

■ 論 文 ■

모의실험 환경에서의 오프셋전이길이 비교연구

A Comparison Study of Different Offset Transition Lengths in Simulation Environment

김진태

장명순

박재완

(서울지방경찰청 교통개선기획실 실장) (한양대학교 교통시스템공학부 교수) (한국도로공사 기획조정실 조사팀 대리)

목 차

- I. 서론
 - II. 문헌고찰
 - III. 연구방법
 - 1. 오프셋이 교통상황 전개 시나리오
 - 2. 다양한 간선도로 교통상황 설정
 - 3. 모의실험 분석
 - IV. 연구결과
 - 1. 전이길이별 지체도 변화 경향
 - 2. 통계분석
 - V. 연구결과 검증
 - VI. 결론 및 향후연구
- 참고문헌

Key Words : 오프셋, 전이, 주기, 연동, 모의실험

요 약

실시간 신호제어군의 결합 및 분리를 통한 실시간 연동신호교차로군 조절은 최근에 강조되고 있는 첨단교통신호제어시스템의 기능 중 하나이다. 필요에 따라 연동축 및 연동방향을 능동적으로 조절하는 과정에서 신호제어군의 실시간 분리·결합 상황이 발생하며, 이때 필수적으로 오프셋을 재조정을 위한 '오프셋전이시간'이 소요된다. 이 때 '오프셋전이시간'이 필요이상 긴 경우 비효율적인 신호운영변수가 장시간 적용됨으로 인하여, 필요이상 짧은 경우 갑작스런 신호시간 변화에 따른 교통흐름 장애(turbulence)로 인하여 해당 구간 신호제어 운영 효율성이 저하될 수 있다. 현재의 국내 실시간신호제어시스템은 3주기에서 5주기에 걸쳐 '오프셋전이시간'을 적용할 것을 개략적으로 권고하고 있으나 해당분야에서의 공학적 연구가 미비하다.

본 연구에서는 네 가지 다른 오프셋전이시간(한 주기길이, 두 주기길이, 세 주기길이, 네 주기길이)를 활용하는 네 가지 다른 오프셋 전이방법의 성능을 CORSIM 모의실험 환경에서 CORSIM RTE 기능을 이용하여 분석하고 비교하였다. 설정된 총 15가지 상이한 교통소통 상황을 토대로 다양한 무작위난수를 적용하는 모의실험을 수행하며 수집된 평균 차량지체자료를 통계 분석한 결과 한 주기 길이 오프셋전이시간이 본 연구에서 설정된 모든 교통상황에서 기타 오프셋전이시간보다 우수하거나(낮은 지체도) 적어도 동일한 것으로 분석되었다. 본 연구는 한 주기 '오프셋전이길이' 적용을 오프셋이 적용지침으로 사용할 것을 제안한다.

Signal timing transition has recently been highlighted with Adaptive Traffic Control Systems (ATCS) providing advanced traffic signal operation including real-time grouping of coordinated intersections. Signal timing transition occurs when such signal timings as cycles and offsets are changed at coordinated intersections. Setting a proper length of signal timing transition has become in interest for real-time coordination. This paper presents a study verifying the effects of different lengths of signal timing transition. Four different transition lengths were tested and compared in simulation environment. They include a single, double, treble, quadruple cycle length transitions. The number of cycles represents the ones used (interpolation) for transition. Signal timings were controlled to be adjusted uniformly and discretely during a transition period. Transition times considered in the test are within ranges of ± 20 percents of cycle lengths. It was found from the study that a single cycle transition performs better than or at least equal to the ones from the other with fifteen different operational conditions, which are developed based on a hypothetical arterial. It was suggested that a single cycle length transition be beneficial when amount of transition is within ± 20 percents of cycle lengths.

I. 서론

도시 부 교통신호의 효율적인 운영은 교통흐름관리 및 정체관리에 있어 매우 중요하다. 도심부는 주요 교통유발 시설이 밀집되어 있어 지방부 신호교차로 보다 신호교차로의 밀도가 높으며 간격이 짧다. 조밀하게 연결되어 있는 신호교차로에서의 교통 소통상황은 인접 신호교차로 운영 상황에 상호 영향을 주고받기 때문에 이들 인접한 신호교차로들은 '제어군'으로 묶여 연계(coordination) 운영된다. 도심 부 신호교차로들은 이들의 형태 및 위치별 특성을 기준으로 여러 개의 신호 제어군 조합으로 분류·설정되고 운영된다.

하나의 신호제어군은 하나 이상의 신호교차로를 포함한다. 하나의 신호교차로를 포함하는 신호제어군은 독립신호제어군으로 구분되어 운영된다. 여러 개의 신호교차로를 포함하는 신호제어군은 연동신호제어군으로 구분되어 운영된다. 도시 내 신호교차로의 신호운영을 근본적인 바탕이 되는 신호제어군들의 효율적인 설계는 매우 중요하다.

최첨단 전자, 전기 및 통신 기술을 적극 활용하는 다수의 첨단교통신호제어시스템(ATCS, Adaptive Traffic Control Systems)들이 소개되고 있다. 이들 시스템은 현장에서 변화하는 교통상황을 실시간으로 감지하여 해당 상황에 적합한 교통신호운영변수를 실시간으로 설계 및 갱신하는 대응제어 기능을 강조한다. 그러나 이러한 최첨단 교통신호제어시스템의 실시간 운영 또한 효율적인 신호제어군의 설정에 운영의 기본 근간을 두고 있다. 이들 첨단교통신호제어시스템이 강조하고 있는 대응제어의 성공적 기능 구현에 신호교차로 제어군 설계는 많은 영향을 미친다.

첨단교통신호제어시스템은 대응신호제어와 연계하여 단위 신호제어군을 실시간으로 재조정하는 기능을 또한 제공한다. 이는 실시간 교통소통 상황에 따라 시스템 내 신호제어군을 실시간으로 재설계하는 기능이다. 예를 들어 연동 운영되는 하나의 제어군 내 신호교차로를 필요에 따라 분리하여 인접한 타 신호제어군에 포함되도록 하여 해당 제어군 내 신호교차로들과 연동 운영하도록 신호제어군을 재구성 한다. 또한 경우에 따라 두 개의 신호제어군에 포함된 모든 신호교차로를 하나의 연동 신호제어군으로 통합 운영한다. 이러한 제어군 결합·분리를 통한 신호제어군 재구성 기능은 적극적이며 능동적인 대응신호제어의 중요한 요소이다.

제어군 결합·분리 대상 신호교차로의 주기길이 및 오프셋 신호운영변수의 재설계가 신호제어군의 재조정에서 기본적으로 수반된다. 그 이후 갱신 이전 신호운영변수 값에서 갱신 이후 신호운영변수 값으로 변환 되는 과정이 현장에서 요구된다. 이 때 해당 과정에서 한 주기 이상 주기길이가 틀어지며 오프셋이 맞지 않는 상태가 필연적으로 발생한다. 이렇게 신호운영변수의 갱신적용 과정에 비 최적 신호운영상황이 발생하는 시간(보통 주기)을 '오프셋전이길이'라고 구분한다.

이러한 오프셋전이길이가 너무 짧은 경우, 신호운영시간이 갑작스럽게 변화하게 됨으로 인하여 시스템 내 혼돈 발생, 그리고 이로 인한 신호교차로 운영효율성 저하를 예측할 수 있다. 오프셋전이길이가 너무 긴 경우, 비효율적인 신호운영변수의 장기간 적용으로 신호교차로 운영효율성 감소를 예측할 수 있다. 오프셋전이길이가 신호교차로 구간 교통흐름에 미치는 영향을 분석하여 최적 오프셋전이길이를 설정하여야 한다. 그러나 해당 부문에 대한 이론적 연구가 부족하다.

국내 실시간신호제어시스템은 3~5주기에 걸쳐 오프셋 및 주기길이 전이를 수행할 것을 권하고 있다. 그러나 모호한 권고는 신호제어시스템 운영자가 해당 범위 내에서 개인적 판단으로 전이길이를 임의 설정하게 한다. 다양한 교통상황에서 최적 오프셋전이길이의 선택 및 적용을 지원하는 단정적(explicit) 운영기준을 마련하여 현장 신호운영의 효율성을 증진할 필요가 높다.

본 연구에서는 일련의 오프셋전이길이 대안을 평가하고 이들이 연동구간 교통 소통 상태에 미치는 영향을 비교분석한 후 적절한 오프셋전이길이에 대한 적용 기준을 마련한다. 본 연구의 세부 목적은 다음과 같다.

- (1) 적용 가능한 오프셋전이길이별 지체도 분석
- (2) 적용 가능한 오프셋전이길이별 지체도 비교평가
- (3) 일반적이며 단정적인 오프셋전이길이 적용기준 도출

본 연구에서는 오프셋전이길이를 네 가지 오프셋전이길이(한 주기길이, 두 주기길이, 세 주기길이, 네 주기길이)를 고려한다. 다섯 주기 이상의 오프셋전이길이는 분석대상에서 제외하였다. 그 이유는 다섯 주기길이 오프셋전이는 이미 장기간(약 8분; 주기길이 100초 가정)비 최적 신호운영상황이 발생되게 되어 비현실적이기 때문이다.

II. 문헌고찰

첨단교통신호제어시스템의 오프셋전이, 오프셋설계, 오프셋

전이 적용방법 등과 관련된 선행연구를 고찰하였다. 대부분의 선행연구는 시간변화에 따른 장래 교통수요 변화에 적절히 대응하기 위한 최적 신호운영시간 변수 설계에 대한 방안을 제시한다. 이들 방법으로 설계된 새로운 신호운영변수를 현장 신호교차로에 적용하는 과정 동안에 발생될 수 있는 문제의 규명 및 소거를 위한 선행연구는 매우 미진한 수준이다.

Lin 과 Tsao는 기존의 연구가 신호운영시간 설계에 국한되어 있으며 상대적으로 신호제어군 설계부문은 소외되고 있음을 지적 하였다¹⁾. 이들은 신호제어군 설계를 지원하는 지침과 다섯 가지의 수리지표를 제시하였다. 이들이 제시한 수리지표는 (1) 교차로 혼잡도, (2) 도로특성, (3) 임계도로구간길이, (4) 교통 서비스수준, (5) 교통흐름의 연속성이다. 이들의 연구는 오프라인 상태에서의 신호제어군 설계를 연구범위로 제한하고 있으며 실시간 신호제어군 설계는 연구범위에서 제외하였다. Stewart와 Van 은 실시간 읍셋 설계 및 갱신의 효과를 모의실험 환경에서 연구하여 실시간 읍셋설계의 필요성을 검증하였다²⁾.

Shoup 과 Bullock 은 감응연동신호제어시스템의 조기녹색회귀(Early Green Return)현상으로 인한 부정적인(negative) 제어상태를 억제하는 읍셋 신호운영변수 설계방안을 제시하였다³⁾. 이들의 방법은 비 연동방향 감응현시의 조기종결로 인한 여유시간을 주방향에 충분히 활용할 수 있는 감응연동신호제어시스템에만 제한적으로 활용가능하다. 이들 역시 제안된 방법으로 설계된 읍셋을 현장 시스템에 어떻게 적용(읍셋전이방법)하는지에 대한 적용방안은 제시하지 않는다.

Abbas, Bullock와 Head는 읍셋 시간과 읍셋전이 적용 시점을 설계하는 알고리즘을 개발하였다⁴⁾. 이들은 검지기로부터 추출되는 점유율과 교통량 자료의 왜도(skewness)를 근거로 연동현시를 5초 간격으로 전·후 이동시키며 최적 읍셋전이시점을 도출하는 방법을 제시하였다. 해당 방법으로 읍셋 및 적용시점을 설계하는 PRO-TRACTS (Purdue Real-time Offset Transitioning Algorithm for Coordinating Traffic Signals) 시스템을 개발하였다. 그러나 이들도 읍셋전이의 속도(읍셋전이 길이)에 대한 연구는 수행하지 않았다.

Abbas와 Bullock은 간선도로 주 연동방향을 기준으로 읍셋 값을 실시간 설계하는 알고리즘을 제안하였다⁵⁾. 제안한 설계방법은 미국 인디애나 주 내 도로를 대상으로 장비기반모의실험(HILS, Hardware-in-loop

simulation) 환경에서 실험한 후, 현시생략(phase Skipping)과 차량도착행태 등으로 영향 받는 실시간 신호제어시스템의 안정성에 많은 제약을 받는다고 지적하였다.

우리나라의 첨단 교통신호제어시스템인 실시간신호제어시스템은 주기증가 33%, 주기감소 17% 이내에서 읍셋조정을 3~5 주기에 걸쳐 수행하도록 권고하고 있다⁶⁾. 최소 세 주기 이상의 제약은 신호운영시간의 갑작스러운 변화로 발생될 수 있는 혼돈상황을 방지함이 목적이다. 이는 갑작스러운 신호운영시간의 변화를 억제하는, 충분히 보수적인 신호운영체계 확보 측면에서 장점이 있다. 그러나 최적화되지 않은 신호시간으로 운영되는 읍셋전이기간이 길어짐에 따라 신호운영 효율성이 감소되는 단점도 포함한다.

III. 연구방법

본 연구에서는 적용 가능한 읍셋전이길이 대안을 선정한 후 이들이 적용되었을 시 발생되는 교통소통 상황을 분석하고 비교한다. 이들 신호제어조건(읍셋전이길이)만의 변화에 따른 교통소통상태 절대 변화 분을 감지하기 위하여 실험환경 교차로 기하구조 조건 및 교통조건들은 모두 변화하지 않고 동일한 상태로 유지되어야 한다. 현장실험은 교통조건 무작위성 특성으로 현실적으로 실험조건을 충족시키기에 무리가 있다. 따라서 신호제어조건 변화에 따른 교통소통상태 절대 변화 분을 효율적으로 감지할 수 있는 모의실험 환경에서 본 연구를 수행한다.

본 연구 모의실험 환경을 설계하기 위하여 가상의 읍셋전이 교통상황 시나리오를 설정하였다. 설정된 읍셋전이 교통상황 시나리오를 기본으로 향후에 제시될 모의실험 분석 시나리오를 설계하였다. 설정된 읍셋전이 교통상황 시나리오는 다음과 같다.

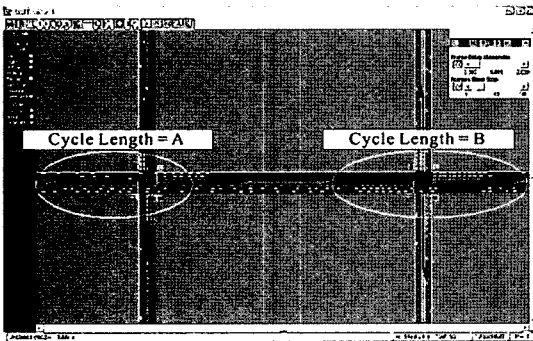
- (1) 두 개 신호교차로가 각각 신호제어군 A와 B에 속하여 두 개의 다른 신호주기로 독립 운영
- (2) 특정 시간 이후 교차로 B 교통량 변화
- (3) 특정 시간 이후 교차로제어군 B가 교차로제어군 A와 합쳐 하나의 제어군으로 운영되는 것이 좋을 것임을 판단 수행
- (4) 신호교차로 제어군 A와 효율적으로 연계될 수 있는 신호교차로 B의 신호시간(주기, 읍셋) 설계

- (5) 신호교차로 B의 신호시간이 새롭게 설계된 신호시간으로 전환 (옵셋전이)
- (6) 신호교차로 A와 B가 하나의 연동신호제어군으로 연계되어 연동운영 시작

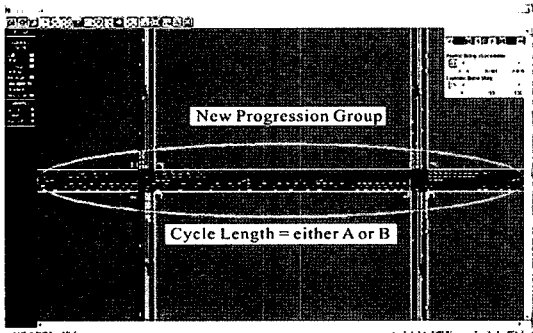
옵셋전이 시나리오 단계(5)가 옵셋전이가 해당되며 단계(5)의 시간 길이가 옵셋전이길이이다. 설정된 옵셋전이 시나리오는 단일 연동 신호제어군 연동배경주기(background cycle length) 전환 시에도 발생한다. <그림 1>은 상기 옵셋전이 시나리오에서 설명하는 옵셋전이 발생 전과 발생 후의 교통상황을 설명하는 그림이다.

본 연구에서 분석 대상으로 선정된 옵셋전이길이 대안은 아래와 같다. 이들의 성능을 운영효율성 측면에서의 분석, 비교, 검토한다.

- 전이방법 1 : 한 주기 옵셋전이길이 적용
- 전이방법 2 : 두 주기 옵셋전이길이 적용
- 전이방법 3 : 세 주기 옵셋전이길이 적용
- 전이방법 4 : 네 주기 옵셋전이길이 적용



(가) 제어군 재조정 전 신호제어 상황



(나) 제어군 재조정 전 신호제어 상황

<그림 1> 제어군 재조정 전·후 신호제어 상황

현장에서 관측되는 다양한 교통조건(교통량 수준) 및 다양한 기하구조 조건을 반영하며 이들 옵셋전이방법들의 특성을 비교·검토하여야 한다. 본 연구를 위하여 다양한 교통조건 및 기하구조조건을 반영하는 15개 간선도로 교통소통 상황을 설정하였다.

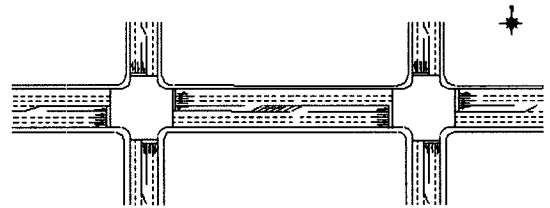
1. 가상 간선도로 및 가상 운영상황

본 연구를 위하여 가상의 간선도로를 개발하였으며 이를 근거로 다양한 교통 및 기하구조 조건을 반영하는 15개 교통소통 상황을 설정하였다. 가상 간선도로의 형태 및 기본 방향별 교통량 수준을 먼저 개발한 후, 간선도로의 교통량 수준 및 교차로간 거리를 변화하며 15개의 교통소통상황을 추가로 마련하였다. 설정된 가상의 간선도로 기본 기하구조 형태 및 교통조건은 <그림 2>와 같다. <그림 2(나)>는 교통량 대 포화교통류율비 (v/s , volume-to-saturation flow rate)로 기본 교통조건을 제시한다.

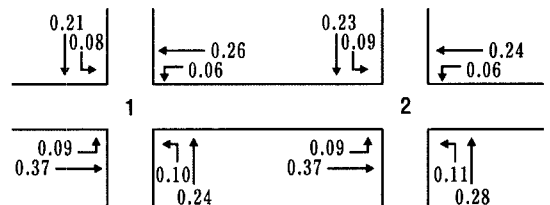
아래의 세부단락은 15개 교통소통상황 개발에 반영된 기하구조 조건, 교통 조건 변화내용 및 설정된 제어 조건을 제시한다.

1) 기하구조 조건

가상 간선도로는 <그림 2(가)>와 같이 두 개의 신호교차로로 구성된다. 주도로와 부도로 차로 수는 각각 7차로와 5차로이며, 개별 접근로에는 1개 좌회전 전용



(가) 기본 기하구조 형태



(나) 기본 교통조건 (v/s 비율)

<그림 2> 가상 간선도로 기본 기하구조 형태 및 교통조건

차로가 위치한다. 차로 별 포화교통류율은 한국도로용량편람에서 제시하고 있는 2,200 pcphpl로 가정 한다⁷⁾. 현장에서 관측되는 다양한 신호교차로간 거리를 분석에 반영하기 위하여 가상 간선도로 기본 기하구조 형태를 기본으로 신호교차로들 간의 거리를 아래와 같은 세 개 수준으로 구분 설정하였다.

- 교차로간 거리 1 : 200 m
- 교차로간 거리 2 : 300 m
- 교차로간 거리 3 : 400 m

2) 교통조건

가상 간선도로에서 주도로 및 부도로 교통량비율이 각각 60:40 와 55:45 가 되도록 접근로 교통량 수준을 설정하였다. 이를 토대로 직진, 좌회전, 우회전의 방향별 교통량 비율이 각각 80%, 10%, 10% 가 되도록 기본 방향별 교통량을 설정하였다. 이러한 기본 교통조건을 근거로 3개 수준의 상이한 교통수요 상황을 실험에 반영한다. 반영된 교통수요 상황은 다음과 같다.

- 수요상황 1 (교통량 小) : 기본 조건의 90% 수준
- 수요상황 2 (교통량 中) : 기본 조건의 100% 수준
- 수요상황 3 (교통량 大) : 기본 조건의 110% 수준

〈그림 2(나)〉는 상기 내용을 만족시키는 기본 교통량 수준 (수요상황 2)에서의 신호교차로 방향별 움직임의 v/s 비율을 제시한다. 기본 교통량 수준은 전체 교차로 운영포화도가 0.85 수준이 되도록 단정적으로 설정하였다. 이러한 기본 교통량 수준은 교차로 방향별 움직임의 교통량 조절과 교통량 변화에 따른 신호시간의 조절을 반복적인 과정을 거쳐 도출하였다. 따라서 이는 최적 신호제어조건이 충족된 상태에서 포화도 0.85 수준을 만족하는 교통수요이다.

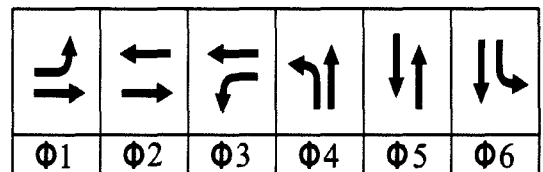
앞서 언급된 모의실험 시나리오에 따라 2번 교차로에서의 교통수요가 모의실험 수행 중에 변화하여야 한다. 2번 교차로 최적 신호주기가 1번 교차로 최적 신호주기와 상이하게 되도록 읍셋전이 발생 이전상황 기본 교통량이 설정되었다. 읍셋전이 이 후 2번 교차로의 최적 신호주기가 1번 교차로 최적 신호주기와 동일하게 되도록 2번 교차로에서의 교통수요 변화량을 조절하였다.

3) 제어조건

현장 읍셋 설계자들은 읍셋을 설계함에 있어 다양한 전산모형을 사용할 수 있으며, 다양한 모형 파라미터 값을 적용할 수 있다. 이러한 이유로 현장에 실제 적용되는 읍셋 값들은 설계자에 따라 상이할 것이다. 그러나 설계된 읍셋 값은 최적 값 주변으로 일정 범위 내에 위치될 것이다. 이러한 다양하게 적용될 수 있는 현장 제어조건 특성을 연구에 반영하기 위하여 아래의 세 개 다른 읍셋 값을 본 분석에 반영한다.

- TRANSYT-7F 최적 읍셋 - 5초
- TRANSYT-7F 최적 읍셋
- TRANSYT-7F 최적 읍셋 + 5초

TRANSYT(Traffic Network Study Tool)-7F (version 10.1)는 간선도로 신호제어운영변수 설계를 지원하는 전산모형으로 세계적으로 널리 사용되고 있다. 최적 TRANSYT-7F 신호운영변수는 최적 신호현시조합을 반영한다. 최적 신호현시조합은 다양한 현시조합을 선정하고, 선정된 각각의 현시조합에 따른 최적 신호운영변수를 TRANSYT-7F 로 분석한 후 이들 중 가장 적은 지체수준을 보장하는 최적 현시조합을 선택하여 본 연구에 반영하였다. 검토된 현시조합은 선행(leading)좌회전, 후행(lagging)좌회전, 선행(leading and lagging)좌회전, 직좌동시 현시조합이다. 〈그림 3〉은 최적 안으로 선택된 현시조합으로 가상 교차로 1 과 2에 모두 적용된다.



〈그림 3〉 가상 간선도로 적용 최적 현시조합

상기의 과정을 통하여 도출된 최적 현시조합, 설정된 교통수요상황, 설정된 교차로간 거리상황, 그리고 모의실험 시나리오를 토대로 TRANSYT-7F가 설계한 최적 신호운영변수(주기, 읍셋, 현시길이)를 정리하여 〈표 1〉에 제시하였다.

〈표 1〉 가상교통상황에 대하여 TRANSYT-7F로 설계된 최적 신호운영변수

모의실험 조건	교차로 ID	전이 이전 (독립교차로 운영)							전이 이후 (신호연동 운영)								
		녹색시간 길이(초)						오프셋	주기 길이	녹색시간 길이(초)						오프셋	주기 길이
		φ1	φ2	φ3	φ4	φ5	φ6			φ1	φ2	φ3	φ4	φ5	φ6		
기본상황	1	13	26	8	12	13	10	N/A	100	12	23	7	13	18	9	0	100
	2	15	26	8	14	18	11	N/A	110	14	25	8	12	14	8	19	
교통량감소 (-10%)	1	11	18	7	9	9	8	N/A	80	11	17	7	10	9	8	0	80
	2	13	19	7	11	13	9	N/A	90	11	19	7	9	9	7	20	
교통량증가 (+10%)	1	20	39	11	17	21	14	N/A	140	25	30	14	15	28	10	0	140
	2	22	42	11	2	28	17	N/A	160	23	28	14	15	30	1	132	
링크거리증가 (+100m)	1	13	26	8	12	13	10	N/A	100	12	23	7	13	18	9	0	100
	2	15	26	8	14	18	11	N/A	110	14	27	8	11	13	9	98	
링크거리감소 (-100m)	1	13	26	8	12	13	10	N/A	100	12	23	7	13	18	9	0	100
	2	15	26	8	14	18	11	N/A	110	15	25	8	11	14	9	27	

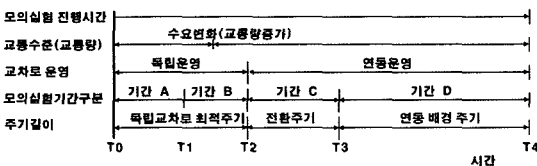
2. 모의실험 분석

1) 모의실험 시나리오

설정된 운영시나리오를 반영하는 오프셋전이 모의실험을 위하여 교통조건 및 제어조건이 시간대별로 변화하는 시계열(Time-series) 모의실험 시나리오를 설정하였다. 설정된 시계열 모의실험 분석절차는 〈그림 4〉로 도식화 된다. 〈그림 4〉에서 수평방향 축은 모의실험 시간을 나타낸다.

첫 번째 기간(기간 A, 15분) 동안 신호교차로 A와 신호교차로 B는 서로 다른 신호주기를 활용하는 두 개의 독립신호제어군으로 운영된다. 해당 기간 종료 시점(모의실험 시간 T1)에서 신호교차로 B의 교통량의 변화를 발생한다. 변화된 교통량을 토대로 이 후 신호교차로 A와 B를 하나의 제어군으로 결합 후 연동제어하는 내용에 대한 판단을 점검하는 기간(기간 B)이 소요되며, 이때의 기간은 3주기 길이이다⁶⁾.

신호제어군 결합 운영이 적절하다 판단되었으면, 시스템은 변화된 교통량을 반영하는 새로운 신호운영변수를 T2에 설계하고, 이를 적용하기 위한 오프셋전이가 해당 교차로에서 시작된다. 오프셋전이는 기간 C 동안에 수행된다. T3 이 후에 비로소 신호교차로 A와 B는 하나의 연동신호제어군으로 설정되어 연동운영 된다.



〈그림 4〉 시계열 모의실험 분석절차

2) CORSIM

본 연구에서는 CORSIM (Corridor Simulation) 전산 모형을 적용하여 모의실험을 수행하였다. CORSIM은 미국에서 개발된 미시적 모의실험 모형이다. 이는 과거 약 20여 년 동안 많은 전문가들로 수정·보완 과정을 거쳐 와서 모의실험 결과에 대한 신뢰성을 인정을 받는다. Randy와 Courage⁸⁾, 그리고 Chundury와 Wolshon⁹⁾은 CORSIM 모의실험으로 부터 추출되는 자료는 현장에서 수집되는 자료와 약 95% 수준에서 통계적으로 동일하다 보고하였다.

오프셋전의의 모의실험을 위하여 신호제어운영변수를 모의실험 수행 도중에 변경하여야 한다. 이를 위하여 CORSIM RTE(Run-Time Extension) 모듈을 본 연구를 위하여 별도 개발하여 적용하였다. RTE는 CORSIM 외부에서부터 CORSIM 내부 데이터베이스에 모의실험 단위시간별 접속하여 신호제어운영변수를 조절한다.

설정한 각각의 교통상황에 대하여 11번의 난수발생 모수를 적용하여 11회의 CORSIM 모의실험을 수행하여 '네트워크 전체 평균 차량지체(분석지표 자료)'를 수집하였다. 하나의 무작위 모수는 하나의 차량도착 패턴을 모의실험에 반영한다. 다양한 차량도착 패턴을 반영하기 위하여 각각의 상황에 11회의 모의실험을 수행하였으며, 이러한 과정을 거쳐 총 660 번(15·간선도로 운영상황×4가지 오프셋전이 방법×11가지 모의실험 모수군)의 CORSIM 모의실험을 수행하였다. 이를 통하여 총 660개의 분석지표 자료를 수집하였다.

IV. 연구결과

모의실험을 수행하여 수집된 660개의 지체도 (네트

워크 전체 평균 차량지체) 자료를 분석한 후, 총 60개의 상황에 대한 차량지체의 대표 값(상황별 각 11번 모의실험 지체의 평균값)을 정리하였다. 이를 토대로 교통수준, 교차로 거리, 읍셋변화에 따른 특성을 <그림 5>와 <그림 6>과 같이 비교·분석하였다.

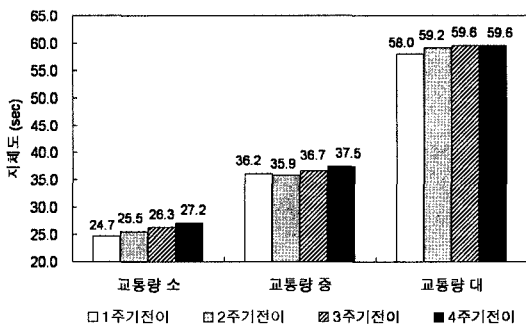
<그림 5>와 <그림 6>에 제시되어 있는 지체도는 본 연구에서 고려된 개별 교통상황별로 각 11번 CORSIM 분석을 통하여 수집된 지체도의 평균값이다.

<그림 5>는 상이한 교통량 수준 및 상이한 읍셋으로

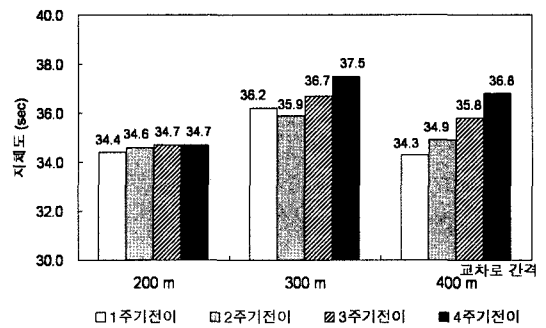
구분되는 36가지 교통흐름 상황에 상이한 읍셋전지방법이 적용되었을 경우 지체수준을 비교한 그림이다. 실험분석결과에서부터 읍셋전이시간 길이가 증가할수록 지체가 증가하는 경향을 발견하였다.

그러나 그 증가폭은 미세한 수준이다. '읍셋전이시간 길이가 단축될수록 평균지체수준은 감소하는 경향이 있다'는 가설을 수립할 수 있으나, 지체수준의 변화폭이 매우 작아 별도의 통계분석이 요구된다.

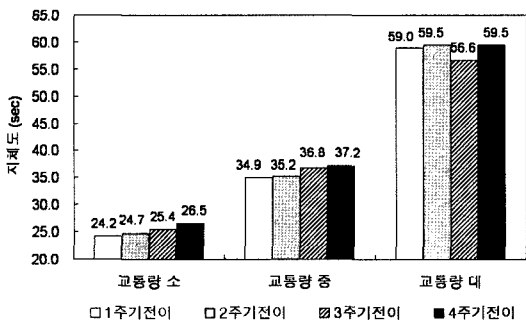
<그림 6>은 상이한 교차로 간격 및 상이한 읍셋으로



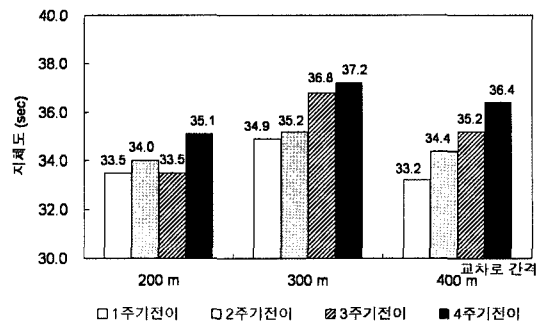
(가) TRANSYT-7F 최적 읍셋 적용 시



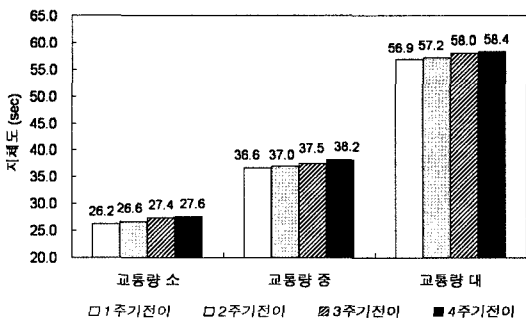
(가) TRANSYT-7F 최적 읍셋적용 시



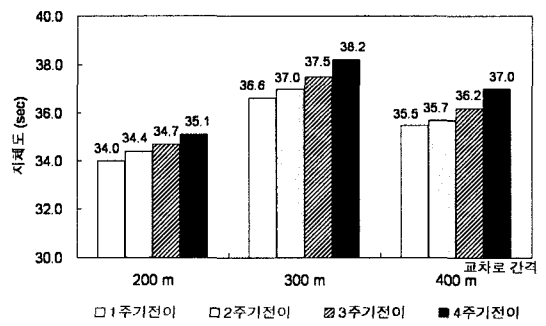
(나) TRANSYT-7F 최적 읍셋 + 5초 적용 시



(나) TRANSYT-7F 최적 읍셋 + 5초 적용 시



(다) TRANSYT-7F 최적 읍셋 - 5초 적용 시



(다) TRANSYT-7F 최적 읍셋 - 5초 적용 시

<그림 5> 다양한 교통량 수준 및 읍셋값 적용 시 읍셋전지방방법별 지체도 비교

<그림 6> 다양한 교차로간 거리 및 읍셋값 적용 시 읍셋전지방방법별 지체도 비교

구분되는 또 다른 36가지 교통흐름 상황에서 상이한 읍셋전이방법이 적용되었을 경우 지체수준을 비교한 그림이다. 비교 연구 결과를 통하여 읍셋전이시간 길이가 길어짐에 따라 지체가 미세하나마 증가하는 경향이 있다'는 가설을 수립할 수 있다. '읍셋전이시간 길이가 단축될수록 평균지체수준은 감소하는 경향이 있다'는 가설을 수립할 수 있으나 지체수준의 변화폭이 매우 작아 이 역시 별도의 통계분석이 요구된다.

요약하면 본 분석결과를 통하여 읍셋전이길이가 단축될수록 오히려 지체수준은 감소하는 경향이 있음을 발견하였다. 이러한 지체수준 감소경향은 본 연구에서 고려된 여러 수준의 교통량과 교차로간격에 걸쳐 고르게 나타나지만, 이러한 지체감소분의 크기가 작아 통계적 유효성을 검토하여야 한다.

적용된 읍셋전이길이별 지체도 변화수준의 통계적 유의성을 비모수통계방법인 Duncan 통계실험을 수행하였다. 신뢰수준은 95%에서 전체 15회의 Duncan 통계실험을 수행하였으며 실험 결과를 <표 2>에 제시하였다.

전체 15개 중 9가지 교통상황은 어떠한 읍셋전이길이와 적용되든지 이들로부터 추출된 지체는 95% 신뢰수준에서 통계적으로 동일한 것으로 분석되었다.

전체 15개 중 3가지 교통상황은 전이방법 1, 2, 3이 적용되었을 경우, 전이방법 4가 적용되었을 때보다 지체수준이 통계적으로 낮은 것으로 분석되었다. 대부분 교차로간 거리가 긴 경우가 이에 해당한다.

나머지 3가지 교통상황에서는 전이방법 1, 2가 적용되었을 경우가 전이방법 3, 4가 적용되었을 때보다 통계적으로 지체수준이 낮은 것으로 분석되었다. 대부분 교통량이 낮은 경우가 이에 해당한다.

<표 2> Duncan 통계 실험 결과

실험결과	경우 수	해당경우
• 제1집단 : 방법1,2,3 지체표본은 통계적으로 동일 표본 • 제2집단 : 방법4 지체표본은 통계적으로 다른 표본	3	링크길이가 긴 경우
• 제1집단 : 방법1,2 지체표본은 통계적으로 동일 표본 • 제2집단 : 방법3 지체표본은 통계적으로 독립 표본 • 제3집단 : 방법4 지체표본은 통계적으로 독립 표본	3	교통량이 낮은 경우
• 제1집단 : 방법1,2,3,4 지체표본은 통계적으로 동일 표본	9	나머지 경우
계	15	-

본 분석을 통하여 전이방법 1 또는 전이방법 2를 본 연구에서 고려된 전체 15가지 교통상황에 적용하였을 경우, 타 방법을 적용하는 것 보다 통계적으로(신뢰수준 95%) 낮거나 적어도 같은 수준의 운영 상태를 유지하는 것으로 판단되었다. 반면에 읍셋전이방법 3, 4가 적용되었을 경우에는 해당 방법이 적용되는 교통상황에 따라 통계적으로 가장 낮은 지체수준을 유지하지 않는 것으로 분석되었다.

전이방법 1과 전이방법 2의 차이를 판단하기 위하여 이들 방법을 적용하며 수집한 두 개의 지체도 표본 군을 대상으로 쌍체검정(paired t-tests)을 수행하였다. <표 3>은 도출된 쌍체검정 결과를 요약하여 제시한다.

<표 3> 쌍체검정 (Paired t-test) 실험 결과

실험결과	경우 수	해당경우
• 전이방법1과 전이방법2로 수집된 지체표본은 통계적으로 상이	1	교통량 낮은 경우
• 전이방법1과 전이방법2로 수집된 지체표본은 통계적으로 동일	14	나머지 경우
계	15	-

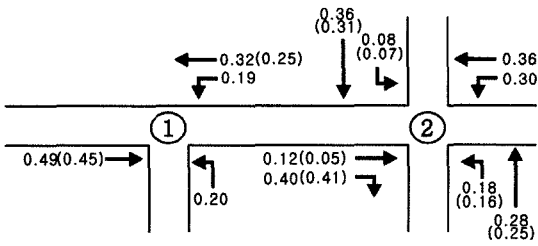
전체 15개 교통상황 중 14개 교통상황의 경우, 전이방법 1과 전이방법 2가 적용되었을 시 발생하는 지체수준의 차이는 통계적으로(신뢰수준 95%) 동일한 것으로 분석되었다. 1개 교통상황(교통량이 낮은 경우)의 경우, 전이방법 1이 적용되었을 시 발생하는 지체수준이 전이방법 2가 적용되었을 시 발생하는 지체수준보다 통계적으로 (신뢰수준 95%) 낮은 것으로 분석되었다.

따라서 한 주기 읍셋전이길이(전이방법 1)를 일률적으로 적용하는 경우가 다른 전이방법이 적용하는 경우보다 다양한 교통상황 모두에서 항상 지체도가 통계적으로 낮거나 또는 적어도 동일한 수준인 것으로 본 연구를 통하여 도출되었다.

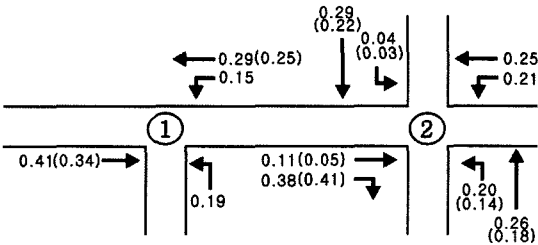
V. 연구결과 검증

상기 연구결과를 검증하기위한 별도로 서울시에 위치한 한강로의 기하구조 조건 및 교통조건을 반영하는 모의실험을 수행하였다.

<그림 7>은 본 실험에서 사용된 2시간 동안 (첨두시와 비첨두시)의 한강로에서의 관측된 교통조건을 교통량 대 포화교통류를 비율로 정리하여 제시하였다.

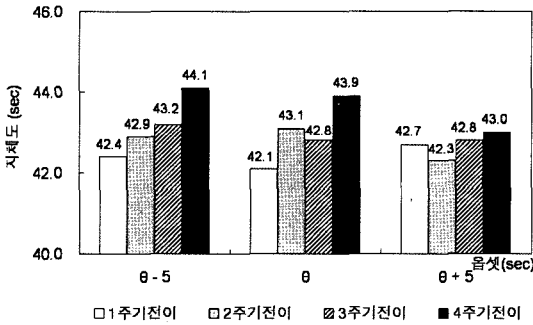


(가) 첨두시 방향별 v/s 비율(07:30~08:30)

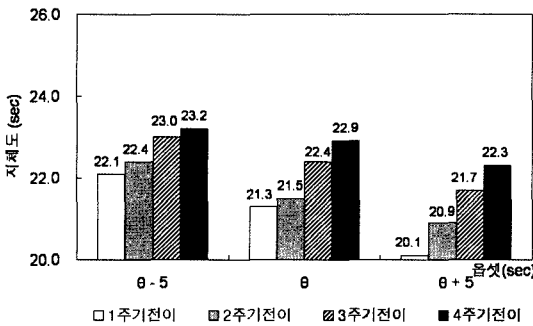


(나) 비첨두시 방향별 v/s 비율 (15:00~16:00)

<그림 7> 한강로 교통량 대 포화교통류율 비율



(가) 첨두 교통상황고려 옹셋 변화 시



(나) 비첨두 교통상황고려 옹셋 변화 시

<그림 8> 전이방법별 지체도 기준 성능분석 및 비교

본 연구에서 설정한 가상 간선도로상에서의 옹셋전이 발생 시나리오를 적용하며 본 연구에서 검토된 네 가지 옹셋전이길이를 검토하였다. 모의실험에서 일정시

간 이후의 교차로2의 교통량을 임의로 변화시켜 두 신호교차로의 최적 신호

주기길이가 동일하게 조절하여 옹셋전이 상황이 구현될 수 있게 모의실험절차를 설계하였다.

신호교차로 1번의 신호주기는 첨두와 비첨두 시간에 각각 110초와 80초를 적용하였다. 신호교차로 2번의 신호주기는

옹셋전이 전 교통상황에서 170초로 운영되었으나 옹셋전이 이 후 신호교차로 신호주기와 동일하게 되어 연동운영이 될 수 있도록 교통량을 임의로 조절하였다. <그림 8>은 고려된 네 가지 옹셋전이방법을 각각 11번씩 CORSIM 모의실험 분석을 수행하면서 수집된 네트워크 평균지체 수준을 비교한 것이다.

본 검증평가를 통해 도출된 <그림 8>은 앞서 제시된 <그림 5>와 <그림 6>가 나타내는 옹셋전이길이가 짧을수록 지체수준이 낮아지고 있는 유사한 경향이 발견된다. 전이방법 1(1주기 전이길이) 적용 시 두 개 교통상황수준에서 모두 낮은 지체가 관측되었다.

VI. 결론 및 향후연구

연동 운영되는 신호교차로군에서 적어도 하나의 교차로에서 신호주기길이나 옹셋의 변화가 발생할 경우 옹셋전이기간이 발생하게 된다. 이러한 옹셋전이는 실시간으로 능동적으로 신호운영제어군을 결합·분리하는 첨단신호제어시스템의 운영에서 그 기능이 강조되고 있다. 옹셋전이 이후의 교통상황을 대상으로 설정되어야 하는 신호운영변수 설계에 대한 연구가 활발히 수행된 반면, 이렇게 설계된 신호운영변수로 기존운영변수에서 전환시키는 효율적인 방안에 대한 연구가 활발하게 진행되지 못한다. 해당 부문에 일반적인 지침을 마련할 필요가 높다.

본 연구에서는 네 가지 다른 옹셋전이시간을 활용하는 네 가지 다른 옹셋전이 방법을 선정하여 개별 성능을 비교분석 하였다. CORSIM 모의실험환경에 CORSIM RTE를 이용한 옹셋전이 신호제어환경을 고려하여 분석 하였다. 모의실험환경에서 수집된 지체도 분석결과 한 주기길이가 옹셋전이방법이 기타 옹셋방법보다 우수하거나 적어도 동일한 수준의 지체수준을 다양한 교통소통상황 모두에서 약속하는 것으로 분석되었다. 이 결과는 우선적으로 한 주기 옹셋전이길이를 일반적인 옹셋전이방법의 지침으로 적용할 수 있음을 반영한다.

본 연구에서 고려된 오프셋전이 방법은 오프셋전이길이에 해당하는 주기 동안 균일(uniform)하게 시간차이를 배분하여 적용하는 방법만을 고려하였다. 단일 주기길이 아닌 경우, 예를 들어 두 주기, 세 주기, 네 주기 오프셋전이방법의 경우, 전이되어야 하는 시간차이를 각 주기에 균일하지 않게 전이 시작지점 및 전이 종료지점으로 무게를 두며 시간을 배분·적용할 수도 있다. 이러한 방법 역시 향후 연구과제로 검토되어야 한다.

참고문헌

1. Lin, L. and S. Tsao(2000), A System Approach on Signal Grouping for Areawide Control of Computerized Traffic System, Transportation Research Board 79th Annual Meeting (CD-Rom), Washington, D.C.
2. Stewart J.A. and M.V. Aerde(1998), An Assessment of Adaptive Co-ordination of Traffic Signal Offsets within INTEGRATION, Transportation Research Board 77th Annual Meeting (CD-Rom), Washington, D.C.
3. Shoup, G.E. and D. Bullock(1999), Dynamic Offset Tuning Procedure Using Travel Time Data, Transportation Research Record No. 1683, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.84~94.
4. Abbas, M., D. Bullock, and L. Head(2001), Real-Time Offset Transitioning Algorithm for Coordinating Traffic Signals, Transportation Research Record No. 1748, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.26~39.
5. Abbas, M. and D. Bullock(2002), Real-Time Offset Tuning: Motivation, Findings and Lessons Learned, Transportation Research Board 81th Annual Meeting (CD-Rom), Washington, D.C.
6. Cycle Offset Split Model Of Seoul(2004), Seoul Metropolitan Police Agency, Seoul, Korea.
7. Korean Highway Capacity Manual(2004), Korean Society of Transportation, Seoul, Korea.
8. Showers, R.H. and K.G. Courage(1998), CORSIM Treatment of Gap Acceptance and Delay, Transportation Research Board 77th Annual Meeting(CD-Rom), Washington, D.C.
9. Chundury, S. and B. Wolshon(2000), Evaluation of the CORSIM Car-Following Model Using GPS Field Data, Transportation Research. Record No. 1710, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.114~121.

✉ 주 작 성 자 : 김진태

✉ 논문투고일 : 2005. 10. 29

논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)

심사판정일 : 2005. 11. 30

✉ 반론접수기한 : 2006. 4. 30