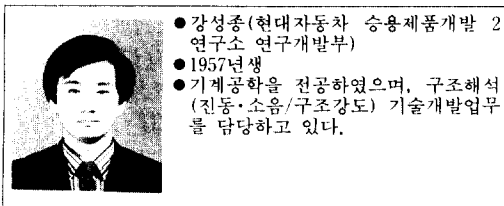


단순 보 모델을 이용한 차량 차체의 강도해석 기술

강 성 종

Strength Prediction of Vehicle Body Using Simple FE Model

Sung-Jong Kang



1. 머리말

날로 그 중요성이 대두되고 있는 환경보존 문제에 능동적으로 대응하고 여러 계층 소비자의 안전도, 쾌적성 등에 관련된 요구, 성능의 수준향상에 효과적으로 대처하기 위해서는 차량의 경량화 기술이 가장 먼저 선행되어야 할 과제이다. 경량화를 추구하는 방법은 최적설계 개념을 이용한 구조합리화에 의한 방법과 알루미늄, 강화 플라스틱 등 신소재 대체에 의한 방법이 병행 연구되고 있다.

이 글에서는 구조합리화를 통한 경량화 목표를 달성하기 위해 설계 초기 단계에 활용 가능한 단순 보 모델 개발의 필요성에 관해 언급하고 실차의 도어 측면 붕괴강도(door side intrusion strength), 루프 붕괴강도(roof crush strength) 해석을 위한 단순 보 모델 개발에 관해 소개하고자 한다.

2. 단순 모델의 필요성

점점 단축되는 설계기간에 맞추어 가격 및

성능면에서 국제적인 경쟁력 있는 차를 개발하기 위해서는 개념설계 단계에서부터 필수적이며 또한 상호 모순되는 성능을 종합 평가하여 구조 합리화를 꾀하면서 개발 목적에 부합하는 최적의 기본구조를 초기에 확보하는 동시설계(concurrent engineering) 기술의 개념이 도입되어야 한다. 상세 설계 후나 얻을 수 있는 도면에 기초한 상세 모델로는 모델링 및 해석시간의 과다, 문제점 발견 시 개선안 적용의 제약 등으로 동시설계 기술의 실현이 거의 불가능하므로 단순한 모델을 개발하여 구상 단계, 배치도 작성(layout drawing) 단계부터 단품(component)

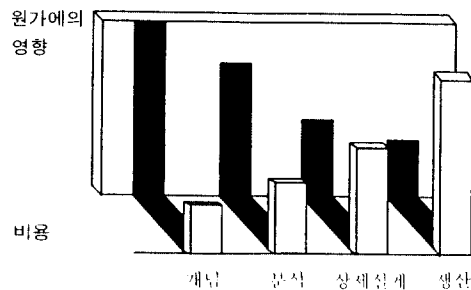


그림 1 제품 개발 단계

표 1 CAE 단순 모델과 상세 모델의 비교

	⇐단순모델	상세모델⇒
시점	⇐개념 설계	상세 설계/평가⇒
모델구성	<ul style="list-style-type: none"> • 보(Beam) • 스프링 • 소수의 셸 요소(coarse shell) 	<ul style="list-style-type: none"> • 상세 셸 요소(detailed shell)
	<ul style="list-style-type: none"> • 단품(component) • 결합 부품(assembly system) 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 전체(full system)
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 풍부한 사용자 경험/직관 중요 • EDB(engineering data base) 필요 • 모델링 시간/경비 적음 • 나름의 설계기준(정성적 > 정량적) • 설계 적용 자유도가 많다 • 정보가 단순 포괄적 • 반복될수록 경험/EDB확장으로 충분한 신뢰성구축 가능, 설계 초기 단계 CAE 기능 극대화 	<ul style="list-style-type: none"> • 하드웨어 성능, 모델링기술에 의존 • 모델링 시간/경비 과다 • 실차조건에 근접(정량적 접근가능) • 설계적용 자유도가 상대적으로 한정 • 정보가 복잡하고 개별적 • 하드웨어 연산능력 및 인력 자원 확대시 기능 극대화. 시작차(proto) 단계 이후로 적용, 효과적 개선안 제시 가능.

혹은 결합부품(assembly system) 등의 단계 별로 설계 목표(design target)를 구축, 초기 설계 단계부터 기본 골격 구조 최적화를 시도해 나아가야 한다. 따라서 구조 성능에 중요한 영향을 주는 구조 요소를 면밀히 연구하여 그 구조의 거동을 어느 정도의 오차 범위내에서 표현해 줄 수 있는 단순화된 모델의 개발이 필요하다(그림 1 참조). 표 1에는 단순 모델과 상세 모델과의 특성을 비교하여 나타내고 있다.

lb, 3,500 lbf 이상이어야 하며 18 inch 이내에 최대 하중이 7,000 lbf보다 작아야 한다는 것이다. 본 연구는 도어 측면 붕괴 구조를 면밀히 분석하여 설계자가 고려해야 하는 설계변수를 줄이면서도 안정된 해(solution)를 얻을 수 있는 단순한 모델을 개발함으로써 설계 초기 단계에 적용하여 도어 구조 최적화에 관련된 설계의 효율을 높일 수 있는 해석 기술을 개발하고자 한다.

3. 도어 측면붕괴강도

3.2 도어의 설계요소와 단순모델의 가정

3.1 도어 측면붕괴의 설계 목표

차체 도어의 측면붕괴강도(crush resistance)에 대한 설계 요소는 외판의 강성, 안전빔(safety beam) 강도, 안전빔과 도어 판넬이 연결되는 힌지 페이스(hinge face) 및 브라켓(bracket)의 특성파, 도어와 차체 측면 구조의 연결 부위인 힌지, 록커(locker)의 특성 등을 들 수 있다. 이중에서 도어의 내외 판넬과 나열하지 않은 그외의 도어 부재들은 상품성과 관련한 기본 강도 설계

현재 사용하고 있는 정적 측면 붕괴에 대한 설계기준은 그림 2에 나타낸 미국 NHTSA에서 규정한 FMVSS 214규제이며 규제의 내용은 도어의 바깥쪽에서 안쪽으로 실험장치를 움직일 때, 움직이는 거리가 6 inch, 12 inch일 때, 평균 반력이 각각 2,250

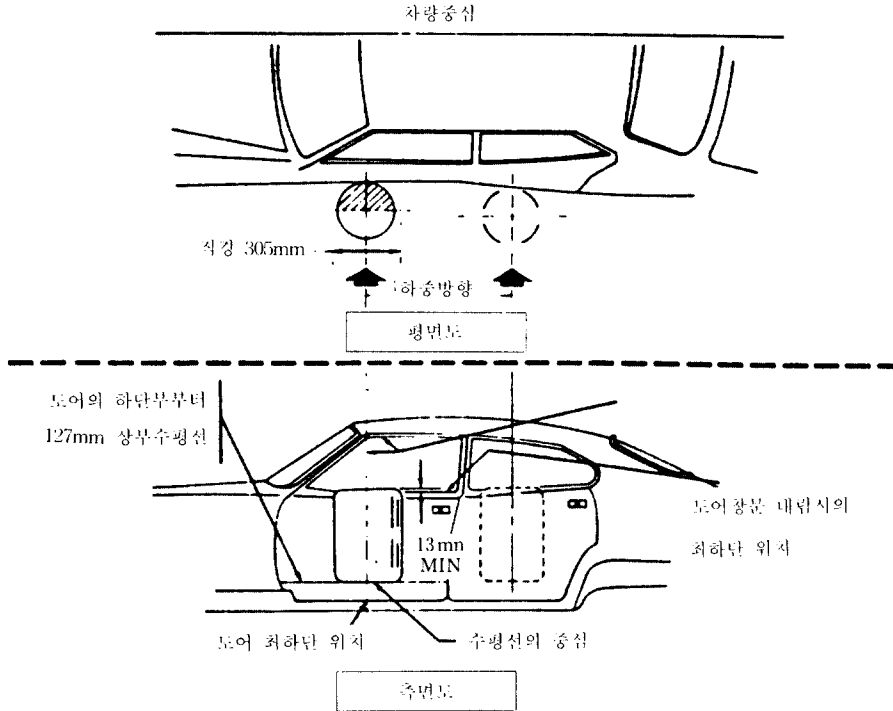


그림 2 FMVSS 214 : 측면도어 붕괴강도 실험방법

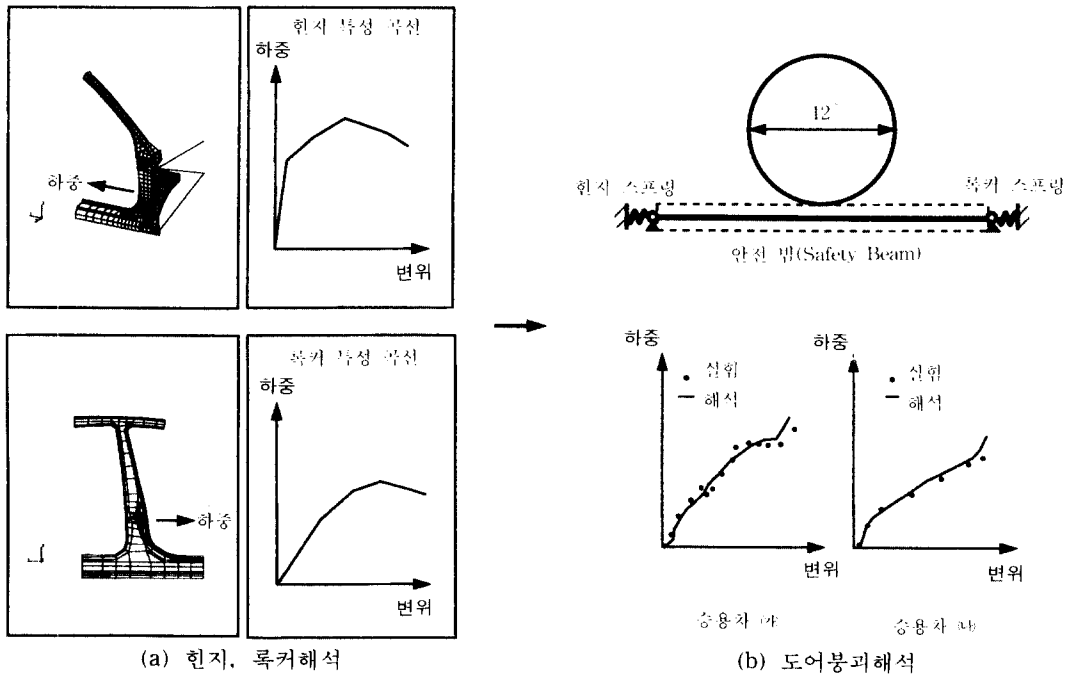


그림 3 도어 측면 붕괴 강도 해석

가 목적일 뿐더러, 도어 붕괴 특성에 미치는 영향이 작으므로 본 연구에서는 무시하였다.

1) 브라켓 : 브라켓 자체는 판넬 한 장으로서 안전빔을 감싸는 부분을 제외하고는 평면에 가까우므로 굽힘(out of bending)에 대해서는 거의 저항하지 못하기 때문에 본 연구에서는 핀(pin)으로 가정하였다.

2) 안전빔 : 측면 도어 붕괴 특성에 대하여 지배적인 영향을 주는 안전빔은 보 요소로 구성하였는데 그 크기가 안전빔의 양 끝단 사이의 길이로 하였다.

3) 록커, 힌지 : 록커, 힌지 부위의 강도는 차체 측면에 연결된 판넬의 국부 변형의 특성을 구하여 x-방향의 이동 변위를 제한하는 비선형 스프링으로 처리함으로써 간단히 하였다. 실제 도어 붕괴시에 이 부위는 필라전체의 회전변위에 비해 x 방향으로 심한 변형(4 inch 내외)이 나타나는 것을 관찰할 수 있기 때문에 x 방향의 변위스프링만을 고려하였고 브라켓을 핀으로 처리하였기 때문에 Z 방향의 회전 변위는 고려하지 않았다. 그림 3에 나타난 바와 같이 힌지모델의 경우는 셀 요소 1,379개, 노드 1,439개, 록커의 경우는 셀 요소 341개, 노드 357개의 셀모델을 사용하였으며, 하중점의 국부 변형에 영향을 미치지 않는 경계면은 모두 구속하였다.

4) 용접점 : 해석 모델에서 용접점은 동일 노드를 같도록 하였다. 용접점 파단은 후반부(10 inch 이후)의 붕괴 거동을 좌우하며 초기 설계에서 정해주는 구조의 전체적 붕괴 특성에는 별 영향이 없고 만일 용접점 파단에 의한 후반부 붕괴 강도 저하로 규제 불만족시에도 용접점 추가 등의 손쉬운 설계 변경 등을 통하여 시작차(proto car) 이후라도 쉽게 강도 향상이 가능하기 때문에, 용접점 파단현상은 초기 설계 단계에서의 구조강도 확보를 위한 본 해석 기술 연구에서는 고려하지 않았다.

3.3 해석 모델

이상과 같은 가정을 통하여 개발한 단순 모델의 기하학적 형상과 경계조건을 그림 5에 나타내었다. 힌지와 록커부위를 대체하고 있는 스프링은 그림 3의 비선형 곡선을 특성으로 갖고 안전빔의 끝 노드와 연결되어 x 방향의 이동변위를 제한하고 있으며, 안전빔의 끝 노드는 z축에 관한 회전 변위는 구속하지 않았다. 해석에 필요한 모델 크기는 보 요소(ELBOW31) 178개, 비선형 스프링 2개, 접촉 요소(IRS31) 172개 등 총 352개와 935 노드를 갖는다. 실험장치의 형상이 높이 방향으로 일정하므로 평면 강표면(plane rigid surface, type : cylinder)로 모델링 하였으며, 대변형 옵션을 사용하였고, 실험장치에 총 310 mm (12.2 inch)의 변위를 가하여 각 증분마다 변위와 반력, 그리고 전체 해석 영역의 변형에너지를 구하였다.

3.4 해석 결과 및 검토

계산시 소요된 CPU 시간은 CRAY (YMP/4E 464) 상에서 600 sec이었다.

그림 3에는 힘-변위 선도의 해석 결과와 실험치를 나타내었다. 그림으로부터 거의 최대붕괴강도(peak crush resistance)까지 실험과 일치하고 있음을 알 수 있다. 본 해석 모델은 설계 변수를 단순화하였기 때문에 해석 결과로부터 각 설계 변수의 영향 분석이 용이하다. 이러한 해석 결과로부터 초기 붕괴 저항값 개선은 안전빔의 변경이 주효하며, 중간 붕괴 저항값의 개선은 차체 측면 구조의 강도가 주효함을 파악할 수 있었으며, 개발한 단순 모델을 도어설계에 적용하면 주요 단면의 크기를 이용, 힌지와 록커의 특성을 구하여 안전빔의 재질, 치수, 두께 등을 보다 빠른 설계 시점에서 정할 수 있다.

4. 루프 붕괴강도

4.1 설계 목표

차량의 전복시에 루프가 승객실로 밀려들어와서 승객을 사망케 하거나 상해를 입히는 것에 대비한 안전 강도 설계 기준은 미국 NHTSA에서 규정 FMVSS 216규제이며, 그림 4에 나타난 것과 같이 공차 중량의 1.5 배나 22241N (5000lb)를 루프 양쪽 모서리에 가했을 때 실험장치가 움직인 거리가 127 mm (5 inch)보다 작아야 한다는 것이다. 이러한 기준을 만족하면서 차체 경량화를 이루기 위해서는 구조의 기본단면을 검토하는 개념 설계 단계부터 구조의 기본단면을 검토, 단면의 형상과 변화율에 대한 설계로서의 피드백이 이루어지는 해석기술이 필요하다. 본 연구를 통해서 측면 구조의 대표 단면이 정해지는 시점에서 루프 붕괴강도를 평가, 단면형상과 변화율 조절이 가능한 해석 기법을 개발하고자 하였다.

4.2 해석 모델

차체 구조의 붕괴는 급격한 단면의 변화 (두께 변화, 형상 변화, 구멍이나 포밍 (forming)에 의한 단면치의 변화)로 인한

국부적인 과도 변형이 발생될 수 있는 소성 힌지를 고려함으로써 차체 구조 붕괴 모드를 재현할 수 있었다. 이러한 모델은 적절하게 소성 힌지를 선정해서 특성치를 넣어 주면 각 부재에 대한 단면 형상 변화 등의 자세한 정보 없이도 안정적인 해 (solution)를 얻을 수 있다. 기본 모델은 초기 설계 단계에서 구성하는 골조 모델이고 판넬은 굽힘 강성에 대한 기여도가 거의 없으므로 루프 판넬의 영향은 무시하였다. 또한 소성 힌지 발생 가능 위치는 해석자의 경험이 필요하지만, 대체적으로 구조물의 기하학적인 판단에 의해서 가능하며, 그림 5에 나타난 바와 같다. 소성 힌지 특성은 차체구조의 붕괴모드를 지배하는 국부적으로 단면치의 변화를 갖는 지점의 Mm(최대굽힘강도)에 의해 결정되며, 그 크기는 D. Kecman⁽⁴⁾이 실험적인 결과로부터 유도한 근사식을 이용하여 구하였다. 사이드실 (side sill)의 양 끝 4점에 대하여 6 자유도를 모두 구속하였으며 닫혀 있는 도어의 영향을 고려하기 위하여 도어 록커부위의 x 방향 변위를 구속하였다. 실험장치에 총 127 mm (5 inch)의 변위를 가하여 각 증분마다 변위와 반력을 구하였다.

4.3 해석 결과 및 검토

그림 5에서 해석이 진행되면서 변형되는

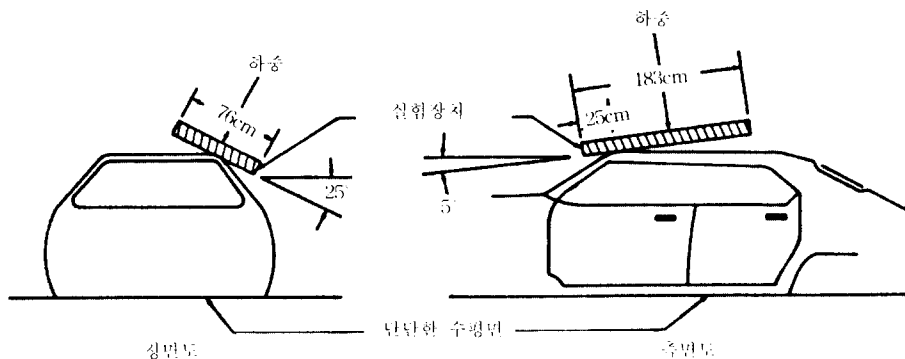
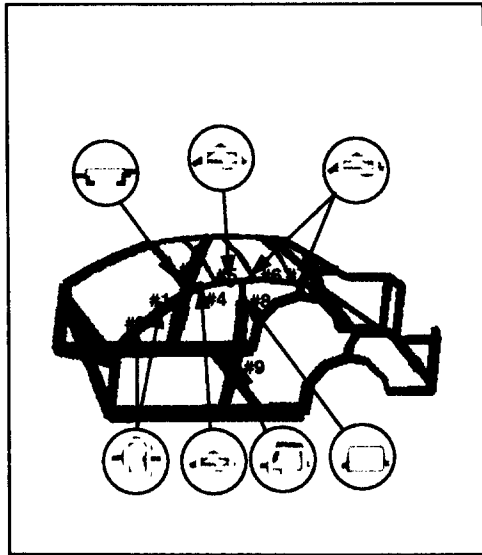


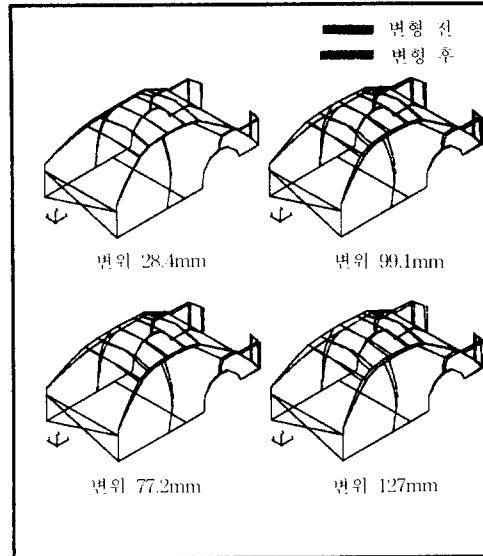
그림 4 FMVSS 216 : 루프 붕괴 강도 실험 방법

형상과 힘-변위 선도의 해석 결과와 실험치를 나타내었다. 그림으로부터 거의 최대 붕괴 강도(peak crush resistance)까지 실험과

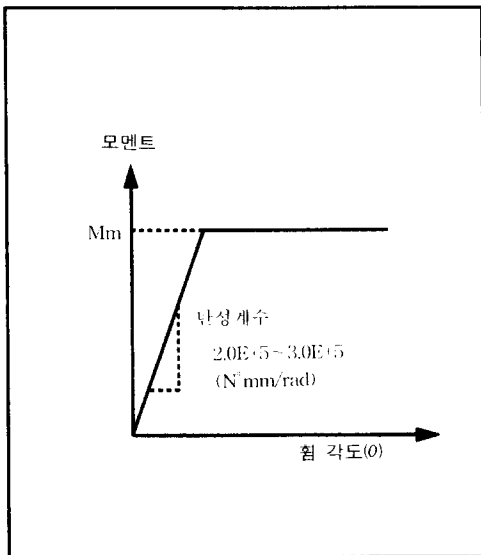
일치하고 있음을 알 수 있다. 해석 결과로부터 소성 힌지의 발생 순서도 알 수 있었다. 2 inch 이후에는 더 이상의 하중 증가가 거



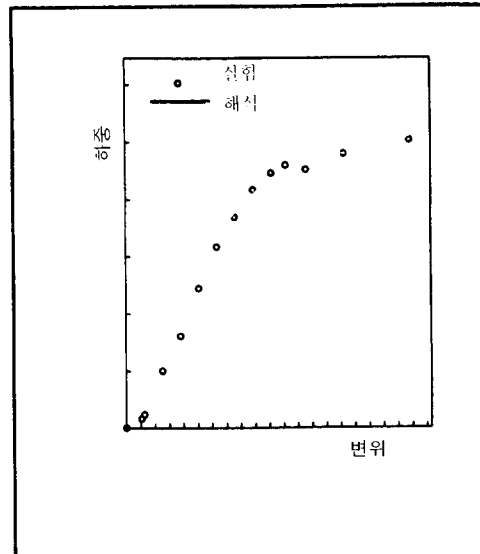
(a) 단순 보 모델과 소성힌지



(c) 변형모습



(b) 소성힌지거동가정



(d) 하중-변위곡선

그림 5 루프 붕괴 해석

의 없으며, 이때 충분히 붕괴되었음을 알 수 있다. 이러한 해석기술을 설계에 적용하면 초기 설계 단계에서 소성 힌지의 발생순서와 위치를 조절할 수 있으므로 설계 변경 효과를 손쉽게 알 수 있다.

5. 맺음말

개발기간 단축 및 경량화/저가격 실현 등을 통한 국제 경쟁력 있는 차를 개발하기 위해서는 설계 초기 단계부터 각종 성능을 고려한 동시 설계(concurrent engineering)를 통해 구조 최적화설계가 이루어져야 하며, 이를 위해 보 요소로 이루어진 단순 모델을 신속히 개발, 확보하여 기본 중요 구조 요소를 최적화하는 것이 필수적이다. 도어 측면 붕괴강도 및 루프 붕괴강도에 대해 단순모델을 개발 그 타당성을 검증하였다.

참고문헌

- (1) Kang, S. J. and Choi, J. H., 1991, "Design Sensitivity Analysis of Body Structure Using Skeleton Model," SAE912514.
- (2) 천병관, 강성종, 1994, "단순 모델을 이용한 Side Door Intrusion 해석기술개발," 자동차공학회 춘계 학술대회, pp. 517~524.
- (3) Kecman, D. and Miles, J., 1979, "Application of the FEM to the Door Intrusion and Roof Crush Analysis of a Passenger," SAE790990.
- (4) Kecman, D. and Suthurst, G. D., 1984, "Theoretical Determination of the Maximum Bending Strength in Car Body Structure," IMechE, C181, pp. 53~61. 