

차체의 변형형상과 변형정도에 의한 자동차 충돌상황의 재구성

Collision Configurations Reconstruction Using Deformation Shape and Deformation Severity of Car Body

장인식*, 채덕병**
Insik Jang, Deokbyoung Chae

ABSTRACT

Collision accident reconstruction algorithms are developed based on the deformation shape and severity of a car body. At first, the body stiffness equation representing the force-deformation relationship is derived using finite element analysis for head on collision of two cars. The database of deformation shapes and energies is constructed for five different collision configurations; each configuration contains three velocity conditions. Deformation shapes are obtained using a curve fitting method and result in cubic polynomials. Deformation energies are calculated using a stiffness equation and deformation data. Three algorithms are developed to reconstruct collision configuration compared with constructed database. The developed algorithms show reasonably good performance to find collisions conditions for some test problems.

주요기술용어 : Collision accident reconstruction(충돌사고재구성), Stiffness equation(강성방정식), Force-deformation relationship(힘-변형량 관계), Database of deformation shapes and energies(변형 에너지와 변형 형상의 데이터베이스), Collision configuration(충돌 상황)

Nomenclature

C : crush, mm
 ΔV : velocity variation, mm/s
M : mass
w : width

C : crash

Subscripts

f : final

1. 서론

지금까지의 자동차 충돌사고 재구성(collision accident reconstruction)에서는 벽면 정면 충돌 실험을 통해서 유도된 차량의 강성 방정식을 사용하였다. 그러나, 이러한 실험적 방법은 점점 더 빠르게 변화하는 차종의 다양화와 경제적 측면에서 효과적으로

* 회원, 홍익대학교 기계정보공학과

** 회원, 홍익대학교 대학원

대응하는데 한계가 있다고 하겠다. 따라서 본 연구에서는 충돌상황의 재구성을 위해서 차량을 단순화하여 실제 차량을 수치적 모델로 구현하고, 유한요소법을 이용하여 변형에너지와 변형형상을 구한다.

충돌 실험을 통한 사고 재구성에 대한 문헌을 살펴보면, Strother 등은 충돌 실험을 통하여 차량의 크기에 따라서 강성계수를 측정하고 변형에너지를 계산하는 방법을 개발하였으며,¹⁾ Varat 등은 강체 지주에 충돌하는 자동차의 변형정도에 대한 여러 가지 데이터를 제시하였다.²⁾ Prasad는 이전의 방법을 개선하여 영구변형상태로부터 정면과 후방 충돌시 흡수 에너지를 계산하고 미국립 고속도로 교통 안전국(NHTSA)의 실제 차량 데이터와 비교하였다.³⁾ Ueyama 등은 실제 차량간의 충돌실험 후 충돌상황에 따라 변형형상을 도시하고 계열화를 시도하였다.⁴⁾ 이와 같이, 차량을 단순화하여 변형에너지를 구하고 변형형상의 형상화는 시도되었으나 수식화를 통한 여러 가지 충돌 상황에 대한 데이터 베이스를 구성한 경우는 드물다.

본 연구에서는 변형 형상과 변형 정도에 대한 데이터 베이스를 구성하기 위하여 지금까지 강성방정식의 유도에 사용되었던 벽면 충돌을 차량간의 충돌에 그대로 적용했을 경우 계산되는 차체의 변형 에너지의 오차가 커짐으로, 차량간의 충돌에서 차체의 변형 에너지를 계산하기 위하여 벽면 정면충돌이 아닌 다른 방법을 이용하여 차체의 강성 계수를 계산한다. 여기서는 차량간 정면충돌을 수행하고 속도-변형량 관계를 구한다. 계산되는 속도-변형량 관계를 이용하여 힘-변형량 관계의 강성 방정식을 구하고 차량간 충돌 시 차체 변형 에너지를 계산하는데 이용한다.⁷⁾

그리고, 실제 충돌 상황의 재구성에 적용하기 위해서 일반적인 전면 충돌 상황으로 여겨지는 5가지 충돌 상황을 설정하고 이에

대한 변형 형상과 변형에너지를 데이터베이스로 구축한다. 각각의 충돌 상황에서 서로 다른 세 가지 속도에 대하여, 차량의 변형 형상은 3차식으로 곡선 적합한 4개의 계수들로 구성되어 있으며, 변형에너지는 차량간 충돌 해석을 통해서 유도된 강성방정식으로부터 계산되는 값들이다.

이러한 과정을 통해서 구축된 데이터베이스의 실제 적용능력을 알아보기 위하여 역 계산 알고리즘을 개발한다. 이 알고리즘에서는 차량의 변형 형상을 곡선 적합하여 계수화하고, 변형량으로부터 에너지를 계산하여, 이를 데이터베이스와 비교함으로써 차량의 충돌 상황을 유추한다. 이 과정에서 변형 형상의 검색에서 보다 효율적인 데이터 베이스의 검색 알고리즘을 개발하기 위해서 몇 가지 검색방법을 임의로 선택하여 데이터 베이스의 검색에 적용해 보고 그 결과를 비교 분석한다.

2. 강성방정식의 유도

차체의 강성을 단순한 스프링으로 간주하여 힘-변형량 관계로 표시되는 강성방정식을 구하고, 변형에너지를 계산하기 위해서는 차량의 벽면 정면 충돌 시험 또는 해석이 선행되어야 한다.



Fig. 1 Head on collision configuration between two cars

그러나 벽면 정면 충돌의 방법으로 유도한

강성방정식을 차량간 충돌에서 차체의 변형 에너지를 계산하는데 확대 적용해본 결과 유도된 강성방정식을 활용하기에는 계산되는 에너지값의 오차가 무시할 수 없는 수준이었다.

따라서 본 연구에서는 차량간 충돌에서의 변형에너지를 계산하기 위해서 차량간 정면 충돌을 실시하여 새로운 강성방정식을 유도하였다. 차량간 정면 충돌해석의 조건은 Fig. 1에서와 같이 정면 충돌하는 두 차량이 각각 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h, 35 km/h, 40 km/h의 동일한 초기속도를 가지고 충돌하는 것이다. 차량간 정면 충돌해석에서 얻은 평균 변형량과 충돌속도와의 관계를 선형방정식의 형태로 가정하고 나타내면 식(1)과 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta V_c = b_0 + b_1 C_f \quad (1)$$

여기서, ΔV_c 는 충돌이 일어나는 동안의 속도변화이고, b_0 , b_1 은 각각 속도변화 그래프에서의 절편과 기울기를 나타내며, C_f 는 영구변형량(residual crush)의 평균치를 나타낸다. 그리고 힘과 변형량의 관계를 선형적이라고 가정하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F/w = A + BC_f \quad (2)$$

여기서, F 는 변형저항력이고, w 는 접촉 폭을 의미하며, A 는 변형이 시작되는 힘의 크기를 나타내는 절편이고 B 는 차체의 강성계수를 의미하는 기울기이다. 충돌이 일어나는 동안 초기 운동에너지가 모두 변형에너지로 전환되었다면 충돌로 인한 흡수에너지의 관계로부터 다음의 식을 구할 수 있다.

$$A = Mb_0 b_1 / w \quad (3)$$

$$B = Mb_1^2 / w \quad (4)$$

여기서, M (1233kg)은 차량의 질량을 나타낸다.

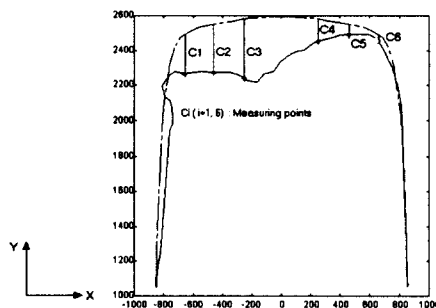


Fig. 2 Measuring location of deformation (solid-dot : Undeformed shape, solid : deformed shape)

Fig. 2에는 영구 변형량을 계산하기 위하여 변형량을 측정하는 부분과, 측정하는 방법이 나타나 있다. 변형된 차량중심에서 좌우로 각각 3개의 위치에서 변형 전 차량의 형상과 변형 후 차량의 변형 형상 사이에 차체의 y-방향 변형량을 취하여 총 6개의 변형량의 평균한 값을 각각의 속도에서 영구 변형량으로 간주하고, 속도에 따른 5개의 영구 변형량(20 km/h : 100 mm, 25 km/h : 151 mm, 30 km/h : 210 mm, 35 km/h : 260 mm, 40 km/h : 298 mm)을 이용하여 수치적으로 적합(fitting)하면 다음과 같은 선형방정식을 얻을 수 있다.

$$\Delta V_c = 2.77 + 0.0273 C_f \text{ [km/h]} \quad (5)$$

식(5)에서 구해진 b_0 , b_1 값을 식(3), (4)를 이용하여 힘-변형량 관계를 구하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F/w = 65.81 + 0.65C_f [N/mm] \quad (6)$$

Table 1 에는 정면충돌의 상황에서 변형 에너지에 대하여 유한요소해석에 의한 결과와 단순화된 강성방정식을 이용한 결과를 비교하였다. 저속에서는 오차가 다소 크게 나타났으나, 30 mph 이상에서는 5% 이내의 오차를 가지고 있다.

Table 1 Comparison of deformation energy for head on collision

Velocity (kph)	LS-DYNA3D (N-mm)	force-deform (N-mm)	Error (%)
20	3.4546E+07	2.5591E+07	25.9
25	5.3581E+07	4.5512E+07	15.1
30	7.6241E+07	7.3959E+07	3.0
35	1.0333E+08	1.0228E+08	1.0
40	1.3349E+08	1.2687E+08	5.0

3. 변형 형상의 데이터 베이스 구축

변형 형상의 데이터를 사고재구성에 이용하려면 여러 가지의 충돌상황에 대한 데이터를 가지고 있어야 한다. 본 연구에서는 다차식으로 곡선 적합한 다차식의 계수들을 데이터 베이스로 활용하려 하기 때문에 곡선 적합의 차수가 되도록 적어야 좋다. 따라서 여기서는 2차와 3차식으로 곡선 적합한 다차식의 오차를 계산한 결과 대체적으로 3차식으로 곡선 적합했을 때 곡선 적합의 오차가 적게 나타나는 것으로 판단되어 데이터 베이스화에 사용하는 곡선 적합의 차수를 3차로 결정하였다. 이렇게 3차식으로 곡선 적합을 한 결과 각각의 변형마다 3차 다항식의 계수인 a_0, a_1, a_2, a_3 총 4개가 데이터 베이스화에 사용된다.

Fig. 3에는 본 연구에서 데이터 베이스로

사용한 일반적인 5가지의 전면 충돌 상황을 나타내었다. Fig. 3(a)는 180° 50% 오프셋 충돌(Config. #1)이고, Fig. 3(b)는 충돌 각도가 150° 로 #1차의 왼쪽 모서리가 #2의 중앙에서 약간 왼쪽으로 치우친 부분에 충돌하는 경사 충돌(Config. #2), Fig. 3(c)는 충돌 각도가 135° 로 #1차의 왼쪽 모서리와 #2차의 오른쪽 모서리가 충돌하는 경사 충돌(Config. #3)이며, Fig. 3(d)는 #1차의 왼쪽 모서리와 #2차의 오른쪽 모서리가 각도 150° 로 경사 충돌(Config. #4)하는 상황, Fig. 3(e)는 #1차의 왼쪽 모서리와 #2차의 중앙에서 왼쪽으로 약간 치우친 부분에 165° 로 경사 충돌(Config. #5)하는 상황이다. Table 2에는 5 가지 충돌 상황에 대해서 차체의 변형 형상을 3차식으로 곡선 적합한 다차식의 계수들과 각 충돌 상태에서 차량의 변형 에너지의 데이터 베이스를 나타내었다.

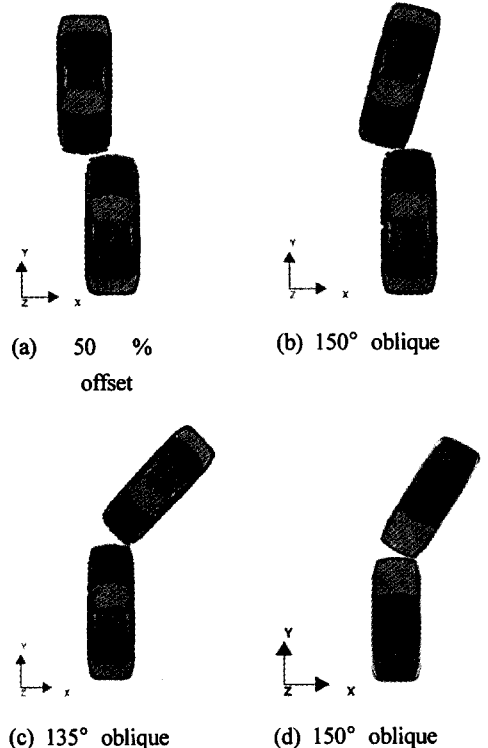


Fig. 3 Collision configurations for deformation database conconstruction

Table 2 Deformation database(coefficients of deformation shape and deformation energy)

Config. No.	Velocity (kph)	car #	$a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$				
			a_0	a_1	a_2	a_3	Energy(N-mm)
1	40	1	.92973E+03	.25689E+00	.11497E-03	-.33311E-07	5.0395E+07
		2	.86263E+03	.33156E+00	.88212E-04	-.28621E-07	5.7967E+07
	30	1	.10613E+04	.27178E+00	.53948E-04	-.37654E-07	2.9943E+07
		2	.10507E+04	.24992E+00	.69878E-04	-.35533E-07	3.1775E+07
	20	1	.11780E+04	.24061E+00	.37294E-04	-.49214E-07	1.6403E+07
		2	.11888E+04	.24334E+00	.36227E-04	-.50799E-07	1.5412E+07
2	40	1	.56957E+02	.31954E+01	-.26156E-02	.74359E-06	6.3274E+07
		2	.11034E+04	.70550E-01	.14685E-03	-.54528E-07	4.2785E+07
	30	1	.64211E+03	.12474E+01	-.43698E-03	-.17420E-07	4.0929E+07
		2	.11559E+04	.75655E-01	.12769E-03	-.37399E-07	2.8362E+07
	20	1	.10349E+04	.81810E+00	-.25566E-03	-.62003E-07	1.2725E+07
		2	.12167E+04	.17673E+00	.15418E-03	-.59964E-07	1.5294E+07
3	40	1	.25929E+03	.24410E+01	-.19516E-02	.57847E-06	7.1558E+07
		2	.16963E+04	-.50574E+00	.47640E-04	-.47173E-07	5.7597E+07
	30	1	.57571E+03	.15681E+01	-.82446E-03	.11681E-06	4.3394E+07
		2	.14913E+04	-.51223E-01	-.46741E-04	-.91503E-07	3.8876E+07
	20	1	.10281E+04	.70223E+00	-.13017E-03	-.92753E-07	1.3056E+07
		2	.15189E+04	-.21035E-01	-.51188E-04	-.34334E-07	1.2545E+07
4	40	1	.20539E+03	.27848E+01	-.26176E-02	.86466E-06	8.3129E+07
		2	.12963E+04	-.10334E-01	-.85894E-05	-.13053E-06	8.7702E+07
	30	1	.42958E+03	.25709E+01	-.22407E-02	.65203E-06	3.8816E+07
		2	.14717E+04	-.19308E+00	.40847E-04	-.56505E-07	3.6701E+07
	20	1	.10747E+04	.57405E+00	-.99548E-04	-.74973E-07	1.4862E+07
		2	.15629E+04	-.24765E+00	.43085E-04	-.78205E-08	1.5262E+07
5	40	1	.75988E+03	.53246E+00	.12988E-04	-.38195E-07	6.2415E+07
		2	.99758E+03	.26226E+00	.97147E-04	-.58489E-07	4.1654E+07
	30	1	.97270E+03	.39300E+00	.38425E-04	-.52500E-07	3.4691E+07
		2	.11346E+04	.11164E+00	.10422E-03	-.23108E-07	2.7409E+07
	20	1	.11154E+04	.50410E+00	-.71417E-04	-.69897E-07	1.3061E+07
		2	.12075E+04	.12659E+00	.88983E-04	-.41770E-07	1.8511E+07

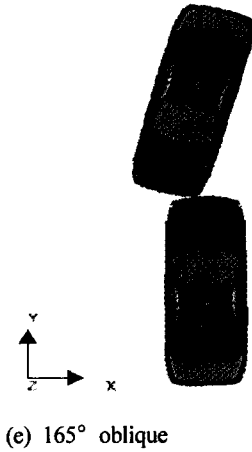


Fig. 3 Collision configurations for deformation database construction

4. 충돌상황 재구성 알고리즘

4.1 변형 형상 데이터 베이스의 활용

실제 충돌 후 상황에서 차량의 충돌 전 상황을 유추함에 있어서, 변형 형상과 변형 에너지 데이터 베이스의 활용 가능한 여부를 알아보기 위하여 데이터 베이스에 나타나 있는 충돌 상황에서 속도가 다른 경우와 데이터 베이스에 나타나 있는 충돌 속도와 충돌 각도가 유사한 충돌과 같은 두 가지 경우에 데이터 베이스를 적용해 보았다. 먼저 충돌 시 나타나는 변형에 대하여 변형 형상의 데이터 베이스를 활용하기 위해서는 충돌 후 변형을 데이터 베이스에 있는 것과 같은 3차 다항식으로 곡선 적합해야 하고 적합한 곡선과 데이터 베이스화 되어 있는 변형 형상의 3차 곡선들을 비교 분석해야 한다. 본 연구에서는 이러한 곡선의 비교 분석을 위하여 임의의 3가지 검색 방법을 사용해 보고, 각 방법들을 비교하여 보다 효과적인 데이터 베이스 검색 알고리즘을 구현하고자 했다.

4.1.1 함수 값 비교법

본 연구에서 사용한 검색 방법 중 첫 번째 방법으로 충돌 사고 발생 시 나타나는 차량의 변형 형상을 곡선 적합한 3차 다항식과 데이터 베이스에 있는 각 경우의 3차 다항식의 함수값을 비교하여 가장 적절한 데이터 베이스를 찾는 방법이다. 데이터 베이스의 함수를 $f(x)$ 라하고, 실제 사고 시 차량의 변형을 3차식으로 곡선 적합하여 구해지는 함수를 $f(x)'$ 라 하면 두 함수 사이의 오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Err(k) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f(i)^k - f(i)'^k)^2} \quad (7)$$

여기서,

k : 데이터 베이스의 개수

따라서, 식 (7)에 나타난 오차가 가장 적게 계산되어지는 데이터베이스의 함수가 찾고자 하는 변형 형상의 데이터 베이스가 된다.

4.1.2 가중치법

가중치법은 다차식으로 나타나는 곡선의 계수들에 각 차수에 따라서 가중치를 부여하고 그 계수들을 비교하는 것이다. x 에 대한 3차 항을 3번 미분하여 구할 수 있는 x 에 대한 계수를 $df(1)$ 이라 하고, 2차 항을 2번 미분하여 구할 수 있는 x 에 대한 계수를 $df(2)$, 1차 항을 1번 미분하여 구할 수 있는 x 에 대한 계수를 $df(3)$ 라하고, 상수항을 $df(4)$ 라 하여, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} df(1) &= (3) \cdot (2) \cdot (1) \cdot a_3 \\ df(2) &= (2) \cdot (1) \cdot a_2 \\ df(3) &= (1) \cdot a_1 \\ df(4) &= a_0 \end{aligned} \quad (8)$$

그리고, 함수 값 비교법에서와 같이 데이터 베이스의 함수를 $f(x)$ 라하고, 실제 사고 시 차체의 변형을 3차식으로 곡선 적합하여 구해지는 함수를 $f(x)'$ 라 하면 두 함수 사이의 오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Err(k) = \sum_{i=1}^k (df(i) - df(i)')^2 \quad (9)$$

여기서,

k : 데이터 베이스의 개수

이 방법 역시 식 (9)의 오차가 가장 적게 나타나는 데이터 베이스의 함수가 찾고자 하는 변형 형상의 데이터 베이스가 된다.

4.1.3 순차적 계수 비교법

순차적 계수 비교법은 다차식을 이루고 있는 각 계수들을 순차적으로 비교하는 것이다. 먼저 곡선을 나타내는 데 가장 지배적인 계수의 오차가 적은 함수 4개를 택한다. 다음으로 검색된 4개의 계수들이 속하는 데이터 베이스 곡선에서 두 번째로 지배적인 계수의 오차가 적은 3개의 함수를 택한다. 세 번째는 두 번째 과정과 같은 방법으로 세 번째로 지배적인 계수의 오차가 적은 2개의 함수를 택하고 마지막 남은 2개의 함수에서 지배적인 계수의 오차가 적은 함수를 택하여 실제 변형 형상과 가장 유사한 데이터 베이스로 결정하는 방법이다.

4.2 변형 에너지 데이터 베이스의 활용

차량의 충돌 속도를 역 계산하는 방법으로 데이터 베이스의 각 충돌 상황과 충돌 속도에서 구축된 차량의 변형 에너지를 적절히 활용하는 방법을 연구하였다. 차량의 충돌 시 차량의 운동 에너지는 변형 에너지로 전환되기 때문에 충돌 후 차량의 변형 에너지

를 알고 있다면 충돌 전 그 차량의 속도를 계산할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 차량의 변형 에너지가 속도에 따라서 2차식의 형태로 증감한다고 가정하고, Table 2의 5가지 충돌 상황에 대하여 3가지 속도인 경우에 있어서 1번과 2번 차량의 변형 에너지를 속도에 대한 2차 다항식으로 곡선 적합하여 구해진 함수에 실제 충돌에서 계산할 수 있는 차량의 변형 에너지를 대입함으로써 차량이 가지고 있던 충돌 전 속도를 역 계산한다.

5. 충돌상황 재구성의 예

데이터 베이스화 되어 있는 충돌 상황과 충돌 각도는 같고, 속도가 다른 경우, 그리고 데이터 베이스에 있는 충돌 각도, 충돌 속도가 유사한 경우에 대하여, 해석한 결과로부터 도출된 변형 형상의 함수를 데이터 베이스와 비교하여 가장 유사한 변형 형상을 찾아보고, 또한 차량의 변형 에너지를 이용하여 충돌 전 차의 속도를 역 계산해 보고자 한다.

5.1 데이터베이스와 동일한 충돌각도

충돌상황 재구성의 예제로 충돌각도가 데이터베이스의 한 경우와 동일하고 충돌속도가 다른 경우를 택하였다. 첫 번째는 충돌각도가 180° 이고, 충돌속도가 28 km/h인 경우이고, 두 번째는 충돌각도가 135° 이고, 충돌속도가 35 km/h인 경우이다.

Table 3, 4에는 예제로 사용한 3가지 충돌 해석의 결과를 통해 변형 형상을 함수화하고, 이를 데이터 베이스와 비교 검색한 결과와 변형 에너지를 이용하여 차량의 충돌

전 속도를 역 계산한 결과를 나타내었다. Table 3을 보면 충돌 각도가 180° 이고, 충

Table 3 Result of No. 1 example applied to database input <180°, 28km/h, config. #1>

method No.	1	2	3
Check dbase ID for car #1	180° 27.8km/h	150° 29.5km/h	180° 27.8km/h
Check dbase ID for car #2	180° 28.0km/h	150° 29.0km/h	180° 28.0km/h

들 속도가 28 km/h인 경우에 2번째 검색 방법인 가중치 법을 사용한 경우를 제외하고 함수값 비교법과, 순차적 계수 비교법은 입력된 충돌 상황과 매우 유사한 충돌 상황을 데이터 베이스에서 검색을 통하여 검색할 수 있었다. 그리고 충돌 전 속도의 역 계산에서는 실제 충돌한 속도인 28 km/h와 0.2 km/h내 외의 미소한 오차를 나타내었다.

Table 4 Result of No. 2 example applied to database input <135°, 35km/h, config. #3>

method No.	1	2	3
Check dbase ID for car #1	135° 31.6km/h	135° 31.6km/h	150° 33.0km/h
Check dbase ID for car #2	135° 36.3km/h	135° 36.3km/h	135° 36.3km/h

Table 4에서는 #2의 차에 대해서는 입력된 충돌 각도와 충돌 속도에 대하여같은 결과를 나타내었으나, #1의 차에 대하여는 1번, 2번째의 검색방법은 각도의 결과가 정확하고, 3번째 검색 방법은 속도가 비교적 정확하게 추정되었다. 위의 결과를 이용하여 어떤 방법이 정확하다고 결론짓기에는 어려움이 있다. 그러나, 일반적으로 충돌이 발생하

면 충돌 각도는 비교적 용이하게 추정할 수 있으나 충돌 속도의 추정에는 상당한 조사가 필요하므로, 속도 오차가 작은 검색 방법이 보다 나은 방법이라고 할 수 있다. 이 경우 충돌 속도의 역 계산이 첫 번째 예제와 큰 차이 없이 실제 충돌 속도인 35 km/h에 2 km/h 이내의 미소한 오차를 보이고 있으므로 3번째 방법이 그 중에서 비교적 정확한 방법이라고 할 수 있다.

5.2 데이터베이스와 상이한 충돌각도

충돌 각도와 충돌 속도 모두가 데이터 베이스화 되어 있는 경우와 상이한 경우를 입력하여 데이터 베이스화 되어 있는 변형 형상과 변형 에너지를 효과적으로 이용할 수 있는지를 알아보려고 한다. 예제로 사용한 첫 번째 충돌 상황은, 충돌 각도가 데이터 베이스화 되어 있는 2번 충돌 상황(150° collision)과 유사한 충돌 각도인 155° 경사 충돌(충돌 속도 35 km/h)을 해석하여, 변형 형상을 곡선 적합하고, 이를 데이터 베이스와 비교해 보았다.

Table 5 Result of No. 3 example applied to database input <155°, 35km/h, similar to config. #2>

method No.	1	2	3
Check dbase ID for car #1	135° 31.3km/h	150° 32.6km/h	165° 34.9km/h
Check dbase ID for car #2	165° 37.9km/h	135° 28.0km/h	165° 37.9km/h

Table 5에 위의 충돌 상황에 대한 데이터 베이스의 검색 결과와 충돌 속도를 역 계산한 결과를 나타내고 있다. 이 충돌 상황의 경우에는 데이터 베이스를 3번 검색 방법인 순차적 계수 비교법을 이용하여 검색하였을 때

입력된 충돌 상황과 가장 유사한 충돌 각도 165° 를 검색하였고, 충돌 속도는 실제 충돌 속도인 35km/h와 3km/h이내의 오차를 나타내었다. 마지막으로 사용한 예제는 충돌 각도가 데이터 베이스화 되어 있는 1번 충돌 상황(180° collision)과 유사한 충돌 각도인 170° 경사 충돌(충돌 속도 35km/h)을 해석하여 데이터 베이스와 비교해 보았다. Table 6에 데이터 베이스의 검색 결과를 나타내고 있는데 이 경우에도 3번 검색 방법인 순차적 계수 비교법을 사용했을 때, 입력된 충돌 상황과 가장 유사한 충돌 상황을 데이터 베이스에서 검색 할 수 있었다. 실제 충돌이 170° 의 경사 충돌이었기 때문에 50% 오프셋 충돌과 충돌 각도가 크게 차이가 나지 않는 것을 고려하면 1번 검색 방법으로도 충돌 각도를 적절히 검색하였다고 사료되며, 충돌 전 속도의 역 계산에서도 3번 검색 방법의 경우에 4 km/h이내의 미소한 오차를 보이고 있다.

Table 6 Result of No. 4 example applied to database input <170° , 35km/h, similar to config. #1>

method No.	1	2	3
Check dbase ID for car #1	165° 41.2km/h	165° 34.0km/h	165° 34.0km/h
Check dbase ID for car #2	180° 33.0km/h	150° 36.8km/h	165° 38.1km/h

6. 결론

본 연구에서는 차량의 충돌 후 변형 형태를 이용하여 차량이 충돌 전 가지고 있던 운동에너지를 계산하고, 변형 형태를 데이터 베이스화 하여 충돌 사고 발생 시 차량의 충돌 전 상황을 역 추적하는데 효과적인 방법을 개발하고자 하였다. 연구의 초기에는 기존에 자동차 충돌 사고 재구성에 사용되어

왔던 CRASH법을 이용하여 차량의 변형 에너지를 계산하였다. 이 방법은 차량의 변형 에너지를 계산하기 위한 차체 강성 계수를 구하기 위해 차량의 벽면 정면 충돌을 사용하였다. 그러나 이러한 방법을 차량간의 충돌에 그대로 적용했을 경우 계산되는 차체의 변형 에너지의 오차가 간과할 만한 수치가 아닌 것을 유한요소해석을 통하여 확인하였다. 따라서 차량간의 충돌에서 차체의 변형 에너지를 계산하기 위해서는 벽면 정면충돌이 아닌 다른 방법을 이용하여 차체의 강성 계수를 계산해야 했다. 여기서 선택한 방법은 차량의 벽면 정면 충돌을 확대하여 차량간의 충돌 해석에 필요한 강성 계수를 구하기 위한 차량간 정면 충돌을 수행하여 힘-변형량 관계를 유도하였다. 그리고 위의 방법과 병행하여 차체의 변형 형상을 보다 다양한 충돌 상황에 대하여 데이터 베이스화 한다면 실제 충돌 사고 발생 시 그 활용 가치가 높을 것으로 생각되어, 차량의 변형 형상을 간단히 함수화 하고, 다항식의 계수들을 변형 형상의 데이터 베이스로 하였다.

데이터 베이스를 이용하여 충돌 상황을 역 추적하는 알고리즘 세가지를 개발하였는데, 각 방법의 특징을 따라 함수 값 비교법, 가중치법 그리고 순차적 비교법으로 명명하고 서로 비교 검토해 봄으로써 데이터 베이스를 이용하는데 가장 적절한 검색 방법을 구현하고자 했다.

데이터 베이스를 이용한 충돌상황 역추적 알고리즘의 효용성을 검증하기 위하여 충돌 조건이 데이터 베이스와 상이한 네 가지 경우의 충돌 상황을 해석하였다. 충돌 각도가 데이터 베이스와 동일하고 속도가 상이한 경우에는, 역추적 결과 충돌 각도에서는 약간의 차이를 보였으나 충돌속도에서 가장 작은 오차를 나타낸 순차적 비교법 알고리즘이 다른 방법에 비하여 충돌 상황 역추적 결과가 비교적 정확하였다. 충돌각도와 속도가 모두

데이터 베이스와 상이한 경우에 있어서도 역추적에 의한 결과가 본래의 충돌 상황을 비교적 잘 재현하였는데, 순차적 비교법에 의한 결과가 가장 정확하였다. 네가지의 예제 문제의 역추적 알고리즘의 적용에 있어서는 순차적 비교법이 다른 알고리즘에 비하여 정확하였으나, 보다 다양한 종류의 충돌에 대해서는 주어지는 변형 형상과 데이터 베이스의 함수를 서로 비교 분석하는 보다 발전적인 방법을 구현해야 할 것으로 사료된다. 또한 차량의 변형 에너지를 데이터 베이스화 하는데 좀 더 다양한 속도 단계에서 해석하여 보다 효과적인 속도에 따른 에너지 변화 곡선을 계산해야 할 것이다. 그리고 본 논문에서 다루지 않았던, 충돌하는 두 차량의 충돌 속도가 다른 경우와 서로 다른 차종 간의 충돌 사고 재구성에 필요한 해석과 데이터 베이스의 구축도 필요하다고 생각한다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 연구비지원(96-0200-13-01-3)에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

- 1) C. E. Strother, R. L. Woolley, M. B. James and C. Y. Warner, "Crush Energy in Accident Reconstruction," SAE 860371, 1986.
- 2) M. S. Varat and S. E. Husher, "Vehicle Crash Severity Assessment in Lateral Pole Impacts," SAE 1999-01-0100.
- 3) A. K. Prasad, "CRASH3 Damage Algorithm Reformulation for Front and Rear Collision," SAE 900098, 1990.
- 4) M. Ueyama, H. Makishita. and S. Saito, "Determination of Collision Configurations from Vehicle Deformation Patterns," SAE 910127, 1991.
- 5) A. R. York, "The DyMesh Method for Three-Dimensional Multi-Vehicle Collision Simulation," SAE 1999-01-0104.
- 6) J. A. Neptune, "A Comparison of Crush Stiffness Characteristics from Partial-Overlap and Full-Overlap Frontal Crash Tests," SAE 1999-01-0105.
- 7) 장인식, 채덕병, "자동차 충돌해석에 의한 단순화된 차체 강성 방정식의 유도," 한국자동차공학회 논문집, 제8권 제4호, pp. 177-185, 2000.