

FDM 3D Printing 적층조건에 따른 기계적 물성의 연구

김범준[†] · 이태홍¹ · 손일선¹

오산대학교 기계과[†]

오산대학교 자동차학과¹

A study of mechanical properties with FDM 3D printing layer conditions

Bum-Joon Kim[†] · Hong-Tae Lee¹ · Il-Seon Sohn¹

Department of Mechanical Engineering, Osan University[†]

Department of Automotive Engineering, Osan University¹

(Received September 18, 2018 / Revised November 22, 2018 / Accepted December 01, 2018)

Abstract: Fused deposition Modeling (FDM) is one of the most widely used for the prototype of parts at ease. The FDM 3D printing method is a lamination manufacturing method that the resin is melted at a high temperature and piled up one by one. Another term is also referred to as FFF (Fused Filament Fabrication). 3D printing technology is mainly used only in the area of prototype production, not in production of commercial products. Therefore, if FDM 3D printer is applied to the product process of commercial products when considered, the strength and dimensional accuracy of the manufactured product is expected to be important. In this study, the mechanical properties of parts made by 3D printing with FDM method were investigated. The aim of this work is to examine how the mechanical properties of the FDM parts, by changing of processing FDM printing direction and the height of stacking layer is affected. The effect of the lamination direction and the height of the stacking layer, which are set as variables in the lamination process, by using the tensile specimen and impact specimen after the FDM manufacturing process were investigated and analyzed. The PLA (Poly Lactic Acid) was used as the filament materials for the 3D printing.

Key Words: 3D printing, FDM, Height of stacking layer, Lamination direction, Mechanical property

1. 서 론

기계 산업분야에서 제품 제조나 제작은 절삭, 주조, 단조를 비롯하여 사출성형, 프레스작업 등에 의해 이루어지고 있다. 현재까지 산업분야에서 양산 전단계의 공정인 시제품 제작을 위한 제작방법은 주로 주조나 절삭에 의한 방법, 더 나아가서는 금형에 의한 사출방법 등이 적용되고 있다. 그러나 3D 프린팅 기술의 출현으로 전통적인 시제품제작의 방법에 급격한 변화를 가져오게 됨에 따라 3D 프린팅 기술을 이용한 시제품제작이 급격히 증가하고 있는 추세에 있다.

현재 까지 개발된 3D 프린팅 기술에는 광경화 적층방식(Photo Curing Process), 레이저 소결 적층방식(Laser Sintering Process), 수지압출적층방식(Extrusion

Process), 잉크젯 적층방식(Inkjet Printing Process)을 비롯하여 폴리젯 적층 방식(Polyjet Process), 박막 적층방식(Lamination Process) 등이 개발되어있다¹⁾.

이러한 적층제조방식들 중에서 가장 많이 광범위하게 보급되어 사용되고 있는 3D 프린팅 기술 중의 하나가 수지압출적층방식으로 이 기술은 열에 녹는 와이어(Wire) 형태의 가소성 수지 또는 왁스(WAX) 상태의 재료를 사출 헤드(Extrusion head)로 연속적으로 압출(밀어내어)하여 형상을 제조하는 방법으로 FDM (Fused Deposition Modeling)으로 불리고 있다.

현재까지는 주로 3D 프린팅 기술이 시제품제작에만 국한되어 적용되어져왔지만 향후 시제품영역을 넘어 양산화를 위한, 즉, 상용화 제품생산 분야에 직접 적용될 가능성이 커질 것으로 예상되며, 이미 이러한 동향이 자동차산업을 비롯하여 항공, 의료분야 등의 여러 관련 산업에 도입이 되어 시도되고 있는 실정으

[†] 교신저자: 오산대학교 기계과
E-mail: kultra@osan.ac.kr

로 이를 위하여 3D 프린팅 적층조건을 달리하면서²⁻⁵⁾ 강도향상에 관한 연구가 수행되어져 오고 있다⁶⁻⁸⁾.

따라서 본 연구에서는 산업분야에서 가장 폭넓게 사용되는 FDM방식에 의한 3D 프린팅 기술의 상용화를 고려하여 제품의 기계적 강도확보를 위한 물성 평가에 주안점을 두었다.

이를 위해 인장시편과 충격시편을 제작하여 기계적 물성치를 평가하는데 연구의 초점을 두었다. 3D 프린팅 시편은 환봉인장시편과 충격시편으로 제작하였으며 제작 시 레이어의 적층방향 및 적층높이를 고려하여 제작 후 각각의 프린팅 제작조건에 대한 변수가 인장강도와 충격치에 미치는 영향에 대하여 비교, 분석하였다.

2. 실험

2.1. 재료

본 연구에서 3D 프린팅 시편제작에 사용된 소재는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 Sindoh社에서 생산된 PLA(Poly Lactic Acid)필라멘트로 $\varnothing 1.75\text{mm}$ 의 규격을 이용하였다.

PLA소재는 옥수수 전분을 이용하여 만든 친환경적 수지이며, 고온에서 상변화 시 유해요소발생이 거의 없으며, 수축률이 매우 적어 치수변형이 없는 장점을 가지고 있으므로 FDM의 필라멘트로 가장 널리 사용된다.



Fig. 1 3D printing material (PLA)

2.2. 시편제작

3D 프린팅 시편제작을 위해 사용한 프린터는 Fig. 2와 같이 Sindoh社의 3DWOX-DP200모델을 이용하여 인장시편과 충격시편을 제작하였다.

인장시편제작은 Fig. 3과 같이 환봉형태로 ASTM E 8에 의거하여 제작하였으며, 충격시편은 ASTM E 23에 의거하여 Fig. 4와 같이 Izod 충격시편형태로 제작하였다.



Fig. 2 3D Printer(Model: 3DWOX-DP200)

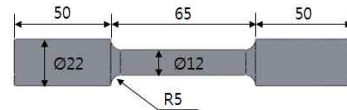


Fig. 3 Round tension test specimen

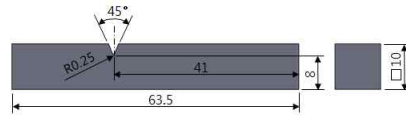


Fig. 4 Izod (Cantilever-Beam) Impact test specimen

시편제작변수

3D 프린팅 시편제작방법이 인장강도와 충격치에 미치는 영향을 조사하기 위해 고려한 시편제조조건과 변수는 Table 1과 같다. 시편제작을 위한 적층온도, 층진율, 적층속도는 각각 200°C , 15%, 40mm/s조건으로, 동일하게 고정하였다.

Table 1 3D Printing condition of tensile and Izod specimen

3D Printing condition		Specimen type	
Layer direction	X axis(symbol:X)	tensile specimen	
	Y axis(symbol:Y)	tensile specimen	Izod specimen
Layer height (mm)	0.4(symbol:A)	tensile specimen (XA, YA)	Izod(YA)
	0.2(symbol:B)	tensile specimen (XB)	Izod(YB)
	0.05(symbol:C)	Izod(YC)	

모든 시편에 대하여 3D 프린터의 노즐온도와 프린팅속도는 각각 200°C 와 40mm/s조건으로 그리고 내부 층진율을 15%로 고정하였다.

그 외 시편제작 핵심변수로 적용된 적층방향과 적층높이에 있어서 인장시편의 경우 축 방향을 Y방향, 반지름방향을 X방향으로 적층방향을 결정하여, 각 방향에 대한 적층높이를 0.2mm와 0.4mm로 하여 총 4종의 인장시편을 제작하였다.

또한, Izod충격시편의 경우 적층방향을 충격시험 시 고정되는 수직방향을 Y방향, 시편의 횡 방향을 X방향으로 그리고 각 적층방향에 대하여 적층높이를 0.05mm, 0.2mm, 0.4mm의 3가지 변수로 하여 총 6종의 충격시편을 제작하였다.

Fig. 5는 적층방향별로 3D 프린팅에 의해 제작된 인장시편과 Izod충격시편을 각각 나타낸다.

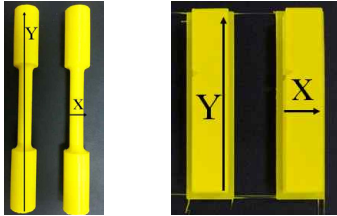


Fig. 5 Tensile test specimen and izod impact test specimen with two different directions

또한, FDM방식에 의해 3D 프린터로 제작된 시편의 적층높이를 확인하기 위하여 Bestic Vision사의 Xi-CAM현미경을 사용하여 150배율에서 적층된 레이어의 층간거리를 관찰한 결과, Fig. 6과 같이 각각의 적층 레이어 높이에 맞게 제작되었음을 확인할 수 있었다.

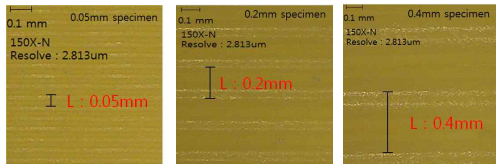


Fig. 6 Observation result of various fused layer height

2.3. 인장 및 충격시험

본 실험에 사용된 인장시험에는 Fig. 7과 같이 대경테크社의 50kN 용량의 인장시험기를 사용하여 5 mm/min의 크로스헤드속도로 시험을 수행하였다.

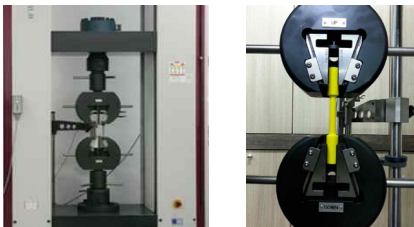


Fig. 7 Universal test machine and 3D printing tensile test specimen

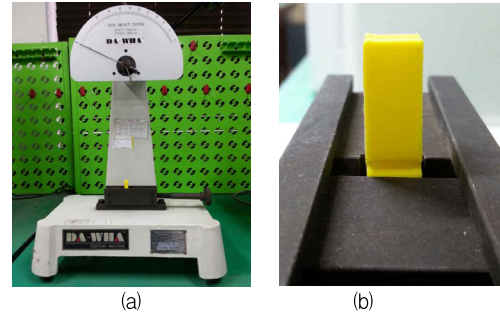


Fig. 8 IMPACT test machine and 3D printing Izod specimen

충격시험에는 Fig. 8과 같이 50kgf·cm용량까지 시험이 가능한 DA-HWA社의 Izod Impact tester기를 사용하였다. 상기의 인장시험기와 충격시험장치를 이용하여 Table 1의 시편제조조건에 의해 제작된 3D 프린팅 인장시편 4종과 충격시편 6종에 대하여 각각의 시험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 인장시험결과

Fig. 9는 0.4mm의 적층조건에서 적층방향을 X방향으로 제작된 시편의 인장시험결과를 나타낸다. 동일한 조건으로 제작된 인장시험결과, 인장강도와 변형률의 경우 XA1시편이 XA2시편보다 각각 약 1.2배와 1.1배의 차이가 발생하였지만 인장시험선도는 거의 유사한 경향을 나타내었다.

동일한 X방향의 적층 프린팅조건에서 0.2mm의 적층높이로 제작된 인장시편의 경우는 Fig. 10에 나타난바와 같이 3회의 시험에서 거의 동일한 인장거동을 나타내었다고 사료된다.

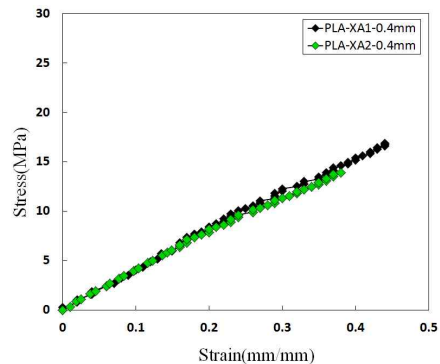


Fig. 9 Tensile behaviors of the specimens by fused deposition direction(X-axis direction and layer height of 0.4mm)

0.2mm의 적층 레이어로 제작된 시편의 인장거동은 Fig. 10에 나타난 결과와 같이 Fig. 9의 0.4mm의 적층높이로 제작된 시편보다 55~64MPa범위의 높은 수치를 나타내었으며 동시에 변형률도 인장강도가 높은 순으로 0.92~1.06의 범위 값을 나타내었다. 이러한 결과로 미루어볼 때 시편의 반지름방향인 X축 방향으로 제작된 동일한 조건에서 적층높이가 감소할수록 인장강도와 연신율이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 외부 인장하중에 대하여 적층레이어의 높이가 감소할수록 상대적으로 증가된 레이어의 적층 수 및 면적에 응력이 분배되어 시편의 인장강도 증가에 기여를 하였다고 사료되며, 변형률의 경우도 레이어층의 분리 시 상대적으로 적층수가 많은 경우가 변형률의 증가에 기여하게 되고, 이는 Park의 연구결과와도 일치하는 경향을 나타내었다^{7,9)}.

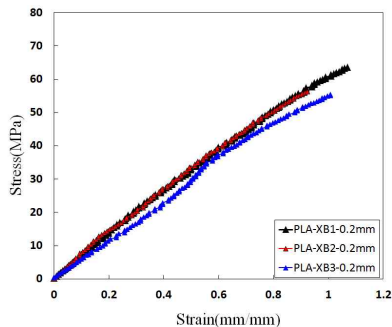


Fig. 10 Tensile behaviors of the specimens by fused deposition direction(X-axis direction and layer height of 0.2mm)

Fig. 11은 0.4mm의 적층조건에서 적층방향을 Y 방향으로 제작된 시편의 인장시험결과로 동일조건에서 제작된 4개의 시편에 대한 인장강도의 범위는 55~66MPa의 결과를 나타냈으며, 변형률의 범위는 0.67~1.2의 변형결과를 보여주었다.

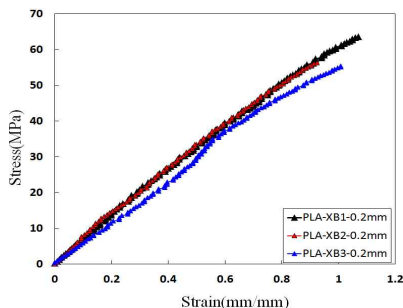


Fig. 11 Tensile behaviors of the specimens by fused deposition direction(Y-axis direction and layer height of 0.4mm)

Y방향으로 0.4mm의 적층높이로 제작된 시편의 인장거동은 Fig. 9의 X방향으로 동일한 적층높이로 제작된 시편과 비교해볼 때 Y방향으로 적층된 인장 시편의 강도가 약4배정도 강한 것으로 나타났다. 즉 본 연구에서 고려한 적층방향이 3D 프린팅 부품의 강도에 영향을 미치는 주요인자임이 증명된 것으로 볼 수 있으며 Park의 연구와도 일치하였다⁹⁾.

따라서 이들 주요인자가 시편의 인장강도에 미치는 영향을 보다 분명하게 조사하기 위하여 적층조건별 제작된 시편모두를 비교한 결과, Fig. 12에 나타난 바와 같이 적층 레이어 높이가 감소할수록 인장강도와 연신율이 증가하고, 적층방향이 인장하중에 대하여 수직인 X방향보다 평행인 Y방향에서 인장강도와 연신율이 증가하는 결과를 나타내었다.

이러한 결과로 미루어 볼 때 적층방향과 적층높이는 향후 3D 프린팅에 의해 제작된 부품의 강도에 큰 영향을 미칠 제조변수인 것으로 판단된다.

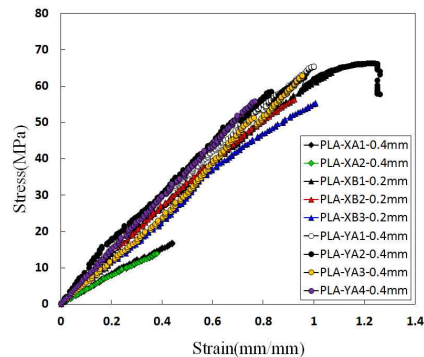


Fig. 12 Comparison result of tensile behavior under various 3D printing condition

3.2. 충격시험결과

Fig. 13은 Izod시편의 충격시험 시 고정되는 수직 방향과 평행한 Y방향으로 적층높이를 0.02mm, 0.2mm, 0.4mm로 달리하여 제작한 시편의 충격시험 결과로써 Fig. 14는 Fig. 13의 결과를 표준편차로 나타낸 것이다. 각 적층높이 별 7회의 동일한 충격시험에서 적층높이가 작을수록 충격치가 증가하는 뚜렷한 경향을 나타내었다.

이러한 결과는 최근에 보고된 연구결과와 일치하였으며¹⁰⁾, 이는 상대적으로 조밀하게 적층된 레이어 수가 많을수록 레이어간의 경계 간 분리에 필요한 에너지가 많이 소요되기 때문에 적층 레이어 높이가 작을수록 충격에너지가 증가한 것으로 판단된다.

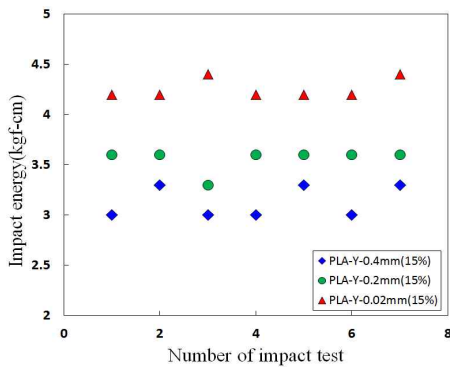


Fig. 13 Impact test result of specimen with various fused layer height

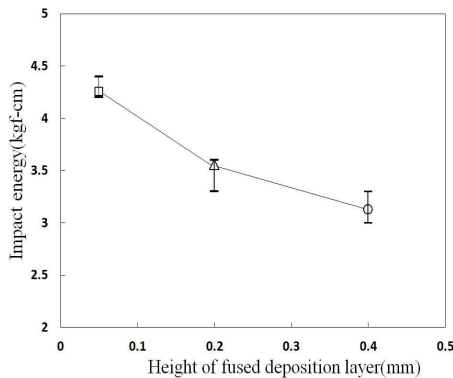


Fig. 14 Results of standard deviation analysis of impact test results

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 FDM방식에 의한 3D 프린팅 기술의 상용화를 고려하여 제품의 기계적 강도확보 및 이에 미치는 영향인자를 조사하기 위하여 3D 프린팅 적층방향 및 적층높이를 변수로 고려하였으며, 인장시험과 충격시험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 인장하중방향의 직각방향(X방향)으로 제작된 적층 Layer 높이가 감소할수록 인장강도와 연신률이 증가하는 경향이 나타났다.
- 2) 동일 적층 높이인 0.4mm의 layer에서 X방향 적층에 비하여 인장하중방향 적층(Y)에서 인장강도와 연신률이 상대적으로 높게 나타났다.
- 3) 충격하중의 방향에 대하여 90도 적층방향 (Y) 제조시편의 경우 적층Layer높이가 감소할수록 충격

에너지가 증가하는 경향으로 나타났다.

4) 따라서, 본 연구에서 수행된 3D 프린팅 FDM 적층조건 중 적층방향과 적층높이가 향후 시제품을 비롯하여 상용화제품이나 제품 제조 시 강도에 상당한 영향을 주는 것으로 시험결과 나타났으며, 특히 3D 프린팅 제품 제조 시 외부하중이 작용하는 방향을 고려하여 적층조건을 결정해야할 것으로 사료된다.

향후, 3D 프린팅기술이 제품의 상용화 생산에 본격적으로 적용될 경우 본 연구에서 수행된 3D 프린팅 FDM 적층높이 및 적층방향외에 제품의 층진률, 적층속도 그리고 노즐온도 등의 적층조건이 사용되는 필라멘트소재에 따라 제품의 강도에 미치는 영향이 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

또한, 상기 언급된 3D 프린팅 조건이 향후 제품의 품질 및 치수정밀도에 미치는 영향 등이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 오산대학교 2018년 산업기술연구소의 교내연구지원에 의하여 이루어졌습니다.

참고문헌

- 1) Ahn. D.G., Lee. S.H., Kim. K.D. and Yang. D.Y., "Study on rapid manufacturing of 3d functional parts combining VLM-ST process and its RT technology.", Transactions of Materials Processing, Vol.11, No.4, 2002.
- 2) Ahn. S.H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S. and Wright, P.K., "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS.", Rapid Prototyping Journal, Vol.8, pp. 248-257, 2002.
- 3) Celine, B., Longmei, L., Qian, S. and Peihua, G. "Modeling of Bond Formation Between Polymer Filaments in the Fused Deposition Modeling Process", Journal of Manufacturing Processes, Vol.6, pp. 170-178, 2004.
- 4) Sun, Q., Rizvi, G.M., Bellehumeur, C.T. and Gu, P. "Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments.", Rapid Prototyping Journal, Vol.14, pp. 72-80, 2008.

- 5) Lee. S.H., Kim. M.A., Yun. E.G., Lee. W.S.,
“Mold technology with 3D printing for
manufacturing of porous implant.”, Journal of the
Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.11,
No.1, pp.30-33, 2017.
- 6) Ziemian, C.W., Cipoletti, D.E., Ziemian, S.N.,
Okwara, M.N. and Haile, K.V. “Monotonic and
cyclic tensile properties of abs components
fabricated by additive manufacturing.”, Annual
International Solid Freeform Fabrication Symposium
2014, pp. 525-541, 2014.
- 7) Park. J.H., Park. S.J., Lee. K.H., Lyu. M.-Y. “A
study on the deposition strength of 3D printed
specimen by fused deposition modeling process”,
KSMTE annual spring conference, 43, 2015.
- 8) Park. S.J., Lee. J.E., Park. J.H., Lyu. M.-Y., Lee.
N.K., Park. K. Lee. J.S., Lee. S.M., Koo. M.S.
“Comparison of tensile strength according to raster
overlap in fused deposition modeling type 3D printing”,
KSMTE annual spring conference, 189, 2016.
- 9) Park. S.J., Park. J.H., Lee. K.H., Lyu. M.-Y.
“Deposition strength of specimens manufactured
using fused deposition modeling type 3D Printer”,
Polymer(Korea), Vol.40, No. 6, pp. 846-851, 2016.
- 10) Tsouknidas, A., Pantazopoulos, M., Katsoulis, I.,
Fasnakis, D., Maropoulos, S., Michailidis, N.,
“Impact absorption capacity of 3D-printed
components fabricated by fused deposition
modelling”, Materials and Design, Vol.102, pp.
41-44, 2016.