https://doi.org/10.21289/KSIC.2019.22.2.147

CFRP 디스플레이 월마운트암의 강성과 구조강도의 평가

Stiffness and Strength Evaluation of the CFRP Display Wall mount Arm

장운근[1*]

Woongeun Jang[1*]

〈Abstract〉

Recently as flat display panels are getting narrower, TV wall mounts also become slimmer for interior design issue. In this study CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) was used for TV wall mount to satisfy slim arm design along with enough strength and low weight. The 16 staking sequences was made with orthogonal array to reduce experimental cases. Strength analysis of the TV wall mount arm made of CFRP laminate was studied on condition of staking sequences using FEA(Finite Element Analysis) and stiffness and strength of those cases were evaluated using deflection and Tsai-Wu's Failure criterion. The result showed that [-45°/90°/45°/0°/-45°] lay up case was suitable for the wall mount arm staking design from the criteria of deflection and Tsai-Wu's Failure Index.

Keywords : Wall mount, CFRP, Staking sequence, Strength analysis

1* 정회원, 교신저자, 영남이공대학교
E-mail: baja2000@ync.ac.kr

1* Division. of Mechanical Engineering Technology Yeungnam University College

1. 서 론

오늘날 TV는 단순한 전자제품으로의 요소가 아닌 인테리어의 중요한 요소로 변모하고 있다. 디스플레이 패널 기술이 점차로 발전함에 따라 많은 TV, Monitor 제품들이 점점 더 얇아지고 있다. 특히 초고화질의 LED(Light Emitting Diode)디스플레이와 OLED(Organic Light Emitting Diode) 디스플레이 패널 기술이 TV 제품에 보편적으로 적용되면서 화질에서 뿐만이 아니라 디자인적인 측면의 소비자의 니즈도 적극 반영하고 있다[1]. 이것은 새로운 디스플레이 패널 덕분에 슬림 디자인의 실현이 가능하기 때문이다. 일반적으로 TV는 스탠드타입과 월마운트 타입으로 설치가 되는데 월마운트 타입은 스탠드타입 TV와는 달리 벽에 별도의 월마운트(Wall mount)를 설치하여 TV의 시야각을 다양화하고자 할 때 사용이 된다. 월마운트는 매우 다양한 종류가 개발시판 되고 있는데 TV세트의 슬림디자인(Slim design)을 실현하기 위해서는 월마운트 또한 슬림한 디자인을 요구하고 있다. 월마운트는 이러한 디자인적인 요구사항을 실현함과 동시에 충분한 강도설계가 요구된다. 따라서 요구 성능을 실현하기 위해서 탄소섬유강화 복합소재인 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) Laminate를 월마운트에 적용하고자 한다. CFRP는 그동안 항공기, 고성능의 자전거 프레임, 각종 스포츠용품 및 고성능의 스포츠카에 주로 사용이 되어왔는데 이는 비중과 강도가 타 재료에 비해서 우수하여 최근 들어 점점 더 활용이 증대되고 있다[2].

최근에는 CFRP와 같은 탄소섬유강화 복합소재는 자전거 프레임 등에 많이 활용되고 있는데 이러한 복합소재의 이방성(Anisotropic)을 고려하여 물성 특성에 맞는 유한요소모델을 구축하고 해석을 통해 강도를 평가하는 연구도 많이 이루어지고 있다[3]. 또한 CFRP가 연비 향상을 위한 차체구조의 경량화 연구에 활발히 적용이 되고 있고, 범퍼와 차량의 썬루프 등에 활용하기 위해 구조해석을 통한 최적화 연구도 다양하게 진행이 되고 있다[4][5]. 이러한 복합소재는 자동차 산업 뿐 만이 아니라 건축 토목 분야에 이르기까지 그 활용성이 다양하게 연구되고 있는 추세이다[6].

본 연구에서는 기존의 스틸 재질의 월마운트의 설계와 달리 적층각도와 적층순서에 따라 강성을 달리하는 이방성 재질인 CFRP를 월마운트암에 적용하고 그 특성을 반영한 유한요소해석 모델을 구축하고 강성과 강도를 고려하여최적의 적층각의 순서(Staking Sequences)를 찾고자 한다.

2. 연구방법

2.1 TV 월마운트의 모델링

본 연구에서는 외팔보 형태의 전동 TV 월마운트암을 CFRP laminate를 활용하여 설계를 하였다. 슬림한 디자인을 위해서 전체적인 두께를 고려하여 TV 월마운트를 설계하였다. 월마운트의 전체적인 모습은 Fig.1.과 같다. 월마운트는 외팔보로 설계되었으며 TV세트의 회전을 위하여 Swivel hinge가 TV세트 쪽과 마운트 쪽에 각각 모터 동력을 전달하여 회전을 할 수 있게 설계되었으며, 월마운트는 전동으로 구동이 되는 관계로 월마운트의 자중이 크지 않고 강성과 슬림디자인을 실현하기 위하여 월마운트의 암을 CFRP laminate를 활용하여 설계하였다.

섬유강화복합소재인 CFRP laminate는 일반적으로 이방성을 가지므로 적층수와 적층 각도에 따라서 강도가 서로 다르게 나타나는 성질을 지니고 있다. 따라서 최적의 적층수와 최적 적층각도의

적층 조건을 구해야한다. 이를 위하여 본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 NX Nastran의 NX Laminate Composites 프로그램을 이용하여 해석을 수행하였다.

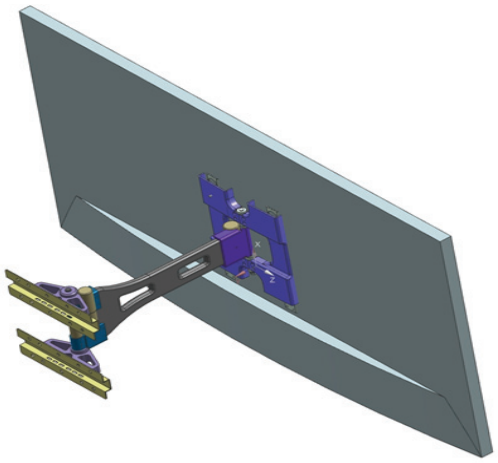

Fig. 1 Feature of TV Wall mount

CFRP 월마운트암과 TV를 연결하는 Forward Hinge, 벽과 월마운트암을 연결하는 Rear Hinge는 각각 Shell요소와 Solid 요소로수렴성을 고려하여 요소의 크기를 선정하고 Fig.2. 와 같이 유한요소모델링을 하였다.

Fig.2.와 같은 해석을 위한 유한 요소모델링에서 각각의 Hinge는 Solid 10node 요소로 모델링하였으며 재질은 AL 6061-T6이며, CFRP 월마운트암은 2D 요소인 CQUAD 4Node요소로 모델링하였으며 노드개수는 16,833개이고 요소의 개수는 전체 17,064개이다. 월마운트암과 Hinge는 완전 본딩을 가정하여 Mesh gluing으로 Node들을 결합하여 모델링하였다. CFRP Laminate 해석모델링 구축 시 Fiber direction의 방향을 정의하기 위하여 요소의 좌표계를 미리 설정하여 적층하는 방향을 정의해주었다. 적층은 전체 5 layer로 적층하였으며 적층각도는 0°, 45°, 90°, -45°을 사용하였으며 본 연구에서는 최적의 적층각 순서조합을 찾고자한다.

경계조건은 월마운트 시험 조건인 TV 세트의 무게중심에 해당하는 지점에 90kgf의 하중과 TV 세트 상부 끝단점에 10kgf의 정적하중을 가하였고, 각각의 하중점과 Forward Hinge 는 Rigid link를 이용하여 하중을 적용하였다. 벽에 고정하는 Rear Hinge는 6자유도를 구속하였다. 해석은 주관심대상인 월마운트암과 연결 Hinge들만 고려하였다.

CFRP Laminate 모델링을 위한 적층은 Layer당 0.18mm 두께로 Lay up은 총 5layer이고 전체 두께는 0.9mm로 모델링 하였다.

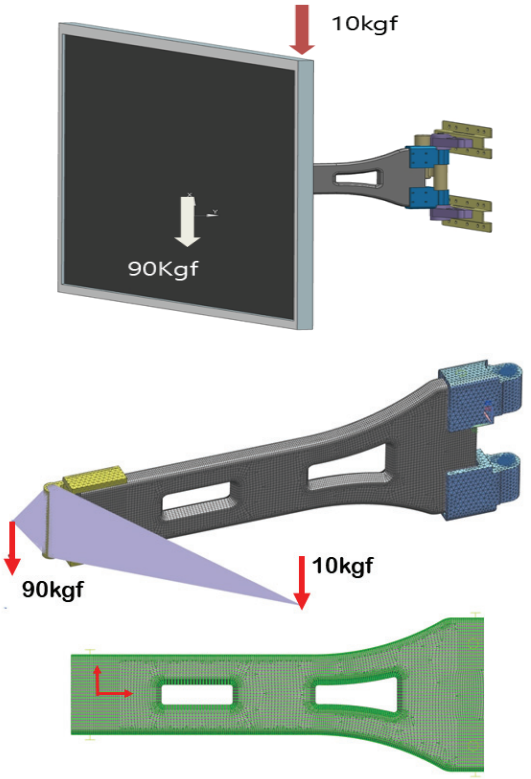

Fig. 2 FEM model and Load & Boundary condition

Fig.2는 최적의 적층순서를 찾기 위해서 4수준(Level), 5요인(Factor)을 가지는 직교배열표

(Orthogonal Array)를 이용하여 실험 조합을 대폭 줄일 수가 있었으며 총 16가지의 적층 모델 케이스를 설계하였다. Table 1.은 해석에 사용된 Unidirectional CFRP Prepreg Laminate의 물성치를 나타내고 있으며 Table 2.는 적층각도 순서를 나타낸 직교배열표이다.

본 연구에서는 월마운트암의 강성을 고려하기 위하여 최대처짐량(Deflection)과 파괴지수(Failure index, F.I)를 고려하여 구조의 안정성을 평가하였다. CFRP와 같은 섬유강화 복합소재의 구조적인 안전성을 평가하기 위해 외부하중이나 변형에 따른 응력 상태를 참고하여 평가를 한다. 이러한 복합재료의 물성적인 특성은 이방성을 지니기 때문에 위험성을 평가하기 위하여 응력을 토대로 설정된 파손 지수(Failure index, F.I)를 이용한다. 본 연구에서는 식(1)과 같이 정의되는 복합재료의 파손을 판단하는 대표적인 파괴지수인 Tsai-Wu Failure Criterion을 이용하여 평가하였다.

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

Where

$$F_1 = \frac{1}{X_T} - \frac{1}{X_C}, F_{11} = \frac{1}{X_T X_C}, F_2 = \frac{1}{Y_T} - \frac{1}{Y_C}$$
$$F_{22} = \frac{1}{Y_T Y_C}, F_{66} = \frac{1}{S^2}$$

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)

Table 1. Laminate Material Properties

Properties	Symbol	Value	Unit
Young's modulus (Longitudinal)	E_1	133	Gpa
Young's modulus (Transverse)	E_2	8.3	Gpa
Poisson's ratio	v_{12}	0.28	
	v_{23}	0.47	
	v_{13}	0.28	
Shear modulus	G_{12}	4.5	Gpa
	G_{13}		
	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}	70	Mpa
	S_{13}	70	Mpa
	S_{23}	40	Mpa

3. 해석의 결과

3.1 직교배열표를 이용한 적층 설계 결과

최적의 적층순서를 찾기 위해서 4Level, 5Factor 직교배열표를 이용하여 총 16가지의 케이스에 대해서 해석을 수행하였다. Table 2.는 해석결과를 같이 나타내고 있다.

Table 2. Staking Sequences

Lay-up CASE	Layer1	Layer2	Layer3	Layer4	Layer5	Max Def. [mm]	Failure Index
1	0°	0°	0°	0°	0°	6.72	2.39
2	0°	45°	45°	45°	45°	7.87	1.33
3	0°	-45°	-45°	-45°	-45°	7.88	3.05
4	0°	90°	90°	90°	90°	10.61	2.57
5	45°	0°	45°	-45°	90°	5.13	0.73
6	45°	45°	0°	90°	-45°	5.20	0.86
7	45°	-45°	90°	0°	45°	5.06	0.66
8	45°	90°	-45°	45°	0°	5.09	0.79
9	-45°	0°	-45°	90°	45°	5.15	0.81
10	-45°	45°	90°	-45°	0°	5.13	0.85
11	-45°	-45°	0°	45°	90°	5.51	0.91
12	-45°	90°	45°	0°	-45°	5.02	0.90
13	90°	0°	90°	45°	-45°	5.31	0.84
14	90°	45°	-45°	0°	90°	5.32	0.68
15	90°	-45°	45°	90°	0°	5.39	0.60
16	90°	90°	0°	-45°	45°	5.33	0.68

해석결과 Fig. 3.은 각 케이스별 최대처짐량을 나타내고 있으며 Fig. 4.는 Thai-Wu Failure Index값을 Lay-up Case로 나타내고 있다. 해석 Case별 결과를 보면 Case12가 최대처짐량이 5.02mm로 가장 작은 것으로 나타나고 있으며 적층순서는[-45°/90°/45°/0°/-45°] 이다. Fig. 5.는 Case12의 최대처짐량 결과이고 Fig. 6은 Thai-Wu Failure Index 결과값을 각가 나타내고 있다. 또한 적층 순서가 [0°/90°/90°/90°/90°]인 Case4가 10.61mm로 처짐량이 가장 큰 것으로 나타났으며 Thai-Wu Failure Index도 2.57 로 1보다 크게 나타나고 있어 구조적인 안정성에 매우 취약한 것으로 나타나고 있다. Fig. 7.와 Fig. 8은 Case4의 최대처짐량과 파괴지수의 결과값을 나타내고 있다. Case3은 적층순서가 [0°/-45°/ -45°/-45°/-45°]이며 Thai-Wu Failure Index 값이 3.05로 가장 크게 나타나고 있으며 Fig. 9.은 그 결과값을 나타내고 있다. Case15는 [90°/ -45°/45°/90°/0°]로 적층되었고 Thai-Wu Failure Index가 0.6으로 가장 작은 것으로 나타났으나 처짐량은 5.39mm결과값을 나타내고 Fig. 10. 와 Fig. 11. 은 그 결과값을 나타내고 있다. 따라서 최대처짐량과 파괴지수 값을 동시에 고려하면 Case15는 Thai-Wu Failure Index값이 0.6으로 가장 낮은 것으로 나타났으나 처짐량은 5.39mm로 Case 12의 최대처짐량인 5.02mm 보다는 크게 나타났다.

따라서 Case 12가 처짐량이 가장 작으면서도 Thai-Wu Failure Index가 0.9로 지수값이 1 미만이므로 처짐에 대한 강성과 파괴지수적인 강도 측면에서도 모두를 만족하여 가장 적절한 적층순서로 선정을 하였다.

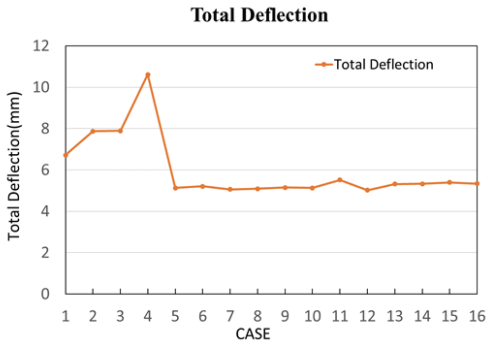

Fig. 3 Result of Total deflection

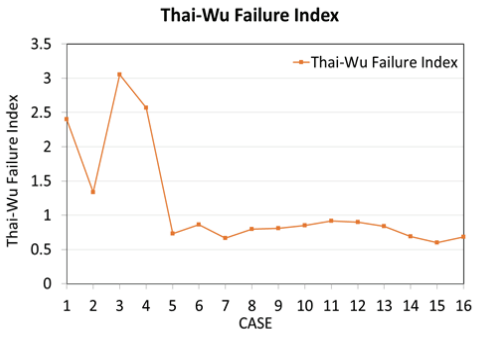

Fig. 4 Result of Thai-Wu Failure Index

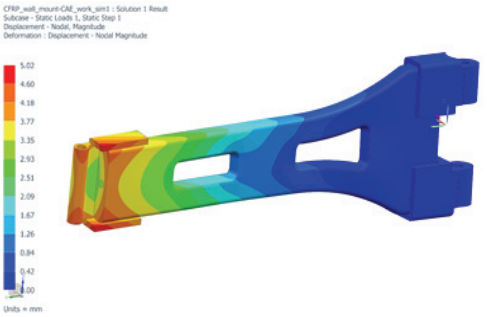

Fig. 5 Max deflection of Case 12

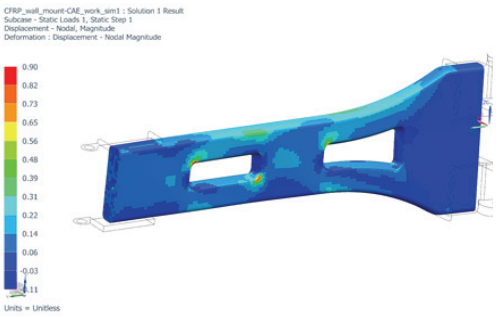

Fig. 6 Failure Index of Case 12

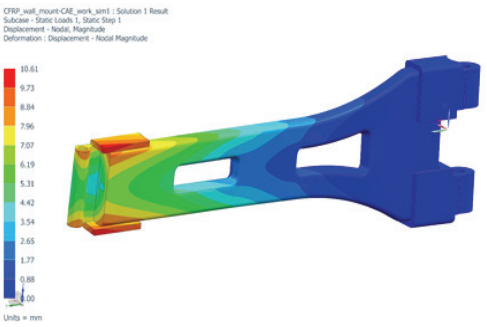

Fig. 7 Max deflection of Case 4

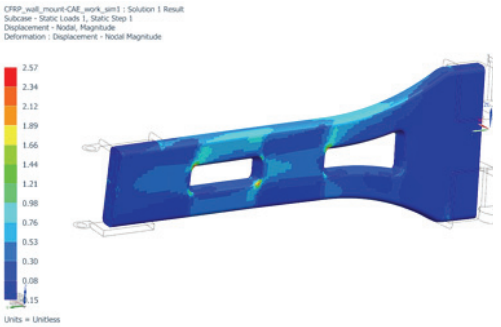

Fig. 8 Failure Index of Case 4

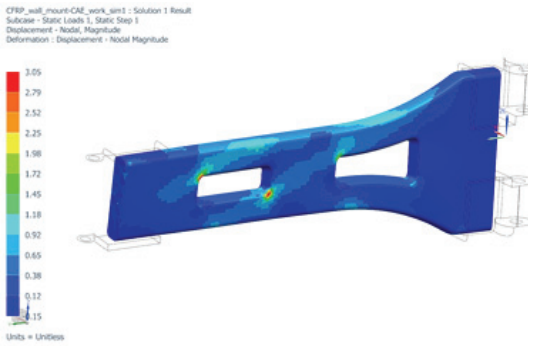

Fig. 9 Failure Index of Case 3

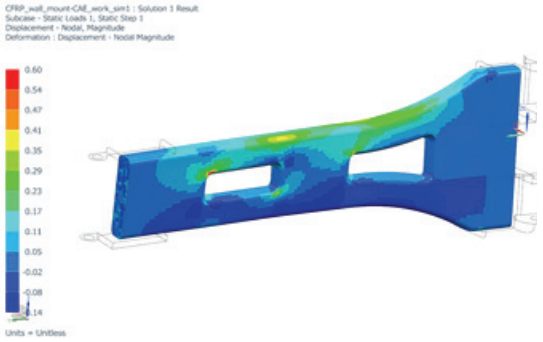

Fig. 10 Thai-Wu Failure Index Result of Case 15

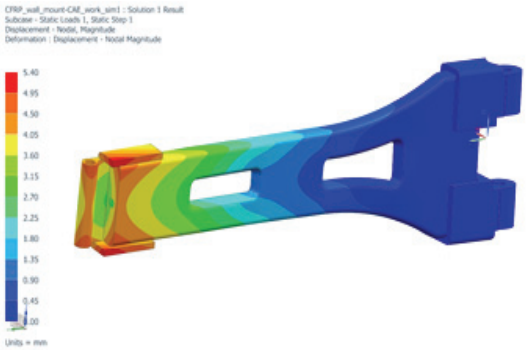

Fig. 11 Max deflection of Case 15

4. 결 론

본 연구에서는 외팔보 형태의 전동 TV 월마운트암을 섬유강화복합소재인 CFRP laminate를 활용하여 설계를 하고 해석을 수행하였다.

첫째 본 연구에서는 이방성재료의 특성을 반영하는 유한요소 해석모델링을 구축하였다. 또한 직교배열표를 이용하여 각각의 Lay-up을 적층각도의 조합에 따른 해석 케이스별로 구성하였다.

둘째 해석 결과 최대처짐량과 파괴지수인 Thai-Wu Failure Index를 통해서 월마운트암의 강성과 강도를 도출하여 최적의 적층각도의 조합을 파악하였다.

셋째 해석결과 적층순서가[-45°/90°/45°/0°/-45°]인 Case 12가 최대처짐량이 5.02mm로 적층설계 중 가장 작으면서도 Thai-Wu Failure Index가 0.9로 1 미만으로 결과가 도출되어 강성과 파괴지수면에서도 모두를 만족하여 가장 적절한 적층순서로 선정을 하였다.

참고문헌

[1] http://www.designdb.com/index.html?menuno=676 “TV가 인테리어의 한 요소가 되다. 삼성과 LG의 TV 디자인”

[2] Hyoung-Taek hong, Heoung-Jae Chun, Heung-Soap Choi, “Optimal Strength Design of Composite Bicycle Wheels,” International Journal of precision Engineering and Manufacturing vol. 15, No, 8, pp 1609-1613, (2014)

[3] Su-Yeong Lee, Nam Ju Lee, Ung-Jae Choi, Hong Seok Kim, Ki-Hoon Shin, Seong-Kyun Cheong, “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, vol. 31, No. 6, pp. 1-5, (2016)

[4] Jinbong Kim, Kyoung-Deok Kim, Sungjin Kim, Dongwan Shin, Dukki Kim, "Development of Carbon Continuous-fiber Composite Frame for Automotive Sun-roof Assembly," Transactions of KSAE, Vol. 25, No. 3, pp.350-359 (2017).

[5] Chan-Hee Jeong, Seok-Wu Ham, Gyeong-Seok Kim, Seong S. Cheon, "Development of the Piecewisely-integrated Composite Bumper Beam Based on the IIHS Crash Analysis," Composites Research, Vol. 31, No. 1, 37-41 (2018) DOI: http://dx.doi.org/10.7234/composres.2018.31.1.037

[6] Sung-Tag Seo, "The Fundamental Study of Strength on the CFRP Pipe Reinforced Rib," J. Korean Society of Industrial Application, vol.13, No.1, 41-47, Feb, (2010)

(접수: 2018.11.02. 수정: 2019.02.20. 게재확정: 2019.03.08.)