

탄소섬유복합재료의 시트크로스 부품에서 진공수지주입성형에 의한 성형성 평가

김근영^{*,****}, 곽성훈^{**}, 한규동^{***}, 박진석^{****}, 조준행^{****}, 이창훈^{****}, 강명창^{*,#}

^{*}부산대학교 융합학부, ^{**}경북하이브리드부품연구원, ^{***}(주)ATC 기술연구소, ^{****}세원기술연구소

Formability Evaluation of the Vacuum Resin Transfer Molding of a CFRP Composite Automobile Seat Cross Part

Kun-Young Kim^{*,****}, Sung-Hun Kwak^{**}, Gyu-Dong Han^{***}, Jin-Seok Park^{****}, Jun-Haeng Cho^{****},
Chang-Hoon Lee^{****}, Myung-Chang Kang^{*,#}

^{*}Graduate school of convergence science, ^{**}Gyoeongbolk Hybrid Technology Institute,
^{***}New Technology department, ATC Cop, Ltd, ^{****}New Technology department, Sewon Cop, Ltd
(Received 21 March 2017; received in revised form 23 March 2017; accepted 27 March 2017)

ABSTRACT

In this study, a seat cross member was fabricated by optimizing the resin transfer molding processing of CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) materials. This seat cross member is used in automotive underbody parts and provides side impact support. The seat cross was manufactured via vacuum resin transfer molding. The process included 1min of resin injection, 8 mins of heating, and 1 min of cooling, for a total molding time of 10mins. Tensile test results showed an average breaking load of 21.50kN, a tensile strength of 404 MPa, and an elastic modulus of 46.2 GPa. As a result, the CFRP seat cross provides the same strength as a similar steel part, but weighs 42% less.

Key Words : CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic), Automobile Part(자동차 부품), Seat Cross(시트크로스), Light Weight(경량화), Vacuum Resin Transfer Molding Process(진공수지주입성형공정)

1. 서 론

최근 자동차 부품의 연구는 고연비 및 고강성이 요구되는 경량화 기술개발에 초고강도강, 알루미늄, 탄소섬유강화복합재료(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastics)와 같은 경량 소재를 적용한 자동차 부품연구 개발이 활발히 진행되고 있다^[1~8]. 탄소섬유 강화복합재료는 비중이 2.4g/cm³정도로 2.7g/cm³인

알루미늄보다 가볍고, 같은 무게로서 비교한 합금강보다 강도가 우수한 소재로써 경량화가 필요한 스포츠, 항공우주등 기능성 핵심소재로 이용되고 있다.

자동차 하단 부품은 프론트 플로워, 센터플로어, 리어플로어로 이루어져 있다. 시트크로스 부품(Seat cross part)은 센터플로어의 개별 단품으로 시트크로스 프론트와 리어로 구성되어 있으며 측면 충돌과 후방 충돌 하중을 분산시키는 역할을 하는 지지대로서 중요한 역할을 한다.

탄소복합재료는 높은 비강도와 비강성, 안전성이

Corresponding Author : kangmc@pusan.ac.kr

Tel: +85-51-510-2361, Fax: +82-51-510-7396

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

우수하여 경량화 부품에 적합하지만 CFRP는 -45, 0, 45, 90°의 적층방향, 두께와 투과성계수에 따른 공정조건 선정이 필요하다^[9~11]. 대표적으로 KIM^[12] 등은 RTM (Resin Transfer Molding) 공정을 적용한 구조물의 두께 및 적층 최적화에 대한 성형성을 고찰하였다. 기존 대부분 연구에서는 RTM 공정을 통한 탄소섬유적층에 대한 연구가 진행되었다 하지만 진공수지주입성형 공정을 통한 탄소섬유복합재료를 적용한 부품 성형성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 자동차의 시트크로스 부품의 경량화를 목적으로 탄소섬유 복합소재를 사용하여 진공수지주입성형 공정에 적합한 시트크로스 부품의 형상을 설계하였고, 이를 바탕으로 진공수지주입성형공정에서의 수지주입시간에 따른 함침정도 관찰, 인장강도, 치수정밀도 및 단면형상 관찰을 통하여 성형성(Formability)을 평가하였다.

2. 시트크로스 부품의 제조 공정

2.1 시트크로스 부품의 3D모델링

시트크로스 형상은 Fig. 1에 나타난 것처럼 3D 모델러인 CATIA(Dasso system Co, France)를 사용하여 모델링하였다.

최종설계 된 탄소복합소재적용 시트크로스 부품의 경우 성형성 확보를 위해 모서리 부를 라운드로 설계하였고, 프리 폼 성형시 3면 몰림부에 직물 주

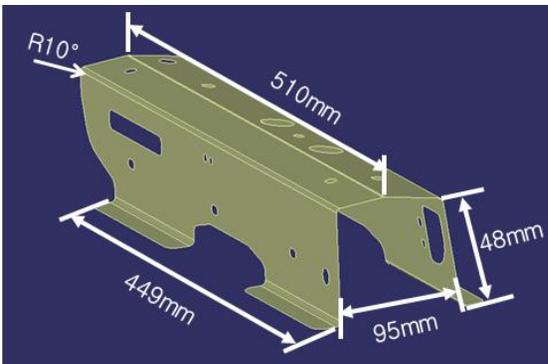
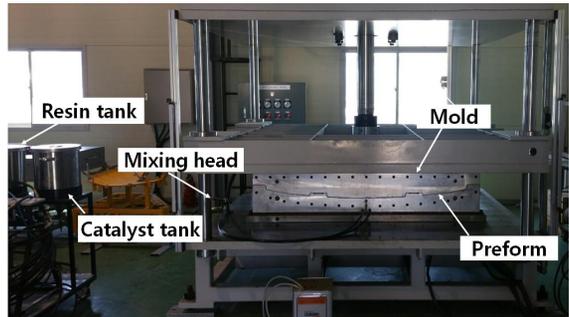


Fig. 1 Schematic drawings of seat cross part considered CFRP composite property

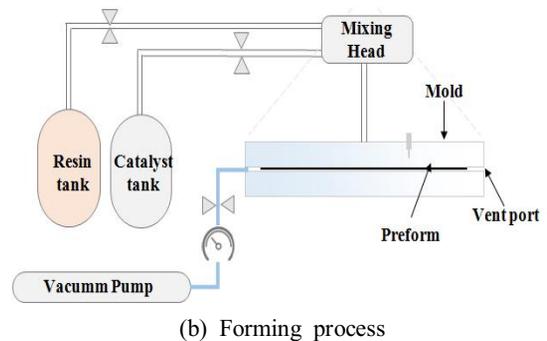
름이 발생될 것으로 감안하여 R값을 최대 10°로 높여서 설계하였다. 또한, 수지함침성(Resin wet out)을 고려하여 시트크로스 높이를 일반 스틸인 경우 50mm에서 48mm로 설계수정하여 최대한 성형성을 확보할 수 있는 개념설계를 진행하였다.

2.2 진공수지주입성형 공정

진공수지주입성형은 Fig. 2에서 보이는 바와 같이, 직물을 상하형 금형사이에 적층하여 프리폼 성형하고, 주변으로 공기로를 막은 다음, 진공상태에서 수지를 주입하여 직물 사이사이에 수지가 함침이 되고 경화되어 성형품이 완성되는 제조 방법이다^[13]. 성형품은 잔여 직물 및 경화된 수지에 의해 플랜지 부 후가공이 되어져야 시제품이 완성될 수 있다. 일반적인 공정 순서는 재단, 적층, 진공 및 주입, 성형 및 탈착 순으로 진행된다.



(a) Picture of molding system



(b) Forming process

Fig. 2 Schematic forming diagram fabricated by vacuum resin transfer molding process

Table 1 Mechanical characteristics of carbon fiber

Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Strain	Density	Filament diameter
4900	230	2.1	1.80g/cm ³	7μm

Table 2 Material property of epoxy resin

System	Maxing ratio		Lab shear strength (MPa)	Creep deformation (MPa)
	Part by weight	Part by volume		
KER9500 : KCA9510	100:39	100:45	80~95	135~150

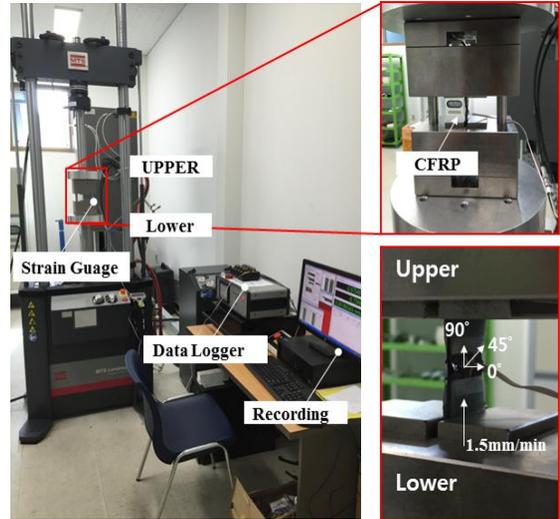
본 실험에 사용된 복합소재는 강성과 연신율이 뛰어난 탄소섬유소재(T800, Toray CO.)이고, 그 기계적 성질은 Table 1과 같다. 압축하는 않는 상태에서 한 층의 두께는 0.32mm이고 3층을 적층하여 프리폼을 제작하였다.

본 연구에서는 상, 하형 금형사이에 섬유를 적층 하였으며 진공펌프기 (Iodenberigo co. ltd)를 사용하여 내부 전체 진공상태를 - 1kg/cm²로 유지하였다. 에폭시 수지 (KER9500 ,Kumho petrochemical co. ltd)와 경화제 (KCA9520 ,Kumho petrochemical co. ltd) 는 예비실험을 통하여 100 : 15 로 혼합하여 60초간 주입하는 조건에서 진행하였다. 사용된 에폭시와 경화제의 물성치 특성은 Table 2와 같다.

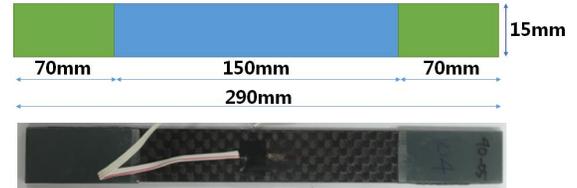
3. 성형성 평가 방법

3.1 인장강도 시험

Fig. 3은 시편의 기계적 성질을 측정하기 위해서 탄소섬유강화복합재료의 섬유길이가 방향에 대한 인장시험 장치를 나타낸 것이다. 인장 시험은 ASTM D 3039규격에 의하여 제작하였고 인장시험편들의 양 끝단은 70mm×25mm의 유리섬유강화복합체 (GFRP, Glass Fiber Reinforce Plastic)탭을 가공한 후 부착하여 3개의 시편을 제작하여 로드셀을 통한 하중데이터와 스트레인게이지를 통한 변형률 데이



(a) Tensile test machine and setting position of CFRP specimen



(b) Shape of CFRP tensile specimen

Fig. 3 Tensile test machine and dimension of CFRP specimen

터를 바탕으로 탄성계수 및 파손 변형률을 계산하였다.

3.2 치수정밀도 시험 및 중량 평가

Fig. 4는 센터플로워의 평단면과 접합면의 균일도를 고려하여 측정기준을 나타내고 있다. Fig. 4(a)는 카티아 도면의 실제 크기를 Checking fixture로 제작하였다. 측정 위치는 Flange 7개 포인트와 Corner 2개 부위를 측정하였다. 치수 측정 기준은 Fig. 4(b)와 같이 Flush를 적용하였으며 H사 양산 품질 치수 기준인 ±1.0mm~1.5mm의 만족 여부를 관찰하였다. 중량 평가는 실제 스틸 무게와 CFRP무게를 저울로 비교하여 측정하였다.

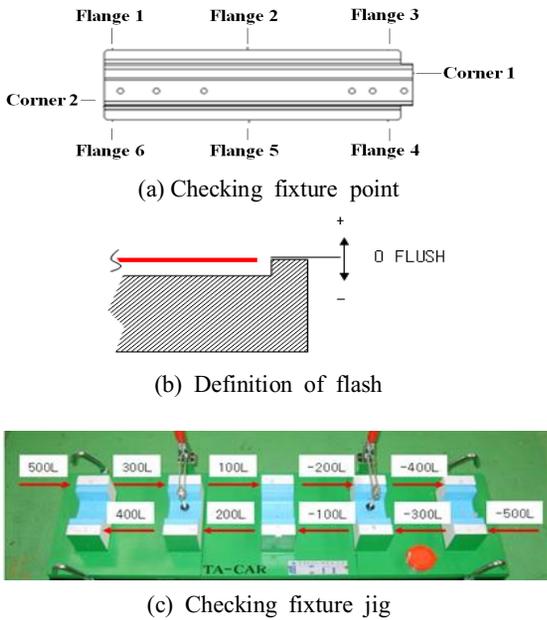


Fig. 4 Measuring point of dimensional precision in seat cross part

4. 실험 결과 및 고찰

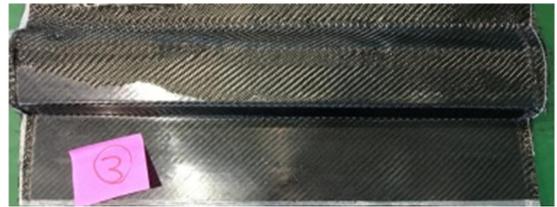
4.1 진공수지주입성형에서 주입시간특성

진공수지주입성형 공정에 따른 수지 주입시간에 따른 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a)에서는 에폭시 수지 주입 2분을 설정하였으며 주입시간이 과도하게 진행되어 상단부 미합침이 발생하였다.

Fig. 5(b)에서는 복합소재 적층 후 수지 주입 1분, 가열 8분, 냉각 1분으로 성형 시간은 총 10분으로 제작되었다. 총 섬유에 대한 두께는 1.4mm로 측정되었으며 제품의 파손, 미성형 및 스크래치는 관찰되지 않았다.

4.2 인장강도 시험

Fig. 6은 본 CFRP소재에 의한 시트 크로스부품의 진응력-진변형률 선도예에 의한 인장 시험의 결과 값을 보여주고있다. 3개의 시편에 대한 인장강도가 평균평균 파괴하중 21.50kN, 인장강도 404MPa, 탄성계수 46.2GPa로 Table 4에서 정리하였다.



(a) Badness in case of resin flow time, 2min



(b) Good in case of resin flow time, 1min

Fig. 5 Seat cross part manufactured by CFRP composite according to resin flow

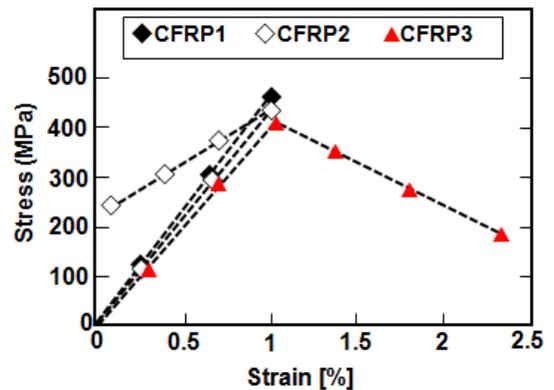


Fig. 6 Result of strain rate

Table 3 Result of tensile test

No	Width [mm]	Thickness [mm]	Strength [MPa]	Modulus [GPa]
1	25.06	2.076	425	48.3
2	24.88	2.068	408	46.3
3	24.71	2.166	384	44.9

Table 4 Shape results of seat cross part

Measuring position	Tolerance	Results value	Evaluation
Corner1	±1.5	+2.3	NG
Flange1	±1.0	0.8	OK
Flange2	±1.0	0.7	OK
Flange3	±1.0	1.0	OK
Corner2	±1.5	+1.8	NG
Flange4	±1.0	0.8	OK
Flange5	±1.0	0.9	OK
Flange6	±1.0	1.0	OK

이러한 결과는 기존 스틸 대비 (SPRC 490, 400MPa급)에 적용되는 시트크로스 부품과 강도는 동일하고 일반스틸보다 높은 탄성계수 값을 확인할 수 있다.

4.3 치수정밀도 관찰 및 중량 측정

CFRP 복합소재에 의하여 제조된 시트크로스 제품의 단면 형상개이지 맞춤, 길이방향 상하 및 좌우 휨 확인을 각 부위의 깎 체크를 활용하여 실제 양산품과 비교하여 보았다.

Table 4의 결과로부터 Fig. 3에서 제시한 측정위치로서 8개의 측정점 중에서 2개의 불량률이 발생하였다. 이러한 결과는 시트크로스 단면의 윗면과 아랫면의 유동 산 상단의 위치 차이가 커지면서 시간차에 의한 열변형 현상으로 공차가 생기는 것으로 판단된다^[4].

스틸과 탄소섬유복합재료에 대한 시트크로스 무게를 실제 저울(모델, 회사명)을 통해 무게를 측정 한 결과, 비교 소재인 스틸(종류명 기입)은 1.2 kg인데 비하여 본 연구에서 적용한 탄소섬유복합소재는 0.7 kg으로서 경량화관점에서의 연구목표를 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 진공수지주입성형공정을 적용한 탄소섬유복합소재의 자동차 시트크로스 부품에 있어서 성형성을 평가하여 다음과 같은 주요 결과를

얻었다.

- (1) 성형 두께 1.4mm를 적용한 시트크로스 부품은 수지 주입 1분, 가열 8분, 냉각 1분으로 하고, 성형 시간은 총 10분으로 제작이 용이하다.
- (2) 인장시험 결과로부터 평균 파괴하중 21.50kN, 인장강도 404MPa, 탄성계수 46.2GPa로 나타났으며, 스틸에 비하여 인장강도는 동일하지만 탄성계수가 더 높은 결과값을 얻어 우수한 충격 내구성과 흡수성을 얻을 수가 있었다.
- (3) 주요단면 형상 결과로부터 6개 Flange면은 양호, 2개의 Corner부 2개 불량률이 발생하였는데 냉각채널을 통해 열변형을 최소화하여 개선할 수 있다.
- (4) 시제품의 무게를 측정한 결과 두께 1.2t, 400MPa 강도의 제품의 무게가 1.2kg, 비교 대상인 CFRP소재 적용 시트크로스 1.2t 제품의 경우, 무게 계산에 의하면 약 0.7kg이므로 제품 강도는 동일하고, 약 42% 이상 경량화 효과를 가져오는 것으로 확인하였다.

후 기

이 연구는 산업통상자원부 경제협력권 산업육성사업의 지원을 받아 수행된 것이며, 지원에 대해 진심으로 감사드립니다.

REFERENCES

1. Lee, I. K., Lee, S. Y., Lee, S. K., Ahn, M. S., "Trimless Blank Design for Hot Stamping Process of a Sill Side," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 5, pp. 93~99, 2016.
2. Son, H. J., Kim, S. Y., Oh, B. S., Kim, K. S., "Development of Vehicle Door Side Impact Beam with High Tensile Steel using Roll Forming Process," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 82~87, 2012.

3. Yi, C. H., Lee, J. H., Byun, J. H., "A Study on Using Composite Materials for Automotive Clutch Connector Reliability," Journal of KSMPE, Vol. 12, No. 3, pp. 81~88, 2013.
4. Kang, H. K., WM., "Structural Design Optimization of the Aluminum Space Frame Vehicle," Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 1, pp. 175-180, 2008.
5. Kum, J., Park. O., Hong S., "Tough High Thermal-Conductivity Tool Steel for Hot Press Forming," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 3, pp. 130-134, 2016.
6. Joo, Y. H., Park, Y. C., Lee, Y. M., Kim, K. H., Kang, M. C., "The Weldability of a Thin Friction Stir Welded Plate of Al5052-H32 using High Frequency Spindle," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 1, pp. 90~95, 2017.
7. Lee, D. Y., Park, K. D. and Kang, D. M., "A Study on the Finite Element Analysis in Friction Stir Welding of Al Alloy," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 5, pp. 81-87, 2015.
8. Kim, J. D., Kim, K. h., Yoon, M. C., "Decision-Making Method of Priority Welding Process," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 5, pp. 39-47, 2016.
9. Wang, G., Chen, H. C., Lv, S., Maharjan, R. B., Zhao, X., "Research on Permeability of Satin Fabrics Based on Fractal Theory," Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 34, pp. 377-387, 2015.
10. Endruweit, A., Zeng, X., Long, AC., "Effect of Specimen History on Structure and In-Plane Permeability of Woven Fabrics," Journal of Composite Materials Vol. 49, pp. 1563-1578, 2015.
11. Kim, M. S., Kim, J. S., and Kim, S. M., "Analysis of RTM Process to Manufacture Composite Bogie Frame Considering Fiber Orientation," Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 18, No. 4, pp. 301-308, 2015.
12. Kim, S. J., Jang S. H., "The Effect of Bias and Shear Angles on Compressive Characteristics of Carbon/Epoxy Plain Weave Fabrics," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 30, No. 7, pp. 857~864, 2006.
13. POODTS, E., MINAK, G., MAZZOCCHETTI, L. & GIORGINI, L., "Fabrication, Process Simulation and Testing of a Thick CFRP Component Using the RTM Process," Composites Part B: Engineering, Vol. 56, pp. 673-680, 2014.
14. Sung, S. W., Kim, W. D., "Prediction of Deformation of Carbon-Fiber Reinforced Polymer Matrix Structure About Tool Materials and Surface Condition," The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, pp. 103~106, 2014.