

보행자와 승용차의 충돌 위치에 따른 전도거리 패턴 분석

Analysis of Pedestrian-thrown Distance Pattern by Pedestrian-vehicle Collision Position

권 선 민* · 장 현 봉**

* 주저자 : 도로교통공단 교육운영처

** 교신저자 : 목원대학교 도시공학과 교수

Sun-min Kwon* · Hyun-bong Chang**

* Dept. of Education Operation, Korea Road Traffic Authority

** Dept. of Urban Engineering, Mokwon University

† Corresponding author : Hyun-bong Chang, hbchang01@naver.com

Vol.16 No.1(2017)

February, 2017

pp.90~100

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits>

2017.16.1.90

Received 31 January 2017

Revised 13 February 2017

Accepted 22 February 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

보행자와 승용차의 충돌위치에 따른 전도 거리 변화를 madymo-시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 충돌위치를 차량중심으로부터 바깥쪽으로 2.5cm간격마다 충돌하는 경우에 대하여 시뮬레이션하였다. 그 결과 보행자의 전도거리형태가 급격히 변화하는 임계점이 두 곳에서 나타났다. 첫 번째 임계점은 보행자의 어깨가 차량과 접촉되지 않는 위치였다. 두 번째 임계점의 위치는 보행자의 무게중심이 차체의 외곽선상을 벗어나기 직전의 위치였다. 첫째 임계점과 두 번째 임계점의 사이 구간에서는 충돌위치가 차량의 바깥쪽에 가까울수록 전도거리는 급격히 감소하였다. 두 임계점 사이를 벗어난 구간에서는 전도거리 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 충돌위치에 따른 전도거리 변화가 밝혀져서 보다 정확한 교통안전 분석과 보행자 사고해석이 가능해질 것으로 판단된다.

핵심어 : 보행자사고, 보행자 전도거리, 보행자 충돌속도, 마디모

ABSTRACT

This paper investigates pedestrian-thrown distance pattern by pedestrian-vehicle collision position by madymo-simulation. The simulation were performed for every 2.5 cm interval between center and edge of bumper for various vehicle speeds and vehicle shapes. As a result, two critical points where thrown distance change rapidly were found. First critical point locate where pedestrian's shoulder do not contact the vehicle. Second point locate where the center of gravity of pedestrian are close to edge of bumper. Between 1st and 2nd critical points, thrown distance decrease rapidly where collision points move to the edge of vehicle. In other cases, the thrown distance does not change rapidly. This result gives more accurate guideline for pedestrian collision in traffic safety.

Key words : Pedestrian Accident, Pedestrian Thrown-Distance, Colliding Speed, Madymo-Simulation

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

차량과 보행자가 충돌할 때, 차량의 형상, 속도, 전도거리(충돌지점에서 보행자의 최종정지위치까지의 거리)간에는 상호 관계가 있다. 차량의 형상과 속도, 보행자의 최종정지위치를 알면, 차량과 보행자가 충돌한 점을 추측할 수 있으며, 역으로 차량의 형상, 충돌된 위치와 보행자의 최종정지위치를 알면 충돌당시 차량 속도를 추정할 수 있다.

이제까지의 연구에서는 차량의 정면 중심 혹은 중심에 가까운 위치에 충돌할 경우에 대한 연구가 주류를 이루었다. 그러나 실제 사고에서 보행자의 충돌위치는 항상 차량의 중심에 충돌되는 것이 아니라 중심에서 벗어난 위치에 충돌되는 경우가 더 많을 것으로 판단된다.

따라서, 이 논문에서는 차량의 중심이 아닌 곳과 보행자가 충돌했을 경우에 전도거리가 어떤 형태로 변화되는지를 madymo-시뮬레이션을 활용하여 분석한다.

2. 연구의 수행과정

차량충돌 및 탑승자의 상해평가에 대하여 최적화되었으며 다양한 조건의 충돌상황을 설정할 수 있는 프로그램인 madymo(MAThematical DYnamic MOdel)를 사용하여 승용차와 보행자간의 충돌 상황을 시뮬레이션 하여, 승용차와 보행자간의 사고에서 충돌위치에 따른 전도거리 변화를 분석하기로 한다.

기존의 연구들은 대부분 외국에서 수행되어서 인체모형과 차량의 크기나 형태가 우리나라의 실정과 다를 수 있어서, 현재 우리 실정에 맞는 차량과 체격조건을 설정하였다. 시뮬레이션에서 차량은 NF소나타, 아반떼 XD, K5를 선정했고 신체 조건으로는 신장 175cm, 체중 65kg인 인체모형이 충돌되는 조건으로 시뮬레이션 하였다. 인체모형과 차량이 충돌되는 위치는 차량중심에서 시작하여 차량가장자리까지 2.5cm간격마다 분석하였고, 충돌속도를 40km/h, 50km/h, 60km/h, 70km/h로 변화시키면서 시뮬레이션을 실시하였다. 측정된 전도거리의 변화를 분석하여 기존 연구에서 고려되지 않았던 인체모형이 충돌되는 위치에 따른 전도거리의 변화 형태를 제시하였다.

II. 선행연구 및 사고재현 시뮬레이션 방법

1. 선행연구 고찰

보행자와 충돌시 차량의 속도와 보행자의 전도거리에 대한 여러 선행 연구들이 있다. 이 연구들은 차량의 보행자 충돌시의 속도, 인체의 노면에 대한 마찰계수, 인체 무게중심의 높이와 충돌지점에서 보행자가 마지막으로 정지되는 지점까지의 거리인 전도 거리간의 관계를 나타내고 있다. 차량과 보행자간의 충돌시 전도 거리에 대하여 제시한 대표적인 연구들은 아래와 같다.

1) 콜린스(Collins)의 연구

Collins는 보행자의 무게중심 아래쪽에 충격이 가해져서 보행자가 비상한 이후 지면에 떨어져 미끄러져 정

지될 때까지의 거리인 전도거리, 보행자의 무게중심 높이, 인체의 노면에 대한 마찰계수, 보행자와 충돌시 차량의 속도간의 관계에 대하여 다음과 같은 식을 제시하였다. (Collins, 1979)

$$v = 15.95\mu\left(\sqrt{h + \frac{d}{\mu}} - \sqrt{h}\right) \quad (1)$$

v : 충돌속도(km/h), h : 보행자 무게중심 높이(m), μ : 보행자-노면간 마찰계수, d : 보행자의 전도거리

2) 림퍼트(Limpert)의 연구

충돌 후 보행자의 이동거리를 근거로 하여 보행자 충돌속도를 분석할 수 있는 모형이 Limpert에 의해 제시되었다. 이 모형은 충돌 전 운전자가 제동조치를 취하며 보행자를 충돌하는 전제 하에 ± 2.5 mph의 속도 오차범위를 두고 있으며, 보행자의 노면 활주 마찰계수는 0.7~1.2로 지정하고 있다. (Korea Road Traffic Authority, 2012)

$$V_{kph} = 10.62\sqrt{8.4\mu^4 + 3.3\mu d_t} - 32.2\mu^2 \pm 4 \quad (2)$$

v : 충돌속도(km/h), d_t : 충돌후보행자 이동거리(m), μ : 자동차-노면간 마찰계수 : 0.7~1.2

3) 바즈레이(Barzeley)의 연구

Barzeley와 Lacy가 제안하였으며, 차량이 보행자와 충돌할 때 감속하지 않거나 감속하기 이전에 충돌하였을 때 적용할 수 있다. 차량의 충돌 속도에 관여하는 인자로서 보행자 이동거리만을 고려하였다. 보행자 이동거리를 충돌 후 비상거리와 노면 활주 거리로 구분하지 않고 합산하여 충돌 지점에서 최종 위치까지의 전체 이동 거리를 보행자 이동 거리로 전제하였다.(Korea Road Traffic Authority, 2012)

$$v = \sqrt{149 + 203d} - 12 \quad (3)$$

v : 충돌속도(km/h), d : 보행자 이동거리(m)

(4) 하야시 히로시(林 洋)의 연구

하야시 히로시는 3가지 유형의 실험차량을 보행자 인체모형(dummy)에 충돌 시켜 얻어낸 실험결과와 실제 사고사례를 토대로 회귀식을 유도하였으며, J.J. W. Huijbers, M. Kramer, G. Stcherbatcheff 등의 연구결과들이 집약된 하나의 분석모형을 정립하였다.(Hayashi, 2000)

$$x_{\text{전도거리}} = 0.079V + 0.0049V^2 \quad (km/h) \quad (4)$$

x : 전도거리 (m), V : 충돌속도 (km/h)

(5) 안승모의 연구

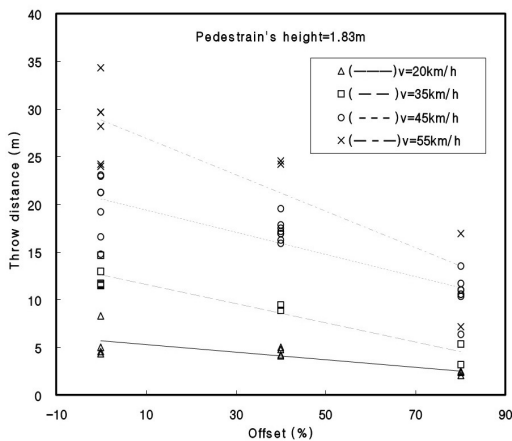
안승모는 보행자의 전도거리에 영향을 주는 인자로서 보행자의 충돌위치, 충돌속도, 보행자의 신장, 보행자의 보행속도, 노면의 상태를 고려한 다중회귀 모형을 개발하였다. 이 식에서는 보행자의 차량 앞부분에 대

한 충돌위치가 차체의 중심, 차체폭의 40%위치, 차체폭의 80% 위치에 대한 충돌시물레이션을 실시하여 <Fig. 1, 2>와 같은 결과를 얻었으며 식(5)와 같은 회귀모형을 개발하였다.(An, 2009)

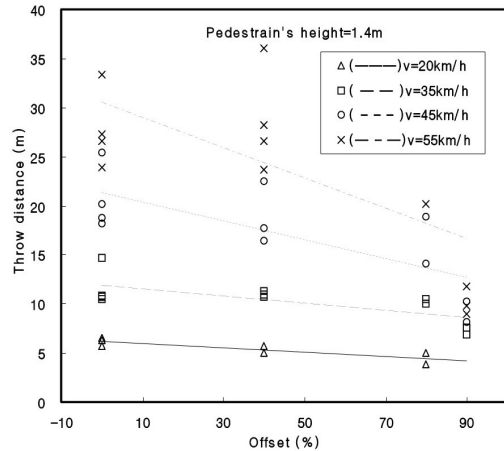
$$d_t = 13.64 - 0.0012P_0^2 + 0.0073v^2 - 6.84h + 2.65w \tag{5}$$

d_t : 전도거리 (m), P_0 : 차량중심에서의 충돌오프셋(m), v : 충돌속도 (km/h)

h : 보행자의 신장 (m), w : 보행자의 보행속도(km/h)



<Fig. 1> throw distance to offset (pedestrian height:1.83m)



<Fig. 2> throw distance to offset (pedestrian height:1.4m)

이 연구에서는 차체의 중앙지점을 포함한 3지점에 대하여 신장 183cm 및 140cm의 인체모형들이 충돌하는 상황에 대하여 시물레이션하였다. 그러나 이 연구에서도 차체의 앞부분 전체길이에 대한 연구는 수행되지 않았으며, 또한 대상 차량과 인체모형 크기가 우리나라의 일반적인 규격과는 상이한 부분이 있다.

이상과 같이 기존 연구들은 차량의 앞부분 중심이나 중심 부근에 보행자가 충돌되는 경우에 대하여 속도, 전도거리 차량의 형상간의 관계를 연구하였을 뿐, 차량의 중심에서 벗어난 위치에 보행자가 충돌할 경우에 대해서는 극히 제한적인 연구가 수행되었다. 또한 시물레이션이나 실험에 사용된 인체모형이나 사체 또는 차량 역시 우리나라의 규격과는 상이하다.

따라서 실제 상황을 반영하기 위하여 이 논문에서는 보행자가 차량 중심에서부터 가장자리까지 모든 부분에 충돌하는 경우를 분석하였다. 또한 우리나라에서 통용되는 차량과 인체모형을 새로 설정하여 분석하였다.

2. 시물레이션 방법

승용차와 보행자간의 충돌해석에는 주로 pc-crash와 madymo를 활용된다. pc-crash의 경우 최근의 버전에서 인체모형을 보행자 또는 차량내부의 탑승자로서 설정해서 시물레이션 하도록 개선되어서 어느 정도의 보행자 사고에 대한 재현과 해석이 가능하다.

한편 madymo(MAThematical DYnamic MOdel)는 본래 차량의 충돌시 탑승자들의 운동을 해석하여 탑승자들의 안전도 향상을 위한 시물레이션으로 개발되었으나, 기차, 비행기, 오토바이, 자전거 등 다른 교통수단이

포함된 경우의 해석에도 사용되고, 또한 에어백이나 안전벨트가 적절하게 설치되었는지에 대한 해석에도 사용된다.(TNO automotive, 2010)

승용차와 보행자간의 충돌해석이 가능한 시뮬레이션은 보통 pc-crash와 madymo인데, pc-crash의 경우 조건 설정과 시뮬레이션 수행시간이 짧아 빠른 결과를 얻을 수 있으나, madymo는 인체모형과 차량모형의 상세한 조건설정과 차량과의 충돌시 세부적인 설정이 가능하기에 madymo를 선택하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Madymo의 기본 좌표계로 x축, y축, z축이 직각으로 교차하는 직교좌표계를 사용하며, z축은 통상적으로 중력의 반대방향인 위쪽을 의미하고, multi-body(다중 강체) 시스템과 finite-element(유한요소 시스템)이 모두 사용가능하며 이 둘을 동시에 사용하는 것도 가능하다.

Madymo-시뮬레이션에서 기본 상황은 하나의 ellipsoid와 다른 ellipsoid가 충돌하는 상황으로, 두 강체가 각각의 질량과 충돌 조건, 운동 조건이 결정될 경우 가장 간단한 상황으로 볼 수 있다. 차량과 보행자 사이의 충돌에 관한 시뮬레이션에서는 인체모형의 신장과 몸무게 등을 변화시킬 수 있고, 또한 신체 각 부분이 차량과 충돌되는 과정에서 차체와의 마찰계수를 차체 및 인체의 각 부분마다 변경하여 적용할 수 있다.

Madymo에서 지원하는 인체모델에는 <Table 1>과 같이 유한요소형태와 같은 facet모델과 타원체로 구성된 ellipsoid모델이 있는데, 본 논문에서는 시뮬레이션 실행시간이 짧은 모델인 ellipsoid모델을 사용하였다. Ellipsoid 모델은 <Table 2>와 같이 5개의 모델이 있는데, 좌측으로부터 3살 어린이, 6살 어린이, 작은 체구의 여성, 보통체구의 남성, 큰 체구의 남성 모델이 있다.

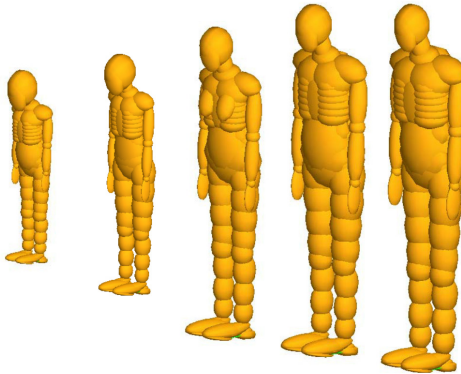
Ellipsoid 인체모형에서 변경 가능한 parameter들은 인체가 취하고 있는 자세, 시뮬레이션 상에서 ellipsoid로 나타내어지는 관절과 관절사이의 인체 구성요소에 대한 질량과 관성모멘트, 보호구가 포함되었거나 혹은 포함되지 않은 관절의 경직도와 마찰특성, 인체구성 요소에 대한 외부물체의 침투특성, 골절정도, 인체모형에 가해지는 가속도나 위치를 측정하는 센서의 위치 등이다. 이 논문에서는 충돌위치에 대한 전도거리의 변화를 알아보는 것이 주된 목적이기에 충돌위치만을 변화시키고, 설정 가능한 모든 변수는 변화시키지 않았다.

이와 같이 보행자 사고에서 충돌위치에 따른 전도거리의 변화를 분석하는 이번 연구에서는 madymo가 적합한 것으로 판단되었으며, ellipsoid 모델 중 평균 체형의 성인남성 모델에 대해서 우리나라의 일반적인 신체 조건인 신장 175cm, 체중 65kg으로 변형하여 사용하였다.

<Table 1> Human body models and applications.⁶⁾

Human model	Impact simulation	Comfort Simulation
Facet occupant models in various body sizes	Occupant crash simulations	Prediction of vibration transmission from the seat through the human body
Facet active human model in sitting and standing position	Occupant pre-crash and crash simulations Pedestrian impact simulations	Prediction of vibration transmission from the seat through the human body
Ellipsoid pedestrian models in various body sizes	Pedestrian impact simulations	

<Table 2> Ellipsoid human model and parameter⁷⁾

Parameter	3 year old child	6 year old child	Small female	Mid-size male	Large male
model					
Standing height [m]	0.95	1.17	1.53	1.74	1.91
Seated height [m]	0.55	0.64	0.81	0.92	1
Shoulder breadth [m]	0.25	0.28	0.40	0.47	0.52
Knee height [m]	0.28	0.35	0.47	0.54	0.59
Weight [kg]	14.5	23.0	49.77	75.5	101.1
parameter can be changed	<ul style="list-style-type: none"> • Geometry • Mass and moments of Inertia • Joint characteristics including that of protected joints (stiffness, friction, damping and hysteresis), • Ellipsoids and penetration characteristics • Force models • Fracture levels • Sensor locations 				

III. 보행자-승용차 충돌 시뮬레이션

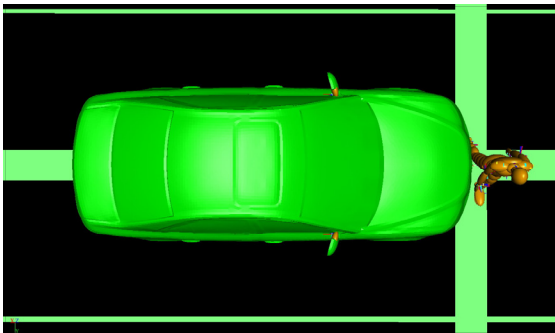
1. 시뮬레이션 조건 설정

보행자와 차량의 충돌위치별 전도거리의 변화를 파악하기 위하여 시중에 많이 보급되었으며, 직육면체의 형상과 유사한 차량으로 현대의 NF소나타와 아반떼 XD를 선정하였다. 아울러 차량의 연비향상과 스타일링을 추구하여서 최근 차량의 앞부분의 평면 형상은 유선형으로, 측면 형상은 썬치형태로 바뀌는 추세이므로, 이러한 형상에 가까운 기아의 K5를 선정하였다. 또한 인체모형은 우리 나라 성인 남성의 기준치와 가까운 175cm, 체중 65kg로 설정하였다.

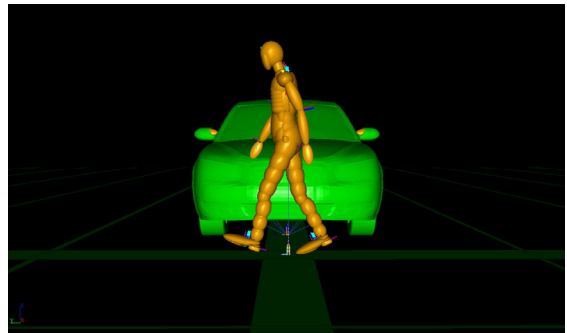
보행자와 차량이 충돌할 때의 속도는 일반적인 차량의 운행속도와 같거나, 차량의 운전자가 보행자를 발견해서 제동하여 감속된 상태에서 보행자와 충돌하는 경우가 있다. 따라서 보행자와 차량이 충돌할 때의 속도는 도심 및 외곽 지역의 제한속도와, 제동하여 감속된 상태에서 보행자와 충돌했을 경우를 고려해서, 40km/h, 50km/h, 60km/h, 70km/h로 각각 설정하였다.

본 논문에서는 충돌할 때 제동되지 않은 상태이며, 인체모형과 차량이 충돌되면서 제동하는 것으로 설정하였고, 제동시 노면과의 마찰계수는 0.6으로 설정하였다. 인체모형이 차량과 충돌되는 과정에서 차량에 대한 마찰계수는 0.3으로, 인체모형이 노면을 미끄러져 이동하는 과정에서의 노면에 대한 마찰계수는 0.5로 적용하였다.

본 논문의 핵심주제인 차량과 인체모형의 충돌위치는 <Fig. 3, 4>와 같이 설정하였다. 즉, 차량의 앞에서 보았을 때, 중심선상에 인체모형의 중심이 충돌된 상황을 기준으로, 인체모형을 차량의 우측으로 2.5cm 간격으로 이동시키면서 각각의 충돌 상황에 대한 종방향 전도거리와 횡방향 전도거리를 측정하였다.



<Fig. 3> reference contact position



<Fig. 4> reference contact position

2. 시뮬레이션 결과

NF소나타, 아반떼XD, K5 차량에 대한 인체모형의 충돌위치와 충돌속도를 변화시켜가면서 시뮬레이션 하여 얻은 전도거리는 <Table 3>과 같다. 이를 그림으로 표시하면 <Fig. 5~12>와 같으며 Y축은 인체모형의 종방향 전도거리를 m단위로 나타내며, X축은 차량의 중심에서 인체모형의 접촉위치간의 간격을 cm로 나타낸다.

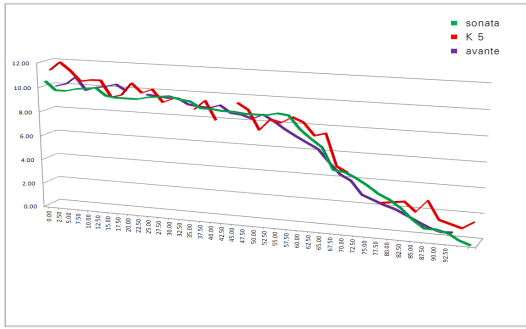
<Fig. 5>는 차량과 인체모형의 충돌속도가 40km/h일 때, 세 차량의 경우 전도거리를 나타낸 것이며, <Fig. 6>은 세 차량의 전도거리를 평균하여 회귀식으로 나타낸 것이다. 같은 방법으로 충돌속도가 50km/h일 때는 <Fig. 7>과 <Fig. 8>로, 충돌속도가 60km/h일 때는 <Fig. 9>와 <Fig. 10>으로, 충돌속도가 70km/h일 때는 <Fig. 11>과 <Fig. 12>로 각각 나타났다.

이 결과를 볼 때, 충돌위치에 따른 전도거리의 평균치를 회귀 분석하면 전도거리는 충돌속도와 관계없이 급격히 변화되는 임계점이 두 곳에 존재하는 것으로 나타났다. 이는 기존 연구에서는 관찰되지 않는 부분이다.

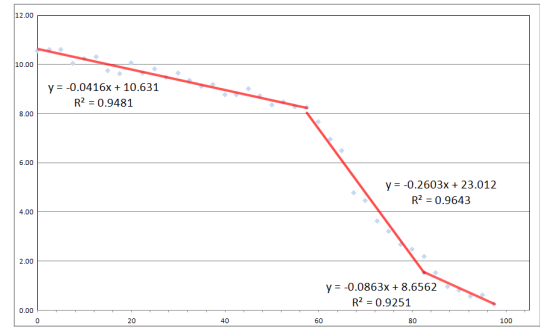
첫째 임계점은 차체중심에서 60cm 떨어진 위치로, 인체모형의 어깨부분이 차체와 접촉되는 지의 여부에 따라 결정된 위치이다. 둘째 임계점의 위치는 차체의 중심에서 82cm 떨어진 지점에 보행자의 무게중심이 위치하는 상황이며, 인체 모형의 무게중심이 차체측면의 연장선상을 벗어나기 직전의 위치이다.

〈Table 3〉 pedestrian thrown-distances by colliding speed and position

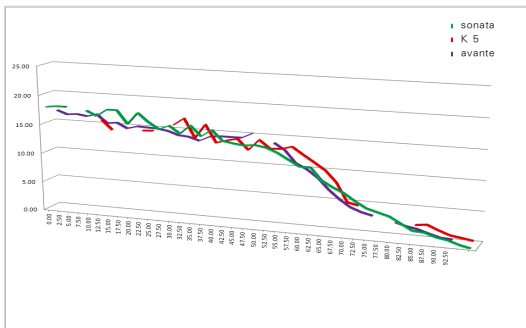
contact position (cm)	car model speed	NF sonata				K5				avante XD			
		40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
0		10.5	18.0	26.5	33.5	11.29	17.23	23.24	na	9.83	16.78	24.56	39.26
2.5		9.8	18.2	26.0	33.0	11.97	na	20.05	29.5	10.04	16.16	na	34.85
5		9.8	18.2	25.6	na	11.34	23.39	25.83	32.49	10.67	16.33	na	32.88
7.5		10.0	na	24.7	34.0	10.5	na	24.45	32.0	9.61	16.07	22.68	30.16
10		10.1	17.8	22.0	32.5	10.65	na	na	28.61	9.9	16.54	22.42	34.49
12.5		10.2	17.0	25.0	32.0	10.67	16	na	33.21	10.03	15.11	22.42	34.61
15		9.6	18.2	25.5	32.0	9.35	14.4	21.13	27.62	10.26	15.31	22.34	35.65
17.5		9.5	18.2	25.6	na	9.58	na	23.77	26.91	9.77	14.44	22.03	35.07
20		9.5	16.0	21.0	30.7	10.6	na	na	na	na	14.92	22.6	32.81
22.5		9.5	18.0	21.0	29.5	9.86	14.67	24.5	28.51	9.58	14.84	23.29	32.4
25		9.7	16.6	21.0	30.0	10.2	14.75	23.58	28.61	9.5	14.77	na	32.16
27.5		9.8	15.5	22.0	29.0	9.21	na	20.75	na	9.42	14.5	22.29	31.07
30		9.9	16.2	21.0	29.0	9.56	16.03	na	na	9.44	13.9	21.39	29.21
32.5		9.7	15.0	21.7	na	na	17.24	19.61	na	8.99	13.76	20.32	29.33
35		9.6	16.5	21.5	29.5	8.83	14.04	18.4	na	8.88	13.22	19.89	29.07
37.5		9.1	14.8	21.2	28.7	9.57	16.45	na	28.16	8.83	14.05	20.26	30.03
40		9.1	16.0	21.5	29.0	8.05	13.5	20.74	na	9.1	14.23	na	31.75
42.5		9.0	14.3	21.0	29.0	na	14.03	23.93	32.5	8.53	14.23	21.01	31.7
45		9.0	14.0	21.2	25.0	9.56	14.41	19.66	26.03	8.45	14.25	na	31.4
47.5		8.9	13.8	20.5	27.8	9.05	12.69	18.98	27.83	8.18	15.11	20.46	29.93
50		8.9	14.0	20.5	28.3	7.51	14.52	18.0	26.16	8.58	na	21.36	28.15
52.5		8.9	13.7	19.8	27.2	8.41	13.17	17.3	27.65	8.09	13.79	19.43	28.16
55		9.1	13.0	19.5	26.0	8.21	13.27	18.31	23.86	7.52	12.68	16.99	25.9
57.5		9.0	12.0	17.2	23.0	8.71	13.77	16.7	23.86	7.03	10.65	15.3	23.19
60		8.0	11.0	17.0	24.2	8.36	12.58	16.87	14.73	6.58	9.78	14.25	20.36
62.5		7.3	11.0	13.8	19.0	7.37	11.45	14.12	18.85	6.14	8.51	12.44	16.94
65		6.7	9.0	11.3	13.0	7.62	10.27	12.78	na	5.16	6.65	10.25	na
67.5		5.0	8.0	10.0	na	5.08	8.42	10.56	na	4.26	5.17	6.85	9.13
70		4.9	7.2	10.0	12.6	4.64	5.27	7.23	na	3.81	3.97	4.58	na
72.5		4.5	6.0	na	11.3	na	4.89	7.13	na	2.76	3.3	3.62	4.4
75		4.0	5.0	6.2	na	na	na	na	na	2.42	2.88	3.03	na
77.5		3.4	4.5	na	7.0	2.48	3.67	na	na	2.08	na	2.99	3.85
80		3.0	4.0	5.0	5.8	2.61	na	na	na	1.82	2.14	2.74	2.7
82.5		2.4	3.0	3.9	4.0	2.74	na	na	na	1.4	1.61	1.81	1.9
85		1.6	2.0	2.0	2.2	2.0	2.49	3.53	na	0.98	1.29	1.37	1.3
87.5		1.0	1.9	1.0	1.1	2.98	2.72	na	n	0.58	0.71	0.82	0.88
90		1.0	1.3	0.8	1.3	1.54	1.95	2.03	2.39	0.33	0.22	0.17	0.51
92.5		0.8	1.0	0.8	0.8	1.28	1.3	1.53	1.82	0.37	0.11	0.21	0.23
95		0.3	0.4	0.3	0.6	1.03	1.03	1.18	1.36				
100		0.0	0.0	0.0	0.0	0.29	0.57	0.85	0.54				



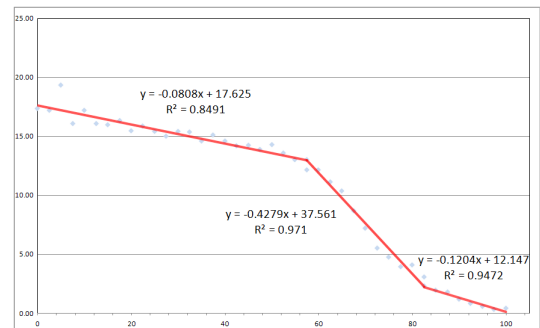
〈Fig. 5〉 longitudinal thrown-distance at 40km/h



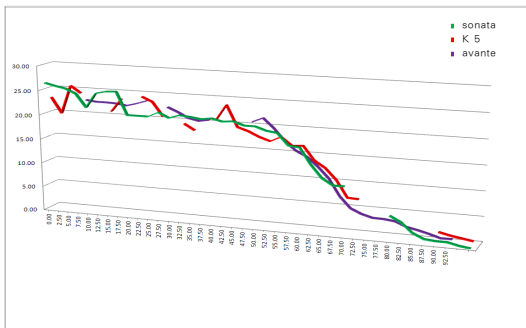
〈Fig. 6〉 regression line and equation at 40km/h



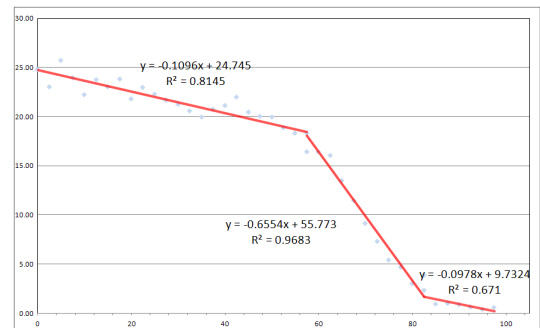
〈Fig. 7〉 longitudinal thrown-distance at 50km/h



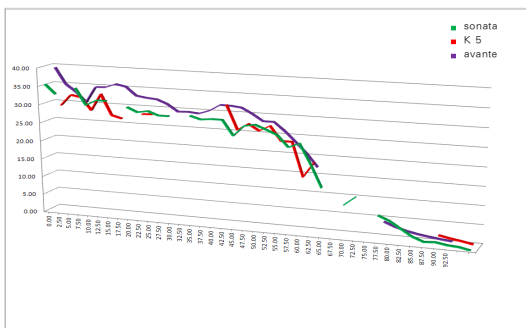
〈Fig. 8〉 regression line and equation at 50km/h



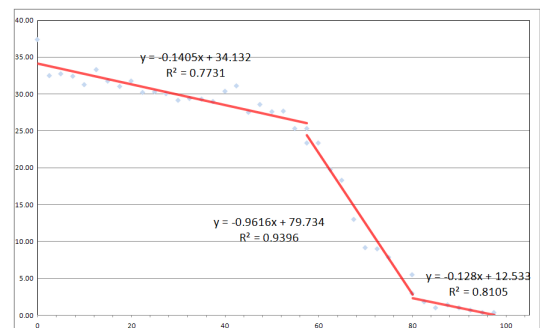
〈Fig. 9〉 longitudinal thrown-distance at 60km/h



〈Fig. 10〉 regression line and equation at 60km/h



〈Fig. 11〉 longitudinal thrown-distance at 70km/h



〈Fig. 12〉 regression line and equation at 70km/h

차량의 중심과 첫째 임계점 사이 구간을 A구간으로, 두 임계점 사이의 구간을 B구간으로, 둘째 임계점의 바깥쪽을 C구간이라 하면, 세 종류의 차량 모두의 경우, 충돌 위치 변화에 따른 전도거리는 이들 구간 내에서는 직선에 근사하여 표시되며, 충돌 위치가 차체 중앙에서 바깥으로 옮겨가면서 전도거리도 일정하게 감소된다.

A구간과 C구간에서 전도거리 변화를 나타내는 직선의 기울기는 비슷하게 나타났다. 그러나 B구간의 기울기는 다른 구간에 비하여 큰 차이를 보였다. 이것은 충돌위치가 약간만 바깥쪽으로 이동해도 전도거리는 급격하게 감소되는 것을 보여준다.

차량 형상에 따른 차이점을 보면, 앞부분이 직육면체에 가까운 NF소나타나 아반떼XD와 비하여 유선형에 가까운 K5의 경우에는, B구간에서 전도거리가 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 유선형 차량의 경우에는 인체모형의 충돌위치가 바깥으로 이동할수록 전도거리가 더 심하게 감소되는 것을 의미한다.

A, B, C 구간별로 전도거리와 충돌위치의 회귀식은 <Table 4>와 같다. 여기서 충돌속도가 빠를수록 결정계수의 값과 기울기가 작아진다. 이는 충돌속도가 빠를수록 전도거리의 편차가 증가하며, 충돌위치에 따른 속도의 변화가 크게 발생됨을 의미한다.

<Table 4> regression equation at each colliding speed

speed	regression equation		
	A - section	B - section	C - section
40km/h	y = -0.0416x + 10.631 R ² =0.9481 t = 2.063	y = -0.2603x + 23.012 R ² =0.9643 t = 2.306	y = -0.0863x + 8.6562 R ² =0.9251 t = 2.364
50km/h	y = -0.0808x + 17.625 R ² =0.8491 t = 2.063	y = -0.4279x + 37.561 R ² =0.971 t = 2.262	y = -0.1204x + 12.147 R ² =0.9472 t = 2.364
60km/h	y = -0.1096x + 24.745 R ² =0.8145 t = 2.059	y = -0.6554x + 55.773 R ² =0.9683 t = 2.178	y = -0.0978x + 9.7324 R ² =0.671 t = 2.364
70km/h	y = -0.1405x + 34.132 R ² =0.7731 t = 2.055	y = -0.9616x + 79.734 R ² =0.9396 t = 2.216	y = -0.128x + 12.533 R ² =0.8105 t = 2.364

III. 결 론

1. 연구 결과

본 논문은 보행자와 승용차가 충돌하는 경우, 보행자의 전도거리 패턴을 분석하였다. 기존의 연구보다 현실성있는 결과를 도출하기 위하여, madymo-시뮬레이션을 적용하였다. 차종으로는 시중에 많이 운행되는 NF 소나타, K5, 아반떼 XD를 선정했고, 인체 모형이 차량과 충돌되는 지점도 차량 중심으로부터 차량의 바깥까지 2.5cm 간격마다 위치를 이동시키면서 종방향 전도거리와 횡방향의 전도거리를 각각 측정하였다. 차량 속도는 40km/h, 50km/h, 60km/h, 70km/h의 속도에 대하여 분석하였고 연구 결과는 아래와 같다.

1. 인체모형의 충돌위치와 전도거리에서, 인체모형의 종방향 전도거리 분포가 급격히 변화되는 임계점이 두 곳에 존재함을 발견하였다. 첫 번째 임계점의 위치는 인체모형의 어깨가 차량에 접촉되지 않는 지점이며, 두 번째 임계점의 위치는 인체모형의 무게 중심이 차체의 외측선 상을 벗어나기 직전의 지점으로 나타났다.

이는 인체모형의 충돌위치를 차량의 중심부근에 한정했던 기존 연구에서는 관찰되지 않는 사항이다. 실제 교통사고에서 차량의 중심에서 많이 벗어난 부분에 사람이 충돌되었을 경우 차량의 속도를 추정할 근거가 없었는데 이번 연구를 통해서 차량 중심에서 벗어난 위치에 사람이 충돌된 상황에서도 충돌당시 차량의 속도를 추정할 수 있게 되었다.

2. 인체모형의 종방향 전도거리 변화는, 충돌되는 지점이 차체 중심과 첫 번째 임계점의 사이의 구간에 있는 경우, 충돌지점의 변화에 따른 전도거리의 변화는 크지 않았다. 첫 번째 임계점과 두 번째 임계점의 사이 구간에 인체모형이 충돌할 경우, 충돌지점이 차량의 바깥쪽으로 갈수록 전도거리는 급격하게 감소되는 것으로 나타났다. 두 번째 임계점의 바깥 구간일 경우, 첫째 임계점의 안쪽 구간의 경우처럼 전도거리는 급격하게 변화하지 않았다.

3. 유선형인 K5의 종방향 전도거리를 보면, 인체모형이 첫 번째 임계점의 바깥에 충돌되는 경우, 충돌위치가 멀어짐에 따른 전도거리 감소가 다른 차량에 비하여 큰 것으로 나타났다. 이는 임계점을 벗어난 위치에서 차체가 차량 진행방향과 이루는 각도가 다른 차량보다 평행에 가까워서 발생한 결과로 추정된다.

2. 향후 연구과제

본 논문은 madymo-시뮬레이션을 통하여 인체모형과 차량 충돌시의 전도거리 형태를 분석하였다. 이 연구 결과를 근거로 madymo-시뮬레이션이 제공되지 않는 일선 경찰서의 교통사고 처리과정에서 보행자와 충돌시 승용차의 속도를 더욱 정확하게 추정하는 데에 기여할 것으로 판단된다.

한편, madymo-시뮬레이션의 특성상 충돌속도가 빠르거나, 각진 부분에 접촉되는 상황이 일어나면 간혹 시뮬레이션이 중단되며 이 상황은 K5의 경우 더 자주 발생했다. 차량의 형태에 따른 전도거리 변화를 정확하게 파악하기 위해서 이에 대한 보완과 추가적인 연구가 필요한 것으로 보인다.

REFERENCES

- Collins, J. C.(1979), *Accident Reconstruction*, Transportation Research Record, pp.240-242.
 Hayashi hiroshi(2000), *Car accident appraisal technic*, golden bell, pp.107-113.
 Korea Road Traffic Authority(2012), *Traffic accident reconstruction manual*, Korea Road Traffic Authority, pp.196-198.
 Sung-mo An(2009), "Development of accident analysis in car to pedestrian accident," *Journal of the Korea society for power system engineering*, vol. 13, no. 5, pp.76-81.
 TNO automotive(2010), *MADYMO Human Model Manual*, TASS, pp.95-97.
 TNO automotive(2010), *MADYMO Theory Manual*, TASS, pp.1-7.