

광폭교차로에서 2단 횡단보도 설치 효과분석

The Effect of Staggered Pedestrian Crossings at Wide Width Intersections

김 동 녕* 홍 유 민**
(Dong-Nyong Kim) (Yoo-Min Hong)

요 약

광폭의 도로에서는 횡단거리가 길어 보행자의 녹색시간이 길게 할당된다. 부도로의 교통량이 적을 때에도 보행자의 최소녹색시간으로 인해 일정시간 이상의 녹색신호시간을 보장해 주어야 하기 때문에 신호주기가 길어지고 주도로의 g/C 비율이 감소하게 되어 교차로 전체의 지체가 증가되는 문제점이 발생한다. 이 같은 문제점을 개선하기 위해 2단 횡단보도의 설치 효과를 차량 측면과 보행자 측면으로 나누어 분석하였다. 차량당 제어지체를 TRANSYT-7F와 VISSIM을 활용하여 산출하였고 그 결과 2단 횡단보도의 차량당 제어지체가 일반 횡단보도에 비해 최소 14.9%에서 최대 85.6% 감소하는 것으로 나타났다. 보행자 측면에서는 해석적 방법으로 두 횡단보도의 보행자 평균 횡단시간을 비교하였으며, 또한 VISSIM을 통한 평균 보행자지체를 산출하여 비교분석하였다. 해석적 방법으로 보행자 평균 횡단시간을 산출한 결과, 두 횡단보도의 큰 차이는 없는 것으로 분석되었다. VISSIM을 활용하여 보행자 지체시간을 산출한 결과, 일반 횡단보도에 비해 2단 횡단보도의 평균 보행자 지체가 13.4%~22.3%까지 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서 교통 및 기하조건이 연구결과와 유사한 경우에는 일반 횡단보도에 비해 2단 횡단보도가 차량 및 보행자측면에서 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract

The pedestrian green time is usually long at wide width intersections. This sometimes causes the increase of delay on the whole intersection because of long cycle length and thus small g/C ratio on some direction. In this paper, to improve these problems, staggered pedestrian crossing was evaluated on the vehicular and pedestrian aspects. The results were gained by using both TRANSYT-7F and VISSIM model. The vehicle control delay of the staggered pedestrian crossing was estimated to be decreasing than that of the general pedestrian crossing by 14.9% to 85.6%. The pedestrian average delay of two pedestrian crossing systems was examined by analytical method and VISSIM. According to the analytical method there was no significant difference between each pedestrian crossing system. The pedestrian delay of staggered pedestrian crossing was from 13.4% to 22.3% than the general pedestrian crossing by VISSIM. In conclusion, the staggered pedestrian crossing was more effective than general pedestrian crossing for both the vehicle and the pedestrian. However this conclusion was resulted from micro simulation where traffic volume condition, v/c, was from 0.8 to 1.1.

Key Words : Staggered pedestrian crossings, control delay, pedestrian delay, wide width intersection, road cross section..

† 본 연구는 2009년도 단국대학교 대학원 연구보조장학금의 지원으로 수행되었습니다.

* 주저자 및 교신저자 : 단국대학교 토목환경공학과 교수

** 공저자 : 단국대학교 대학원 석사

† 논문접수일 : 2011년 8월 30일

† 논문심사일 : 2011년 9월 26일

† 게재확정일 : 2011년 9월 30일

1. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

광로에서 설치된 횡단보도는 횡단거리가 길기 때문에 긴 녹색시간을 필요로 한다. 반면에 직진교통량이 많지 않을 경우에 교차로 운영이 비효율적으로 이루어진다. 이런 현상은 넓은 도로와 좁은 도로가 교차하는 지점에서 자주 볼 수 있다. 이러한 경우에 발생하는 문제점을 살펴보면 횡단거리가 길어 보행자의 녹색시간이 길게 할당되는데, 부도로의 교통량이 적을 때에도 보행자의 녹색시간으로 인해 일정시간 이상의 녹색신호시간을 보장해 주어야 하기 때문에 신호의 주기가 길어지고 주도로의 g/C 비율이 감소하게 되어 교차로 전체의 지체가 증가되는 문제점이 발생한다. 이 같은 문제점을 보완하기 위해 부도로의 현시시간을 줄이는 기법으로 2단 횡단보도방식을 적용해 볼 수 있다. 다음 <그림 1>은 2단 횡단보도를 보여주고 있다. 주도로에 설치된 횡단보도를 2단으로 나누면 횡단하는 보행자의 최소녹색시간을 절반가량으로 설정할 수 있다. 이는 부도로에 적용되는 차량의 최소녹색시간을 동일하게 줄일 수 있기 때문에 교통량이 적은 부도로에서 보행자 녹색시간

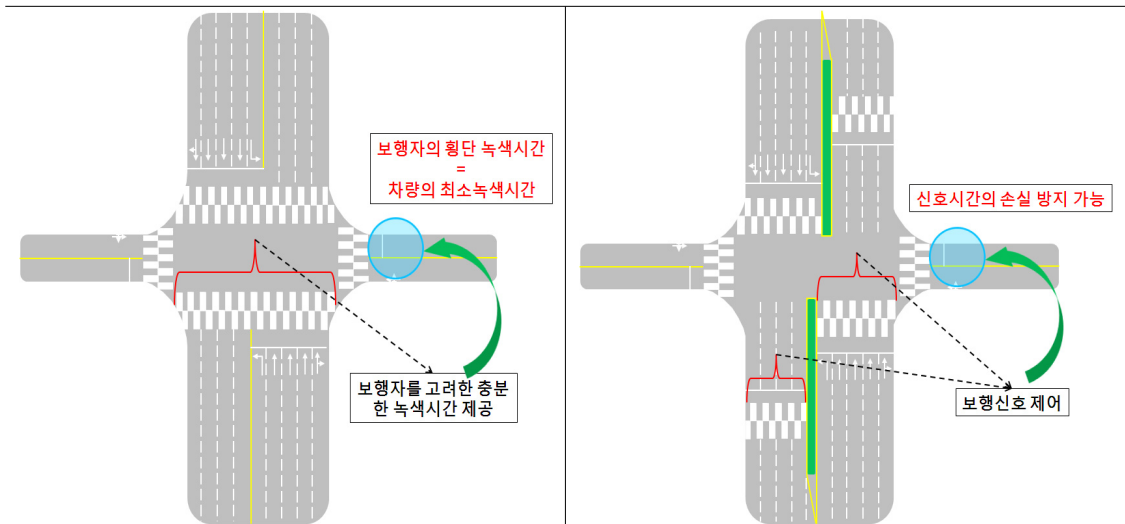
에 의해 낭비되는 차량 신호시간을 줄일 수 있다. 논문의 주요쟁점은 다음과 같다.

1. 보행자신호를 짧게 줌으로써 보행자 대기시간이 길어질 수도 있다는 점.

보행자가 한꺼번에 횡단하는 경우보다 두 번에 나누어서 건너는 경우가 많으므로 보행대기시간이 길어질 수 있다고 생각할 수 있으나 2단횡단보도에서는 직진때외에도 좌회전 신호때에 반쪽을 횡단할 수 있기 때문에 한 주기에 2회의 횡단기회를 가지게 되므로 반드시 보행대기시간이 길어지는 것은 아니다. 보행대기시간을 시뮬레이션 모형과 해석적 방법으로 비교할 것이다.

2. 보행자 대피섬을 설치하기 위해서는 공간이 필요하여 차로를 한 개 줄여야 하기 때문에 용량이 감소하여 신호운영 효과로 얻은 용량증대를 상쇄할 수도 있을 것이라는 점.

우선 대피섬 설치 공간의 폭은 약 3.0m로 가정하였다. 2단횡단보도 적용 가능성이 높은 간선도로로 대로 1류(35m), 광로3류(40m), 광로2류(45m)를 대상으로 횡단구성을 제시하고 보도폭(5m)을 그대로 유지하면서 차로폭원을 조정하거나 접근부 차로수를 줄



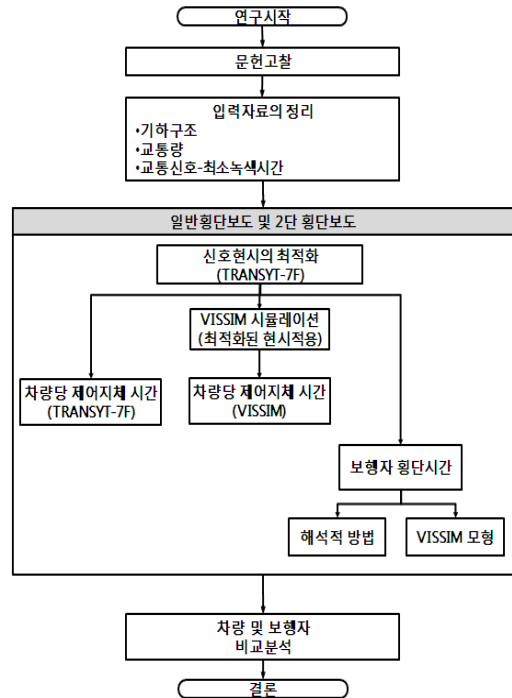
<그림 1> 광폭의 주도로로 인해 발생하는 문제점과 2단 횡단보도의 효과
 (Fig. 1) The problem of wide intersection and effect of staggered crosswalk

여서 대피섬을 설치하였다. 차도폭을 조정함에 따른 영향은 차도폭 보정계수(f_w)로 반영하였다. 이와 같은 방법으로 차량의 제어지체(Control Delay)를 시뮬레이션으로 비교 분석하였다. 즉, 중앙대피섬 확보로 인한 용량감소효과 보다 신호의 효율적 운영에 의한 용량증대가 크다는 것을 나타내고자 한다.

3. 타 유사논문과의 차별성 및 본 논문의 특징
 첫째, 본 논문에서는 다른 2단 횡단보도 논문에서 심도있게 고려하지 않는 노퍽에 대한 제약조건을 다루었다는 점을 들 수 있다. 즉 주어진 도로폭을 중앙대피섬 유무별로 보도폭을 변동하지 않으면서 차로수 또는 차로폭을 조정하는 방법으로 분석하였다는 점이다. 둘째, 주도로와 부도로의 폭이 큰 차이를 보이는 지점을 주요대상으로 하고 있다는 점이다. 그 이유는 부도로가 집분산 또는 국지도로 급일 경우 간선도로와 만나는 경우 상대적으로 직진교통량비율이 크지 않는 경우가 많기 때문에 이 경우에는 차량을 위해서는 긴 직진신호가 필요하지 않기 때문이다. 따라서 차량을 위해서는 긴 직진신호가 필요하지 않으면서 보행자가 긴 횡단보도를 건너야하기 때문에 최소녹색시간이 길어져 신호운영이 비효율적으로 운영되는 지점에 적용하고자 한다. 반면에 대등한 간선도로와 간선도로가 교차하는 경우에는 보행자 횡단시간이 최소녹색시간을 지배하는 경우가 상대적으로 적을 것이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 주도로와 부도로의 교통량의 차이가 확연한 교차로 중에서도 주도로의 도로폭이 넓어 보행자 교통섬의 설치가 가능한 교차로를 연구대상으로 하였다. 주도로의 접근부 차로수는 5차로와 4차로, 부도로의 접근부 차로수는 2차로와 1차로의 조합으로 분석을 실시하였다. 또한 주도로의 차로폭을 조절하여 보행자 대피섬이 설치되는 경우와 더 이상 차로폭의 조절이 불가능하여 차로수 감소를 통한 보행자 대피섬이 설치되는 경우로 나누어 분석을 하였다. 도로폭은 도로의 구조 및 설



〈그림 2〉 연구 수행 과정
 (Fig. 2) The process of research

치기준에 관한 규칙에 명시된 규모별 구분에서 광로 3류와 광로2류, 대로 1류의 폭을 적용하였다. 2단 횡단보도의 설치 효과는 차량소통측면과 보행자 횡단측면으로 나누어 검토되었으며, 차량제어지체와 보행자의 총 횡단시간을 평가의 지표로 하였다. 다음 <그림 2>는 연구 수행 과정을 나타낸다.

3. 관련문헌 고찰

1) 관련연구 고찰

손영태 등(2004)은 2단 횡단보도의 정량적 설치기준을 분석하였고[1] 허승희(2009)는 2단 횡단보도의 정량적 기준을 찾는 것을 목적으로 분석을 수행한 결과 2단 횡단보도를 설치할 경우 교차로 평균지체의 감소효과가 있었으며, 비침두시를 고려한 v/c 0.5에서 평균적으로 약 17%의 감소효과가 나타났다. 특히, 직진기준 편도 5차로 이상인 도로에서 가장 효과적인 것으로 분석되었다[2].

하태준(2002) 등[3]과 김경환(2009) 등[4]과 김상

규(2007) 등[5]은 횡단보도의 보행자 특성을 분석하였으며 이연형(2001)과 김종수(2000)는 각각 2단 횡단보도의 특성을 위험도 측면과 도시간선에 대해 분석하였다[6-7].

오도형(2004)은 보행자의 안전한 도로 횡단과 신호운영의 최적화를 위한 교차로 신호현시체계 운영방안을 제시하고 2단 횡단보도 도입에 따른 효과분석을 수행하였다. 임계차선 교통량 합(600~2,200대/시)의 변화와 좌회전, 직진임계차선 교통량(2:8, 3:7, 4:6)의 변화에 대한 차량지체와 보행자지체를 선정하여 2단 횡단보도의 도입 전후를 비교 분석한 결과 선행좌회전의 신호현시체계가 가장 효율적인 것으로 나타났다[8].

김철호(2002)와 김영호(2000)는 2단 횡단보도 설치기준과 신호현시체계를 연구하였다[9-10].

김영호(2000)는 임계차로 교통량에 따른 효과분석의 효과척도로 접근지체를 선정하고 운영방법에 따른 효과척도는 차량소통측면과 보행 측면으로 나누어 분석을 수행한 결과 신호시간의 효율적인 재배분, 신호주기 단축, 우회전 소통 개선 등으로 10~49%의 통행시간이 단축됨을 보였다[11].

2) 관련기준 검토

도로 설계기준을 적용하여 교차로 설계를 실시하였고 [12] 해외기준의 경우, 영국 교통국에서 발간한 Puffin Crossing[13-15]에서는 중앙이 분리된 도로와 분리되지 않은 도로 모두 도로 폭이 15m이상인 지역에서는 교통섬을 설치하도록 되어있고 11m이상~15m 미만인 지역에서는 교통섬 설치를 권장하고 있다.

국내기준의 경우, 국토해양부에서 발간한 ‘교통약자 이동편의시설 설치·관리 매뉴얼’에서는 “편도 4차로 이상인 도로에 보행섬을 설치할 수 있다.” 라고하고 있으나 기준에 대한 명확한 근거가 없는 실정이다.

II 본 론

1. 분석방법 및 효과척도

1) 분석방법

현재 국내에는 일반 횡단보도가 대부분을 차지

하고 있으며, 2단 횡단보도의 수는 많지 않은 실정이다. 따라서 동일한 조건의 현장 평가가 사실상 불가능하므로 본 논문에서는 시뮬레이션 모형을 통한 분석을 실시하였다. 사용된 시뮬레이션 모형은 현시 및 주기 최적화 프로그램인 TRANSYT-7F와 미시적 교통류 분석 프로그램인 VISSIM을 사용하였다. 보행자 횡단시간 분석은 해석적인 방법을 추가하였다[16-17].

2) 효과척도

도로용량편람(2001)에서는 신호교차로에 대한 서비스 수준의 평가기준으로 차량당 평균제어지체를 사용하도록 명시되어 있다. 차량당 평균제어지체란 분석기간에 도착한 차량들이 교차로에 진입하면서부터 교차로를 벗어나서 제 속도를 낼 때까지 걸린 추가적인 시간손실의 평균값을 말한다. 차량당 평균제어지체는 각 차로군별로 계산되며, 이를 각 접근로별로 종합하여 교차로 전체에 대한 평균지체값을 산출한다. 지체는 현장에서 측정을 하거나 계산에 의해서 측정될 수 있는 것이며 주기길이, 녹색시간비, 연동형식 및 차로군의 v/c비에 의해 좌우된다. 따라서 본 논문에서의 차량 분석의 효과척도는 평균 제어지체를 사용하였다.

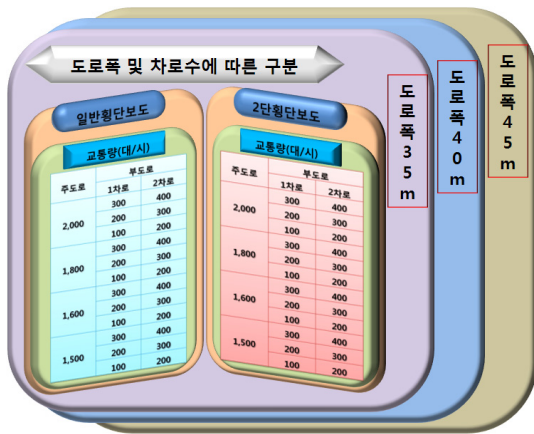
신호횡단보도에서의 보행자 효과척도는 두가지를 적용하였다. 해석적방법의 보행자분석은 총 횡단시간[대기시간 + 횡단시간]을 각각 비교하였고, 시뮬레이션(VISSIM) 방법은 OUTPUT의 특성상 보행자지체시간을 비교하였다.

2. 시나리오 구성 및 시뮬레이션 과정

본 논문에서는 교차로 폭원에 따른 주도로 및 부도로의 차로수, 교통량에 의해 총 72가지의 시나리오를 구성하였다. 분석에 사용된 교통량은 주도로의 v/c비가 0.8부터 1.1정도를 나타내는 수준까지 변화시켜 적용하였다. 다음 <표 1>은 각 시나리오별 분석에 적용된 교통량을 보여주고 있다. 좌회전, 직진+우회전 교통량비율은 주도로는 각각 20%, 80%, 부도로는 각각 50%, 50%로 가정하였다. 시뮬레이

〈표 1〉 분석에 적용된 교통량
 〈Table 1〉 Traffic volume used for analysis

접근로별 전체 교통량(대/시)			
주도로	부도로 (편도1차로)	부도로 (편도2차로)	비고
2,000	100	200	Case I Case II Case III에 동일한 교통량 적용
	200	300	
	300	400	
1,800	100	200	
	200	300	
	300	400	
1,600	100	200	
	200	300	
	300	400	
1,500	100	200	
	200	300	
	300	400	



〈그림 3〉 시뮬레이션 과정
 〈Fig. 3〉 The simulation process

선은 도로폭 및 차로수에 따라 분석을 실시하였으며, 다음 <그림 3>은 시뮬레이션 과정을 나타낸다.

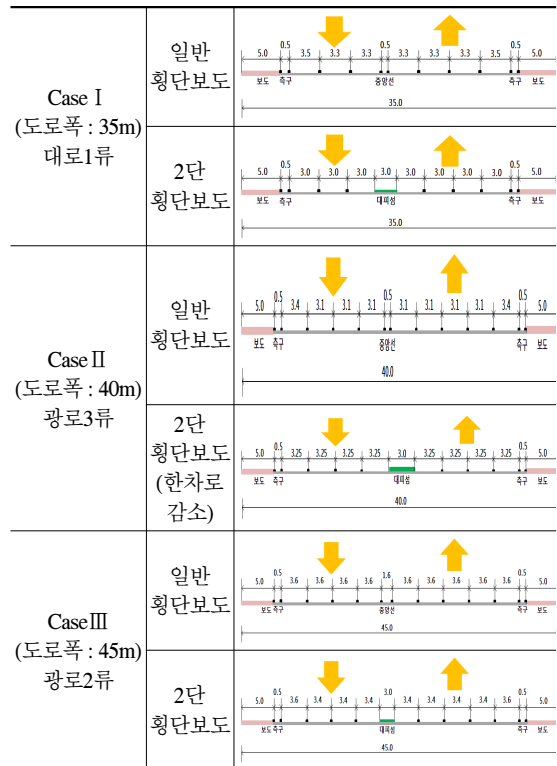
3. Case 별 도로의 횡단구성

도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설에서 차로의 폭은 차선의 중심선에서 인접한 차선의 중심선까지로 하며, 도로의 구분, 설계속도 및 지역에 따라 결정되며, 기준에 의하면 3.0~3.5m이다. 도로의 횡단구성은 측구의 경우 0.5m, 보도는 5.0m, 중앙선은 0.5m(도로폭이 45m인 경우는 중앙선을 1.6m

적용함)를 각각 적용하였다. 도로폭은 도시계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규정에 명시된 규모별 구분에서 대로1류, 광로3류, 광로2류의 폭을 적용하여 35m(Case I), 40m(Case II), 45m(Case III)에 대하여 각각 분석을 실시하였다.

부도로폭	1차로	2차로
주도로폭		
35m	Case I -1	Case I -2
40m	Case II -1	Case II -2
45m	Case III -1	Case III -2

Case I 과 Case III는 각 차로폭을 줄여서 보행자 대피섬을 설치한 경우이고, Case II는 각 차로폭을 줄이기 불가능하여 한 차로를 없애고 보행자 대피섬을 설치한 경우이다. 차로폭을 조정하여 보행자 대피섬을 설치하는 경우는 차로폭 감소로 인한 차로폭 보정계수(fw)를 반영하도록 하였다. 이를 다시 부도로



〈그림 4〉 각 Case 별 도로의 횡단구성
 〈Fig. 4〉 Cross sections by cases

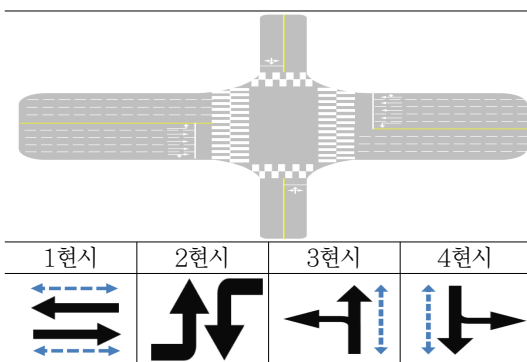
차로수가 1개 또는 2개 일 때 각각 Case I-1, Case II-2등과 같이 Case로 구분하였다. <그림 4>는 Case구분과 각 Case 별 도로의 횡단구성을 나타낸다.

4. 분석내용

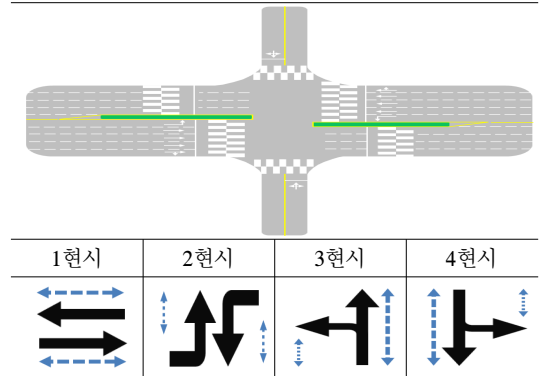
1) 교통신호운영의 최적화

① 교차로지체를 분석하기 위해서는 보행자 대피점 유무별로 각각 신호를 최적화한 상태에서 비교할 필요가 있다. 일반 횡단보도와 2단 횡단보도의 기하구조 및 교통조건이 고려되어 신호운영을 최적화하여 두 가지 운영방식에 따른 비교분석을 실시하였다. 교통 신호 최적화는 주기 및 현시 최적화 프로그램인 TRANSYT-7F를 사용하여 실시하였다.

② 교통신호운영의 최적화는 현시순서 (phase sequence), 현시 길이 및 주기가 고려되어야 한다. 신호현시체계에는 동시신호, 선행좌회전, 후행좌회전 등이 있는데, 본 연구에서는 주도로에 후행좌회전을 부도로에는 동시신호를 적용하여 분석하였다. 부도로를 직좌 동시신호를 가정한 이유는 진입차로수가 1개 또는 2개이기 때문에 이 방식을 채택하였다. 다음 <그림 5>와 <그림 6>은 적용된 신호현시체계를 나타낸다. 각 Case 별 분석 방법이 동일하기 때문에 Case I-1을 기준으로 기술하였다. 여기서 굵은 실선의 화살표는 차량의 신호를 의미하고, 가는 점선의 화살표는 보행자 신호를 의미한다.



<그림 5> 일반 (Zebra식) 횡단보도의 차량 및 보행자신호현시체계
<Fig. 5> Vehicle and pedestrian signal system at zebra crosswalk



<그림 6> 2단 횡단보도의 차량 및 보행자 신호현시체계
<Fig. 6> Vehicle and pedestrian signal system at staggered crosswalk

보행자 횡단신호는 일반횡단보도는 1주기당 1회의 횡단기회를 부여하였고 2단횡단보도의 남북횡단에서는 1주기당 2회의 횡단신호를 부여하는 것으로 하였고 다만 횡단시간이 짧아 두 번에 걸쳐서 횡단을 완성하는 경우가 발생할 것으로 생각된다. 신호 주기를 최적화한 결과 일반횡단보도는 대부분 주기가 150초 내외이고 2단횡단보도에서는 교통조건에 따라 거의 대부분의 Case에서 90초~130초 이내로 최적화되었고 교통량이 많은 몇몇 Case에서만 140초~150초로 최적화 되었다.

2) 차량지체 분석

본 연구에서는 차량 제어지체의 분석을 위해 TRANSYT-7F를 활용하여 현시 및 주기를 최적화하였다. 최적화된 현시 및 주기를 적용하여 TRANSYT-7F와 VISSIM을 활용하여 차량당 제어지체를 분석하였다.

본 모형을 적용하기 전에 랜덤변수등을 변형시켜 가면서 모형의 정산과정을 거쳤다.

본 연구에서는 차량 제어지체의 분석을 위해 TRANSYT-7F를 활용하여 현시 및 주기를 최적화하였다. 최적화된 현시 및 주기를 적용하여 TRANSYT-7F와 VISSIM을 활용하여 차량당 제어지체를 분석하였다.

(1) TRANSYT-7F 분석

앞서 사용한 TRANSYT-7F는 신호 최적화와 동시

에 교차로 서비스수준을 판단하기 위한 효과적도인 차량당 평균 제어지체를 산출한다. 다음 <표 2>와 <그림 7>은 TRANSYT-7F에서 산출된 차량당 평균 제어지체 결과를 나타낸다.

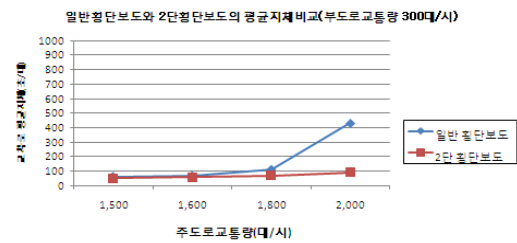
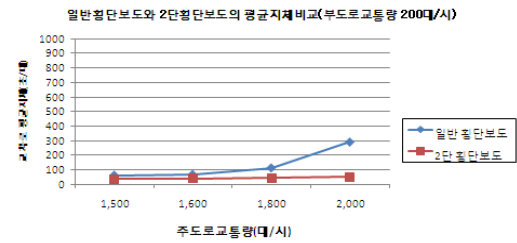
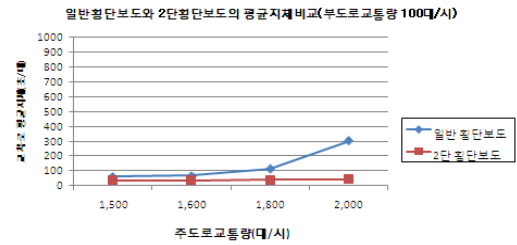
Case I-1의 경우 일반 횡단보도 대비 2단 횡단보도의 감소율이 최소 14.9%에서 최대 85.6%까지 감소하는 것으로 나타났다. Case II-1의 경우에도 최소 5.6%에서 최대 87.0%, Case II-2는 최소 39.9%에서 최대 91.6%까지 감소하였다. 그리고 Case III-1은 최소 68.8%에서 최대 94.2%, Case III-2는 최소 80.9%에

<표 2> TRANSYT-7F에 의해 산출된 차량당 평균 제어지체(초/대)

<Table 2> Control delays calculated by TRANSYT-7F(sec/veh)

구 분		부도로교통량(대/시)						
		100		200		300		
		일반	2단	일반	2단	일반	2단	
Case I-1	주도로 교통량(대/시)	1,500	62	34	62	39	63	52
		1,600	67	36	67	40	69	58
		1,800	115	40	113	46	112	71
		2,000	302	44	291	53	433	91
Case II-1	주도로 교통량(대/시)	1,500	70	37	69	39	69	65
		1,600	83	38	81	42	80	59
		1,800	199	45	192	50	186	79
		2,000	417	54	400	64	386	86
Case III-1	주도로 교통량(대/시)	1,500	150	39	144	38	139	44
		1,600	261	40	249	40	239	46
		1,800	515	42	492	44	471	52
		2,000	775	45	742	46	712	61

구 분		부도로교통량(대/시)						
		200		300		400		
		일반	2단	일반	2단	일반	2단	
Case I-2	주도로 교통량(대/시)	1,500	69	37	69	38	69	44
		1,600	86	38	85	42	84	50
		1,800	239	42	230	45	223	59
		2,000	456	46	439	52	424	71
Case II-2	주도로 교통량(대/시)	1,500	69	40	72	41	76	46
		1,600	96	41	94	45	102	50
		1,800	299	45	259	48	305	59
		2,000	599	50	601	55	605	72
Case III-2	주도로 교통량(대/시)	1,500	242	40	231	41	222	42
		1,600	368	42	351	42	336	44
		1,800	629	45	602	46	576	49
		2,000	894	48	857	50	823	55



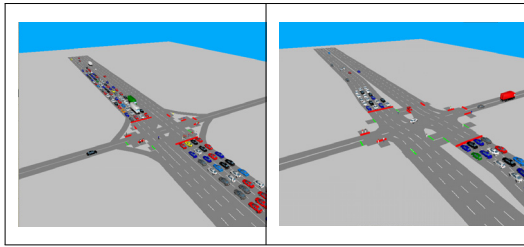
<그림 7> TRANSYT-7F에 의해 산출된 Case I-1의 차량당 평균 제어지체(초/대)

<Fig. 7> Control delays of Case I-1 calculated by TRANSYT-7F

서 최대 94.7%까지 감소하는 것으로 나타났다.

(2) VISSIM 분석

VISSIM은 현재 운영되고 있는 교차로의 지체, 통행시간, 속도 등을 분석할 수 있다. 또한 일반 횡단보도와 2단 횡단보도의 기하구조적인 차이를 보다 효과적으로 구현할 수 있다. 특히, 2단 횡단보도의 기하구조에 의한 보행자 대피섬 등을 시뮬레이션 모형에 포함할 수 있기 때문에 본 비교분석에 사용하였다. VISSIM으로 분석한 차량당 평균지체는 다음 <표 3> 및 <그림 9>와 같다.



〈그림 8〉 VISSIM을 통한 일반 횡단보도와 2단 횡단보도의 모형

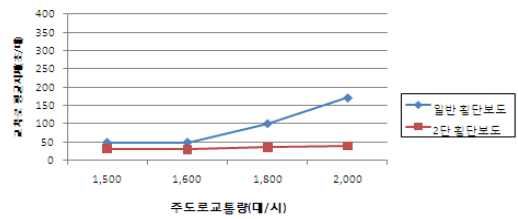
〈Fig. 8〉 Simulation between zebra crosswalks and staggered crosswalks by VISSIM

〈표 3〉 VISSIM에 의해 산출된 차량당 평균제어지체 (초/대)

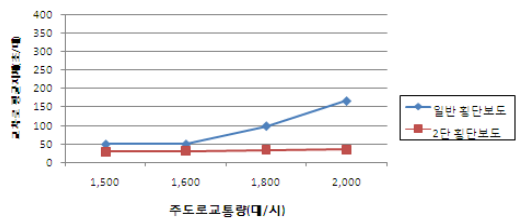
〈Table 3〉 Control delays calculated by VISSIM (sec/veh)

구 분		부도로교통량(대/시)						
		100		200		300		
		일반	2단	일반	2단	일반	2단	
Case I-1	주도로 교통량 (대/시)	1,500	49	31	49	30	50	33
		1,600	49	30	50	31	50	41
		1,800	101	36	99	33	97	49
		2,000	172	39	166	36	161	77
Case II-1	주도로 교통량 (대/시)	1,500	54	32	52	30	53	43
		1,600	54	34	53	33	58	42
		1,800	63	40	59	33	62	48
		2,000	184	54	170	66	172	137
Case III-1	주도로 교통량 (대/시)	1,500	58	34	57	31	57	32
		1,600	65	34	64	33	63	34
		1,800	195	37	187	36	181	36
		2,000	276	39	264	36	253	43
구 분		부도로교통량(대/시)						
		200		300		400		
		일반	2단	일반	2단	일반	2단	
Case I-2	주도로 교통량 (대/시)	1,500	50	31	50	30	50	31
		1,600	61	33	53	33	61	35
		1,800	132	43	126	38	125	51
		2,000	190	41	190	69	183	110
Case II-2	주도로 교통량 (대/시)	1,500	54	34	53	31	54	33
		1,600	65	37	56	34	64	35
		1,800	100	39	82	37	96	50
		2,000	229	73	221	93	215	91
Case III-2	주도로 교통량 (대/시)	1,500	100	34	97	34	95	33
		1,600	124	37	120	35	117	33
		1,800	273	40	262	39	253	37
		2,000	351	40	336	41	302	45

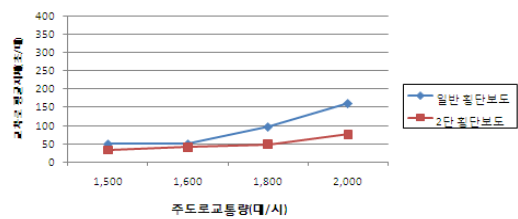
일반횡단보도와 2단횡단보도의 평균지체비교(부도로교통량 100대/시)



일반횡단보도와 2단횡단보도의 평균지체비교(부도로교통량 200대/시)



일반횡단보도와 2단횡단보도의 평균지체비교(부도로교통량 300대/시)



〈그림 9〉 VISSIM에 의해 산출된 Case I-1의 차량당 평균 제어지체(초/대)

〈Fig. 9〉 Control delays of Case I-1 calculated by VISSIM(sec/veh)

3) 보행자 횡단시간 분석

보행자시간은 두가지 방법으로 분석하였으며 즉, 보행자의 총 횡단시간과 평균 보행자 지체를 비교하였다. 먼저 보행자 횡단시간은 최적화된 현시를 적용하여 방향별 횡단시간을 계산하였다. 그리고 평균 보행자 지체는 TRANSYT-7F에 의해 최적화된 현시를 VISSIM에 적용하여 산출하였다. 본 연구에서 횡단보행 신호시간을 산정하는 과정에서 보행자 속도를 1.0m/초로 적용하였다. 기존에 1.2m/초를 적용하기도 하였지만 현재 횡단보행 신호시간 산정시 1.0m/초의 적용하는것이 추세이고, 교통약자의 횡단 보행을 어느 정도 고려한 보행자속도를 적용한 것이다.

즉, 횡단보행 신호시간을 산정하는데 있어서 다음과 같은 식을 적용하였으며 초기 녹색시간은 3초

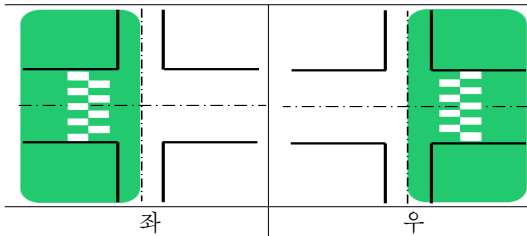
로 가정하였다.

$$G_p = \frac{W}{V_{PH}} + 3$$

여기서, G_p : 최소횡단보행 신호시간(초)
 W : 도로폭(m)
 V_{PH} : 보행자의 수평이동 속도(1.0m/초)

(1) 해석적 방법에 의한 보행자 총 통행시간분석

보행자의 주도로 횡단시간을 분석하기 위해서 다음 <그림 10>과 같이 부도로를 중심축에 두고 좌, 우로 구분하였고 각 현시의 길이를 a, b, c, d로 지정하였다.



<그림 10> 보행자의 주도로 횡단시간 분석을 위한 교차로 구분

<Fig. 10> Location of crosswalks to analyze pedestrian crossing time

① 방향별 총 횡단시간 산출방법

방향별 횡단시간은 보행자가 각 횡단보도 도착 시점으로부터 횡단을 완료할 때까지의 시간으로 대기시간과 횡단시간을 합한 것으로 정의한다. 2단 횡단보도의 경우에는 횡단시간이 일반횡단보도의 절반가량이다. 일반 횡단보도와 2단 횡단보도의 대기시간과 횡단시간은 다음 <그림 11>과 같다.

② 보행자 평균 총 횡단시간 [횡단시간 + 대기시간]

일반 횡단보도와 2단 횡단보도를 이용하여 각 현시의 시점으로부터 횡단을 완료하는 시간까지의 횡단시간을 계산식에 의해 분석을 하였다. 즉, 보행자 총횡단시간[대기시간 + 횡단시간]은 보행자가 어느 시점에 도착하느냐에 따라 대기시간이 달라지기 때문에 각 현시에 도착한 보행자들의 평균치를 계산하여 적용하였다. 평균값은 현시길이를 고려한 가중평균값을 구하였으며 이때 보행자들은 균일분포

로 도착한다고 가정 하였다. 보행자의 평균 총 횡단 시간은 다음과 같이 구하게 된다.

		10				10				
		a	b	c	d	a	b	c	d	
방향	좌	↓	대기시간				+횡단시간			
		↑	대기시간				+횡단시간			
	우	↓	대기시간				+횡단시간			
		↑	대기시간				+횡단시간			
방향	좌	↓	대기시간				+횡단시간			
		↑	대기시간				+횡단시간			
	우	↓	대기시간				+횡단시간			
		↑	대기시간				+횡단시간			
방향	좌	↓	대기시간				+횡단시간			
		↑	대기시간				+횡단시간			
	우	↓	대기시간				+횡단시간			
		↑	대기시간				+횡단시간			
방향	좌	↓	대기시간				+횡단시간			
		↑	대기시간				+횡단시간			
	우	↓	대기시간				+횡단시간			
		↑	대기시간				+횡단시간			

<일반횡단보도> <2단횡단보도>
 <그림 11> 일반 횡단보도와 2단 횡단보도의 방향별 횡단시간

<Fig. 11> Directional crossing time for zebra and staggered crosswalk

$$\text{평균 총 횡단 시간} = (\phi_1 \times \frac{g_1}{C}) + (\phi_2 \times \frac{g_2}{C}) + (\phi_3 \times \frac{g_3}{C}) + (\phi_4 \times \frac{g_4}{C})$$

여기서, ϕ_i = i 현시 시작할 때 도착한 보행자가 횡단을 마칠 때까지의 총 횡단시간(초)
 [대기시간 + 횡단시간]
 g_i = i 현시의 길이(초)
 C = 주기(초)

위의 식을 통해 일반 횡단보도와 2단 횡단보도의 평균 총 횡단시간(초)을 4개 횡단보도에서 각 두 방향씩 모두 8개 방향으로 분석한 결과 1개 방향을 제외한 7개 방향의 총 횡단시간이 2단횡단보도가 짧게 나타났다. 다만 부도로를 중심축으로 우측에 설치된 2단 횡단보도를 이용하여 북에서 남으로 (SB) 횡단하는 시간은 증가하였지만 그 외의 모든 방향의 횡단시간은 감소하는 것으로 나타났다.

(2) VISSIM에 의한 보행자 분석

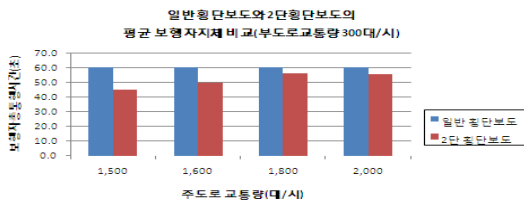
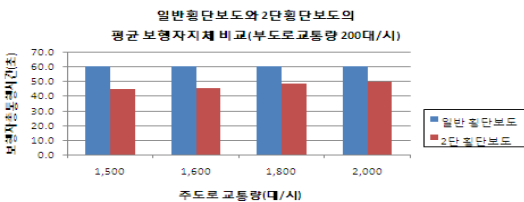
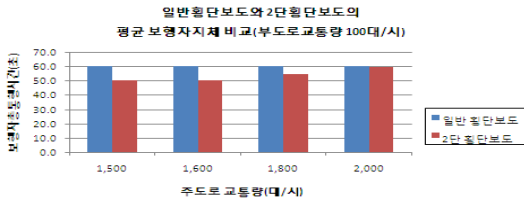
미시적 교통류 분석 프로그램 VISSIM에서 산출되는 보행자 분석의 효과적도인 평균 보행자지체는

다음 <표 4>, <그림 12>와 같다.

Case I-1의 경우 일반 횡단보도 대비 2단 횡단보도가 최소 1.2%에서 최대 25.9%까지 감소하는 것으로 나타났다. Case II-1의 경우에도 최소 6.6%에서 최대 29.6%, Case II-2는 최소 10.4%에서 최대 31.9%까지 감소하였다. 그리고 Case III-1은 최소 4.2%에서 최대 27.2%, Case III-2는 최소 12.4%에서 최대 25.8%까지 감소하는 것으로 나타났다.

<표 4> VISSIM에서 산출된 평균 보행자지체(초)
(Table 4) Average pedestrian delays by VISSIM(sec)

구분		부도로교통량(대/시)					
		100		200		300	
		일반	2단	일반	2단	일반	2단
주도로교통량(대/시)	1,500	60.6	50.4	60.6	44.9	60.6	45.1
	1,600	60.6	50.3	60.6	45.3	60.6	49.8
	1,800	60.6	54.9	60.6	48.6	60.6	56.3
	2,000	60.6	59.9	60.6	50.0	60.6	55.8



<그림 12> VISSIM에서 산출된 평균 보행자지체(초)
(Fig. 12) Average pedestrian delays by VISSIM(sec)

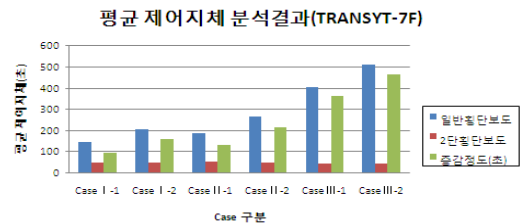
4. 분석결과

1) 차량측면 분석 결과

TRANSYT-7F를 이용하여 신호운영 최적화를 실시하여 일반 횡단보도와 2단 횡단보도의 운영을 비교하였다. TRANSYT-7F에서 산출된 결과 모든 Case에 대해 2단 횡단보도가 일반 횡단보도에 비해 차량당 제어지체 감소율이 평균 최소 50.8%에서 최대 89.1%까지 감소하는 것으로 타나났으며, 다음 <표 5> 및 <그림 13>과 같다.

<표 5> 각 Case 별 차량당 평균 제어지체 분석결과
(TRANSYT-7F)
(Table 5) The comparison of average control delays by cases(TRANSYT-7F)

구분	차량당 평균 제어지체		증감		
	일반 횡단	2단 횡단	감소정도(초)	감소율(%)	
Case I	1	146	50	96	50.8
	2	206	47	159	64.3
Case II	1	186	55	131	56.9
	2	265	49	215	66.8
Case III	1	407	45	363	84.7
	2	511	45	466	89.1



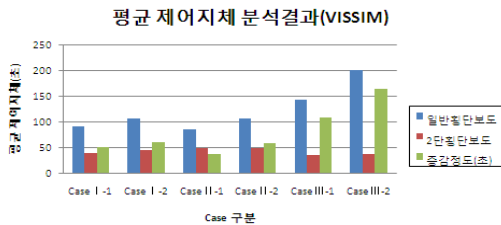
<그림 13> 각 Case 별 차량당 평균 제어지체 분석결과
(TRANSYT-7F)

(Fig. 13) The comparison of average control delays by cases(TRANSYT-7F)

또한 동일한 현시 및 주기를 적용하여 VISSIM을 통한 비교분석을 실시하였다. 그 결과 모든 Case에 대해 2단 횡단보도가 일반 횡단보도에 비해 차량당 제어지체 감소율이 평균 최소 38.3%에서 최대 77.2%까지 감소하는 것으로 타나났으며, 다음 <표 6> 및 <그림 14>와 같다.

〈표 6〉 각 Case 별 차량당 평균 제어지체 분석결과 (VISSIM)
 〈Table 6〉 The comparison of average control delays by cases(VISSIM)

구분	차량당 평균 제어지체		증감	
	일반 횡단	2단 횡단	감소정도 (초)	감소율 (%)
Case I	1	91	52	49.4
	2	106	61	51.8
Case II	1	86	37	38.3
	2	107	58	49.4
Case III	1	143	108	64.2
	2	202	165	77.2



〈그림 14〉 각 Case 별 차량당 평균 제어지체 분석결과 (VISSIM)
 〈Fig. 14〉 The result of average control delays by cases(VISSIM)

TRANSYT-7F와 VISSIM을 이용하여 차량당 제어 지체를 분석한 결과 주도로의 교통량이 클수록, 그리고 부도로의 교통량이 적을수록 효과가 좋은 것으로 나타났다. 부도로가 편도2차로가 편도1차로에 비해 차량당 제어지체의 감소율이 다소 크게 나타났지만 그 차이는 적다. CaseIII(도로폭:45m)가 다른 Case에 비해 효과가 더 크게 나타났는데 이는 차로 수를 줄이지 않고 차로폭을 조정해기 때문이다. Case I(도로폭:35m)의 경우, CaseIII과 마찬가지로 차로수를 줄이지 않고 차로폭을 조정하였지만 각 차로당 폭에 의한 차이로 차로폭 보정계수가(fw)가 반영되었기 때문에 CaseIII에 비해 차량당 제어지체의 감소율이 적게 나타났다.

2) 보행자측면 분석 결과

최적화된 현시 및 주기를 바탕으로 보행자의 평균 횡단시간을 계산한 결과, Case I 과 CaseIII의 경

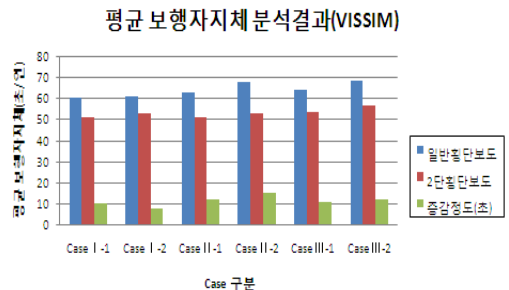
우는 두 횡단보도의 큰 차이가 없는 것으로 나타났지만 CaseII의 경우 2단 횡단보도의 보행자 평균 횡단시간이 증가하는 것으로 나타났다. 분석 결과는 다음 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 해석적 방법에 의한 보행자 평균 총횡단시간 분석 결과
 〈Table 7〉 The result of pedestrian total crossing time by analytical method

구분	보행자의 평균 횡단시간		증감	
	일반	2단	감소정도 (초)	감소율 (%)
Case I	1	94	-0.4	-0.4
	2	91	0.3	0.3
Case II	1	91	10.7	11.8
	2	91	83.4	7.6
Case III	1	92	0.8	0.9
	2	93	92.9	0.1

〈표 8〉 각 Case 별 평균 보행자지체시간 분석결과
 〈Table 8〉 Results of pedestrian delays by cases

구분	평균 보행자 지체(초/인)		증감	
	일반 횡단	2단 횡단	감소정도 (초)	감소율 (%)
Case I	1	60.6	10	16.0
	2	61.4	8	13.4
Case II	1	63.0	12	18.7
	2	68.1	15	22.3
Case III	1	64.4	11	16.9
	2	68.8	12	17.3



〈그림 15〉 각 Case 별 평균 보행자횡단시간 분석결과 (VISSIM)
 〈Fig. 15〉 Results of average pedestrian crossing time by cases(VISSIM)

최적화된 현시 및 주기를 VISSIM에 적용하여 평균 보행자지체를 산출한 결과 2단 횡단보도가 일반 횡단보도에 비해 평균 최소 13.4%에서 최대 22.3% 감소하는 것으로 분석되었으며, 다음 <표 8> 및 <그림 15>와 같다.

III. 결 론

부도로에 비해 주도로의 도로폭이 넓은 신호교차로의 효율을 증대시키고 보행자의 횡단시간을 고려한 2단 횡단보도의 도입 효과를 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 차량 측면

차량 측면을 고려하여 차량당 제어지체를 TRANSYT-7F와 VISSIM을 활용하여 산출하였다. TRANSYT-7F의 결과 2단 횡단보도의 차량당 제어지체가 일반 횡단보도에 비해 감소하는 것으로 나타났다. Case I 과 CaseIII는 차로수는 그대로 유지하면서 차로폭을 조절하여 2단 횡단보도를 도입한 경우, 차량당 제어지체 감소율이 각각 57.6%와 86.9%로 분석되었으며 특히, CaseIII의 경우에 효과가 매우 크게 나타났다. CaseII는 차로폭의 조절이 불가능하여 한 차로수를 감소시켜 2단 횡단보도를 도입한 경우로, 차로수가 감소되었음에도 불구하고 차량당 제어지체가 61.9% 감소한 것으로 분석되었다. 또한 VISSIM의 모의실험 경우에도 2단 횡단보도의 차량당 제어지체가 일반 횡단보도에 비해 감소하는 것으로 나타났다. Case I 과 Case III의 경우, 차량당 제어지체 감소율이 각각 50.6%와 70.7%로 분석되었으며, CaseIII의 경우 그 효과가 가장 좋았다. CaseII의 경우에도 차량당 제어지체 감소율이 43.9%로 분석되었다. 모든 Case에 대해 일반 횡단보도 대비 2단 횡단보도의 차량당 제어지체가 감소하였으며, 차량 제어지체 측면에서 2단 횡단보도가 일반 횡단보도 보다 효과가 우수한 것을 확인하였다.

2) 보행자 측면

보행자 측면에서는 미시적 교통류 분석 프로그램인 VISSIM을 통한 평균 보행자지체를 산출하여 비교분석하였다. 먼저 보행자 평균 횡단시간을 분석한 결과 Case I 과 CaseIII의 경우는 두 횡단보도의 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 CaseII의 경우, 2단횡단보도의 보행자 평균 횡단시간이 약 10초 증가하는 것으로 나타났다. 이는 단순한 횡단시간 비교로서 보행량을 고려한 비교는 아니다. 따라서 보행량을 고려한 보행자 지체시간을 비교분석 하였으며, 그 결과 일반 횡단보도에 비해 2단 횡단보도의 평균 보행자지체가 13.4%~22.3%까지 감소하는 것으로 분석되었다. 개별 보행자 평균 횡단시간이 증가하는 Case도 있었지만, 시간당 보행량을 고려한 평균 보행자지체는 오히려 2단 횡단보도가 감소하는 것으로 분석되었다. 해석적방법에 의한 보행자시간 비교결과는 두 방법간에 유의할만한 차이가 없었다. 보행자의 안전측면까지 고려한다면 횡단거리 및 신호주기의 감소로 보행자 도로 노출시간이 줄어드는 2단 횡단보도가 일반 횡단보도 보다 안전할 것으로 판단된다. 또한 보행약자의 경우 광폭의 도로를 2회에 나누어 횡단할 수 있어 차량과의 상충에 대비할 대피공간의 활용이 가능하다.

본 논문의 결과는 폭이 넓은 도로와 좁은 도로가 만나는 교차로에 대해서 제한된 교통조건을 적용한 분석결과이므로 모든 교차로에 적용할 수는 없을 것이다. 즉, 부도로의 직진교통량이 적은 곳에 유용하게 적용될 수 있을 것이다. 특히 보행자의 경우 지체시간이 줄거나 비슷한 결과를 보이긴 하지만 심리적으로 두 번에 나누어 건너는 것에 대한 거부감을 무시할 수 없기 때문에 적용시에 이 점을 고려할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 손영태, 김철호, 최기주, “2단 횡단보도의 정량적 설치기준에 관한 연구,” *대한토목학회 논문집 D*, vol. 24, no. 2, pp.133-141, 2004.

- [2] 허승희, “도로 차로수에 따른 2단 횡단보도 설치기준에 관한 연구,” 서울시립대학교 석사학위 논문, 2010.
- [3] 하태준, 박제진, 이형무, “신호교차로에서 횡단보도 설치기준에 관한 연구,” 대한토목학회 학술대회, vol. 2002, no. 11, pp.101-104, 2002.
- [4] 김경환, 김대현, 이익수, 이덕환, “횡단보도에서의 보행자의 임계각격추정 모형 구축,” 대한토목학회논문집 D, vol. 29, no. 1, pp.33-40, 2009.
- [5] 김상규, “보행자 횡단특성을 고려한 보행신호시간 산정모형 개발에 관한 연구,” 서울시립대학교 석사학위 논문, 2007.
- [6] 이연형, “위험도분석을 통한 이단횡단보도와 일반횡단보도의 비교평가,” 한양대학교 석사학위 논문, 2001.
- [7] 김중수, “도시간선도로상 교차로에서 이단횡단보도 도입을 통한 효과분석에 관한 연구,” 한양대학교 석사학위 논문, 2000.
- [8] 오도형, “간선도로 신호교차로의 이단횡단보도 도입에 따른 효과분석에 관한 연구,” 광주산업대학교 석사학위 논문, 2004.
- [9] 김철호, “2단 횡단보도의 정량적 설치기준에 관한 연구,” 명지대학교 석사학위 논문, 2002.
- [10] 이윤정, “광로교차로에서 이단횡단보도 도입을 통한 신호현시체계에 관한 연구,” 서울시립대학교 석사학위 논문, 1999.
- [11] 김영호, “2단 횡단보도를 이용한 신호교차로 교통운영 개선방안에 관한 연구,” 서울시립대학교 석사학위 논문, 2000.
- [12] 국토해양부, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙, 해설, pp.200.
- [13] DFT(Department for Transportation), *Puffin crossings*, United Kingdom, pp.17, 2006.
- [14] DFT(Department for Transportation), *The Design Of Pedestrian Crossings, LTN 2/95(Local Transport Note)*, United Kingdom, pp.5,7, 1995.
- [15] *Traffic Advisory Leaflet 1/02*, UK, pp.4-5, 2002.
- [16] *TRANSYT-7F Manual*, Ver 9.3, 2001.
- [17] *VISSIM User Manual*, Ver 5.20, 2010.

저자소개



김 동 녕 (Kim, Dong-Nyong)

1984년 9월 ~ 현 재 : 단국대학교 토목환경공학과 교수
 1981년 3월 ~ 1984년 8월 : 국토연구원 연구원
 1983년 3월 ~ 1990년 8월 : 서울대학교 대학원 토목공학과 박사
 1980년 3월 ~ 1982년 2월 : 서울대학교 대학원 토목공학과 석사
 1972년 3월 ~ 1976년 2월 : 서울대학교 토목공학과 학사



홍 유 민 (Hong, Yoo-Min)

2003년 3월 ~ 2009년 3월 : 단국대학교 토목환경공학과 학사
 2009년 3월 ~ 2011년 3월 : 단국대학교 대학원 토목환경공학과 석사