

## CFRTP 부품제조를 위한 금형 및 성형 기술에 대한 연구

정의철<sup>1</sup> · 김종선<sup>1</sup> · 손정언<sup>1</sup> · 윤경환<sup>2</sup> · 이성희<sup>†</sup>

한국생산기술연구원 금형기술그룹<sup>1,†</sup> · 단국대학교 기계공학과<sup>2</sup>

## A Study of Mold Technology for Manufacturing of CFRTP Parts

Eui-Chul Jung<sup>1</sup> · Jong-Sun Kim<sup>1</sup> · Jung-Eon Son<sup>1</sup> · Kyung-Hwan Yoon<sup>2</sup> · Sung-Hee Lee<sup>†</sup>

Mold Technology Group, KITECH<sup>1,†</sup>

Department of Mechanical Engineering, Dankook University<sup>2</sup>

(Received October 17, 2017 / Revised November 16, 2017 / Accepted November 24, 2017)

**Abstract:** The production of carbon fiber reinforced thermoplastics(CFRTP) parts using an injection/compression molding process that differs from the conventionally used fabrication methods was investigated. Before the application of composite molding in the injection/compression molding process, a simple compression molding experiment was performed using a hydraulic press machine to determine the characteristics of resin impregnation and to obtain a basic physical property data for the CFRTP. Based on these results, injection/compression molded specimens were manufactured and an additional insert/over molding process was applied to improve the impregnation rate of the molded specimens. The results demonstrated that the tensile strength of the molded parts using the faster injection/compression process was similar to that of a hydraulic press molded product.

**Key Words:** CFRTP, Impregnation, Injection/compression molding, Mold, Strength, Thermoplastic.

### 1. 서 론

에너지 고갈과 환경문제 대책의 일환으로 금속대체 친환경, 경량화 복합소재에 대한 소재개발 연구가 1990년대부터 활발히 이루어지고 있으며 가공성이 우수한 고분자 복합소재 기술개발로 이어지고 있다<sup>1)</sup>. 특히, 탄소섬유 복합소재는 비강도와 비강성이 우수하여 차세대 경량화 소재로 각광받고 있어 탄소섬유 복합소재의 제조방법과 강도 평가에 대한 많은 연구가 진행되고 있다<sup>2,4)</sup>.

탄소섬유 복합소재는 사용되는 모재의 종류에 따라 열경화성 탄소섬유강화 플라스틱과 열가소성 탄소섬유강화 플라스틱으로 구분할 수 있다. 열경화성 탄소섬유강화 플라스틱의 경우 모재인 열경화성 수지의 낮은 용융온도와 점도로 인하여 복합소재 성

형이 용이하다는 장점을 지니고 있으나 성형과정에서 모재의 경화과정이 필요하기 때문에 성형품의 생산시간이 길다는 단점을 지니고 있다. 반면, 열가소성 탄소섬유강화 플라스틱은 모재의 경화과정이 필요 없어 복합소재 성형품의 생산성을 높일 수 있으나 모재의 높은 용융온도와 점도로 인하여 보강재와 모재사이의 합침과정이 어렵다는 단점을 지니고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 필름합침 공정(film impregnation process)과 섬유합침공정(co-mingled fiber impregnation process) 등의 열가소성 플라스틱을 보강재에 쉽게 합침 시키기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다<sup>5)</sup>.

따라서 본 논문은 기존의 성형법과 다르게 생산성이 우수한 사출성형 공법을 응용하여 연속섬유를 이용한 열가소성 탄소섬유강화 플라스틱 제조과정에 대한 연구를 진행하였으며, 사출/압축 성형공정을 이용한 복합소재 성형품의 인장강도 평가를 통해 기계적 물성평가를 진행하였다.

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 금형기술그룹

† 교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 금형기술그룹  
E-mail : birdlee@kitech.re.kr

## 2. 단순 압축 성형실험

모재인 열가소성 플라스틱과 탄소섬유 패브릭 사이의 합침률과 탄소복합소재의 기본적인 기계적 물성 데이터를 확보하기 위하여 유압프레스를 이용한 단순 압축 성형실험을 진행하였다. 유압프레스 성형실험은 기존의 고분자 필름을 이용하는 성형법과는 다르게 사출성형에 사용되는 플라스틱 펠렛을 모재로 사용하였다. 프레스 성형에 사용되는 금형구조는 Fig. 1(a)과 같으며 상온에서 고체 상태인 플라스틱 펠렛을 녹이기 위한 히터와 제품 냉각을 위한 냉각 채널이 설계하였다. 금형 캐비티는 가로, 세로, 두께가 각각 200mm, 100 mm, 1.5 mm인 평판 형태이며, 탄소섬유 패브릭과 모재를 Fig. 1(b)과 같은 구조로 핸드 레이업 방식으로 적층하여 성형하였다.

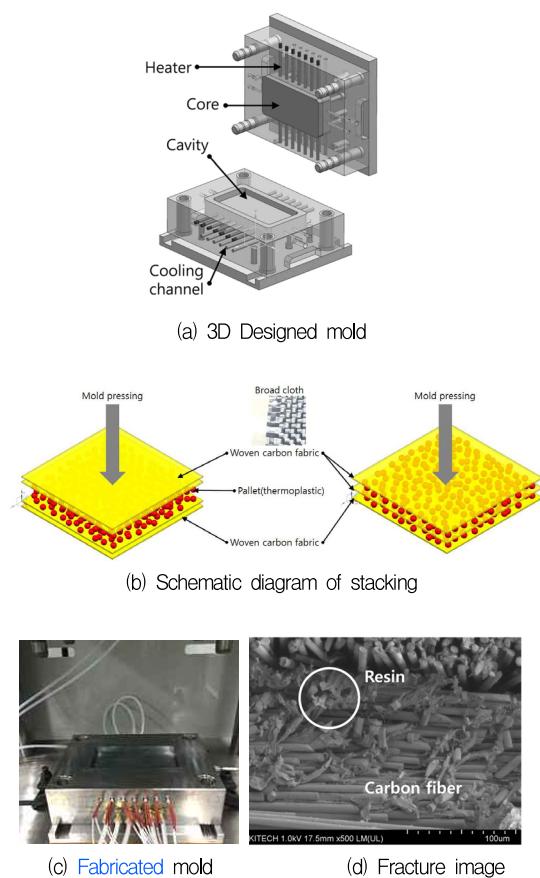


Fig. 1 Designed mold system(a), impregnation structure of pellet(b), mold system(c), and cross sectional SEM image(d)

보강재는 한국카본의 CF3327(평직) 모델을 사용하였으며, 모재는 LG 화학의 PP(M1850) 모델을 사용하였다. 성형 시 삽입되는 탄소섬유 패브릭 layer 수를 늘려주어 탄소섬유 체적분율을 증가시켜며 성형을 진행하였다. 압축성형실험에 사용된 금형은 Fig. 1(c)과 같다. 제품 내부에서의 모재의 합침여부를 판단하기 위하여 성형품 단면에 대한 SEM 측정을 진행하였으며 Fig. 1(d)과 같이 제품 내부의 탄소섬유 사이에 모재가 합침 되어 있음을 확인할 수 있다. 탄소섬유 체적분율에 따른 복합소재의 기계적 물성 데이터를 확보하기 위하여 성형품에 대한 인장시험을 진행하였다. 복합소재의 체적분율을 이용하여 예측하는 일반적인 방법은 Voigt과 Reuss의 혼합법칙이 있다<sup>6)</sup>. 체적분율에 따른 성형품의 인장시험 결과는 Fig. 2와 같으며, 삽입되는 탄소섬유 패브릭 수의 증가에 따른 탄소섬유의 체적분율이 0.249, 0.368, 0.466으로 증가함에 따라 복합소재의 인장강도가 각각 84.6 MPa, 144.7 MPa, 179.3 MPa로 증가함을 확인 할 수 있다. 반면 상대적으로 연신율은 감소함을 볼 수 있다.

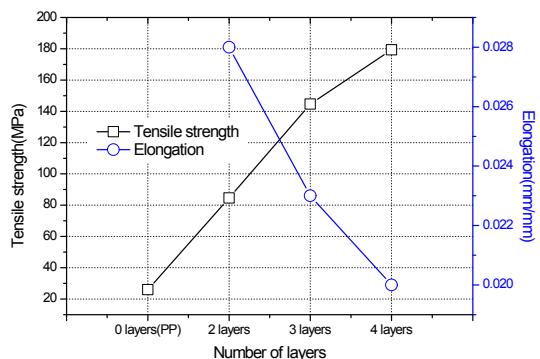


Fig. 2 Comparison of tensile strength and elongation of PP composites with the variation of carbon fabric layer numbers

## 3. 사출/압축 성형실험

보강재로 탄소섬유 패브릭을 사용하여 성형할 경우 직조된 탄소섬유 사이의 공극을 통하여 모재의 합침이 일어나게 된다. 이러한 모재의 합침과정을 기준 광학 제품에서의 미세패턴을 성형하는 과정과 유사하다고 생각되어 미세패턴을 성형하는 공정 중 하나인 사출/압축 공정을 이용하여 복합소재 성형실험을 진행하였다<sup>7)</sup>. 사출/압축 성형의 경우 수지의

충전 단계에서 금형 사이의 간격을 일반 사출성형 보다 넓게 가져갈 수 있으며 압축 공정을 추가로 거치기 때문에 일반 사출성형보다 보강재에 모재를 함침 시키기 용이하다는 장점을 가지고 있다. 복합소재 성형용 사출/압축 금형의 구조는 Fig. 3(a)과 같으며 탄소섬유 패브릭을 금형 벽면에 고정시키기 위한 코어핀이 캐비티 내부에 존재한다. 복합소재 성형과정은 Fig. 3(b)와 같이 탄소섬유 패브릭을 양쪽 금형 캐비티 내부에 고정시킨 후 금형을 살짝 열어놓은 상태에서 사출과정을 거치며, 사출 후 코어가 전진하여 성형품을 압축하는 과정으로 진행된다.

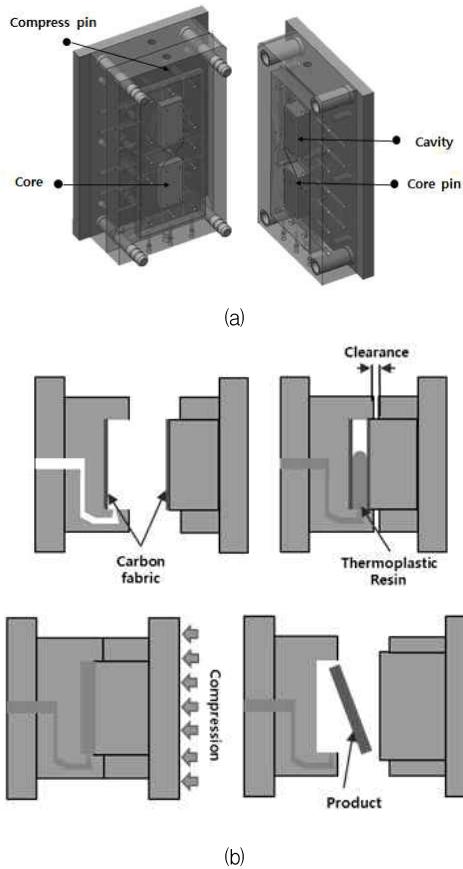


Fig. 3 Designed mold(a) and schematic diagram of injection/compression molding process(b)

사출/압축 성형공정을 이용하여 패브릭 2장이 삽입된 복합소재를 성형하였으며, 탄소섬유 패브릭을 금형에 삽입하는 시간까지 고려하더라도 5분 이내의 시간으로 제품성형이 가능하였다. 성형실험 결과, 성형품 표면에 일부 수지가 함침되어 나옴을 확

인할 수 있었으나 표면의 모재 함침률이 낮아 Fig. 4 와 같이 성형품 표면에 패브릭이 노출되는 현상이 발생하였다.

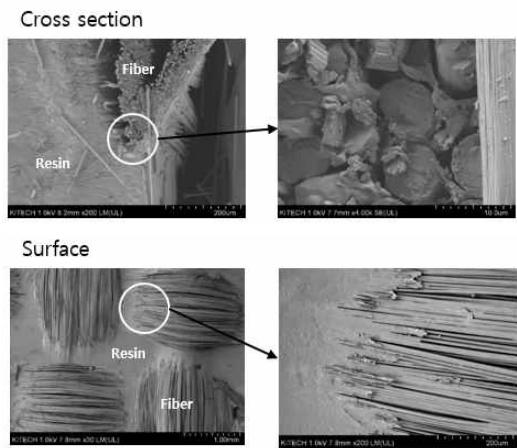


Fig. 4 SEM images of PP composite for injection/compression molded specimens

이는 사출/압축 금형의 경우 프레스 금형보다 금형의 온도가 낮기 때문에 금형 벽면에 빠르게 생성된 고화층에 의해 모재의 함침저하 현상이 발생하였다고 생각할 수 있다.

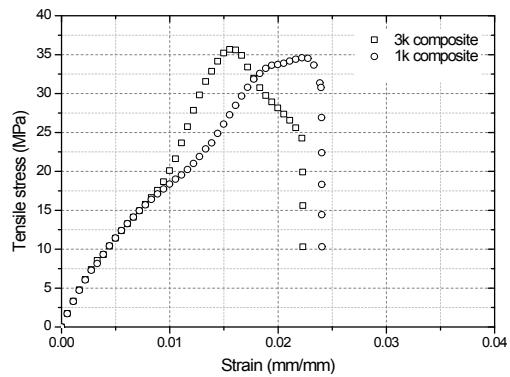


Fig. 5 Strain-stress curves for composites types with injection/compression molding process

사출/압축 성형품의 인장시험결과는 Fig. 5와 같이 3K 복합소재는 35.7 MPa, 1K 복합소재는 34.6 MPa의 인장 강도를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 사출/압축 성형품의 경우 표면의 낮은 함침률로 인하여 유압프레스 성형품보다 더 낮은 인장강도 값을 가지게 된다. 그러나 유압프레스 성형품의 인장강도 결과와 달리 두 사출/압축 성

형품이 비슷한 인장강도 값을 가지는데, 이는 1K 복합소재에 사용된 CF1114 패브릭의 공극비율이 3K 복합소재에 사용된 CF3327 패브릭 보다 크기 때문에 성형품 표면에서의 단위 면적당 모재의 합침률이 우수하여 1K 복합소재의 탄소섬유 체적분율이 낮음에도 불구하고 두 성형품이 비슷한 인장강도를 보인다고 생각할 수 있다.

#### 4. 결론 및 토의

본 논문에서는 유압프레스 압축 공정과 사출/압축 공정을 이용하여 복합소재를 성형하였으며 성형품에 대한 인장강도 테스트를 진행하였다. 유압프레스를 이용한 단순 압축 성형실험의 경우 복합소재 내부의 탄소섬유 체적분율이 0.249, 0.368, 0.466일 때, 성형품의 인장강도는 각각 84.3 MPa, 144.7 MPa, 179.9 MPa로 탄소섬유 체적분율을 증가에 따른 성형품의 인장강도 증가를 확인할 수 있었다. 사출/압축 성형품의 경우 1K 복합소재가 3K 복합소재보다 약 50% 낮은 탄소섬유 체적분율을 가졌음에도 불구하고 두 성형품의 인장강도가 약 35 MPa의 비슷한 값을 보였는데 이는 CF1114 패브릭의 더 큰 공극률로 인한 1K 복합소재의 표면 합침률이 더 우수하기 때문이라고 생각할 수 있다. 따라서 사출/압축 공정을 이용한 복합소재 성형 시 복합소재 내부의 탄소섬유 체적분율 뿐만 아니라 성형품 표면에서의 모재의 합침률도 고려해 주어야 한다는 사실을 알 수 있으며, 성형품 표면의 합침률 개선에 따른 성형품의 기계적 물성 개선의 효과를 예상할 수 있다.

#### 후기

본 연구는 한국생산기술연구원의 RCOE 육성사업(EO160030) 및 산업통산자원부 산업핵심기술개발 사업(KM160124)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) Cole, G. S. and Sherman, A. M., "Light weight materials for automotive applications", Mater. Charact, Vol. 35, pp. 3, 1995.
- 2) Johnston, N. J. and Hergenrother, P. M., "High Performance Thermoplastic: A Review of Neat Resin and Composite Properties", SAMPE symp, Proc, 32nd Int, pp. 1400, 1987.
- 3) 신의재, 이동주, "Fabric 형태에 따른 열가소성수지 적층복합재료의 성형성", 대한기계학회 논문집 A 권, Vol. 27, No. 8, pp. 1338-2003, 2003.
- 4) 김진우, 이동기, "섬유배향과 섬유함유량이 섬유강화 열가소성수지 복합재료의 인장강도에 미치는 영향", 한국복합재료학회지, Vol. 20, No. 5, pp. 13-19, 2007.
- 5) 김성태, "열가소성 고분자 복합재료 개발동향", Polymer Science and Technology, Vol. 24, No. 1, pp. 25-28, 2013.
- 6) 유원형, 임재혁, 김선원, 김선원, 김성훈, 황도순, "섬유강화 복합재료 등가탄성계수 예측과 복합재료 위성페널의 구조해석", 한국항공우주학회 학술 발표회 논문집, pp. 644-648, 2013.
- 7) 조성우, 윤경환, 강정진, "사출/압축 및 RHCMP 기술이 7인치 도광판 마이크로패턴 형상 및 전사성에 미치는 영향에 대한 실험적 연구", 단국대학교 일반대학원 석사학위 논문, pp. 13-14, 2010.