

3지 교차로에서 반감응 신호제어와 보행자 작동신호기를 이용한 지체시간 감소에 관한 분석

Analysis of delay in a three-leg intersection adopting semi-actuated signal and pedestrian push-button system

정 동 우

(인천대학교 석사과정)

조 한 선

(한국교통연구원 책임연구원)

김 응 철

(인천대학교 조교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
 - 3. 시나리오 작성
 - 4. 시뮬레이션
 - 5. 결과해석
- II. 본론
 - 1. 문헌고찰
 - 2. 현장조사
 - III. 결론
 - 참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

인구의 증가와 자동차 수의 증가 및 서울과 같은 수도권 지역이나 대도시로의 인구집중으로 인하여 교통사고증가, 교통혼잡증가, 환경오염등의 심각한 교통문제들이 발생되고 있다.

이러한 교통문제들을 해결하기 위해서 교통시설 및 가로망 건설사업 등이 시행되었지만 장기간의 공사기간으로 인하여 사회·경제적 비용손실이 발생하였고 그에 따른 새로운 교통수요등의 유발로 인하여 효과가 부진한 경우가 많은 것으로 보여진다. 따라서 기존 시설의 효율적인 이용으로 적은 비용의 투자를 통하여 단기간에 교통문제를 해결 할 수 있는 교통운영에 대한 방안들에 초점을 두어지고 있다.

교통운영의 방안 중 신호운영이 효율적인 교통처리와 안전을 도모하고 있지만 아직까지 비효율적인 운영이 이루어지는 부분이 있다.

간선도로 상에는 수많은 4지 교차로와 3지 교차로가 연결되어 운영되고 있으나 3지교차로의 경우 주도로와 부도로가 연결된 것이 대부분으

로 비효율적인 운영이 이루어지고 있는 실정이다. 아직까지 대부분의 3지 교차로가 고정식 신호체계를 사용하고 있으며 그에 따라 부도로에 차량이 없음에도 불구하고 녹색신호시간을 부여함으로써 주도로의 차량의 정체로 인한 교차로의 평균지체시간을 증가시키고 있다.

또 교차로 지체를 유발하는 사례로 보행자가 없음에도 불구하고 보행자 신호가 제공됨에 따라 불필요한 신호 대기시간의 지체를 겪게 된다. 교차로 지체는 시간의 낭비, 대기환경오염 유발, 연료의 과다소모, 물류비의 상승 등의 문제를 야기함에 따라서 3지 교차로의 지체시간을 감소시키는 방안으로써 고정식 신호체계를 대신하여 감응식 신호체계를 이용하는 방안과 보행자의 안전과 보행자신호의 효율성을 높일 수 있는 보행자작동신호기를 설치 운영하는 방안들이 연구되고 있다.

본 연구는 기존의 3지 교차로에서의 고정식 신호체계를 대신하여 반감응식 신호체계와 보행자 작동신호기를 이용한 신호운영을 시뮬레이션하여 지체시간의 감소정도를 정량화된 수치로 비교함으로써 효율성을 분석하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

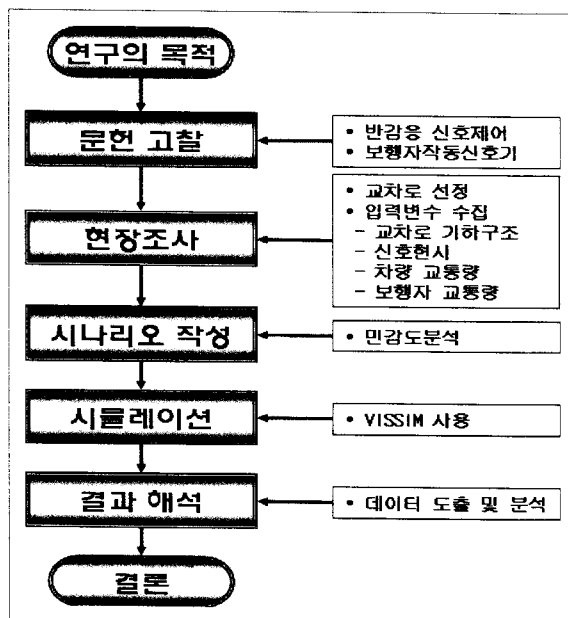
본 연구는 현재 고정식 신호체계를 운영하고 보행자자동신호기를 설치하지 않은 인천의 1개 지점의 3지교차로를 선정하여 현장조사를 통해 교차로의 기하구조, 신호현시, 차량 교통량, 보행자 교통량 등의 자료를 수집하였다.

차량 교통량과 보행자 교통량의 경우 기존연구에서는 첨두시간의 교통량 또는 첨두시간과 비첨두시간의 교통량을 수집하여 그것을 기준으로 분석을 실시하였으나 본 연구에서는 비첨두 시간의 교통량을 수집하여 사용하였다.

그 이유는 반감응 신호제어 방식의 경우 교통량이 많을 때 고정식 신호제어와 거의 비슷한 효율을 보인다는 선행연구의 결과를 감안하여 교통량 감소에 따른 반감응 신호제어와 보행자 자동신호기의 효율성 분석에 보다 중점을 두기 위한 것이다.

반감응 신호제어와 보행자 자동신호기를 함께 적용한 신호현시를 기본으로 하여 신호알고리즘을 제작하고 현장조사를 통해 수집한 자료들을 입력변수로 하여 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM으로 시뮬레이션을 실시하였다.

민감도 분석을 위하여 교통량 변화에 따른 총 7개의 시나리오를 선정하였고 고정식 신호제어 방식과의 교차로 내 차량 당 평균지체 시간의 정도를 비교하여 효과를 분석하였다.



<그림 1> 연구수행 절차

II. 본론

1. 문헌고찰

교차로에서의 신호제어 방식에 대한 연구에서 고정식 신호제어방식과 감응식 신호제어방식을 비교하여 감응식 신호제어에 대한 효율성에 대한 연구 중 이두선(2006)은 독립신호교차로 두 곳을 시험대상으로 하여 상용프로그램인 NETSIM을 이용 TRANSYT 7F로 최적화 된 기존의 TOD방식과 완전 감응식의 비교를 하였고 완전 감응식 신호제어로 운영할 때 기존의 TOD보다 지체시간과 교차로 통과시간이 감소하고 평균 속도가 증가한다는 것을 보여주었다.

같은 방법으로 박두용(2004)의 논문에서는 지방부 독립신호교차로를 시험대상으로 하여 TOD와 감응식 신호제어를 비교하였고 그 결과로 교차로에서 차량 당 평균지체가 최적화된 TOD방식보다 4~47% 가량 감소하는 것을 나타냈다.

또 석중수(2004)의 보고서에서 인천시의 수현삼거리를 모델로 TOD방식과 감응식 신호제어방식으로 비교하여 TOD방식보다 감응식 신호제어방식이 차량 당 평균지체가 3.05초, 평균정지율은 12.05% 감소가 나타나는 것을 보였고 좌회전 교통량이 불규칙적이고 주방향 교통량이 많은 교차로에서는 좌회전 감응 신호시스템을 운용할 필요가 있음을 판단하였다.

보행자 자동신호기에 대한 효과 및 효율성에 대한 연구로서 설재훈, 조한선(2004)의 정책연구는 단일로 상에서 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 고정주기식 신호제어, 비주기식 보행자 자동신호제어 및 주기식 보행자 자동신호제어를 비교하였다. 각각의 민감도 분석을 통하여 차량교통량이 많고 보행자가 작을수록 보행자자동신호기가 더 효과적인 것으로 나타났다.

선행연구에서는 고정식 신호제어방식과 비교하여 감응식 신호제어방식과 보행자 자동신호기 각각의 효율성에 대하여 증명하였으나 본 연구의 차별된 점은 보행자 자동신호기를 단일로가 아닌 3지교차로에 적용하였고 반감응 신호제어에서 고려하지 못했던 보행자신호에 의한 지체까지 고려하기 위한 방법으로 반감응 신호제어와 보행자 자동신호기를 함께 사용하는 방법을 선택하였다.

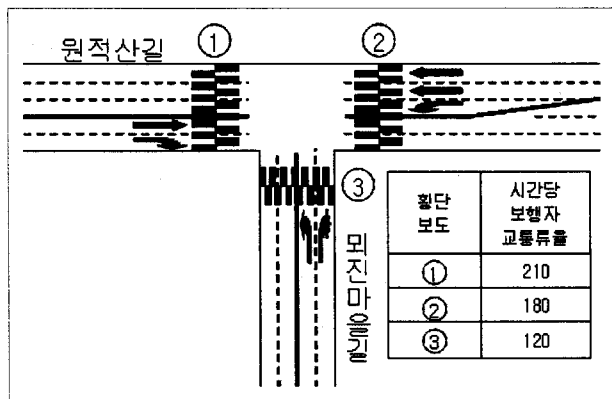
2. 현장조사

인천시 산곡삼거리는 교통량이 많은 원적산길(주도로)에 교통량이 적은 뽕진마을길(부도로)이 연결되어 있는 형태로 3지 모두에 횡단보도가 설치되어있다.

산곡삼거리는 경사가 없는 곳에 위치하여 있으며 원적산길의 최소 차로폭이 3.5m, 뽕진마을길의 최소 차로폭은 3.0m이다.

두 도로 간에 좌회전이 가능하며 원적산길은 좌회전 포켓을 포함하고 뽕진마을길은 좌회전 전용도로를 포함하고 있다.

산곡삼거리의 기하구조와 시간당 보행자 교통량은 다음과 같다.



<그림 2> 산곡삼거리 기하구조 및 보행자교통량

신호운영체계로는 고정식 신호제어 방식을 사용하고 있으며 신호현시와 신호시간, 차량 교통량은 다음과 같다.

<표 1> 산곡삼거리의 신호현시 및 신호시간, 차량교통량

Phase	1	2	3
현시방향	← →	↙	↘
현시시간(초)	60(4)	38(4)	28(4)
비침두 교통류율(pcu)	2424	268	132

3. 시나리오 작성

미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 사

용하여 고정주기식 신호제어 방식과 반감응 신호제어와 보행자자동신호기를 함께 사용한 방식을 비교하기 위하여 민감도 분석을 실시하였다.

민감도 분석을 위하여 차량교통량과 보행자교통량을 감소시키는 방법의 총 7개의 시나리오를 작성하였다.

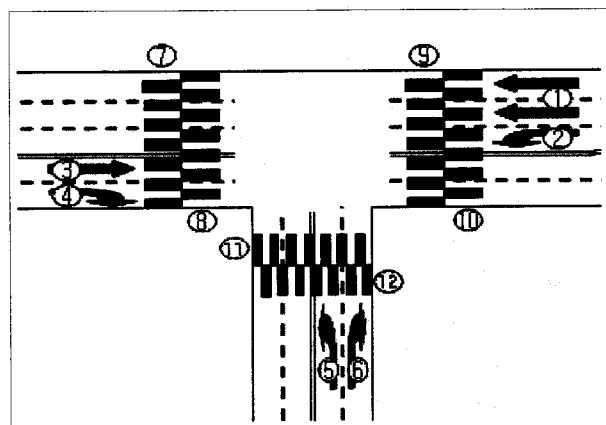
선행연구에서 감응식 신호제어 방식과 보행자 자동신호기를 사용함에 있어서 부도로의 교통량과 보행자의 교통량이 적을수록 효과가 크게 나타난다는 사실을 알 수 있었고 그에 따른 변화를 알아보기 위하여 각각의 시나리오 작성 시 실측교통량의 100%, 80%, 60%, 40%, 20%의 교통량을 적용하였다.

민감도 분석을 위한 7개의 시나리오 다음과 같다.

- 시나리오 1 - 주도로의 좌회전 교통량 감소
- 시나리오 2 - 부도로의 교통량 감소
- 시나리오 3 - 주도로의 좌회전 교통량과 부도로의 교통량 감소
- 시나리오 4 - 전체 차량교통량 감소
- 시나리오 5 - 주도로의 좌회전 교통량, 부도로, 보행자 교통량 감소
- 시나리오 6 - 전체 차량교통량과 보행자 교통량의 감소
- 시나리오 7 - 보행자 교통량감소

<표 2> 전체 차량 및 보행자 교통량 감소 시나리오(예)

비율	방향별 차량 및 보행자 교통량(대/시)											
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
1	1076	132	916	292	268	140	120	90	112	60	36	84
0.8	861	106	733	234	214	112	96	72	90	48	29	67
0.6	646	79	550	175	161	84	72	54	67	36	22	50
0.4	430	53	366	117	107	56	48	36	45	24	14	34
0.2	215	26	183	58	54	28	24	18	22	12	7	17



<그림 3> 산곡삼거리 차량 및 보행자 교통량 방향

4. 시뮬레이션

시뮬레이션상의 교차로는 실제 교차로의 횡단 보도위치, 차로 수, 차로폭 등의 기하구조를 기준으로 하여 실제 교차로와 최대한 같은 상황을 조성하였다.

차량분포는 실측된 중차량과 승용차의 교통량 비율을 적용하였고 차량속도는 도로제한속도를 기준으로 하여 55km/h~65km/h사이로 설정하였다.

보행자속도는 일반적인 성인보행자 속도인 4km/h를 기준으로 하였다.

시뮬레이션상에서 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. 이것은 주도로의 좌회전 차량과 부도로의 좌회전 차량이 최소녹색시간 종료 전 3초안에 디텍터에 감지될 경우 3초의 단위연장시간을 제공하여 안전하게 교차로를 빠져나갈 수 있도록 하기 위해서이다. 단위연장시간으로 인하여 늘어나는 녹색신호시간의 최대시간은 고정식 신호제어의 녹색신호시간과 같도록 설정하였다.

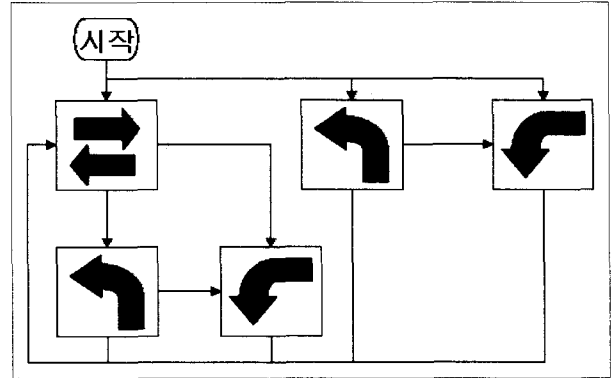
보행자 작동신호기를 실현하기 위하여 각각의 횡단보도의 진입부분에 디텍터를 설치하였고 보행자가 디텍터에 감지된 경우에 보행자 작동신호기를 작동시킨 것으로 가정하였다.

녹색신호시간 운영에 있어서 주도로의 최소녹색시간은 고정식 신호제어 방식의 녹색시간과 같게 1분으로 하였고 최대녹색시간은 부도로와 보행자가 없을 경우 충분한 시간을 배분하기 위하여 10분으로 설정하였다.

좌회전 최소녹색시간은 좌회전신호와 보행자신호가 함께 시작되는 경우(28초)와 좌회전신호만 시작되는 경우(10초)를 다르게 설정하였는데 그 이유는 보행자녹색신호시간이 28초로 보행자가 있을 경우에는 좌회전 최소녹색시간을 보행자녹색시간과 같게 설정할 수밖에 없으나 보행자가 없고 좌회전 차량이 적을 경우 불필요한 시간낭비로 인한 지체가 발생하기 때문이다.

반감응식 신호제어와 보행자작동신호기를 함께 이용하는 방식에서는 디텍터에 감지되는 차량과 보행자에 따라 신호현시가 변화하게 되는데 무분별한 신호현시의 변화는 운전자와 보행

자로 하여금 혼란을 불러일으켜 교통안전에 위협요소가 될 수 있고 교차로내의 지체를 증가시키는 원인이 될 수 있으므로 기존의 고정식 신호제어 방식의 신호현시를 기본으로 한 반감응식 신호제어를 위한 신호현시는 다음과 같다.

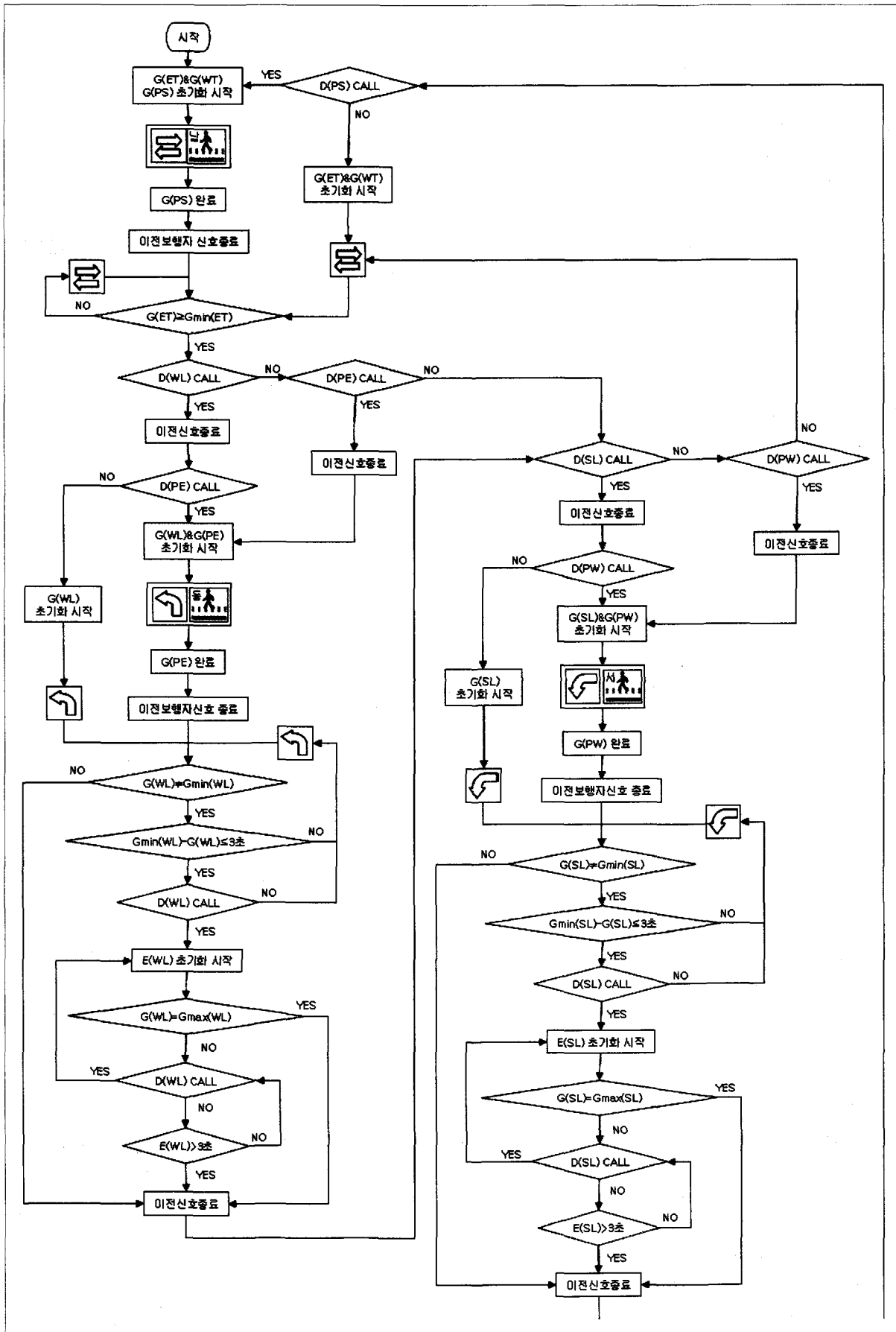


<그림 4> 반감응식 신호현시 과정도

위의 신호현시 과정도를 적용하고 반감응 신호제어와 보행자 작동신호기를 함께 이용한 신호운영체계 알고리즘은 다음과 같다.

<표 3> 알고리즘 용어정의

용어	정의
ET	동쪽으로 직진하는 차량
WT	서쪽으로 직진하는 차량
WL	서쪽으로 좌회전하는 차량
SL	남쪽으로 좌회전하는 차량
D(WL)	서쪽 좌회전 검지기
D(SL)	남쪽 좌회전 검지기
D(PE)	동쪽횡단보도 보행자작동신호기
D(PW)	서쪽횡단보도 보행자작동신호기
D(PS)	남쪽횡단보도 보행자작동신호기
G(ET)	동쪽 직진 누적 녹색시간
Gmax(ET)	동쪽 직진 최대녹색시간
Gmin(ET)	동쪽 직진 최소녹색시간
G(WT)	서쪽 직진 누적 녹색시간
G(WL)	서쪽 좌회전 누적 녹색시간
Gmax(WT)	서쪽 직진 최대녹색시간
Gmin(WT)	서쪽 직진 최소녹색시간
Gmax(WL)	서쪽 좌회전 최대녹색시간
Gmin(WL)	서쪽 좌회전 최소녹색시간
G(SL)	남쪽 좌회전 누적 녹색시간
Gmin(SL)	남쪽 좌회전 최소 녹색시간
Gmax(SL)	남쪽 좌회전 최대 녹색시간
G(PE)	동쪽 보행자녹색시간
G(PW)	서쪽 보행자녹색시간
G(PS)	남쪽 보행자녹색시간
E(WL)	서쪽 좌회전 단위연장시간
E(SL)	남쪽 좌회전 단위연장시간



<그림 5> 반감응 신호제어와 보행자자동신호기를 함께 이용한 신호운영체계 알고리즘

5. 결과해석

각각의 시나리오별로 3가지의 다른 랜덤시드를 적용하여 3회씩 시뮬레이션을 실행하였고 대표성을 갖기 위하여 분석 시 평균값을 사용하였다.

100% 교통량 상황에서 고정식 신호제어 방식의 차량 당 지체는 31.7초로 나타났고 반감응식과 보행자 작동신호기를 사용한 방식의 차량 당 지체는 26.1초를 나타냈다.

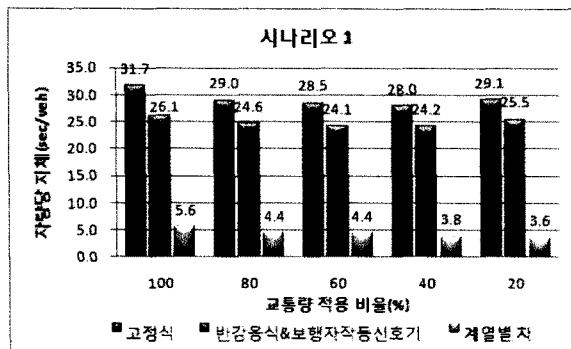
교통량이 많은 일반적인 상황에서도 고정식 신호주기를 사용하는 것보다 반감응식과 보행자 작동신호기를 함께 사용하는 것이 효과적으로 보인다.

1) 시나리오 1 : 주도로의 좌회전 교통량 감소

시나리오1의 경우 두 방식의 차량 당 지체의 차가 교통량이 감소함에 따라서 점차 작아지는 것으로 나타났다.

이는 주도로의 좌회전 교통량 역시 주도로의 교통량이므로 대부분의 교차로 지체가 주도로에서 나타난다는 것을 감안하였을 때 교통량에 대한 지체감소의 폭이 반감응 신호제어와 보행자 작동신호기로 인한 지체감소의 폭 보다 높게 나타나게 되어 그 효율이 점차 낮아지는 것으로 분석되었다.

시나리오 1에서 교통량에 따른 교차로에서의 차량 당 지체시간은 교통량의 40%일 때 가장 낮은 것으로 나타났고 20%일 때 다시 증가하는 것으로 나타났다.

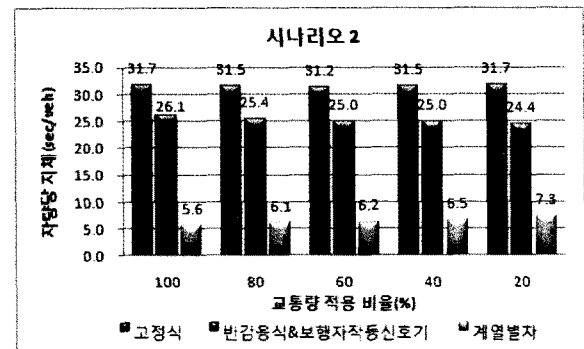


<그림 6 > 시나리오 1 결과

2) 시나리오 2 : 부도로의 교통량 감소

시나리오 2의 고정식 신호제어 방식에서는 지체의 감소가 거의 없는 것으로 나타났는데 이는 교차로 내 교통지체의 대부분이 주도로에서 발생하기 때문으로 생각된다. 반감응식 제어와 보행자 작동신호기를 함께 사용한 방식에서는 부도로의 교통량이 감소할수록 점차적인 지체의 감소를 나타냈고 두 방식의 차량 당 지체의 차이도 증가함을 볼 수 있다.

이는 석중수(2004)의 선행연구에서 증명하였던 것과 같이 반감응 신호 제어 방식을 사용할 때 부도로의 교통량이 감소함에 따라 그 효과가 크게 나타난다는 것과 같은 결과이고 차량 당 지체시간감소는 반감응 신호제어만을 사용했던 기존의 연구에서 보다 더 큰 것으로 나타났고 보행자 작동신호기로 인한 지체시간 감소 효과가 반감응 신호제어의 효과와 연동하여 발생한다고 분석된다.



<그림 7> 시나리오 2 결과

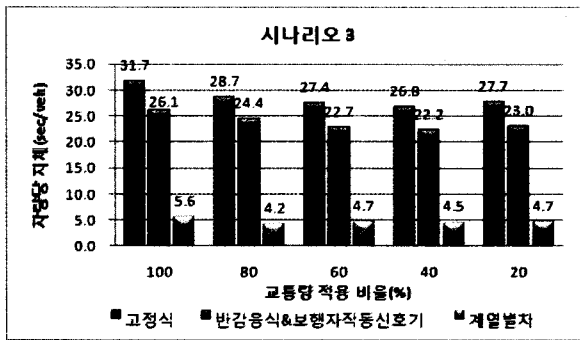
3) 시나리오 3 : 주도로의 좌회전 교통량과 부도로의 교통량 감소

시나리오3은 교통량의 40%를 적용하였을 때 가장 낮은 차량 당 지체감소를 보여주었고 40% 이하의 교통량에서는 지체가 증가하는 것으로 나타났다.

주도로의 교통량 감소와 부도로의 교통량 감소에 의한 차이에 의해 발생하는 현상으로 보여진다.

100% 교통량을 적용하였을 때를 제외한 경우에서의 차량 당 지체차이의 폭이 비슷한 것으로 나타났는데 80% 교통량 이하에서는 반감응 신호제어와 보행자 작동신호기를 함께 사용하

는 방식의 효율이 비슷한 것으로 분석된다.

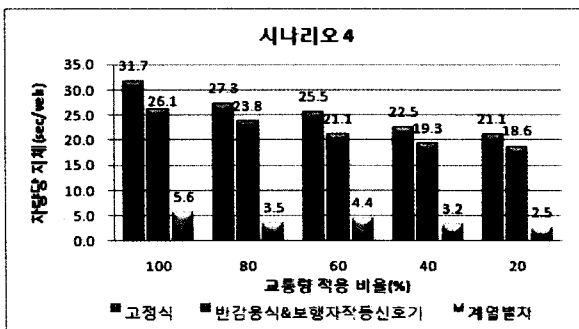


<그림 8> 시나리오 3 결과

4) 시나리오 4 : 전체 차량교통량 감소

시나리오4에서 차량 당 평균지체시간의 차이는 모든 시나리오의 것 중에서 가장 적은 것으로 나타났다. 고정식 신호제어의 경우에는 차량 당 총 지체시간이 10.6초 감소하였고 반감응식 신호제어와 보행자작동신호기를 이용한 방법은 차량 당 총 지체시간이 7.5초로 감소하였다. 두 방식 모두에서 교통량이 감소함에 따라서 지체의 감소가 점진적으로 이루어지는 경향을 보이나 이는 신호제어에서 오는 지체감소보다 교통량감소에 의한 지체감소가 영향이 큰 것으로 분석된다.

두 방식의 지체의 차이를 비교하였을 때 전체 차량 교통량감소로 인한 고정식 신호제어방식의 차량 당 지체시간 감소폭이 크게 나타남에 따라서 반감응 신호제어와 보행자 작동신호기를 함께 사용한 방식의 효율성이 상대적으로 다른 시나리오에 비하여 낮게 분석되었다.

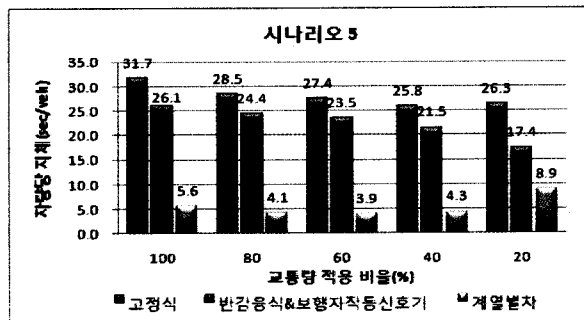


<그림 9> 시나리오 4 결과

5) 시나리오 5 - 주도로의 좌회전 교통량, 부도로, 보행자 교통량 감소

시나리오 5에서의 특징은 교통량 20%일 때의 고정식 신호제어와의 차이에서 7개의 시나리오의 비교값 중에 가장 큰 8.9초를 나타내어 가장 높은 효율을 보였다.

주도로의 좌회전 교통량의 감소의 부도로 교통량과 보행자 교통량이 20%이하 일 때 반감응 신호제어와 보행자작동신호기에 의한 차량 당 지체시간 감소의 효율이 크게 증가하는 것으로 분석되었다.

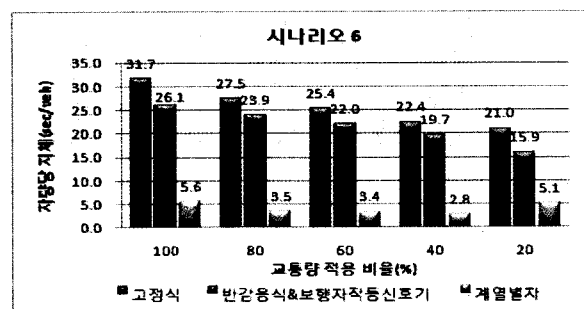


<그림 10> 시나리오 5 결과

6) 시나리오 6 - 전체 차량교통량과 보행자 교통량의 감소

시나리오6은 전체 교통량과 보행자 교통량을 모두 감소시켰기 때문에 두 교통량의 감소에 따른 영향으로 인하여 지체시간이 다른 시나리오에 비하여 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다.

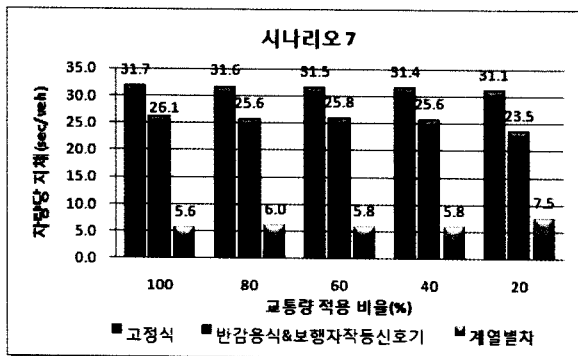
교통량 감소에 의한 고정식 신호제어방식의 차량 당 지체감소가 커서 반감응과 보행자작동신호기의 효율이 점차 떨어지는 것으로 나타나지만 시나리오 5 에서와 같이 20%이하의 교통량에서는 다시 효율이 증가함을 알 수 있다.



<그림 11> 시나리오 6 결과

7) 시나리오 7 - 보행자 교통량감소

시나리오 7에서는 보행자교통량의 감소만을 적용한 것으로 보행자교통량의 감소에 따라 고정식 신호제어 방식의 차량 당 지체시간 감소는 소폭으로 나타났고 반감응 제어와 보행자 작동신호기를 사용한 방식에서는 20%이하의 보행자 교통량에서 차량 당 지체시간의 감소가 가장 큰 것으로 나타났다.



<그림 12> 시나리오 7 결과

III. 결론

본 연구는 현재 대부분의 3지교차로에서 사용하고 있는 고정식 신호제어 방식의 문제점을 분석하기 위하여 그 대안으로 연구되고 있는 반감응식 신호제어와 불필요한 보행자신호를 줄일 수 있는 방법으로 연구되고 있는 보행자 작동신호기를 함께 사용하였다.

실제로 고정식 신호제어 방식을 사용하고 있고 보행자작동신호기가 설치되지 않은 3지 교차로를 선정하여 현장조사를 통한 시뮬레이션 입력변수를 수집하였고 시뮬레이션에 사용하기 위한 반감응 신호제어와 보행자작동신호기를 사용한 신호운영 알고리즘을 제작하였다.

민감도 분석을 위한 총 7개의 교통량감소 시나리오로 시뮬레이션을 실행하였다.

실제 100% 교통량을 적용하였을 경우 두 방식의 차량 당 지체시간의 차이가 5.6초로 고정식 신호제어 방식을 사용하였을 때보다 반감응 신호제어와 보행자작동신호기를 함께 사용한 경우 51.7초에서 26.1초로 5.6초(17%)의 차량 당 지체시간의 감소효과를 얻을 수 있었다.

부도로 교통량만을 감소시킨 시나리오2와 경

우와 보행자 교통량만을 감소시킨 시나리오7의 경우가 고정식 신호제어 방식과의 차량 당 지체시간 감소 차이가 가장 크게 나타났다.

또한 반감응 신호제어와 보행자작동신호기를 함께 사용한 방식에서 20%이하의 교통량 일 때 고정식 신호제어 방식에 비하여 차량 당 지체시간 감소의 효과가 가장 크게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구는 한 개의 3지교차로를 샘플로 하였고 고정식 신호제어방식과의 비교만을 하였으므로 보다 구체적인 분석을 위해서는 샘플수를 늘리고 반감응 신호제어만을 사용한 방식과 보행자 작동신호기만을 사용한 방식들과의 비교가 필요하고 시뮬레이션 입력 변수인 교통량의 경우에도 비첨두 교통량과 첨두 교통량을 각각 사용함으로써 그 차이를 비교한 분석도 이루어져야할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 도철용(2005), “교통공학원론(상)”, 청문각
2. 건설교통부(2001), “도로용량편람”, 대한교통학회
3. 건설교통부(2006), “도로업무편람”, 도로공사
4. 이두선(2006), “독립 신호교차로에서의 완전 감응식 신호제어에 관한 연구”, 석사학위논문, 단국대학교 대학원
5. 석종수(2004), “감응식 신호를 이용한 독립교차로 운영 효율화 방안”, 인천발전연구원
6. 박두용(2004), “지방부 독립신호교차로에서 감응식 신호제어에 관한연구”, 석사학위논문, 단국대학교 대학원
7. 설재훈, 조한선(2005), “보행자 작동신호기의 효과분석 및 도입확대방안”, 한국교통연구원
8. 김영준(2003), “독립 3지 교차로의 차로운영 개선 방안에 관한 연구”, 석사학위논문, 명지대학교 대학원
9. 김진태(2002), “감응식 신호운영을 위한 최대 녹색시간의 설계”, 대한교통학회지 제 20권 제4호 pp123~133
10. 김진태, 장명순, 손봉수, 도철용(2002), “감응식 신호운영의 평가를 위한 평균녹색시간 추정모형개발”, 대한교통학회지 제20권 제3호, pp159~168
11. 신언교, 김영찬, 이종만(2004), “실시간 신호제어알고리즘 개발에 관한 연구”, 대한교통

- 학회지 제22권 제7호, pp161~167
12. 정동일(2000), “교통신호제어시스템의 최적화에 관한 연구”, 울산대학교 공학연구논문집 제31권 1호, pp345~352
 13. 정영재(2005), “구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발”, 석사학위논문, 서울시립대학교 대학원
 14. 조준환, 김성호, 도철웅(2004), “신호교차로의 신호현시 구성기법에 관한 연구” 대학교통학회지 제22권 제5호, pp19~33
 15. 서준혁, 안종구(2000), “전자식 교통신호제어시스템에 관한 연구”
 16. PTV Planung Transport Verkehr AG(2004), “VISSIM User Manual - Version 4.00”
 17. Zhenqi CHEN, Shaokuan CHEN, Lin LIN and Baohua MAO(2007), “Design and Simulation of Signal Phase for Pedestrians' Twice Crossing at Large Signalized Intersections”, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, Volume 7, Issue 4, pp57~65
 18. M. J. Carsten, D. J. Sherborne and J. A. Rothengatter(1998), “Intelligent traffic signals for pedestrians: evaluation of trials in three countries”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 6, Issue 4, pp 213~229
 19. Feng-Bor Lin(1992), “Modeling average cycle lengths and green intervals of semi-actuated signal operations with exclusive pedestrian-actuated phase”, Transportation Research Part B: Methodological, Volume 26, Issue 3, pp 221~240
 20. Noyce, David A, Bentzen, Billie Louise(2005), “Determination of Pedestrian Push-Button Activation Duration at Typical Signalized Intersections”, TRB