

캡슐 구조 설계를 통한 등방성 FDM 3D 프린팅 자가치유 캡슐의 제작 및 분석

Fabrication and analysis of isotropic FDM 3D printing self-healing capsules through capsule structure design

송원일¹ · 아르만도² · 이자성³ · 지동민³ · 김성훈⁴*

Song, Won-Il¹ · Ramos-Sebastian, Armando² · Lee, Ja-Sung³ · Ji, dong-min³ · Kim, Sung-Hoon⁴*

Abstract

PLA 3D printed capsule of FDM method has advantages of mass production and low cost. However, it has a different strength depending on the direction in which it is laminated. In this paper, structural design of several capsules, FEM analysis, and Compressive strength tests were conducted. As a result, the proposed capsule has a strong load of up to 217.9% compared to general capsule without a reinforcing structure.

키 워 드 : 3d프린팅, 자가치유, 캡슐구조, 압축강도

Keywords : 3d printing, self healing, capsule structure, compressive strength

1. 서 론

자가치유는 화학 제조 방법으로 액상을 제작한다. 이를 폴리머 형태로 캡슐화하고, 콘크리트에 첨가하여 균열을 치유함으로써 구조물의 지속 가능한 사용을 가능하게 한다[1]. 본 연구는 Fused deposition modeling(FDM) 방식의 프린팅 기법을 이용하여 캡슐을 제작한다. FDM 방식은 출력구조가 단순하고, 다양한 구조 및 크기로 출력 가능하여 높은 구조적 재현성을 가진다. 하지만 적층되는 방향에 따라 캡슐의 강성에 차이가 발생하는 문제점이 있다[2]. 이를 캡슐의 내부 구조 변경을 통해 캡슐의 등방성을 개선하였다.

2. 재료 및 실험방법

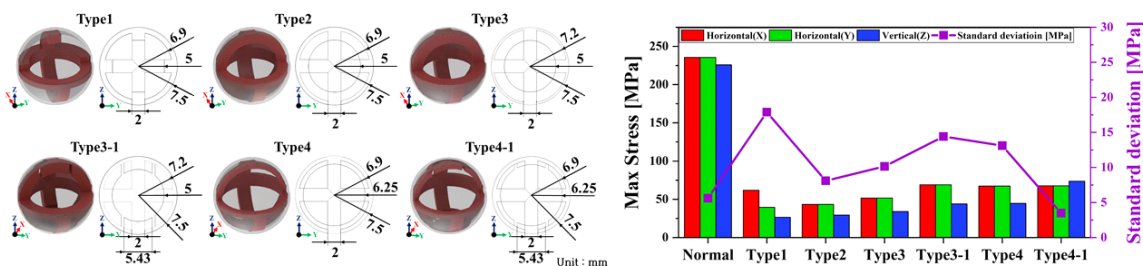


그림 1. 6가지 캡슐에 대한 모델링 및 FEM 시뮬레이션 결과

본 연구는 다양한 내부 구조를 가지는 6가지 캡슐을 모델링 하였다. 모든 캡슐은 Tough PLA 재료를 이용하여 제작하였다. Type3-1 및 Type4-1캡슐은 Z축 방향의 홈을 추가하여 레이어가 적층되는 Z축 방향으로 힘이 발생하였을 때 캡슐의 변형이 더욱 쉽게 이루어질 수 있는 구조를 가진다. 그림 1과 같이 캡슐에 대한 Finite element method(FEM) 결과를 보았을 때, Type4-1캡슐이 등방성 특성을 가지는 것을 볼 수 있다. 이를 바탕으로 캡슐에 대한 압축강도 실험을 진행하였다.

1) 원광대학교, 석사과정
2) 전북대학교, 박사과정
3) 원광대학교, 박사과정
4) 원광대학교, 교수, 교신저자(kshoon@wku.ac.kr)

3. 실험 결과

그림 2는 모든 캡슐에 대한 압축강도 실험 결과 및 그래프를 나타내었다. Z축 방향의 흠이 없는 Type1, Type2, Type3, Type4 캡슐의 Z축 방향에 대한 압축강도 실험 진행결과 캡슐은 파단되지 않고 지속적인 변형이 발생하였다. 이는 캡슐 내부에서 치유액의 누수 유무를 확인할 수 없다. 하지만 Z축 방향의 흠이 추가된 Type3-1, Type4-1 캡슐은 흠 구조에 의해 2번의 변형이 먼저 발생하게 되고 캡슐 내부 압력이 증가하여 내부 치유액이 새어 나오게 된다. 종합하면, Type4-1 모델이 XY축 방향과 비슷한 Load를 Z축 방향으로 가했을 때도 내부 치유액의 유출이 가능한 캡슐 모델인 것을 확인할 수 있다.

표 1. 캡슐의 무게 및 파단 또는 변형 지점

Type	Direction	Weight [g]	Displacement [mm]	Load [N]
Normal Type	X,Y axis	0.41	4.272	159.789
	Z axis		3.942	243.753
Type1	X axis	0.86	1.778	525.288
	Y axis		3.214	457.803
Type2	X,Y axis	0.99	2.400	703.007
	Z axis		-	-
Type3	X,Y axis	0.87	1.608	516.835
	Z axis		-	-
Type3-1	X,Y axis	0.87	3.751	327.869
	Z axis		1.011	129.459
Type4	X,Y axis	0.75	3.221	350.128
	Z axis		-	-
Type4-1	X,Y axis	0.75	3.206	348.142
	Z axis		3.730	434.185

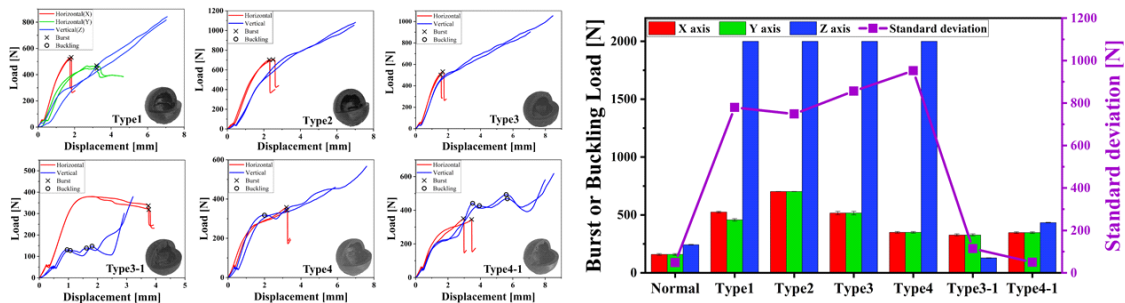


그림 2. 캡슐의 압축강도 실험 및 결과

4. 결론

기존의 FDM 프린팅 방식의 캡슐의 이방성 문제를 해결하기 위해 다양한 캡슐의 내부 구조를 설계하고 시험기를 통해 압축 강도 실험을 진행하였다. 캡슐이 적층되는 Z축 방향으로 변형이 쉽게 일어날 수 있는 흠 구조를 추가했을 때 캡슐의 등방성이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, XY 축 방향과 Z축 방향에서의 압축강도 특성이 같지 않은 문제가 있어 캡슐 출력 매커니즘 및 내부 구조 개선에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 2022년 한국연구재단 기초연구실 지원사업 (과제번호:2020R1A4A3079595)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Tittelboom K, De Belie N. Self-Healing in Cementitious Materials—A Review. *Materials* 2013. 6, 2182-2217
2. Choi, S.-J., Kim, J.-H., Jeong, H., Lee, J.-S., Lim, T.-U., Ko, H.M., Kim, S.H., Jung, W. Simulated and Experimental Investigation of the Mechanical Properties and Solubility of 3D-Printed Capsules for Self-Healing Cement Composites. *Materials* 2021, 14, 4578