

등방 파괴 강도를 갖는 캡슐 설계 및 제작

Design and fabrication of capsules with isotropic destruction intensity

임태욱¹ · 성호¹ · 호걸¹ · 왕수러¹ · 정원석^{2*}

Lim, Tae-Uk¹ · Cheng, Hao¹ · Hu, Jie¹ · Wang, Shu-Le¹ · Jung, Won-Suk^{2*}

Abstract

3D printer-based self-healing capsules have been proposed to heal cracks by enabling various structural designs, repeatable fabrication, and strength analysis of the capsules. The Fusion Deposition Modeling (FDM) method was used to design, analyze, and produce new self-healing capsules that are widely used at low cost. However, PLA extruded from FDM has low interlayer adhesion energy, and thus strength varies depending on the angle of load applied to the laminated layer and the concrete structure, thereby degrading the performance of the self-healing capsule. Therefore, in this paper, the structure of the capsule manufactured by the FDM PLA method has isotropic strength was designed. In addition, the fracture strength in the x, y, and z directions of the load applied through the compression test was analyzed. As a result, it was confirmed that the newly proposed capsule design has an isotropic fracture strength of 1400% in all directions compared to the existing spherical thin-film capsule.

키 워 드 : 3D 프린팅, 적층가공, 자가치유 캡슐

Keywords : 3D-printing, fusion deposition modeling, self healing capsule

1. 서 론

콘크리트 구조물의 안전성을 높이기 위해 균열의 자가치유 캡슐에 대한 많은 연구가 수행되었다. 기존에는 유리 캡슐을 치료제의 캡슐화에 널리 사용해 왔지만 시멘트 제조 공정에서 파손이 많이 일어나 보호를 위한 추가 구조물이 필요하다는 단점이 있다[1]. 이를 해결하기 위해 젤라틴과 폴리우레탄 등의 물질을 기반으로 한 다양한 재료의 캡슐 생산이 연구되었다[2]. 그러나 대부분의 캡슐은 화학 제조 방법 의존한다. 이런 제조법의 경우 캡슐의 재현성이 현저히 낮다. 이러한 문제를 보완하기 위해 3D 프린터를 사용한 자가치유 캡슐을 제안한다. 이 폴리머 기반 재료의 3D 프린팅 기술은 고강도, 저비용, 복잡한 기하학적 구조와 같은 장점 때문에 빠르고 비교적 정확한 모델을 얻을 수 있는 잘 알려진 방법이다. 그 뒤를 이어 분말층 용접, 용접 적층 모델링(FDM), Poly-jet 인쇄와 같은 여러 가지 3D 프린팅 방법 중 FDM 방법은 고속, 저비용, 정밀한 제조로 널리 사용되고 있다. 3D 프린팅의 경우 재현성과 균질성이 매우 높고 형상의 자유도가 매우 높다. 이러한 장점을 고려하여 FDM 방법을 사용한 3D 프린팅 기술에 기반한 새로운 자가치유 캡슐을 제안한다.

2. 연구방법

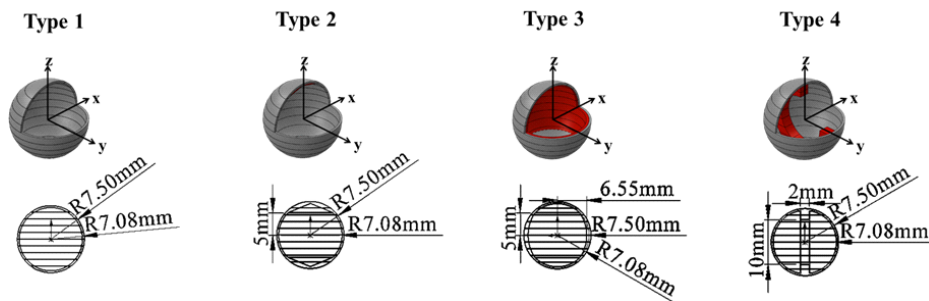


그림 1. Type 1~4 캡슐의 구조와 부위별 치수

1) 충남대학교, 기계공학과

2) 충남대학교, 교수, 교신저자(wonsuk81@cnu.ac.kr)

그림 1과 같은 4가지 구조의 직경 15mm 크기의 캡슐을 노즐 직경과 온도를 0.4mm, 210°C로 레이어 높이 0.06mm, 속도 50mm/s로 ultimaker사의 ultimaker2+로 프린팅 했다. 캡슐의 압축은 기존 연구의 캡슐 강도 측정 방법을 참고하여 평판 사이에 캡슐을 놓고 10mm/s의 속도로 압축을 진행했다[3].

3. 실험결과

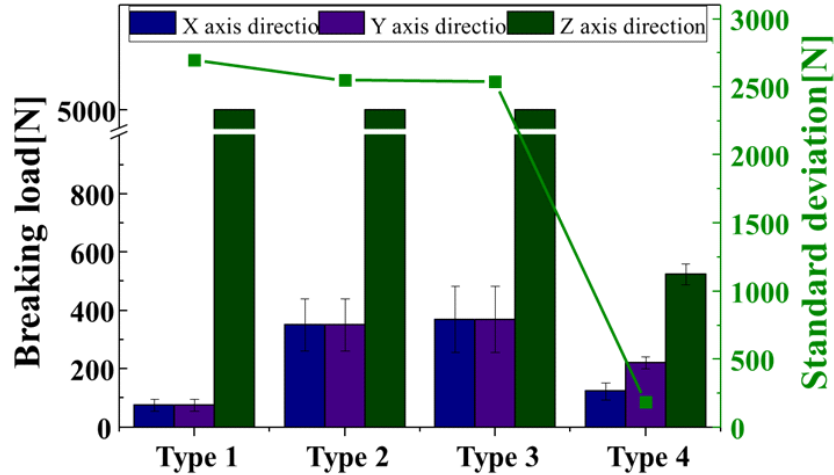


그림 2. Type 1~4 캡슐의 방향별 압축 강도 및 표준편차

그림 2는 각 타입의 X,Y,Z축 방향으로 3번씩 압축한 캡슐의 터지는 하중의 평균과 표준편차를 나타낸 그래프다. Type1,2,3은 z축 방향에서 터지지 않아 압축 시험 장비의 최대 측정값인 5000N으로 나타났다. Type1은 X,Y축 압축에서만 76.03N(±21.25)에서 파단이 일어났다. Type2는 X,Y축 압축에서만 351.23N(±88.5)에서 파단이 일어났다. Type3은 X,Y축 압축에서만 351.23N(±88.5)에서 파단이 일어났다. Type3은 X,Y축 압축에서만 396.4N(±113.87)에서 파단이 일어났다. Type4는 X축 압축에선 123.3N(±30.28)에서 파단이 일어나고, Y축 압축에선 221.3N(±19.66)에서 파단이 일어나고, Z축 압축에선 525N(±35)에서 파단이 일어났다. X,Y,Z축 방향 압축 한 9개의 캡슐의 표준편차는 Type1이 2697, Type2가 2546.8, Type3이 2537.3, Type4가 183.1로 type4가 가장 작은 표준편차를 가진다. 이는 Type4가 가장 등방성 강도를 가지는 캡슐에 가까운 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

3D 프린터 기반의 자가 치유액 캡슐을 등방성 강도를 갖도록 설계한 4가지의 캡슐을 압축한 시험을 통해 검증하였다. Type 1~3은 Z축방향 압축에선 파괴되지 않았고, Type4는 모든 방향에서 파단이 일어났다. X,Y,Z축 방향으로 3번씩 압축한 Type 1~4의 표준편차는 2697, 2546.8, 2537.3, 183.1로 type4가 가장 작은 결과를 보였다.

감사의 글

본 논문은 2022년 한국 연구재단의 기초연구실사업(과제번호: 2020R1A4A3079595)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Dong, B.. Self-healing features in cementitious material with urea-formaldehyde/epoxy microcapsules. Constr. Build. Mater. 2016. 608-619 p.
2. Joseph, C.. Experimental investigation of adhesive-based self-healing of cementitious materials. Mag. Concr. Res. 2010. 831-843 p.
3. W,W. Feng. On the Contact Problem of an Inflated Spherical Nonlinear Membrane. Journal of Applied Mechanics. 1973. 209-214 p.