

ABS 수지로 3D Printing 시 실험변수들의 영향

강용구*, 이태원*, 신근식**,#

*금오공과대학교 기계설계공학과, **금오공과대학교 대학원 기계설계공학과

The Influence of Experiment Variables on 3D Printing using ABS Resin

Yong-Goo Kang*, Tae-Won Lee*, Geun-Sik Shin**,#

*Department of Mechanical Design Eng., KIT UNIV.

**Department of Mechanical Design Eng., Graduate School, KIT UNIV.

(Received 5 January 2017; received in revised form 23 January 2017; accepted 20 February 2017)

ABSTRACT

Recently, the small quantity batch production method has come into the spotlight as there are more plastic processing methods. At the same time, the 3D printer market has become globally widespread due to expired 3D printer patents. In particular, the FDM method is widely used for cheap products and materials. However, the FDM scheme is not as good as the injection molding method for quality and strength. This study investigated the effect of the internal filling and strength according to layer thickness to search for the optimum printing of the factors (infill and layer thickness) that determine the strength of the model.

Key Words : 3D Printer(3차원 프린터), Infill(내부 채움), Infill Pattern(채움 패턴), Layer Height(적층 두께), Tensile Strength(인장강도)

1. 서 론

21세기에 들어서면서 미래 지향적이고 인체공학 적이며 보다 자연친화적이면서 생산성과 품질을 갖춘 제품에 대한 요구가 증대되고 있다. 소비자 요구(Customer Needs)가 다양해지면서 컴퓨터를 사용한 3차원 설계(3D Modeling)나 해석(Analysis)만으로는 제품의 완성도를 완벽하게 검증할 수 없다. 따

라서 제품을 양산하기 전에 3D 프린팅을 통해 시제품(Prototype)을 제작하여 완성도를 검증하는 것이 바람직하다. 시제품 제작뿐만 아니라 인체공학 및 우주공학측면에서의 부품제작에도 3D 프린터를 사용하는 방법을 검토하는 등 사용범위가 점차 확대되고 있는 실정이다. 특히 우주공학 측면에서는 폐쇄된 공간인 우주정거장에 지상에서 보급품들이 제 때 보급되지 않을 것을 대비해 원료를 제품으로 즉시 제작할 수 있는 3D 프린터에 대해 연구가 수행되고 있다.^[1]

현재 국내에서도 대다수의 3D 프린터에 대한 세

Corresponding Author : sks4615@naver.com

Tel: 010-9924-2578

계특허가 만료되면서 누구나 오픈소스를 이용한 다양한 방식의 3D 프린터를 개인이 제작, 운영할 수 있는 환경이 조성되어 다품종 소량생산에 적용되고 있으며 점차 사용범위가 확대되고 있다.^[2]

3D 프린터는 다양한 소비자의 욕구를 충족시키는 다품종 소량생산에 가장 특화된 제조방법으로 다양한 분야에서 활용할 수 있으나 아직까지는 많은 연구는 이루어지지 않은 분야이다.^[3]

3D 프린터를 사용하여 제작된 제품의 특성은 다양한 인자들에 의해 영향을 받는다고 볼 수 있는데 이에 관한 연구로는 Park 등의 Poly jet 방식의 적층별 물성평가 연구^[4]나 Choi 등의 FDM 방식에서 주로 쓰는 생분해성 친환경 소재인 PLA(Poly Lactic Acid)에 대한 물성치 연구^[5] 등이 있으나 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터의 소재로써 완구나 가구 및 전자기기 등에 많이 사용되는 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)수지를 사용한 연구는 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구는 3D 프린터로 제품을 제작 시 가장 중요시 하는 요소(강도, 품질 및 가격)별로 기본적인 기준을 제시하고자 하는 연구의 일환으로 우선 3D 프린터의 기본이 되는 Mendel I2 기종을 사용하여 ABS 수지를 주재료로 프린팅 시 내부 채움, 적층두께 및 적층기울기가 강도와 품질에 미치는 상관관계를 조사, 연구하고자 한다.

2. 3D 프린터의 구동방식과 프로그램

2.1 3D 프린터

대다수 3D 프린터의 원리는 평면에 그림을 그리듯 2D로 모양을 내고, 그 위를 적층해 가며 쌓아 올라가거나 재료를 덧붙이는 형태로 모델을 생성해 간다. 일반적으로 CNC(Computerized Numerically Control)와 같이 재료를 절삭하여 모델을 만드는 것이 아니기 때문에 표현하기 어려운 부분까지 제작이 가능하게 해준다. 다만 재료를 수지에 국한되어야 한다는 점에서는 개발단계에 놓여있다고 볼 수 있다.

3D 프린터는 1987년 3D System사에서 최초로 개발된 광조형 장치(Stereo Lithography Apparatus,

SLA)로 쾌속 조형(Rapid Prototyping)이라고 불려졌다. 이후 2007년 미국 ASTM F42 위원회에서 부가 가공(Additive Manufacturing, AM)이라는 명칭을 사용했으며, 오늘날 일반적으로 3D 프린팅(Three-Dimensional Printing, 3DP)으로 많이 알려지면서 학계에서는 두 용어를 혼용해서 사용하고 있다.^[6]

3D 프린터의 기본적인 적층방식은 플라스틱을 고온에서 녹여 한 층씩 쌓아 올라가는 방법이며 FDM 혹은 FFF(Fused Filament Fabrication)방식이라고 한다.

Fig. 1은 Mendel사의 FDM방식의 초기 모델로서 3D 프린터의 원형이라 볼 수 있다. 본 연구에 사용한 Prusa Mendel I2는 재료가 용융되어 사출되는 노즐부가 x축으로, 출력물이 적층되는 베드부가 y, z축으로 움직이는 Direct Mendel 방식으로 x, y, z축으로 움직이면서 제품의 3차원 출력이 가능하다. 전체 크기가 400×400×500(mm³)이고 제작 가능한 크기로 200×200×100(mm³)까지 출력이 가능한 제품이다.

FDM방식의 경우, 값싼 제품과 재료로 일반인들도 쉽게 다룰 수 있으며, 소프트웨어 프로그램도 복잡하지 않아 3D 프린터 시장에서 대다수를 차지하고 있다.

다만 단조로운 색상과 적층에 따른 표면요철이 발생하여 후가공이 필요하고 플라스틱을 녹여서 만드는 과정 중에 노즐이 막히거나 외부온도에 민감하여 모델이 비정상적으로 제작될 수 있다.

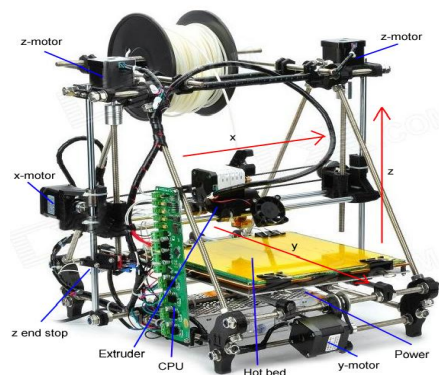


Fig. 1 FDM (Prusa Mendel I2)

FDM방식 외에도 DLP(Digital Light Processing), SLS(Selective Laser Sintering), SLA와 같은 여러 종류의 프린터가 있지만 가격 대비 성능과 유지비 및 재료의 물성 치를 볼 때, 가장 합리적인 프린터인 FDM 방식을 채택하여 시험편을 통한 강도 및 생산성과 품질을 비교해 보고자 한다.

2.2 슬라이스 프로그램

슬라이스 프로그램(Slice Program)은 3D Modeling 된 STL(Stereolithography) 확장명을 가진 파일을 G-Code로 변형시켜 3D 프린터에서 인식할 수 있게 해 주는 프로그램이다.

슬라이스 프로그램을 구동 시 입력할 데이터들은 플라스틱을 녹여 분출시켜줄 노즐의 온도, 제작 속도, 내부 채움, 외벽 두께, 냉각 팬의 유무, 사용되는 재료, 서포터 형태 등이다.

이러한 입력 데이터를 사용하여 예상되는 제작시간 및 사용되는 재료량, 적층이 되는 예시를 미리 볼 수 있고 품질과 가격을 예측할 수 있다. Fig. 2에 Slice Program의 일부를 나타내었다.

2.3 호스트 프로그램

호스트 프로그램(Host Program)은 PC와 3D 프린터를 연결해 주는 프로그램이다. 메이커가 제작한 프린터의 경우에는 호스트 프로그램의 도움 없이 자체적으로 프린터를 작동시켜 프린팅이 가능하다.

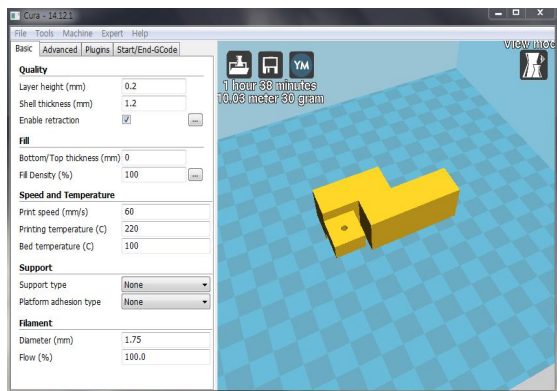


Fig. 2 Some of the Slice Program (Cura Ver 14.12.1)

Table 1 Physical and mechanical properties of ABS resin

Property	Value
Specific gravity	1.04
Tensile strength	430kgf/cm ²
Elongation	30%
HDT	84°C
Melting point	210 ~ 240°C

이런 프린터에는 LED 패널이 부착되어 있어 프린팅 경과 및 조작을 가능하지만 자체 제작한 3D 프린터의 경우에는 호스트 프로그램을 사용하여 PC와 3D 프린터를 연결한다.

2.4 ABS수지 필라멘트

FDM 방식의 3D 프린터의 재료들은 Roll 형태의 실타래 모양의 플라스틱으로 되어있고 이를 필라멘트(Filament)라고 한다. 본 논문에서 사용한 재료는 ABS 수지이며 인체에 무해한 소재인 PLA와 더불어 많이 사용하고 있다. 본 실험에 사용한 ABS 수지의 물리적 성질은 Table 1에 나타내었다.

3. 시험편과 실험방법

3.1 시험편과 실험장치

재료의 기계적 성질을 조사하는 방법 중 가장 기본적이고 단기에 값을 도출할 수 있는 인장 시험을 통해 각 조건에 따라 제작된 ABS 수지 시험편의 인장강도를 구하고자 한다. 시험편은 인장강도 측정시험편 규격 중 KS M ISO 527-4의 직교섬유 강화 플라스틱 복합재료의 규격에 따라 제작하였다.

시험편은 각 층별로 방향성이 서로 다르므로 상호 대칭인 다축 방향으로 적층되도록 제작하였으며 규격에 따른 시험편 도면은 Fig. 3에 나타내었다. 앞서 설명한 슬라이스 프로그램을 통해 걸린 제작시간과 사용되는 양을 실험변수별로 고려했을 경우와 인장시험을 통해 실험변수별 인장강도를 측정하여 그들 사이에서의 최적의 수치를 구한다. Fig. 4는 인장강도를 측정하기 위하여 사용한 인장시험기의 사진이다.

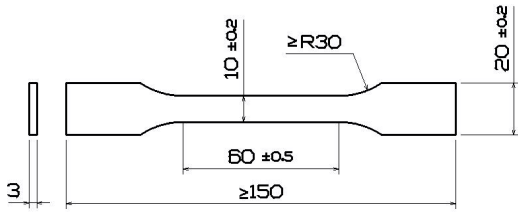


Fig. 3 ABS resin specimen (Unit : mm)



Fig. 4 INSTRON Model 8800

3.2 실험방법

3D 프린터로 제작된 제품에 영향을 주는 실험 변수로는 내부 채움, 내부 패턴, 외벽두께, 적층두께, 적층기울기, 노즐온도, 외부온도, 습도, 재료, 서포터유무, 브림 유무, 냉각팬 회전속도, 노즐구경, 프린팅 속도 등이 있다. 이 중 품질 및 비용과 시간에 큰 영향을 주는 요소로는 내부 채움, 내부 패턴, 적층두께, 내벽두께, 외벽두께, 적층기울기 및 프린팅 속도이다. 실제로 프린팅 시 위 7개 요소 이외의 요소들은 품질이나 비용 면에서 미치는 영향이 상대적으로 적어 설계변수에서 제외시켰다.

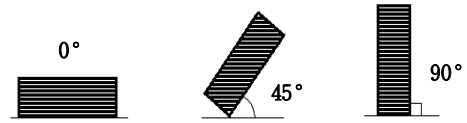


Fig. 5 Model according to the slop

7개 요소 중에서는 특히 내부 채움과 적층두께 및 적층기울기가 강도 및 품질에 미치는 영향이 크다. 내부 채움이란 시험편 가장자리를 제외한 내부를 재료로 어느 정도 채울지를 나타내는 것이며 예로서 내부 채움 50%는 시험편내부가 용융된 ABS재료로 50%, 나머지 50%는 빈 공간으로 구성됨을 의미한다. 따라서 내부 채움과 적층두께 및 적층기울기를 변수로 하여 인장실험에서 강도 값을 측정하고 슬라이스 프로그램을 통해 품질, 비용, 걸린 시간을 비교하여 가장 최적의 값을 도출해 낸다.

인장강도에 영향을 미치는 세 가지 인자 중 먼저 적층기울기 각도의 영향을 조사하기 위하여 Fig. 5와 같이 세 가지 기울기로 적층된 시험편의 인장강도를 사출된 시험편(ABS 수지)의 인장강도와 우선 비교하고자 한다.

내부 채움에 따른 인장강도 변화는 Fig. 6과 같이 내부 채움 10, 30, 50, 70, 90 및 100%로 제작된 시험편을 사용하였으며 제작조건은 Table 2에 나타내었다.

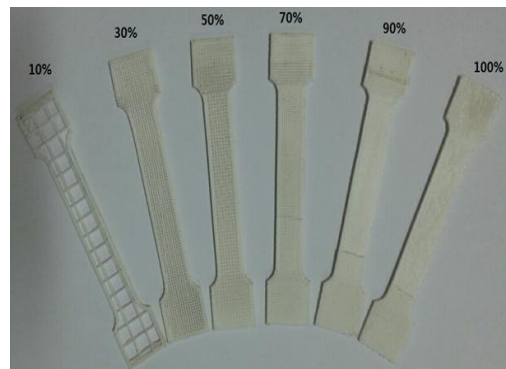


Fig. 6 Specimens for infill test

Table 2 Condition of infill test

Division	Condition
Infill (%)	10, 30, 50, 70, 90, 100
Printer	Mendel i2
Speed (mm/s)	60
Layer height (mm)	0.2
Infill Pattern	Linear

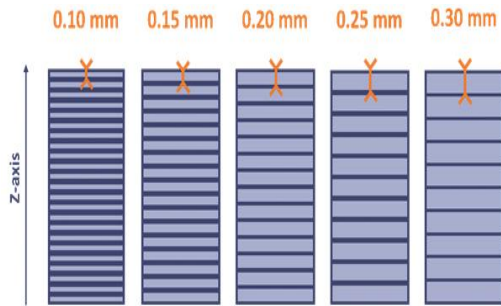


Fig. 7 Models with a various layer height

Table 3 Condition of layer height test

Division	Condition
Layer height(mm)	0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3
Printer	Mendel i2
Speed (mm/s)	60
Infill (%)	80
Infill Pattern	Linear

적층두께에 따른 인장강도 변화는 Fig. 7과 같이 내부 채움은 80%로 일정하게 하고 적층두께를 0.1, 0.15, 0.20, 0.25 및 0.3mm의 5단계로 변화시킨 시험편을 사용하였으며 제작조건은 Table 3에 나타낸 바와 같다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 적층 기울기에 따른 인장강도 변화

2.4절 Table 1에서 나타낸 인장강도는 사출된 ABS 수지의 고유 인장강도이며 실제 원료인 ABS 수지 필라멘트를 사용하여 3D 프린팅 한 경우의

인장강도는 적층기울기 각도, 적층두께 및 내부 채움에 따라 변화 될 것으로 사료된다. 따라서 인장강도에 영향을 미치는 세 가지 인자 중 먼저 적층기울기 각도의 영향을 조사하기 위하여 세 가지 기울기로 적층된 시험편의 인장강도를 사출된 ABS 수지의 인장강도와 우선 비교하고자 한다. 위의 기울기를 토대로 모델링을 제작할 때 내부 채움 및 외부 환경을 일정한 조건으로 하여 채움 100%, 두께 0.3mm로 제작하였다.

인장강도를 구하기 위한 시험편은 Fig. 8에 나타낸 바와 같으며 Fig. 9에는 기울기별로 5차례의 인장실험을 실시하여 그 평균값으로 작도한 응력과 변형률 선도를 나타내었으며 선도 상에는 최대치와 최소치의 범위를 나타내는 밴드도 같이 표시하였다. Fig. 9에서 알 수 있는 바와 같이 적층기울기 각도가 감소할수록 인장강도는 증가한다. 즉, 적층기울기 0° 때의 인장강도는 적층기울기 90° 일 때보다 약 2배가량 높게 나타난다. 3D 프린팅으로 적층된 시험편은 이방성을 띄며 실제 고 압력으로 사출된 제품과 비교했을 때 적층 면에서 층간결합능력이 떨어져서 이방성이 매우 커지게 된다.

일반적으로 공업용 소재에 인장하중을 가하면 하중 축에 수직인 방향으로 균열이 발생, 성장하여 파괴된다. 이때 균열이 성장하여 파괴를 일으키는 면과 3D 프린팅 소재에서 가장 취약하며 강도가 약한 적층 면이 일치하는 경우에 상대적으로 낮은 하중에서 파괴가 일어나 인장강도가 낮아질 것으로 판단된다. 본 연구의 적층기울기 90° 일 때가 이에 해당되며 가장 작은 인장강도를 나타내는 현상과 일치한다. 적층기울기 0° 때는 균열이 강도가 높은 모재에서 성장하기 위해서 높은 하중을 부과하여야 하므로 상대적으로 높은 인장강도 값을 나타내게 된다. 또한 ABS 수지 필라멘트의 인장강도는 43MPa로 적층기울기 0°에서의 인장강도 34MPa과 비교했을 때 적층에 따라 강도가 21% 감소함을 알 수 있다.

이와 같은 경향은 다른 소재인 FDM방식의 PLA 필라멘트의 연구결과¹⁸⁾에서도 인장강도 감소율이 26%로 나타나며 ABS 수지와 비슷한 양상을 나타내었다.

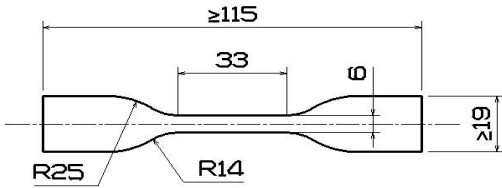


Fig. 8 ASTM D638 type specimen (Unit : mm)

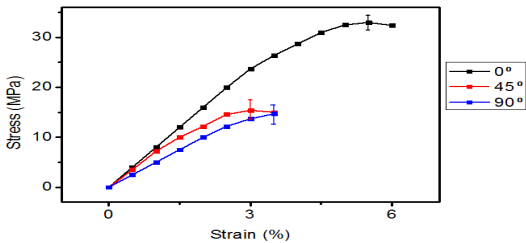


Fig. 9 Stress-strain curve for the three type of slop

4.2 내부 채움에 따른 인장강도변화

내부 채움을 10, 30, 50, 70, 90 및 100%로 제작한 시험편을 사용하여 구한 인장강도를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 내부 채움이 증가할수록 인장강도도 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 그림에는 이와 같은 경향을 비교하기 위하여 PLA재^[8] 데이터도 병기하여 나타내었다. 두 재료 모두 내부 채움이 증가할수록 인장강도가 선형적으로 증가하는데 이는 내부 채움이 증가할수록 하중에 받는 출력물의 실제 단면적이 증가하면서 저항력도 높아져 단면적 증가에 따라 응력이 선형적으로 증가하는 것으로 판단된다.

4.3 적층두께에 따른 인장강도변화

적층두께를 0.1, 0.15, 0.20, 0.25 및 0.3mm로 제작한 시험편의 인장강도를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에서 알 수 있는 바와 같이 적층두께가 증가할수록 인장강도는 미세하지만 선형적으로 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 노즐에서 사출되는 플라스틱의 한 라인과 출력물 사이 접촉 면적이 적층두께가 증가할수록 작아지기 때문이라고 사료

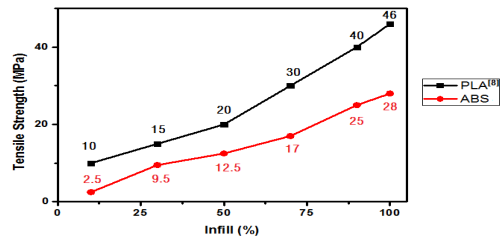


Fig. 10 Relationship between tensile strength and % of infill for ABS resin

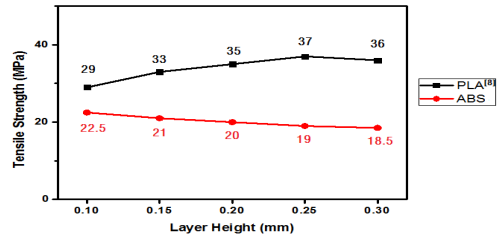


Fig. 11 Relationship between tensile strength and layer height for ABS resin

된다. 그러나 비교 데이터인 PLA재^[8]에서는 ABS재와는 달리 적층두께가 증가할수록 인장강도는 미세하지만 선형적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이러한 현상은 본 연구에서 사용한 ABS재와는 달리 PLA재는 접촉면적보다 결함의 영향을 많이 받는 고강도 취성재의 특성을 나타내어 적층두께가 감소할수록 적층된 시험편 내 취약한 접촉면이 상대적으로 증가하여 강도가 감소한 것으로 판단된다.

4.4 내부 채움과 적층두께에 따른 생산성과 품질관계 검토

2.2절에서 설명한 슬라이스 프로그램을 사용하여 내부 채움 및 적층두께에 따른 시간 및 비용의 상관관계를 검토하였다. 3D Modeling한 시험편을 STL 확장자로 저장한 후 슬라이스 프로그램을 통해 예상되는 값을 도출해낼 수 있다.

Table 4에는 슬라이스 프로그램을 사용하여 비용과 시간의 상관관계를 구하기 위하여 적용한 조

Table 4 Application data for Slice program

Division	Condition
Shell thickness (mm)	1.2
Bottom/Top thickness (mm)	1.2
Printing temperature (°C)	220
Travel speed(mm/s)	200
Bottom layer speed (mm/s)	20
Bed temperature (°C)	100
Nozzle size (mm)	0.4
Diameter (mm)	1.75
Flow (%)	100

Table 5 Productivity according to the data of infill and layer height

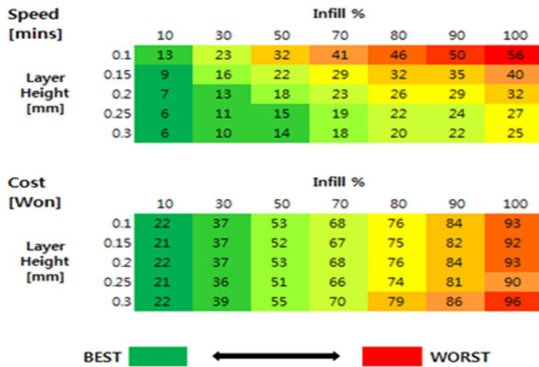
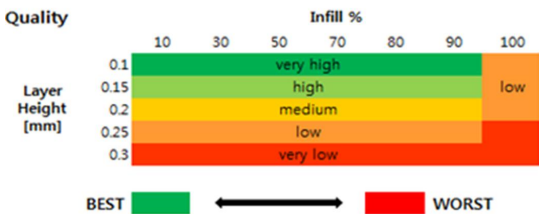


Table 6 Quality according to the data of infill and layer height



건들을 나타내었다. 적층두께와 내부 채움에 관해 얻은 데이터를 슬라이스 프로그램에 입력했을 때 걸린 시간과 비용의 상관관계는 Table 5에 나타내었다. Table 5를 통해 알 수 있는 바와 같이 적층두께가 증가할수록 비용은 일정하나 생산속도는 증가한다. 또한 내부 채움이 높을수록 비용(Cost)은 늘고 생산속도(Speed)는 줄어들어 생산성이 떨어

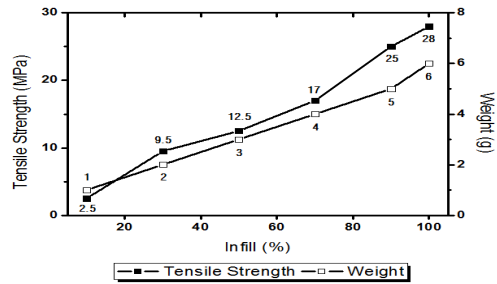


Fig. 12 Relationship between tensile strength, weight and % of infill for ABS resin

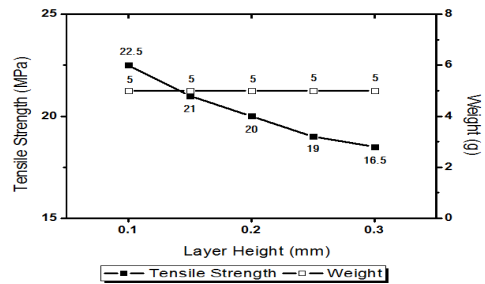


Fig. 13 Relationship between tensile strength, weight and layer height for ABS resin

어지는 경향을 나타낸다. 여기서 비용(Cost)은 ABS 필라멘트 1kg(12,000원)에 대한 금액으로 gram당 12원으로 봤을 때의 가격이다. 상기의 결과 데이터를 사용하여 품질을 슬라이스 프로그램으로 정성적으로 평가하였을 때의 상관관계는 Table 6과 같다.

Table 6에서 알 수 있는 바와 같이 품질 면에서도 적층두께가 얇을수록 품질이 좋게 나타남을 알 수 있다. Fig. 12는 내부 채움에 따른 인장강도와 슬라이스 프로그램을 통해 나온 사용량(중량)과의 상관관계를 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 인장강도는 내부 채움의 증가에 따라 선형적으로 증가하며 또한 시험편 중량의 증가에 따라서도 선형적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 내부 채움의 증가에 따라 중량이 비례적으로 증가하는데 기인한다.

Fig. 13은 적층두께에 따른 인장강도의 변화를 구하여 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 시험편 전체중량은 5gram으로 동일하나 적층

두께가 증가할수록 인장강도는 다소 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 노즐에서 사출되는 플라스틱의 한 라인과 출력물 사이 접촉 면적이 적층두께가 증가할수록 작아지기 때문이라고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 3D 프린팅 시 최적조건을 구하기 위하여 적층기울기, 내부 채움 및 적층 두께에 따른 시간, 비용, 품질간의 상관관계 및 인장강도에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인장강도는 적층기울기가 증가할수록 감소하였으며 기울기 0° 때가 34MPa로 가장 크며 ABS 수지의 강도 43MPa에 비해 21% 감소하였다. 적층된 시편은 이방성을 띄며 실제 고 압력으로 사출된 제품과 비교했을 때 적층방향에 대해서 층간 결합능력이 떨어져 이방성이 커지게 되어 강도가 감소함을 보인다. 기울기를 달리 하였을 경우 인장시험 시 파괴가 일어나는 면과 취약한 적층 면이 일치하는 기울기 90° 때가 0° 때에 비해 인장강도는 약 1/2로 감소하여 강도가 가장 작아진다.
2. 인장강도는 적층두께가 증가할수록 감소하는 경향을 보이는데 이는 노즐에서 용융된 플라스틱의 한 라인과 출력물 사이 접촉 면적이 적층두께가 증가할수록 작아지기 때문에 결합력이 낮아져 강도가 감소함을 알 수 있다.
3. 내부 채움에 따른 인장강도는 내부 채움이 증가할수록 선형적으로 증가한다. 이는 내부 채움이 증가할수록 출력물 내부의 전단 응력을 받는 실제 단면적이 증가하기 때문이다.
4. 내부 채움이 증가할수록 비용(Cost)은 늘고 속도(Speed)는 줄어들어 생산성은 낮아지지만 강도는 증가함을 확인하였다.
5. 품질 면에서도 적층두께가 증가할수록 품질이 좋지 않음을 확인 할 수 있었다. 이는 적층두께 증가로 인한 표면 거칠기가 증가하면서 품질이 고르지 못하며 특히, 내부 채움 100%일

때 둥근 노즐 모양의 특성에 의하여 노즐에서 출력된 원기둥라인들 간의 접촉구간이 Overlap 되어 밖으로 나오면서 표면이 거칠어진다.

후 기

“이 논문은 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원된 논문임”

REFERENCES

1. Cho, J. H., “An Analysis on the Effects of 3D Printers on Visual Entertainment,” Journal of Korean Society of Design Culture, Vol. 21, No.2, pp. 590~593, 2015.
2. Kim, W. S., “Open Source Hardware Design Using 3D Printer,” Korea Design Knowledge Society, Vol. 26, pp. 113~124, 2013.
3. Choi, E. J., “A Study on the Stare-of-the-Art of 3D Printers,” Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, Vol. 20, No.2, pp. 385~388, 2013.
4. Park, K., “Investigation into Directional Properties of Rapid Prototypes and Its Application To FE Analysis Considering Anisotropy,” Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No.11, pp. 126~133, 2008.
5. Choi, W., “Measurement of Structural Properties of PLA Filament as a Supplier of 3D Printer,” Journal of Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 57, No. 6, pp. 141~152, 2015.
6. Choi, J. W., “3D Printing Technologies A review,” Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, NO. 3, pp. 1~8, 2015.
7. Shin, G. S., “Engineering Design of Prosthetic Hand using a 3D Printer,” A Thesis for a Master, School of Mechanical Engineering Kumoh National University of Technology, Republic of Korea, 2015.
8. 3D MATTER(2015), “What is the Influence of Infill %, Layer Height and Infill Pattern on My 3D Prints,” Retrieved 10, March, 2015, from <http://my3dmatter.com/influence-infill-layer-height-pattern/>