

EDSMAC을 이용한 충돌 후 차량운동에 영향을 미치는 인자 Factors Influencing on movement of crashed Vehicle by using EDSMAC

정호교 · 강대민

H. K. Jung, D. M. Kang

Key Words : Crash Analysis(충돌해석), Movement of Vehicle(차량운동), Roll Resistance(구름저항), Stiffness(강성계수), Brake Force(제동력)

Abstract: Velocity change of crashed vehicle has been applied to assess the safety of passenger and degree of impact severity widely. In this study, 1 D crash analysis and 2 D crash analysis were performed for velocity change of crashed vehicle with HVE 2D, and factors used for these analysis are weight, C.G, roll resistance, stiffness and brake force which influence on velocity change of crashed vehicle. According to results, the velocity change of crashed vehicle was influenced by weight, center of gravity stiffness and brake force but not roll resistance.

1. 서 론

현재 전세계적으로 자동차산업의 발달과 더불어 차량의 수가 급속히 증가하였으나, 이를 수용할 만큼의 도로나 기타 교통시설은 과거에 비해 크게 변화하지 못한 관계로 자동차의 속도를 동반한 교통사고의 빈도수가 날로 증가 추세에 있는 실정이다. 이와 함께 오늘날 사고시 승객의 상해를 최소화하기 위한 안전성 확보가 필수적으로 요구됨에 따라 차량 충돌사고를 과학적으로 해석하여 이를 활용한 안전한 자동차의 설계에 관심이 집중되고 있다.

자동차 충돌해석에 관한 과학적인 해석의 접근 방법이 최초로 시도된 것은 1968년 Richard I. Emori¹⁾에 의해서이다. 이후 1996년 Day T. D²⁾가 HVE프로그램을 활용하여 자동차로 인한 사고재현 분석방법을 시뮬레이션 하였다. 또한 2·3차원 애니메이션 기법을 최대한 활용하여 사고과정을 비주얼화 하였으며 사고의 원인을 인적, 차량적, 도로 환경적 등 복합적으로 재현분석하게 되었다.

그리고 1987년 Day T. D^{3,4)}, 1994년 Robinette. R. D⁵⁾ 및 1996년 Bundorf. R. T⁶⁾에 의해 차량의

충돌실험 결과로부터 사고재현을 위해 필수적인 ΔV 를 추정하여 충돌의 정도를 표준화하거나 혹은 사고 재구성에 활용하는 연구가 진행되었다.

충돌사고를 재현하는데 있어서 충돌 후의 속도 변화(ΔV)는 차량 간의 충돌정도나 승객의 안전도를 평가하는 기준으로서 매우 중요하며 이와 관련하여 현재 국내에서는 ΔV 에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자들에 대한 연구가 1997년 S. B. Park⁷⁾에 의해 고정벽 충돌과 일직선상의 정면충돌의 경우에만 한정되게 해석이 행해졌다.

본 연구에서는 손상법에 따른 충돌해석 소프트웨어인 EDC사의 HVE 2D 내부 시뮬레이션 모델 중 평면상에서 자동차간의 충돌시 일어나는 차량운동 및 속도변화를 재현하는 프로그램인 EDSMAC을 활용하였다. 그리고 차량, 인간, 환경의 3가지 조건을 고려한 차량의 무게, 무게중심, 구름저항, 강성계수 및 제동력 등의 여러 충돌인자들을 일정한 범위 내에서 1차원 정면충돌, 2차원 측면전부와 측면후부 직각충돌시 ΔV 에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 알아보았다.

2. 해석방법 및 조건

2.1 해석 방법

충돌해석을 위해 활용된 소프트웨어인 HVE 2D

접수일 : 2002년 6월 2일

정호교 : 도로교통안전관리공단 교통사고조사연구원

강대민 : 부경대학교 기계공학부 교수

(Human Vehicle Environment 2 Dimension)프로그램은 미국 EDC(The Engineering Dynamics Corporation)에서 제공하는 교통사고 전문 시뮬레이션 프로그램인 소프트웨어 상품으로서 내부 시뮬레이션 모델로는 EDCRASH, EDSMAC,EDSVS, EDVTS로 구성되어 있다.

이 모델 중 본 연구에 활용된 EDSMAC (Engineering Dynamics Corporation Simulation Model of Automobile Collisions)은 사용자로부터 측정되거나 가정된 초기조건, 등을 이용하여 사고결과를 예측한다. Fig. 1에서는 HVE 2D의 내부 시뮬레이션모델인 EDSMAC을 활용하여 여러 충돌인자를 변화시키면서 충돌 테스트를 가상으로 시뮬레이션한 것을 나타내었다.

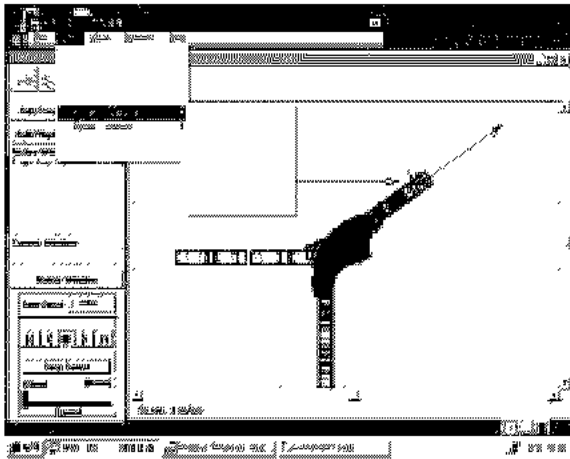


Fig. 1 Simulation of EDSMAC

2.2 해석 조건

2.2.1 경계조건

HVE 2D 프로그램은 차량, 환경, 인간적 요소에 따라 무게, 무게중심, 구름저항, 강성계수 및 제동력등의 충돌인자들로 구성되며 충돌유형에 따라 적절한 경계조건을 주어 충돌해석을 수행하였다.

두 대의 차량의 동일한 승용차를 기준으로 선택하여 임의의 한 차량은 고정하고 다른 한 차량의 충돌인자에 일정한 변화를 주었으며 그 외의 모든 조건은 동일시하였다.

다음의 Table 1은 차량간의 충돌시 변화되는 충돌인자의 경계조건을 나타내었다.

2.2.2 동적조건

충돌해석시 각각의 충돌인자에 적용된 동적조건은 무게, 무게중심, 구름저항, 강성계수 및 제동력

등이다. 첫째, 질량변화는 탑승자 1인을 포함한 자동차의 전체 질량으로 계산하여 유효 범위 내에서 500kg씩 일정하게 증가시켰다.

Table 1 Boundary condition of collision factor for simulation

Factors		Weight	CG	Roll Resistance	Stiffness	Brake force
Front to Front collision	Veh1	fixed	fixed	fixed	change	fixed
	Veh2	change	change	change	fixed	change
Front to Side.F collision	Veh1	fixed		fixed	change	fixed
	Veh2	change		change	fixed	change
Front to Side.R collision	Veh1	fixed		fixed	change	fixed
	Veh2	change		change	fixed	change

둘째, 무게중심의 변화에 따른 영향을 알아보기 위해 유효범위 내에서 종방향으로 0.05(1/20)씩 일정하게 증가시켰다. 단, 차량의 횡방향에 대한 무게중심의 변화는 종방향에 비해 매우 낮아 충돌해석에서 배제하였다.

셋째, 구름저항은 각 바퀴의 잠김도를 나타내는 것으로서 바퀴 잠김도의 유효 값의 범위는 자유구름상태에서 제동에 의한 완전잠김에 이른다. 여기서 자유구름상태는 노면과 타이어사이에는 반드시 저항이 존재하므로 0.01부터 시작하여 0.2씩 증가시켜 완전 잠김인 1.0(100%)까지 일정한 변화를 주었다. 넷째, 강성계수는 차량외관에 대한 충돌특성에 따른 충격계수로서 유효범위 내에서 50씩 일정하게 증가시켰다. 다섯째, 제동력은 타이어와 노면 사이의 마찰계수를 나타내는 것으로 유효한 마찰계수 값의 범위인 0.3~0.9까지 0.1씩 입력 값을 일정하게 증가 시켰다. 다음의 Table 2는 차량간의 충돌시 변화되는 충돌인자의 동적조건을 나타내었다.

Table 2 Movement condition of collision factor

change factor	minimum value	maximum value	increased value
Mass(kg)	1160	3160	500
CG	10/20	14/20	1/20
Roll Resistance (%)	0.01	1.0	0.2
Stiffness(kg/m ²)	395	595	50
Brake force(%)	0.3	0.9	0.1

3. 결과 및 고찰

3.1 차량의 무게에 따른 ΔV 의 변화

Fig. 2는 Table 1의 경계조건에 따라 임의의 한 차량을 고정하고 다른 한 차량의 무게를 일정한 범위내에서 변화시키면서 정면충돌 해석한 결과값을 그래프로 나타낸 것이다. 이 결과에서는 무게를 고정시킨 Veh1의 경우 ΔV 가 최소 48.4km/h, 최대 86.7km/h로서 무게가 증가함에 따라 속도변화는 증가하는 반면에 무게를 점차 증가시킨 Veh2는 ΔV 가 최대 48.4km/h, 최소 31.8km/h로서 무게가 증가함에 따라 속도변화는 감소현상을 보였다.

그리고 Fig. 3은 정상적으로 주행하는 차량의 측면중 전면부를 정면충돌 해석한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. Veh1의 경우 무게가 증가함에 따라 ΔV 가 최소 33.5km/h, 최대 52.3km/h로서 증가현상을 보였으나 Veh2는 ΔV 가 최대 35.3km/h, 최소 18.3 km/h로서 감소현상을 보여 ΔV 가 차량의 무게에 감소하는 결과가 나타났다. Fig. 4는 차량의 측면 후면부를 정면으로 충돌해석한 결과를 그래프로 도시한 것이다.

Veh1의 경우 ΔV 가 최소 16km/h, 최대 22.4km/h로서 증가현상을 보였으나 Veh2는 ΔV 가 최대 16.3km/h, 최소 8.3km/h로서 8km/h의 감소하는 현상이 나타났음을 알 수 있다.

따라서 차량의 무게에 따른 ΔV 의 관계는 정면 및 측면충돌의 경우 모두 무게를 증가시킨 차량에 비해 고정시킨 차량의 ΔV 가 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 현상은 충돌 중의 평균가속도는 차량의 무게가 증가함에 따라 감소하는 결과로 사료된다.

그리고 정면충돌에 비해 측면충돌의 경우 ΔV 가 다소 낮게 형성되어 충돌에너지손실이 적게 나타났다. 이러한 현상은 1차원충돌의 경우 충격력에 의한 에너지 손실이 반발계수에 따라 결정되는 반면 2차원충돌은 충돌물체간의 마찰계수에 따라 정해지기 때문이다. 따라서 측면충돌의 경우 정면충돌에 비해 접촉마찰계수가 적어 ΔV 가 다소 낮게 형성된 것으로 사료된다.

3.2 차량의 무게중심에 따른 ΔV 의 변화

Table 1의 경계조건에 따라 임의의 한 차량을 고정하고 동일한 다른 한 차량의 무게중심을 종방향으로 일정하게 변화시켜 충돌해석을 수행하였다.

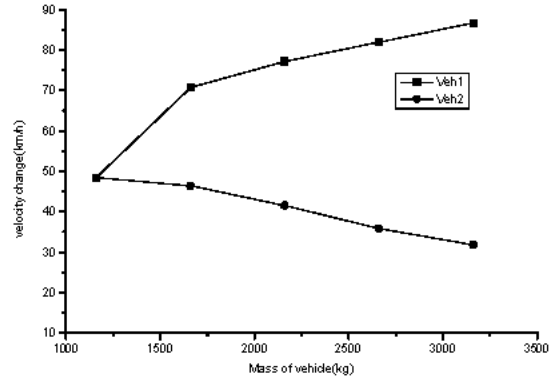


Fig. 2 The relationship between velocity change and mass of vehicle: Front to Front Collision

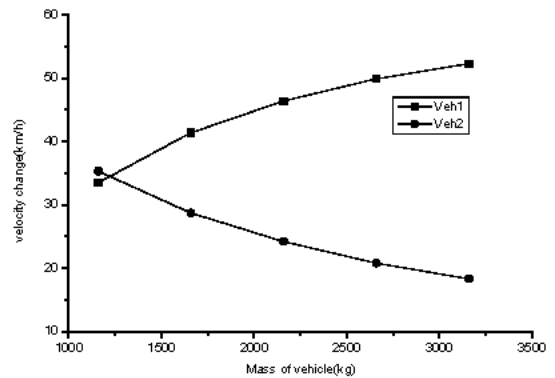


Fig. 3 The relationship between velocity change and mass of vehicle: Front to Side, F Collision.

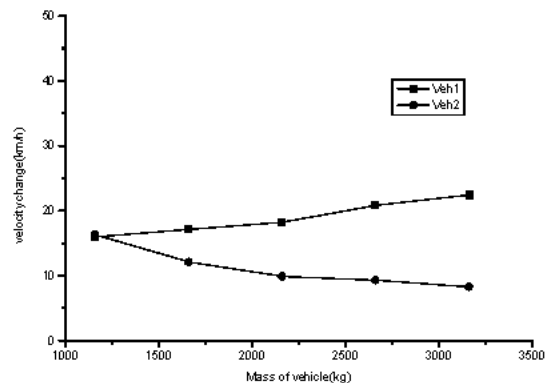


Fig. 4 The relationship between velocity change and mass of vehicle: Front to Side, R Collision

Fig. 5는 두 차량을 정면 충돌시켜 본 결과를 그래프로 도시한 것이다.

여기서 보면 무게중심의 변화를 준 차량과 고정된 값을 준 차량 모두 동일한 영향을 받는 것으로 나타났다.

또한 무게중심이 차량의 전방으로 이동될수록 ΔV 의 변화가 약간 증가함을 알 수 있었다. 이러한 현상은 무게중심의 변화가 충돌중의 평균가속도에 영향을 미침으로 인한 결과로 사료 된다.

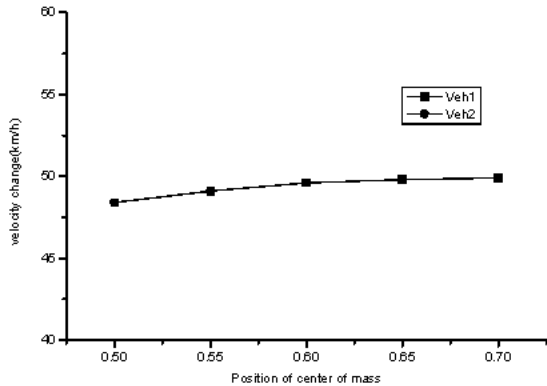


Fig. 5 The relationship between velocity change and position of center mass : Front to Front Collision

3.3 차량 타이어의 구름저항에 따른 ΔV 의 변화

Fig. 6은 두 차량을 정면충돌상태에서 구름저항 증가에 대한 속도변화의 결과를 나타낸 그래프로서 ΔV 는 구름저항의 변화에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

Fig. 7은 한 차량을 정면, 다른 차량을 앞면측면으로 충돌시 구름저항증가에 대한 속도변화의 관계를 나타내는 그래프로서 여기서보면 ΔV 는 구름저항이 증가됨에 따라 속도변화가 거의 변화를 보이지 않았다.

Fig. 8에서는 한 차량은 정면, 다른 차량은 후면으로 충돌한 경우

구름저항에 대한 속도변화의 관계로 충돌 후 속도변화는 구름저항에 거의 영향을 받지 않았다.

3.4 차량의 강성계수에 따른 ΔV 의 관계

강성계수는 차량 외관의 충돌특성에 따른 충격 계수로서 차량의 총합적인 강성도를 나타내며 수치가 높을수록 무한질량의 장벽에 가까워져 소성 충돌에 근접한다고 할 수 있다.

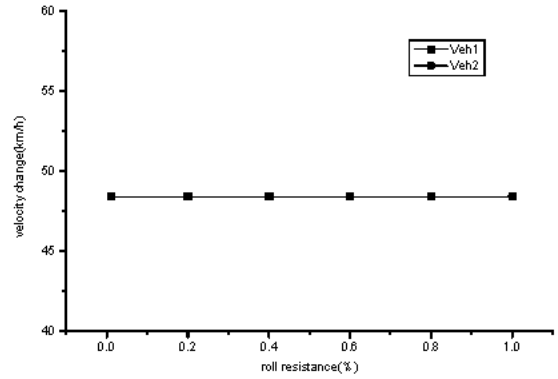


Fig. 6 The relationship between velocity change and roll resistance: Front to Front Collision

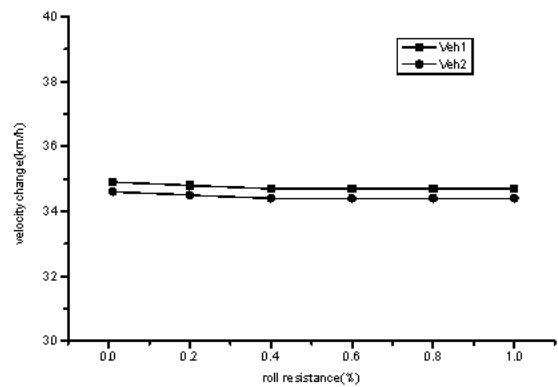


Fig. 7 The relationship between velocity change and roll resistance: Front to Side. F Collision

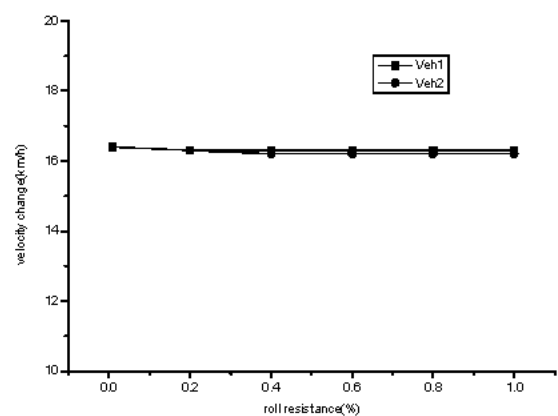


Fig. 8 The relationship between velocity change and roll resistance: Front to Side. R Collision

Fig. 9는 강성계수를 일정하게 변화시켜 1차원 정면충돌시킨 결과를 그래프로 도시한 것이다. 여기서보면 ΔV 값은 두 차량 전부 강성계수의 증가함에 따라 약간 증가하다가 강성계수가 550일 때 속도변화가 급격한 증가를 보였다.

Fig. 10은 한 차량은 정면, 다른차량은 전면측면부에 충돌하는 경우이고, Fig. 11은 한차량은 정면, 다른차량은 후면측면부에 충돌하는 경우에 대해 차량의 강성계수증가에 따른 ΔV 의 변화를 나타낸 그래프로서 강성계수 값을 증가시킬수록 두 차량의 ΔV 값이 약간의 증가현상이 나타났다.

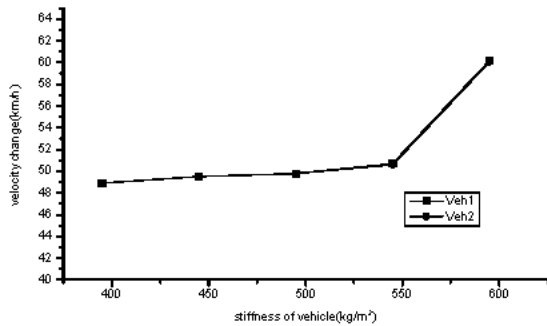


Fig. 9 The relationship between velocity change and Stiffness of vehicle: Front to Front Collision

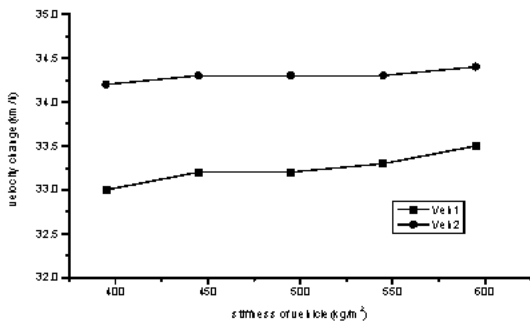


Fig. 10 The relationship between velocity change and Stiffness of vehicle : Front to Side.F Collision

3.5 차량의 제동력에 따른 ΔV 의 관계

제동력은 충돌시 일어나는 인간적 요소에 따른 충돌인자로서 타이어가 제동되어 세로 미끄러움을 하고 있을 때의 마찰계수를 입력하는 것이다.

차량이 직선운동을 할 때 작용하는 힘은 추진력과 저항력 그리고 중력 및 중력의 반작용인 수직항력으로 나뉜다. 여기서 저항력은 중력에 기인하며 관성력과 저항력사이에 비례관계가 성립된다.

이 때 비례계수를 마찰계수라 하며 항상 자유회전하는 타이어의 회전면에 직각이므로 접촉표면의 거칠기에 관계된다.

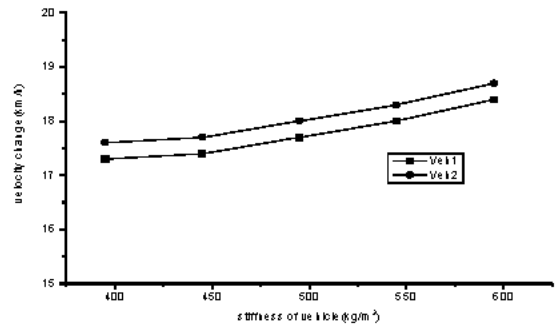


Fig. 11 The relationship between velocity change and Stiffness of vehicle : Front to Side.R Collision

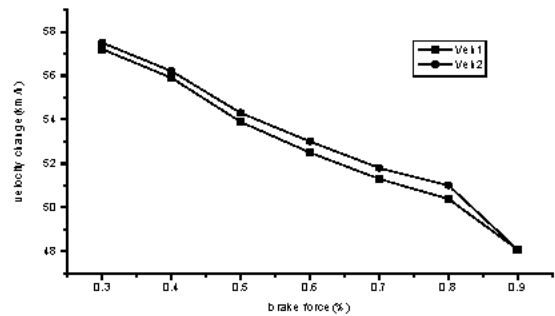


Fig. 12 The relationship between velocity change and brake force: Front to Front Collision

Fig. 12~14에서는 차량의 제동력과 ΔV 의 관계를 충돌해석한 결과이다. 그 중 Fig. 12는 제동력을 일정하게 변화시켜 1차원 정면 충돌시킨 결과를 그래프로 도시한 것으로 ΔV 는 제동력이 증가됨에 따라 두 차량 모두 급격히 감소되는 현상을 보였다. Veh1의 경우 최대 57.2km/h, 최소 48.1 km/h 감소하는 변화를 보였으며 Veh2는 최대 57.5km/h, 최소 48.1km/h로서 Veh 1의 경우와 비슷하게 감소하는 변화를 보였다.

Fig. 13 및 14는 2차원 측면충돌시킨 결과를 그래프로 도시한 것으로 Fig. 13의 경우 한차량은 정면 다른차량은 전면측면부를 충돌한 경우로서 Veh1은 최대 31.9km/h, 최소 27.6km/h, Veh2 역시 최대 33.8 km/h, 최소 30.1km/h로서 제동력이 증가함에 따라 ΔV 는 감소하는 경향을 보였다. 그리고 Fig. 14의 경우 한차량은 정면, 다른차량은

후면측면부의 충돌시 나타내는 결과로서 Veh1은 최대 14.5km/h, 최소 10.9km/h, 그리고 Veh2 역시 최대 15.1km/h, 최소 12.2km/h로서 미소한 감소현상이 나타났다.

따라서 차량의 제동력에 따른 ΔV 의 관계는 정면 및 측면충돌의 경우 모두 제동력의 증가에 비해 ΔV 값이 감소하는 현상이 나타났다.

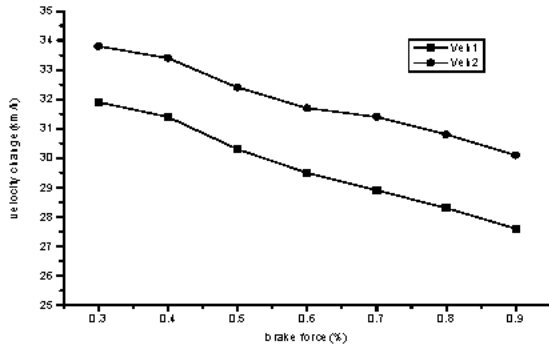


Fig. 13 The relationship between velocity change and brake force: Front to Side.F Collision

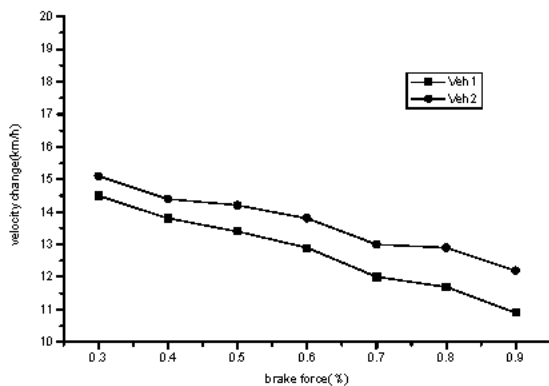


Fig. 14 The relationship between velocity change and brake force: Front to Side.R Collision

4. 결론

충돌해석 프로그램인 HVE 2D를 사용하여 여러 가지 충돌인자를 변화시키면서 충돌시 속도 변화 (ΔV)에 미치는 영향에 대해 차량 충돌해석을 수행하여 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 차량의 무게에 따른 ΔV 의 변화는 정면 및 측

면충돌의 경우 무게를 증가시킨 차량에 비해 고정시킨 차량의 ΔV 가 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 현상은 충돌 중의 평균가속도가 차량의 무게가 증가함에 따라 감소하는 결과로 사료된다.

2) 차량 무게중심의 변화에 따라 ΔV 가 두 차량 모두 증가하였으며 구름저항 증가에 따른 ΔV 의 변화는 전반적으로 별다른 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

3) 차량의 강성계수에 따른 ΔV 의 관계는 정면충돌 및 측면충돌의 경우 모두 강성계수 값을 증가시킬수록 두 차량의 ΔV 값이 증가하였다.

이러한 현상은 충격 흡수에너지가 차체강성과 최대변형의 제곱에 비례함으로 인한 결과로 사료된다.

4) 차량의 제동력에 따른 ΔV 의 관계는 정면 및 측면충돌의 경우 모두 제동력을 고정시킨 차량에 비해 증가시킨 차량의 ΔV 값이 상대적으로 높게 나타났다.

차량의 충격력이 증가함에 따라 차량의 감속도는 작아지는 결과로 사료된다.

5) 차량의 무게중심, 강성계수 및 제동력의 변화는 정면충돌에 비해 측면충돌의 경우가 ΔV 가 다소 낮게 형성되었다.

이러한 현상은 1차원 충돌의 경우 에너지 손실이 반발계수에 따라 결정되는 반면 2차원 충돌은 충돌물체간의 마찰계수에 따라 정해지기 때문인 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. R. I. Emori, "Analytical Approach to Automobile Collisions", SAE Paper 680016, 1968
2. T. D. Day and D. E. Siddall, "Validation of Several Reconstruction and Simulation of Model in the HVE Scientific Visualization Environment", SAE Paper 960891, 1996
3. T. D. Day and R. L. Hargens, "An Overview of the Way EDCRASH computers Delta V", SAE Paper 870045, 1987
4. T. D. Day and R. L. Hargens, "An Overview of the Way EDSMAC computers Delta V", SAE Paper 880069, 1988
5. R. D. Robinette, R. J. Fay and R. E. Paulsen, "Delta V: Basic Concepts, Computational Methods, and Misunderstandings", SAE Paper

940915, 1994

6. R. T. Bundorf, "Analysis and Calculation of Delta V from Crash Test Data", SAE Paper 960899, 1996
7. S. B. Park., "EDCRASH 입력자료가 결과에 미치는 영향", 자동차사고과학연구회 논문집 제 1 권, KAAIS, 1997
8. HVE 2D Program Manual, EDC, 1996 1999