

## FDM 방식 3D 프린팅 출력물의 화학적 후처리 공정 연구

김 상 영\*†

\* 군산대학교 기계자동차조선해양공학부

### Study of Chemical Post-processing Method for Fused Deposition Modeled Three-Dimensional Printing Materials

Sang-Young Kim\*†

\* School of Mechanical, Automotive Engineering and Naval Architecture, Kunsan Nat'l Univ.

(Received February 20, 2017 ; Revised May 18, 2017 ; Accepted May 25, 2017)

**Key Words:** Rapid Prototyping(캐속조형), 3D Printing(3D 프린팅), Post-processing(후처리)

**초록:** 최근 3차원 프린팅 기술은 비약적으로 발전하여 캐속조형기술의 대명사가 되고 있다. FDM 방식의 3D프린터는 캐속조형에 사용되는 가장 일반적인 프린터이지만, 열에 취약하고, 출력물의 표면이 매끄럽지 못하는 등의 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 FDM방식의 3D프린터로 ABS재질의 시편을 제작하였고, 아세톤에 시편을 담그는 방식으로 후처리를 수행하였다. 공정시간을 변수로 후처리를 진행하였으며, 처음 5초의 후처리 시간동안에는 시편의 표면조도가 급격하게 개선되는 결과를 획득하였으며, 5초 이후에는 표면조도의 변화정도가 미미하였다. 또한, 이러한 후처리 공정은 적지만 시편의 인장강도와 파단변형률을 상승시키는 결과를 나타내었다.

**Abstract:** In the past few years, three-dimensional (3D) printing has been developed as a rapid prototyping (RP) technique. The fused deposition modeling (FDM)-type 3D printing is one of the most useful RP methods; however, it still has several disadvantages, such as low conductivity, heat degradation, and low surface quality. In this study, test specimens are fabricated using an FDM-type 3D printer with an ABS material. Then, the specimens undergo post-processing on submerging in acetone with various processing times. As the processing time increases, surface roughness is enhanced significantly within the first five seconds by chemical processing, following which the processing effects are reduced. Furthermore, post processing causes the ultimate strength and strain to increase slightly with increased processing time.

### 1. 서 론

1984년 미국의 3D System사에서 최초로 SLA (Stereolithography Apparatus) 방식의 3D프린터를 개발한 이후 3D 프린팅 기술은 지속적으로 발전해왔다.<sup>(1)</sup> 그 중, FDM(Fused Deposition modeling) 방식은 열가소성 필라멘트를 한층 한층 쌓아 올리는 적층기법을 이용하는 방식이다.<sup>(2)</sup> FDM방식의 3D프린터는 대중들에게 가장 많이 알려진 프린팅 방식이며, 2012년의 특허만료로 인하여 3D 프린터의 대중화에 큰 기여를 하고 있다. 특히,

풍력발전기의 블레이드와 같이 기계가공으로 제작이 어려운 부품의 제작에 매우 유용한 것으로 평가되고 있다.<sup>(3)</sup>

그러나 FDM방식 3D프린터는 제조과정의 특성에 따라 변형, 갈라짐, 정렬 등의 문제로 인하여 많은 결함을 가질 수 있을 뿐만 아니라, 적층방식으로 인한 층간 경계선은 표면의 거칠기 또는 조도에 영향을 미치게 된다.<sup>(1)</sup> 따라서 3D 프린터로 제작된 조형물은 코팅, 도금, 열처리 등의 후처리를 거쳐 표면조도 및 강성을 높이는 과정이 필요하다.<sup>(4)</sup>

이러한 3D 프린터의 문제를 해결하기 위하여 후처리 공정에 대한 연구가 일부 수행된 바 있

† Corresponding Author, sangyoungkim@kunsan.ac.kr  
© 2017 The Korean Society of Mechanical Engineers

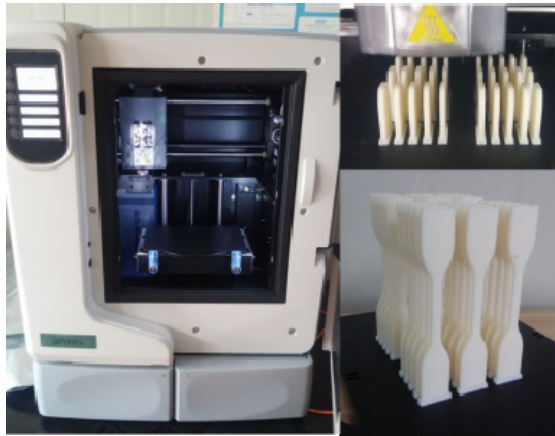


Fig. 1 FDM-type 3D Printer and test specimens

다. 김민섭<sup>(4)</sup> 등은 SLS방식을 이용한 3D 프린팅 조형물을 염료를 이용하여 후처리하고, 기계적 물성의 변화를 측정하였으며, 이나눔 등<sup>(5)</sup>은 FDM 방식 3D 프린터를 이용하여 경사면을 제작하고, 표면조도 등을 관찰하였다.

3D 프린팅 방식을 이용한 쾌속조형기술은 방식 및 사용재료가 매우 다양하고 사용 범위가 매우 넓어서 매우 큰 잠재력을 가지고 있다. 그러나 국내에서 이에 대한 연구는 매우 제한적으로 이루어지고 있으며, 그 수 또한 많지 않다.

본 연구에서는 ABS 수지를 사용한 FDM 방식 3D 프린터를 사용하여 시편을 제작하였으며, 시편을 대표적 유기용매이며 ABS재질을 녹이는 성질을 가지는 아세톤<sup>(6)</sup>에 담그는 방식으로 후처리를 수행하여 후처리 시간에 따른 표면조도와 기계적 물성의 변화 등을 측정하였다.

## 2. 시험방법

### 2.1 시편제작 및 후처리 공정

본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 FDM 방식의 3D 프린터(uPrint SE, Stratasys Inc.)를 사용하여 ASTM D638<sup>(7)</sup>에 준하는 표준시편을 제작하였으며, 사용된 재료는 동일 제작사의 ABSplus-P430이다. Table 1은 사용된 재료의 기계적 물성을 나타낸 것이며, Fig. 2는 제작된 시편의 형상이다.

시편은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 길이 방향으로 적층하여 제작하였으며, 시편의 내부는 90°의 각도차를 가지는 2가지 패턴이 번갈아가면서 적층되었다. 후처리 과정을 통해서 변화하는 3D프린팅 조형물의 기계물성, 표면조도 등을 측정하기 위하여 총 33개의 시편을 제작하였다.

Table 1 Mechanical properties of ABSplus-P430

Content	S <sub>V</sub> (MPa)	S <sub>U</sub> (MPa)	E(GPa)	Elongation at break (%)
Value	31	33	2.2	6

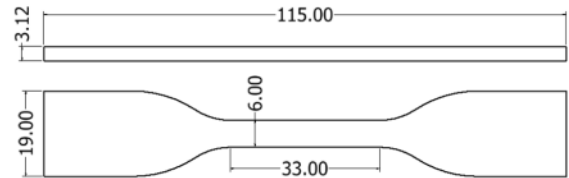


Fig. 2 Shape and dimensions of tensile specimen (unit: mm)

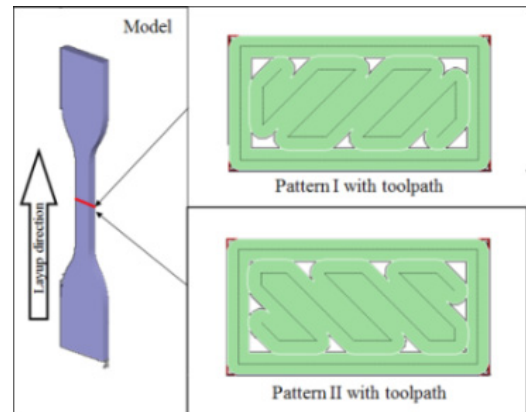


Fig. 3 Layup direction and patterns of test specimen



Fig. 4 Post-processing of test specimens

제작된 시편은 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 깨끗한 아세톤(삼진화학주), Acetone, 99.5%(GC), A0096)에 일정시간(0초, 1초, 3초, 5초, 10초, 15초, 20초, 30초, 40초, 50초 및 60초)동안 담갔다 꺼내어 상온의 공기 중에 말리는 방식으로 각 조건별 시편 3개씩 후처리를 수행하였다.

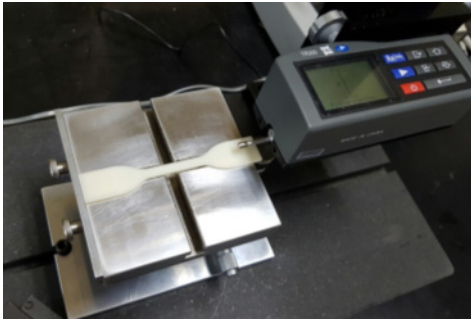


Fig. 5 Surface roughness test



Fig. 6 Tensile test

2.2 시험방법

후처리된 시편들의 두께 및 폭을 3회씩 측정하여 후처리 전후의 시편형상의 변화를 측정하였다. 또한, 후처리 공정에 의한 시편 표면의 변화를 관찰하기 위하여 500배율의 광학현미경(U500X)을 사용하여 표면을 관찰하였으며, Fig. 5에 나타난 바와 같이 표면조도계(TR200, TIME instrument Ltd.)를 이용하여 후처리 시간에 따른 시편의 변화를 관찰하였다. 또한, Fig. 6에 나타난 것과 같이 전기유압식 만능시험기(model 8516, Instron)를 사용한 인장시험을 수행하여 시편의 기계적물성의 변화를 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 시편정밀도

본 연구에서 사용한 3D 프린터는 ABS재질의 필라멘트를 용융하여 한 번에 약 0.254mm씩 적층할 수 있으며, 적층시의 토출되는 재료는 약 0.5mm 폭을 가지는 것으로 알려져 있다. 이를 고려하여 Fig. 2에 나타난 바와 같이 시편의 단면감소부는 두께 3.12mm, 폭 6mm로 설계 및 제작되었다. 그러나 Fig. 7에 나타난 바와 같이 제작된 시편의 두께와 폭은 평균 약 3.17mm와 약 6.13mm로 설계된 치수보다 약간 크게 제작되었다.

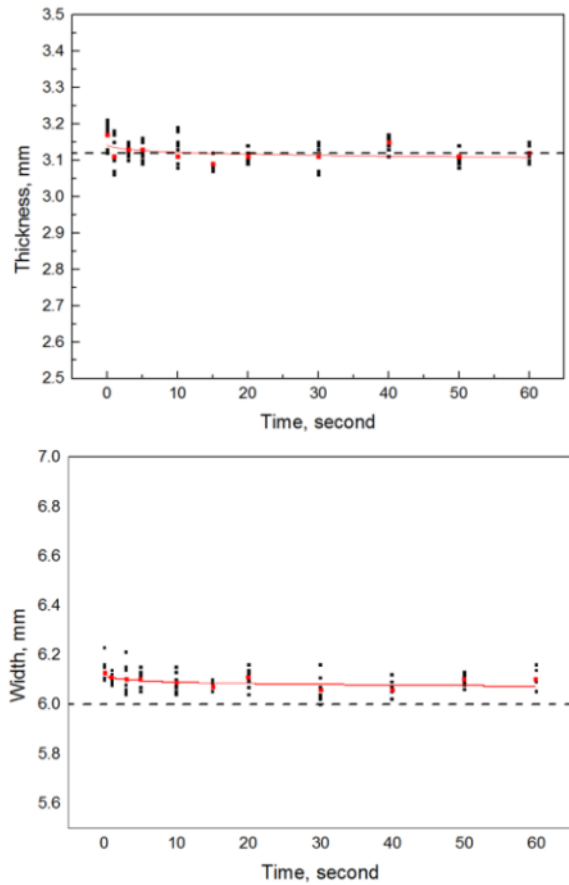


Fig. 7 Variation of thickness and width of specimens with increase of processing time

이는 적층된 후에 재료가 바로 굳지 않고 흘러서 생기는 현상으로 생각된다.

후처리가 진행되는 동안 시편의 폭과 두께는 소폭으로 감소하는 것으로 나타났으며, 초기 10초 이내에서 변화가 급변하고, 이후에는 거의 변화가 없는 것으로 관찰되었다. 이는 아세톤에 의해 표면이 용융되고 재료의 장력에 의해 표면이 편평해지기 때문으로 생각된다. 그러나 이는 전체 폭과 두께의 약 1~2% (약 0.06mm)수준으로써, 아세톤에 의한 후처리는 시편의 형상변화에 큰 영향이 없는 것으로 판단되었다.

3.2 표면조도

Fig. 8과 9는 500배율의 광학현미경을 이용하여 촬영한 시편의 표면사진이다. Fig. 8의 후처리를 하지 않은 시편의 표면에서 약 0.028mm(28 $\mu$ m) 폭의 불룩한 표면을 확인할 수 있다. 이는 용융된 재료가 적층되면서 나타난 현상이며, 후처리 시간이 증가함에 따라 표면의 울퉁불퉁한 정도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은

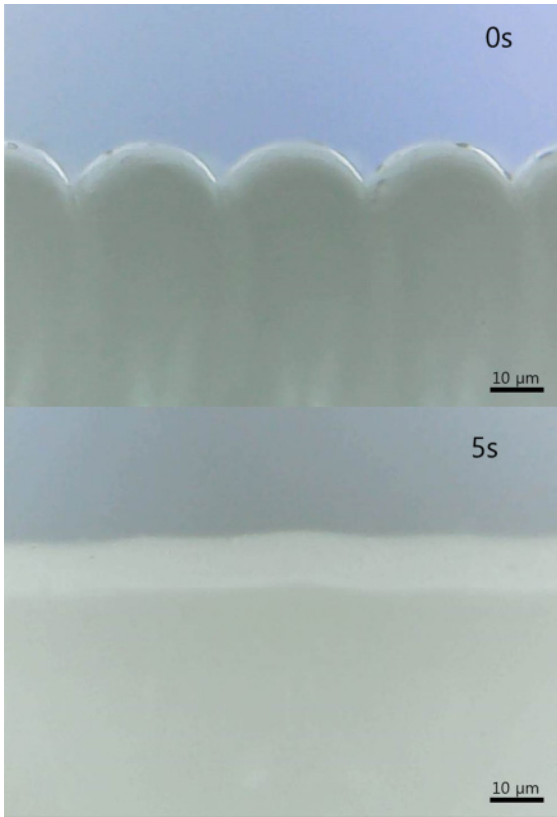


Fig. 8 Optical images of specimen surfaces(x500)



Fig. 9 Optical images of specimen surfaces(x500)

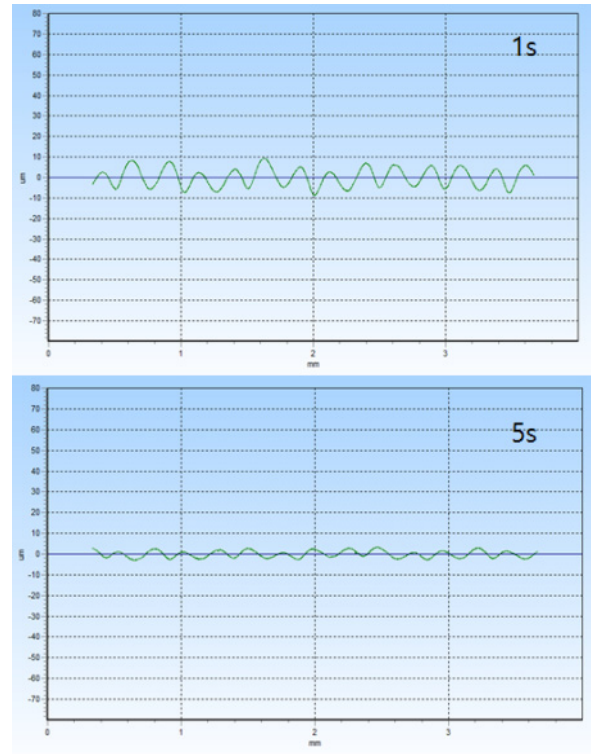


Fig. 10 Surface profile of specimens with 1 and 5 seconds of processing time

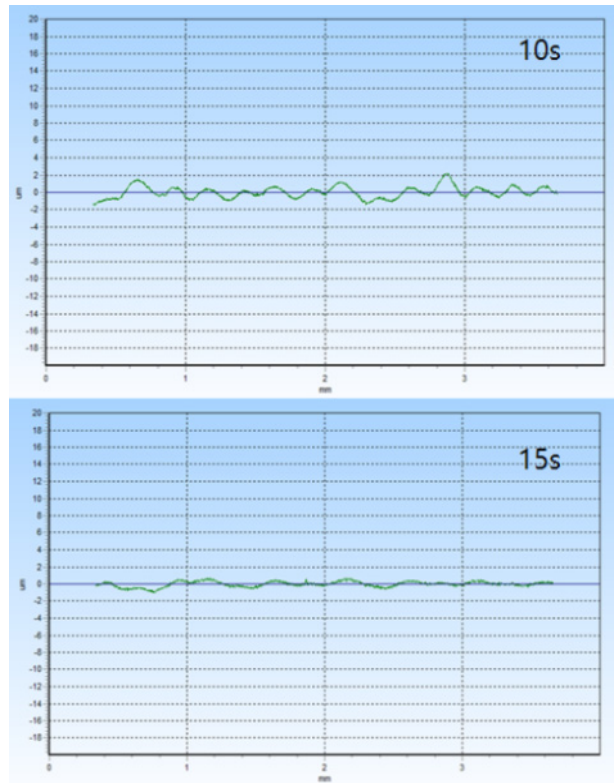


Fig. 11 Surface profile of specimens with 10 and 15 seconds of processing time



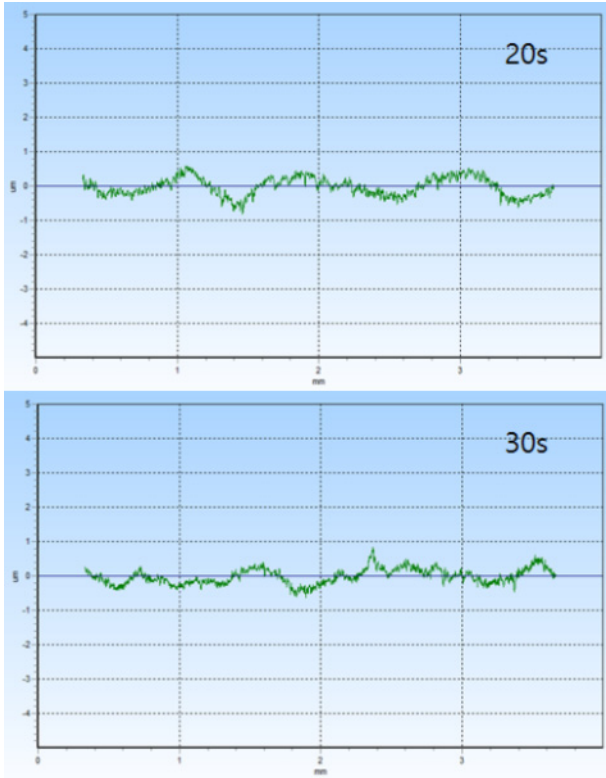


Fig. 12 Surface profile of specimens with 20 and 30 seconds of processing time

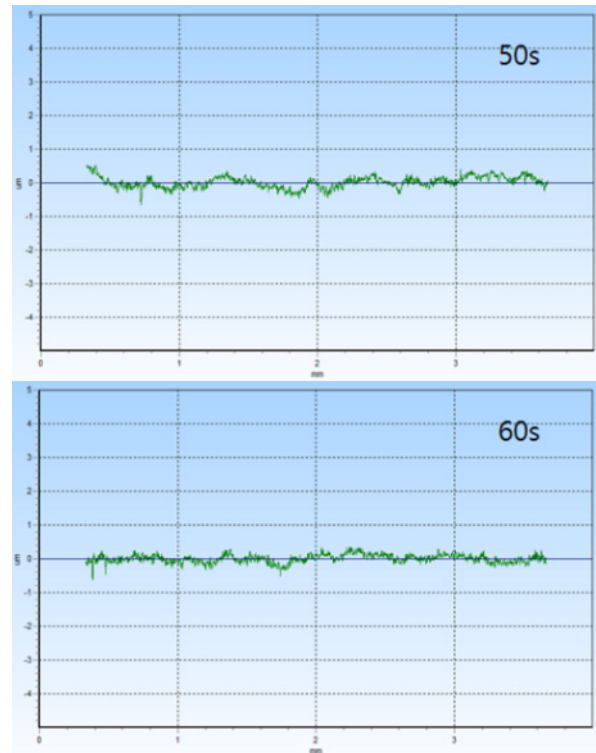


Fig. 13 Surface profile of specimens with 50 and 60 seconds of processing time

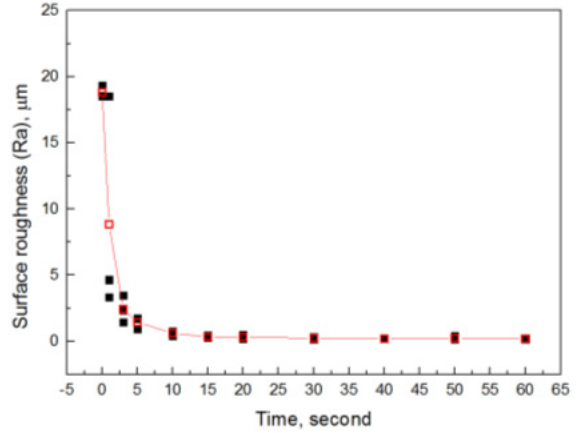


Fig. 14 Surface roughness (Ra) variation

후처리 공정 초반 5초 이내에 가장 급격하게 이루어졌으며, 이후에는 후처리에 의한 효과가 점점 감소하였다.

Fig. 10~13은 표면조도계를 이용하여 측정된 후처리 시간에 따른 시편표면의 프로파일을 나타낸 것이다. 후처리 시간이 1초인 경우에는 표면 프로파일의 진폭이 약  $10\mu\text{m}$  정도였으나 후처리 시간이 5초인 경우에는 약 절반수준으로 감소한 것을 확인할 수 있다. 또한, 후처리 시간이 증가함에 따라 표면조도의 진폭은 지속적으로 낮아지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 10의 y축 스케일은  $\pm 80\mu\text{m}$ 이고, Fig. 11의 y축 스케일은  $\pm 20\mu\text{m}$ 이며, Fig. 12와 13의 y축 스케일은  $\pm 5\mu\text{m}$ 이다.

Fig. 14는 표면조도 측정을 통해 획득한 모든 시편의 평균거칠기 Ra(■)와 평균 Ra(□)의 변화를 나타낸 것이다. 이 또한 마찬가지로 후처리 시간이 5초 이내에서는 거칠기가 매우 급격하게 변화하고, 이후 점점 완만해지는 결과를 확인할 수 있었다.

### 3.3 기계적 물성

Fig. 15는 인장시험 후의 시편들을 나타낸 것이다. 모든 시편들을 사용하여 인장시험을 수행하였고, 그 결과와 평균을 Fig. 16과 17에 나타내었다. Fig. 16과 17에서 확인할 수 있는 바와 같이 약 5초의 후처리 시간을 가지는 시편이 인장강도(약 22%증가)과 최대변형율(약 20%증가) 모두 가장 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 또한, 후처리 시간이 증가할수록 최대변형률은 조금씩 증가하는 반면에, 인장강도는 5초에서 최대값을 보인 후 점차 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

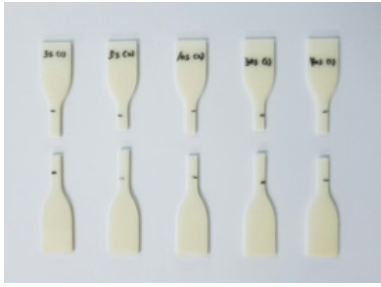


Fig. 15 Test specimens after tensile test

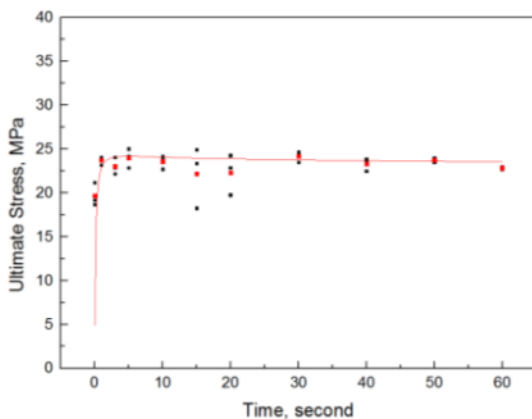


Fig. 16 Ultimate stress variation from tensile test

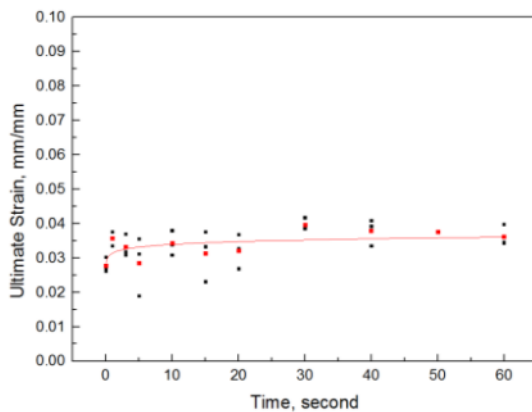


Fig. 17 Ultimate strain variation from tensile test

#### 4. 결 론

본 연구에서는 FDM방식의 3D프린터를 이용하여 ABS재질로 제작된 시편에 아세톤으로 후처리를 수행하였다. 후처리 시간에 따른 시편의 표면 물성과 기계적 물성을 실험을 통해 획득하고 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 3D프린터를 이용하여 제작된 ABS재질의 시편을 용매인 아세톤에 담그는 방식으로 후처리를 진행한 결과 최대 60초 이내에서 형상의 변화

는 1~2% 수준으로 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(2) 표면조도, 표면 프로파일 등의 측정으로부터 후처리 시간이 증가할수록 표면이 매끄러워지는 것을 확인할 수 있었으며, 초반 5초 이내에서 가장 급격한 표면의 변화를 관찰할 수 있었다.

(3) 인장실험의 결과로부터 최대변형률은 후처리 시간이 증가할수록 지속적으로 매우 서서히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 인장강도는 5초일 때 최대값을 나타냈고 이후 매우 서서히 점차 감소하는 것으로 나타났다.

#### 후 기

이 논문은 2015학년도 군산대학교 신입교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### 참고문헌 (References)

- (1) Choi, N. S., 2016, "Environmental Condition and Printing Quality Three-Dimensional Printing (FDM Type)," *Proceedings of 2016 KIIE spring conference*, pp. 1360~1378.
- (2) Jo, W., Lee, H. J. and Moon, M. W., 2015, "3D Printed Tactile Pattern Formation with Thermal Reflow Method," *Proceedings of 2015 KISE spring conference*, pp. 172~173.
- (3) Kim, M. R., Lee, H. A., Lee, Y. J., Heo, H. W. and Kim, K. C., 2015, "Design and Fabrication of Helical Type Vertical Axis Wind Turbine Using 3D Printer," *Proceedings of 2015 Korean Soc. Mech. Eng. Autumn conference*, pp. 755~759.
- (4) Kim, M. S., Park, I. B., Choi, S. M. and Lee, S. H., 2014, "A Study of Post-process for Improvement Material Properties of Plastic 3DPrinting Structures," *Proceedings of 2014 KSPE autumn conference*, p. 694.
- (5) Lee, N. N., Kim, K. J., Lim, B. H., Jang, J. Y., Kim, Y. Y. and Ko, J. H., 2016, "Surface Roughness Analysis of a Segmentalized Inclined Plane for Assembly Production include FDM-Type Three- Dimensional Printed Parts," *Proceedings of 2016 KIIE spring conference*, pp. 1432~1464.
- (6) Wikipedia, "Acetone," <https://en.wikipedia.org/wiki/Acetone>.
- (7) ASTM D638-02a, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," ASTM International.