

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.4.239>

IIBC 2015-4-31

## 차량 정면충돌 및 추돌시 유효충돌속도에 따른 탑승자 상해특성에 관한 연구

### A Study on Characteristics of Passenger Injury for Effective Impact Speed in Vehicles Frontal Collision and Rear-ender

조정권\*, 윤준규\*\*, 임종한\*\*\*

Joeng-Kwon Cho\*, Jun-Kyu Yoon\*\*, Jong-Han Lim\*\*\*

**요약** 최근에 자동차 사고발생 빈도수가 높은 정면충돌사고와 추돌사고에 대해 사회적 관심도 높아지면서 다양한 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 자동차 충돌사고에서 재구성을 위한 유효충돌속도와 인체상해발생정도의 관계를 과학적으로 분석하여 관련 모형을 제시하였으며, 인체상해가 가능한 자동차 실차실험의 한계가 명확하므로 이를 대신하여 각종 충돌실험자료와 인체실험자료 등을 심층 분석하고자 하였다. 그 결과로 정면 및 추돌사고의 경우에는 유효충돌속도가 7 km/h 이하에서는 상해가 발생하지 않는 임계치를 나타냈으며, 충돌속도와 소성변형량 정도를 통해 상해정도가 유효충돌속도에 선형적으로 비례하는 모형을 제시하였다. 따라서 본 연구를 통하여 새롭게 제시된 유효충돌속도와 상해발생정도의 추정모형은 사고재구성에서 최소한의 공학적 판단기준으로 활용 가능하여 법적 분쟁시 유익한 정보를 제공할 것으로 사료된다.

**Abstract** Recently, various research studies on frontal collision and rear-ender which occur more frequently compared to others are underway as the public interest on them is growing. This study analyzes scientifically the relationship between effective impact speed and injury incidence for vehicle crash accident reconstruction and presents a relevant model formula. Because real vehicle experiments have certain limitations such as possible injuries, this study efforts to collect and analyze as many materials as possible to substitute real vehicle experiments, including data from various collision tests and human experiments. As a result, this study present a threshold in which head-on collisions and rear impacts do not cause injuries under 7 km/h of effective impact speed, and suggests a model formula showing that injury extent is linearly proportional to effective impact speed through collision speed and amount of plastic deformation. In conclusion, a model formula for estimating effective impact speed and injury incidence newly proposed in this study is expected to be used as a minimum standard of judgment in disputes on the injury extent of passenger in head-on collisions and rear impacts. Furthermore its availability in terms of technological analysis in legal arguments is expected to be very high if this study will be enhanced by referring to scientific analyses of various real accidents so as to apply it in various types of collision accidents.

**Key Words** : Effective Impact Speed, Frontal Collision, Rear-ender, HIC (Head Injury Criteria), NIC (Neck Injury Criteria)

\*정회원, 가천대학교 대학원 기계공학과

\*\*정회원, 가천대학교 기계공학과

\*\*\*정회원, 가천대학교 기계공학과(교신저자)

접수일자 2015년 6월 18일, 수정완료 2015년 7월 18일

게재확정일자 2015년 8월 7일

Received: 18 June, 2015 / Revised: 18 July, 2015 /

Accepted: 7 August, 2015

\*\*\*Corresponding Author: [kkjong@gachon.ac.kr](mailto:kkjong@gachon.ac.kr)

Dept. of Mechanical Engineering, Gachon University, Korea

## I. 서 론

2014년 한 해 동안 발생한 부상자 수는 337,497명, 사망자 수는 4,762명으로 하루 평균 624명이 다치거나 13명 정도가 사망한 것으로 나타났다<sup>[1]</sup>. 이들 교통사고 가운데 사망사고 또는 상해정도가 매우 심한 사고의 경우에는 보험보상관련 분쟁이 비교적 적지만 상해정도가 작거나 차량 손상이 거의 발생하지 않은 사고의 경우 보상과 관련하여 보험분쟁이 발생되고 있다<sup>[2],[3]</sup>.

자동차 충돌사고에서 탑승자들의 상해와 관련된 상해 메카니즘의 이론적 접근을 통한 연구와 인체 더미실험을 동반한 연구동향을 살펴보면, Han 등<sup>[4]</sup>은 유한요소법을 이용하여 측면충돌에서의 차량 거동특성을 파악하였으며, Deutscher 등<sup>[5]</sup>은 85명의 지원자 실험을 통해 유효충돌속도 10~15 km/h에서 탑승자에 나타나는 증상에 대해 연구를 하였고, McConnell 등<sup>[6]</sup>은 7명의 지원자가 5.8~10.9 km/h의 후방 충돌시험에서 상해 발생 가능성을 보여주었고, Henn<sup>[7]</sup>은 실험과 컴퓨터 해석을 통해 충돌정도에 따른 HIC(Head Injury Criterion) 모형을 제시하기도 하였다. 또한 Moroney 등<sup>[8]</sup>은 더미와 지원자 또는 사체를 이용하여 충돌과정에서의 목상해 발생메카니즘을 보여주었으며, Tencer 등<sup>[9]</sup>은 실험과 해석적 방법으로 충돌에서 헤드레스트와 운전자 머리위치에 대한 연구에서 헤드레스트가 가까우면 목 상하의 전단력과 경추간의 전단변위량이 감소하는 것을 나타내었다. 그리고 국내연구로서 Cho 등<sup>[10]</sup>은 저속충돌시 충돌방향에 따른 목의 각 요소에서 발생하는 반력을 분석하기 위해 정후면, 40° 윽셋, 45도 경사충돌의 3가지 경우로 구분하여 15 km/h 이하로 시뮬레이션을 실행한 결과로 정후면 및 40° 윽셋 충돌에서는 상해가 발생하지 않았으며 경사충돌시 추간판에서 좌우방향으로의 반력과 오른쪽 후관절에서의 접촉력이 급격하게 증가했음을 나타내었으며, Kang 등<sup>[11],[12]</sup>은 보험사의 사고처리자료를 토대로 손상깊이 측정과 유효충돌속도의 산출과 피해차량 상해자의 상해정도를 조사하여 피해차량의 후부손상깊이, 유효충돌속도의 상해정도 상관관계를 분석하였으며, Kim 등<sup>[13],[14]</sup>은 후진하는 차량의 정지차량 충돌에서 경추상해 가능성을 연구하여 해석결과를 수사기관이나 법원 등에서 교통사고 해결에 도움이 될 수 있음을 제시하였고, Park 등<sup>[15]</sup>은 저속충돌 실차실험에서 기구학 및 동역학 분석을 통해 상해지수를 산출하여 두부 및 경부에 작용

한 충격량 분석을 고찰하여 유효충돌속도 8 km/h 이하의 속도변화에서는 경추상해가 발생하지 않을 가능성이 높음을 보여주었다. 본 연구에서는 자동차 충돌사고에서 재구성을 위한 유효충돌속도와 인체상해발생정도의 관계를 과학적으로 분석하여 관련 모형식을 제시했으며, 유효충돌속도에 따른 상해 발생정도를 추정하여 실제 사고에서의 활용가능성을 고찰하였다.

## II. 이론적 배경

### 1. 1차원 충돌해석

두 대의 자동차가 충돌하면 충돌과정의 운동량변화에 따른 충격량이 발생되며, 충격량은 특수한 경우를 제외하고는 충돌과정에서의 작용력을 알 수 없기 때문에 직접적으로 구하기 어렵다. 그림 1은 1차원 충돌을 나타내고 있으며, 자동차의 1차원 정면충돌에서 충돌 전후에 운동량보존법칙을 적용하면 식 (1)과 같다.

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2 \quad (1)$$

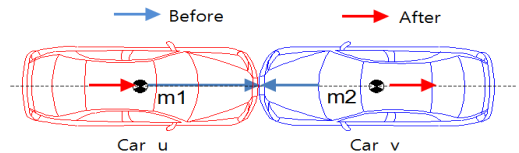


그림 1. 1차원 충돌형태

Fig. 1. Diagram of one-dimensional collision

또한 자동차의 차체 충돌변형은 작용하는 힘의 크기에 비례하므로 결과적으로 충돌 전후의 속도변화량 크기 ( $\Delta v$ )에 비례하며, 에너지보존법칙도 성립하므로 식 (2)와 같이 나타난다. 여기서,  $E_L$ 은 충돌로 소산되는 에너지이며, 자동차의 충돌에서는 차체 변형에 의한 에너지 흡수량이 된다. 각각 자동차의 에너지 흡수량을  $E_{A_i}$ 라고 하면 충돌변형 에너지 흡수량은 식 (2)과 같다.

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 + E_L \quad (2)$$

$$E_L = E_{A1} + E_{A2} = \frac{1}{2}m_1(u_1^2 - v_1^2) + \frac{1}{2}m_2(u_2^2 - v_2^2) \quad (3)$$

반발계수나 유효질량이 같으면 에너지 흡수량은 상대 충돌속도의 제곱에 비례하므로 각각의 자동차 충돌속도가 바뀌어도 에너지 흡수량은 같으며, 에너지 흡수량은 반발계수가 0일 때 최대가 되면 이때의 에너지 흡수량은 식 (4)로 나타난다.

$$E_{\max} = \frac{1}{2} m_c (u_1 - u_2)^2 \quad (4)$$

## 2. 2차원 충돌해석

자동차를 강체로 가정한 2차원 충돌모형은 그림 2와 같으며, 강체모형에서는 충돌 진행중의 소성변형에 대해 설명이 어려운 반면에 충돌전후의 운동형태를 정의하고 설명할 수 있다는 장점이 있다. 이 해석은 운동량보존법칙과 에너지보존법칙의 적용으로 가능하며, 충돌해석에 있어서 법선과 접선방향의 선형운동량과 각운동량을 동시에 나타낸다.

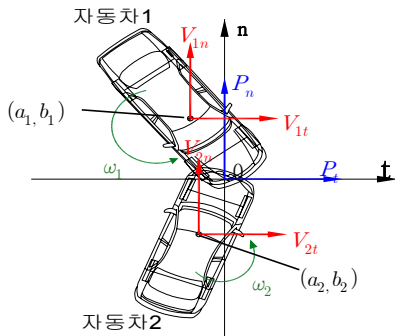


그림 2. 2차원 충돌 강체모형  
 Fig. 2. Diagram of one-dimensional collision

그리고 고정장벽의 충돌에서는 장벽의 질량이나 강성이 무한대이고, 속도가 0이기 때문에 자동차 충돌변형은 자동차의 속도, 질량, 차체강성이 직접적인 영향을 미친다. 차대차 충돌에서는 그림 3과 같이 서로 영향을 주게 된다. 고정장벽 충돌에 있어서의 충돌변형을 계산하는 경우 질량과 강성도를 무한대로 취급해야 하며, 질량과 강성도가 같은 조건의 충돌이 아닌 경우 충돌변형은 고정장벽 충돌에 있어서의 충돌변형과 다르므로 승용차 차체 앞부분의 강성은 큰 차이가 없다.

그리고 충돌시에 작용하는 힘은 작용반작용의 법칙이 적용되어 충돌한 두 차량에 동일한 크기로 작용한다. 여

기서 차체 강성을 각각  $\delta_1, \delta_2$ , 차체의 변형을  $s_1, s_2$ , 에너지 흡수량을  $E_1, E_2$ 라 하면 충돌 시에 작용하는 힘이나 에너지 흡수량은 식 (5)~식 (8)과 같다.

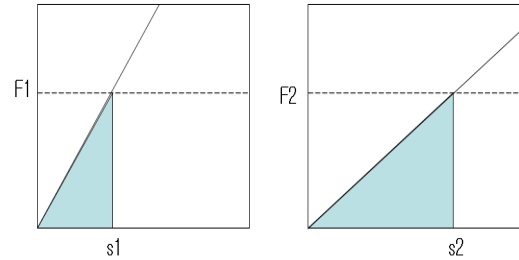


그림 3. 정면충돌의 특성  
 Fig. 3. Characteristics of the frontal crash

$$F = \delta_1 s_1 = \delta_2 s_2 \quad (5)$$

$$E_1 = \frac{1}{2} F s_1 = \frac{1}{2} \delta_1 s_1^2 = \frac{1}{2} \frac{\delta_2^2}{\delta_1} s_2^2 = \frac{\delta_2}{\delta_1} E_2 \quad (6)$$

$$E_2 = \frac{1}{2} F s_2 = \frac{1}{2} \delta_2 s_2^2 = \frac{1}{2} \frac{\delta_1^2}{\delta_2} s_1^2 = \frac{\delta_1}{\delta_2} E_1 \quad (7)$$

$$\delta_1 E_1 = \delta_2 E_2 \quad (8)$$

## 3. 머리상해지수(HIC, Head Injury Criteria)

머리상해지수는 자동차 충돌과정에서 가해진 충격의 크기와 그 충격의 지속시간을 이용해 정의하며, 충격의 크기는 뉴턴의 운동 제2법칙(가속도의 법칙)을 통해 알 수 있듯이 충돌과정에서 자동차의 질량의 변화가 없으므로 가속도의 크기라 할 수 있다.

WSTC(Wayne State Tolerance Curve)와 GSI(Gadd Severity Index)를 기준으로 NHTSA에서는 FMVSS(미연방자동차안전기준) 208에서 머리상해지수인 HIC는 식 (9)와 같이 계산된다.

$$HIC = \max \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} R(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (9)$$

여기서  $t_2 - t_1$ 은 15 ms이고,  $t_1/t_2$ 는 HIC 최대치가 추출되는 시간간격이며,  $R(t)$ 는 머리 가속도 측정 결과치(두부의 COG에서 측정)이다.

#### 4. 목상해지수(NIC, Neck Injury Criteria)

목상해는 정면충돌 또는 후면추돌 등에서 탑승자의 상대운동에 의하여 목에 하중과 머리의 꺾힘에 의해 주로 발생된다. 목에 작용하는 물리적 측정치를 이용해 목상해지수인 NIC를 식 (10)과 같이 산출된다.

$$NIC = a_{relative} \times 0.2 + v_{relative}^2 \quad (10)$$

여기서  $a_{relative} = a_{T_1} - a_{C_1}$  ( $a_{T_1}$ : 첫 번째 흉추골( $T_1$ )의 X방향 가속도,  $a_{C_1}$ : 머리 무게중심 또는 첫 번째 경추골( $C_1$ )의 X방향 가속도)이며,  $v_{relative} = \int a_{relative}$ 이다.

### III. 실험 및 해석 방법

#### 1. 실험방법

본 연구의 기본 설계에 활용된 자료는 3가지 유형으로 구분되는데, 첫 번째 유형은 NCAP(신차안전도평가프로그램)의 완전정면충돌시험이고, 두 번째 유형은 저속추돌 지원자 실차실험이다. NCAP 자료의 경우는 USNCAP와 JNCAP을 주로 활용하였으며, 실험적 방법 등의 원리는 같다.

추돌사고에 대한 실험내용으로는 Hong 등<sup>[6]</sup>이 수행한 지원자 실험 결과값을 활용하여 분석한 것으로 30~50대 남성을 대상으로 한 실험이며, 실험 지원자들은 실질적으로 운전을 많이 하는 연령대로 경미한 퇴행성 변화, 디스크 변성이 있는 남성으로서 평균 나이 44.5세, 체중 68.9 kg, 신장 171 cm이다. 실험지원자 55명의 실험전 상태를 검진하고 MRI 상태를 평가하여 Grade 3(척수 신호강도가 증가할 때)에 해당하는 5명(9%)은 기 상해를 가진 상태여서 실험에서 제외하였다. 실험 후 증상 발생과의 상관분석을 위하여 충돌실험은 1인당 1회로 제한했으며, 16개 카메라가 장착된 동작분석 시스템인 VICON MX-T40S(VICON Motion Systems, Ltd, Oxford, UK)와 머리지지대와 시트 등받이에 압력센서 F-scan과 Comformat(Tekscan Inc, Boston, USA)를 부착하여 피험자의 거동 및 충격량을 측정하였다. 마커 셋은 등 부위에 착용하는 마커를 생략하는 대신 뒤통수 관절용기(Occipital Condyle) 위치와 목의 상단과 하단 중간에 부착하는 Customized Plugged-in Gait를 사용하였다.

#### 2. 해석방법

본 연구에서는 NCAP의 실험 자료들은 정밀 계측장비들을 통해 측정되는 자료들로 충돌속도가 동일조건에서 유효충돌속도에 대한 분별력이 없기 때문에 인체상해의 기준에 따른 안전도 등급평가로 적용하였다. 따라서 본 연구의 목적은 유효충돌속도에 따른 상해발생정도를 유추하는 것으로 유효충돌속도가 제한된 NCAP 자료만으로 이를 해석하거나 추정하기는 어려우므로 NHTSA의 다양한 실험 DB자료를 통해 선형연구가 이루어진 유효충돌속도와 차량의 영구손상 깊이 모형을 활용하였고, NCAP 자료들을 활용해 이들 모형식의 타당성과 정면충돌 및 추돌시의 비례관계를 고찰하고자 하였다. 그리고 유효충돌속도와 상해정도를 추정하고자 승용차를 대상으로 정면충돌과 추돌사고에서 보험사와 보험사 간의 분쟁 또는 상해확대 보험사기 여부 등으로 법적 소송에서 제시된 과학적 자료를 분석하여 탑승자의 인체상해와 유효충돌속도와의 직접적인 상관성을 고찰하였다.

### IV. 결과 및 고찰

#### 1. 유효충돌속도에 따른 탑승자 무상해 관계

그림 4는 51명의 지원자 실험에서 지원자들의 나이분포와  $\Delta V$ 와의 상관성을 산점도로 나타낸 것이다. 실험에서 지원자가 고통을 호소한 경우는 사각형으로 표시한 것이다. 이것은 비교적 매우 건강한 자원 실험자를 대상으로 하였기 때문에 건강정도가 다양하고, 연령분포대가 고연령층을 포함할 경우 제시한 실험결과와는 다를 수 있다. 다른 한편으로 충돌과정에서의 자세와 긴장도, 실험전의 생활습관에서도 자동차 충돌사고에 고통을 호소할 수 있다.

그림 5와 그림 6은 실험자들의 키와 몸무게에 따른  $\Delta V$ 의 상관성을 산점도로 나타낸 것이다. 그 결과로 실험자들의 나이와 유사한 특성으로 통계적 분석이 그다지 쉽지 않으므로 키와 몸무게에 따른  $\Delta V$ 의 상관성을 고찰해보면 고통을 호소한 집단의 산점도가 무고통 집단보다 다소 높게 집중적으로 분포되어 있음을 알 수 있다. 이는 다양한 실험자료와 연계하여  $\Delta V$ 와 몸무게에 따른 상해발생에 대해 관련성을 좀 더 고찰할 필요가 있는 것으로 해석된다.

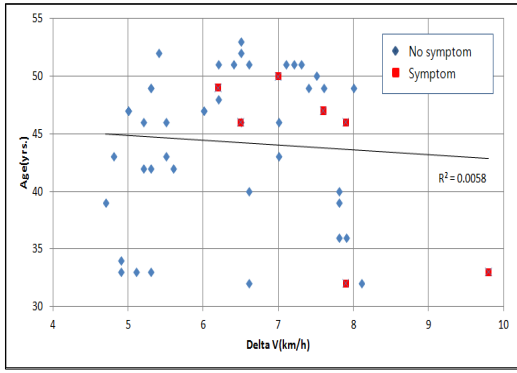


그림 4. 실험 지원자들의 나이분포와  $\Delta V$ 와의 상관성  
 Fig. 4. Scatter plot of human volunteers' age (yrs.)

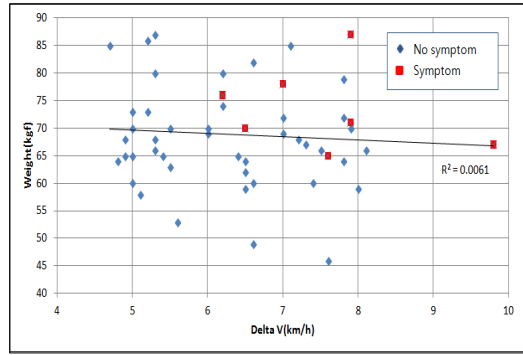


그림 6. 지원자들의 몸무게와  $\Delta V$ 와의 상관성  
 Fig. 6. Scatter plot of human volunteers' weight (kgf)

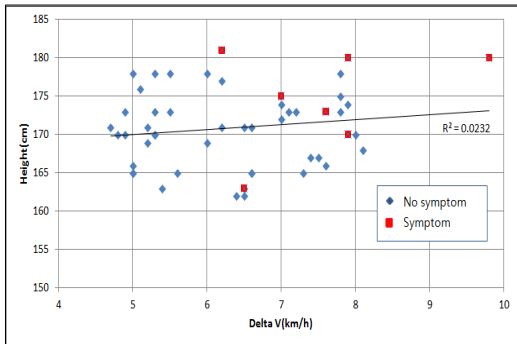


그림 5. 지원자들의 키와  $\Delta V$ 와의 상관성  
 Fig. 5. Scatter plot of human volunteers' height (cm)

무상해 집단의 95% 신뢰구간에서  $\Delta V = 6.22 \pm 0.31$  km/h에 비해 통증을 호소한 집단의 경우  $\Delta V = 7.18 \pm 0.53$  km/h로 약 1 km/h 정도의 차이에서 부분적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 통증을 호소한 집단의 머리상해지수는  $HIC_{15} = 3.08 \pm 2.15$ 로 비교적 매우 낮은 값을 보이고 있다. 그리고 목상해지수는  $N_{km} = 0.08 \pm 0.05$ 로 임계상해 기준값  $N_{km} = 0.3$ 보다 낮게 형성되어 있음을 확인할 수 있었으며, 이들 측정값들과 고통을 호소한 실험자들이 수일내 증상이 모두 사라진 점을 보면 적어도 유효충돌속도의 무상해 설정값을  $\Delta V = 7.0$  km/h 정도로 하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

## 2. 유효충돌속도에 따른 소성변형량의 특성

그림 7은 유효충돌속도에 따른 소성변형량의 특성을 나타낸 것이다.

그 결과로서 정면충돌 및 후면충돌에서 유효충돌속도와 소성변형 손상깊이의 관계는 정면충돌의 경우, 최신의 연구결과인 S. Kim의 PDOF 12시 충돌 모형식<sup>[17]</sup>와 Wooley의 충돌 모형식<sup>[18]</sup>의 관련성을 비교해볼 때  $Y = 1.172X + 0.755$ 의 상관식을 나타내게 된다.

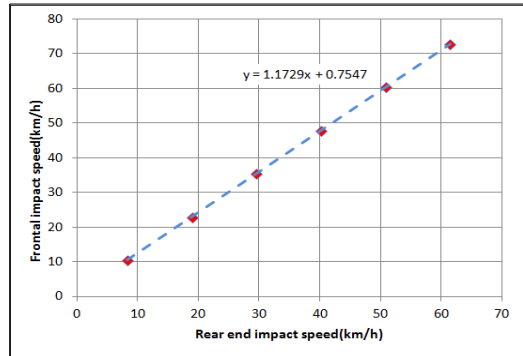


그림 7. 정면충돌과 추돌에서 유효충돌속도와 소성변형량의 특성  
 Fig. 7. Comparison for models on effective impact speed and max crush

이 결과를 통해서 정면충돌과 후면충돌의 모형식 관계에서 후면충돌 모형식에 약 1.17배수 관계가 있어, 후면충돌의 손상정도가 발생했을 때 정면충돌 정도로 유효충돌속도를 환산하고자 하면 1.17배를 적용하면 고찰이 가능할 것으로 사료된다.

## 3. 차량 중량에 따른 탑승자 상해의 상관성

자동차 충돌사고에서 중량차이에 따른 탑승자 상해발생 심각성 정도에 대해 중량차이를 명확하게 알 수 있도록 표 1에서 승용차 A그룹과 미니사이즈 그룹으로 구분

하였다. 표본수가 24개인 승용차 A그룹의 평균 중량은 1,123.5 kgf이고, 표본수가 22개인 미니사이즈 그룹의 평균 중량은 830.5 kgf로 이 두 그룹간 중량은 293 kgf 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 상해발생 정도에 대한 그룹간 비교는 55 km/h의 속도의 완전정면충돌과 64 km/h의 40% 부분정면충돌에서 운전자 더미의 HIC와 목의 전단부하(Shearing load) 실험자료를 비교하였으며, 그 결과로 그림 8에서 나타난 바와 같이 두 그룹간에 중량차이로 인한 상관성은 없음을 알았다.

표 1. 두 그룹의 시험결과 더미 펄스 값 비교

Table 1. Comparison for dummy's pulse of two groups

		Passenger car A	Mini-sized car
N(Vehicles)		24	22
Weight (kgf)		ave.	1,123.5
		std.	116.3
Full-wrap frontal collision test (55km/h, driver)	HIC	ave.	415.6
		std.	95.1
	Neck shearing load	ave.	0.62
		std.	0.12
Offset frontal collision test (64km/h, driver)	HIC	ave.	280.7
		std.	104.3
	Neck shearing load	ave.	0.49
		std.	0.11

그림 9는 완전정면충돌에 대한 운전자 더미의 HIC 펄스값 특성을 나타낸 것으로 두 집단 사이의 값들이 유사하며, 통계적 상관성은 없는 것으로 판단된다. 통계적 의미는 전혀 없으나 평균값에서는 미니사이즈 그룹이 승용차 A그룹보다 낮게 나타났으며, 완전정면충돌에 대하여 운전자 더미의 목상해의 중요한 측정지표 가운데 하나인 전단력 부분에서도 평균값이 0.6 정도로 두 집단이 유사함을 보이고 있어 통계적 상관성은 없는 것으로 분석된다.

그림 10은 완전정면충돌에 대한 운전자 더미의 전단력 펄스값 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 전단력의 부하가 미니사이즈 그룹이 승용차 A 그룹에 비해 크게 작용하고 있음을 확인할 수 있으며, 두 집단 간의 결정계수가  $R^2 = 0.0593$ 으로 통계적 상관성은 없는 것으로 판단되었다.

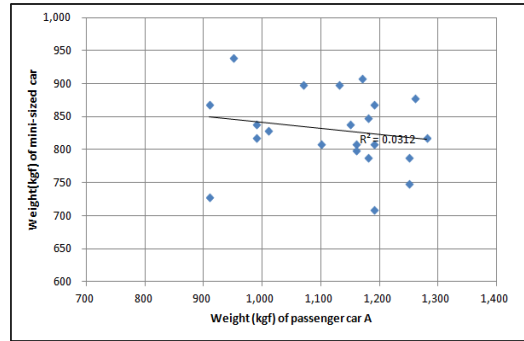


그림 8. 두 그룹의 중량에 따른 상관성

Fig. 8. Scatter plot of weight for the two groups

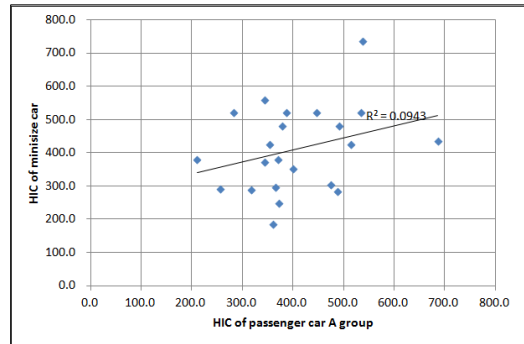


그림 9. 완전정면충돌에 대한 운전자 HIC의 상관성

Fig. 9. Scatter plot of driver's HIC for full-wrap frontal collision test

그림 10은 완전정면충돌에 대한 운전자 더미의 전단력 펄스값 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 전단력의 부하가 미니사이즈 그룹이 승용차 A 그룹에 비해 크게 작용하고 있음을 확인할 수 있으며, 두 집단 간의 결정계수가  $R^2 = 0.0593$ 으로 통계적 상관성은 없는 것으로 판단되었다.

그림 11은 완전정면충돌에 대한 조수석 탑승자 더미의 HIC 펄스값 특성을 두 집단사이의 산점도로 비교하여 나타낸 것으로 두 집단의 특성 차이가 없음을 알 수 있으며, 통계적인 측면에서도 결정계수가  $R^2 = 0.0021$ 로 상관성이 없는 것으로 분석된다.

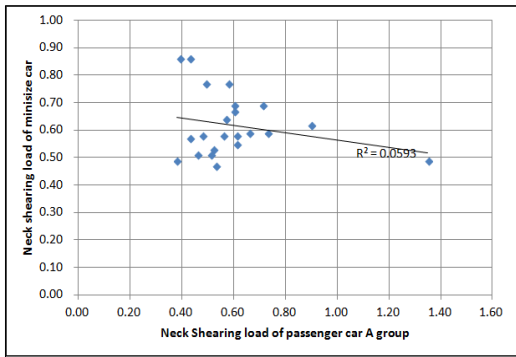


그림 10. 완전정면충돌 실험에서 운전자 목 전단부하 산점도  
 Fig. 10. Scatter plot of driver's neck shearing load for full-wrap frontal collision test

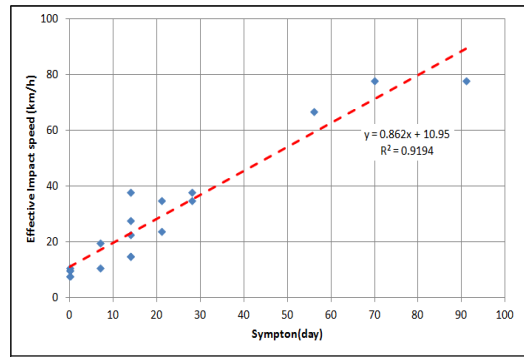


그림 12. 정면충돌에서 유효충돌속도와 상해정도에 대한 선형 회귀  
 Fig. 12. Linear regression of effective impact speed vs. symptom for the head on collision

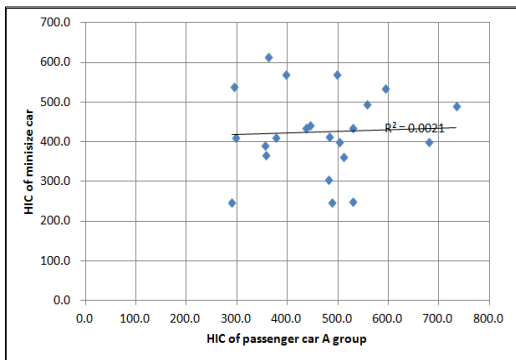


그림 11. 완전정면충돌 실험에서 탑승객의 HIC 산점도  
 Fig. 11. Scatter plot of passenger's HIC for full-wrap frontal collision test

#### 4. 유효충돌속도에 따른 상해발생의 특성

정면충돌에서 유효충돌속도와 상해발생 정도에 대해 쉽고 간단하게 파악하기 위해 그림 12에서 나타난 바와 같이 모형식을 산출하였으며, 채택된 총 표본수 20개의 자료 가운데 사망이 1건이 포함되어 있고, 의사의 상해발생의 진단서가 첨부된 14건, 상해발생이 없는 5건을 대상으로 하였다. 유효충돌속도와 상해발생 일수와의 상관성을 고찰한 결과로 결정계수가  $R^2 = 0.9194$ 로 두 상해발생일수와 유효충돌속도의 상관성이 매우 높게 나타났고, 선형적으로 비례함을 보여주고 있다.

선형 회귀식  $Y = 0.862 \times \text{상해발생일수}(X) + 10.95$ 에서 볼 수 있듯이 정면충돌에서 유효충돌속도가 약 11.0 km/h내에서는 탑승자의 상해가 발생하지 않을 가능성이 매우 높음을 보여주고 있다.

그림 13은 추돌에서 유효충돌속도와 상해발생 정도에 대해 쉽고 간단하게 파악하기 위해 나타난 것으로 모형식을 산출하였다. 채택된 총 표본수 61개의 자료로 지원 자실험 연구자료 51건과 법과학기술연구소의 교통사고 감정 10건을 포함하였다. 유효충돌속도와 상해발생 일수와의 상관성을 고찰한 결과로 결정계수  $R^2$ 이 0.8233(82.3%)으로 비교적 상관성이 매우 높게 나타났고, 유효충돌속도와 상해 발생일수가 선형적으로 비례함을 보여주고 있다.

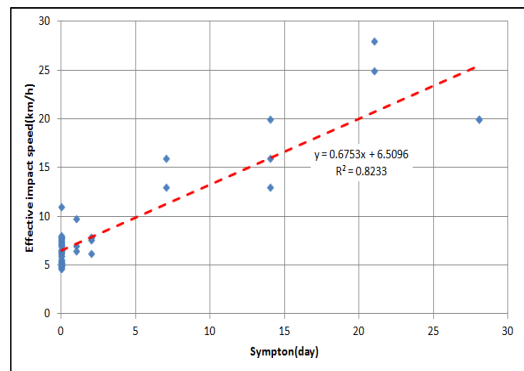


그림 13. 추돌에서 유효충돌속도와 상해정도에 대한 선형 회귀  
 Fig. 13. Linear regression of effective impact speed vs. symptom for the rear-end collision

## V. 결론

본 연구는 자동차 정면충돌과 추돌에 따른 소성변형과 상해와 관련된 선행연구들을 고찰하고, 실험결과와

비교하여 실무에 활용 가능한 추정된 충돌속도에 비례하는 상해정도의 추정을 고찰한 결과로 다음과 같다.

- (1) 저속충돌 사고에서 탑승자의 무게나 키, 나이 등은 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 실제 운전자는 약 7 km/h 이상에서 경미한 통증을 호소하는 것으로 나타났다.
- (2) 정면충돌과 후면충돌의 관계에서는  $Y=1.172X+0.755$  인 선형회귀식 형태로 비례함을 알았다.
- (3) 두 대의 차량이 충돌 또는 추돌할 경우, 이론적 측면에서는 선행 차체에 가속도 결정에 중량이 반비례 관계로 영향을 미치게 되고, 이것이 곧 탑승자에 영향을 미치게 되어 결과적으로는 차량 중량이 탑승자 상해와 관계가 있음을 알았다.
- (4) 정면충돌의 경우 유효충돌속도와 상해발생 정도에 대한 통계적 분석으로 결정계수  $R^2$ 이 91.9%으로 상관성으로 매우 높게 나타내어  $Y=0.682X+10.95$ 의 선형회귀 형태로 모형을 나타낼 수 있었다.
- (5) 추돌사고의 경우 유효충돌속도와 상해발생 정도에 대한 통계적 분석으로 결정계수  $R^2$ 이 82.3%으로 높은 상관성을 얻어  $Y=0.675X+6.509$ 의 선형회귀 형태로 모형식이 나타내어 신뢰성을 도모할 수 있었다.

본 연구를 통하여 향후 다양한 형태에 대한 시험차량 정보와 실제 사고사례들을 심층 분석이 이루어진다면 보다 사고 재구성을 위한 연구는 더욱더 향상될 것으로 사료된다.

## References

- [1] The Road Traffic Safety Authority, "Traffic Accident Analysis System (TAAS)", 2015.
- [2] Seoul Central District Court, "An Engineering Survey Report", 2013 GADAN 5048404, 2013.
- [3] Gwangju District Court, "An Engineering Survey Report", 2013 GADAN 26253, 2013.
- [4] Y. K. Han, S. R. Baek, J. K. Yoon and J. H. Lim, "A Study on Side Impact from Car-to-Car using Finite Element Analysis", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 15, No. 3, pp. 201-209, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.3.201>
- [5] Deutscher. C, "Flow of Movement of Vehicle Occupants in a Rear-end collision : Determining Objective Measured Values for Assessing Type and Severity of Injury", Doctorate in engineering, 1994.
- [6] McConnell W. E, Richard P. H, Jon V. P, et al., "Human Head and Neck Kinematics After Low Velocity Rear-end Impacts Understanding Whiplash." No. 952724, SAE Technical Paper, Proc. Stapp Car Crash Conf. Vol. 39, pp. 215-238, 1995.
- [7] Hans-Wolfgang Henn, "Crash Tests and the Head Injury Criterion", Teaching Mathematics and Its Applications, Vol. 17. No. 4, 1998.
- [8] S. P. Moroney, A. B. Schultz, J. A. A. Miller and G. B. J. Andersson, "Load-Displacement Properties of Lower Cervical Spine Motion Segments," Pergamon Press, pp. 769-779, 1998.
- [9] A. F. Tencer, S. Mirza and K. Benselt, "Internal Loads in the Cervical Spine During Motor Vehicle Rear-End Impacts", Spine, Vol. 27, pp. 34-42, 2002.
- [10] H .C Cho and Y. G. Kim, "A Study on Influence of the Impact Direction on the Neck Injury during Low Speed Rear Impacts", Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 2, pp. 135-142, 2007.
- [11] S. M. Kang and B. J. Ahn, "A Study on the Effect of Delta-V Based on Vehicle Damages and Injuries Subjected by Rear-end Collisions," Journal of the Korean of Safety, Vol. 23. No. 2, pp. 72-80, 2008.
- [12] S. M. Kang and J. H. Kim, "An Empirical Study on the Relationship of Speed Change and Injuries Subjected by Rear-end Collisions," Journal of the Korean Data & Information Science Society, Vol. 20, No. 5, pp. 797-807. 2009.
- [13] S. J. Kim, W. J. Jeon, W. S. Park, Y. G. Seo and K. Son, "Occupant Neck Injury Assessment



Caused by Backward Movement of a Preceding Vehicle at a Low Impact Velocity," Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 3, pp. 66-73. 2013.

DOI <http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2013.21.3.066>.

- [14] K. H. Kim, J. H. Lim, I. S. Park, Y. B. Jeon and J. D. Cho, "A Study on Traffic Accident Reconstruction through Vehicle Crash Test", Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 6, pp. 58-63. 2013.

DOI <http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2013.21.6.058>

- [15] S. G. Park, K. M. Yang, H. S. Lee, N. G. Park, S. W. Hong, J. H. Yu and H. S. Kim, "A Study on Impact on Head and Neck through a Low Speed Rear Impact Test of Volunteers", Korean J Leg Med 37:66-72. 2013.

- [16] S. W. Hong, W. P. Park, S. J. Park. et al., "Motion Analysis of Head and Neck of Human Volunteers in Low Speed Rear Impact", J. Auto-Vehicle Safety), Vol. 4, pp. 37-43, 2012.

- [17] S. K. Kim and H. Y. Choi, "Estimation of Injury Severity of Occupant based on the Vehicle Deformation at Frontal Crash Accident" Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 2, pp. 63-71, 2013.

DOI <http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2013.21.2.063>

- [18] R. L. Wooley, C. E. Strother and M. B. James, "Rear Stiffness Coefficients Derived from Barrier Test Data", SAE paper presented at Int'l Congr. & Expo., Detroit, MI., Feb. 25-Mar. 1, 1991.

## 저자 소개

### 조 정 권(정회원)



- 2000년 : 서울과학기술대학교 기계공학과 학사
  - 2002년 : 고려대학교 기계공학과 석사
  - 2014년 ~ 현재 : 가천대학교 대학원 기계공학과 박사과정 재학 중
- <주관심분야 : 지능형 교통시스템, 자동차사고분석, 자동차공학>

### 윤 준 규(정회원)



- 1996년 ~ 현재 : 가천대학교 기계공학과 교수
- <주관심분야 : 자동차공학, 지능형자동차 IT분야>

### 임 중 한(정회원)



- 1995년 ~ 현재 : 가천대학교 기계공학과 교수
- <주관심분야 : 미래형자동차, 지능형자동차 IT분야>