3D프린팅용 고강도 복합소재 필라멘트 소재

성균관대학교 서종환 교수

Summary

산업기술분류	대분류	중분류	소분류	코드번호
	기계 소재	금속재료	기계/전자부품 소재기술	101005

기술완성도 (TRL)	① 기본원리 파악	② 기본개념 정립	③ 기능 및 개념 검증	④ 연구실 환경 테스트	⑤ 유사환경 테스트	⑥ 파일럿 테스트	⑦ 상용모델 개발	⑧ 실제환경 테스트	⑨ 사업화
				◆					

기술 요약	■ 기존 상업용 복합소재 필라멘트의 기계적 물성이 저하되는 원인을 파악하고, 모델링 기반의 복합소재 설계와 필라멘트 제작에 요구되는 공정 변수에 대한 고려를 통해 기계적 물성이 향상된 고강도 3D 프린팅용 복합소재 필라멘트 제작			
키 워 드	■ 3D 프린팅, 복합소재 설계, 필라멘트, 유리섬유, 섬유길이			
연 구 자	■ 성균관대학교	서종환 교수		
담 당 자	■ 성균관대학교	조은화 선임	031-290-5085	ehjoe@skku.edu
	■ 과학기술일자리진흥원	김용기 매니저	02-736-9051	ykkim@compa.re.kr

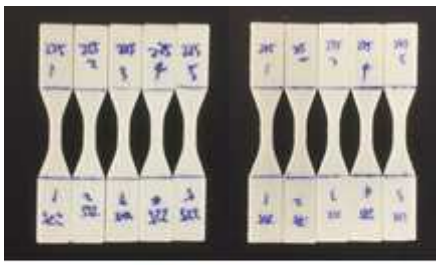
Patent / paper / product

특허	■ 국내 출원 1 건	■ 국내 등록 - 건	■ 해외 특허 - 건
	국내출원	10-2014-0054108	초경량 및 고강도의 복합물 및 그의 제조방법

시제품



225/235°C extruded GF/ABS filaments



3D Printed tensile specimen

Technology

기술 개요

■ 현재 시장에서 사용되고 있는 상업용 복합소재 필라멘트의 기계적 물성의 한계는 3D 프린팅 기술의 보급 및 확산에 장애요소 중 하나로 손꼽히고 있음.

■ 본 기술은 섬유 강화 복합소재의 기계적 물성을 좌우하는 설계 인자인 **섬유의 길이, 함량, 배향정도 등을 확인하여 복합소재의 기계적 물성 모델링**을 통해 효율적인 섬유 길이를 도출하고, 필라멘트 제조 공정상의 변수를 조절하여 **기계적 물성이 강화된 3D 프린팅 소재를 제조**하는 기술임.

기술개발 현황

■ **(기존기술의 문제점)** 기존 상업용 CF/ABS 필라멘트(3DXTech Co.)는 복합소재 내 CF 함량이 15 wt% 임에도 불구하고 인장강도의 경우 평균 26.64 MPa, Young's modulus의 경우 2.54 GPa, Elongation at break의 경우 1.39%로 **기계적 물성이 매우 취약**함. 해당 필라멘트를 열분해 시킨 후 잔존 섬유 길이를 확인해본 바, 평균 길이 63.3 um로 복합소재 내 길이가 100um 이하인 Milled fiber 수준의 CF가 대부분 포함되어 있었으며 이로 인해 기계적 물성이 저하되고 있음이 확인됨.

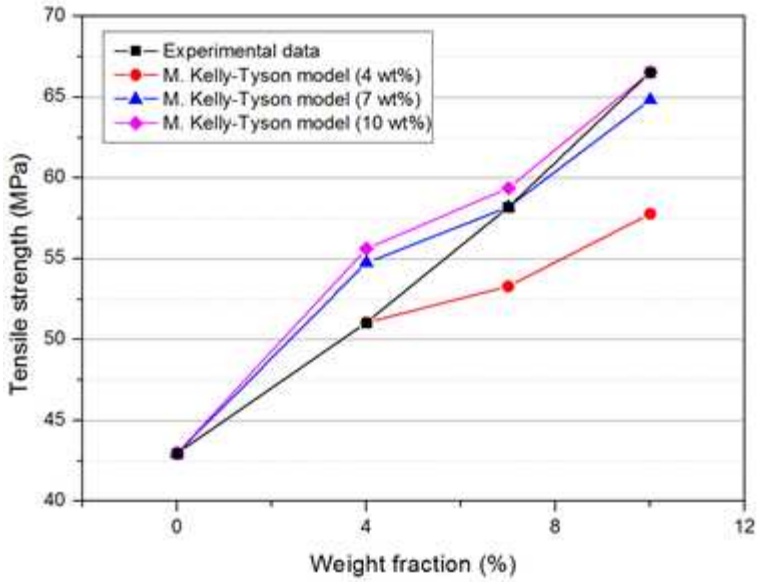
■ **(본 기술의 해결방안)** CF에 비해 다양한 Grade 확보가 용이한 GF, Glass fiber (ECS03T-187H (L: 3mm, d: 10um), NEG Co.)와 사출용 ABS (HF380, LG Chem. Co.)를 활용하여, GF와 ABS 각각의 기계적 물성 파악 후 섬유 함량에 따른 복합소재 인장강도 변화에 대해 식 (1)을 사용하여 모델링 기반의 임계 길이 도출을 진행함.

$$s_L^{(+)} = D\left[\sum_{l_i=l_{min}}^{l_i=l_c} \frac{n_i v_f s_{f1}^{(+)} l_i}{2l_c} + \sum_{l_j=l_c}^{l_j=l_{max}} s_{f1}^{(+)} n_j v_f \left(1 - \frac{l_c}{2l_j}\right)\right] + (1 - v_f) s_{mf1}^{(+)} \quad (1)$$

임계 길이(lc)는 복합소재 내에서 섬유가 기지재로부터 하중을 효율적으로 전달받을 수 있는 최소 섬유 길이로 Kelly-Tyson model에 의해 식 (2)와 같이 나타낼 수 있음.

$$L_c = \frac{ds_{f1}^{(+)}}{2\tau_y} \quad (2)$$

■ 10 wt.% GF/ABS 복합소재의 설계 인자를 바탕으로 도출한 임계 길이인 912 um를 다른 함량에 적용했을 때 가장 실험값에 근접한 결과를 나타냄을 확인하였고, 912 um가 GF/ABS 복합소재의 임계 길이에 가장 근접할 것이라고 예측함.



■ 또한 잔존 섬유 길이 증가를 위해 공정 온도를 변화시켜가며 GF/ABS 복합소재 필라멘트를 제작하였고, 앞서 검증한 임계 길이가 필라멘트 내에서 유지되는지를 확인함.

■ 그 결과 잔존 섬유 길이가 임계 길이에는 못 미쳤으나 필라멘트 제조 공정 온도를 향상시킴에 따라 잔존 섬유길이가 향상되었고, 3D 프린팅된 인장시편의 인장강도 또한 향상됨을 확인함.

기술 우수성

■ 본 연구를 통해 복합소재 설계 인자에 대한 분석을 통해 복합소재 내의 임계 길이를 확인했고, 필라멘트 제조 시의 **공정조건이 섬유 길이 및 기계적 물성에 미치는 영향** 확인

■ CF보다 저렴한 GF를 활용하여 3D 프린팅 소재의 기계적 물성을 향상시켰을 뿐만 아니라 본 연구에서 분석했던 현재 시중에서 **판매 중인 상업용 CF/ABS 복합소재 필라멘트에 비해 인장 강도의 경우 1.7배 이상 증가**됨.

Application

■ 복합소재의 기계적 물성을 모델링하고, 임계 길이를 도출하는 기술은 **3D 프린팅 분야** 뿐만 아니라 **복합소재가 활용되는 다양한 산업 분야**에 전반적으로 적용이 가능한 기술로 향후 더욱 각광받을 수 있을 것으로 기대됨.

■ **고품질의 고강도 복합소재 필라멘트 개발**로 기존의 3D 프린터용 필라멘트의 품질향상을 통한 시장 경쟁력 강화가 가능하며, 직접적인 FDM 3D 프린터용 필라멘트 수요 기업 연계를 통한 매출 창출이 가능.

Market

■ **(국내)** 3D 프린팅 장비중심 시장으로 소재는 도입기 상태로 해외수입에 의존도가 높음

- 2014년 국내 3D 프린팅 산업 매출액 중 소재분야는 14%임. 국내 3D 프린팅용 열가소성 수지 시장은 2013년 10.1t에 불과했으나 저가형 FDM 3D프린터 보급으로 수요급증 예상
- 기술적 태동기인 시점에서 소재 개발 기술의 국산화가 요구됨.

■ **(해외)** 3D프린팅 소재시장은 연평균 15%로 2020년까지 약 1억 4천만 달러 규모 성장 전망

- 이 중 **광중합 방식**(SLA, Stereolithography)에 주로 사용되는 광경화성 플라스틱과 **재료압출 방식**(FDM, Fused Deposition Modeling)에 사용되는 열가소성 플라스틱 전체 **3D 프린팅 소재 시장의 95% 이상을 차지**하고 있음
- 이에 따라 플라스틱 기반의 섬유와 입자 복합소재 또한 새로운 3D 프린팅 소재로서 각광받을 것으로 예상됨.

