

■ 論 文 ■

# 5지 신호교차로에서의 안전을 고려한 신호현시 설계

## Safety Enhanced Signal Phase Sequence Design of a Rotary with Five Leg Intersection

**박 재 완**

(한양대학교  
교통공학과 석사과정)

**김 진 태**

(한양대학교  
첨단도로연구센터 연구교수)

**장 명 순**

(한양대학교  
교통시스템공학과 교수)

### 목 차

- I. 서론
  - II. 문헌조사
  - III. 연구방법
    - 1. 현장조사
    - 2. Transyt이용 신호시간 설계
    - 3. 상충수 최소화를 위한 신호시간 보정
    - 4. 현시순서 설계
  - IV. 지체도 및 상충지점수 비교분석
    - 1. 지체도 비교분석
    - 2. 상충지점수 비교분석
  - V. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 5지 신호교차로, 신호현시, 교통안전, TRANSYT, 상충점, 지체도

### 요 약

일반적으로 4지 또는 3지의 교차로가 설계·운영되고 있으나 적지 않게 5지 또는 그 이상의 원형 신호교차로가 실질적으로 이용되고 있다. 접근로 수에 따른 교차로 형태별 분류에 의하면 5지 이상의 교차로에서의 상충지점의 수는 4지 교차로의 그것보다 월등히 높아 설계지침에서도 4지 이하의 교차로를 설계할 것을 권하고 있으며 마찬가지로 5지 원형 신호교차로에서도 그 상충지점 수가 많다. 이러한 이유로 5지 신호교차로의 신호 설계는 교통소통이 아닌 교통안전측면에서 신호현시 순서 및 길이가 결정되어야 할 필요가 있으며 또 그러한 현시순서는 교차로 내 원활한 교통의 흐름을 심각한 수준으로 방해하지 않을 필요가 있다.

본 연구에서는 5지 신호교차로의 안전을 고려한 현시순서설계 방안을 제시한다. 울산광역시에서 운영중인 공업탑 5지 신호교차로를 대상으로 현장자료를 수집하였으며, 신호시간 설계모형은 TRANSYT-7F를 적용했다. TRANSYT-7F에서의 최적 신호현시의 길이를 토대로 기본적으로 "한 현시에 2개 교통류의 이동"원칙에 따라 재배열하였다. 제안된 방법으로 보정된 신호현시 순서 및 길이를 사용하여 모의실험한 결과, TRANSYT-7F에서 제시한 최적 신호현시 순서 및 길이를 적용한 것에 비하여 평균 6.2%지체도 증가가 있었으나 교차로 내 상충수를 61.5% 줄이는 결과를 도출하였다.

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행 결과입니다.

## I. 서론

교차로 설계 시 교통 소통 측면과 안전을 고려해 일반적으로 4지 또는 3지의 교차로가 설계/운영되고 있으나 적지 않게 5지 또는 그 이상의 신호교차로가 실질적으로 이용되고 있다.

접근로 수에 따른 교차로 형태별 분류에 의하면 5지 이상의 교차로에서의 상충지점의 수는 4지 교차로의 그것보다 월등히 높아 설계지침에서도 4지 이하의 교차로를 설계할 것을 권하고 있으며 마찬가지로 5지 신호교차로에서도 그 상충지점 수가 많다. 이러한 이유로 5지 교차로의 신호 설계는 교통소통이 아닌 교통안전측면에서 상충지점의 수를 줄일 수 있는 신호 현시 순서 및 길이가 결정되어야 할 필요가 있으며 또 그러한 현시순서는 교차로 내 원활한 교통의 흐름을 심각한 수준으로 방해하지 않을 필요가 있다. 그러나 신호현시 순서 및 길이를 산정하는 방법에 제약이 있어 현재 현장에서 적용되는 대부분의 현시 순서 및 현시 길이는 Traffic Network Study Tool(TRANSYT)을 이용하여 설계되고 있으나 TRANSYT은 안전을 고려하지 않은 소통위주의 신호시간 설계를 수행한다.

본 연구에서는 TRANSYT에 의하여 설계된 신호 현시순서 및 현시길이를 보정하여 안전을 고려한 5지 신호교차로에서의 신호시간 보정방안을 제시한다. 신호교차로에서의 안전증진을 위하여 교차로 내 상충지점을 최소화하는 것을 목표로 설정하였다.

## II. 문헌조사

Highway Capacity Manual(2000)은 신호현시를 설계함에 있어 (1)임계 차로군의 포화도를 맞추는 방법, (2)모든 차량들의 총지체를 최소화하는 방법, (3)모든 임계 차로군의 서비스수준을 같게하는 방법을 고려하여 현시순서를 결정할 것을 제안하고 있다.

신호시간의 설계는 크게 설계 전략과 설계방법으로 나뉘어 질 수 있다. Webster(1958)는 지체도를 최소화하는 주기시간을 산정하고, 이러한 주기시간을 토대로 각 현시별 임계 차로군(critical lane group)의 포화도를 균등화하는 전략을 제시하였다. 이러한 Webster의 방법은 교차로 전체 지체도를 최소화하지 않는다는 단점이 있다. 이 임계 차로군의 포화도를 수리식을 이용하여 균등화하는 방법은 과도한 실행과

반복과정이 없이 이루어질 수 있다.

1980년대 급속도로 발전한 전산기술의 힘으로 지체도를 최소화하며 신호시간을 설계하는 모형이 소개되었다. TRANSYT은 시공도를 활용하며 지체도를 추정하고 이러한 지체도를 최소화하는 신호시간을 trial-and-error기술을 이용하여 찾아낸다. 그러나 지체도 최소화 전략은 주방향과 부방향 교통량의 차이가 많을 시 부방향의 지체도를 급격히 증가시키는 단점이 있다. 이 모든 차량의 총지체를 최소화하는 방법은 신호 시간 설계시 종종 정지와 연료소모의 최소화 같은 방법들과의 조합과 함께 최적해라고 일반적으로 제시되며 많은 신호시간모형이 이 최적대안을 따른다.

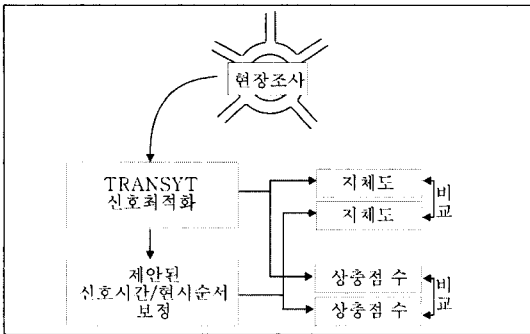
이러한 (1)임계차로군의 포화도를 균등화하는 방법과 (2)모든 차량들의 총지체를 최소화하는 방법 모두 부교통류에게 높은 지체와 낮은 서비스 수준을 부담지워서 임계차로군의 서비스수준 불균형으로 교차로 서비스 수준의 산정에 어려움이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 각 임계차로군의 서비스 수준을 균등화하는 방안이 Federal Highway Administration(1997)에 의하여 제안되었고 Signal Operation and Analysis Package 2000(SOAP2K)에 의하여 전산적용이 가능하다. 모든 임계차로군의 서비스수준을 같게 하는 방법은 모든 접근로의 서비스 수준을 향상시키는 것이다.

TRANSYT은 현시순서를 설계하는 기능을 가지고 있지 않다. 미국 Texas Transportation Institute(TTI)에서 개발한 Progression Analysis and Signal System Evaluation Routine(PASSERII)는 적용 가능한 현시순서조합의 수를 모두 검토하여 최적의 현시순서를 제공하는 기능이 있다. 그리하여 현재, 미국에서는 신호시간을 설계함에 있어 PASSERII를 사용하여 신호현시순서를 결정하고 TRANSYT을 이용하여 현시길이를 결정하는 방법이 널리 이용되고 있다.

그러나 신호현시 순서 및 길이를 산정하는 방법에 제약이 있어 현재 현장에서 적용되는 대부분의 현시 순서 및 현시길이는 안전을 고려하지 않은 소통위주의 신호시간 설계를 수행한다.

## III. 연구방법

본 연구에서는 TRANSYT에 의해 설계된 신호현시 시간을 토대로 상충수를 줄일 수 있도록 기본적으로 "한 현시에 2개 교통류의 이동", 원칙에 따라 재배열



〈그림 1〉 연구방법의 흐름도

하여 새로운 신호현시순서 및 길이를 보정하였다.

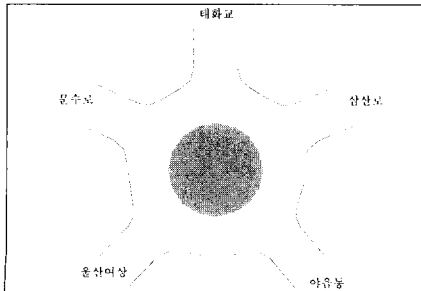
제안된 보정방법을 통해 도출된 신호시간을 TRANSYT 을 이용한 분석을 통하여 상충수가 줄어들면서 증가하는 지체도의 수준을 검토하였다. 본 분석을 위해 현재 운영되고 있는 5지 신호교차로를 선정하여 자료 조사를 실시하였다.

### 1. 현장조사

5지 신호교차로에서의 신호현시 설계에 대한 연구를 위하여 울산광역시, 공업탑 5지 신호교차로에서 자료 수집을 수행하였다(〈그림 2〉 참고).



(a) 공업탑 5지 신호교차로 사진



(b) 공업탑 5지 신호교차로 접근로

〈그림 2〉 공업탑 5지 신호교차로, 울산

〈표 1〉 교차로의 접근로별 교통량

O \ D	태화교	문수로	울산여상	야음동	삼산로
태화교	0	413	668	386	248
문수로	228	0	236	195	232
울산여상	666	188	0	269	395
야음동	257	110	104	0	136
삼산로	261	259	402	78	0

주 : 위 교통량은 비침두시 교통량임.

대상 지역인 공업탑 교차로는 5지 신호교차로로써 원형 도로는 일방통행으로 운영되고 있다.

2001년 12월에 수행한 현장조사 결과 교차로 이용 교통량은 〈표 1〉과 같다.

공업탑 5지 신호교차로는 상시적으로 체증이 일어나는 지역으로 본 연구의 목적상 과포화시 교통량은 의미가 없으므로 비침두 교통량을 기준으로 TRANSYT 에 적용되었다.

### 2. TRANSYT 이용 신호시간 설계

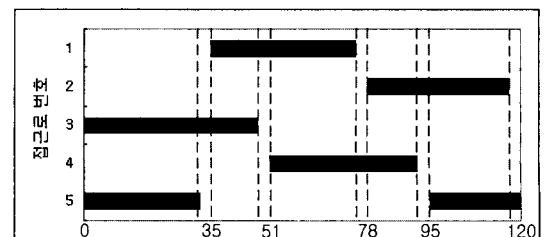
현재 공업탑 로터리는 〈그림 3〉과 〈표 2〉와 같이 10현시로 운영되고 있으며 주기시간은 120초이다.

대상 지역인 울산시의 설계/운영중인 공업탑 5지 신호교차로를 TRANSYT으로 분석하기 위해 Traffic Signalised & Unsignalised Intersection Design and Research Aid(SIDRA)에서 제시된 하나의 5지

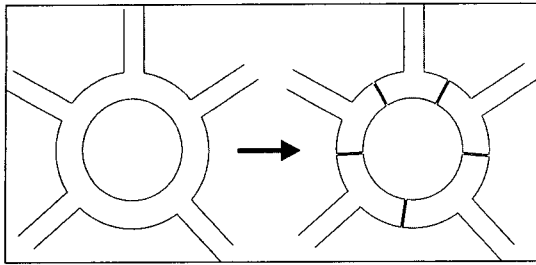
〈표 2〉 운영중인 신호시간

	Offset	녹색 + 황색시간	적색시간
태화교	35	40	80
문수로	78	39	81
울산여상	0	48	72
야음동	51	41	79
삼산로	95	57	63

주 : 2001년 12월에 측정된 신호시간



〈그림 3〉 운영중인 현시순서

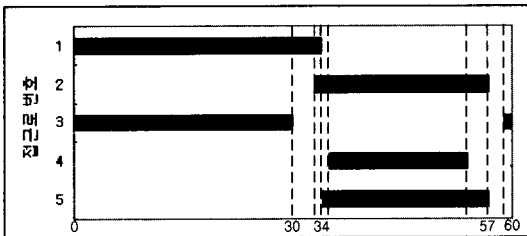


(a) 1개의 5지교차로 (TRANSYT적용 불가)      (b) 5개의 3지교차로 (TRANSYT적용 가)

〈그림 4〉 TRANSYT 적용을 위한 교차로 분리

〈표 3〉 TRANSYT에 의해 최적화된 신호시간

	Offset	녹색 + 황색시간	적색시간
태화교	0	34	26
문수로	33	24	36
울산여상	59	31	29
야음동	35	19	41
삼산로	34	23	37



〈그림 5〉 TRANSYT 최적현시 순서

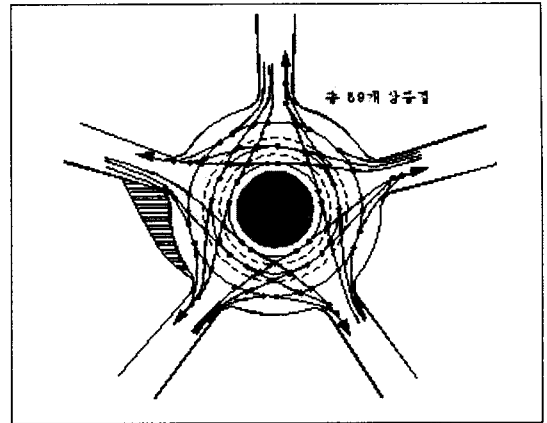
교차로를 〈그림 4〉와 같이 5개의 연속된 3지 교차로로 분리해서 적용하였다. 기존의 3지 교차로와 같이 적용하며 접근로만 양방향이며 나머지는 일방통행으로 하였다.

앞과 같이 연속된 5개의 3지 교차로에 TRANSYT을 적용해 최적화된 신호시간은 〈그림 5〉와 〈표 3〉과 같다.

TRANSYT으로 설계된 신호현시는 주기가 60초이고 현시는 8현시로 설계되었다.

### 3. 상충수 최소화를 위한 신호시간보정

안전을 고려한 5지 신호교차로에서의 신호현시 설계를 위하여 한 현시에 이동하는 교통류를 줄이는 방향으로 신호시간 설계를 했다. 〈그림 6〉은 공업탑 5지

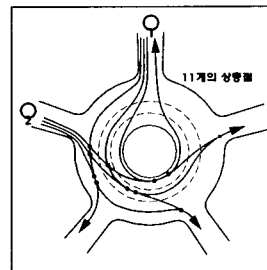


〈그림 6〉 5지 신호교차로(3차로)에서의 상충점 수

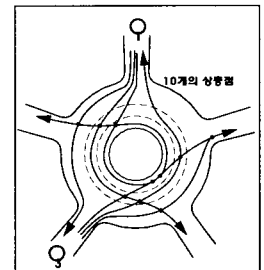
신호교차로에 5개의 접근로에서 동시에 진입시 상충수를 나타낸다.

본 연구에서는 '한 현시에 2개의 이동류 이동'을 원칙으로 진입로에 녹색시간을 부여해서 5지 신호교차로의 상충지점의 수를 줄였다.

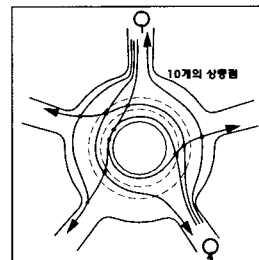
2개의 접근로에 녹색시간을 부여 시(Overlapping) 접근로별 녹색시간 순서를 상충이 최소화되게 Offset을 보정하였다. 〈그림 7〉에서는 1번접근로를 기준으로



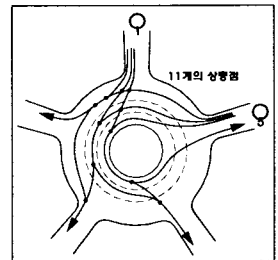
(a) 우측 1번째 접근로와 함께 현시사용 시 함께



(b) 우측 2번째 접근로와 함께 현시사용 시



(c) 우측 3번째 접근로와 함께 현시사용 시



(d) 우측 4번째 접근로와 함께 현시사용 시

〈그림 7〉 2개 접근로 개방에 따른 상충점 수 비교

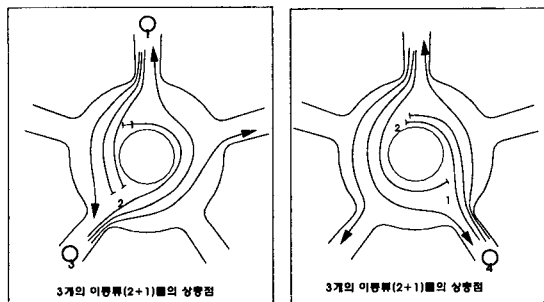
타 접근로(1번과 2번, 1번과 3번, 1번과 4번, 1번과 5번)와의 상충정도를 비교하였다. 이 때 도류화된 우회전 움직임은 제외하였다.

1번접근로와 함께 3번 혹은 4번접근로에 중첩현시를 부여함으로 5지 신호교차로의 상충수(10개)가 최소화되는 것으로 분석되었다.

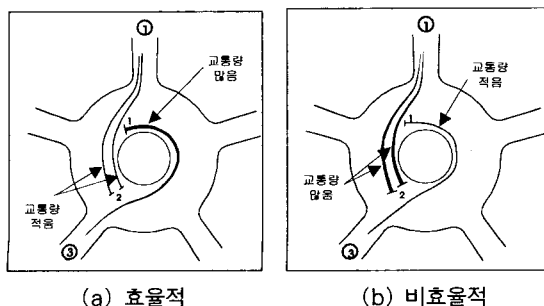
1번과 3번접근로 그리고 1번과 4번접근로에서 진입할 경우 <그림 8>에서와 같이 모두 동일한 상충수(10개)를 가지며 이 두 가지의 경우를 회전이동하면 동일한 형태인 것을 알 수 있다.

그러므로 1번과 3번접근로중 어느 곳에서 중첩현시를 먼저 받는지에 따라 교차로 내 교통상황이 달라지게 된다. leading 의 경우와 lagging 의 경우로 구분하기 위하여 <그림 9>에서와 같이 상충지점이 2개를 가지는 접근로를 접근로A, 1개의 상충지점을 가지는 접근로를 접근로B라 하고 아래의 분석을 실시하였다.

접근로 A가 leading 일시 lagging 움직임 중 1개 이동군(movement)이 로타리내 정지하며, 현시후반에는 접근로 A를 진출한 이동군(큰 차두간격으로 교통량 적음)과 접근로 B를 진출한 이동군(진출초기이



<그림 8> 우측 2, 3번째 접근로와 함께 현시사용 시 3개 이동류의 상충점 비교



(a) 효율적 (b) 비효율적

<그림 9> 현시후반 교차로 내 소통현황

<표 4> 현시부여 순서

	접근로 번호				
Leading	1	3	5	2	4
Lagging	3	5	2	4	1

므로 작은 차두간격으로 많은 교통량의 상충이 발생하여 로타리를 회전중인 접근로 A를 진출한 이동군이 양보를 한다.

접근로 B가 leading 일시 lagging 움직임 중 2개 이동군(movement)이 로타리 내 정지하며, 현시후반에는 접근로 B를 진출한 이동군(큰 차두간격으로 교통량 적음)과 접근로 A를 진출한 이동군(진출초기이므로 작은 차두간격으로 많은 교통량의 상충이 발생하여 로타리를 회전중인 접근로 A를 진출한 이동군이 양보를 한다.

따라서 A접근로와 B접근로에 중첩현시 구현 시 Leading-and-lagging의 순서구현은 A-leading, B-lagging이 우수하다고 할 수 있다.

따라서 5지 신호교차로 신호현시운영의 경우 시간 반대 방향으로 두 개의 접근로를 건너뛰면서 중첩되는 현시의 운영이 효율적이라 하겠다. 이것을 <표 4>에 교차로 번호로 표현하였다.

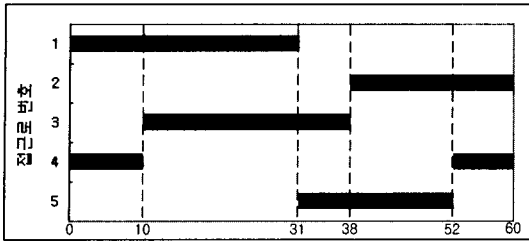
#### 4. 현시순서 설계

앞서 언급한 바와 같이 TRANSYT은 최적 신호현시길이를 제시한다. 이를 토대로 본 연구는 제안된 현시운영순서와 최적설계된 주기시간, 녹색시간을 토대로 신호시간을 보정하였다. 아래 <표 5>와 <그림 10>과 같은 신호현시 설계를 할 수 있다.

보정된 신호설계는 1번접근로의 Offset을 0으로 하면서 "한 현시에 2개 교통류의 이동"을 만족시킨다.

<표 5> 보정된 신호시간

	Offset	녹색 + 황색시간	적색시간
태화교	0	31	29
문수로	38	22	38
울산여상	10	28	32
야음동	52	18	42
삼산로	31	21	39



〈그림 10〉 보정된 신호설계 순서

### N. 지체도 및 상충지점수 비교분석

TRANSYT의 최적신호시간과 보정된 신호시간에 적용되었을 시 변화하는 (1)지체도와 (2)상충지점 수를 비교분석하였다.

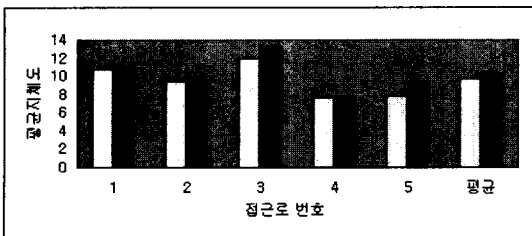
#### 1. 지체도 비교분석

본 연구에서 제시한 보정된 신호설계에 의한 신호시간과 TRANSYT의 최적현시설계에 의한 신호시간과의 지체도 비교를 〈표 6〉와 〈그림 11〉에 나타내었다.

제한된 방법으로 보정된 신호현시 순서 및 길이를 사용하여 모의실험한 결과, TRANSYT에서 제시한 최적 신호현시 순서 및 길이를 적용한 것에 비하여 평균 6.2%지체도 증가가 있었다.

〈표 6〉 지체도 비교

	TRANSYT 최적현시시	제시된 신호설계	지체 증가율(%)
태화교	10.8	11	1.9%
문수로	9.5	9.6	1.1%
울산여상	11.9	13.2	10.9%
야음동	7.7	7.8	1.3%
삼산로	7.8	9.3	19.2%
평균지체도	9.7	10.3	6.2%



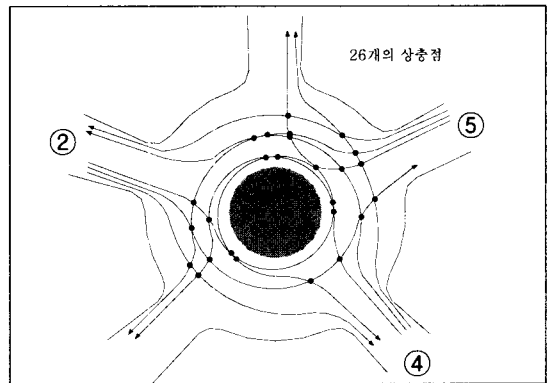
〈그림 11〉 각 접근로별 지체도 비교

### 2. 상충지점수 비교분석

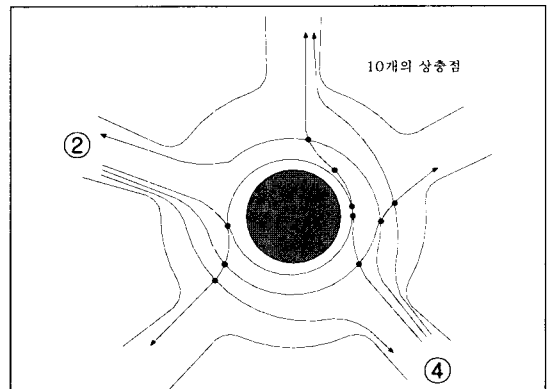
TRANSYT에서 제시한 신호설계에 의해 5지 신호교차로를 운영시 한 현시에 최대 3개의 접근로에서 진입을 하게 된다. 반면에 본 연구에서 제시한 보정된 신호설계에 의해 5지 신호교차로를 운영시 "한 현시에 2개 교통류의 이동"원칙에 맞게 한 현시에 최대 2개의 접근로에서 진입을 한다. 〈그림 12〉에 두 경우에 따른 상충수를 표현하였다.

TRANSYT의 최적 신호설계로 운영시 최대 상충점은 26개/현시를 나타낸 반면, 본 연구에서 제시한 보정된 신호설계에 의한 공업탑 5지 신호교차로의 운영시 최대 상충점은 10개/현시를 나타내었다.

TRANSYT의 최적신호설계와 본 연구의 보정된 신호설계의 지체도와 상충수 비교를 〈표 7〉에 나타내었다.



(a) TRANSYT 최적신호설계 사용시



(b) 보정된 신호설계 사용시

〈그림 12〉 각각의 경우에 최대 상충점 비교

〈표 7〉 상충지점수와 지체도 비교

	상충지점수(개/현시)	지체도(시/대)
TRANSYT	26	9.7
제안된 보정법	10	10.3
변화량	61.5% 감소	6.2% 증가

### V. 결론 및 향후연구과제

보정된 신호설계로 공업탑 5지 신호교차로 신호운영시 TRANSYT의 최적 신호설계에 비해 6.2%(9.7초/대→10.3초/대 0.6초/대 증가)의 지체도 증가가 있었던 반면 상충수는 61.5%(29개/현시→10개/현시 19개/현시 감소)로 줄일 수 있었다.

본 연구의 상충점 비교는 대표적인 차로변경지점을 선정하여 이를 바탕으로 수행된 것이므로 상충지점을 파악하는 기법에 대한 연구 및 보완이 요구된다. 또한 본 연구의 대상지역이 한 개의 교차로를 대상으로

한 것으로 다른 지역 유사교차로와의 비교검토가 이루어져야하며, 한 개의 5지 교차로를 5개의 3지 교차로로 나누어서 분석한 지체도 비교시 현장적용 및 다른 시뮬레이션 모형에의 적용검토가 요구된다.

### 참고문헌

1. Federal Highway Administration(1998), 'TRANSYT-7F Users Guide', Florida, U.S.A.
2. Texas Transportation Institute(1991), 'PASSER II-90 User's Guide', Texas, U.S.A.
3. Transportation Research Board, National Research Council(2000), 'Highway Capacity Manual Special Report 209, 3rd edition', Washington DC, U.S.A.
4. Webster, F.V.(1958), 'Traffic Signal Settings', Road Research Technical Paper 39, London, U.K.

✉ 주 작 성 자 : 박재완

✉ 논문투고일 : 2002. 11. 1

논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)

2003. 1. 3 (2차)

심사판정일 : 2003. 1. 3

✉ 반론접수기한 : 2003. 4. 30