

# 보행신호를 대기하는 보행자의 안전에 관한 연구

김한솔\* · 백세룡\*\* · 최용순\*\* · 윤준규\*\*\* · 임종한\*\*\*

## A Study on the Safety for Pedestrians Waiting for Signal

Hansol Kim\*, Seryong Baek\*\*, Yongsoon Choi\*\*, Junkyu Yoon\*\*\*, Jonghan Lim\*\*\*

*Key Words: Pedestrian(보행자), Traffic accident(교통사고), PC-Crash(피씨크래시), Pedestrian light(보행신호), Safe zone(안전구역)*

### ABSTRACT

The number of big traffic accident cases of pedestrian death appeared to be minor, however compared to death rate in car to car accidents is very high and quite a few of the pedestrian death rates among all traffic accidents are counted to be almost 40%. Previous pedestrian safety studies were mostly aimed at reducing the degree of pedestrian injuries from a vehicle to pedestrian collision, and less at preventing a collision itself. This research was conducted with a method of using road facilities to prevent vehicles from rushing into the sidewalk. This research used one of the collision analyzing programs, called PC-Crash to simulate the vehicle rushing into the sidewalk. Based on the program, it could derive an optimal safe zone location where the pedestrian can wait for the pedestrian light safely. Also, changing road facilities such as pedestrian light pillars or signal controllers can widen 440% compared to the present safe zone. Accordingly, researchers have to consider a method to analyze and apply pedestrian safe zones along with road facilities location when designing a road.

### 1. 서론

경찰청 국내교통사고분석시스템(TAAS)의 통계에 따르면 2019년 우리나라의 교통사고는 총 229,600건이며 그 중 보행자사고는 46,150건으로 전체 사고건수의 약 20%를 차지한다.<sup>(1)</sup> 보행자란 도로를 보행하거나 노상 작업 중인 자, 노상 유희 중인 자, 도로에 서 있거나, 누워있는 자, 장애인용 휠체어를 타고 있거나 보조하는 자, 세발자전거나 모형자동차에 타고 있는 아이 등을 말하며 이들은 자동차와 충돌하는 경우 별도의 보호 장치가 없기 때문에 사고발생시 중상 이상의 매우 큰 부상을 입는 경우가 많다.

2000년대 초반까지 경미한 차량사고와 야생동물과의 충돌로 부터 범퍼의 파손을 방지하기 위해 SUV 차량에 Bullbar라는 철제범퍼를 설치하는 경우도 많았지만 2000년대 중반부터 보행자 보호의 안전문제가 심각하다는 연구<sup>(2)</sup>들이 이루어지며 2005년 대대적인 단속을 시행하여 설치할 수 없게 되었다.

차량 디자인에서도 보행자 안전을 위한 개선이 이루어진 것을 볼 수 있다. Fig. 1은 구형 차량과 신형 차량의 디자인을 나타낸 것으로 구형 차량의 범퍼는 보닛 라인에서 돌출되어 있는 반면 신형 차량의 범퍼는 완만한 곡선을 이루고 있다. 이는 보행자와 충돌시 보행자의 범퍼의 돌출부에 의해 무릎, 팔꿈 등의 상해 정도를 줄이고자 도입되었다.<sup>(3)</sup>

교통안전공단 자동차안전연구원에서는 차량 안전도 평가방법 중 보행자안전성 평가시험을 진행한다. 시험방

\* 가천대학교 기계공학과, 석사과정  
 \*\* 가천대학교 기계공학과, 박사수료  
 \*\*\* 가천대학교 기계공학과, 정교수  
 E-mail: khans4795@naver.com



(a)



(b)

Fig. 1 (a) Design of the old type and (b) new type car

법은 40km/h의 속도로 성인 및 어린이 머리모형을 차량에 충격한 후 머리상해기준 값을 산출하고, 상부 또는 하부 다리모형을 이용하여 충격시험을 실시한 후 인체상해기준 값을 산출한다. 산출된 인체상해결과 값에 평가점수를 부여하여 우수, 보통, 미흡의 3단계로 보행자보호 정도를 구분한다. 위와 같이 차량과 보행자간의 충돌에서 보행자의 상해를 줄이기 위해 많은 노력을 기울이고 있지만 차량과 보행자간의 상대적인 질량과 강성의 차이로 보행자의 부상을 막기란 매우 어렵다.<sup>(4)</sup>

본 연구에서는 차량과 보행자간의 충돌 후 부상을 줄이는 것이 아닌 충돌이 일어나지 않도록 하는데 목적을 두었다. 특히 보행신호를 대기하는 보행자의 안전을 위해 교통사고 분석 프로그램을 이용한 차량 충돌 해석을 통해 연구를 진행하였다.

## 2. 연구 배경 및 방법

### 2.1. 연구 배경 및 목적

Fig. 2는 국제아동인권센터에서 제작한 옐로카펫으로써 최근 어린이 보행자 보호를 위해 국제아동인권센터가 주관하고 지자체, 학교 등이 함께하는 사업으로 운전자가 보행자를 쉽게 식별할 수 있도록 옐로카펫을 설치하였다. 하지만 어린이 보호구역 중 일부에만 설치되어 있으며, 사업자체가 어린이 보호구역에만 한정되어 있다. 이 시설물은 시각적 효과만으로 운전자가 사고를 예방할 뿐 보행



Fig. 2 Yellow carpet

자의 안전에 직접적인 효과를 주지 못한다.

사고 발생 시 안전벨트, 에어백 등의 안전장치에 보호를 받는 차량 탑승자와 달리 보행자는 별도의 보호 장치가 없기 때문에 매우 큰 상해를 입을 수 있다. Ashton의 연구결과에 따르면 차량이 보행자를 충돌하는 속도가 10km/h 증가할 때마다 사망 확률은 약 20%씩 증가하며 50km/h에서 사망확률은 60%로 30km/h에서의 보행자 사망확률 20% 보다 매우 높게 나타난다.<sup>(5)</sup> 또 보행 중 스마트폰 혹은 음향기기 사용은 시각 및 청각의 반응을 늦추게 만들어 사고 발생 위험성을 높이지만 많은 보행자가 횡단보도에서 스마트폰과 음향기기를 사용하고 있다.<sup>(6)</sup> 이러한 연구를 바탕으로 기존 시설물을 이용해 보행자를 직접적으로 보호해 줄 수 있는 방법을 연구하였다.

### 2.2. 연구 방법

본 연구에서는 교통사고가 빈번하게 발생하는 교차로의 횡단보도를 관심영역으로 설정한 후 다양한 사고상황을 적용하여 교통사고 분석 프로그램인 PC-Crash로 시뮬레이션 하였다. 이때 차량이 구조물과 충돌 후 이동하는 경로를 위험지역으로 설정하고, 차량이 지나가지 않는 안전지역을 도출하여 안전지대로 설정하였다. 또한 신호등 지주와 신호제어기 등의 시설물을 이동시켜 안전지대가 최대한 넓게 나올 수 있도록 최적의 시설물 위치를 도출하였다.

### 2.3. 선행연구 동향

보행자 안전과 관련된 선행연구 동향으로 범<sup>(7)</sup>은 어린이, 노인, 장애인 보호구역 지정 확대 방안에 대한 연구를

통하여 현행 도로법상 어린이, 노인, 장애인 보호구역으로 지정이 되기 위해선 어린이, 임산부, 노인, 장애인 등이 주로 이용하는 시설에만 국한되어있어 보호 구역을 도서관 같이 일반인뿐 아니라 어린이, 노인, 장애인 등의 다양한 교통약자 또한 이용이 잦은 시설 까지 확장시키기 위하여 해당 시설에 이용자 특성과 교통사고 조사자료 분석을 통하여 교통약자가 많이 이용하는 도서관 같은 시설 또한 어린이, 노인, 장애인 보호구역 시설로 포함시키는 방안을 제시하였다. 김<sup>(8)</sup>은 노인보호구역 제도개선 방안 연구를 통해서 도로교통법의 노인보호구역 지정 기준인 노인관련 시설 주변도로 보다 실제 노인들의 유동이 많은 도로 즉 빅 데이터를 이용하여 노인계층의 휴대전화 위치 정보를 수집, 노인 유동인구 밀집지역을 노인보호구역 대상 지정 기준으로 적용하여 노인보호구역 제도에 대한 개선 방안을 제시하였다. 김<sup>(9)</sup>은 교통섬에 대한 연구로 교통섬이 차량과 보행자간의 상충률을 상승시켜 개선이 필요하며 이에 따라 개선방안을 제시하였다. 교통섬은 1988년부터 시행한 교통체계관리 사업에 의해 명확한 기준 없이 무분별하게 설치되어져 왔으며, 이에 따라 해외 주요 도시 대비 2배가량의 교통섬이 설치되어져 있으며, 해외에선 교통섬의 효용성이 떨어짐을 인지하여 교통섬을 철거하고 보다 넓은 보행공간을 확보하고 있는 것을 조사되었다. 또한 국내 시민들에게 보행 중 불편한 점에 대한 설문조사결과 37.9%가 횡단보도에서의 차량과 상충이라고 답하고 있다. 시뮬레이터 분석 방식으로 분석 결과 대부분의 교통섬의 설치효과는 미미하므로 보행공간을 헤치는 교통섬을 철거함으로써 보행공간을 확보하고, 교차로 횡단보도에 S 형식을 도입하는 등의 개선방안으로 차량과 보행자간의 상충이 줄어들어 보행자의 안전이 보다 확보 될 것으로 예측하였다.

#### 2.4. 기존 연구와의 차별성

기존에 진행되었던 연구들은 충돌 후 보행자의 상해정도를 줄이거나 도로의 기하학적 구조를 변경하는 방법으로 진행되었다. 이러한 방법은 근본적인 충돌의 원인을 없앨 수 없을뿐더러 개선을 위해 많은 비용을 필요로 한다. 본 연구에서는 도로에 반드시 필요한 구조물인 신호등의 지주와 신호제어기 등을 이용해 차량의 인도 돌진에도 보행자가 안전할 수 있는 방안을 모색하였으며, 기존 시설을 이용하는 방법을 사용하여 개선비용을 최소화 하였다.

### 3. 해석 범위

본 연구를 진행하기 위해 사고가 빈번하게 발생하는 교차로를 조사하여 해석을 위한 도로 구조를 선정하였으며, 실사고 데이터를 조사하여 차량의 초기속도와 각속도를 결정하였다. 또한 본 연구를 수행하기 위해 적합한 차량을 선정 후 차량의 제원에 맞게 시뮬레이션 모델을 제작하였다.

#### 3.1. 충돌 시뮬레이션

본 연구를 수행하기 위해 교통사고의 충돌해석 프로그램인 PC-Crash를 이용하여 시뮬레이션 하였다. Fig. 3은 PC-Crash의 운동량 보존법칙을 이용한 충돌모델을 나타낸 것이다.

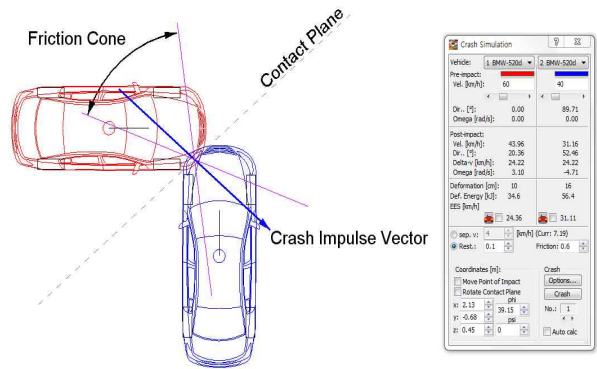


Fig. 3 Collision model of PC-Crash

식 (1)에서 (4)는 Full Impact를 계산하기 위한 공식으로 충돌의 압축단계에서 발생하는 힘의 교환과 반발을 나타낸 공식이다. 여기서  $V_N$ 과  $V_T$ 는 각각 접선방향과 법선방향의 속도이며,  $c_1, c_2, c_3$ 는 회전운동,  $\epsilon$ 은 반발계수를 나타낸다.

$$T_c = (V_N c_3 + V_T c_2) / (c_3^2 - c_1 c_2) \quad (1)$$

$$N_c = (V_N c_1 + V_T c_3) / (c_3^2 - c_1 c_2) \quad (2)$$

$$T = T_c (1 + \epsilon) \quad (3)$$

$$N = N_c (1 + \epsilon) \quad (4)$$

식 (5)와 (6)은 Sliding Impact에 대한 공식으로 접선

방향으로 작용하는 힘인  $N_c$ 는 차량 무게중심의 접선방향 속도요소인  $V_N$ 과 마찰계수  $\mu$  그리고  $c_1, c_2$ 로 결정되며, 차량 진행방향으로 작용하는 힘인  $N_c$  마찰계수  $\mu$ 의 제한을 받는다.

$$N_c = (V_N)/(\mu c_1 + c_2) \quad (5)$$

$$T_c = \mu N_c \quad (6)$$

### 3.2. 교차로 선정충돌 시뮬레이션

경찰청과 도로교통공단의 통계자료를 이용하여 사고 다발구간을 조사하여 다음과 같은 교차로를 선정하였다.

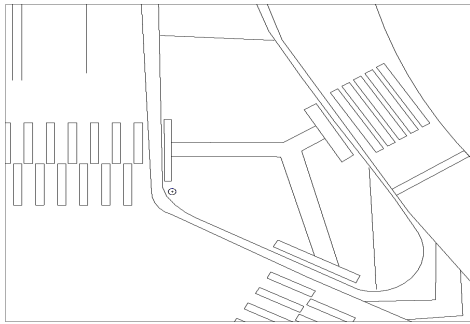


Fig. 4 Collision model of PC-Crash

Fig. 4는 해당 교차로를 도면으로 나타낸 것으로 보행 신호 대기지역의 왼쪽에 신호등의 지주가 설치되어있는 구조이다.

### 3.3. 속도 및 각도 설정

본 연구에서는 차량이 인도로 돌진하는 상황을 알아보기 위해 다양한 변수를 설정하여 반복 시뮬레이션을 수행하였다. 변수의 설정은 미국 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)의 실제사고 데이터베이스인 NASS(National Automotive Sampling System)과 가천삼송자동차연구센터가 보유하고 있는 교통사고 데이터베이스(ACCC)를 이용하여 차량이 충돌 또는 오조작으로 인해 인도로 돌진하는 사고를 분석하여 인도 진입 속도와 각도를 도출하였다.

Fig. 5는 NASS 데이터와 ACCC의 사고 분석결과로 차량의 인도진입 속도는 26km/h에서 99km/h로 나타났으며, 진입각도는 약 5deg.에서 110deg.로 나타났다.

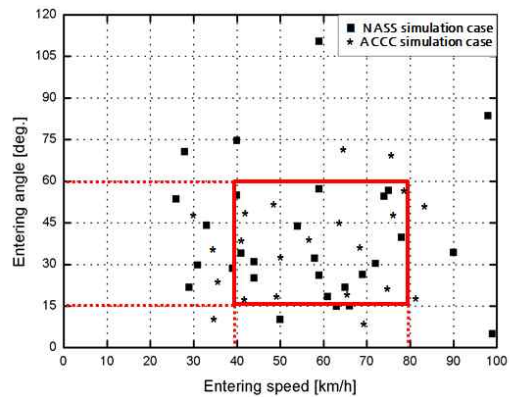


Fig. 5 Entering speed and angle

시뮬레이션 입력조건에 사용될 사고가 빈번하게 발생하는 속도범위는 30km/h에서 80km/h로 나타났으며 여기서 30km/h는 Ashton의 연구 결과<sup>5)</sup>에 따라 보행자의 사망확률이 높지 않은 관계로 제외하였다. 진입각도의 경우 가장 약조건이라고 판단되는 15deg.와 가장 호조건으로 판단되는 60deg.의 두 값을 입력 변수로 사용하였다.

### 3.4. 차량 모델 설정

본 연구에서는 차량이 인도에 진입하는 것을 차단하기 위해 도로 시설물을 이용하였으며, 그 시설물의 위치를 이동시켜 보행신호를 대기하는 보행자의 안전지대를 도출하였다. 따라서 도로 시설물간의 폭에 따라 안전지대의 범위가 달라질 것이다. 시설물의 폭이 넓으면 안전지대의 폭도 넓어지겠지만 차량의 폭보다 넓게 설계되면 차량이 시설물 사이로 지나갈 수 있다.

따라서 국내 자동차 제조사 차량 중 가장 전폭이 가장 좁은 기아자동차의 모닝을 선정하여 시뮬레이션 하였다. Fig. 6은 시뮬레이션에 사용된 차량의 제원을 나타낸 것이다.

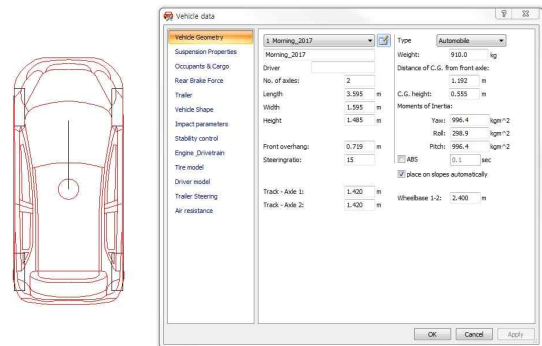
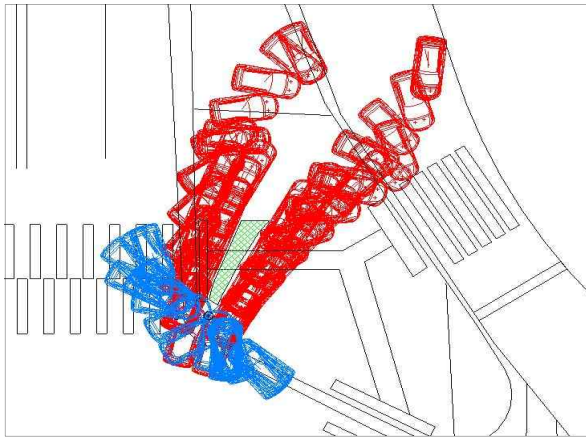


Fig. 6 Specification of the vehicle



#### 4. 결과 및 고찰

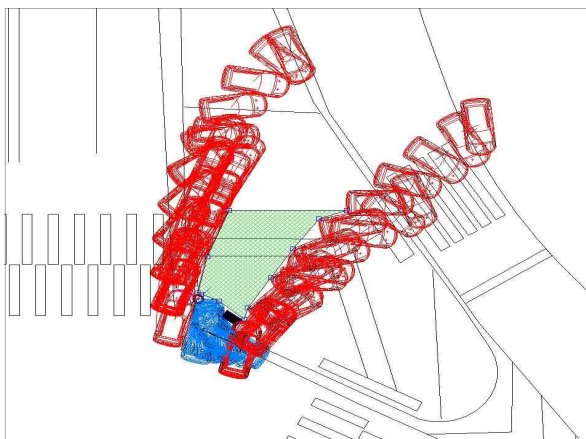
본 연구에서는 보행신호 대기장소의 구조물에 차량이 충돌하는 시뮬레이션을 진행하여 보행자가 안전하게 신



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 (a) Simulation result of the case 1, (b) case 2 and (c) case 3

호를 대기할 수 있는 안전지대를 검출하였으며, 차량의 진입을 막을 수 있는 구조물을 추가하였을 때 안전지대의 면적이 넓어지는 것을 확인하였다. 그 결과는 다음과 같다. Fig. 7의 (a)는 하나의 지주만 설치된 경우로 차량이 지주에 충돌 후 이동하는 궤적을 나타내었으며, 횡단보다 폭과 같은 넓이로 안전지대를 검출하였다. 붉은색 차량의 궤적은 차량이 지주에 15 deg.로 충돌한 차량을 나타낸 것으로 차량은 지주와 빗겨 지나가는 Sliding Impact의 충돌형태를 나타내었다. 파란색 차량의 궤적은 60deg.로 충돌한 차량을 나타낸 것으로 Full Impact의 충돌형태를 나타내며 지주와 충돌직후 차량이 회전하며 정지하였다. 충돌시뮬레이션 결과로 보았을 때 차량이 인도로 돌진하는 경우에도 보행자가 안전하게 보행신호를 대기할 수 있는 면적은  $5.57\text{m}^2$ 로 나타났다. 이탈리아 물리학자 엔리코 페르미에서 이름을 딴 것으로, 기초적 지식에 합리적 추론을 더해 근사치를 추정하는 방법인 페르미 추정법에 따라  $3.3\text{m}^2$ 에 9명을 수용할 수 있다고 설정하면 1명당 약  $0.37\text{m}^2$ 의 면적 차지하고 이를 안전지대에 적용시키면 15명의 인원이 신호를 대기할 수 있는 공간이다. (b)는 기존에 설치된 지주에 하나의 지주를 추가로 설치하였을 때 충돌결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션은 동일한 방법으로 진행하였으며 그 결과는 다음과 같다. 지주의 폭이 늘어난 만큼 보행자가 안전하게 있을 수 있는 안전지대 또한  $18.49\text{m}^2$ 로 기존 하나의 지주일 때 보다 약 3.3배 넓어지게 되어 49명의 성인이 신호를 대기할 수 있는 공간이 추가로 확보되었다. (c)는 하나의 신호등 지주와 신호제어기를 설치했을 때의 충돌 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 신호제어기는 교통신호의 제어를 위해 설치된 시설물로 그 하단부가 직육면체 형상의 콘크리트로 제작되어 있고, 폭은 약 1m로 지주보다 0.6m가량 넓기 때문에 보행자 안전지대 확보에 더욱 유리한 조건이라고 할 수 있다. 따라서 지주와 신호기를 설치했을 때의 보행자 안전지대는  $24.56\text{m}^2$ 로 지주가 하나일 때 보다 약 4.4배, 지주가 두개일 때 보다 1.3배 증가하였고, 해당 안전지대 면적에는 66명의 성인이 신호를 대기할 수 있다.

#### 5. 결론

연구에서는 최소한의 비용으로 보행자가 보행신호를 안전하게 대기할 수 있는 방법에 대해 연구하였으며 그 결론은 다음과 같다.

- 1) 자동차 충돌해석 프로그램인 PC-Crash 시뮬레이

선을 통해 차량의 충돌 후 궤적을 확인할 수 있으며, 그에 따른 결과로 보행신호를 대기하는 보행자의 안전지대와 안전인원을 도출할 수 있다.

- 2) 지주가 하나만 설치된 초기조건에서의 보행자 안전지대는 5.57m<sup>2</sup>로 면적대비 안전인원은 15명으로 계산 되었다. 반면 지주를 두 개 설치했을 때 18.49m<sup>2</sup>, 49명, 지주하나와 신호제어기를 설치했을 때 24.56m<sup>2</sup>, 66명으로 안전지대가 넓어지고 면적에 따른 안전인원이 증가하는 것을 확인하였다.
- 3) 본 연구를 통해 도출된 영역을 옐로카펫과 같이 색상이 있는 필름 또는 보도블록의 색상 등을 이용해 안전지대를 표시한다면 보행신호를 대기하는 보행자의 안전에 매우 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구의 목적과 같이 안전지대의 확보를 위해 도로의 기하학적 구조를 변경한다면 가장 효과적이겠지만 많은 비용을 필요로 하고 기존에 도로를 이용하던 운전자와 보행자에게 혼란을 주어 더욱 위험한 사고를 초래할 수도 있다. 따라서 본 연구를 통한 보행자 안전지대를 도출하는 방법론을 사고다발구간, 어린이, 노인, 장애인보호구간, 신규 또는 재시공되는 횡단보도에 설치 후 그 성과에 따라 점차 확대할 수 있는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- (1) Korean national police agency, TAAS (Traffic Accident Analysis System), 2019.
- (2) Y. H. Youn, D. H. Kim, J. S. Hong, Y. T. Choi, K. H. Yoon, 2002, "Effects of bullbar on Pedestrian Safety", KSAE Spring-Fall Conference Proceedings, Vol. 12, No. 2, pp. 674~679.
- (3) S. Koo, 2011, "Pedestrian Protection Low and Auto-Body Design Changes", Archives of Design Research, Vol. 24, No. 4, pp. 181~190.
- (4) I. H. Han, 2011, "Reconstruction Analysis of Vehicle-pedestrian Collision Accidents: Calculations and Uncertainties of Vehicle Speed", Transactions of KSAE, Vol. 19, No. 5, pp. 82~91.
- (5) "Traffic Accident Analysis Manual", Korea Road Traffic Authority, 2011.
- (6) J. S. Lee, S. H. Yang, 2015, "The Effect of Using a Smartphone about Response Rate of the Body to the Visual and Auditory Stimuli During Walking", Journal of the Korea Entertainment Industry Association, Vol. 9, No. 3, pp. 299~305.
- (7) J. Y. Bum, 2015, "The Research on the Traffic Abbreviated from Protected Area Specification Expansion Plan", Korea National University of Transportation.
- (8) S. K. Kim, 2016, "A Study for Silver Zone Policy Enhancement", University of Seoul.
- (9) W. H. Kim, 2016, "A Study on the Improvement of Signal Intersection for the Safety of Pedestrians", The Seoul Institute - Policy Report, Vol. 213.