

자동차용 유리섬유강화 매트 수지(GMT) 범퍼의 충돌성능 평가 수치모사

백승훈* · 문종근* · 정우식** · 김승조***

Impact Simulation of Automotive GMT Bumper

Seung Hoon Paik, Jong Kun Moon, Woosik Chung, Seung Jo Kim

Key Words: GMT(Glassfiber reinforced Mat Thermoplastic), bumper impact simulation

Abstract

Impact of Automotive GMT(Glassfiber reinforced Mat Thermoplastic) Bumper for '5Mhp Barrier Test' was simulated using ls-dyna. The FE model consists of foam which is energy absorber, bumper beam and stay etc. Bumper intrusion and deflection was compared with the experimental results. Effects of uncertainty of material property and deviation of impact velocity were considered and results were compared with those of base design. Effects of number of integration points through th thickness was also investigated.

1. 서 론

범퍼는 대물충돌 또는 차량끼리의 저속 충돌 시 차량 및 탑승자를 보호하는 역할과 동시에 외장, 의장품으로서 조형상의 기능도 담당하고 있다. 일반적으로 범퍼의 구조는 범퍼 커버(bumper cover)와 충격 흡수재(energy absorber), 범퍼 빔(bumper beam), 차체연결부(stay)등으로 구성되어진다. 이 중 범퍼 빔은 차량의 저속 충돌 시 충돌 에너지를 흡수재가 충분히 흡수할 수 있도록 지지함과 동시에, 차체 및 타 부품의 손상을 방지할 수 있도록 여분의 충돌에너지를 감소시켜 주는 역할을 하고 있다.

이러한 범퍼 빔의 재료로는 강판, 알루미늄, 플라스틱, 복합소재 등이 사용되고 있다.[1,2] 그

중 복합소재중의 하나인 GMT(Glassfiber reinforced Mat Thermoplastic)를 범퍼 빔으로 구성하는 경우 경량화 측면에서 유리한 점이 있어, 현재 국내의 여러 차량에 적용되고 있다.

범퍼성능평가와 관련하여 국내외의 많은 시험 규격이 있지만, 본 논문에서는 IIHS(Insurance Institute for Highway Safety) 규격 중 Rear Bumper 5Mph Barrier Test에 대해 수치모사를 수행하고, 그 결과를 시험 치와 비교해 보았다. 또한, 소재 물성의 불확실성, 시험조건 편차, 수치 모사 파라미터 등의 변화가 해석결과에 어떻게 영향을 미치는지도 평가하여 보았다.

2. 수치모사 해석모델

2.1. GMT 범퍼 충격 수치모사

2.1.1 구성 모델

범퍼시스템 충격시험 시 범퍼를 대차에 마운팅하여 테스트하지만, 본 해석 모델에서는 대차 혹은 스테이(stay)에 연결되는 레일부위를 직접 모델링하지 않고, 그 대신 이들을 대표하는 평판 형

* 대학원, 서울대학교 기계항공공학부

** 겸임교수, 서울산업기술대학교 기계공학과

*** 교수, 서울대학교 기계항공공학부

상의 강체 구조물을 스테이에 연결하고, 대차 질량에 해당하는 집중 질량을 부가하였다. 충격흡수재인 폼(Foam)은 3차원 솔리드요소로 모델링하였고, 그 외, 범퍼 빔, 스테이, 스테이에 연결된 강체는 쉘 요소를 사용하여 모델링 하였다. 범퍼 빔과 스테이, 스테이와 강체사이에서 서로 마운팅되는 부위는 강체 빔 요소 및 점용접을 사용하여 서로 연결하였다. Fig.1는 범퍼 시스템의 유한요소 모델이고 Fig.2는 개략적 단면도 이다.

Young's Modulus	E1 = 12,500 Mpa E2 = 5,000 Mpa
Poisson's Ratio	0.126
Tensile Strength	250 Mpa
Compressible Strength	150 Mpa
Elongation at Break	2.1 %
Density	1.26g/cm ³

Table 1. Material Properties of GMT

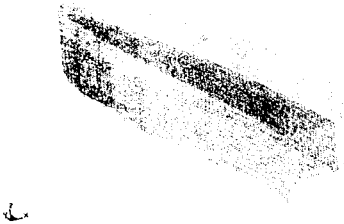


Fig.1 Bumper System FE Model

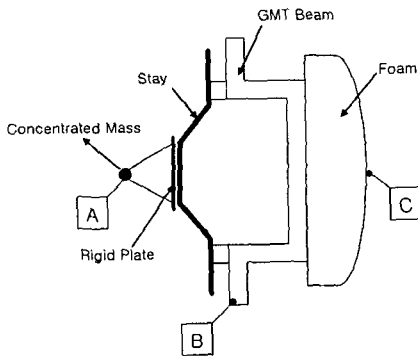


Fig.2 Schematic Section View

2.1.2 소재 물성

본 연구에서 범퍼 빔에 사용된 소재의 물성은 한화중합화학에서 자동차 부품용으로 생산하는 GMT소재이다. 이방성 특성을 가지고 있으며, 재료 물성은 Table 1과 같다. 빔이 마운팅 된 스테이(stay)는 일반 강으로 탄소성 거동 모델을 적용하였다. 에너지 흡수재인 폼(Foam)은 응력-변형을 곡선을 이용하여 정의하였다.

2.1.3 해석 조건

고정벽 충격모사는 모델의 중앙(OBL면)에 대해 대칭형이므로, 대칭경계조건을 적용한 1/2 모델을 이용하였다. 스테이에 마운팅 된 강체는 범퍼 진행 방향인 x 방향으로만 움직이도록 구속하였다. 충격속도는 2235 mm/sec (5Mph[Mile Per Hour])를 초기속도로 주었고, 100msec 까지 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 소프트웨어는 LSTC사의 LS-DYNA v.970[3]이며, 계산 하드웨어는 IBM SP2 시스템이다. 이 환경에서 해석시간(CPU Time)은 약 9시간 58분 정도이다.

2.2 해석결과 및 시험결과와의 비교

범퍼시스템의 성능 평가기준으로 주로 범퍼의 deflection과 intrusion을 사용한다. deflection은 범퍼 빔이 충격과정 중 원래 위치에서 뒤쪽으로 휘어진 변형 량의 최대 값을 의미하고, intrusion은 범퍼의 가장 앞쪽(주로 대칭면에서 충격흡수재의 앞쪽)이 충격과정 중 뒤로 밀려들어가던 최대 변위 량을 의미하는 것으로 대략 deflection에 충격흡수재의 압축 량이 더해진 량이 된다. 여기에서는 intrusion을 Fig.2의 A 점 변위에서 B점 변위 차이의 최대 값을 취하였고, deflection은 A 점 변위에서 C점 변위의 차이의 최대 값을 취하였다. Fig.3는 대칭면에서 초기형상과 충격흡수재가 최대 압축되었을 때의 그림이며, Fig.4는 시간에 따른 Fig.2의 A,B,C 점의 변위곡선이다. A곡선과 B곡선의 차이가 Deflection 이고, A 곡선과 C 곡선의 차이가 Intrusion이다.



Fig.3 Deformed configuration in OBL section

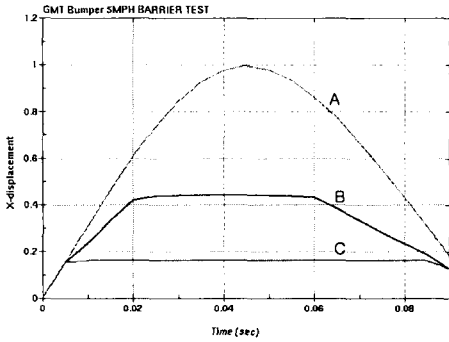


Fig.4 Normalized Intrusion and Deflection Curve

	Intrusion (Normalized)	Deflection (Normalized)	최대응력 (Von Mises)
시험	1.0	1.0	-
수치모사 (Base)	0.911	1.079	206 Mpa

Table 2. Comparison of simulation with test

3. 해석조건 편차에 따른 결과 고찰

제작된 범퍼 시스템의 충격시험 시, 수치모사에 이상적으로 반영된 해석 입력 값과는 차이를 보이는 요인이 여러 가지 있다. 그중 대표적인 것이 복합 소재 물성치의 불확실성이며, 그 외에 구조물의 질량, 시험 시 충격속도의 차이 등이 있다. 또한, 입력 파라미터 선정의 차이 따른 결과의 차이도 발생할 수 있다. 이 절에서는 이러한 변화의 요인들이 해석에 어떤 결과를 미치는지에 대해 비교 검토해 보고자 한다.

3.1 물성치 변화에 따른 결과 변화

복합재료 시편의 물성측정의 경우, 측정값의 편차를 보이며[5], 실제 제작과정 중 발생하는 유리섬유 배향의 변화는 시편에서의 물성과도 차이를 보일 수 있다. 이러한 물성치의 불확실성에 따른 영향을 평가하기 위해, GMT소재의 E_{ij} 값

과 G_{ij} 값을 각각 10%, 20%, 30% 증가, 감소했을 경우에 대해 비교하였다. Base 해석의 경우 범퍼의 길이방향이 모두 소재의 1방향이라는 가정 하에 해석 된 것이다. 그러나, 실제 제작 과정에서 유리섬유 배향의 혼합이 발생하게 된다. 이러한 효과에 대한 영향을 살펴보기 위해 GMT재료의 1방향과 2방향이 7대3의 비율로 성형되었을 때 혼합 기법(rule of mixture)[6]을 적용한 물성치에 대한 결과를 비교하였다. 또한, 에너지 흡수제인 폼(foam)의 물성이 20% 증가했을 때의 영향도 살펴보았다.

물성치 변화	Intrusion (Normalized)	Deflection (Normalized)	최대응력 (Von Mises)
Base	1.0	1.0	206 Mpa
10% 감소	1.022	0.969	204 Mpa
20% 감소	1.044	1.057	198 Mpa
30% 감소	1.063	1.086	196 Mpa
10% 증가	0.988	0.979	204 Mpa
20% 증가	0.973	0.960	200 Mpa
30% 증가	0.959	0.941	197 Mpa
7대3혼합	1.025	1.033	218 Mpa
폼 20% 증가	0.976	0.952	200 Mpa

Table3. Simulation results considering material uncertainty

GMT 물성이 30% 감소된 경우 6.3%의 Intrusion 증가와 8.6%의 Deflection 증가를 보였고, 30% 증가된 경우 4.1% Intrusion 감소와 5.9%의 Deflection의 감소를 보였다. 1방향과 2방향이 7 대 3의 비율로 배향된 경우, Intrusion 이 2.5% Deflection이 3.3% 증가를 보였다. 최대 Von Mises 응력은 5.8% 크게 나타났다. 모든 경우에서 Intrusion 보다는 Deflection이 물성치 변화에 조금 더 민감하게 반응했다. 최대응력은 모든 경우에서 범퍼 빔과 스테이가 체결된 부위에서 나타났다. 물성치가 감소됨에 따라 응력이 감소되는 경향을 보였으나, 물성치가 증가 했을 때는, 일정한 경향을 보이지는 않았다.

3.2 초기 운동에너지 변화에 따른 결과 변화

구조물의 전체 질량도 초기 설계안과 편차를

보일 수 있으며, 충격속도 또한, 시험 시 약간의 편차를 보일 수 있다. 이러한 질량 및 속도의 편차의 고려하고자 구조물에 가해지는 초기 운동에너지가 5% 증가된 경우와 5% 감소된 경우에 대하여 비교하였다. 여기서는 범퍼의 전체 질량을 고정된 채, 속도를 증감시켜 구조물에 가해지는 초기 운동에너지 변화를 고려하였다. 그 결과는 아래 표와 같다.

운동에너지	Intrusion (Normalized)	Deflection (Normalized)	최대응력 (Von Mises)
Base	1.0	1.0	206 Mpa
5%증가	1.025	1.028	207 Mpa
5%감소	0.981	0.974	201 Mpa

Table 4. Simulation results considering deviations of initial Kinetic Energy.

초기 운동에너지를 5% 증가했을 때, Intrusion 은 2.5%, Deflection은 2.8% 증가했고, 5% 감소했을 때는, Intrusion은 1.9% Deflection 은 2.6% 감소하는 것으로 나타났다.

3.3 적분점 변화에 따른 결과 변화

시험조건 및 물성치 불확실성에 의한 결과의 편차 이외에, 마찰계수, 구조 감쇄계수, 1점적분에 의한 의사모드를 제어하기 위한 모레시계 제어 (Hourglass Control) 계수 등 수치 모사 시, 사용자가 선택해야하는 파라미터들이 있다. 또한 GMT범퍼는 통상 10mm 이상의 두께로 제작되므로 쉘의 두께방향 적분점의 개수변화에 따른 결과도 비교해야 할 필요가 있다. 여기서는 쉘의 두께 방향으로 적분점이 2점일 때와, 5점일 경우에 대해 비교하여 보았다.

두께방향 적분점	Intrusion (Normalized)	Deflection (Normalized)	최대응력 (Von Mises)
2점	1.0	1.0	206 Mpa
5점	1.0	1.0	236 Mpa

Table 5. Simulation results considering the no. of integration points through the thickness

두께방향 적분점 개수를 2점에서 5점으로 증가할 경우, 변형량에서는 변화를 보이지 않았고, 최대 Von Mises 응력에서는 약 15% 정도의 증가를

보였다.

4. 결론

자동차용 GMT 범퍼의 충돌성능 평가를 수치 모사하고 해석의 검증을 위해 테스트결과와 비교하였다. 또한, 물성의 불확실성, 충격속도의 편차, 수치파라미터 변화를 고려했을 때 이러한 변화가 결과에 어느 정도 영향을 미치는지 비교하여 보고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. GMT 물성의 불확실성을 최대 30%까지 크거나 작은 것으로 가정한 경우에 최대 변형량은 deflection에서 9%내로 발생하였다. 향후 물성의 실제 불확실성 정도(평균과 편차 등)를 안다면, 테스트에 대한 해석모델의 건설성 검증에 대한 참고 데이터로 사용될 수 있다.
2. 초기 운동 에너지가 5% 정도 차이 나는 경우, 수치모사상의 deflection의 차이는 약 3% 내에서 발생한다.
3. GMT 범퍼의 변형량만을 평가한다면, 적분점의 개수가 적어도 차이가 없으나, 소재의 파손에 축을 위해서는, 적분점 증가에 대한 응력의 수렴성을 검증한 후 충분한 개수의 적분점을 사용해야한다.

후 기

본 연구는 BK21 사업과 과기부의 국가지정연구사업(00-N-NL-01-C-026)에 의해 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 신동원, 김진우 "CAE 해석을 이용한 자동차용 Bumper 성능 비교 (GMT 복합소재 & 알루미늄)", 제 3 회 국내 LS-DYNA User's Conference, 1998.
- (2) 김영수, 이상재, 구도희 "TWB를 적용한 Bumper Beam의 충돌성능에 관한연구", 제 5 회 국내 LS-DYNA User's Conference, 2000
- (3) LS-DYNA Theory Manual, LSTC
- (4) LS-DYNA v.970 User's Manual, LSTC
- (5) S.C.Lin, "Reliability predictions of laminated composite plates with random system parameter", Probabilistic Engineering Mechanics, Vol. 15, pp 327-338,2000
- (6) Robert M. Jones, "Mechanics of Composite Materials", McGraw-Hill Book Company