

## 경미한 교통사고 유형에 관한 연구

### A Study on Representative Types of the Minor Traffic Accident



정동훈



정우택



장영재

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라에서는 많은 교통사고가 발생하는데 피해자가 진단서만 제출하면 11개 주요 항목에 포함된 경우 가해 차량 운전자에게 사고책임을 물어 형사입건하고, 운전면허 정지 및 취소 등 행정처분까지 부과하는 관행이 있으며, 경미한 교통사고의 경우에도 가해자에게 행정적인 처분을 부과하는 등 그 피해가 크다.

또한, 손해보험협회의 2007년 통계자료를 보면 자동차를 이용한 보험범죄가 전체의 70%를 차지하고 있고, 이 중 자동차 교통사고 환자의 96% 이상

이 경상환자임에도 불구하고 입원율이 63.5%로 높게 나타나는 등 가짜환자(일명 나일롱 환자) 문제가 심각한 상황이다.

한편, 첨단 분석장비인 3D스캐너<sup>1)</sup>와 마디모(MADYMO, MATHematical DYnamic MOdel)<sup>2)</sup> 프로그램 등을 이용하면 사고의 발생과정을 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 3차원 동영상으로 나타냄으로써 증거능력 높은 감정결과를 제공할 수 있기 때문에 기존의 감정방법으로 진실규명이 곤란하였던 사건사고 원인을 컴퓨터 시뮬레이션 감정기법을 사용하여 사건의 실제적 진실을 규명할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 사회적으로도 이슈가 되고 있는 경미한 교통사고의 탑승자 상해여부를 첨단분석장비를 활용해 판단하고, 빈번히 발생하는

정동훈 : 도로교통공단 교통사고종합분석센터 사고분석개선처, koroadjdh@koroad.or.kr, Phone: 02-2230-6170, Fax: 02-2230-6159  
 정우택 : 도로교통공단 교통사고종합분석센터 사고분석개선처, jwt2004@hanmail.net, Phone: 02-2230-6069, Fax: 02-2230-6159  
 장영재 : 도로교통공단 교통사고종합분석센터, cyc1218@koroad.or.kr, Phone: 02-2230-6065, Fax: 02-2230-6159

1) 초당 1백만포인트로 현장 구조물의 데이터를 취득하는 장비로, 360°×320°의 스캔 각도로 거의 모든 부분의 스캔 가능하다. 주로 사고현장의 도로 기하구조와 차량변형량 등 객관적이고 정확한 과학적 증거자료를 채증하는데 사용된다.  
 2) 마디모(MADYMO)는 MATHematical DYnamic MOdel(동역학적 모델) 프로그램으로 네덜란드 응용과학연구소(TNO)에서 개발하였고, 탑승자와 보행자의 움직임의 변화 및 상해를 분석함에 있어서 여타 프로그램보다 정밀하고 신뢰성 높은 분석이 가능한 사고 재현 프로그램이다.

경미한 교통사고 유형에 대해 알아보고자 한다.

## 2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 경미사고에 있어 첨단 분석장비를 활용해 실제 교통사고 상황을 시뮬레이션 한 뒤 그 결과값과 기존 선행연구값을 비교해 탑승자의 상해여부를 분석하고자 한다.

즉, 실제 교통사고를 바탕으로 첨단 분석장비인 3D스캐너를 활용하여 사고 현장, 차량 탑승자 등을 정밀 측량 한다. 이후 3차원 데이터를 마디모(MAYDUMO) 프로그램에 적용해 실제와 같은 사고 상황을 시뮬레이션한다. 이를 통해 사고 차량에게 가해지는 속도변화( $\Delta V$ ), 충격가속도(G)와 탑승자의 목상해지수(NIC, Neck Injury Criteria)를 산출한다. 이 시뮬레이션 값을 기존 선행연구에서 탑승자에 상해가 발생하지 않을 무상해 역치값과 비교해 사고 당시 탑승자 경추 부위 등에 상해를 입었는지 여부와 사고 상황을 분석하는 연구를 수행하였다.

또한, 많이 발생하는 경미한 교통사고 유형과 탑승자 상해여부를 제시해 사고조사 실무에 활용하고자 한다.

## 선행 연구 결과

### 1. Thomas J. Szabo 등의 충격실험

피추돌차량의  $\Delta V$  약 8km/h, 충격지속기간 약 100ms, 피추돌차량의 최대가속도는 5-6G에서 경추 하부의 최대가속도는 4.5-7.4G, 요추의 최대가속도는 3.9-5.2G로 나타났다.

위와 같은  $\Delta V$  약 8km/h의 조건에서 자원자들은 실험 전 다양한 정도의 경추 및 요추 변형을 가지고 있었는데 실험 후 MRI 촬영(스캔 자료로 문서화)한 결과 전혀 타각적 변화가 없었고 5명 중 4명의 지원자는 충돌 직후 일시적인 두통이 있었으나 차량에서 내리기 전에 저절로 사라졌으며, 1

명의 여성 지원자는 실험 다음날 아침까지 일시적인 목의 뻣뻣함이 남아있었는데 실험 후 1년 기간에 어떤 증상도 보고되지 않아 어떤 자원자도 충돌로 인한 상해를 전혀 입지 않았다.

### 2. Whitman E. McConnell 등의 저속 후 미추돌 실험

$\Delta V$  8km/h에서 실험 대상자 중 누구에게서도 영구적인 경추 상해로 인해 나타날 수 있는 생체역학적 증상은 관찰되지 않았고, 관련된 어떠한 영구적인 “근육 조직 상해” 증상도 나타나지 않았다.

$\Delta V$  8km/h를 넘어서는 유일한 한 번의 실험에서는 목과 어깨에 전이적 급성 근육 염좌 상해와 목의 후방 근육에 중간 정도의 압축성 염증을 입을 가능성이 증가함으로써  $\Delta V$  8km/h는 여전히 상해 가능성을 평가하는데 편리한  $\Delta V$  역치(threshold)이다.

### 3. Thomas J. Szabo 등의 충격실험

상대충돌속도 16km/h,  $\Delta V$  10km/h에서 어떤 피실험자도 부상을 입지 않았다. 근전도검사상 경추 및 요추 주변근육 등의 활성화에도 이상이 없었으므로 머리지지대가 존재하고 비교적 “정상적인” 최초의 착석 자세가 보장된다면  $\Delta V$  8km/h 이하의 추돌사고는 건강한 승차자가 부상을 입지 않고 견뎌낼 만한 것이라 할 수 있다.

### 4. Thomas A. Braun 등의 저속 추돌실험

피추돌차량의  $\Delta V$  2.4-7.2km/h에서 여러 번 충격 실험에 노출된 세 명의 참가자가 통증이 아닌 가벼운 목 뻣뻣함을 호소하였으나 별다른 입원 없이 하루 안에 사라졌고, 대부분의 참가자는 상해를 입거나 상해 징후를 나타내지 않았다.

적절한 머리지지를 받은 정상 자세의 건강한 성인이 심각한 상해위험 없이 7.2km/h 이하의  $\Delta V$

를 견딜 수 있는 것으로 나타난 것은 피실험 자원이 자가 상해를 일으키지 않는  $\Delta V$ 는 8km/h 정도라는 다른 연구 데이터와 일치하는 것이다.

이 연구의 저속후미 추돌실험에서 실험참가자의 주관적인 느낌을 통해 일상생활 중 특정활동(의자에 앉을 때, 한걸음 받을 때, 의자에 털썩 주저 앉을 때)에서 인체 머리에 가해지는  $\Delta V$ 는 4.8km/h 이하인 점을 확인하였다.

### 5. Maria Krafft 등의 분석연구

6개월 후에도 증상이 남아 있는 경우는 “장기 결과”, 6개월 미만에 치유가 된 경우에는 “단기 결과”로 표시하였는데, 최대가속도가 10.1G로 측정된 탑승자들은 1개월 미만의 단기적 AIS 1등급의 목 상해 현상을 보였다.

12.6G의 최대가속도는 6개월 이상 장기적 AIS 1등급의 목 상해결과를 초래 할 수 있으며, 높은  $\Delta V$  28km/h라 하더라도 평균가속도가 6G 미만이고 뚜렷한 최대가속도가 존재하지 않으면 장기적인 AIS 1등급의 목 상해결과를 초래하지 않았다.

표 1. 추돌 충격 실험연구의 탑승자 경추 무상해 역치( $\Delta V$ )

관련 연구	무상해 역치 (속도변화 $\Delta V$ )
Thomas J. Szabo(1994) Murray Kornhauser(1996) Whitman E.McConnell 등(1995)	약 8km/h
Thomas A. Braun 등(2001) Judson B. Welcher 등(2001) Thomas J. Szabo and Judson B. Welcher(1996) Polat Sendur, Robert Thibodeau (2004) Maria Kraft등(2001)	약 10km/h

표 2. 추돌 충격 실험연구의 탑승자 경추 무상해 역치(G)

관련 연구	무상해 역치 (충격가속도 G)
D. Hynd, M van Ratingen(2005)	평균 3G
Maria Kraft 등(2001)	평균 4G
Thomas J. Szabo 등(1994)	최대 5-6G
Maria Krafft 등(1998)	평균 6G
David S. Zubly 등(1999)	최대 7G

위와 같이 경미한 교통사고에 대한 실험 연구는 추돌사고 시 가장 발생하기 쉬운 경추 상해를 중심으로 수행되어 왔으며, 그 연구 결과를 정리하면 표 1, 2와 같다.

## 경미한 교통사고 유형 분석

### 1. 경미한 교통사고 감정방법

경미사고에서 탑승자 상해 여부를 분석하기 위해서는 경미사고에서 가장 쉽게 발생하는 경추 상해 발생 메커니즘에 대해 숙지해야 한다. 또한, MADYMO 프로그램 시뮬레이션 상에서 사고 당시 탑승자의 경추 상해를 분석하기 위한 판단기준을 아래와 같이 선정해야 한다.

#### 1) 경추상해의 정의

교통사고 시 목(경부)에서 발생하는 경미한 상해를 총칭하고, 의학적으로는 경부의 해부학적 구조물(근육, 인대, 관절 및 골조직 등)이 예기치 못한 머리의 전후좌우 운동으로 인해 생리적 한계를 넘는 상해를 지칭한다.

일반적으로 추돌사고를 당한 승차자의 상체는 뒤로 젖혀지게 되는데 몸통 부위는 자동차 시트에 의해 지지가 되나 머리부위는 뒤로 넘어가게 되어 목 부위에 경추염좌 등의 상해를 유발한다.

#### 2) 탑승자 상해도 분석 방법

인체의 상해 정도는 충격부하(유효충돌속도, 충격가속도)가 클수록 커지기 때문에 사고와 상해와의 인과관계를 공학적으로 규명하기 위해서는 충격부하를 추정하고, 추정된 충격부하를 신체의 각 부분 충격내성과 비교해야 한다. 인체가 받는 충격부하의 크기는 차량의 충돌로 인한 속도변화( $\Delta V$ )와 충격가속도(G)로 표시할 수 있고, 충격부하에 견딜 수 있는 한계라고 할 수 있는 인체의 충격내성 또는 상해역치(injury threshold)를 초과하면 탑승자는

부상을 입게 된다.

따라서 승차자의 경추손상에 대한 충격부하를 판단할 수 있는 기준은 차량의 속도변화( $\Delta V$ ) 및 충격가속도(G)와 목상해지수(NIC, Neck Injury Criteria)이므로 각각 판단 기준에 따라 아래와 같이 탑승자의 경추 상해를 분석한다.

### 3) 속도변화( $\Delta V$ )에 따른 탑승자 상해분석

두 차량이 충돌하게 되면 서로 운동량(질량×속도)을 교환해 찌그러짐(소성변형)을 동반하면서 충돌을 완료하여 맞물린 두 차량은 반드시 속도가 같게 되는데, 최초 충돌할 때의 속도로부터 양 차량이 공통속도에 도달(충돌을 완료)할 때까지의 속도변화를  $\Delta V$ (유효충돌속도)라고 한다.

추돌충격에 의한 피추돌차 속도변화( $\Delta V$ )의 상해역치에 대한 연구결과에 의하면 추돌차의 탑승자 경추에 상해가 일어나지 않을 무상해 역치는 표 1의 선행연구 결과와 같이 약 8-10km/h이다.

### 4) 충격가속도(G)에 따른 탑승자 상해분석

충격가속도( $m/s^2$ )란 충돌로 인한 단위시간당(dt) 속도변화량(dv), 즉, 충격지속시간당 속도변화로서 충돌시간이 짧고 속도변화가 클수록 증가한다.

추돌충격에 의한 피추돌차 충격가속도(G) 상해역치에 대하여 연구결과에 의하면 추돌차의 탑승자 경추에 상해가 일어나지 않을 무상해 역치는 표 2의 선행연구 결과와 같이 평균 충격가속도 3-6G, 최대 충격가속도 5-7G이다.

### 5) 목상해지수(NIC, Neck Injury Criteria) 따른 탑승자 상해 분석

목 부위 상해를 평가하기 위해 스웨덴 Folksam Research에서 목상해지수(NIC, Neck Injury Criteria)를 개발하였는데, NIC지수는 두부와 몸통 사이의 동적 상대운동량을 목부위 상해 위험도로 정량적인 표현을 통해 탑승자 상해 여부를 판단할 수 있다.

$$NIC = 0.2 \times (a^{rel}(t)) + [V_x^{rel}(t)]^2$$

여기서,  $a^{rel}$ 과  $V_x^{rel}$ 은 각각 가슴과 머리 중심 사이의 상대가속도 및 속도

Folksam Research 연구(2003)에 따르면 NIC의 상해임계치는  $15m^2/s^2$ 이고, 이는 한 달 이상의 증상을 보일 확률이 20%, 초기 증상을 동반한 한 달 이하의 증상을 보일 확률은 50% 정도이다.

따라서, 선행 연구의 경추 상해 무상해 역치값인 속도변화( $\Delta V$ ), 충격가속도(G) 및 목상해지수(NIC)를 기준으로 첨단장비를 활용해 사고 상황을 시뮬레이션한 결과값과 비교·분석할 뿐만 아니라 교통사고분석 경력 20년 이상의 전문가의 공학적 감정 견해와, 사고 당시 탑승자의 거동변화 분석까지 다각도로 탑승자의 상해 여부를 판단하였다.

## 2. 후미 추돌사고

### 1) 사고 개요

차량 정체로 아반떼가 정차하고 있었고, 그 뒤에 진행하던 SM5가 아반떼 후미를 추돌한 사고이다. 아반떼 운전자는 본 사고로 인해 '어깨 관절의 염좌 및 긴장', '요추의 염좌 및 긴장'의 병명으로 약 2주 상해 진단을 받았다.

### 2) 사고 차량 파손 상태

SM5는 그림 1과 같이 전면 번호판 좌측 상단



그림 1. SM5 전면 번호판 파손 상태



그림 2. 아반떼 후면 파손 상태

부위와 좌측 부위의 테두리가 일부 탈락된 상태이고 전면번호판 부근의 범퍼가 일부 굴곡진 형태의 손상상태를 보인다. 아반떼는 그림 2와 같이 후미 범퍼에서 약간의 굽힌 손상상태를 보이는 것으로 확인된다.

### 3) 감정 결과

SM5는 충돌시 속도가 약 10km/h 내외였을 개연성이 있는 것으로 추정되고, 이를 토대로 MADYMO 시뮬레이션 분석을 실행한 결과, 아반떼는  $\Delta V$ (유효충돌속도)  $\Delta 4.3\text{km/h}$ (상해 역치  $\Delta 8\sim 10\text{km/h}$ )의 속도 변화와 3.26G(상해 역치 5~7G) 충격가속도가 발생되어 아반떼 운전자가 상해가 입을 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

## 3. 측면 충돌사고

### 1) 사고 개요

썰라토 운전자는 2차로에서 3차로로 진로 변경 중에 4차로에서 3차로로 진로를 변경한 테라칸 차량과 충돌한 사고라고 주장하고, 테라칸 운전자는 4차로에서 3차로로 진로 변경하여 약 15초간 정지한 상태에서 썰라토 차량이 충돌한 사고라고 주장한다. 테라칸 운전자는 본 사고로 인해 '경추의 염좌 및 긴장, 요추의 염좌 및 긴장, 뇌진탕'의 병명으로 약 2주 상해 진단을 받았다.

### 2) 사고 차량 파손 상태

썰라토는 그림 4와 같이 전면 범퍼가 탈거되고



그림 3. 양 차량 충돌 자세



그림 4. 썰라토 우측 앞부분 파손 상태



그림 5. 테라칸 좌측 앞부분 파손 상태

우측 앞부분 펜더가 약간 찌그러졌으며 굽힌흔적이 확인된다. 테라칸은 그림 5와 같이 좌측 앞부분 범퍼와 펜더에 다수의 굽힌흔적이 식별된다.

### 3) 감정 결과

썰라토와 테라칸은 약 10~20km/h의 속도로 측면끼리 충돌한 것으로 추정되고, 이를 토대로 MADYMO 시뮬레이션 분석을 실행한 결과, 테라칸은  $\Delta V$ (유효충돌속도)  $\Delta 1.62\text{km/h}$ (상해 역치  $\Delta 8\sim 10\text{km/h}$ )의 속도 변화와 1.69G(상해 역치 5~7G) 충격가속도가 발생되어 테라칸 운전자가 상해가 입을 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

#### 4. 직각 충돌사고

##### 1) 사고 개요

그레이스는 직진 주행하고 SM3는 좌회전 주행 하면서 불상의 신호에 그레이스 차량이 저속 또는 정지한 상태에서 SM3 전면부분을 그레이스 우측면 부분으로 긁고 지나쳐 SM3 운전자에게 3주간의 치료를 요하는 상해를 입게 한 사고이다.

##### 2) 사고 차량 파손 상태

그레이스 파손상태를 살펴보면 본 사고에 의해 발생된 것으로 추정되는 손상은 우측 범퍼 모서리 부근에서 조수석 도어 앞부분에 이르기까지 그리고 우측 도어와 우측 후륜 부근까지 발생한 굽힌흔적인 것으로 추정되며, 차량의 노후화로 인해 차량 도색이 벗겨져 부식된 부분은 본 사고와의 직접적인 연관성을 없을 것으로 사료된다.

SM3의 파손부분을 살펴보면 전면 좌측 미등 부근에서 번호판에 이르기까지 검게 문질러진 흔적이 관찰되고 본 사고에 의해 번호판 고정볼트 한 쪽이 탈락되며 소성변형되고 굽힌흔적이 관찰된다.



그림 6. 그레이스 전면 우측모서리 파손상태



그림 7. SM3 전면 파손상태

##### 3) 감정 결과

본 사고는 교차로에서 직진하던 그레이스와 좌회전 하려던 SM3간 발생한 사고로 파손 상태 및 양 차량의 정지위치를 토대로 하면 충돌 시 SM3의 속도는 0km/h 내외였을 것으로 추정되고, 그레이스는 충돌 후 약 5m 이동 후 정지한 점으로 보아 충돌 시 약 18km/h 내외로 진행하였을 것으로 추정된다.

이를 토대로 MADYMO 시뮬레이션 분석을 실시한 결과, SM3는  $\Delta V$ (유효충돌속도)  $\Delta 0.2\text{km/h}$ (상해 역치  $\Delta 8\sim 10\text{km/h}$ )의 속도 변화와  $0.73\text{G}$ (상해 역치  $5\sim 7\text{G}$ ) 충격가속도가 발생되어 SM3 운전자가 상해가 입을 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

#### 5. 사이드미러 접촉사고

##### 1) 사고 개요

CR-V는 편도 3차선 도로 중 2차로를 주행 중 전방에 같은 차로를 직진하던 알페온을 앞지르고 좌측 1차선을 통과하면서 CRV 조수석 사이드미러 부분으로 알페온 운전석 사이드미러 부분을 충격한 사고이다.

##### 2) 사고 차량 파손 상태

CR-V 우측면에는 그림 8과 같이 차체 소성 변형과 같은 파손 흔적이 확인되지 않은 상태이며, 알페온은 그림 9와 같이 좌측 후사경 커버 부분이 깨진 것으로 확인된다.



그림 8. CR-V 우측 후사경 파손상태



그림 9. 알페온 좌측 후사경 파손상태

### 3) 감정 결과

사고 당시 CR-V의 주행속도는 약 120.6km/h, 알페온의 주행속도는 약 73.8km/h로 추정되고, 이를 토대로 MADYMO 시뮬레이션 분석을 실행한 결과, 알페온은  $\Delta V$ (유효충돌속도)  $\Delta 0.36\text{km/h}$  (상해 역치  $\Delta 8\sim 10\text{km/h}$ )의 속도 변화와 0.25G (상해 역치 5~7G) 충격가속도가 발생되어 알페온 운전자가 상해가 입을 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구는 첨단과학장비인 3D스캐너와 MADYMO 프로그램을 통해 경미한 교통사고에서 탑승자가 상해를 입을 수 있는지 여부를 분석하고 경미한 교통사고 유형을 제시하는 목적으로 수행되었다.

분석을 위해 실제 사고사례를 선정하였으며 사고 상황을 시뮬레이션 한 결과 값과 기존 실험 연구 결과 값을 비교해 탑승자의 상해 여부를 분석하였

으며 가장 많이 발생하는 경미한 교통사고 유형은 표 3과 같다.

위 사례와 같이 후미추돌사고에서는 범퍼에 긁힌흔적이나 번호판 직힌흔적 등만 확인되고 찌그러진 흔적이 식별되지 않으면 탑승자 상해는 발생하기 어려운 것으로 분석됐다. 스침충돌사고는 후미추돌사고에 비해 충격력이 탑승자에게 전달되기 어려운 자세이기 때문에 차량의 속도가 다소 높고 하더라도 탑승자의 상해가 발생하기 어려울 것으로 판단된다. 직각충돌의 경우에는 스치듯한 직각충돌의 경우에 한해 탑승자의 상해가 발생하기 어려울 것으로 사료되며, 후사경 충돌사고는 후사경이 파손되더라도 차체의 전달되는 충격력은 극히 작아 탑승자의 상해가 발생할 가능성은 매우 낮은 것을 알 수 있다.

국내에서는 경미한 교통사고에 대해 탑승자 상해에 관련된 연구가 부족한 실정이다. 향후에는 국외처럼 실험인을 차량에 탑승시켜 추돌실험을 수행해 국내 실정에 맞는 경추상해도 기준값 선정이 필요하기 때문에 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

또한 기 분석된 경미교통사고 감정서를 토대로 경미한 교통사고에서 상해기준표 작성을 통해 실무에서 활용할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하며, 향후 사법기관(경찰, 검찰, 법원)에서는 수사자료, 의학적 소견, 공학적 감정 등을 근거로 경미한 교통사고에 대해 단 한명의 억울한 피해자가 발생하지 않도록 공정한 판단이 필요할 것이다.

표 3. 경미한 교통사고 유형 사례

차종	충돌 자세	충돌부위	충돌속도(km/h)	유효충돌 속도( $\Delta V$ )	최대충격 가속도(G)	상해 여부
SM5	후미추돌	앞범퍼	10km/h	-	-	
아반떼		뒷범퍼	0km/h	4.3km/h	3.26G	X
세라토	측면충돌(스침)	우측면 앞부분	20km/h	-	-	
테라칸		앞범퍼 좌측모서리	10km/h	1.62km/h	1.69G	X
그레이트	직각충돌	우측면 앞부분	18km/h	-	-	
SM3		전면부(앞범퍼)	0km/h	0.2km/h	0.73G	X
혼다 CR-V	후사경충돌	우측 후사경	120.6km/h	-	-	
GM 알페온		좌측 후사경	73.8km/h	0.36km/h	0.25G	X

## 참고문헌

- 강성모 (2009), 후미추돌사고의 충격정도에 따른 승차자의 상해심각도 추정에 관한 연구, 동국대학교 박사학위논문.
- 박성지 (2008), 컴퓨터시뮬레이션을 통한 교통사고 검증과 재현의 중요성, 손해보험협회, 16-27.
- 삼성교통안전문화연구소 (2004), 헤드레스트 사용 실태 및 경추염좌 상해 민감도 분석, 11-22.
- D. Hynd, M van Ratingen, Challenges in the Development of a Regulatory Test Procedure for Neck Protection, Paper Number 05-0048, www-nrd.dot.gov
- Thomas J. Szabo et al. (1994), Human Occupant Kinematic Response to Low Speed Rear-End Impact, SAE Paper No.940532, 23-34.
- John J. Smith (1999), An Analysis of 72 Real World Impacts-An Initial Investigation into Injury and Complaint Factors, SAE Paper No.1999-01-0640, 3-5.
- Maria Kraft et al. (2001), The Correlation between Crash Pulse Characteristics and Duration of Symptoms to the Neck-Crash Recording in Real Life Rear Impacts, SAE Paper No.2001-06-0040, 1-9.
- Murray Kornhauser (1996), Delta-V Thresholds for Cervical Spine Injury, SAE-Paper No.960093, 1-12.
- Thomas A. Braun et al. (2001), Rear-End Impact Testing with Human Test Subjects, SAE Paper No.2001-01-0168, 1-6.
- Thomas J. Szabo and Judson B. Welcher (2001), Human Subject Kinematics and Electromyographic Activity During Low Speed Rear Impacts, SAE Paper No. 962432, 295-312.
- Whitman E. McConnell et al. (1995), Human Head and Neck Kinematics After Low

Velocity Rear-End Impact s-Understanding 「Whiplash」, SAE Paper No. 952724, 215-229.