한국ITS학회논문지
J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.
15(3): 85~93 (2016)
ⓒ 2016. The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems. All rights reserved.
pISSN 1738-0774, eISSN 2384-1729
DOI http://dx.doi.org/10.12815/kits.2016.15.3.085

횡단안전 지원시스템 설치에 따른 보행자, 운전자 통행행태 변화

Pedestrians and Drivers Behaviour Change by Installation of Crossing Safety Assistant System

진 민 수* 이 석 기**
(Jin, Min-Soo) (Lee, Suk-Ki)
(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

요 약

본 논문은 보행자와 자동차 운전자에게 안전관련 메시지를 시각 및 청각적으로 전달하고 횡단보도 자체의 시인성을 조명을 통해 개선할 수 있는 요소들로 구성된 '횡단안전 지원시스템'의 설치 전·후에 대한 효과 평가를 수행하였다. 효과 평가는 시스템 설치 전·후별 주행속도, 보행자의 좌·우 살핌 빈도 분석을 통해 시스템 설치 전·후의 안전성 향상도를 평가하였다.

횡단안전 지원시스템의 설치 전·후의 차량 주행속도는 주·야간 모두 감소하였으며 보행자 행태를 조사한 결과 주간에는 횡단 전 또는 횡단 중 좌·우를 보는 빈도의 비율이 설치 전 27.9%에서 설치 후 62.9%로 개선되었고, 야간에는 설치 전 36.0%에서 설치 후 58.7%로 개선되어, 횡단안전 지원시스템의 설치 후 보행자의 안전의식이 향상된 것을 확인하였고 보행자 행태에 긍정적인 영향을 주어 보행자의 안전을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

핵심어 : 횡단안전 지원시스템, 보행자 안전, 횡단보도, 차량 속도, 보행자 횡단 행태

ABSTRACT

According to Traffic Accident Statistics, the fatalities of accident while crossing is over represented. So, more active safety countermeasure should be considered to reduce the frequency and degree of severity of pedestrian-crossing involved accidents. The study analyses the safety effects of the Crossing Safety Assistant System which is composed of Led-embedded crosswalk lightings, text displayer and audio waning device for the safety consciousness both pedestrian and vehicles at crosswalk area.

Operating speed of vehicles is reduced with statistical significance, and the level of vigilance expressed by pedestrian head movement to check out the vehicle existence is improved.

Key words : Crossing Safety Assistant System, Pedestrian Safety, Crosswalk, Operating Speed of Vehicles, Pedestrian Crossing Behaviour

† 본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(태양광 도로발전 효율 향상 기술 개발) 연구지원으로 수행하였습니다.
† 본 논문은 한국 ITS학회의 2015년 춘계학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.
* 주저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원
** 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원
† Corresponding author : Lee, Suk-Ki(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology), E-mail oksk@kict.re.kr
† Received 2 February 2016; reviewed 24 March 2016; Accepted 13 June 2016

Ⅰ. 서 론

1. 연구 배경

국민소득의 증가로 인하여 삶의 질이 향상됨에 따라 편리하고 안전한 교통수단으로써 자동차의 보유가 보편화되면서 자동차 교통사고 또한 증가되고 있는 추세이다. 1990년 이후 2009년까지 차 대 사람 사고 중 횡단 중 사고가 46.3%, 2010년의 경우 지방부 도로 사망자가 전체 교통사고 사망자의 57.6%(지방도 39.1%, 일반국도 28.5%)를 차지하며 총 2,082명의 보행자 사망자 중, 지방도에서 805명(38.7%), 야간에 1,049명(51.0%), 횡단 중 사망자는 1,333명(64.0%)으로 나타났다. 또한 61세 이상의 사망자 비율은 해마다 약 1%씩 증가(1977년 : 5.1%, 2010년 : 37.6%), 야간 시간대(18시~20시)에 329명(18.8%)으로 집중, 일반국도에서 많이 발생(28.0%), 이와 같은 결과는 노인 운전자에 대한 양보운전 미흡과 무단횡단, 신호위반 등으로 분석된다. 현재, 횡단보도 사고 위험률을 줄이기 위해 다양한 형태의 각종 첨단 횡단보도 시설물이 설치·운영되고 있으나 이에 대한 안전성 및 효율성 검증이 미흡하며 세부적 설치규정 또한 미흡한 상태이다.

2. 연구 범위

횡단보도 및 교차로의 조명시설에 대한 규정은 보행자의 횡단보도 사고로 인한 피해를 감안한다면 보다 적극적인 안전시설이나 안전시스템의 설치가 필요한 실정이다. 따라서 운전자에게는 사전 경고, 보행자에게는 차량 접근을 알려주는 첨단 횡단보도 안전시스템을 도입하여 횡단보도에 접근하는 차량의 주행 안전성 및 보행자의 통행 안전을 향상 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

이를 위하여 본 논문은 보행자와 자동차 운전자에게 안전관련 메시지를 시각 및 청각적으로 전달하고 횡단보도 자체의 시인성을 조명을 통해 개선할 수 있는 요소들로 구성된 '횡단안전 지원시스템'의 설치 전·후에 대한 효과 평가를 수행하였다.

효과 평가는 시스템 설치 전·후별 주행속도, 보행자의 좌·우 살핌 빈도 분석을 통해 시스템 설치 전·후의 안전성 향상도를 평가하였다.

Ⅱ. 야간교통사고 특성조사 및 선행연구 고찰

1. 야간교통사고 특성

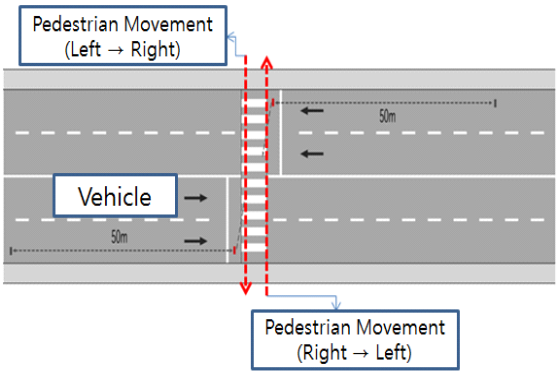
본 연구는 야간교통사고 특성을 조사하기 위해, 교통안전공단에서 제시한 국내 교통사고(2007~2011년) 중 지방부 도로가 많이 위치한 충청도, 전라도, 경상도, 강원도를 중심으로 차 대 사람, 횡단 중 사망사고를 위주로 분석을 시행하였다. 분석결과, 전체 사망자 수는 2,315건으로 야간(당일 18시~익일 6시)에 1,609건, 주간에 706건이 발생되어, 야간 교통사고 사망자 비율이 69.5%로 주간에 비하여 높게 나타났다. 야간의 경우, 활동시간대(18시~21시)에 집중되었고 특이한 점은 오전 6시에 야간사고 전체의 7.4%가 발생하였으며 사망사고자의 연령대는 주로 노인인 것으로 나타났다.

전체 사망자 중 야간 사망자는 약 70%가 발생하였으며, 이 중 횡단보행자는 차량의 좌측에서 우측으로 이동하다 사망한 경우가 전체 중 약 35%를 차지하였으며 이와 같은 결과는 야간 시인성 저하에 따른 보행자 인식 불능으로 판단된다.

2. 보행자 행태와 교통사고 관계

야간 횡단보도 사망자의 경우, 진행하는 차량 입장에서 좌측에서 우측으로 이동하는 보행자의 사고가 815명(50.7%), 우측에서 좌측으로 이동시 354명(22.0%), 불명 440명(27.3%)으로 나타났다.

야간에 횡단 보행자가 좌측에서 우측으로 이동시 초저녁에 사망사고 발생 비율이 높았으며 이른 오전에도 빈번히 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 전체적인 사망자 연령은 50대 이상인 것으로 나타났다.



〈Fig. 1〉 Classification of Pedestrian Movement

〈Table 1〉 Nighttime Fatal Accidents According to the Pedestrian Movement Direction

Direction / Age	Left → Right	Right → Left	Other	Ratio (%)	Total
< 10	6	10	4	1.2	20
10~19	20	11	10	2.5	41
20~29	17	11	22	3.1	50
30~39	53	19	29	6.3	101
40~49	109	52	70	14.4	231
50~59	133	65	73	16.8	271
60~69	172	64	88	20.1	324
70~79	227	91	97	25.80	415
80~89	71	26	38	8.4	135
90~100	7	5	9	1.3	21
합계	815	354	440	100.0	1,609

야간에 보행자가 우측에서 좌측으로 이동시 사망사고 수는 반대 방향의 사망사고 수보다는 적게 나타났으며, 주로 초저녁에 사망사고 발생 비율이 높았으며 이른 오전에도 빈번히 발생하는 것으로 나타났다.

〈Table 2〉 Daytime Fatal Accidents According to the Pedestrian Movement Direction

Direction / Age	Left → Right	Right → Left	Other	Ratio (%)	Total
< 10	25	22	13	8.5	60
10~19	16	10	5	4.4	31
20~29	3	2	4	1.3	9
30~39	4	2	4	1.4	10
40~49	9	5	10	3.4	24
50~59	18	10	28	7.9	56
60~69	48	41	34	17.4	123
70~79	82	78	72	32.9	232
80~89	54	42	51	20.8	147
90~100	3	7	4	2.0	14
Sum	262	219	225	100.0	706

보행자 진행 방향에 따라 야간의 경우 전조등 빛의 한계로 좌측에서 진입하는 보행자 인식이 어려웠던 것으로 판단된다. 주간 사망자의 경우, 진행하는 차량의 좌측에서 우측으로 이동하는 보행자 사고가 37.1%, 우측에서 좌측으로 이동시 31.0%로 나타났다. 주간의 경우 시거 확보가 야간에 비하여 양호하기 때문에 야간과 같은 방향별 차이는 크게 보이지 않았다. 사망자 연령은 주로 60~80대에 분포되었으며 야간 사망자와 다른 것이 10세 이하의 어린이 사망자가 많이 발생한 것이 특징이다.

교통사고 통계 분석 결과, 야간 사망자 수는 전체 사고의 약 70%를 차지하고 있으며 주간 사고와는 다르게 야간 사고는 횡단 보행자 진행 방향의 특성을 보였다. 이와 같은 결과는 야간 운전자가 횡단보도를 건너는 보행자를 인식하지 못한 결과와 일반적으로 보조석이 운전석보다 전조등 조사 길이가 긴 전조등 조사 범위 특성의 영향은 아닌가를 분석해 볼 필요성이 있다.

<Fig. 2>는 동일 위치에서 주행 방향별로 횡단보도 내 보행자 인식 정도를 나타낸 것으로 횡단보도

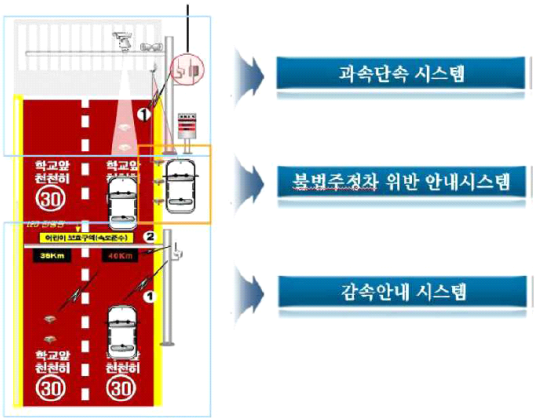
내 조명을 설치할지라도 주변 배경에 따라 보행자 보임의 조건이 달라지는 것을 알 수 있다.

〈Fig. 2〉 Difference in recognizing the pedestrian depending on running direction even at same location

3. 횡단안전 지원시스템 유관 선행연구

횡단보도에서 보행자 사고의 심각성을 감안해 여러 안전대책이 도출되었으며, 이 가운데 어린이 보호구역에서 여러 안전시설들을 결합한 시스템적 횡단안전 지원시스템이 많이 연구되었다.

Road Traffic Authority(2008)은 어린이보호구역에 적용할 안전 모델로써 'U-스쿨존 표준모델'을 제시하였다. 과속단속시스템, 불법주정차 위반 안내시스템, 감속안내 시스템으로 구성되어 있으며, 해당 지점에서 U-스쿨존의 적용여부를 검토한 후, 필요하다고 판단 시에 각 시스템별로 다시 한번 필요성 여부를 검토한 후 적용할 것을 권장하고 있다[1].



〈Fig. 3〉 U-School Zone Systems(Road Traffic Authority, 2008)

Ministry of Government Administration and Home Affairs(2009)는 "유비쿼터스환경의 어린이 보호구역 안전시스템 구축·운영·시스템"에 관한 가이드라인을 제시하였다[2].

〈Fig. 4〉 USN Based School Zone Safety System(Ministry of Government Administration and Home Affiairs, 2009)

Gates et al.(2004)는 스쿨존 진입차량에게 플래싱하는 동안 해당구간의 제한속도를 표출해주는 장치인 'Rear-facing Flashing Beacon'의 설치 전후 속도조사를 하여 제한속도를 초과하여 운행하는 차량의 비율이 시설 설치 이후에 줄어들었는데, 20mph를 초과한 차량의 비율은 설치 후에 16.7% 감소했고, 25mph를 초과한 차량의 비율은 설치 후에 50% 감소했고, 30mph를 초과한 차량의 비율은 설치 후에 75% 감소하였다고 분석하였다[3].

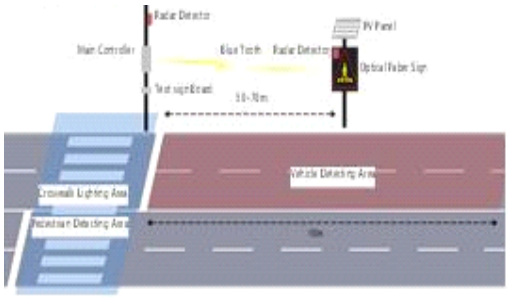
Yoo et al.(2009)은 스쿨존에서 불법 주차 차량을 방지하고 제한속도를 준수시키기 위해 무선 센서 네트워크의 사용을 제안하였다. 이 시스템은 불법주정차를 검지하고 이를 운전자에게 경고하며, 무선 센서는 차량의 속도를 측정해 LED 디스플레이어를 통해 속도를 표출하고 과속 차량의 이미지를 캡쳐하는 시스템이다[4].

Hong and Lin(2013)은 태양광 발전을 이용하여 하이브리드 컨트롤러를 통해 전원을 공급하고 도로조명을 점등제어가 가능한 도로조명 제어 시스템 설계를 제안하였다[5].

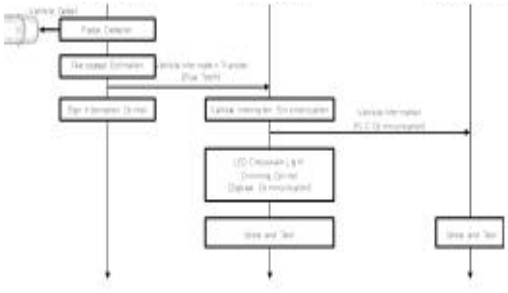
국내 및 국외에서는 스쿨존 안전시설물을 시스템적 사고에서 정의하고 설치하고 있다. 본 연구도 현 스쿨존에 설치 가능한 기술과 더불어 최근 기술이 접목된 DFS(Driver, Feedback System) 및 LED-차량신호등 연계형 과속방지턱 등의 안전시설물을 결합하여 횡단안전 지원시스템을 구성하였다.

4. 본 연구 개발 횡단안전 지원시스템

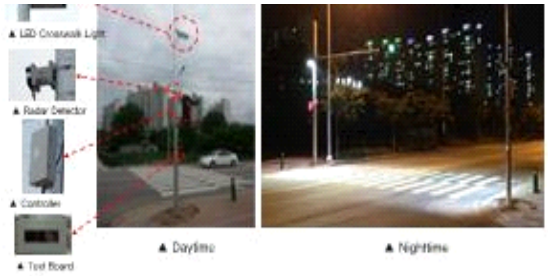
<Fig. 5>는 본 연구 개발 횡단안전 지원시스템의 설치 개념도를 나타낸 것으로 횡단보도 전방에 블루투스와 태양광 모듈을 이용한 발광형 표지와 횡단보도 내 LED 횡단보도등, 문자표시기, 음성출력장치를 설치하여 과속 및 접근차량 또는 횡단보행자 출현시 차량 및 보행자에게 각각의 객체가 존재 또는 접근 중임을 알려주도록 구성하였다.



〈Fig. 5〉 Composition of the Crossing Safety Assistance System



〈Fig. 6〉 Algorithm of Crosswalk Safety Assistance System



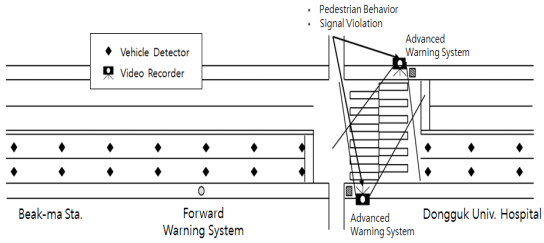
〈Fig. 7〉 Installation View of Crossing Safety Assistance System

Ⅲ. 현장 실험

1. 실험 계획

횡단안전 지원시스템 설치 전·후별 주행속도, 보행자 행태 분석을 통한 효과 분석을 수행하였다.

보행자 행태분석은 보행자의 횡단 행태를 디지털 캠코더를 이용하여 시스템 설치 전·후에 대한 보행자 횡단시 안전의식 변화를 통행 보행자의 횡단보도 안전의식 개선 효과를 평가하였다. 평가 방법은 보행자가 횡단 전 또는 횡단 중 좌·우를 살피지 않는 빈도를 분석하여 시스템 전·후의 비율을 정량화하였다(Fig. 8).



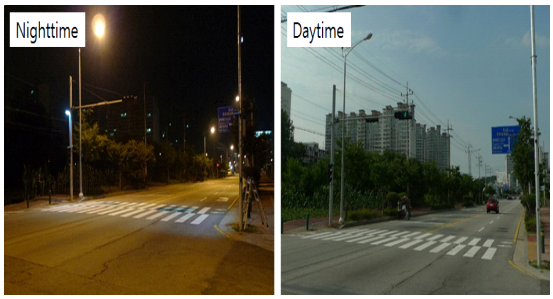
〈Fig. 8〉 Vehicle speed detector and digital video recorder

우선 시스템 설치 전·후의 주행속도 분석은 기준점(Control Point) 속도 조사와 주행속도 프로파일로 수행하였다. 기준점 속도 조사의 목적은 시스템 설치 전·후의 주행속도 변화에 있어서 시스템 설치 효과인지 교통 환경에 의한 영향인지를 알아봄

에 있다. 또한 주행속도 프로파일을 이용하여 횡단보도를 기준으로 전·후방에 일정 간격으로 속도 검지기를 설치하여 주행속도 분석을 통한 시스템 설치 전·후의 평균주행속도 변화를 분석하여 차량 감속 효과를 평가하였다.

2. 실험 장소 및 현장조사

실험을 위한 시스템 구축지역은 경기도 고양시에 위치한 양방향 4차로 도로를 선정하였다. 양방향 4차로 도로는 고양시 풍동 소재 세원고등학교 앞 횡단보도로서 주거지역에 위치하고 있으며 일교통량 9,000대로서 제한속도 70kph, 차로 폭 14.3m, 보도는 각각 5.4m, 5.0m로 구성되어 있다(Fig. 9).



〈Fig. 9〉 Sewon High School Crosswalk Views in Test Field

횡단안전 지원시스템 설치 전·후 주간 및 야간 보행자수 관측결과는 <Table 3>과 같다. 주간 조사는 오전첨두(7~9시), 비첨두(12~14시), 오후첨두(17~19시) 별로 2시간씩 6시간을 조사하였고, 설치전 조사는 2015년 5월 22일, 설치후 조사는 5월 23일 실시하였다. 야간 조사는 19:30~23:00까지 총 7시간 조사하였고, 설치전 조사는 2015년 4월 18~19일, 설치후 조사는 5월 23~24일 실시하였다.

3. 실험결과 및 검토

1) 기준점 주행속도 분석

횡단안전 지원시스템 설치에 따른 사전·사후 조사 결과의 신뢰성을 위해 시스템 설치 효과 영향권

〈Table 3〉 Result of Field Survey for Observing Pedestrian

Category		Pedestrians	
		Before	After
Daytime (1 Day)	AM Peak	299	285
	Non-Peak	9	10
	PM Peak	32	50
	Daytime Sum	340	345
Nighttime (2 Day)	1 Day	79	73
	2 Day	32	53
	Nighttime Sum	111	126

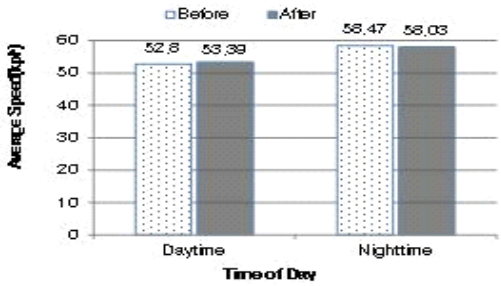
밖의 기준점을 설정하여 주행속도를 분석하였다. 기준점 속도 조사의 목적은 시스템 설치 전·후의 주행속도 변화에 있어서 시스템 설치 효과인지 교통환경에 의한 영향인지를 알아봄에 있다. 기준점의 위치는 횡단보도 후방 60m 지점으로 설정하였다.

기준점에서 분석된 통행속도 자료를 이용하여 독립표본 T 검정 결과, p-value 값이 유의수준 5%에서 귀무가설이 채택되어 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 4).

이와 같은 결과는 횡단보도 시스템 설치 전·후에 있어서 교통류에 대하여 영향이 없다는 것을 의미한다. 따라서 사전·사후 주행속도 자료의 변화는 외부 요인의 변동 없이 시스템 설치에 의한 효과라고 볼 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 10).

〈Table 4〉 Independent Two Samples T-test in Control Point

Statistics	Daytime		Nighttime	
	Before	After	Before	After
Average Speed	52.8	53.4	58.5	58.0
Distribution	236.0	280.9	260.8	300.2
Observation Number	2,197	1,918	2,037	1,938
P(T<=t) Two-Sided	0.2357		0.4072	

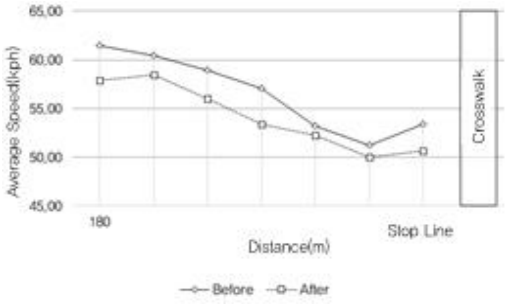


〈fig. 10〉 Average Speed

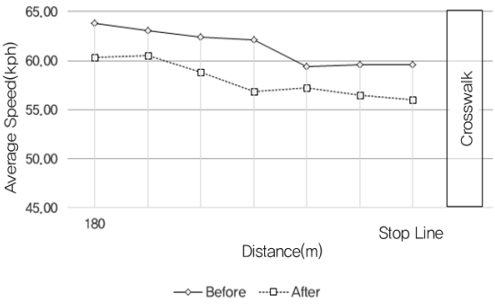
2) 자동차 운전자 통행행태 변화

주행속도 프로파일을 이용하여 횡단보도를 기준으로 전·후방에 30m 간격으로 속도 검지기를 설치하여 주행속도 분석을 통한 시스템 설치 전·후의 평균주행속도 변화를 분석하여 차량 감속 효과를 평가하였다.

시스템 설치 전·후 주간 및 야간 통행 속도는 감소하였으며 속도 편차 또한 감소된 것으로 나타났다.



〈Fig. 11〉 Daytime Average Speed



〈Fig. 12〉 Nighttime Average Speed

<Table 5>는 횡단안전 지원시스템 설치 전·후에 대한 주행속도 차이에 관한 통계적 검정을 실시한 것이다. 독립표본 T검정 결과, 유의 확률이 주간 및 야간에 대하여 모두 0.001 이하로 신뢰수준 95%에서 평균의 차이가 있다는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 주·야간에 대하여 횡단안전 지원시스템 설치 전·후 통행속도의 차이가 통계적으로 유의하다는 의미이다.

〈Table 5〉 Independent Two Samples T-test for Daytime & Nighttime

Statistics	Daytime		Nighttime	
	Before	After	Before	After
Average Speed(kph)	56.88	56.09	61.21	58.43
Observation Number(n)	14,453	11,884	13,028	10,483
P(T<=t) Two-Sided	0.000		0.000	

3) 보행자 횡단행태 변화

횡단보도를 통행하는 보행자의 행태를 살펴보면 횡단보도 주위를 살피지 않고 동행자와 잡담을 하거나 휴대폰 통화를 하면서 횡단보도를 이용하는 경우가 많이 나타나 횡단보도에서의 잠재적 사고 발생가능성은 지속적으로 증가할 것으로 예측된다. 그러므로 본 연구에서는 횡단안전 지원시스템 설치 전·후의 보행자 행태분석을 좌·우 살핌 빈도로 분석하였다.

〈Table 6〉 Pedestrian Behavior Change

Condition System / Installation / Contents	Daytime		Nighttime	
	Before	After	Before	After
Number of total pedestrian	340	345	111	126
Number of look right and left	95	217	40	74
Ratio of look right and left(%)	27.9	62.9	36.0	58.7

시스템 설치 전 조사기간 중 횡단보도를 건너는 총 보행자수는 111명이고, 이 중 좌·우를 보는 빈도는 40명으로 36.0%의 보행자가 횡단보도를 건너며 좌 · 우를 살피는 것으로 조사되었다.

시스템 설치 후의 조사기간 중 횡단보도를 건너는 총 보행자수는 126명이고, 이 중 좌·우를 보는 빈도는 40명으로 58.7%가 횡단보도를 건너며 좌 · 우를 살피는 것으로 조사되었다(Table 6).

횡단안전 지원시스템의 설치 후 보행자의 안전의식이 향상된 것을 확인하였고 보행자 행태에 긍정적인 영향을 주어 보행자의 안전을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

Ⅳ. 결론 및 향후 연구

본 연구는 야간 횡단보도 보행자 안전에 대하여 횡단보도 조명, 운전자 사전 경고, 차량 접근 경고 등이 통합된 횡단안전 지원시스템의 효과를 평가한 것으로 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 본 논문에서 구성한 시스템은 운전자에게는 사전 경고, 보행자에게는 차량 접근을 알려주는 첨단 횡단보도 안전시스템이며 횡단보도에 접근하는 차량의 주행 안전성 및 보행자의 통행 안전을 향상 시킨 것으로 분석되었다.
2) 횡단안전 지원시스템의 설치 전·후의 보행자 행태를 조사한 결과 주간에는 횡단 전 또는 횡단 중 좌·우를 보는 빈도의 비율이 설치 전 27.9%에서 설치 후 62.9%로 개선되었고, 야간에는 설치 전 36.0%에서 58.7%로 개선되었다. 횡단안전 지원시스템의 설치 후 보행자의 안전의식이 향상된 것을 확인하였고 보행자 행태에 긍정적인 영향을 주어 보행자의 안전을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.
3) 조명이 없는 구간에서의 야간 운전자가 전방 시거를 확보할 수 있는 유일한 수단은 차량의 전조등이며 주행속도에 따라 최소 정지시거 이상의 야간 시거가 확보되어야 안전을 논할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 이유로 가로등은 야간 안전을 확보하기 위해서 설치되어야 하는 시설이며 도로를 횡단하는 보행자를 사전에 인지하고 반응할 수 있는 도로 시설측면에서의 안전성 제고 방안(솔루션)이 적극 검토 및 활용되어야 할 것으로 판단된다.

추가적으로 향후에 현재 설치 또는 설계되는 횡단보도 조명에 대한 기준 부합 여부를 진단해 볼 필요성이 있다. 또한, 더 나아가 기술 발전에 따른 대안으로 태양광 에너지를 활용한 가로등에 대한 심층 연구 및 관련 기준 재정립을 통하여 야간 교통사고 사망자를 획기적으로 줄여 교통 선진국으로 나갈 수 있는 교두보를 마련할 시점이 다가왔다.

REFERENCES

[1] Road Traffic Authority(2008), *U-School Zone Standard Model.*

[2] Ministry of Government Administration and Home Affairs(2009), *Guideline for School Zone Ubiquitous Environment.*

[3] Gates T. J., Hawkins H. G. and Ewart R. T.(2004), “Effectiveness of a Rear-facing Flashing Beacon in School Speed Limit Sign Assemblies,” Presented at the TRB 83rd Annual Meeting.

[4] Yoo S. E., Chong P. K. and Kim D. Y.(2009), “School Zone Safety System Based on Wireless Sensor Network,” Sensors, no. 9, pp.5968-5988.

[5] Hong S. I. and Lin C. H.(2013), “The Hybrid Road Lighting Control System Design using Solar-Light Generation,” *The Journal of The Korea Institute of Intellighent Transport Systems,* vol. 12, no. 1, pp.109-120.

저자소개

진 민 수 (Jin, Min-Soo)
2014년 서울시립대학교 교통공학과(공학석사)
2015년 01월～현 재 : 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원
E-mail : msjin@kict.re.kr

이 석 기 (Lee, Suk-Ki)
2014년 단국대학교 토목환경공학과(공학박사)
2003년 8월～현 재 : 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원
E-mail : oksk@kict.re.kr