

배터리 모듈의 경량화 및 품질 향상을 위한 선택적 복합재료 패치에 관한 연구

이승찬* · 하성규*[†]

A Study on Selective Composite Patch for Light Weight and Quality Improvement of Battery Module

Seung-Chan Lee*, Sung Kyu Ha*[†]

ABSTRACT: In this study, in order to improve the quality issue and component characteristics of the battery module, which is one of the major parts of the electric vehicle. The structure is reinforced by using the composite material and the mechanism structure optimization of Hybrid concept which can overcome the disadvantages of single material was performed and the performance was compared. For this purpose, figure out the main design variables of composite materials according to Classical Laminated Plate Theory (CLPT) and the algorithm for predicting composite material properties have been studied. Based on the mechanical properties of the designed composite materials, finite element analysis (FEM) and the performance of the battery module was verified. Consequently, according to the verification result, Hybrid Battery Module reinforced with Selective Composite Patch can reduce the weight by 30% and reduce the product thickness by 32.5% compared with the existing Al battery module and proved the merit of Hybrid structure such as maintaining impact performance.

초 록: 본 연구에서는 전기 자동차의 주요 부품 중 하나인, Battery Module의 품질 Issue 및 부품특성 개선을 위해 복합재료를 사용하여 구조보강 하였으며, 단일소재의 단점을 극복할 수 있는 Hybrid 개념의 기구 구조 최적화를 수행하고 성능을 비교하였다. 이를 위해 고전 적층 판 이론(Classical Laminated Plate Theory, CLPT)에 따른 복합재료 주요 설계 변수 도출 및 복합재료 물성 예측 알고리즘에 대해 연구하였으며, 설계된 복합재료의 기계적 물성을 바탕으로 유한요소해석(FEM)을 통해 Battery Module의 성능을 검증하였다. 이를 통해 자동차 Battery 부품의 안정성 및 경량화 등의 부품 특성 개선 여부를 확인할 수 있었다. 최종적으로 검증결과에 따르면 Selective Composite Patch로 보강된 Hybrid Battery Module은 기존 Al Battery Module에 비해 30%의 중량 감소 및 제품 두께 32.5%를 줄일 수 있고, 충격 성능 유지 등 Hybrid 구조의 장점을 입증하였다.

Key Words: 복합재료(Composite Materials), 유한요소해석(Finite element analysis), 선택적 복합재료 패치(Selective composite patch), 배터리 모듈(Battery module), 고전 적층 판 이론(Classical Laminated Plate Theory)

1. Introduction

전기 자동차에서 Battery 부품이 차지하는 중량은 차체 중

량의 40%로, 에너지 효율화를 극대화하기 위하여, 자동차 업계에서는 Battery 부품의 중량을 줄이기 위한 여러 연구가 진행되고 있다[1]. 본 연구에서는 자동차 부품 경량화 Needs

Received 14 September 2018, received in revised form 25 January 2019, accepted 23 February 2019

*Department of Mechanical Engineering, Hanyang University

*[†]Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Corresponding author (E-mail: sungha@hanyang.ac.kr)

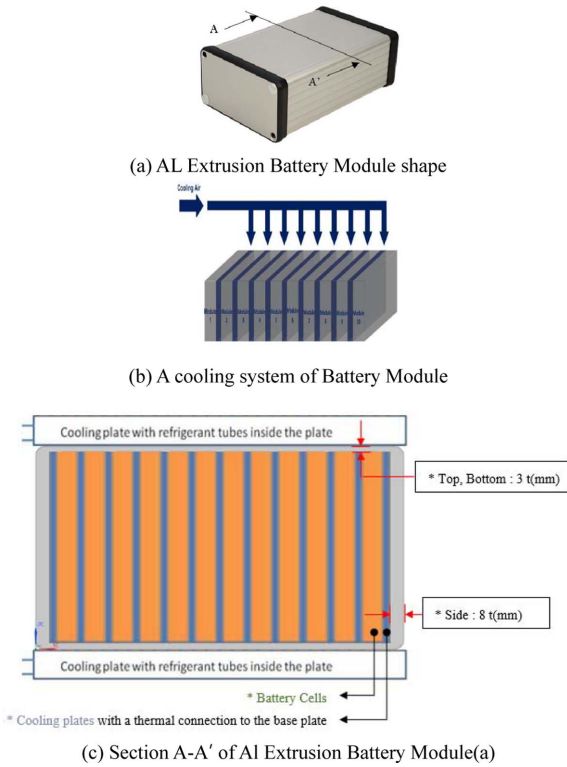


Fig. 1. Schematics of Battery Module [3]

에 맞추어, Battery Module을 Target으로 구조 보강용 복합 재료를 적용한 Hybrid Battery Module의 구조 최적화 및 경량화를 이루고자 한다.

자동차업계를 중심으로 상대적으로 가벼우면서 기계적 성질 및 방열특성이 우수한 Al 합금의 적용 비중이 높아지고 있으며, Al 가공 기술 중 하나인 압출공정은 공정비용이 저렴한 이유로 개발이 활발히 진행되고 있다[2].

이러한 이유로 Battery Module 부품의 경우, 기존 Plastic과 Al 부품을 조립하여 사용하는 공정을 개선하여, Al 압출 일체형 구조로 생산하고 있다.

본 연구의 Target 제품인 Battery Module 역시, Al 압출공정을 거쳐 제조되며, 길이방향 단면은 균일한 형상을 갖는다(Fig. 1a). 길이방향으로 균일한 형상을 갖지만, 단면 두께의 경우 3 mm와 8 mm, 다른 두께차이를 갖는다. 3 mm 두께 구간은 BMS에 의해 제어되는 Cooling Plate와 연결되어 Module 내부의 열을 원활히 방출하는 역할을 하며, 8 mm 두께 구간은 Battery Cell 팽창에 의해 발생하는 내부 압력 제어 및 3 mm 구간의 변형을 억제하여 냉각효율을 유지하는 역할을 한다(Fig. 1b,c).

이러한 제품 설계는 Battery Module의 특성 반영과 동시에 공정비용 절감 효과가 있지만, Al 압출 시 Flange의 폭 두께 차이는 단면 왜곡 및 품질에 중요한 매개 변수로 작용하여, 기능저하 및 품질 문제가 발생한다[4].

품질 개선을 위해 Al 판재를 3 mm, 8 mm 두께에 따라 별

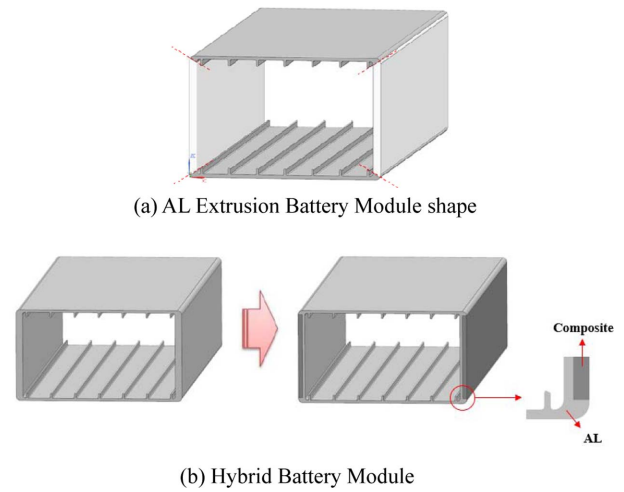


Fig. 2. New structure of Battery Module

도로 압출하여, 용접을 하는 공정으로 Battery Module을 생산하는 방안도 있으나, 이는 용접, 열처리, 비 파괴 검사 등 다수의 공정 추가를 필요로 하며, 그에 따른 신뢰성 문제가 예상된다(Fig. 2a).

본 논문에서는 Fig. 2b와 같이, Battery Module을 3 mm의 균일한 단면으로 압출 후, 복합재료를 Module에 Bonding하여 구조를 보강하는 Hybrid 구조를 도출하여, 고전 적층 판 이론을 통한 복합재료 설계와 구조해석을 통해, 최적 설계를 수행하였다.

2. Composite Design Process

섬유 강화 복합재료에서 섬유는 외부로부터 가장 많은 하중을 받는 중요한 요소이며, Fabric type, Ply angle, Volume fraction, Lay-up sequence, Laminating thickness 등 복합재료 주요 설계인자에 따라 완전히 다른 물성특성을 보이므로 이론에 근거한 설계가 필요하다.

특히 제품특성 및 요구사항을 명확히 정의한 후 비중, 인장강도, 압축강도, 피로강도, 가격 관점에서의 철저한 분석이 필요하다[5].

외부 하중에 따른 복합재료의 물성 거동을 고전 적층 판 이론(Classical Laminated Plate Theory, CLPT)을 바탕으로 수식화 한 응력-변형률 Tool을 통해, 적층 복합재료의 최적 두께, Ply Number 및 Angle을 설계하였으며, 설계된 복합재료 Spec을 이용하여 Abaqus를 활용한 구조해석을 진행하였다.

Battery Module은 Cell의 내부압력과 발열 제어 및 외부의 충격으로 Cell을 보호하는 중요 부품으로, 해석 진행 시 실제 Battery Pack 내에 조립되어 있는 Battery Cell & Module Boundary Condition을 반영하였다.

해석 방법은 Battery 충전 및 방전 시, 발생하는 Swelling과 Stack stress를 반영한 Static Analysis와 외부 충격에 대한

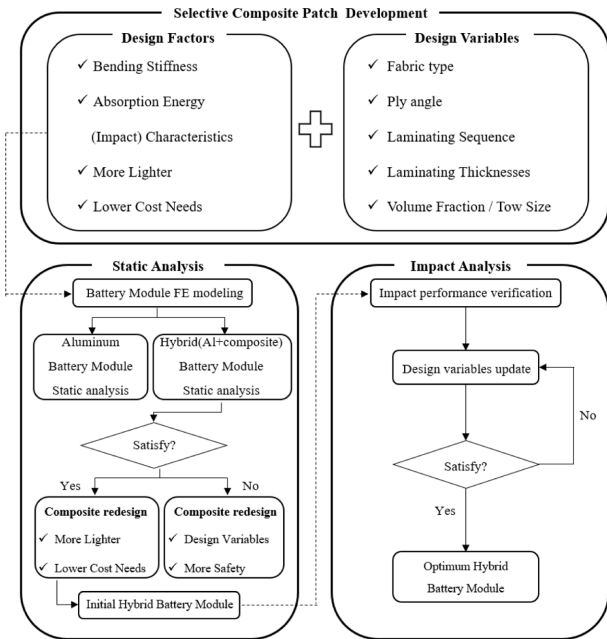


Fig. 3. Research Procedure

최적 에너지 흡수특성을 갖는 복합재료 설계 안 도출을 위한, Impact Analysis로 나누어 수행하였다.

복합재료의 물성은 기존 Aluminum Body와 유사하도록 Safety rate를 고려하여 설계하였다.

또한 Static과 Impact 두가지 상황에서의 요구물성을 모두 만족시켜야 하므로 시행착오법(Trial and Error) 방법을 통해, 복합재료 주요 설계인자를 변경하면서 진행하였다.

위와 같은 Process를 통해 제품의 More Light & Lower Cost 등의 목표를 달성할 수 있는 복합재료 설계 및 CAE 검증을 수행하여, 최적의 Hybrid Battery Module 설계 구조를 도출하였으며, 본 논문의 연구 절차는 Fig. 3과 같다.

3. Battery Module Design Condition

3.1 Swelling

Lithium-ion Battery Cell 이란 전기자동차 Battery 구성 중 가장 작은 단위이며, 음극, 양극, 전해질 및 분리막 4가지의 핵심 요소로 이루어져 있다.

이러한 Battery Cell은 직렬 혹은 병렬로 Battery Module 안에 매립된다[6].

Lithium-ion Battery는 충전가능한 2차 전지로, 높은 에너지 밀도, 긴 수명 등 환경 친화적인 성격으로 폭넓게 응용되나, 충전 및 방전 과정에서 기계적 스트레스와 화학적 열화로 인해 안전성 및 효율성 확보를 위해 철저한 관리가 필요하다. 이러한 충전, 방전 과정 중 발생하는 Battery Cell의 수축, 팽창 과정을 Swelling 현상이라고 하며, Battery Cell의 치수변화(Volume Expansion)에 따른 기계적 스트레스를 받

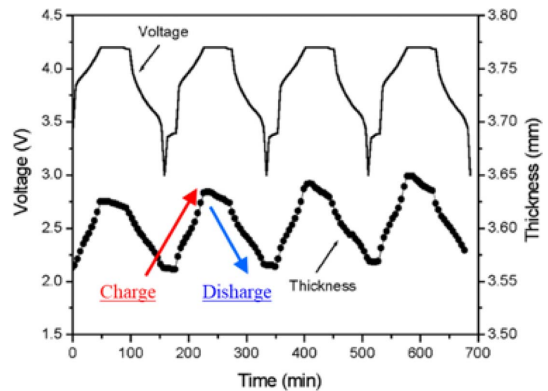


Fig. 4. Volume Expansion of Battery Cell [7]

영한 Battery 부품 구조 설계가 필요하다(Fig. 4).

3.2 Stack Stress

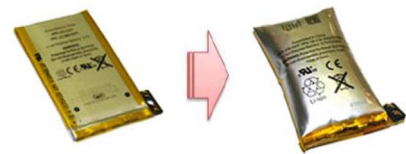
Battery Cell충전 중 발생하는 Swelling 현상에 의해 Battery Module이 구조적으로 받는 영향을 Stack Stress라고 하며, 이러한 Stack Stress의 관리는 Battery의 용량 및 수명에 큰 영향을 준다.

이러한 반복적인 특성에 의한 응력변화를 효율적으로 제어하지 못할 경우, Fig. 5와 같이 극단적 내압 증가로 폭발 및 화재의 위험성이 있다[8].

Battery Module의 경우, 내부 압력 및 열, 외부 충격으로 Battery Cell을 보호하는 역할 뿐 만 아니라, 효율적 압력 제어를 통해 Battery Cell의 용량 유지력 향상 및 장기간 Cell 성능에 중대한 영향을 미친다[10].

3.3 Static Boundary Condition

본 논문의 구조 해석은 Battery Swelling 현상으로부터 구조적으로 발생하는 내부 압력 및 발열을 효과적으로 제어하기 위한 최적 구조 및 복합재료 설계 Spec 도출을 목적으로 Abaqus Static Simulation을 진행하였다.



(a) Battery Cell Swelling



(b) AL Extrusion Battery Module shape

Fig. 5. Stack stress of Battery Module by Swelling [8,9]

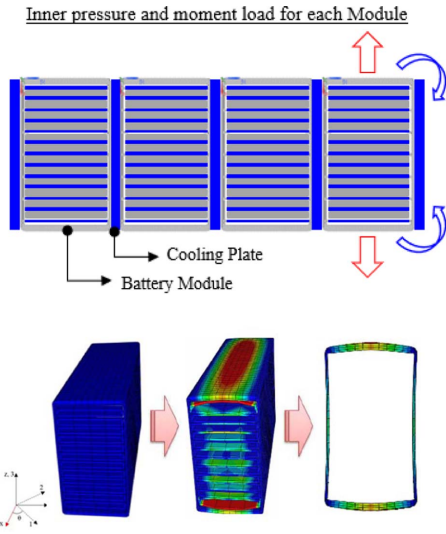


Fig. 6. Module assembly structure inside battery pack

Swelling 현상에 의한 Battery Module 구조 메커니즘은 하기 Fig. 6과 같다. Swelling 현상에 의한 내압 증가로 8 mm 구간의 변형이 발생하며, 이로 인해 3 mm부의 2차 변형을 유발하여, Cooling Plate와의 Gap이 커지면서 냉각저하가 발생한다. 이러한 구조 특성을 고려하여, 강성확보가 필요한 8 mm 부를 비강성, 비강도가 높은 복합재료로 보강하여, Hybrid Battery Module 구조를 통해 변형 개선 및 냉각효율 개선 및 부품 경량화를 이루고자 한다.

3.4 Impact Boundary Condition

Battery Module은 Stack Stress특성과 같이 Battery Cell의 성능 및 수명 향상 등의 효율적 관리를 위한 역할과 동시에, Battery Pack과 함께 외부 충격으로부터 Battery System을 보호하는 2차 안전장치이다.

본 연구에서는 Hybrid Battery Module의 충돌 성능을 평가하기 위해서 Abaqus Impact Simulation을 수행하였다.

또한 Battery Module의 충격 흡수 성능 기준 수립을 위해 안전 성능 검증을 마친 Al Body Battery Module의 에너지 흡수특성을 기준으로 Hybrid Battery Module의 구조 및 CFRP 복합재료를 설계하였다.

충돌 기준은 Fig. 7과 같이, Crushing Load와 Battery Module 및 Fixed Barrier로 구성되어 있고, Crushing Load를 1000 mm/s의 속도로 Barrier에 고정되어 있는 Battery

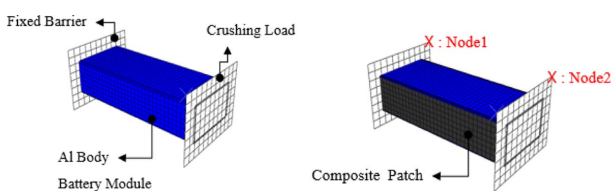


Fig. 7. The schematic of Impact simulation

Module에 충돌하는 Battery 부품 신뢰성 항목에 맞추어 진행하였다.

4. Finite Element Analysis

4.1 Finite Element Modeling

복합재료를 활용한 Hybrid Module은 기구제품 내 선택적으로 Composite를 보강하여 물성한계 극복 및 복합재료의 범용화를 목적으로 연구하였다. 하여 Composite 선정은 가격 경쟁력과 적합한 물성 및 적용제품의 특성을 고려한 검토가 이루어져야 한다. 본 논문에서는 다양한 산업분야에서 일반적으로 사용되는 T700 탄소 섬유와 Epoxy Resin을 사용하였으며, 복합재료의 물성은 경량화와 고가의 복합재료 Cost 절감을 위하여, 기존 Aluminum Body의 Safety Factor를 반영하여, 유사하도록 설계하였다.

4.2 Static Analysis

Hybrid 구조 최적화를 위해, 복합재료를 2.5t에서 5t까지 0.5t 단위로 보강하여, 복합재료 두께에 따른 변형 영향도를 해석을 통해 분석하였으며, 초기 Ply Angle(θ)은 $[0/90/\pm 45]_s$ 로 설정하였다.

Table 1과 같이 Battery Module의 Safety Rate를 고려하여,

Table 1. Deformation by Composite thickness

Design Factor		Max. Deformation (mm)		Safety Rate (%)	
Range of Deformation		8(t)	3(t)	8(t)	3(t)
Composite Thickness(mm)					
5t		0.236	0.048	52.8	72.0
4.5t		0.269	0.056	46.2	72.0
4t		0.309	0.065	38.2	67.5
3.5t		0.358	0.075	28.4	62.5
3t		0.420	0.085	16.0	57.5
2.6t		0.485	0.095	3.0	52.5
2.5t		0.504	0.098	-0.8	51.0

Selective Composite Patch를 적용 시, 최소 두께 2.6t 이상 필요함을 확인할 수 있다.

위와 같이 복합재료의 특징인 높은 비강성에 의해, 기존 8 mm 두께의 Aluminum 구조를 3t로 변경하면서, 2.6 mm의 Composite Patch를 활용하여 30% 이상의 두께절감 및 29% 이상의 무게 절감이 가능하다.

Hybrid 구조 최적화를 위한 두번째 복합재료 설계 검증 인자는 Composite Ply Angle이다.

Hybrid Battery Module Concept의 적합성 검토를 위하여 초기 Ply Angle을 Quasi-Isotropic으로 설정하여 검토하였지만, Classical Laminated Plate Theory에서 볼 수 있듯이 복합재료는 섬유 방향의 경우 높은 물성 갖으나, Matrix Resin의 특성을 갖는 섬유 수직 방향의 경우, 상대적으로 낮은 기계적 물성을 보인다. 이러한 특성으로 인해 제품의 외부 하중을 제대로 반영하지 못한, 잘못된 Ply Angle 설계는 Matrix cracking, Debonding, Delamination 등의 여러 문제를 유발하기 쉬우나, 복합재료의 특성을 적절히 고려하여 사용 시,

Metal 및 기타 소재 대비 월등한 기계적 물성 확보가 가능하다.

본 논문에서는 추가적으로 Battery Module 부품의 외부 하중 및 기계적 거동을 반영한 Ply Angle 검증을 통해, Selective Composite Patch의 최적화를 진행하였으며, Ply Angle 배열 방향 기준은 Fig. 8과 같다.

Ply Angle 검증을 위한 유한요소 해석 절차는 Case 1의

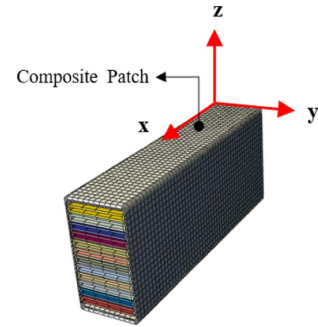


Fig. 8. Fiber Laminating Direction

Table 2. Deformation by Composite thickness

Division		Thickness (mm)	Ply Number (Ea)	Ply Thickness (mm)	Ply Angle (θ)
Step 1	Case 1	2.6	8	0.325	[0/90/±45]s
	Case 2		8	0.325	[0/90/±30]s
	Case 3		8	0.325	[0/90/±60]s
Step 2	Case 4	2.6	10	0.260	[0/90/±θ/0]s
	Case 5		10	0.260	[0/90/±θ/90]s
Step 3	Case 6	2.6	12	0.217	[0/±30/±60/90]s
	Case 7		12	0.217	[90/±60/±30/0]s
Step 4	Case 8	2.6	16	0.163	[0/±25/±50/±75/90]s
	Case 9		24	0.108	[0/±15/±30/±45/±60/±75/90]s
Step 5	Case 10	2.2~2.6	10	0.225	[0/90/±θ/90]s

Table 3. Deformation Improvement Effect by Ply Angle

Division	Ply Angle (θ)	Max. Deformation (mm)		Safety Rate (%)	
		8(t)	3(t)	8(t)	3(t)
Master	Full AL	0.3187	0.129	36.26%	74.20%
Case 1	[0/90/±45]s	0.485	0.095	3.00%	81.00%
Case 2	[0/90/±30]s	0.5297	0.106	-5.94%	78.80%
Case 3	[0/90/±60]s	0.4369	0.081	12.62%	83.80%
Case 4	[0/90/±60/0]s	0.4504	0.085	9.92%	83.00%
Case 5	[0/90/±60/90]s	0.4238	0.077	15.24%	84.60%
Case 6	[0/±30/±60/90]s	0.475	0.096	5.00%	80.80%
Case 7	[90/±60/±30/0]s	0.472	0.095	5.60%	81.00%
Case 8	[0/±25/±50/±75/90]s	0.474	0.089	5.20%	82.20%
Case 9	[0/±15/±30/±45/±60/±75/90]s	0.499	0.096	0.20%	80.80%
Case 10 (2.25t)	[0/90/±60/90]s	0.486	0.087	2.80%	82.60%

Quasi-Isotropic Laminating을 기준으로 5단계, 총 10 Case로 Laminating Angle에 따른 경향성 분석을 통해 최적 값을 도출하였다(Table 2).

Battery Module의 Stack Stress 조건하에서 0°~90° 사이의 적층 값 중, 영향도가 큰 θ 값을 Step 1과 Step 2 과정을 통해 도출하였으며, Step 3에서는 0°와 90°의 적층 순서를 변형하여, Laminating Sequence에 의한 유의차 확인하였다. 추가로 Step 4에서 Thin Ply을 통해, Angle 변위를 세분화하여 영향도를 검증하였다.

위와 같이 Step 1~4를 통해 Stack Stress하에서 최적의 Ply Angle를 도출하였으며, 최종 Step 5에서 두께 변위를 2.0~2.6 mm까지 0.05 mm 단위로 세분화하여 최종 Composite Thickness를 선정하였다.

최종 결과는 Table 3과 같다.

Case 별 Deformation 및 Safety Rate 분석 결과, 적층 된 판재의 Total Laminating Angle(본 논문에서는 Total Laminating Angle을 적층 된 모든 Ply의 Angle을 합한 값으로 정의하였다.) 이 클수록, 즉 적층 각이 90°에 가까울 수록 변형 개선 효과가 큰 것으로 나타났으며, 동일 Ply Angle에 Laminating Sequence을 다르게 하여 비교한 결과는 Ply Angle 대비 영향도가 미비한 것을 알 수 있었다. 추가로 진행한 Thin Ply 적용을 통한 Ply Angle 세분화의 경우도 90° Angle로 보강하는 Case 대비 Safety Rate가 낮은 것을 확인하였다.

검증한 Case 1~4를 기준으로 Battery Module의 Safety Spec 및 Stack Stress 현상을 고려한, 최종 Laminating Angle Condition을 [0/90/±60/90]s로 선정하였으며, Safety Rate Spec을 기준으로 Cost 절감 및 제품 경량화를 위한 Patch의 최소 필요 두께는 2.25t(mm)이다.

4.3 Impact Analysis

Static Analysis 결과에서 보듯이, 복합재료는 기본적으로 우수한 역학적 특성을 보이거나 Transversely Isotropy 성질로 인하여, 다양한 외부 하중에 대해 동일한 역학적 특성을 기대할 수 없다. 본 논문에서는 충격부하에 대한 역학적 특성 평가를 위하여, Fig. 7과 같이 Crushing Load에 의한 충돌 Mechanism을 고려하여, 노드 사이의 침입 량 및 하중 변위

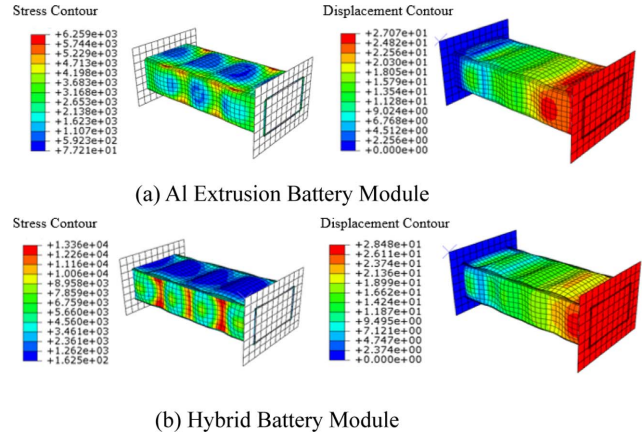


Fig. 9. Stress-Displacement Distribution

를 통해 Absorption Energy Characteristics을 도출하였다. Fig. 9은 AI Module과 Hybrid Module의 Stress-Displacement 분포도를 나타낸다. Static Analysis에서 도출한 최종 적층 조건의 Hybrid Module과 AI Module의 비교 해석 결과, Hybrid Module의 경우 AI 일체형 대비 2배 이상의 최대 응력이 Composite Patch부에서 발생하며, 변형 값은 유사한 경향을 보임을 확인하였다.

최적의 Absorption Energy Characteristics을 갖는 Composite Patch 설계를 위하여, Ply Angle 및 Thickness 차이에 대한 유의차 검토를 진행하였다.

Table 4는 Impact 유한요소 해석 절차이다.

Step 1에서 Ply Angle에 의한 유의차를 비교하였으며, Step 1과 Static Analysis에서 도출한 최종 Angle Condition을 Step 2에 적용하여, AI Battery Module의 Absorption Energy Characteristics 이상의 역학적 특성을 확보할 수 있는 최소 Ply Thickness을 선정하였다.

Load, Absorption Energy 및 단위 질량, 체적당 Energy 등의 평균값을 Table 5에 정리하였으며, Ply Angle에 따른 Absorbed Energy 관계를 Fig. 10, Thickness에 따른 관계를 Fig. 11에 정리하였다.

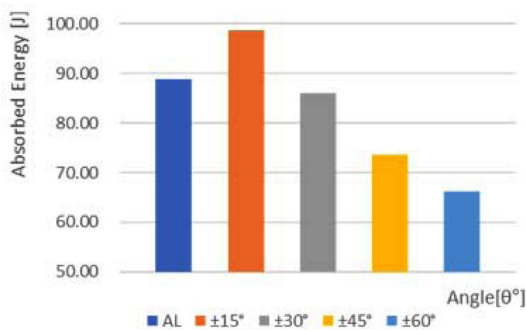
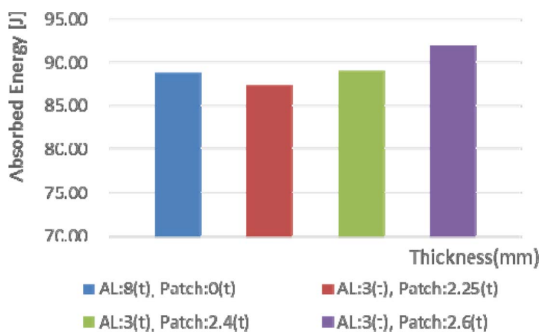
단위 질량당 흡수에너지 및 단위 체적당 흡수에너지는 AI Battery Module 대비, Composite Patch를 보강한 Hybrid

Table 4. Laminating Condition of Impact Analysis

Division		Thickness (mm)	Ply Number (Ea)	Ply Thickness (mm)	Ply Angle (θ)
Step 1	Case 1	2.6	8	0.325	[0/90/±45]s
	Case 2		8	0.325	[0/90/±30]s
	Case 3		8	0.325	[0/90/±60]s
	Case 4		8	0.325	[0/90/±15]s
Step 2	Case 5	2.25	14	0.161	[0/90/±θ/±60/90]s
	Case 6	2.4	14	0.171	[0/90/±θ/±60/90]s
	Case 7	2.6	14	0.186	[0/90/±θ/±60/90]s

Table 5. Absorption Energy Characteristics by Composite Design

Division	Ply Angle (θ)	Max Load F max [kN]	Absorbed Energy ET[J]	Energy Per Unit Mass [J/Kg]	Energy per Unit Volume [KJ/m ³]
Master	Full AL	3,230.97	88.88	14.29	40.03
Case 1	[0/90/ ± 45]s	4,675.87	73.59	24.61	61.23
Case 2	[0/90/ ± 30]s	5,451.52	85.92	28.74	71.48
Case 3	[0/90/ ± 60]s	4,143.49	66.15	22.12	55.04
Case 4	[0/90/ ± 15]s	6,129.31	98.56	32.96	82.00
Case 5	[0/90/ $\pm 15/\pm 60/90$]s	5,387.29	87.43	29.84	75.28
Case 6	[0/90/ $\pm 15/\pm 60/90$]s	5,433.46	89.05	30.12	75.55
Case 7	[0/90/ $\pm 15/\pm 60/90$]s	5,560.50	92.08	30.80	76.61

**Fig. 10.** Absorbed Energy by Angle**Fig. 11.** Absorbed Energy by Thickness

Module이 우수하였고, Ply Angle에 따라 Absorption Energy에 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

두께 8 mm를 갖는 Al Battery Module(Master)과 Al 두께 3 mm와 Composite Patch 두께 2.6 mm, 총 두께 5.6 mm의 Hybrid Module(Case 4)을 비교해보면, Hybrid Module의 최대 압력 하중이 6,129 kN으로, Al Module의 최대 하중 3,231 kN보다 약 1.9배 정도 컸으며, 단위 질량당 흡수에너지는 Hybrid Module이 32.96 J/kg으로, Al Module의 14.29 J/kg보다 약 2.3배 정도 컸다.

또한, Composite Patch 설계 시, 충돌 방향 기준으로 15° 부근이 최적의 Ply Angle 조건이며, 충돌 수직 방향으로 Ply Angle이 증가할수록 Absorption Energy Characteristics이 급

격하게 감소하였다.

즉, Al 일체형의 Battery Module보다 Composite Patch를 보강한 Hybrid Module이 충격 특성이 우수했다. 이는 CFRP 복합재료를 경량화용 구조 제품에 적용하는 것이, 정적 하중 만 아니라 충격 하중 조건에서도 우수한 역학적 특성을 보이며, 적층 방향은 충돌방향 기준으로 0°~15° 범위가 최적임을 알 수 있었다.

최종적으로 복합재료 Ply Angle 및 Thickness는 Absorption Energy Characteristics 및 제품 경량화와 고가의 복합재료 Cost 절감을 위하여, Al Module과 동등 이상의 Energy 특성을 갖는 Case 6(Table 5)의 Laminating Condition으로 선정하였다.

5. Conclusion

본 연구에서는 경량화 및 Slim화에 대한 Needs가 강한 자동차 부품류의 신규 Design Trend에 대응하기 위한 복합재료의 활용방안에 대하여 검토하였으며, 기계적 특성 강화를 위해 Classical Laminated Plate Theory을 바탕으로 주요 설계 변수 도출 및 최적화를 진행하였다.

Battery Module의 주요 특성인 강성과 충격 성능 개선을 위한 Hybrid Concept의 CAE 검증결과는 다음과 같다.

1. 본 논문에서 적용 검토한 Unidirectional laminated composite material의 경우, 섬유 방향은 높은 물성을 갖으나, 섬유 수직방향의 경우 상대적으로 낮은 물성을 갖는다. 이는 제품에 가해지는 외부 하중조건에 대하여 복합재료 설계 변수에 따라 큰 기계적 물성차를 보일 수 있음을 시사한다. 위 내용의 검증 및 최적화를 위하여, 검토 제품인 Hybrid Battery Module의 설계 방법에 따른 기구적 특성을 분석하여 설계 변수에 따른 영향도 검증 및 설계 Spec을 제시하였다.

2. Stack Stress에 의한 구조적으로 발생하는 내부 압력 및 발열을 효과적으로 제어하기 위한 Static Analysis 분석 결과, Stack Stress에 수직인 Ply Angle 90° 방향으로 Total Laminating Angle이 클수록 Bending Stiffness 높은 것으로 나

타났다.

3. 적층 구성에 따른 Absorption Energy Characteristics 비교 시, Static Analysis 경향과 달리, 충돌방향에 가까운 Ply Angle 0~15°에 가까울수록 우수한 경향을 보이며, 복합재료 두께 증가에 따라 비례하게 Absorption Energy Characteristics 이 향상되는 것을 확인하였다. 또한 복합재료의 경우 Aluminum 대비, 단위질량당 Absorption Energy Characteristics 이 높은 것을 알 수 있었다.

최종적으로 Hybrid Battery Module Concept 적용 시, 두께 절감 32.5%, 무게 절감 30%의 개선 효과를 확인하였으며, Cooling Plate와의 접지 부 변형률 약 33% 향상을 통해, 냉각 효율 개선 및 기존 Al Battery Module 대비 동등 이상의 Absorption Energy Characteristic 특성을 확보할 수 있음을 확인하였다.

Review

단일 소재의 단점을 극복할 수 있는 Hybrid Battery Module 의 사전 연구를 통해, 개발 시간 단축 및 실험 비용 절감 효과를 기대한다.

REFERENCES

1. Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N.A., and Mahdi, E.S., "Development of Short-carbon-fiber-reinforced Polypropylene Composite for Car Bonnet", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Vol. 47, Issue 4, 2008, pp. 351-357.
2. Oh, K.H., Min, Y.S., Park, S.W., and Jang, G.W., "The Thickness of Recrystallization Layer during Aluminum Extrusion Process," *The Korean Society for Technology of Plasticity*, 2005, pp. 266-269.
3. Han, J.Y., Park, J.S., Yu, S.S., and Kim, S.-S., "One-Dimension Thermal Modeling of NiMH Battery for Thermal Management of Electric Vehicles," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, Vol. 38, 2014, pp. 227-234.
4. Oh, K.H., Min, Y.S., Park, S.W., and Jang, G.W., "The Thickness of Recrystallization Layer during Aluminum Extrusion Process," *The Korean Society for Technology of Plasticity*, 2005, pp. 266-269.
5. Pandya, K.S., Veerajuu, Ch., and Naik, N.K., "Hybrid Composites Made of Carbon and Glass Woven Fabrics under Quasi-static Loading," *Materials and Design*, Vol. 32, 2011, pp. 4094-4099.
6. Offer, G.J., Yufit, V., Howey, D.A., Wu, B., and Brandon, N.P., "Module Design and Fault Diagnosis in Electric Vehicle Batteries," *Journal of Power Sources*, Vol. 206, 2012, pp. 383-392.
7. Lee, J.H., Lee, H.M., and Ahn, S.H., "Battery Dimensional Changes Occurring during Charge/discharge Cycles—thin Rectangular Lithium Ion and Polymer Cells," *Journal of Power Sources*, Vol. 119, 2003, pp. 833-837.
8. Lee, B.J., Choi, G.J., Lee, S.H., Jeong, Y.M., Park, Y., and Cho, D.U., "A Study on Explosion and Fire Risk of Lithium-Ion and Lithium-Polymer Battery," *Korea Information and Communications Society*, Vol. 42, 2017.
9. ProfHariz, <https://profhariz.com/penghantaran-dan-pemasangan-percuma-bateri-kereta-murah-24-jam-di-lembah-klang/>, 2018.
10. Lee, J.H., Lee, H.M., and Ahn, S.H., "Battery Dimensional Changes Occurring during Charge/discharge Cycles—thin Rectangular Lithium Ion and Polymer Cells," *Journal of Power Sources*, Vol. 119, 2003, pp. 833-837.