



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2016년 8월

교육학석사(기계·금속교육)학위 논문

적층각도에 따른 FDM공정으로 제작된 시편의 압축/충격 특성 변화 분석

조선대학교 교육대학원

기계·금속교육전공

맹 광 호

적층각도에 따른 FDM공정으로 제작된 시편의 압축/충격 특성 변화분석

A Study on the effects of the inclined angle on
compression and impact characteristics of FDM
parts

2016년 8월

조선대학교 대학원

기계·금속교육전공

맹 광 호

적층각도에 따른 FDM공정으로 제작된 시편의 압축/충격 특성 변화분석

지도교수 안 동 규

이 논문을 기계·금속교육 석사학위 청구논문으로

제출함

2016년 4월

조선대학교 교육대학원

기계·금속교육전공

맹 광 호

맹광호의 교육학 석사학위논문을
인준함.

위원장	조선대학교	교수	<u>조 규 재</u>	
위 원	조선대학교	교수	<u>한 길 영</u>	
위 원	조선대학교	교수	<u>안 동 규</u>	

2016년 6월

조선대학교 교육대학원

목 차

List of Table	iii
List of Figures	iv
ABSTRACT	vi
1. 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구동향 및 목표	2
2. 적층 제작공정	3
2.1 적층 제작공정이란	3
2.2 적층 제작공정의 종류	4
2.2.1 광조형법(SLA)	4
2.2.2 선택적 레이저 소결법(SLS)	5
2.2.3 시트 적층법(LOM)	6
2.2.4 3차원 프린팅법(3DP)	7
2.2.5 용착 조형법(FDM)	8
2.3 용착 조형공정	9
2.3.1 용착 조형공정의 원리 및 특징	9
2.3.2 용착 조형공정의 형식	10
3. 시험	13
3.1 용착 조형공정의 재료	13

3.2 시편 제작	14
3.2.1 시편 제작장치	14
3.2.2 압축강도 시험 시편	15
3.2.3 샤르피 충격강도 시험 시편	24
4. 시험결과 및 고찰	32
4.1 압축강도 시험 결과 및 고찰	32
4.1.1 시험결과	32
4.1.2 시편의 파단형태 관찰	34
4.1.3 캠 스코프 관찰	38
4.2 샤르피 충격강도 시험 결과 및 고찰	39
4.2.1 시험결과	38
4.2.2 시편의 파단형태 관찰	41
4.2.3 캠 스코프 관찰	44
5. 결론 및 향후계획	45
6. 참고문헌	46

Table of List

Table 1 ABS material specification	13
Table 2 Mojo system specification	15
Table 3 Load-displacement average	32
Table 4 Impact strength average	39

List of Figures

Fig. 1 A schematic drawing of a SLA	4
Fig. 2 A schematic drawing of a SLS	5
Fig. 3 A schematic drawing of a LOM	6
Fig. 4 A schematic drawing of a 3DP	7
Fig. 5 A schematic drawing of a FDM	8
Fig. 6 Principle of FDM process	9
Fig. 7 Schematics of build strategies employed by FDM systems	11
Fig. 8 Schematics of internal architecture	12
Fig. 9 Mojo system	14
Fig. 10 Compression test machine	15
Fig. 11 Compression test specimens Specification	16
Fig. 12 Compression Specimen production process(0°)	17
Fig. 13 Compression Specimen production process(30°)	18
Fig. 14 Compression Specimen production process(40°)	19
Fig. 15 Compression Specimen production process(60°)	20
Fig. 16 Compression Specimen production process(90°)	21
Fig. 17 Compression testing machine	22
Fig. 18 Compression Test Scene	23
Fig. 19 Simple Beam(Charpy-Type) Impact Machine	24
Fig. 20 Charpy impact test Specimen Specification	24

Fig. 21 Charpy impact Specimen production process(0°) 25
 Fig. 22 Charpy impact Specimen production process(30°) 26
 Fig. 23 Charpy impact Specimen production process(40°) 27
 Fig. 24 Charpy impact Specimen production process(60°) 28
 Fig. 25 Charpy impact Specimen production process(90°) 29
 Fig. 26 Charpy testing machine 30
 Fig. 27 Charpy impact test scene 31
 Fig. 28 Load-displacement curve 32
 Fig. 29 Load curve 33
 Fig. 30 Displacement curve 34
 Fig. 31 Specimen compression fracture state(0°) 35
 Fig. 32 Specimen compression fracture state(30°) 35
 Fig. 33 Specimen compression fracture state(45°) 36
 Fig. 34 Specimen compression fracture state(60°) 36
 Fig. 35 Specimen compression fracture state(90°) 37
 Fig. 36 Fracture Cam scope(compression test) 38
 Fig. 37 Charpy Impact Strength curve 39
 Fig. 38 Specimen impact fracture state(0°) 41
 Fig. 39 Specimen impact fracture state(30°) 41
 Fig. 40 Specimen impact fracture state(45°) 42
 Fig. 41 Specimen impact fracture state(60°) 42
 Fig. 42 Specimen impact fracture state(90°) 43
 Fig. 43 Fracture Cam scope(Charpy Impact test) 44

ABSTRACT

A Study on the effects of the inclined angle on compression and impact characteristics of FDM parts

Maeng Kwang-ho

Advisor : Prof. Dong-gyu Ahn Ph.D.

Major in Mechanical & Metallurgical
Education Graduate School of
Education, Chosun University

Melt lamination process, depending on the characteristics Floor laminate Out-of-Plane so the mechanical properties of the products according to the angle of inclination between the inclination of the laminated stack and the bottom face surface differ during lamination. Using a small three-dimensional printers in the MOJO FDM manner, it was produced by compressing the laminate angle / impact test specimens. Compression test and the impact test was performed according to ASTM D 695 and ASTM D 256 respectively. A compression test results stack tilt angle 0, 60, and also the compression of the specimen 90 was found to be the dominant tensile breakage. However, the laminate angle of inclination of 30 degree and 45 degree compression specimens of shear failure occurred. Charpy impact test result of the laminated inclined angle increases, the specimen was found to decrease the fracture toughness value. In addition, if the inclination angle is increased fracture more stacked from 0 to 90 degrees was found to be the fracture mode changes from ductile fracture to brittle fracture. This results from the inclination angle in the three-dimensional printing process of the laminate FDM scheme could be considered as the quantitative effect on the mechanical properties of the product.

1. 서론

1.1 연구 배경

Additive Manufacturing (AM)이란 소재를 층별로 적층하여 3차원의 형상을 제작하는 기술을 말한다. 국내에서는 AM이라는 용어보다는 3D프린팅으로 더욱 잘 알려져 있다.^[1] AM은 3차원 모델 데이터를 형상에 제약 없이 다양한 소재로 제작이 가능하기 때문에 복잡한 기계용 부품과, 의료용 부품 및 높은 강도를 요구하는 산업용 부품에 널리 활용되고 있다.^{[2][3][4]} 또한, AM은 부품의 검증과 기능의 평가를 위하여 시제품을 직접 제작하여 작동여부 및 문제점을 빠르게 파악할 수 있기 때문에 제품의 개발비용 및 시간을 절약할 수 있다는 장점이 있다.^[5]

최근 AM 관련 장비들은 특허의 권리기간이 종료되는 시점에 이르러 다양하고 저렴한 장비들로 점차 대중화되어 가고 있으며, 관련 기술들이 나날이 발전하고 있다. 이에 각종 매스컴을 통해 제조분야의 유망한 기술로 막대한 파급효과를 얻을 것으로 예상되어 그 관심이 빠르게 증가하고 있으며, 이미 음식에서부터 항공기부품에 이르기까지 다양한 산업의 전분야로 확대 적용되고 있는 실정이다.^[6]

이와 같이 AM은 기존 시제품의 제작으로만 국한되었던 기술이 이제는 다양한 소비자를 위한 제품 생산의 가능성을 열어줌으로써 플라스틱 성형분야를 넘어 전 산업분야의 새로운 패러다임으로 떠오르고 있으며, 이와 같은 배경으로 인해 AM으로 제작된 부품에 대한 성능평가의 필요성 또한 대두되고 있는 실정이다.

1.2 연구 동향 및 목표

국내에서 AM과 관련된 국가 R&D과제 및 기존 플라스틱 성형회사들의 연구 결과는 아직 다른 분야들에 비해 미비한 실정이다. 2000년 초반 RP(Rapid Prototype)관련 과제들이 일부 연구되었지만, 관련 시장규모의 한계와 기반기술의 미성숙에 의해 연구결과의 활용이 효과적으로 이루어지지 않았다.^[7]

AM은 이미 다양한 종류의 기술 방식들이 개발되어 있고, 각각의 기술 방식은 각각 고유 특성을 갖으며, 이러한 특성에 따라 성능 향상을 위해 다양한 연구와 개발이 진행되고 있다. 특히 Raquet^[8]은 3D 프린팅 기술 방식의 원리와 특징을 설명하고 방식별 제작된 시편의 정밀도와 재료 특성을 비교 및 분석하여 이를 평가하였다. 또한 국내에서는 SLS, SLA, 3DP, LOM, FDM, 등 5가지 대표 기술 방식으로 제작된 시편의 표면조도와 재료 특성을 비교하여 분석하였다.^[9]

AM의 방식 중 하나인 FDM(Fused Deposition Modeling)은 다른 방식에 비해 제품의 내구성이 뛰어나 기능성 부품의 제작 가능성을 보여주고 있다. 이러한 기술을 활용하기 위해서는 제품 제작 시 나타나는 많은 문제점을 보완하고 재료의 특성을 연구하고 분석하는 등 다양한 노력들이 있었다. 이에 대해서는 FDM의 층 간격 변화가 제품의 표면에 어떻게 미치는가에 대한 연구^[10]와, FDM을 이용하여 다양한 적층 경로로 시편을 제작한 다음 이를 시험을 통해 재료의 특성과 이방성과 관련한 강도 변화에 대한 연구^{[11][12]} 등이다.

본 연구에서는 AM 기술 방식 중 하나인 FDM에 의해 제작된 ABS소재의 재료적인 특성, 특별히 적층각도를 다르게 제작된 부품의 강도를 시험 및 분석하여 설계 단계에서 부품이 요구하는 강도(剛度)를 예측할 수 있도록 함으로써 기능성 부품의 제작 범위를 확장하고자 한다.

2. 적층 제작공정(additive manufacturing process)

2.1 적층 제작공정이란

적층 제작공정(AM)은 설계 데이터에 따라 액체 또는 분말 형태의 폴리머, 금속 등의 재료를 적층 방식으로 쌓아올려 입체 성형물을 제작하는 것으로, 3차원 CAD의 설계에 따른 형상을 레이저와 분말 재료를 활용하여 신속하게 조형하는 기술을 의미하는 RP(Rapid Prototyping)에서 유래되었다. 입체의 재료를 기계가공이나 레이저를 이용하여 잘라내거나 깎아 입체물을 생산하는 절삭공정(Subtractive Manufacturing)과 반대되는 개념이다.^[13]

이러한 AM은 plastic, metal, glass, composite material, ceramic 등 다양한 재료를 이용하여 제품 제작이 가능하며, 캐드(CAD)나 스캐너(Scanner) 등과 같은 3D 데이터를 기반으로 얇은 단면으로 쪼개어 제작한다. 또한, 디자인 제약이 거의 없어 생각하는 이미지 모두를 3D 모델링으로 구현하여 제품화가 가능하기 때문에 맞춤형으로 제작은 물론, 많은 분야로의 응용이 가능하다.

기존의 제작방법은 단조, 주조, 용접, 절단, 열처리 등 복잡한 과정을 통하여 제작되기 때문에 제작기간이 길어지고 고가의 제작비용을 요구하지만, AM을 적용할 경우 제품의 제품화가 빠르게 진행되는 것이 가능함은 물론, 제품상의 문제점에 대해 즉각적인 대응이 가능하기 때문에 AM을 적용한 제품 개발은 기존의 제품 개발에 비해 상당히 많은 투자비용과 시간을 절감할 수 있는 도구로 각광받고 있다.^[5]

2.2 적층 제작공정의 종류

2.2.1 광 조형법(SLA)

광조형법(SLA : Stereolithography Apparatus)은 Fig. 1에서 확인할 수 있는 바와 같이 광경화성 액체수지가 저장된 탱크와, 이 탱크 내부에서 상하로 승강하는 플랫폼(Plat-form), 그리고 레이저 스캐닝 시스템으로 구성되어 있다. 초기상태에는 탱크 내부에 액체수지가 채워져 있고, 플랫폼은 액체수지 표면 직 하부에 위치되어 있다. 이 상태에서 반사경(Mirror)에 의해 제어되는 레이저가 x와 y방향을 따라 이동 조사되면서 원하는 부분의 액체수지 표면을 고체상태로 경화시킨다. 이와 같은 과정을 거쳐 한 층의 경화작업이 끝나면, 플랫폼은 층 두께 만큼 액체 수지 내부로 하강하고 다음 층의 경화작업을 수행하게 된다. 다음 층의 가공방법은 앞선 방법과 동일하게 진행되는데, 이미 경화되어 플랫폼과 같이 하강된 직전 층(Previous layer)의 표면상에 액체수지가 경화되기 때문에 각 층은 자연스럽게 상호 결합된다.^[14]

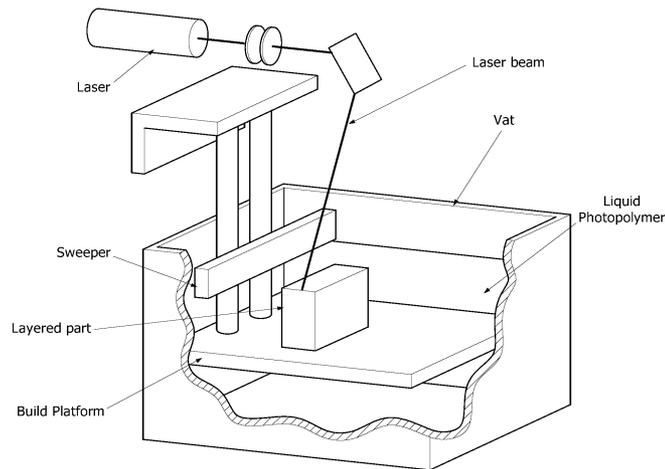


Fig. 1 A schematic drawing of a SLA^[14]

2.2.2 선택적 레이저 소결법(SLS)

선택적 레이저 소결법(SLS : Selective Laser Sintering)은 기존 공법 중 분말 야금 방식을 장치에 응용한 것으로 Fig. 2에 SLS시스템의 구성과 원리도로 나타내었으며, 이를 살펴보면 승강장치를 이용하여 한 층 두께 만큼 플랫폼을 위치시키고 롤러를 이용하여 분말 상태의 재료를 얇은 층으로 펼쳐 놓은 다음, 제품의 단면 형상을 따라 레이저를 재료의 표면에 조사하면 열이 발생하면서 분말 재료의 입자가 소결된다. 이와 같은 방식으로 플랫폼이 층 두께 만큼 아래로 하강되고 다음 층이 가공되면서 제품이 제작된다. ^[14]

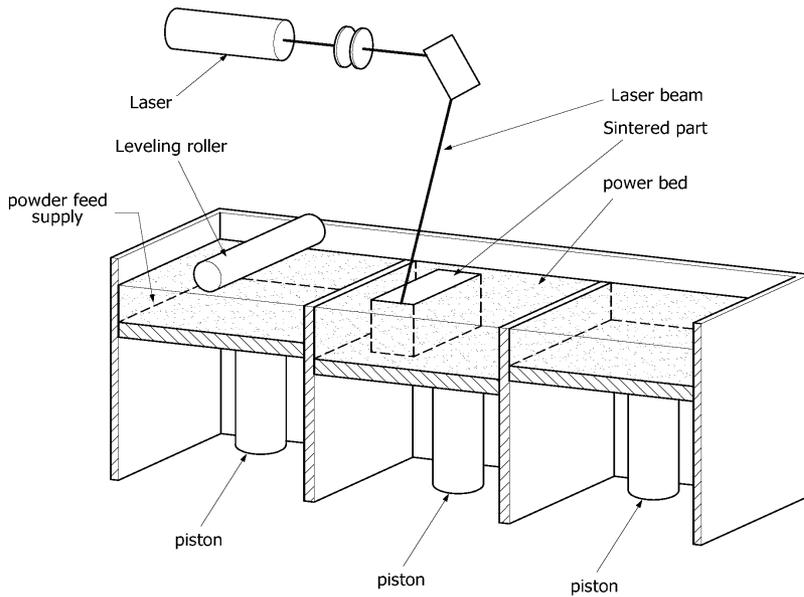


Fig. 2 A schematic drawing of a SLS^[14]

2.2.3 시트 적층법(LOM)

다른 가공 방법들은 액체나 분말 상태의 재료를 경화시키는 방법을 사용하는 데 반해 시트 적층법(LOM : Laminated Objected Manufacturing)에서는 이미 경화된 재료를 사용한다는 것이 다른 방식들과 다르다. Fig. 3은 LOM 시스템의 원리도이다. Fig.3에 나타낸 바와 같이 플라스틱, 포일, 종이 합성소재 또는 유리섬유 등의 판형의 재료를 레이저빔을 이용해 단면형상을 절단하고 플랫폼을 한층 아래로 이송 시킨 후 다음 재료를 절단한 다음 롤러를 통해 압착하여 제품을 완성시키는 방식이다. LOM 방식의 장점은 기본적으로 판형의 재료를 이용하기 때문에 다른 방식에서 문제점으로 지적되고 있는 경화 과정에서의 수축 및 변형에 의한 비틀림이나 치수정밀도 부분을 완벽하게 해결할 수 있다. 또한 열변형의 문제가 없기 때문에 대형 제품을 생산하는 곳에서 많이 사용되고 있다.^[14]

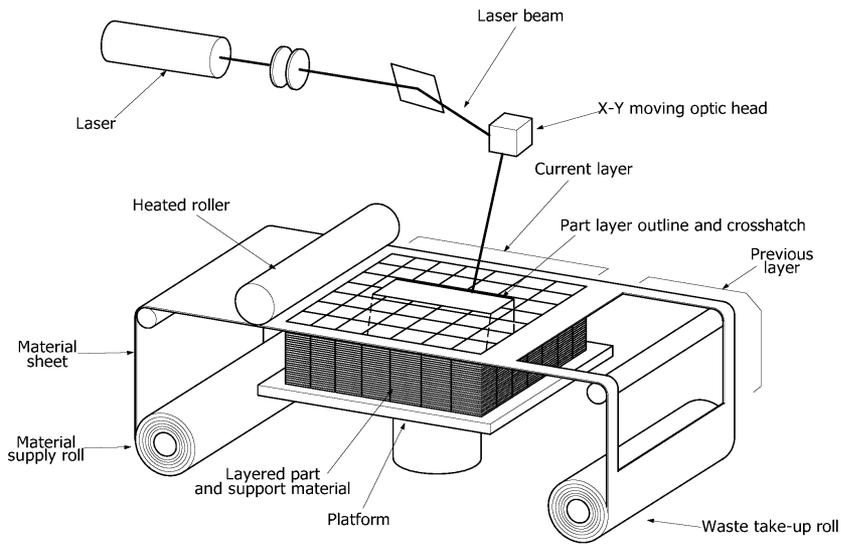


Fig. 3 A schematic drawing of a LOM^[14]

2.2.4 3차원 프린팅법(3DP)

3차원 프린팅법(3DP : 3D Printing)은 일반 프린터에서 사용되는 기술을 RP에 적용시킨 것으로, Fig. 4에 3DP 시스템의 원리도를 나타내었다. 3차원 프린팅법 방식은 SLS와 유사하게 분말재료를 롤러를 이용하여 넓고 균일하게 펼쳐 놓고 결합체를 잉크젯 방식으로 분사하여 단면의 형상으로 고체화 시킨다. 그리고 동일한 과정을 반복하여 단면 형상에 맞도록 고체화시켜 만드는 방식이다. 이 방식은 세라믹 분말을 이용하여 직접 주형을 제작할 수 있기 때문에 로스트 왁스(Lost wax)주조법과 비교하여 공정의 시간 단축이 가능하다. 그리고 주물의 소량생산에 적합한 장점을 가지고 있다.^[14]

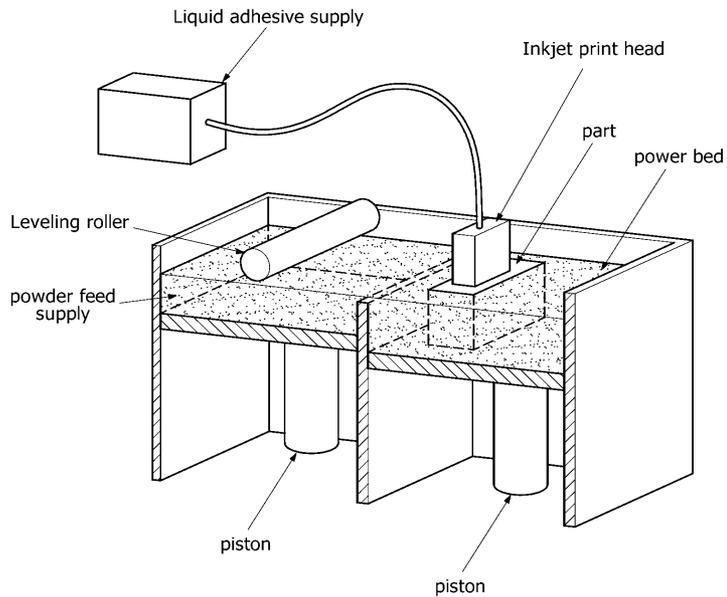


Fig. 4 A schematic drawing of a 3DP^[14]

2.2.5 용착 조형법(FDM)

용착 조형법(FDM : Fused Deposition Modeling)은 필라멘트 형상을 갖는 열가소성물질(ABS, Polyamide)을 용융장치에서 녹이고, 노즐을 통해 요구되는 형태의 얇은 층으로 주사하여 고형화 시키면서 적층하는 방법이다. Fig. 5는 FDM 시스템의 원리도이다. 헤드는 두 개의 노즐을 갖는데, 하나의 노즐은 재료를 용융하여 주사하고 나머지 하나의 노즐은 지지대를 주사한다. 이와 같은 과정을 거치면서 완성된 제품은 별도의 지지대 제거장치에 채워진 용액에 담구어 지지대를 제거한다.^[14]

본 연구의 주제와 관련된 용착 조형법에 대해서는 다음 장에서 더욱 상세하게 살펴보도록 한다.

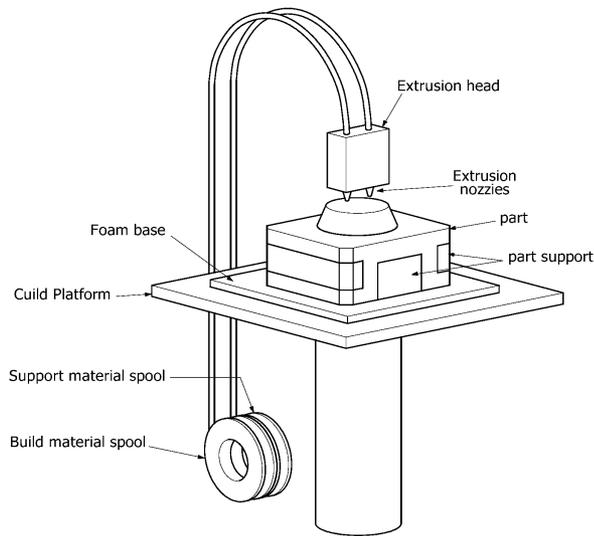


Fig. 5 A schematic drawing of a FDM^[14]

2.3 용착 조형공정

2.3.1 용착 조형공정의 원리 및 특징

용착 조형공정은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 섬유 형태의 열가소성 재료를 압출헤드로 통과시켜 액상에 가까운 재질로 연화한다. 이후 PC가 제어하는 경로를 따라 x-y축으로 동작되는 압출헤드의 노즐을 통해 일정한 압력으로 플랫폼에 압출되어 2차원의 층을 생성하게 된다. 압출된 재료의 층이 단시간 내에 고형화되면서 플랫폼이 z축을 따라 하강하고 다시 재료를 압출하여 다음 층을 적층하면서 원하는 형상의 3차원 제품을 제작한다.^{[15][16][17][18]}

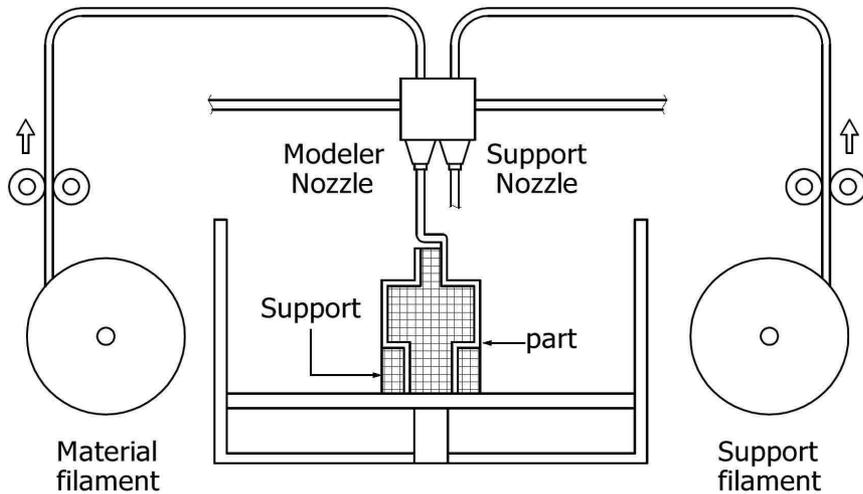


Fig. 6 Principle of FDM process^[7]

보통 보급형 프린터의 경우 제품을 형성하는 모델의 재료만을 사용하기도 하나, 산업용의 경우 서로 다른 기능을 갖는 두 종류의 재료를 사용하여 작업을 수행하기도 한다. 모델(Model)의 재료로는 다양한 종류의 열가소성 플라스틱이 사용되는데 주로 ABS계열과 PC계열의 수지가 많이 사용된다. 그리고, 지지대 역할을 하는 서포트(Support)의 재료로는 모델의 재료에 따라 종류가 달라진다. 보통 Break away type과 Soluble type으로 나누어지며, 주로 ABS 계열의

수지를 모델의 재료로 사용할 때는 Soluble type의 수용성 수지를 알칼리성 세제를 이용하여 녹여 제거하고, 그 외의 모델 재료를 사용할 때 쓰이는 Break away type은 공구를 이용하여 간편하게 제거한다.^[17]

FDM 방식의 장점은 타 기술 방식에 비해 저렴한 비용으로 장비 구매가 가능하고 유지비용이 저렴하다는 것이다.^[18] 또한 필라멘트 형태의 폴리머를 재료로 사용하기 때문에 작업환경이 매우 깨끗하고 설치 공간의 제약이 거의 없으며, 조작 또한 매우 간편하기 때문에 가정용으로도 적합하다. 재료의 종류도 다양해서 용도에 따라서 선택의 폭이 매우 넓다. 또한 내구성이 뛰어나 일반 시제품은 물론, 기능성의 부품까지도 폭넓게 제작하여 사용할 수 있고, 부품끼리 상호 조립도 가능함은 물론, 공작기계 등을 이용하여 추가적인 가공까지 가능하여 폭넓게 활용할 수 있다. 그러나, 제작에 따른 시간이 매우 많이 소요되고, 층 간격이 커서 표면조도가 나쁘다는 결점이 존재한다. ^{[8][9][10]}

정밀도는 설계된 형상과 적층 파라미터들의 영향으로 경우에 따라 다르게 나타나지만 최대 $\pm 0.241\text{mm}$ 의 오차범위를 갖는다.^[17] 또한, 노즐을 통해 재료가 압출되어 적층되는 방식이기 때문에 미세한 부분의 표현이 매우 나쁘다. 따라서, 기능성 부품을 제작하는 경우 이를 고려하여 신중하게 계획을 세워야만 한다. ^{[11][12]}

2.3.2 용착 조형공정의 형식

1) 주사패턴

FDM은 단면의 형태를 층별로 주사하여 고형화시키는데, 이때 주사의 경로에 따라 왕복형(Raster fill pattern)과, 회전형(Contour fill pattern) 및 위 두가지를 혼합한 혼합형(Contour/Raster fill pattern)으로 분류할 수 있다. Fig. 7에서 주사패턴에 따른 종류를 나타내었다.

회전형 패턴은 2차원적으로 조형된 도형의 외곽에서부터 차례로 내부를 채워 나가는 방식으로 다른 방식에 비해 소비되는 시간이 많다. 그러나 가공물의 표면 거칠기는 다른 형식의 패턴에 비해 좋다.

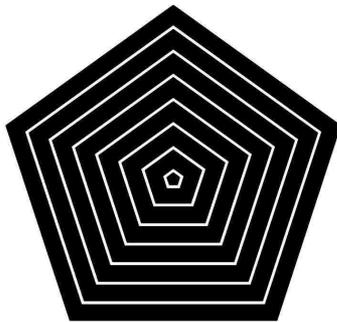
왕복형 패턴은 2차원적으로 조형된 단면의 형상을 지그재그 형으로 왕복하여 채우고, 다음 층은 이전 층과 직교하도록 주사하여 강도를 높이는 구조이다. 이

방식은 가공물의 표면 거칠기가 회전형에 비해 불량한 단점이 있다.

혼합형 패턴은 2차원화된 가공물에서 최 외곽의 일정 두께는 회전형 패턴으로 주사하고 나머지 내부는 왕복형 패턴으로 채운다. 이 주사방식은 앞서 설명한 회전형 패턴과 왕복형 패턴의 두 주사패턴의 장점을 혼합한 방식이다.^[19]



(a) Raster fill pattern



(b) Contour fill pattern



(c) Contour/Raster fill pattern

Fig. 7 Schematics of build strategies employed by FDM systems^[19]

2) 주사간격과 층 간격

주사간격(Road width)과 층 간격(Slice interval)은 FDM에서 중요한 요소 중 하나이다. 주사간격이란 주사된 수지의 섬유질(Fiber)간의 간격을 말하는 것으로, 제작된 모델의 다공성을 결정하게 되며, 이는 결국 제품의 강도를 좌우하게 된다. 층 간격은 각 층간의 간격을 말하는 것인데 노즐의 직경에 따라 설정 범위가 다르다. Fig. 8에서 주사간격과 층 간격을 나타내었다. ^[19]

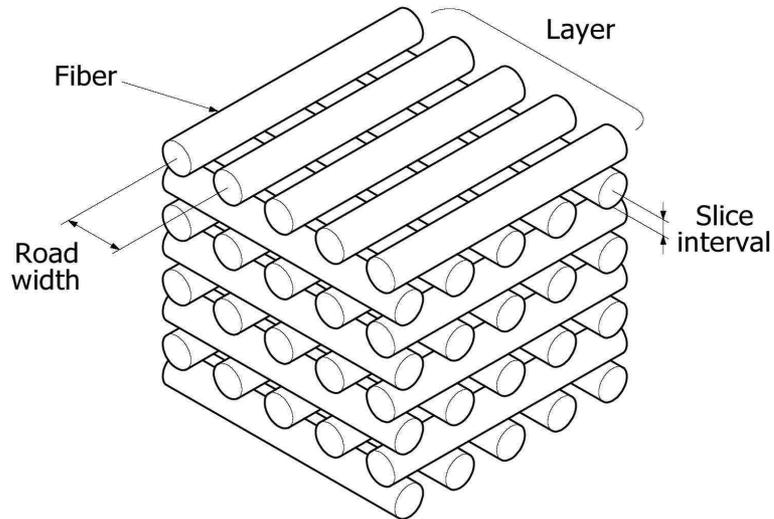


Fig. 8 Schematics of internal architecture^[19]

3. 시험

3.1 용착 조형공정의 재료

용착 조형공정에서는 재료가 노즐을 통하여 조형판으로 원활하게 주사될 수 있어야 하기 때문에 일정 온도에서 용이하게 용융될 수 있는 열가소성수지인 ABS(acrylonitrile, butadiene and styrene)가 주로 사용된다. ABS는 내구력이 있는 고강도 재료로서, 기능성 시험을 위한 조형 모델을 제작할 때 많이 사용된다. 이와 같은 ABS의 특징으로는 내충격성, 인성, 열안정성, 내화학성, 강성 등을 들 수 있으며, 이 재료로 제작된 모델은 기계가공, 드릴, 탭, 도색, 접착, 다듬질 등의 후가공이 가능하며, 고강도, 고경도, 저수축률, 빠른 응고성을 가지고 있어, 용착 조형 공정에서 유용하게 사용되는 소재이다. ^[17]

본 연구에서 사용된 재료는 MOJO System에서 재료로 채택하고 있는 ABS Plus를 사용하여 시편을 제작하였다. ABS Plus로 제작된 모델은 기계적으로 견고하며 시간이 지나도 안정성을 유지하는 장점이 있다. 이러한 ABS Plus는 산업 전 분야에 걸쳐 가장 넓게 사용되고 있는 열가소성 수지인 ABS와 동일한 물성치를 갖는다. Table 1은 ABS의 물성치를 나타내었다.

Table 1 ABS material specification

Material specification	Value
Tensile strength(psi)	5,000
Elongation(%)	50.00
Softening point(R&B)(F)	220
Specific gravity(GMS/CM ³)	1.05

3.2 시편 제작

3.2.1 시편 제작장치

본 연구에서 시편을 제작하기 위한 장치로는 Stratasys사에서 제작한 모조 시스템(MOJO System)이다. 모조 시스템은 사용이 간편하고 신속하게 전문가 품질의 모델을 제작할 수 있다. 즉, 용착 조형 기술을 채택하여 ABS 열가소성 소재로 정확한 기능 개념 모델을 제공할 수 있기 때문이다. 이러한 모조 시스템은 모델을 제작하기 위한 본체와, 제작된 모델의 서포트를 제거하기 위한 세척기(Wave Wash 55)로 구성된다.

시스템에 포함된 PC에서는 STL파일 형식으로 만들어진 그래픽 파일을 Mojo Control Panel 소프트웨어를 통해 본체로 전송되어 모델을 제작하게 된다. 이때, 모델의 형태상 서포트가 필요할 경우 소프트웨어에서 자동적으로 서포트를 생성하게 되고, 제작이 완료된 후 서포트는 세척기를 통해 손쉽게 제거된다.

Fig. 9는 본 시험에 사용한 모조 시스템을 나타내었다. 그리고 Table 2는 모조 시스템의 사양이다.



Fig. 9 Mojo system

Table 2 Mojo system specification^[2]

모델 재료	ABSplus
서포트 재료	SR-30 가용성
최대 부품 크기	12.7×12.7×12.7cm(5×5×12.70cm)
레이어 두께	0.178mm(0.007 in)
워크스테이션 호환성	Windows XP/Windows 7
크기 및 중량	63×45×53cm,(25×18×21 in); 27 kg(60 lbs)
전원 요구 사항	100-127 VAC, 6A, 60Hz 또는 220-240 VAC, 2.5A, 50Hz
규제 준수	CE/TUV/KCC/RoHS/WEEE

3.2.2 압축강도 시험 시편

1) 압축강도 시험

압축시험은 재료를 압축하여 재료의 압축, 압착, 눌림, 굽힘 등에 대한 저항력을 판단하고자 할 때 하는 시험이다. 외부응력(Stress)에 대한 변형(Strain)을 그래프로 나타내어 재료의 유연성과 강성 등을 알 수 있다.

압축강도를 측정하기 위한 시험은 Fig. 10과 같으며, Fig. 11은 시편의 규격을 나타낸 것이다.

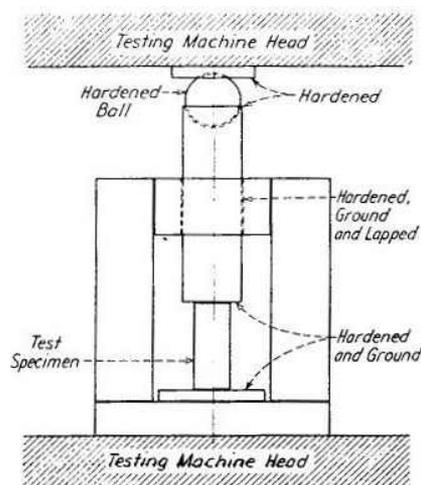


Fig. 10 Compression test machine^[26]

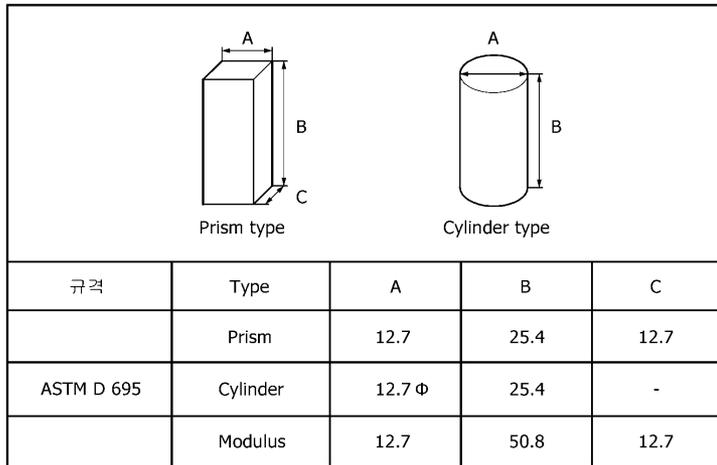


Fig. 11 Compression test specimens Specification^[26]

2) 압축시험 시편 제작(ASTM-D695)

적층 각도가 다르게 제작된 시편(0°, 30°, 45°, 60°, 90°)들의 압축특성을 비교 및 분석하기 위해 플라스틱 표준 압축 시편을 제작하였다. 이 시편은 ASTM D695 규격을 적용하여 실린더 Type으로 각도별 3개씩 제작하였다.

Fig. 12 ~ Fig. 16에 압축 시편의 각도별 제작 과정을 나타내었다.

㉠ 시편이 각도 없이 적층 제작된 경우

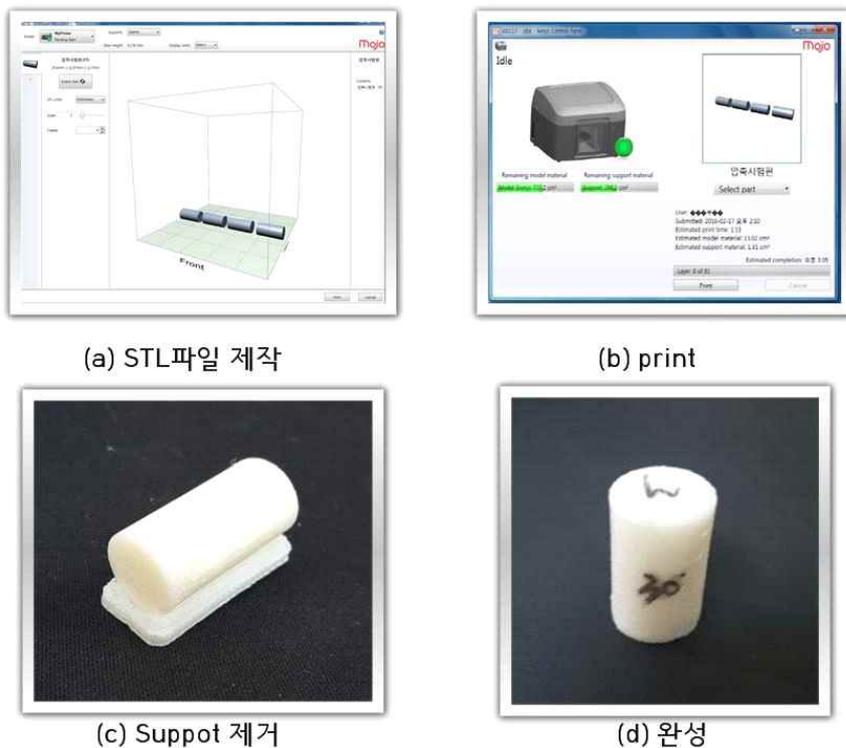
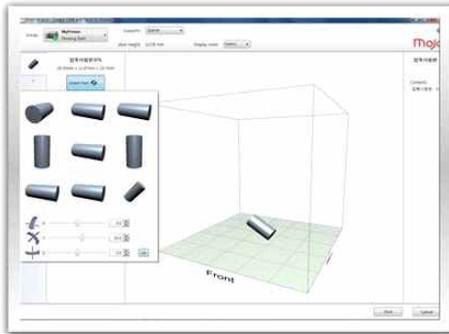


Fig. 12 Compression Specimen production process(0°)

총 81개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 1시간 10분의 제작시간이 소요되었다. 서포트의 소모량도 적고 표면 거칠기와 광택도가 우수하였으며, 제작 완료 후 서포트는 세척기 필요 없이 간편하게 제거할 수 있었다.

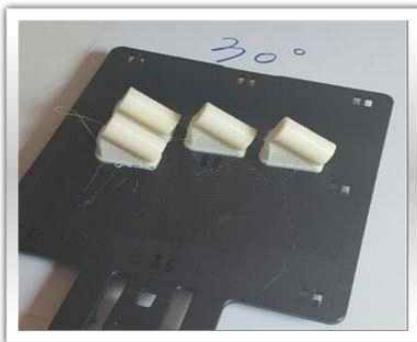
㉞ 시편이 30°의 경사각으로 적층 제작된 경우



(a) STL파일 제작



(b) print



(c) Suppot 제거

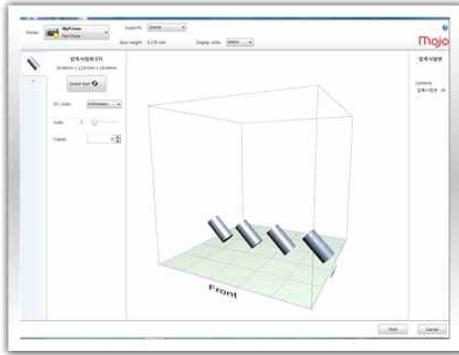


(d) 완성

Fig. 13 Compression Specimen production process(30°)

총 130개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 2시간 1분의 제작시간이 소요되었다. 서포트의 소모량이 0도에 비해 많고 표면 거칠기와 광택도는 역시 저하되었으며, 제작 완료 후 서포트는 세척기 필요 없이 간편하게 제거할 수 있었다.

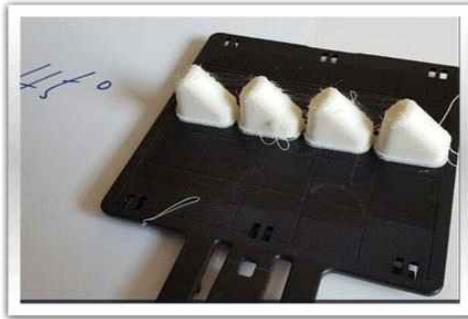
© 시편이 45° 경사각으로 적층 제작된 경우



(a) STL파일 제작



(b) print



(c) Suppot 제거

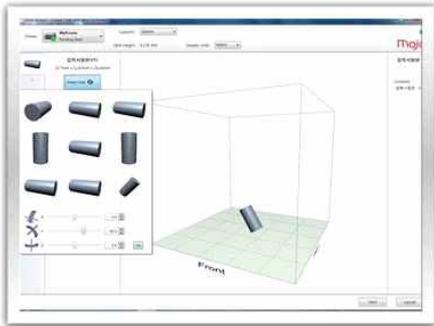


(d) 완성

Fig. 14 Compression Specimen production process(45°)

총 160개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 2시간 14분의 제작시간이 소요되었다. 서포트 소모량이 많고 표면 거칠기와 광택도는 30도에 비해 저하되었다. 45도의 경우 바닥면과의 경사도 때문에 일반적인 베이직(Basic) 서포트모드에서 적층되지 않고 무너지는 현상이 발생되었다. 따라서, 서포트가 모델의 외부를 모두 감싸는 구조인 스파스(Sparse)모드를 통해 제작함으로써 소요되는 시간이 상승하였으며, 세척기를 통해 서포트를 녹여내는 후 과정을 더 포함하였다.

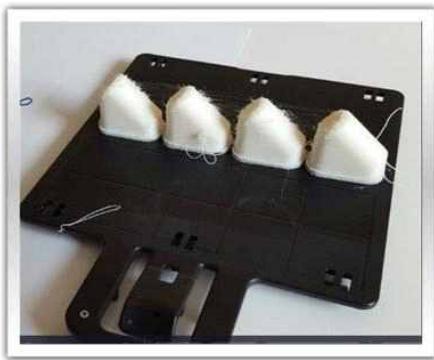
㉔ 시편이 60° 경사각으로 적층 제작된 경우



(a) STL파일 제작



(b) print



(c) Suppot 제거

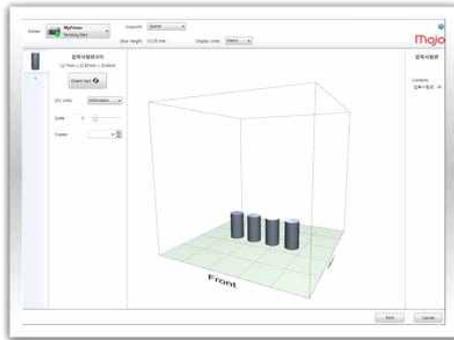


(d) 완성

Fig. 15 Compression Specimen production process(60°)

총 168개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 1시간 38분의 제작시간이 소요되었다. 서포트 소모량이 가장 많았고, 표면 거칠기와 광택도 역시 제일 좋지 못하였다. 60도의 경우 또한 45도와 마찬가지로 바닥면과의 경사도 때문에 베이직(Basic) 서포트모드에서 무너지는 현상이 발생하여 스파스(Sparse)모드를 통해 제작하였으며, 세척기를 통해 서포트를 녹여내는 후 과정을 더 포함하였다.

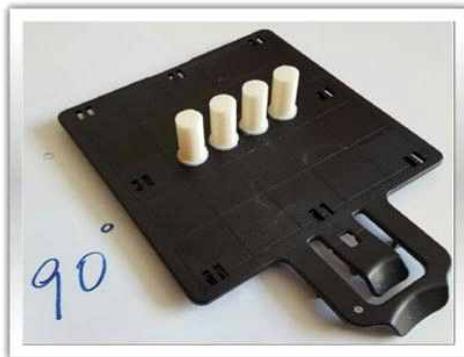
㉔ 시편이 90° 경사각으로 적층 제작된 경우



(a) STL파일 제작



(b) print



(c) Suppot 제거



(d) 완성

Fig. 16 Compression Specimen production process(90°)

총 152개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 1시간 12분의 제작시간이 소요되었다. 서포트 소모량이 거의 없었고, 표면 거칠기와 광택도는 다른 시편들에 비해 우수하게 나타나는 등 0도와 유사한 상태를 나타냈다.

3) 시험장치

압축 강도를 시험하기 위한 장비로는 Fig. 17에 나타낸 바와 같이 Instron사의 만능시험기(Universal testing machine : UTM)를 사용하여 시험을 수행하였다.



Fig. 17 Compression testing machine

4) 시험 방법

각 규격에 맞게 제작된 시편과 시험 장비를 이용하여 압축하중을 작용하여 시편이 완전 파괴될 때까지의 변형률, 헤드 속도(head travel rate), 시편이 파괴될 때의 최대 압축 강도 값을 구한다. ASTM D695의 방법에 따라 시험을 수행하였으며, 각도별 3개씩 제작된 시편을 모두 동일하게 적용하여 총 15개의 시편에 대해 시험을 수행하였다.

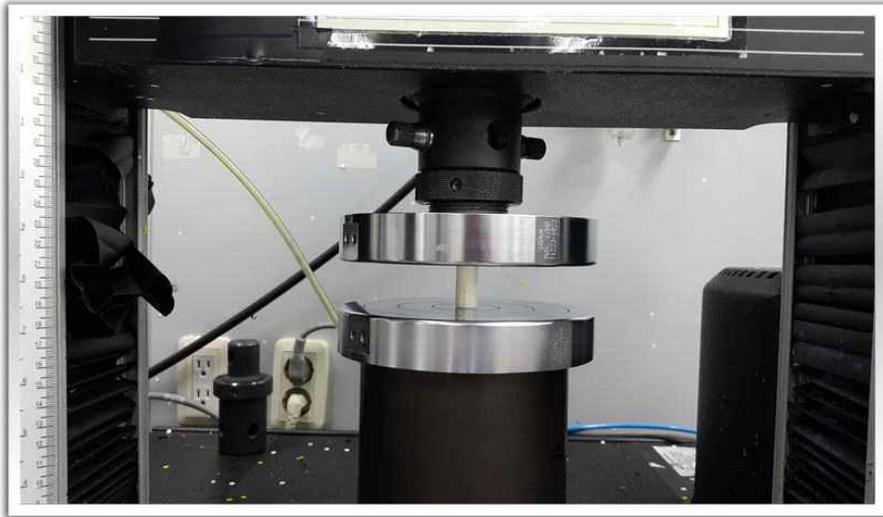


Fig. 18 Compression Test Scene

Fig. 18은 압축시험의 장면을 나타낸 것으로, 압축용 JIG를 사이에 측정하고자 하는 시편을 끼운 것이다. 치수를 맞추어 제작한 시편에 윗 방향으로부터 하중이 작용했을 때 시편에 작용하는 LOAD값이 CELL로 전달됨으로써, 그 시편의 고유 압축강도로 측정된다.

3.2.3 샤르피 충격강도 시험 시편

1) 충격강도 시험

재료의 저항성을 평가하는 요소로서 재료의 인성이나 취성이 중요한 판단요소가 된다. 이러한 재료의 특성을 이해하기 위한 목적으로 충격시험이 실시된다. 이러한 충격시험은 일정한 질량을 갖는 펜듈럼 해머를 일정 각도로부터 내리쳐서 수직의 위치에 있는 시편을 한번의 충격으로 파괴하여 이때의 소모된 에너지를 그 재료의 충격값으로 나타낸다. 충격강도를 측정하기 위한 시험은 Fig. 19와 같으며, Fig. 20은 시편의 규격을 나타낸 것이다.

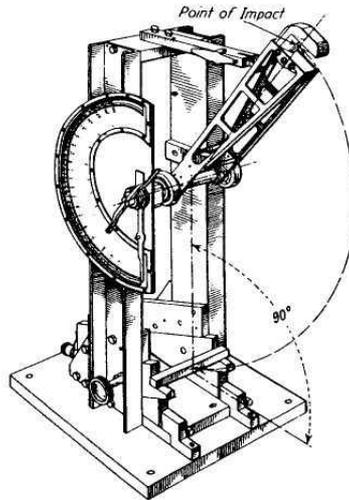


Fig. 19 Simple Beam(Charpy-Type) Impact Machine^[27]

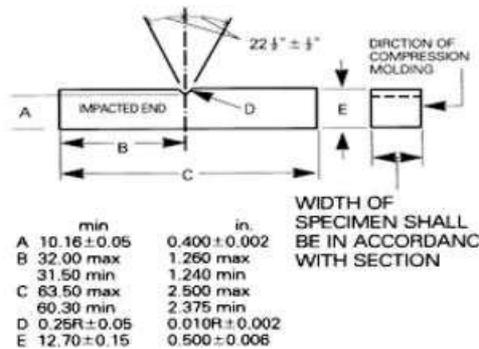


Fig. 20 Charpy impact test Specimen Specification^[27]

2) 샤르피 충격강도 시편 제작(ASTM-D256)

적층 각도가 다르게 제작된 시편(0° , 30° , 45° , 60° , 90°)들의 충격특성을 비교 및 분석하기 위해 플라스틱 표준 충격 시편을 제작하였다. 이 시편은 ASTM D256 규격을 적용하였으며, 각도별 3개씩 제작하였다.

Fig. 21 ~ Fig. 25는 샤르피 충격 시편의 각도별 제작과정을 나타낸 것이다.

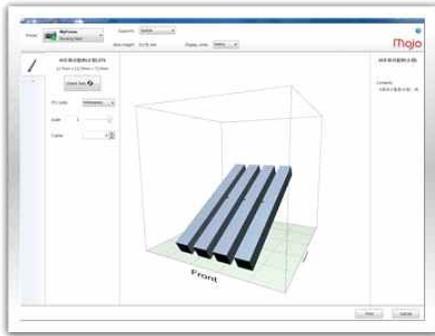
㉠ 시편이 각도 없이 적층 제작된 경우



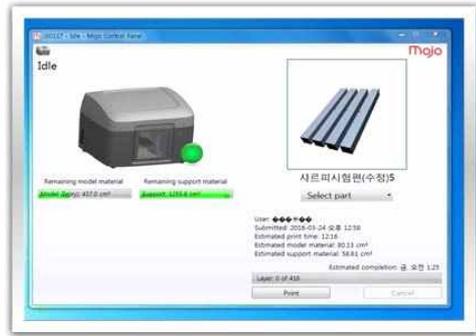
Fig. 21 Charpy impact Specimen production process(0°)

총 81개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 5시간 33분의 제작시간이 소요되었다. 서포트 소모량이 적고 표면 거칠기와 광택도가 다른 시편에 비해 우수하였다.

㉞ 시편이 30°의 경사각으로 적층 제작된 경우



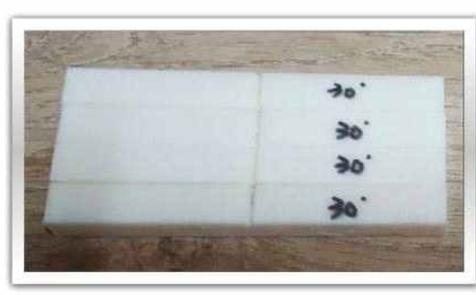
(a) STL파일 제작



(b) Print



(c) Support 제거

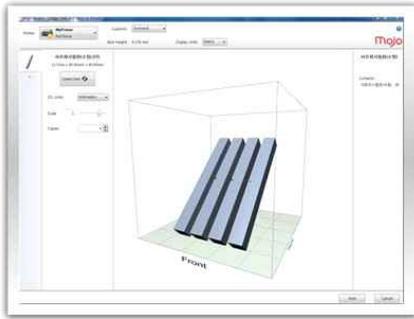


(d) 완성

Fig. 22 Charpy impact Specimen production process(30°)

총 416개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 12시간 16분의 제작시간이 소요되었다. 서포트의 소모량이 0도에 비해 많고 표면 거칠기와 광택도 역시 저하되었으며, 제작 완료 후 서포트는 세척기 필요 없이 간편하게 제거할 수 있었다.

㉔ 시편이 45° 경사각으로 적층 제작된 경우



(a) STL파일 제작



(b) Print



(c) Support 제거



(d) 완성

Fig. 23 Charpy impact Specimen production process(45°)

총 548개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 19시간 14분의 제작시간이 소요되었다. 서포트 소모량이 많고 표면 거칠기와 광택도 역시 저하되었다. 45도의 경우 바닥면과의 경사도 때문에 일반적인 베이직(Basic) 서포트모드에서 적층되지 않고 무너지는 현상이 발생되었다. 따라서, 서포트가 모델의 외부를 모두 감싸는 구조인 스파스(Sparse)모드를 통해 제작함으로써 소요되는 시간이 상승하였으며, 세척기를 통해 서포트를 녹여내는 후 과정을 더 포함하였다.

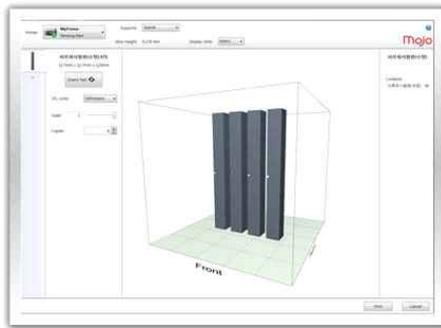
㉔ 시편이 60° 경사각으로 적층 제작된 경우



Fig. 24 Charpy impact Specimen production process(60°)

총 632개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 19시간 38분의 제작시간이 소요되었다. 서포트 소모량이 많고 표면 거칠기와 광택도 역시 저하되었다. 60도의 경우 또한 45도와 마찬가지로 바닥면과의 경사도 때문에 베이직(Basic) 서포트모드에서 무너지는 현상이 발생하여 스파스(Sparse)모드를 통해 제작하였으며, 세척기를 통해 서포트를 녹여내는 후 과정을 더 포함하였다.

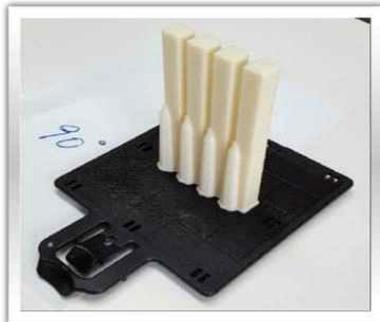
㉔ 시편이 90° 경사각으로 적층 제작된 경우



(a) STL파일 제작



(b) Print



(c) Suppot 제거



(d) 완성

Fig. 25 Charpy impact Specimen production process(90°)

총 701개의 레이어층으로 구성되며 4개의 시편을 동시에 가공하여 총 9시간 39분의 제작시간이 소요되었다. 서포트 소모량이 0도에 비해 많았지만 다른 시편들보다는 적게 소모되었다. 표면 거칠기와 광택도는 다른 시편들에 비해 우수하게 나타나는 등 0도와 유사한 상태를 나타냈다.

3) 시험장치

충격강도를 시험하기 위한 장비로는 Fig. 26에 나타낸 바와 같이 TOYESIKI사에서 제작한 샤르피 충격시험기 DG-UB를 사용하여 시험을 수행하였다. DG-UB는 헤머용량이 1 J ~ 22 J까지 시험 가능하며 ASTM규격에 맞도록 지그를 변경하여 사용할 수 있다.



Universal type (Izod & Charpy)

Model	DG-UB
Testing method	ASTM D256, D6110
Capacity (Hammer)	Please select one hammer (1) 1J(10kgf-cm), 2J*(20kgf-cm) (2) 3J(30kgf-cm), 6J*(60kgf-cm) (3) 8J(80kgf-cm), 15J*(150kgf-cm) (4) 1.35J(1ft-lbf), 2.71J*(2ft-lbf) (5) 4J(3ft-lbf) (6) 13.5J(10ft-lbf) *Using additional weight
Lift up angle	150°
Striking speed	3.46m/sec. (11.35ft/sec.)
Electrical	AC100V, 1-P, 1A (Other voltages also possible)
Dimensions	53(W) x 38(D) x 90(H)cm
Net weight	Approx. 100kg

Fig. 26 Charpy testing machine

4) 시험 방법

샤르피 충격시험은 Fig.27에서 확인할 수 있는 바와 같이 수평 빔 양쪽이 지지된 상태에서 해머가 노치 반대쪽 정 가운데를 가격하여 시편의 파괴 시 충격 강도 값을 구한다.

ASTM D295의 방법에 따라 시험을 수행하였으며, 각도별 3개씩 제작된 시편을 모두 동일하게 적용하여 총 15개의 시편에 대해 시험을 수행하였다.



Fig. 27 Charpy impact test scene

4. 시험 결과 및 고찰

4.1 압축강도 시험 결과 및 고찰

4.1.1 시험결과

ASTM D695 규격에 따라 5가지의 적층 경사각도(0° , 30° , 45° , 60° , 90°)로 각도 당 3개씩 총 15개의 시편을 제작하였다. 이와 같이 제작된 시편은 동일한 시험조건에서 3회씩 시험 하였으며, 시험 결과의 평균값을 Table 3과 Fig. 28 의 그래프로 나타내었다.

Table 3 load-displacement average

Degree	Displacement[mm]	Load [kN]
0도	1.64	6.3
30도	1.72	5.6
45도	1.70	6.0
60도	1.68	6.2
90도	1.64	6.8

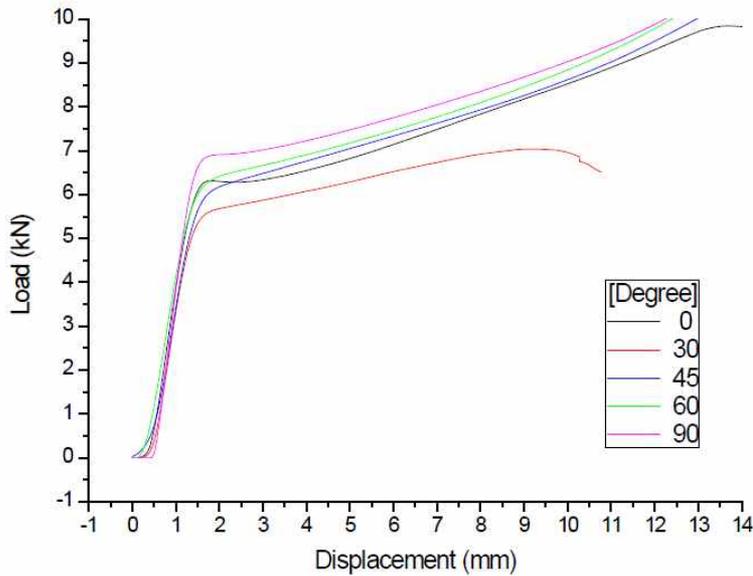


Fig. 28 Load-displacement curve

시험결과 적층 경사각 30도에서 제작된 시편이 5.6kN의 하중 값으로 가장 먼저 파손되었고, 적층 경사각 90도에서 제작된 시편이 6.8kN의 하중 값으로 가장 나중에 파손되었다. 이때 값의 차이는 대략 1kN으로 큰 하중 값의 차이를 보여주고 있다. 그리고 0도와 45도 및 60도에서 제작된 시편은 각각 6.3kN, 6.0kN, 6.2kN으로 유사한 하중 값 범위 내에서 파손된 것을 보여주고 있다.

Fig. 29와 Fig. 30은 Table 3에 나타낸 하중 값과 변위 값을 각도별 분포도 형태로 나타낸 것이다.

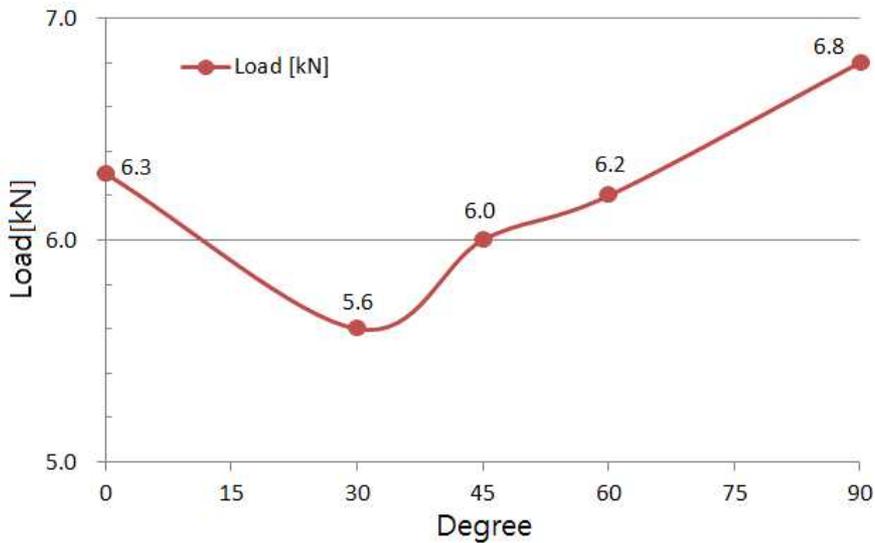


Fig. 29 Load curve

위 그래프에서 확인 할 수 있는 바와 같이 30도에서 제작된 시편부터 먼저 파손되었고, 그 뒤로 45도, 60도, 0도, 90도의 순서로 파손이 되었다. 여기서, 0도와 90도의 시편은 적층 면이 하중의 작용방향과 수평 또는 수직인 방향으로 제작되었고, 30도, 45도, 60도의 시편은 적층 면이 하중의 작용방향과 해당 각도만큼의 경사도를 갖게 제작되었다. 이와 같이 경사도를 갖는 시편들이 먼저 파손되는 경향을 나타내었으며, 이는 결국 해당 시편들의 강도가 약한 것을 의미한다.

또한, 앞서 시편의 제작과정에서 설명하였던 것처럼 0도와 90도의 시편이 가장 표면 거칠기와 광택도가 우수하다고 설명하였다. 이러한 것들을 종합하여 볼

때 적층 경사각 90도에서 제작된 시편이 가장 안정성이 좋은 적층 구조라고 볼 수 있고, 적층 경사각 30도에서 제작된 시편이 가장 안정성이 좋지 못한 적층 구조라고 설명할 수 있을 것이다.

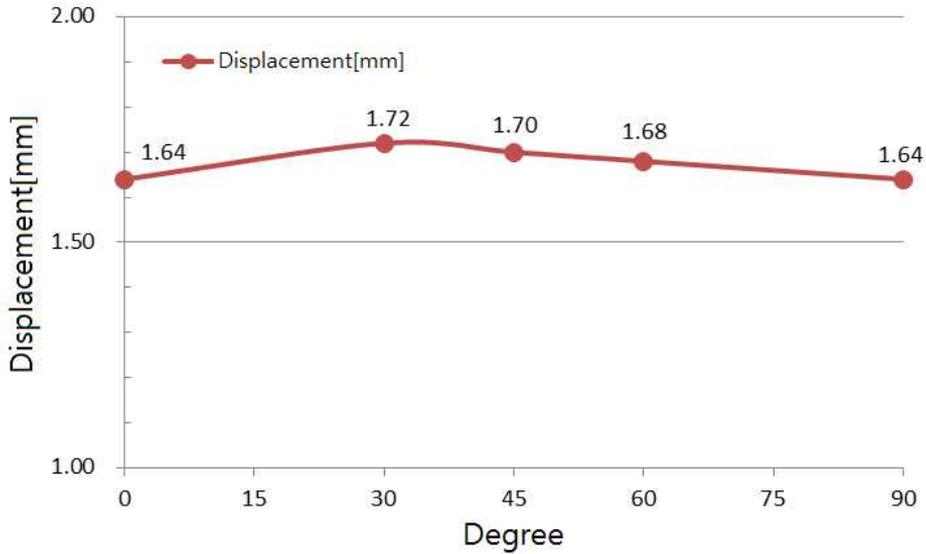


Fig. 30 Displacement curve

시편의 변형률을 비교해보면 전체적으로 대략 1.7mm 내외로 큰 차이를 보이지 않지만 나타내지 않고 유사한 값을 갖지만, 그래프에서 확인 할 수 있는 바와 같이 0도와 90도의 시편의 압축 강도가 가장 좋기 때문에 이에 비례하여 다른 시편에 비해 변형률이 큰 것을 확인할 수 있었다.

4.1.2 시편의 파단형태 관찰

압축강도 시험 후 각 시편의 파단형태를 육안으로 관찰하였으며 이를 Fig. 31 ~ Fig. 35에 나타내었다. Fig. 31 ~ Fig. 35는 시편의 파단 형태를 나타낸 것이다.

㉠ 0° 시편의 파단형태

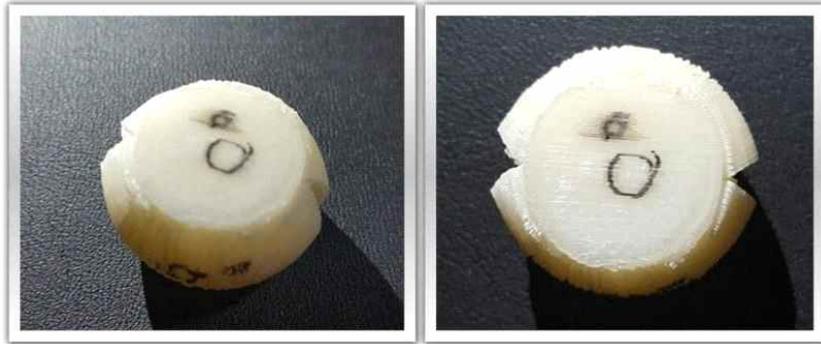


Fig. 31 Specimen compression fracture state(0°)

0도 시편의 경우, 적층 각도의 방향과 하중이 작용하는 방향이 서로 수직인 방향성을 갖기 때문에 인장력만이 작용하여 인장파손이 일어났으며, 그 형태 또한 파손 부분 양쪽이 서로 대칭형태로 나타났다.

㉡ 30° 시편의 파단형태

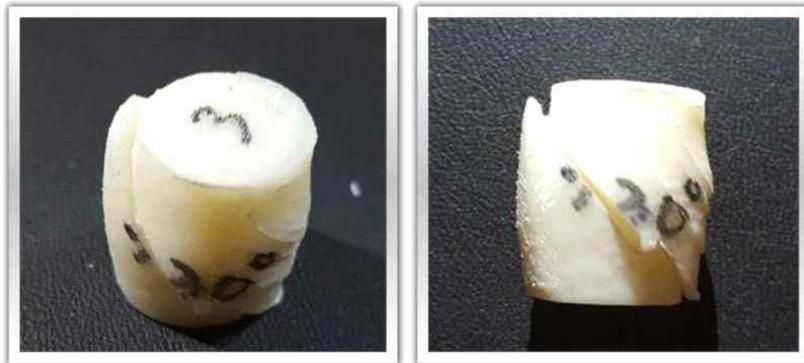


Fig. 32 Specimen compression fracture state(30°)

30도의 시편은 적층 각도의 방향과 하중이 작용하는 방향이 경사 각도를 이루기 때문에 전단력에 의한 슬립 발생에 따라 전단파손이 일어났으며, 그 형태 또한 파손 부분이 상단 가장자리에서 하단 반대쪽 가장자리로 경사지게 파손되었다.

㉔ 45° 시편의 파단형태



Fig. 33 Specimen compression fracture state(45°)

45도 역시 30도와 동일하게 적층 각도의 방향과 하중이 작용하는 방향이 경사 각도를 이루기 때문에 전단력에 의한 슬립 발생에 따라 전단파손이 일어났으며, 그 형태 또한 파손 부분이 상단 가장자리에서 하단 반대쪽 가장자리로 경사지게 파손되었다.

㉕ 60° 시편의 파단형태



Fig. 34 Specimen compression fracture state(60°)

60도 시편의 경우는 적층 각도의 방향과 하중이 작용하는 방향이 경사 각도를 이루기는 하나, 각도가 커 전단력보다는 인장력이 더 지배적이어서 인장파손이 일어난 것이라고 볼 수 있다.

㉔ 90° 시편의 파단형태

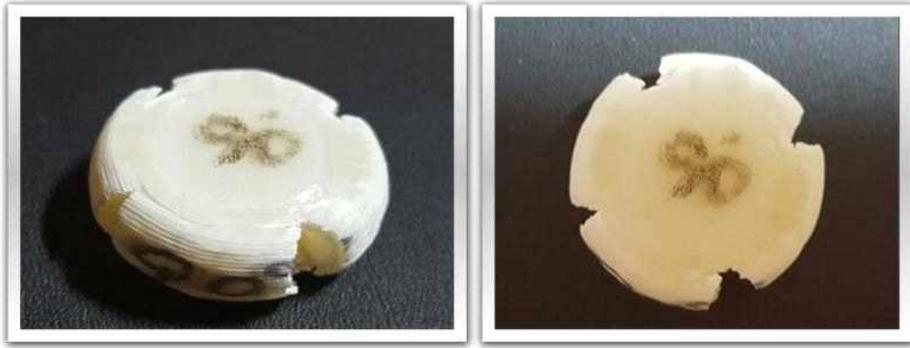


Fig. 35 Specimen compression fracture state(90°)

90도 시편의 경우, 적층 각도의 방향과 하중이 작용하는 방향이 서로 수평한 방향성을 갖기 때문에 인장력만이 작용하여 인장파손이 일어났으며, 그 형태 또한 파손 부분 양쪽이 서로 대칭형태로 나타났다.

4.1.3 파단 특성 관찰

압축강도 시편의 파단형태 관찰 후 파단면의 미세 형태를 관찰하기 위해 각 시편의 파단면을 Cam scope로 관찰하였으며 시편의 계면에서 미세한 파단형태의 정도를 확인하였다.

Fig. 36에서 확인할 수 있는 것처럼 적층 경사각 0도, 60도, 90도의 시편은 인장 파손에 따라 접착 면이 뜯겨진 형태를 나타내지만, 적층 경사각 30도와 45도는 슬립발생에 따라 전단 파손되어 접착 면이 매끄러운 형태를 나타낸다.

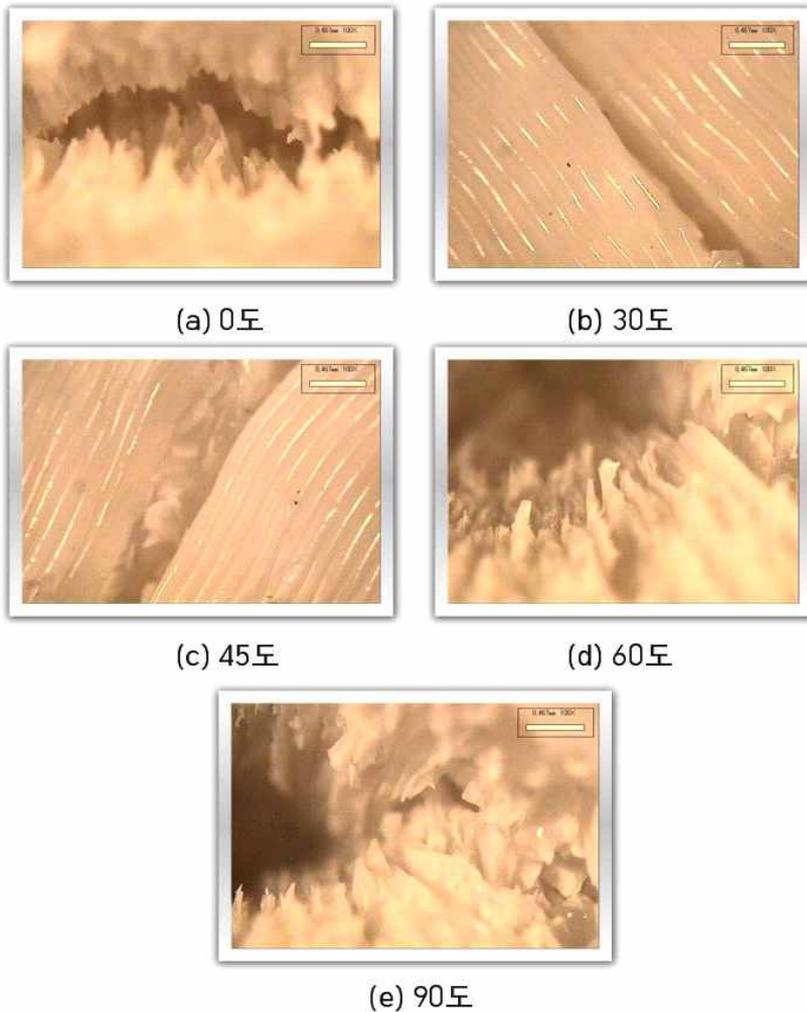


Fig. 36 Fracture Cam scope

4.2 샤르피 충격강도 시험 결과 및 고찰

4.2.1 시험결과

ASTM-D256 Charpy Impact 규격에 맞춰 5가지의 적층각도(0° , 30° , 45° , 60° , 90°)로 각도당 3개씩 총 15개의 시편을 제작하였다. 이렇게 제작은 동일한 시험조건에서 3회씩 시험하였으며, 시험 결과의 평균값을 Table 4와 Fig. 28의 그래프로 나타내었다.

Table 4 impact strength average

Degree	ImpactStrength(KJ/m ²)
0	9.417
30	7.336
45	6.724
60	5.572
90	2.913

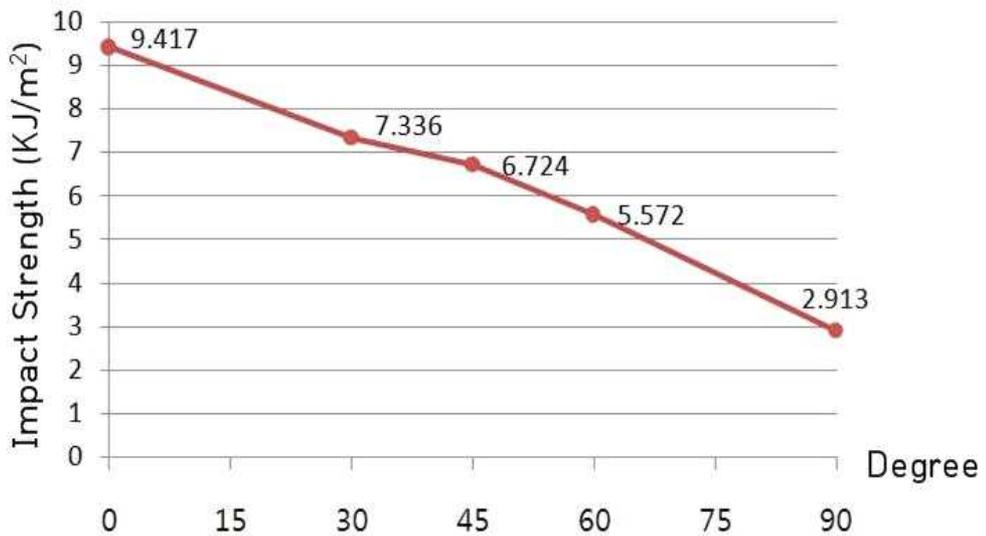


Fig. 37 Impact Strength curve

먼저, 시편의 평균 데이터를 취합하면서 약간의 편차가 발생되었지만 대체적으로 일관성 있는 결과를 보여주었다. 이는 시편의 제작과 가공이 잘 이루어졌음을 알려주는 것이라 예측할 수 있으며, 또한 시편 제작 후 노치부분에 대한 후가공시 노치부분마다 동일하게 가공하기가 어렵기 때문에 발생하는 편차라고도 예측할 수 있을 것이다.

위 그래프를 통해 각도별 충격강도를 살펴보면, 0도에서는 9.417 KJ/m^2 의 평균값의 측정되었고, 30도에서는 7.336 KJ/m^2 , 45도에서는 6.724 KJ/m^2 , 60도에서는 5.572 KJ/m^2 , 90도에서는 2.913 KJ/m^2 으로 적층 경사각도가 증가할수록 충격강도는 점차 낮아진다. 이 결과로 적층 경사각도가 증가할수록 파괴 인성치가 감소하는 것을 알 수 있다.

시험편 제작의 특성상 레이어의 접촉 면적이 클수록 강도가 세지는 결과를 나타낸다. 즉, 시편의 제작과정을 살펴보면 레이어의 층간 접촉 면적이 가장 큰 시편이 0도이고, 이후 각도가 증가할수록 접촉 면적이 작아지게 된다. 따라서, 0도의 시편이 가장 강도가 좋고, 90도의 시편이 가장 강도가 좋지 못한 결과를 나타냈다.

또한, 앞서 시편의 제작과정에서 설명하였던 것처럼 0도와 90도의 시편이 가장 표면 거칠기과 광택도가 우수하다고 설명하였다. 이러한 것들을 종합하여 볼 때 적층 경사각 0도에서 제작된 시편이 가장 안정성이 좋은 적층 구조라고 볼 수 있고, 적층 경사각 90도에서 제작된 시편이 가장 안정성이 좋지 못한 적층 구조라고 설명할 수 있을 것이다.

4.2.2 시편의 파단형태 관찰

샤르피 충격강도 시험 후 각 시편의 파단형태를 육안으로 관찰하였으며 이를 Fig. 38 ~ Fig. 42에 나타내었다. Fig. 38 ~ Fig. 42는 시편의 파단 형태를 나타낸 것이다.

㉔ 0° 시편의 파단형태

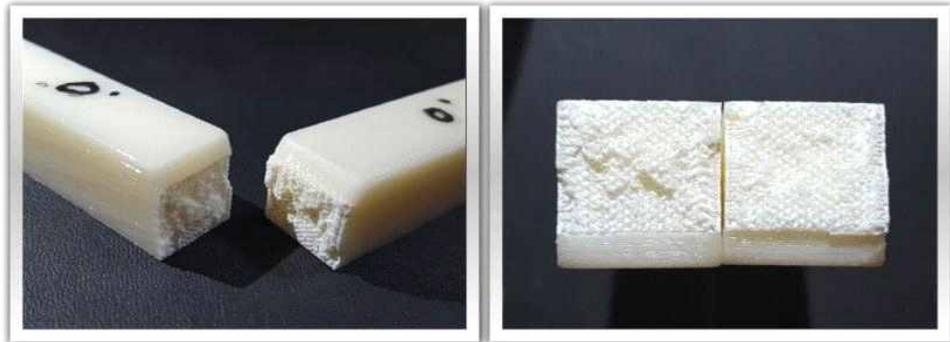


Fig. 38 Specimen impact fracture state(0°)

0도 시편의 경우 파손부분의 경계면이 뜯겨진 형태를 나타내고 있다. 이는 연성파괴가 일어났음을 의미하는 것이다.

㉕ 30° 시편의 파단형태

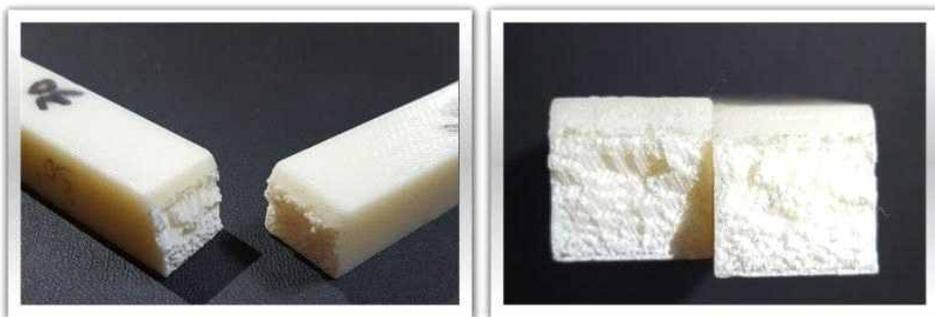


Fig. 39 Specimen impact fracture state(30°)

30도 시편의 경우, 파손부분의 경계면이 0도와 유사하게 뜯겨진 형태를 갖기 때문에 이 역시 연성파괴로 볼 수 있다.

© 45° 시편의 파단모습



Fig. 40 Specimen impact fracture state(45°)

45도 시편의 경우, 0도와 30도에 비해 덜하지만 파손된 경계면이 뜯겨진 형태를 갖기 때문에 이 역시 연성파괴로 볼 수 있다.

④ 60° 시편의 파단모습

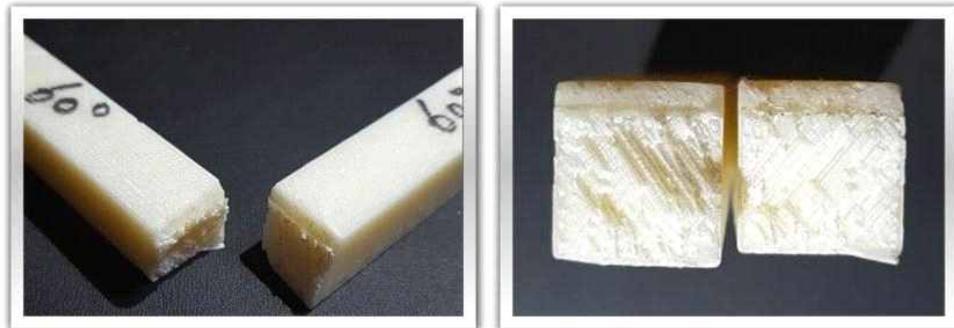


Fig. 41 Specimen impact fracture state(60°)

60도 시편의 경우, 파손된 부분의 경계면이 뜯겨진 상태보다는 매끄러운 상태에 더 가깝게 느껴진다. 따라서, 연성파괴보다는 취성파괴로 보는 것이 적절할 것으로 보여진다.

© 90° 시편의 파단모습

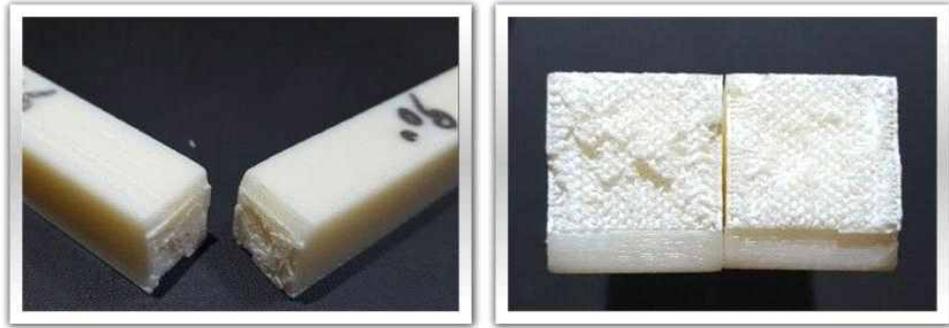


Fig. 42 Specimen impact fracture state(90°)

90도 시편의 경우, 표면이 매끄럽게 파괴되어 취성파괴가 일어난 것을 알 수 있다. 적층 경사각이 0도에서 90도로 증가할수록 파손된 부분의 경계면이 뜯겨진 상태에서 매끄러워지는 형태로 단계적으로 변하는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 연성파괴에서 취성파괴로 파단모드가 변경하기 때문으로 볼 수 있을 것이다.

4.2.3 캠 스코프 관찰

샤르피 충격강도 시험 후 각 시편의 파단면을 Cam scope로 관찰하였으며 소재의 계면에서 파단형태의 정도를 확인하였다. Fig. 43에서 확인할 수 있는 것처럼 적층 경사각 0도의 시편은 파단면이 평평하지 못하고 뜯겨진 형태를 보이지만, 적층 경사각 90도의 시편에서는 파단면이 평평하고 매끄러운 형태를 보인다.



Fig. 43 Fracture Cam scope

5. 결론 및 향후계획

본 연구를 통해 적층 경사각이 다르게 제작된 시편의 압축강도와 충격강도를 비교/분석하여 보았으며 용착 조형공정에서 층별 적층 시 바닥면과 적층 면 사이 경사각도가 제품의 기계적 특성에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 결론을 다음과 같이 얻을 수 있었다.

1. 압축강도의 경우 적층경사각 90도의 시편이 가장 안정성이 좋고, 30도의 시편이 가장 안정성이 좋지 않은 결과를 보였으며, 전단력에 의한 슬립 발생이 강도에 미치는 영향이 매우 크다는 사실을 알 수 있었다.

2. 충격강도의 경우 적층경사각 0도의 시편이 가장 안정성이 좋고, 90도의 시편이 가장 안정성이 좋지 않은 결과를 보였으며, 적층경사각이 증가할수록 파괴인성치가 감소한다는 사실을 알 수 있었다.

3. 기존 용착 조형공정에서는 강도 예측을 위해 많은 실험을 통한 특정 값이 요구되기 때문에 제품을 제작함에 있어 매우 제한적이었으나, 위와 같은 적층 각도별 분석을 다양하게 활용할 수 있을 것이다.

4. 강도분석을 통해 설계 단계에서 강도 예측이 가능하여 용착 조형공정을 이용한 제품 제작 가능성 여부를 미리 판단할 수도 있어 그 활용범위가 더욱 확장되었다고 볼 수 있을 것이다.

이와 같은 결과들로부터 FDM 방식의 3차원 프린팅 공정에서 적층 경사각이 제품의 기계적 성질에 미치는 영향을 정량적으로 고찰할 수 있었으며, 이를 활용하여 제품의 신뢰성을 더욱 향상시킬 수 있는 계기가 될 것이라 판단된다.

6. 참고 문헌

- 1) T.Caffrey, Wohlers Report 2014, Wohlers associates, (2014).
- 2) V. Juechter, T. Scharowsky, R.F.Singer, C.Korner, Acta Materialia 76, 252-258 (2014).
- 3) L.E. Murr, E. Martinez, S.M. Gaytan, D.A. Ramirez, B.I. Machado, P.W. Shindo, J.L. Martinez, F. Medina, J. Wooten, D. Gisel, U. and R.B. Wicker, Metallurgical and materials transaction A, Vol. 42A, November, (2011).
- 4) Kwais,Chan, Marie Koike, Robert L. Mason, and Toru Okabe, Metallurgical and materials transactions A, Vol 44A, Febuary, (2013).
- 5) 크리스토퍼 바넷, 3D 프린팅 넥스트 레볼루션, 한빛비즈, (2014).
- 6) 박형욱, “3D Printing 기술 현황 및 응용” 기계저널 Vol.54, No.4, 2014.
- 7) 정보통신산업진흥원 “3D 프린팅 산업 동향”, 주간기술동향 13-21, 2013.
- 8) Jeffrey Scott Raquet, “AN INVESTIGATION INTO THE MATERIAL PROPERTIES AND PRECISION OF RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGY”, Thesis (Ph.D.) The university of North Carolina at Charlotte. 2005.
- 9) 김기대, 김정윤, “쾌속조형부품의 표면거칠기와 기계적 물성치에 관한 비교”, 한국공작기계학회논문집 Vol.15, No.4, 2006.
- 10) 하만경, 전재역, “FDM에서 SLICE INTERVAL이 시작품의 표면에 미치는 영향”, 한국공작기계학회논문집 Vol.11, No.4, 2002.
- 11) 김승화, 안성훈, “쾌속조형용 재료의 특성-FDM”, 한국CAD/CAM학회 논문집 Vol.7, No.2, 2002.
- 12) 김승화, 이홍경, 이재일, 안성훈, “쾌속조형용 재료의 이방성과 강도에 대한 연구-FDM”, 공학연구원 논문집1, 2001.
- 13) 광기호, 박성호, “글로벌 3D 프린터산업 기술 동향 분석”, 대한기계학회지 Vol.53, No.10, 2013.
- 14) custompart.net(<http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>, 2008)
- 15) 한국콘텐츠진흥원, “3D 프린팅 기술 동향”, CT 인사이트 Vol.29, 2013.
- 16) 정보통신산업진흥원 “3D 프린팅 산업 동향”. 주간기술동향 13-21, 2013.
- 17) Stratasys(<http://www.prototech.co.kr/3d-printers/technology/fdm-technology>)

- 18) Prototech(<http://www.prototech.co.kr/>,<http://blog.naver.com/postlist.nhn?blogid=prototech>)
- 19) 서진호, “ FDM에서 제작방향이 이론적단면곡선의 면적오차와 표면에 미치는 영향”, 석사학위논문, 부경대학교, 2002.
- 20) 안동규, “3D Printing 기술의 금형산업분야 응용”, 기계저널 Vol.54, No.4, 2014.
- 21) 안동규, 양동열, “쾌속조형공정의 원리 및 동향”, 한국정밀공학회지 Vol.22, No.10, 2005.
- 22) 백상흠, “3D 프린팅의 다양한 신공정 기술 및 특징”, KCI News Vol.18, No1, 2015.
- 23) 김태호, 박재덕, 김민주, 이승수, 이준희, 전언찬, “쾌속조형장치의 길이오차를 이용한 형상 정밀도 개선에 관한 연구”, 한국정밀공학회지 Vol.21, No12, 2004.
- 24) 안성훈, 이선영, 백창일, 주원식, “쾌속조형재료의 강도예측모델-FDM”, 한국 복합재료학회지 Vol.15, No.6, 2002.
- 25) 채희창, 김동우, “삼각형기반 형상모델러를 이용한 STL의 검증”, 한국공작기계학회지 Vol.6, No.1, 1997.
- 26) ASTM D695 Standard Test Method for COMPRESSIVE PROPERTIES OF RIGID PLASTICS
- 27) ASTM D256 Standard Test Methods for IMPACT RESISTANCE OF PLASTICS AND ELECTRICAL INSULATING MATERIALS