

3차원 격자구조의 형상과 상대밀도에 따른 응력 분포 연구

안아인*, 이준성**, 조성규*
*경기대학교 일반대학원 기계공학과
**경기대학교 기계시스템공학과
e-mail:jslee1@kyonggi.ac.kr

A study of stress distribution according to the shape and relative density of the 3D lattice structure

Ah-In An*, Joon-Seong Lee**, Seong-Gyu Cho*
*Dept. of Mechanical System Engineering, Graduate School, Kyonggi University
**Dept. of Mechanical System Engineering, Kyonggi University

요약

기존의 가공방법과는 달리 적층가공의 경우 다양한 형상과 경량화 등에 있어 다양한 이점이 있다. 특히 내부 채움을 할 때 내부에 어떤 격자 구조를 구성하는가에 따라 제품의 기계적 물성이 달라질 수 있다. 이에 본 연구에서는 기존에 주로 사용하는 방식인 2차원 격자구조가 아닌 3차원 격자구조의 형상에 따라 하중이 가해질 때 여러 격자구조에서 발생하는 응력 분포를 확인하고, 이를 각 격자구조의 상대밀도에 따라 어떠한 성질과 경향을 가지는지 확인하고자 한다.

1. 서론

전통적인 절삭가공이나 주물제작의 경우는 단순한 형상의 제품은 짧은 시간에 대량생산이 가능하지만 복잡한 형상의 제품은 생산비용이 매우 높아지거나 생산이 불가능한 경우도 발생한다. 이와 달리 최근에 관심을 받고 있는 적층가공의 경우 제품의 형상이 복잡한 경우에도 대부분 생산이 가능하며 기술의 발전으로 인해 적층가공의 가장 큰 단점인 표면의 굴곡도 많이 개선이 되어가는 추세이다[1]. 또한 전통적인 가공 방법과는 달리 적층가공은 동시에 여러 재료를 사용하여 제품을 생산할 수 있으며 제품의 내부에 일정한 패턴의 공동을 만들어 제품의 경량화와 특정 방향의 하중에 대한 고른 응력 분포를 얻을 수 있어서 절삭가공과 주물제작과는 다른 물성을 얻을 수 있게 한다[2].

현재까지의 적층가공의 내부 구조는 대부분 중력의 영향에 의해 2차원적인 형상을 주로 채택해왔다. 이는 대표적으로 단순 정사각형의 격자구조부터 해서 육각형의 허니콤 구조와 같이 적층방향에 수직인 방향에 대해 강한 강성을 유지하는 구조가 된다[3]. 하지만 대부분의 제품은 다양한 방향에서 하중을 받는 경우가 대부분이며 이는 곧 적층방향의 수직방향에 맞춰 제품을 생산하는 것은 한계가 발생한다는 것을 의미한다. 따라서 기존의 2차원 격자구조가 아닌 3차원 격자구조

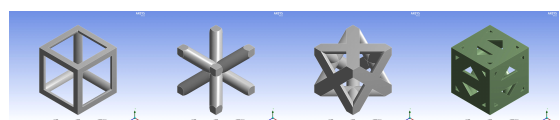
에 대한 연구의 필요성이 제기되었으며, 현재까지도 수많은 격자구조에 대한 구조해석이 수행되고 있다.

본 연구에서는 3차원 격자구조 중 가장 대표적인 브라베 격자구조를 기초로 색다른 형상의 격자구조를 모델링하여 응력분포를 확인하는 것으로 3차원 격자구조에 대한 응력분포와 거동을 확인하는 것으로 적층가공의 내부 채움의 형태를 다양화 할 수 있음을 확인하고자 한다.

2. 본론

2.1 3차원 격자구조 선정

3차원 격자구조 중 가장 대표적인 형상은 브라베 격자 구조이며, 이는 정육면체 형상의 단위체적의 각 꼭짓점에 노드를 형성하고 각 노드간의 최단거리를 잇는 스트럿을 배치하는 것으로 기본적인 형상이 만들어지게 된다. 이 때 필요에 의해 각 면의 중심 또는 단위체적의 중심에 새로운 노드를 추가하여 새로운 스트럿을 생성하는 것으로 격자의 구조가 바뀔 수도 있다.



[그림 1] 3가지 브라베 격자와 8NFC 구조의 격자

[그림 1]의 좌측부터 순서대로 단순 입방 격자(SC), 체심 입방 격자(BCC), 면심 입방 격자(FCC), 8노드 면 입방 격자(8NFC)이다.

8노드 면 입방 격자는 한 면의 네 꼭짓점과 더불어 각 모서리의 중심에 노드를 추가하여 한 면당 8개의 노드를 가지도록 모델링 한 격자이며, 이 때 한 쌍의 추가 노드를 잇는 스트럿을 추가하고 다른 한 쌍의 추가 노드는 잇지 않아서 격자 적층 방향에 따른 비등방성 특징을 추가한 형태이다. 본 연구에서는 추가 스트럿과 수직인 방향에 대해서만 관찰할 것이며, 이는 해당 방향으로 가해지는 힘에 대한 강도가 구조상 더 약할 것이라 예상되기 때문이다.

해당 구조들은 Inventor의 매개변수 기능을 활용하여 모델링하였으며, 이 격자들의 단위체적의 한 변의 길이(L)와 각 노드들을 잇는 스트럿의 지름(D)은 아래의 [표 1]과 같다.

[표 1] 각 격자들의 매개변수 값

	SC	BCC	FCC	8NFC
L	5 mm			
D	1.2 mm			

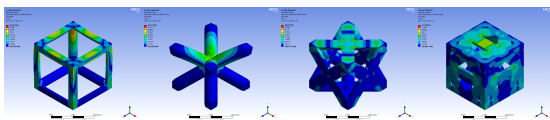
또한 각 격자들의 상대 밀도는 아래의 [표 2]와 같다.

[표 2] 각 격자들의 상대 밀도

	SC	BCC	FCC	8NFC
Relative Density [%]	19.361	40.951	48.245	77.141

2.2 3차원 격자구조의 응력분포

재질의 물성치는 일반적인 3D 프린터용 PLA 필라멘트를 적용하였으며, 매개변수 기능을 활용하여 모델링한 4가지의 격자 구조에 대해 수치적으로 가해지는 일정한 하중에 대한 응력 분포를 확인하였으며, 이 때의 하중과 결과는 [그림 2]와 [표 3]에 정리하였다.



[그림 2] 4가지 격자 구조에 대한 응력분포

[표 3] 4가지 격자 구조에 대한 하중조건 및 최대응력값

	SC	BCC	FCC	8NFC
Load	10 N (-y direction)			
Gravity	9.81 m/s ² (-y direction)			
Maximum Stress [MPa]	49.341	46.133	40.821	12.765

[표 4] 상대밀도에 따른 최대응력 비교

	SC	BCC	FCC	8NFC
Stress per RD [MPa]	9.553	18.892	19.694	9.847

[표 4]는 각 격자의 최대 응력값에 상대 밀도값을 곱하여 얻은 값을 비교한 것이며, 이는 단위격자 당 격자가 실제로 차지하는 부피에 비해서 어느 정도로 큰 응력이 발생하는지 나타낸다.

3. 결론

단일 격자 구조들에 대해 동일한 하중을 적용한 해석을 통해 네 개의 격자들 중 8NFC 격자 구조가 가장 고르게 하중을 분산시키면서 가장 낮은 최대응력을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 하지만 해당 결과를 상대밀도에 대해 고려한 수치로 바꾸게 되면 SC 격자구조가 가장 낮은 값을 나타낸다는 것을 확인할 수 있다. 이는 제품을 출력할 시 가장 적은 재료를 가지고 가장 경량화를 할 수 있는 구조는 SC 구조라는 것을 확인할 수 있다. 또한 흥미로운 사실은 SC, BCC, FCC 세 격자구조만 놓고 본다면 상대밀도가 높아질수록 발생하는 최대 응력값이 낮아지는 경향이 존재하지만, 격자 구조에 새로운 방법을 적용한 8NFC와 같이 상대밀도와 최대 응력값을 고려하였을 경우에도 더 뛰어난 기계적 특성을 가진 구조가 만들어 질 수도 있다는 것을 확인했다는 것이다. 이는 기존의 브라베 격자를 기초로 하여 제품의 특성에 맞는 3차원 격자 구조의 다양한 형태에 대해 연구할 필요성이 있음을 확인할 수 있었다.

이 연구 결과에 더해서 실제 해당 격자들의 인장시험 등을 통하여 해석에 사용할 방정식을 수정하고, 수정된 방정식을 사용하여 실제와 더욱 근접한 해석 결과를 얻을 수 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 경기도의 경기도 지역협력연구센터 사업의 일환으로 수행하였음. [GRRC경기2020-B02, 혁신형 지능제조시스템 연구]

참고문헌

- [1] 김범준, 이태홍, 손일선, “FDM 3D Printing 적층조건에 따른 기계적 물성의 연구”, 한국금형공학학회지, 제 12권 3호, pp. 19-24, 2018년.
- [2] 진지원, 정범균, 박응원, 강기원, “FDM방식의 3D 프린터

를 이용하여 제작된 격자 구조물의 좌굴 파손 거동 평가”, 대한기계학회 논문집, A권 44(8), pp. 589-595, 8월, 2020년.

- [3] 정인덕, 이용문, 정미리, 신보성, 강영창, “3D 프린팅 출력물의 격자 및 허니콤 구조에 따른 정적해석”, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, p. 20, 5월, 2016년.