidth)사이의 상쇄(trade-off)로 인해 불안정한 교통류 상태를 야기하는 것으로 분석된다.

4. 결과제시

지금까지 교차로 형태 및 기하구조, 주·부도로의 통과교통량 비율, 혼잡·비혼잡상태(v/c ratio), 주기의 변화, 교차로간의 간격, 연동축 가중치 등을 고려하여 휴리스틱한 방법으로 최적현시를 도출하였다. 얻어진 결과를 보면 다음과 같다.

첫째, 독립/연동교차로, 교차로 기하구조, 비혼잡/혼잡상태, 통과교통량에 대한 좌회전 교통량비(LT/Thru)에 따라 Dual ring에서 구현가능한 모든 현시순서를 대상으로 최적 현시를 도출하였다. 이러한 결과는 표21, 표22, 표23, 표24에서 볼 수 있듯이 다양한 교통상황에 따른 고정신호기 현시순서 운영에 중요한 결정 자료가 될 것으로 판단된다.

둘째, 각 CASE별 비혼잡 상태를 살펴보면, LT/Thru가 작을수록 직진 중첩 동시신호인 현시그룹 G3가 가장 우수하게 나왔으며, LT/Thru가 크게 증가할수록 선행 양방 좌회전 현시그룹인 G1이 G3보다 더 우수하게 나타났다. 이는 LT/Thru가 증가할수록 상대적으로 직진이동류보다 좌회전 이동류가 많아지기 때문에 직진 현시(⇔)의 소요현시율(V/S비)이 감소하게 되어 현시그룹 G1에 가깝게 운영되고 그러다보니 5현시보다는 4현시의 주기가 작아지면서 지체값 또한 작아지기 때문이다. 그리고 본 연구에서 사용한 TRANSYT-7F는 신호 최적화시 중복이 되는 현시 녹색시간(green split)이 황색시간(보통 3초)보다 적은 경우에는 제대로 최적화 수행을 하지 못한다. 이러한 프로그램상의 한계에 의해 LT/Thru가 증가함에 따라 현시그룹 G3보다 G1이 더 좋게 나온 하나의 원인이 될 가능성은 있지만 현시그룹 G3의 두 번째 현시순서인 직진신호(⇔)의 경우는 방향별 상충에 따른 안전성을 고려하여 한 대의 차량이 교차로를 완전히 통과하는 시간(clearance time)보다는 크게 운영되는 것이 좋다는 관점에서는 오히려 더 설득력 있는 결론이 제공될 수 있다고 사료된다.

셋째, 혼잡한 경우는 매우 특이할만한 결과가 도출되었다. CASE4를 제외하고는 전반적으로 직진 중첩 동시신호인 현시그룹 G3가 좋게 나왔으나 LT/Thru 15%가 되는 경우에는 최적 현시에 변화가 있었다는 점이다. 이에 대한 1차적인 원인은 주기의 갑작스런 변화이다.

<표 21> 독립교차로 다양한 교통조건

Network type	Isolated Intersection			
Lane Group	case1	case2	case3	case4
Minor/Major	0.55 ~ 0.85			
Traffic condition	0.52 ~ 1.19			
Cycle range	90 ~ 200 sec			

주) Minor/Major : 주도로에 대한 부도로의 통과교통량 비

<표 22> 독립교차로 LT/Thru별 최적현시

LT/Thru	혼잡상태	10%	15%	20%	25%	30%
case1	비혼잡	⑥	⑥	⑥	①	①
	혼잡	⑥	①	ch⑥	⑥	⑥
case2	비혼잡	⑦	⑦	⑦	⑦	②
	혼잡	⑦	②	⑦	⑦	⑦
case3	비혼잡	⑥	⑥	ch⑥	⑥	③
	혼잡	⑥	⑦	⑥	⑥	⑥
case4	비혼잡	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤
	혼잡	④	ch⑤	ch⑤	ch⑤	ch⑤

<표 23> 연동교차로 다양한 교통조건

Network type	Coordinated Arterial			
Lane Group	case1	case2	case3	case4
Minor/Major	0.30 ~ 0.35			
Traffic condition	0.60 ~ 1.05			
spacing	600m			
EB vs WB	60 : 40			
Cycle range	90 ~ 200 sec			

주) Minor/Major : 주도로에 대한 부도로의 통과교통량 비

주) spacing : 교차로사이의 간격

주) EB vs WB : 연동축 가중치 (동쪽방향:서쪽방향)

<표 24> 연동교차로 LT/Thru별 최적현시

LT/Thru	혼잡상태	5%	10%	15%	20%
case1	비혼잡	⑥	⑥	⑥	⑥
	혼잡	⑥	⑥	⑥	⑥
case2	비혼잡	ch⑦	ch⑦	ch⑦	ch⑦
	혼잡	⑦	⑦	ch⑦	⑦
case3	비혼잡	⑥	⑥	⑥	⑥
	혼잡	ch⑥	ch⑥	⑥	ch⑦
case4	비혼잡	ch⑤	ch⑤	ch⑤	ch⑤
	혼잡	ch④	⑤	ch⑤	ch⑤

LT/Thru 10%에서의 최적현시가 15%에서 갑자기 주기가 적정값 이상으로 커지게 되어 포화차두간격보다 차두간격이 큰 차량에게 녹색시간이 부여되므로 자연히 손실시간이 증가되었다. 이러한 손실시간은 다른 이동류의

지체시간에 직접적인 영향을 주므로해서 전체 교차로의 지체도 함께 증가되었다. 주기의 급격한 변화는 포화상태와 과포화상태 사이의 전이시점에서 포화도(v/c비), 이동류별 현시 녹색시간비율이 크게 변한 것으로 보아 포화 및 과포화 상태 전이시점에서의 불안정한 교통류에 기인한 것으로 판단된다. 이런 현상이 나타난 또 다른 원인으로는 TRANSYT-7F 내부 알고리즘 특성에서 찾을 수 있다. TRANSYT-7F release 8의 이전버전에서는 정지선에 대기차량이 수직으로 쌓이는(stack) 수직적 대기행렬(vertical queue)개념이 적용되어 대기하고 있는 차량과 정지선 사이에 요구되는 통행시간이 무시되어 한 링크의 spillback효과로 인한 시간초과(overtime)에 대해 제대로 반영하지 못하였다. 그러나 새로운 버전(release 8이후 버전)에서는 각 time step에 대해 모든 교통류 패턴과 링크 진행순서가 하류부에서 상류부로 진행되는 수평적 대기행렬(horizontal queue) 개념이 적용되어 대기행렬에 대한 spillback 효과를 포함한 포화상태를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 하지만 기본적으로 TRANSYT-7F의 최적해를 찾는 과정은 수행지수(Performance Index)를 최소화(혹은 최대화)하기 위해 옴셋과 녹색시간을 일정한 크기로 변화를 주면서 반복적으로 계산을 수행하는 휴리스틱(heuristic) 탐색기법의 일종인 Hill-climbing 기법을 이용하는데 이 기법은 해를 빨리 찾는 장점이 있지만 이 값이 유일해(unique solution)가 아닐 수는 있다. 정확히 말하면 이 값이 국지해(local solution)이긴 하나 최적해에 가장 가까운데 존재하는 값으로 생각하면 된다. 이는 수리모형에 의해 유일해(unique solution)가 나오는 알고리즘이 아니라 국지해가 나올 수 있는 휴리스틱 탐색기법을 이용한 것에 기인한다고 보면 된다. 이러한 프로그램의 내부 알고리즘상의 한계도 하나의 원인으로 생각해 볼 수 있으나 그 보다는 어떤 도구를 사용하여 분석하는 경우 그 도구에 내재되어 있는 문제점을 파악하여 분석에 대한 정확하고 종합적인 결론을 도출하는데 오류를 최소화하는 평가과정 측면을 강조하고자 한다.

넷째, 본 연구에서 기본현시와 주도로의 현시순서만을 바꾸어서 분석해 본 결과 비혼잡상태에서는 거의 동일한 지체값을 보이는 반면 혼잡상태에서는 지체값에 큰 차이가 나타나 같은 현시그룹내에 있더라도 현시순서에 따라 지체에 민감하게 적용한다는 것을 알 수 있다. 이는 이동류간의 여유시간을 일반적으로 차선이 많은 이동류(직진이동류)에 부여하는데 도착교통량에 따

라 어느 접근로 이동류에 여유시간을 부여하는가에 따라 지체가 직접적인 영향을 주기 때문이다. 이러한 결과는 최근 실시간 신호제어에서 현시체계 구현방법 중 Dual ring 방식에서 8현시를 탄력적으로 운영하는데 있어 좀 더 세심하게 구현하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

다섯째, 독립교차로 및 연동교차로 현시순서 분석 결과를 보면 전반적으로 현시그룹 G1, G3가 가장 양호한 것으로 나타났으며, 양방 동시신호인 G2, G5는 대체로 지체가 높게 나타나 신호운영에 비효율적인 것을 다시 한번 입증하게 되었다. 특히 연동교차로에서는 CASE4을 제외하고는 연동에 중요한 요소인 오프셋과 진행대폭(bandwidth)의 상호관계를 탄력적으로 대응할 수 있는 현시그룹 G3가 최적 현시로 나타났다.

V. 결론 및 향후연구과제

신호교차로 운영 최적화를 위한 4가지 변수인 주기, 현시순서, 현시녹색시간, 오프셋 중에서 현시순서는 상대적으로 활발한 연구가 되지 않았다. 본 연구는 신호 최적화 프로그램으로써 널리 사용되고 있는 TRANSYT-7F에서 최적값을 도출하지 못하는 현시순서에 대해 현시순서 구성 및 다양한 교통조건을 고려하여 최적의 현시순서를 도출하였다.

독립교차로의 경우는 현시순서에 영향을 줄 수 있는 교차로 기하구조, 주·부도로의 통과교통량 비율, 혼잡·비혼잡상태(v/c ratio), 주기의 변화를 고려하여 최적현시를 도출하였다. 독립교차로의 경우는 신호최적화에 중요하게 영향을 미치는 모든 요소를 조합하여 비교 분석하였기 때문에 최적현시로 현실에 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단된다.

연동교차로의 경우는 교통조건으로 교차로 기하구조, 주·부도로의 통과교통량 비율, 혼잡·비혼잡상태(V/C), 주기의 변화, 교차로간의 간격, 연동축 가중치를 고려하여 최적현시를 도출하였다. 독립교차로와 달리 연동교차로 실험계획방법에는 제약조건을 두었다. 일반적으로 연동축의 경우는 교차로의 운영지표(지체 등)에 영향을 주는 요소 중에 교차로간의 간격과 연동축 가중치가 있는데 본 연구에서는 각각 600m, EB:WB=60:40으로 가정하고 분석하였다. 교차로의 간격은 차량군 분산(platoon dispersion)과 직접적인 영향이 있으며, 연동축 가중치는 주 연동방향의 진행대폭(bandwidth)과 직접적으로

영향을 주기 때문에 이에 대한 세부적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 검지기가 설치되지 않은 고정식 신호기로 운영되는 지방부 및 도시 가로망의 교통류 효율성을 높이는 중요한 자료로 사용될 것으로 판단된다. 특히 지역 단위의 네트워크 전체의 효율성을 높이기 위한 신호망 제어에는 다양한 교통상황에 대해 독립교차로(CI 포함) 및 간선도로 제어 전략에도 본 연구 결과가 도움이 될 것이다. 최근에는 실시간 교통신호 제어시스템이 활발히 연구·운영되고 있는데 이 시스템 내에 포함되어 있는 TOD방식의 고정시간 제어(pretimed control)나 패턴선택제어(pattern selection control)에도 충분히 활용할 수 있다. 또한 새롭게 개발된 신호 관련 알고리즘이나 시뮬레이터에 대한 신뢰성을 검증하는데에도 활용할 수 있다.

향후 연구과제로는 첫째, LT/Thru를 5%, 10%, 15% 등의 이산적인(discrete)인 경우로 나누었는데 보다 현실적이고 정확한 최적 현시도출을 위해 퍼지이론, 신경망이론 등의 인공지능을 접목시켜 LT/Thru의 연속적인(continuous) 분석이 필요할 것으로 판단된다. 둘째, 연동교차로 경우는 4개 교차로에 한해서 분석하였으며 교차로 간격을 600m, 연동축 가중치는 EB:WB=60:40로 가정하였다. 보다 다양한 교통조건을 반영하기 위해서는 교차로 간격과 차량군 분산 등을 고려한 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 도철용(2004), 교통공학원론(상), 청문각.
2. 조준환(2001), "TRANSYT-7F을 이용한 신호현시 구성기법과 신호최적화 전략", 한양대학교 석사논문.
3. 김경철(1993), "지식기반체계 접근방법에 의한 교통 신호 현시설계에 관한 연구", 서울대학교 박사논문.
4. 진현수·홍유식·김성환(1996), "퍼지논리를 이용한 최적교통신호 현시설계에 관한 연구", 대한교통학회지, 제14권 제1호, 대한교통학회, pp.117~133.
5. 신언교(1997), "지체최소화를 위한 신호연동화모형 개발에 관한 연구", 서울시립대 박사학위 논문.
6. 김영찬·신언교(1997), "지체최소화를 위한 도시간선 도로 좌회전현시체계 최적화에 관한 연구", 대한교통학회지, 제15권 제1호, 대한교통학회, pp.157~174.
7. 도로교통안전관리공단(1997), 좌회전 교통류 관리

방안에 관한 연구.

8. Akcelik R(1986), "Traffic signals : Capacity and timing analysis, ARR123, Research report, ARRB.
9. Nittymaki J(1999), "Using fuzzy logic to control traffic signals at multi-phase intersection", Dortmund fuzzy tape, Computational intelligence: theory and application.
10. Hummer J.E, Montgomery R.E, Shinha K.C (1991), "Guidelines for use of leading and lagging left-turn phasing". TRR 1324.
11. Fambro D.B, Gaston G.D, Hoff C.M(1991), "Comparison of two protected-permitted lead-lag left turn phasing arrangements", Research report 9891F. Texas Transportation Institute.
12. Parsonson P.S (1992), "Signal timing improvement practices", NCHRP synthesis of highway practice 172, TRB.
13. Pline J.L(1995), "Left turn treatment at intersections", NCHRP synthesis 225, TRB.
14. Mohammed A. Hadi, Charles E. Wallace (1999), "TRANSYT-7F Simulation Model for Congested Conditions", a paper presented at the 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board, November.
15. Min-tang Li, Albert C. Gan(1999), "Signal Timing Optimization for Oversaturated Networks using TRANSYT-7F", a paper presented at the 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January.
16. Catarella Am, Wolshon B, Juneau Nm (2001). "A method for the simulation of coordinated lead-lag left-turn phasing in CORSIM", ITE Journal.
17. Fred L, Orcutt Jr(1993), "The traffic signal book", Prentice-Hall.
18. Lin H.J, Machelmehl C.E, Lee, Herman (1998), "Guidelines for use of left-turn lane and signal phase", Center for transportation research, Univ of Texas.
19. Wallace,C.E.,K.G.Courage, M.A.Hadi and A. Gan (1998), "Methodology for Optimization Signal Timing, Volume 4 : TRANSYT-7F User Guide", prepared for the Federal Highway Administration, COURAGE & WALLACE, Gainesville, FL, updated by the McTrans Center, University of Florida.
20. "Traffic Software Integrated System, User's Manual (1998)", prepared by ITT Systems and Sciences, Inc.,for the Fedrerel Highway Administration.

✉ 주 작 성 자 : 조준한

✉ 논문투고일 : 2004. 5. 7

논문심사일 : 2004. 7. 14 (1차)

2004. 8. 12 (2차)

심사판정일 : 2004. 8. 12

✉ 반론접수기한 : 2005. 2. 28