

압출 적층 방식의 알루미늄 용융기의 설계 및 해석

이현석*, 나영민*, 강태훈*, 박종규*[#], 박태곤**

*창원대학교 기계공학부, **창원대학교 전기공학과

Design and Analysis of Aluminum Melting Machine in Fused Deposition Modeling Method

Hyun-Seok Lee*, Yeong-Min Na*, Tae-Hun Kang*, Jong-Kyu Park*[#], Tae-Gone Park**

*Department of Mechanical Engineering, Changwon National University,

**Department of Electrical Engineering, Changwon National University

(Received 28 April 2015; received in revised form 21 May 2015; accepted 5 June 2015)

ABSTRACT

Interest in three-dimensional (3D) printing processes has grown significantly, and several types have been developed. These 3D printing processes are classified as Selective Laser Sintering (SLS), Stereo-Lithography Apparatus (SLA), and Fused Deposition Modeling (FDM). SLS can be applied to many materials, but because it uses a laser-based material removal process, it is expensive. SLA enables fast and precise manufacturing, but available materials are limited. FDM printing's benefits are its reasonable price and easy accessibility. However, metal printing using FDM can involve technical problems, such as suitable component supply or the thermal expansion of the heating part. Thus, FDM printing primarily uses materials with low melting points, such as acrylonitrile butadiene styrene (ABS) or polylactic acid (PLA) resin. In this study, an FDM process for enabling metal printing is suggested. Particularly, the nozzle and heatsink for this process are focused for stable printing. To design the nozzle and heatsink, multi-physical phenomena, including thermal expansion and heat transfer, had to be considered. Therefore, COMSOL Multiphysics, an FEM analysis program, was used to analyze the maximum temperature, thermal expansion, and principal stress. Finally, its performance was confirmed through an experiment.

Key Words : 3-Dimensional Printing(3차원 인쇄), Fused Deposition Modeling(압출 적층 방식), Aluminum(알루미늄), Multiphysical Analysis(다물리 해석)

1. 서 론

3D 프린팅(3-Dimensional Printing)은 Fig. 1과 같이 3D 모델링을 물리적인 모델로 빠르게 제작하는 조형 기술을 뜻한다^[1]. 앞서 서술한 바대로 3D

모델링에서 바로 바로 제품을 생산할 수 있기 때문에 금형을 배제할 수 있다. 따라서 생산 단가 하락 효과 및 맞춤 생산을 통해 소비자의 다양한 Needs를 충족시킬 수 있다. 이러한 3D 프린팅은 플라스틱과 합금 등의 다양한 소재로 시제품에서 상품까지 다양한 제작이 이루어지고 있다^[2-3].

3D 프린터의 제작 방식에는 대표적으로 Fig. 2와 같이 Fused Deposition Modeling(FDM), Selective Laser Sintering(SLS)와 Stereolithography(SLA)가 있다.

Corresponding Author : chong@changwon.ac.kr

Tel: +82-55-274-1213, Fax: +82-55-275-0101

SLS 방식은 레이저를 이용하여 정밀할 뿐만 아니라 플라스틱에서 합금에 이르기까지 다양한 재료로 제작이 가능하다. 하지만 고출력의 레이저를 요구하기 때문에 가격이 비싼 단점이 있다. SLA는 광경화성 플라스틱 등을 사용하여 빠르고 정밀한 제작이 가능하지만 재료가 한정적인 단점이 있다. 이렇게 각 방식 모두 프린팅 원리가 다르며 특징이 분명하지만 현재까지 고품질의 금속 프린팅이 가능한 방식은 SLS 방식이 유일하다.

이러한 SLS 방식의 금속 프린팅에는 여러 단점이 존재하는데 첫 번째로 비용을 들 수 있다. SLS 방식에서 고품질의 인쇄를 위해서는 입자가 매우 작은 금속 분말이 요구된다. 하지만 입자가 고울수록 가격은 기하급수적으로 상승하기 때문에 대중화 및 대량 생산에 어려움이 있다. 두 번째로 높은 출력이다. SLS 방식은 레이저를 이용한 선택적 소결을 이용하여 금속 프린팅을 진행한다. 금속의 특징상 높은 온도에서 용융되기 때문에 그만큼의 고출력 레이저가 요구되고 이로 인해 높은 가격대를 형성하며 장치의 부피가 거대해진다^[5-6].

SLS, SLA와 더불어 3D 프린터의 대표적인 방식으로 압출 적층 모델링을 들 수 있다. 이 방식은 압출 롤러에 삽입된 필라멘트가 가열된 노즐을 지나감에 따라 반 용융 상태가 되어 설정된 경로를 따라 적층 된다. 또한 저렴한 가격과 쉬운 사용법으로 일반 이용자에게 적합한 방식이며, 1980 년도에 개발된 것을 최초로 그 특허가 최근 공개됨에 따라 많은 관심을 받고 있다. 압출 적층 방식이 발전함에 따라 다양한 소재를 이용한 제작이 시도되고 있으나, 금속 소재로 제작하고자 하였을 때 가열 시간과 열팽창으로 인한 내구성 등의 기술적 어려움을 가지고 있다^[7-8].

본 논문에서는 대중적인 비철금속이며 용융점이 660 ℃로 다른 금속에 비해 상대적으로 낮은 알루미늄 6061을 소재로 비철금속 압출방식의 금속 용융 프린팅 장치를 제안한다. 기존 FDM 방식으로는 노즐 온도를 660 ℃까지 가열하는데 많은 시간이 소요된다. 그러므로 카트리지가 가열기, 방열판, 고정대등의 설계를 통해 가열 시간을 최소화하고 안정성을 높이고자 하였다. 또한 600 ℃ 이상에서 금속이 가열되므로 열전달과 더불어 열팽창 현상

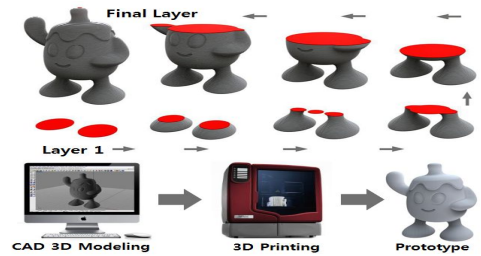


Fig. 1 Concept of 3D printing^[1]

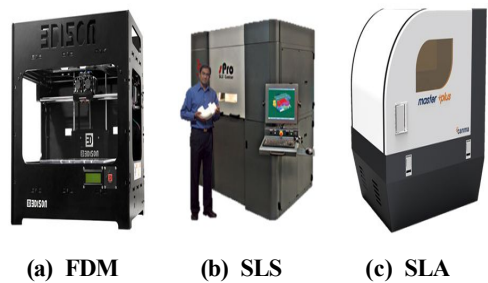


Fig. 2 FDM, SLS and SLA printer^[4]

이 동시에 일어나기 때문에 연성 해석이 필수다. 그러므로 유한 요소 해석 프로그램인 COMSOL Multiphysics를 통해 용융기의 최고 온도 및 가열 시간, 열팽창, 주응력 등을 파악한다. 그리고 해석된 데이터를 기반으로 실험을 수행하여 알루미늄 용융기의 가능성을 확인하였다.

2. 관련 이론

2.1 열전도 방정식

열전달 문제는 방향에 따른 열 전달률의 크기와 정확성의 정도에 따라서 1, 2, 3 차원으로 구분할 수 있다. 일반적인 경우엔, 3 차원으로 가정하며 이는 열전달 과정 동안 매체 내에 서의 온도 변화가 세 방향으로 이루어질 수 있다는 것을 나타낸다.

특정 방향(x 방향)으로 매체를 통한 열전도율은 매체의 온도차와 열전달 방향에 수직인 면적에 비례하지만 그 방향에서의 거리에 반비례한다. 이것은 1 차원 열전도에 대한 Fourier 열전도 법칙으로 다음과 같은 식으로 표현된다^[9].

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}(w) \quad (1)$$

본 논문에서는 이와 같은 열전도를 이용해 금속을 가열할 수 있는 방법인 카트리지 가열기를 사용하여 금속을 용융 하고자 한다.

2.2 방사율

방사율은 한 물체가 외부 광 에너지를 흡수한 후 일부 재방사 하거나 혹은 표면 반사 현상이 일어날 때 재 복사하는 에너지 비율을 말한다^[10]. 표면의 방사율은 ϵ 로 표현하고 $\epsilon=1$ 인 흑체에 얼마나 근접하는지 나타낸다고 할 수 있으며 $0 \leq \epsilon \leq 1$ 사이에 존재한다. 주어진 온도에서 표면의 기본적 방사는 스펙트럼 방향성 반사라고 할 수 있다.

주어진 파장에서 표면의 방사율은 방사된 스펙트럼 분포에 따라 가변적이므로 온도가 다르면 방사율 또한 달라진다. 즉, 총 반구 방사율은 모든 방향과 파장에 대한 방사된 복사 에너지라고 할 수 있으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon(T) = \frac{E(T)}{E_{(b)}(T)} \quad (2)$$

따라서 주어진 온도에서 표면의 평균 방사율은 같은 온도에서 표면적의 흑체와 표면에 의해 방사된 총 복사 에너지를 뜻하고 총 반구 방사율은 다음 식과 같다.

$$\epsilon(T) = \frac{E(T)}{E_{(b)}(T)} = \frac{\int_0^\infty \epsilon_\lambda(\lambda, T) E_{b,\lambda}(\lambda, T) d\lambda}{\sigma T^4} \quad (3)$$

열전도를 이용한 가열기는 과열로 인한 전소 방지를 위해 이러한 방사율의 조절이 필수적이다. 즉, 열 방출이 뛰어난 구조 설계 및 온도 예측을 위하여 열전도 해석이 이루어져야 한다. 그러므로 다물리 해석을 통해 금속 용융이 가능하면서 실험 환경에 영향을 주지 않는 크기의 가열기를 설계한다.

3. 설계

Table 1 Specification of cartridge heater

Property	Unit	Value
Heater diameter	mm	12
Heater length	mm	100
Power rating	W	500
Sheath material	l	SUS304
Maximum sheath temperature	℃	1000
Maximum voltage	V	480 V, UL rated to 250 V
Diameter tolerance	mm	-0.02 to -0.06

3.1 카트리지 가열기

카트리지 가열기는 니크롬선을 고온 특성이 뛰어난 세라믹 코어에 감은 뒤, 산화마그네슘으로 절연한 형태로써 최대 1000 ℃까지 장시간 사용이 가능하다^[11].

이러한 가열기가 비철금속인 알루미늄을 용융시키려면 기존 FDM에 사용되는 카트리지 가열기 보다 더욱 큰 출력을 내야 한다. 이를 위해 기존과 비교해 더욱 큰 출력을 낼 수 있는 카트리지 가열기를 선정하였으며 사양은 Table 1과 같다.

3.2 노즐

용융기는 크게 카트리지 가열기, 노즐, 방열판, 고정대로 구성돼있다. 그 중에서 노즐은 본 논문의 핵심 장치로써 알루미늄 6061의 용융점인 660 ℃ 이상을 견뎌낼 수 있는 소재로 제작되어야 한다. 그러므로 빠른 시간 내에 열전도가 이루어지며 용융점은 약 1000 ℃인 구리(Copper)를 노즐의 소재

Table 2 Properties of copper

Property	Unit	Value
Density	kg/m ³	8700
Young's Modulus	GPa	110
Poisson's Ratio	l	0.35
Thermal Conductivity	W/(m·k)	400
Heat Capacity at Constant Pressure	J/(kg·k)	385
Coefficient of Thermal Expansion	10 ⁻⁶ ·1/K	17

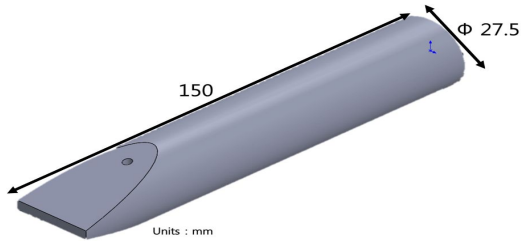


Fig. 3 Heating Nozzle

로 선택하였고 그 물성치는 Table 2에 정리하였다. 본 용융기에 사용될 카트리지 가열기는 길이가 약 110 mm이므로 노즐이 카트리지 모두를 감쌀 수 있게 하였다. 즉, 표면적을 이용해 열을 효과적으로 방출함에 따라 카트리지의 과열을 방지하고자 하였다. 이를 위해 방열판과 맞닿는 지름으로 노즐의 크기를 설정하였으며 적층에 용이하도록 돌출된 형태로 설계하였다. 설계는 3D 설계 프로그램인 솔리드웍스(Solidworks)를 이용하였고 노즐의 형상은 Fig. 3과 같다.

3.3 방열판과 고정대

가열을 위한 카트리지의 경우, 가열부에서 열을 방출하므로 방열판의 지름(D_h)과 방열판을 지지할 고정대의 길이(h)가 결정되어야 한다. 이 두 요소가 부적절하다면 회로의 전소 및 안전사고의 원인이 될 수 있으므로 두 설계 인자를 조절하여 최적의 형상을 찾고자 하였다. 방열판은 카트리지의 형상 및 제작의 편의를 고려하여 원기둥 형상으로 설계하였으며 이는 Fig. 4와 같다. 소재로는 대중적인 소재이며 약 1150 °C의 용융점을 가지고 있는 SUS(Special Use Steel) 304를 방열판 및 고

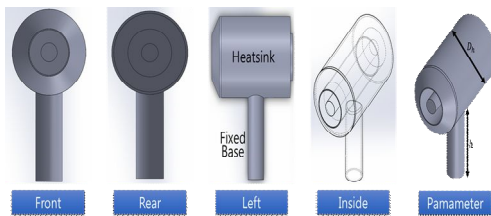


Fig. 4 Heatsink and fixed-base

Table 3 Properties of SUS304

Property	Unit	Value
Density	kg/m ³	7850
Young's Modulus	GPa	207
Poisson's Ratio	1	0.29
Thermal Conductivity	W/(m·k)	15
Heat Capacity at Constant Pressure	J/(kg·k)	500
Coefficient of Thermal Expansion	10 ⁻⁶ ·1/K	17.3

정대의 소재로 채택하였고 그 물성치를 정리한 표는 Table 3과 같다.

4. 해석

4.1 해석 목표 및 과정

Fig. 5와 같이 가열기를 해석하기에 앞서 가열기를 이루고 있는 방열판, 고정대의 해석을 통해 가열기의 최적 형상을 결정하여야 한다. 즉, 앞서 언급하였던 D_h 와 h 두 설계 인자를 변화시키며 열전달 해석을 수행한 뒤 최고 온도와 최저 온도를 비교한다. 이를 토대로 온도 변화가 없어지는 지점 및 실험 환경 요소를 동시에 고려하여 최적 지름 및 길이를 결정하고자 한다. 이렇게 최적 형상이 결정되면 노즐을 부착한 가열기의 열전달 해석을

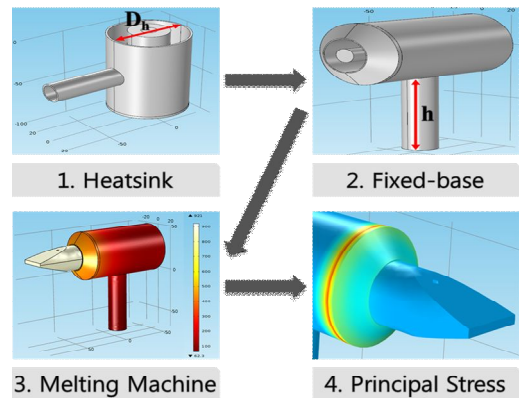


Fig. 5 Analysis process

통해 최고 온도 및 용융점에 이르는 시간, 주응력 등을 파악하여 본 가열기의 성능 및 안정성을 파악한다.

4.2 방열판 해석 목표 및 경계 조건

노즐 해석을 실시하기 전에 노즐이 장착될 최적의 방열판을 선택하기 위해 방열판의 열전도 해석을 실시하였다. 설계 변수 중 하나인 지름을 Fig. 6과 같이 42 mm에서 62 mm까지 4 mm간격으로 조절하며 각각의 방열판 온도를 비교하고자 하였다.

해석은 다물리 연성 해석이 가능한 COMSOL Multiphysics를 사용하였고 Heat Transfer In Solid(Ht) 모듈을 적용하였다. 방열판 및 고정대 열전도 해석을 위해 사용된 경계 조건은 Heat Source, Surface-to-Ambient Radiation, Convective Heat Flux 그리고 Heat Transfer in Fluids이다.

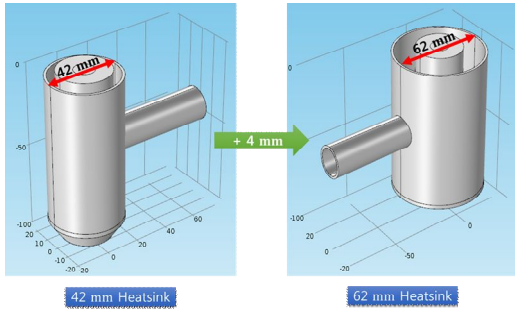


Fig. 6 Diameter variation of heatsink

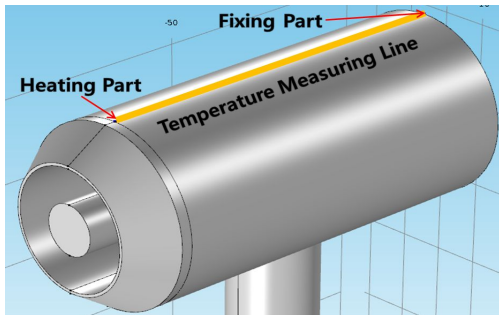


Fig. 7 Temperature measuring line of heatsink

4.3 방열판 열전도 해석 결과

방열판의 열전도 해석은 해석 시간의 단축을 위하여 Stationary 해석을 실시하였다. 이를 통해 정상 상태일 때의 온도 분포 및 방열판 결면의 온도를 확인하여 각 지름 당 온도 분포를 파악하고자 하였다.

카트리지를 감싸고 있는 방열판 결면의 온도 분포를 알기 위하여 Fig. 7과 같이 Line Graph를 이용하였다. 42 mm부터 62 mm까지 동일한 위치에 방

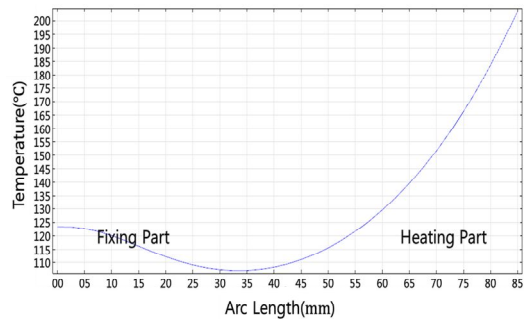


Fig. 8 Temperature according to location of heatsink

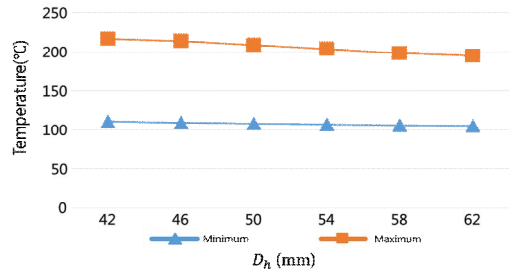


Fig. 9 Comparison of temperature according to diameter of heatsink

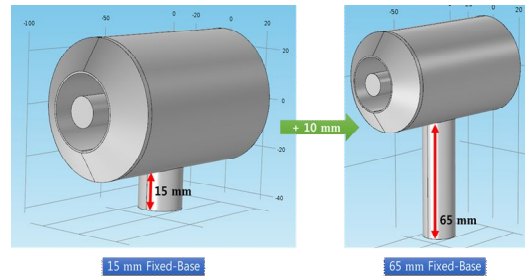


Fig. 10 Length variation of fixed-base

열판 몸체 앞, 뒤 끝단까지의 Fig. 8과 같은 온도 분포를 확인하였고 최대 온도와 최저 온도를 Fig. 9와 같이 정리하였다. Fig. 8에서 고정부와 가열부의 온도 차이가 나는 이유는 가열부에선 카트리지의 발열이 공기를 통하여 직접적으로 방열판에 전달되지만 고정부에선 발열이 고정부 및 공기를 통과한 다음 방열판에 전달되기 때문이다.

Fig. 9와 같이 최고 온도는 지름이 커질수록 선형적으로 저하하는 모습을 보이며 최저 온도의 경우 변화가 미미한 것을 확인하였다. 지름이 62 mm일 때와 42 mm일 때의 최고 온도 차는 11.2 °C이며 최저 온도 차는 2.2 °C인 것을 미루어보아 지름의 변화가 방열판의 온도 차이에 큰 영향을 미치지 않았다. 하지만 제작 상의 시각으로 바라볼 때, 방열판과 카트리지의 간극이 너무 작다면 회로 구성이나 회로의 안정성 등에서 영향이 미칠 수 있고 간극이 너무 크다면 불필요한 부피를 과도하게 차지할 우려가 있기 때문에 이 요소 또한 고려하여 방열판의 지름은 54 mm로 결정하였다.

4.4 고정대 열전도 해석

설계 변수 중 하나인 방열판의 지름이 54 mm로 결정됐고 그 방열판을 고정하기 위한 고정대의 높이가 설정 돼야 한다. 앞선 경우와 마찬가지로 길이에 따른 온도 분포를 확인 한 뒤 적절한 고정대의 높이를 결정하고자 한다. 고정대는 Fig. 10과 같이 최소 15 mm에서 최대 65 mm까지 10 mm 간격으로 모델링 되었으며 해석 경계 조건은 방열판 해석과 동일하다. 열전도 해석은 정상상태에서의 온도 분포를 알기 위해 Stationary 해석을 수행하였으며 고정대 결면의 위치 별 온도 분포를 파악하고자 하였다. 고정대는 실험을 위한 외부 장치와 직접적으로 결합되는 중요한 부분이기 때문에 길이가 온도에 미치는 영향을 규명해야 한다.

해석 결과, Fig. 11과 같은 위치에서의 온도 분포를 확인 하였으며, 그 결과는 Fig. 12와 같다. 또한 고정대의 길이가 15 mm ~ 65 mm까지의 위치 별 온도 분포의 최고 온도와 최저 온도를 비교한 그래프는 Fig. 13과 같다.

Fig. 13과 같이 최저 온도는 고정대의 길이가 길어질수록 낮아지는 경향을 보이며 그 온도차는 7.2

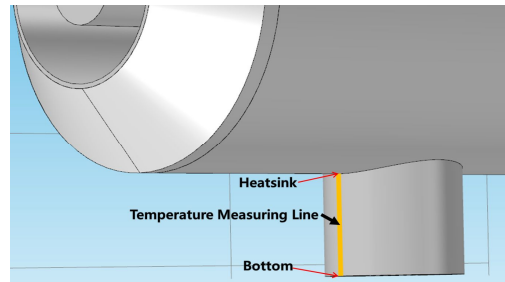


Fig. 11 Temperature measuring line of fixed-base

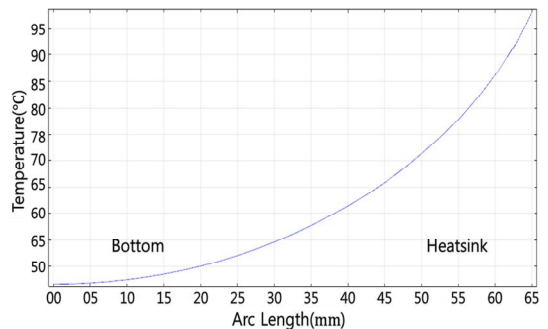


Fig. 12 Temperature according to location of fixed-base

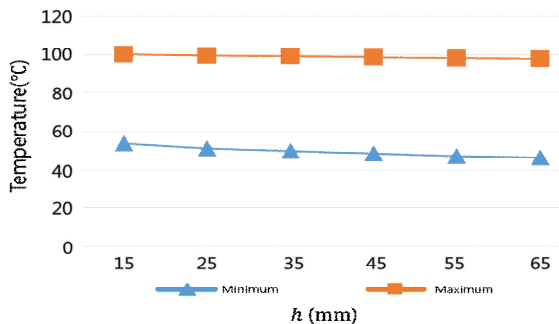


Fig. 13 Comparison of temperature according to length of fixed-base

°C였다. 최고 온도의 경우에는 55 mm 이상부터는 변화가 미미한 모습을 보였다. 고정대의 경우 실험을 실시 할 시, 고정대의 길이가 과도하게 짧다면 실험 환경 구성 시에 고정에 어려움을 겪을 우려가 있으며 이와 반대로 과도하게 길어진다면 노즐과 방열판 자체 무게에 의한 굽힘이 발생할 수 있다.

그러므로 온도 분포에서 보인 특성과 실험 환경 설정의 요소 모두를 고려하였을 때 고정대의 길이를 55 mm로 결정하였다.

4.5 용융기 열전도 해석

구리 소재 노즐을 Fig. 14와 같이 방열판에 부착하고, 온도 분포 및 가열 시간 등을 확인하여 설계된 노즐이 목적에 적합한지를 판단하고자 한다. 방열판과 노즐이 결합된 상태에서는 최고 온도뿐만 아니라 노즐 끝단의 온도가 용융점을 넘어서는지, 그리고 그 소요 시간은 얼마인지도 매우 중요한 사항이다. 그러므로 Fig. 15와 같이 노즐구 끝단의 온도 변화를 파악하기 위하여 0.5 분 간격으로 20 분까지의 Time dependent 해석을 수행하였으며, Mesh는 Physics-controlled의 Fine 크기를 기준으로 약 7만 5천개가 설정되었다. Mesh의 경우, 약 3만 개에서 16만개로 개수를 달리하여 해석을 진행한 결과, 약 7만 5천개부터는 16만개의 해석 결과와 약 1% 차이가 나는 것을 확인하여 Mesh 개수가 결

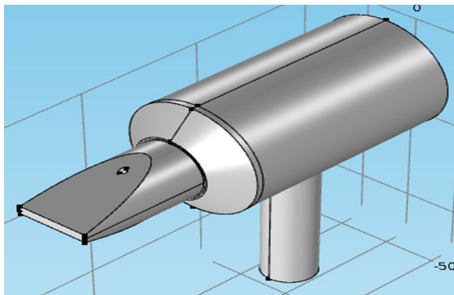


Fig. 14 Designed heatsink and fixed-base

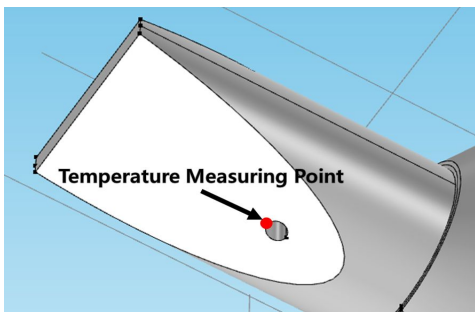


Fig. 15 Temperature measuring point of nozzle hole

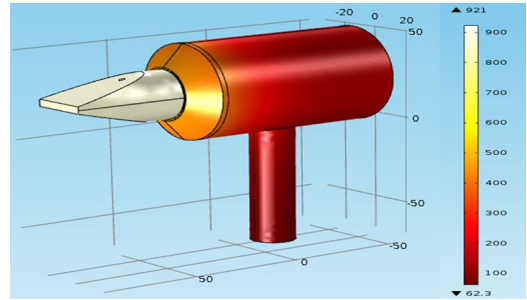


Fig. 16 Result of heat transfer analysis

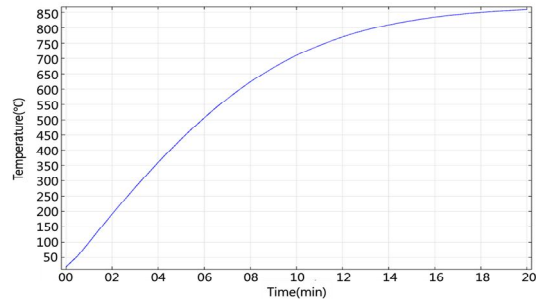


Fig. 17 Temperature of hole according to time

정되었다.

해석 결과, Fig. 16과 같은 온도 분포가 확인되었으며, 최대 및 최저 온도는 921 °C와 62.3 °C인 것으로 나타났다. 또한 압출구 끝단의 온도 분포를 확인해 보았을 때 Fig. 17과 같은 온도 분포가 나타났으며 20 분 동안 가열했을 시 최대 온도가 859 °C였다. 알루미늄의 용융점인 660 °C가 넘는 시점은 약 9분을 지나갈 때 이며 20 분이 지나가는 시점에서 온도 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

4.6 주응력 해석

본 용융기 설계는 고열을 이용한 것이기 때문에 열팽창을 수반한다. 그러므로 열팽창에 따른 변형 또한 중요한 요소라고 할 수 있다. 이에 따라 물체의 안전한 정도를 파악하는데 척도가 되는 주응력을 확인하였다. 먼저 주응력의 경우 Fig. 18과 같은 것으로 나타났고 가열부 주위와, 카트리지를 감싸고 있는 고정부 주위에서 주응력이 높게 나타나는 것을 확인하였다. 그래프에 나타나있는 다수의 선

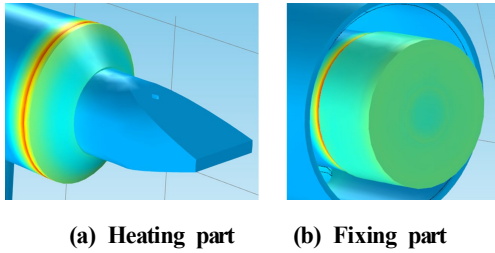


Fig. 18 Principal stress concentration

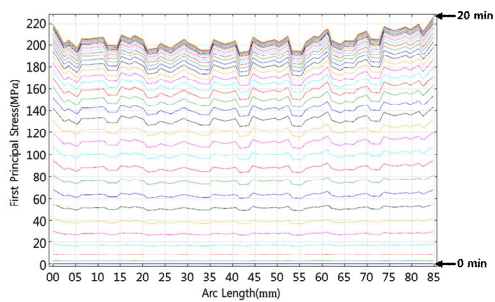


Fig. 19 Principal stress at heating part according to time

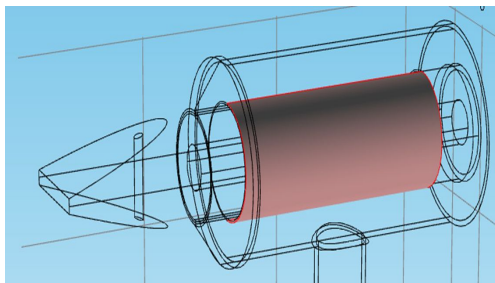


Fig. 20 Surface maximum of fixing part

들은 시간에 따른 주응력을 나타낸다. 노즐 고정부에 나타난 주응력은 Fig. 19와 같고 최대 226.5 MPa이었다. 카트리지 고정부 주위의 주응력은 Fig. 20과 같이 모서리가 아닌 면에서 나타났기 때문에 COMSOL의 보조 기능 중 하나인 Surface Maximum기능을 이용하여 카트리지 고정부의 시간 별 최대 주응력을 추출하였다. 추출 결과, SUS 304의 최대 인장 응력이 520 MPa인 것에 반해 측정된 최대 주응력은 약 418 MPa이었다.

5. 실험

5.1 실험 환경 및 목표

앞서 얻은 데이터를 토대로 가공 공장에 제작을 의뢰해 Fig. 21, 22와 같은 방열판 및 노즐을 제작하였다. 노즐의 주 소재는 구리이며 고온의 상황이 지속되면 구리의 산화 속도 또한 가속되므로 SUS 코팅을 통해 이를 방지하고자 하였다. 노즐의 경우 피 용융재의 압출 속도와 스테핑 모터의 회전 속도가 적절한 균형을 이뤄야 안정적인 출력을 기대할 수 있다. 이에 따라 Fig. 23과 같이 충분히 소재를 용융시키고 그것을 밀어내는 형식으로 출력을 시도하였다. 설계된 부품들을 모두 조합하여 실험 환경을 구축하였으며 Fig. 24와 같다.

출력을 위한 좌표 입력 방법으로는 시중에 공개되어있는 G코드 생성 프로그램을 이용해 출력하고자 하는 물체의 G코드를 생성한다. 다음으로 그 G코드를 아두이노의 스테핑 모터 제어 부분에 직접 입력하여 코드에 따라 움직이게 하였다.

실험은 가열 및 출력 실험으로 나뉜다. 먼저 가열 실험은 용융기에 전기를 인가하여 알루미늄의 용융점인 660 °C까지 도달하는 시점을 3분 간격으로 측정한다. 다음으로 출력 실험은 신발 형상의 물체 출력을 시도하여 본 용융기의 성능을 확인한다.



Fig. 21 Heatsink



Fig. 22 Melted nozzle

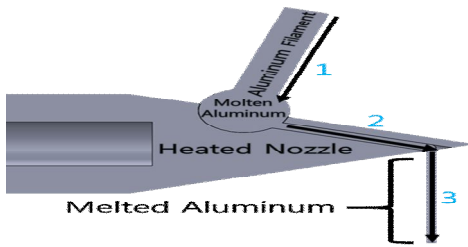


Fig. 23 Melting sequence of aluminum filament

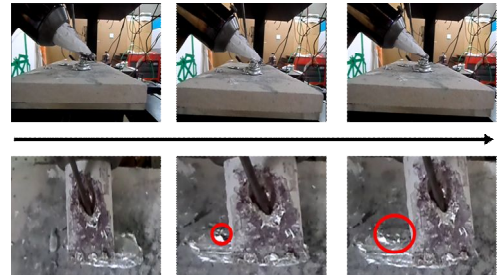


Fig. 25 Printed aluminum

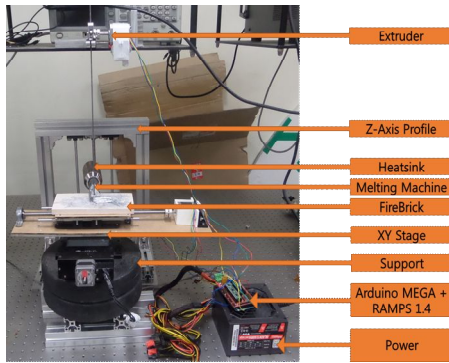


Fig. 24 Experimental setup

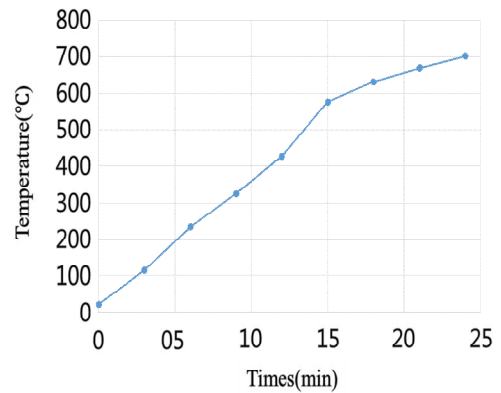


Fig. 26 Temperature change of nozzle according to the time

5.2 가열 실험

카트리지 히터에 전원을 인가하여 용융점까지의 도달 시간을 측정하였다. 본 용융기는 금속을 용융하여 물체를 출력해야 함으로 최고 온도의 도달 여부와 동시에 도달 시간을 측정하여 금속 용융의 가능성을 타진해야 한다. 알루미늄의 용융 온도는 660 °C임으로 일반적인 바닥에서는 안전사고가 일어날 가능성이 있다. 이에 알루미늄의 용융 온도에서도 견딜 수 있는 내화 벽돌 위에 압출이 진행되었다. 실험 결과, 20분 동안 가열하였을 시에 Fig. 25와 같이 알루미늄이 용융되어 압출 되는 것을 확인 하였으며, 노즐의 온도를 3분 간격으로 측정한 그래프는 Fig. 26과 같다. 앞서 실시했던 노즐의 가열 해석에 비해 가열 시간이 두 배 이상 차이 나는 이유는 카트리지 가열기와 노즐 내경 사이의 완전 접촉이 되지 않아 열전도가 충분히 이루어지지 않기 때문이다.

5.3 출력 실험

신발 형상의 모델링을 출력하는 실험을 통해 본 용융기의 정밀성을 파악하고자 하였으며 출력물의 품질을 확인하기 위하여 형상 오차를 계산하였다. 형상 오차의 계산은 각 변의 상대 오차를 확인하고 그 상대오차의 평균으로 계산하였다. Fig. 27과 같은 모델링을 거치고 출력을 시도하였으며 그 결과는 Fig. 28과 같다. 평균 형상 오차는 28.1% 였으며 오차가 발생한 이유는 스테핑 모터의 탈조 현상과 일정하지 않은 용융 온도로 인해 열 수축이 일정하지 않은 것에서 비롯한다. 이를 통해 본 용융기가 금속 재료를 이용해 모델링을 출력할 수 있는 가능성을 확인하였다.

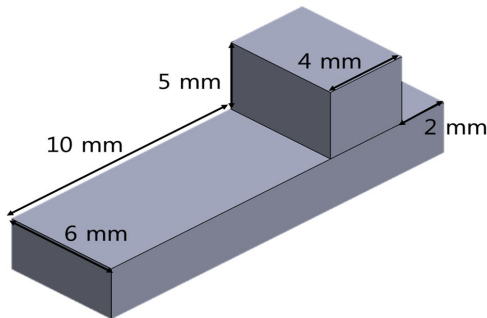


Fig. 27 Modeling of the sample



Fig. 28 Printing experiment result

6. 결론

본 논문에서는 FDM 방식의 알루미늄 압출이 가능한 3D 프린터에 사용할 수 있는 금속 용융기를 제안하였다.

알루미늄 용융을 위한 발열 소재로는 카트리지가열기를 채택하여 빠른 시간 내에 고열을 방출할 수 있게 하였으며 카트리지를 감싸는 재료로는 열전도가 타 재료에 비해 빠르며 가공성이 뛰어난 구리, 실험 재료로는 용융점이 660 °C인 알루미늄 6061을 선정하였다. 또한 카트리지를 고정할 방열판 및 고정대의 재료로는 대중적이며 최대 항복 응력이 높은 SUS 304로 채택하였다.

이에 따라 용융기를 설계하기 위해 방열판의 지름 및 고정판의 길이를 설계 인자로 하는 열전도 해석을 실시하였다. 노즐을 부착하지 않은 각 설계 인자의 경우 지름 및 길이가 변화하여도 온도 분포에 큰 영향이 없다는 것을 확인하였다. 이에 실험

시의 안정성 및 편의를 위하여 지름 및 길이를 55, 54 mm로 설정하였다.

본 용융기는 660 °C이상의 열을 방출해야 하므로 열팽창에 관한 사항을 무시할 수 없다. 그러므로 열팽창 사항까지 포함한 다물리 해석을 실시하여 가열 시간 및 주응력을 확인 하였다. 그 결과 알루미늄 압출구가 알루미늄의 용융점을 넘기는 시간은 약 9분 이후인 것을 확인하였고, 주응력이 집중된 부분인 가열부 및 카트리지가정부의 주응력은 각각 226.5, 418 MPa로 SUS 304의 최대 항복 응력인 520 MPa이하였다.

해석된 데이터를 토대로 가열기를 제작하고 용융 실험을 실시하였다. 먼저 실험 환경을 구축하여 주위 환경의 영향을 최대한 배제하였으며, 적층 실험 및 형상 출력 실험을 통해 가열기의 성능과 더불어 정밀성, 안정성을 확인 하고자 하였다. 가열 실험에서는 카트리지가열기에 전원을 인가하여 온도 도달 여부 및 그 시간을 측정하였으며 약 20분 경과 후 용융점에 도달하는 모습을 보였다. 출력 실험에서는 신발 형상의 모델링과 유사하게 출력할 수 있음을 확인하여 본 용융기의 가능성을 확인할 수 있었다.

향후 계획으로는 출력에 있어 알루미늄이 산화되면 그 접촉 강도가 떨어짐에 따라 용융과 동시에 불활성 가스를 분사하여 표면의 산화를 막을 수 있는 기구를 개발하고자 한다. 또한 알루미늄의 용융 시간을 더욱 단축시키기 위해 일반 환봉이 아닌 용접용 알루미늄 와이어를 출력에 적용하여 용융 시간을 단축시킬 것이다.

후 기

“이 논문은 2015년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (NO. 2011-0030058).”

REFERENCES

1. Choi. S. K., Rapid prototyping technology for industrial designers., Hye Ji Won, pp. 1-2, 2010.

2. Electronic Resource, Semiconductor & Display Korea - Current Status and Prospects of 3D printing process technology, Electronic Resource Inc., pp.61-61, 2013.
3. Kim. S. H., Inc., Research of 3D printing technology trends and technology opportunities., Korea Institute of Science and Technology Information., pp. 22-23, 2013.
4. Kim. S. H., Inc., Research of 3D printing technology trends and technology opportunities., Korea Institute of Science and Technology Information., pp. 26-26, 2013.
5. Korea Institute of Machinery & Materials., Global 3D printer industry and technology trends analysis., Korea Institute of Machinery & Materials., pp. 6-6, 2013.
6. Park. J. D., Kim. T. H., Jeon. E. C., “Study on the Roughness Improvement using Parameter of Rapid Prototyping”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 6, No. 3, pp. 77-84, 2007.
7. Wang. D. H., “Development of gear type grease lubricator by rapid prototyping”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 6, pp. 46-53, 2014.
8. “DMT 3D Metal Printer,”(2014), <http://www.insstek.com/technology/dmt.asp>, (accessed 17, July., 2014).
9. Yunus A. cengel., Heat transfer: A Practical Approach, Second Edition., McGrawHill, pp.58 - 58, 2006.
10. Yunus A. cengel., Heat transfer: A Practical Approach, Second Edition., McGrawHill, pp.533 -533, 2006.
11. “Cartridge Heater,”(2014), http://www.dwhot.net/?page_id=1098, (accessed 6, August., 2014).