

신호교차로 횡단보도 및 정지선 설계기준 개선방향

장재민* / 이영인** / 허은진***

도심 구간에서의 교통 혼잡은 대부분 신호교차로에서 발생한다. 이는 신호시간 및 신호주기 문제, 교통안전 시설물 위치 등이 원인이며 본 시설물들의 개선을 통해 교차로의 혼잡을 줄일 수 있다. 본 연구의 목적은 신호교차로의 교통 혼잡을 개선하는 방안으로서 횡단보도와 정지선 설계의 개선을 통해 교통 혼잡을 줄이는 것이다. 선행연구 및 이론적 고찰 등을 통해 종합적으로 고려한 결과 최적의 횡단보도는 보행자 우회경로감소, 차량 통과시간 감소, 회전차량 대기공간 미확보, 좌회전 차량 곡선반경 미확보, 가장자리차선 시각 미확보 및 정지선 후퇴 등이 중요한 요인으로 도출되었다. 본 연구는 이러한 특성을 종합적으로 적용 가능한 DS(Diagonal Safety)횡단보도를 제안하였으며 적용 결과 직진교통량 17%, 좌회전 교통량 9%를 증가 시키며, 평균 침범횟수도 38% 감소되어 교통혼잡을 감소시키는 것으로 나타났다. 이외 계단식 정지선 도입효과로 차량과 보행자의 이격거리를 두어 보행자 안전을 확보하였으며, 도로 상태에 따른 시각성 확보를 통해 보행자의 안전이 개선되는 것으로 보인다.

주제어 _ 신호교차로, 횡단보도, 정지선, 교통량, 보행자

* 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사수료(제1저자)

** 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 교수

*** 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사수료(교신저자)

Improving Design Criteria for Crosswalks and Stop Lines at Signalized Intersections

Jang, Jae-min* / Lee, Young-In** / Heo, Eun-Jin***

In inner urban areas, traffic congestion is present mostly at signalized intersections. It results from such factors as incorrect signal time and interval and location of traffic safety facilities and thus, the congestion can be mitigated by improving these factors. The purpose of this study is to review design criteria for crosswalks and stop lines as a way to address the congestion issue. A comprehensive review of the literature and theory found that current issues include a lack of pedestrian detours, short auto traffic passing time, limited turning vehicle waiting area, lack of consideration of the vehicle left-turn path, lack of consideration of the driver's view on the outside lane. Accordingly, this study proposed a DS (Diagonal Safety) crosswalk and its estimated effects were improving the straight traffic by 17% and left-turn traffic by 9 while reducing the average line-crossing rate by 38%. Additionally, stair-like stop lines of this crosswalk improved pedestrian safety by securing a space between vehicles and pedestrians and by allowing travelers to recognize road conditions.

Key words _ Signalized Intersection, Crosswalk, Stop Line, Traffic Volume, Pedestrian

* Researcher, Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies (First Author)

** Professor, Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University

*** Researcher, Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University
(Corresponding Author)

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도심 구간에서 교통 혼잡은 대부분 신호교차로에서 발생한다. 서로 다른 방향으로 진행되는 교통류의 충돌을 피하기 위해, 신호등에 표시되는 차로 순서별로 시간에 따라 통행권을 부여하기 때문이다. 즉, 신호교차로에서 교통량을 효율적으로 처리하는 기술은 도심의 혼잡도를 낮출 수 있는 중요한 요인이 된다. 또한 신호교차로에는 접근하는 차량이 정지하는 동안 보행자가 안전하게 도로를 횡단하기 위한 횡단보도가 존재하며, 보행자 횡단을 보호하기 위해 횡단보도와 일정 간격을 두고 차량이 정차하도록 정지선을 설치하고 있다. 그러나 보행자 사고 중 도로의 횡단과 관련된 사고가 52.6%를 차지할 정도로 현재는 횡단보도에서의 사고 비중이 높은 실정이다(도로교통공단, 2016).

횡단보도 인근에서 사고 발생 및 교통류 지체 유발은 주로 보행자 녹색점등 신호 시 우회전 차선에서 차량이 우회전할 경우 보행자와 차량이 횡단보도라는 공간을 동시에 점유하게 될 때 발생하게 된다. 또한 우회전 차량의 경우 우회전 진입 시 바깥 차선에서 보행자와 충돌의 위험 부담을 높이기도 한다. 하지만 이것을 운전자 및 보행자의 부주의 때문으로만 해석할 수 없다. 이는 부적절한 횡단보도 위치, 비효율적인 신호시간, 운전자와 보행자의 안전의식 부족 등이 복합적으로 작용하고 있기 때문이다.

이처럼 신호교차로는 직진 및 회전 교통량 처리, 보행자 횡단, 최근에는 자전거 횡단까지 처리해야 하는 공간임에도 불구하고, 현재의 횡단보도 및 정지선 형태로는 도로 혼잡성 방지 및 안전성 확보 측면에서 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현재의 신호 운영 체계를 그대로 유지 하면서, 동시에 횡단보도를 횡단하는 보행자의 안전성과 운전자의 원활한 교통 소통을 동시에 만족하는 접근로별 최적 횡단보도 설치형태를 제시하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 신호교차로를 통과하는 회전교통류 및 도로를 횡단하는 보행자에 대해 회전차량의 상층에 따른 혼잡을 완화하고, 보행 안전을 확보하기 위해 횡단보도 및 정지선의 위치 조정을 통한 최적 배치기준을 제시하는 것이다. 연구의 범위는 교통섬 및 계단식 횡단보도를 제외한, 일반적인 신호교차로에 위치한 왕복 2차로 이상의 횡단보도를 대상으로 하며 연구방법은 기존 횡단보도 대비 본 연구에서 제시한 횡단보도와와의 비교분석을 통해 최적화 방안을 제시하였다. 본 연구의 순서는 선행연구를 검토한 뒤 횡단보도 및

정지선 등에 대한 이해도를 높이기 위해 현황분석을 시행할 것이며 횡단보도 및 정지선의 최적배치에 대한 연구결과를 제시한 후 이를 기반으로 해석 한 뒤 정책적 시사점 및 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

II. 선행연구 검토

1. 이론적 고찰

1) 횡단보도 및 정지선 형태

횡단보도의 형태 및 특징은 <표 1>과 같다. 현재 서울시는 Type1의 형태를 다수 사용하고 있으나 회전 차량에 대한 대기공간이 없다는 것이 큰 단점이다. 이를 다시 요약해 보면 운전자 입장에서는 교차로를

<표 1> 횡단보도 형태에 따른 장단점

구분	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
형태				
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 보행자가 우회할 필요 없음 · 차량 교차로 통과시간 감소 · 횡단보도 전방에 대기공 간이 없어 차량은 횡단 보도 후방에서 정지 	<ul style="list-style-type: none"> · 보행자를 잘 식별할 수 있음 · 우회전차량의 대기공간 마련 	<ul style="list-style-type: none"> · 보행자를 잘 식별할 수 있음 · 우회전차량의 대기공간 마련 	<ul style="list-style-type: none"> · 보행자가 우회할 필요 없음 · 차량 교차로 통과시간 감소 · 횡단보도 전방에 대기공 간이 없어 차량은 횡단 보도 후방에서 정지
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 우회전 차량에 의한 지체 발생 · 우회전 차량에 보행자가 잘 보이지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> · 차량의 교차로 통과속도 가 높아 위험성 내포 (EPDO 높음) · 보행동선 길이 증가로 보행자 불편 및 우회거리 증가 · 정지선이 전/후방에 설치 되어 있어 운전자에게 혼란 가중 	<ul style="list-style-type: none"> · 차량교차로 통과시간 증가 · 보행동선 길이 증가로 보행자 불편 및 우회거리 증가 · 횡단보도 전방에 대기공 간 이 설치되어 있어 운전자에게 혼란 가중 	<ul style="list-style-type: none"> · 교차로 면적증가 · 보행자가 교통섬으로 진 입하기 위한 상충발생

단시간에 통과해야 하므로 교차로간 거리가 줄어들수록 유리하며 보행자 입장에서도 횡단거리가 단축되어 유리하다(Type 1, 4). 그러나 국내는 직진과 우회전 공용차선을 동시에 운영하는 특성으로 직진신호 점등 시 우회차량의 대기공간이 없어 교차로의 혼잡을 발생시키며 이는 교차로 용량 및 보행자의 가시거리 확보가 어려워 위험요소가 가중된다. 보도의 연석선에 근접하게 설치된 횡단보도는 연석선에서 떨어진 횡단보도보다 회전차량과 보행자간의 상충이 2배 이상 많고, 차량소통 측면에서도 효율성이 떨어짐을 제시하고 있으므로 차량소통을 향상시키기 위해서 공용우회전차로의 우회전 차량 비율에 근거하여, 우회전 후 차량 대기공간을 마련하여야 한다(도로교통공단).

일부 교차로에선 우회전 차량의 대기공간 및 보행자의 가시거리 확보가 우수한 Type 2, 3의 형태가 유리할 수도 있다. 하지만 교차로의 통과거리가 늘어나 차량의 속도가 높아 위험성이 내포되며 보행거리도 증가되어 효율성이 낮아질 수 있다. 횡단보도를 지난 교차로에 차량의 대기공간을 둘 경우(Type 2) 사고의 위험이 커져 가능한 사용을 제한해야 한다(하태준, 2003). 이러한 특성을 감안하여 일부 구간에서는 대각선 횡단보도를 운영하고 있다. 신호현시를 5주기로 늘려 5번째 신호에 All Red를 부여함으로써 모든 방향의 차를 멈추게 한 뒤 보행자를 안전하게 횡단토록 하는 방안이다. 하지만 All Red신호 점등 시 차량의 혼잡도 가중으로 보행량이 높은 일부구간에서만 시행 중에 있다.

횡단보도 이외 정지선 또한 교통안전 표지의 하나로 횡단보도 전방에 정지 신호에 따라 차량이 정지해야 하는 위치를 나타내는 선이다. 녹색점등에서 보행자와 자동차가 동시에 공간을 점유하는 바깥차로에서 사고가 빈번히 발생하여 요즘은 마지막 차로를 뒤로 후퇴시켜 계단식 정지선 형태를 도입하고 있다. 이는 운전자들의 시인성을 개선하고, 보행자 녹색신호가 점등하기 전후 급히 출발 또는 멈추는 차량들로부터 횡단보도 끝 지점을 통과하는 보행자들을 보호하기 방법이다. 하지만 운전자는 옆 차량과 나란히 대기하고자 하는 성향이 높아 실재는 <그림 1>과 같은 형태를 종종 목격하게 된다.

〈그림 1〉 계단식 정지선의 문제점

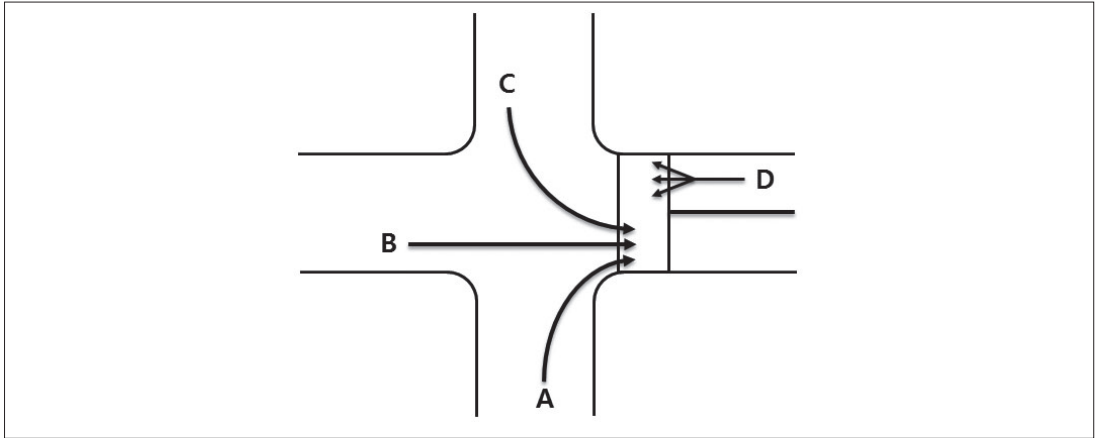


2) 사고 및 혼잡유형

횡단보도에서 보행자 사고는 <그림 2>와 같이 A,B,C,D 유형으로 구분할 수 있다. 이 가운데 B,C의 사고유형은 운전자의 신호위반이 높은 것으로 나타났으며, A,D의 경우 횡단보도를 침범하여 보행자를 가

격한 보행자보호 의무위반이 상대적으로 높은 것으로 나타났다(하태준, 2003).

〈그림 2〉 횡단보도 사고유형

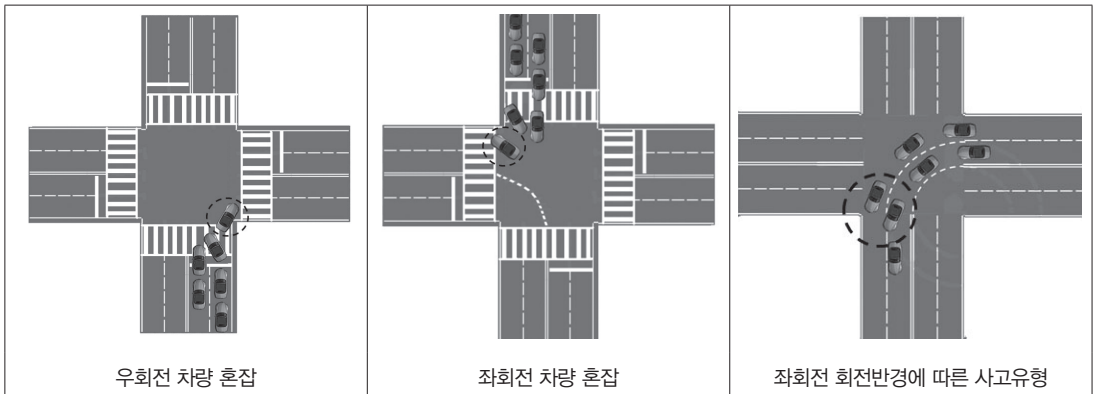


자료: 하태준 외(2003), 신호교차로 횡단보도 설치기준에 관한 연구

직진신호가 점등되면 직우회전 차선에서 대기하고 있는 직진차량은 우회전 차량으로 인해 〈그림 3〉과 같이 혼잡을 가중시키게 된다. 좌회전 차량도 통과도중 보행자 신호가 점등되면 좌회전을 진행 중인 차량은 교차로 내에 남게 되며 이로 인한 혼잡을 발생시킨다.

또한 좌회전 차량은 좌회전 곡선반경 따라 통과교통량의 용량에 영향을 미친다. 차량이 좌회전하는데 있어서 주행궤적이 부적절하면 인근차로를 침범하게 되는 경우가 발생하게 되는데 이는 도로용량을 감소시킬 뿐 아니라 안전상에서도 문제를 야기할 수 있다. 회전반경이 충분히 확보되지 못하면 인근차로를 침범하여 사고를 유발시키는 경우가 종종 발생하게 된다.

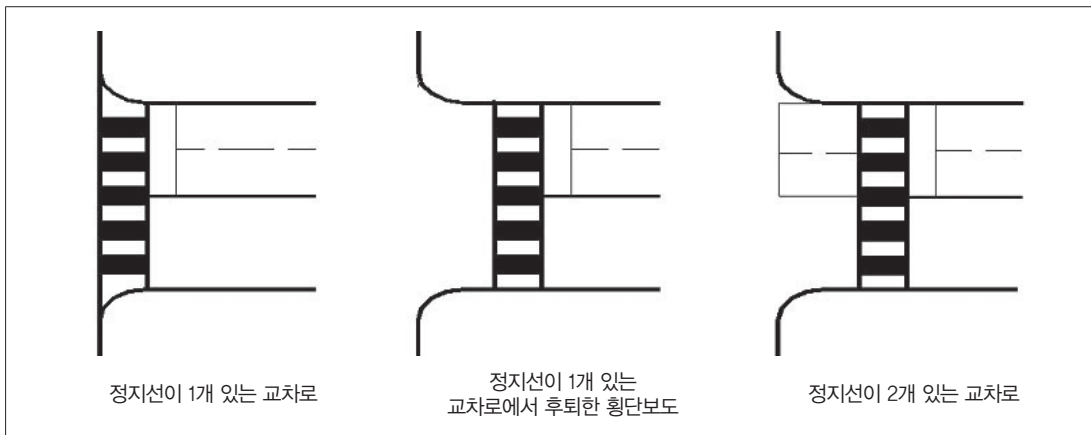
〈그림 3〉 회전차량에 의한 혼잡유형



2. 선행연구 검토

홍재선(2001)의 도시부 횡단보도의 위치 선정에 관한 연구에는 교차로에서의 횡단보도 설치위치를 <그림 4>와 같이 3가지 유형으로 분류하였다. 횡단보도 설치 유형별로 사고 자료를 이용한 사고분석, 보행자 및 차량의 행태분석, 사고의 심각도(EPDO) 등을 통해 분석한 결과 유형2가 상대적 안전도가 높다고 판단하였다. 또한 보행자 행태분석 결과 횡단보도를 비정상적으로 보행하는 행태 및 무단횡단을 하는 보행자의 행태 등의 비율도 유형2에서 적은 값을 나타내고 있음을 보여준다.

<그림 4> 횡단보도 설치유형



자료: 홍재선(2001), 도시부 횡단보도의 위치 선정에 관한 연구

하태준(2003)의 신호교차로 횡단보도 설치기준에 관한 연구에는 보행자 안전을 기반으로 신호교차로 횡단보도에서 발생하는 보행자와 차량간의 사고형태를 횡단보도 특성별로 구분하였다. 통과 교통량, 횡단보도 보행량, 교차로 기하구조, 신호현시 등의 자료를 수집하여, 유의수준 0.1에서 다양한 변수를 고려한 다중회귀분석을 통해 가장 적은 사고건수가 추정된 횡단보도 형태를 결정하는 과정을 제시하였다. <그림 4>와 같이 3개 유형의 횡단보도 형태별 사고율과 사고건수를 예측한 모형식을 이용하여 최적의 횡단보도 설치형태를 결정하였으며 그 결과 유형2가 안전하다고 판단하였다.

김윤미(2015)의 보행특성을 고려한 횡단보도 보행신호시간 산정 모형 및 설계기준 제시에 관한 연구는 일반횡단보도의 출발지체시간은 2.81초로 보행속도는 0.92m/s로 나타났으며, 어린이 및 노인보호 구역의 횡단보도 출발지체시간은 2.69초로 보행속도는 0.82m/s로 나타났다. 보행자의 안전을 위해 도로 바깥차선의 횡단보도와 정지선 사이 간격은 도로 중앙차선 보다 좀 더 후방으로 이격이 필요함을 나타내고 있다.

강성인(2014)의 회전교차로 대각선횡단보도 설치에 따른 차량의 지체도 분석에 관한 연구는 회전교차로에 대각선 횡단보도를 설치하였을 때 차량의 지체시간 변화에 대한 연구를 통해 합리적인 설치 기준을 제시하였다. 이는 포화도 및 보행자수 증가에 따라 차량의 지체시간은 일반적으로 증가하지만 민감도에 따라 지체시간은 상이하게 나타났다.

정숙영(2012)의 대각선 횡단보도 설치기준에 관한 연구에 따르면 보행자 중심 정책이 활성화 되면서 대각선 횡단보도 설치에 대한 비중은 높아지고 있으며 이는 한 주기내의 보행자 전용현시를 제공하기 때문에 보행자 안전측면에서 높은 효과를 나타내고 있음을 시사하고 있다.

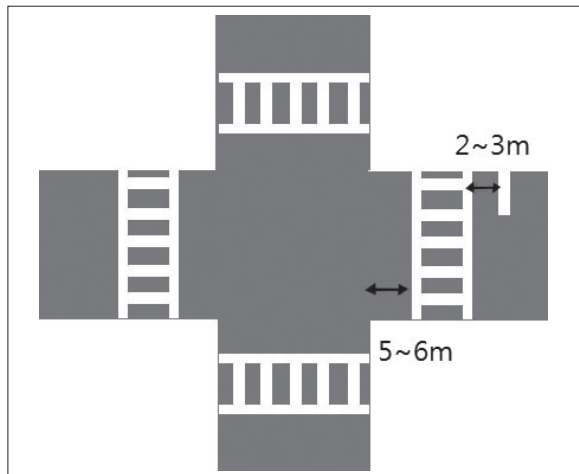
횡단보도 및 정지선과 관련 된 연구는 과거에 다양한 형태에서 진행되었으나 현재는 대각선 횡단보도(all red)형태의 연구가 주를 이루고 있다. 기존의 횡단보도 유형은 3개의 타입이 존재하지만 어느 유형이 최적인지는 현재도 혼재되어 사용되고 있으며, all red 횡단보도 형태도 현시가 한번 더 추가되므로 사용빈도는 낮은 현실이다. 정지선 역시 기존의 계단식 정지선이 도입되었으나 현재는 사용빈도가 낮은 추세이다. 본 연구는 기존의 횡단보도 및 정지선을 기반으로 최적의 횡단보도 형태를 도출할 것이며 이를 토대로 교차로 용량증대 및 안전성 확보에 대한 전략적 시사점을 도출하고자 한다.

III. 현황분석

1. 일반현황 분석

횡단보도 위치는 교차로의 넓이, 자동차 및 보행자의 교통량 등에 따라 종합적인 판단을 통하여 위치가 결정되어 진다. 도로설계 편람에 따르면 직진 및 우회전차로에서 직진차량이 우회전 차량에 의해 방해받지 않기 위해 횡단보도를 연석선에서 5~6m 후퇴시키며, 보행자와 차량의 충돌을 방지하기 위해 정지선은 횡단보도에서 2~3m뒤에 설치하도록 제시하고 있다.

〈그림 5〉 횡단보도 설계기준



보도의 연석선에 근접하게 설치된 횡단보도는 회전차량과 보행자간의 상충이 두배 이상 많고 차량의 혼잡도 증가시킴에 따라 연석선과 횡단보도간의 허용간격을 정량적으로 제시하고 있다.

〈표 2〉 연석선과 횡단보도간의 허용간격

공용우회전차로의 우회전 비율(R)		연석선과 횡단보도간 허용간격	
왕복4차로	왕복6차로	차량대수	길이(m)
25%R	17%R	1대	4.3m
25%〈R≤42%〉	17%〈R≤34%〉	2대	8.6m 또는 교통섬
42%〈R	34%〈R	3대	12.9m 또는 교통섬

출처: 도로교통공단, 1998

좌회전 차량은 좌회전 곡선반경의 길이에 따라 포화 교통류율에 영향을 준다. 따라서 도로용량편람에 서는 〈표 3〉과 같이 좌회전 궤적의 곡선반경에 따른 포화류율의 변화를 직진환산계수로 나타냈으며, 이는 좌회전 곡선반경이 길어질수록 통과교통량이 높아짐을 보이고 있다.

〈표 3〉 좌회전 곡선반경에 따른 직진환산계수

좌회전곡선반경(m)	≥9	≥12	≥15	≥18	≥20	>20
직진환산계수	1.14	1.11	1.09	1.06	1.05	1.00

출처: 도로용량편람, 2013

도로의 한차로 당 차로 폭은 〈표 4〉와 같으며 속도가 높아질수록 차로 폭이 넓어짐을 보이고 있다.

〈표 4〉 도로종류별 차선폭

회전차선의 폭	일반도로		고속도로
	60km/h도로	80km/h도로	
2.75m	3.0m	3.25m	3.6m

출처: 도로용량편람, 2013

2014년 말 기준 보행자 교통사고 유형별 현황을 살펴보면 도로 횡단과 관련 된 사망사고는 약 63%로 보행자 사망사고의 대부분을 차지하고 있다. 교차로 내 보행자 사고의 경우 직진 중 및 좌우회전 중 차량과 사고율이 높은 만큼 직진 및 좌우회전 차량을 중심으로 횡단사고를 개선을 통해 안전 확보방안이 요구된다.

〈표 5〉 보행자 교통사고 및 교차로 내 보행자 사고 유형별 현황

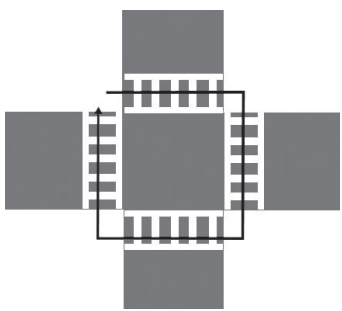
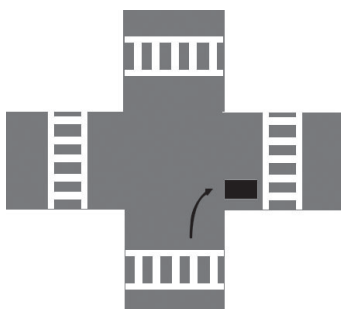
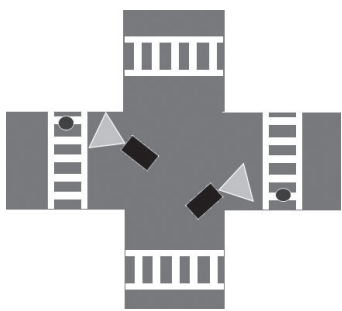
구분	사망자(비율)		부상자(비율)		구분	교차로 내	
	사망자	비율	부상자	비율		사고건수	구성비
합계	1,910	100	51,646	100	합계	6,647	100%
횡단보도횡단	388	20.3	12,420	24.0	직진중	2,622	39.4%
횡단보도부근	112	5.9	2,387	4.6	좌우회전중	3,518	52.9%
기타횡단	711	37.2	12,408	24.0	U턴중	104	1.6%
육교부근	21	1.1	86	0.2	출발중	84	1.3%
마주보고통행	48	2.5	1,698	3.3	후진중	275	4.1%
등지고통행	80	4.25	2,392	4.6	앞지르기중	8	0.1%
놀이기구사용	1	0.1	75	0.1	진로변경중	4	0.1%
길가장자리	53	2.8	3,012	5.8	주·정차중	18	0.3%
보도통행	21	1.1	1,664	3.2	기타	14	0.2%
기타	475	24.8	15,504	29.9			

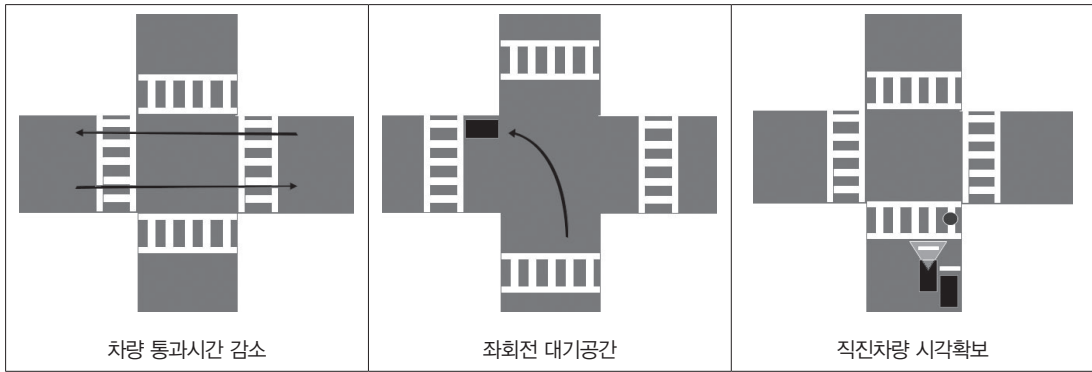
출처: 경찰청 통계자료, 2014

2. 횡단보도 최적화 방안

이론적 고찰 및 선행연구 등을 종합적으로 판단한 횡단보도의 이상적인 형태를 살펴보면 〈그림 7〉과 같은 특성을 지니고 있어야 한다.

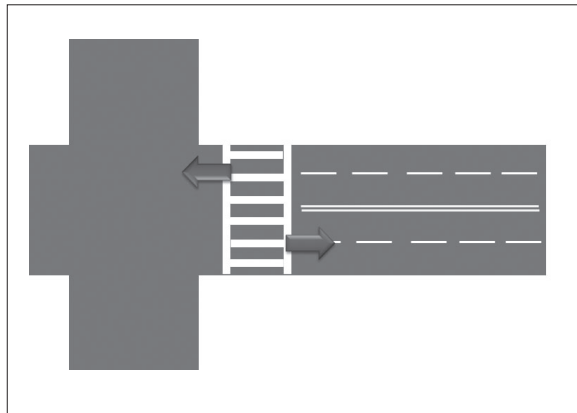
〈그림 6〉 횡단보도의 안전성 확보방안

<p>1. 횡단보도는 교차로 인접부근에 위치하여 보행자의 우회경로 발생 감소 및 차량의 통과시간을 감소 시켜야함</p>	<p>2. 횡단보도는 연석선에서 후퇴하여 위치시켜 우회전 및 좌회전 차량 대기공간 확보해야 함</p>	<p>3. 녹색 점등 시 운전자와 보행자가 상충이 발생하는 도로의 가차선은 정지선 또는 횡단보도를 뒤로 후퇴시켜 우회전 및 직진 차량에 대한 운전자의 시각성을 확보해야 함</p>
 <p>보행자 경로감소</p>	 <p>우회전 대기공간</p>	 <p>회전차량 시각확보</p>

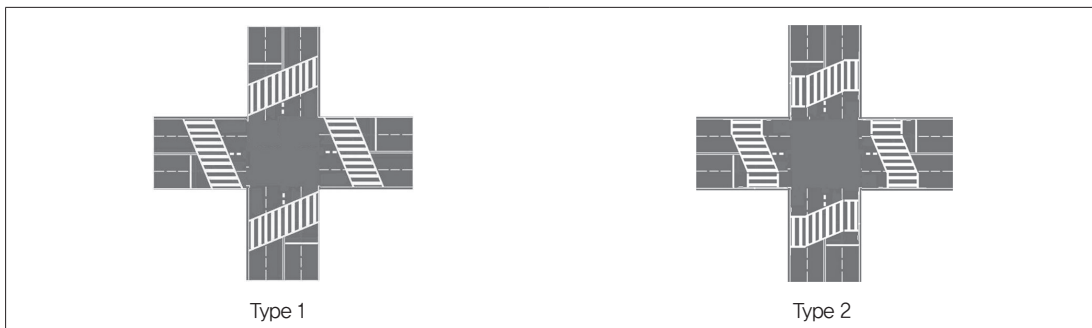


이상적인 횡단보도를 재요약해 보면 <그림 7>과 같다. 차량방향을 기준으로 교차로 시작 지점은 횡단보도가 연석선에 근접하며, 교차로 끝지점은 연석선에서 멀어질수록 최적의 횡단보도를 구성할 수 있다. 따라서 일직선 형태의 횡단보도를 대각선의 형태로 마지막 차선에 차량 한 대 이상 대기할 수 있는 공간을 마련하는 것이다(Type1). 이외에도 보행자의 직진보행특성을 감안하여 양끝을 직선화시켜 그림과 같은 Type2를 도입 시 우회전 및 좌회전 차량에 대기공간이 마련되어 교차로의 원활한 주행이 가능할 것으로 판단된다. 본 제안형태의 횡단보도를 DS(Diagonal Safety) 횡단보도로 표현하고자 한다.

<그림 7> 횡단보도 최적화 방안



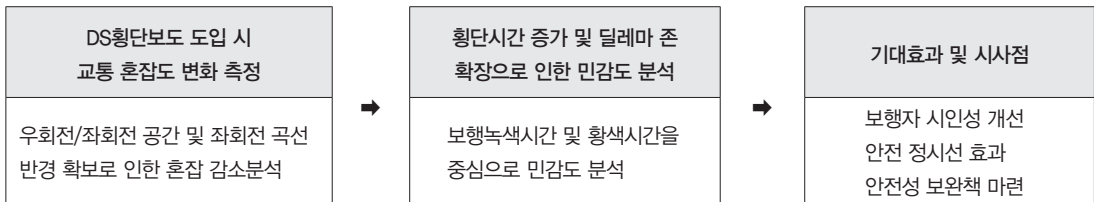
<그림 8> 본 연구의 횡단보도 제안형태



3. 연구방법론

본 연구의 DS횡단보도 적용 시 일반횡단보도 대비 혼잡도 감소를 측정하기 위해 첫째, 우회전 차량과 좌회전 차량의 대기공간 확보로 인한 혼잡감소, 둘째, 좌회전 곡선반경 확보를 통한 혼잡감소를 평가지표로 선정하였다. 이외 DS횡단보도 도입 시 횡단거리 증가로 인한 녹색시간의 민감도 분석 및 딜레마 존 확장으로 인한 황색시간의 민감도 분석을 시행하였다. 마지막으로 기대효과 및 안전방안 확보 등을 통해 시사점을 제시하였으며 본 연구의 방법론은 다음과 같다.

〈그림 9〉 본 연구의 방법론



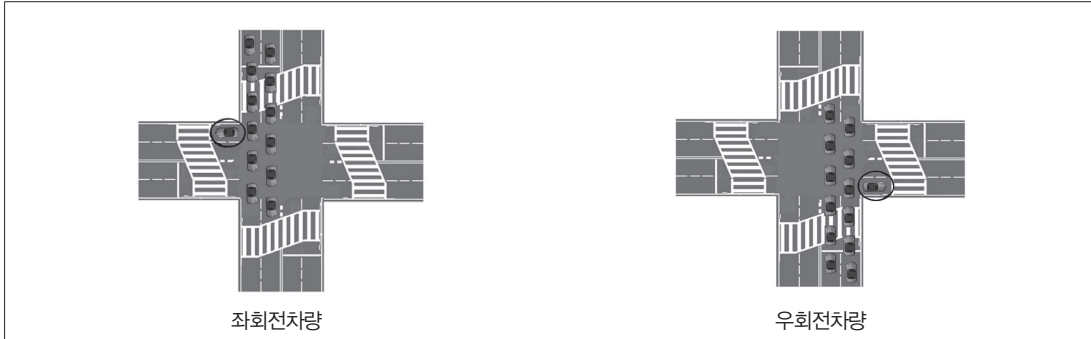
일반적으로 교통혼잡 감소와 교통안전증진이라 두 가지 목표를 동시에 만족시키는 것은 쉽지 않다. 본 고의 DS횡단보도 역시 교통 혼잡의 감소효과는 평가지표를 통해 일부 증명할 수 있으나 대각선 형태의 횡단보도 적용에 따른 보행행태 변화, 딜레마 존 증가로 인한 교통사고 증가 등 안전성에 문제가 나타날 수 있겠다. 본 연구는 안전성을 평가할 수 있는 지표 및 실험이 부족한 것이 한계점으로 지적되나 이러한 안전성을 개선시키기 위해 현장사진, 해외사례 및 물리적 보호(휨스 설치 등)등을 통해 안전성을 확보할 것이다.

IV. 결과분석

1. 통과교통량 증가

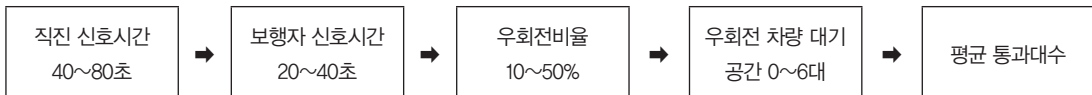
DS횡단보도 도입 시 우회전 차량과 좌회전 차량의 대기공간 확보로 인해 직진차량은 원활 한 통행이 가능하다.

〈그림 10〉 회전자량 대기공간 확보에 따른 차량 흐름도



DS횡단보도를 적용함으로써 우회전 대기공간 확보에 따른 혼잡도 분석을 위해 현장의 조사지점 및 조사내용의 기준 값 어려운 만큼 타 연구의 실험을 인용하였다. 김동녕·신진철의 우회전공용차로 운영 교차로의 횡단보도 적정 위치 산정 연구에는 우회전 대기공간 확보에 따라 직진차량 평균통과대수를 모의 실험을 통해 분석하였다. 본 연구 역시 우회전 대기공간 확보에 따른 혼잡 값이 필요한 만큼 김동녕·신진철의 분석 값을 적용하였다. 모의시험의 교통환경은 교차로 내에서 횡단보도 위치를 연석 상에서부터 승용차 기준 1대~6대가 대기할 수 있는 경우의 수로 구분하였고, 우회전 비율은 10%~100%까지로 적용하여 반복실험을 시행하였다

〈그림 11〉 모의시험 반복수행 절차



분석결과(녹색시간 70초, 보행시간 20초 기준)는 <표 6>과 같으며 대기공간 1대, 우회전 비율 30%를 기준으로 직진통과대수는 약 17%정도 증가된 것을 볼 수 있다.

〈표 6〉 우회전비율 및 대기공간에 따른 직진차량 통과대수

우회전 비율(%)	직진차량 통과대수			
	대기공간:0대	대기공간:1대	대기공간:2대	대기공간:3대
10	22.1	27.4	29.6	30.0
20	19.2	23.4	26.9	29.1
30	17.9	21.0	24.0	26.7
40	17.2	19.6	21.9	24.4

자료: 김동녕·신진철의 우회전공용차로 운영 교차로의 횡단보도 적정 위치 산정(2004)

DS횡단보도 도입 시 좌회전 차량의 회전시점은 일반횡단보도 회전 시점보다 먼저 시작된다. 이는 좌회전 차량은 좌회전 회전반경을 보다 넓은 면적이 사용가능함에 따라 회전반경 증가로 인한 좌회전 통과교통량이 증가되며, 침범횟수도 줄어들어 사고위험을 줄일 수 있다. 회전반경 확보로 인한 혼잡도 측정을 위해 이 역시 유사사례연구를 인용하였다. 김기용·김동녕의 교차로 좌회전 궤적에 따른 정지선 위치에 관한 연구에는 좌회전 곡선반경에 따른 혼잡도 분석을 모의시험을 통해 분석하였다. 모의시험의 교통환경은 포화교통량 2200pcph를 기준으로 좌회전 곡선반경을

〈그림 12〉 DS횡단보도 적용에 따른 곡선반경 확보



10m~ 19m로 변화를 주며 카메라로 녹화를 통해 좌회전 반경이 불충분한 상태와 충분한 상태를 비교하여 다중 좌회전차로에 대한 영향을 분석하였다. 분석결과 포화교통류율 및 평균 침범횟수는 〈표 7〉과 같다. DS횡단보도 도입 시 회전반경은 약 4m 확보되는 것으로 나타났으며 이는 포화교통류율을 약 9% 증가시키며 평균침범 횟수는 약 38% 감소시키는 것으로 나타났다.

〈표 7〉 곡선반경에 따른 차로별 평균 침범횟수

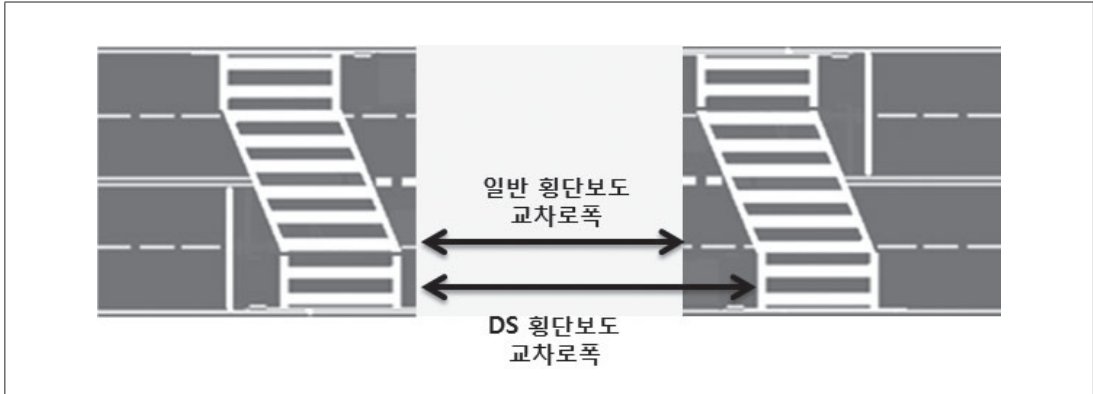
구분	통과교통량(대)/포화교통량대비 비율(%)				평균침범횟수	
	곡선반경 10m		곡선반경 14m		곡선반경 10m	곡선반경 14m
1차로	1565	71.1	1818	82.6	8.90	5.91
2차로	1698	77.2	1856	84.4	7.95	4.61
3차로	1733	78.8	1923	87.4	5.30	3.17
4차로	1986	90.3	2015	91.6	-	-
평균	1746	79.4	1903	86.5	7.38	4.56

자료: 김기용·김동녕, 교차로 좌회전 궤적에 따른 정지선 위치에 관한 연구(2000)

2. 신호시간 검토

DS횡단보도 도입 시 우회전 차량 공간 확보에 따라 직선형태의 횡단보도가 대각선 형태로 변하는 만

〈그림 13〉 DS횡단보도 도입에 따른 교차로 폭



〈표 9〉 교차로 폭 및 접근속도 따른 황색신호시간

교차로폭 (m)	40km/h		50km/h		60km/h		70km/h	
	산출(초)	적용(초)	산출(초)	적용(초)	산출(초)	적용(초)	산출(초)	적용(초)
20	2.9	3.0	2.8	3.0	2.7	3.0	2.8	3.0
25	3.4	3.0	3.2	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
30	3.8	4.0	3.5	4.0	3.3	3.0	3.3	3.0
35	4.6	4.0	3.8	4.0	3.6	4.0	3.5	4.0
40	4.7	5.0	4.2	4.0	3.9	4.0	3.8	4.0
45	5.2	5.0	4.5	5.0	4.2	4.0	4.0	4.0
50	5.6	5(1)	4.9	5.0	4.5	5.0	4.3	4.0
55	6.1	5(1)	5.3	5.0	4.8	5.0	4.6	5.0
60	6.5	5(2)	5.6	5(1)	5.1	5.0	4.8	5.0
65	7.0	5(2)	6.0	5(1)	5.4	5.0	5.1	5.0
70	7.4	5(2)	6.4	5(1)	5.7	5(1)	5.3	5.0

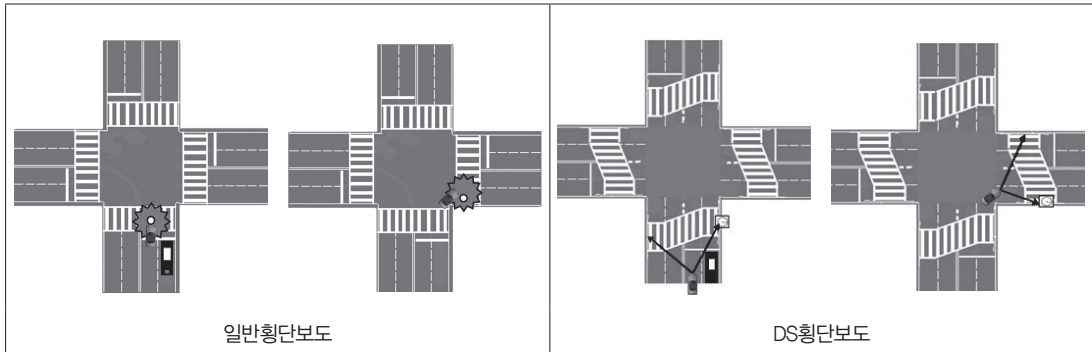
※ ()안은 전적색신호를 운영할 수 있는 시간

3. 기대효과

1) 보행자의 시인성 개선

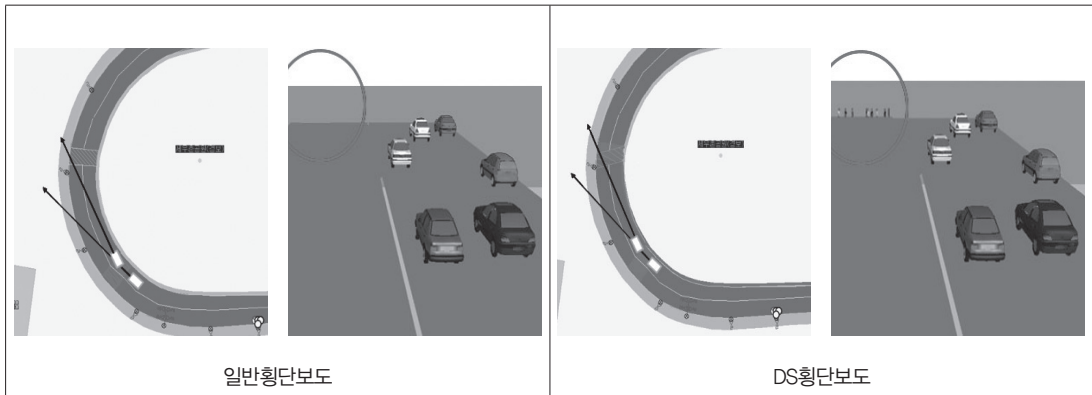
왕복 2차로이상 도로에 위치한 횡단보도의 경우 2차로에 대형 차량이 정지해 있으면 1차로 운전자는 횡단하는 보행자를 보지 못 할 가능성이 높다. 또한 차량들은 직진신호가 점등하면 급출발하므로 미처 횡단하지 못한 보행자와 충돌 할 경우를 종종 목격한다. 우회전 차량도 횡단보도가 즉시 나타날 경우 횡단하는 보행자에 대한 시각이 좁아져 사고를 유발 시킬 수 있다.

〈그림 14〉 차량과 보행자의 충돌사례 비교



신호교차로 이외에 곡선부 도로 및 오르막길에 서도 DS횡단보도 도입 시 운전자에 대한 시각 확보로 보행자의 안전이 개선 될 수 있다.

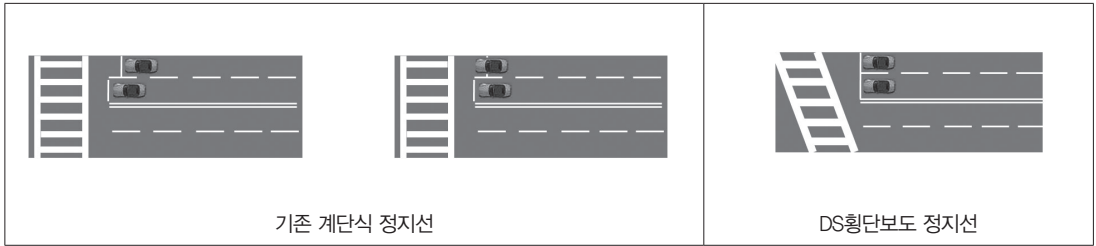
〈그림 15〉 도로선형에 따른 시각효과 비교



2) 안전 정지선 도입

횡단보도 정지선에 대한 연구는 지속적으로 진행되고 있으며 현재는 보행자 안전확보 방안을 위해 계단식 정지선이 도입되고 있다. 이는 보행신호 점등 시 차량과 보행자의 충돌이 잦은 바깥차선의 정지선을 뒤로 후퇴 시키는 형태로 보행자 안전을 확보하기 위한 방안이다. DS횡단보도 도입 시 계단식 정지선 형태와 동일한 효과가 부여되므로 보행자 횡단에 대한 안전 확보에 우수한 형태이다. 또한 기존 계단식 정지선은 운전자간의 어깨를 나란히 하고자 하는 특성으로 인해 정지선을 넘어서 정지하는 경향이 다수 발생되고 있으나, DS횡단보도 형태는 기존 계단식 정지선의 업그레이드 형태를 보이고 있다.

〈그림 16〉 횡단보도 정지선 문제점 개선



3) 보행자의 안전성 확보

DS횡단보도 도입 시 사선형태의 횡단보도가 도입되는 만큼 보행자의 보행행태에 대한 연구가 필요하다. 하지만 국내에는 DS횡단보도 도입 사례가 없는 만큼 본 고는 사선형태의 횡단보도가 설치되어 있는 도로(촬영소사거리, 안산문화광장)를 중심으로 횡단보도를 이탈하는 보행자를 실측 조사하였다. 조사지역은 DS횡단보도 형태가 아닌 도로 선형에 따라 대각선 횡단보도 형태를 지닌 만큼 보행자가 횡단 시 이탈 정도만을 측정하여 반영하였다.

〈그림 17〉 대각선 횡단보도 조사지역 및 안전확보방안



촬영소 사거리의 경우 평일 11시30분~12시 사이의 약 30분 동안에 걸쳐 보행자 패턴을 분석하였다. 분석결과는 다음과 같다. 1현시 동안의 보행 동선은 대각형태이며, 3,4현시는 일반 동선에 근접한 만큼 이를 비교 군으로 선정한 뒤 분석하였다. 분석결과 모든 지점에서 보행 위반율은 10%내외를 보이나 모든 지점에서 유사한 수치를 보이는 만큼 이는 일반보행자의 특성으로 해석된다. 일부 보행 위반자의 특성은 횡단 녹색신호 점등 중간에 도착하는 보행자가 급히 건너기 위해 보행 위반을 하는 것으로 나타났다.

〈표 10〉 대각선 형태 횡단보도의 보행특성 조사

주기	촬영소사거리				안산문화광장	
	1현시	2현시	3현시	4현시	1현시	2현시
차량방향 (주기: 130초)						all red
	35초	25초	35초	35초	70초	30초
보행방향	사선형태		일반형태		사선형태	
총보행수(명)/30분	52	67	65	28	76	98
평균보행수(명)/주기	3.7	4.8	4.6	2	4.2	5.4
정상보행수(명)/30분	47	60	59	25	68	88
정상 보행율(%)	90.4	89.6	90.8	89.3	89.5	89.8
위반보행수(명)/30분	5	7	6	3	8	10
위반 보행률(%)	9.6	10.4	9.2	10.7	10.5	10.2

보행자는 도로 횡단 시 횡단보도 위로 통행해야 되는 임무를 지닌다. 보행자가 횡단보도 정면에서 대기할시 횡단보도의 선형(직선 or 사선)을 구분하기 어려울 것으로 판단된다. 항공사진으로 바라 볼 경우 대각선 형태가 선명하게 보이거나(①) 실제 신호등 앞에 대기 시에는 보행자는 신호등과 횡단보도를 바라 보고 대기하는 만큼(②) 일반 횡단보도와 유사한 통행특성을 보이는 것으로 나타났다(③). 간혹 특별한 보행특성에 따라 안전성을 높이기 위해 보행자 웬스 설치를 통해 안전에 대한 확보를 마련하면 보행 안전성은 보다 개선 될 것으로 보인다.

〈그림 18〉 촬영소 사거리 보행자 행태



〈그림 19〉 안산문화광장 보행자 행태



해외사례의 경우 일본 나가노현에 설치된 대각선 횡단보도의 사전사후평가 시행시 약 35.3%의 사고 감소율을 보였다. 또한 제어 방식에 따른 결과에서도 스크램블 방식 42.4%, 좌회전 분리방식 37.7%, 보행자전용현시 방식이 30.3%로 나타난 만큼 대각선 형태의 횡단보도는 보행자 사고율을 감소시키는 것으로 보인다(치안정책연구소, 2015)

〈그림 20〉 일본 시부야 대각선 횡단보도



V. 결론 및 향후연구

본 연구는 기존 신호교차로의 횡단보도 및 정지선 형태의 문제점을 분석하여, 통과교통량 증진 및 운전자/보행자의 안전개선 등을 종합적으로 고려한 DS횡단보도라는 새로운 형태를 제시하였다. 이는 기존 횡단보도가 가지고 있는 장점을 유지하면서 단점을 보완한 것으로, 회전교통량에 대기공간 확보 및 좌회전 곡선반경 확보로 통과교통량을 증가시키는 효과를 가져왔다. 또한 차량과 보행자의 상충지점에 이격거리를 두어 보행자 안전을 확보하였으며 곡선부와 오르막길에도 보행자의 시인성 개선을 통해 안전성을 높였다. 이는 정지선에도 DS횡단보도 도입으로 계단식 정지선 효과가 나타났으며 기존 계단식 정지선의 문제점도 해결 될 것으로 보인다.

신호교차로는 다양한 회전차량 및 보행자, 자전거 등을 처리해야 되는 중요한 지점이며, 차량 간의 충돌, 차량과 보행자 간의 사고 등이 빈번히 발생하는 곳으로 교차로의 소통을 원활히 하는 것은 국가 전체의 도로 속도를 향상시키는 것과 같다. 본 연구의 DS횡단보도 형태를 국내의 적정지역에 도입한다면 교차로 소통은 물론 국내 도로의 전반적인 속도 향상 및 교통 혼잡 감소에 따른 교통혼잡비용도 큰 폭으로 줄일 수 있을 것이다. 하지만 본 연구는 이론적인 제안일 뿐 국내에 실제로 도입된 사례는 아직 없다. 일부 대각형 횡단보도를 찾아 볼 수 있지만 이는 도로선형을 따라 횡단보도를 설계하다 보니 나타나는 현상일 뿐 DS횡단보도 형태의 이론으로 도입된 사례는 없었다. 본 연구 역시 DS 횡단보도의 한계점으로 지적된 딜레마존 증가, 대각선 형태의 보행행태 변화 등이 가져올 수 있는 안전성이 검증되지 않았다는 것이 큰 한계점으로 남는다.

일반적으로 교통혼잡 감소와 교통안전증진이라 두 가지 목표를 동시에 만족시키는 것은 쉽지 않다. 하지만 교통혼잡 감소 및 교통안전 증진 사이의 최적화 된 점을 찾는 것은 현실적으로 가능한 일일 수 있다. 자동차 및 보행자 측면에서 서로 상생할 수 있는 영역에는 서로 배려와 양보를 통해 전체적인 사회적 비용을 줄일 수 있는 방향을 모색할 필요가 있으며 이러한 관점에서 본 DS횡단보도 역시 충분한 시사점을 제시하고 있다.

만약 DS횡단보도 도입 될 가능성이 있다면 보행자들의 보행패턴이나 횡단보도 녹색시간 산정, 도입 적정차선 등에 대한 연구는 보다 필요할 것으로 판단되며, 도입 초기에는 혼란이 예상되므로 이에 대한 교통안전교육이 필요할 것으로 판단된다. 이외 DS 횡단보도를 VR 환경으로 구성하여 DS(Driving Simulator)를 활용한 연구를 통해 시행효과를 사전 검토하는 방향을 고려해 볼 필요가 있으며, 향후에 이러한 연구가 바탕이 된다면 신호교차로의 횡단보도 부근의 안전하고 원활한 교통소통이 예상된다.

■ 참고사항 ■

본 횡단보도 및 정지선 아이디어는 본인이 2008년도에 특허출원하였으며, 2012년 서울연구원의 ‘좋은연구 시민공모상’에서 수상한 경력을 바탕으로 논문을 작성하였습니다.

이후 스킵존 횡단보도 차량정지선 사선 설치 장려상(경기도청, 2013.12), 대한민국 공공디자인대상 스큐(문화체육관광부, 2014. 12), 장려상 횡단보도 사선 (국토연구원, 2015. 9) 등 본 아이디어와 유사한 형태로 수상 받은 기록들이 있으나 본인의 아이디어를 바탕으로 쓰여진 논문으로 표절이 아님을 말씀드립니다.

■ 연구과제 ■

본 논문은 미래창조과학부 재원으로 경찰청과 치안과학기술연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 치안과학기술연구개발사업임. (PA-A000001-2015-405)

〈논문접수 2000.00.00, 심사개시 2000.00.00, 게재확정 2000.00.00〉

■ 참고문헌 ■

- 강성인·이영우(2014), “회전교차로에서 대각선횡단보도 설치에 따른 차량의 지체도 분석”, 『대한교통학회』, 32(3) : 218-226.
- 김기용·김동녕(2000), “교차로 좌회전 궤적에 따른 정지선 위치에 관한 연구”, 『대한교통학회』, 18(3) : 29-39.
- 김동녕·신진철(2004), “우회전 공용차로 운영 교차로의 횡단보도 적정위치 산정”, 『대한토목학회논문집』, 24(2) : 175-186
- 김윤미(2015), 『보행특성을 고려한 횡단보도 보행신호시간 산정 모형 및 설계기준 제시』, 전남대학교 박사학위논문
- 신진철(2004), 『신호교차로의 횡단보도 설치 위치 기준에 관한 연구』, 단국대학교 석사학위논문
- 심관보(2013), 『교차로 및 횡단보도 보행자사고 감소를 위한 정책제안』, 도로교통공단 정책보고서
- 장일준(2015), 『횡단보도 설치 기준에 관한 연구』, 치안정책연구소 정책보고서
- 정숙영(2012), 『대각선 횡단보도 설치에 관한 연구』, 아주대학교 석사학위논문
- 하태준·박제진·이형무(2003), “신호교차로 횡단보도 설치기준에 관한 연구”, 『대한교통학회』, 21(4):

218-226

홍재선(2001), 『도시부 횡단보도의 위치 선정에 관한 연구』, 명지대학교 석사학위논문

경찰청(2011), 『교통안전실무편람』

대한교통학회(2013), 『도로교통용량 편람』

도로교통공단(1998), 『보행자 횡단보도 설치기준에 관한 연구』

도철웅(2010), 『교통공학원론』

<http://news.koroad.or.kr/main/?p=4721>, 교통안전공단

원 고 접 수 일 | 2018년 7월 10일

심 사 완 료 일 | 2018년 8월 6일

최종원고채택일 | 2018년 8월 8일

장재민 jm1729@nate.com

2007년 서울대학교 환경대학원에서 교통학 석사학위를 받고 현재는 박사수료 중이며 협성대학교 강사로 재직 중이다. 서울연구원, 국토연구원, 회계법인 등에서 연구원 경력이 있으며, 학술활동(논문게재 및 발표), 공모전 등 다수 수상경력이 있다. 관심분야는 교통과 융복합(부동산, 삶의 질 등)될 수 있는 지표개발 및 융복합 연구 등이다.

이영인 yilee@snu.ac.kr

1992년 미국 TexasA&M 대학교 토목공학과(교통공학분야) 박사학위를 받고 현재 서울대학교 환경대학원 교통학 교수로 재직 중이다. 주요 관심 연구 분야는 교통신호, ITS, 빅데이터 등이다. 주요 논문으로는 사고등급별 고속도로 교통사고 처리시간 예측모형 개발(2015), 서울외곽순환고속도로 버스정류장 승하차 및 환승통행실태(2015), 가변속도제어 시 주행속도 추정모형 개발(2015) 등 다수가 있다.

허은진 dew611@snu.ac.kr

2007년 서울대학교 환경대학원에서 교통학 석사학위를 받고 박사과정을 수료하였다. 한국도로공사 도로교통연구원과 서울연구원에서 연구원 경력이 있으며 주요 관심 연구 분야는 교통경제, 공공투자 및 관리, 교통 융복합 등이다.