

설계 초기 단계의 충돌 해석법에 관하여

Crashworthiness Simulation in the Earlier Stage of Design

최 양 옥
Yang Uk Choi



최 양 옥

- 63. 3월생
- 현대자동차㈜ 연구개발부 대리
- 비선형 유한 요소법을 이용한 승용차 차체의 충돌해석

1. 서 론

현재 자동차의 개발 추이는 저연비, 고성능화를 지향하고 있다. 이를 구현하기 위하여 가능한 한 차체를 가볍게 하고 같은 등급의 차라도 승객실을 크게하여 거주성을 높이고 있다. 상대적으로 엔진룸의 크기가 줄어들며 각종 전자제어 장비의 부착으로 엔진룸내의 공간이 거의 없을 정도로 복잡하다. 충돌시 안전성을 유지하기 위해서는 충돌직전까지 자동차가 가지고 있던 운동에너지를 차체의 변형에너지로 흡수하여 승객에 미치는 영향을 최소화하여야 한다. 정면 충돌의 경우 차체의 변형에너지로 운동에너지를 흡수하여야 할 곳은 엔진룸이고 엔진룸에서 미처 흡수하지 못하고 남은 에너지는 승객실로 전달되어 승객의 2차충돌을 일으키는 힘이 된다. 따라서 엔진룸에서 되도록 많은 에너지를 흡수하여야 한다. 그런데 엔진룸내의 공간이 협소해지고

차체가 변형을 일으킬 수 있는 거리가 줄어들므로 제한된 변형 공간내에서 가능한 한 많은 에너지를 흡수할 수 있도록 차체를 최적화하여야 한다. 차체를 최적화하려면 설계 초기 단계에서부터 충돌성능을 검토하고 차의 특성에 맞게 엔진룸내 각 부품이 어느 정도로 에너지를 흡수하여야 할 것인가를 결정하고 그렇게 설계가 될 수 있도록 형상, 두께, 비드 위치등을 조절하여야 한다. 실물이 없는 상태에서 그 특성을 분석하고 설계방안을 제시하기 위해서는 시뮬레이션 방법이 필요하다. 본 고에서 제시하는 방법에는 널리 사용되고 있는 다음과 같은 컴퓨터 프로그램을 사용한다.

- SMDYN : Spring-Mass Dynamic 법을 이용한 차체 해석 프로그램
- PAM-CRASH : 유한 요소법을 이용한 차체 해석 프로그램
- MADYMO : Multi Body Dynamic 을 이용한 승객 거동 해석 프로그램

2. 개발 대상 차종의 기본 사양 파악

새로 개발하는 차종에 대하여 설계 초기 단계에서부터 충돌 성능을 파악하고 최적화된

차체를 개발하기 위해서는 반드시 알아야 되는 기본적인 사양이 있다. 신제품에 대한 기본적인 사양은 프로젝트가 시작되는 시점에서 결정이 되므로 사양이 결정되면 바로 충돌성을 개략적으로 평가하고 부품별 최적화에 들어갈 수 있다. 설계 초기 단계에서 충돌해석을 위하여 알아야 할 사양은 다음과 같다.

- 무게
- 차체 Dimension
- 엔진의 크기 및 마운팅 방법
- 차시 부품의 개략적인 배치
- 라디에이터, 브레이크 부스터 등 변형이 잘 일어나지 않아 강체로 취급할 수 있는 부품의 위치
- 승객실의 구조
- 승객 구속장치의 사양
- 동급 기존 차종의 충돌시험 및 해석자료 이상의 사양들이 정해지면 동급 경쟁 차종과 비교하여 충돌시 승객의 상해치를 어느 정도 선으로 할 것인가를 결정한다. 그러면 신차종에서 추구하여야 할 안전성의 목표가 주어진다.

3. 초기 승객 해석

기본적인 사양에서 결정된 것을 토대로 하여 초기 승객해석을 실시한다. 초기 승객 해석 단계에서는 개발하고자 하는 차에 대한 차체 가속도 특성을 알 수 없으므로 기존 동급 차량의 가속도 특성을 이용한다. 이때 승객해석에서 찾고자 하는 것은 각 구속장치의 특성, 예를 들어 시트 벨트 앵커의 위치, 웨빙의 신율, 시트 및 시트백의 강도와 내장부품의 강도 등이다. 구속장치의 특성을 개략적으로 결정한 후에 승객의 거동을 일으키는 차체 가속도 곡선에 대하여 구속장치가 최적의 효율을 낼 수 있도록 차체 가속도 곡선을 일부 변형해 가면서 상해치를 위에서 설정한 목표에 까지 맞춘다. 이렇게 승객해석을 통하여 최적의 차체 가속도 곡선을 찾고 이 곡선이 차체 해석의 목표가 된다.

4. 변형 가능 공간 결정

승객 해석에서 제시한 차체 가속도 특성을 만들어 내기 위해서는 프론트 엔드의 차체 부품의 에너지 흡수에 대한 적절한 분배가 필요하다. 에너지 흡수는 그 부품에 가해지는 힘과 그 변형량의 곱으로 나타내어지므로 일단 각 부품이 변형할 수 있는 공간을 파악하여야 한다. 그 공간은 엔진룸 레이아웃에서 그림 1과 같이 구할 수 있다.

그림에서 A는 엔진룸 전체의 길이이고 몇 가지 대표적인 강체들을 제외한 나머지 공간 B-F까지가 변형 가능한 공간이 된다. 이와 같이 엔진룸이 구성된 경우 충돌시 가장 중요한 부재인 사이드 멤버의 예를 보면 엔진룸 사이에 두 공간인 C, D 만큼 변형 가능하다.

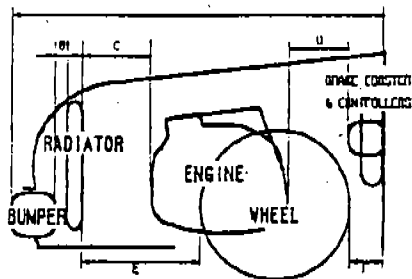


그림 1. 엔진룸 레이아웃

5. 에너지 배분

초기 승객해석을 통하여 결정한 차체 가속도 곡선을 이용하여 힘-변위 곡선을 만든다. 힘은 질량에 가속도를 곱한 값($F=ma$)이므로 가속도 곡선에 차의 질량을 곱하면 구할 수 있다. 그리고 가속도는 변위를 시간에 대해 두번 미분한 것이므로 거꾸로 두번 적분하면 변위를 구할 수 있다. 이렇게 해서 구한 힘-변위 곡선은 그림 2와 같다.

차체의 변형이 범퍼에서부터 순차적으로 일어난다고 가정하였을 때 힘-변위 곡선으로부터 각 부위별 힘-변위 특성을 그림 3과 같이 분해할 수 있다.



그림 2. 차체 힘-변위 곡선

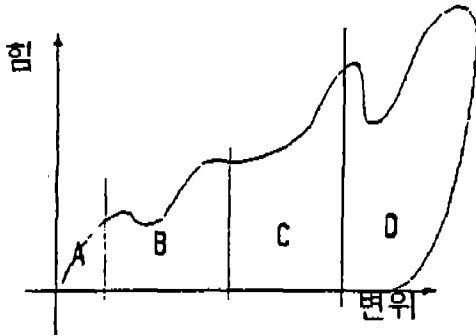


그림 3. 각 부위별 힘-변위 특성

그림 3에서 A는 라디에이터 앞쪽의 변형에 의하여 흡수한 에너지이고 B는 라디에이터와 엔진 사이, C는 엔진과 대쉬판넬 사이, 그리고 D는 승객실의 변형으로 생각한다. 이때 A부분은 주로 범퍼와 라디에이터 서포트 판넬(Radiator Support Panel)의 영향이 크며 범퍼 마운팅(Mounting) 때문에 사이드 멤버의 초기 변형에도 영향을 준다. B는 주로 사이드 멤버와 펜더 에이프런의 에너지 흡수도를 나타내며 주로 사이드 멤버의 영향이 크다. 이 특성은 사이드 멤버와 펜더 에이프런 특성의 중첩으로 나타난다. C는 사이드 멤버, 로워 압등의 영향이고 D는 프론트 필라, 실 사이드, 프론트 플로어 등의 에너지 흡수 특성이다. 이와 같이 각 부위별 에너지 흡수 특성과 각 부품의 변형 가능한 정도, 그리고 부품의 단면 등으로부터 각 부위별 힘의 수준을 결정한다(그림 4).

각 부위별 힘-변위 특성은 스프링-질량법

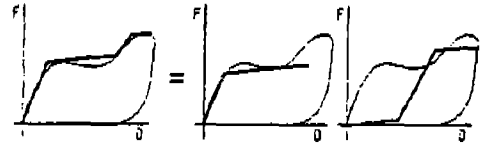


그림 4. 각 부품별 힘-변위 특성 결정

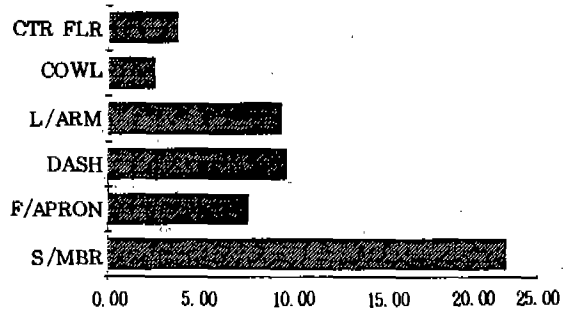


그림 5. 충돌성능이 좋은 차체의 에너지 배분비

을 이용한 충돌 특성 해석의 입력 자료로써 이용되며, 스프링 질량법을 이용하여 계산된 차체 가속도 특성과 승객 해석에서 제시한 목표치를 비교하여 근접한 차체 가속도 특성을 얻을 수 있도록 각 부품의 힘-변위 특성을 조절한다. 이상과 같이 각 부위별 에너지 배분비를 결정한다.

이제까지의 경험상 좋은 특성을 가지는 차체의 에너지 배분비는 그림 5와 같다.

6. 유한 요소법을 이용한 부품 최적화

스프링-질량법으로 구한 각 부위별 특성을 구현하기 위하여 실제적인 형상, 두께 등을 조절할 수 있는 유한 요소법을 사용한다. 대표적인 자동차의 충돌 해석용 유한 요소 프로그램으로 DYNA3D, PAM-CRASH 등을 들 수 있으며 본 고에 소개한 모델 및 해석에는 PAM-CRASH를 이용한 것이다.

유한 요소 모델을 하기 위해서는 부품의 형상을 알고 있어야 하며 사시 부품들이 장착되는 위치 및 차체와의 상호 기능 등을 파악하

고 모델을 구성하여야 한다. 개발하려는 차와 유사한 차종에 대한 모델이 있는 경우는 기존의 모델을 이용하고 그렇지 않은 경우는 처음부터 모델을 구성하여야 한다. 단품별 해석에는 특히 실차에서와 같은 경계조건을 가지도록 세심한 모델링이 필요하다.

단품별 해석으로부터 원하는 힘-변위 특성을 얻기 위해서 기본 모델을 구성하고 시물레이션하여 분석한 후 어느 부분을 보강, 또는 약화시킬 것인지를 판단한다. 이를 판단할 때 유한 요소 해석으로부터 얻어진 부품의 힘-변위 특성과 앞에서 구한 힘-변위 특성을 비교하여 차이점을 찾고, 응력, 변형비(strain) 등을 바탕으로 위치를 선택한다. 보강이 필요한 부분에는 보강재를 넣고 약화시킬 부분은 홀등을 만든다.

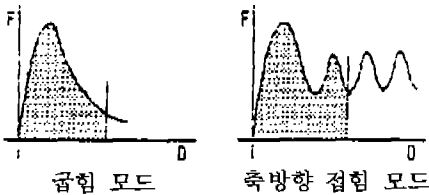


그림 6. 변형 모드에 따른 에너지 흡수도

일반적으로 변형 가능량이 작은 곳에서 많은 에너지를 흡수하기 위해서는 변형 형태가 굽힘 모드 보다는 축방향 접힘 모드로 되어야 한다. 굽힘 모드와 축방향 접힘 모드의 에너지 흡수량의 차이는 그림 6 과 같으며 빗금친 부분의 면적이 흡수된 에너지가 된다.

그러므로 일정한 변위내에서 많은 에너지를 흡수하여야 하는 충돌과 같은 경우에 변형을 축방향 접힘 모드로 유도하여야 한다. 전체적인 변형 모드를 유도하기 위해서는 형상을 이상적인 박스형에 가깝게 하여야 하나 사시 부품등과의 간섭을 피하기 위해서는 박스형만으로 설계하는 것이 불가능하다. 그러므로 국부적인 변형을 유도하여 전체적으로 축방향 접힘 모드가 되게끔 비드(Bead)를 적절히 사용하여야 한다. 비드를 설계할 때는 비드의 위치, 깊이, 요철 방향 등을 목적에 맞게 사용하여야 하며 비드의 효과는 유한 요소법으로 쉽게 시물레이션 할 수 있다. 그림 7에 보강재 및 비드의 사용으로 사이드 멤버의 특성을 목표에 맞게 변화시키는 예를 보였다.

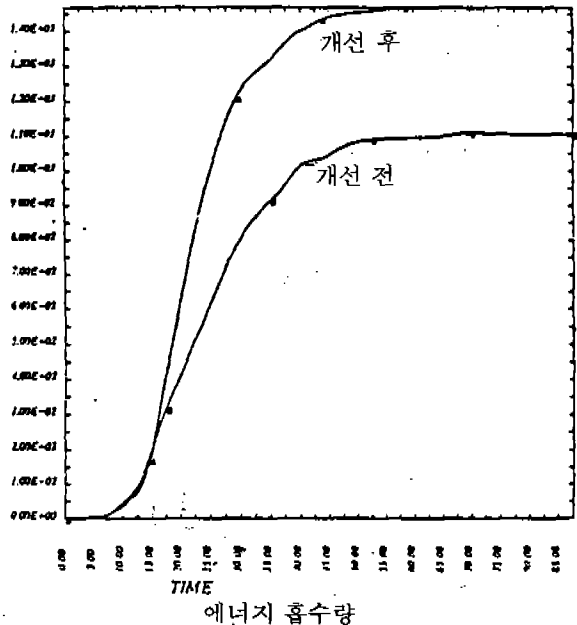
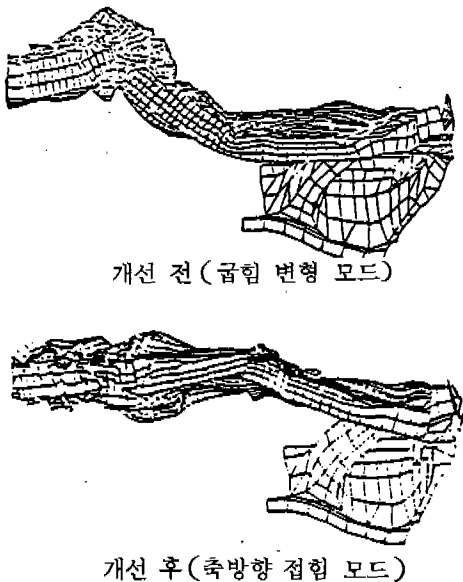


그림 7. 사이드 멤버의 최적화 (변형 모드 변경에 의한 에너지 흡수량 증가)

7. 전체 모델을 이용한 검증

이상과 같이 각 부품에 대한 검토를 마치면 전체 모델을 구성하여 전반적인 튜닝(Tuning)을 한다. 유한 요소법에 의한 시뮬레이션은 스프링-질량법에 의한 것보다 더 실제적인 접촉문제등이 포함되므로 개발중인 실제 차에 가까운 해석이 된다.

이 결과를 이용하여 다시 승객 해석을 실시하고 목표로 삼은 상해치를 어느 정도 만족하는지 확인하고 만족할 때까지 위의 과정을 반복한다.

해석 결과가 만족되면 설계에 피드백 하여 상세 설계시 필요한 가이드를 제시하고 설계가 진행되어 감에 따라 해석과 설계를 연관지어 최종 설계가 완료될 때까지 지속적인 해석과 검증을 통하여 실차 제작시 야기될 수 있는 충돌 안전성 관련 문제를 줄여 나간다.

8. 결 론

이상에 고찰한 설계 초기 단계의 충돌 해석 방법을 요약하면 그림 8의 흐름도와 같다.

본 고에서 제시한 방법을 사용하면

1) 설계 초기 단계에서 충돌 안전성 문제의 큰 줄기를 잡고 근본적인 문제를 피해갈 수 있다.

2) 시작차 제작 후 시험을 통하여 설계 변경을 해왔던 종래의 국부적인 방법에 비하여 근원적이며, 초기부터 설계를 안전성 확보 측면에서 검토하여 진행하므로 신차 개발기간과 시험차 제작 및 시험에 따르는 비용을 줄일 수 있다.

3) 신차 개발시 기본적인 모델이 구성되므로 설계 병행하여 평가가 가능하다.

본 고에서 사용한 방법은 차체와 승객을 별도의 프로그램에 의하여 해석하며 차체 가속도를 그 매개체로 하고 있다. 그러나 이 방법으로서는 차체의 변형에 의한 2차 충돌을 해석할 수는 없으므로 차체와 승객을 동시에 해석하는 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

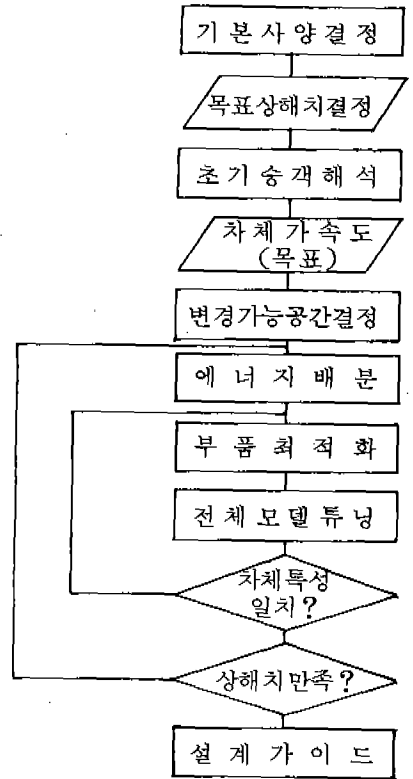


그림 8. 초기 단계 충돌해석 흐름도

참 고 문 헌

1. 김성길, "S-1 차체 충돌 성능에 대한 검토", 현대자동차(株) 연구개발부 내부보고서, 1989.
2. 조홍수, "유한요소법을 이용한 사이드 멤버 충돌 성능 최적화", 한국자동차 공학회 안전, 전기 및 전자, 생산기술 및 관리, 재료, 부품 부문위원회 학술강연 및 논문집, 1991.
3. E. S. I. "Safety Car Project Final Report", 1991.