

# 후미추돌사고의 유효충돌속도가 차량손상 및 승차자 상해에 미치는 영향에 관한 연구

강성모<sup>†</sup> · 안병준<sup>\*</sup>

동국대학교 대학원 안전공학과 · \*동국대학교 안전환경시스템공학과  
(2008. 2. 11. 접수 / 2008. 4. 14. 채택)

## A Study on the Effect of Delta-V Based on Vehicle Damages and Injuries Subjected by Rear-End Collisions

Sung-Mo Kang<sup>†</sup> · Byung-Joon Ahn<sup>\*</sup>

Graduate School of Safety Engineering, Dongguk University

\*Department of Safety Engineering, Dongguk University

(Received February 11, 2008 / Accepted April 14, 2008)

**Abstract :** In a case of an automobile collision, vehicle damage and injury of the driver and the passenger occur. The scale of the collision which is effected by the extent of vehicle damage and the injury of the passenger, depends on the delta-V. Based on the photograph interpretation of the actual case of accidents in the Seoul and the Incheon area, this study measured the depth of crush and calculated the delta-V. Through verifying the correlation of the depth of crush and the change of velocity, relative equation was evaluated and compared with the prior study results to prove that they are almost identical. Thus, the depth of crush can be used as an index of the degree of impact, which can be utilized as the change of velocity to evaluate the level of injury done to the passengers. However, the period of hospitalization and diagnostics claimed by the injured proves to have no correlation with the delta-V and the extent of vehicle damage, this is due to the non-objective way of diagnosis and the anamnesis of the injured. This study established the absolute limit harmlessness and the choosing limit harmlessness, allowing the appraisal for Yes or No of the injury or the harmlessness based on the prior studies. Moreover, utilizing the relative equation formed between the depth of crush and the delta-V, each case of collision was compared and evaluated in comparison to the limit harmlessness to prove that the 90.4% of the so-called ‘claiming-to-be-injured’ were exaggerating or fabricating.

**Key Words :** rear-end collisions, delta-V, change of velocity, extent of vehicle damages, severity of injuries, barrier equivalent velocity, impact acceleration, biomechanical limit harmlessness

### 1. 서 론

차량에 충돌사고가 일어나면 먼저 부딪침에 의한 차량의 파손과 함께 차량 승차자의 신체가 충격을 받아 부상을 입기도 하는데 사고의 규모라고 할 수 있는 충격의 크기에 따라 차량의 손상정도나 승차자의 부상이 다르게 나타난다.

자동차추돌사고는 각 개별사고의 규모면에서 다른 유형의 사고보다 대체로 경미하지만 전체 교통사고에 대한 구성비가 높고, 부상을 과장하거나 거짓 주장하는 도덕적 해이(moral risk)의 문제점이 제

기된 것은 오래된 사안이다. 그런데도 사고의 규모와 관련차량 승차자의 부상정도에 관한 비교 연구, 즉, 사고의 규모에 따른 승차자의 충격정도에 관한 심층연구는 국내에서 전혀 이루어지고 있지 않다. 그러나 국외의 경우 일본이나 미국에서는 사체나 dummy를 활용한 충돌시험으로부터 인체에 작용하는 충격정도를 충격가속도(Impact Acceleration)로 나타내고 인체의 충격내성에 대한 연구는 다수가 있으나 실제 사례에서 추출한 실증적 연구는 극히 제한적이다.

일본에서 행한 실증적 연구에서 Taizo Nagano와 Hitoshi Maeda<sup>1)</sup>는 사고차량의 사진이나 차량손해사정보고서 등 차량파손정도에 대한 자료를 얻을 수

<sup>\*</sup>To whom correspondence should be addressed.  
tech@accident.kr

있었던 사례 10건에 대하여 실시하였는데, 차량파손과 승차자의 부상정도의 관련성에 관한 파손의 정량적 측면의 심층 연구는 없고 단지 각 개별사고에 관한 의학적 측면의 고찰만 있고, 위 연구<sup>1)</sup>의 연속된 2번째 연구<sup>2)</sup>는 피해차량의 사진을 입수할 수 있었던 45건에 대해 차체변형량과 진료기간에 대하여 조사하였다. 또한 Takehiko Takatori<sup>3)</sup>는 경미한 차량사고와 편타중에 관하여 20건의 사례를 통해 의학적 및 배상의학적 측면에서 고찰하였다. 이상의 연구는 Shiro Hamamura 등<sup>4)</sup>의 연구(대물배상사고 239건, 대인배상사고 910건으로부터 차량의 찌그러짐의 깊이의 등급별 발생분포와 입·통원진료일수를 조사)를 제외하고는 사례의 샘플수가 적은 연구이다.

그런데 위의 연구들은 수집사례건수가 적거나 의학적 고찰에 치중하고 있거나 각 개별사고에 대한 유효충돌속도의 산출이 누락되어 있고, 폭넓은 실제 사례를 통한 실증적 연구를 찾아보기 어렵다는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 선행연구의 미비점을 보완하여 우리 사회에서 발생하는 자동차 교통사고의 실제 사례의 수집사례건수를 넓히고 차량파손량에 대한 축정에 있어서 정밀도를 높이는 한편 각 개별사고의 유효충돌속도와 충격가속도를 산출함으로써 외형적으로 나타난 사고의 규모의 척도인 차량의 손상정도와 차량승차자의 인체상해정도의 상관관계에 관한 분석 고찰을 주목표로 하였다.

## 2. 선행연구 및 이론

차량끼리 충돌하면 충돌차량에는 속도변화  $dV$ (유효충돌속도)가 발생<sup>5)</sup>하고, 사고의 심각도(severity)로서 나타나는 차량의 파손과 승차자의 부상은 충격가속도의 크기에 따라 증대되므로 사고의 심각도와 충격가속도 양자 사이의 관계가 매우 중요하다. 또한 충격가속도는 유효충돌속도를 알면 산출이 용이하므로 결국 사고의 심각도에 관한 객관적 자료로부터 유효충돌속도를 알아내는 것이 무엇보다도 중요하다.

그런데 차량의 파손은 실물의 육안에 의한 관찰 및 축정이나 사진을 통한 손상량의 계량화가 가능하여 객관성이 확보되는데 비하여, 승차자의 부상은 넓은 범위의 등급으로 분류하는 정도일 뿐 계량화가 용이하지 않아 객관성 확보가 어려우므로 선행연구들은 차량 파손량과 유효충돌속도의 관계를 콘크리트로 만들어진 고정장벽(barrier)을 사용한 충

돌실험에 의해 알아내고 있다.

### 2.1. 유효충돌속도의 결정요인

자동차 충돌사고가 발생하면 충돌직전의 주행속도인 충돌개시속도 중 일부의 속도만큼 자동차의 파손에 기여함과 동시에 승차자의 신체에 충격이 작용하는 충돌현상에 의해 발생하는 속도변화를 유효충돌속도<sup>6)</sup>(Change of Velocity<sup>7,8)</sup> 또는 Delta-V<sup>9,10)</sup>)라 하고, 이를 고정 장벽충돌환산속도(Barrier Equivalent Velocity)로 치환하여 아래 식 (1)과 같이 정의 할 수 있는데, 이것은 충돌 양 차량의 상대충돌속도를 양 차량 질량의 역비로 배분한 것으로 두 차량의 주행속도 및 질량에 따라 변화 한다<sup>6,11,12)</sup>. 또한 본 연구에서는 추돌사고에 대한 피추돌차의 파손 및 승차자의 충격에 집중하고 있으므로 피추돌차에 대한 유효충돌속도를 식으로 나타내면 (1)과 같다.

$$V_{e2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (V_{10} - V_{20}) \quad (1)$$

여기서,  $V_{e2}$  : 피추돌차의 유효충돌속도,  $m_1$  : 추돌차의 질량,  $m_2$  : 피추돌차의 질량,  $V_{10}$  : 추돌차의 추돌속도,  $V_{20}$  : 피추돌차의 추돌시 속도

따라서 피해차인 피추돌차의 유효충돌속도를 산출하기 위하여 중요한 사고 상황자료는 양 차량의 질량과 추돌개시속도이다.

### 2.2. 유효충돌속도와 충격가속도의 관계

충격가속도는 차체가 받는 가속도와 차량의 승차자의 두부가 받는 가속도가 있는데 동일 충돌에서 발생하는 크기는 서로 다르다. 고정벽충돌환산속도로 치환하여 나타내는 충돌의 크기인 유효충돌속도와 차체 및 차량 승차자 두부가 받는 충격가속도의 관계는 Satou의 실험 데이터<sup>13)</sup>에 의하면, 식 (2)와 같이 차체가 받는 최대가속도  $a(G)$ 는 고정벽충돌환산속도  $V_e$ 의 0.43배이고, 차량 승차자 두부가 받는 충격가속도  $a_h$ 는 식 (3)과 같이 차체가 받는 최대가속도  $a(G)$ 의 2배이다. 따라서 두부 충격가속도( $a_h$ )는 식 (4)와 같이 유효충돌속도( $V_e$ )의 0.86배가 된다.

$$a = 0.43 \cdot V_e \quad (2)$$

$$a_h = 2 \cdot a \quad (3)$$

$$a_h = 0.86 \cdot V_e \quad (4)$$

### 2.3. 유효충돌속도 · 충격가속도와 상해의 관계

W. H. M. Castro 등<sup>14)</sup>은 머리지지대가 장착되어 있는 후미추돌시의 속도변화( $\Delta V$ ) 15km/h까지는 경주의 과신전이 발생하지 않는다면서 “생체역학적 무상한계(biomechanical limit harmlessness)”는 유효 충돌속도 10~15km/h 사이에서 존재한다는 것이고, Tohru Kojima<sup>15)</sup>는 차량 질량이 비슷한 경우 5km/h 이하의 추돌에서는 headrest가 없는 경우라도 편타 손상(Whiplash Injury)이 발생하지 않는다고 하였고, Hitoshi Maeda와 Taizo Nagano<sup>16)</sup>는 건강한 성인에게 편타증이 발생하는 역치는 경부를 긴장시키지 않은 상태에서 차체의 최대가속도 약 5~6G, 운전자의 두부최대가속도 약 9~10G 정도로 추정되고 이 정도의 충격가속도가 발생하는 추돌의 고정벽 충돌환산속도는 Satou의 그림을 참조하면 대략 12~14km/h 정도에 상당한다는 것이다. 본 논문에서는 이상의 선행연구결과를 종합하여 후미추돌사고로 인한 상해와 비상해의 절대적 한계선을 유효충돌속도 10.5km/h 또는 두부충격가속도 9G로 설정하고, 선택적 상해한계선은 유효충돌속도 14km/h 또는 두부충격가속도 12G로 설정한다.

### 2.4. 차량 파손량 · 유효충돌속도와 충격가속도의 관계

1980년 JARI(Japan Automobile Research Institute)의 “자동차 연구”에 발표한 Matsugawa와 Ishigawa의 실차를 사용한 고정벽충돌실험<sup>17)</sup>에서 얻은 Fig. 1의 차량 파손량  $X$ 와 유효충돌속도  $V_e$ 의 관계에서 초속으로 되어 있는  $V_e$ 를 시속으로 변환시키면 다음 식 (5)가 성립한다.

$$V_e(km/h) = 58.0X(m) + 7.7 \quad (5)$$

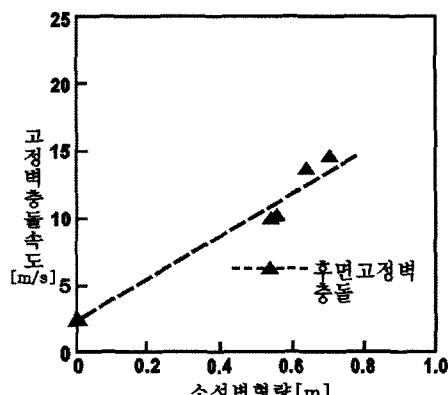


Fig. 1. BEV & extent of vehicle damage(1).

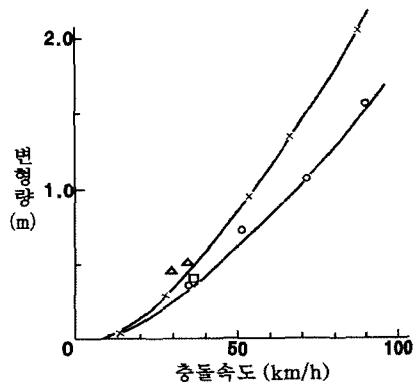


Fig. 2. BEV & extent of vehicle damage(2).

1991년 Wooley<sup>18)</sup>가 차량후부의 변형특성을 알기 위해 1대의 차량을 여러번 후퇴시켜 고정벽을 충돌하는 실험 데이터에서 추출한 차체변형량과 고정벽 충돌속도의 관계는 Fig. 2와 같은 바, 일차식과 같은 완전한 선형을 이루지는 않지만 이를 1차식으로 나타내면 아래 식 (6)과 같다.

$$V_e(km/h) = 53.2X(m) + 8.3 \quad (6)$$

1986년 Hitoshi Maeda · Taizo Nagano는 차량파손이 범퍼의 일부에만 나타나는 경우(차체변형량은 대략 6~8cm 이하)에 대하여는 Morita의 강철제 반원통 기둥을 사용한 실험데이터와 trunk room까지 변형이 미친 경우(차체변형량 대략 10cm 이상)에 대하여는 Matsugawa와 Ishigawa의 실차를 사용한 고정벽충돌실험에 의해 얻은 차량 후부의 변형특성의 근사식을 참고로 하여 각각의 경우에 있어서 피추돌차량의 질량을  $m(kg)$ 이라고 하고 차량이 받는 가속도의 최대치  $a(G)$ 와 차체변형량  $X(m)$ 의 관계를 다음 식 (7), (8)과 같이 얻을 수 있다고 추정하였다<sup>19)</sup>.

차체변형량 6~8cm 이하의 경우

$$a = \frac{61200X}{m} \quad (7)$$

차체변형량 10cm 이상의 경우

$$a = \frac{3270 + 26100X}{m} \quad (8)$$

### 2.5. 후미추돌사고에 관한 충격정도의 산출 및 상해유무의 평가방법

추돌사고에 관련된 추돌차량과 피추돌차량의 추돌시 속도로부터 상대충돌속도를 구하고(순서 1),

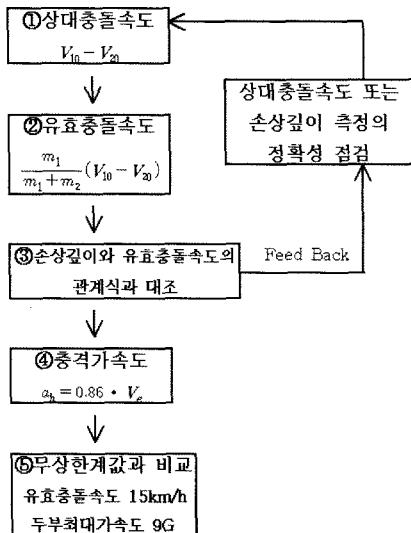


Fig. 3. Procedure of evaluation on injury/harmlessness.

양차량의 중량을 식 (1)에 대입하여 유효충돌속도를 산출(순서 2)한 다음, 식 (4)에 대입하여 충격가속도를 산출(순서 4)한다. 마지막으로 선행연구에 의한 인체의 상해발생의 역치 또는 생체역학적 무상한계값에 비교하여 상해유무를 평가(순서 5)한다.

단, 순서 2에서 산출한 유효충돌속도는 사고의 규모에서 추정되는 충격의 크기와 유사성이 있는가에 대한 확인 절차를 거쳐야 하는데, 확인방법으로서 피추돌차량의 손상깊이와 유효충돌속도의 관계에 대한 일반식(이 논문의『3.4 피추돌차량의 손상량과 유효충돌속도의 상관관계』의 결과로부터 추출한 식(11))과 대조(순서 3)해 본다. 그리하여 오차가 클 경우에는 순서 1로 되돌아가 상대충돌속도에 부정확성이 없었는지 또는 손상깊이의 측정이 잘못되었는지를 점검하여 수정한 후 재차 순서 2에 의해 유효충돌속도를 구하고, 상대충돌속도에 대한 수정요소가 없을 경우에는 손상깊이자료를 식(11)에 대입하여 유효충돌속도를 산출한다. 이렇게 하여 산출한 유효충돌속도가 식(11)에 대입하여 산출한 유효충돌속도와 오차가 클 경우는 평가를 유보해야 할 것이다. 또한 상대충돌속도를 알 수 없을 경우에는 순서 1, 순서 2를 생략하고, 측정한 피추돌차량의 손상깊이로부터 손상깊이와 유효충돌속도의 관계에 대한 식(11)에 대입하여 유효충돌속도를 산출(순서 3)한 다음 순서 4, 순서 5에 따른다.

### 3. 연구방법 및 분석

#### 3.1. 연구방법

##### 3.1.1. 자료설명

이 연구를 위한 조사는 특정 보험관련 회사에서 2005년과 2006년 동안 취급한 교통사고 중 서울특별시 일부지역(강동구, 송파구, 광진구, 성동구, 강남구, 서초구, 동작구 일부, 용산구 일부, 관악구 일부)과 인천직할시 전 지역에서 발생한 추돌사고를 대상으로 하되, 피해차량이 외국산 차량, 트럭·버스 등 대형차량, 2회 이상의 충격이 있었던 차량, 파손사진자료가 없는 차량은 제외하였다. 그리하여 가해차량인 영업용택시는 차명이 일정하여 중량은 1,360~1,480kg으로 한정되어 있고 피해차량은 승용차 1177건, SUV차량 102건으로 총 대상건수는 1279건이 되었다.

##### 3.1.2. 연구방법

특정 보험관련 회사에 보관된 사고처리자료 중 위 조사대상의 추돌사고를 골라내어 차량파손사진을 칼라복사 하였으며, 인체부상에 관한 자료는 사고접수번호별로 직접 자료를 발췌하였다.

손상깊이는 칼라 복사한 차량파손사진을 토대로 손상량의 정확도를 기하기 위하여 각 차량들의 제원을 일정 축척비율로 하고 격자(grid-iron)를 밀에 깐 측면도와 평면도상에 손상구역(damage area)을 표시한 후 격자의 수를 세어 측정하였다.

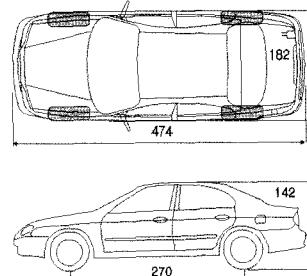


Fig. 4. A ground plan &amp; elevation of vehicle.

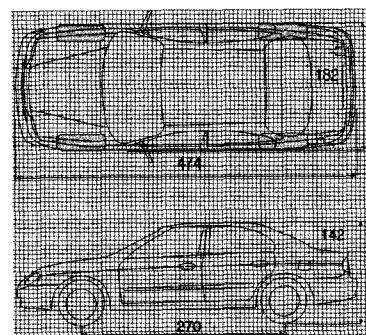


Fig. 5. A Ground plan &amp; elevation of vehicle with grid-iron.

손상 깊이와 피해차의 유효 충돌 속도와의 관계

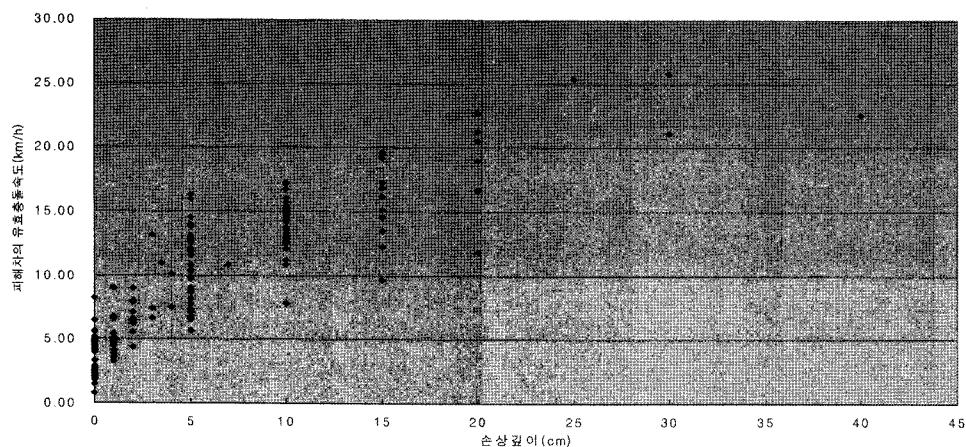


Fig. 6. Correlation of extent of damages & delta-V for equipment damage only.

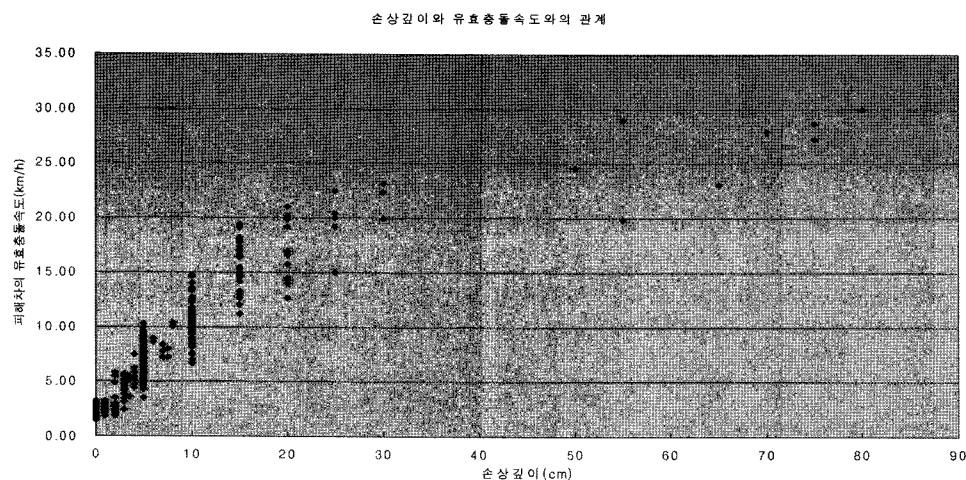


Fig. 7. Correlation of extent of damages & delta-V for injured accident.

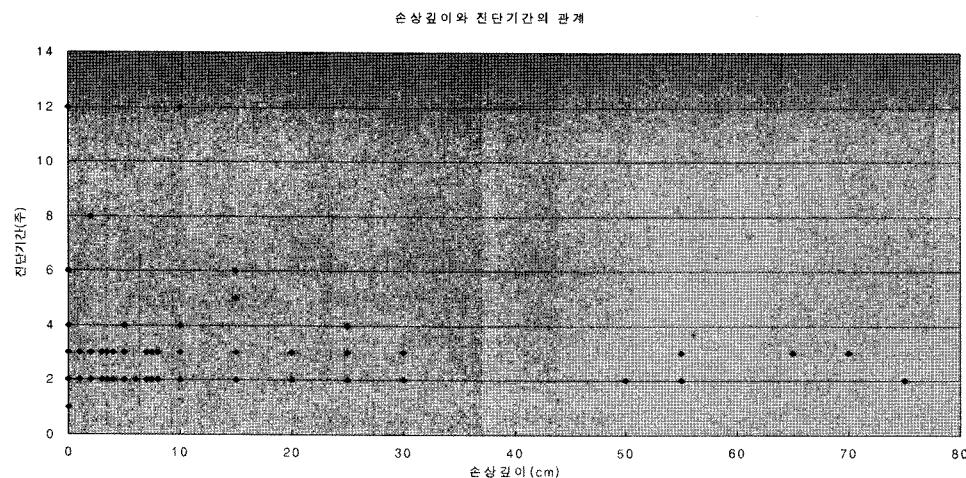


Fig. 8. Correlation of extent of damages & diagnosis period.

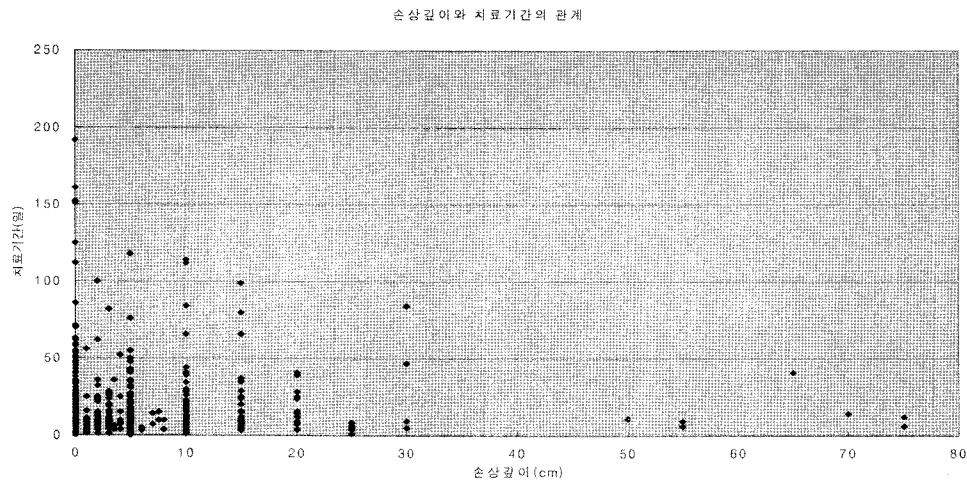


Fig. 9. Correlation of extent of damages & remedy period.

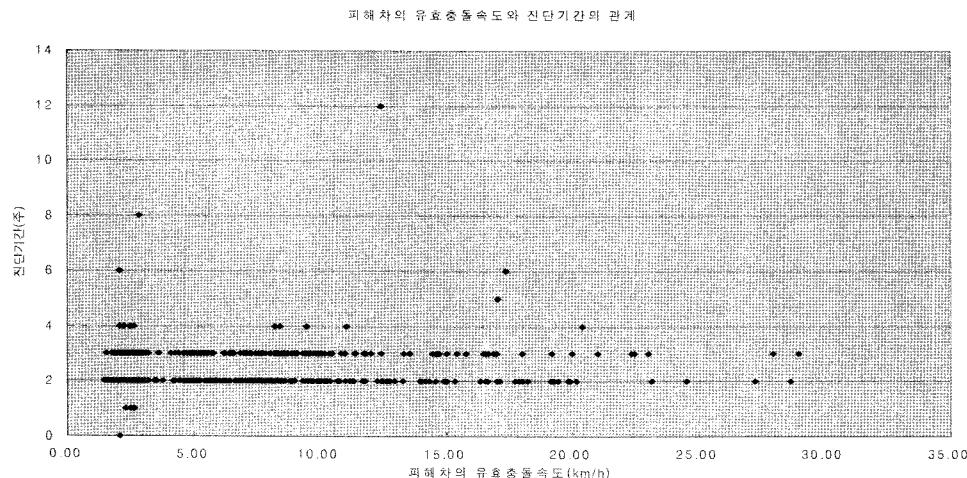


Fig. 10. Correlation of delta-V & diagnosis period.

유효충돌속도는 조사한 사고처리자료에서 가해차량 및 피해차량의 자동차 제원상 각각의 중량  $m_1$ ,  $m_2$ 와 가해운전자 및 피해운전자의 사고경위서, 진술서, 보험사의 사고조사서 등으로부터 추돌 차량(가해차량) 및 피추돌차량(피해차량)의 추돌시 속도  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ 을 앞 식 (1)에 대입하여 산출하였다.

### 3.2. 연구결과

#### 3.2.1. 손상깊이와 유효충돌속도의 상관관계

Fig. 6은 승차자의 부상은 발생하지 않고 차량손상만 발생한 265건의 사고로부터 추출한 차량 손상량(손상깊이)과 유효충돌속도의 상관관계인데 상관계수는 0.88로 유의성이 높으므로 이것을 plot하여 선형 회귀식으로 나타내면 식 (9)과 같다.

$$V_e(km/h) = 74X(m) + 4.9 \quad (9)$$

여기서,  $V_e$  : 유효충돌속도(km/h),  $X$  : 손상깊이(m)

Fig. 7은 승차자의 부상이 발생한 1014건의 사고로부터 추출한 차량 손상량(손상깊이)과 유효충돌속도의 상관관계인데 상관계수는 0.89로 유의성이 높으므로 이것을 plot하여 선형 회귀식으로 나타내면 식 (10)과 같다.

$$V_e(km/h) = 70X(m) + 3.7 \quad (10)$$

#### 3.2.2. 손상깊이와 상해정도의 상관관계

Fig. 8은 손상깊이와 진단기간, Fig. 9는 손상깊이와 치료기간, 각각의 관계를 나타낸 것인데 이것은 상관계수 0.05로 상관성이 전혀 없다.

피해 차의 유효 충돌 속도와 치료 기간의 관계

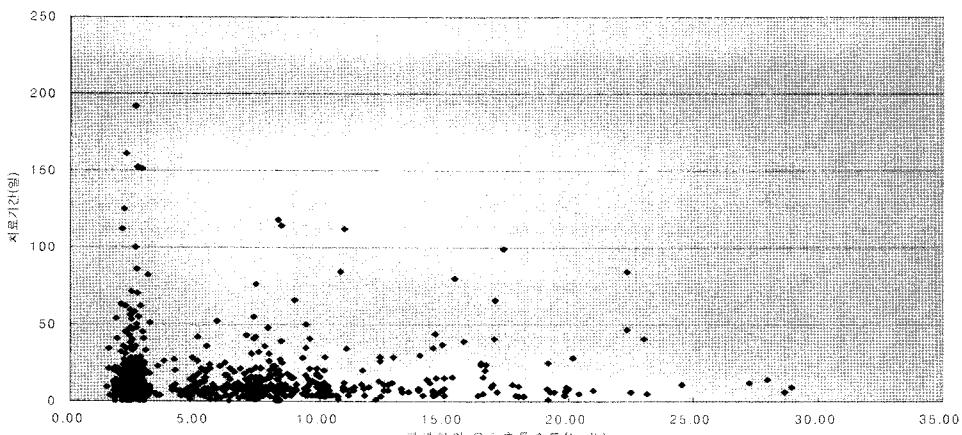


Fig. 11. Correlation of delta-V &amp; remedy period.

Fig. 10은 유효충돌속도와 진단기간, Fig. 11은 유효충돌속도와 치료기간, 각각의 관계를 나타낸 것인데 상관계수 0.09와 0.06으로 이것도 전혀 상관성이 없다.

### 3.3. 연구결과의 유의성 검토

본 논문에서 추출한 결과의 유의성을 보면 손상깊이와 유효충돌속도는 0.88(대물사고)와 0.89(대인사고)의 상관계수를 나타내고 있어 유의성이 높고, 상해정도(진단기간 및 치료기간)와 손상깊이 및 유효충돌속도는 0.05 및 0.06~0.09로서 유의성이 전혀 없다.

### 3.4. 분석

1) 본 논문에서 연구한 결과를 토대로 피추돌차량의 손상량과 유효충돌속도의 상관관계(Fig. 6과 7)에 의하여 추출한 차량의 손상깊이와 유효충돌속도의 관계식 (11)을 충돌실험을 통한 선행연구 결과(Fig. 1과 2)에 의하여 추출한 차량의 손상깊이와 유효충돌속도의 관계식 (5), (6)과 비교하여 Fig. 12에 나타내 보면 거의 차이가 없으므로 이들 네 가지 상관관계 data plot의 중앙을 지나도록 1차식으로 집약하면 식 (11)을 구할 수 있다.

$$V_e(km/h) = 72X(m) + 4.3 \quad (11)$$

위의 선형회귀 추정식의 결정계수는  $R^2 = 0.890$ 이며 절편과 기울기에 대한  $t$ -값은 다음과 같다.

기울기에 대한  $t$ -값은 31.768로 통계적으로 유의하다.

구분	B	표준오차	t	유의학률
(상수)	4.158	.174	23.835	.000
손상깊이(m)	88.589	2.789	31.768	.000

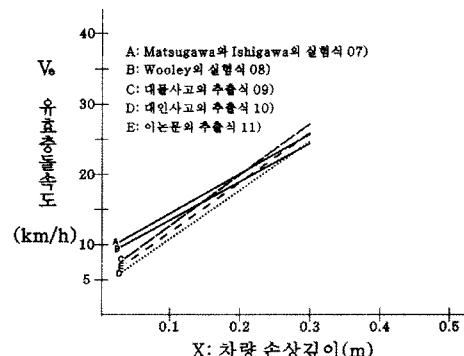


Fig. 12. 손상량과 유효충돌속도의 관계식에 대한 집약도.

따라서 국산차량 끼리의 추돌사고에서 피해차량의 후부손상깊이를 알면 유효충돌속도를 산출하는 것이 가능하다.

2) 앞 Fig. 8, 9와 Fig. 10, 11은 차량손상깊이 및 유효충돌속도와 피해차량 부상자(상해주장자)의 진단기간과 치료기간의 관계로서 이들은 모두 전혀 상관관계가 없음을 알 수 있다. 즉, 차량 손상깊이의 대소를 막론하고 부상주장자의 진단기간은 천연일률적으로 2~3주의 분포이고, 입·통원치료기간도 산란적으로 분포되어 차량손상깊이와 피해차량 승차자의 부상정도는 전혀 상관관계가 없음을 보여주고 있다. 이것은 경미한 추돌사고에 의한 상해주장자가 가벼운 주관적 증세(자각증상)나 보상금을 노린 의도적 꾀병에 의한 통증 호소가 있을 때 객관

적 증세(타각증상)를 확인하는 진단방법에 의하지 않거나 기왕증에 의해 진단서가 발급되기 때문으로 해석된다.

3) 본 논문에서 설정한 선택적 상해한계선인 유효충돌속도 14km/h 또는 두부충격가속도 12G를 초과하는 사고가 승차자의 상해가 전혀 없는 대물사고 중에도 14.7%나 포함되는 점과 상해주장자가 발생한 대인사고 중 상해와 비상해의 절대적 한계선인 유효충돌속도 10.5km/h 또는 두부충격가속도 9G 이하인 사고가 전체의 90.4%나 되는 점은 거짓 또는 과장 상해주장자가 많다는 것을 의미한다.

#### 4. 결 론

본 연구는 사고처리자료를 토대로 차량파손사진에 의한 손상깊이의 측정과 유효충돌속도의 산출 및 피해차량 상해주장자의 상해정도(진단기간, 입·통원치료기간)를 조사하여 피해차량의 후부손상깊이, 유효충돌속도의 상해정도의 상관관계를 알아보았으며, 생체역학적 무상한계라고 할 수 있는 충격가속도의 값에 관한 선행연구결과와 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 차량손상깊이와 유효충돌속도는 유의성이 매우 높아 일정한 상관관계가 있음을 확인하였고 선행연구결과와도 거의 일치하므로 차량손상깊이는 충격정도를 나타내는 변함없는 지표로서 유효충돌속도의 산출에 활용하면 승차자의 상해·비상해의 유무평가가 가능하다.

2) 충격에 의해 발생하는 부상정도인 진단기간 및 입·통원치료기간은 차량손상깊이 및 유효충돌속도와 전혀 상관관계가 없는데, 이것은 객관적 증세(타각증상)의 확인 절차가 미비한 상태에서 주관적 증세(자각증상)나 기왕증이 중시되어 진단되기 때문으로 해석된다.

3) 상해주장자가 발생한 대인사고 중 상해와 비상해의 절대적 한계선인 유효충돌속도 10.5km/h 또는 두부충격가속도 9G 이하인 사고의 구성비가 전체의 90.4%나 되어 상해정도에 의문이 있는 사안이 매우 많음을 확인하였다.

#### 참고문헌

- Hitoshi Maeda, Taizo Nagano, severity of So-called Whiplash Injuries and Extent of Vehicle Damages(I), Journal of Compensation Medicine, No. 2, Japanese Society of Compensation Medicine, pp. 80~84, 1985.

- Hitoshi Maeda, Taizo Nagano, Severity of So-called Whiplash Injuries and Extent of Vehicle Damages (II), Journal of Compensation Medicine, No. 4, Japanese Society of Compensation Medicine, pp. 39~49, 1986.
- Takehiko Takatori, Slight Damage Accidents of Vehicles and Problems on Whiplash Symptoms, Journal of Compensation Medicine, No. 11, Japanese Society of Compensation Medicine, pp. 8~17, 1990.
- Shiro Hamamura, Hideharu Fukunaga, Hiroshi Ukida, Study on the Car Depressions and the Driver Injury Subjected by Rear-end Collisions, Journal of Compensation Medicine, No. 2, Japanese Society of Compensation Medicine, pp. 85~90, 1985.
- Hiroshi Hayashi, Automobile Accident Appraisal Engineering, Engineering Books Company, pp. 15, 25, 1992.
- Takesi Satou, Automobile Accident & Investigation, Engineering Books Company, pp. 95, 1987.
- Maria Krafft, Anders Kullgren, Anders Ydenius, Claes Tingvall, Influence of Crash Pulse Characteristics on Whiplash Associated Disorders in Rear Impacts-Crash Recording in Real Life Crashes, The official journal of the AAAM, Vol. 9, No. 2, 2002.
- Maria Krafft, Anders Kullgren, Anders Ydenius, Claes Tingvall, The correlation between crash pulse characteristics and duration of symptoms to the neck-Crash recording in real life rear impacts, SAE 2001-06-0040, 2001.
- Murray Kornhauser, Delta-V Thresholds for Cervical Spine Injury, SAE 960093, 1996.
- Nicholas J. Carpenter, Judson B. Welcher, Stiffness and Crush Energy Analysis for Vehicle Collision and Its Relationship to Barrier Equivalent Velocity (Bev), SAE 2001-01-0500, 2001.
- Koji Osaki, Haruo Ohmae, Reconstruction of Crash Speeds for Rear-End Collisions, JARI Research Journal, Vol. 21, No. 2, pp. 32, 1999.
- Hiroshi Hayashi, op. cit, pp. 25~26, 1992.
- Hitoshi Maeda, Taizo Nagano, op. cit, pp. 45, 1986.
- W. H. M. Castro, M. Schillgen, S. Meyer, M. Weber, C. Peuker, K. Wörtler, Do "whiplash injuries" occur In low-speed rear Impacts?, European Spine Journal, No. 6, European Spine Society, p. 374~

- 375, 1997.
- 15) Torhu Kojima, Injuries to a Motorist Involved in Slight Motor-car Accident, Journal of Compensation Medicine No. 2, Japanese Society of Compensation Medicine, pp. 76, 1985.
  - 16) Hitoshi Maeda, Taizo Nagano, op. cit, pp. 44, 1986.
  - 17) Matsugawa, Ishigawa, On A Method of Estimation of Equivalent Barrier Speed for a Accident Analysis, JARI Research Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 11 ~ 14, 1980.
  - 18) R. L. Wooley, C. E. Strother & M. B. James, Rear Stiffness Coefficients derived from Barrier Test Data, SAE paper presented at Int'l Congr. & Expo., Feb. 25-Mar. 1, 1991. Detroit, MI.
  - 19) Hitoshi Maeda, Taizo Nagano, op. cit, pp. 45, 1986.