

복합재료 Body Panel의 고온열화 특성

변현중* · 남현욱* · 한경섭**

Material Properties Degradation of Composite Body Panel Exposed to High Temperature

Hyun Joong Pyun, Hyun Wook Nam and Kyung Seop Han

Key Words: LPMC(Low Pressure Molding Compound), Specific Gravity(비중), Impact(충격), Degradation(열화), High Temperature Exposure(고온노출)

Abstract

A research for development of composite body panel is in progress for lightening tare. Low specific weight LPMC (Low pressure molding compound) has advantages such as lightweight and resistance to dent and corrosion. In this study, tensile, bending and impact tests for the LPMC and SPRC35 (High tension steel plate) were carried out and compared. Although mechanical properties of SPRC35 are better than the LPMC, the LPMC satisfies basic requirements for car body panel. The high temperature exposed LPMC were degraded due to fiber-matrix debonding and deterioration of resin.

1. 서 론

최근에 들어 세계적인 환경 규제 강화와 자동차 업계의 무한 경쟁을 배경으로 자동차의 경량화가 어느 때보다 절실하게 요구되면서 기존의 재료의 무게를 현저히 줄일 수 있는 대체 재료의 개발과 최적화된 설계기술 개발의 중요성이 커지고 있다. 기존의 바디 프레임과 외장재로 쓰이던 고장력 강판의 대체재로 알루미늄과 섬유 강화 플라스틱이 가장 주목을 받고 있다. 그 중에서도, 고분자 복합재료는 무게가 가볍고 강도와 강성이 우수할 뿐만 아니라 제조단가도 계속 낮아지고 있어서, 그 용도가 내·외장재에서 부품으로까지 확대되어 가고 있다[1]. 국내에서도 현대자동차에서 알루미늄 스페이스 프레임에 차체의 외판을 고분자 복합재료로 대체한 초경량차체를 개발하

고 있다. 개발중인 복합재료 외판의 기본적인 물성의 규명, 다양한 하중 조건에서의 기계적 거동 및 여러 환경적 요인에 의한 물성 변화에 대한 평가 분석이 수행되어 차체의 설계 단계에서 중요한 기초 자료의 제공 뿐 아니라, 복합재료 외판의 내구성과 안정성에 대한 신뢰도를 확보한 바 있다[2]. 이를 바탕으로 본 연구는 고온 노출에 따른 LPMC의 물성 변화를 충격특성을 중심으로 연구하고 기존의 외판용 소재인 강판과 비교하였으며 경량화를 목적으로 개발된 저비중 LPMC의 특성평가도 수행하여 외판용 LPMC와 비교자료를 확보하였다. 본 논문은 연구 결과를 중심으로 요약 기술하였다.

2. 저비중 LPMC의 특징과 조성

기존 LPMC의 기본물성들은 폴리에스터, 유리 섬유, 탄산칼슘의 밀도와 부피분율 및 탄성계수들의 합량과 다음과 같은 밀접한 관계가 있다. 충전제인 탄산칼슘은 제품의 단가를 낮추고, 성형 과정에서 흐름성을 향상시켜 표면의 흠자국

*포항공과대학교 기계공학과 대학원
**포항공과대학교 기계공학과

Table 1. LPMC formulation(% by weight)[2]

Resin System			Reinforcement	Filler	etc.
UPE 12.5	Crystalline PE 3.2	Stylene 5.2	Glass Fiber	CaCO ₃	Catalyst, Initiator, Releasing Agent
20.9			27.0	50.1	2.0

Table 2. Low specific weight LPMC formulation(% by weight)

Resin	Reinforcement	Filler		etc.
Resin	Glass Fiber	Mineral Filler 29.0	Microsphere (저비중Filler, 속이 빈 유리구) 5.0	Catalyst, Initiator, Releasing Agent
31.0	30.0	34.0		5.0

(sink mark)을 없애주는 역할을 하는데, 영플이 커서 탄성 영역에서 강성을 증가시키지만 소성 영역에서는 기지재와의 계면 결합력이 작을 경우에 계면 분리로 인해 결함으로 작용하여 강도를 저하시킨다. 이에 근거하여 이번 실험에 새로이 사용된 저비중 LPMC는 탄산칼슘의 함량을 낮추고 micro glass bubble을 사용하여 비중을 줄이고 전기 절연성이 뛰어나 좀더 최적화된 물성치를 얻을 수 있다. Table 1은 개발된 LPMC 복합재료의 조성을 나타낸 것이며, Table 2은 개발된 저비중 LPMC 복합재료의 조성을 나타낸 것이다.

3. 기본물성의 평가

강도나 강성, 내충격성, 밀도 등의 기본적인 기계적 물성들은 차체 외판으로 쓰일 재료의 선택이나 설계 과정에 기초적인 자료들을 제공하므로, 이러한 기본물성의 평가는 중요한 의미를 가지며 신뢰성 있는 물성 평가가 되어야 한다. 이를 위하여 밀도의 측정, 인장 및 굽힘 시험을 수행하였으며, 자동차 및 공업용 복합재료의 평가를 위한 표준 가이드로 ASTM D4762[3]를 참조하였다. 물성 평가를 위한 원재료는 300×

Table 3. Mechanical properties of LPMC

Properties	LPMC		저비중LPMC	GM Spec.	Typical SMC[4]	Steel (SPRC 35)
	Test Method	Average	Average			
Specific gravity	ASTM D792	1.910	1.32	1.97 max	1.824	7.75
Tensile strength, MPa	ASTM D638	62.6	63.35	58 min	76.9	237.72
Tensile modulus, GPa		11.9	8.01	11.3 min	172.11	
Flexural strength, MPa	ASTM D790	176	143.974	120 min	161	452.43
Flexural modulus, GPa		12.0	6.7624	9.6 min	12.6	200.73
Izod impact strength (unnotched), J/m	ASTM D256	975	1079.87	950 mim	915	-

300mm²의 두께 3mm인 저비중 LPMC 복합재료 평판으로 조성은 앞서 기술한 Table 2과 같다. 시료의 채취는 세 개의 평판으로부터 재료의 성형시 발생이 우려되는 불균질 부분을 피하기 위해 가장자리 50mm를 제외한 부분에서 각각 3개 이상의 시편을 만들었다.

표 3은 기본물성들에 대한 실험 결과를 나타낸 것이다. 저비중 LPMC의 경우 기존 LPMC에 비하여 인장이나 굽힘시험에 있어서 strength GM spec.을 만족하나 modulus의 경우는 다소 못 미치는 경향이 있다. 이는 충전제인 탄산칼슘의 함량 저하로 인해 탄성 영역에서의 강성이 저하되고 소성영역에서의 강도가 다소 높아졌다고 판단할 수 있다

4. 충격 특성 평가

Drop Weight 충격 실험은 INSTRON사의 GRC8250 충격시험기를 사용하여 평판에 낙하추를 떨어뜨리는 방식의 낙하추 실험을 실시하였는데, 이때, 낙하추의 무게와 충격속도를 변화시켜 충격에너지의 크기에 따른 저비중 LPMC 외판과 고장력 강판의 충격 거동을 조사, 비교하였다. 충격 하에서 재료가 보이는 충격 거동은 재료가 받

은 하중과 변형정도, 재료가 흡수한 에너지 등을 통해 파악할 수 있다. 실험조건과 방법은 ASTM D3763[5]에 의거하였다. 낙하추는 충격을 가하는 부분이 지름 12.7mm인 반구형 강철막대이며, 100×100mm²의 정사각형 시편과 중앙에 지름 75mm의 원형의 구멍이 있고 구멍주위 12.7mm의 고정단을 경계조건으로 가지는 fixture를 사용하였다.

4.1 하중-변형 곡선 분석

Fig. 1은 충격에너지의 변화에 대해 시편이 받은 하중-변형 곡선을 충격에너지별로 나타낸 것이다. (a)-(b)는 저비중 LPMC, (c)-(e)는 고장력 강판의 특성을 나타낸다. 수치적으로는 강판이 저비중 LPMC에 비해 탁월한 효과를 가짐을 알 수 있다. 그러나 강판의 경우 소성변형이 일어나면서 재료의 변형영역이 크고 넓은 반면 LPMC의 경우 충격받은 부분만 손상을 입어 적절한 수리기법을 사용한다면 상당한 이득을 얻을 수 있는 재료로 사료된다. LPMC의 특성을 보면 크게 완전한 파괴가 일어나지 않고 되튐 (a)와 낙하추가 시편을 바로 관통한 (b)로 그 거동을 분류할 수 있다. 관통이 된 경우에는 변형이 계속 커지며, 하중은 최대값을 지나서 여러 개의 첨단을

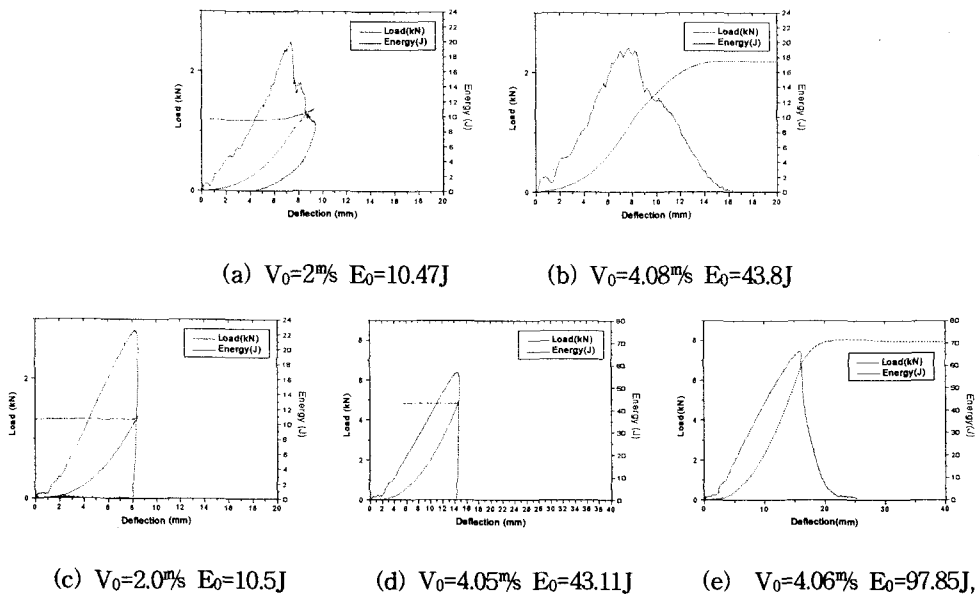
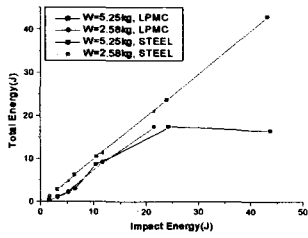
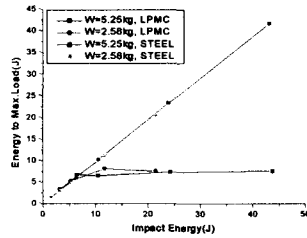


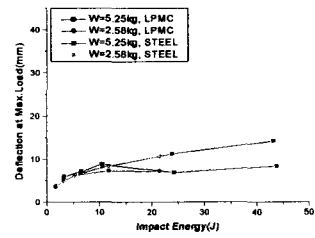
Fig. 1 Load & Energy curves for the variation of impact energy



(a) Total energy vs. Impact energy



(b) Energy to Max.Load vs. Impact energy



(c) Deflection at Max.Load vs. Impact energy

Fig. 2 Total energy, energy to maximum load, deflection at maximum load for the variation of impact energy

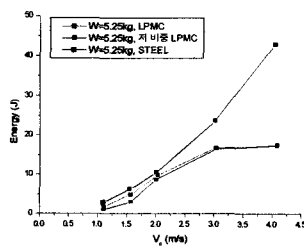
만들며 완만한 감소를 보인다. 되튐 경우에는, 변형과 하중 모두 최대값까지 증가하며 충격에너지가 시편의 변형에너지로 바뀐 후, 시편이 가진 탄성에 의해 다시 변형과 하중이 감소하게 되는데, 이때 변형에너지의 손실이 생긴 비탄성 거동을 보인다. 이는 Fig. 2의 (a)-(c) 에서도 확인 할 수 있다. 다시 말하면, 되튐 경우에도 소성 변형을 일으켰으며 이는 시편에 어느 정도의 손상이 발생했음을 의미한다. (c)-(d)를 보면 강판의 경우는 관통이 일어나지 않았을 때는 완전한 소성 변형과 함께 낙하추가 되튀지 않는다. Fig. 2의 (a)에서 볼 수 있듯이 총 흡수 에너지가 충격 에너지와 일치하는 것을 확인 할 수 있다. (e)는 강판이 $E_0 = 97.85J$, $V_0 = 4.06$ m/s에서 관통이 발생하였을 때의 그래프를 도시하였다.

4.2 총흡수에너지 분석

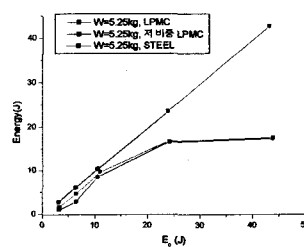
Fig. 2는 충격에너지의 변화에 대한 하중의 최

대값, 그 때의 에너지 및 총흡수에너지를 나타낸 것으로 각각의 점들은 5개 이상의 실험값들의 평균치이다. 관통이 된 경우, LPMC시편이 흡수한 총에너지와 파괴 개시에너지인 최대충격 하중에서의 에너지는 각각 약 17.5J, 7.5J로 최대 충격 하중은 2.44kN으로 일정함을 알 수 있다. 이로 미루어 강판의 관통시 필요한 충격 에너지는 약 73.5J 로 미루어 생각할 수 있다. 이는 LPMC의 약 4.2배에 해당하는 값이며 또한 최대 하중에서의 흡수 에너지는 60.12 J 로 LPMC의 약 8배, 최대 충격하중은 7.45 kN 으로 LPMC의 약 3배에 달한다. 한편, Fig. 2(a)에서 관통될 때의 에너지 17.5J까지 충격에너지가 증가할수록 총흡수 에너지는 증가한다. 총흡수에너지는 충격하에 복합 재료 내 기지재의 균열, 보강재와의 분리, 뿔힘 등에 의해 시편이 흡수한 에너지로서, LPMC 외 판의 손상 정도를 정량적으로 나타낸다.

Fig.3 에서는 각 재료의 충격특성을 비교하고



(a) W=5.25kg, Total energy vs. V_0



(b) W=5.25kg, Total energy vs. E_0

Fig. 3 Total energy variation with respect to impact velocity and impact energy

Table 4. The properties of LPMC and steel that are exposed to high temperature

Properties	저비중 LPMC	열화 저비중 LPMC	Steel (SPRC 35)	열화 Steel (SPRC 35)
	Average	Average		
Tensile strength, MPa	63.35	40.82	237.72	-
Flexural strength, MPa	143.97	117.2	452.43	398.53
Flexural modulus, GPa	6.76	5.31 (7.08)	200.73	188.54
Izod impact strength (unnotched), J/m	1079.87	1174	-	-

있다. 저비중 LPMC의 경우와 기존 LPMC는 거의 동일한 특성을 나타내고 있으나 LPMC와 강판과는 앞에서 살펴보았듯이 많은 차이를 나타낸다. Drop weight 충격시험에서도 기존의 LPMC와 저비중 LPMC 모두 강판의 물성과는 현격한 차이를 보이고 있으나 관통이 되지 않을 정도의 충격에는 LPMC가 소성 변형량이 작아 dent에 강하고 또한 부식에도 강해 자동차 외판으로서 이점을 충분히 가지고 있음을 알 수 있다.

5. 열화재료의 기본특성 평가

기온이 30℃를 넘어서는 더운 여름날은 자동차의 외판의 온도가 70℃를 넘어서기 쉽다. 고온에서의 노출에 대한 성능 변화를 알아보기 위하여 90℃에서 120시간 노출 후 기본물성과 충격특성

을 살펴보았다.

Table 4는 기본 물성 실험의 결과를 나타낸다. 인장 강도, 굽힘강도는 고온에 노출되기 이전의 물성보다 현격한 저하를 나타냈다. 하지만 Izod impact test에서는 오히려 총 흡수 에너지가 증가하였다.

또한 Fig. 4의 굽힘 실험 결과는 열화된 LPMC의 독특한 특성곡선을 나타낸다. 굽힘하중이 정체후 다시 증가하는 2nd modulus가 열화전의 modulus보다 큰 값을 가지는 것으로 보아 재료가 열화되면서 debonding 및 resin의 물성저하로 인해 연성을 가짐과 동시에 강도가 약화된 것으로 판단할 수 있다. 이러한 결론은 충격에너지가 적을 때는 Izod impact test의 총 흡수 에너지가 증가하는 현상과도 부합된다.

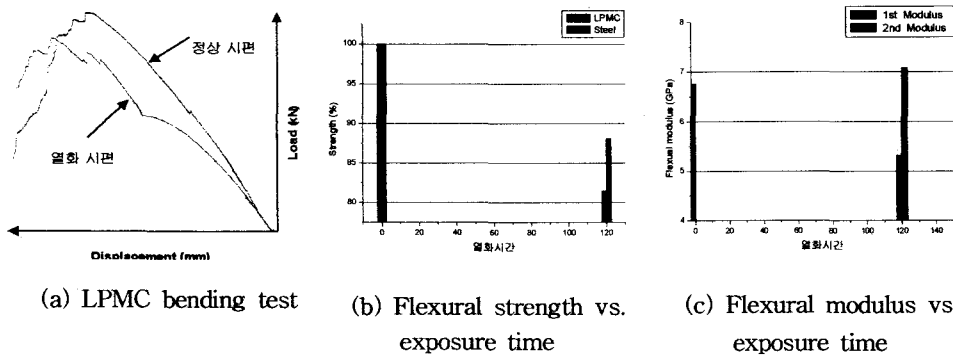
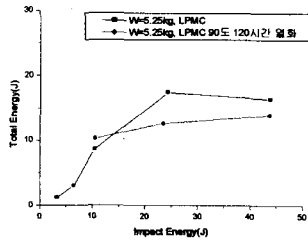
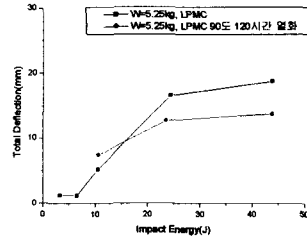


Fig. 4 Bending test of the specimens exposed to high temperature



(a) Total energy
vs.
Impact energy



(b) Total deflection
vs.
Impact energy

Fig. 5 Total energy and deflection variation with respect to impact energy for the specimens exposed to high temperature

6. 열화재료의 충격특성 평가

후기

Fig. 5에서 판재가 관통이 되지 않은 경우 총 흡수 에너지와 총 변형량 모두 열화된 시편의 경우가 더 큰 값을 가진다. 이는 위에서도 설명했듯이 재료가 열화 되면서 fiber-matrix debonding 및 resin의 물성저하로 연성을 가짐과 동시에 약화 된 것으로 볼 수 있다.

본 연구는 99년 공업기반기술개발사업 중 차세대자동차기술개발 사업의 위탁과제 (복합재료 Body Panel의 특성평가)로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

7. 결론

1. 저비중 LPMC의 기본물성 평가 결과 두께를 고려시 인장강도의 경우 강판의 1.1배, 외판에 미치는 영향이 큰 굽힘 하중의 경우 강판의 5.1배에 해당하였으며 비강도가 우수하며 기본 요구 조건을 만족함을 알 수 있었다.

2. 충격 실험 결과 LPMC를 관통하는데 드는 에너지는 약 17.5J, 관통시의 최대충격하중은 2.44 kN으로 나타났으며 관통이 되지 않을 정도의 충격에는 LPMC가 변형량이 작아 dent 에 강하고 부식에도 강해 자동차 외판으로서의 장점을 충분히 가진다

3. 열화재료의 특성평가 결과 LPMC 열화 재료의 강도는 정상강도보다 약18% 저하되었으며 강도저하는 fiber-matrix debonding 및 resin의 물성 저하에서 기인하는 것으로 보인다.

- [1] 김종구, 이명구, "자동차용 플라스틱의 현황," 고분자과학과 기술, 제 6권 4호, pp. 307-313, 1995. 8.
- [2] 남현욱, 변현중, 이용태, 한정섭, "복합재료 Body Panel의 특성평가," 대한기계학회 2000년도 춘계학술대회 논문집 A, pp. 109-114
- [3] ASTM D4762-88, "Standard guide for testing automotive/industrial composite materials, pp. 212-218.
- [4] Technical Paper, "Low cost molding with low pressure molding compound(LPMC)," Jhon A Neat and Warren Robins of National Composites, Inc., Steven P. Harddebeck and Jhon J. Young of Owens-Corning.
- [5] ASTM D3763-86, "Standard test method for high-speed puncture properties of plastics using load and displacement sensors," pp. 174-178.