

모터스포츠와 기술 융합 연구 : CFRP 버킷 시트 설계를 위한 구조강도 해석

장운근
영남이공대학교 기계계열 부교수

Convergence Study of Motorsports and Technology : Strength Analysis for the Design of CFRP Bucket Seat

Woongeun Jang
Associate Professor, Division of Mechanical Engineering Technology, Yeungnam University College

요약 오늘날 공학과 기술은 스포츠 분야에 많은 영향을 미치고 있다. 스포츠의 속성인 경쟁은 스포츠선수 뿐만이 아니라 스포츠용품에 있어서도 보다 높은 성능을 요구하게 된다. 특히 모터스포츠분야는 성능과 안전이라는 측면에서 오래전부터 스포츠와 기술의 융합이 자연스럽게 이루어지고 있다. 본 연구에서는 모터스포츠와 일반 자동차튜닝 시장을 겨냥한 카본 버킷 시트(Bucket seat)의 개발을 위하여 유한요소해석을 통해 구조강도 평가를 시행하였다. FIA(Fédération Internationale de l'Automobile)의 규정을 기본 설계와 강도평가에 적용하였으며, 복합소재의 특성을 고려한 유한요소 모델링과 CFRP 라미네이트(Carbon Fiber Reinforced Plastic Laminate)의 적층각도와 적층수에 따른 시트의 강도를 Tsai-Wu Failure index를 구하여 평가하였다. 해석 결과 3mm의 폼코어를 적용한 $[0^\circ/30^\circ/60^\circ/90^\circ/-30^\circ/-60^\circ]_4$ 인 적층이 다른 실험조합에 비하여 무게와 강도 면에서 만족할 만한 성능을 나타내고 있어 최적 적층으로 선정하였다.

주제어 : 모터스포츠, 버킷 시트, CFRP복합소재, 구조해석, Tsai-Wu failure index

Abstract Engineering and Technology have been influencing a lot in the field of sports. Competitiveness, attributes of sports, have forced not only sports players but sports goods to enhance those performance. Particularly in the field of motorsports, the convergence of sports and technology has long been done to satisfy between performance and safety. In this study, strength analysis was carried with FEM to develop CFRP Laminate(Carbon Fiber Reinforced Plastic Laminate) bucket seat targeted to motorsports and car tuning industries and FIA(Fédération Internationale de l'Automobile) regulation was applied to design the racing seat and evaluate its strength. FEM modeling considered the attributes of composites was followed by strength evaluation based on Tsai-Wu failure index were done according to Lay-up sequence and layer numbers. The result showed that the lay-up sequence with stacking angle such as $[0^\circ/30^\circ/60^\circ/90^\circ/-30^\circ/-60^\circ]_4$ with 3mm form core was optimal selection in the field of weight and strength evaluation.

Key Words : Motor sports, Bucket seat, CFRP composites, Strength analysis, Tsai-Wu failure index

*Corresponding Author : Woongeun Jang(baja2000@ync.ac.kr)

Received April 4, 2019
Accepted May 20, 2019

Revised April 25, 2019
Published May 28, 2019

1. 서론

오늘날 스포츠분야에서는 성적의 향상을 위하여 스포츠와 첨단기술의 융합이 많이 시도되고 있다. 특히 스포츠용품 제조 판매하는 기업들은 보다 뛰어난 성능의 스포츠용품들을 개발하기 위하여 다양한 최첨단 기술을 동원하고 있다. 이는 스포츠에 대한 비즈니스적 가치가 점차 증대되고 있으며, 산업으로 진화하여 스포츠산업 시장의 확대에 이르고 있기 때문이다. 최근에는 스포츠 활동을 매개로 기술, IT, 의료, 관광 등 타 산업 간의 융복합화가 급속히 진행되어 신산업창출의 기회로서 그 역할이 확대되어 가고 있다[1]. 특히 모터스포츠(Motorsports) 분야에서는 오래 전부터 기술과 모터스포츠의 융합을 통하여 차량들의 성능과 안전을 강화하여 왔다. 일반적으로 모터스포츠에서는 차량의 성능 향상과 더불어 차체의 경량화와 안전은 매우 중요한 기술적인 화두이며 동시에 그와 관련된 규정들은 엄격하게 적용되고 있다[2]. 이에 무게대비 강도의 우수성을 지닌 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)와 같은 복합소재를 McLaren팀이 모터스포츠에 처음 적용하기 시작하면서 Formula1과 같은 고성능의 차량에 지금은 널리 활용이 되고 있다[3]. 일반 차량에서도 온실가스 규제에 의한 전기자동차관련 특허의 증대와 차량의 연비 향상을 위하여 CAE(Computer Aided Engineering)를 활용한 경량화 설계 및 CFRP와 같은 경량 복합소재가 널리 활용이 되고 있다[4-7]. 이러한 복합소재들은 자동차 분야에만 국한되지 않고 요트, 자전거와 같은 스포츠용품 분야와 해양장비 등에도 활발히 적용이 되고 있다[8-11]. 또한 최근 들어 '자동차 튜닝시장 활성화 종합대책' 등과 같은 규제개혁으로 차량 튜닝에 대한 인식이 많이 개선이 되면서 자동차 튜닝시장도 점차 성장하고 있으며 튜닝을 통한 고성능을 실현하고자 하는 소비자들의 요구는 점차로 증대되고 있다[12]. 특히 경주용 자동차나 튜닝차량의 경우 버킷(Bucket)시트라고 하여 주행 중 발생하는 여러 가지 외란으로 인한 운전자의 움직임 방지해주는 시트가 일반적으로 사용이 된다. 일반 차량에서도 시트는 운전자의 편의성과 안전성에 매우 중요한 역할을 하고 있어 시트프레임의 경량화와 내구성등을 개선하기 위하여 알루미늄과 같은 경량소재의 적용이나 CAE기술을 활용하여 많은 연구들이 진행이 되고 있으나, 모터스포츠용 차량의 시트에 대한 연구는 국내에서는 아직 미비한 상태이다[13-15]. 차량의 경량화를 추구하는 모터스포츠의 속성 상 경기용 차량 및 튜닝 차량의 시트는 경량화와 안

전성이라는 두 가지의 문제를 해결해야만 한다. 특히 경기용 차량이나 고성능 튜닝차량의 시트는 차량이 급격한 코너링, 범퍼, 급제동, 충돌 등 여러 가지 차량주행 중 겪게 되는 외란에 대해서 운전자의 안전을 보장해 줄 수 있어야한다. 이를 위하여 국제자동차연맹, FIA(Fédération Internationale de l'Automobile)는 차량 시트에 대한 안전규정을 제정하여 매 경기마다 엄격하게 적용을 하고 있으며, 시판되고 있는 시트에 대한 인증(FIA homologation)을 주관하고 있다[16].

따라서 본 연구에서는 모터스포츠와 기술의 융합 측면에서 자동차 경기와 차량 튜닝에 사용이 되는 CFRP복합소재를 활용한 버킷시트를 개발하고자 FIA의 모터스포츠용 시트 평가규정을 만족 할 수 있도록 유한요소해석 프로그램을 활용하여 설계 초기 단계에서 구조강도를 평가하고자 한다.

2. 본론

2.1 시트의 설계모델링

특히 경주용 차량에 사용되는 시트는 FIA의 규정을 만족하여야 하며 본 연구에서는 CFRP를 활용하여 경기용 차량의 시트를 개발하고자 FIA규정에 준거하여 시트의 기본 레이아웃을 설계하였고, 시트의 강도 평가를 위해서 FIA Standard 8862-2009의 후방하중(Seat back loading) 규정을 적용하여 해석을 수행하였다. Fig. 1은 FIA 시트의 기본 설계 규정을 나타내고 있으며 Fig. 2는 치수 규정에 준거하여 NX10으로 설계한 시트의 3D Modeling 형상이다[16].

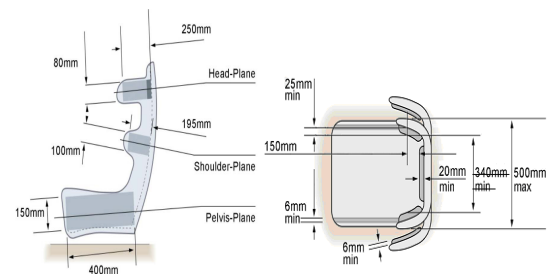


Fig. 1. Design lay-out by FIA regulation

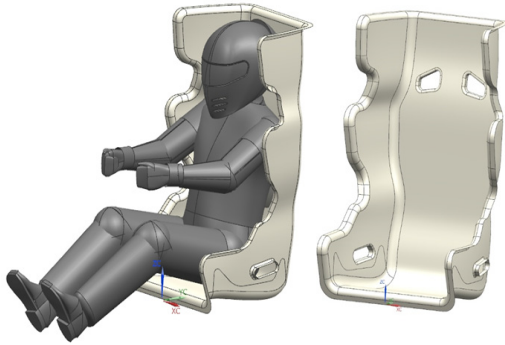


Fig. 2. 3D Design of seat

2.2 시트의 유한요소 모델링

본 연구에서는 복합소재 재료의 물성치 특성인 이방성 (Anisotropic) 또는 직교성(Orthotropic)을 반영하기 위하여 복합소재 유한요소 프로그램인 NX Laminate Composite를 활용하여 유한요소모델링을 구축하고 해석을 수행하였다. 일반적으로 섬유강화복합소재인 CFRP Laminate는 직교성 또는 이방성을 가지므로 적층수 (Layer number)와 적층 각도(Stacking angle)에 따라 강도의 차이를 나타낸다. 따라서 해석을 통해서 최적의 적층수와 최적 적층각도의 적층 조건을 구하여야 한다.

유한요소모델링은 Fig. 3처럼 FIA 규정의 하중 지그를 구현하기 위하여 접촉요소(Contact)를 고려하여 모델링 하였고, 유한요소 해석 모델은 Quad4, Tri3 Shell 요소를 이용하여 각각 41,485개, 41,513개의 요소로 모델링 하였다. 하중 지그 3개는 3D Solid 요소로 모델링 하였으며 각각 6,033, 4,361, 4,342개의 요소로 모델링 되었다. 이방성 재료의 특성을 지니는 CFRP 라미네이트와 같은 복합소재는 유한요소해석 모델링 시 각각의 요소에 적층각(Stacking angle)기준을 설정하여야한다. 따라서 유한요소해석 모델링 시 섬유방향(Fiber direction)을 정의하기 위하여 각각의 요소에 Material Orientation 좌표계를 각각 설정하여 기준을 설정하였다.

하중은 FIA Standard 8862-2009에 준거하여 Fig. 3과 같이 3개의 위치에서 동시에 적용하였고, Seat-Back-Head 부는 지름 248mm반구의 강체 지그로, Seat-Back-Shoulder 부위와 Seat-Back-Middle 부분은 각각 지름 160mm 깊이 50mm 디스크 모양의 지그로 준정적 하중을 FIA Standard 8862-2009에 준거하여 각각 7,000N, 14,000N, 14,000N 하중을 가하였다. 시트브라켓(Seat bracket)은 시트를 고정된 상태에서 테스트를 시행하나 본 해석에서는 브라켓은 해석에

서 고려하지 않고 부착위치의 자유도만을 구속하였다. Fig. 3은 FIA규정의 시트의 테스트 조건을 나타내고 있다[16]. Fig. 4는 유한요소 모델링과 경계조건을 나타내고 있다.

Table 1.과 Table 2.는 해석에 적용된 일방향 CFRP 라미네이트(Unidirectional CFRP Laminate)의 물성치와 폼코어(Form Core)재질의 물성치를 각각 나타내고 있다.

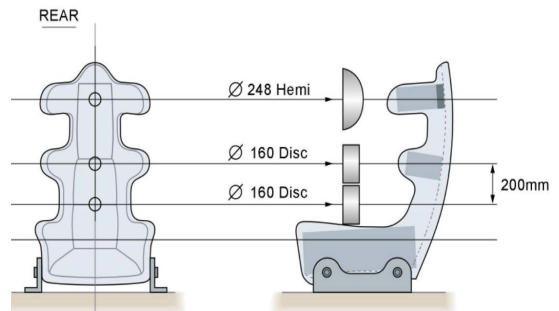


Fig. 3. Loading condition by FIA regulation

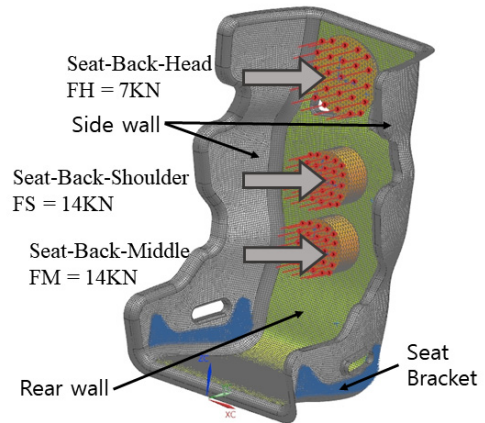


Fig. 4. Meshing and boundary condition

Table 1. Laminate material properties

Properties	Symbol	Value	Unit
Young's modulus (Longitudinal)	E_1	132	Gpa
Young's modulus (Transverse)	E_2	8.3	Gpa
Poisson's ratio	ν_{12} , ν_{13}	0.28	
	ν_{23}	0.47	
Shear modulus	G_{12} , G_{13}	4.5	Gpa
	G_{23}	3.5	Gpa

Tensile strength (Longitudinal)	X _T	2.2	Gpa
Compressive strength (Longitudinal)	X _C	1.4	Gpa
Tensile strength (Transverse)	Y _T	62	Mpa
Compressive strength (Transverse)	Y _C	130	Mpa
Shear strength	S ₁₂ S ₁₃	70	Mpa
	S ₂₃	40	Mpa
Fiber Areal Weight	FAW	180	kg/m ²

Table 2. Form core material properties

Properties	Value	Unit
Tensile modulus	241	Mpa
Compressive Modulus	205	Mpa
Shear Modulus	53	Mpa
Possion's ratio	0.35	
Tensile strength	2.48	Mpa
Compressive Strength	3.56	Mpa
Shear Strength	1.81	Mpa
Density	100	kg/m ³

복합재료의 물성적인 특성으로 인하여 복합재료의 파손평가에는 여러 가지 대안들이 제안이 되었다[17]. 특히 그중에서 Tsai-Wu Failure index는 위험성을 평가하기 위하여 응력을 토대로 설정된 파손 지수(Failure index, F.I)를 이용하는 복합재료의 파손을 판단하는 대표적인 파괴지수이며 본 연구에서는 이를 이용하여 시트의 파손을 평가하였다. 즉 식(1)에서처럼 파손평가지수가 1미만이며 파손에 있어 안전하다고 판단 할 수가 있으나 1이상 일 경우에는 파손이 일어날 확률이 매우 높아지므로 일반적으로 1 미만이 되도록 적층설계를 하여야한다.

$$F = F_1\sigma_1 + F_{11}\sigma_1^2 + F_2\sigma_2 + F_{22}\sigma_2^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + F_{66}\tau_{12}^2 < 1.0 \quad (1)$$

Where

$$F_1 = \frac{1}{X_T} - \frac{1}{X_C}, \quad F_{11} = \frac{1}{X_T X_C}, \quad F_2 = \frac{1}{Y_T} - \frac{1}{Y_C}$$

$$F_{22} = \frac{1}{Y_T Y_C}, \quad F_{66} = \frac{1}{S^2}$$

- X_T: Tensile strength(Longitudinal)
- X_C: Compressive strength(Longitudinal)
- Y_T: Tensile strength(Transverse)
- Y_C: Compressive strength(Transverse)
- S : Shear strength(In-plane)

2.3 1차 해석의 결과

최적의 적층순서를 찾기 위해서 일반적으로 적층에 많

이 적용되는 적층각(Stacking Angle)인 0°, 45°, -45°, 90°, 30°, -30°, 60°, -60°를 사용하여 Table 3.과 같이 적층조합을 구성하였다. 적층조합에서 s첨자인 대칭조합(Symmetric lay-up)의 기본 대칭적층수의 2배, 3배 적층수와 반복적층(Repeated lay-up)조합은 2배, 3배, 4배, 5배 적층수로 변화 시키면서 하중에 대한 파손의 영향을 파괴지수를 구하여 평가하였다.

Table 3은 1차 해석 결과 각 적층 조합에 따른 Tsai-Wu Failure Index값과 무게를 각각 나타내고 있다. 해석결과를 살펴보면 [0/45/90/-45/0/45]₂로 적층이 된 CASE7의 파괴지수값이 21.99로 가장 크게 나타나 가장 취약한 조합이라고 할 수가 있다. 반면에 [0/30/60/90/-30/-60]_{3S}로 적층된 CASE6이 파괴지수값이 0.89로 1미만인면서 가장 작은 값을 나타내고 있어 파손에 대해서 안전하다고 판단이 된다. [0/45/90/-45/0/45]_{3S}로 적층된 CASE5와 [0/30/60/90/-30/-60]_{3S}로 적층한 CASE6은 총 적층수는 32층으로 동일한 적층수를 나타내고 있지만, 해석결과 0°, ±30°, ±60° 적층각 조합이 0°, ±45°, 90° 적층각 조합보다 파괴지수가 더 낮게 나타나고 있다. 이는 적층조건에 따라 파괴지수값이 달라짐을 알 수가 있고 0°, ±30°, ±60° 적층각 조합이 본 하중 조건에서는 더 안전하다고 판단이 된다. Fig. 5와 Fig. 6은 각각 CASE6과 CASE7의 해석결과를 나타내고 있다.

Table 3. Results of stacking sequences without form core

CASE	Stacking Sequence Without Core(Deg)	Tsai-Wu index	Weight (kg)
CASE1	[0/45/90/-45/0/45] _S	21.35	5.24
CASE2	[0/30/60/90/-30/-60] _S	21.19	5.24
CASE3	[0/45/90/-45/0/45] _{2S}	3.41	10.48
CASE4	[0/30/60/90/-30/-60] _{2S}	2.93	10.48
CASE5	[0/45/90/-45/0/45] _{3S}	1.04	15.73
CASE6	[0/30/60/90/-30/-60] _{3S}	0.89	15.73
CASE7	[0/45/90/-45/0/45] ₂	21.99	5.24
CASE8	[0/45/90/-45/0/45] ₃	5.69	7.86
CASE9	[0/45/90/-45/0/45] ₄	3.24	10.48
CASE10	[0/45/90/-45/0/45] ₅	1.53	13.11
CASE11	[0/30/60/90/-30/-60] ₂	20.25	5.24
CASE12	[0/30/60/90/-30/-60] ₃	6.10	7.86
CASE13	[0/30/60/90/-30/-60] ₄	3.85	10.48
CASE14	[0/30/60/90/-30/-60] _{5S}	1.32	13.11

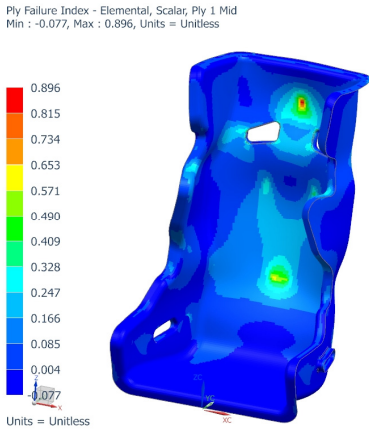


Fig. 5 Tsai-Wu failure index result of CASE6

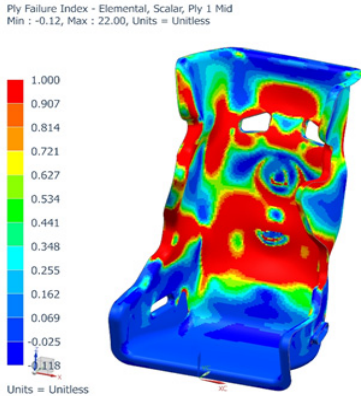


Fig. 6 Tsai-Wu failure index result of CASE7

Fig. 6은 파괴지수값이 가장 큰 CASE7의 결과값을 Tsai-Wu 파괴지수 1을 기준으로 스케일 조정하여 나타낸 결과이며 Tsai-Wu 파괴지수값이 1보다 큰 부분이 넓게 산포되어 있어 전체적으로 취약함을 보이고 있다.

2.4 2차 해석의 결과

1차 해석 결과 파괴지수와 무게로 판단하여 볼 때 CASE6은 파괴지수 측면에서는 1미만의 만족할 만한 해석값을 나타내고 있지만 무게가 15.73kg로 상대적으로 높게 나타나고 있으며, 나머지 적층조합들은 모두 1이상의 파괴지수값을 나타내고 있어 적절한 적층 조합이라고 할 수가 없다.

따라서 무게를 경량화하면서 파괴지수값을 만족시키기 위해서 Table 3의 적층조합에서 3mm 두께의 폼코어(Form Core)를 Fig. 4처럼 Side wall과 Rear wall

부분의 적층 중간에 삽입하여 동일한 하중 조건에서 만족 할 만한 조건을 탐색하기 위해서 다시 해석을 수행하였다. Table 4는 2차 해석결과로서 Table 3의 적층조합에서 각각 중간에 폼코어를 삽입한 적층 조합의 해석 결과와 무게를 나타내고 있다.

해석결과 CASE3*, CASE4*, CASE5*, CASE6*, CASE9*, CASE10*, CASE13*, CASE14*가 각각 파괴지수가 1 미만 값을 나타내고 있다. 이 결과는 Table 3의 폼코어 적층이 없는 적층조합 해석 결과와 비교 해 볼 때 폼코어가 전체 강도에 영향을 미치고 있음을 파악 할 수가 있다. 특히 [0/30/60/90/-30/-60]_{3S}로 적층된 CASE6*의 파괴지수값이 0.34로 가장 낮은 값을 나타내고 있으며, [0/30/60/90/-30/-60]_S로 적층된 CASE2*는 파괴지수값이 4.89로 가장 높게 나타나고 있다. 또한 파괴지수가 1미만인 적층조합들 중에서 [0/30/60/90/-30/-60]₄로 적층한 CASE13*이 파괴지수값이 가장 낮으면서 무게가 10.89kg로 가장 낮은 값을 나타내고 있다.

따라서 이는 기존 폼코어를 적용하지 않은 조합들 중 파괴지수값이 가장 낮은 CASE6과 비교 해 볼 때 무게는 15.73kg 대비 30.7% 경감함과 동시에 파괴지수값도 기존 0.89 대비 19.1% 낮아진 0.74를 보이고 있어 CASE13*을 최적의 적층 조건으로 선택하였다. Fig. 7, Fig. 8은 각각 파괴지수값이 가장 크게 나온 CASE2*와 가장 낮게 나온 CASE6*의 파괴지수 결과값을 나타내고 있으며 Fig. 9는 최적 선정된 CASE13*의 파괴지수 결과값이다.

Table 4. Results of stacking sequences with form core

	Stacking Sequence With Core(Deg)	Tsai-Wu index	Weight (kg)
CASE1*	[0/45/90/-45/0/45] _S	3.41	5.64
CASE2*	[0/30/60/90/-30/-60] _S	4.89	5.64
CASE3*	[0/45/90/-45/0/45] _{2S}	0.81	10.89
CASE4*	[0/30/60/90/-30/-60] _{2S}	0.74	10.89
CASE5*	[0/45/90/-45/0/45] _{3S}	0.39	16.13
CASE6*	[0/30/60/90/-30/-60] _{3S}	0.34	16.13
CASE7*	[0/45/90/-45/0/45] ₂	4.19	5.64
CASE8*	[0/45/90/-45/0/45] ₃	1.48	8.27
CASE9*	[0/45/90/-45/0/45] ₄	0.81	10.89
CASE10*	[0/45/90/-45/0/45] ₅	0.54	13.51
CASE11*	[0/30/60/90/-30/-60] ₂	3.41	5.64
CASE12*	[0/30/60/90/-30/-60] ₃	1.42	8.27
CASE13*	[0/30/60/90/-30/-60] ₄	0.72	10.89
CASE14*	[0/30/60/90/-30/-60] ₅	0.48	13.51

* Lay-up with Form core of 3mm thickness

Ply Failure Index - Elemental, Scalar, Ply 12 Mid
Min : -0.12, Max : 4.89, Units = Unitless

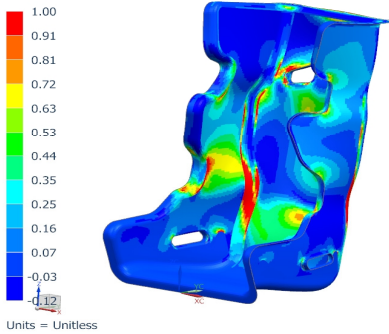


Fig. 7. Tsai-Wu failure index result of CASE2*

Ply Failure Index - Elemental, Scalar, Ply 1 Mid
Min : -0.071, Max : 0.340, Units = Unitless

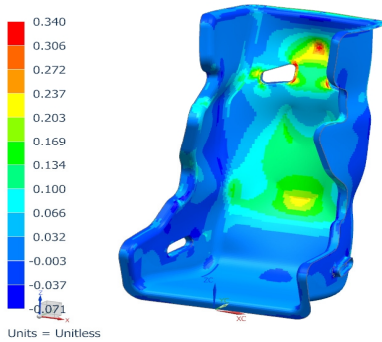


Fig. 8. Tsai-Wu Failure Index Result of CASE6*

Ply Failure Index - Elemental, Scalar, Ply 1 Mid
Min : -0.093, Max : 0.725, Units = Unitless

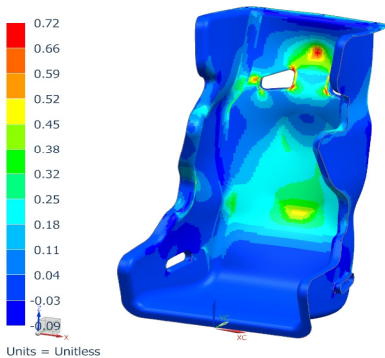


Fig. 9. Tsai-Wu failure index result of CASE13*

3. 결론 및 제언

본 연구에서는 섬유강화복합소재인 CFRP laminate 를 활용하여 버킷시트를 설계하고 강도평가를 위하여 해석을 수행하였다.

첫째 본 연구에서는 CFRP 라미네이트의 이방성재료 특성을 반영하는 유한요소 해석모델링을 구축하고, 최적의 적층순서를 찾기 위해서 일반적으로 적층에 많이 적용되는 적층각(Stacking Angle)인 0°, 45°, -45°, 90°, 30°, -30°, 60°, -60°를 사용하여 Lay-up을 적층각도와 폼코어 적용유무의 조합에 따른 해석 케이스별로 구성하였다.

둘째 시트의 강도를 평가하기 위하여 FIA Standard 8855-2009에 준거한 시트 후방하중 하에서 강도해석을 수행하였으며, 복합소재 강도의 파괴지수인 Tsai-Wu Failure Index 값을 각 조합에 대해서 해석을 통해 구하였다.

셋째, 해석결과 강도 평가는 Tsai-Wu Failure Index 값을 산출하여 평가하였다. 1차 해석결과 총 32층의 적층으로 [0/30/60/90/-30/-60]_{3S}로 적층된 CASE6이 파괴지수에서 가장 작은 0.89의 값을 가지나, 무게면에서 15.73kg으로 상대적으로 불리하여 각각의 적층조합에 3mm 두께의 폼코어를 적층하여 2차 해석을 수행하였다.

2차 해석에서는 폼코어를 적용한 CASE13*이 Tsai-Wu 파괴지수값이 0.72, 무게가 10.89kg으로 파괴지수값이 1미만인 조합 중 무게가 가장 낮게 나타났다. 따라서 폼코어를 적용하지 않은 CASE6의 무게 15.73kg 대비 30.7% 경량화됨과 동시에 Tsai-Wu 파괴지수값도 CASE6의 0.89 대비 19.1% 개선된 0.72를 나타내고 있어 최적의 적층조건으로 선정하였다.

REFERENCES

- [1] J. H. Hwang, J. H. Kim & S. K. Kil. (2014). An Analysis of Technology Demand for Research and Development Business in Sports Industry. *KOREA SCIENCE & ART FORUM* 18, 767-774. DOI :10.17548/ksaf.2014.12.18.767
- [2] S. K. Jang. (2003). *Motorsports and Safety*. *Journal of the Korean Society of Automotive Engineers* 25(5), 79-82.
- [3] McLaren F1 Team. (2019). "1981 Formula 1 McLaren MP4/1." McLaren Heritage Car Collection, <http://www.mclaren.com/formula1/heritage/cars/198>

1-formula-1-mclaren-mp4-1/

[4] J. I. Lee. (2017). The Convergence Design for Stiffness and Structure Advancement of Automotive Body. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(4), 189-197
DOI : <https://doi.org/10.15207/JKCS.2017.8.4.189>

[5] J. W. Gu, J. H. Lee, M. S. Chung & J. Y. Lee. (2017). Electric Vehicle Technology Trends Forecast Research Using the Paper and Patent Data. *Journal of Digital Convergence*, 15(2), 165-172.
DOI : <https://doi.org/10.14400/JDC.2017.15.2.165>

[6] J. Lim, J. Doh, S. H. Yoo, O. S. Kang, K. W. Kang & J. D. S. Lee (2016). Sizing Optimization of CFRP Lower Control Arm Considering Strength and Stiffness Conditions. *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 21(4), 389-396.
DOI : <http://dx.doi.org/10.7315/CDE.2016.389>

[7] J. B. Kim, K. D. Kim, S. J. Kim, D. W. Shin & D. Kim (2017). Development of Carbon Continuous-fiber Composite Frame for Automotive Sun-roof Assembly. *Transactions of KSAE*, 25(3), 350-359.
DOI : <https://doi.org/10.7467/KSAE.2017.25.3.350>

[8] J. W. Park & J. U. Cho. (2017). Convergence Study on Composite Material of Unidirectional CFRP and SM 45C Sandwich Type that Differs in Stacking Angle. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(7), 231-236.
DOI : <https://doi.org/10.15207/JKCS.2017.8.7.231>

[9] D. K. Oh, C. W. Lee, U. C. Jeong & C. H. Ryu (2013). A Study on the Basic Design and its Characteristics of 50ft-class CFRP Cruise Boat. *Journal of The Korean Society of Marine Environment & Safety*, 19(6), 674-680.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.6.674>

[10] S. Yoo, B. H. Jun, H. Shim & P. M. Lee (2013). Finite Element Analysis of CFRP Frame with Launch and Recovery Conditions for Seabed Walking Robot, Crabster. *Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers*, (pp. 2142-2148), Korea.

[11] S. Y. Lee, N. J. Lee, U. J. Choi, H. S. Kim, K. H. Shin & S. K. Cheong. (2016). A Study on Detection of a Critical Spot and the Securing Safety Method of CFRP Bicycle Forks by Finite Element Method. *Journal of the Korean Society of Safety*, 31(6), 1-5.
DOI : <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.6.1>

[12] M. Y. Heo & J. Y. Kim. (2016). Automotive tuning market and Consumer Issue, *Consumer Issue(73)*, *Korean Consumer Agency*, 1-15.

[13] B. K. Kim, M. S. Kim, B. J. Kim & S. J. Heo (2005). Optimal Design of the Passenger Vehicle Aluminum Seat for Weight Reduction and Durability Performance Improvement. *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, 13(3), 58-63.

[14] K. S. Kim, H. S. Cho, Y. C. Kim & J. U. Cho (2014). Structural Study of Automotive Seat Frame with High

Tension Steel Plate Using Analysis and Experiment. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 15(1), 27-31.

DOI : <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.1.27>

[15] G. G. Choi & J. U. Cho. (2018). A Convergence Study through Durability Analysis due to the Number of Automotive Seat Frame Supports. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(8), 155-160.
DOI : <https://doi.org/10.15207/JKCS.2018.9.8.155>

[16] FIA(Fédération Internationale de l'Automobile). (2009). FIA Standard 8862-2009.
https://www.fia.com/sites/default/files/8862-2009_advanced_racing_seat.pdf

[17] C. S. Lee & J. M. Lee. (2015). A Study on the Evaluation of Fiber and Matrix Failures for Laminated Composites using Hashin-Puck Failure Criteria. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 52(2), 143-152.
DOI : <http://dx.doi.org/10.3744/SNAK.2015.52.2.143>

장운근(Jang, Woongeun)

[정회원]



- 2001년 2월 : 영남대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 경북대학교 교육대학원 (교육학석사)
- 2013년 2월 : 영남대학교 기계공학과 (박사수료)
- 2001년 1월 ~ 2002년 4월 : 대동공업기술연구소(연구원)
- 2002년 5월 ~ 2009년 2월 : LG전자 연구소(선임연구원)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학교 부교수
- 관심분야 : 최적설계, 기구설계, CAE, 공학기술교육
- E-Mail : baja2000@ync.ac.kr