



3지 교차로에서 보행자 교통량에 따른 보행자작동신호기를 이용한 신호제어효율에 관한 분석

An Analysis on Signal Control Efficiency in a Three-Leg Intersection Adopting Pedestrian Push-Button System Following Pedestrian volume

김 응 철* 조 한 선** 정 동 우*** 김 형 수****
 Eungcheol Kim Hanseon Cho Dongwoo Jung Hyoungsoo Kim

Abstract

This study has proposed the signal operating system to use both semi-actuated signal control and pedestrian push-button as a way to make up for the problems of 3 leg intersections which are operated inefficiently in the signal operation, one of the methods of traffic operations. In case of the semi-actuated signal control, it can reduce delay inside the intersection by serving to uncongested traffic on the main road where there is not much traffic volume on the secondary road and push-button signal can reduce unnecessary waiting time it could happen to vehicles by operating it though there is no pedestrian. Quantitative analysis was tried regarding the average delay reduction per vehicle using VISSIM, microscopic simulation program regarding how much effect it has compared with the existing signal control system and semi-actuated signal control system when the above two advantages are collected. The field test was performed for one three-leg intersection of Incheon. According to respectively signal control method pedestrian traffic changed and executed a sensitivity analysis. The result which compares the average delay time per a vehicle of scenarios, the signal control method of using the pedestrian push-button system in comparison with the fixed signal control method showed to decrease effect of a minimum 3.7 second (10%), a maximum 5.8 second (16%). When the pedestrian traffic volume was 20% or less of the measurement traffic volume, The signal control method of using the pedestrian push-button system appeared to be more efficient the semi-actuated signal control with object intersection.

Keywords : *three-leg intersection, semi-actuated signal, pedestrian push-button system, delay, signal control*

요 지

본 연구는 기존 정주기식 신호제어로 인하여 비효율적으로 운영되고 있는 3지 교차로의 문제점을 보완하는 방안으로써 반감응 신호제어를 기본으로 하고 보행자작동신호기를 사용하는 신호운영방식의 효율성을 분석하였다. 반감응 신호제어의 경우 부도로에 교통량이 적을 때 주도로의 교통소통을 원활히 하여 교차로 내 지체를 감소시킬 수 있으며, 보행자작동신호기

* 정회원 · 인천대학교 토목환경공학과 조교수(E-mail: eckim@incheon.ac.kr)
 ** 정회원 · 한국교통연구원 책임연구원
 *** 정회원 · 한국교통연구원 연구원
 **** 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원



는 보행자가 없음에도 불구하고 보행자 신호를 작동시켜 발생하는 불필요한 대기시간을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 위의 두 가지의 장점을 모았을 경우 기존의 정주기식 신호제어와 반감응식 신호제어에 비하여 얼마나 효과가 있는지 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 사용하여 정량화된 차량당 평균지체 감소의 정도를 분석하고자 하였다. 본 연구는 인천의 1개 3지 교차로를 대상으로 현장조사를 실시하였고 각각의 신호제어 방식에 따라서 보행자 교통량을 변화시켜 민감도 분석을 실시하였다. 시나리오 별 분석을 통하여 차량당 평균지체시간을 비교한 결과, 대상교차로는 정주기식 신호제어에 비하여 보행자작동신호기를 이용한 신호제어방식이 최소 3.7초(10%), 최대 6초(16%)의 감소효과를 나타내었으며 반감응식 신호제어와의 비교에서는 보행자교통량이 측정교통량의 20% 이하일때보다 효율적인 것으로 나타났다.

핵심용어 : 3지교차로, 반감응식 신호, 보행자작동신호기, 지체시간, 신호제어

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라의 3지 교차로의 대부분이 정주기식 신호제어를 통하여 운영되고 있다. 정주기식 신호제어의 경우 교통량이 시간대별로 일정하고 많은 교차로에 효율적이지만 그렇지 않은 교차로의 경우 불필요한 지체를 유발하게 된다.

이러한 지체를 감소시키기 위한 신호운영방안으로써 실시간으로 검지기의 자료를 이용하여 신호를 제어하는 감응식 신호제어의 연구 및 설치가 활발히 이루어지고 있다. 감응식 신호제어 설치의 대표적인 예로서 서울특별시에서 개발하여 실시하고 있는 신신호시스템(COSMOS: Cycle, Offset, Split MOdel For Seoul)이 있다. 신신호시스템은 서울특별시의 교통처리능력을 제고하기 위한 목적으로 실시간 현장 교통상황자료를 자동으로 수집하고 교통상황에 따라 신호시간을 산출하는 시스템을 말한다(이영인, 2002). 위와 같은 감응식 신호제어방식과 함께 교차로의 불필요한 지체를 감소시키는 방안으로써 보행자작동신호기를 설치 운영하는 방안들이 연구되고 있다(조한선, 2007). 보행자 작동신호기는 정주기식 신호제어와 반감응식 신호제어에서 보행자가 없음에도 불구하고 보행자신호를 제공함에 따라 발생할 수 있는 차량지체의 문제점을 해결하여 효율적인 교차로 신호운영을 가능하게 한다.

그러나 각각의 신호제어 방식에 대한 연구는 활발히 진행중이지만 이들의 장점을 함께 고려한 신호운영에 대한 연구는 아직 미흡한 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 3지 교차로를 대상으로 정주기식 신호제어방식과 반감응식 신호제어방식 그리고 반감응 신호제어를 기본으로 하여 보행자작동신호기를 이용한 신호제어방식을 미시적 시뮬레이션 프로그램을 통하여 분석함으로써 각각의 신호운영방식에 따른 지체시간을 정량화된 수치로 비교하고 보행자작동신호기를 이용한 신호제어방식의 효율성을 분석하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 인천광역시에 위치한 산곡삼거리를 대상으로 현장조사를 실시하였고 현장조사자료를 기본으로 신호알고리즘 및 시뮬레이션을 작성하였다. 시뮬레이션은 미시적 분석프로그램인 VISSIM을 사용하였으며 각각의 신호운영방식 별로 보행자교통량을 20%에서 120%까지 20%씩 증가시키는 시나리오를 작성하여 시뮬레이션을 실시하였다.

결과분석은 교차로 서비스수준의 평가기준인 차량당 평균지체 시간을 이용하였고 결과값의 대표성을 위하여 각각의 시나리오 당 3가지의 다른 랜덤시드를 적용하여 그 평균값을 사용하였다. 신호알고리즘의 검증은 시뮬레이션 결과 중 신호현시 패턴과 녹색 신호시간을 이용하였다.

2. 선행연구 고찰

감응식 신호제어에 관한 연구로는 이두선(2006)의 연구에서 독립신호교차로 두 곳을 시험대상으로 하여 상용프로그램인 NETSIM을 이용하여 TRANSYT 7F로 최적화 된 기존의 TOD방식과 완전 감응식을 비교하였고 완전감응식 신호제어로 운영할 때 기존의 정주기식보다 지체시간과 교차로 통과시간이 감소하고 평균속도가 증가한다는 것을 보여주었다. 박두용(2004)의 연구에서는 지방부 독립신호교차로를 실험 대상으로 하여 정주기식과 감응식 신호제어를 비교한 결과, 감응식 신호제어가 약 4~7%의 차량 당 평균지체 감소가 나타났다. 석중수(2004)의 보고서에서는 인천광역시 수현산거리를 대상으로 정주기식과 감응식 신호제어방식을 비교한 결과 감응식 신호제어가 보다 효과적인 것으로 나타났으며 좌회전 교통량이 불규칙적이고 주방향 교통량이 많은 교차로에서는 좌회전 감응 신호시스템이 효율적임을 주장하였다.

보행자작동신호기에 대한 연구로는 설재훈, 조한선(2005)의 연구에서 단일로를 대상으로 정주기식 신호제어와 보행자작동제어를 비교한 결과 보행자가 적고 차량교통량이 많을수록 보행자작동신호기가 더 효과적인 것으로 나타났으며 황태균(2006)의 연구에서는 대구광역시의 4개 지점을 대상으로 보행자 행동을 분석하고 정주기식신호기와 보행자작동신호기를 각각 운영하였을 때 보행자 녹색시간과 차량녹색시간을 비교하여 보행자작동신호기의 효율성을 입증하였다.

선행연구를 살펴보면 감응식 신호제어와 보행자작동신호제어가 각각 정주기식 신호제어방식에 비하여 효율성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 반감응식 신호제어와 보행자작동신호기를 함께 이용하였을 때의 효과에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 반감응 신호제어 방식에서 좌회전 차량의 불필요한 신호시간을 줄여 주방향의 교통소통을 원활히 할 수 있는 장점과 보행자가 없

에도 발생하는 보행자신호를 생략하여 차량의 통행시간을 확장시켜주는 보행자작동신호기의 장점을 모은 신호제어 방식을 구현하여 보행자 교통량을 고려하였을 때 정주기식 신호제어방식 및 반감응식신호제어 방식과의 시뮬레이션 결과값을 비교함으로써 반감응과 보행자작동신호기를 함께 이용한 신호제어 방식의 정량적인 효율성 분석하였다.

3. 알고리즘 및 시뮬레이션 작성

3.1 현장조사

본 연구의 대상교차로는 인천광역시 부평구에 위치한 산곡삼거리로써 교통량이 많은 원적산길(주도로)에 교통량이 비교적 적은 뚝진마을길(부도로)이 연결되어 있는 형태의 3지 교차로이다. 경사가 없는 평지에 위치하고 있으며 3지 모두에 횡단보도가 설치되어있어 모든 방향에서 횡단하는 보행자들을 고려할 수 있고 주도로의 좌회전 포켓과 부도로의 좌회전 차로를 포함하고 있다. 교통량조사는 반감응과 보행자작동신호기의 효과를 보다 강조하기 위해서 비첨두시간인 오후 12시에서 1시 사이에 15분간 실시하였으며 시뮬레이션에서는 한 시간 값으로 환산한 교통류율을 사용하였다.

표 1. 산곡삼거리 기하구조 및 방향별 교통류율

번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
교통류율 (pcu)	1076	132	916	292	268	140	120	90	112	60	36	84



산곡삼거리의 정주기식 신호제어방식을 사용하고 있으며 보행자 작동신호기는 설치되어 있지 않다. 총 3현시로 운영되고 있으며 현시시간은 양방향 직진 60초, 부도로 좌회전 35초, 주도로 좌회전 25초이고 각각 3초씩의 황색시간을 가진다. 산곡삼거리의 신호현시는 다음 표와 같다.

표 2. 산곡삼거리의 신호현시

Phase	1	2	3	1
현시방향				
현시시간 (초)	60(3)	35(3)	25(3)	60(3)

3.2 알고리즘 작성

산곡삼거리의 신호현시를 기준으로 하여 검지기 신호에 따라 다음과 같은 신호현시를 구현하기 위한 반감응식 신호제어 알고리즘과 보행자작동신호기를 이용한 신호제어 알고리즘을 작성하였다.

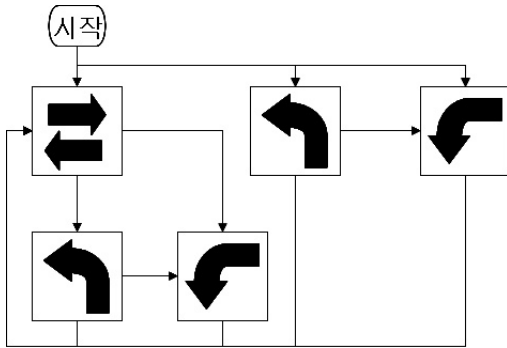


그림 1. 신호현시 과정도

반감응식 신호제어 알고리즘에서 양방향 직진 현시는 정주기식 신호제어 방식의 녹색시간인 60초를 최소녹색시간으로 설정하여 검지기에 검지가 되지 않을 경우 계속해서 현시가 유지되도록 작성하였다. 주도로 좌회전 현시와 부도로 좌회전 현시는 보행자

신호시간을 고려하여 최소녹색시간을 25초로 부여하고 최소녹색시간이 초과할 경우 차량의 검지간격이 3초 이내이면 최대녹색시간에 도달 할 때까지 단위시간연장(3초)을 통하여 녹색시간을 연장하고 검지간격이 3초를 초과하면 다음 현시로 바로 이동하도록 하였다. 다음 현시는 이전신호현시에 검지기의 검지내역에 따라서 위의 그림에서와 같이 신호현시가 구현되도록 하였다.

보행자작동 신호기를 이용한 신호제어 알고리즘의 경우 반감응식 신호제어 알고리즘을 기본으로 작성하였으며 반감응 신호제어 알고리즘과 차이점으로는 좌회전 신호현시로 신호현시가 바뀔 때 신호현시와 연동된 보행자작동신호기의 검지가 없을 경우 반감응식 신호제어의 최소녹색시간인 25초에서 10초로 단축하

표 3. 알고리즘 용어정리

용 어	정 의
GS	녹색신호
YS	황색신호
RS	적색신호
MT	양방향 직진 신호
WL	서쪽 좌회전 신호
SL	남쪽 좌회전 신호
PE	동쪽 보행자신호
PW	서쪽 보행자신호
PS	남쪽 보행자신호
DE	동쪽 검지기
DS	남쪽 검지기
PBE	동쪽 보행자작동신호기
PBW	서쪽 보행자작동신호기
PBS	남쪽 보행자작동신호기
GMAX()	()의 최대녹색시간
GMIN()	()의 최소녹색시간(보행자신호 고려)
GSMIN()	()의 최소녹색시간(보행자신호 미고려)
GS()	()의 녹색시간
YS()	()의 황색시간
GT()	()의 누적 녹색시간
YT()	()의 누적 황색시간
DT()	()의 검지 경과시간 간격
ET()	()의 단위연장시간
CALL()	()의 검지 또는 작동



여 적용하고 보행자 신호를 생략하도록 하였다.

양방향 직진 현시가 시작되고 주도로와 부도로 검지기의 검지가 이루어지지 않아 양방향 직진 현시가 최소녹색시간이 넘게 계속될 경우 양방향 직진 현시와 연동된 보행자작동신호가 작동되면 보행자신호를 다시 주고 보행자 신호가 끝났을 때 같은 상황이 발생할 경우 다시 보행자신호를 줄 수 있도록 알고리즘을 작성하였다.

반감음 신호제어를 기본으로 하고 보행자작동신호를 이용한 신호제어의 알고리즘은 그림 2와 같다.

3.3 시뮬레이션

3.3.1 시나리오 작성

보행자 교통량에 따른 신호운영방식 사이의 효율성을 분석하기 위하여 차량 교통량은 고정하고 각각

의 신호운영방식에 따라서 측정교통량의 보행자교통량을 20%에서 120%까지 20%씩 증가시켜 총 6개씩의 시나리오를 작성하였다.

표 4. 보행자 교통량에 따른 시나리오 작성

시나리오	S1	S2	S3	S4	S5	S6
보행자교통량(%)	20	40	60	80	100	120

3.3.2 시뮬레이션 작성

시뮬레이션 프로그램은 독일의 PTV사에 의해 개발된 미시적 시뮬레이션 프로그램 모형인 VISSIM을 사용하였다.

시뮬레이션상의 교차로는 현장조사를 통하여 수집한 자료를 이용하여 횡단보도폭, 횡단보도위치, 차로수, 차로폭 등의 기하구조들을 실제 교차로와 최대한 같은 상황을 조성하였다.

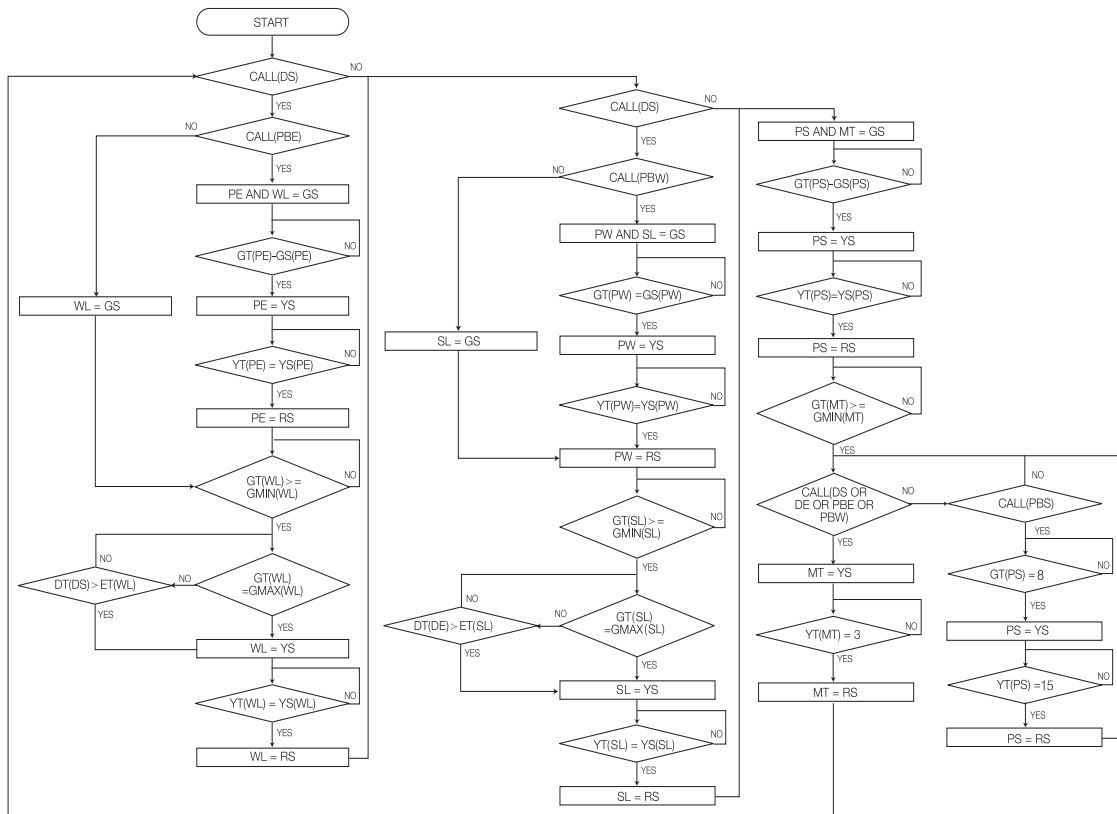


그림 2. 산곡삼거리 반감음 + 보행자작동신호기 신호제어 알고리즘



차량분포는 실측된 승용차 대 중차량 교통량 비율 (2%)을 적용하였고 차량속도는 도로제한속도를 기준으로 하여 55km/h~65km/h사이로 설정하였다. 보행자속도는 일반적인 성인보행자 속도인 4km/h를 기준으로 하였으며 시뮬레이션 상에서 반감응 신호제어를 실현하기 위하여 주도로의 좌회전 차선과 부도로의 좌회전 차선에 디텍터를 설치하였다. 디텍터의 설치 위치는 차량의 속도를 도로제한속도의 80%로 하여 차량이 정지선까지 이동하는데 걸리는 시간이 3초일 때의 거리로 산정하였다. 시뮬레이션 상에서 보행자 작동신호기를 실현하기 위하여 각각의 횡단보도 진입부분에 디텍터를 설치하였고 보행자가 디텍터에 감지된 경우에 보행자작동신호기를 작동시킨 것으로 가정하였다.

시뮬레이션상의 일정한 교통상황을 구현하기 위하여 분석시간을 기준으로 10분 먼저 교통량을 분배하고 교통량이 모두 빠져나갈 때까지 10분 더 분석을 실시하였다.

4. 알고리즘 검증 및 결과 분석

4.1 알고리즘 검증

반감응 신호제어와 이를 기본으로 한 보행자작동 신호기를 이용한 신호알고리즘을 검증하기 위하여 VISSIM 시뮬레이션 데이터 중 신호데이터를 추출하여 시뮬레이션 시간과 현시변화 그리고 녹색신호 시간을 분석하였다.

분석시간은 차량 당 평균지체시간을 분석하는 600초에서 4800초로 하였으며 600초 이후 전현시가 끝나는 시간을 기준으로 검증을 실시하였다.

각각의 시나리오 별로 신호패턴을 분석한 결과 알고리즘에 의해 구현되는 신호현시 중 정주기식과 같은 패턴 I 만이 나타났다.

신호현시별 녹색시간으로는 양방향직진, 부도로 좌회전, 주도로좌회전 현시가 각각 60초, 25초~35

초, 25초의 녹색시간 범위로 나타났다.

표 5. 알고리즘의 신호패턴

Phase 신호패턴	Phase1	Phase2	Phase3
패턴 I	← →	↶	↷
패턴 II	← →	↶	→
패턴 III	← →	↶	↷

표 6. 알고리즘의 신호현시별 녹색시간 범위

신호현시 시간범위	양방향 직진	부도로 좌회전	주도로 좌회전
최소녹색 시간(초)	60	25(10)	25(10)
최대녹색 시간(초)	4800	35	25

신호패턴과 신호현시별 녹색시간 범위를 분석한 결과에 따라서 신호현시 알고리즘이 시뮬레이션 상에서 이상이 없이 운영된 것을 알 수 있다.

4.2 결과 분석

본 연구에서의 모든 신호제어방식에 따른 차량의 방향별 지체를 분석한 결과, 보행자수가 증가함에 따라서 주방향 우회전차량의 지체가 시나리오별로 불규칙적으로 증가하는 경향을 나타냈으며 이러한 현상은 전체 지체에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 주도로 우회전 방향의 차량과 직진차량이 한 개의 차로를 공용함에 따라서 발생하는 상충과 보행자와의 상충이 복합적으로 작용하여 발생하는 지체가 이유인 것으로 판단되었다.

신호운영 방식별 차량당 평균지체값을 살펴보면 정주기식 신호제어와의 비교결과, 모든 시나리오에서 정주기식 신호제어보다 효과가 좋은 것으로 나타

났고 시나리오 S1에서 최대 15.9%(5.8초), 시나리오 S2에서 최소 10.3%(3.7초)의 지체감소효과를 볼 수 있었다.

반감응식 신호제어와의 비교에서는 보행자수가 비교적 많은 시나리오 S5와 시나리오 S6에서 같은 지체 값을 나타냈고 보행자수가 가장 적은 시나리오 S1에서 보다 효과적인 것을 알 수 있었다.

그러나 시나리오 S2와 시나리오 S3의 경우 반감응 신호제어방식보다 높은 지체값을 나타내었는데 그 이유는 앞서 언급한 주도로 우회전차량의 지체와 부도로좌회전 차량의 지체이다. 다른 방향지체의 경우 보행자가 증가할수록 지체도 증가하거나 일정한 값을 유지하는데 반하여 이 두 방향의 지체는 다른 특성을 보였다. 특히 보행자가 감소할수록 부도로좌회전 차량의 지체가 증가하는 현상은 보행자가 없을 때 적용되는 최소녹색시간(10초)이 부도로좌회전 교통량을 처리하기에 부족하기 때문인 것으로 판단되며 좌회전차량이 일정 수준이상일 때는 강제적으로 일정한 녹색시간을 확보하는 것이 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 정주기식 신호제어 방식과 반감응식 신호제어방식 그리고 반감응식 신호제어를 기본으로 하고 보행자작동신호기를 이용한 신호제어방식에 대하여 실제 교차로를 대상으로 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 통하여 시나리오에 따라 시뮬레이션을 실시하였다.

시나리오는 측정 보행자교통량을 기준으로 하여 20%에서 120%까지 20%씩 증가시킨 값을 적용함으로써 보행자수에 따른 신호제어방식별 효율을 살펴보고자 하였다.

정주기식과 반감응식만을 각각 사용한 신호제어방식의 경우 보행자수에 따른 차량당 평균지체변화의 최대폭이 0.6초, 0.5초로 거의 차이가 없는 것을 알 수 있었고 반감응 신호제어에 보행자작동신호기를 이용한 신호제어 방식의 경우 2.4초로 변화폭이 큰 것을 알 수 있었다.

정주기식과 비교하여 보행자작동신호기를 이용한 방식은 최대 15.9%(5.8초), 최소 10.3%(3.7초)의 지체감소효과를 볼 수 있었으며 반감응식과의 비교에서는 보행자교통량이 실측교통량의 100% 이상인 시나리오 S5와 S6에서 같은 효과를 나타냈고 20%인 시나리오 S1에서는 3%(1.0초)의 지체감소효과를 나타내었다.

그러나 시나리오 S2, 시나리오 S3에서와 같이 부도로좌회전 차량이 일정수준 이상일 경우 보행자교통량에 따라서 반감응식 신호제어에 보행자작동신호기를 이용할 경우 부도로좌회전 차량의 지체 증가로 인하여 전체 지체가 증가하는 것도 알 수 있었다.

본 연구는 앞으로 반감응식 신호제어를 기본으로 보행자작동신호기를 함께 이용한 신호운영의 계획 시 활용될 수 있으며 보행자교통량에 따른 신호운영방식들의 분석에 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

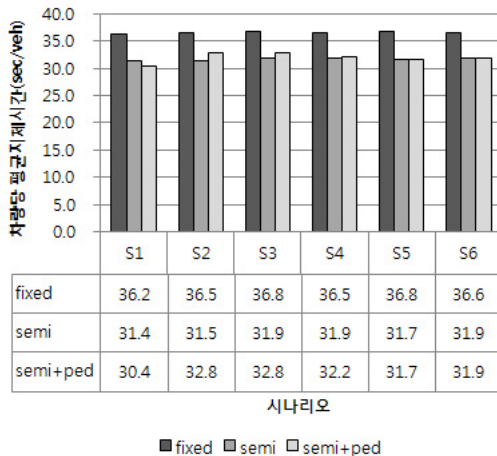


그림 3. 시나리오별 차량당 지체시간 비교



감사의 글

이 논문은 인천대학교 2008년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

건설교통부(2001), “도로용량편람”, 대한교통학회, pp207~259.

김영준(2003), “독립 3지 교차로의 차로운영개선 방안에 관한 연구”, 석사학위논문, 명지대학교 대학원.

김종철(2007), “경주시 지능형 교통신호를 위한 교통제어 전략 및 구축에 관한 연구”, 석사학위논문, 경주대학교 대학원.

김진석(2006), “Microscopic Simulation을 이용한 버스 차로의 효과성 분석”, 석사학위논문, 전북대학교 대학원.

김진태(2002), “감응식 신호운영을 위한 최대녹색시간의 설계”, 대한교통학회지 제 20권 제 4호, pp123~133.

도철웅(2005), “교통공학원론(상)”, 청문각, pp411~462.

박순용(2004), “지방부 독립신호교차로에서 감응식 신호제어에 관한연구”, 석사학위논문, 단국대학교 대학원

박창수(2002), “민감도 분석을 통한 다지교차로의 효용성 분석 연구”, 대한교통학회지 제20권 제5호, pp217~230.

석중수(2004), “감응식 신호를 이용한 독립교차로 운영 효율화 방안”, 인천발전연구원.

설재훈, 조한선(2005), “보행자 작동신호기의 효과분석 및 도입확대방안”, 한국교통연구원.

신언교, 김영찬, 이종만(2004), “실시간 신호제어알고리즘 개발에 관한 연구”, 대한교통학회지 제22권 제7호, pp161~167.

이두선(2006), “독립 신호교차로에서의 완전감응식 신호제어에 관한 연구”, 석사학위논문, 단국대학교 대학원.

이영인, 장근영(2003), “신신호 시스템의 신호제어 전략 및 교통축 운영성과 분석연구 (영동대로와 도곡동축을 중심으로)”, 대한교통학회지 제 20권 제3호, pp193~207.

정동일(2000), “교통신호제어시스템의 최적화에 관한 연구”, 울산대학교 공학연구논문집 제31권 1호, pp345~352

조한선(2007), “차량 및 보행자 교통량에 따른 보행자 작동신호기의 효과분석”, 한국도로학회 논문집 제9권 4호, pp33~43.

황태균(2007), “보행자 작동신호기의 효과적인 설치운영에 관한 연구”, 석사학위논문, 경일대학교 대학원

PTV Planung Transport Verkehr AG(2004), “VISSIM User Manual - Version 4.00”

접 수 일: 2009. 5. 16
 심사 일: 2009. 5. 22
 심사완료일: 2009. 7. 24