

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.3.201>

IIBC 2015-3-29

## 유한요소해석을 이용한 차대차 측면충돌에 대한 연구

### A Study on Side Impact from Car-to-Car using Finite Element Analysis

한영규\*, 백세룡\*\*, 윤준규\*\*\*, 임종한\*\*\*\*

Yuong-Kyu Han\*, Se-Ryong Baek\*\*, Jun-Kyu Yoon\*\*\*, Jong-Han Lim\*\*\*\*

**요약** 차대차의 측면충돌에서 충돌부위에 따라 차체의 변형정도는 크게 달라진다. 충돌로 인하여 차체에 변형이 일어나는 경우에 속도에너지가 변형에너지로 전달되어 거동이 달라진다. 일반적으로 교통사고분석에서는 충돌 후 차량의 거동을 운동량 보존법칙으로 분석하며 차체의 변형에 따른 에너지 흡수량은 반발계수를 입력하여 그 오차를 보정할 수 있으나 측면충돌에 대한 연구결과는 그다지 많지 않으므로 전방충돌과 후방충돌에 대한 연구결과를 참고해서 반발계수를 적용하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 차체의 구조와 각 부품의 재질을 적용한 유한요소 차량모델을 외연적 유한요소법으로 해석하였으며, 그 결과를 분석하여 측면충돌에서 차량의 접촉부위에 따른 반발계수와 충돌감지시간을 도출하였다. 최종적으로 산출된 반발계수와 충돌감지시간을 적용하여 운동량보존법칙에 의해 얻어진 해석결과를 실제 차량의 충돌결과와 비교하였다. 그 결과로 유한요소해석 모델을 이용하여 도출한 초기 입력값을 적용했을 때 기존의 분석 기법보다 해석의 신뢰도가 높다는 결과를 얻게 되었다.

**Abstract** The deformed degree of car body varies largely with the collision part from side collision of car-to-car. In case of deformation of car body caused by collision, the movement is different as speed energy changes to strain energy. Generally, in the analysis of traffic accident, the movement of car after the collision is analyzed by law of conservation of motion and the error of energy absorption rate along the deformation of car body can be calibrated by inputting coefficient of restitution, but it is current situation that coefficient of restitution applied by referring to the research results of forward collision and backward collision because the research results of side collision is rare. Vehicle model of finite element method applied by structure of car body and materials of each component was analyzed by explicit finite element method, and coefficient of restitution and collision detection time along contact part of side collision was drawn by analyzing the results. Analysis result acquired through the law of conservation momentum by applying finally-computed coefficient of restitution and crash detection time compared to collision result of actual vehicle. As a result, the reliability of analysis was higher than the existing analysis method were acquired when applying the drawn initial input value that used finite element method analysis model.

**Key Words** : Side Impact, Finite Element Analysis, Accident Analysis, Coefficient of Restitution

\*정회원, 가천대학교 대학원 기계공학과

\*\*정회원, 유한회사 삼송

\*\*\*정회원, 가천대학교 기계공학과

\*\*\*\*정회원, 가천대학교 기계공학과(교신저자)

접수일자 2015년 4월 22일, 수정완료 2015년 5월 22일

게재확정일자 2015년 6월 12일

Received: 22 April, 2015 / Revised: 22 May, 2015 /

Accepted: 12 June, 2015

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

Dept. of Mechanical Engineering, Gachon University, Korea

## I. 서 론

2013년 전체 차대차 충돌 교통사고는 1,993건으로 그 중 측면 충돌사고는 592건으로 전체 차대차 충돌사고의 29.7%로 매우 높은 비중을 차지하고 있다<sup>[1]</sup>. 통계자료를 보면 측면충돌의 경우가 차량 측면부와 탑승자의 공간이 협소한 관계로 전, 후방 충돌의 경우와 비교했을 때 상대적으로 큰 부상을 입는 경향을 보이고 있다. 그러나 실제의 차량 충돌사고에 대한 연구의 경우에 대부분은 전방 충돌 및 후방충돌에 대한 연구가 많으며 측면충돌에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다.

이에 관련하여 충돌사고 분석 및 재현에 관한 연구동향으로 Chae 등<sup>[2]</sup>은 충돌 전 차량의 초기속도, 진행경로 및 충돌자세, 충돌 전·후 속도, 충돌지점의 인자 등을 적용하여 차량충돌사고의 원인을 분석하는 방법에 대한 연구를 진행하였으며, Ha 등<sup>[3]</sup>은 실제로 발생된 교통사고를 대상으로 PC-CRASH프로그램을 활용하여 사고를 재현하는 한편, 차량 충돌사고에 있어서의 여러 충돌인자들을 추정할 수 있는 추정식을 개발하여 유사한 차량 충돌사고에 적용시킴으로써 해석시간을 단축하였고, Lim 등<sup>[4]</sup>은 전혀 다른 물리적 접근방식을 채택하는 차량 충돌 해석 프로그램인 EDSMAC(Engineering Dynamics Corporation Simulation Model of automobile Collisions)와 CRASH(Calspan Reconstruction of Accident Speeds on the Highway) 프로그램을 활용하여 초기 입력조건으로 차량의 무게, 무게중심, 구름저항, 강성계수, 제동력 등의 여러 충돌인자들을 적용하여 연구한 결과로 두 가지 시뮬레이션 프로그램 모두가 차량의 무게, 무게중심, 제동력에 대하여 유사한 속도변화의 결과를 얻었다. Kim<sup>[5]</sup> 등은 PC-Crash 프로그램을 이용한 교통사고 충돌해석에 관한 신뢰성 연구로 실제 교통사고를 심층 분석하여 이론식으로 도출한 결과와 시뮬레이션의 최대 오차가 3.1%라는 것을 확인하였고, Cho 등<sup>[6]</sup>은 차량의 차체 모델을 CATIA(Computer Aided Three-dimensional Interactive Application)를 통하여 설계한 후 비선형 동역학 해석프로그램인 AUTODYN(비선형 동역학 해석프로그램)을 통해 차량 충돌사고로 인한 차체변형에 대하여 연구한 결과로 차량의 충돌 당시 속도가 차체의 충격력에 절대적으로 영향을 미친다고 하였으며, Jang<sup>[7]</sup>은 유한요소 해석을 이용하여 최적의 비틀림 강성을 가지는 1인승 레이싱카의 프레임해석을 수행하였다. 한편, Seo 등<sup>[8]</sup>은

차량의 가속도 및 각속도 데이터, 운행정보, 운전자 조작 정보, 영상정보 등을 기록할 수 있는 장치를 자동차에 설치하여 교통사고 발생 시 자동으로 각종 데이터를 기록하는 자동차사고기록장치(AARS, Accident Automatic Recording System)을 이용하여 승용차 충돌특성 및 변형양상에 대해 연구한 결과로 고정벽 충돌의 경우에 차량속도가 증가함에 따라 차량의 변형량이 증가하나 감가속도의 지속시간은 감소한다는 결과를 보였으며, 그 외에도 다양한 해석기법을 통하여 차량충돌해석의 신뢰성을 도모하고 있다.

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 측면충돌에서의 차량 거동특성을 파악하고, 그 결과를 운동량보존 법칙을 이용한 교통사고 분석방법에 적용했을 때 차량의 움직임을 관찰하였다. 그 결과로 현재 사용되고 있는 측면 충돌 재현 방법에 대한 신뢰성을 파악하고 오차를 줄일 수 있는 방법에 대하여 고찰하였다.

## II. 이론적 배경

### 1. 차량의 충돌역학

일반적인 교통사고에서 추돌사고를 제외하고 거의 2차원 평면에서 충돌사고가 발생한다<sup>[9]</sup>. 그림 1은 교차로에서의 충돌형태와 유사한 2차원 직각충돌을 나타낸 것이다.

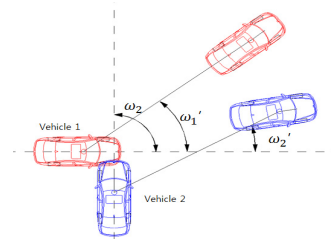


그림 1. 2차원 충돌형태  
Fig. 1 Diagram of two-dimensional collision

1차원 운동에 가깝게 거의 직선으로 주행하는 차량이 2차원 평면에서 충돌하면 운동량은 직각성분으로 분해되며, 각각의 성분은 식 (1)과 (2)로 표현된다.

$$m_1 v_1 \cos \omega_1 + m_2 v_2 \cos \omega_2 = m_1 v_1' \cos \omega_1' + m_2 v_2' \cos \omega_2' \quad (1)$$

$$m_1 v_1 \sin \omega_1 + m_2 v_2 \sin \omega_2 = m_1 v_1' \sin \omega_1' + m_2 v_2' \sin \omega_2' \quad (2)$$

여기서  $m_1$ 과  $m_2$ 는 차량의 질량,  $v_1$ 과  $v_2$ 는 차량의 충돌전 속도,  $v_1'$ 과  $v_2'$ 는 차량의 충돌후 속도,  $\omega_1, \omega_2, \omega_1', \omega_2'$ 는 각각 차량의 충돌전의 진입각도와 충돌후의 이탈각도를 나타낸다. 위의 수식을 이용하여 차량의 충돌 후의 거동을 운동량보존법칙으로 확인할 수 있다.

반발계수를 도출하는 방법으로는 충격량을 이용한 방법, 에너지 흡수량을 이용한 방법, 두 물체의 충돌전후 상대속도비를 이용한 방법 등이 있다. 본 연구에서는 두 물체의 충돌전후 상대속도비를 이용해 충돌 반발계수를 정의하는 방법을 식(3)으로 나타내었다.

$$e = \frac{v_1 - v_2}{u_1 - u_2} \quad (3)$$

여기서  $v$ 는 충돌후 속도,  $u$ 는 충돌전 속도를 나타낸 것으로 일반적으로 반발계수는 0에서 1사이의 값을 가지며, 충돌속도가 높아질수록 0에 가까운 값을 가진다. 보통 전후방 충돌의 경우 약 30 km/h 이상에서 약 0.1 정도의 반발계수를 가진다<sup>[10]</sup>.

## 2. 운동량보존법칙을 이용한 충돌시뮬레이션

PC-CRASH프로그램은 운동량보존법칙을 기반으로 반발계수와 충돌감지시간을 적용하여 계산되는 해석모델이다. 차량충돌에서 두 차량의 충돌전의 속도와 자세를 가지고 충돌후의 값을 계산하며, 이 단계에서 차체변형에 의한 에너지 흡수량을 반발계수로 적용한다. 충돌을 계산하는 시점은 두 차량이 최초 접촉후의 최대 변형에 도달하는 시간을 DOP(Depth of penetration) 값으로 설정할 수 있다. 일반적인 충돌상황에서 차량이 최대 변형에 이르는 시간은 30~60 ms이며, PC-CRASH에서는 그 중간에 해당하는 값인 45ms에 충돌이 일어난다고 가정하여 그 시점에서 충돌후의 속도와 이탈각도를 계산한다. 그러나 사고의 상황에 따라 이 값은 차량의 속도와 충돌하는 물체에 따라 달라질 수 있으므로 0~60 ms 범위에서 15 ms 단위로 설정할 수 있으며, 사고의 상황에 따라 사용자가 임의로 DOP를 설정하는 것이 가능하다.

## 3. 유한요소법의 시뮬레이션

현재 교통사고재현을 위해 사용되고 있는 기존의

프로그램은 해석을 통해 차량 또는 다른 물체의 변형에 대한 상세한 정보를 얻는 것은 한계가 있다. 본 연구에 사용된 교통사고 재현 및 분석 프로그램인 PC-CRASH v.10.1은 유한요소해석 모듈이 포함되어 차량 및 다른 물체의 변형, 가속도, 에너지량 등을 산출할 수 있어 더욱더 정확한 분석이 가능하다.

유한요소법은 분석의 목적에 따라 내연적 유한요소법 (Implicit finite element method)과 외연적 유한요소법 (Explicit finite element method)으로 나뉜다. 차량 충돌과 같은 시뮬레이션을 수행하는 경우 외연적 유한요소법을 사용해야하며, 해석절차는 그림 2에서 나타내고 있다.

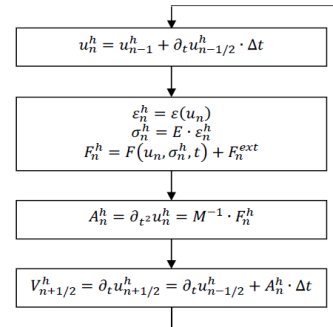


그림 2. 외연적 유한요소 절차

Fig. 2 Explicit finite element procedure

여기서 첫 번째 단계인  $u_n^h$ 는 Node의 변위를 주어진 시간 간격에 따라 계산하는 것이며, 두 번째 단계인  $F_n^h$ 는 적용된 재료의 응력-변형을 관계를 이용하여 응력을 계산한다. 세 번째 단계인  $A_n^h$ 는 내부와 외부의 힘을 기반으로 Node의 가속도를 계산한다. 마지막 단계로 Node의 속도인  $v_n^h$ 를 계산한 후 설정된 시간과 계산 간격에 따라 계산을 반복한다<sup>[11]</sup>.

## III. 해석범위

### 1. 시험차량의 제원

본 연구에서는 Suzuki Swift 차량을 이용하여 유한요소 해석을 진행하였다. 그림 3은 PC-CRASH의 유한요소해석 모듈이 포함된 차량이며, 표 1은 차량의 제원을 나타낸 것이다.

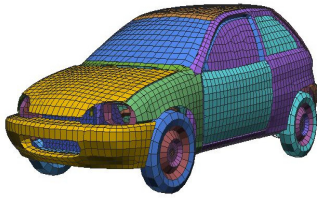


그림 3. PC-Crash 유한요소 차량  
Fig. 3 Finite element vehicle of PC-Crash

표 1. 시험 차량의 제원  
Table 1. Specification of test vehicle

unit ; mm, kg

Make Model	Length	Width	Height	TrackAxle	Wheel base	Weight
Suzuki Swift	4,685	1,885	1,700	1,621	2,700	1,700

## 2. 시뮬레이션 조건

시뮬레이션은 세 가지 측면충돌 자세로 설정하여 수행하였다. 첫 번째 조건은 충돌차량이 피충돌차량의 측거중심을 충돌하는 조건으로 충돌발생 시 피충돌차량의 파손이 가장 크게 일어나는 조건이며, 두 번째 조건은 충돌차량이 피충돌차량의 측면부와 뒤차축의 일부를 충돌하는 조건이다. 마지막으로 충돌차량의 중심부분이 피충돌차량의 후륜을 충돌하는 자세로 차체의 변형은 크지 않은 반면에 에너지의 흡수가 적게 일어나므로 충돌후의 거동이 상대적으로 크게 나타난다. 그림 4는 조건에 따른 충돌자세를 나타낸 것이다.

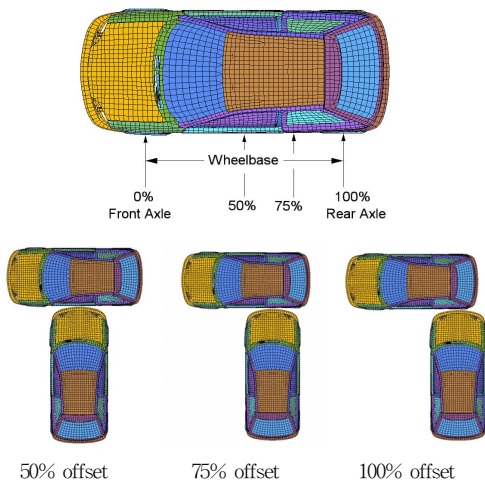


그림 4. 충돌자세  
Fig. 4 Impact position

표 2는 충돌자세와 차량의 속도조건을 나타낸 표로 충돌차량은 Vehicle 1로 피충돌차량은 Vehicle 2로 정의하였다.

표 2. 충돌자세에 따른 차량속도 조건  
Table 2. Conditions of vehicle velocity according to impact position

Impact position	50 %	75 %	100 %
Vehicle	Vehicle 1	Vehicle 2	
Impact speed	10 km/h	0 km/h	
	20 km/h	0 km/h	
	30 km/h	0 km/h	
	40 km/h	0 km/h	
	50 km/h	0 km/h	
	60 km/h	0 km/h	
	70 km/h	0 km/h	
	80 km/h	0 km/h	
	90 km/h	0 km/h	
	100 km/h	0 km/h	

## 3. 시뮬레이션 모델의 검증

본 연구에 사용된 차량모델의 검증을 위하여 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administrator)의 충돌시험 데이터<sup>[12]</sup>와 비교 분석하였으며, 그림 5는 실차시험과 시뮬레이션의 시간에 따른 파손정도와 가속도 데이터를 비교한 것이다.

정면충돌시험 법규에 따라 56 km/h의 속도로 고정 장벽을 충돌했을 때의 결과를 비교했을 때 시험과 시뮬레이션 결과가 매우 유사한 것을 확인하였다. 여기서 0~20 ms 구간은 차량의 범퍼에서부터 라디에이터 패널까지의 구간으로 비교적 약한 재질과 구조로 이루어져 가속도가 크지 않으며, 20~50 ms 구간은 차량 프레임의 변형이 일어나며 가속도가 급격하게 증가하게 된다. 그 이후 엔진과 전륜 타이어에서 최대 변형에 도달한 후 재료의 탄성에 의해 미소한 값으로 다시 되돌아온다. 50 ms 이후 차체가 복원되는 과정에서의 가속도 값의 차이가 나타났지만 본 연구에서는 충돌 후 최대 변형이 일어나는 시점까지의 결과로 연구를 수행하였으므로, 오차에 대한 큰 문제가 없을 것으로 판단하였다.

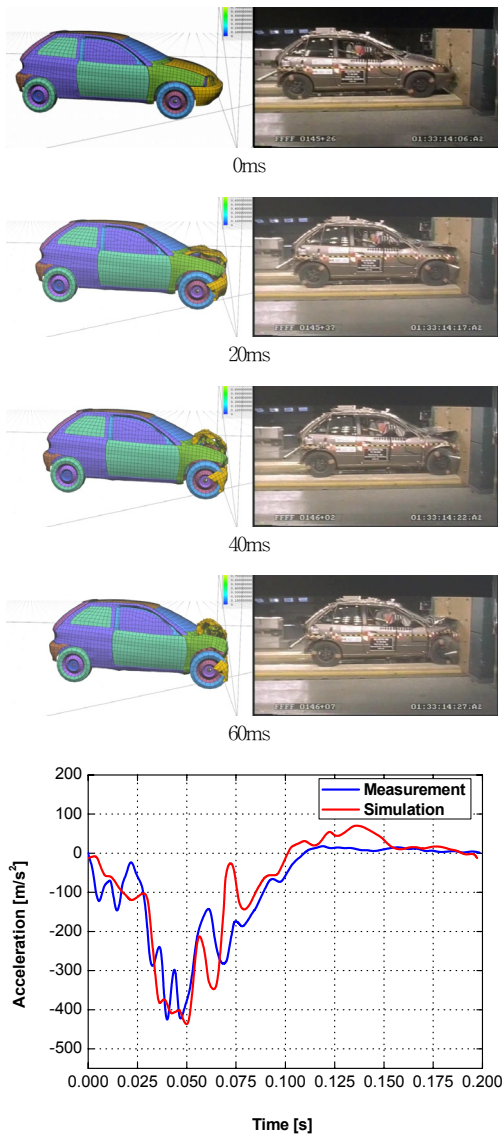


그림 5. 가속도 비교  
 Fig. 5 Acceleration correlation

#### 4. 운동량보존법칙을 이용한 시뮬레이션

PC-CRASH는 운동량보존법칙을 기반으로 하는 시뮬레이션 프로그램으로 계산시간이 매우 빠른 장점 때문에 많이 사용되고 있다. 본 연구를 수행함에 있어 PC-CRASH에 기본으로 적용된 설정 값을 이용하여 1차 시뮬레이션을 하였으며, 위의 방법에 따라 도출한 DOP값과 반발계수 값을 실제 시험과 같은 조건에 적용하여 2차 시뮬레이션을 한 결과를 비교하였다.

충돌 후 차량 정지위치에 대한 오차분석은 PC-CRASH

H의 충돌 최적화 기능의 오차분석에 사용되는 공식을 이용하였다<sup>[9]</sup>. 이 공식은 차량의 충돌 후 거동과 정차각도를 기반으로 실제 실험값과 시뮬레이션의 결과를 비교하는 공식으로 일반적인 사고해석에서 5%미만의 오차를 나타낼 때 신뢰할만한 결과를 얻었다고 할 수 있다.

$$Q = \sqrt{\frac{\sum_i (w_i \cdot x_i)^2}{\sum_i w_i^2}} \times 100\% \quad (3)$$

식 (3)에서  $w_i$ 는 각 차량의 오차를 산정할 때의 비중을 나타내며, 차량에 이동거리와 각도를 각각 0~100% 범위내에서 변경할 수 있다.  $x_i$ 는 차량의 이동거리와 각도의 오차를 각각 계산한 값이다. 차량의 이동거리로 계산하는 오차계산은 식 (4)와 같다.

$$Vehicle_{Rest-Position} = \frac{|P_{Rest-test} - P_{Rest-actual}|}{|P_{Rest-actual} - P_{Impact-actual}|} \quad (4)$$

여기서  $Vehicle_{Rest-Position}$ 는 차량의 위치오차,  $P_{Rest-test}$ 는 시뮬레이션의 차량 최종위치,  $P_{Rest-actual}$ 는 차량이 실제로 정지한 최종위치를 나타낸 것이며,  $P_{Impact-actual}$ 는 차량의 충돌위치를 나타낸 것이다.

차량의 최종 정지각도의 오차를 구하는 방법은 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$Vehicle_{Rest-heading} = \frac{\cos^{-1}(d_{Rest-actual} \cdot d_{Rest-test})}{\pi} \quad (5)$$

여기서  $Vehicle_{Rest-heading}$ 는 차량의 각도오차,  $d_{Rest-test}$ 는 시뮬레이션의 차량 최종각도,  $d_{Rest-actual}$ 는 차량이 실제로 정지한 최종각도를 나타낸 것이다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 충돌자세에 따른 파손형태

유한요소해석은 충돌부위에 따라 각 10회씩 총 30회 시뮬레이션을 하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 그림 6은 각 자세별 100 km/h에서 나타난 두 차량의 최대 변형량을 나타낸 것으로 50% 충돌이 가장 큰 변형이 발생하고

100% 충돌이 가장 작은 변형이 일어난 것을 알 수 있다.

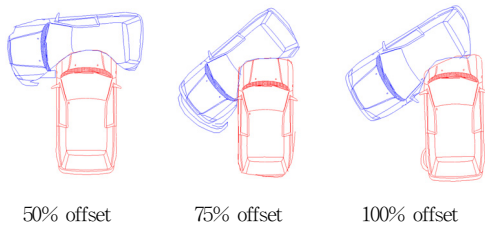


그림 6. 충돌자세  
Fig. 6 Impact position

### 2. 충돌자세와 속도에 따른 파손시간

운동량보존법칙 기반 해석에 사용하기 위해 유한요소 해석으로 도출한 충돌자세와 속도에 따른 DOP 값은 표 3으로 나타내었다.

표 3. 충돌자세에 따른 차량의 파손시간  
Table 3. Time of vehicle deformation according to impact position

Impact position	50%	75%	100%
Speed [km/h]	Depth of penetration [ms]		
10	45	34	31
20	38	28	26
30	33	26	25
40	31	26	25
50	30	24	25
60	25	23	23
70	25	23	23
80	25	20	21
90	24	20	20
100	23	19	18

모든 조건에서 DOP 값은 18~45 ms 범위에 존재하는 것을 확인하였다. 50%에서 100%로 갈수록 충돌감지의 시점이 짧아졌으며, 속도가 높아질수록 충돌 감지 시점이 빨라진다는 것을 확인하였다. 본 연구 결과에서 DOP의 최대값은 45 ms로 PC-CRASH의 기본 설정값과 유사하게 나타났지만 100%, 100 km/h 조건에서 최솟값인 18 ms로 나타났다. 차량의 측면은 전방과 후방에 비해 상대적으로 거리가 짧으며, 특히 뒤차축을 충돌하는 경우 강한 구조를 이루고 있기 때문에 충돌 부위에 따라 결과의 차이가 큰 것으로 확인되었다.

### 3. 충돌자세와 속도에 따른 반발계수

그림 7은 두 차량의 충돌 전과 충돌 후 속도로 계산된 반발계수를 그래프로 나타낸 것이다. 10 km/h에서 30 km/h까지는 비교적 유사한 반발계수 값을 나타냈으나 충돌속도 40 km/h에서부터 시험조건에 따른 차이를 나타냈다. 50%와 100% 조건은 40 km/h에서 나타난 반발계수 값이 100 km/h까지 비슷하게 유지되었으며, 75% 조건은 40 km/h에서는 50% 조건과 유사한 2.1에서부터 점차 증가하여 100 km/h에서 100% 조건과 유사한 0.1에 도달하였다. 차량의 뒤차축은 차체와 비교했을 때 상대적으로 강한 구조를 가지고 있기 때문에 뒤차축에 충돌하지 않은 50% 조건보다 뒤차축에 충돌이 일어난 75%와 100% 조건에서 큰 반발계수 값을 가지는 것으로 파악되었다.

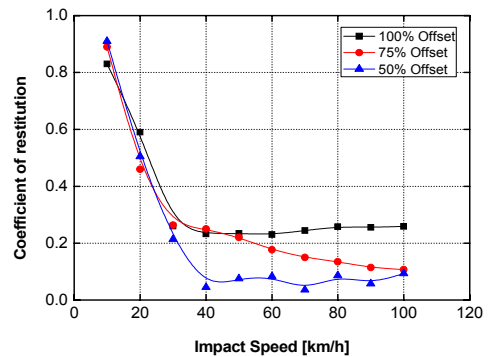
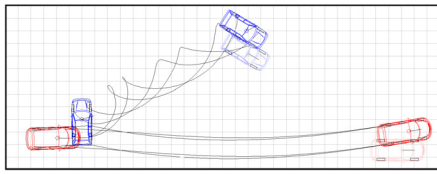


그림 7. 유한요소해석을 통해 도출한 반발계수  
Fig. 7 Coefficient of restitution acquired by finite element analysis

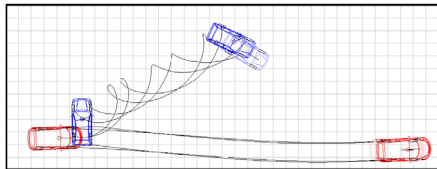
### 4. 시뮬레이션 검증

본 연구에서는 측면충돌 실차시험 4건에 대해 운동량 보존법칙을 이용한 시뮬레이션을 하였으며, 에너지 흡수에 따른 오차는 유한요소해석을 통해 도출한 반발계수와 DOP 값을 사용하여 시뮬레이션을 하였다.

첫 번째 실험은 두 차량 모두 소형차량으로 측면 직각 충돌형태의 시험으로 충돌차량의 속도는 83 km/h이고, 피 충돌차량은 정지해 있는 상태이다. 유한요소해석 모델의 100%, 80 km/h 조건과 유사한 형태를 보이고 있어 DOP 값은 21 ms, 반발계수는 2.5를 적용하여 시뮬레이션을 하였다. 그 결과는 그림 8과 같으며, 차량 1은 적색으로 차량 2는 청색으로 나타났다.



(1) Error: 7.6 %

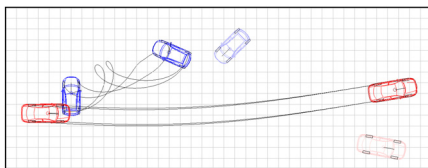


(2) Error: 5.5 %

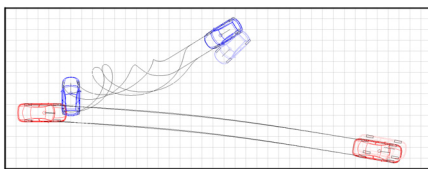
**그림 8. 차량 1과 차량 2의 시뮬레이션**  
**Fig. 8 Simulation of vehicle 1 and 2**

상단에 위치한 그림은 프로그램에 기본 설정된 DOP와 반발계수로 해석한 결과로 두 차량의 충돌 후 이동 거리와 정지각도를 식 (3)~(5)에 대입하여 계산했을 때 7.6%의 오차가 나타났으며, 하단에 위치한 그림은 유한요소해석을 통해 도출한 DOP와 반발계수를 사용했을 때 5.5%로 2.1% 감소한 결과를 얻을 수 있었다.

두 번째 실험 역시 첫 번째 실험과 동일한 속도조건이며, 중형차량과 경형차량의 시험으로 같은 조건의 변수를 적용한 후 시뮬레이션을 하였다. 그 결과는 그림 9로 차량 3은 적색으로 차량 4는 청색으로 나타냈다.



(1) Error: 28.5%



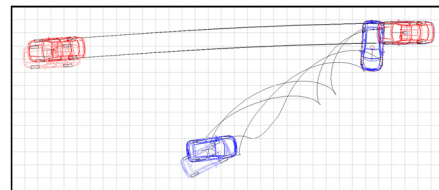
(2) Error: 6.2 %

**그림 9. 차량 3과 차량 4의 시뮬레이션**  
**Fig. 9 Simulation of vehicle 3 and 4**

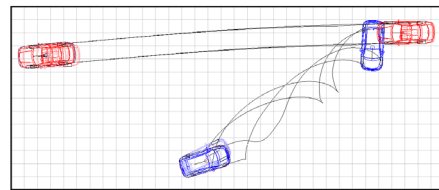
그림 9에서 상단에 나타난 결과는 PC-CRASH의 기

본 설정값을 이용하여 시뮬레이션을 한 결과로 28.5%의 상당한 오차율을 나타냈지만 유한요소해석을 이용하여 도출한 DOP 값과 반발계수를 적용한 후 해석을 한 결과의 오차율은 6.2%로 결과의 신뢰성이 상당한 수준으로 증가하였다. 기본값 설정을 이용한 시뮬레이션에서 오차가 크게 나왔던 이유는 충돌 감지시간이 45 ms 설정되어 두 차량이 너무 많이 중첩된 상태로 충돌점이 잘못 지정되었다. 본 실험과 같이 Small Overlap에 가까운 차량 접촉이 일어나는 경우 프로그램에서는 차량이 미끄러지듯이 충돌이 발생하는 Sliding Impact로 인식하여 큰 오차를 나타낸다는 것을 확인하였다.

세 번째 실험은 중형차량이 85 km/h의 속도로 20 km/h로 주행하고 있는 중형차량의 운전석쪽 뒤차축 부분을 충돌한 상황이다.



(1) Error: 6 %

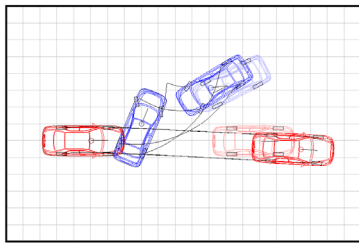


(2) Error: 3%

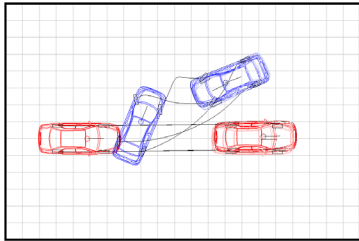
**그림 10. 차량 5과 차량 6의 시뮬레이션**  
**Fig. 10 Simulation of vehicle 5 and 6**

그림 10과 같이 PC-CRASH의 기본값을 사용했을 때 6%의 오차를 나타냈으나 유한요소해석을 통해 도출한 결과를 이용하여 시뮬레이션을 했을 때 3%로 매우 신뢰성이 있는 결과를 얻을 수 있었다. 본 해석에서는 PC-CRASH 프로그램의 기본값으로 시뮬레이션을 했을 때에도 비교적 낮은 오차율을 나타냈지만 연구를 통해 도출한 값을 입력했을 때 매우 신뢰도 높은 재현 결과를 나타냈다.

마지막 실험은 약 15 km/h의 속도로 선회하고 있는 중형차량의 운전석 뒤차축 부분을 45 km/h로 주행하던 대형차량이 충돌한 사고로 중형차량이 약 120도 회전 후 정차하였다.



(1) Error: 14.9 %



(2) Error: 2.1 %

그림 11. 차량 7과 차량 8의 시뮬레이션

Fig. 11. Simulation of vehicle 7 and 8

그림 11은 프로그램의 기본 조건과 연구를 통하여 도출한 결과를 가지고 비교한 결과로 대형차량인 차량 7을 적색으로 중형차량인 차량 8을 청색으로 나타냈다.

기본조건은 14.9%의 상당히 큰 오차를 보였으나 이는 다른 사례와 비교했을 때 충돌 후 차량이 이동한 거리가 상대적으로 짧기 때문인 것으로 확인 되었다. 연구를 통하여 도출한 결과를 사용했을 때 2.1%의 오차로 오차가 크게 줄어 신뢰할만한 결과를 얻은 것으로 확인할 수 있었다.

## V. 결론

본 연구는 소형차량 모델로 유한요소해석을 진행하였으며, 시뮬레이션 결과의 검증에 위한 시뮬레이션은 다양한 종류의 차로 해석을 진행하였다. 유한요소해석과 그 결과를 이용하여 운동량보존법칙으로 해석하여 연구한 측면충돌의 사고분석에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 측면충돌의 경우 차체의 구조에 따른 영향으로 차량의 충돌부위에 따라 DOP와 반발계수 값이 달라진다는 것을 확인하였다.
- (2) 두 충돌차량이 유사한 등급인 경우 해석결과와 오차가 신뢰할만한 수준으로 나타났지만 두 차량의 등급 차이가 있는 경우 PC-CRASH의 기본 설정

값으로 진행한 시뮬레이션에서 상대적으로 큰 오차를 나타냈다.

- (3) 운동량보존법칙을 이용한 PC-CRASH해석에서 프로그램에서 기본으로 제공하는 DOP와 반발계수 값을 적용했을 때 보다 유한요소해석을 이용하여 도출한 DOP와 반발계수 값을 사용했을 때 상당한 오차를 줄여 신뢰성이 있는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구는 2차원 직각충돌 해석방법으로 피 충돌차량이 움직이지 않거나 저속인 상황에서 시뮬레이션을 검증하였지만, 향후 다양한 차종, 충돌속도, 충돌자세 등의 여러 변수를 고려한 실차시험의 결과를 얻고 해석을 수행한다면 차대차 측면충돌 사고분석의 신뢰성은 더욱더 향상될 것으로 사료된다.

## References

- [1] National Police Agency, "TAAS system of National Police Agency", 2014.
- [2] H. H. Chae, J. H. Lim, "Analysis for Traffic Accidents against Car-Pedestrian on Simulation", Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, Vol. 12, No. 3, pp.115-121, 2012.
- [3] W. S. Ha, S. Y. Han, "Establishment of Important Impact Parameters of Traffic Accident Reconstruction Program PC-CRASH", Journal of Korean Society Transportation, Vol. 21, No. 2, pp.155-164, 2003.
- [4] C. S. Lim, Y. W. Choi, H. K. Jeng "Analysis about Speed Variations Factors and Reliability of Traffic Accident Collision Interpretation", Journal of Korean Society Civil Engineers, Vol. 31, No. 4, pp.539-546, 2011.
- [5] J. D. Kin, J. K. Yoon, "Reliable Study on the Collision Analysis of Traffic Accidents Using PC-Crash Program", Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, Vol. 12, No. 5, pp.115-122, 2012.
- [6] J. U. Cho, B. S. Min, M. S. Han, "Simulation Analysis on Impact of Automotive Body", Journal of the



Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 18, No. 5, pp.477-482, 2009.

- [7] W. G. Jang, "Optimal Design for Torsional Stiffness of the Tubular Space Frame of a Low-Cost Single Seat Race Car", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, No. 10, pp.5955-5962, 2014.
- [8] S. W. Seo, "A study on The Crash Characteristics and Deformation Aspect of Passenger Cars", Ajou University, 2009.
- [9] Jeong-hwan Chun, "A Study of Collision Speed Estimation at Intersection", University of Seoul, 2011.
- [10] "Traffic Accident Analysis Manual", Korea Road Traffic Authority, 2011.
- [11] "PC-Crash Technical Manual", Dr. Steffan Datentechnik, 2014.
- [12] "New Car Assessment Program Frontal Barrier Impact Test", National Highway Traffic Safety Administration, <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/database/VSR/veh/QueryVehicle.aspx>, 1994

### 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 IT 분야>

## 저자 소개

### 한 영 규(정회원)



- 1984년 : 중앙대학교 기계공학 학사
- 2015년 ~ 현재 : 가천대학교 대학원 기계공학과 석사과정 재학 중
- <주관심분야 : 자동차사고분석>

### 백 세 룡(정회원)



- 2011년 : 경원대학교 기계·자동차 공학학사
- 2015년 : 가천대학교 대학원 기계 공학석사
- 2011년 ~ 현재 : 유한회사 삼송 재직 중
- <주관심분야 : 자동차사고분석>