

CFRP와 결합된 이종재료들에서의 접착제를 이용한 접합부의 파손에 관한 융합 연구

김재원¹, 조재웅^{2*}

¹공주대학교 기계자동차학부 자동차공학전공, ²공주대학교 기계자동차학부

Convergence Study on Fracture at Joint Using Adhesive at Inhomogeneous Materials Bonded with CFRP

Jae-Won Kim¹, Jae-Ung Cho^{2*}

¹Major in Automotive Engineering, Division of Mechanical & Automotive Engineering,
Kongju National University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 본 연구에서는 CFRP와 금속 또는 비금속을 접착제로 접합시켜 이 재료에 대한 파손 연구를 수행하였다. 그 해석 조건으로는 DCB 시험편을 이용하여 시험편의 상부에는 CFRP, 시험편의 하부에는 금속 또는 비금속 재료로 지정하였고 두 상부와 하부 사이를 구조용 접착제로 부착하는 것을 묘사하였다. 이 해석 결과로는 알루미늄으로 접착된 시험편에서 가장 작은 등가응력 보였고 티타늄을 사용하였을 때 박리된 CFRP 시험편에서의 최대 전단응력은 가장 낮음을 보였다. 결론적으로 티타늄을 사용하였을 때 시험편의 변형이 가장 작은 것을 알 수 있었고 본 연구 결과를 토대로 접착제를 이용한 접착 계면의 파손데이터를 실생활에 융합하여 그 미적 감각을 나타낼 수 있다.

주제어 : 융합, 이중 외팔보 시험편, 탄소 섬유 강화 플라스틱, 적층각도, 등가 응력, 전단 응력

Abstract In this study, CFRP and metal or nonmetal were bonded with adhesive and the fracture study on this material was carried out. CFRP at the upper side of specimen and metal or nonmetal were assigned at the lower side of specimen by using DCB specimen as the analysis condition. And it was described that the structural adhesive were bonded between both upper and lower sides. As this analysis result, the least equivalent stress was shown at the specimen bonded with aluminium. The maximum shear stress was shown to become lowest at the de-bonded CFRP specimen when titanium was used. In conclusion, it was shown that the deformation of specimen became lowest when titanium was used. On the basis of this study result, the esthetic sense can be shown as the fracture data of bonded interface using adhesive are grafted onto the real life.

Key Words : Convergence, DCB(Double cantilever beam) specimen, CFRP(Carbon fiber reinforced plastic), Laminate angle, Equivalent stress, Shear stress

1. 서론

차량의 경량화에 있어 FRP(Fiber Reinforced Plastic)

의 개발은 금속 및 비금속재료로 제작되어지는 차량에 있어 엄청난 경량화를 이룰 수 있게 되는 중요한 기술이 되었다. 이러한 FRP의 종류 중 탄소섬유로 제작되는

*This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2015R1D1A1A01057607). This work was supported under the framework of international cooperation program managed by National Research Foundation of Korea (2016K2A9A2A06004689).

*Corresponding Author : Jae-Ung Cho (jucho@kongju.ac.kr)

Received March 15, 2018

Revised April 26, 2018

Accepted May 20, 2018

Published May 28, 2018

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)을 이용한 개발이 많이 진행되어 지고 있으며, CFRP는 비금속재료 대비 3배 이상의 경량화와 강도를 지닌다.[1-8] 그러나 CFRP와 일반 금속재료간의 접합은 볼트, 리벳과 더불어 접착제를 이용한 접합을 실시하게 되는데, 본 연구에서는 이러한 CFRP와 금속 또는 비금속 재료와의 접합 구조용 접착제를 이용한 이중 재료간의 파손 연구를 진행하였고 이러한 연구를 규명하기 위하여 DCB(Double Cantilever Beam)을 이용한 해석을 실시하여 연구를 진행하였다[9-15].

2. 본론

2.1 연구 모델

본 연구에서는 DCB시험편을 이용하여 CFRP와 금속 및 비금속 재료간의 접착제 파손 현상을 융합적 관점에서 보기 위해 다음과 같은 시험편을 제작하였다.

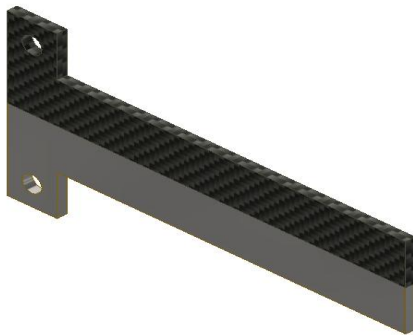


Fig. 1. Shape of analysis model

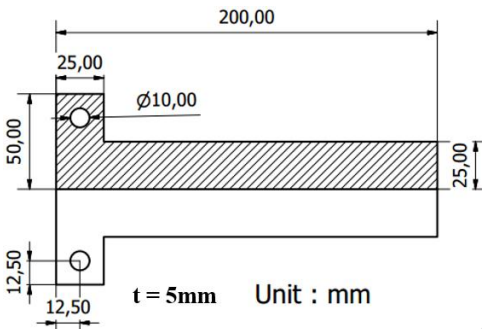


Fig. 2. Draft of analysis model

Fig. 1은 본 연구에 사용된 시험편을 등각투상도로 나

타낸 그림으로 상단의 시험편은 CFRP로 제작된 것을 나타낸 그림이고 하단의 시험편은 금속 및 비금속재료로 지정하여 해석을 진행하였다. Fig.2는 본 연구에서 사용된 시험편의 도면으로서 CFRP와 금속 재료의 크기가 동일한 것을 알 수 있다. 크기 뿐만 아니라 두께를 5mm로 동일하게 지정하여 해석을 진행하였다. 시험편 끝에 홀을 가공한 이유는 시험편을 인장할 때, 홀 안에 핀을 삽입하여 인장실험을 진행한다.

Table 1. Material property of unidirectional carbon

Material	Unidirectional carbon
Density(kg/m ³)	1.57
Poisson's Ratio XY	0.3
Poisson's Ratio XZ	0.74
Poisson's Ratio ZY	0.3
Shear Modulus XY(MPa)	5076.9
Shear Modulus XZ(MPa)	2580.5
Shear Modulus ZY(MPa)	5076.9
Young's Modulus XY(GPa)	1.32
Young's Modulus XZ(MPa)	8980
Young's Modulus ZY(MPa)	8980

Table 1은 본 연구에 사용된 UD(Unidirectional) Carbon Sheet의 물성치를 기입한 표이다. UD를 제외하면 다른 종류는 Woven, Knit, Filament winding 등이 있다. 그 중 UD Carbon Sheet의 경우 사방의 물성이 동일한 등방성 재료가 아닌 방향에 따라 물성이 달라지는 이방성 재료이며, 그리하여 적층각도에 따른 재료의 물성이 달라진다[16-18].

2.2 해석 조건

본 연구에서는 CFRP와 결합되는 여러 금속 및 비금속 재료들의 접합에 대한 파손을 보기 위하여 아래와 같은 해석 조건을 지정하여 해석을 진행하였다. 상단 시험편의 재질은 복합재료인 CFRP로 지정하였고 하단 시험편의 재질은 구조용 강, 알루미늄, 티타늄, 구리와 같은 금속 및 비금속 재료로 지정하여 해석을 진행하였다. 시편 설계는 Inventor 2017로 설계하였고 해석은 ANSYS R17을 이용하여 해석을 진행하였다.

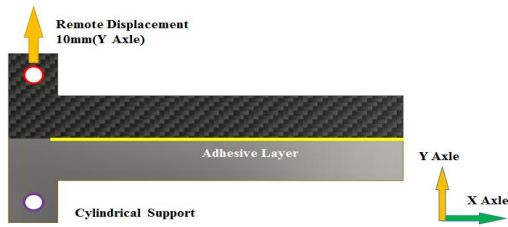
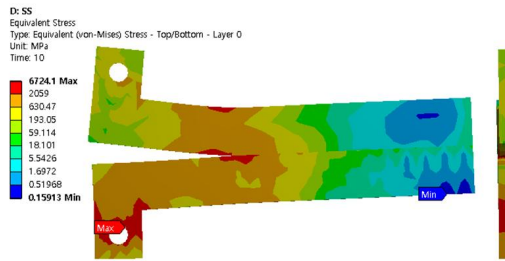


Fig. 3. Draft of analysis model

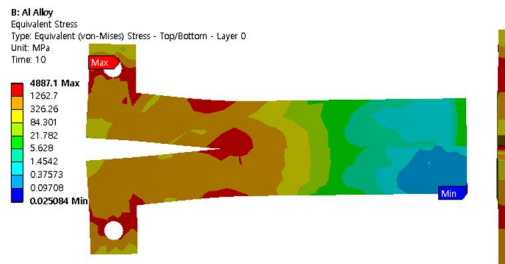
Fig. 3는 이번 모델의 해석조건으로 CFRP로 제작된 상단 시험편의 홀을 y축 방향으로 10mm 강제 변위 시켰고 하단 시험편의 홀은 Fixed Support로 고정시켜 해석을 진행하였다. 그리고 두 개의 시험편이 마주하는 면에는 CZM(Cohesive Zone Method)를 사용하여 구조용 접착제의 물성을 삽입하여 해석을 진행하였다.

2.3 해석 결과

본 연구에서는 CFRP와 결합되는 이종 재료간의 접착제를 이용한 접합부위 파손에 관한 연구를 진행하였고 그에 대한 해석 조건으로는 상단부의 시험편은 모두 CFRP로 동일하고 CFRP는 선행연구에서 적층각도 별 가장 큰 인장응력을 보인 [60/-60/60/-60]의 적층각도로 CFRP를 제작하였다. 하단부의 시험편은 금속 및 비금속 재료인 구조용 강, 알루미늄, 구리, 티타늄으로 지정하였고 그에 따른 결과들은 다음과 같다.



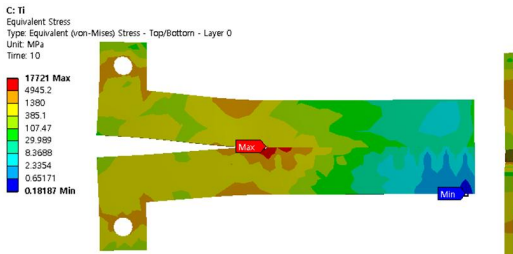
(c) Structural Steel



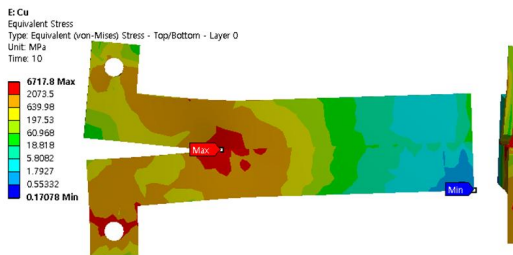
(d) Aluminium Alloy

Fig. 4. Contour of equivalent stress at DCB specimen

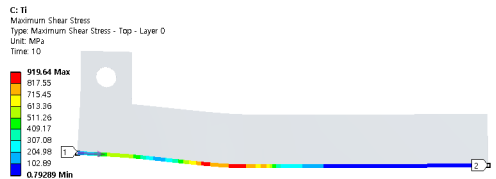
Fig. 4는 DCB를 이용한 접착 파손에 따른 시험편의 등가 응력이다. 하단부 시험편에 따른 등가응력이 각각 다른 것을 확인하였고 구조용 강을 하단 시험편으로 놓았을 때, 최대 6724.1MPa의 응력이 나옴을 알 수 있었다. 그 외로는 알루미늄일 때, 4887.1MPa이 나오고 티타늄일 때는 1772.1MPa이 나왔다. 마지막으로 구리일때는 6717.8MPa의 응력이 나옴을 확인할 수 있었다. 이 중 구리를 하단 시험편으로 지정하였을 때, 가장 낮은 응력이 나옴을 알 수 있었다.



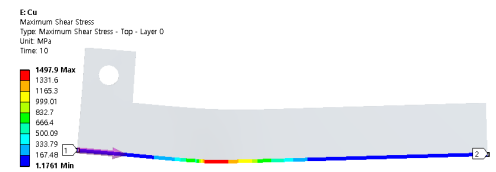
(a) Titanium Alloy



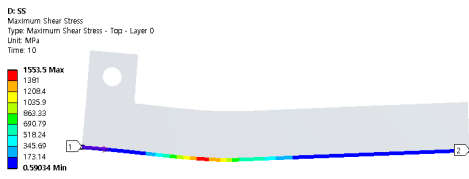
(b) Copper Alloy



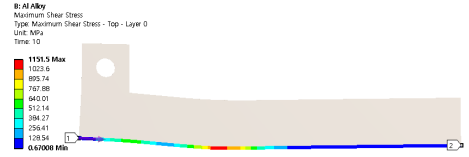
(a) Titanium Alloy



(b) Copper Alloy



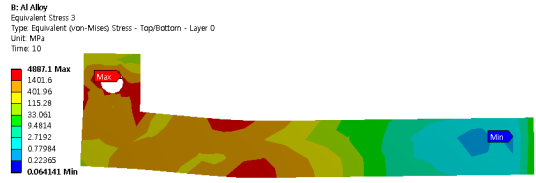
(c) Structural Steel



(d) Aluminium Alloy

Fig. 5. Contour of maximum shear stress at de-bonded adhesive interface

Fig. 5는 박리된 접착 계면에서의 최대 전단응력을 나타낸 그림으로 하단의 시험편이 알루미늄일 때, 1151.5MPa이 나왔고, 구조용 강 일 때에는 1553.5MPa의 응력이 검출되었다. 또한 구리로 지정하였을 때는 1491.9MPa이 나왔다. 마지막으로 티타늄으로 지정했을 때는 919.64MPa이 나옴을 알 수 있었다.



(d) Aluminium Alloy

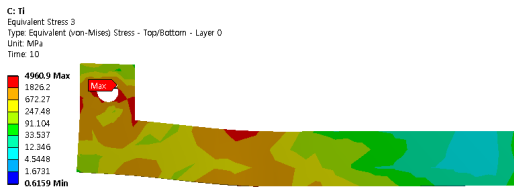
Fig. 6. Contour of equivalent stress at de-bonded CFRP specimen

Fig. 6는 박리된 CFRP 시험편에서의 등가응력 등고선을 나타낸 그림으로 하단 금속재료 따라 각각의 CFRP 시험편에서의 등가응력 확인하였다. 이 때, 가장 높은 등가응력을 보인 모델은 티타늄을 이용하여 박리 실험을 한 모델로 최대 4960.9MPa의 응력이 나온 것을 확인 할 수 있었다. 반대로 가장 낮은 등가응력을 보인 모델은 구리를 하단 시험편으로 사용한 모델로 4363.9MPa의 응력이 나왔다. 티타늄, 알루미늄, 구조용 강, 구리 순으로 등가 응력이 나열됨을 알 수 있었다.

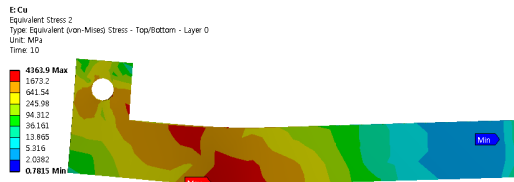
3. 결론

본 연구에서는 CFRP와 결합되는 이종 재료간의 접착제를 이용한 접합에 관한 파손연구를 진행하였고 그에 따른 결론은 다음과 같다.

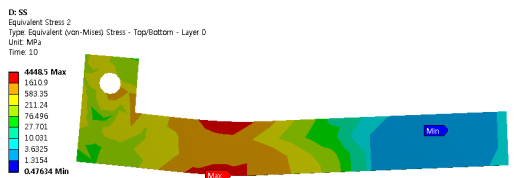
1. CFRP와 이종재료간의 접합에 관한 파손연구에서 핀홀 부위를 제외한 가장 높은 등가응력을 보이는 지점은 접착제가 박리되는 부위이다, 이 때 등가응력을 검출하였을 때, 구조용 강이 6724.1MPa, 구리가 6717.8MPa, 티타늄이 17721MPa 마지막으로 알루미늄이 4887.1MPa로 확인되었다. 이러한 결과로 알루미늄으로 접착하였을 때 가장 응력이 낮음을 알 수 있었다.
2. 하단 시험편에 따른 박리된 접착 계면에서의 최대 전단 응력을 검출하였을 때, 구조용 강이 1553.5MPa, 구리가 1491.9MPa, 티타늄이 919.64MPa 마지막으로 알루미늄이 1151.5MPa로 확인되었다. 접착제가 박리된 시험편에서의 최대 전단 응력은 구조용 강, 알루미늄, 구리, 티타늄 순으로 응력이 높음을 알 수 있었다.
3. 하단 시험편에 따라 박리된 CFRP 시험편에서의 등가



(a) Titanium Alloy



(b) Copper Alloy



(c) Structural Steel

- 응력을 확인하였을 때, 티타늄, 알루미늄, 구조용 강, 구리 순으로 증가 응력이 높음을 알 수 있었다. 이 때, 가장 높은 응력은 보인 티타늄의 증가 응력은 4960.9MPa의 응력을 보였고 가장 낮은 응력을 보인 구리는 4363.9MPa의 증가 응력을 보였다. 이를 기반으로 접착제 부착된 금속 시험편의 재료에 따라 CFRP 시험편의 응력이 달라짐을 알 수 있었다.
4. 증가 응력과 전단 응력의 결과값을 보았을 때, CFRP와 알루미늄과 접착되었을 때, 가장 내구성이 좋음을 알 수 있었고 CFRP와 티타늄이 접착되었을 때에는 시험편의 변형이 가장 적음을 알 수 있었다.
5. 위와 같은 결과값을 취합하여 CFRP와 결합되는 이종재료간의 접착제를 이용한 파손데이터를 축적했으므로 이를 시제품에 융합하여 그 미적 감각을 나타낼 수 있다.

REFERENCES

- [1] J. U. Cho, C. S. Kim, H. S. Lee & Y. C. Kim. (2014). Study of the Damage Property of a Contacted Indent by Finite Element Method. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 15(10), 5974-5979. DOI : 10.5762/KAIS.2014.15.10.5974
- [2] 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 : 10.15207/JKCS.2017.8.7.231
- [3] G. W. Hwang & J. U. Cho. (2017). Convergence Study on Durability Improvement due to Radius of Arch Type at CFRP Structure with Stacking Angle. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(7), 219-224. DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.7.219
- [4] G. W. Hwang & J. U. Cho. (2017). Analysis Study on the Damage of Crack Happening with the Bending at CFRP Plate due to Stacking Angle. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(3), 185-190. DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.3.185
- [5] J. W. Park & J. U. Cho. (2017). A Study of Fracture Behavior due to the Propagation of Center Crack at Unidirectional CFRP through Finite Element Analysis. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, 19(1), 21-26.
- [6] J. H. Lee & J. U. Cho. (2016). Evaluation on Strength and Durability of Tensile Specimens of CFRP and Metal with Notches. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, 18(6), 867-872.
- [7] J. H. Lee & J. U. Cho. (2016). A Study on Impact Fracture on CFRP Sandwich Composite and CFRP Sandwich Composite with Aluminum Foam Core. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, 18(2), 214-219.
- [8] J. H. Lee & J. U. Cho. (2016). An Analytical Study on Crack Behavior Inside Standard Compact Tension Specimen with Holes. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, 40(6), 531-537. DOI : 10.3795/KSME-A.2016.40.6.531
- [9] M. S. Han & J. U. Cho. (2004). A Study on the Plastic Zone of the Specimen at the Impact of Dynamic Load. *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, 12(3), 139-144.
- [10] M. S. Kang, H. S. Park, J. H. Choi, J. M. Koo & C. S. Seok. (2012). Prediction of Fracture Strength of Woven CFRP Laminates According to Fiber Orientation. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, 36(8), 881-887. DOI : 10.3795/KSME-A.2012.36.8.881
- [11] K. C. Park & M. S. Kim. (1994). Analysis of the Residual Strengths and Failure Mechanisms in Laminated Composites under Impact Loading. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 11(3), 105-121.
- [12] C. S. Seak & S. Y. Kim. (2000). Variation of the Fracture Resistance Curve with the Change of a Size in the CT Specimen. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, 24(12), 2963-2971. DOI : 10.22634/KSME-A.2000.24.12.2963
- [13] G. W. Hwang, J. U. Cho & C. Cho. (2016). A Property of Crack Propagation at the Specimen of CFRP with Layer Angle. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, 40(12), 1013-1019. DOI : 10.3795/KSME-A.2016.40.12.1013
- [14] J. U. Cho. (2014). Analytical Study on Durability due to the Load of Artificial Knee Joint. *Journal of the Korea Convergence Society*, 5(2), 7-11. DOI : 10.15207/JKCS.2014.5.3.007
- [15] J. H. Lee & J. U. Cho. (2016). Convergence Technique Study of Durability Analysis due to the Track Pad Shape of Track Vehicle with Heavy Weight. *Journal of the Korea Convergence Society*, 7(1), 177-182. DOI : 10.15207/JKCS.2016.7.1.177

- [16] H. K. Jeong, Y. Zhang & D. J. Yum. (2017). The Development of Structural Test Facility for the Strength Assessment of CFRP Marine Leisure Boat. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 54(4), 312-320. DOI : 10.3744/SNAK.2017.54.4.312
- [17] H. J. Bang, S. K. Lee, C. Cho, J. U. Cho & H. K. Choi. (2014). Fracture Behavior of Adhesive-Bonded Aluminum Foam with Double Cantilever Beam. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, 38(5), 521-526. DOI : 10.3795/KSME-A.2014.38.5.521
- [18] H. K. Choi, S. J. Hong, S. H. Kim & J. U. Cho. (2012). Study on Fatigue Analysis of DCB Specimen Bonded. *The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 13(7), 2865-2871.

김 재 원(Kim, Jae Won)

[정회원]



- 2011년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부(공학사) 과정
- 관심분야 : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가 피로 또는 충돌의 동적 해석
- E-Mail : kimjw_920@naver.com

조 재 응(Cho, Jae Ung)

[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
- E-Mail : jucho@kongju.ac.kr