

적층각도를 가진 CFRP구조물에서의 아치형 반경에 따른 내구성 개선에 대한 융합 연구

황규완¹, 조재웅^{2*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차 공학부

Convergence Study on Durability Improvement due to Radius of Arch Type at CFRP Structure with Stacking Angle

Gue-wan Hwang¹, Jae-ung Cho^{2*}

¹Department of Mechanical & Automotive Engineering, Graduate School, Kongju University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 본 논문은 탄소섬유로 구성된 아치형태의 시험편에 인장각도가 작용할 때 내부의 섬유구조에서 발생하는 등가응력과 변형량에 관한 것이다. CFRP는 무수히 많은 각 섬유가 하나의 축으로 작용하며 이를 통해 금속과 비교할 때 높은 비강도와 비강성을 가질 수 있다. 본 연구에서 사전연구에 의해 최적 적층각도는 60°로 구성된 아치형 구조에서 반경에 따른 응력분포를 결과를 검토하며 같은 적층각도에서 그 반경이 증가할수록 내구성이 낮아짐을 알 수 있다. 이를 통해 본 연구 결과를 적층 각도에 따른 아치형 구조의 설계에 적용함으로써, 파손방지와 내구성 향상을 위한 안전설계에 기여할 수 있으며, 패드 형상의 디자인적인 요소를 융합기술에 접목하여 그 미적인 감각을 나타낼 수 있다.

• 주제어 : 탄소섬유강화플라스틱, 아치형, 반경, 적층각도, 내구성, 융합

Abstract This paper investigates equivalent stress and deformation happening at inner fiber structure when the tensile force acts on the specimen with arch type composed of carbon fiber. The countless many each fiber is applied on the unidirectional axis at CFRP and has the high specific strength and stiffness by comparing with iron. In this study, the distribution of stress due to radius is investigated at the structure of arch type composed with the optimum stacking angle of 60°. And the durability is seen to be lower as the radius increases at the same stacking angle. By applying the result of this study to the design of structure with arch type, it can be devoted to the safe design for the prevention of damage and the durability improvement. And it is possible to be grafted onto the convergence technique at the designed factor and show the esthetic sense.

• Key Words : Carbon fiber reinforced plastic, Arch type, Radius, Stacking angle, Durability, Convergence

*Corresponding Author : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

Received April 15, 2017

Accepted July 20, 2017

Revised June 14, 2017

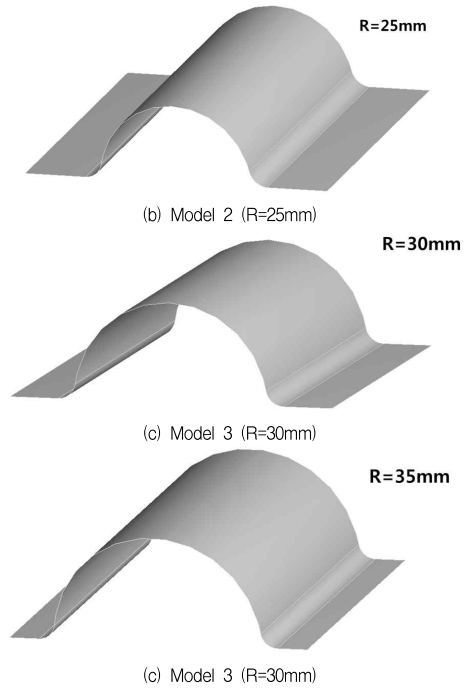
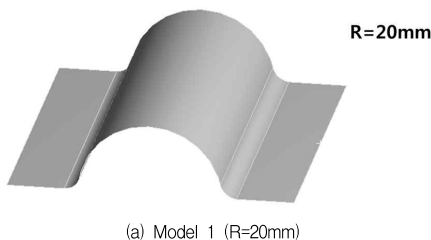
Published July 28, 2017

1. 서론

재료혁신에 힘입어, FRP(Fiber Reinforced Plastic)는 큰 발전을 거듭해오고 있다. 이런 FRP의 발전은 현대산업에서 요구하고 있는 고강도와 경량성을 동시에 만족하기 위함이다. 이 두가지 조건을 동시에 만족하기 위해 합금소재에서 복합재료로 초점이 맞춰지면서 FRP의 활용도가 높아지고 있다. 복합재료란 둘 이상의 재료를 함께 사용하여, 기존의 단일 물성과 비교할 때 더 우수한 성능을 갖추는 것을 의미한다. FRP는 섬유와 수지(Resin)를 함께 사용하여 섬유안에 굳히는 것으로, 같은 무게와 면적의 금속재료에 비해, 비강도, 비강성이 높으며 취성재료로 안전한 파괴특성을 가지고 있다. 섬유의 종류에 따라 유리섬유(GFRP), 탄소섬유(CFRP), 아라미드 섬유(AFRP)로 그 종류를 나눌 수 있다. 그 중에서도 본 논문에서는 탄소섬유로 구성된 CFRP를 이용한다 [1,2,3,4,5,6,7]. CFRP를 비롯한 FRP의 가장 큰 문제점으로, 금형을 이용했던 금속재료와 달리, 섬유를 굳히기 위한 레진의 주입과 이를 굳히는 경화작업이 필요하며, 제품의 변형을 최소화하기 위해 큰 형태로 한번에 제작이 어려운 점을 꼽을 수 있다. 따라서 부분적으로 제작하여 화학적 접합방식을 통해 완제품을 만드는 방식을 취하고 있다. 본 연구에서는 외장재로 사용하기 위해 설계된 아치형 구조의 CFRP구조물에서 서로간 접합되는 선단의 인장환경이 내구성에 미치는 영향을 3D해석모델을 이용하여 일방향성 탄소섬유(Unidirectional carbon fiber)를 적용했을 때, 인장환경에서의 내구성 파악을 통해 사전 데이터를 남길 수 있으며 이를 기반으로 안전설계와 고강도, 경량소재 개발에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

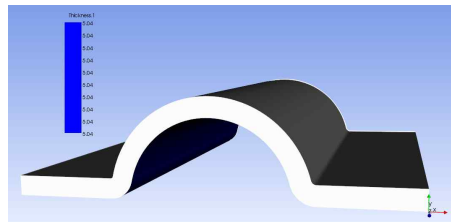
2. 연구모델의 구성과 해석조건

2.1 연구모델의 구성



[Fig. 1] Analysis model

[Fig. 1]은 해석을 위해 구성된 3D 모델을 나타내었다. 섬유 한 장은 얇은 날장에 불과하므로, 이를 표현하기 위해 종래의 유한요소해석에 사용되었던 것과 달리, 2D의 Shell요소를 사용하였다. 이러한 Shell요소의 사용은 기존에 수행되었던 강체모델의 해석에서 벗어나 각 섬유층으로 구성된 얇은 FRP특성을 해석모델에도 적용할 수 있다. 해석모델의 두께는 총 5mm이므로, 0.36mm의 얇은 섬유를 18번 적층한다. 적용된 적층각도에 있어, 앞서 시행된 선행연구의 결과에 따라 적층각도 60°로 동일하게 적용한다. 적층각도 60°는 이전의 해석과 실험을 통해 인장환경에 다른 적층각도보다 뛰어난 성능을 보이고 있음을 알 수 있었다[8,9,10,11,12,13,14,15]. 또한 적용된 아치형 구조물에 있어 중앙의 굴곡은 각각 반경 R=20, 25, 30, 35mm로 나타내었다. 이를 [Fig. 2]에 나타내었다. 또한 이때의 물성치를 <Table 1>에 나타내었다.



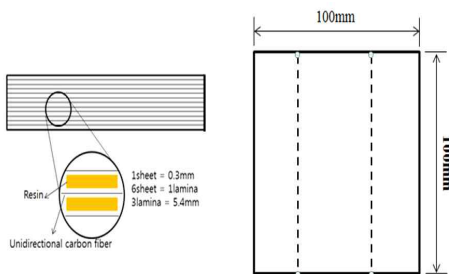
[Fig. 2] Analysis model laminated 18 times

<Table 1> Properties of CFRP

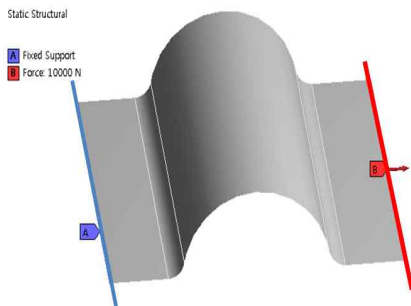
Material	Unidirectional carbon
Density(kg/m ³)	1.57
Young's Modulus XY(MPa)	5670
Young's Modulus XZ(MPa)	2980
Young's Modulus ZY(MPa)	2980
Poisson's Ratio XY	0.3
Poisson's Ratio XZ	0.74
Poisson's Ratio ZY	0.3
Shear Modulus XY(MPa)	1076.5
Shear Modulus XZ(MPa)	2580.5
Shear Modulus ZY(MPa)	1076.5

2.2 연구모델

[Fig. 3]은 해석모델에 적용된 해석조건에 관한 것으로, 정사각형으로 구성된 평판의 한 면을 고정하고 반대편을 10kN의 힘을 주며 한쪽으로 인장을 가한다. 이때 18개 층으로 구성된 각 층에서의 파손형상을 파악한다.



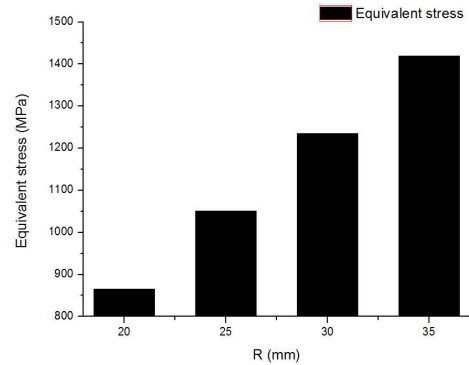
[Fig. 3] Configuration of Analysis model



[Fig. 4] Constraint condition

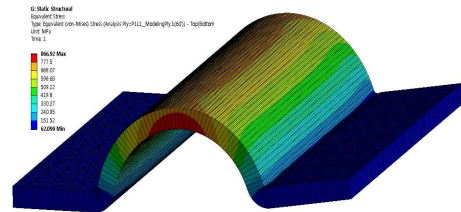
3. 해석결과

3.1 등가응력에서의 결과

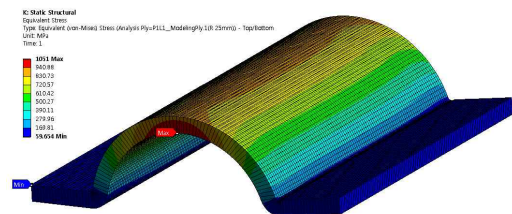


[Fig. 5] Result of equivalent stress due to radius of arch type structure

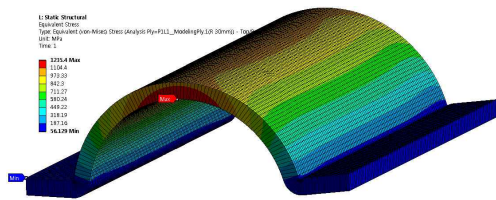
Fig. 5는 아치형구조의 반경 R값에 따른 등가응력에서의 결과를 나타낸 것으로, R값이 증가함에 따라 등가응력의 결과값이 점차 증가하고 있음을 볼 수 있다. R값이 20mm 일 때 최소값인 866MPa이 발생하였으며, 35mm일 때 최대값 1419MPa이 발생하였다. 이는 다음의 [Fig. 6, 7, 8, 9]에 각각의 R값에 따른 해석모델에서의 결과값을 나타내었다.



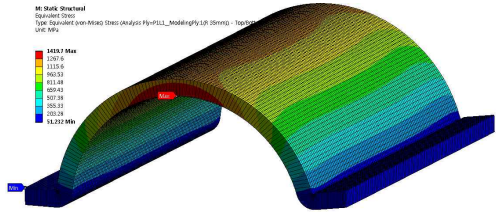
[Fig. 6] Result of equivalent stress due to radius of 20 mm at arch type structure



[Fig. 7] Result of equivalent stress due to radius of 25 mm at arch type structure



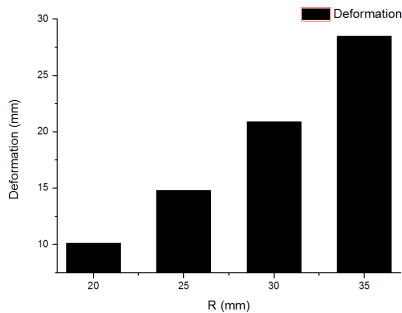
[Fig. 8] Result of equivalent stress due to radius of 30 mm at arch type structure



[Fig. 9] Result of equivalent stress due to radius of 35 mm at arch type structure

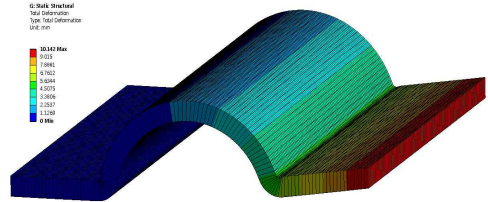
해석모델의 결과값 분석에 있어 최대응력이 발생하는 지점은 아치형 구조의 중앙부위에서 발생하고 있음을 볼 수 있다. 이를 통해, 아치형 구조의 정중앙에 크랙이 생길 위험성이 높음을 알 수 있는데, 특히 반경 R=30mm의 결과값에 있어서는 물성치의 전단응력을 넘는 등가응력이 발생되어, 파손의 위험성이 특히 높음을 알 수 있다. CFRP는 취성재료임으로, 일반적인 금속재료의 탄성영역의 거동없이 바로 파손이 일어나게 되므로 파손응력 미만에서의 결과값이 실제 제품에 적용되어야만 한다. 따라서 굴곡을 적용함에 있어 그 반경 R=30mm 이상은 제품의 파손 위험도가 매우 높음을 알 수 있었다. R값의 증가에 따라 구조물의 결과값이 상승하는 이유에 대해, 중앙의 굴곡이 증가함에 따라 이를 지지할 수 있는 면적의 감소를 원인으로 볼 수 있다.

3.2 변형량에서의 결과

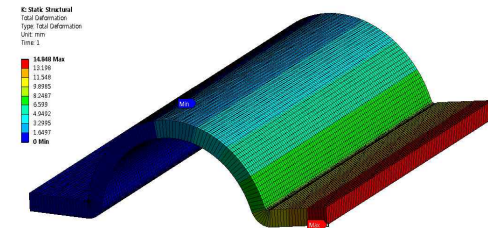


[Fig. 10] Result of deformation due to radius of arch type structure

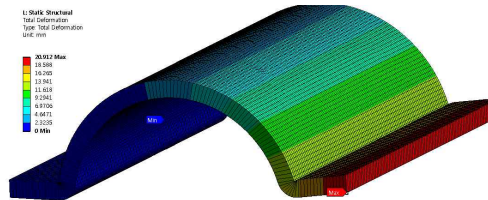
[Fig. 10]은 아치형구조의 반경 R값에 따른 변형량에서의 결과를 나타낸 것으로, R값이 증가함에 따라 변형량의 결과값이 점차 증가하고 있음을 볼 수 있다. R값이 20mm 일 때 최소값인 10.142mm가 발생하였으며, 35mm 일 때 최대값 28.501mm가 발생하였다. 이는 다음의 [Fig. 11, 12, 13, 14]에 각각의 R값에 따른 해석모델에서의 결과값을 나타내었다.



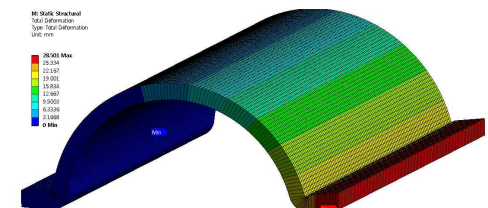
[Fig. 11] Result of deformation due to radius of 20 mm at arch type structure



[Fig. 12] Result of deformation due to radius of 25mm at arch type structure



[Fig. 13] Result of deformation due to radius of 30 mm at arch type structure



[Fig. 14] Result of deformation due to radius of 35 mm at arch type structure

위의 해석결과를 토대로 볼 때, 변형량의 최대값은 인장환경을 적용했던 선단의 부위에서 발생하고 있다. 이로 인한 변형량의 전파가 중앙으로 점차 이동하고 있음을 볼 수 있는데, 앞선 등가응력과의 결과값에서의 양상과 비슷하게 반경 R=35mm 정도에서 28mm로 크랙의 발생될 수 있을 것으로 사료된다. 해석모델에 대한 결과를 토대로 R값의 증가에 따라 구조물의 결과값이 상승하는 이유에 대해, 중앙의 굴곡이 증가함에 따라 이를 지지할 수 있는 면적의 감소로 인해, 파손의 위험성이 증가한다고 판단할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 적층각도 60°로 구성된 아치형 구조에 중앙의 굴곡 형상의 반경 R값의 차이에 따라 인장환경에서 발생하는 등가응력과 변형량의 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 반경 R값에 따른 인장력에 의해 발생하는 등가응력에 있어 반경 R값이 증가함에 따라 비례해 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이때의 최소값은 R=20mm에서 866MPa이며 최대값은 R=35mm로, 1419MPa이 나타남을 볼 수 있었다. 이 같은 결과 검토에 있어, 물성치를 토대로 R=30mm 이상에서는 크랙파손이 예상됨을 알 수 있었으며 실제 시험품에서도 이와 같은 양상을 띠 것으로 판단할 수 있었다.
2. 반경 R값에 따른 인장력에 의해 발생하는 변형량에 있어 R값이 증가함에 따라 비례해 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이때의 최소값은 R=20mm에서 10.142mm이며 최대값은 R=35mm로, 28.501mm가 나타남을 볼 수 있었다. 이 같은 결과 검토에 있어, 반경 R=30mm 이상에서는 크랙이 발생하며 이 크랙이 진전될 때 파손이 예상됨을 알 수 있었다.
4. 본 논문의 해석적 결과를 통해 얻어진 사전데이터를 토대로 CFRP의 내구성 향상 및 안전설계와 융합하여 충격이 가해지는 수송 또는 건축분야에 대한 개선설계에 기여할 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2015R1D1A1A01057607).

REFERENCES

- [1] K. W. Kang, "Vibration Fatigue Analysis of Spot Welded Component considering Change of Stiffness due to Fatigue Damage" Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 5, No. 1, pp. 1-8, 2014.
- [2] J. U. Cho, "Structure Safety Analysis on Crack Propagation in Compact Tension Specimen", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 5, No. 1, pp. 23-27, 2014.
- [3] Y. J. Jang, K. W. Kang, "Simplified Load Calculation and Structure Test for Scale Down Model of Small Wind Turbine Blade according to IEC 61400-2", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 4, No. 3, pp. 1-5, 2013.
- [4] Y. H. Cho, "Manufacturing convergence simulation system effect for the degree of perfection improvement of the new product", Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 6, pp. 91-103, 2015.
- [5] S. J. Shin, C. K. Ahn, K. Y. Park, "A case study on the application of new hand splint using 3D printing," Journal of Convergence for Information Technology, Vol. 7, No. 2, pp. 25-29, 2017.
- [6] K. C. Kim, "Development of Optical Illusion Design Pattern for Furniture Using a UV Curing Resin," Journal of Convergence for Information Technology, Vol. 7, No. 1, pp. 43-48, 2017.
- [7] D. H. Han, "Design and Characteristics of 6-60 Lens for CCTV," Journal of IT Convergence Society for SMB, Vol. 6, No. 3, pp. 85-91, 2016.
- [8] H. K. Choi and J. U. Cho, "Study on the Fatigue Analysis of DCB Model with Aluminum Foam", Journal of Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 14, No. 6, pp. 39-43, 2012.
- [9] O. T. Thomsen, W. Rits, D. C. G. Eaton, S. Brown,

“PLY DROP-OFF EFFECTS IN CFRP/HONEYCOMB SANDWICH PANELS-THEORY”, Composites Science and Technology, Vol. 56, pp. 407-422, 1996.

- [10] T. A. Sebaey, E. Mahdi, “Behavior of pyramidal lattice core sandwich CFRP composites under biaxial compression loading”, Composite Structures, Vol. 116, pp. 67-74, May, 2014.
- [11] M. Mohamed, S. Anandan, Z. Huo, V. Birman, J. Volz, K. Chandrashekhara, “Manufacturing and characterization of polyurethane based sandwich composite structures”, Composite Structures, Vol. 123, pp. 169-179, 2015.
- [12] B. J. Stauder, H. Kerber, P. Schumacher “Foundry sand core property assessment by 3-point bending test evaluation” Journal of Materials Processing Technology, Vol.237, No. 7, pp.188-196, 2016.
- [13] J. Cao, K. Cai, Q. Wang, J. Shi, “Damage behavior of a bonded sandwich beam with corrugated core under 3-point bending”, Materials and Design, Vol. 95, No. 4, pp. 165-172, 2016.
- [14] O. Zhao, L. Gardner, B. Young, “Buckling of ferritic stainless steel members under combined axial compression and bending”, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 117, No. 12, pp35-48, 2016.
- [15] V. N. Pilipchuk, R. A. Ibrahim, I. Grace, “Low temperature brittle debond damage under normal compression of sandwich plates: Analytical modeling and experimental validation”, Composite Structures, Vol. 98, pp. 24-33, 2013.

저자소개

황 규 완(Gue-Wan Hwang) [정회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부(공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 기계공학과(공학석사 과정)

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌의 동적 해석

조 재 웅(Jae-Ung Cho) [정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)

• 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌의 동적 해석