

## 모형자동차 충돌시험의 데이터베이스를 이용한 측면 충돌사고 재구성

손 정 현<sup>1)</sup> · 박 석 천<sup>2)</sup> · 김 광 석<sup>3)</sup>

부경대학교 기계공학부<sup>1)</sup> · 부경대학교 대학원<sup>2)</sup> · 인하공전 자동차과<sup>3)</sup>

### A Study on the Side Collision Accident Reconstruction Using Database of Crash Test of Model Cars

Jeonghyun Sohn<sup>1)</sup> · Seokcheon Park<sup>2)</sup> · Kwangsuk Kim<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>2)</sup>Graduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>3)</sup>Department of Automotive Engineering, Inha Technical College, Incheon 402-752, Korea

(Received 25 April 2008 / Accepted 15 October 2008)

**Abstract :** In this study, a side collision accident reconstruction using database based on the deformed shape information from the collision test using model cars is suggested. A deformation index and angle index related to the deformed shape is developed to set the database for the collision accident reconstruction algorithm. Two small size RC cars are developed to carry out the side collision test. Several side collision tests according to the velocity and collision angles are performed for establishing the side collision database. A high speed camera with 1000fps is used to capture the motion of the car. A side collision accident reconstruction algorithm is developed and applied to find the collision conditions before the accident occurs. Two collision cases are tested to validate the database and the algorithm. The results obtained by the reconstruction algorithm show good match with original conditions with regard to the velocity and angle.

**Key words :** Accident reconstruction algorithm(사고재구성 알고리즘), Side collision(측면 충돌), Deformed shape(변형 형상), Data base(데이터 베이스), Collision test(충돌 시험)

### 1. 서 론

차량 충돌 사고 발생 시 책임소재를 확실히 하고, 무엇 때문에 차량이 충돌했는지 원인을 명확히 규명해야 할 경우가 있다. 이럴 경우, 대개가 사고분석사에게 위임하여 그 원인을 규명하고 있으며, 사고분석사는 타이어 스키드 마크와 차량의 파손정도, 차량의 최종 정지위치 및 자세, 목격자 진술 등을 토대로 사고를 재구성하게 된다. 자동차 사고 재구성이란 사고 상황으로부터 가능한 모든 정보를 수집 분석해서 사고 거동 및 원인을 규명하는 작업을 의미한다.

한인환<sup>1)</sup>은 자동차 사고 재구성에 적용 가능하도록 강체역학적 측면에서 자동차 충돌 거동에 대한 해석적 모델을 개발하였다. 장인식<sup>2)</sup> 등은 충돌 전의 상황을 판단하기 위해 차체간의 충돌상황에 따른 변형상태를 근거로 변형에너지율을 계산하고 충돌 전후의 속도변화를 계산하는 연구를 수행하였다. 이승종<sup>3)</sup> 등은 차량충돌의 물리적 증거인 진행방향으로 미끄러질 때 발생하는 스키드마크와 측면방향으로 미끄러질 때 발생하는 요마크를 이용하여 충돌 사고 재구성하는 연구를 수행하였다. 이들 연구에서는 단순 강체모델을 이용한 해석으로 정확한 결과를 기대하기 어렵다. 또한, 일부 연구소를 중심으

\*Corresponding author, E-mail: jhsohn@pknu.ac.kr

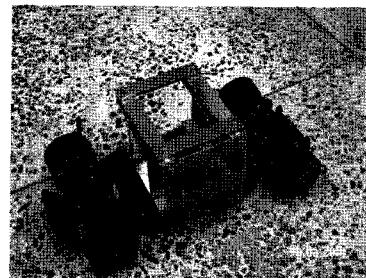
로 상용프로그램인 PC-Crash 등이 사고재구성 기법에 이용되어져 왔으나, 이러한 방법은 해석하는 사람이 입력조건을 어떻게 설정하느냐에 따라 결과가 많이 좌우되므로 객관적으로 평가하는 데에는 한계를 가지고 있다. 측면 충돌사고는 승객에게 치명적인 상해를 유발시켜서 미국 및 유럽에서는 측면 충돌 관련 법규를 마련하여 시행하고 있으며, 국내에서도 2003년부터 측면 충돌 항목을 추가 제정하여 시행해 오고 있다. 최근에 장인식<sup>4)</sup>등은 여러 속도와 충돌 각도에 따라 충돌 해석을 LS-DYNA3D를 이용하여 수행한 후 충돌해석 정보를 이용하여 변형지수와 각도지수를 산출하고 데이터베이스화 하여 측면 충돌 사고재구성에 관한 연구를 수행하였다. 장형진<sup>5)</sup>등은 중형승용차를 대상으로 완전정면, 옵셋정면, 경사벽 정면충돌 시험을 수행하고 차량 감가속도, 차량 손상데이터를 측정하여 이들의 상관관계를 고찰하였다. 또한, 장형진<sup>6)</sup>등은 소형승용차를 대상으로 측면 충돌시험을 수행하여 차종별로 인체상해치, 차체감가속도, 차체변형량 등을 비교 고찰하였다.

본 논문에서는 두 대의 차량이 측면충돌 하는 경우를 재구성하기 위해 RC car를 이용하여 시험차를 제작하고 충돌 시험을 실시하여 변형량을 측정하였다. 변형량을 토대로 변형지수를 산출하였으며, 충돌 차량 및 피 충돌 차량의 변형 형상에 근거하여 충돌각 지수를 정의하고 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 데이터베이스를 근거로 임의의 충돌 속도와 충돌 각도로 측면 충돌하는 경우를 재구성하였다. 본 연구에서는 실험을 통해서 지수를 산출하고 데이터베이스를 구축하여 충돌 사고 재구성에 이용하는 방안을 제시하였다. 2장에서는 시험 장치 및 시험결과를 나타내었고, 3장에서는 변형지수 및 충돌 각 지수를 설명하였으며, 4장에서는 사고재구성 예를 나타내었고 결론을 5장에 나타내었다.

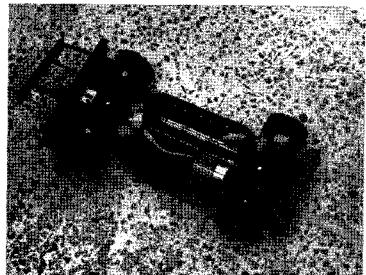
## 2. 충돌 시험

### 2.1 시험장치 구성

충돌 시험을 하기 위해 월베이스 198mm, 전장 365mm, 차폭 183mm로써 일반 레이싱카의 1/10의 크기로 제작된 RC카 2대를 구입하였다. 실험을 위



(a) Collided car

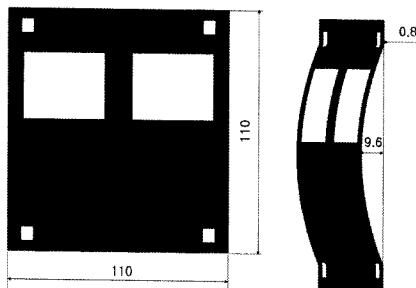


(b) Colliding car

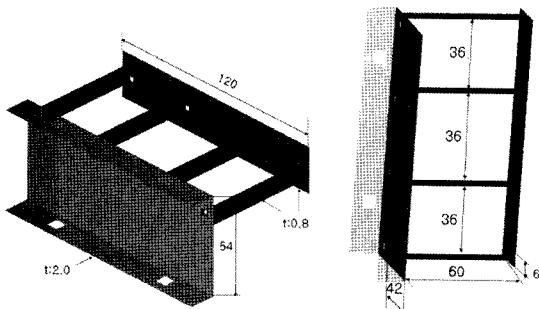
Fig. 1 RC car for collision test

해 외관을 제거하였고, Fig. 1에 보인 것과 같이 문짝과 범퍼를 추가하였다. 차체 및 현가장치 등의 치수(dimension)들은 실제차량의 약 10%가 고려되었지만, 중량이나 강성 등은 고려되지 않았다.

충돌시 변형이 일어나는 문짝(door)과 범퍼(bumper)부분은 CATIA를 이용하여 설계하여 제작하였다. 문짝 및 범퍼의 재질은 제작이 용이한 SS41로 정하였고, 두께 및 문짝 곡률반경을 선정하기 위해 LS-Dyna3D<sup>7)</sup>를 이용하여 간단한 모델을 구성한 후 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 몇 개의 후보를 정하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 여러 속도와 각도로 충돌 실험을 수행하였다. 실차 충돌 실험을 통한 속도별, 각도별 문짝 및 범퍼의 변형정보를 구하는 것은 현실적으로 불가능하여서 참고문헌<sup>4)</sup>에 있는 전차량 충돌 시뮬레이션 결과와 유사한 경향이 나오도록 하고자 하였다. 본 연구에서는 충돌 실험 결과 속도별, 각도별 특성이 잘 반영되는 두께인 0.8mm로 최종 결정하였고, 문짝 곡률반경은 106mm로 정하였다. 범퍼의 지지빔(support beam)의 개수 및 치수는 LS-Dyna3D로 시뮬레이션을 수행하여 충돌 각도에 따라 범퍼 변형이 잘 나타나는 치수로 정



(a) Door of colliding car



(b) Bumper of colliding car

Fig. 2 Door and bumper of model cars

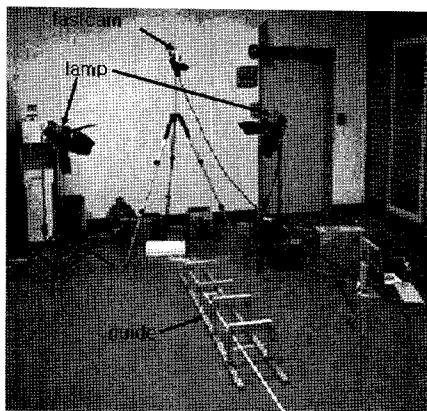


Fig. 3 Experimental setup

하였다. Fig. 2는 본 연구에 사용된 문짝과 범퍼의 주요 치수를 보여준다.

시험은 평평한 곳에서 수행하였으며 충돌 속도를 측정하기 위해 초당 1000프레임(frame)을 촬영할 수 있는 고속카메라를 이용하였다. Fig. 3은 시험장 세트를 나타낸 것이다. 충돌 시험 종류는 18, 22, 26 km/h로 90도, 70도, 60도로 충돌하도록 구성하였다. 충돌각도는 피충돌 차량의 진행방향과 충돌 차량의

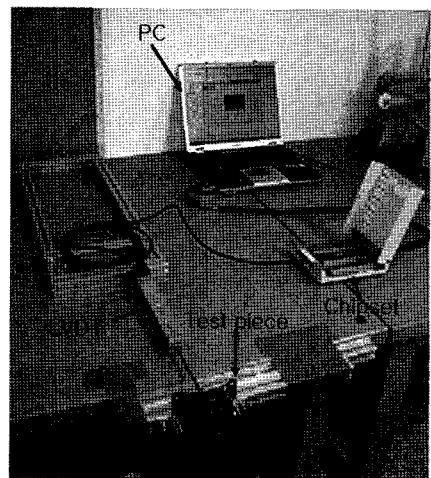


Fig. 4 Experiments for measurement of deformed shape

진행방향 사이의 각도로 정의하였고, 충돌 차량이 피충돌 차량의 문짝을 정중앙에서 충돌하였을 때가 90도 충돌이다. 변형지수 및 충돌 각지수를 산출하기 위해 측면의 변형량을 측정하였다. 측면을 여러 개의 유한요소로 나누어 구역별로 변위센서(LVDT)를 이용하여 변형량을 계측하였다. Fig. 4에 변형량을 계측하는 장비를 도시하였다.

## 2.2 충돌 시험 결과

충돌 각도 90도 일 때 피충돌 차량의 횡방향 속도를 Fig. 5에 도시하였다. 충돌 시 속도는 각각 18, 22, 26km/h였음이 확인되었고, 충돌 속도가 높을수록 충돌 후 횡방향 속도가 큼을 알 수 있으며, 22km/h와 26km/h 사이는 차이가 크지 않다. 충돌 시험후 시편 변형형상을 Fig. 6에 도시하였다. Fig. 6을 보면, 90도로 충돌시 속도에 따라 피충돌차량의 변형량은 고르게 증가하였으나, 충돌차량의 범퍼는 변형이 거의 일어나지 않았다. 70도로 충돌 시 속도가 증가함에 따라 문짝의 우측부분의 변형량이 증가하였고, 최고 시험속도인 26km/h에서는 범퍼의 우측 2개의 지지빔이 변형하였다. 60도로 충돌 시 속도에 따른 문짝의 변형량이 증가하였고, 26km/h 시 범퍼 빔의 변형이 보다 심하였음을 알 수 있다. 이들 변형 결과를 측정하여 데이터 베이스를 구축하였고, 데이터베이스를 바탕으로 측면 충돌 사고 재구성 알고리즘을 개발하였다.

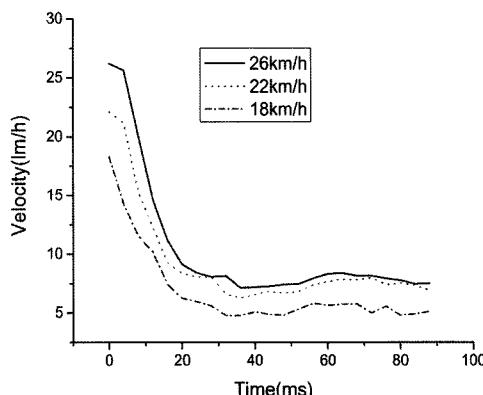


Fig. 5 Comparisons of velocity of collided car

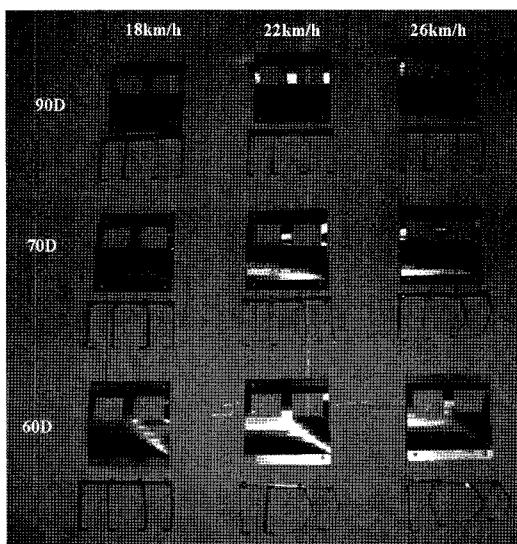


Fig. 6 Deformed shape according to the collision angle

### 3. 데이터베이스 구축

#### 3.1 변형지수

변형지수와 충돌 각 지수를 산출하기 위하여 피충돌 차량의 문짝을 Fig. 7과 같이 가로 12개, 세로 7개의 절점으로 분할하였다. 요소로 분할한 이유는 사고 재구성시에 피충돌 차량의 변형 형상을 수치적으로 지수화 함으로써 변형 형상만을 가지고 충돌 전의 상황을 역추적 하기 위한 측정기준으로 삼기 위해서이다.

Fig. 8은 충돌 전의 형상을 기준으로 충돌 후의 변형 형상에 대해 절점별로 변형량을 측정하여 3차원 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 9는 실제 시편의 변형

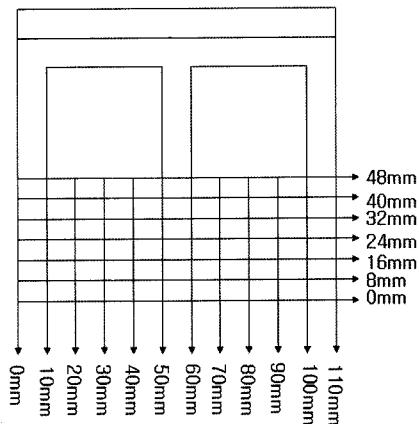


Fig. 7 Side door mesh for calculating deformation index

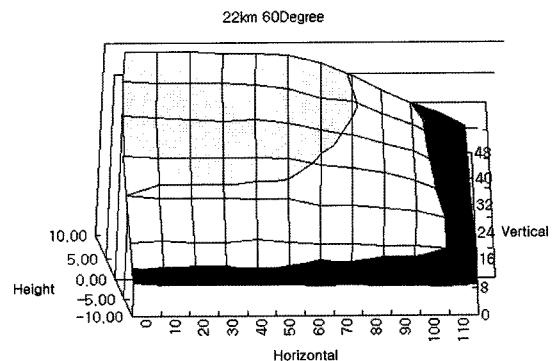


Fig. 8 Deformation shape construction from test measurement under 22km/h, 60 degree

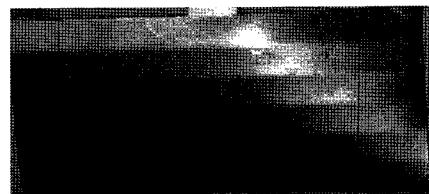


Fig. 9 Deformation shape of test piece

형상이다. 두 그림을 비교해보면 형상이 동일한 모양이 됨을 알 수 있다.

피충돌 차량의 시편을 가로로 10mm식 12구역 세로로 8mm식 7구역으로 나누어 총 84개의 노드를 구해 각각의 변형량을 계곱하고 평균을 내어 식 (1)과 같이 변형지수를 계산하였다.

$$\text{Deformation index } I_d = \frac{\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{12} x_{i,j}^2}{84} \quad (1)$$

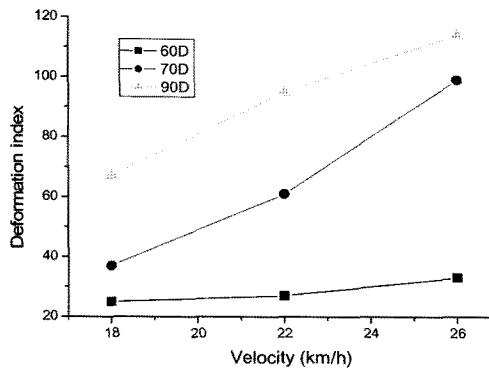


Fig. 10 Deformation index according to the collision velocity and angle

Fig. 10에 충돌 속도 및 충돌 각도에 따른 9가지 경우에 대한 변형지수를 그래프로 나타내었다. 충돌 속도가 증대함에 따라 변형지수가 증가하고 있고, 동일한 충돌속도에서는 충돌 각도가 90도 일 때가 가장 높은 것을 알 수 있다.

일반적으로는 속도가 증가함에 따라 선형변형 보다 더 많은 변형이 있게 되는데, Fig. 10에서는 충돌 속도 90도에서 속도 구간 18~22km/h 보다 22~26km/h 구간에서 변형지수의 기울기가 약간 감소한 모습을 볼 수 있는데, 이는 차량의 충돌 속도가 높을 수록 피충돌 차량의 충돌 후 속도가 증가하여 에너지를 흡수하였고 또한 문짝 곡면 제작시 약간의 오차가 있었기 때문인 것으로 추정된다. 본 연구에서는 모든 시편에 대해 충돌 전 후에 문짝 수직 높이를 절점별로 측정하여 변형량을 측정하였는데, 제작시 현의 높이는 시편 별로 0.5mm(약 4%)내외의 편차가 있음을 확인하였다. 26km/h 90도에 사용한 문짝의 곡면 높이가 22km/h 90도 보다 약 0.4mm 높게 제작되었고, 이 편차 때문에 충돌시 변형이 기대했던 것보다는 약간 낮게 나온 것으로 추정된다.

### 3.2 충돌 각 지수

충돌 각 지수는 문짝의 변형 경향과 범퍼의 변형 경향을 반영하여 산출하였다. 우선 문짝의 변형량 중 우측 반이 경사 충돌과 관련이 있으므로 오른쪽 반의 섹션(section)별로 변형량의 기울기를 계산하고 기울기의 합을 각도지수1( $\alpha$ )로 정의하였다. Fig. 10에 각도지수1을 계산하기 위해 문짝을 요소 분할

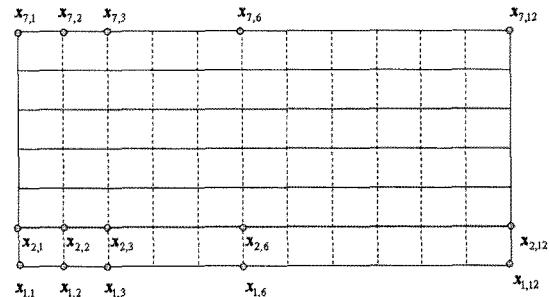


Fig. 11 Mesh representation for calculating angle index1

Table 1 Angle index 1 ( $\alpha$ )

	18km/h	22km/h	26km/h
90D	-0.0250	0.0937	0.0938
70D	0.6938	0.8687	0.7187
60D	0.9625	1.1000	1.0688

한 모습을 나타내었다. Fig. 11에서  $x_{i,j}$ 는  $i, j$  절점에서의 변형량 값을 의미한다. 각도지수1은 식 (2)를 통해 계산되며, Table 1에 충돌 속도 및 충돌 각도에 따른 각도지수1을 나타내었다.

$$\text{angle index1 } \alpha = \sum_{i=1}^7 \frac{x_{i,12} - x_{i,6}}{60} \quad (2)$$

Fig. 12는 범퍼 지지빔의 변형 형상을 나타내고 있다. 범퍼 지지빔을 세로방향으로 7등분하여 각 섹션 별로 가로방향 변형량의 기울기를 산출하여 모두 더한 값을 각도지수2( $\beta$ )로 정의하였다. 충돌 속도 및 충돌 각도에 따른 각도지수2를 Table 2에 나타내었다.

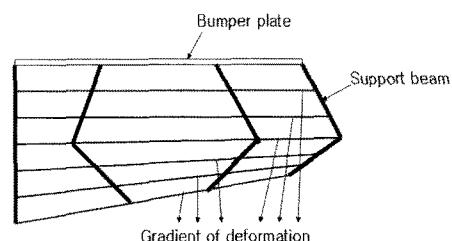


Fig. 12 Calculation for angle index2

Table 2 Angle index 2 ( $\beta$ )

	18km/h	22km/h	26km/h
90D	0.0000	0.0000	0.0000
70D	0.0000	0.0000	0.2058
60D	0.0000	0.2780	0.3324

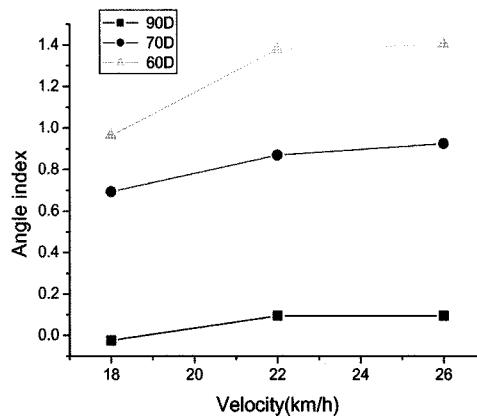


Fig. 13 Angle index according to velocity and angle

최종 충돌 각 지수는 두 지수의 합으로 식 (3)과 같이 계산되며, 충돌 속도 및 충돌 각도에 따른 충돌 각 지수( $I_a$ )를 Fig. 13에 도시하였다.

$$\text{collision angle index } I_a = \alpha + \beta \quad (3)$$

여기서,  $I_a$ 는 충돌 각 지수,  $\alpha$ 는 각도지수1,  $\beta$ 는 각도지수2를 의미한다.

Fig. 13을 보면, 90도 충돌일 경우 각도가 거의 영(zero)에 가까운 것을 알 수 있으며, 60도 일 때 충돌 각 지수가 가장 높은 것을 보이며, 18km/h에서 22km/h로 속도가 증가할 때 지수가 증가하였고 22km/h에서 26km/h로 증가할 때는 지수가 많이 증가하지 않았다. 이것은 속도가 26km/h에서는 전체적으로 변형지수가 높아져서 기울기를 계산하기 위해 기준으로 두었던 가운데 부분도 많이 변형되어 전체적인 기울기는 많이 증가하지 않은 것으로 사료된다.

#### 4. 측면충돌 사고재구성

##### 4.1 측면충돌 사고재구성 알고리즘

충돌 후의 충돌 차량과 피 충돌 차량의 변형 정보만으로 충돌 전의 충돌 각도와 속도를 역 추적하는 알고리즘을 개발하였으며 Fig. 14에 나타내었다. 우선 검증용 차량의 문짝과 범퍼의 변형형상을 측정하여 변형지수와 각도지수를 산출하고, 충돌각지수를 데이터베이스와 비교하여 속도별로 충돌 각도를 선형보간(linear interpolation) 한다. 다음으로 변형지

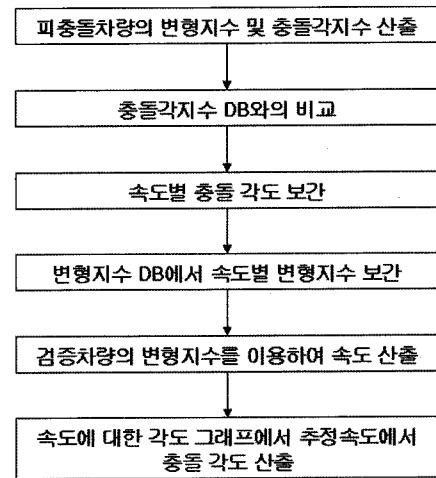


Fig. 14 Side collision accident reconstruction algorithm

수 데이터베이스를 이용하여 속도별 변형지수를 보간 한다. 마지막으로 검증차량의 변형지수를 대입하여 충돌 속도를 추정하고, 추정된 속도를 이용하여 충돌 각을 산출한다.

##### 4.2 사고재구성 검증 1

충돌 각도 37도, 충돌 속도 22km/h로 충면 충돌이 발생한 경우를 충돌 상황 1(case1)로 정의하였다. 충돌각도와 충돌속도를 모른다고 가정하고 변형량만을 이용하여 역 추적 알고리즘으로 충돌 속도와 충돌 각도를 추정하였다. 충돌 후의 변형 형상 정보를 이용하여 변형 지수(86.02) 및 각도지수(0.34)를 구하였다. 각도지수 0.34일 때 속도를 알 수 없으므로 Fig. 15를 이용하여 Fig. 16과 같이 선형 보간을 한다. 18km/h일 때 각도는 79.79도, 26km/h일 때 각도는 84.14도가 계산된다. Fig. 15와 같이 18km/h, 79.79도 일 때 변형지수는 52.58, 26km/h, 84.14도일 때 변형지수는 110.08이 나옴을 확인 할 수 있다. Case1의 변형지수 86.02 일 때의 속도를 추정하면 Fig. 17에서 보는 바와 같이 22.65 km/h가 계산된다. 충돌 각도를 추정하기 위해 Fig. 18과 같이 18km/h일 때의 각도 79.79도와 26km/h일 때의 각도 84.14도를 속도에 대해 도시한 후, 앞서 구한 충돌 속도 22.65km/h 일 때의 각도를 산출하면, 82.32도가 계산된다.

실제 충돌 조건은 충돌속도 20km/h, 충돌 각도 80도이지만, 변형지수와 충돌 각 지수를 근거로 사고

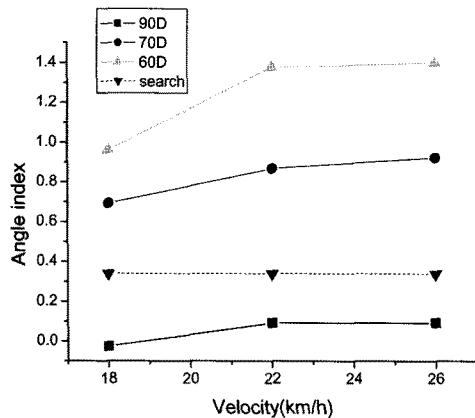


Fig. 15 Comparison with angle index DB for case 1

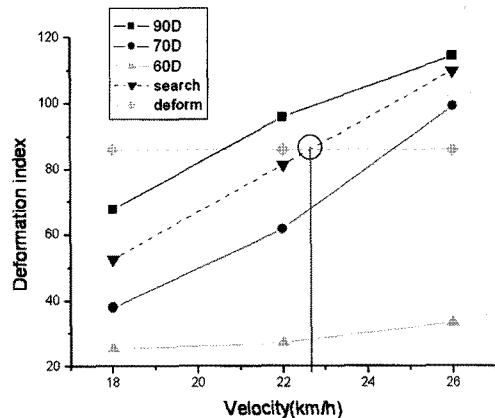


Fig. 17 Calculation of the velocity in case 1

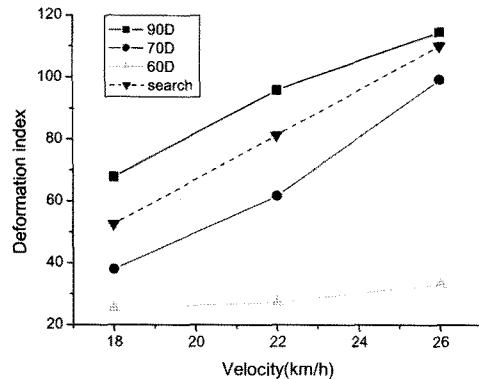


Fig. 16 Comparison with deformation index DB for case 1

재구성을 한 결과 충돌 속도 22.65km/h, 충돌 각도 82.32도가 추정되었으며, 이는 속도오차 13.26%, 각도오차 2.9%내에 드는 것이다.

#### 4.3 사고재구성 검증 2

충돌속도 24km/h, 충돌 각도 65도로 측면충돌 했을 때를 충돌상황 2(case2)로 정의하였다. 충돌 후의 변형 형상 정보를 이용하여 변형 지수(54.49) 및 각도지수(1.13)를 구하였다. 시고재구성 검증 1에서와 같이 데이터베이스를 이용하여 사고재구성 과정을 수행하였다. 실제 충돌 조건은 충돌속도 24km/h, 충돌 각도 65도이지만, 변형지수와 충돌 각지수를 근거로 사고 재구성 시뮬레이션을 한 결과 충돌 속도 23.93km/h, 충돌 각도 65.28도로 추정되었으며, 이는 속도오차 0.31%, 각도오차 0.43%내에 드는 것이다. 이는 앞선 case1보다 훨씬 좋은 결과를 나타내고 있다.

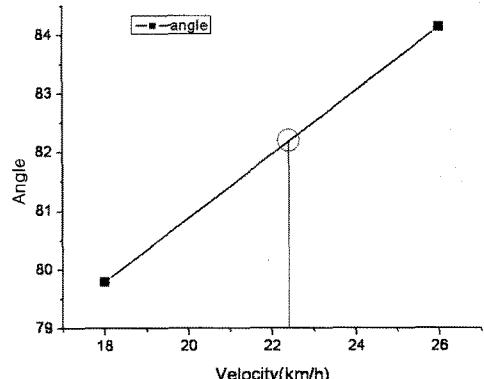


Fig. 18 Calculation of the angle in case 1

#### 5. 결 론

본 논문에서는 두 대의 차량이 측면충돌 하는 경우를 재구성하기 위해 RC car를 이용하여 모형 차를 제작하고 충돌 시험을 실시하여 변형량을 측정하였다. 측정된 변형량을 근거로 변형지수 및 충돌각지수를 정의하고 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 데이터베이스를 근거로 임의의 충돌 속도와 충돌 각도로 충돌하는 두 가지 경우의 사고재구성을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 충돌속도 24km/h, 충돌각도 65도 일 경우에 속도 추정 오차는 0.31%, 각도 추정 오차는 0.43%로써 상당히 정확히 추정하는 것으로 분석되어 본 연구에서 개발한 사고재구성 알고리즘이 타당성이 있음을 확인하였다.
- 2) 충돌속도 20km/h, 충돌각도 80도일 경우 속도 추

정 오차는 13.26%, 각도 추정 오차는 2.9%로써 비교적 높게 나왔으며, 이는 실제 충돌 시험에서 60도와 70도 일 경우는 비슷한 경향을 보인 반면 90도 일 경우는 다른 경향을 보였고, 70도와 90도 사이에 시험 데이터베이스가 없어서 보간 하는 과정 중에 오차가 증가했기 때문으로 사료된다.

본 연구에서는 실험을 통해서 지수를 산출하고 데이터베이스를 구축하여 충돌 사고 재구성에 이용하는 방안을 제시하였다. 향후, 실제 차량과 시험 차량의 상사법을 구축한다면 실제 충돌시험을 대체하여 모형차의 충돌 시험만으로도 데이터베이스를 구축할 수 있을 것으로 보여 활용도가 높을 것으로 기대한다.

## 후 기

이 논문은 2007학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음(PK-2007-031).

## References

- 1) I. H. Han, "Impact Analysis for Vehicle Accident Reconstruction," Transactions of KSAE,

Vol.6, No.2, pp.178-190, 1998.

- 2) I. S. Jang and S. M. Lee, "The Relationship between Deformation Shape and Energy for Various Crash Configurations of Two Cars," Transactions of KSAE, Vol.7, No.3, pp.225-233, 1999.
- 3) S. J. Yi and J. S. Ha, "The Vehicle Accident Reconstruction using Skid and Yaw Marks," KSPE, Vol.20, No.12, pp.55-63, 2003.
- 4) I. S. Jang and I. D. Kim, "A Study on the Side Collision Accident Reconstruction Using 3-Dimensional Crash Analysis," Transactions of KSAE, Vol.16, No.1, pp.52-63, 2008.
- 5) H. J. Chang, G. H. Kim, J. M. Lim and J. S. An, "Experimental Study on Crash Characteristics and deformation Aspect for Medium Passenger Cars," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.1100-1105, 2006.
- 6) H. J. Chang, J. H. Song, J. S. Suk, S. Y. Lee, G. H. Kim and I. S. Kwon, "Consideration for the Vehicle Side Impact Test Results of NCAP," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.1049-1054, 2004.
- 7) LS-Dyna 3D User's Manual, LSTC, 2007.