

보행자 하지보호를 위한 SUV 차량의 설계전략 및 최적화 기법을 통한 개선방안

Design strategies of SUV for the protection of pedestrian's lower limb and improvement by using optimization

민성기¹, *#홍정화¹, 안이문¹, 김동석², 김형일², 고은영²

S. K. Min¹, *#J. H. Hong(hongjh32@korea.ac.kr)¹, Y. M. Ahn¹, D. S. Kim², H. I. Kim², E. Y. Ko²
¹고려대학교 제어계측공학과, ²지엠 대우 오토엔테크놀로지 주식회사

Key words : Pedestrian Protection, SUV, Optimization, Pedestrian's lower limb, Upper leg impact

1. 서론

자동차의 안전평가에 있어 각 국가별로 법규를 만족시키기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 전 세계적으로 자동차 완성차 업체는 과거 수십년간의 경험을 바탕으로 전방, 측면, 후방충돌 및 전복등의 사고에 대비한 승객 보호에 대한 대응을 체계적으로 수행하여 왔다. 그러나 최근 약 10년 전부터 승객보호뿐 아니라 보행자의 보호를 위해 차체강성에 대한 규정이 대두되면서 법규를 강화하고자 하는 EU-Commission 과 자동차 업계사이에 큰 이견이 발생하였고 현재도 계속적인 이견의 조율이 이루어지고 있다.

1999년 EU-Commission 은 2010년 대비 보행자의 상해를 30% 이하, 중상 17% 이하를 달성하기 위한 목표를 세우고 있다.¹⁾ 이와 함께 EU-Commission 은 4종류 임팩터 시험을 근간으로 하는 유럽자동차공업협회에 의한 ACEA-Phase 1 법규를 2005년에 발효하였다. 또한 ACEA Phase 1에 비해 만족하기 어려운 Phase 2 (GTR)를 논의하고 있으며 2010년부터 유럽에서 시행할 예정이다. 적용시기는 다르나 유럽뿐만 아니라 북미, 한국, 일본 등 전세계적으로 동일한 법규가 적용될 것으로 기대된다. EEVC WG-17에 의한 보행자 보호 법규는 총 5가지의 법규치(2가지의 kinetic, 3가지의 kinematic 조건)를 동시에 만족를 시켜야 하는 난해한 시험으로 보고되고 있다.²⁾³⁾

특히 승용차 보다 SUV는 범퍼에서 BLE(bonnet leading edge)까지의 높이가 현저히 높아 upper 와 lower leg form에 의한 충격 시험규정을 만족시키는데 어려움이 있는 것으로 보고되고 있다. 현재 이를 해결하기 위하여 Delphi, Vestion, Autoliv, TRW 등 대형 부품 회사에서는 능동형의 보호기기를 개발 중에 있으나 고가/고기술성을 요하는 바 안정적인 수동형 메커니즘의 개발이 선행되어야 한다. 하지만 이러한 수동형은 차체 구조적 안정과 연계된 CMVSS 215와 같은 범퍼저속충돌 법규 만족과 함께 고려되어야 하는 어려움이 있다. 이는 실제 차량의 강성을 낮추어 보행자 보호의 요구 규정을 만족시킬 수는 있지만 차량의 강성이 너무 낮을 경우 승객의 보호 및 차체 안전성에 대한 규정을 만족시키지 못하게 될 가능성에 따른 것이다. 이와 같은 이유로 현재까지의 연구방향은 차량차체의 설계변경과 강성 해석에만 초점을 맞추어 왔다. 하지만 이러한 연구들은 차량을 구성하는 부품간의 교호작용 등에 의한 해석의 어려움으로 인해 통계적인 방법의 현상학적 측면만을 다루었고 차량과 임팩터의 역학적 해석은 미흡한 상태이다. 본 연구에서는 테스트에 사용되는 임팩터와 차량의 구조적 이해를 바탕으로 한 차량의 설계 변경과 최적화 기법을 통한 강성 설계에 대하여 다루었다.

2. 차량-임팩터 시스템과 구조변경

차량-임팩터 시스템은 직렬 또는 병렬로 연결되어 있는 스프링 모델을 이용하여 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 차량의 표면과 임팩터는 직렬로 연결되어 있고, 차량의 외관과 내부부품은 병렬로 연결되어 있으며 차량의 내부부품들은 직렬 또는 병렬의 연결 상태를 보인다.

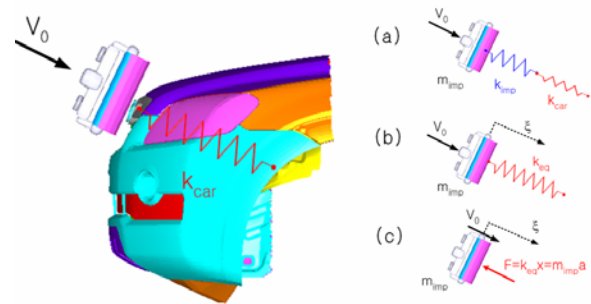


Fig. 1 Car and impactor model replaced by spring elements

1차원 상의 직렬연결의 경우에는 각 스프링의 변형량의 합이 전체 변형량이 되고 각 스프링이 받는 힘은 전체 스프링이 받는 힘과 동일하다. 병렬연결의 경우 변형량은 전체변형량과 동일하지만 전체 스프링에 가해지는 힘은 각 스프링이 받는 힘의 합이 된다. 즉 충돌 테스트시 임팩터에서 측정되는 반력은 차량이나 임팩터가 동일하지만 변형량은 차량과 임팩터가 동일하지 않으며 차량만의 변형량은 임팩터에서 측정되는 전체변형량에 대해서 임팩터의 변형량을 빼줌으로써 계산될 수 있다. 특성상 임팩터는 탄성 변형내에서 거동함으로써 재 사용이 가능해지며 선형적인 스프링 상수를 갖는 부재로써 나타낼 수 있다. 차량만의 강성은 차량의 외관과 내부 부품이 병렬로 연결 됨에 따라 외관의 강성과 내부 부품강성의 합으로 나타낼 수 있다. 외관의 강성이 정해 졌다면 외관에 접촉되어 있는 어떠한 내부부품도 차량전체의 강성을 증가시키는 작용을 한다. 본 연구에 사용된 SUV 모델 C-100 차량(GM DAEWOO)의 경우, 세 지점(LATCH SUPPORT, BRACKET, FOAM)에서 외관과 내부부품이 접촉해 있으며 이 지점에서의 강성은 다른 지점에 비하여 월등히 높다. 따라서 보행자 보호를 위한 상부하지 충돌 테스트시 (upper leg-form impact test) 위의 세 부분은 가장 취약한 부분이다. 그 중 차폭방향(BL)으로 413mm의 위치는 HOOD에 BRACKET 두 개가 병렬로 연결되어 있어 가장 취약한 부분으로 판단되므로 BL 413 위치를 대상으로 연구를 수행하였다. BL 413 위치의 차량 표면 강성을 낮추기 위해서는 연결되어 있는 두 개의 BRACKET 강성을 낮추어 목적을 달성할 수 있으나, 이렇게 되면 차량전체의 강성이 낮아져서 차체의 강성과 관련된 법규를 만족시킬 수 없을 뿐 아니라 승객의 안전 및 차량의 내구성을 보장할 수 없게 된다. 또한 BRACKET의 길이가 짧아 HOOD가 변형되면서 UPPER SUPPORT BEAM과 같은 강성이 큰 내부부품에 2차 충돌이 발생하여 오히려 더 나쁜 테스트 결과를 유발할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 병렬연결된 두 내부부품을 한 개로 줄이므로써 구조 변경을 실시하였다. 현재 HOOD에 접촉해 있는 두 개의 BRACKET은 각각 UPPER SUPPORT BEAM과 X-MEMBER에 연결되어 HOOD를 지지하고 있으므로 HOOD

를 한 개의 BRACKET 으로 연결하여 굽힘 강성이 작용하도록 하였고 나머지 한 개의 BRACKET 은 X-MEMBER 에 연결하여 UPPER SUPPORT BEAM 의 강성을 보충하도록 하였다. Fig. 2 는 변경 전과 변경 후의 모델의 상태를 나타낸다.

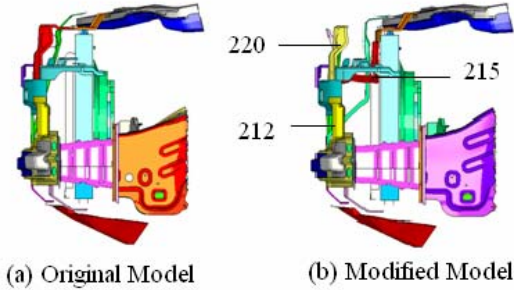


Fig. 2 Comparison of original and modified car model

3. 차량 모델의 최적화

변경된 내부구조를 갖는 모델을 이용해서 BL 413 위치에 대한 upper leg form impact 의 최적화를 수행하였다. Fig. 2 에서 나타낸 바와 같이 BRACKET 220 은 HOOD 에 접촉하여 굽힘 강성을 유발하며 차량의 길이 방향으로 BRACKET 215 와 차량의 높이 방향으로 BRACKET 212 에 의해 지지된다. 따라서 위의 세 부품의 강성을 설계변수로 지정하였다. 실험계획법(design of experiment)에 의해 15 개의 시뮬레이션 세트를 결정하였다. 여기서 사용된 실험계획법은 회전중심합성계획법 (rotatable central composite design)으로써 중앙의 base line 을 중심으로 2 개의 regular point 와 2 개의 star point 로 구성된다. 각 포인트에 해당하는 설계변수 값은 정규화(normalize)된 설계변수의 값으로 0 의 정규화 값을 갖는 base line 은 기존 부품물성선도의 1 배에 해당하며 여기에 1.5 배 와 0.5 배는 각각 1 /-1 의 regular point , 1.841 배와 0.159 배는 1.6818 /-1.6818 의 star point 에 해당한다. 목적함수로는 임팩터의 반력(reaction force)과 임팩터 세부분의 모멘트(moment)값 및 임팩터의 인입량을 선정하였다. 선정된 5 개의 설계변수에 대한 회귀함수식을 구하고자 실험계획법에 따라 충돌 시뮬레이션을 실시하였다. 상용유한요소 해석 tool 인 MADYMO Ver. 6.21 을 이용하여 해석을 수행 하였으며 이후 설계변수벡터에 종속인 임팩터 반력과 모멘트 및 인입량을 설명하는 중회귀함수(Multiple Regression Function)를 선정하였다.

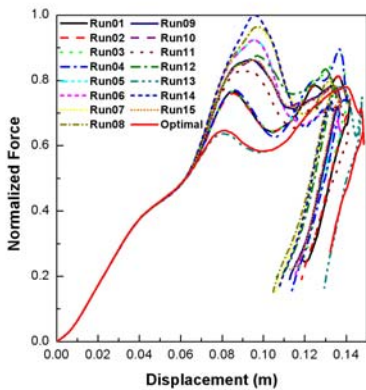


Fig. 3 Normalized force-displacement curves for simulation set

여기서 각 설계변수에 대한 2 차 회귀함수식의 회귀계수는 실험계획법에 의한 충돌 시뮬레이션 결과로부터 최소

제곱법(Method of Least Squares)을 사용하여 구하였다. Upper leg impact 에 대한 차량의 최적설계문제로 정식화하여 최적 설계도구인 MINITAP 의 RSM (Response Surface Method)을 사용하여 최적해를 구하였다. 15 개 세트의 정규화한 해석 결과 및 최적값은 Fig. 3 에 나타내었다.

4. 결과분석 및 고찰

최적화를 수행하여 얻어진 정규화된 설계변수의 예측값은 각각 -0.2106, -1.6818, -1.6818 (BRKT 212, 215, 220)로 나타났으며 이 값을 바탕으로 시뮬레이션한 결과값은 최적 예상치와 비교하여 임팩트 반력은 3.4%의 오차와 중앙의 모멘트 값은 1.21% 의 오차를 보인다. 구조변경전의 모델과 비교하면 최적 시뮬레이션 결과는 임팩트 반력에서 대략 70% 수준으로, 중앙의 굽힘모멘트는 65% 수준으로 대폭 감소하였음을 알 수 있다.

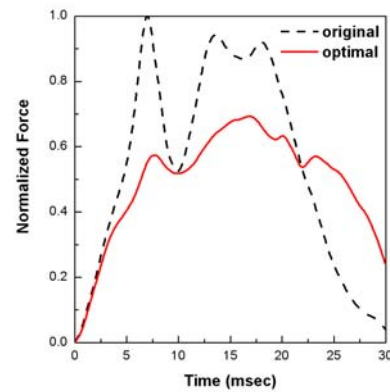


Fig. 4 Comparison of reaction force between original and optimal

5. 결론

본 연구는 차량과 임팩터 모델을 스프링 시스템으로 단순화함으로써 보행자 상부하지에 대한 임팩트 테스트시 가장 취약한 부분을 선정하였고, 유한요소 해석을 통해 구조변경한 차량 모델에 대한 설계변수의 최적치를 얻었다. 이를 통해 임팩터에서 산출되는 상해치를 최소화 하였다. 요약하면 다음과 같다.

1. 차량-임팩터의 스프링 시스템 모델을 통한 보행자 보호목적의 차량 설계시 취약 부분 선정 및 구조 변경
2. 실험계획법을 통한 시뮬레이션 세트 선정 및 시뮬레이션
3. 최적화를 통한 회귀함수의 계수 및 설계변수의 최적치 선정
4. 최적치에 의거한 임팩트 반력과 모멘트의 최소화

후기

본 연구는 지엠 대우 오토엔테크놀로지 주식회사 기술연구소의 지원 하에 수행 되었다.

참고문헌

1. More information can be found at: <http://ec.europa.eu>
2. More information can be found at the EEVC web site(www.eevc.org) EEVC Working Group 17 Report - Improved Test Methods To Evaluate Pedestrian Protection Afforded By Passenger Cars (December 1998 with September 2002 updates)
3. EuroNCAP, Pedestrian testing protocol version 3.1.1, January 2002