

한국형 보행자 사고재현모형의 실제 사고 적용을 통한 충돌지점 규명에 대한 연구

Application of Korean Pedestrian Accident Reconstruction Model in Real Accident

류 태 선

도로교통안전관리공단 교통사고종합분석센터 과장, taac@rtsa.or.kr

이 흥 기

도로교통안전관리공단 교통사고종합분석센터 팀장, onsege@rtsa.or.kr

장 영 체

도로교통안전관리공단, 교통사고종합분석센터 소장, cyc1218@rtsa.or.kr

목 차

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| I. 서론 | III. 이유모형을 통한 보행자사고의 충돌지점 규명 |
| 1. 연구의 배경 및 목적 | 1. 이유분석모형의 소개 |
| 2. 연구의 방법 및 범위 | 2. 이유모형 적용을 통한 충돌지점 규명사례 |
| II. 기존 보행자사고의 재현방법 | IV. 결론 및 향후 과제 |
| 1. 보행자사고의 특성 | 참고문헌 |
| 2. 보행자사고의 분석모형 | |
| 3. 국내 보행자사고의 조사실태 | |

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재까지 보행자사고의 재현 및 분석에 관한 연구는 주로 외국에서 인체모형(Dummy) 또는 시체(Cadaver)의 실차실험(Full Scale test)을 통해 보행자의 충돌속도와 전도거리간의 관계식만을 제시하고 있는 수준으로 이루어져 왔다.

그러나 이러한 관계식은 실제 사고에서의 주된 쟁점사항인 보행자의 충돌지점을 규명하는 데에 있어서 대개의 교통사고에서 그렇듯이 자동차의 충돌속도를 정확히 산정하기 어렵기 때문에 사고 해석에 별반 도움을 주지 못하고 있는 실정이며, 또한 외국산 자동차와 외국 보행자를 기준으로 실험식이 유도되어 무분별한 국내 보행자사고에의 적용은 심각한 오류를 낳을 수도 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 자동차 파손상태와 보행자 상해도를 근거로 충돌속도를 산정하고 한국형 보행자사고재현모형을

통해 충돌지점을 규명하는 실례를 제시하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 실제 사고자료에서 나타나는 자동차 속도 및 파손상태, 보행자 상해도 등의 상관관계를 통해 실제 사고처리에 적용할 수 있는 방법을 강구하는 것을 주목적으로 하며, 이러한 분석의 근간을 이루는 모형은 한국형 보행자사고재현모형¹⁾(이수범-유태선 모형, 이하 '이유모형'이라 칭함)이다.

이유모형은 국내 최초로 개발된 보행자사고 분석 모형으로써 34개의 표본조사를 통해 속도-전도거리간 상관관계를 규명하였으며, 충돌속도별 자동차 파손 정도, 보행자 상해도 등의 관계를 도식화하여 자동차 충돌속도의 산정을 위한 다각적인 방법을 제시하고 있다.

1) "한국형 보행자 사고재현 모형 개발에 관한 연구", 대한교통학회 23권 제 6호(통권 84호)

연구의 범위는 보행자 충격지점의 규명을 위해 도로교통안전관리공단 교통사고종합분석센터에 분석 의뢰된 보행자사고에 한하며, 본 연구에서는 1건의 적용 사례를 제시하고자 한다.

2) 충돌시 보행자의 선회특성

충돌 후 보행자가 선회할 때 보행자는 선회형태에 따라 Eubanks & Rusty Height는 <표 1>과 같이 5가지의 유형으로 구분하였다.

II. 기존의 보행자사고 재현방법

1. 보행자사고의 특성

1) 보행자사고의 개요

보행자의 충돌사고는 일반적인 차대차 충돌사고와는 달리 보행자에게 치명적인 부상을 입힐 뿐만 아니라 충돌상황에 대한 사고해석 및 재현에 주의를 요하는 경우가 많다.

보행자 사고재현의 목적은 충돌 후의 각 흔적들을 바탕으로 충돌 전 차량의 운동, 보행자의 운동을 해석하는데 있다. 보행자 충돌사고시 주로 보행자가 일방적으로 상해를 입게 되는데 이때의 주요 쟁점 사항으로는 보행자 충돌위치, 충돌시 차량속도, 충돌 회피 가능여부, 자살 및 타살 가능성, 충돌 후 보행자의 운동형태, 충돌한 차량의 운동형태, 사고차량이 다수인 경우 1차 및 2차 사고차량의 구분 및 충돌시 보행자의 상태 등이다. 이들 중 보행자사고의 충돌 위치와 사고차량의 속도, 사고차량의 규명 등이 주요한 쟁점으로 항상 부각된다.

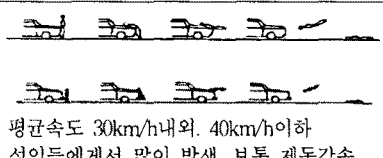
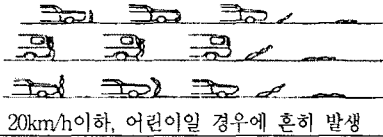
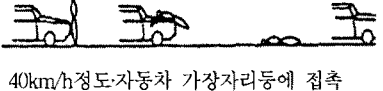
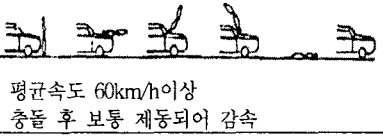
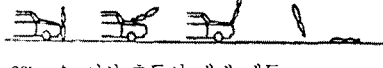
보행자 충돌사고시 어떻게 사고가 발생하게 되었는가를 이해하는 것이 중요한데 보행자 충돌시 차량의 앞 또는 뒤에서 충돌되었는가 아니면 우측 인가 좌측인가 등이다. 한편 차량의 속도뿐만 아니라 보행자의 속도도 쟁점사항인데, 보행자가 사고 당시 걷고 있었는가, 뛰고 있었는가 등의 문제이다.

충돌시 보행자는 다음과 같이 3단계를 거치며 최종 위치까지 이동하게 된다.

- 접촉 또는 충돌단계(Contact phase)
- 선회 및 비행단계(Flight phase)
- 활주단계(Sliding phase)

접촉 또는 충돌단계는 자동차와 보행자가 충돌하는 단계를 말하고, 선회 및 비행단계는 보행자가 자동차와 충돌된 후 선회 및 비행하게 되는 단계를 말하며, 활주단계는 충돌 후 보행자가 노면에 떨어져 구르면서 최종 위치까지 이동하는 단계를 말한다.

<표 1> Eubanks & Rusty Height의 충돌시 보행자 선회형태유형

유형	형태
Wrap trajectory	 <ul style="list-style-type: none"> · 평균속도 30km/h내외, 40km/h이하 · 성인들에게서 많이 발생, 보통 제동감속
Forward Projection	 <ul style="list-style-type: none"> · 20km/h이하, 어린이일 경우에 흔히 발생
Fender Vault	 <ul style="list-style-type: none"> · 40km/h정도자동차 가장자리등에 접촉
Roof Vault	 <ul style="list-style-type: none"> · 평균속도 60km/h이상 · 충돌 후 보통 제동되어 감속
Somersault	 <ul style="list-style-type: none"> · 60km/h 이상, 충돌시 대개 제동

<표 2> Eubanks & Rusty Height의 5가지 유형 요약

유형	속도기준별 특성	비고
Wrap Trajectory	평균속도 30km/h내외 40km/h이하	성인들에게서 많이 발생 보통 제동감속
Forward Projection	20km/h이하	어린이일 경우에 흔히 발생
Fender Vault	40km/h정도	자동차 가장자리 모서리 등에 접촉
Roof Vault	평균속도 60km/h 이상	충돌 후 보통 제동되어 감속
Somersault	60km/h 이상	충돌시 대개 제동

2. 보행자사고의 분석모형

보행자사고의 충돌속도 및 전도거리에 관한 분석 모형은 1971년에 Schmidt와 Lagel에 의한 충돌속도 모형식을 시초로 하여 현재까지 다양한 접근개념과 실험을 통해 여러 가지 분석모형식이 발표되어 왔고, 또한 지속적인 수정보완 작업이 이루어지고 있다.

보행자사고의 분석모형은 물리식에 의한 보행자 충돌속도 및 전도거리의 계산방법과 인체모형(dummy)과 실차를 이용한 실험데이터를 가지고 유도된 실험식 들 수 있다.

물리식에 의한 방법은 기본적인 운동방정식으로도 유도가 가능하고 실제 사고적용에 있어서 쉽게 적용이 가능하나 보행자 무게중심 높이에 따른 선회특성과 2차 충격시 사출각(仰角) 적용 상의 문제로 인해 Forward projection 형태의 사고를 제외하고는 적용이 곤란하다.

인체모형과 실차를 이용한 실험식은 인위적으로 조성된 환경에서 한정된 조건(속도조건, 차량조건, 인체모형조건 등) 하에서 이루어진 실험이므로 실제 상황을 적절히 반영할 수 있는지가 의문시되고, 또한 각기 다른 실험조건에서 얻어진 유도식이므로 모형식마다 다소 또는 많은 오차를 보이고 있는 실정이다.

현재 널리 사용되는 외국의 보행자사고 분석모형은 다음과 같다.

1) Schmidt & Nagel (1971)

$$V_x = \sqrt{\mu^2(h) + e - \mu(h)}$$

V_x : 충돌속도(m/s)

μ : 보행자 노면마찰계수(0.2~0.7),

h : 보행자 무게중심높이(m), e : $2 \times \mu \times g \times d$

g : 중력가속도(9.8 m/sec²),

d : 충돌 후 보행자 이동거리(m)

2) Stcherbatchef (1975)

$$s = \frac{v^2}{2a_{car}} + \lambda a_{car} v$$

v : 충돌속도 또는 사출속도(m/sec)

s : 총 이동거리(m), λ : 상수값(0.3 s³/m)

a_{car} : 평균 차량감속도(4~7m/s²)

3) Collins & Morris (1979)

$$d = \frac{v \sqrt{h}}{7.97} + \frac{v^2}{254 f_p} : \text{보행자 이동거리(m)}$$

v : 충돌속도(km/h), h : 보행자 무게중심의 높이 (m)

f_p : 보행자의 노면 마찰계수 (0.8)

4) Kuhnel (1980)

$$s = 0.06408 a_{car} v + 0.3512 \frac{v^2}{a_{car}}$$

v : 충돌속도 또는 사출속도(m/s)

s : 보행자의 총 이동거리(m)

a_{car} : 평균 차량감속도(m/s²)

5) Searle (1983)

$$V_{veh} = \frac{\sqrt{2\mu g d_t}}{\cos \phi + \mu \sin \phi}, \quad V_{min} = \frac{\sqrt{2\mu g d_t}}{1 + \mu^2}$$

$$V_{max} = \sqrt{2\mu g d_t}$$

$V_{veh}, V_{max}, V_{min}$: 보행자 충돌속도(m/sec)

d_t : 이동거리(m)

μ : 보행자의 노면마찰계수(0.66 또는 0.79)

ϕ : 보행자 비행각도(°)

6) Barzeley (1991)

$$v = \sqrt{149 + 203d} - 12$$

v : 충돌속도(kph), d : 보행자 이동거리(m)

7) Limpert (1989)

$$V_{mph} = 6.6\sqrt{8.4 \mu^4 + \mu d_t} - 20\mu^2 \pm 2.5 \text{ mph}$$

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

v : 충돌속도(km/h), d_t : 충돌후보행자 이동거리(m)

μ : 자동차 노면마찰계수 : 0.7~1.2

8) Dekra (1990~)

$$S = 2.5 + 0.38448v + 0.05858 \frac{v^2}{a_{car}}$$

v : 충돌속도 또는 사출속도(projection velocity, m/sec)

s : 보행자의 총 이동거리(m)

a_{car} : 차량의 평균감속도(m/s²)

9) Appel

· 전면이 높은 차량(high front vehicle) :

$$v(km/h) = \sqrt{101.12d}$$

· 전면이 낮은 차량(low front vehicle) :

$$v(km/h) = \sqrt{130.69d}$$

· 성인 : $v(km/h) = \sqrt{121.34d}$

· 어린이 : $v(km/h) = \sqrt{96.51d}$

여기서 d는 총 이동거리(m)를 말한다.

10) 林 洋 (하야시 히로시)

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

$$x_{전도거리} = 0.285 V + 0.0636 V^2 \text{ (m/sec)}$$

x : 보행자의 전도거리(m)

V : 자동차의 보행자 충돌속도

3. 국내 보행자사고의 조사실태

일반적인 교통사고의 발생은 도로조건, 교통안전시설, 차량조건 등에 의해 형성된 물리적인 교통상황 속에서 교통 참가자가 어떠한 교통행동을 취하느냐에 따라 결정된다. 그리고 교통행동은 외적인 교통상황의 영향을 받음과 동시에 개인의 심리적 특성에 의해 나타나는 측면도 적지 않다. 각 개인의 심리특성은 그 사회의 규범, 법률, 가치관 등의 사회·문화적 배경에 의해 형성된다. 이와 같이 교통사고의 발생에 관해서는 교통행동, 교통상황의 측면 뿐만 아니라 그것에 영향을 주고 있는 사회·문화적 측면과의 관계를 이해하고 그 관련구조를 이해할 필요가 있다.

여러 가지 유형의 교통사고 중 특히 보행자사고는 어느 한쪽의 일방적인 잘못으로 발생하고 있다고 할 수 있다. 흔히 보행자가 무단횡단을 하게 되어 사고가 발생하게 되면 보행자의 과실을 묻는 경우가 간혹 있으나 자동차 운전자는 항상 전방을 주시하고 적정 속도를 유지하며 안전운전해야 할 의무가 있으므로 운전자의 잘못이 크다고 밖에 할 수 없다. 이 때문에 경찰의 실황조사서에는 항상 자동차가 가해자이며 보행자는 항상 피해자로 기재되고 있다.

우리나라의 보행자사고에서 가장 중요시 여기는 것은 보행자 충돌지점과 충돌속도이다. 이는 횡단보도사고와 과속사고가 교통사고처리특례의 10개 항목에 포함되어 운전자에게는 매우 불리하게 작용될 수도 있기 때문이다. 특히 사고지점 인근에 횡단보도가 있을 경우에는 보행자 충돌지점에 따라 횡단보도사고 여부가 쟁점의 대상이 되며, 사고차량에 의한 skid mark가 길게 나타나 있을 경우에는 속도가 쟁점의 대상이 되기도 한다.

우리나라 경찰관서에서 이루어지는 보행자사고조사는 다른 유형의 교통사고와 마찬가지로 인터뷰조사, 차량조사, 보행자 상해도조사, 사고현장조사 등 크게 세부분으로 나뉘어진다.

1) 인터뷰조사

인터뷰(interview) 조사라 함은 사고당사자라든지 목격자 위주로 진술을 청취하는 방법으로써 사고의 개략적인 상황을 파악하고 사고 당시의 상황을 재구성하며, 운전자 및 보행자의 지난 행적을 통해 사고 해석을 위해 접근하는 방법을 말한다. 상세 조사항목으로 자동차 운전자는 전방주시태만, 고의적 법규위반, 판단착오 및 착각, 운전조작 미숙 및 착오, 환경요인에

의한 발견의 지연, 난폭 및 경쟁운전, 피로와 졸음, 음주 및 약물복용, 심신상태불량, 신체장애, 과속, 지리미숙 등의 여부이며, 보행자에 있어서는 무단횡단, 갑자기 뛰어드는 행동, 노상유희 및 작업 등으로 구체화될 수 있다.

우리나라 경찰관서에서 이루어지는 인터뷰조사는 대개 사고관련자의 진술을 듣고 조서 작성함을 원칙으로 한다. 조사방법으로는 신문(訊問, Vernehmung)과 심문(審問)을 들 수 있다. 신문이란 법원, 수사기관 또는 소송당사자가 증인·반대당사자·피의자 등에 대하여 하는 질문을 말하며, 심문은 당사자 기타 이해관계인에게 개별적으로 서면 또는 구술로 진술할 기회를 주는 일이라 할 수 있다. 최초 경찰서에서 이루어지는 인터뷰조사는 신문에 가깝기 때문에 대개의 사고관련자들은 그들의 권위적인 조사에 불만을 토로 하는 경우가 많으며, 어느 한 사람이 가해자로 지목 되게 되면 강하게 이의를 제기하기도 한다.

2) 차량조사

차량조사는 보행자사고에 있어서 가장 중요한 부분이다. 차량 손상부위만으로도 보행자의 진행방향이라든지 개략적인 충돌속도 등을 유추할 수 있기 때문이다. 보행자사고 중 정면충돌사고에 한해서는 4가지의 조사항목으로 나눌 수 있다.

- 전면부 - 전면범퍼, 라디에이터그릴, 헤드램프 등의 손상상태 파악
- 후드(본넷) - 보행자가 쓰러지면서 부딪힌 부위의 소성변형상태 파악
- 전면유리 - 보행자 두부(頭部)에 의한 직접손상 상태 파악
- 루프(roof) - 보행자가 올라타면서 손상된 상태 파악
- 후면유리 및 트렁크 - 보행자가 차량 뒤편으로 완전히 넘어가면서 손상시키는 경우

특히 차량 전면부에서 후드, 전면유리까지의 보행자 이동경로가 중요하다. 보행자가 움직이고 있을 경우에는 최초 전면부에 충격되면서 전면유리가 손상될 때 이들간의 각도가 보행자의 진행방향을 추론하는데 중요한 역할을 하기 때문이다.

우리나라의 경찰관서에서 이루어지는 차량조사는 보행자의 충돌부위 확인에만 치중하고 있다. 이러한 조사는 충돌속도 및 충돌지점 추정에 있어서 별반 도움을 주지 못한다. 물론 차량조사를 통해 사고처리에 접근할 수 있는 기초자료가 전무한 것도 문제라 할 수 있지만, 단순하게 충격부위만을 확인하는 것은 사고에

대한 심층적인 접근에 적합하지 못하다.

3) 보행자 상해도조사

보행자사고에서 가장 큰 피해자인 보행자가 성인일 경우에는 대개 발목, 종아리, 무릎, 허벅지, 엉덩이 부위 등이 분쇄골절, 근육간 출혈 등의 상해가 발생하게 되며, 어린이일 경우에는 엉덩이, 허리, 복부, 두부 등 주로 상반신에서 상해를 찾아볼 수 있게 된다. 전면범퍼에 의한 상해는 대체로 좌상, 표피박탈, 좌열창, 박피손상, 심부근육 내출혈, 골절과 연조직의 광범한 파괴, 골절단에 의한 천과창 등 다양하게 나타나고 있다. 보행자가 자동차에 1차 충격된 후에는 충격된 상태에 따라 신체의 다른 부분이 자동차의 외부 구조물에 2차 충격되어 손상이 발생하게 되거나 또는 지면에 낙하되면서 손상이 발생하게 된다. 이러한 다중충격에 의한 손상은 자동차의 충격속도, 자동차의 종류 등에 따라 다르나 일반적으로 후드 또는 좌우측 힙터, 전면유리, 좌우측 후사경 등에 몸체의 어느 부위가 충격되어 발생된다.

일반적으로 사람이 지면에 떨어져 충격된 손상을 전도손상이라고 한다. 전도손상은 통상적으로 자동차와 충격된 모든 사람에서 공통적으로 나타나게 되는데 특히 사람이 지면에 낙하될 당시 충격속도와 사람 무게중심의 이동에 따른 관성력에 의하여 사람의 머리가 지면에 충격되는 경우 두개골 골절이나 뇌손상이 일어나고 노약자의 경우에는 천장관절이 쉽게 골절되게 되며 지면과 충격시에 외부로 노출된 피부 조직에는 멍 또는 찰과상과 같은 광범위한 손상을 볼 수도 있다. 보행자사고에 있어서 보행자의 상해도는 차량조사와 함께 보행자 및 자동차의 충돌 전후 운동 상태를 정의하는데 매우 유용하다. 즉 보행자의 어느 부위가 자동차의 어느 부위로 충격되었는지를 파악하기 위해서 보행자의 신체부위의 상해상태를 면밀하게 조사하고 차체와의 접촉손상과 전도손상부위 등을 구분할 수 있어야 한다. 이러한 조사과정에서는 사고 당사자 및 병원 의사 등과의 인터뷰가 필수적이며, 넓게는 인터뷰조사에 포함시키기도 한다.

우리나라 경찰관서에서 이루어지는 보행자 상해도 조사는 전적으로 병원의 진단서에 의존하고 있으며 이를 근거로 인적피해 규모를 산정하고 가해자 처벌의 경중을 다루고 있다. 이러한 조사방법은 공학적인 차원의 사고원인 규명과는 거리가 있으며, 사후 뒤처리에 치중하는 업무형태라 할 수 있다.

이는 보행자사고의 원인규명과 관련하여 경찰관서

조사담당자의 일일 업무량 과다 및 순환보직에 의한 전문성 부족 등을 그 이유로 들 수 있지만, 사고해석에 기초가 될 수 있는 국내 학계의 연구자료가 거의 전무하다는 것이 가장 큰 문제라 할 수 있다.

4) 사고현장조사

사고현장에는 보행자 충돌 전후의 상황과 충돌지점, 충돌속도를 가늠할 수 있는 중요한 자료가 있으므로 절대 간과하여서는 아니된다. 사고 후에는 신속히 현장에 남겨진 자동차 파편물과 정지위치, 보행자의 소지품 등의 위치를 표시하고 사진촬영을 통해 근거를 남기는 한편 보행자 충돌지점을 발견하는데 주의를 기울여야 한다.

보행자 충돌지점은 사고현장에서 보행자 신발의 끌린 흔적, 자동차의 skid mark 형태가 변하는 지점 등을 발견할 수 있다면 쉽게 찾을 수 있지만, 이러한 흔적들이 없을 경우에는 각종 차량 파편물 및 보행자의 소지품 위치, 보행자 최종 전도위치, 자동차 정지위치 등의 자료를 수집하여 신중하게 검토하여야 한다.

특히 차량 파편물이나 보행자의 소지품들은 소동차량들에 의해 이동될 수 있으므로 정확한 사고자료 확보를 위해서는 사고 후 즉각적인 초동조치가 필요하다.

교통사고 발생시에는 대개 사고지점 인근의 파출소에 최초로 사고정보됨과 동시에 현장출동에 임하게 된다. 그러나, 대다수의 경우 견인차량(렉카차)이 현장에 먼저 도착하는 경우가 많으며, 사고 후 보행자 및 자동차 정지위치, 파편물 위치, 유류품 위치, 기타 사고관련 노면흔적들에 대한 정확한 위치표시 없이 사고차량을 견인하기도 한다. 이러한 행태는 견인업체들의 경쟁적 차량유치라는 목표 하에 이루어지지만 이 때문에 명쾌하게 해결될 수 있는 사건이 미궁에 빠지기도 한다. 특히 보행자와 자동차 정지위치는 사고해석에 있어서 가장 중요한 부분이다. 자동차는 외력의 작용없이 순간적인 좌우이동이 불가하기 때문에 대개 정지위치를 기준으로 사고 전 이동궤적을 역추적하게 된다.

최초 현장조사에 임하는 경찰관들은 대개 사고원인 규명보다 인명구조 및 교통소통 등에 목적을 두고 있다. 이 때문에 사고해석을 위한 증거확보에는 미흡하다고 할 수 있다. 사고현장에서는 보행자 및 자동차 정지위치를 기준으로 사고와 관련된 흔적들이 포함될 수 있도록 여섯방향에서 사진촬영하여야 하며 파편물 및 유류품의 위치표시와 함께 증거사진을 촬영하여야 한다. 그러나, 대다수의 초동조치 사진은 보행자 및 사고

차량 정지위치를 기준으로 근거리에서 촬영하기 때문에 후일의 사고해석에 많은 아쉬움을 남게 한다.

<표 3> 우리나라의 보행자사고 조사실태 및 문제점

구 분	보행자사고 조사실태	문 제 점
인터뷰 조사	· 심문(審問)보다는 신문(訊問)형태의 진술조서 작성	· 권위적 조사에 대한 사고관련자의 불만 → 민원제기 · 진술에 의존한 사건 해결에 치중 · 조사자의 선입견에 의한 사고당사자의 불신감 팽배 우려
차량 조사	· 보행자와 자동차의 접촉부위만을 조사	· 실황조사형식을 꾸미기 위한 조사로 사건의 원인규명에는 미흡 · 사후 다른 쟁점이 부각될 때 문제점이 대두될 수 있음 · 차량파손에 의한 충돌속도 규명자료 미흡
보행자 상해도 조사	· 병원진단서에 근거한 인적피해규모 산정 · 가피해자 처벌에 치중한 상해도조사	· 상해도에 의한 충돌속도 규명자료 미흡
사고 현장 조사	· 견인차량업체의 경쟁적 차량유치로 인한 초동조치 미흡 · 파출소에 의한 1차적 사고처리	· 사고 직후 현장보존 미흡 → 사고분석시 증거자료 미흡 · 전문성이 부족한 초동조사 · 현장증거사진 확보 미흡
기 타	· 국산 차종, 국내 보행자 현실에 맞는 분석방법이 부재 · 교통사고해석을 위한 국내 연구자료 미흡	

III. 이유모형을 통한 보행자사고의 충돌지점 규명

1. 이유분석모형의 소개

이유분석모형은 충돌지점 및 속도해석에 있어서 명확하게 드러난 34건의 표본조사를 통해 자동차 충돌속도와 보행자 전도거리의 관계, 자동차 파손단계별 충돌속도 및 전도거리와의 관계, 보행자 상해도별 충돌속도와의 관계를 제시하고 있다.

현재 국내에서는 보행자사고를 재현 및 분석함에 있어서 별도의 검증절차 없이 여러 가지 외국의 분석모형을 혼용하고 있으며, 때에 따라서는 분석모형간의 오차가 재판부의 혼란을 가중시키고 있다.

이러한 이유로 이유분석모형은 국내 최초로 국산 차종과 국내 보행자들의 실제 사고자료를 바탕으로

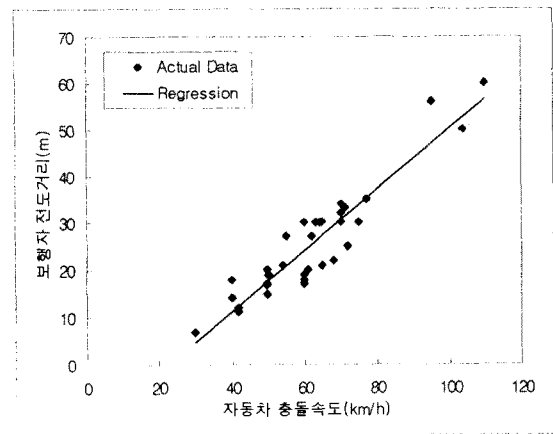
새로운 분석모형을 제시하고 있으며, 충돌속도, 전도거리, 보행자상해도, 자동차파손상태 등의 상관관계를 통해 보행자사고의 주쟁점사항인 충돌지점 규명에 대한 해법을 제시했다는데 큰 의미를 두고 있다.

1) 자동차 충돌속도와 보행자 전도거리의 관계

사고자료에서 보행자 전도거리(Y, m)를 종속변수로 하고, 보행자 충돌속도(X, km/h)를 독립변수로 하여 다음과 같은 회귀식을 유도하였다.

$$Y = 0.6473X - 14.8048 \quad (\text{단, } X \text{는 } 30 \sim 110 \text{km/h})$$

$$X = 1.3388Y + 28.1191$$



<그림 1> 자동차 충돌속도별 보행자 전도거리와의 관계

2) 자동차파손단계별 충돌속도, 전도거리와의 관계

보행자의 충돌 후 운동상태는 다음과 같이 단계적으로 구분될 수 있다.

- ① 자동차와 보행자의 접촉단계
- ② 자동차 후드 위로 보행자가 얹히는 단계
- ③ 자동차 전면유리에 보행자의 두부가 충격되는 단계
- ④ 자동차 루프 앞쪽에 보행자가 부딪히거나 루프 위로 얹히는 단계
- ⑤ 자동차 후면유리 또는 트렁크 위로 보행자가 떨어지는 단계

충돌속도별 전도거리별 파손단계는 충돌속도가 높아질수록 차량파손단계도 높아지며 전도거리 역시 비례하여 상승하고 있으나 충돌속도가 100km/h 내외의 고속에서는 전도거리는 증가하나 차량파손 단계는 ③단계를 벗어나지 못하고 있다.

이러한 관계를 종합하면 <표 4>와 같다.

<표 4> 자동차 파손단계, 충돌속도, 전도거리의 관계 요약

자동차 파손단계	충돌속도 (km/h)	전도거리 (m)
2 단계	30~40 km/h	7~ 20m
3 단계	50~70km/h,100km/h내외	15~30m, 50~60m
4 단계	50~80 km/h	17~35m
5 단계	60 km/h ~	30m ~

3) 보행자 상해도별 충돌속도와의 관계

이유모형에서는 보행자 상해도별 충돌속도와의 관계를 <표 5>와 같이 제시하고 있다.

<표 5> 사고자료의 AIS²⁾ 지수구분별 속도범위 요약

AIS구분	계	AIS1	AIS2	AIS3	AIS4	AIS5	AIS6
속도범위 (km/h)	-	0	30	40	50~60	50~80	50~110

2. 충돌지점 규명을 위한 이유모형의 적용방법

보행자사고에서 충돌지점을 규명하기 위해서는 기존의 분석모형에서 제시하는 충돌속도와 전도거리의 실험식만으로는 불가능하다.

이는 두 가지 변수 중에서 어느 한가지를 특정해야 하는데, 대부분의 보행자사고에서 그렇듯이 그러한 문제를 쉽게 해결할 수 없기 때문이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 이유모형에서 제시된 자동차 파손단계 및 보행자상해도와 충돌속도간의 관계, Eubank & Rusty Height의 보행자 선회형태 유형을 통해 충돌속도의 범위를 축소시키거나 특정시키는 노력이 필요하다. 충돌속도의 범위가 한정 되면 이유모형을 통해 전도거리를 산출하고, 보행자 최종위치로부터 역산하여 충돌지점을 찾아낼 수 있다.

이유모형에서 제시하는 충돌지점을 규명하기 위한 절차는 다음과 같다.

첫째, 차량 조사하여 자동차 파손단계를 구분하고 충돌속도의 범주를 예측한다.

둘째, 보행자 상해도를 AIS지수화하여 충돌속도의 범주를 예측한다.

셋째, 사고 후 자동차 정지위치 및 보행자 최종 위치, 자동차 파손상태를 근거로 하여 Eubanks & Rusty Height의 보행자 선회운동의 5가지 유형 중 어느 유형의 사고인지 파악하고 충돌속도를 예측한다.

넷째, 위 과정에서 얻어진 충돌속도를 10km/h 내

외의 오차범위로 좁히고, 이유모형을 통해 보행자의 전도거리를 산정한다.

다섯째, 위 과정에서 얻어진 전도거리를 보행자 최종위치로부터 역산하여 충돌지점을 찾아낸다.

위와 같은 과정을 통해 분석된 보행자사례는 다음과 같다.

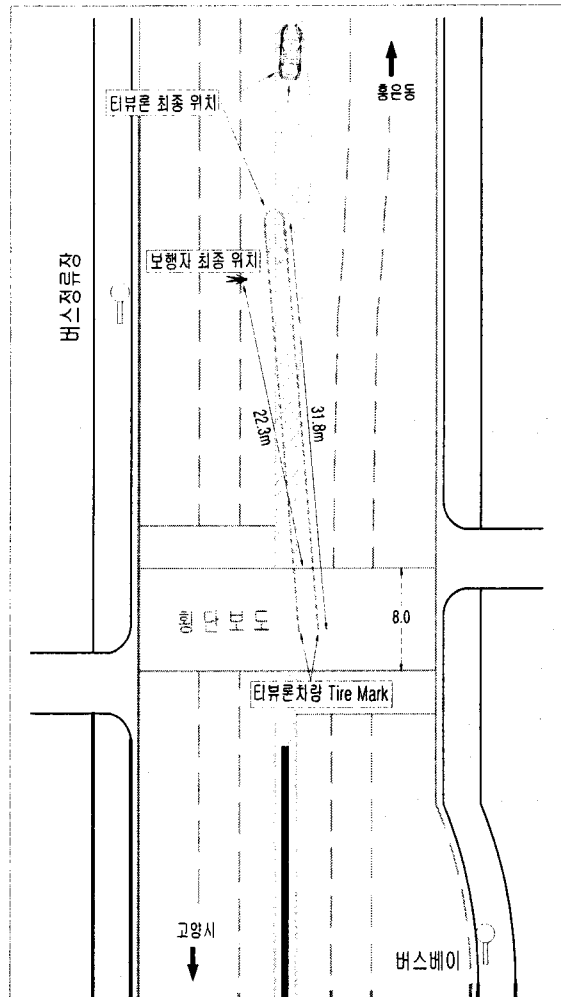
3. 이유모형의 적용을 통한 충돌지점 규명 사례

1) 사고개요

사고차량은 사고지점 도로 3차로 중 2차로를 따라 약 70~80km/h(진술속도)로 진행 중 전방 횡단보도 상에서 횡단 중이던 보행자를 충격하여 사망케한 사고이다.

보행자는 29세의 남자이며 최초 외상성 뇌출혈, 두개골 골절, 우측 경골간부 골절 등의 상해를 입어 의식저하 상태에 있다가 연수마비, 뇌부종의 원인으로 사고 후 7일 12시간만에 사망하였다.

사고 직후 현장상황은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 사고 직후 현장모습 재현도

2) Abbreviated Injury Scale, 미국 자동차 진흥의학회 (The Association for the Advancement of Automotive Medicine)의 상해도 분류기준

2) 사고지점의 도로환경

사고지점은 편도 3차로의 직선구간으로써 사고 당시 노면은 습윤(wet)하였으며, 차로폭은 3.0m 내외이다.

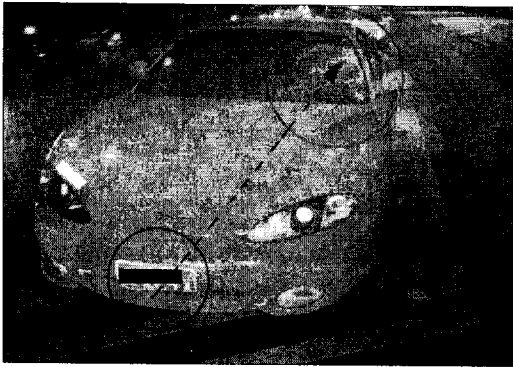
3) 사고관련자료

사고지점에는 사고차량에 의한 skid mark가 횡단보도 안쪽 중간지점에서부터 시작하여 약 5° 가량 비스듬히 반대방면 1차로로 향하며, 약 31.8m 가량 직선형으로 나타나 있다.

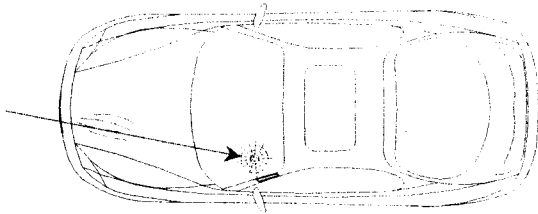
사고차량 전면범퍼 하단부의 높이는 약 20cm, 상단부는 약 50cm이고, 전면범퍼 하단부에는 보행자 옷에 의해 좌→우방향으로 쓸린 흔적이 확인된다.

사고차량 후드 앞쪽은 약간 함몰된 상태이고, 충돌 후 보행자의 모션에 의해 운전석쪽 물분사기(windshield washer)부위, A-pillar 상단부 등이 손상되어 있으며, 전면유리 운전석쪽이 보행자의 두부와 직접접촉되어 방사형태로 깨져 있다.

사고차량의 파손모습은 <그림 3, 4>와 같다.



<그림 3> 사고차량의 파손모습



<그림 4> 사고차량의 파손상태 도식

4) 검토

사고차량은 전면번호판, 후드앞쪽, 운전석쪽 물분사기(windshield washer), 전면유리 운전석쪽 및 A-pillar가 파손되어 '3단계' 상태를 보이고 있다. <표 4>에 따라 '3단계' 파손상태는 충돌속도 50~70km/h 또는 100km/h 내외에서 발생하고, 전도거리는 15~30m 또는 50~60m에 이른다.

보행자는 초기 'AIS 5단계'에서 의식저하상태에 있다가 최종 사망하여 <표 5>에 따른 보행자 충돌속도는 50km/h 이상, 전도거리는 15m 이상인 것으로 판단된다.

사고지점에 31.8m가량의 skid mark가 발생되어 있었는 바, 이를 근거로 하여 사고차량의 제동직전 속도를 산출하면 다음과 같다.

(단, μ 값은 0.3~0.5을 적용)³⁾

$$v_{\text{제동직전}} = \sqrt{2 \mu g d} \quad (g = 9.8\text{m/s}^2, d = 31.8\text{m})$$

$$= \sqrt{2 \times [0.3 \sim 0.5] \times 9.8 \times 31.8}$$

$$\approx 13.7 \sim 17.7\text{m/sec}$$

$$\approx 49.2 \sim 63.6\text{km/h}$$

이러한 관계를 요약하면 <표 6>과 같다.

<표 6> 자동차 파손상태, 보행자 상해도에 의한 충돌속도 및 전도거리 요약

구 분	자동차 파손상태	보행자 상해도
단 계	3 단계	AIS 5
예상충돌속도	50 ~ 70 km/h or 100 km/h 내외	50 ~ 80 km/h 이상
예상전도거리	15 ~ 30m or 50 ~ 60m	15m 이상
검 토	* 자동차 파손단계 및 보행자 상해단계, skid mark에 의한 속도 등으로 보아 사고차량은 50~70 km/h으로 추정됨.	

5) 보행자 충돌지점 규명

① 자동차 파손 '3단계', 보행자 상해도 'AIS 6'에 의한 보행자 충돌속도 및 전도거리는 각각 50~70km/h, 15m 이상이다. 그러나 skid mark에 의한 제동직전 속도는 49.2~63.6km/h이므로 보행자 충돌속도는 50~60km/h 구간으로 좁혀질 수 있다.

② 이유모형에 의하면,

$$Y = 0.6473X - 14.8048$$

$$= 0.6473 [X]_{50}^{60} - 14.8048$$

$$\approx [17.6 \sim 24.0\text{m}]$$

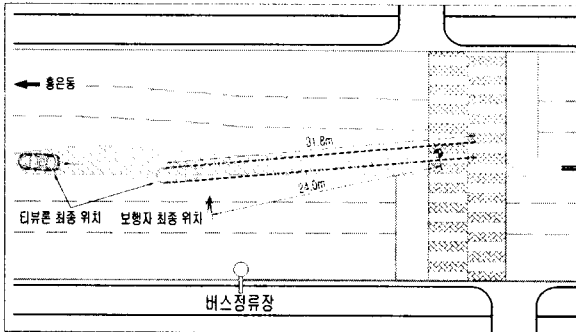
즉, 충돌속도 50~70km/h에서 유의한 전도거리는 17.6~24.0m이다.

③ Eubanks & Rusty Height에 의한 충돌 후 보행자 선회운동의 5가지 유형 중에서 본 사고는

3) Engineering Dynamics Corporation : EDVAP Program Manual(1994), Jong-cheol Bag & Yong-Min Ha : The Computation of Initial Braking Velocity by NISI-TEVP, International Workshop on Traffic Accident Reconstruction Proceedings(1998) Dr.Steffan Datentechnik : A Simulation Program for Vehicle Accident Operating Manual(1997)

충돌시 보행자가 자동차의 지붕 위로 넘어가 차량의 뒤로 최종 위치하는 'Roof Vault' 유형과 유사하다. 이러한 현상은 평균 60km/h 내외의 속도에서 발생하게 된다.

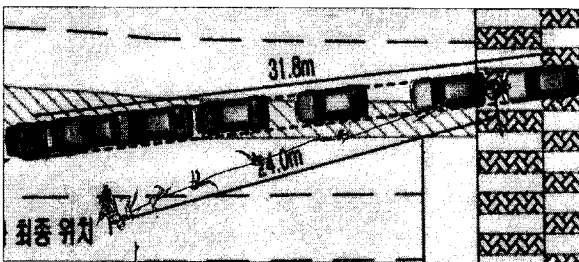
- ④ ①,②,③의 내용을 종합하면, 보행자 충돌속도는 60km/h 내외일 가능성이 크다. 즉 보행자 충돌 지점은 보행자 최종 위치로부터 횡단보도방향으로 약 24.0m 내외의 지점이라 할 수 있다.



<그림 5> 충돌지점의 추정

6) 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 재현 및 검증

- ① '(5)항'에서 얻어진 충돌지점을 근거로 하여 사고 재현프로그램(PC-CRASH 7.0)으로 시뮬레이션한 결과는 <그림 5, 6>과 같다.



<그림 6> 시뮬레이션 화면

<표 7> 사고재현프로그램 Input Data

자 동 차		보 행 자	
차 종	티 뷰 른	신 장	180 cm
충돌속도	62 km/h	몸 무게	80 kg
감 속 도	4.90 %	전도거리	24.0m
적 용 된 마찰계수	0.5	보행속도	6.5km/h

- ② 시뮬레이션 결과 자동차의 속도는 62km/h, 감속도는 4.90%($\mu=0.5$)에서 최적화 결과를 보였으며, 이때 보행자는 6.5km/h($\approx 1.8\text{m/sec}$)의 속도로 횡단 중이었던 것으로 나타났다. 즉, 시뮬레이션 결과는 '(5)항'의 결과와 일치하고 있다.

IV. 결론 및 향후 과제

보행자사고의 가장 중요한 쟁점사항은 교통사고 처리특례 10개 항목에 포함되는 횡단보도 사고인지의 여부이며, 사고당사자간 분쟁을 해결하기 위해서는 보행자 충돌지점의 규명이 초미의 관심사라 할 수 있다.

우리나라의 경찰관서에서 이루어지는 보행자사고 조사는 다른 유형의 사고와 같이 인터뷰조사, 차량조사, 보행자상해도조사, 사고현장조사 등으로 구분할 수 있으나, 대개 사고당사자 및 목격자의 진술에 의한 인터뷰조사가 주를 이루고 있다.

사고당사자간 분쟁이 심한 경우에는 심문(審問)보다는 신문(訊問)형태의 조사로 인해 권위적 조사에 대한 사고당사자의 불만이 심해지고 조사자에 대한 불신감이 팽배되어 민원발생의 시발점이 되기도 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 공학적 기법을 도입한 사고조사의 중요성이 부각되고 있으나, 국내 여건을 고려치 않은 외국 분석모형의 무분별한 적용으로 인해 간혹 재판부의 혼란을 가중시키기도 한다.

외국의 보행자사고 분석모형에서는 보행자사고의 주쟁점사항을 해결하기 위해 자동차의 속도, 보행자의 이동거리, 무게중심의 높이, 자동차 및 보행자의 무게, 보행자의 비상각도 등 여러 가지 요인들을 변수화하여 충돌속도와 보행자 전도거리간의 관계를 규명하기 위해 노력해왔으나 막대한 실험비용과 실험조건의 한계로 인하여 실제 사고사례에 적용하는 데는 많은 문제점을 노출시키고 있다.

예를 들어 충돌속도와 보행자 전도거리간의 실험식은 충돌속도 또는 보행자 전도거리 중 어느 한 변수를 특정시켜야 하나 대다수의 보행자 사고에서 볼 수 있듯이 그러한 자료를 발견하기는 매우 어렵다.

이유모형에서는 국내 최초로 충돌속도와 전도거리간의 관계식뿐만 아니라 자동차 파손, 보행자상해도 등을 통해 충돌속도의 범위를 좁히고자 하였으며, 여기에 Eubanks & Rusty Height에 의한 충돌 후 보행자 선회운동의 5가지 유형을 가미하여 보행자 충돌지점 규명을 위한 다각적인 방법을 제시하고 있다는 점에서 큰 의미를 두고 있다.

이유모형을 적용한 충돌지점 규명 사례는 위와 같이 다각적인 속도 특정기법을 통해 충돌속도의 범위를 좁히고 있으며, 사고재현프로그램을 이용한 시뮬

레이션에 있어서도 일치된 결과를 보이고 있다.

그러나, 이유분석모형은 표본수집의 어려움으로 인해 외국의 분석모형과 같이 자동차 전면부의 기하구조에 따라 달라지는 보행자 선회특성과 보행자의 신체적 특이성을 적절히 반영하지 못하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 국가차원의 적극적인 지원하에서 사고자료의 차종별, 보행자의 성별·연령별·신체조건별·이동상태별, 도로의 노면 상태별 분류 및 연구수행을 통해 다양한 상황에 적절히 적용될 수 있는 분석모형을 개발해야 될 것으로 판단된다.

11. Engineering Dynamics Corporation : EDVAP Program Manual(1994), Jong-cheol Bag & Yong-Min Ha : The Computation of Initial Braking Velocity by NISI-TEVP, International Workshop on Traffic Accident Reconstruction Proceedings(1998)
Dr.Steffan Datentechnik : A Simulation Program for Vehicle Accident Operating Manual(1997)

참고문헌

1. “한국형 보행자 사고재현 모형 개발에 관한 연구”, “Development of Korean Pedestrian Accident Reconstruction Model”, 대한교통학회 23권 제6호(통권 84호), 2005. 10
2. “Reconstruction analysis of Pedestrian accident Using Actual Accident data”
“사고자료를 이용한 보행자사고의 재현 및 분석에 관한 연구”, 류태선, 서울시립대 도시과학대학원 교통공학 석사학위 논문, 2004. 8
3. Jerry J. Eubanks & W. R. “Rusty” Haight, 1992년, “Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology”, SAE 921591.
4. Schmidt D. N. & Nagel, D. A., 1971년, “Proceeding Impact Case Study”.
5. Stcherbatchef, G., et al., “Simulation of Collisions Between Pedestrian and Vehicle Using Adult and Child Dummies”, SAE #751167
6. Collins, James C. and Morries, Joe L., 1979, “Highway Collision Analysis”, Thomas Publishing.
7. Kuhnel A. - Der Fahrzeug-Fußgängerunfall und seine Rekonstruktion, TU Berlin, Dissertation 1980
8. Searle J. A. - The Physics of Throw Distance in Accident Reconstruction, SAE #930659
9. Limpert, R., Motor Vehicle Accident Reconstruction and Analysis, 2nd Edition, The Michie Company.
10. 林洋, 1992년, 自動車事故鑑定工學 192~194p